أساسيات في
تغذية النبات والزراعات اللاأضية
دكتور
طلعت رزق البشبيشى
أستاذ خصوبة الأراضى
وتغذية النبات المتفرغ
كلية الزراعة - جامعة طنطا
دكتور
محمد أحمد شريف
أستاذ خصوبة الأراضى
وتغذية النبات المتفرغ
كلية الزراعة - جامعة المنيا
CO2
N
P
K
Ca
Fe
Cu
Zn
S
Mg
Na
Mn
B
Mo
Aquaponics

أساسيات فى

تغذيـــــة النبـــــات والزراعات اللاأرضية

الطبعة الأولى

أساسيات فى

تغذية النبات والزراعات اللاأرضية

تأليف

الدكتور

طلعت رزق البشبيشى

أستاذ خصوبة الأراضى وتغذية النبات المتفرغ

كلية الزراعـة – جامعة طنطا

الدكتور

محمد أحمد شــريف

أستاذ خصوبة الأراضى وتغذية النبات المتفرغ

كلية الزراعـة – جامعة المنيــا

مقدمـــة:

بدأ النبات حياته وسيظل – إلى ما شاء الله – معتمداً على ما تقدمه له التربة من تهوية لجذوره، وتجهيز لعناصره المغذية تحت مظلة الغلاف الجوى المحيط به ، والمناخ السائد حوله وما يقدماه له من ضوء وأشعة الشمس ومياه المطر وغاز النيتروجين الذي يثبت جزء منه في التربة ، وغاز ثاني أكسيد الكربون اللازم لعمليات التمثيل الضوئي ، وهذه العناصر في مجملها هي مقومات نمو النبات في كل زمان وآي مكان. فإذا كانت عناصر الغلاف الجوى والمناخ عناصر كونية لا دخل للإنسان فيها إلاَ في حدود ضيقة ، فإن عنصر الأرض ومحتواها من عناصر التغذية قابل للنشاط الإنساني بشكل كبير وهى الأساس لعلم تغذية النبات.

وتغذية النبات بشكل يضمن الحصول على أعلى إنتاج ممكن من آي أرض تزرع أصبح أمراً ضرورياً إن لم يكن حتمياً. فزيادة السكان بمعدلات لا تتناسب مع معدلات زيادة رقعة الأرض الزراعية أحدث فجوة كبيرة بين الإنتاج والاستهلاك وبصفة خاصة في محاصيل الحبوب. هذا الأمر أدى إلى البحث عن أصناف عالية الإنتاج باستخدام أساليب التربية المختلفة وباستخدام الهندسة الوراثية بالإضافة إلى زيادة معدلات التكثيف الزراعي وذلك في محاولة لتقليل معدلات الاستيراد وخاصة في محصول القمح الإستراتيجي. إن التكثيف الزراعي بمحاصيل عالية الإنتاجية تستنزف قدراً كبيراً من عناصر التغذية الأرضية في حالة زراعتها في أراضى الوادي والدلتا ، فما بالنا عندما تكون الزراعة في الأراضي حديثة لاستصلاح الفقيرة أصلاً في محتواها من العناصر الغذائية أو آلتي تعانى من مشاكل حادة تؤثر على تيسر هذه العناصر الغذائية للنبات. فإذا أضفنا إلى ذلك حرمان أراضى الوادي والدلتا من طمي النيل الغنى بالعناصر الغذائية منذ بناء السد العالي في الستينات والذي كان يعوض بعضاً من هذا النقص ، بالإضافة إلى عدم الاهتمام بإضافة الأسمدة البلدية وآلتي قل إنتاجها من جانب الفلاح لتغير نمط تربية ثروته الحيوانية ، كل هذا أوجب ضرورة التغذية المتزنة للمحاصيل المختلفة.

على الرغم مع التزايد المستمر فى أزمة الرقعة الزراعية بالإضافة إلى النقص المتزايد من المياة يعتبر القطاع الزراعي من أكثر القطاعات إستهلاكاً للمياه في إنتاج المحاصيل الزراعية يضاف إليها قطاع صناعة الزراعة السمكية والقائمة على زراعة أسماك المياه العذبة في المزارع الداخلية والبعيدة عن ساحل البحر، م ومعظمها مزارع لإنتاج البلطي بإستخدام البرك الأرضية ومعدات تهوية بدائية على درجة منخفضة من الكفاءة هذا إلى جانب الإعتماد على أعلاف بدائية التصنيع بغرض الخفض من تكاليف الإنتاج، حيث تساهم جميعها في التقليل من جودة المياه مما يضطر معه اللجوء إلى رفع معدلات تغيير المياه وبالتالي من إستهلاك المياه بكميات غير متكافئة مع مخرجات الإنتاج، وإزاء هذا الإستنزاف الكبير للموارد المائية ومنها الطبيعية (الجوفية) غير

المتجددة والشحيحة في ذاتها كان التحدى هو توفير احتياجات النبات من المياة والتربة والغذاء حتى فى أضيق المساحات لذا ظهرت تقنيات جديدة غير تقليدية تساهم فى صناعة طفرة فى مجال الزراعة وذلك بإيجاد بدائل فاعلة تعزز من معدلات الإنتاج دون إستنزاف للموارد المائية عبر تطبيق تلك التقنيات الحديثة.. وتعتبر الزراعه بدون تربه (اللاأرضية) مثال جيد حيث تلعب هذه التقنيه دوراً حيوياً فى تنمية المناطق التى يوجد فيها المياه بندره كبيره وتكون فيها الاراضى الصالحه للزراعه شحيحه. أيضاً في زراعة الأحياء المائية تتحقق معها صناعة سمكية مسؤولة ومستدامة من أبرز التقنيات التطبيقية الفاعلة في تنمية صناعة الزراعة السمكية والمتلائمة مع تلك الظروف تطبيق تقنيات زراعة الأحيومائية ومنها تقنية الأكوابونيك (تبات + أسماك) وسيتم هنا تناول تقنية الأكوابونيك بهدف تحقيق الفهم العام لدى الفئة المستهدفة من العاملين في مجال زراعة الأحياء المائية بوصف المفاهيم الأساسية لنظام الزراعة الأحيومائية (الأكوابونيك) بأسلوب بسيط كدليل إرشادي للتوعية وللتعليم.

وهذا الكتاب "أساسيات في تغذية النبات والزراعات اللاأرضية" يهدف إلى التعريف بالأسس العلمية والنظرية للتربة الزراعية ، وخصائصها الطبيعية والكيميائية ، والتفاعلات الحادثة بها ، وعلاقة ذلك بتيسر العناصر الغذائية للنبات وكيفية امتصاص النبات لتلك العناصر ، والحدود الحرجة للعناصر الغذائية في التربة وفى داخل النبات ودور هذه العناصر في العمليات الحيوية من تخليق وبناء ، وما يترتب عليها في حالة النقص والزيادة وكيفية علاج مثل هذه الحالات.

كما يهدف الكتاب أيضاً إلى إبراز علم تغذية النبات كفن نستطيع من خلاله زراعة النباتات وتغذيتها بعيداً عن الأرض الطبيعية وظروفها وتفاعلاتها آلتي قد تكون عائقاً ومحددة لنمو النباتات بها ، وهو ما أصبح علماً يعرف "بالزراعة اللاأرضية" بالإضافة إلى مزارع الأكوابونيك (نبات + أسماك) والذي من خلاله يمكن زيادة الإنتاج بدون استخدام أرض صالحة أو غير صالحة للزراعة باستخدام تقنيات حديثة ومبتكرة تستخدم كميات من المياه ومن الأسمدة أقل مما يمكن استخدامه في الزراعة بالأراضي الخصبة.

ونأمل أن يكون هذا الجهد المتواضع إضافة إلى المكتبة العربية يستفيد منه الطلاب والباحثين في الكليات والمعاهد الزراعية والعاملين في مجال الإنتاج الزراعي في مصر وعالمنا العربي ... والله ولى التوفيق.

المؤلفان

المحتويات **الصفحة**

مقدمة----------

الفصل الأول

- علم تغذية النبات----------
- الأرض كبيئة لنمو النبات----------
- مكونات نظام الأرض----------
- صور تواجد العنصر فى الطور الصلب ----------
- مصادر الشحنة الكهربية على معادن الطين----------

الفصل الثانى

- المحلول الأرضى----------
- العناصر الموجودة فى الهواء الأرضى ----------
- صورة تواجد العناصر الغذائية فى الأرض----------
- التبادل الأيونى والسعة التبادلية الكاتيونية ----------
- التبادل الأيونى على جذور النبات----------

الفصل الثالث

- كيفية حصول النبات على حاجته من العنصر الغذائى----------
- انتقال العناصر الغذائية إلى سطح جذر النبات----------
- الاعتراض الجذرى----------
- التدفق الكتلى ----------
- الانتشار----------
- امتصاص الأيونات بواسطة جذور النبات----------
- تركيب الجذر----------
- تركيب الخلية النباتية----------
- نظريات الامتصاص ----------
- الامتصاص البسيط----------
- التحول الكيميائى----------
- الامتصاص التبادلى----------
- الامتصاص النشط ----------
- صعود الأيونات من الجذر إلى الأجزاء الهوائية----------

الفصل الرابع

- العناصر الغذائية الضرورية للنبات----------
- مكونات النبات----------
- العناصر الغذائية الكبرى ----------
- النيتروجين----------
- النيتروجين فى الأرض----------
- النيتروجين فى النبات ----------
- أعراض نقص النيتروجين على النبات----------
- الأسمدة المحتوية على النيتروجين----------

الفصل الخامس

- **الفوسفور**----------
- الفوسفور فى الأرض ----------
- الفوسفور فى النبات----------
- أعراض نقص الفوسفورعلى النبات ----------
- الأسمدة المحتوية على الفوسفور ----------

الفصل السادس

- **البوتاسيوم**----------
- البوتاسيوم فى الأرض----------
- البوتاسيوم فى النبات ----------
- أعراض نقص االبوتاسيوم على البوتاسيوم----------
- الأسمدة المحتوية على البوتاسيوم ----------
- **الكبريت**----------
- الكبريت فى الأرض ----------
- الكبريت فى النبات----------
- أعراض نقص الكبريت على النبات ----------
- الأسمدة المحتوية على الكبريت
- **الكالسيوم** ----------
- الكالسيوم فى التربة ----------
- الكالسيوم فى النبات----------
- أعراض نقص الكالسيوم على النبات ----------
- الأسمدة المحتوية على الكالسيوم ----------
- **الماغنسيوم** ----------
- الماغنسيوم فى التربة----------
- الماغنسيوم فى النبات ----------
- أعراض نقص الماغنسيوم على النبات----------
- الأسمدة المحتوية على الماغنسيوم----------

الفصل السابع

- **العناصر المغذية الصغرى** ----------
- **الزنك** ----------
- الزنك فى الأرض----------
- الزنك فى النبات ----------
- أعراض نقص الزنك على النبات----------
- الأسمدة المحتوية على الزنك----------
- **الحديد** ----------
- الحديد فى الأرض ----------
- الحديد فى النبات----------
- أعراض نقص الحديد على النبات ----------
- الأسمدة المحتوية على الحديد ----------
- **المنجنيز** ----------
- المنجنيز فى الأرض ----------

- المنجنيز فى النبات----------
- أعراض نقص المنجنيز على النبات ----------
- الأسمدة المحتوية على المنجنيز ----------
- النحاس ----------
- النحاس فى الأرض ----------
- النحاس فى النبات----------
- أعراض نقص النحاس على النبات ----------
- الأسمدة المحتوية على النحاس----------
- البورون ----------
- البورون فى الأرض ----------
- البورون فى النبات----------
- أعراض نقص البورون على النبات ----------
- الأسمدة المحتوية على البورون ----------
- الموليبدنم----------
- الموليبدنم فى الأرض ----------
- الموليبدنم فى النبات----------
- أعراض نقص الموليبدنم على النبات ----------
- الأسمدة المحتوية على الموليبدنم ----------
- الكلورين----------
- الكلورين فى الأرض----------
- الكلورين فى النبات ----------
- أعراض نقص الكلورين على النبات----------
- المركبات المخلبية (الكيلاتية) الصناعية----------
- المركبات المخلبية والتسميد بالرش----------

الفصل الثامن

- تغذية النباتات في الزراعات اللاأرضية

- المحاليل المغذية----------
- الشروط الواجب توافرها فى المحلول المغذى ----------
- تركيز العناصر فى المحلول المغذى----------
- كيف يمكنك تحضير المحلول المغذى----------
- صور النيتروجين فى المحلول المغذى----------
- ضبط pH المحلول المغذى بعد تحضيره ----------
- قياس تركيز الأملاح فى المحلول المغذى ----------
- المحلول المغذى المركز ----------
- أمثلة للمحاليل المغذية المركزة----------
- أمثلة للمحاليل المغذية المستخدمة تجارياً----------
- بعض العوامل المؤثرة على تركيب المحلول المغذى----------
- خطوات تحضير المحاليل المغذية من الأسمدة التجارية ----------

الفصل التاسع

- نماذج للمزارع اللاأرضية----------

- مزارع المحاليل المغذية----------
- مزارع المحاليل المغذية الساكنة----------
- مزارع المحاليل المغذية المتدفقة ----------
- مزارع الأغشية المغذية ----------
- المزارع الهوائية----------
الفصل العاشر
- الزراعة السمكية النباتية التكاملية ----------
الفصل الحادى عشر
- مزارع البيئات الصلبة ----------
- الشروط الواجب توافرها فى بيئة النمو ----------
- أنواع بيئات النمو الصلبة فى العالم----------
- نماذج لمزارع البيئات الصلبة ----------
- مزارع الحصى ----------
- المراقد وأحواض النمو. ----------
- المواد المستخدمة فى الإنشاءات----------
- طرق الرى فى مزارع الحصى ----------
- تعقيم بيئة الحصى----------
- مزايا وعيوب مزارع الحصى ----------
- المزارع الرملية ----------
- إنشاء المزارع الرملية----------
- رى المزارع الرملية ----------
- تعقيم بيئة المزارع الرملية----------
- مزايا وعيوب المزارع الرملية----------
- الزارعة فى بيئات الألياف----------
- مزارع الصوف الصخرى----------
- مزارع صوف الخبث المصرى----------
- مزارع الصوف الزجاجى ----------
- مزارع الفوم----------
- المزارع المستوية فى الألياف الصناعية ----------
- الزراعة على بالات قش الأرز----------
الفصل الثانى عشر
صورأعراض نقص العناصر المغذية على النباتات
- ملاحق----------
- المراجع----------

الفصل الأول

علم تغذية النبات
Plant Nutrition

الفصل الأول

علم تغذية النبات
Plant Nutrition

موقع علم تغذية النبات من العلوم الأخرى

تقسم العلوم عامة إلى علوم أساسيه بحتة Fundamental Sciences وهى التي تهدف آلي معرفة سر الكون وظواهره المختلفة والأسباب التي أدت إلى هذه الظاهرة وعلاقة هذه الظواهر ببعضها ومن أمثلة ذلك: علوم الكيمياء–الطبيعة–الرياضة– الحيوان – النبات والوراثة.....الخ. أما العلوم تطبيقيه Applied Sciences فتهدف فى دراستها إلى تطبيق العلوم البحتة السابق ذكرها مثال ذلك العلوم الزراعية (علوم المحاصيل–الألبان–الصناعات الغذائية – أمراض النبات–الإنتاج الحيوانى–الحشرات–مبيدات الآفات–الوراثة–المجتمع الريفى–الاقتصاد الزراعى علوم الأراضي Soil sciences).

وتنقسم علوم الأراضى إلى: **علوم أساسية**، أيضاً تهتم بدراسة الأرض كجسم طبيعى يطلق عليه البيدولوجى Pedology ويندرج تحته علوم مورفولوجيا الأراضى Soil morphology – تقسيم الأراضى Soil classification حصر الأراضىSoil survey وتصنيف الأراضى Soil toxonomy.

علوم تطبيقيه، تدرس مدى صلاحية الأرض للنبات والعمل على توفير الظروف الملائمة للإنتاج ويطلق عليه الإيدافولوجى Edaphology ويشمل معظم علوم الأراضى مثل كيمياء الأراضى Soil chemistry طبيعة الأراضى Soil physics. أيضاً يشمل علم خصوبة الأراضى Soil fertility والذى يهتم بدراسة التفاعلات الطبيعية والكيميائية التى تسلكها العناصر فى الأرض حتى تصبح فى صورة صالحة للنبات. وفى نفس الوقت يدرس علم الإيدافولوجى امتصاص وانتقال العناصر من الأرض إلى النبات وهو مضمون علم تغذية النبات Plant nutrition. وعلى هذا فعلم تغذية النبات هو أحد فروع العلوم الزراعية التطبيقية الذى يختص بدراسة الأرض وخصائصها والتفاعلات الحادثة بها وعلاقتها بالنباتات النامية عليها والتى تهدف إلى محاولة تحسين إنتاجية هذه النباتات كماً ونوعاً.

– هذا بجانب علوم أخرى مثل صيانة الأراضى Soil conservation، علم إدارة الأراضى Siol management والذى يهتم بدراسة العمليات الزراعية التى تحافظ على البناء المرغوب للأرض وتحرك الماء الأرضى والتسميد وإصلاح الأراضى.

الأرض كبيئة لنمو النبات Soil as a medium for plant growth

على الرغم من أن كلمة تربة Soil تشير إلى الطبقة السطحية المجواه و المفككة من القشرة الأرضية و الصخور الصلبة إلا أنها كالعديد من الكلمات الشائعة الاستخدام فى الحياة العامة يتم تفسيرها بأكثر من طريقة وبأكثر من أسلوب. فالرجل العادى ينظر إلى الأرض على أنها شيئاً سائبا يطلق عليه "التراب" منتشر على سطح الكرة الأرضية، والمرأة العادية تنظر إليها على أنها ذلك الشىء الذى يعلق بحذائها أو يتطاير ليتراكم على أثاث شقتها ويحتاج إلى الإزالة والتنظيف، والمهندس المدنى ينظر إلى الأرض على أنها مكان إقامة المنشئات بينما تعنى الأرض بالنسبة للجيولوجى بأنها المواد الجيولوجية الناتجة من تحلل الصخور والمعادن الأرضية وبالنسبة للفلاح فهى البيئة التى تنمو فيها المحاصيل. وتعتبر هذه التعريفات محدودة المفهوم حيث أن الأرض كظاهرة تشمل مزيدا من التفصيلات أشار إليها اثنين من علماء الأراضى وهما دوكيوشيف Dokuchiev الروسى وهيلجارد Hilgard الأمريكى. وقد أشار كلٍ منهما – مستقلا عن الآخر – إلى أن الأرض جسم معقد يتميز بالديناميكية عند سطح القشرة الأرضية ويرتبط بشكل عام مع ظروف المناخ.

وهناك وصف مقبول لما تعنيه كلمة تربة والذى وضع كتعريف عام ذكر فى دليل حصر الأراضى Soil Survey Manual سنة 1951 وتقسيم الأراضى Soil Taxonomy سنة 1975 وعرف الأرض أو التربة Soil على أنها عبارة عن " كتلة طبيعية متجمعة على سطح الكرة الأرضية وتحتوى على المادة الحية وتقوم بتدعيم النباتات ولها من الصفات والخصائص التى تختلف عن طبقة الصخور الواقعة تحتها كنتيجة لتفاعلات متداخلة خلال وحدة الزمن والمناخ وفى وجود الكائنات الحية الدقيقة ومادة الأصل وطبغرافية المكان". هذا التعريف يأخذ فى الاعتبار الشكل الطبيعى للأرض والعديد من التفاعلات المختلفة والتى تعمل كعوامل تكوين الأراضى. ولذلك فالتربة عبارة عن مادة شديدة التعقيد تتكون من الحبيبات معدنية الناتجة من تجوية الصخور وأخرى عضوية ناتجة من تحلل المادة العضوية، والكائنات الحية الدقيقة بالإضافة إلى الماء والهواء الأرضى. والتربة الجيدة تأخذ عدة مئات من السنوات حتى تتكون

نتيجة للتفاعلات المختلفة بالصخور تحت ظروف الحرارة والماء والعوامل البيولوجية بالإضافة إلى تحلل البقايا النباتية والحيوانية بواسطة الكائنات الحية الدقيقة والحيوانات الأرضية، وعلى ذلك تنشأ أرض مختلفة فى صفاتها الكيميائية الأمر الذى يؤدى إلى تغير صفات التربة باستمرار. وحيث أن هناك اختلافات كبيرة فى نوعية الصخور والنموات النباتية والمناخ وطبغرافية السطح بالإضافة إلى فترة نشاط عمليات التكوين من مكان إلى آخر على ذلك يكون من المتوقع تكوين أراضى تختلف كثيرا فى مكوناتها وصفاتها من حيث التركيب واللون والقوام. فالقطاع الأرضى لبعضها يكون عميق وللبعض الآخر يكون سطحى.

وتعتبر الأرض الزراعية soil المهد الطبيعى لنمو النبات، وفيها تمتد جذوره وتتعمق باحثة عن الماء والغذاء، وبالتالى يتأثر نمو النبات بخواص هذا المهد وقدرته على إمداد النبات باحتياجاته من العناصر الغذائية المختلفة بالكميات المناسبة وفى الوقت المناسب.

مكونات نظام الأرض Components of the soil system

تتركب الأرض من ثلاث مكونات رئيسيه وهى:

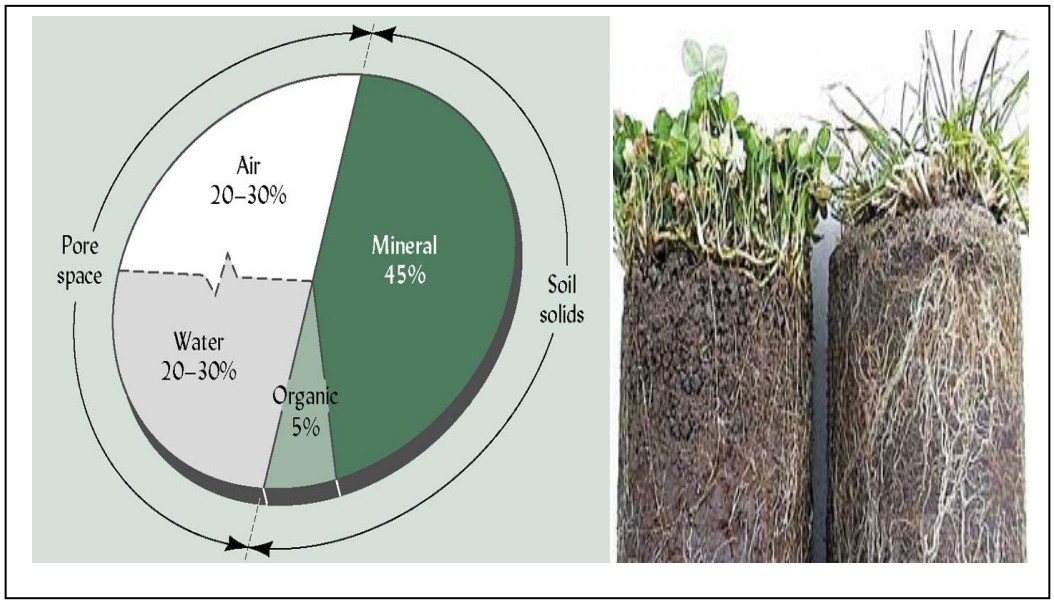
أولا: الطور الصلب Solid phase والمتمثل فى مخلوط مختلف التركيب من معادن مختلفة فى درجة تجويتها والناتجة من عمليات التجوية الطبيعية والكيميائية والحيوية للصخور الأصلية وكذلك من مواد عضويه ناتجة من تحلل بقايا النباتات والحيوانات والكائنات الدقيقة.

ثانيا: الطور السائل Liquid phase والذى يعبر عنه بالمحلول الأرضى Soil Solution، وهو المحلول الناتج عن إذابة المواد السهلة الذوبان سواء كانت عضوية أو معدنية والموجودة فى الأرض عند تعرضها للماء.

ثالثاً: الهواء الأرضى ويطلق عليه أيضا الطور الغازى Gaseous phase

ويمثل شكل (1-1) النسب التقريبية للمكونات الثلاثة السابق ذكرها، وتتكون هذه النسب فى أرض طمييه سلتيه Silty loam تحت الظروف المثلى لنمو النبات، 50% جزء صلب (45%معدنى، 5%عضوى) بالحجم والـ 50% الأخرى عبارة عن المسافات البينية بين الحبيبات Pore spaces وهى ممتلئة بالماء والهواء. وعند الظروف المثلى لنمو النبات تكون المسافات البينية بين الحبيبات نصفها (25% من الحجم الكلى للأرض) مملوء بالماء والنصف الآخر مملوء بالهواء.

وبصفه عامه نجد أن حجم الجزء الصلب يمكن أن يزداد أو يقل حسب وجود المادة العضوية، ويرجع ذلك لأن كثافة المادة العضوية قليلة حيث تكون فى العادة أقل من 1 جم/ سم^3 وبالتالى يكون حجمها كبير وعلى هذا يمكن أن يتغير حجم الجزء الصلب على حساب المسافات البينية. وفى نفس الوقت أيضا يمكن يتغير حجم الجزء السائل على حساب الجزء الغازى والعكس. وعلى هذا يمكن أن يحدث تغير طفيف فى نسب هذه المكونات من أرض إلى أخرى وفى نفس الوقت من زمن إلى آخر لنفس الأرض.



شكل (1 – 1) مكونات الطبقة السطحية للتربة الزراعية حجماً

وعموما يكن التغير ملحوظاً فى حجم الطور السائل والطور الغازى وفى نفس الوقت يحدث هذا التغير بسرعة تحت الظروف الطبيعية المؤثرة فى التربة مثل المناخ – طور النمو فى النبات – الرى وعمليات الخدمة وخلافه. وبصفة عامه تتواجد هذه المكونات الأربع للأرض فى حالة تداخل واختلاط شديد مع بعضها البعض مما يؤدى إلى كثرة التفاعلات داخل كل مكون أو بين المكونات بعضها البعض مما ينشأ عنه تغيرات محسوسة فى الظروف المحيطة بنمو النبات.

ومن الطبيعى أن تكون الكميه الممتصة من العناصر الضرورية للنبات متوقفة على كميتها فى التربة وبالتالى الصورة التى تتواجد عليها فى الأطوار الثلاثة المكونة للنظام الأرضى. وعلى هذا سوف نتناول صور تواجد العناصر فى كل مكون من المكونات السابقه:-

1- صورة تواجد العناصر فى الطور الصلب

يعتبر الطور الصلب بما يحتويه من حبيبات معدنية وعضويه هو المصدر الرئيسى لمعظم المغذيات النباتية. وتمثل المادة المعدنية حوالى 95% من وزن الجزء الصلب فى الأراضى المعدنية وهذه المادة المعدنية تنتج من عمليات التجويه الطبيعية والكيميائية والحيوية للصخور والرواسب التى تتكون منها الأرض وعلى ذلك فهى تعكس الصفات الخاصة لصخور مادة الأصل التى نشأت منها.

والتركيب الكيميائى العام للصخور والمعادن توضحه البيانات المدونة فى جدول (1-1)، ومنها نلاحظ أن 8 عناصر فقط من مجموع العناصر الكيميائية والبالغ عددها 92 عنصر توجد بتركيزات أكبر من 1%، ومنها 4 عناصر فقط

جدول (1-1): التركيب الكيميائى لطبقة الليزوسفير Lithosphere

كنسبة مئوية بالوزن. * = عناصر مغذية للنبات.

العنصر	%	العنصر	%
الأكسجين	46.7	الكالسيوم*	3.7
السليكون	27.7	الصوديوم	2.8
الألومنيوم	8.1	البوتاسيوم*	2.6
الحديد*	5.1	الماغنسيوم*	2.1
باقى العناصر وتمثل 1.2%			

تعتبر عناصر مغذية للنبات وهى الحديد، الكالسيوم، البوتاسيوم و الماغنسيوم. بينما باقى العناصر المغذية للنبات فتتواجد بكمية أقل من 0.1% فمثلاً الفوسفور وهو أكبر العناصر توافراً فى التربة يتواجد بتركيز حوالى 0.1%. وهنا يجب التأكيد بأن لا يوجد نيتروجين إطلاقاً داخل التركيب الكيميائى للصخور والمعادن الأرضية بينما يوجد فقط فى مكونات المادة العضوية بالتربة.

وعموما لا تتواجد العناصر الغذائية فى صوره منفردة فى الأرض، بل تتواجد فى صورة مركبات كيميائية معدنية وعضويه ويمكن تقسيم هذه المركبات إلى:

أولا: المعادن الأولية: Primary minerals

وهى المعادن السائدة فى الجزء الخشن من الأرض كالسلت والرمل (2., –5., مم) وهذه المعادن تنتج من تفتت الصخور بفعل عوامل التجوية الطبيعية والتى لم يتغير تركيبها الكيميائى عما كانت عليه فى الصخر الأصلى. وترجع أهمية هذه المعادن إلى أنها مخزن للعناصر الغذائية التى يحتاجها النبات. وبتعرض هذه المعادن للتجويه الكيميائية (مثل الذوبان –التحلل المائى–الكربنه) تنطلق العناصر الغذائية الموجودة بها إلى المحلول الأرضى على صوره ميسرة للامتصاص بواسطة النبات. والمعادن الشائعة فى التركيب المعدنى للسلت والرمل هى :

أ – معادن سليكاتيه:

وهذه المعادن منها:

1–الكوارتز SiO_2 : وهو صعب الذوبان جدا". ومقاوم للتعرية ويكون حبيبات مفرده. ولا تحتوى على أى عناصر غذائية ولكنها تُسهم فى تكوين الهيكل العام للأرض.

2–معادن الفلسبارات Feldspars: وهى تشكل نسبه كبيره من المعادن المكونة للصخور، وتختلف الفلسبارات فى تركيبها حسب نوع القواعد الموجودة فيها سواء كانت بوتاسيوم مثل الأورثوكلاز $K\ AL\ Si_3O_8$ وهو مقاوم للتعرية ولكن يتأثر بالتحلل المائى ويكون مصدر للبوتاسيوم فى الأرض. والبلاجيوكلاز Plagioclase ويعرف باسم الفلسبارات الصوديه الكالسيه وتشمل البيت $Na\ AL\ Si_3O_8$ وهو قابل للتعرية بسرعة عن الأرثوكلاز، والأنوروثيت $Ca\ AL\ Si_2O_8$ ويعتبر من مصادر الكالسيوم فى الأرض.

3–معادن الميكا Micas : وهى تتبع مجموعة السليكات الورقية والصفائحيه ومنها ميكا مسكوفيت Mica muscovite ورمزها الكيميائى $K(Si,AL)_4AL_2O_{10}\ (OH)_2$ وتسمى بالميكا البيضاء وعند تحللها تعطى معادن الطين وعنصر البوتاسيوم. ومنها أيضا" الميكا السوداء Mica biotite ورمزها الكيميائى $K(Si,Al)_4(Fe,Mg)_3O_{10}(OH)_2$ ولونها غامق وعند تحللها ينطلق منها البوتاسيوم والحديد.

4-الأمفيبولات والبيروكسين Amphiboles & Pyroxene: ومنها الأوجيت (بيروكسين) (Ca Mg,AL, Fe)Si_2O_6 والهورنبلند (أمفيبول) (Ca (Mg,Na, Fe, AL) Si_4O_{11} وهذه المعادن عند تجويتها تعطى معادن الطين، وتكون مصدر لعناصر البوتاسيوم والماغنسيوم والحديد.

5-الأوليفينات Olivines: ورمزها (Mg,Fe) SiO_3، وعند تحللها تعطى معادن طين غنيه بالحديد ونظرا" لسهولة تجوية هذه المعدن فإنها تُسهم فى خصوبة الأراضى التى تتواجد بها ومن الأوليفينات الفورستريت (سليكات ماغنسيوم) والفيالايت (سليكات حديدوز).

6-التورمالين Tourmaline : ورمزها $Na(Mg,Fe)_3AL_6(BO_3)_3$ ويعتبر هذا المعدن ذو أهميه خاصه من وجهة نظر كيمياء الأراضى وتغذية النبات لإحتوائه على عنصر البورون.

ب - المعادن غير سليكاتيه:

وتشمل هذه المجموعة مايلى:

1-معادن الكبريتات والكبريتيدات: ومن أهمها الجبسGypsum ورمزه الكيميائى $CaSO_4\ 2H_2O$ ويتراكم فى أراضى المناطق الجافه وشبه الجافه. ومن أمثلة الكبريتيدات معدن Pyrite (كبريتيد حديدFeS_2) وهو مصدر للحديد والكبريت.

2-معادن الفوسفات : وأشهرها معادن مجموعة الأباتيت Apatite group وتركيبها العام $Ca_{10}(F,OH, GL)_2(Po_4)_6$ وهى المصدر الأساسى للفوسفات فى الأرض.

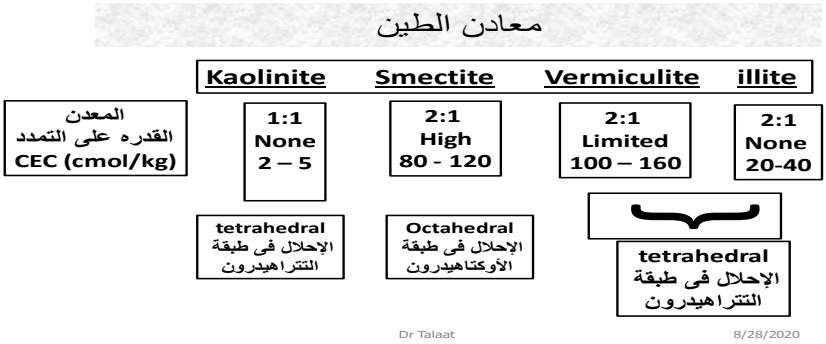
3- معادن الكربونات: وأكثرها شيوعا"فى الأراضى الكالسيت $CaCO_3$ والماغنيسيت $MgCO_3$ والدولوميت$Ca,Mg(CO_3)_2$) والسيدريت $FeCO_3$ ولكنها أقل شيوعا".وهذه المركبات قليلة الذوبان فى الماء وتذوب نسبيا" فى المحاليل الحمضيه، وتعتبر مصدراً للكالسيوم والماغنسيوم.

4 - الأكاسيد والأيدروكسيدات: وهى تكون فى صورة مساحيق مغلفة لحبيبات الرمل والسلت والطين. ومن أمثلة المعادن التى تتواجد فى الجزء الخشن من الأرض، أكاسيد الألومنيوم مثل الكوراندم AL_2O_3، الهيماتيت Fe_2O_3، المجناتيت Fe_3O_4 وهذا المركب يكسب الأرض اللون الأحمر.

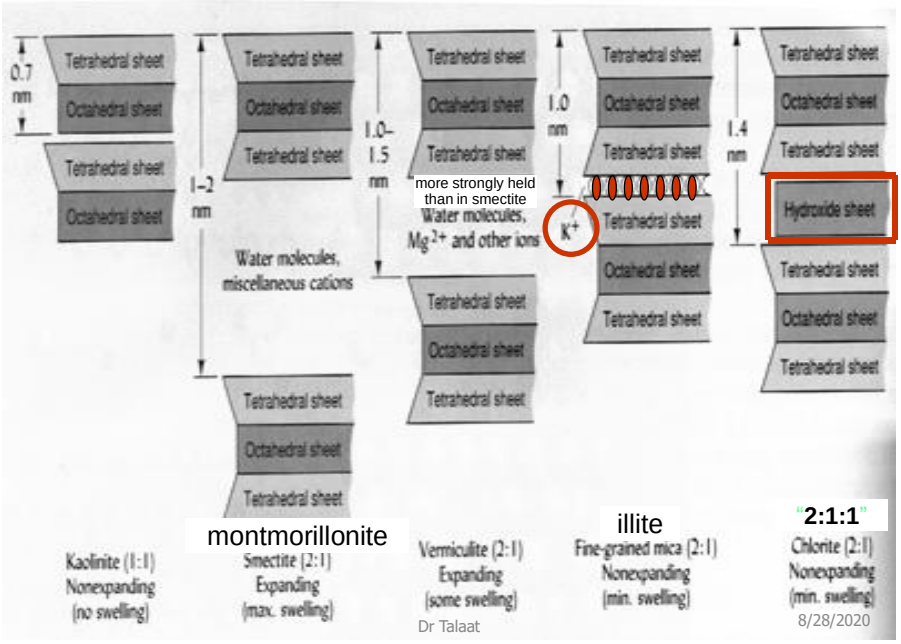
ثانيا": المعادن الثانوية Secondary Minerals

وتشمل المعادن التى تنتج من التجويه الكيميائية للمعادن الأولية، وعلى ذلك فيكون لها تركيب كيميائى جديد وتتواجد هذه المعادن غالبا" فى الجزء الناعم من الأرض والذى يقل قطر حبيباته عن 2 ميكرون. ويطلق على هذا الجزء الناعم من الأرض اسم الطين Clay.

جدول (1– 2): تركيب وصفات أهم معادن الطين.



رسم توضيحى يبين تركيب معادن الطين المختلفة وقدرتها على التمدد



ويتركب الطين من حبيبات تختلف فى تركيبها الكيميائى والمعدنى، وتنتمى إلى أكثر من مجموعة من المركبات والمعادن المختلفة. وجدول (1–2) يوضح باختصار تركيب وصفات هذه المجموعات. وترجع أهمية المعادن الثانوية إلى زيادة سطحها النوعى والذى يحمل شحنات كهربائية تكون الغالبية العظمى منها سالبة والذى يدمص عليها الكاتيونات الغذائية، ويمكن لهذه

الكاتيونات أن تنطلق إلى المحلول الأرضى عن طريق عملية التبادل الأيونى. وعلى ذلك نجد أن المعادن الثانوية تتحكم فى تركيز الأيونات المختلفة فى المحلول الأرضى، وبالتالى السعة التبادلية الكاتيونية والتى لها دور أساسى فى تغذية النبات.

مصدر الشحنة السالبة على أسطح الطين

1- الإحلال المتماثل Isomorphous substitution

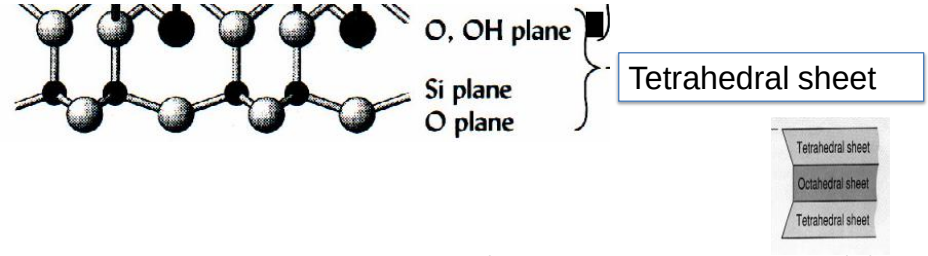
ويعتبر المصدر الرئيسى للشحنة السالبة لمعادن الطين. وهو إحلال كاتيونات ذات تكافؤ أقل محل كاتيونات آخرى ذات تكافؤ أعلى فى الوحدة البللورية للمعدن مما يجعل صافى الشحنة سالب (لأن صافى الشحنة للبلوره قبل الإحلال متعادل) وعادة لا تتأثر هذه الشحنة بالعوامل الخارجية مثل درجة الـ pH فى المحلول الخارجى مما يجعل هذه الشحنات من النوع الثابت. والإحلال الشائع هو إحلال الألومنيوم الثلاثى محل أيون السليكون الرباعى فى طبقة التتراهيدرا، وكذلك إحلال الماغنسيم والحديد الثنائى محل الألومنيوم فى طبقة الأوكتاهيدرا. والشحنة السالبة الناتجة فى الحالة الأولى تكون قريبه من السطح، بينما فى الحالة الثانية تكون بعيدة عنه، ولذلك يعتقد أن الأيونات المد مصه على أسطح المعادن تكون ممسوكة بقوه أكبر إذا كان مصدر الشحنة هو طبقة التتراهيدرا كما هو الحال فى معدن الميكا والفيرميكيولايت. وتكون ممسوكة بقوة اقل إذا كان مصدر الشحنة هو طبقة الأوكتاهيدرا. كذلك يعتبر الإحلال المتماثل المصدر الأساسى للسعة التبادلية الكاتيونية فى معادن (1:2) مثل المونتيموريللونيت والفيرميكيولايت، أما مجموعة (1:1) ومنها الكاؤولينيت فتتميز بانخفاض شحنتها نظراً لعدم وجود إحلال متماثل فى وحداتها البنائيه.

Substitution in tetrahedral sheet
الإحلال فى طبقة التتراهيدرون ايون الألومونيوم محل سيليكون

Si_2O_4 ⟶ $SiAlO_4$

+8, -8 neutral

+4, +3, -8 negative

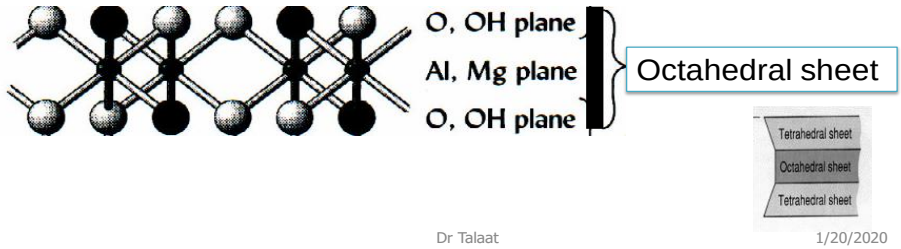


Substitution in octahedral sheet
الإحلال فى طبقة الاوكتاهيدرون ايون ماغنسيوم محل الومونيوم

$(OH)_2Al_2O_2$ ⟶ $(OH)_2AlMgO_2$

-2, +6, -4 neutral

-2, +3, +2, -4 negative



2- الروابط المكسورة Broken bonds

عند تكسير المعدن إلى حبيبات صغيرة فإننا نجد أن الروابط الموجودة على الحواف تصبح غير مشبعة وبزيادة عدد هذه الروابط المكسورة تزداد السعه التبادلية الكاتيونيه الناشئة عنها، وهذا المصدر هو المسئول عن السعة التبادلية الكاتيونية لمعادن الكاؤولينيت والهالوسيت والأليت .

3- تأين الأيدروجين

يحدث ذلك من مجموعة الأيدروكسيل المعرضة على سطح المعادن والناتجة من الروابط المكسورة. أما مجاميع الأيدروكسيل الموجودة فى بناء المعدن فمن الصعب حدوث تأين لها .

4- العيوب البلورية

وهى عيوب تنتج أثناء بلورة المعادن فى محاليل لا تحتوى على كميات متكافئة من الكاتيونات أو الأنيونات ويؤدى ذلك إلى امتصاص سطحى لبعض الأيونات الأخرى مما يؤدى فى النهاية إلى تكوين شحنه على البللوره قد تكون سالبة إذا حدث زيادة فى امتصاص الأنيونات عن الكاتيونات، أو تكون موجبة إذا حدث العكس. وتعتبر أهمية هذا المصدر للشحنة السالبة قليل جدا".

5- الشحنة المتوقفة على الـ pH

حيث تزداد الشحنات أو تقل حسب رقم pH الوسط فتزداد الشحنة السالبة وتنخفض الشحنات الموجبة فى الوسط القلوى بزيادة تأين المجاميع الحامضيه ونقص اكتساب البروتون H^+ إلى المجاميع القاعدية. وفى حالة انخفاض رقم pH الوسط فإن الشحنة تسلك عكس هذا المسلك، أى زيادة الشحنة الموجبة ونقص الشحنة السالبة كما هو موضح فى المعادلات.

تحت ظروف الأراضى القلوية:

$$\text{Si - Clay -OH} + OH^- \Rightarrow \text{Si - Clay - } O^- + H_2O$$

سطح الطين السليكاتى ← سطح الطين السليكاتى

تحت ظروف الأراضى الحامضية:

$$\text{Si - Clay -OH} + H^+ \Rightarrow \text{Si - Clay - } OH_2^+$$

سطح الطين السليكاتى ← سطح الطين السليكاتى

ويتضح مما سبق وجود شحنة سالبة على معظم معادن الطين أياً كان مصدرها وهذه الشحنات السالبة لابد من توازنها ويتم ذلك عن طريق إدمصاص الأيونات السابحة فى المحلول الأرضى ويمكن لهذه الأيونات (كاتيونات) أن تخرج إلى المحلول الأرضى مرة آخرى مما يُكسب

هذه المعادن القدرة على التبادل الأيونى. وعلى ذلك نجد أن المعادن الثانوية تتحكم فى تركيز الأيونات المختلفة فى المحلول الأرضى، وتعتبر الأيونات المدمصه مخزون أساسى لغذاء النبات.

وتختلف كميات الكاتيونات القابلة للتبادل فى الأرض باختلاف السعة التبادلية الكاتيونية والتى تتوقف على قوام الأرض، نوع معدن الطين حيث تزداد كميات الكاتيونات المتبادلة كلما زادت كمية الطين فى الأرض. وأهم المعادن الثانوية التى لها أسطح نشطه هى معادن الطين ومنها الكاؤولينيت – الإليت –المونتيموريللونيت والتى تختلف فى سعتها التبادلية الكاتيونية مابين 3–15، 30–40، 80–150 ملليمكافىء/100جم معدن على التوالى. ومن الجدير بالذكر أن الحبيبات الغروية، معدنية كانت أو عضوية أو معقدة (المعقد الغروى يكون ناشىء من اتحاد الطين والدبال فى مركب يطلق عليه اسم المعقد الغروى Clay-humus complex تلعب دوراً هاماً في تحديد الخواص الطبيعية والكيميائية للأرض، فكلما زاد مقدارها فى الأرض كلما زادت الأرض تماسكاً وقدره على حفظ الماء وقل فقد الماء منها بالرشح والبخر، واتسعت قدرتها على اختزان عناصر الغذاء النباتى في صوره صالحة للاستعمال. ويمكن إيجاز أهمية كمية الطين في التربة الزراعية فى النقاط الآتية:

1– أن الطين ذو أقطار تدخل في حدود الأقطار الغروية، ولذلك فإن سطحه النوعى كبير جداً مما يترتب عليه زيادة كبيرة في الماء الممتص أو المرسب على صورة ماء أيجروسكوبى، وعلى هذا تتوافر البيئة الصالحة لنمو النبات.
2– الطين حساس للإلكتروليتات فيتجمع بها، أى أن له خواص كهروكيميائية وعلى ذلك فإنه يدخل في تفاعلات كيميائية هامة ذات أبعاد كبيره في تغذية النبات مثل تبادل الأيونات وتثبيتها.
3– محتوى الأرض من هذا الجزء الغروى تؤثر على الصفات والخواص الطبيعية المميزة للأرض مثل البناء –النفاذية –التماسك –حركة الماء.....إلخ. وهذه الصفات لها تأثيرها الكبير على نمو النبات.
4– يدخل في تركيب معادن الطين كثيراً من العناصر الغذائية اللازمة لنمو النبات وبالتالى فهى مصدر هام لهذه العناصر .
5– محتوى الأرض من الطين يكون دلالة على مدى شدة عملية التجوية الكيميائية المختلفة والتى تعرضت لها أثناء تكوينها.
6– السعه التنظيمية Buffering capacity للأرض (مقاومة الأرض للتغير فى رقم PH الأرض) وتتأثر بوجود الغرويات المعدنية والعضوية، مثل الطين والدبال، والتى تعمل كأحماض

ضعيفة التأين، كما ترجع إلى وجود الكربونات، وخاصة مركبات الكالسيوم والماغنسيوم. والواقع أن قدرة الأرض التنظيمية تتناسب طردياً مع كمية ما بها من الطين والمواد العضوية الدبالية وكربونات الكالسيوم.

ثالثاً: المادة العضوية Organic matter

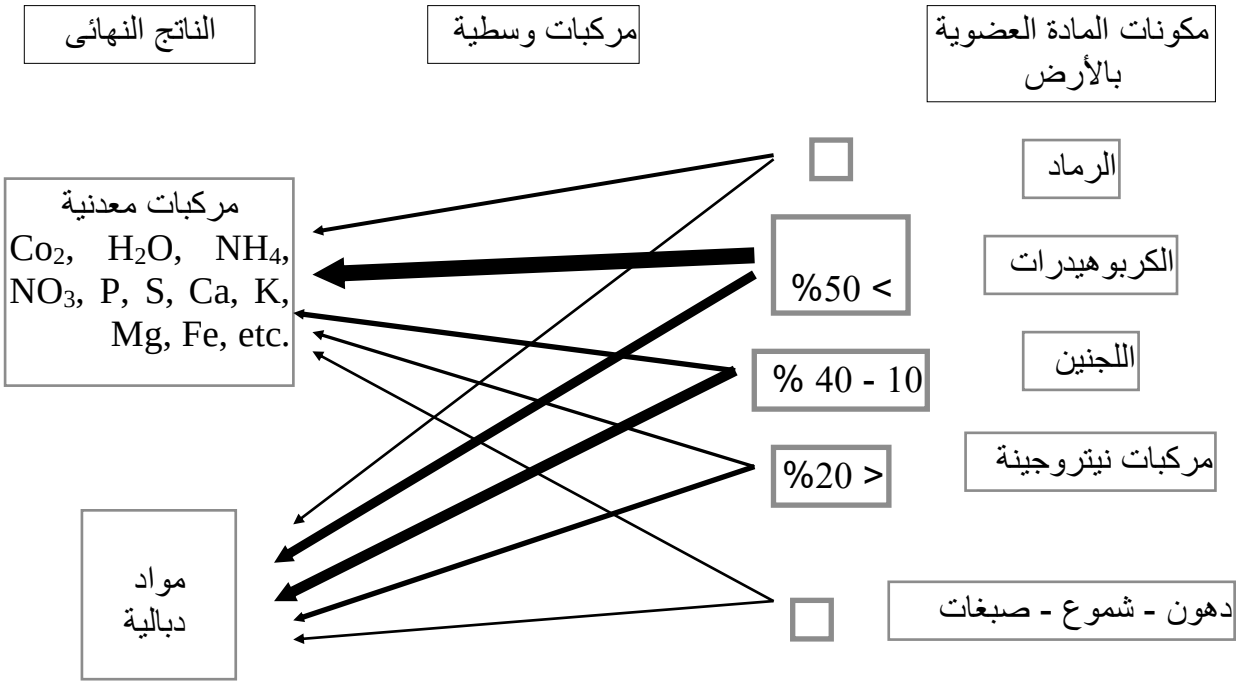
تُعتبر المادة العضوية من أهم مكونات الأرض ذات النشاط الكيميائى. ويختلف محتوى الأراضى من المادة العضوية، حيث تكون نسبتها فى أراضى المناطق الجافة ذات المناخ الحار منخفضة.وتتكون المادة العضوية من مخلفات النباتات والأحياء وأهمها الجذور والأوراق المتساقطة ومخلفات المحاصيل عند الحصاد. كذلك من الكائنات الحية الدقيقة الأرضية مثل البكتيريا – الطحالب – الفطريات و الديدان الأرضية وتوجد فى حالة مخلوط مع معدن التربة. وتحت الظروف الحقلية تعتبر مخلفات المحاصيل، التسميد الأخضر، الأسمدة العضوية الصناعية، ومخلفات مزارع الدواجن هى المصادر الأساسية للمادة العضوية فى التربة الزراعية. ومما سبق نجد أن غالبية المادة العضوية من بقايا النباتات وعلى ذلك فهى تحتوى على جميع العناصر الغذائية الضرورية لنمو النبات وبنفس نسب تواجدها داخله. ويؤدى مهاجمة الكائنات الحية الدقيقة فى الأرض للمادة العضوية (والتى تستخدمها كمصدر للطاقة) إلى تغيرات فى كميات العناصر الغذائية المكونة لها وفى نسب هذه العناصر بعضها لبعض حيث تُفقد بعض العناصر مثل الكربون والأكسيجين والأيدروجين بكميات كبيرة، والبعض الآخر مثل النيتروجين والفوسفور والكبريت بكميات أقل. وشكل (1–2) يوضح تركيب المادة العضوية بالأرض ونواتج تحللها.

وتعتبر العوامل المؤثرة على نشاط الكائنات الحية الدقيقة هى نفس العوامل التى تُعتبر محدده لانحلال المادة العضوية، وتنحصر هذه العوامل فيما يلى:

1– طبيعة المادة العضوية المتحللة، كنوع النبات النامى وعمره وتركيبه الكيميائى.

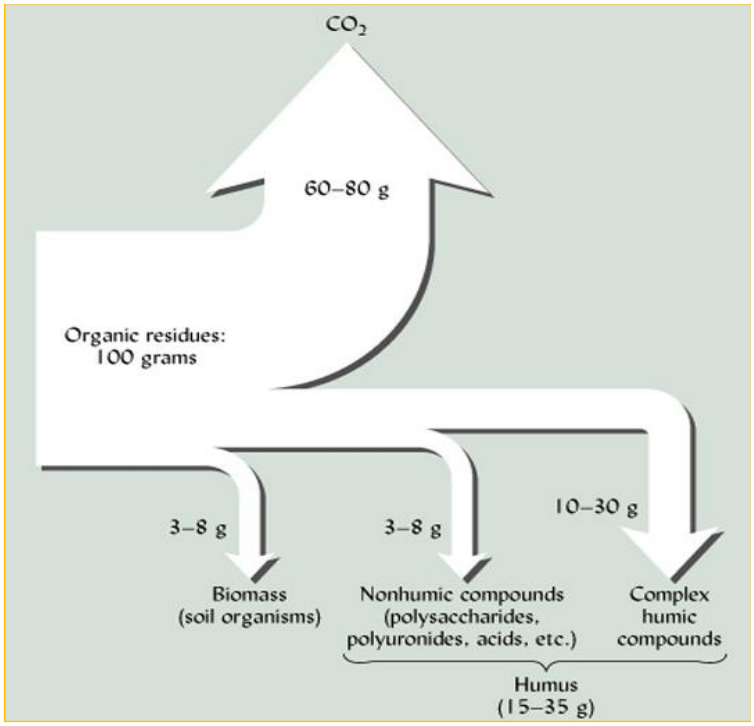
2– خواص الأرض، من حيث ملاءمتها للعمليات الحيوية، فدرجة التهوية وكمية الرطوبة بالأرض ودرجة حموضتها كلها ذات تأثير على النشاط الحيوى بها.

3– حالة المناخ، وأهمها درجة الحرارة وكمية المطر حيث لها تأثير مُباشر على تحلل المادة العضوية.



State of organic residues one year after incorporation into a soil

نواتج المادة العضوية بعد عام من إضافتها للتربة
حوالى ٧٠ % من الكربون يتصاعد قى صورة ثانى اكسيد الكربون
حوالى ٣٠% من الكربون يبقى فى التربة فى صورة:
- كائنات أرضية دقيقة حية ٥%
— مركبات دبالية ٢٠%
— مركبات غير دبالية ٥%



شكل (1-2): نواتج حدوث عملية المعدنة وتكوين الدبال للمادة العضوية بالأرض.
عن: Schroeder, سنة 1984.

والناتج النهائى لتحلل المادة العضوية عبارة عن مجموعة من العناصر المعدنية بجانب مادة معقدة التركيب وبطيئة التحلل يطلق عليها اسم الدُبال Humus شكل (1–2) وهو عبارة عن مادة عضوية وصلت فى انحلالها إلى درجه متقدمة، وهى غير متجانسة فى تركيبها الكيميائى

ذات لون متغير بين البنى والأسود وهى لا تشبه تماماً المادة العضوية الناشئة منها. ومن خصائص الدُبال أيضاً بأنها عبارة عن مادة غروية لها أسطح نشطه عليها شحنات سالبه من تأين مجاميع الكربوكسيل COOH والفينول، وعلى ذلك فإنها تدمص على سطوحها الأيونات موجبة الشحنة. ويمكن إيجاز دور المادة العضوية فى الأرض الزراعية فيما يلى:

1- تعمل كمادة لاحمة بين الحبيبات الفردية وبالتالى تؤدى إلى نشوء التجمعات الأرضيه Soil aggregates مما يقلل من انجراف التربة الرملية وتحسن من فلاحة هذه الأرض. وبالتالى تُحسن من الصفات الطبيعية للأرض مثل البناء -التهوية (فى الأراضى الطينية) وسهولة حركة الجذور ومرور الماء بها .

2- تزيد من محتوى الأرض من العناصر الغذائية، كذلك تحمى بعض العناصر من الفقد بالغسيل شكل (1 – 2).

3- تزيد من كمية الماء الميسر للنبات وخاصة فى الأراضى الرملية والطمييية حيث تزيد من قدرة هذه الأراضى على الاحتفاظ بالماء.

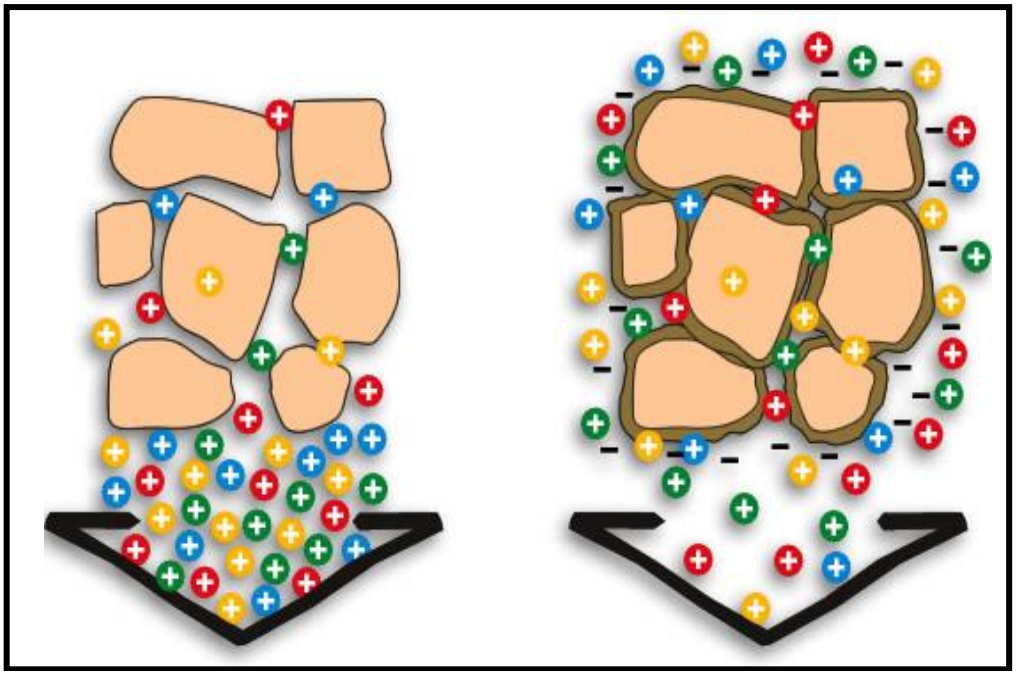
4- تعتبر مخزون للمغذيات النباتية. فمعظم النيتروجين وكثير من الفوسفور والكبريت بالأرض يكون فى صوره عضويه، ناتجة من تحلل المادة العضوية وهذه العناصر تُصبح ميسره للنبات.

5- قد تكون مصدرا لبعض الهرمونات ومنظمات النمو الطبيعية للنباتات الناميه.

6- تعتبر المصدر الرئيسى لغذاء الكائنات الدقيقة الأرضية، وعلى ذلك وجودها يزيد من النشاط الميكروبى.

7- عند تحلل المادة العضوية فى الأرض تتكون بعض الأحماض العضوية التى لها القدرة على إذابة بعض المركبات الغذائية للنبات، كذلك بعد تحللها وتحت الظروف المختلفة ينتج غاز Co_2 والذى يتحول إلى حمض الكربونيك، وهذا الحمض له أثر قوى فى الإذابة أكثر من الماء.

8- يمتاز الدُبال بأن السعة التبادلية الكاتيونية له عالية. وهى ذات فائدة كبيرة خصوصاً للأرض الرملية ذات السعة التبادلية المنخفضة. كذلك وجود الدبال يُكسب الأرض لوناً داكناً، وبذلك تزداد قدرتها على امتصاص الأشعة الحرارية من الشمس مما يزيد من النشاط الميكروبى، وأيضاً يزيد الدُبال من السعة التنظيمية للأرض.



شكل (1 – 2) أهمية إستخدام المادة العضوية في الحفاظ على الرطوبة و العناصر المغذية في الأراضى المختلفة

الفصل الثانى

المحلول الأرضى Soil Solution

الفصل الثانى

المحلول الأرضى Soil Solution

يقصد بالمحلول الأرضى ذلك السائل الذى يوجد فى الأرض تحت الظروف الحقلية العادية وهو عبارة عن محلول إلكتروليتى (ممسوك ضد قوى الجاذبية الأرضية) مخفف لأملاح Na, K, NH_4, NO_3, HCO_3,Ca, Mg, CL, SO_4 وكميات صغيرة لأيونات صعبة الذوبان فى الماء من أملاح Fe, Mn, Cu ومركبات عضويه ذائبة لها صفات مخلبيه تساهم فى زيادة نشاط صلاحية العناصر للنبات، ومواد غروية كما قد يحتوى على ملوثات عضويه أو غير عضويه كنتيجة للنشاط الانسانى.وكل هذه المكونات السابقه تكون فى حالة اتزان متجدد مع بقية مكونات الأرض ويعتبر المحلول الأرضى أكثر أجزاء الأرض نشاطاً، حيث يتم فيه العديد من التفاعلات الكيميائية ويكون مصدراً مُباشراً لما يحتاجه النبات من العناصر الغذائية والتى تتعدد مصادرها فى التربة (ناتج تجوية معادن الأرض – تحلل المادة العضوية – تترسب من الجو – إضافة الأسمدة – تسرب العناصر من مناطق أُخرى).

ويحفظ الماء الأرضى فى الفراغات البينية الموجودة بين حبيبات التربة والتجمعات الأرضية بدرجت متفاوتة من الارتباط حيث يوجد قوى كبيرة للالتصاق Adhesion forces بين جزيئات الماء وحبيبات التربة والتى تحدد بشكل كبير حركة الماء فى التربة وبالتالى الكمية المتاحة للإستهلاك بواسطة النبات. وقوى الإلتصاق هذه كبيرة للدرجة التى لا تجعل كل الماء الأرضى ميسراً للامتصاص بواسطة جذور النبات. فعند ظهور بوادر الذبول على النباتات أو حتى تعرضها للموت فإن ذلك لا يعنى أن الأرض أصبحت خالية تماماً من الماء، ولكن الماء الموجود بها عند هذه الحالة يكون ممسوكاً حول حبيبات التربة بقوة أكبر من قدرة جذور النباتات على استخلاصه وامتصاصه.

عادةً لا تمثل الكمية الذائبة من العنصر إلا كمية بسيطة من الكمية الكلية فى النظام الأرضى. فمثلاُ متوسط مخزون البوتاسيوم فى الأرض حوالى 30000 كجم/ فدان لعمق15سم بينما لا تزيد الكمية الذائبة عن 10–30 كجم/ فدان فقط . وبالنسبة للفوسفور تصل الكمية الكلية فى المعادن إلى 1000 كجم/ فدان/ 15سم ولكن الكمية الذائبة فى المحلول الأرضى لا تزيد عن 0.1 – 1 كجم. والعكس مع الكلوريد حيث يمكن أن يتواجد جزء كبير من مخزونة الكلى الموجود فى الأرض ذائباً فى المحلول الأرضى وذلك لارتفاع درجة ذوبان مركباته (أبو الروس وآخرون سنة 1992).

ويتوقف تركيب وتركيز المحلول الأرضى على عدة عوامل منها نسبة الرطوبة فى الأرض – نوع الأرض وعوامل تكوينها – المناخ (الحرارة والرطوبة) – والمعاملات الزراعية (رى، صرف، زراعة، تسميد) وعلى هذا تتغير المكونات الموجودة فى المحلول الأرضى باستمرار لأنها ترتبط ارتباط وثيق بعمليات كيميائية وحيوية وبنُظم أُخرى محيطة به تؤدى إلى تغير نوع وتركيز مكوناته باستمرار يوضح الرسم التخطيطى شكل (2-1) التفاعلات بين المحلول الأرضى وكل مكون من مكونات الأرض وكلها تفاعلات عكسية (أى يحدث إتزان) ويمكن مناقشة هذه التفاعلات فيما يلى:

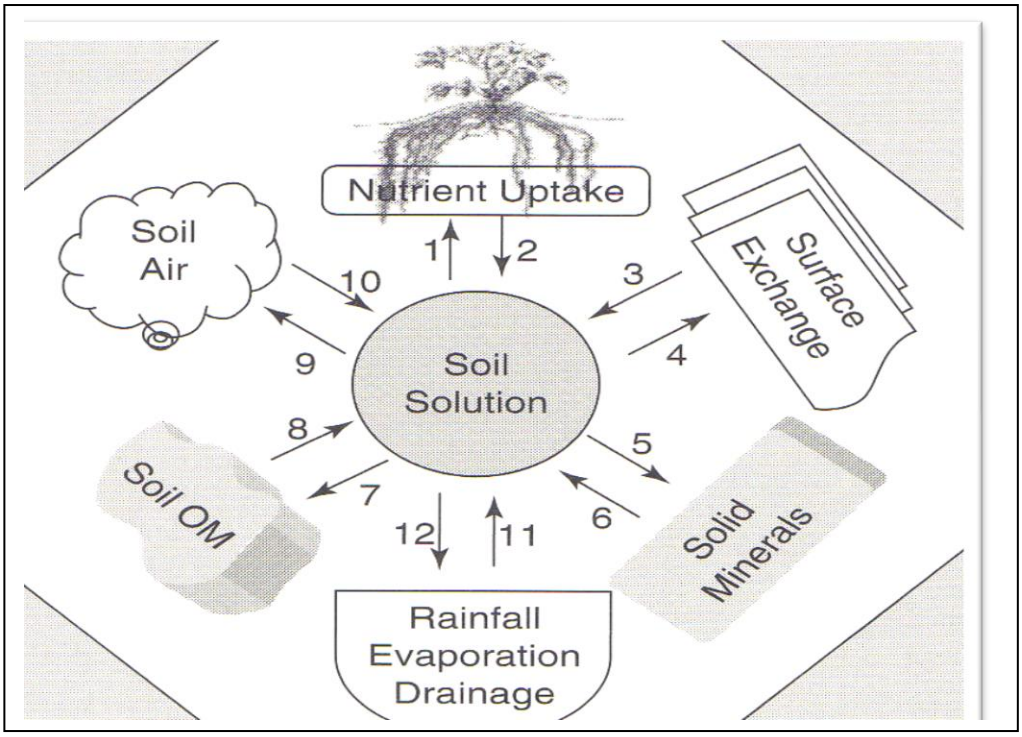
1- يحدث امتصاص للعناصر المغذية من المحلول الأرضى، وفى نفس الوقت يحدث انفراد لبعض المركبات العضوية البسيطة والأيدروجين وغاز ثانى أوكسيد الكربون (من جذور النباتات) الذى يذوب فى الماء ويُصبح الوسط حامضى وينتج عن ذلك ذوبان بعض مركبات الأرض الصلبة.

2- تدخل الكاتيونات والأنيونات الموجودة فى المحلول الأرضى فى تفاعلات التبادل الأيونى والإدمصاص على أسطح الغرويات الأرضية.

3- حدوث انحلال وإذابة لبعض المعادن وبالتالى تنطلق بعض العناصر إلى المحلول الأرضى أو يحدث ترسيب لبعض العناصر فى صورة معادن ويتوقف ذلك على درجة التشبع لمكونات هذا معدن وخاصة المعادن غير المتبللوره AmorpHous (إذا أصبحت مكونات المعدن فوق درجة التشبع فى المحلول الأرضى فيحدث ترسيب والعكس إذا كان المحلول تحت التشبع لهذا المعدن).

4- مياه الأمطار والرى تُحدث تخفيف للمحلول الأرضى بينما عمليات الصرف والتسميد والتبخير تُزيد من تركيز الأيونات به.

5- تؤثر كل من المادة العضوية والكائنات الدقيقة الحية على مكونات المحلول الأرضى حيث تستمد الكائنات الحية الدقيقة حاجتها من العناصر من المحلول الأرضى، وأيضاً تنفرد عناصر أُخرى نتيجة تحلل المادة العضوية بفعل هذه الكائنات وأيضاً تحلل هذه الكائنات بعد موتها.



شكل (2- 1): العلاقة بين مكونات المحلول الأرضى ومكونات الأرض الأخرى.

6- المحلول الأرضى فى حالة اتزان مع الطور الغازى والهواء الأرضى، فقد يحدث انطلاق لبعض الغازات الموجودة بالمحلول الأرضى إلى الهواء الجوى أو يحدث إذابة لبعض مكونات الهواء الأرضى فى المحلول الأرضى.

وعلى هذا نجد أن كل أيون ذائب فى المحلول الأرضى يكون فى حالة إتزان مع الصورة الصلبة والصورة المدمصة منه فى التربة.

والواقع أن استخلاص هذا المحلول من الأرض بحالته الطبيعية عملية عسيرة ولكنها ضرورية، لأن اختلاف كميات الماء وزيادتها عند الاستخلاص بأحد الطرق الصناعية تغير كثيراً فى التركيب الكيميائى له. ويوجد عدة طرق للحصول على المحلول الأرضى كما ذكرها (شفيق وآخرون) سنة 1992 ونذكر منها ما يلى:

1- طريقة العصر Squeeze method : وذلك بوضع الأرض فى مكبس خاص لعصرها حتى تُخرج ما بها من محلول. وبصفة عامه يزداد الضغط اللازم للاستخلاص كلما قلت نسبة الرطوبة فى الأرض، وبهذه الطريقة لا يمكن الحصول على مقادير كبيره من المحلول إلا إذا كانت كمية الرطوبة بالأرض كبيره تزيد على ما توجد به فى الظروف الحقلية.

2- طريقة غشاء الضغط Pressure membrane method: وتُستخدم هذه الطريقة إذا كانت الأرض بها نسبة رطوبة قريبة من السعة الحقلية. حيث يتم تعريض عينة من الأرض لضغط على أغشيه من النايلون أو السيليلوز ذات مسام ضيقه داخل إناء من الصلب، وتكون قوة الضغط المستخدمة فى هذه الحالة حوالى 15 ض جـ وهى كافية لاستخلاص المحلول الأرضى حتى نقطة الذبول. وتعتبر هذه الطريقة وطريقة العصر السابق ذكرها من أفضل الطرق حيث إنها لا تسبب تغيراً فى التركيب الكيميائى للمحلول ويكون مماثلاً للحقيقة تقريباً. وإن عابهما قلة الكميه المُتحصل عليها من المحلول.

3- طريقة الإحلال أو الإزاحة Displacement method: وفيها يتم إحلال سائل غير فعال Inert liquid محل المحلول الأرضى،حيث يزاح المحلول الأرضى منها دون أن يتأثر تركيبه الكيميائى بشرط أخذ احتياطات معينه مثل قياس الانخفاض فى درجة التجمد ومتابعة التغير فى تركيز المحلول بقياس درجة التوصيل الكهربائى له.

4- طريقة الترشيح Filtration method: وفيها توضع الأرض فى جهاز ترشيح يعمل تحت جهاز تفريغ عالى يُساعد على استخلاص المحلول بالرشح.

5- طريقة المستخلصات Extractants method: وذلك عن طريق معاملة التربة بنسب مختلفة من الماء مثل مُستخلصات العجينة المشبعة، 1:1، 5:1، 10:1....إلخ، ثم توضع على قرص مسامى به ورقة ترشيح مثل قمع بخنر Buchner funel ، وتُعرض لتفريغ كافى للحصول على المحلول الأرضى.

6- طريقة الطرد المركزى السريع Rapid Centrifugation: وتعتبر أحسن وأسرع الطرق التى تؤدى إلى الحصول على المحلول الأرضى الحقيقى.

ولقد أثبتت البحوث أن التركيب الكيميائى للمحلول الأرضى يختلف تبعاً لفصول السنة كما يختلف قبل المحصول عنه بعده. وبالرغم من أن دراسة المحلول الأرضى مهمة من ناحية تغذية النبات غير أنه لا يمكن حتى الآن استخدام المعلومات الخاصة بتركيبه لمعرفة حاجة الأرض للتسميد بالعناصر المختلفة، إذ تتدخل عوامل أخرى تزيد من قدرة النبات على امتصاص العناصر من المركبات غير القابله للذوبان فى المحلول الأرضى منها:

أ – خروج بعض الأيونات من على أسطح الغرويات الأرضية والتى يمكن ان يستفيد منها النبات بعد خروجها مباشرةً

ب – التحولات المستمرة فى المادة العضوية طوال فترة نمو النبات مع تغير معدل هذه التحولات بتغير فصول السنة، مما يؤدى إلى اختلاف كميات العناصر الناتجة من التحول فى فترات النمو المختلفة .

جـ – اختلاف معدل امتصاص النبات للعناصر المختلفة تبعاً لدرجة نموه وعمره.

د – أن النبات لا يأخذ كل احتياجاتة من العناصر الذائبة فى المحلول، بل يمكنه الحصول على بعض العناصر بالتبادل الأيونى المباشر بين الجذور ومركب الإدمصاص بالأرض (التبادل بالتماس).

هـ – أن النباتات تفرز من جذورها مركبات تؤثر موضعياً على مكان التصاق الجذور بحبيبات الأرض، فتذيب بعض العناصر المغذية مثل الفوسفات، وبذلك يمكن للجذور امتصاصها دون وصولها وانتشارها فى المحلول الأرضى.

3- العناصر الغذائية الموجودة فى الهواء الأرضى

يعتبر الجزء الغازى Gaseous pHase من التربة من أهم محتوياتها ويطلق عليه اسم الهواء الأرضى. ويوجد فى المسافات البينية فى صورة حره كما يوجد ذائباً فى ماء التربة. وهو جزء فعال فيها ولكنه غير ثابت التركيب والمكونات حتى فى التربة الواحدة، وعلى الرغم من أنه أساساً جزء من الهواء الجوى، غير إنه يختلف عنه فى ثلاث اعتبارات 1) إحتواؤه على نسبة أعلى من غاز ثانى أكسيد الكربون 2) إحتواؤه على مقدار أقل من الأكسيجين 3) يكون مشبع ببخار الماء إلا فى الأراضى الجافة. ويرجع ذلك لبطء حركته فى التربة وعدم إتصاله السريع بالهواء الجوى واتصاله الدائم بالأغشية المائية المغلفة لحبيبات التربة، مع وجود عمليات حيوية دائمة فى التربة مثل تنفس الجذور والأحياء الأرضية مما يزيد من نسبة CO_2 عنها فى الهواء على حساب نقص الأكسيجين (جدول 2 –1). ويتوقف تركيب الهواء الأرضى على معدلات التفاعلات الكيميائية والحيويه وخواص الأرض الطبيعية المتصلة بعملية التهوية.

جدول (2 –1): مقارنه بين مكونات الهواء الجوى والهواء الأرضى (%).

الغاز	الهواء الأرضى	الهواء الجوى
الأكسجين	20	21
النيتروجين	78.6	78.3
ثانى أكسيد الكربون	0.5–0.2	0.03

والهواء الأرضى لازم أساسى لحيوية التربة والنبات النامى بها ولعمليات الأكسدة والكربنة الحاصلة داخلها فأحياء التربة بما تقوم به من دور هام فى تحليل المادة العضوية وفى تثبيت الأزوت الجوى للأرض، يلزم لها الهواء بما فيه من أوكسيجين لكى تقوم بدورها فى التربة. فإذا طُرد الهواء من الأرض نتيجة لتراكم الماء بها وقلت كمية الأوكسيجين اللازم لها وقف نشاط الكائنات الهوائية وحل محلها فى النشاط البكتريا اللاهوائية التى تستمد الأوكسيجين من مركباته فى التربة فتعمل على اختزال هذه المركبات ومنها النترات والكبريتات .

أما النبات النامى فى الأرض فيلزم له الهواء فى طورى الإنبات والنمو، ففى طور الإنبات تحتاج البذور إلى نسبه معينه من الأوكسيجين تتوقف على نوع البذور. فالبقوليات تحتاج إلى كثير منه بينما البصل والأرز لا تحتاج إلا إلى مقادير قليلة. وبعض النباتات النصف مائية يمكنها استعمال الأوكسيجين الذائب فى ماء التربة مثل نباتات الأرز. ولكن الهواء عموماً لازم لتنفس الجذور أياً كان نوع النبات النامى. وفى الوقت نفسه تحتاج عمليات الأكسدة والكربنة فى التربة إلى وجود مكونات الهواء وهى الأوكسيجين وثانى أكسيد الكربون إما منفردين أو ذائبين فى المحلول الأرضى .

ويعتبر الهواء الأرضى مصدراً هاماً لإمداد النبات بالنيتروجين وإن كانت معظم النباتات لا تستطيع الاستفادة من هذا النيتروجين مباشرةً. وتقوم بعض الكائنات الدقيقة بتثبيت هذا النيتروجين وتحويله من الصورة الغازية N_2 إلى صورة يمكن للنبات الاستفادة منها.

صور تواجد العناصر الغذائية فى الأرض

يوجد العنصر الواحد فى أكثر من صورة يمكن إيجازها كما يلى:–

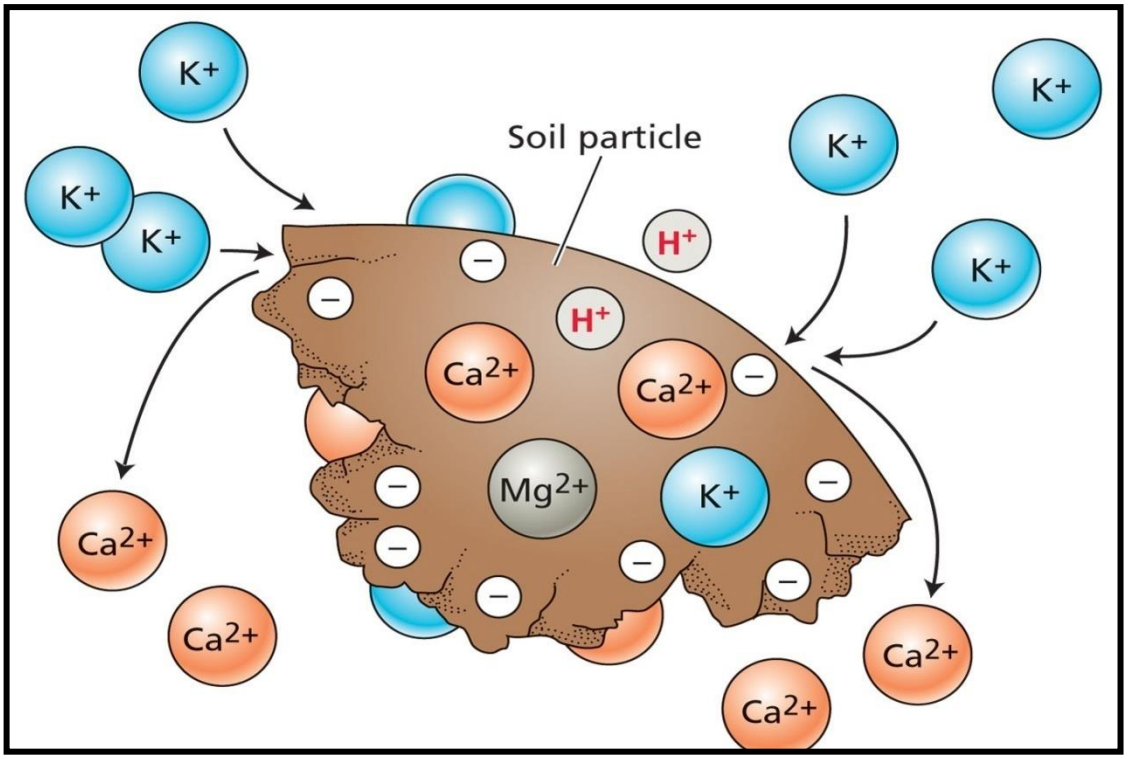
1– ذائبة فى المحلول الأرضى وهى تامة الصلاحية للنبات .

2- متبادلة على أسطح الغرويات (الطين والمادة العضوية) وهى صالحة للنبات، حيث أنها قابلة للانتقال إلى المحلول الأرضى بسرعة نتيجة لتفاعلات التبادل الأيونى .

3 – موجودة فى صورة معادن شحيحة الذوبان على صوره غير صالحة لامتصاص النبات، ولكن يمكن أن تتحول ببطء إلى صوره صالحة نتيجة لفعل عوامل التجوية الكيميائية.

4- موجودة فى المادة العضوية على صورة غير ذائبة وغير صالحة للامتصاص، تعمل الكائنات الدقيقة على تحلل هذه المواد وتحولها إلى الصورة الصالحة للإمتصاص.

ويمكن تعريف الصورة الصالحة من العنصر بأنها الصورة أو الصور من العنصر التى يستطيع النبات أن يمتصها بسهوله والتى عند حدوث تغير فى كميتها يقابله تغير فى نمو النبات وأيضاً فى محصوله.



شكل (2 – 2) غرويات التربة ذات الشحنة السالبة والكاتيونات الذائبة في المحلول الأرضى

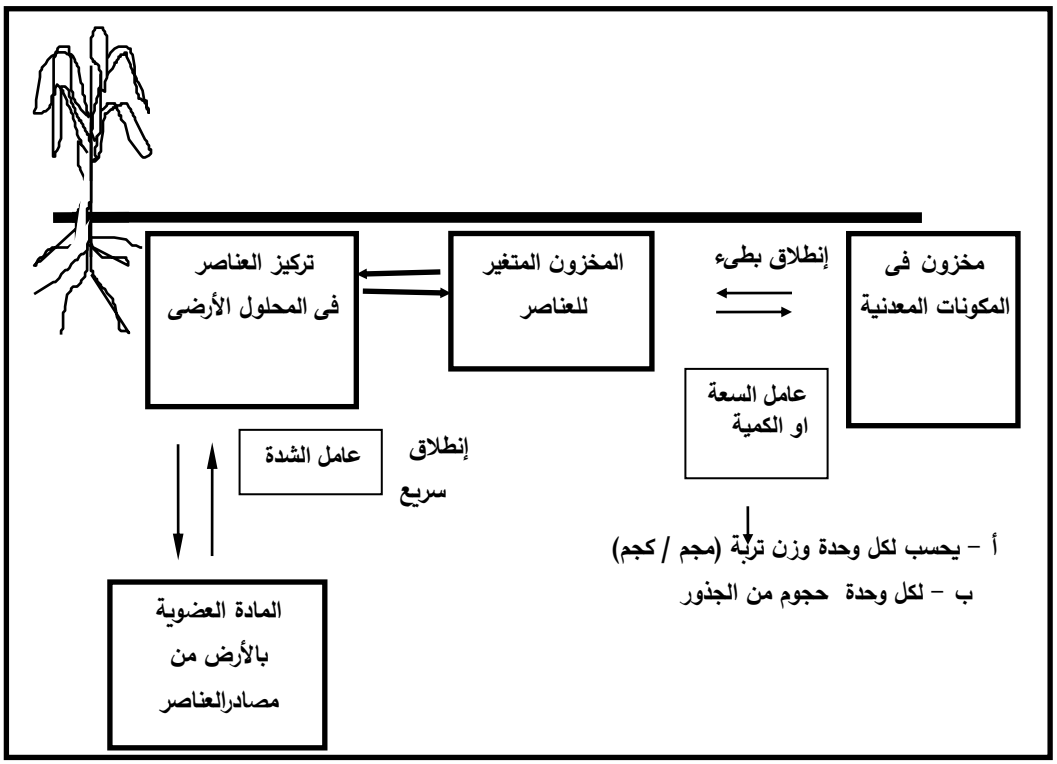
في هذا الرسم يظهر ان اسطح غرويات التربة المعدنية منها والعضوية على شحنات سالبة ومن ثم تجذب إليها الكاتيونات الموجودة بالمحلول الأرضى بكميات متكافئة وقد يحدث تبادل ايونى بين تلك الكاتيونات المدمصة وأخرى ذائبة في المحلول الأرضى بكميات تتوقف على السعة التبادلية الكاتيونية لغرويات التربة وتعبر الكميات الذائبة بالإضافة للكميات القايلة للتبادل عن الكمية الصالحة من العنصر.

وتتوقف قدرة الأرض على إمداد النبات بحاجته من العناصر الغذائية كما إقترح Schofeld سنة 1955 على :

1- كمية العنصر الذائب فى المحلول الأرضى ويمثل ذلك بما يسمى بعامل الشده Intensity factor حيث أن ذلك يمثل المصدر الأول والمباشر للعناصر الممتصة بواسطة النبات.ويمكن القول بأن وفرة العنصر الغذائى بالتربة لتلبية احتياجات النباتات لا تعتمد على تركيز العنصر فى المحلول الأرضى، بل على المصادر التجهيزيه للطور الصلب والتى يعبر عنها بعامل الكم أو عامل السعه.

2- قدرة الأرض على تجديد النقص فى تركيز المحلول الأرضى من العنصر والذى يُعرف بعامل السعة Capacity factor أو عامل الكم Quantity factor ويمثل المخزون الاستراتيجى من العنصر فى الطور الصلب والقابل للانتقال إلى المحلول الأرضى لتعويض نقصه خلال فترة حياة النبات، و يمكن تحديد عامل السعه (الكمية) بالتالى:

أ – كمية العنصر الموجودة فى حالة توازن سريع مع ما هو موجود منه فى المحلول الأرضى . مثال ذلك أيونات البوتاسيوم والفوسفور المدمصة على الأسطح الخارجية للغرويات الأرضية.



شكل (2-3) مفهوم تأثير النسبة بين عامل الشدة إلى عامل السعة على تيسر العناصر المعدنية للنبات

ب – الكمية من العنصر التى فى حالة اتزان متوسط مع ما هو موجود منه فى المحلول الأرضى، مثال ذلك البوتاسيوم والأمونيوم المثبت Fixed والفوسفور المرسب حديثاً.

جـ – الكمية الموجودة فى حالة اتزان بطىء مع الكميه الموجودة فى المحلول الأرضى ومثال ذلك النيتروجين والفوسفور والكبريت الموجود فى تركيب المادة العضوية والذى يحتاج إلى وقت لكى يتحول إلى صوره صالحة للنبات. أيضاً المركبات القليلة الذوبان مثل مركبات الفوسفور وبعض مركبات العناصر الصغرى . ويوضح شكل (2–3) توزيع العنصر فى الصور المختلفة (حسب درجة تيسره) وطبيعة التوازن بين هذه الصور.

ويتضح مما سبق أن التفاعل المستمر ما بين المحلول الأرضى ومكونات الأرض المختلفة يتأثر ببعض العمليات الكيميائية والتى من أهمها :

1– التبادل الأيونى وتاثرة بالسعة التبادلية الكاتيونية.
2– عمليات ذوبان وترسيب العناصر ويتحكم فيها رقم pH الأرض.
وسوف نتناول فيما يلى كل عملية بشىء من الإيجاز وأثرها على توفر العناصر الغذائية فى صورة ذائبة.

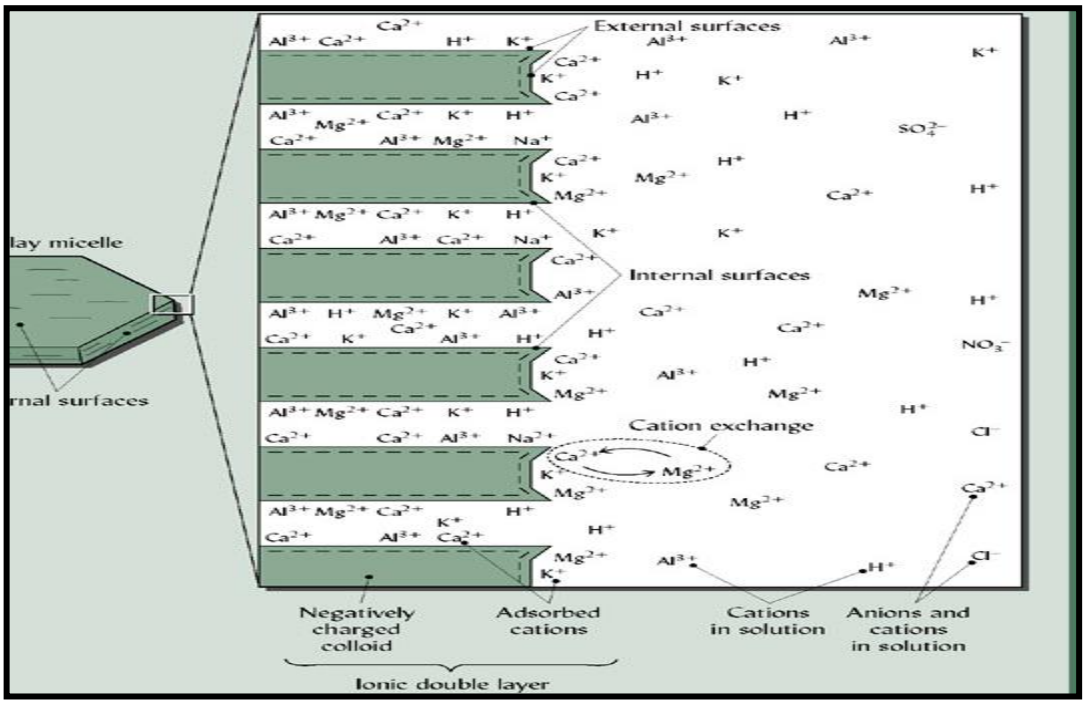
التبادل الأيونى والسعه التبادلية الكاتيونية
Ion Exchange and Cation Exchange Capacity

تعتبر تفاعلات التبادل الأيونى من أكثر التفاعلات الموجودة فى الطبيعة أهمية بعد عملية التمثيل الضوئى لما لها من أهمية فى تغذية النبات. وكما هو معروف بأن غذاء النبات عبارة عن مجموعة من العناصر الكيميائية فى صورة أيونية وتؤثر كمية ونوعية هذه الأيونات الموجودة فى التربة على إمداد النباتات بحاجتها من الغذاء. ولتوضيح أهمية التبادل الأيونى فإنه من الأهمية معرفة أن غذاء النبات يكون فى الصورة الأيونية للعناصر وهذه الأيونات لا توجد فى المحلول الأرضى فقط بل توجد أيضا مدمصة على أسطح الغرويات الأرضية. وخاصية الادمصاص هذه هى التى تحفظ أيونات العناصر فلو أن غذاء النبات كان ذائبا فى المحلول الأرضى فإنه سرعان ما يفقد بالغسيل وبالتالى يحرم النبات من الإستفاده منه.

والتبادل الأيونى ببساطة عبارة عن عملية عكسية Reversible process للتبادل بين الأيونات الموجودة فى المحلول الأرضى وتلك الموجودة على أسطح معقدات التبادل، وفى حالة تلامس أسطح معقدات التبادل فمن الممكن أن يحدث التبادل بين الأيونات دون مرور الأيون بالمحلول الأرضى وهذا ما يعرف بالتبادل بالتماس بين الغرويات الأرضية. ويشمل التبادل الأيونى تبادل كل من الكاتيونات والأنيونات، ويعتبر تبادل الكاتيونات أكثر أهمية ووضوحا من تبادل الأنيونات بالنسبة لتغذية النبات.

بعد أن عرفنا بأن هناك ثلاث مكونات للأرض وما يهمنا من تلك المكونات هو الجزء الصلب سواء كان معدنى أو عضوى. ويتكون الجزء المعدنى من مكونات صلبة للمعادن الأولية والثانوية وهى عبارة عن حبيبات من الصخور ذات أحجام متدرجة من الحجم الكبير إلى الحجم الصغير حتى يصل إلى نطاق الحجم الغروى. بينما الجزء العضوى يتكون من البقايا النباتية والحيوانية الموجودة فى مختلف مراحل تحللها، بما فيها من دبال. ويعتبر الجزء الناعم من التربة والذى يقل قطر حبيباته عن 20 ميكرون هو قاعدة التبادل الأيونى، ويشمل هذا الجزء كل معادن الطين وجزء من السلت بالإضافة إلى الغرويات العضوية. وعلى ذلك نجد أن الطين هو المحدد لخواص الأرض الطبيعية والكيميائية والعامل الأساسى فى تفاعلاتها. ولذلك فإن لبناء الطين وحبيباته دور كبير فى القدرة على ربط الأيونات على سطوحها وتبادلها مع غيرها من الأيونات فى الوسط المحيط. ويجب أن نتخيل الصورة العامة للتربة ككتلة من الحبيبات المحاطة بالمحلول الأرضى وهذه الحبيبات يكون لها القدرة على التجاذب ومسك الأيونات المخالفة لها فى

الشحنة وتتنافر مع الأيونات ذات الشحنة المتشابهة طبقا لقوانين التعادل الكهربى The laws of electrical neutratlity ، حيث تتراكم كمية متساوية من الشحنات العكسية فى المحلول الأرضى بالقرب من السطح المشحون. وعندها تتجاذب الكاتيونات الموجبة الشحنة مع الشحنات السالبة والموجودة على السطح وتعمل قوى الانتشار على وضعها فى اتجاه المحلول المتزن. وظروف توزيع الكاتيونات فى طبقة الانتشار diffuse layer تعتمد على زيادة تركيز الكاتيونات بقيمة عالية فى اتجاه سطح حبيبة الغروى عنه فالمحلول والتى تقدر بمقدار شحنة السطح. وفى نفس الوقت نجد أن الأنيونات التى تحمل شحنة سالبة تتنافر وتكون قوى انتشارها فى اتجاه مغاير مما يقلل من تركيز الأنيونات عند السطح. ومن خلال عمليات تجاذب الكاتيونات للسطح وتنافر الأنيونات بعيدا عن السطح تنشأ طبقة مزدوجة كهربيا ويوضحها شكل (2-4).



شكل (2-4): توزيع الشحنات الكهربائية فى الطبقة المزدوجة

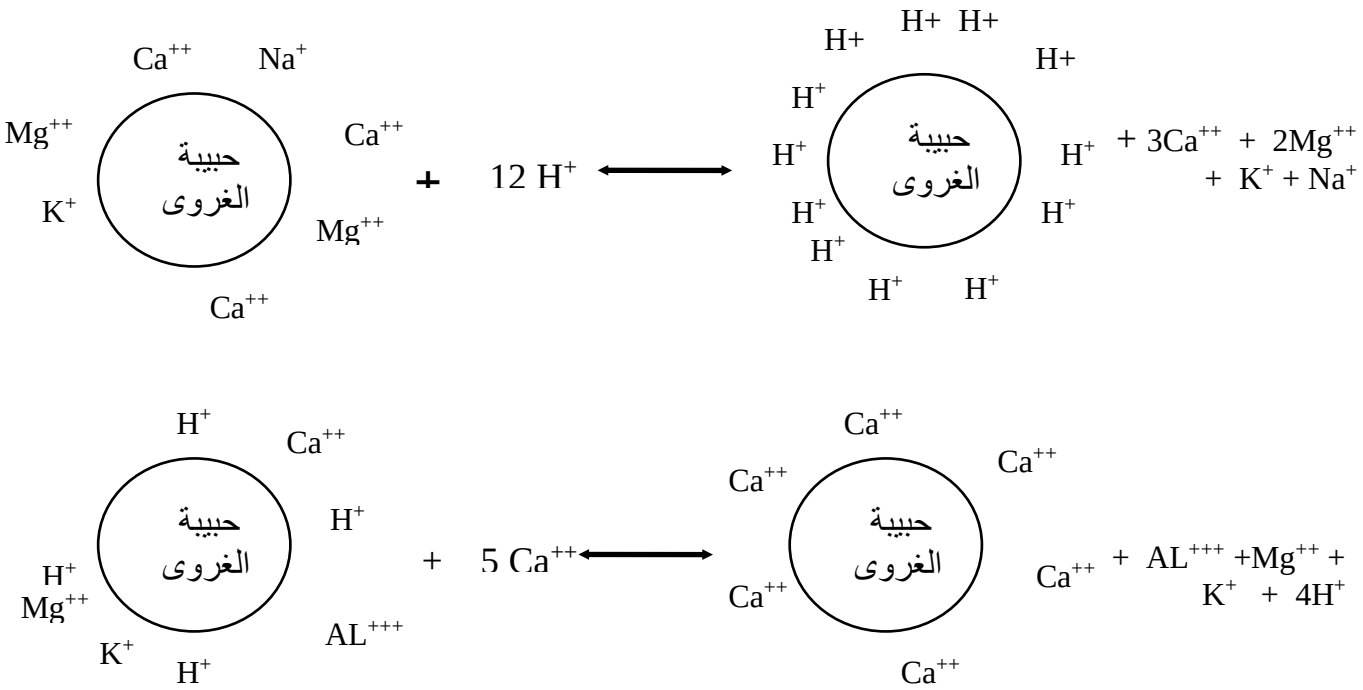
وكما سبق القول بأن معظم معادن الطين تحمل شحنة سالبة negative charge وهذا حقيقى فى أراضى المناطق المعتدلة والجافة، وعلى ذلك فهذه الشحنات السالبة يتم معادلتها بواسطة الأيونات الموجبة الشحنة والسابحة فى المحلول الأرضى (الكاتيونات) بقوة جذب الكتروستاتيكيه (وتسمى قوى كولومب Coulombic forces)، وتتناسب شدة التجاذب تناسب طردياً مع حاصل ضرب شحنة الكاتيون (الشحنة الموجبة) × شحنة الطين (الشحنة السالبة)

وكذلك تتناسب عكسياً مع مربع المسافة بين الشحنتين (قانون كولومب Coloumb Law) كما فى المعادلة التالية:

$$F = a^{+} . a^{-} / D. r^{2}$$

حيث: F قوة الجذب، و a^{+} ، a^{-} شحنة كل من الكاتيون والأنيون على التوالى وD ثابت وr المسافة بين الشحنتين.

أى أن التبادل الأيونى يتم على أسطح المواد الحاملة للشحنة الكهربائية حيث أن الأجسام ذات الشحنة تجذب إلى سطحها أيونات ذات شحنة مخالفة لشحنتها ومكافئة لها تماماً . ويمكن أن تتبادل الأيونات التى تعادل شحنة الجسم مع أيونات مماثلة لها فى الشحنة كماً ونوعاً أى تكافئها تماماً. وعلى ذلك نجد أن الجسم السالب الشحنة يجذب إلى سطحه كاتيونات بالقدر الذى يعادل شحنته السالبة، وأن الجسم الذى يحمل شحنه موجبة يجذب إلى سطحه أنيونات تعادل شحنته الموجبة ويمكن فى جميع الأحوال حدوث تبادل كاتيونى أو أنيونى بين تلك الممسوكة على أسطح التبادل ونظيرتها الموجودة فى الوسط المحيط،بحيث يتم التوازن بين الأيونات المتبادلة والذائبة فى الوسط.



شكل (2-5): مثال توضيحى لعمليات التبادل الكاتيونى:

فى المثال العلوى حدوث تبادل بنسبة 100% للقواعد الأرضية بواسطة أيون الأيدروجن وذلك بإضافة محلول يحتوى على الأيدروجين (وقد يحدث ذلك فى الطبيعة فى المناطق الرطبة وعند تعرض الأراضى المتعادلة إلى أمطار حمضية تحوى حمض كربونيك H_2CO_3).
وفى المثال الموجود لأسفل حدث تبادل بنسبة حوالى 40 % من الكاتيونات بإضافة محلول يحتوى على أيون الكالسيوم (ويحدث ذلك عند إضافة الجير للأراضى الحمضية).

والواقع أن الطين فى حالته الطبيعية فى الأرض تكون أسطحه محملة بكاتيونات مختلفة، كما أن الأرض تختلف فى قدرتها على تبادل الكاتيونات بصفة عامه. وتتوقف قدرة الأرض على التبادل الأيونى على:-

1- **كمية الطين:** الزيادة أو النقص فى كمية الطين فى الأرض تؤثر على قدرتها على التبادل باعتبار أن الطين هو الذى يقوم بهذه العملية .فالأرض الطينية أكبر قدرة على التبادل من الأرض الطميية، والأخيرة أكبر من الرملية.
2- **نوع معادن الطين:** فمعادن الطين ذات الشحنات الثابتة أو الدائمة Permanent surface charge or constant) وتشمل معادن من نوع 1:2 ومنها المونتيموريللونيت، الفيرميكيولايت والإيلليت تكون أعلاها قدرة، بينما معادن طين ذات الشحنة المتغيرة والتى تتوقف على درجة تفاعل الأرض (pH-dependant surface charge (or variable ومنها معادن من نوع 1:1 مثل الكاؤولينيت تكون أقلها.
3- **محتوى الأرض من المادة العضوية:** حيث تزداد القدرة على التبادل بزيادة المادة العضوية المتحللة فى الأرض.

وتقاس قدرة الأرض على التبادل الأيونى بما يسمى بالملليمكافىء أيون لكل 100 جرام من الأرض (الملليمكافىء = الوزن المكافىء للعنصر ×10-3). ويطلق على مجموع ملليمكافئات الكاتيونات المتبادلة على أسطح 100جم أرض اسم السعة التبادلية الكاتيونية Cation Exchange Capacity (C.E.C) لهذه الأرض والتى تختلف من معدن لآخر ومن أرض لأخرى (جدول 2-2).

والواقع أن هذه السعة التبادلية الكاتيونية تُشغل بالقواعد الأرضية وهى الكالسيوم Ca^{++} ويشغل حوالى 80% من الـ C.E.C للأرض، والماغنسيوم Mg^{++}

جدول (2-2) : السعة التبادلية الكاتيونية (C.E.C) لبعض

معادن الطين وبعض الأراضى.

نوع الأرض أو الغروى	الـ C.E.C ملليمكافىء / 100جم
كاؤولينيت	15-3
إيلليت	50-20
مونتيموريللونيت	130-90
فيريكيولايت	180-50
مادة عضوية	200-100
أرض رملية	5-3
أرض طميية	20-5
أرض طينية ثقيلة	تصل إلى 40

يشغل من 5-15% منها ثم البوتاسيوم K^+ والصوديوم Na^+ وقليل من الأيدروجين والألومنيوم (H^+,AL^{+++}) حيث لا يوجدان على صوره مُتبادلة على سطوح الطين إلا فى الأراضى الحامضية.

وبصفة عامه فإن نسب الكاتيونات المتبادلة على أسطح الطين ليست ثابتة وتتغير باستمرار نتيجة للعمليات الزراعية المختلفة مثل إضافة الأسمدة أو الجبس الزراعى – امتصاص النبات للأيونات المختلفة و عمليات الغسيل (الصرف) وخلافه.

ماذا تعنى الـ C.E.C للأراضى الزراعية:

إن الكاتيونات المتبادلة على أسطح الغرويات الأرضية تعتبر ميسرة للنباتات النامية فى تلك الأرض، حيث يكون من السهل تبادلها مع أيونات الأيدروجين الموجود على أسطح الشعيرات الجذرية للنبات عن طريق التبادل بالتماس، أو التبادل مع الأيونات الموجودة فى المحلول الأرضى ثم الامتصاص مباشرة من المحلول بواسطة الجذور. ومن المعروف بأنه عند إضافة الأسمدة للتربة الزراعية سرعان ما تذوب فى المحلول الأرضى ولو أن هذا هو كل ما يحدث فسوف تفقد بنفس السرعة مع مياه الصرف. ولكن مع وجود قيمة مرتفعة للسعة التبادلية الكاتيونية للتربة يحدث إدمصاص للشق الكاتيونى من السماد على أسطح الغرويات الأرضية نتيجة حدوث عملية التبادل الأيونى وفى النهاية تحفظ تلك الكاتيونات من الفقد ثم تصبح ميسرة للنبات فيما بعد. ويمكن إيجاز مدلول قيمة السعة التبادلية الكاتيونية للأرض فيما يلى:

1- تدل السعه التبادلية للأرض على قدرتها على إمداد النبات بالعناصر الغذائية .فكلما كانت القيمة مرتفعه كلما دل ذلك على كبر المخزون الغذائى وزيادة السطح النوعى للتربة.

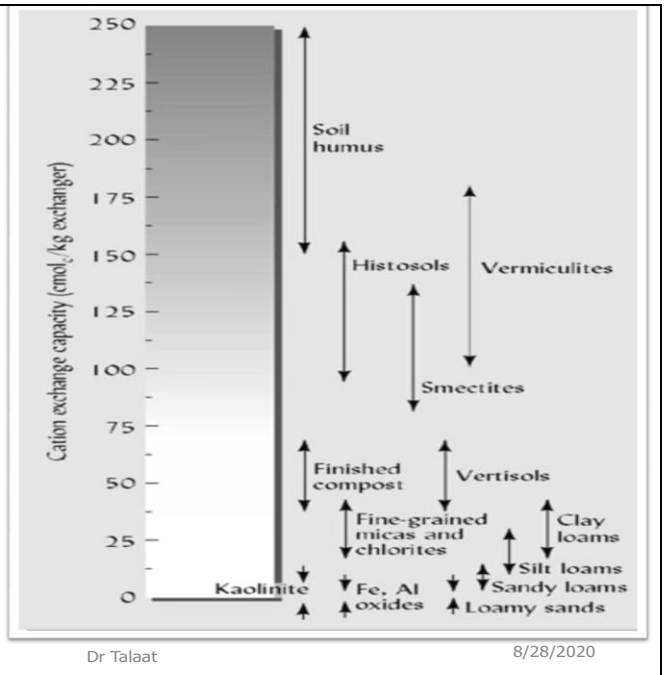
2- تدل على توافر معادن معينه ذات سعه تبادليه عالية أو وجود نسبه عالية من المادة العضوية المتحللة ذات الشحنة العالية والسعه التبادلية المرتفعة فى تلك الأرض .

3- من معرفة نوع الكاتيون السائد على معقد الإدمصاص يمكن معرفة بعض الخواص الكيميائية السائدة فى تلك الأرض، فمثلاً إذا كان الكاتيون السائد هو الأيدروجين اعتبرت الأرض حمضية وتعالج مشاكلها بإضافة الجير. وإذا ساد كاتيون الصوديوم تكون الأرض قلوية وتعالج بإضافة الجبس الزراعى. فى حين أنه عند سيادة أيون الكالسيوم تصبح الصفات الطبيعية للتربة جيدة نتيجة تكوين التجمعات الأرضية.

Cation exchange capacity

تكون مرتفعة فى الحالات الآتية:

1. **زيادة محتوى التربة من الدبال**
2. **زيادة كمية الطين القابل للتمدد**
3. **إرتفاع رقم الـــ pH**



ويمكن الرجوع إلى موضوع التبادل الأيونى والسعة التبادلية الكاتيونية بتفصيل أكثر فى مجال كيمياء الأراضى وخصوبة الأراضى.

التبادل الأيونى على جذور النبات:

تتميز جذور النبات بأن لها خواص غروية مثل حبيبات الطين أو المواد العضوية المتحللة. ولذلك يمكن أن تقوم بعملية التبادل الكاتيونى والإدمصاص فإن للجذورسعةتبادلية كاتيونية C.E.C وتعرف على أنها ملليمكافئات الكاتيونات المدمصه على أسطح 100جم جذر،

وتتغير السعة التبادلية الكاتيونية للجذور حسب عدة عوامل منها: عمر النبات – نوع النبات – العناصر الغذائية المستعملة وقت النمو – درجة الحرارة التى ينمو فيها النبات .

وتحمل جذور النبات شحنه سالبه سطحية وتختلف كثافتها حسب نوع النبات وعمره وتركيب البيئة النامى فيها. وعموماً تكون الجذور صغيرة السن نشطه وبالتالى تُصبح السعه الامتصاصية لها عالية وتقل بزيادة العمر. ومن الدراسات المختلفة لوحظ أن السعة التبادلية الكاتيونية لجذور النباتات ذات الفلقتين (مثل العائلة البقولية) أكبر منها للنباتات أحادية الفلقة (مثل محاصيل الحبوب)، كذلك فإن الجذور ذات السعة التبادلية العالية تمتص الكاتيونات الثنائية والثلاثية أكثر من الكاتيونات الأحادية والعكس صحيح. ولذلك يمكن تفسير سبب استفادة النباتات البقولية من الفوسفات صعبة الذوبان فى الأرض عن النباتات النجيلية، حيث أن البقوليات لها جذور ذات سعه تبادليه عالية فتمتص الكالسيوم من فوسفات الكالسيوم صعبة الذوبان وتترك الفوسفات فى صورة صالحة للامتصاص بسهوله عن وجوده مرتبطاً بالكالسيوم .

أى أن النباتات ذات الجذور التى سعتها التبادلية الكاتيونية العالية مثل البرسيم الحجازى يمتص الكالسيوم بقوه أكبر وتفضله عن البوتاسيوم .أما النباتات ذات الجذور منخفضة فى السعة التبادلية الكاتيونية مثل القمح يقل احتفاظها بالكالسيوم وتستطيع أن تمتص البوتاسيوم بسهوله. وجدول (2–3) يعطى بعض الأمثلة على قيم الـ C.E.C لبعض النباتات المختلفة.

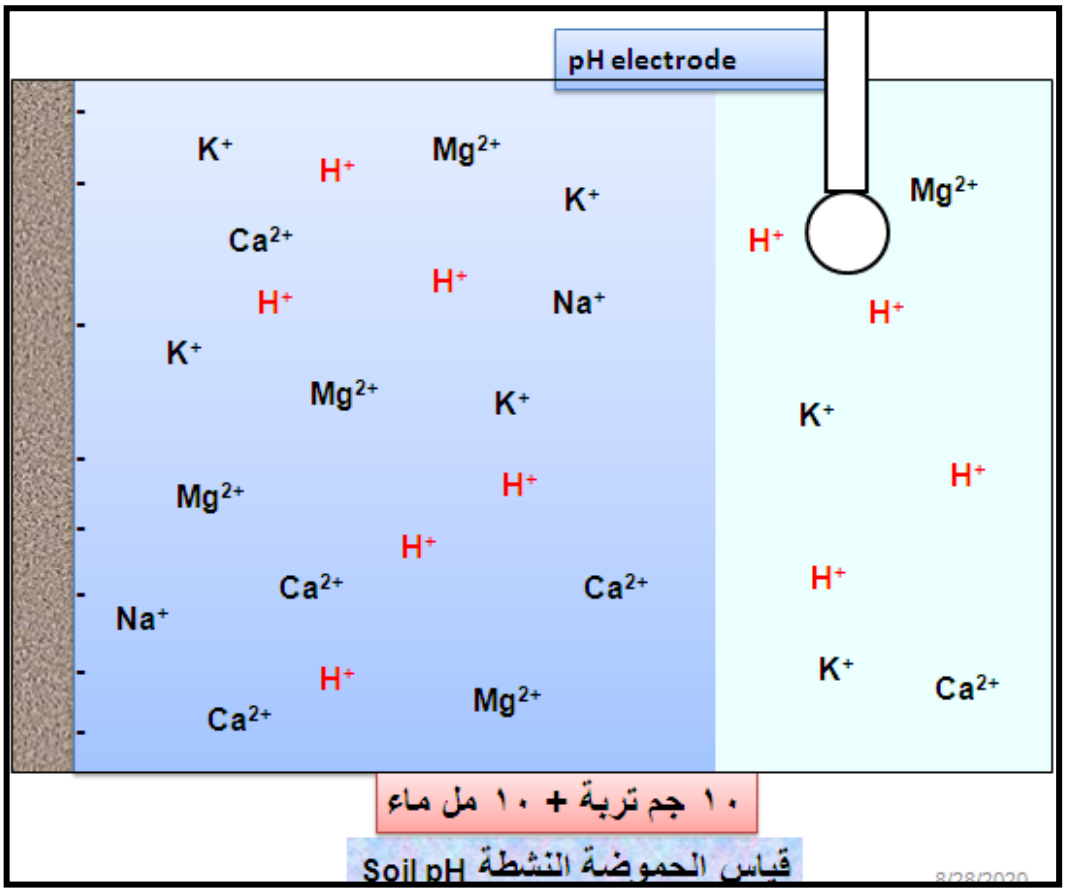
جدول (2–3): السعة التبادلية الكاتيونية لجذور بعض النباتات المختلفة.

نوع النبات	السعة التبادلية الكاتيونية (ملليمكافىء/ 100 جم مادة جافة)
القمح	23
الذرة	29
اللوبيا	54
الطماطم	62

عن:(1995) Marschner

الرقم الأيدروجينى للأرض pH وعلاقته بصلاحية العناصر الغذائية للنبات

يعتبر تفاعل التربة من العوامل المهمة التى تجعل الأرض وسط ملائم لنمو النباتات والكائنات الدقيقة الموجودة بها، والمقصود بتفاعل التربة هو كون هذه التربة حمضية – متعادلة – أو قاعدية. ودرجة الحموضة أو القاعدية تقاس بما يُعرف برقم الـ pH (اللوغاريتم السالب لتركيز أيون الهيدروجين فى الوسط مُعبراً عنه بالمول / لتر [H] log - = pH).



فى معظم الحالات يتم تقدير درجة حموضة التربة فى معلق تربة لمحلول إلكتروليتى مخفف (غالباً 0.01 مولار من كلوريد الكالسيوم أو بواسطة الماء علما بأن فى الحالة الأولى تكون القيمة المتحصل عليها أقل منها فى الحالة الثانية بمقدار يتراوح بين 0.3 – 1.0 وحدة أى بمتوسط 0.6 وحدة ويرجع ذلك لإحلال الكالسيوم محل الأيدروجين المتبادل على أسطح الغرويات الأرضية وينطلق الأيدروجين إلى المحلول الأرضى وفى صورة نشطة). عموماً تكون الأراضى الحامضية ذات مشاكل أكثر بالمقارنة بالأراضى القاعدية، وتتركز الأراضى الحامضية

فى وسط أوروبا حيث يتراوح رقم الـ pH فيها من 3–8 بمتوسط 5 – 6.5. فى حين نجد أن الأراضى القاعدية تتركز فى المناطق الجافة وتكمن مشاكلها فى زيادة نسبة الأملاح أو الصوديوم بها.

عادةً يكون كل من الأيدروجين أو الأومنيوم المتبادل على أسطح الغرويات الأرضية هو المسبب لخفض درجة حموضة التربة pH حيث يؤدى انطلاق الأيدروجين من على سطح الغروى إلى المحلول الأرضى إلى زداد كمية الأيدروجين النشط به وهذا يؤدى إلى خفض درجة الحموضة، ونفس السبب أيضا ينتج من خروج أيون الألومنيوم من على أسطح التبادل نتيجة عملية التبادل الأيونى ومع حدوث التحلل المائى للألومنيوم ينتج أيونات الأيدروجين كما توضحها المعادلة التالية:

$$Al^{+3} + 3\,H_2O \Rightarrow Al(OH)_3 + 3H^+$$

أساس تفاعل التربة Principle Of Soil Reaction

تعتبر معقدات التبادل بالتربة أملاح حامضية ضعيفة أو أملاح للقواعد التى تختلف فى قوتها من الضعيفة إلى القوية ($AL(OH)_3$ إلى NaOH) والتى لها القدرة على التحلل المائى. وفى سنة 1984 ذكر (Schroeder) مثال لتأثير التحلل المائى لبعض القواعد المتبادلة على رقم الـ pH (فى حالة غياب ثانى أكسيد الكربون لتأثيره على خفض رقم الـ pH) وهو عند خروج أيون الصوديوم من على أسطح التبادل وحدوث التحلل المائى له نجد أن قيمة رقم الـ pH للوسط ترتع إلى حوالى 11، فى حين نجد أن الألومنيوم يؤدى إلى خفض قيمة رقم الـ pH إلى حوالى 4.

$$\text{'Na - Soil'} + H_2O \rightleftharpoons \text{H - Soil} + NaOH \qquad pH \sim 11$$

$$\text{Ca - Soil'} + 2\,H_2O \rightleftharpoons \text{Soil} + Ca(OH)_2 \qquad pH \sim 8$$

$$\text{' Al- Soil'} + 3\,H_2O \rightleftharpoons \text{Soil} + Al(OH)_3 \qquad pH \sim 4$$

$$\text{' H-Soil'} + H_2O \qquad pH \sim 3$$

وطبيعى أن هذا المثال لاينطبق على الأراضى تحت الظروف العادية وذلك لأنها فى الغالب تحتوى على خليط من الكاتيونات المختلفة. ويجدر الإشارة هنا إلى أن تأثير البوتاسيوم يكون

مماثل لتأثير الصوديوم فى حين يكون تأثير الماغنسيوم مماثل لتأثير الكالسيوم. وعلى هذا نجد أن درجة الحموضة أو القاعدية يتحكم فيها بدرجه كبيره سيادة Na^{+}, Ca^{2+} Mg^{2+} K^{+} وAL^{3+} بالإضافة إلى الأيدروجين. عموماً تصبح الأرض شديدة الحموضة عندما يسود أيون الأيدروجين، فى حين تقل الحموضة وتتجه إلى التعادل مع سيادة الكالسيوم (مع الماغنسيوم والبوتاسيوم والأيدروجين)، بينما بسيادة الصوديوم تصبح الأرض قلوية (نسبة الصوديوم أكبر من 15% من الـ C.E.C للأرض وذات pH أعلى من 8.5).

مسببات حموضة التربة Causes Of Soil Acidity

كما سبق ذكره أن السبب الرئيسى فى انخفاض رقم pH التربة هو زيادة تركيز أيون الأيدروجين فى المحلول الأرضى وفى نفس الوقت غسيل القواعد الأرضية كما هو الحال فى المناطق الممطرة، أيضاً يتأثر pH التربة الزراعية بمعادن الأرض السائدة وبمعنى أدق مادة الأصل الناشئة منها تلك الأرض. حيث وجد أن مع سيادة القواعد بتلك المعادن ومع حدوث عمليات التجويه تنطلق تلك القواعد ويحدث تشبع لمواقع التبادل بهذه القواعد مما يؤثر على pH التربة، هذا بجانب عوامل أخرى مؤثرة ومنها المناخ ، عمر الأرض، .....إلخ. ومن ناحية تأثير مادة الأصل يمكن ترتيب الصخور النارية على رفع الـ pH كما يلى:

البازلت Basalt > الديوريت Diorite > الجرانيت Granite

ومن أهم مصادر الأيدروجين فى التربة ما يلى:

1 – ثانى أكسيد الكربون الناتج من تنفس الكائنات الدقيقة وجذور النباتات وأيضاً الناتج من عملية الأكسدة للمادة العضوية بالتربة:

$$CO_2 + H_2O \Rightarrow HCO_3^- + H^+$$

وبالتالى يكون الهواء الأرضى ذو محتوى مرتفع من ثانى أكسيد الكربون وبالتالى يكون له تأثيره على خفض pH التربة وخاصة فى الأراضى ذات السعة التنظيمية المنخفضة، والبيانات الموجودة فى جدول (2–4) توضح قيمة pH الماء المتوازن مع هواء ذات محتوى مختلف من ثانى أكسيد الكربون.

جدول (2–4): قيمة pH الماء المتوازن مع هواء ذات محتوى مختلف من ثانى أكسيد الكربون.

	ثانى أكسيد الكربون (حجم %)	قيمة الـ pH
الهواء الجوى	0.03	5.6
الهواء الأرضى	0.30	5.2
	1.00	5.0
	10.00	4.5

عن: (Schroeder, 1984).

2 – الأيدروجين الناتج من جذور النباتات: كما هو معروف عند إمتصاص الجذور للكاتيونات مثل K^+, NH_4^+, Ca^{2+}, Mg^{2+} أو أى كاتيونات أخرى لابد أن يحدث توازن أيونى داخل الجذر وعلى هذا تفقد الجذور جزء من محتواها من الأيدروجين لإحداث هذا التوازن.

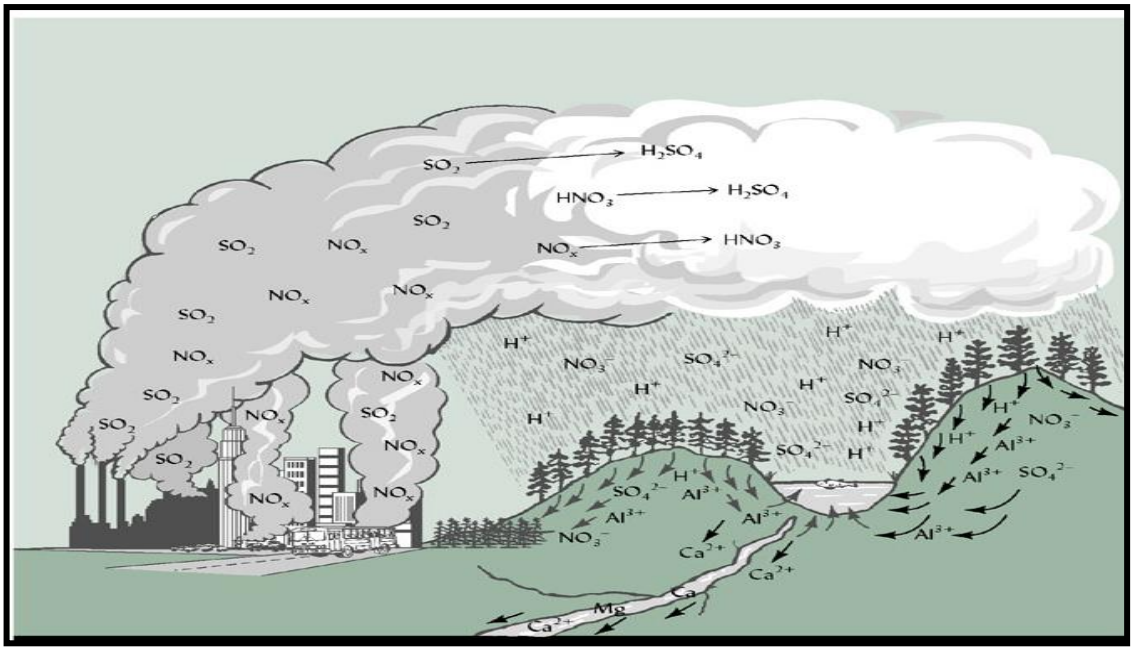
3 – تحلل المادة العضوية: بجانب انطلاق ثانى أكسيد الكربون أثناء عملية الأكسدة ينتج العديد من الأحماض العضوية والتى لها تأثيرها على خفض الـ pH ومنها حمض الفلفيك Fulvic acid وحمض الهيوميك Humic acid.

4 – أكسدة بعض الصور المختزلة لبعض العناصر: ويتضح ذلك فى أكسدة كبريتيد الأيدروجين H_2S إلى كبريتات أو حمض كبريتيك، أيضا أكسدة الأمونيوم إلى نتريت ثم نترات أو حمض النيتريك.

5 – التلوث البيئى: كما هو الحال فى المناطق الصناعية ذات الهواء الغنى فى الأكاسيد الكبريتية والأزوتية، ومع ذوبان تلك الأكاسيد فى مياة الأمطار ينتج عنها مياة أمطار شديدة الحموضة ذات pH حوالى 4 بالمقارنة بمياة الأمطار النظيفة والتى تحوى ثانى أكسيد الكربون فقط والتى تكون ذات pH قدره 5.6.

6 – الأسمدة ذات التأثير الحامضى : من هذه الأسمدة السوبر فوسفات وكبريتات الأمونيوم.

ولمزيد من التفاصيل عن pH التربة ومسببات الحموضة وطرق قياس الـ pH يمكن الرجوع إلى مجال كيمياء الأراضى.



تأثير التلوث البيئى على رقم حموضة التربة

ولتفاعل التربة تأثيره العظيم على درجة صلاحية العناصر المغذية للنبات والتى تكون فى أعلى درجة صلاحية لها عند رقم pH يتراوح ما بين 6,5 –7,5 كما فى (شكل 2–5). ويمكن إيجاز تأثير ارتفاع وانخفاض pH التربة على جعل العناصر المغذية فى صوره أقل صلاحية كما يلى :–

أولاً انخفاض pH التربة عن 5.5 :

1–الفوسفور يحدث له ترسيب لاتحاده مع الحديد والألومنيوم وتتكون مركبات غير ميسره للنبات.

2–العناصر الصغرى Micronutrients كل العناصر الصغرى فيما عدا الموليبدنم Mo تصبح اكثر ذوبانا بزيادة الحموضة، وأعراض نقص هذه العناصر نادر ظهورها عند pH اقل من 7 تقريباً.

3–الألومنيوم مع انخفاض رقم pH الأرض عن 5.5 ينفرد الألومنيوم نتيجه لتهدم معادن الطين، ويصبح ذائب لدرجة السمية بالنسبة للنبات.

4–عملية التأزت Nitrification بانخفاض pH التربة عن 5.5 يقل النشاط البكتيرى، وبالتالى تقل عملية معدنة النيتروجين العضوى وبالتالى عملية التأزوت مما يؤثر على مستوى النيتروجين الصالح للنبات فى الأرض.حيث وجد أن السيادة تكون للفطريات عند pH أقل من 5.5 بينما تكون السيادة للبكتيريا عند PH مرتفع عن ذلك.

ثانياً ارتفاع PH التربة عن 8 :

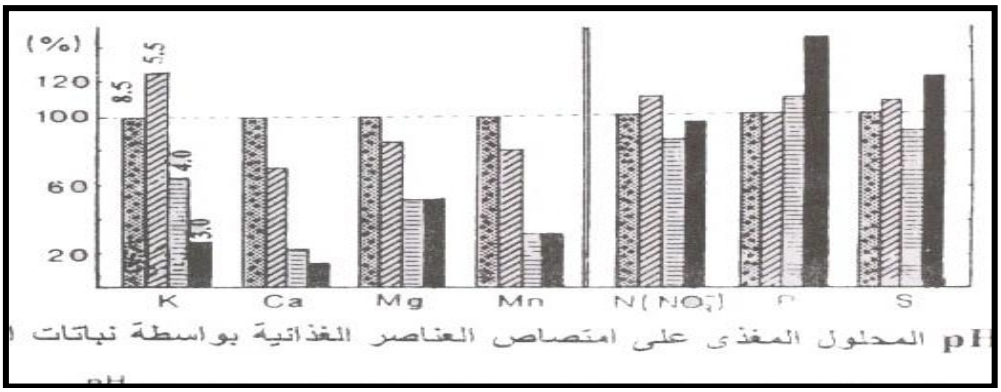
1- الفوسفور : فى وجود الكالسيوم، يتتحول إلى فوسفات الكالسيوم الثنائية ثم الثلاثية وبالتالى يقل الفوسفور الميسر للنبات. ومع ارتفاع الرقم عن 8.5 وفى وجود الصوديوم يصبح الفوسفور ذائب فى صورة فوسفات صوديوم ذائبة.

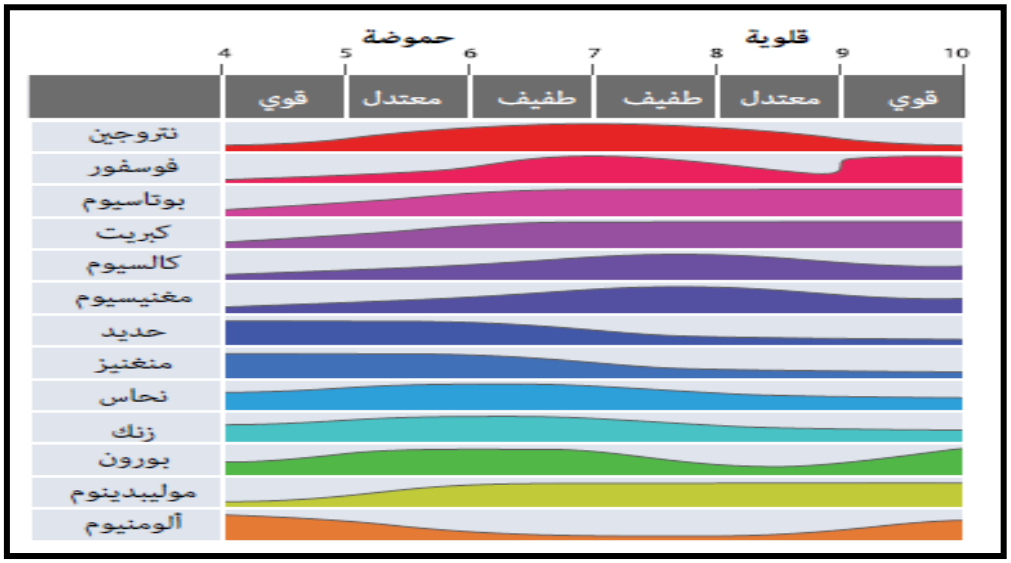
2- البورون: يصبح ميسر لدرجة السمية وخاصة فى الأراضى الملحية والصودية.

3- الصوديوم: معظم الأراضى ذات pH أعلى من 8.6 تكون نسبة الصوديوم المتبادل (E.S.P) أكبر من 15%، مما يؤثر على البناء الأرضى وبالتالى لابد من استصلاحها بإضافة الجبس الزراعى لتحسين صفاتها.

4- عملية التأزت بارتفاع pH التربة يقل النشاط البكتيرى وبالتالى تقل عملية التأزت. كذلك يؤدى ارتفاع رقم الـ pH كما هو فى الأراضى القلوية إلى تطاير الأمونيا من الأرض عند إضافة الأسمدة النشادرية لها.

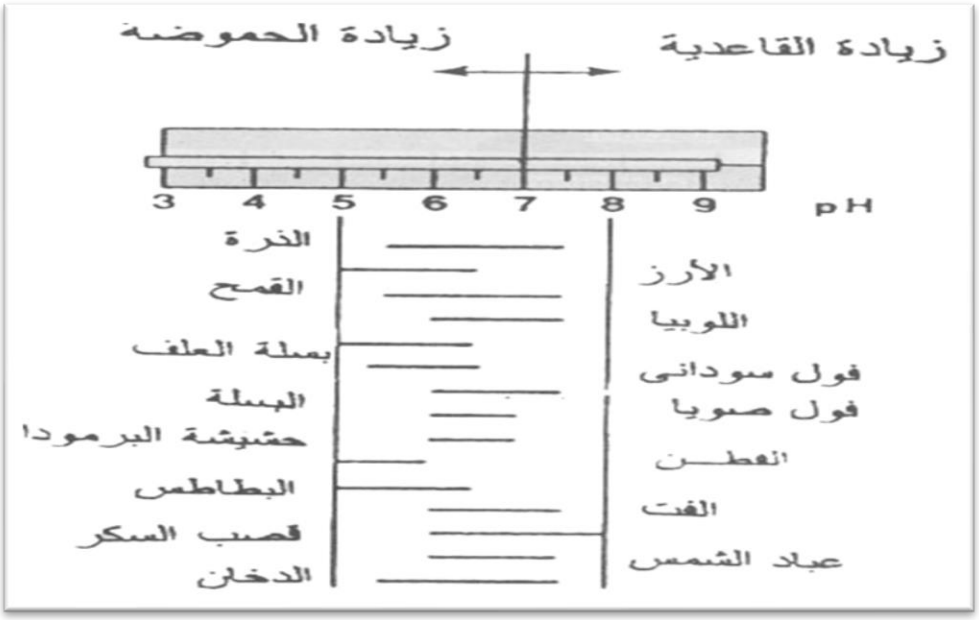
5- العناصر الصغرى تقل درجة صلاحيتها بزيادة pH التربة فيما عدا عنصر الموليبدنم Mo.





شكل (2-5): العلاقة بين رقم pH التربة والتيسر النسبى للعناصر المغذية

بالإضافة إلى ما سبق تتأثر جذور النباتات بتفاعل التربة .حيث ينخفض نمو النبات بشده فى الأراضى شديدة الحموضة نتيجة لذوبان الألومنيوم مما يؤدى إلى سمية الجذور. وتختلف النباتات فى مدى تحملها لدرجات متفاوتة من الـ PH فى الأراضى، ويختلف الـ pH الأمثل لنمو النبات من نبات إلى آخر فمثلاً نباتات الشاى والبطاطس والأناناس والصنوباريات تتحمل درجات شديدة من الحموضة وتنمو بدرجه جيده بعكس نباتات أخرى مثل الشعير والدخان والبرسيم والتى تنمو بطريقه جيده فى الأراضى القاعدية الخفيفة . بينما الأرز والذى ينمو تحت ظروف االأرض المغمورة بالماء ينمو بدرجه جيده فى مدى واسع من الـpH. وشكل (2-6) يوضح المدى الملائم من الـ pH لبعض المحاصيل المهمة.



شكل (2-6): المدى الملائم من الـ pH للمحصيل المختلفة.

الفصل الثالث

كيفية حصول النبات على حاجته من العنصر الغذائى

الفصل الثالث

كيفية حصول النبات على حاجته من العنصر الغذائى

كما سبق القول بأن العنصر الغذائى الواحد يوجد فى أكثر من صوره فى النظام الأرضى، وأن النبات يمتص العنصر الغذائى فى صورته الأيونيه وهذه الصورة تكون ذائبة فى المحلول الأرضى .إلا أن مقادير هذه الصورة قد تكون قليلة جداً وقد لا تفى بحاجة النبات بينما الجزء الأكبر منه على صوره غير ذائبة مرتبطاً بالطور الصلب من الأرض، وذلك إما داخله فى تركيب المعادن الأرضية أو مدمصاً على أسطح الغرويات الأرضية المعدنية منها والعضوية أو داخله فى تركيب المادة العضوية.

بامتصاص العناصر الغذائية من المحلول يقل تركيز تلك العناصر فى المحلول الأرضى وخاصة فى المناطق المحيطة بالجذر. ويتبع ذلك أن تنطلق كميه من العناصر الموجودة داخل الجزء الصلب أو المتبادلة على أسطحه إلى المحلول الأرضى ليرتفع تركيزها مره أخرى. وتتم عملية حصول النبات على حاجته من العنصر الغذائى بالخطوات التالية:-

1-انتقال العنصر الغذائى خلال المحلول الأرضى إلى جذر النبات.

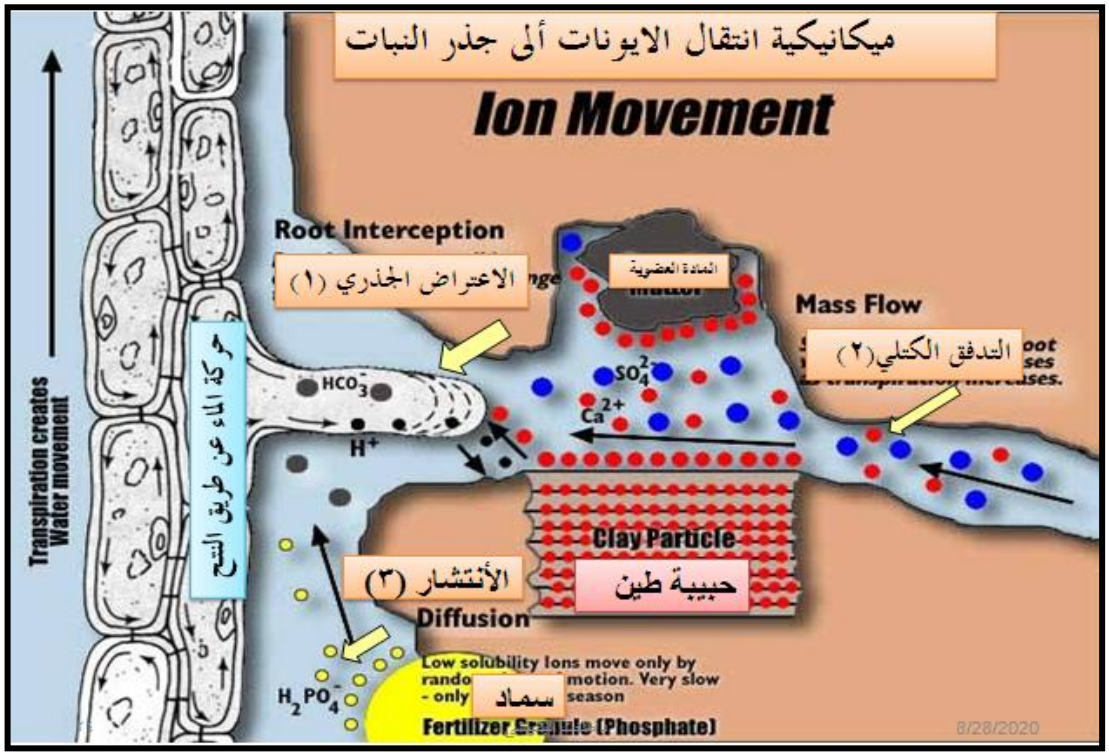
2-امتصاص العنصر (الأيون) بواسطة الجذر.

3-انتقال العنصر داخل النبات من الجذر إلى الأجزاء الهوائية.

أولاً: انتقال العنصر الغذائى خلال المحلول الأرضى إلى جذر النبات.

أهمية انتقال العناصر المغذية فى التربة لجعلها فى صورة صالحة للنبات تم تأكيدها لأول مرة بواسطة (Barber) سنة 1962. وكانت فكرته تتركز فى ثلاث طرق أساسية: الاعتراض الجذرى، التدفق الكتلى والإنتشار كما يوضحها شكل (3-1):

وأمكن توضيح وحساب مساهمة كل طريقة من هذة الطرق فى الكمية الممتصة من عناصر الكالسيوم، الماغنسيوم، البوتاسيوم والفوسفور بواسطة نبات الذرة والمنزرع فى أرض طمية سلتية خصبة جدول (3-1).



شكل (3-1): يوضح انتقال العناصر المعدنية فى التربة إلى سطح جذور النباتات النامية.

(1) الإعتراض الجذرى: وفيه يتم إحلال الجذر محل حجم معين من التربة ويتوقف هذا الحجم على حجم الجذر (امتصاص العنصر يتم بدون انتقاله فى المحلول الأرضى) (2) التدفق الكتلى: وفيه يحدث انتقال للمحلول الأرضى حسب المحتوى الرطوبى بالأرض (أى يصل العنصر إلى الجذر بالانتقال) (3) الإنتشار: وفيه ينتقل العنصر خلال المحلول الأرضى وذلك حسب تدرج التركيز.

- = العنصر الميسر (المقدر بواسطة اختبارات التربة).

جدول (3–1): مساهمة الإعتراض الجذرى والتدفق الكتلى والإنتشار فى الكمية الممتصة من بعض العناصر المغذية بواسطة نبات الذرة *.

العنصر	الكمية الميسرة فى الطبقى السطحية (كجم/ هكتار)**	الكمية الكلية الممتصة (كجم/ هكتار)	الكمية (كجم/ هكتار) بواسطة		
			الأعتراض الجذرى	التدفق الكتلى	الإنتشار
الكالسيوم	4000	45	40	90	–
الماغنسيوم	800	35	8	75	–
البوتاسيوم	300	110	3	12	95
الفوسفور	100	30	1	0.12	28.5

المصدر : (Marschner 1995). * عل أساس أن حجم الجذر يمثل 1% من حجم التربة.
** حسب الكمية المقدرة بإختبارات التربة.

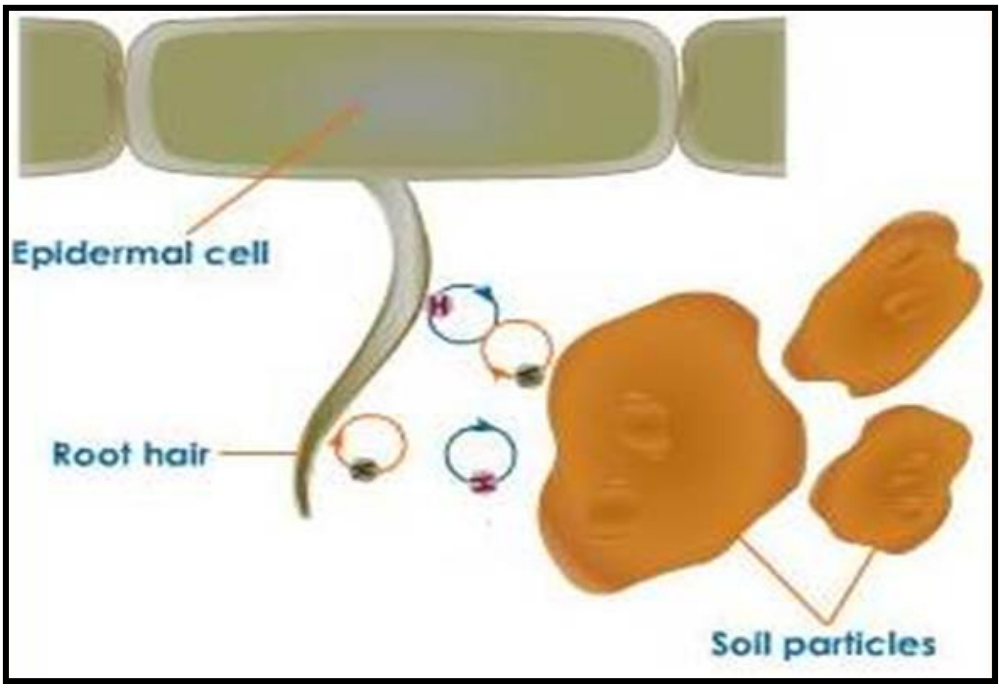
ويمكن توضيح هذه الطرق كما يلى:

1– الاعتراض الجذرى والتبادل بالتماس

Root interception and contact exchange

هناك عدة نقاط مهمة يجب معرفتها لكى يتضح لنا كيفية حصول النبات على ما يلزمه من العناصر المغذية بهذه الطريقة. كما هو معروف مع نمو النبات تنمو الجذور أيضاً وتتفرع الشعيرات الجذرية، ومع نموها تصل إلى أماكن من التربة لم يتطرق إليها الجذر من قبل بما فيها من عناصر غذائية ذائبة أو متبادلة، أى يحدث إمداد جديد للنبات بالعناصر الغذائية (والماء) وهذه العملية تعرف باسم الاعتراض الجذرى Root interception وفيها يصل العنصر إلى الجذر عن طريق التلامس المباشر خلال المحلول الأرضى أو عن طريق تلامس الجذر مع الأيونات المتبادلة على أسطح الغرويات الأرضية وهذه العملية الأخيرة تعرف باسم نظرية التبادل بالتماس Contact exchange theory. وتفترض هذه النظرية انتقال العناصر الغذائية من على أسطح التبادل (غرويات الأرض) إلى سطح جذر النبات مباشرةً بدون المرور بالمحلول الأرضى، حيث تعتمد هذه النظرية على أن الأيونات المدمصه على أسطح الغرويات الأرضية أو على جذر النبات يكون لها حجم معين وحيز يحدث فيه تذبذب هذه الأيونات، وعند تداخل مناطق التذبذب هذه بعضها مع البعض يحدث تبادل فى مواقع الأيونات المدمصة على سطحى الغروى

والجذر. والكميه المتبادلة تكون متكافئة وفى الغالب يكون التبادل بين أيونات الأيدروجين (H^+) الذى تفرزه الجذور والأيونات المتبادلة على أسطح الغرويات الأرضية. وهناك بعض الاعتراضات على هذه النظرية حيث أن حجم القمة النامية فى الجذر والمسئولة عن هذه



شكل يبين التبادل بالتماس

العملية صغيره جداً. وعموماً تكون كمية العناصر المغذية التى يحصل عليها النبات بهذه الطريقة تكون صغيره بالنسبة للكمية الكلية التى يحتاجها النبات،وذلك لأن كمية المغذيات التى يمكن أن تتلامس مباشرةً مع الجذر هى الكميه الموجودة فى حجم من الأرض مساوى لحجم الجذر . فإذا افترضنا أن الجذر يشغل 1% من حجم الأرض، والمسافات البينية تشغل 50% من حجم الأرض فإن الجذر يشغل 2% من المسافات البينية. وعلى ذلك يمكن حساب الكميه الميسرة للجذر بهذه الطريقة وفى هذه الحالة سوف تكون أقل من 2% من الكميه الميسرة للعنصر فى الأرض. وبصفة عامة تتوقف مساهمة هذه الطريق فى إمداد النبات بالعناصر المعدنية على: تركيز العناصر فى منطقة حجم الجذر، حجم الجذر ونسبته من حجم الطبقة السطحية للأرض وهو يمثل حوالى 1 % وأخيرا الحجم الذى تشغله المسافات البينية من الحجم الكلى للتربة وهو يمثل عادة 50%. ولذلك تلعب طريقتى التدفق الكتلى والانتشار دور كبير فى حركة وانتقال العناصر من مسافات ليست قصيرة إلى جذر النبات.

2- التدفق الكتلى Mass Flow

عند امتصاص النبات للماء فى منطقة الجذور، تقل كمية الرطوبة فى هذه المنطقة وعلى هذا ينتقل الماء من الأماكن ذات الرطوبة المرتفعة ببطء إلى سطح الجذور. وبالتالى تنتقل المغذيات النباتية الذائبة والمحمولة بهذا الماء إلى الجذور عن طريق التدفق الكتلى .وعلى ذلك تتوقف كميه المغذيات النباتية التى يحصل عليها النبات بهذه الطريقة على الاستهلاك المائى للنبات Water consumption of the plant وتركيز العناصر فى الماء .وفى منطقة الجذور، تركيز العناصر قد يزداد أو يقل أو يظل ثابت ويتوقف ذلك على التوازن بين معدل الإمداد للجذور بواسطة التدفق الكتلى ومعدل الامتصاص بواسطة النبات.

وكمثال، فإن تركيز الكالسيوم فى الأرض يتراوح بين 8 إلى 450 جزء فى المليون، بينما تركيزه فى نبات الذرة هو 2200 جزء فى المليون، وعلى ذلك عند التركيز المنخفض فى المحلول الأرضى من هذا العنصر لابد أن يمتص كمية ماء أكثر من وزنه بمقدار 275 مره لكى يحصل على هذه الكميه من الكالسيوم وهذا لا يتأتى إلا عن طريق التدفق الكتلى. وبعبارة أُخرى إذا كان معدل النتح لنبات الذرة هو 275 وتركيز الكالسيوم فى المحلول الأرضى هو 8 جزء فى المليون، فعند هذا التركيز تكون كمية الكالسيوم التى يمتصها نبات الذرة كافية لاحتياجاته. وفى الواقع أن معامل النتح transpiration coefficient للنبات يتراوح بين 300 – 600 لتر ماء / كجم مادة جافة وعلى ذلك نجد ان كميه أكبر من احتياجات النبات لعنصر الكالسيوم تنتقل إلى الجذر عن طريق التدفق الكتلى.

بالنسبة للفوسفور فإن الأمر يختلف تماماً عن الكالسيوم (جدول 3-2) حيث يكون تركيز الفوسفور الذائب فى التربة منخفض بصفة عامة، كما هو واضح من الجدول السابق وعند التركيز المنخفض 0.03 جزء فى المليون نجد أن لكى يحصل النبات على احتياجاته من هذا العنصر ويصل تركيز الفوسفور به 2000 جزء فى المليون لابد أن يكون معدل النتح هو 66666 وهذا غير منطقى. وعلى ذلك لابد وأن هناك طرق أُخرى ينتقل بها العنصر إلى جذر النبات ومن أهم هذه الطرق هى الانتشار.

جدول(3-2): العلاقة بين تركيز بعض الأيونات فى المحلول الأرضى وتركيزها فى نباتات الذرة.

العنصر	التركيز بالجزء فى المليون			النسبة بين تركيز العنصر فى النبات إلى تركيزه فى الأرض	
	التركيز المنخفض فى المحلول	التركيز المرتفع فى المحلول	متوسط تركيز العنصر فى النبات	النسبة إلى التركيز المنخفض	النسبة إلى التركيز المرتفع
الكالسيوم	8	450	2200	275	4.9
البوتاسيوم	3	156	20000	6666	128
الماغنسيوم	3	2.4	1800	600	8.8
النيتروجين	6	1700	15000	2500	8.8
الفوسفور	0.03	7.2	2000	66666	278
الكبريت	118	655	1700	155	2.6

عن: Barber, S.A (1962)

3-الانتشار Diffusion

ويقصد به تحرك الأيونات خلال المحلول الأرضى وبين مواقع التبادل على أسطح الغرويات الأرضية. ويكون اتجاه الحركة من المنطقة ذات التركيز المرتفع للأيون إلى المنطقة ذات التركيز المنخفض لنفس الأيون محكوماً بطاقته الحركية وليست حركة الماء . فعند امتصاص الأيون بواسطة النبات يقل تركيزه فى منطقة الجذور، وعلى هذا يحدث تدرج فى التركيز لهذا الأيون بالمحلول الأرضى وهذا التدريج يتبعه تحرك الأيون فى اتجاه الجذور من التركيز المرتفع إلى التركيز المنخفض وبمعنى آخر إنتقال مع تدرج التركيز. وهناك عدة عوامل تؤثر على معدل الانتشار فى الأرض منها:

1- **محتوى الأرض من الرطوبة:** وهنا العلاقة طردية حيث يزداد معدل الانتشار فى نفس الأرض مع زيادة محتواها من الرطوبة.

2- **قوام الأرض:** عند نفس الجهد من الماء فى الأرض يزداد معدل الانتشار فى الأرض الطينية عنه فى الأراضى الرملية وذلك لاحتواء الأرض الطينية على مستوى أعلى من الرطوبة عند نفس جهد الماء وأيضا لوجود غشاء متصل للماء حول حبيبات التربة.

3- **المسامية:** يزداد الانتشار بزيادة نسبة المسام حيث أن الانتشار يتم خلال المسام المملوءة بالماء.

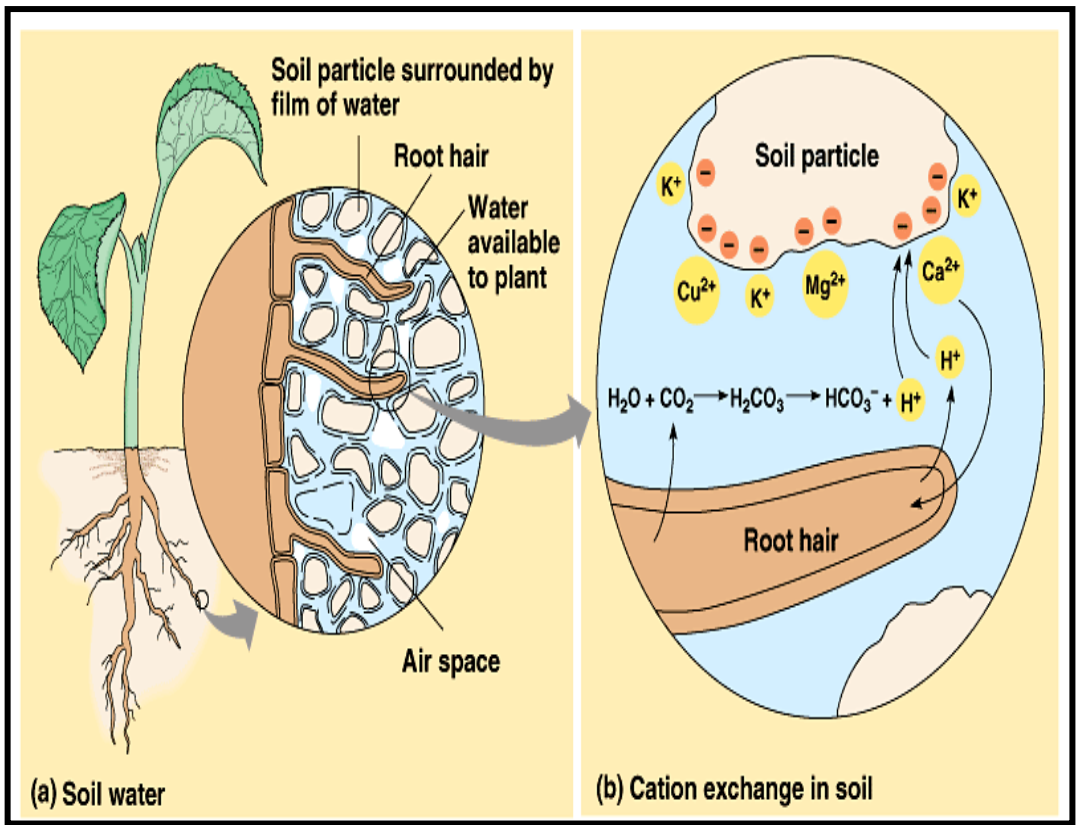
4- **مستوى العناصر فى الأرض:** يزداد معدل الانتشار كلما ارتفع محتوى الأرض من العناصر، حيث أن المستوى المرتفع من العناصر فى المحلول الأرضى يسمح بتدرج أكبر فى التركيز .

ثانياً: امتصاص الأيونات بواسطة جذور النبات

Ions Uptake by plant Roots

من المعروف بأن معظم الماء والعناصر المغذية المعدنية والتى يحصل عليها النبات من التربة تمتص بواسطة الشعيرات الجذرية والتى تكون مناطق الامتصاص الكبرى فى النباتات، ويرجع ذلك لأن جدر خلايا بشرتها خالية من المواد الشمعية والكيتينية والتى تعوق عملية الامتصاص. وعلى الرغم من صغر المساحة التى تشغلها منطقة الامتصاص فى الجذر إلا أن وجود الشعيرات الجذرية بهذه المنطقة يضاعف إلى حد كبير سطح الامتصاص أيضا نتيجة تغلل
الشعيرات الجذرية بين حبيبات التربة تعرض سطح الامتصاص لأكبر حجم ممكن من الوسط الخارجى. ويوضح شكل (3-3) كيفية وصول الأيونات من التربة سواء الذائبة فى المحلول الأرضى أو المتبادلة على أسطح الغرويات الأرضية المعدنية منها أو العضوية إلى سطح الشعيرات الجذرية وإنتقالها داخل الشعيره فى إتجاه خلايا الجذر.

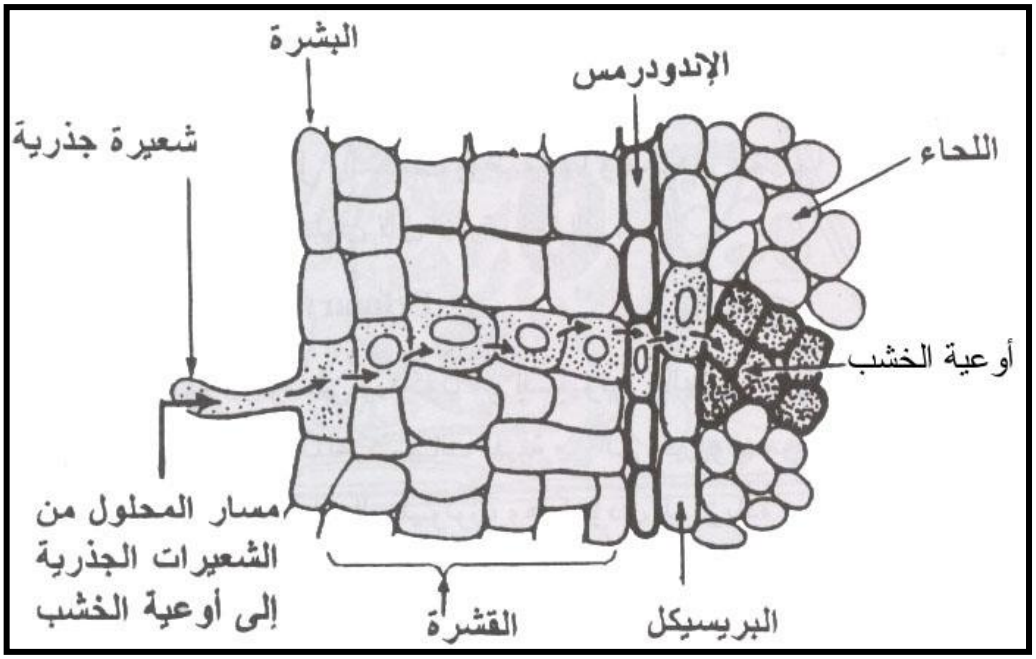
ونظراً لأهمية الجذر فى عملية الامتصاص فيكون من الضرورى الإشارة إلى تركيب جذر النبات والخلية النباتية كى يتثنى لنا تفهم النظريات التى تحاول تفسير عمليات الامتصاص.



شكل (3–3): رسم تخطيطى يوضح كيفية امتصاص الشعيرات الجذرية للأيونات من التربة.

تركيب الجذر Root Structure

عند فحص قطاع عرضى فى جذر حديث من منطقة الامتصاص ومن الخارج إلى الداخل شكل (3–3)، نجد أن أول طبقاته هى **البشرة** وتكون اسطوانة تغلف الجذر سمكها خلية واحدة، ويخرج من معظم خلاياها شعيرات جذرية جدرها خالية من أى تغليظ أو أى مادة تمنع نفاذ الماء أو الأيونات. وعلى ذلك ينتشر الماء بما يحويه من أيونات خلال جدرها بسهولة تامة، وتتميز خلايا هذه الطبقة باحتوائها على فجوات عصارية كبيرة كما أن جدرها مغطاة بطبقة مخاطية لتزيد من قدرتها على الالتصاق بالتربة.



شكل (3-3): رسم تخطيطى يوضح قطاع عرضى فى جذر النبات.

يلى طبقة البشرة طبقة **القشرة** والتى تتكون من عدة صفوف من خلايا بارنشيمية ذات جدر رقيقة منفذة للماء بسهولة. ويلى ذلك **الإندودرمس** وهى طبقة من الخلايا والتى تتغلظ جدرها العليا والسفلى والجانبية ولكنها خالية من التغليظ فى الجدر المواجهة للقشرة وللاسطوانة الوعائية وعلى ذلك يأخذ التغليظ شكل شريط أو حزام يسمى شريط كسبرى Casparian strip وفى الجذور حديثة السن يتكون هذا الشريط من مادة فلينية متكوتنة، بينما فى الجذور المسنة تتغلظ كل جدر خلايا الإندودرمس وعلى هذا يمنع مرور الماء فيما عدا بعض الخلايا التى تسمح بنفاذ الماء إلى الأوعية الخشبية وتسمى هذه الخلايا بخلايا المرور Passage cells.

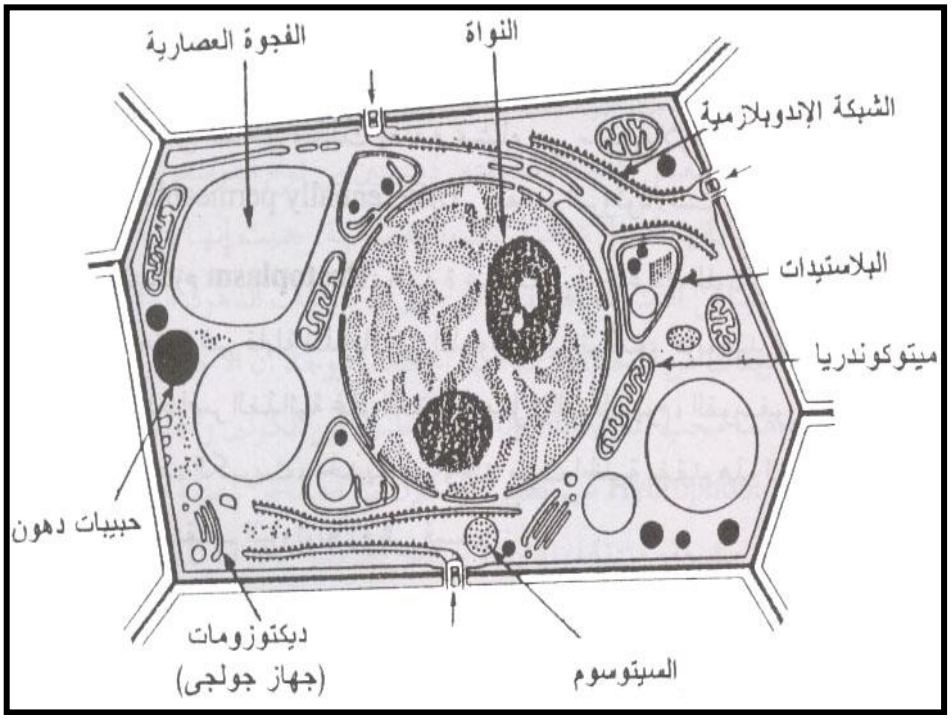
الاسطوانة الوعائية هى تلى طبقة الإندودرمس وأول طبقاتها هو نسيج البريسيكل ويكون اسطوانة تغلف الاسطوانة الوعائية وفى الغالب يكون سمكه خلية واحدة وخلاياه إسكلرنشيمية أو بارنشيمية، وينفذ الماء بسهولة خلال جدره إلى أوعية الخشب. ويوجد الخشب فى المركز فى مجاميع مثلثة الشكل ومتبادلة مع مجاميع اللحاء مكوناً حزماً وعائية قطرية. وأوعية الخشب خلايا ميتة تمتد بطول النبات أغلظت جدرها الجانبية بمادة اللجنين وهى مادة لا تمنع نفاذ الماء إلى الداخل.

تركيب الخلية النباتية Plant Cell Structure

يبين شكل (3–4) رسم مبسط للخلية النباتية موضحاً أهم مكوناتها وهى:

أولاً: الجدار الخلوى Cell Wall

عبارة عن جدار صلب مسامى يغلف الخلية النباتية من الخارج ويحيط بجميع محتويات الخلية. ويفرز هذا الجدار أساساً من البروتوبلاست وعادةً يتكون من مواد كيميائية خاملة حيث يدخل فى تركيبه مواد بكتينية مع السليلوز وبعض المواد الأخرى مثل الهيميسليولوز وقليل من البروتين والدهون. وبصفة عامة تختلف الجدر الخلوية من خلية إلى أخرى فى الشكل والسمك ووظيفتها وعمرها رغم أنها تمتاز بتماثلها فى التركيب. ويتميز الجدار الخلوى لأى خلية بالغة إلى ثلاث أجزاء رئيسية واضحة وهى:



شكل (3–4): رسم تخطيطى يوضح تركيب الخلية النباتية.

(1) **الصفيحة الوسطى Middle lamella** والتى تتكون أساساً من بكتات الكالسيوم والماغنسيوم، وغالباً ما يتخلل مادة الصفيحة الوسطى مواد أخرى مثل السليولوز والسكريات. وتعمل الصفيحة الوسطى كمادة أسمنتية لاصقة بين كل خليتين، وبتقدم الخلية فى العمر تصبح الصفيحة الوسطى أقل صلابة وبالتالى يصبح الرباط بين كل خليتين ضعيفاً كما هو الحال فى الخلايا المخزنة بالثمار والتى تتميز بذوبان منطقة الصفيحة الوسطى عند النضج.

(2) **الجدار الأولى Primary wall** يحيط بالصفيحة الوسطى ويتكون من السليولوز والهيميسليولوز مع وجود بعض المواد البكتينية والتى تتخلله كميات قليلة من البروتين والدهون. ويمتاز هذا الجدار بالمرونة العالية لاحتوائه على السليولوز، وهذا يؤدى إلى زيادة حجم الخلية مع النمو نتيجة امتلائها بالمواد الغذائية، ويمتاز بالقدرة العالية على التشرب بالماء نظراً لطبيعته الغروية، أيضاً يمتاز هذا الجدار بمساميته والتى تنشأ من تشابك ألياف السليولوز المكونة له مع بعضها البعض وبطريقة مغزلية غير منتظمة، وهذه المسام الشعرية تسمح بمرور المحاليل من وإلى الخلية بسهولة. ومن هنا لا يستطيع الجدار أن يتحكم فى مرور المحاليل إلا إذا تم ترسيب بعض المواد الكارهة للماء على هذا الجدار. ومع قرب نهاية النمو للخلية يبدأ ترسيب مواد أخرى ثانوية مثل الكيوتين والسوبرين الشمعية والغير منفذة للماء على الجدر الأولية لتكوين الجدر الثانوية.

(3) **الجدار الثانوى Secondary wall** ويتكون أساساً من السليولوز الذى يوجد فى صورة طبقات يتخللها مواد تزيد من صلابته مثل البكتين واللجنين وكذلك المواد الشمعية مثل السوبرين والكيوتين الغير منفذة للماء.

وفى العادة توجد عدة ثقوب Pits فى الجدار الخلوى نتيجة لعدم ترسيب مواد من مكونات الجدار الثانوى فيها وهذه الثقوب غير معروف وظيفتها بالخلايا. بالإضافة إلى ذلك يوجد فى كل من الجدارين الأولى والثانوى نوع آخر من الثقوب تسمح بمرور شعيرات سيتوبلازمية من خلالها تسمى بالبلازموديزمات Plasmodesmata وهى تنشأ غالباً كامتداد للشبكة الإندوبلازمية وهى تعمل على ربط بروتوبلاست الخلايا المتجاورة ببعضها لتكون مجتمع من الخلايا يسمى Symplast وتعمل هذه الروابط على تسهيل مرور المواد الغذائية من خلية إلى أخرى بدون حدوث عوائق. وتعمل الجدر الخلوية بجانب تحديد شكل الخلية النباتية وتوفير الحماية الكافية لها على إمرار الماء عن طريق التشرب ورفع الماء والأملاح إلى داخل الخلايا فى اتجاه البرتوبلازم.

ثانياً: البروتوبلاست Protoplast

وهو عبارة عن كل المكونات الحية بالخلية وفيه تحدث جميع العمليات والأنشطة الحيوية والفسيولوجية مثل عمليات البناء، التمثيل، التكاثر والنمو. ويقوم بتبطين الجدار الخلوى من الداخل وبذلك يغلفه غشاء حى سيتوبلازمى ذو نفاذية اختيارية Differentially permeable membrane وينقسم البروتوبلاست إلى قسمين:

(1) البروتوبلازم Protoplasm : عبارة عن سائل لزج عديم اللون به عدة حبيبات دقيقة معلقة غير قابلة للذوبان فى الماء ومنها بروتينات، كربوهيدرات، مواد دهنية بجانب العناصر الغذائية الغير عضوية مثل البوتاسيوم، الفوسفور، الكالسيوم ، الماغنسيوم، الكبريت والحديد...، وعند موت الخلية يفقد هذا السائل خاصيته السائلة، وينقسم البروتوبلازم إلى قسمين:

أ – **السيتوبلازم Cytoplasm:** وهو سائل شفاف عديم اللون يملأ معظم فراغ الخلية المرستيمية ويحيط بالفجوة العصارية للخلايا البالغة، ويمتاز السيتوبلازم بأنه يجمع بين صفتى السيولة والمرونة حيث يكون فى الخلايا النشطة فسيولوجياً فى حالة شديدة من السيولة والانسياب حول الأسطح الداخلية لجدر الخلايا والتى عن طريقها يتم نقل المواد الغذائية المختلفة والعمل على توصيل وربط الخلايا ببعضها البعض. و يوجد منغمس فى السيتوبلازم البلاستيدات بأنواعها، الميتوكاندريا، الليبوسومات، الشبكة الإندوبلازمية، الريبوسومات، السفيروسومات وجهاز جولجى. ومن أهم مكونات السيتوبلازم الأغشية السيوبلازمية Cytoplasmic membrane: وهى عبارة عن غشاء بلازمى خارجى يحيط بالسيتوبلازم ويسمى Plasmalemma وغشاء آخر داخلى يحيط بالفجوة العصارية ويسمى Tonoplast. وتمتاز هذه الأغشية بالحيوية وقدرتها على تحديد واختيار نوع وكمية المواد الذائبة التى تمر من وإلى الخلية، وذلك لكونها أغشية حية شبه منفذة. وتتكون الأغشية السيتوبلازمية أساساً من طبقتين من البروتين بينهما طبقة من الدهون (الليبيدات) فلقد اقترح Overton سنة 1911 أن هذه الأغشية تحتوى على مواد شبيهة بالدهون Fat-like substance حيث لاحظ وجود علاقة طردية بين نفاذية الأغشية السيتوبلازمية ودرجة نفاذية المواد الغير قطبية non-polar groups، حيث أنه من المعروف أن المواد الغير قطبية تذوب فى الدهون ومذيباتها بسهولة. ولقد افترض Nathansohn أن الغشاء البلازمى ذو تركيب خليط من الدهون والبروتين وتشير الدلائل على أنه تتواجد طبقتين من البروتين على الأسطح الخارجية والداخلية للغشاء البلازمى تعمل كغلاف لطبقتين دهنيتين من نوع الفوسفوليبيد. وتتميز طبقة البروتين بأنها تحمل شحنة كهربائية سالبة حيث أنها تكون من اتحاد لجزيئات أحماض أمينية مختلفة فى حين أن طبقات الدهون الداخلية وحدة تركيبها جزيئات من الأحماض الدهنية المختلفة. ووجد أن الأحماض الدهنية لها طرفان أحدهما محب للماء Hydrophilic قطبيه من الكولين والجلسرين وطرف كاره للماء Hydrophobic غيرقطبى ويتكون من أحماض دهنية طويلة السلسلة مشبعة أوغير مشبعة، وتتقابل نهاية الأحماض الدهنية الكارهة للماء داخل الغشاء فتمنع مرور اى مركبات قطبية من ماء وذائبات وأيونات غير عضوية، فى حين تُغطى الحواف الخارجية لطبقات الدهون بالبروتين. ويوجد تصور آخر مضمونه بأن طبقة الدهن المزدوجة لا تُغطى بطبقتى بروتين بينما يوجد البروتين فى تكتلات ظاهرة وبارزه على السطح الخارجى، أوقد

تكون منغمسة فى طبقة الدهن المزدوجة مكوناً بروتين داخلى وهنا تعمل طبقة البروتين كقناة تسمح بمرور الماء والذائبات.

ومن السابق نجد أن الغشاء البلازمى يعمل كحاجز يمنع إنتقال الذائبات والأيونات، على الرغم من مرور بعض الجزيئات من خلاله بسهولة ومن المؤكد بأن مثل هذه المركبات ذات خصائص معينة. أيضاً يكون من المؤكد وجود وسيلةٍ ما يتم بها إختراق الأيون لهذا الجدار، وهذا ما سوف نتعرض له لاحقاً. و يمكن أيجاز أهمية الأغشية السيتوبلازمية فى:

1 – تعمل على تنظيم تبادل المواد الذائبة بين الخلية والوسط المحيط بها.

2 – تنظيم حركة الذائبات داخل وبين الخلايا.

3 – عزل بعض التفاعلات الكيميائية عن بعضها داخل الخلية.

4 – حمل بعض الإنزيمات المهمة للخلية.

5 – الإحتفاظ بالمواد الذائبة الضرورية للخلية وأساساً داخل الفجوة العصارية.

6 – ربط وإتصال الخلايا ببعضها.

ب – النواة Nucleus: وهى الجزء الثانى من مكونات البروتوبلازم وهى عبارة عن جسم بروتوبلازمى كروى أوبيضاوى كثيف لامع يوجد منغمساً فى السيتوبلازم. وبصفة عامة تحتوى الخلية على نواة واحدة عدا بعض الحالات القليلة توجد أكثر من نواة فى الخلية الواحدة. وتحاط النواة بغشاء نووى يشبه فى تركيبة الأغشية البلازمية، ويمتاز هذا الغشاء بوجود ثقوب به تسمح بمرور المواد البروتينية والأحماض النووية (RNA) وغيرها من النواة إلى السيتوبلازم بالخلية. وتحتوى النواة بداخلها على السائل النووى Nuclear sap أو Nucleoplasm أيضاً تحتوى على الأحماض النووية RNA و DNA وبعض الإنزيمات الهامة بجانب الشبكة النووية وتعتبر المادة الوراثية والتى يتكون منها الكروموسومات نتيجة تكاثفها عند إنقسام الخلية.

(2) المحتويات الخاملة Ergastic substances: وهو القسم الثانى من البروتوبلاست وتشمل جميع المكونات الغير نشطة حيوياً وتحوى جزء سائل والمتواجد فى الفجوة العصارية Vacuole ويعرف باسم العصير الخلوى Cell sap وهو عبارة عن محلول حامضى التاثير ذو رقم pH يتراوح بين 5.5 – 6.5 فى حين أن هذا الرقم لباقى مكونات الخلية يكون فى مدى من 6.8 – 7 اى متعادل تقريباً. ومن أهم مكونات العصير الخلوى الغازات – السكريات – الأملاح المعدنية – القلويدات – أحماض عضوية – بروتينات ذائبة. وعموماً تقوم الفجوة العصارية بدور هام فى تنظيم أمتصاص الخلية للماء كما أنها تساعد على انتفاخها لتأخذ الشكل الخاص بها، هذا

بجانب قيامها بعملية الإخراج للخلية. هذا ومن المكونات الخاملة فى الخلية الزيوت وبعض المحتويات الصلبة البللورية والغير بللورية.

بعد هذا الشرح المبسط لتركيب الجذر والخلية النباتية يجدر بنا الإنتقال وإلقاء الضوء على كيفية امتصاص العنصر الغذائى والذى يعبر عنه بعدة مصطلحات مثل Absorption أو Intake أو uptake وهى لا تعنى إلى طريقة أو ميكانيكية محدده لامتصاص الأيونات وإنما تشير كلها إلى معنى واحد وهو دخول الأيونات إلى داخل جذر النبات. كذلك يوجد اصطلاح تراكم Accumulation والتى تشير إلى تحرك الأيونات ضد تدرج التركيز وهى عمليه حيوية.

وعندما يصل عنصر ما فى صورته الأيونية إلى أسطح جذور النبات فإن هناك ثلاث احتمالات يمكن أن تحدث له وهى:

1- إدمصاصه على أسطح خلايا الجذر نتيجة لتوفر الشحنة الكهربائية على هذه الأسطح.

2- اختراقه خلايا الجذر عن طريق الحركة الحرة Passive movement وذلك خلال الجزء من الخلية المسمى بالفراغ الحر Free space.

3- تراكمه Accumulation داخل الخلايا عن طريق ما يسمى بالامتصاص النشط Active uptake أو الامتصاص الحيوى .Metabolic uptake.

أى أن عملية الامتصاص للعناصر الغذائية إما أن تكون خلال وسيلة انتقال حُر أى لا تحتاج إلى طاقه أو ميكانيكية انتقال حيوى وهو ما سنتناوله بشىء من الإيجاز.

ويجب الأخذ فى الإعتبار أن يوجد تعارض شديد بين تركيز العناصر فى المحلول الأرضى من جهة، ومدى احتياجات النباتات لتلك العناصر. علاوة على ذلك نجد أن تركيز بعض العناصر يتضاعف عدة مئات المرات فى الأنسجة النباتية عنه فى المحلول الأرضى وفى معظم الأحيان يكون التركيز داخل الأنسجة النباتية أكبر بكثير من احتياجات النباتات لهذه العناصر، وفى نفس الوقت نجد أن تركيز البعض الآخر من العناصر يكون أعلى فى المحلول الأرضى عنه فى الأنسجة النباتية. وعلى ذلك يمكن القول بأن عملية الامتصاص عملية اختيارية. وفى البداية تم دراسة ذلك باستخدام خلايا الفطريات وهى خلايا ذات جدارين (بلازما Plasms وتونوبلاست Tonoplast)

يعتبر العالم الامريكى هوجلاند (Hogland) ومعاونيه سنة 1948 أول من أشاروا إلى ظاهرة التجمع والاختيارية فى الامتصاص، حيث قام ببعض التجارب التى أوضحت الكثير من

جوانب عملية الامتصاص للأيونات بواسطة النبات. حيث استعمل فى دراسته طحالب ذات خلايا كبيرة الحجم حتى يتمكن من فصل مكونات العصارة الخلوية لها ثم تقدير محتواها من الأيونات المختلفة. ففى تجربة عن امتصاص العناصر بواسطة طحلب النيتلا Nitella الذى ينمو فى المياه العذبة وطحلب الفالونيا Valonia الذى ينمو فى مياه البحار، ظهر أن تركيز الأيونات فى الفجوة العصاريه لهذه الطحالب لا يتمشى مع تركيز الأيونات فى المياه التى تعيش فيها، حيث يتواجد فى الفجوة العصاريه لطحلب النيتلا العديد من العناصر بتركيز مرتفع جداً عن تركيزاتها فى الماء الذى تنمو فيه، فمثلاً البوتاسيوم يتضاعف تركيز 1080 ضعف، الصوديوم 45 ضعف، الكالسيوم 13 ضعف والكلوريد 98 ضعف. وعكس ذلك بالنسبة لطحلب الفالونيا الذى يعيش فى مياه البحار عالية الملوحة فنجد أن تركيز كل من الصوديوم والكالسيوم قد انخفض فى العصير الخلوى فيما عدا البوتاسيوم الذى ذاد تركيزه كثيراً فى الفجوة العصارية عن تركيزه فى ماء البحر كما يتضح ذلك من جدول (3-3). ويمكن تلخيص نتائج هوجلاند ومساعدوه فيما يلى:

1- النبات يمتص الأيونات اختيارياً. ويتضح ذلك مع عنصر البوتاسيوم القليل التركيز جداً فى مياه المستنقع بالمقارنة بباقى الأيونات الأخرى حيث يُعتبر من أكثر الأيونات تجمعاً فى الفجوة العصارية لطحلب النيتلا . وعكس ذلك عنصر الصوديوم يظل تركيزه منخفضاً فى فجوة الفالونيا عن تركيزه المرتفع جداً فى ماء البحر. أى أن خلايا النبات يمكن أن تمتص أيونات من وسط النمو وتنقلها إلى داخلها بينما تستبعد أيونات أخرى. وتسمى هذه الظاهرة الامتصاص الاختيارى .Selective ion uptake.

2- من النتائج نجد أن هناك ارتفاع فى تركيز كثير من الأيونات فى الفجوة العصارية بالمقارنة بتركيزاتها فى المحلول الخارجى، وهذا يؤكد ان تجمع الأيونات بواسطة الخلية يتم ضد تدرج التركيز Against concentration gradient.

جدول (3-3): العلاقة بين تركيز الأيونات فى العصير الخلوى للطحالب والوسط الخارجى.

الطحلب ⇐ الأيون ⇓	النيتلا التركيز (ملليمول)			الفالونيا التركيز (ملليمول)		
	(أ) فى ماء المستنقع	(ب) فى العصير الخلوى	النسبة (ب) على (أ)	(أ) فى ماء البحر	(ب) فى العصير الخلوى	النسبة (ب) على (أ)
البوتاسيوم	0.05	54	1080	12	500	42
الصوديوم	0.22	10	45	498	90	0.18
الكالسيوم	0.78	10	13	12	2	0.17
الكلوريد	0.93	91	98	580	597	1

عن : (Marschner, H. 1995)

3- أيضاً تشير النتائج بأن عملية الامتصاص تحتاج إلى طاقه ومصدر هذه الطاقة هو ناتج عمليات الميتابوليزم (التمثيل الحيوى) فى الخلية.

كل ما ذكر عن الطحالب من ناحية امتصاصها للعناصر المغذية ينطبق تماماً على النباتات الراقية. حيث توضح نتائج إحدى الدراسات كما ذكرها Marschner سنة 1995 على نوعين مختلفين من النباتات مثل الذرة واللوبيا تم تنمبتهما فى محلول مغذى محدد الحجم، وبعد أربع أيام تم قياس تركيز العناصر فى المحلول المغذى فوجد أن تركيز البوتاسيوم، الفوسفور و النترات قد انخفض بشدة. فى حين يظل تركيز الصوديوم والكبريتات كما هو أو يزداد قليلاً، وهذا يدل على أن معدل امتصاص النبات للماء أسرع من امتصاصه لهذين الأيونين (جدول 3-4). أيضاً توضح هذه النتائج أن معدل امتصاص الأيونات يختلف من نبات إلى آخر وهذا واضح تماما بالنسبة لامتصاص البوتاسيوم والكالسيوم بواسطة الذرة واللوبيا. كذلك يتضح أن تركيز الأيونات فى العصير الخلوى للجذر أعلى بكثير منه فى المحلول المغذى وخاصة بالنسبة لأيونات البوتاسيوم، النترات و الفوسفات .

جدول (3–4): التغير فى تركيز الأيونات بالمحلول المغذى والعصير الخلوى لجذور نباتات الذرة واللوبيا.

الأيون	تركيز المحلول المغذى (ملليمول)		تركيز الأيونات (ملليمول)	
	فى البداية	بعد 4 أيام	فى عصير الجذور	
		الذرة	اللوبيا	الذرة	اللوبيا
البوتاسيوم	2.00	0.14	0.67	160	84
الكالسيوم	1.00	0.94	0.59	3	10
الصوديوم	0.32	0.51	0.58	0.6	6
الفوسفات	0.25	0.06	0.09	6	12
النترات	2.00	0.13	0.07	38	35
الكبريتات	0.67	0.61	0.81	14	6

عن: (Marschner, H. 1995)

من النتائج السابقة سواء بالنسبة للطحالب أو النباتات الراقية يمكن توصيف عملية امتصاص النباتات للأيونات بما يلى:

1 – **اختيارية Selectivity:** حيث يتضح بأن هناك أفضلية لبعض العناصر من حيث امتصاصها بواسطة نبات معين عن البعض الآخر.

2 – **تجميع أو تراكم Accumulation:** أى يُصبح تركيز العنصر داخل العصير الخلوى فى النبات أعلى بكثير منه فى المحلول الأرضى.

3 – **وراثياً Genotype:** حيث تختلف النباتات فيما بينها فى صفة امتصاصها للأيونات.

مما سبق نجد أن عملية انتقال الأيونات من المحلول الأرضى إلى داخل الخلية النباتية عملية معقدة وهو ما أوجد العديد من النظريات التى تحاول تفسير هذه العملية الحيوية. ولقد إتضح من دراسة هذه النظريات أن ميكانيكية واحدة للامتصاص لا تكفى.

من المتفق عليه الآن إنه لكى يدخل العنصر إلى داخل الخلية فلابد له أن يمر خلال غشائين، الأول الجدار الخلوى وكما هو معروف يتركب من مواد سيلولوزية بينها فجوات مملؤة بالماء والغازات، وهذا الغشاء مُنفذ تماماً للماء والعناصر الذائبة، والغشاء الثانى هو غشاء البلازمالما والذى يفصل بين الجدار الخلوى والسيتوبلازم وهو غشاء شبه مُنفذ للعناصر المختلفة.

وبالتالى تتم عملية امتصاص العنصر من المحلول الأرضى وتراكمه داخل الخلية على خطوتين : الأولى هى الامتصاص البسيط Passive Uptake والثانية هى الامتصاص النشط Active Uptake وسوف نتناول الطريقتين بإيجاز :

أولاً : الامتصاص البسيط Passive Uptake

وفيه ينتقل الأيون أو الجزىء من المحلول الأرضى ذو التركيز المرتع منها إلى الجدار الخلوى حيث تركيزها المنخفض نسبياً بدون أى عائق وبطريقة عكسية حتى يصل إلى حالة الاتزان، أى عن طريق الانتشار أو والتدفق الكتلى. وقد أطلق العلماء على الجزء من الخلية (أو النسيج النباتى) والتى تتحرك فيه الأيونات بواسطة الانتشار اسم الفراغ الحر Free space والذى يشغل مساحة محسوسة من نسج الجذر حوالى 10% من حجم الجذور الحديثة و يشمل الجدر الخلوية لخلايا طبقة البشرة، وطبقة القشرة، كذلك المسافات البينية بين خلايا القشرة ويتم انتقال الأيونات من المحلول الأرضى إلى الفراغ الحر فى الخلية بطريقتين هما :

أ – **الانتشار Diffusion:** فمثلاً عند وضع الخلية أو نسيج نباتى فى محلول ملحى، فنجد أن الأيونات تنتقل من المحلول حيث التركيز المرتفع إلى الفراغ الحر حيث التركيز المنخفض وذلك عن طريق الانتشار وتستمر هذه العملية حتى يتساوى التركيز داخل وخارج الفراغ الحر فيتوقف الانتشار.

ب – **الادمصاص Adsorption:** نظراً لوجود شحنات سالبه على الجدار الخلوى للجذر نتيجة لوجود مجموعات الكربوكسيل ($R\text{-}COO^-$) فمن الممكن أن تدمص الكاتيونات عليها عن طريق قوى الجذب الإلكتروستاتيكية مما يساعد فى انتقال الكاتيونات من المحلول وتراكمها فى داخل الفراغ الحر بينما يحدث تنافر للأنيونات ويلاحظ أن هذه العملية لا تحتاج إلى أى عمليات حيوية.

جـ – **إتزان دونان Donnan Equilibirium:** وفيه يحدث حالة من الإتزان على جانبى غشاء ما بدون تساوى تركيز الأيون الواحد. ويحدث ذلك عندما يسمح غشاء يفصل بين محلولين لأيون واحد من زوج من الأيونات بالمرور خلاله ولا يسمح بمرور الأيون الآخر، وهنا يتم الإتزان بفرض أن الأيونات الداخلة فى النظام أحادية التكافؤ إذا كان حاصل ضرب التركيز الجزيئى Molar Concentration للكاتيونات والأنيونات على جانب من الغشاء يتساوى مع حاصل ضرب تلك الأيونات على الجانب الآخر من الغشاء

عنما يكون الغشاء منفذاً للكانيونات والأنيونات سوف ينتشر من المحلول الخارجى مخترقة الغشاء حتى تصل إلى مرحلة الإستقرار (الإتزان) طبقاً للمعادلة التالية:

$$[C_1^+][A_1^-] = [C_0^+][A_0^-]$$

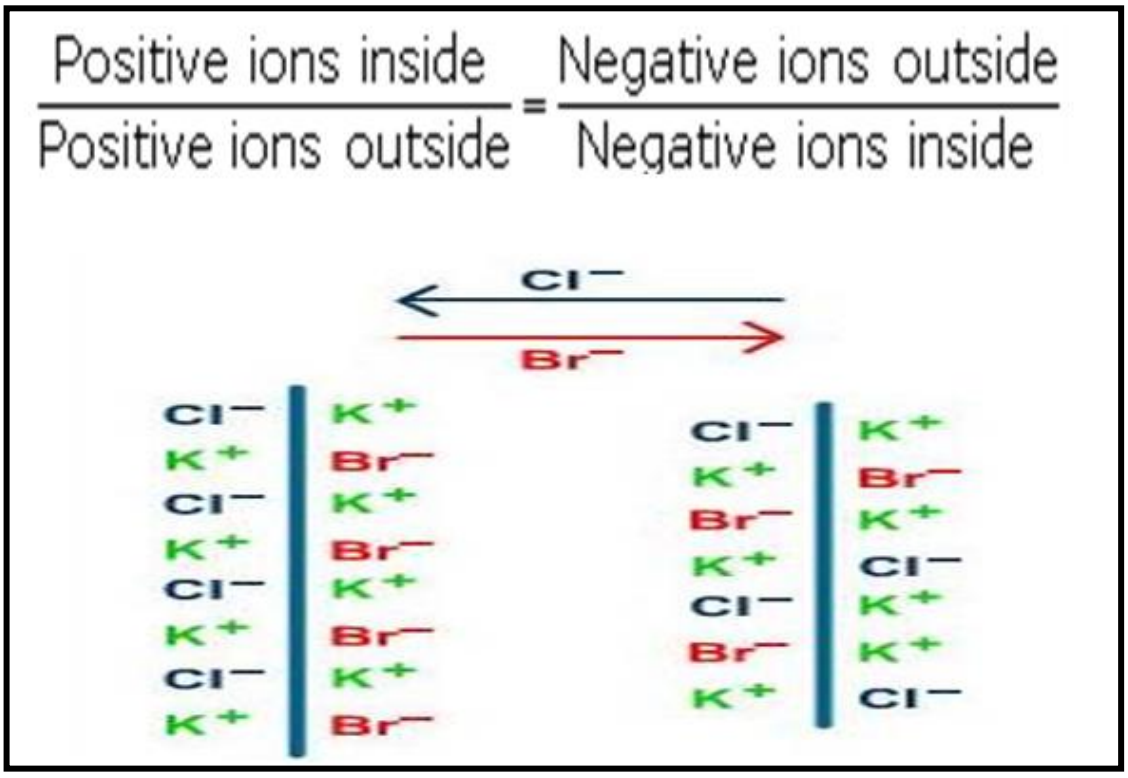
حيث:

C_1 = نركيز الكاتيونات فى الداخل

A_1 = تركيز الأنيونات فى الداخل

C_0 = نركيز الكاتيونات فى الخارج

A_0 = تركيز الأنيونات فى الخارج



رسم يوضح إتزان دونان

وقد وجد أن هذا الإتزان لا يحدث غالباً كما شرحه دونان فى خلايا النباتات الحية. حيث وجد بعد ذلك أن جذور النباتات الراقية لها القدرة على أن تمتص الأيونات ضد تدرج التركيز بالرغم من أن اتزان دونان لا يحدث فى كثير منها، مما يدل على أن البروتوبلازم له قدرة إختيارية على إمتصاص العناصر.

مما سبق يمكن إيجاز خصائص الامتصاص البسيط فيما يلى:

1- لا يحتاج إلى طاقه أى لا يعتمد على النشاط الحيوى للخلية (حيث أن عملية الانتشار والإدمصاص يمكن أن تتم فى أنسجة النبات الحية أو الميتة، أيضاً يمكن تتم فى المواد المُخلقة صناعياً سواء بسواء.

2- الامتصاص يتم بطريقة عكسية.

3- الامتصاص هنا ليس اختيارى.

4- الإنتشار البسيط عملية بطيئة جداً ولا تفسر كيفية امتصاص النباتات للأيونات والعناصرالغذائية ضد تدرج التركيز كما أنها لا تتميز بالسرعة اللازمة لحياة النبات ونموه.

وعلى ذلك يمكن القول بأن الانتشار البسيط واتزان دونان يعجزان عن تفسير الطريقة التى يمتص بها النبات العناصر الغذائية ويجمعها ضد تدرج التركيز.

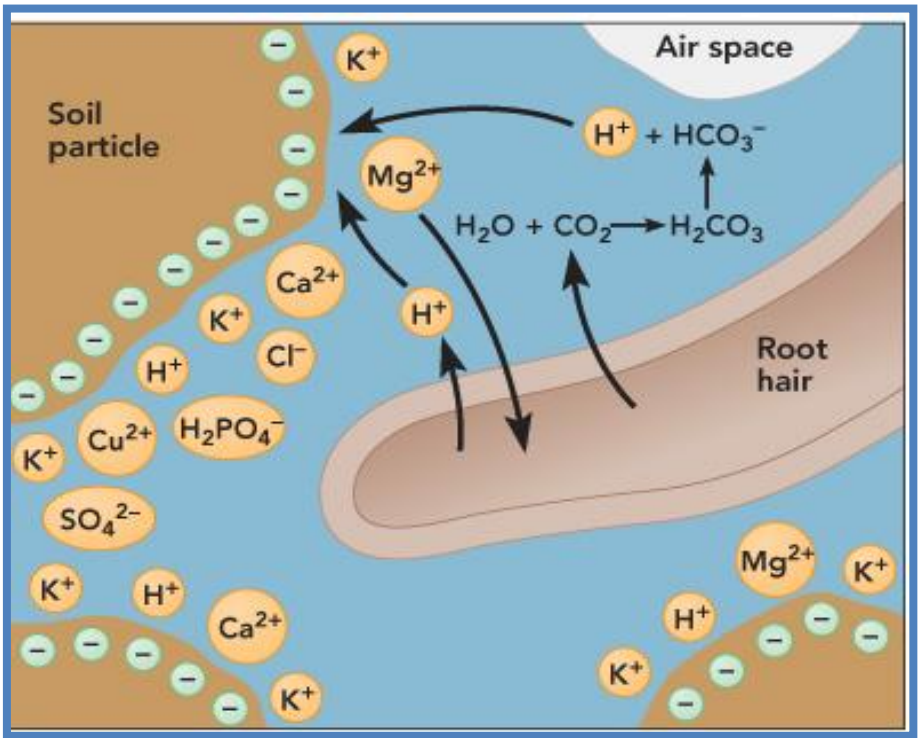
ثانياً: نظرية التحول الكيميائى

وتفترض هذه النظرية أن الأيونات الممتصة قد تدخل فى تفاعل كيميائى بمجرد دخولها الخلية، أى يحدث لها تحول إلى صورة أخرى وعلى ذلك يستمر دخولها إلى الخلية رغم انخفاض تركيزها خارج الخلية. وتفسرنظرية التحول الكيميائى كيفية انتقال جزيئات السكر من أماكن تخليقها فى الأوراق إلى أماكن تخزينها فى الدرنات أو الثمارعلى صورة نشا وبذلك يظل تركيز السكر منخفضاً فى أعضاء التخزين مما يشجع على إستمرار انتقاله إليها. ومع ذلك فهذه النظرية تعجز عن تفسير استمرار تجمع النترات والبوتاسيوم فى الفجوة العصارية بدون تحول كيميائى إلى أن بلغ تركيزها داخل الفجوة عشرات الأضعاف من تركيزها خارج الخلية.

ثالثاً: نظرية الامتصاص التبادلى (نظرية ثانى أكسيد الكربون CO_2).

بنى أساس هذه النظرية على الملاحظة التى مؤداها أن كمية الأيونات التى يمتصها النبات تتناسب طردياً مع كمية CO_2 الناتجة من التنفس، وهنا يكمن الاعتقاد بوجود علاقة بين امتصاص النبات لأيونات العناصر وحمض الكربونيك Carbonic acid (H_2CO_3)، وتعتمد هذه النظرية على اعتبار سطوح جذور النبات سطوح فعالة ونشطة لها خاصية التبادل الأيونى. وسبق ذكر أن الأغشية السيتوبلازمية وهى أحد مكونات البروتوبلازم تحمل شحنات كهربائية غالباً تكون سالبة وعلى ذلك يكون من المتوقع وجود طبقة كهربائية مزدوجة على هذا السطح، الداخلية

منها سالبة بينما الخارجية تكون موجبة وتتكون من الكاتيونات المتبادلة. أى أن للجذور سعة تبادلية كاتيونية والتى تختلف حسب نوع النبات وعمرة ودرجة تركيز أيون الأيدروجين .....إلخ وفى العادة تكون الجذور الغليظة ذات سعة تبادلية كاتيونية عالية بالمقارنة بالجذور الرفيعة، وسبق الإشارة لها قبل ذلك. شكل (3–2) يفسر نظرية غاز ثانى أكسيد الكربون CO_2، وفيها يحدث ذوبان لغاز ثانى أكسيد الكربون المتكون من عملية التنفس فى المحلول الأرضى



شكل (3–2): رسم توضيحى لدور نظرية حمض الكربونيك فى الامتصاص.

يتكون حامض الكربونيك وبتأين الحامض ينتج أيون الأيدروجين والذى يتبادل مع البوتاسيوم المتبادل على أسطح الغرويات الأرضية وينطلق البوتاسيوم فى المحلول الأرضى أويتفاعل مع أيون البيكربونات ويعود إلى سطح الجذر ويتبادل مع أيدروجين سطح الجذر وبالتالى يكون من السهل امتصاصه من قبل النبات. ويجب ملاحظة أن الكاتيونات المتبادلة على أسطح الجذور لا يمكنها أن تنفرد ثانياً إلى الخارج إلا بتبادلها مع كاتيونات أخرى متواجدة فى منطقة الريزوسفير. أماعملية تبادل الأنيونات فهى ضئيلة جداً بالمقارنة بعملية تبادل الكاتيونات السائدة على جذور النبات.

رابعاً: نظريات الامتصاص النشط Active Uptake

من النتائج المبوبة فى جدول (3–4) يتضح جلياً انتقال الأيونات ضد تدرج التركيز، وعلى سبيل المثال نجد أن تركيز البوتاسيوم فى الفجوة العصارية لجذور نباتات الذرة يزيد حوالى 80 مرة عنه فى المحلول المغذى. وعلى العكس نجد أن تركيز الصوديوم فى العصير الخلوى لجذر نفس النبات يظل منخفضاً بالمقرنة بالتركيز فى المحلول الخارجى، وهذا يؤكد بأن هناك مفاضلة فى امتصاص العناصر. ولا يمكن أن يحدث ذلك تلقائياً بل يحتاج إلى طاقه وطبيعى أن يكون مصدر هذه الطاقة النشاط الحيوى بالخلية وعلى ذلك أُطلق على هذا الامتصاص اسم الامتصاص النشط أو الامتصاص الحيوى. وهناك بعض الشواهد التى تؤكد أن هذا الامتصاص يحتاج إلى طاقه منها:

1– يزداد معدل امتصاص الأيونات بارتفاع درجة الحرارة (حتى حدود معينه) وذلك لأن الحرارة تُزيد من النشاط الحيوى للخلية.

2– يزداد معدل الامتصاص مع زيادة ضغط الأكسيجين فى وسط نمو الجذور أى ان الامتصاص مرتبط بعملية التنفس. وقد لوحظ أن عملية الامتصاص تقل بإضافة مثبطات لعملية التنفس.

3– يزداد معدل الامتصاص مع زيادة محتوى الجذر من الكربوهيدرات حيث تعمل هذه المركبات كمصدر للطاقة.

وتحاول نظريات الامتصاص النشط (الحيوى) تفسير ماعجزت عنه النظريات السابقة من إمكانية امتصاص النبات للعناصر وتراكمها فى الفجوة العصارية ضد تدرج التركيز وكذلك كيفية امتصاص النبات للأنيونات السالبة الشحنة وإختراقها لسطح الجذر ذات الشحنة السالبة.. !!، ومن هذه النظريات:

1 – نظرية الناقل (المواد الحاملة) Carrier

بجانب نتائج تجارب هوجلاند السابق ذكرها على الطحالب، نجد أن النباتات تعتمد فى حياتها على تفضيل نوع معين من الأيونات على حساب أنواع أخرى إذا ما وجد الجميع معا فى وسط نمو الجذور كما يتضح ذلك مع نباتات الذرة (جدول 3–2). ويعنى هذا أن النظام الناقل للأيونات إلى داخل الكائن الحى يمكنه التميز بين أنواع الأيونات الموجودة خارج هذا الكائن حتى ولو كانت هذه الأيونات على درجة كبيرة من التشابه، أى أن هذا الانتقال اختيارى وفى نفس الوقت حيوى. وهنا يكون من المؤكد وجود مادة أو مواد معينة داخل جسم النبات لها القابلية

لحمل أيون معين دون آخر حيث يُحمل الأيون عليه مكونا معقد الحامل والأيون ويتحرك هذا المعقد من الخارج إلى الداخل فقط ويتحرر الأيون فى داخل الفجوة العصارية ويستعيد الحامل نشاطه وقدرته على نقل أيون معين آخر... وهكذا. وتختلف الآراء حول طبيعة المواد الحاملة فيرى البعض بأنها عبارة عن مادة السيتوكروم كما اقترح لونداجارد أو مواد عضوية مشابهة للمواد التى اكتشفت فى البكتريا، فى حين قرر أوسترهاوات بأنها كحوليات عضوية فى حين يرى البعض الآخر أنها أحماض عضوية أو البروتوبلازم نفسه قد يعمل حاملاً للأيونات إلا أنه وجد أن الخاصية الاختيارية فى كثير من الأحيان تكون غير كاملة وخاصة مع الأيونات المتماثلة فى الشحنة والتكافؤ. وكما سبق ذكر أن خاصية عدم نفاذية بعض الأغشية للمواد المحبة للماء (الأيونات) إلى احتواء هذه الأغشية على جزيئات الليبيدات. ومن هنا يكون من المحتمل أن تكون المواد الحاملة هى جزيئات من الليبيدات التى يسمح لها هذا الغشاء بالمرور خلاله وتعزز بعض البحوث هذا الرأى وترفضه بحوث أخرى.

ومن ناحية التخصص فريق من الباحثين يرى أن هناك أنواع مختلفة من المواد الحاملة يختص كل منها بأيون معين أو مجموعة من الأيونات المتشابهة أى أن هذه المواد تكون متخصصة، فى حين يرى فريق آخر بأن هناك نوع واحد من المواد الحاملة يمكنها حمل جميع الأيونات ولكنها تفضل أنواع معينة على أنواع أخرى إذا وجدت فى متناول هذه المواد الحاملة. وهكذا فإن طبيعة تلك المواد مازالت محل جدل فمن المحتمل أن تكون المواد الحاملة عبارة عن مشتقات من الأحماض الفوسفاتية أو مواد ببتيدية لها خواص الليبيدات، وفى كل الأحوال يجب أن تكون على المواد الحاملة مواقع لها درجة كبيرة من التخصص لربط الأيونات المختلفة مما يساعد على الامتصاص الاختيارى للأيونات.

ويمكن القول بوجه عام أن هناك اتفاق بين معظم الباحثين فى هذا المجال على أن المواد الحاملة غير ثابتة التركيب حيث يتغير تركيبها الكيميائى أثناء حملها للأيونات المختلفة، نتيجة تكوين مواد وسطية ناتجة من عمليات التحولات الغذائية، وقد تعمل كمعقدات مخلبية Chelating complexes.

ويمكن تفسير طريقة النقل (الامتصاص) النشط للأيونات خلال الأغشية كما يوضحها شكل (3-7) بما يلى:

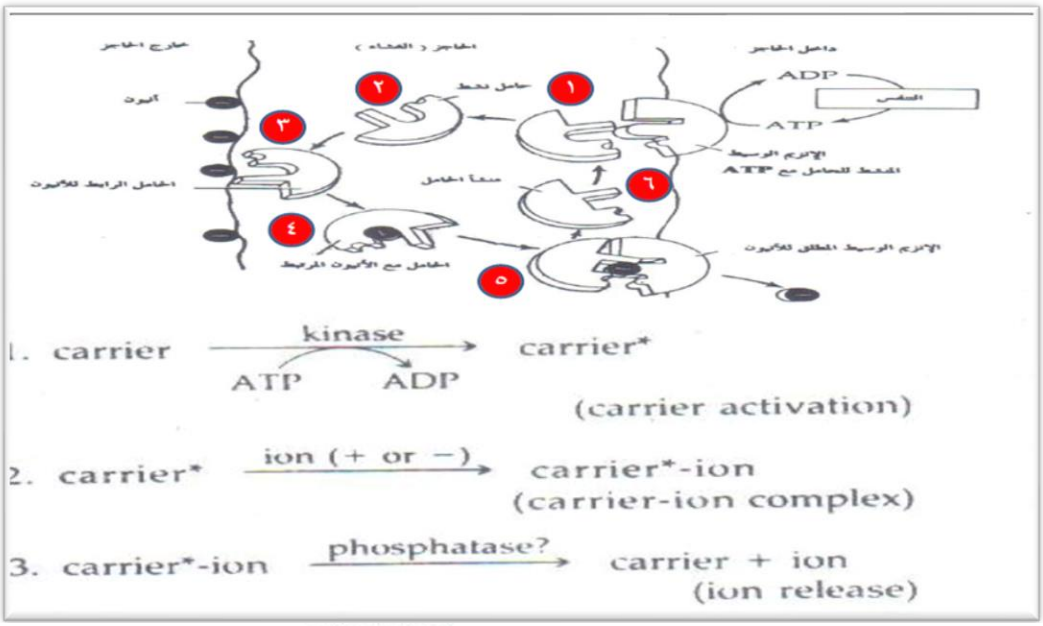
1- يتم تخليق مواد بالغشاء تعرف بالمواد الحاملة .Carriers.

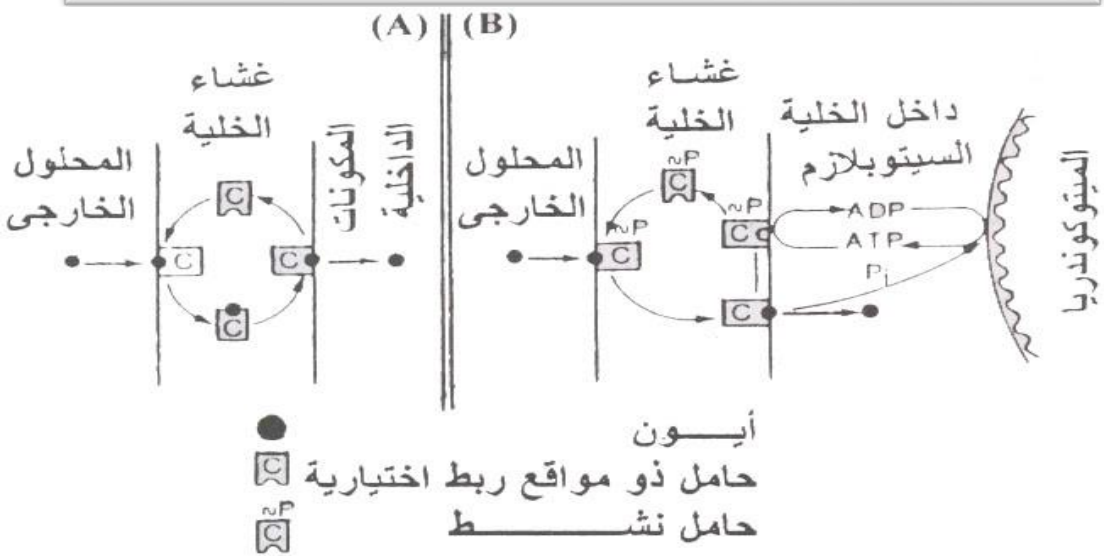
2- ترتبط المواد الحاملة مع الأيون عند السطح الخارجى للغشاء وتكون معقد بين الأيون والحامل .

3- انتقال معقد الأيون والحامل داخل الغشاء الخلوى

4–عند السطح الداخلى للغشاء ينفرد الأيون عن الحامل ويتجه إلى داخل العصير الخلوى حيث يتم تراكمه.

5–تتحرك المادة الحاملة مرة أخرى تجاه السطح الخارجى لحمل أيون جديد وهكذا .





شكل (3–7): انتقال الأيونات خلال الجدار الخلوى للخلية بواسطة الحامل Carrier. فى نموذج A يلاحظ توسط المواد الحاملة للأيونات للجدار، وفى نموذج B يلاحظ مدى مساهمة مركبات الطاقة فى عملية انتقال الأيون.

وتحتاج المواد الحاملة إلى طاقة لكى تقوم بعملها ويكون مصدر الطاقة هو مركب (Adenosine tripHospHate ATP) الذى يقوم بتزويد الحامل بعنصر الفوسفور فيحوله إلى حامل نشط Active carrier (نتيجة تفاعل إنزيم فوسفات كينيز الموجود على السطح الداخلى للغشاء مع ATP حيث يتحول إلى ADP + فوسفات غير عضوية) وبالتالى يتمكن هذا

الحامل من الحركة خلال الغشاء والارتباط مع الأيون. وعند الجدار الداخلى للغشاء يصبح الحامل غير نشط بفقده للفوسفور وفى هذه الحالة لا يستطيع المرور خلال الغشاء أو حمل الأيون.

وعلى ذلك نجد أن الأيون غير حر فى تحركه خلال الغشاء بمفرده. ولكنه يتحرك بعد أن يصبح جزء من مكونات مواد معينه (الحامل) ثم يصبح أيون حر مره أخرى عند انفصاله عن الحامل عند السطح الداخلى للغشاء. ولا يمكن للأيون الرجوع مره أخرى إلى حيث كان نظراً لقلة نفاذية الغشاء وكذلك لأن الحامل فقد نشاطه واصبح خاملاً وفقد الارتباط بالأيون.

ومن الجدير بالذكر بأن على كل مادة حامله مواقع ربط Binding sites متخصصة لكل نوع من الأيونات مما يساعد على الامتصاص الاختيارى Selective transport للأيونات.

2 – نظرية لونداجارد Lundegardh Theory

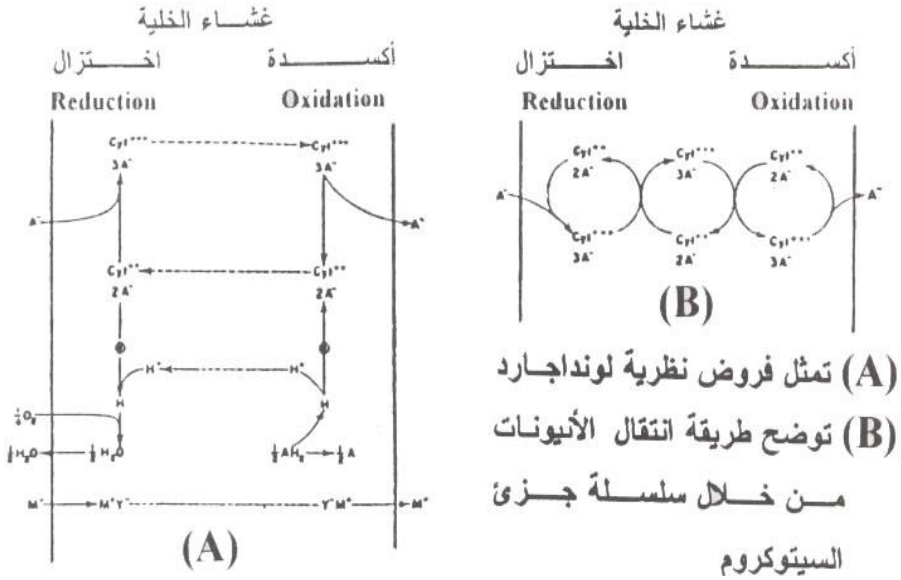
وتعرف أيضاً بنظرية التنفس الأنيونى Anion respiration أو نظرية مضخة السيتوكروم Cytochrome pump، وتفترض هذه النظرية أن عملية الامتصاص تخضع للأسس الآتية:

1 – هناك انفصال تام بين كل من عمليتى امتصاص الأنيونات والكاتيونات.

2 – امتصاص الكاتيونات عملية طبيعية بحتة وتتم على خطوتين: الأولى فيها يتحرك من خارج الخلية إلى داخل السيتوبلازم، وهنا تعتبر على أنها عملية تبادل أيونى بين الكاتيون والأيدروجين المتأين من بعض المركبات العضوية فى البروتوبلازم. والثانية يتم فيها انتقال الكاتيون من سيتوبلازم الخلية إلى داخل الفجوة العصارية ويطلق على هذه الخطوة عملية التجمع أو التراكم Accumulation، كذلك عملية امتصاص الكاتيون عملية عكسية بمعنى أن الكاتيون يمكن أن يتحرك بحرية خلال السيتوبلازم فى اتجاه الداخل أو الخارج نحو جدار الخلية.

3 – امتصاص الأنيونات عملية كيميائية بحتة تتم عن طريق جزيئات حاملة من السيتوكروم، كما أنها عملية غير عكسية، وتتم عملية امتصاص الأنيونات ضد تدرج التركيز وكذلك ضد تشابه الشحنة.

4 – يكون التنفس الأنيونى مسئولاً عن كمية الطاقة اللازمة لعملية امتصاص الأنيونات ضد تدرج التركيز وضد تشابه الشحنة. وقد تمكن لونداجارد من تثبيط هذا النوع من التنفس بإضافة أول أكسيد الكربون أو السيانيد حيث تعمل هذه المواد على إيقاف عمل إنزيم Cytochrome oxidase وكان ذلك أحد الأدلة التى أعتمد عليها فى إثبات أن نظام السيتوكروم هو المسئول عن عملية امتصاص الأنيونات وقيامها بعمل المادة الحاملة لها.



شكل (3–8): رسم يوضح كيفية انتقال الأنيونات بواسطة السيتوكروم (نظرية لونداجارد).

وتعتمد ميكانيكية امتصاص الأنيونات بواسطة مضخة السيتوكروم على عملية التنفس التى تعتبر مصدر الإمداد بالإلكترونات الناتجة من تحول الأيدروجين عند السطح الداخلى إلى بروتونات الأيدروجين H^+ والإلكترونات e^-، ومصدر الأيدروجين هنا هو الأحماض العضوية بفعل إنزيمات الديهيدروجينيز. ينتقل الإلكترون المتكون إلى وحدة السيتوكروم ويختزل الحديديك Fe^{3+} إلى حديدوز Fe^{2+} ثم ينتقل من وحدة إلى أخرى فى تتابع مستمر حتى يصل إلى غشاء السيتوبلازم الخارجى البلازمالما plasmalemma وعندها يفقد حديد السيتوكروم الإلكترون المُكتسب ويتحول إلى حديديك الذى يكون مستعد لاستقبال إلكترون آخر من الداخل أو أنيون من الخارج ويأخذ الصورة حديد – أنيون ($Fe - A^-$) وينتقل هذا الأنيون إلى داخل الخلية فى تتابع مماثل حتى الوصول إلى الفجوة العصارية وعندها يتم تبادل الأنيون مع إلكترون جديد (شكل 3–8). ويلاحظ أن الإلكترونات التى فقدت من حبيبة السيتوكروم الأخيرة والمتبادلة مع الأنيونات تتجه إلى الأكسجين الداخل للخلية للتنفس وتحوله إلى أنيونات O^{2-} أكسجين وأخير يتحد مع الأيدروجين الناتج من دورة كربس ويتكون جزىء الماء كما يتضح من المعادلة:

$$2H^+ + 2e^- + 1/2\ O_2 \Rightarrow H_2O$$

وهنا نجد أن جزىء الأكسجين يحتاج إلى 4 إلكترونات:

$$4H^+ + 4e^- \Rightarrow H_2O$$

ونتيجة لامتصاص الأنيونات السالبة بهذة الكيفية وتراكمها داخل الخلية يترتب عليها أن يتكون فرق جهد سالب على الجانب الداخلى للخلية يعمل على جذب الكاتيونات الموجبة الشحنة

ضد تدرج التركيز. وتعتبر هذه النظرية من أوائل النظريات التى أعطت أهمية لدور الطاقة فى عملية الامتصاص.

ألإعتراضات على نظرية لونداجارد:

يوجد عدة إعتراضات لهذه النظرية ذكرها صادق وآخرون سنة 1997 عن الباحث Sutcliffe سنة 1962 وتتمثل فى:

1 – فى حالة وجود حامل واحد للأنيونات فيكون من المتوقع وجود تنافس بين الأنيونات على هذا الحامل وهذا لم يثبت إلا بين Br^- و Cl^- دون NO_3^- و $H_2PO_4^-$ كذلك لم يحدث تنافس بين الهاليدات (Br^- , Cl^- , F^-) والكبريتات $SO_4^=$ مما يؤكد وجود أكثر من حامل.

2 – فى بعض الحالات يكون امتصاص الملح مرتبط مع الأسكوربيك أوكسيديز بدلاً من السيتوكروم أوكسيديز حيث ثبت أن السيتوكروم أوكسيديز غير موجود أصلاً فى الغشاء.

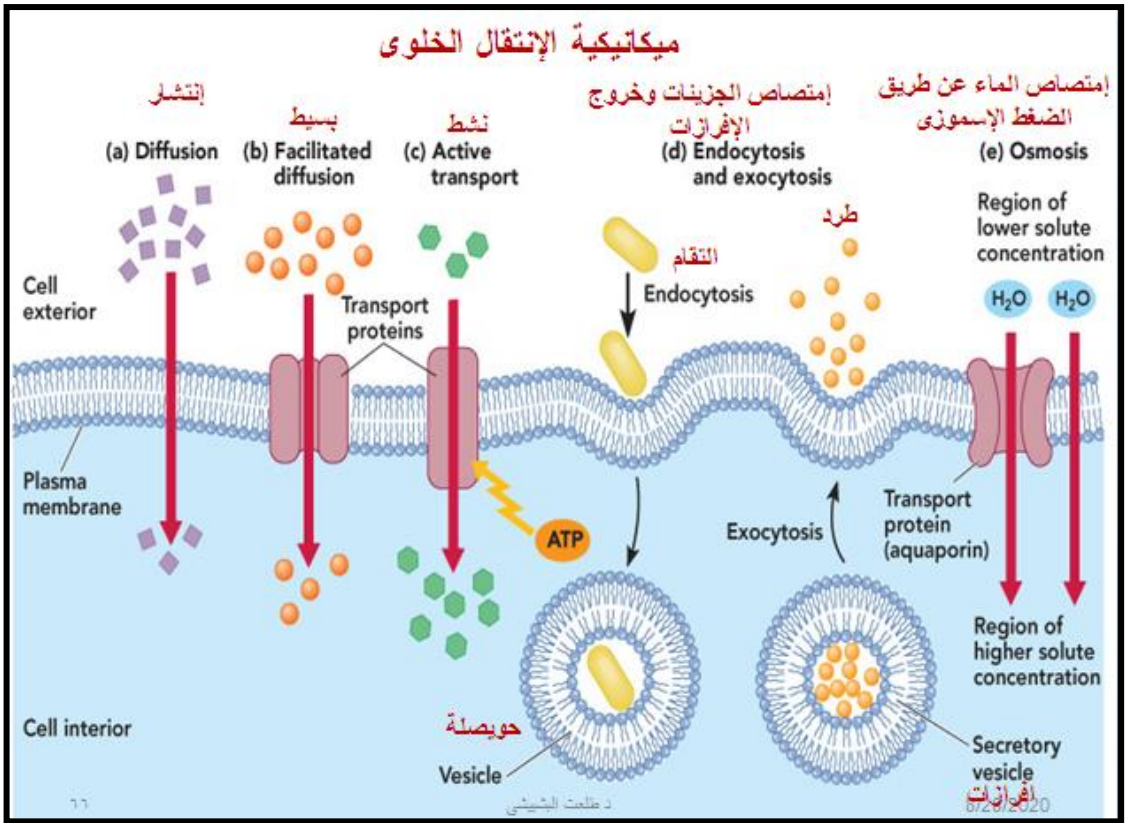
3 – وجد أن بعض الكاتيونات مثل Na^+ و K^+ لها القدرة على أن تحفز التنفس وبالتالى فإن ظاهرة التنفس الملحى ليست مقصورة على الأنيونات فقط ولكن قد تكون مرتبطة بالكاتيونات أيضاً.

4 – وجد أن مركب DNP وهو مثبط للأكسدة الفوسفورية قد شجع التنفس إلى أقصاه ولكن قلل امتصاص KCl وهنا يجب أن تتوقف عملية الامتصاص فى حالة صحة افتراض لوندا جارد.

5 – وجد أن تحت الظروف المناسبة أكثر من أربع إلكترونات يمكن أن تنتقل إلى خارج الخلية لكل جزىء O_2 يُستهلك، وهذا عكس افتراض لونداجارد والذى يحدد أن أقصى عدد للأنيونات يمكن إنتقاله مع إستهلاك جزىء O_2 هو أربعة فقط. وبالتالى فإن مبدأ انتقال الأيون معتمداً على الارتباط المباشر مع الالكترون ومضخة الإختزال يعتبر غير صحيح.

6 – عجزت هذه النظرية فى تفسير الإختيارية لامتصاص الأنيونات ووضح ذلك مع كثير من النباتات.

ومن هنا نجد أن أهم ما أضافته نظرية لونداجارد هو لفت الإنتباه إلى دور الطاقة فى عملية الامتصاص الحيوى.



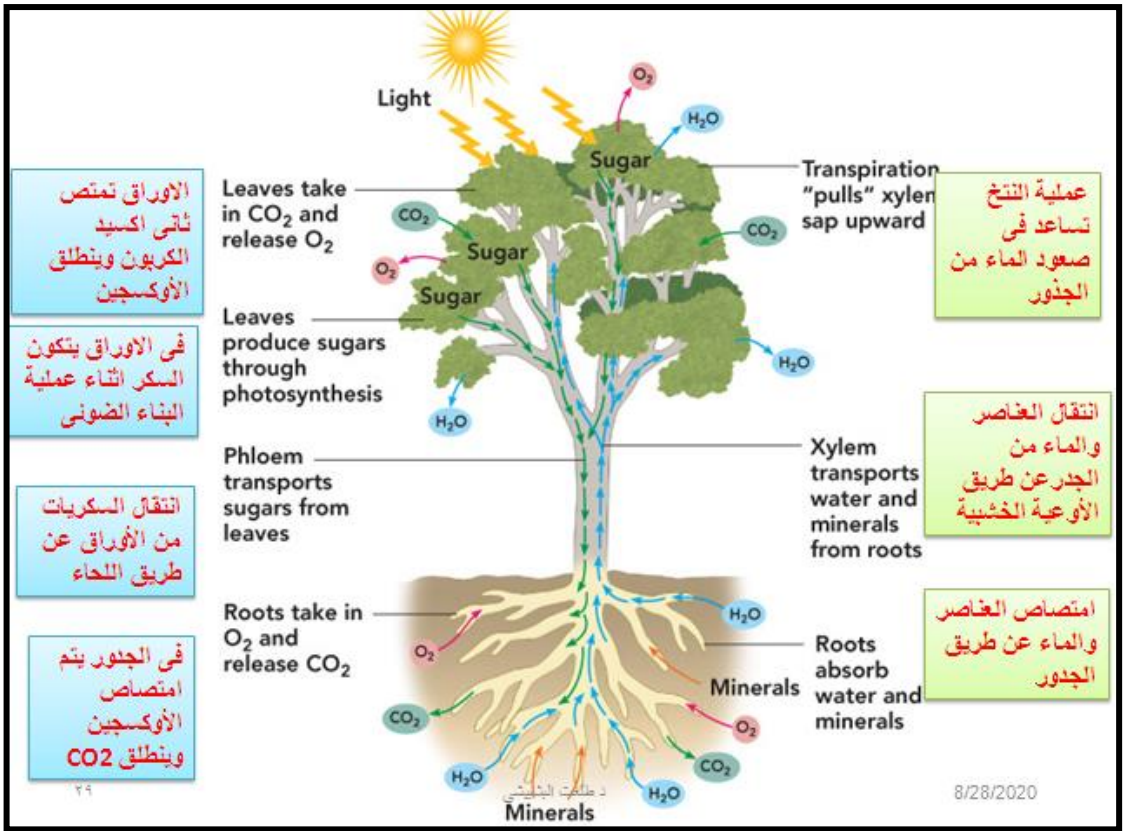
شكل يبين ميكانيكية إنتقال الأيونات والجزيئات والماء وكذلك الإفرازات من خلال الجدر الخلوية

ثالثاً: صعود الأيونات من الجذر إلى الأجزاء الهوائية

بعد امتصاص الأيونات بواسطة خلايا البشرة فى الجذر تنتقل هذه الأيونات خلال خلايا نسيج الجذر فى إتجاه الداخل حتى تصل إلى الأوعية الناقلة (شكل 3–9)، وتتحرك هذه الأيونات إلى داخل الجذر بوسيلتين:

الأولى: تحرك الأيون من سيتوبلازم إلى سيتوبلازم الخلية المجاورة جهة الداخل عن طريق الخيوط البلازمودزمية التى تربط سيتوبلازم الخلايا مع بعضها البعض حتى يصل إلى الأوعية الخشبية.

الثانية: هى تحرك الأيون فى الفراغ الحر Free space فى جدر خلايا القشرة وفى هذه الحالة تتوقف حركة الأيون عند طبقة الإندودرمس لوجود الشرائط الكسبيرية التى تقلل من نفاذ الجدار الخلوى وتمنع انتقال الأيونات خلاله مما يُحتم وجود وسيلة حيوية تحمل هذا الأيون وتمر به خلال الإندودرمس لكى يستمر فى طريقه إلى أوعية الخشب. وبمجرد وصول الأيونات إلى الأوعية الخشبية فإنها ترحل بسرعة إلى الأجزاء الهوائية مع تيار الماء الصاعد إلى أعلى حيث تدخل هذه الأيونات فى عمليات التمثيل الغذائى فى الأوراق.



شكل (3 – 9) يبين صعود الأيونات والماء من الجذر إلى الأجزاء الهوائية وإنتقال الكلابوهيدرات من الأوراق باقى أجزاء النبات

الفصل الرابع

العناصر الغذائية الضرورية للنبات
Essential Nutrient Elements

العناصرالغذائية الكبرى
Macronutrients

النيتروجين Nitrogen

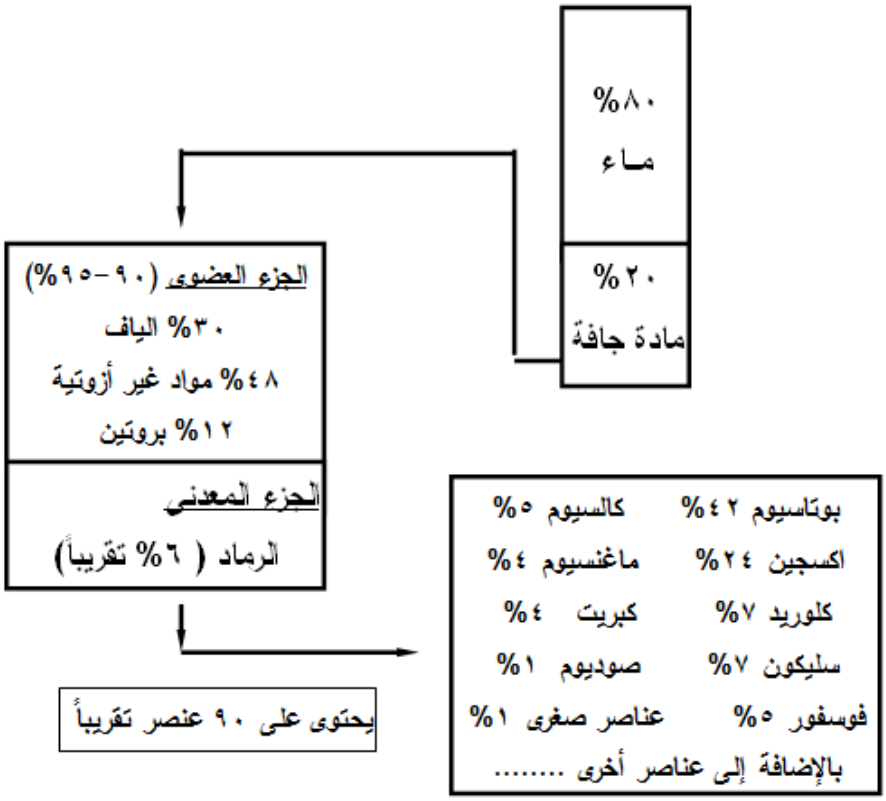
الفصل الرابع

العناصر الغذائية الضرورية للنبات
Essential Nutrient Elements

مكونات النبات Plant Constituents

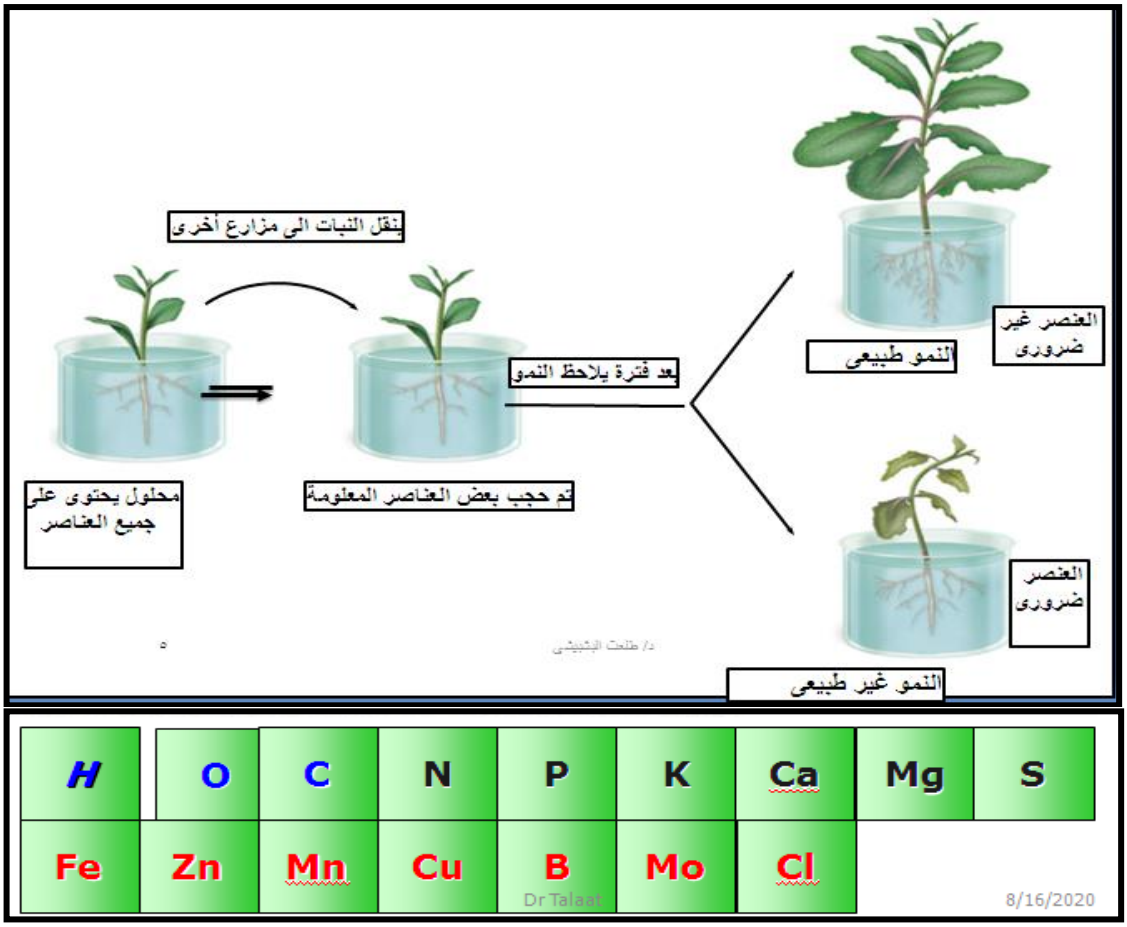
يحتوى التركيب الكيميائى للنبات الأخضر على 80 – 95% من وزنه ماء. والنسبة المئوية المضبوطة أو الصحيحة للماء فى النبات تتوقف على العديد من العوامل منها نوع النبات، درجة انتفاخه، وقت أخذ العينة النباتية (تتأثر بزمن أخذها خلال اليوم)، كمية الرطوبة بالأرض، درجة الحرارة ودرجة نشاط الرياح بجانب عوامل أخرى. وعلى هذا يكون من المتوقع اختلاف الوزن الطازج لنبات معين نتيجة لتلك العوامل السابق ذكرها، وبالتالى يكون من الخطأ أن تُنسب نتائج التحليل الكيميائى للنبات إلى الوزن الطازج بل ينسب إلى المادة الجافة Dray matter والتى يتم تقديرها بوضع العينة النباتية الطازجة فى فرن على درجة حرارة 70°م لمدة من 24 – 48 ساعة.

وفى العادة تُمثل المادة الجافة حوالى 5 – 20% من الوزن الطازج، وتتكون المادة الجافة من شقين رئيسيين هما : الشق العضوى، ويمثل حوالى 90–95% من المادة الجافة ويتكون أساساً من الكربون والأكسيجين والهيدروجين، زيستمدها النبات من الماء والهواء بالإضافة إلى جزء من



رسم يوضح النسب التقريبية لمكونات النبات

الفوسفور والكبريت والنيتروجين والتى يكون مصدرها المحلول الأرضى. والشق الآخر هو الشق المعدنى (الرماد Ash) والذى يمثل حوالى 5 –10% من المادة الجافة ويمكن الحصول عليه بحرق المادة النباتية الجافة على درجة حرارة من 500–600°م أو هضم المادة النباتية الجافة بواسطة مخلوط من الأحماض فيتأكسد الكربون العضوى إلى CO_2. وفى النهاية نحصل على الرماد والذى تُصبح مركباته على صورة أكاسيد أو كربونات أو أملاح حسب عملية الحرق أو الهضم. ويصل عدد العناصر الموجودة فى الرماد إلى أكثر من 90 عنصر.



بإستخدام المزارع اللاأرضية تم تحديد العناصر الضرورية للنبات

وهذا لا يعنى أن جميع هذه العناصر مغذيات نباتية بل يتحدد بمدى احتياج النبات إليه ومدى مساهمة هذا العنصر فى بناء أنسجة النبات والتى تم معرفتها باستخدام المزارع اللاأرضية سواء كانت مزارع محاليل مغذية أو مزارع رملية. وفى عام 1939 قام العالمان Arnon و Stout بتحديد ثلاث شروط واجب توافرها فى العنصر المغذى الضرورى وهى:

1 – غياب هذا العنصر من وسط نمو للنبات يؤدى إلى عدم قدرة هذا النبات على إتمام دورة حياته.

2 – عند ظهور أعراض نقص عنصر معين على النبات لا تزول هذه الأعراض إلا بإضافته لهذا النبات ولا يمكن أن يحل محله عنصر آخر فى القيام بوظيفته الحيوية فى النبات.

3 – يدخل هذا العنصر مباشرةً فى عمليات الميتابوليزم وعمل الإنزيمات داخل النبات، وبالتالى يكون جزء محسوس من مكونات النبات.

وعلى ذلك يُعرف العنصر الغذائى أو العنصر الضرورى للنبات على أنه العنصر الذى يؤدى وظيفة ما فى حياة النبات، بحيث إذا غاب أو نقص هذا العنصر ساء النمو أو توقف، وبالتالى يقل المحصول أو ينعدم. ومن نتائج الدراسات حول أهمية العناصر المعدنية فى تغذية النبات يمكن القول بأن غالبية هذه العناصر ليست مغذيات ضرورية للنبات. وعلى ذلك يتضح أن النباتات يقوم بامتصاص أى عناصر (أيونات) معدنية موجودة فى المنطقة المحيطة بالجذور (منطقة الريزوسفير)، ووجد أن للنبات قدرة اختيارية فى معدل امتصاص الأيونات المختلفة، أى أن معدل الامتصاص لأيون معين لا يكون متناسباً دائماً مع الكمية الميسرة من هذا الأيون فى الأرض.

ولقد تم تقسيم العناصر الضرورية للنبات على أساس الكمية التى يحتاجها من تلك العناصر إلى مجموعتين أساسيتين : مجموعة العناصر الضرورية الكبرى، والمجموعة الثانية هى مجموعة العناصر الضرورية الصغرى. ويوضح جدول (4-1) هذه العناصر والصور التى تُمتص عليها بواسطة النبات، وأهم المصادر الطبيعية لتلك العناصر بالأرض.

ويمكن تقسيم العناصر المغذية من حيث احتياج النبات إليها ومدى مساهمتها فى تركيبه نقلاً عن زين العابدين سنة 1963 إلى المجموعات الآتية :

1 – عناصر تدخل فى تركيب المواد العضوية ذات التركيب المحدود، مثل الكربوهيدرات والبروتينات والكلوروفيل وغيرها، وهى عناصر فى غيابها لا يمكن أن تتكون الخلايا أو الأنسجة النباتية، ومن هذه العناصر الكربون والأكسيجين والأيدروجين والنيتروجين والفوسفور والكبريت والماغنسيوم.

2 – عناصر لا تدخل فى تركيب المواد العضوية ولكنها لازمه لإتمام العمليات الحيوية ويحتاج إليها للنبات بكميات كبيره نسبياً ويتوقف المحصول الناتج من النبات على مدى توفرها فى الأرض ويتناسب طردياً مع مقدارها إلى حد معين، مثل عنصر البوتاسيوم.

3 – عناصر تعمل كعوامل مساعده للتفاعلات الكيميائية التى تحدث فى خلايا النبات مثل تفاعلات التمثيل والهدم، وتضم هذه المجموعة عناصر الحديد والمنجنيز والموليبدنيم.

4 – عناصر تعمل متعاونة أو مكمله لوظائف عناصر أخرى كما يتعاون الصوديوم مع البوتاسيوم، والكالسيوم مع الماغنسيوم.

جدول (4–1): العناصر الضرورية للنباتات المختلفة و الصور الميسرة منها لنباتات، أهم مصادرها والكمية الموجودة منها فى الأرض.

العنصر	الصورة الأيونية الصالحة للنبات	أهم المصادر	متوسط الكمية فى لأرض
العناصر الضرورية الكبرى			
النيتروجين (N)	NO_3^- , NH_4^+	النيتروجين الجوى – المادة العضوية	0.03 – 0.3%
الفوسفور (P)	$H_2PO_4^-$, HPO_4^{--}, PO_4^{3-}	فوسفات الكالسيوم (مجموعة الأباتيت) وفوسفات الحديد والألومنيوم	0.01 – 0.1%
البوتاسيوم (K)	K^+	الميكا، الإيلليت و الفلسبارات	0.2 – 3.0%
الكبريت (S)	SO_4^{--}	كبريتور الحديد، وكبريتات الحديد	0.01 – 0.1%
الكالسيوم (Ca)	Ca^{++}	كالسيوم الفلسبارات، الأوجيت، الهورنبلند و كربونات وكبريتات الكالسيوم	0.2 – 1.5% تزداد فى الأراضى الجيرية
الماغنسيوم (Mg)	Mg^{++}	الأوجيت، الهورنبلند، الأوليفين، البيوتيت وكربونات الماغنسيوم	0.1 – 1.0% تزداد فى الأراضى التى يسود بها معدن الدولوميت
العناصر الضرورية الصغرى			
الحديد (Fe)	Fe^{++}, Fe^{+++}	الأوجيت، الهورنبلند، البيوتيت، الأوليفين، أكاسيد وأيدروكسيد الحديد	0.5 – 4.0% تزداد فى بعض الآفاق الغنية به
الزنك (Zn)	Zn^{++}	فوسفات، كربونات وأيدروكسيدات الزنك وبعض المعادن السليكاتية	10 – 300 جزء فى المليون
المنجنيز (Mn)	Mn^{++}, (Mn^{+++})	المنجانيت، البيرولوسيت، وبعض المعادن السليكاتية	200–4000 جزء فى المليون
البورون (B)	$H_2BO_3^-$, (HBO_3^{--}), $(B[OH]_4^-)$	التورمالين، وبعض المعادن السليكاتية والأملاح	5 – 100 جزء فى المليون
الموليبدنيم (Mo)	MoO_4^{--}	بعض المعادن السليكاتية، أكاسيد وأيدروكسيدات الحديد والألومنيوم	0.5 – 5.0 جزء فى المليون
النحاس (Cu)	Cu^{++}, (Cu^+)	كبريتور النحاس، كبريتات وكربونات النحاس و وبعض المعادن السليكاتية	5 – 100 جزء فى المليون
الكلوريد (Cl)	Cl^-	مختلف الكوريدات	50 – > 1000 جزء فى المليون

5 – عناصر ليس لها أهميه عامه لجميع النباتات، ولكنها قد تكون ضرورية لبعض أنواع النباتات، مثل الكلور والصوديوم بالنسبة لبنجر السكر.

6 – عناصر لها علاقة بصحة النبات وتؤثر فى نموه ومحصوله، كما تؤثر عليه من ناحية مقاومته لبعض الأمراض مثل البورون والنحاس والزنك.

7 – عناصر توجد فى النبات بصفة عامه ولا يعرف لها تأثير معين وهى السيليكون والألومنيوم.

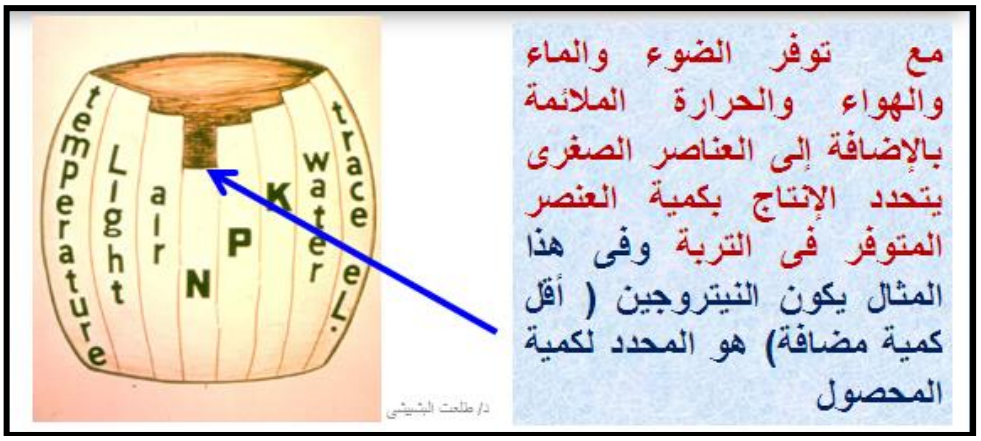
ويمكن توضيح مدى الفرق بين العناصر المغذية من حيث كونها كبرى أو صغرى من البيانات المبوبة فى جدول (4–2) والتى توضح الكمية المستنزفة أو الممتصة بواسطة الوحدة المحصولية لبعض المحاصيل المختلفة (الكمية المستنزفة من أى عنصر هى الكمية التى يمتصها النبات من التربة خلال موسم النمو). و يتضح أن الكميات الممتصة من العناصر الصغرى سنويا بواسطة المحاصيل المختلفة صغيرة جدا بالمقارنة بكميات العناصر الكبرى حيث لا تتجاوز عدة مئات من الجرامات للهكتار (Amberger, 1993).

جدول (4–2) كمية العناصر الضرورية المستنزفة لكل طن محصول اقتصادى.

المحصول⇐ العنصر⇓	الأرز	الذرة	القمح	ذرة رفيعة	الدخن	الحمص	بسلة هندى	فول سودانى
العناصر الكبرى (كجم / طن محصول إقتصادى)								
نيتروجين(N)	20	26	25	22	42	46	64	58
فوسفور P_2O_5	11	14	9.0	13	23	8.0	18	20
بوتاسيوم K_2O	30	36	33	34	91	50	42	30
الكالسيوم Ca	7.0	5.4	5.3	6.4	–	–	–	28
ماغنسيوم Mg	3.0	7.8	4.7	4.8	–	–	4.0	7.3
كبريت S	3.0	3.8	4.7	2.8	–	–	3.3	5.7
العناصر الصغرى (جم / طن محصول اقتصادى)								
الزنك Zn	40	130	56	72	40	38	24	28
الحديد Fe	153	1200	624	720	170	58	40	1500
المنجنيز Mn	675	320	70	54	20	30	14	118
النحاس Cu	18	130	24	6.0	8.0	14	14	15
البورون B	15	–	48	54	–	–	–	133
الموليبنيم Mo	2.0	–	2.0	2.0	–	–	–	4.0

قانون الحد الأدنى

قدم " Liebig فى عام 1840م قانون الحد الأدنى "والذي لا يزال مفهوماً ومقبولاً رغم نقصه وعجزه في تحديد الدقة الكافية . ينص هذا القانون : على أنه إذا كان هناك نقصا أو عدم توفر لأحد العناصر المغذية في التربة أو الهواء فإن النمو سوف يكون ضعيفاً حتى ولو كانت العناصر الأخرى متوفرة واذا ما توفر العنصر الناقص وبالنسبة التي يحتاجها النبات فالنمو عندئذٍ سوف يزداد إلى الحد الأعظم ، وبالتالي فإن زيادة نسبة هذا العنصر في التربة عن الحد الذي يحتاجه النبات تكون غير مجدية ، وذلك كون عناصر أخرى هي الآن ضمن الحد الأدنى للتزويد وتصبح هي العامل المحدد. لقد تم تطوير مفهوم الحد الأدنى بحيث تعتبر العناصر المضافة أساسية في تغذية النبات وقد امتدت لتشمل عوامل أخرى ضرورية كذلك في نمو النبات مثل : الرطوبة ، درجة الحرارة ، الضوء ، مكافحة الآفات , ومكافحة الأعشاب ، والصفات والقدرات الوراثية المختلفة للنباتات كما يظهرها الشكل التالى:



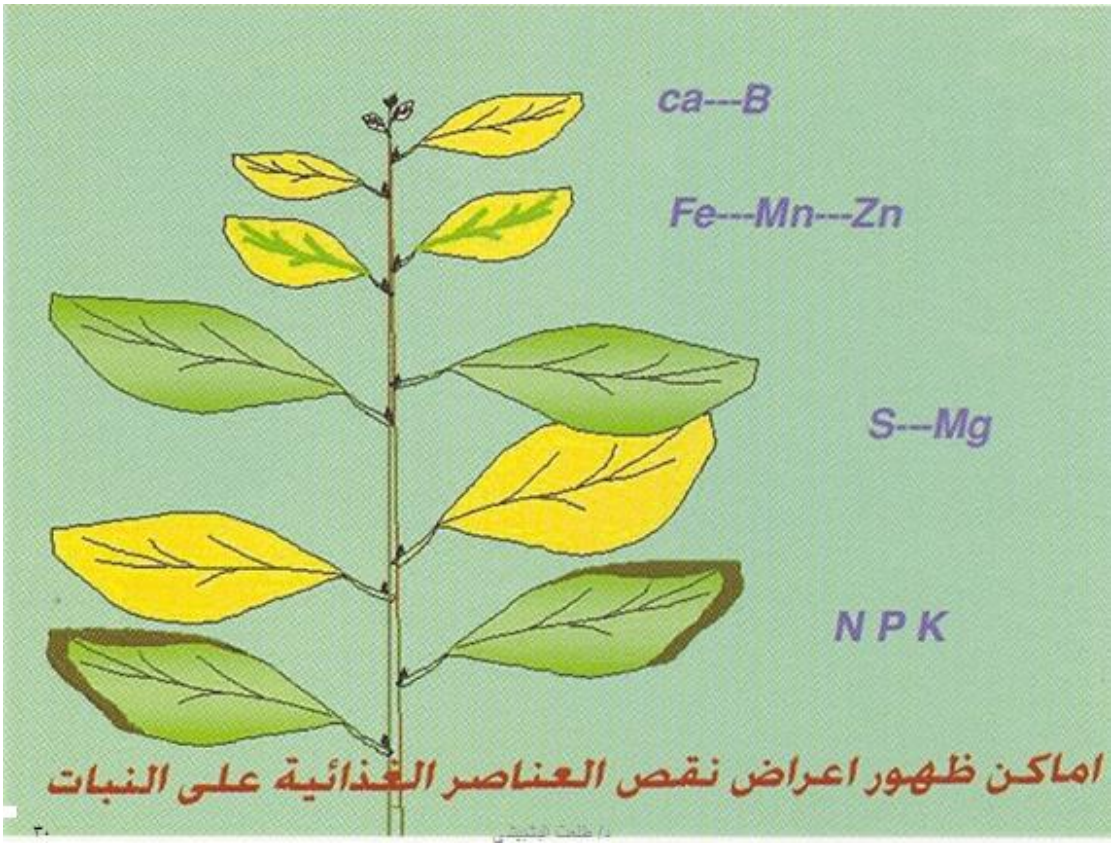
فى هذه المقدمة عن العناصر الضرورية للنبات سوف نتعرض للمظاهرالعامة لنقص العناصر المغذية على النباتات مع تأجيل توضيح أعراض نقص كل عنصر على حده وذلك عند دراسة هذه العناصر وذلك نقلا عن المشروع المصرى الألمانى (الفولى وعبد الحميد) سنة 1992.

حالات نقص العناصر المغذية

بجانب حالة النقص الظاهرية للعناصر بمشاهدة أعراض واضحة للعين على النبات يوجد العديد من حالات النقص مثل: نقص مستتر بدون ظهور أعراض مرئية على النبات –

نقص عنصر واحد – نقص فى أكثر من عنصر – نقص حقيقى نتيجة قلة كمية العنصر فى التربة وأخيرا نقص غير حقيقى نتيجة عدم صلاحية العنصر للامتصاص من التربة أو عدم فاعليته فى النبات، أو نتيجة التداخل بين العناصر أو نتيجة عوامل بيئية. ومن الواضح أن التعرف على الحالة المسببة للنقص تكون مهمة جدا وذلك لاقتراح طريقة العلاج.

وتبدأ أعراض نقص العنصر على النبات عندما يصل نقص الكمية الميسرة من العنصر فى التربة إلى الدرجة التى تؤثر على نمو النبات وبالتالى كمية المحصول الناتج. وتسمى حالة ظهور نقص العنصر بحالة النقص الظاهرى، وهذه تختلف عن حالة النقص المستتر والتى لا يمكن اكتشافها إلا عن طريق تقدير العناصر فى النسيج النباتى. ويختلف موضع ظهور الأعراض فى البداية لنقص العنصر على الأجزاء المختلفة للنبات باختلاف قدرة هذا العنصر على الحركة أو الانتقال داخل النبات من الأجزاء المسنة إلى النموات الحديثة وهى الأوراق غالباً. فمثلا نجد أن العناصر الكبرى مثل النيتروجينن، الفوسفور، البوتاسيوم والماغنسيوم تظهر أعراض نقصها على الأوراق المسنة للنبات أولا. فى حين تظهر أعراض الكبريت والكالسيوم والعناصر الصغرى أولا على الأوراق الحديثة أو الأجزاء العلوية. ويرجع ذلك لصعوبة تحرر هذه العناصر من مركباتها فى الأجزاء المسنة البالغة والموجودة فى أسفل النبات ثم انتقالها إلى الأجزاء الحديثة. وهنا يجب الإشارة إلى أن طبيعة نمو النبات وحجمه يؤثران على شكل وأولوية ظهور الأعراض، حيث نجد أن الأشجار الكبيرة تختلف عن النباتات العشبية، كما تختلف النباتات ذات الفلقة الواحدة عن ذات الفلقتين، وأيضا نجد أن نمو النباتات يتأثر بدرجات مختلفة باختلاف نوع العنصر الناقص.

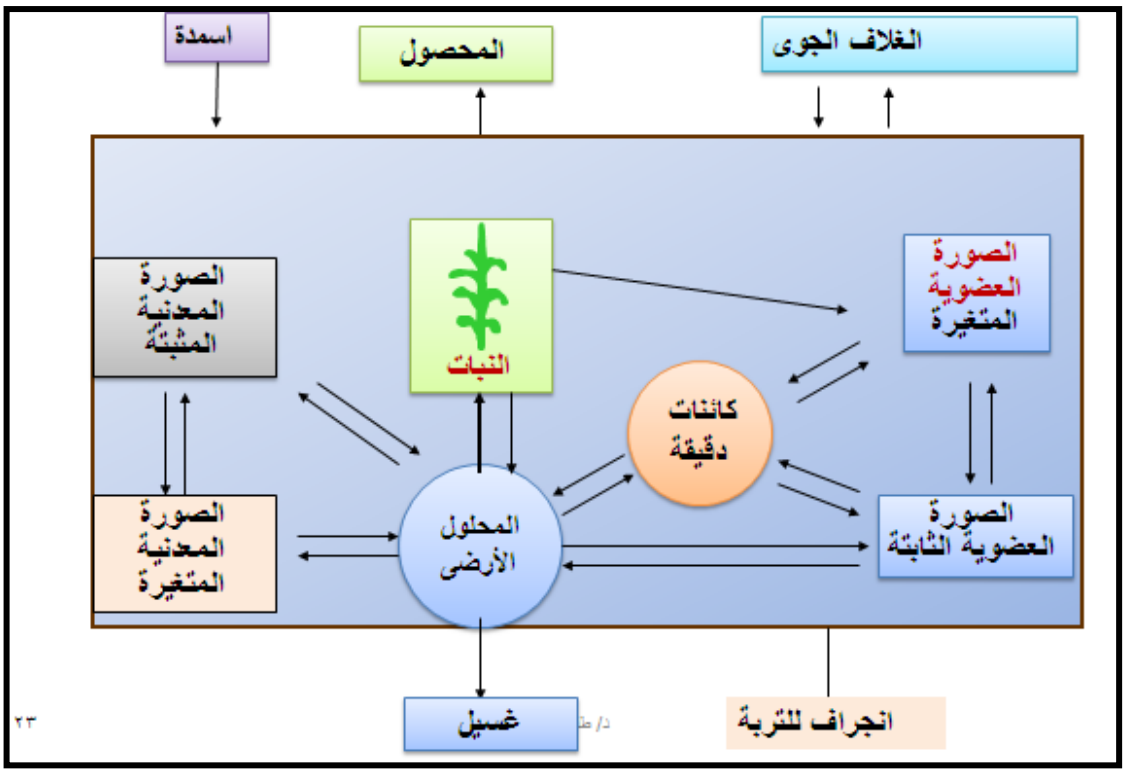


شكل يوضح بداية ظهور أعراض نقص العناصر المختلفة على النبات طبقا لكزنها متحركة ذاخل النبات او غير متحركة.

مصادر العناصر الغذائية للنبات Plant Nutrient Sources

يمكن تحديد مصادر العناصر المغذية للنبات فى مصدرين أساسيين وهما: العناصر الموجودة أصلا Native sources فى التربة ومنها المعادن الأرضية ونواتج تحلل المخلفات النباتية والمادة العضوية بالتربة (شكل 4–1). بينما المصدر الثانى فهو العناصر المضافة Added sources والتى تتمثل فى إضافة الأسمدة الكيميائية والأسمدة العضوية للتربة.

ويجب معرفة أن كل العناصر الغذائية والموجودة فى التربة تخضع إلى العديد من العمليات والتى قد تحد أو تزيد من ذوبانها وبالتالى تؤثر على الصورة والكمية الصالحة منها للنبات. وهذه العمليات تختلف من عنصر إلى آخر وقد تكون عمليات حيوية أو كيميائية تتم فى الطبيعة، ومن العمليات الحيوية التى تحد من ذوبان العناصر المغذية هو امتصاص تلك العناصر بواسطة الكائنات الأرضية الدقيقة Microflora وتمثيلها داخل أجسامها وهذه العملية تعرف باسم عملية التمثيل Immobilization ويقصد بها تحول العنصر من الصورة المعدنية إلى الصورة العضوية. ولكن بعد موت هذه الكائنات يحدث لها تحلل وتنطلق هذه



شكل (4 - 1) يوضح مصادر العناصر الغذائية المختلفة ودورتها فى التربة

العناصر مرة أخرى وتصبح فى صورة صالحة وهذه العملية تعرف باسم عملية المعدنة Mineralization وهى عكس العملية السابقة أى يحدث بها تحول العنصر من الصورة العضوية والغير صالحة للنبات إلى الصورة المعدنية الميسرة للامتصاص. والعملية الحيوية هذه تعتبر ذات أهمية كبيرة بالنسبة للنيتروجين ودرجة أهمية متوسطة بالنسبة للكبريت والفوسفور. ومن العمليات الكيميائية الهامة هى عملية الترسيب للعناصر وجعلها فى صورة غير صالحة للنبات، ويعتبر عنصر الفوسفور أكثر العناصر تأثرا بهذه العملية، وأيضا حدوث تقييد لبعض العناصر وخاصة الكاتيونات منها وذلك نتيجة ادمصاصها على أسطح أو بين الوحدات البلورية لمعقدات التبادل ويعتبر كلٍ من أيونى البوتاسيوم والأمونيوم أكثر الكاتيونات تثبيتا بهذه الطريقة.

العلاقة بين العناصر المغذية المختلفة

فى النهاية نتحدث عن :العلاقة بين العناصر المغذية المختلفة من حيث التضاد والتحفي :

النيتروجين: ينشط او يحفز امتصاص الماغنسيوم ولكن يثبط او يضاد النحاس والبوتاسيوم والبورون

الفوسفور : ينشط امتصاص الماغنسيوم ولكن يضاد الكالسيوم والبوتاسيوم والزنك والنحاس والمنجنيز

البوتاسيوم: ينشط المنجنيز والحديد ولكن يثبط الماغنسيوم والبورون

الكالسيوم : لا يحفز شيئا ولكن يضاد الكثير من العناصر مثل : الماغنسيوم والبوتاسيوم والمنجنيز والحديد والبورون والزنك

الزنك يضاد الحديد ، والحديد يضاد الفوسفور ، المنجنيز يضاد الحديد

البورون مسالم لا يضاد اي عنصر ولكن لا يسلم من تضاد بعض العناصر الكبري مثل النيتروجين والبوتاسيوم والكالسيوم:

الموليبدنيم : يحفز النيتروجين ويضاد النحاس

النحاس يضاد المنجنيز والحديد

الزنك يضاد الحديد ، والمنجنيز يضاد الحديد، والحديد يضاد الفوسفور

تؤدي زيادة الفوسفور في التربة الي زيادة امتصاصه علي حساب عنصري الزنك والحديد الامر الذي يؤدي الي ظهور اعراض نقصهماعلي النباتات.

يؤدي التسميد البوتاسي الغزير الي نقص امتصاص النبات للماغنسيوم وتظهر اعراض نقصه ولكن اضافة الجير الي الاراضي الحامضية تؤدي غالبا الي زيادة الماغنسيوم الميسر للامتصاص بها وكذلك فان زيادة الكالسيوم في المزارع المائية تؤدي الي ظهور اعراض نقص الماغنسيوم .

التسميد بكميات كبيرة من الفوسفات الذائبة يؤدي الي تحول الحديد الذائب الي صورة غير قابلة للذوبان بسبب اتحاد الحديد مع ايون الفوسفات مكونا فوسفات الحديد ، وتزداد هذه الظاهرة في الاراضي الرملية عنها في الاراضي الطينية لان الاراضي الرملية اقل قدرة علي تثبيت الفوسفات من الاراضي الطينية كما تظهر اعراض نقص الزنك في حالات التسميد الغزير بالفوسفور.

كذلك تظهر اعراض نقص الحديد عند زيادة التسميد والمنجنيز بالنحاس.

حدوث تاثير مفيد للصوديوم عند نقص عنصر البوتاسيوم يوجد توازن بين امتصاص الصوديوم وامتصاص الكاتيونات الاخري كالكالسيوم والماغنسيوم . ففي البنجر ادت زيادة الصوديوم الي زيادة امتصاصه علي حساب الكاتيونات الاخري. ويشذ البوتاسيوم عن هذه القاعدة . فليس من الضروري ان تؤدي زيادة الصوديوم الي نقص امتصاص البوتاسيوم ولكن زيادة الصوديوم او البوتاسيوم بوجه عام تؤدي الي نقص امتصاص النبات للكالسيوم والماغنسيوم .

ومن المهم ملاحظة أنه بالنسبة لكل العناصر المغذية تقريباً أو الغالبية العظمى منها تكون الكمية الميسرة للنبات قليلة جداً – وفى أى وقت – بالنسبة للكمية الكلية من ذات العنصر.

أهم الوظائف أو الأدوار الفسيولوجية للعناصر الضرورية في النيات

- **عناصر تركيبية** تدخل في تركيب مركبات عضوية خاصة مثل البروتينات والبروتوبلازم والجدار الخلوي- الكلورفيل – ومركبات الطاقة – السيتوكرومات- والفردوكسين مثل عناصر (النيتروجين ، الفوسفور ، والماغنسيوم ، الكالسيوم، الكبريت والحديد).
- **عناصر تنشيطية** تعمل بعض العناصر علي تنشيط العديد من الإنزيمات والمرافقات الإنزيمية التي تؤثر في تفاعلات الأكسدة والاختزال مثل عناصر الكالسيوم والبوتاسيوم والماغنسيوم والزنك والمنجنيز والنحاس والموليبديوم.
- **عناصر تعمل كعوامل مساعدة للتفاعلات الكيميائية** التي تحدث في الخلايا مثل تفاعلات الهدم والتمثيل مثال عناصر الحديد والنحاس والمنجنيز والزنك والماغنسيوم والكبريت والكالسيوم.
- **عناصر تنظيم الاتزان الأيوني** في الخلايا والتأثير علي العلاقات الأسموزية مثل عنصر البوتاسيوم ، الكالسيوم ، الصوديوم ، الكلور والفوسفات والنترات والكربونات.
- **عناصر تلعب دور هام في نقل الطاقة** في الخلايا مثل الفوسفور ، الأكسجين والأيدروجين.
- **عناصر تلعب دور في نقل بعض المركبات العضوية** مثل البوتاسيوم يلعب دور في نقل الأحماض العضوية والأمينية.
- **عناصر تلعب دور في التخزين** مثل النيتروجين والفوسفور والكبريت.
- **عناصر لها تأثير مضاد** علي العناصر الأخري مثل النحاس والبوتاسيوم.

العناصر الغذائية الكبرى Macronutrients

النيتروجين Nitrogen

يُعتبر عنصر النيتروجين من العناصر الغذائية الهامة فى تغذية النبات، ويحتاجه النبات بكميات كبيرة، حيث يمثل القدر الأكبر للمكونات العضوية الأساسية فى النبات والتى تشمل البروتينات والانزيمات والأحماض النووية والكلوفيل.

النيتروجين فى الأرض Nitrogen in Soil

يختلف النيتروجين عن معظم العناصر المعدنية الموجودة بالتربة الزراعية فى أن مصدره الأصلى هو الهواء الجوى (إذ يشكل النيتروجين حوالى 79% من حجم الهواء الجوى) فى حين لا تحتوى الصخور الأصلية ومعادن التربة على هذا العنصر. ولا تستطيع النباتات النامية الاستفادة من النيتروجين الغازى N_2 مباشرةً إلا بعد أن يدخل فى سلسلة من التفاعلات والتى تقوم بها كثير من الأحياء الدقيقة الموجودة بالتربة والتى تعيش إما حرة فى التربة أو تعيش فى داخل جذر النبات، حيث تثبت النيتروجين الغازى وتحوله إلى نيتروجين عضوى داخل أجسامها فى صورة أحماض أمينية وبروتينات، وعند موت هذه الكائنات فإن النيتروجين العضوى الموجود بها تحت ظروف معينة يتحلل وينتج نيتروجين معدنى فى صورة NH_4^+ ثم NO_3^-.

وتختلف الأراضى الزراعية فى محتواها من النيتروجين وذلك لوجود ارتباط بين هذه الكمية وعدة عوامل أخرى بعضها يتعلق بالظروف البيئية والآخر يتعلق بطبيعة النبات المنزرع وصفات الأرض الطبيعية والكيميائية. ويمكن إيجاز العوامل المحددة لمحتوى الأرض من النيتروجين (N) كما لخصها (Jenny) سنة 1941، فى الظروف المناخية (CL)، طبغرافية الأرض (T)، الغطاء النباتى (V)، مادة الأصل (P) "المقصود هنا دراسة تأثير مادة الأصل من خلال دراسة قوام التربة والتركيب المعدنى للتربة، حيث إن الأراضى ذات القوام الثقيل محتواها من النيتروجين الممثل بالمادة العضوية مرتفع بالمقارنة بالأرض الخفيفة، كذلك نوع معدن الطين له تأثيره على محتوى الأرض من النيتروجين لاختلاف قدرة هذه المعادن على ادمصاص NH_4^+ والجزيئات العضوية" وعامل الزمن (t). أى أن هذه العوامل وغيرها من العوامل تُعتبر دالة لمحتوى الأرض من النيتروجين كما توضحها المعادلة التالية :

$$N = f\ (CL, T, V, P, t \ldots\ldots etc)$$

وتُعتبر هذه العوامل غير مستقلة فى تأثيرها لكن تكون متداخلة، وعلى ذلك فإن محصلة هذا التداخل تحدد بدقة محتوى التربة الزراعية من النيتروجين. وبصفة عامة يمكن تقسيم صور النيتروجين بالأراضى الزراعية Nitrogen forms in soils إلى:

أ – الصورة العضوية Organic form

وهى الصورة الثابتة القليلة الصلاحية بالنسبة للنبات وذلك لوجود النيتروجين بها على صورة مجموعة أمين NH_2 - والتى تدخل فى تكوين الأحماض الأمينية والبروتينات وكثير من المركبات العضوية مثل: الأحماض النووية والفيتامينات وغيرها من المعقدات العضوية ذات التركيب غير المتجانس. وتمثل هذه الصورة حوالى 99% من النيتروجين الكلى بالأراضى الزراعية فى معظم فترات السنة.

ويمكن معرفة كمية النيتروجين بالأرض بمجرد تقدير المادة العضوية بالتربة الزراعية، حيث تُعتبر المخزن والرصيد الأساسى الذى يحتوى على معظم النيتروجين. وعموماً فإن المادة العضوية تحتوى على 5% نيتروجين، فمثلاً لو كان محتوى الأرض من المادة العضوية 3% تكون النسبة المئوية للنيتروجين بالأرض مساوية لحاصل ضرب الـ % للمادة العضوية × النسبة المئوية للنيتروجين بالمادة العضوية (أى أن النسبة المئوية للنيتروجين بالأرض = 3 × 5 ÷ 100 = 15, %) ومعنى ذلك أن أى عامل يؤدى إلى زيادة المادة العضوية بالتربة يُزيد من محتوى النيتروجين بالتربة الزراعية. ويمكن إيجاز العوامل المؤثرة على كمية المادة العضوية بالتربة وبالتالى النيتروجين فيما يلى:

1- نوع وكثافة الغطاء النباتى (الفلورا): تزداد المادة العضوية بزيادة الغطاء النباتى وهذا يزيد من كمية النيتروجين بالتربة.

2- طبغرافية الأرض ومدى استوائها وانحدارها: فكلما كانت الأرض مستوية كلما زادت كمية الماء النافذة وبالتالى يزداد محتواها من الرطوبة مما يزيد من الغطاء النباتى. بينما إذا كانت منحدره فإن الانجراف السطحى بفعل المياه والرياح يؤدى إلى انخفاض محتوى التربة من النيتروجين، كذلك قد تتجمع المادة العضوية وتقل عملية المعدنة للنيتروجين العضوى تحت ظروف رداءة الصرف وتجمع الماء فى المناطق المنخفضة بسبب عدم توفر التهوية الملائمة لنشاط الأحياء الدقيقة المحللة للمادة العضوية، حيث إن تحسين ظروف الصرف تقلل من تراكم المادة العضوية على سطح التربة نتيجة لزيادة النشاط الميكروبى.

3- درجة الحرارة ومعدل سقوط الأمطار (المناخ): مع ثبات كمية المطر تزداد نسبة النيتروجين (المادة العضوية) فى الأرض ذات المناخ البارد عنها فى الأراضى ذات المناخ الحار. وفى حالة ثبات درجة الحرارة تزداد نسبة النيتروجين فى الأراضى الرطبة عنها فى الأراضى الجافة.

4- قوام الأرض وعمق القطاع الأرضى: تقل كمية النيتروجين فى الأراضى الرملية خفيفة القوام عنها فى الأراضى الثقيلة (الطينية) ويرجع ذلك إلى سرعة تحلل المادة العضوية وفقد النيتروجين. وتزداد كمية النيتروجين فى طبقة الأرض التى تتراكم فيها المادة العضوية كطبقة سطح الأرض الثقيلة، ثم تقل كلما تعمقنا فى القطاع الأرضى. وقد يحدث أن يزداد النيتروجين كلما تعمقنا فى القطاع الأرضى فى الأراضى الرملية نتيجة تسرب المادة العضوية إلى الطبقة تحت السطحية للأرض، كذلك إذا حدث عملية نقل الرمال على الطبقة السطحية التى تزداد فيها النباتات وبقاياها (أى انجراف تربة من منطقة إلى منطقة أخرى).

دورة النيتروجين فى الأرض Soil Nitrogen Cycle

تُعتبر دورة النيتروجين فى الأرض من الدورات المعقدة كما يتضح ذلك من شكل (4-2) حيث تشمل عدد من العمليات الأساسية يمكن إيجازها فيما يلى:

1- تثبيت النيتروجين الجوى Nitrogen fxation.

2- معدنة النيتروجين العضوى Nitrogen mineralization وتكوين الأمونيا Ammonification.

3- الأكسدة البيولوجية للأمونيا فيما يُعرف بعملية التأزت Nitrification.

4- تمثيل النيتروجين المعدنى فى أجسام الكائنات الحية الدقيقة والنبات فيما يُعرف بعملية التمثيل Immobilization .

5- اختزال النترات إلى أمونيا أو نيتروجين جوى أثناء عملية عكس التأزت Denitrification.

ويمكن توضيح هذه الخطوات بشىء من التفصيل كما يلى :

أولاً: تثبيت النيتروجين الجوى Nitrogen Fixation

كما سبق الإشارة إلى أن النبات لا يستطيع الاستفادة مباشرةً من النيتروجين الجوى، ولذلك لابد من تثبيته سواء بيولوجياً أو غير بيولوجى. وأهم الطرق التى يُثبت بها النيتروجين الجوى هى:

1- الطرق غير البيولوجية ومنها:

أ - الطرق الطبيعية وذلك نتيجة لحدوث الشرارة الكهربائية أثناء عملية البرق مما يؤدى إلى أكسدة غاز النيتروجين، وتصل هذه الأكاسيد إلى الأرض مع المطر. وكذلك تساعد الأشعة فوق البنفسجية على اتحاد النيتروجين مع الهيدروجين الموجودة فى الجو ويتكون غاز

الأمونيا. وبصفة عامة فإن الكمية التى تصل إلى الأرض بهذه الطريقة قليلة جداً لا تتعدى عدة كيلوجرامات للفدان فى العام. وتتم عملية الأكسدة السابق ذكرها حسب المعادلة التالية:

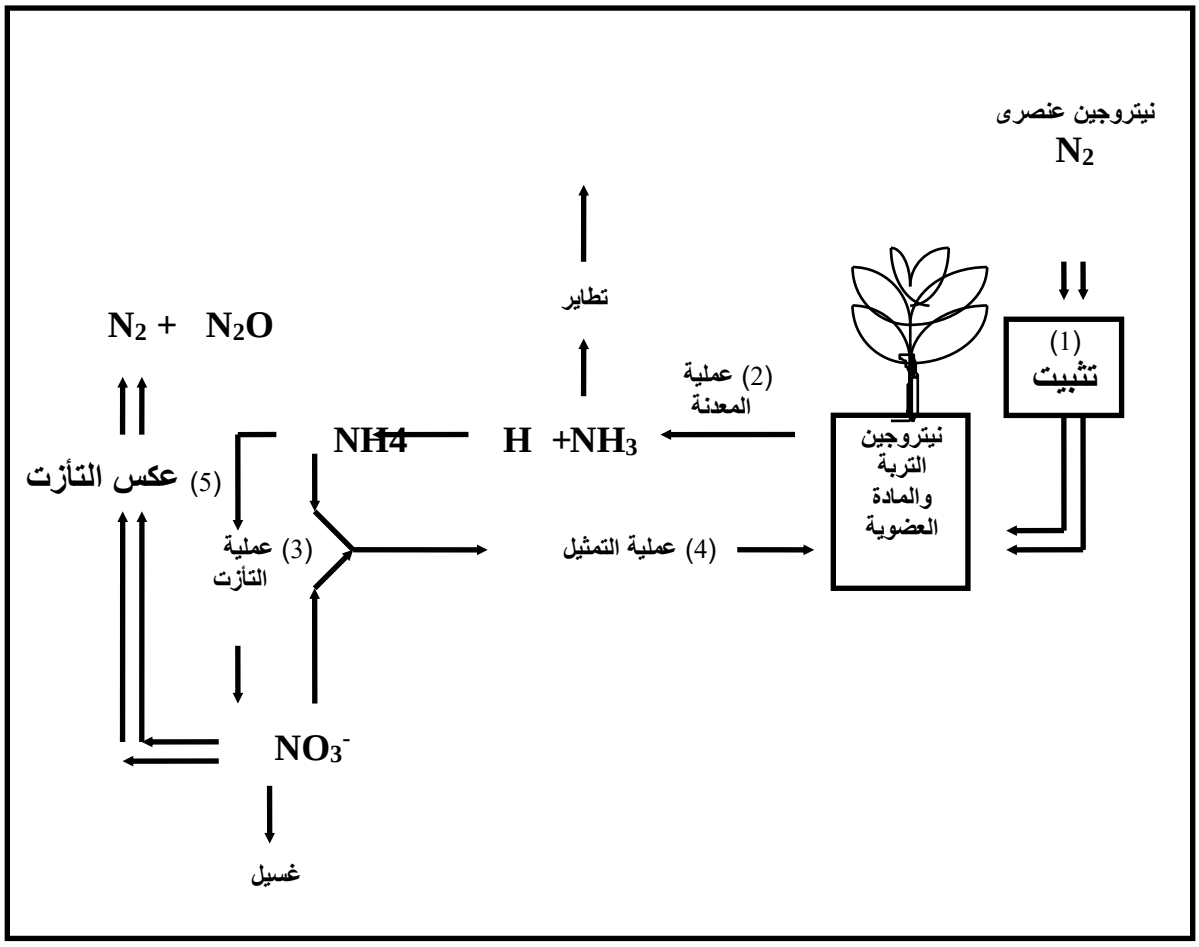
$$N_2 + O_2 \Rightarrow 2NO$$

$$3NO + 3O_2 \Rightarrow 3NO_2 + H_2O \Rightarrow 2HNO_3 + NO$$

ب – الطرق الصناعية وذلك عن طريق تفاعل Haber - Bosch reaction حيث يتفاعل النيتروجين الجوى N_2، مع الهيدروجين H_2 ، وذلك تحت ضغط ودرجة حرارة مرتفعة وينتج غاز الأمونيا حسب المعادلة التالية :

$$N_2 + H_2 \Rightarrow 2NH_3$$

ويعتبر هذا التفاعل أساس إنتاج الأسمدة النيتروجينية. ويجب الإشارة هنا أن كمية النيتروجين الجوى المثبتة كيميائياً (طبيعياً وصناعياً) قليلة جداً بالمقارنة بالكمية المثبتة بيولوجياً (جدول 3–4)



شكل (4–2): دورة النيتروجين فى الطبيعة

2– التثبيت الحيوى للنيتروجين Biological Nitrogen Fixation

من الحقائق أن تثبيت النيتروجين الجوى صناعيا يحتاج إلى درجة حرارة مرتفعة (500م) وتحت ضغط مرتفع وفى وجود عامل مساعد مثل أكسيد الحديد النشط، وهذا ما يتم فى تفاعل Haber - Buch reaction. فهنا سؤال يفرض نفسه علينا ألا وهو كيف يتم تثبيت النيتروجين بواسطة خلايا الكائنات الحية الدقيقة وتحت درجة حرارة منخفضة وضغط جوى عادى؟. ولا نجد أمامنا سوى القول سبحان الله فهذه إحدى نعمه "**وإن تعدوا نعمة الله لا تحصوها**".

والمقصود بالتثبيت الحيوى هو تحويل النيتروجين الغازى والموجود فى الغلاف الجوى إلى نيتروجين عضوى يدخل فى تركيب المركبات النيتروجينية العضوية. وتتلخص هذه العملية بقيام أنواع مختلفة من الكائنات الدقيقة المتخصصة والتى لها القدرة على اختزال النيتروجين الجوى وتحويله إلى NH_3 تحت الظروف العادية من الضغط ودرجة الحرارة، وبالتالى يتحول إلى مركب عضوى. وعلى ذلك نجد ان الكائنات الدقيقة تقوم بدور هام فى تحديد طبيعة دورة النيتروجين فى الأرض، حيث تتحكم فى تحويل جزيئات النيتروجين الجوى إلى نيتروجين

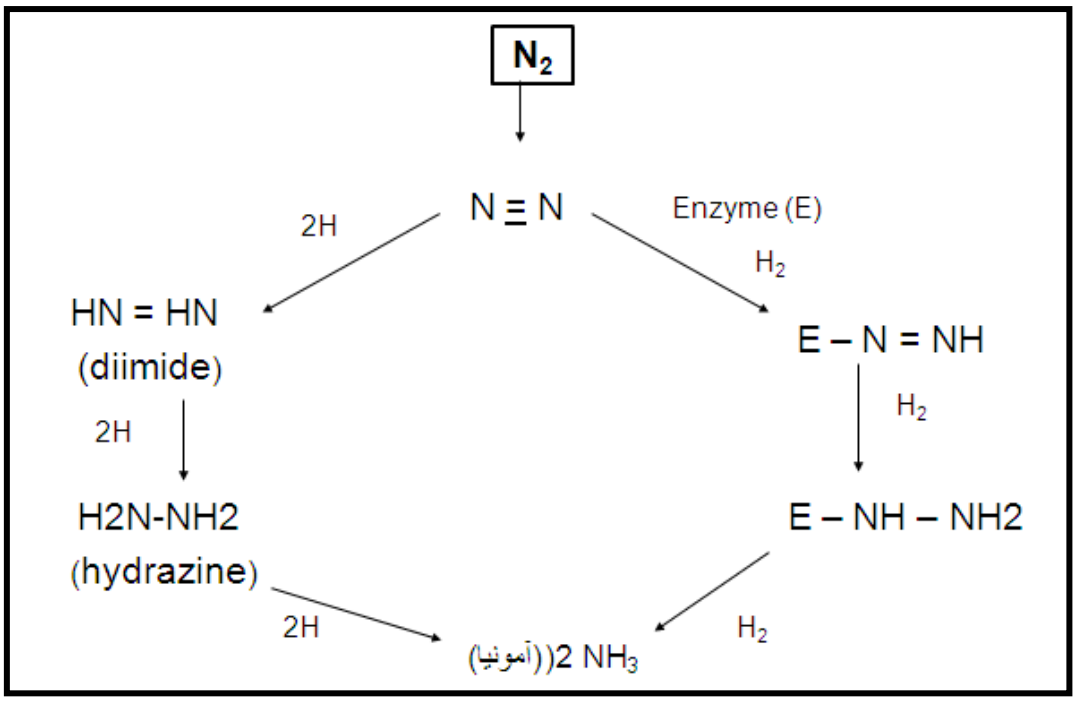
عضوى. وتعتبر هذه الطريقة أهم الطرق فى زيادة محتوى الأرض من النيتروجين كما يتضح من الجدول (4–3).

جدول (4–3): يبين كمية النيتروجين المضافة والمفقودة من الأرض عالمياً محسوبة بالمليون طن / عام

المضاف إلى الأرض (بالمليون طن/ عام)		**المفقود من الأرض (بالمليون طن/ عام)**	
الإنتاج الصناعى	46	عكس التأزت	300 – 200
التثبيت البيولوجى	200 – 100	أمونيا متطايرة	165
النترات والنتريت مترسبة	60		
أمونيا مترسبة	140		

عن Mengel and Krikby سنة 1987.

وكما سبق ذكره فإن عملية التثبيت الحيوى يتم فيها اختزال النيتروجين الجوى داخل أجسام الكائنات الدقيقة، ويتم الاختزال بواسطة إنزيم Nitrogenase وهذه العملية تحتاج إلى طاقة يكون مصدرها مركب Adenosein TripHospHate (ATP). وتحدث عملية الاختزال بأن يتحد هذا الإنزيم مع جزىء النيتروجين N_2 والذى يُختزل على عدة خطوات باكتسابه لأيونات الأيدروجين، ويكون حمض البيروفيك Pyrovic acid هو مصدر الأيدروجين اللازم لعملية الاختزال و كذلك تحتاج هذه العملية إلى مساعدات إنزيم Co-enzymes مثل: عنصر الموليبدنم أو الكوبلت. وشكل (4–3) يوضح خطوات عملية الاختزال.



شكل (4–3): المسار الحيوي لاختزال النتروجين وتكوين الأمونيا

بواسطة الأحياء الدقيقة المثبتة للأزوت الجوي

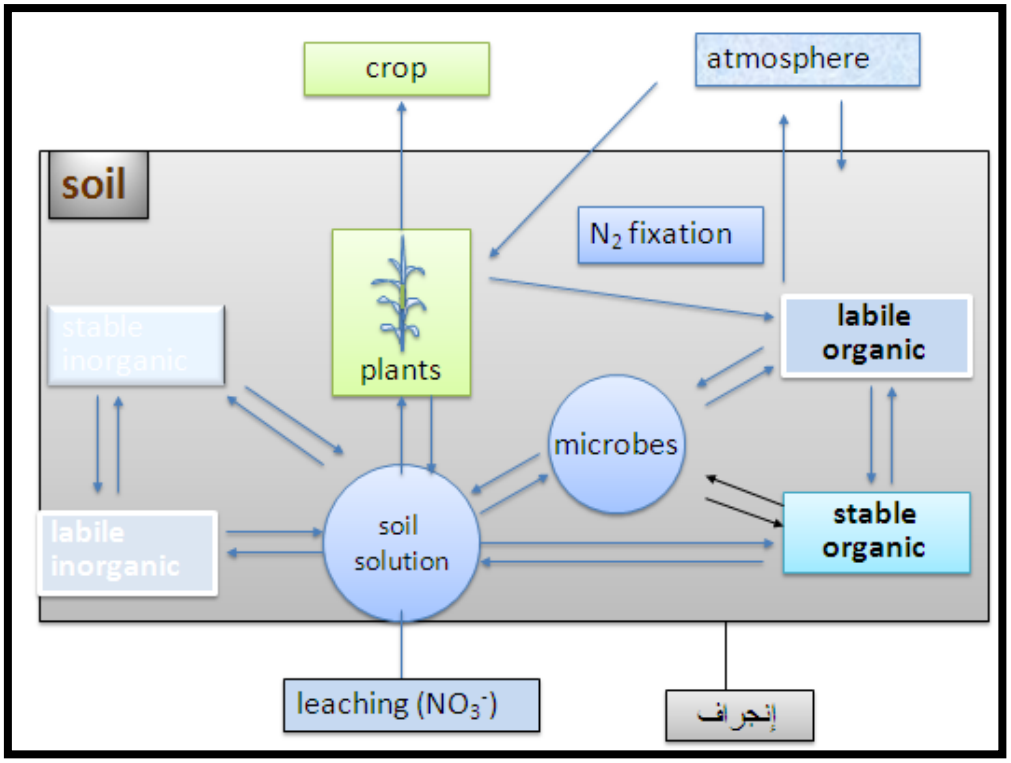
وبصف عامة يمكن القول بأن المادة العضوية والنشاط الميكروبى والعمليات الحيوية هى المسيطرة على وجود النيتروجين الميسر بالتربة في الوقت التى يغيب فيه مادة الأصل المعدنية التى تحتوى على النيتروجين كما يوضحها الدورة العامة لمصادر العناصر المغذية في التربة الشكل (4 – 4)

ويمكن تقسيم طرق التثبيت الحيوى للنيتروجين إلى :

1- التثبيت التكافلى للنيتروجين Symbiotic N_2 Fixation

حيث تقوم به بعض الكائنات الأرضية الدقيقة ومنها بكتريا متخصصة تكافلية Symbiosis فى معيشتها داخل العقد الجذرية للعديد من النباتات البقولية. كذلك الموجودة فى جذور كثير من النباتات العشبية أو جذور بعض الأشجار ومن هذه الكائنات الأرضية الدقيقة :

– بكتيريا من جنس Rhizobium sp و التى تعيش تكافلياً مع جذور النباتات البقولية Legume، والتى يُطلق عليها بكتيريا العقد الجذرية للمحاصيل البقولية. ولهذا النوع من النشاط التكافلى أهميه اقتصادية كبيرة لمساهمته الفعالة فى تثبيت النيتروجين الجوى، ويتضح ذلك من جدول (4–4) والذى يشير إلى الكمية المثبتة بواسطة بعض النباتات البقولية كما أشار إليها White سنة 1987.



شكل (4 – 4) يبين تحكم المادة العضوية والنشاط الميكروبى على تيسر النيتروجين للنبات.

جدول(4–4): كمية النيتروجين الجوى المثبتة بواسطة النباتات البقولية مُقدرة بالكيلوجرام/ هكتار(2.4 فدان)

Temperate species	Tropical & subtropical species
Clovers	**Grazed grass-Legume**
(Trifolium spp) 55-600	**pastures:**
Lucerne	**Stylosanthes humilis 10-30**
(Medicago sativa) 55-400	**Macroptium atropurpureum 44-129**
Soyabeans	**Grain & forage legumes**
(Glycine max) 90-200	**Beans**
Beans (Vicia faba) 200	**(PHaseolus vulgaris) 64**
Peas (Pisum spp) 50-100	**Pigeon pea**
	(Cajanus Cajan) 97-152
Median c.200	**Median c.100**

– بكتيريا خيطية من جنس Frankia sp مثل Actenomycete والتى تعيش فى جذور نباتات غير بقولية مثل الكازورينا Casuarina والحور .Alder.

- كذلك بعض الطحالب الخضراء المزرقة blue-green algae تستطيع أن تُقيم علاقة تكافلية مع بعض الفطريات مثل Lichens, Fungi، حيث تقوم الطحالب الخضراء المزرقة بإمداد الفطر بحاجته من النيتروجين المثبت من الجو.

ويُعتبر تثبيت النيتروجين تكافلياً بواسطة بكتيريا الريزوبيم عملية هامة جداً فى الزراعة من حيث إمدادها للنباتات البقولية بمعظم احتياجاتها من النيتروجين. وهناك العديد من بكتيريا الريزوبيم القادرة على تكوين عقد على جذور النباتات البقولية. بالإضافة إلى وجود نوع من التخصص بمعنى أن هناك أنواعاً معينة منها لمجموعة معينة من النباتات البقولية دون الأخرى ويوضح ذلك جدول (4-5). وعلى هذا يتوقف مدى نجاح البكتيريا فى تثبيت النيتروجين على البكتيريا المناسبة للعائل البقولى المناسب لها. ومن الجدير بالذكر أن تثبيت البقوليات للنيتروجين يكون على أشده فقط عندما يكون مستوى النيتروجين الميسر بالأرض قليل جداً، وعلى ذلك يُنصح بإضافة كميه قليلة من النيتروجين مع الأسمدة المضافة للمحاصيل البقولية عند الزراعة لضمان توفر كمية كافية من العنصر للبادرات الصغيرة حتى يتمكن الريزوبيم من المعيشة على جذورها. أما إذا أُضيفت كميات كبيرة وباستمرار من النيتروجين لهذه المحاصيل فإن ذلك يُقلل من نشاط الريزوبيم، وبالتالى يكون استخدام هذه الأسمدة النيتروجينية غير اقتصادى.

2- التثبيت غير التكافلى للنيتروجن Non symbiotic N- Fixation

وتقوم به كائنات حرة المعيشة فى الأرض الزراعية أى غير تكافلية Free- living organisms سواء وجد النبات أولم يوجد وإن كان بعضها ينشط أكثر فى وجود النبات وإن لم يكن يعتمد عليه (شكل 4 – 5)، وبالتالى يكون هذا التثبيت غير تكافلياً. وفيه يتم تحويل النيتروجين الغازى بواسطة هذه الكائنات إلى نيتروجين عضوى داخل أجسامها، وبعد موت هذه الكائنات وتحلل أجسامها يتحول إلى نيتروجين ميسر للنبات نتيجة لعملية المعدنة، ومن هذه الكائنات :

جدول (4-5): أنواع بكتيريا الريزوبيم والمحاصيل البقولية الملائمة لها

نوع البكتريا	العائل
R.meliloti	**Melilotus,Medicagoبرسيم حجازى وحلبة**
R. trifolii	**Trfoliumبرسيم حولى**
R. leguminosarum	**Pisum, Viciaبسلة – فول – عدس**
R.pHaseoli	**Phasoeolusفاصوليا**
R. japonicum	**Glycineفول صويا**
R. lupinii	**Lupinusالترمس**

1- البكتيريا الهوائية من جنس Azotobacter Spp وتنتشر هذه البكتيريا فى جميع أنواع الأراضى ماعدا الحامضية ذات pH أقل من 6.

2- البكتيريا غير الهوائية من جنس Clostridium spp وهى تختلف عن الأزوتوباكتر فى قدرتها على تثبيت النيتروجين فى الأراضى الحامضية ذات pH أقل من 6.

3- الطحالب الخضراء المزرقة Blue-green algae من أجناس Nostoc Anabaena Gloecapsa، وتوجد تحت ظروف بيئية واسعة المدى، وتحتاج فى غذائها إلى الماء والضوء والنيتروجين الحر N_2 وثانى أكسيد الكربون CO_2 وأملاح تحتوى على العناصر المعدنية الأساسية. وهذه الطحالب والأشنات تلعب دوراً هاماً فى إمداد مزارع الأرز بالنيتروجين.

ومن الجدير بالذكر أن الأهمية الزراعية لتثبيت النيتروجين بواسطة البكتيريا الحرة أقل من تلك التى تُثبت بواسطة البكتيريا التكافلية. وهناك تكهنات عديدة حول كمية النيتروجين المثبتة لا تكافلياً بواسطة البكتيريا نذكر منها ما ذكره أبو الروس وآخرون سنة 1992 وهى 3-5 كجم / فدان / العام، بينما المثبتة بواسطة الطحالب الخضراء المزرقة تتراوح ما بين 30-60 كجم/ فدان/ العام. وتوجد عدة عوامل تؤثر على معدل تثبيت النيتروجين حيوياً أهمها:

1- رقم الـ pH حيث تقل كفاءة التثبيت كلما انخفض رقم pH الأرض الزراعية ويرجع ذلك لأن بكتيريا الريزوبيم حساسة للحموضة.

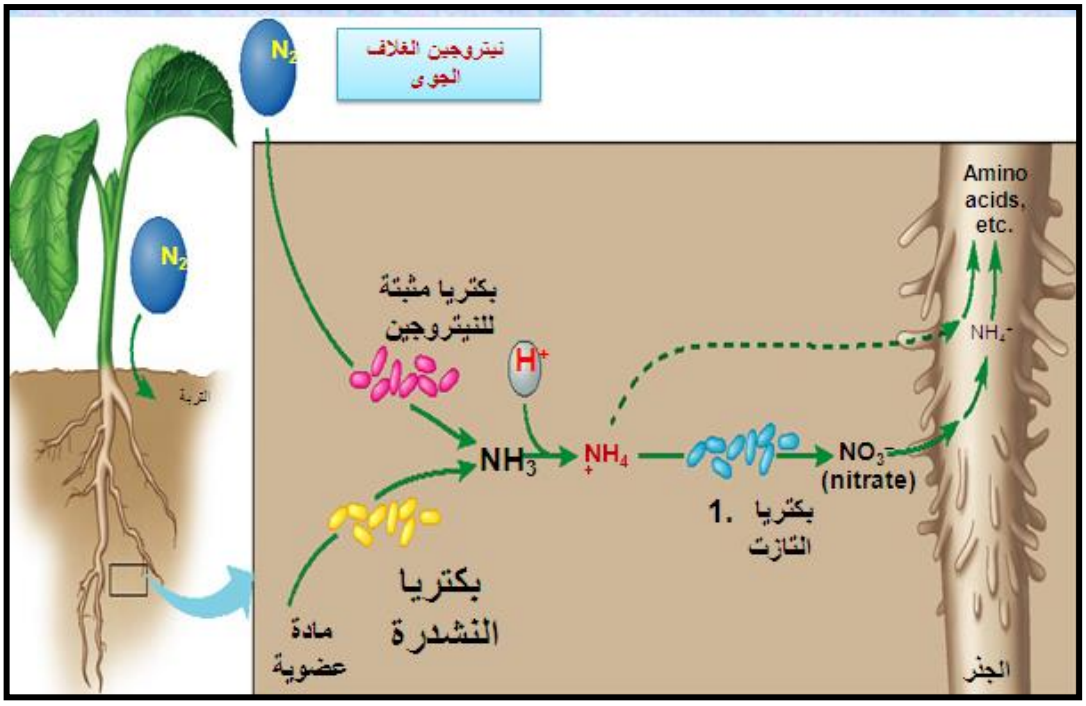
2- محتوى الأرض من النيتروجين حيث يقل معدل التثبيت كلما زاد محتوى الأرض من النيتروجين الميسر.

3- يزداد معدل التثبيت كلما توافر فى الأرض كمية ملائمة من عناصر P Ca , K فى صورة ميسرة.

4- تعتبر عناصر الموليبدنم والكوبلت ضرورية لكل أنواع البكتيريا المثبتة للنيتروجين، حيث يزداد معدل التثبيت بزيادة محتوى الأرض من هذه العناصر

5- تلعب الحالة الغذائية للنباتات البقولية دوراً هاماً فى مقدار كمية النيتروجين المثبتة، حيث يزداد معدل التثبيت كلما زاد معدل التمثيل الضوئى فى النبات والتى يتوقف عليها كمية الكربوهيدرات التى تُعطى للبكتيريا من النبات.

مما سبق نجد أنه من خلال عملية التثبيت البيولوجى للنيتروجين يتحول هذا العنصر إلى صورة عضوية من خلال تحوله إلى أحماض أمينية وبروتينات، وبذلك يمكن اعتبار هذه الحالة نقطة البداية لتراكم النيتروجين Accumulation of nitrogen بالأرض الزراعية فى صورة مركبات عضوية.



شكل (4 – 5) يبين التثبيت الحيوى للنيتروجن الجوى ومعدنة النيتروجين العضوى

ثانياً : معدنة النيتروجين العضوى

Organic nitrogen mineralization

المحصلة النهائية لعملية التثبيت البيولوجية للنيتروجين بالأرض الزراعية هو تحول النيتروجين العنصري إلى نيتروجين عضوي سواء كان فى أجسام الكائنات الحية الدقيقة أو النباتات أو مخلفات الحيوانات التى تتغذى على هذه النباتات. وبالتالى يكون النيتروجين العضوى (الذى يمثل 99% من النيتروجين الكلى بالأرض) فى مكونات المادة العضوية والدُبال وهو فى هذه الصورة غير صالح للامتصاص بواسطة النبات. وعلى ذلك تقوم أنواع عديدة من الكائنات الأرضية الدقيقة غير ذاتية التغذية Heterotrophic organisms (تحصل على الطاقة اللازمة لها من أكسدة الكربون العضوى) بتحليل المادة العضوية وينفرد النيتروجين منها فى صورة الأمونيا NH_3 وفى خطوة لاحقة تتحول الأمونيا إلى أمونيوم NH_4^+ ثم نترات NO_3^- ، ويطلق على هذه العملية اسم عملية المعدنة، وتسمى أيضاً عملية النشدرة Ammonification على أساس أن الناتج النهائى لعملية المعدنة هو الأمونيا. والعملية العكسية لعملية المعدنة هي عملية التمثيل Immobilization ويُقصد بها تحول النيتروجين المعدنى الصالح للامتصاص بواسطة النبات والموجود بالأرض الزراعية إلى نيتروجين عضوى نتيجة استهلاكه بواسطة الكائنات الأرضية الدقيقة. وطبيعى أن يكون سيادة عملية المعدنة فى صالح النبات حيث ينتج عنها نيتروجين معدنى (الصورة الصالحة للامتصاص) والعكس صحيح بسيادة عملية التمثيل.

ويمكن توضيح كيفية حدوث عملية النشدرة Ammonification كما يلى : يحدث تحول للمركبات النيتروجينيه العضوية إلى أمونيا فى خطوتين:

الأولى: يحدث تحلل مائى Hydrolytic decomposition للبروتينات بفعل الإنزيمات وتنطلق مركبات أبسط فى صورة أحماض أمينية بواسطة الأحياء الدقيقة.

$$\textbf{Soil organic-N} \Rightarrow \textbf{R - NH}_2 + \textbf{CO}_2 + \textbf{Additional products + energy}$$

الثانية: تقوم الكائنات الدقيقة بتحويل الأحماض الأمينية $R\text{-}NH_2$ إلى الأمونيا وكحول وطاقة

$$\textbf{R - NH}_2 + \textbf{H}_2\textbf{O} \Rightarrow \textbf{NH}_3 + \textbf{R -OH} + \textbf{energy}$$

وتذوب الأمونيا الناتجة فى الماء ويتكون أيون الأمونيوم

$$\textbf{NH}_3 + \textbf{H}_2\textbf{O} \Rightarrow \textbf{NH}_4\textbf{OH} \Rightarrow \textbf{NH}_4^+ + \textbf{OH}^-$$

ويكون مصير الأمونيوم الناتجة إحدى الاحتمالات الآتية:

1- يمكن أن يتحول إلى نتريت، ثم نترات بواسطة كائنات دقيقة متخصصة وذلك خلال عملية التأزت Nitrification.

2- يمكن أن يُمتص مباشرةً بواسطة النبات.

3- يمكن أن يدخل فى تفاعلات التبادل الأيونى.

4- يمكن أن يُثبت على صورة غير ميسرة للنبات وذلك بادمصاصه على أسطح الغرويات الأرضية، أو تثبيته بين الوحدات البلورية للمعادن الأرضية.

5- يمكن أن يحدث له فقد من الأرض بالتطاير Volatilization وخاصة إذا ارتفع رقم pH الأرض عن 8.

وتساهم الأحياء الدقيقة بالتربة الزراعية من بكتيريا وفطريات وأكتينوميستس Actinomycetes بقدر كبير فى عملية معدنة النيتروجين، وهناك عوامل متعددة تؤثر على هذه العملية، وبالتالى يجب مناقشتها بشىء من التفصيل وخاصة التى تتعلق بتركيب المادة العضوية والظروف المحيطة بعملية التحلل ومنها :

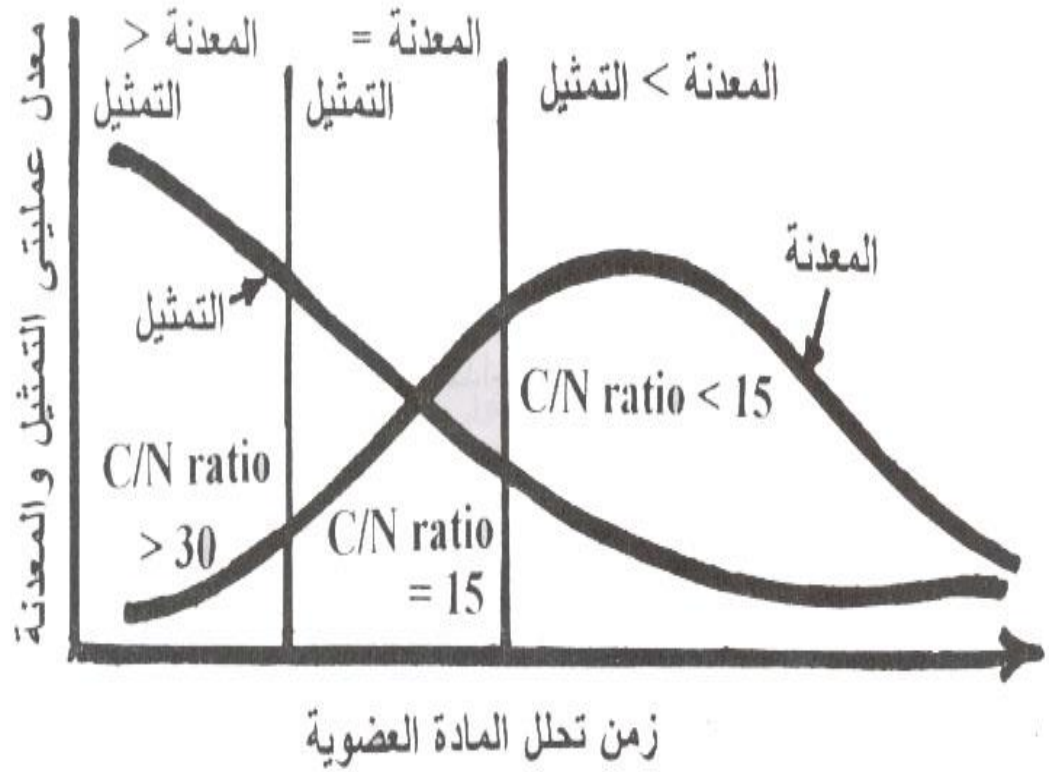
أ -نسبة الكربون إلى النيتروجين C/N ratio

تلعب نسبة الكربون إلى النيتروجين C/N ratio دور أساسى ومهم فى عملية تحلل المادة العضوية، وبالتالى معدنة العناصر الموجودة فى تركيب هذه المادة. وتختلف هذه النسبة باختلاف أنواع بقايا النباتات وتمتاز بقايا النباتات النجيلية مثل قش الأرز والقمح باتساع نسبة

الكربون إلى النيتروجين بها، حيث تصل من 50–60 :1، بينما تضيق هذه النسبة فى بقايا النباتات البقولية (البرسيم– الفول) حيث تصل إلى 25–30 : 1.

وهنا يجب الإشارة إلى إنه كلما كانت نسبة الكربون إلى النيتروجين واسعة أى أن المادة العضوية تحتوى على كمية منخفضة من النيتروجين فإن ذلك يعنى استهلاك النيتروجين المعدنى الموجود بالأرض الزراعية بواسطة الكائنات الدقيقة المحللة للمادة العضوية والذى يُستخدم فى بناء أنسجتها أى يحدث له عملية تمثيل Immobilization ، وعلى ذلك تقل الكمية الميسرة من هذا العنصر فى الأرض، ويعانى النبات النامى بها من نقص النيتروجين. وعلى هذا تتحدد السيادة لأى من عمليتى المعدنة والتمثيل فى الأرض بنسبة الكربون إلى النيتروجين بها بعد إضافة المادة العضوية (الأصلية + المضافة). حيث تكون السيادة لعملية التمثيل إذا زادت النسبة عن 30 : 1، وبالتالى يختفى النيتروجين المعدنى من الأرض ويُمثل داخل أجسام الكائنات الدقيقة، مما ينتج عنه معاناة النباتات النامية من نقص النيتروجين. والعكس حيث يؤدى ضيق هذه النسبة أقل من 30 : 1 فى الإسراع من عملية المعدنة، حيث يتساوى معدل العمليتين إذا كانت النسبة فى مدى 15–30 : 1 كما يوضح ذلك شكل (4–6)، وتكون السيادة لعملية المعدنة إذا وصلت هذه النسبة إلى 15 : 1، وبالتالى تجد النباتات النامية حاجتها من النيتروجين المعدنى، ويصل التحلل حتى تصل النسبة إلى 10 : 1، وبعدها تقف عملية التحلل حيث تكون المادة العضوية وصلت إلى درجة متقدمة فى تحللها أى أصبحت فى صورة دُبال.

ولهذه النسبة أهمية كُبرى فى تكنولوجيا التسميد العضوى، حيث تساعد على تحديد نوع وميعاد إضافة السماد العضوى للنباتات النامية فى الحقل. فمثلاً إذا كان لديك مادة عضوية (مخلفات نباتية) لها نسبة واسعة أكبر من 30 : 1، فإن مثل هذه البقايا لا يمكن حرثها فى الأرض قبل أو أثناء زراعة المحصول مباشرةً وإلا سادت عملية التمثيل، وبالتالى ستعانى البادرات النامية من نقص النيتروجين المعدنى لفترة تختلف مدتها حسب هذه النسبة ولذلك يُنصح بإضافة مثل هذه البقايا وحرثها بالأرض قبل الزراعة بمدة طويلة بحيث تحدث عملية التمثيل والأرض خالية من النباتات.



شكل (4–6): العلاقة بين نسبة الكربون إلى النيتروجين فى المخلفات العضوية ومعدل عمليتى المعدنة والتمثيل للنيتروجين.

فإذا لم يتوفر ذلك فيمكن إما خلط هذه البقايا مع سماد نيتروجينى بمعدل 1كجم لكل 100كجم مخلفات نباتية (ويسمى ذلك بعامل النيتروحين Nitrogen factor ويكون 9, كجم نيتروجين /100كجم قش) حتى تضيق النسبة، وبالتالى يمكن اختصار الزمن اللازم لبدء عملية المعدنة. أو يتم عمل كومه سماد Compost خارج الحقل، ثم ننتظر حتى تضيق النسبة (وذلك بعد فترة من التحلل) إلى الحد المناسب قبل إضافتها إلى الأرض. أما المحاصيل البقولية التى تُزرع كسماد أخضر فمن الممكن حرثها فى الأرض مباشرةً قبل الزراعة (المحصول التالى)، حيث تتميز هذه المحاصيل بضيق النسبة، وبالتالى تحدث عملية المعدنة بسرعة.

ب – الظروف البيئية المحيطة

تؤثر الظروف البيئية المحيطة (درجات حرارة – رطوبة – تهوية – pH) تأثيراً كبيراً فى تحديد طبيعة نشاط الكائنات الأرضية الدقيقة القائمة بعملية التحلل، وبالتالى عملية المعدنة للنيتروجين العضوى. ولتحديد تأثير كل عامل من العوامل السابقة يلزم دراستها منفردة وأيضاً تأثيرها وهى متداخلة مع بعضها البعض. ومن الدراسات السابقة لكثير من العلماء يمكن أن نستخلص بأن أفضل رقم pH لعملية المعدنة هو من 6.5 –8، كما أن أفضل درجة حرارة من 35 –45ْم وأى ارتفاع أو انخفاض عنها يُقلل من نشاط الكائنات القائمة بعملية المعدنة. أيضا

تتم عملية المعدنة للنيتروجين تحت ظروف الأراضى المغمورة بالماء، لكن تتوقف عند تكوين الأمونيوم NH_4^+ ويرجع ذلك لعدم توفر ظروف التهوية الملائمة للكائنات الدقيقة المسئولة عن أكسدة الأمونيوم إلى نترات NO_3^-. وعلى الرغم من أن عملية المعدنة تحت هذه الظروف البيئة تكون بطيئة، إلا أن الكائنات الأرضية الدقيقة اللاهوائية Anaerobic تستطيع تحويل النيتروجين العضوى إلى أمونيوم تحت القيم المرتفعة من C/N ratio بكفاءة عالية بالمقارنة بالكائنات الأرضية الهوائية. ومن هنا يمكن القول بأن المحصلة النهائية لمعدل عملية المعدنة للنيتروجين تحت الظروف اللاهوائية تكون مماثلة لها تحت الظروف الهوائية.

ثالثاً: عملية التأزت Nitrification

تُعرف على أنها عملية الأكسدة البيولوجية لبعض الأمونيوم الناتج من عملية النشدرة أو المضاف فى صورة أسمدة إلى نترات. وتتم هذه العملية على خطوتين:

1- أكسدة الأمونيوم إلى نتريت ويقوم بها بكتيريا Nitrosomonas

$$2NH_4^+ + 3\,O_2 \Rightarrow 2NO_2 + 2H_2O + 4H^+$$

2- يتم أكسدة النتريت إلى نترات وتقوم بها بكتيريا Nitrobacter

$$2NO_2 + O_2 \Rightarrow 2NO_3^-$$

$$\text{Net } 2NH_4^+ + 4O_2 \Rightarrow 2NO_3^- + 2H_2O + 4H^+$$

ومن التفاعلات السابقة يمكن استنتاج ما يلى:

1- يشكل أيون الأمونيوم المادة الأساسية والأولية لعملية التأزت، وعلى هذا فإن تيسره بكمية كافية يُعتبر ضرورياً لاستمرار هذه العملية. ويُعتبر المطلب الأول لبكتيريا التأزت.

2- إن عملية التأزت عملية أكسدة أى يلزمها أكسجين بوفرة لكى تتم، وعلى ذلك فإن جميع العمليات الزراعية التى تؤثر على تهوية التربة الزراعية سيكون لها تأثيرها المباشر على هذه العملية. أى أن عمليات العزيق – الحرث و الصرف الجيد تُنشط من هذه العملية، والعكس سوء التهوية وغمر الأرض بالماء يقلل من هذه العملية أو قد يوقفها تماماً.

3- إن عملية التأزت تُقلل من قاعدية التربة؛ وذلك نتيجة لاستهلاكها للأمونيوم، وفى نفس الوقت انطلاق أيونات الأيدروجين إلى الوسط مما يؤدى إلى زيادة حموضة الأرض. وقد لا يظهر هذا التأثير بشكل واضح فى الأراضى الغنية بكربونات الكالسيوم.

4- إن عملية الأكسدة هذه عملية بيولوجية أى تحتاج إلى كائنات أرضية دقيقة وفى نفس الوقت متخصصة، وعلى ذلك يجب أن تتوافر ظروف بيئية مناسبة لنشاطها مثل:

أ - رقم pH الأرض: حيث لوحظ أن هذه الكائنات تكون فى حالة نشاط أفضل فى الأراضى المتعادلة أو القاعدية، ويقل النشاط بزيادة حموضة الوسط.

ب - محتوى الأرض من الرطوبة: تحتاج هذه العملية لقدر معين من الرطوبة حيث وجد أن البكتيريا المسئولة عن هذه العملية حساسة لزيادة محتوى الأرض من الرطوبة عنه فى حالة نقصها، وتصل عملية التأزت أقصى درجاتها عندما تكون الرطوبة فى الأرض حول السعة الحقلية ويؤدى انخفاض الرطوبة حتى نقطة الذبول إلى انخفاض معدل التأزت بمقدار 50 % وإن كان لا يوقفها.

جـ - درجة الحرارة: بصفة عامة يمكن القول بإن أمثل درجة حرارة لهذه العملية تختلف من أرض إلى أُخرى وذلك كما أشارت الأبحاث المختلفة فى أماكن إجرائها. وعلى ذلك تكون الدرجة المُثلى فى حدود 25 -32 ْم وتقل عملية التأزت بانخفاض درجة الحرارة وذلك فى المناطق الجافة، ووجد أن هذه العملية تقف بزيادة درجة الحرارة عن ْ50م.

كما أشارت الأبحاث أن أكسدة الأمونيا إلى نتريت NO_2^- تكون أسرع من تحول النتريت إلى نترات NO_3^- فى الأراضى ذات الـ pH المرتفع (Amberger -b) سنة 1993، وعلى هذا قد يحدث تراكم للنتريت السام. فى حين وجد أنه فى الأراضى جيدة الصرف والمتعادلة أوقليلة الحموضة سرعان ما يتم أكسدة النتريت وتحولها إلى نترات وذلك عند تواجد البكتريا القائمة بهذه العملية؛ ولذلك يكون من الطبيعى أن تتراكم النترات بكميات أكبر. بالإضافة لما سبق وجد أنه عند تعرض الأراضى للجفاف يحدث تراكم للنترات فى الطبقة السطحية من التربة نتيجة لما تساهم به عملية التأزت تحت ظروف الرطوبة المنخفضة والموجودة فى الطبقة تحت السطحية، ثم هجرة النترات المتكونة وصعودها إلى الطبقة السطحية مع المياه عن طريق الخاصية الشعرية. وبالتالى يكون من المتوقع وجود النيتروجين فى الطبقة السطحية فى صورة نترات بكمية أكبر منه فى صورة أمونيوم، ولهذا تستعمل بكميات أكبر وبشكل رئيسى من قِبل النباتات النامية. ويكون مصير النترات المتكونة أو المضافة إلى الأرض فى صورة أسمدة نيتروجينيه مايلى:

1- قد تُمتص النترات من قِبل النباتات النامية أو تستهلكها الأحياء الدقيقة فى بناء أنسجتها خلال عملية التمثيل Immobilization وهى فى هذه الحالة تكون غير صالحة للامتصاص بواسطة النباتات.

2- قد تُفقد من الأرض أثناء عملية الرى مع مياه الصرف وذلك لقلة قدرتها على الادمصاص على الغرويات الأرضية لأنها تحمل شحنة سالبة.

3- يتعرض أيون النترات فى الظروف اللاهوائية إلى عملية اختزال ويُطلق عليها عملية عكس التأزت Denitrification .

فقد النيتروجين من الأرض Losses of Soil Nitrogen

استمراراً لتفسير دورة البيتروجين فى الأرض الزراعية كما هو واضح فى شكل (4-1)، نجد أن عنصر النيتروجين يتعرض للفقد بعدة طرق مختلفة وهو فى ذلك يُعتبر أكثر العناصر المغذية تعرضاً للفقد من الأرض وتلعب الصورة الموجود بها فى الأرض دوراً كبيراً فى هذا الفقد. وأهم طرق فقد النيتروجين ما يلى:

1- إزالة النيتروجين بواسطة المحاصيل Crop Removal

يمكن القول بإن معظم النيتروجين الممتص بواسطة المحاصيل المختلفة والذى يُمثل كمية لا يُستهان بها كما هو موضح فى جدول (4-6) تُفقد من التربة الزراعية عند حصاد تلك المحاصيل، فيما عدا المحاصيل التى تُزرع كمحاصيل مراعى، حيث ووجد أن حوالى 85 % من النيتروجين الممتص من قِبل تلك المحاصيل يعود مرة أُخرى للتربة كمخلفات حيوانية للحيوانات التى تقوم بعملية الرعى، كذلك تُعتبر محاصيل الحبوب ذات أهمية فى هذا المجال، فمثلاً وجد أن محتوى 4 طن من قش straw القمح لمساحة هكتار (2.4 فدان) هو من 20-25 كجم نيتروجين. وكما هو معروف يستخدم هذا القش كتبن فى تغذية حيوانات المزرعة والتى تُستخدم مخلفاتها فى التسميد كأسمدة عضوية، وبالتالى تعود هذه الكمية مرة أُخرى إلى التربة الزراعية.

2- فقد النيتروجين فى صورة غازيه Gaseous Losses

أشارت الأبحاث العديدة فى السنين الماضية بأن جزءاً كبيراً من النيتروجين يُفقد من الأرض الزراعية فى صورة غازية على هيئة أكاسيد نيتروجينيه أو الأمونيا وذلك كناتج لتفاعلات بيولوجية أو كيميائية. وهناك ثلاث طرق مُقترحه تُسبب هذه العملية:

جدول (4-6): كمية النيتروجين، الفوسفور و البوتاسيوم المستنفذة من الأرض الزراعية بواسطة بعض المحاصيل بالكيلوجرام /هكتار)

المحصول ⇓	الإنتاج طن /هكتار	النيتروجين (N)	الفوسفور (P_2O_5)	البوتاسيوم (K_2O)
الأرز	6-3	100-50	160-26	190-80
القمح	5-3	140-72	60-27	130-65
الذرة	6-3	120-72	50-36	120-54
البطاطس	40-20	175-140	80-39	310-190
البطاطا	40-15	190-70	75-20	390-110
بنجر السكر	100-50	110-60	90-50	340-150
البصل	35	120	50	160
الطماطم	40	110	30	150
الخيار	35	60	45	100
فول الصويا	2.4-1	224-160	44-35	97-80
الفول	2.4	155	50	120
الفول السودانى	1.5	105	15	42
القطن	5-1.7	180-73	63-28	126-56
الدخان	1.7	90	22	129

عن الـ FAO سنة 1984.

أ - عملية عكس التأزت Denitrification

وأساس هذه العملية بأنه تحت الظروف اللاهوائية للأراضى الزراعية فى المناطق الغدقه سيئة الصرف تقوم بعض أنواع الكائنات الدقيقة باختزال النترات والنتريت إلى صورة غازية وهى NO, N_2O, N_2 ، ثم تنطلق إلى الهواء الجوى. ويمكن توضيح عملية عكس التأزت بالمعادلة التالية:

$$NO_3^- \Rightarrow NO_2^- \Rightarrow NO \Rightarrow N_2O \Rightarrow N_2$$

ويمكن تفسير ذلك بأنه فى حالة توافر ظروف تهوية جيدة تقوم البكتيريا بأكسدة المادة العضوية بواسطة الأكسيجين الجوى. أما فى حالة غياب الأكسيجين يتم الأكسدة باستخدام أكسجين النترات كما توضحه المعادلات التالية:

فى وجود الأكسيجين الجوى:

$$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \Rightarrow 6CO_2 + 6H_2O + e$$

فى غياب الأكسيجين الجوى:

$$C_6H_{12}O_6 + 4NO_3^- \Rightarrow 6CO_2 + 6H_2O + 2N_2 + e$$

كذلك يحدث أكسدة للأحماض العضوية باستخدام أكسجين النترات كما يلى:

$$CH_3COOH + 8KNO_3 \Rightarrow 8\,KOH + 6H_2O + 10\,CO_2 + 4N_2 + e$$

والأحياء الدقيقة المسئولة عن هذه العملية هى من أنواع Pseudomonas, Micrococcus, Achromobacter and Bacillus.

بصفة عامة تختلف الكمية المفقودة بهذه العملية من 5–50% من الكمية المضافة، وكما سبق أن أشرنا فى جدول (4–3) بأن الكمية المفقودة بهذه الوسيلة على مستوى العالم تُقدر بـ 200–300 مليون طن فى العام.

وهناك عدة عوامل تؤثر على عملية عكس التأزت يمكن إيجازها فى النقاط التالية:

1- توافر مادة التفاعل: وهى النترات والنتريت والمواد العضوية البسيطة القابلة للأكسدة (السكريات البسيطة والأحماض العضوية) يُزيد من الفقد.

2- درجة الحرارة: كما هو معروف بأن يزداد نشاط الكائنات الدقيقة بالأرض مع ارتفاع درجات الحرارة، وبالتالى يزداد استهلاك الأكسيجين من قِبل الكائنات الدقيقة وعلى هذا يكون من المتوقع زيادة كمية النيتروجين المفقودة عن طريق عملية عكس التأزت. ووجد أن معدل عملية عكس التأزت يكون أقصاه خلال فصلى الخريف والربيع وبداية الصيف، وينخفض بطريقة ملحوظة خلال الصيف بسبب الحرارة المرتفعة جداً، كما أشارت أبحاث متعددة بأن أ كبر كمية مفقودة من النيتروجين بهذه العملية عندما تكون درجة الحرارة ما بين 15–45°م.

3- المادة العضوية: تزداد عملية عكس التأزت بزيادة محتوى الأرض الزراعية من المادة العضوية وخاصة فى الظروف المعتدلة الحرارة، وذلك نتيجة زيادة نشاط الكائنات الدقيقة

واستهلاكها للأكسيجين، وأيضاً لأن المادة العضوية تُعتبر مصدراً للطاقة اللازمة لنشاط تلك الكائنات، وأخيراً تُعتبر مصدر للأيدروجين اللازم لعملية الاختزال. وفى إحدى الدراسات باستخدام النيتروجين المشع N^{15} كما ذكرها Mengel and Kirkby سنة 1987 وجد أن معدل عكس التأزت يكون مرتفعاً فى الأراضى العضوية بالمقارنة بالأرض الطينية الثقيلة والتى تمتاز بأنها متوسطة التهوية والنتائج موضحة بالجدول (4-7).

4- درجة تهوية الأرض: يزداد الفقد للنيتروجين بهذه العملية كلما سادت ظروف التهوية السيئة. وهذه الظروف مرتبطة بمحتوى الأرض من الرطوبة، وهذا لا يعنى وجود تأثير مباشر للماء، بل أن السبب الرئيسى هو انخفاض كمية الهواء الأرضى بزيادة الرطوبة. وعلى ذلك لا يُنصح باستخدام الأسمدة النتراتية فى مزارع الأرز لحدوث فقد منها بهذه العملية بجانب الفقد بالغسيل.

5- رقم الـ pH للأرض، أشارت الأبحاث إلى أن ارتفاع الرقم عن 5 يُسرع من كمية النيتروجين المفقودة بعملية عكس التأزت، ووجد أن أقصى كمية مفقودة تكون عند رقم pH متعادل ويميل إلى القاعدى الخفيف.

جدول (4-7): كمية النيتروجين المفقودة نتيجة لعملية عكس التأزت فى أراضى مختلفة الصفات

نوع الأرض	الـ % لكمية النيتروجين المفقودة من الكمية الكلية المضافة
أرض رملية	11 - 25
أرض طينية	16-31
أرض عضوية	19-40

ب - تطاير الأمونيا Ammonia Volatilization

يحدث تطاير للأمونيا الناتجة من تحلل الأسمدة النشادرية أو اليوريا عند إضافتها للتربة إلى أمونيوم، وأيضاً الناتجة من معدنة النيتروجين العضوى بالأرض. وعادةً يكون الفقد بكمية كبيرة فى الأراضى القاعدية والأراضى الغنية بكربونات الكالسيوم ذات الرطوبة المتوسطة، حيث إنه فى حالة جفاف التربة يقل الفقد لعدم حدوث التفاعل، فى حين أنه عند ارتفاع الرطوبة فى الأرض تتوفر كميات كبيرة من الماء تسمح بذوبان الأمونيا وادمصاصها. ويمكن إيضاح كيفية حدوث الفقد عند إضافة أسمدة نيتروجينية مثل: سلفات الأمونيوم أو اليوريا بالمعادلات التالية:

أولاً: يحدث تحلل مائى لكربونات الكالسيوم

$$CaCO_3 + H_2O \Rightarrow Ca^{++} + HCO_3^- + OH^-$$

يتحد أيون الكالسيوم وأيون الأيدروكسيل الناتج من الخطوة السابقة مع السماد (سلفات الأمونيوم مثلاً).

$$Ca^{++} + 2OH^- + (NH_4)_2SO_4 \Rightarrow CaSO_4 + 2NH_3 \Uparrow + 2H_2O$$

أو يحدث تفاعل بين كربونات الكالسيوم مع كبريتات الأمونيوم ويتكون كربونات الأمونيوم.

$$(NH_4)_2SO_4 + CaCO_3 \Rightarrow (NH_4)_2CO_3 + CaSO_4$$

ثم يحدث تحلل لكربونات الأمونيوم.

$$(NH_4)_2CO_3 + H_2O \Rightarrow 2NH_3 \Uparrow + 2H_2O + CO_2$$

ومن التفاعل السابق يمكن القول بإنه إذا كان المركب الناتج من اتحاد الكالسيوم والأنيون المصاحب للأمونيوم فى السماد غير ذائب، فإن ذلك سيؤدى إلى تكوين المزيد من كربونات الأمونيوم، وبالتالى يحدث فقد للأمونيا بكمية أكبر. حيث أكدت كثير من الأبحاث أن الأسمدة التى تكون نواتج غير ذائبة مثل($Ca(F^-, SO_4^-, HPO_4^{--})$ تفقد كمية كبيرة من الأمونيا، بينما الأسمدة التى تكون نواتج ذائبة مع الكالسيوم مثل ($Ca(NO_3^-, Cl^-)$ تفقد كمية قليلة من الأمونيا.

ويوجدالعديد من العوامل التى تؤثر على تطاير الأمونيا منها :

– رقم الـ pH: حيث وجد أنه بزيادة قاعدية الأرض يزداد فقد الأمونيا من أسمدة الأمونيوم واليوريا. ويمكن إيضاح طبيعة تأثير الـ pH على سلوك الأمونيوم المتكون أو المضاف بواسطة المعادلة الآتية :

$$NH_4^+ + OH^- \Rightarrow NH_4OH \Rightarrow NH_3 \Uparrow + H_2O$$

أى أنه بزيادة تركيز أيون الأيدروكسيل فى الوسط يتجه التفاعل السابق نحو اليمين. وعلى ذلك يمكن أن نتوقع أن فقد الأمونيا بالتطاير قد ينخفض كثيراً فى الأراضى الحامضية.

وجد أنه بارتفاع درجة الحرارة يزداد تحلل اليوريا، وبالتالى يزداد الفقد، وبصفة عامة يختلف تأثير درجة الحرارة على كمية الأمونيا المفقودة بالتطاير حسب الأسمدة النيتروجينية المضافة وكذلك خواص الأرض. هذا بجانب عوامل أُخرى مثل السعة التبادلية الكاتيونية، وجود الأملاح بالأرض، مستوى السماد المضاف وطريقة إضافته.

وبصفة عامه يمكن خفض الكمية المتطايرة للأمونيوم بخلط السماد النشادرى (الأمونيومى) مع الطبقة السطحية من التربة الزراعية أو وضعه تحت سطح التربة، ولكن يُفضل إضافة الأسمدة النتراتيه لمثل هذه الأراضى.

3 – تثبيت الأمونيوم Ammonium Fixation

يتعرض أيون الأمونيوم المضاف إلى التربة أو الناتج من عملية المعدنة بواسطة معادن الطين القابلة للتمدد Expanded lattice ، وبالتالى تقل حركته ودرجة صلاحيته للنبات. حيث يتم تثبيته بقوة بين الوحدات البلورية لمعادن الطين من نوع 1:2 وتشمل المونتيمويللونيت Montmoillonite والإليت illite والفيرميكيولايت Vermiculite. وإن ميكانيكية تثبيت الأمونيوم مشابهة لتلك التى يُثبت بها أيون البوتاسيوم K^+ ، وتتم بحدوث تبادل بين أيون الأمونيوم NH_4^+ الذائب فى المحلول الأرضى وأيون موجب آخر موجود بين الوحدات البلورية، وتزداد الكمية المثبتة فى الطبقة تحت السطحية للأرض عنها فى الطبقة السطحية ويرجع ذلك لزيادة كمية الطين فى الطبقات تحت السطحية.

وتفيد عملية التثبيت هذه فى حفظ الأمونيوم من الفقد مع مياه الصرف، ويمكن أن تستفيد منه النباتات النامية بشرط أن يكون لها مجموع جذرى قوى ونشط له القدرة على جذب وامتصاص الأمونيوم المدمص على أسطح الغرويات الأرضية. كذلك وجد أن الأمونيوم المثبت يمكن أن يتحول إلى نترات وذلك من خلال عملية التأزت. وفى إحدى الدراسات للعالمين Scherer و Mengel عام 1979 تم تقدير كمية الأمونيوم المثبتة بواسطة معادن 1:2 فوجِد أنها حوالى 2000 – 3000 كجم نيتروجين /هكتار وأن حوالى 100 – 300 كجم نيتروجين / هكتار تنطلق خلال فترة النمو. وتتأثر عملية التثبيت للأمونيوم بعدة عوامل يمكن ذكرها باختصار وهى :

1 – فترة التفاعل: يكون تثبيت الأمونيوم فى أقصى درجة له بعد إضافة الأمونيوم مباشرةً، ويقل معدل التثبيت مع الزمن حتى الوصول إلى نقطة الاتزان.

2 – كمية الأمونيوم المضافة: من الطبيعى أن تزداد الكمية المثبتة بزيادة الكمية المضافة. ولكن نسبة الأمونيوم المثبتة تقل مع زيادة الكمية المضافة كما يتضح ذلك من جدول (4–8).

2- تعاقب التجفيف والترطيب للأرض: وجد أن التجفيف بعد إضافة الأمونيوم يُزيد من الكمية المثبتة وذلك لسببين : أولاً: بانخفاض الرطوبة فى الأرض يزداد تركيز الأمونيوم فى المحلول الأرضى، وبالتالى الكمية المتبادلة والمثبتة، ثانياً مع جفاف التربة يزداد التصاق الوحدات

البلورية المكونة لمعادن الطين، أى تقل المسافات البينية بين هذه الوحدات لفقدها للماء، وبالتالى يزداد تثبيت الأمونيوم.

جدول (4-8) العلاقة بين الكمية المضافة والمثبتة من الأمونيوم لأرض يسود بها معدن الفيرميكيولاي

الكمية المضافة ملليمكافىء/100جم تربة	الكمية المثبتة ملليمكافىء/100جم تربة	الـ % للكمية المثبتة من الكمية المضافة
1	0.83	83
2	1.39	70
5	3.17	43
10	3.18	32
20	3.85	19
40	4.48	11

عن عواد كاظم مشحوت (1987) - نسبة التربة : الماء هى 1:1

4- نوع معدن الطين السائدة: بصفة عامة تزداد قدرة الأرض على التثبيت بزيادة محتواها من معادن 1:2.

5 - المادة العضوية: من الدراسات السابقة يمكن القول بإن للمادة العضوية تأثير مزدوج، حيث يحدث تثبيت للأمونيوم من خلال انجذابه إلى المجاميع الكربوكسيلية والفينولية المتأينة فى الوسط القاعدى كما يتضح من المعادلات الآتية :

$$\text{--O}^- + \text{NH}_4^+ \Rightarrow \text{-- O NH}_4 \quad \text{(مجاميع فينولية)}$$

$$\text{-COO} + \text{NH}_4^+ \Rightarrow \text{-COO NH}_4 \quad \text{(مجاميع كربوكسيليه)}$$

\

والرأى الآخر يقول إن زيادة محتوى الأرض من المادة العضوية يقلل من الأمونيوم المثبت، وتفسير ذلك بأن جزء من المادة العضوية بعد تحللها قد يُدمص بين طبقات الوحدات البلورية لمعادن الطين مما يقلل من دخول أيون الأمونيوم لمواقع التثبيت.

6 - تأثير الأيونات الأخرى: يمكن القول بإن الأيونات التى تُزيد من قدرة المعادن الأرضية على التمدد مثل: Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^+, H^+ تقلل من تثبيت الأمونيوم، والعكس بالنسبة للأيونات التى تُقلص من هيكل معادن الطين مثل: K^+,Rb^+,Cs^+. وقد أشارت كثير من الأبحاث أن أيون البوتاسيوم يعمل على عرقلة تثبيت الأمونيوم. ولكن تأثير هذا الأيون يعتمد على وقت إضافته بالنسبة إلى إضافة الأمونيوم، فالإضافة المسبقة للبوتاسيوم تقلل

من الأمونيوم المثبت. ولكن إضافة البوتاسيوم بعد إضافة الأمونيوم لا يكون له تأثير واضح على الكمية المثبتة.

وفى النهاية يمكن القول بإن عملية تثبيت الأمونيوم لا تُعتبر ذات أهمية كبيرة فى تغذية النبات وذلك لكون أكسدة الأمونيوم المثبت أبطأ بكثير من الأمونيوم المتبادل، كذلك لأن معدل تحرر الأمونيوم المثبت قليل. ولكن يجب مراعاة تأثير هذه العملية عند إضافة الأسمدة الحاوية على الأمونيوم إلى الأراضى الغنية بالطين القابل للتمدد من نوع 1:2؛ لأن ذلك يقلل من كفاءة السماد المضاف.

4- الفقد بالغسيل Leaching Losses

كما هو معروف فإن أيون النترات NO_3^- أنيون سالب الشحنة، وعلى ذلك تكون فرصة ادمصاصه على أسطح الغرويات الأرضية قليلة، وذلك للتنافر نتيجة تشابه الشحنة. مما يُسهل من غسيله وفقده مع مياة الصرف. وقد يُدمص هذا الأيون على أسطح بعض الغرويات الأرضية والأكاسيد موجبة الشحنة وخاصة فى الأراضى الحامضية، وعند غياب هذه المواد يفقد هذا الأيون إلى الطبقات تحت السطحية أو مع مياه الصرف. وتتوقف كمية النترات المفقودة بالغسيل على كمية المياه وعدد مرات الرى – محتوى الأرض من الأكاسيد والغرويات الموجبة الشحنة – قوام الأرض حيث يزداد الفقد بانخفاض كمية الطين فى الأرض كما توضحها نتائج Enzmann سنة 1983 والموجودة فى جدول (4-9). ويمكن تقليل فقد النترات بالغسيل باتباع المعاملات الزراعية التالية:

- استخدام كميات قليلة من المياه (ترشيد استهلاك مياه الرى).
- استخدام السماد النتراتى بالكمية المناسبة وفى الوقت الملائم.
- تجزئة كمية السماد المستخدمة.
- استخدام السماد النتراتى فى تسميد المحاصيل ذات الجذور العميقة.

جدول (4-9): تأثير محتوى التربة من الطين على كمية النترات المغسولة منها فى مزرعة أرز

التربة	كمية النترات المغسولة مع مياة الصرف (مجم/أصيص)	الكمية المغسولة %
100% رمل	469.3	100

2/3 رمل + 1/3 طين	266.0	57
1/3 رمل + 2/3 طين	190.4	41
100% طين	150.8	2

5- فقد النيتروجين العضوى Organic Nitrogen Losses

ويحدث ذلك نتيجة لفقد المادة العضوية من الطبقة السطحية بالأرض بواسطة عمليات الانجراف بالرياح أو بالمياه. وخاصةً فى المناطق الموجودة على المنحدرات وهى طبقات غنية بالمادة العضوية، ويحدث ترسيب لهذه الطبقة فى منطقة أُخرى.

ومما سبق نجد إنه من الضرورى إمداد النبات بحاجته من عنصر النيتروجين لزيادة المحصول فى معظم الأراضى. ويرجع ذلك لأن المصادر الطبيعية للنيتروجين تقتصر على النيتروجين العضوى والنيتروجين المثبت بيولوجياً. وكما هو معروف بأن أراضى المناطق الجافة والحارة وشبه الحافة كما هو فى مصر – فقيرة فى محتواها من المادة العضوية، بالإضافة إلى كثرة العوامل المؤدية إلى فقد هذا العنصر من الأرض. وعلى ذلك فاستمرار زراعة المحاصيل سنة بعد أُخرى مع التكثيف الزراعى يؤدى إلى استنزاف مخزون الأرض من النيتروجين. ولتحاشى هذا الاستنزاف وزيادة إنتاج المحاصيل يجب العناية بتجديد هذا المخزون وذلك بالعمل على زيادة محتوى الأرض من المادة العضوية بإضافة بقايا المحاصيل إلى الأرض – التسميد العضوى (سماد الإسطبل) – زراعة المحاصيل البقولية وخاصة محاصيل المراعى وأخيراً إضافة الأسمدة الكيماوية.

من السابق نجد أن طرق فقد النيتروجين من التربة متعددة وهذا يشكل فاقد اقتصادى كبير بجانب كونه ملوثا للبيئة. وعلى هذا لابد من اتباع كل الطرق الممكنة لمنع أو تقليل الفقد، ومن الناحية الزراعية يكون من الضرورى حساب الكميات المطلوبة من الأسمدة الأزوتية لكل محصول بدقة وفى نفس الوقت يتم استخدام السماد بكفاءة.

اختبارات نيتروجين التربة: Soil Nitrogen Testes

كمؤشر عام، يُعتبر ظهور أعراض نقص النيتروجين على النباتات المعروفة فى العالم أكثر وضوحاً بالمقارنة بأعراض نقص باقى العناصر المغذية. وعلى الرغم من ذلك لا تعتبر هذه الطريق من الطرق الجيدة لتحديد مدى تيسر عنصر النيتروجين فى الأرض. ويرجع ذلك لأن حوالى 97-99% من نيتروجين التربة يوجد على صورة مركبات عضوية معقدة وهى صورة غير صالحة للامتصاص بواسطة النباتات فى حيينه. وهذه الصورة من النيتروجين ممكن أن تتحول

ببطء إلى الصورة الصالحة (المعدنية) وذلك نتيجة تحلل المادة العضوية بواسطة الكائنات الأرضية الدقيقة. وهناك عدة مشاكل تعيق تحديد موقف النيتروجين الميسر فى الأرض بواسطة اختبارات التربة للنيتروجين ومنها:

1 – إن معدل تحلل المادة العضوية وبالتالى معدنة النيتروجين العضوى بواسطة الكائنات الأرضية يتوقف على العديد من العوامل المؤثرة على نشاط تلك الكائنات منها درجة الحرارة الملائمة، الرطوبة، درجة التهوية، نوع المادة العضوية، قيمة الـ pH للتربة وعوامل أخرى.

2 – الصورة الأساسية للنيتروجين الميسر وهى النيتروجين النتراتى ($N- NO_3$) والذى يكون عرضة لعملية الغسيل، وأيضاً تتعرض للفقد عن طريق عملية عكس التأزت Denitrification وكذلك تعرضها لعملية التمثيل Immobilization داخل أجسام الكائنات الدقيقة.

توجد عدة طرق لتقدير النيتروجين الميسر فى التربة والمستخدمة خلال الـ 70 عام الماضية. وتقسم هذه الطرق والخاصة بتقدير النيتروجين النتراتى ($N- NO_3$) إلى مجموعتين أساسيتين وهما:

أ – اختبارات وصفية للنيتروجين الميسر.

ب – اختبارات النيتروجين المعدنى الأولى Initial inorganic N، وداخل هاتين المجموعتين توجد طرق بيولوجية وكيميائية.

وأوسع الطرق المستخدمة انتشارا فى هذا المجال طريقة كلداهل Kjeldahl method، وفيها يتم تحويل النيتروجين العضوى والمعدنى إلى أمونيا وذلك عن طريق عملية الهضم بواسطة حمض الكبريتيك المركز H_2SO_4 ، ثم يتم تقدير الأمونيا المتكثفة عن طريق المعايرة. ونظراً لأن محتوى المادة العضوية من النيتروجين يكون ثابتاً نسبيا، فإنه وبطريقة غير مباشرة يمكن تقدير كمية النيتروجين بالأرض وذلك بمعرفة النسبة المئوية للمادة العضوية أو الكربون العضوى فى الأرض. وهناك اختبارات أخرى تستخدم كمؤشرات للنيتروجين الميسر بالتربة ومنها: طريقة البرمنجنات القلوية Alkaline permanganate test، وفيها يتم معاملة عينة التربة بمحلول برمنجنات البوتاسيوم $KMnO_4$ وكربونات الصوديوم Na_2CO_3 وحمض الكبريتيك المخفف Dilute H_2SO_4 وأيدروكسيد الصوديوم NaOH، أيدروكسيد الكالسيوم $Ca(OH)_2$ أو أيدروكسيد الباريوم $Ba(OH)_2$ مع الغليان، ويتم تقدير كمية الأمونيا الناتجة من أكسدة المادة العضوية فى الأرض. ومن أكثر الطرق انتشارا لتقدير النيتروجين المعدنى الأولى بالأرض، هى طريقة Phenodisulfonic acid method وذلك لتقدير النيتروجين النتراتى ($N- NO_3$)

وتقاس بواسطة Nitrate ion electrode وذلك كطريقة روتينية وسريعة أو يتم الاستخلاص بواسطة محلول استخلاص كلوريد البوتاسيوم العيارى 1 N KCL. وجدول (4–10) يوضح النتائج المتحصل عليها بطريقة كلداهل والتى يمكن بها تحديد مدى خصوبة التربة بعنصر النيتروجين.

جدول (4–10): الحدود الحرجة للنيتروجين بالتربة

الـ % للنيتروجين الكلى (تربه جافة)	التصنيف
0.1 >	فقيرة جداً
0.2– 0.1	فقيرة
0.5 – 0.2	متوسطة (مدى طبيعى)
1.0 – 0.5	غنية
1.0<	غنية جداً

عن Landon سنة 1984.

و فى عدة أراضى مختلفة القوام من رومانيا قام العالم Davidescu وآخرون سنة 1982 باستخدام مستخلص محلول كبريتات البوتاسيوم K_2SO_4 قوته 0.1 و 0.2 عيارى لاستخلاص النيتروجين من عدة عينات تربة مختلفة فى قوامها ودرجة الحموضة بها. وتم تصنيف تلك الأراضى حسب محتواها من النيتروجين كما يوضحها جدول (4–11).

النيتروجين فى النبات Nitrogen in Plant

تتراوح نسبته فى النباتات المختلفة من 1.5–4%. ويمكن إيجاز أهم الوظائف الحيوية للنيتروجين فى النبات فيما يلى:

1– يتحد مع المركبات الكربونية المتكونة فى النبات ليكون مئات المركبات العضوية المختلفة والتى منها الكلوروفيل – البروتوبلازم – البروتين – الأحماض النووية – الفيتامينات و الإنزيمات.

2– يزيد من نمو وتطور كل الأنسجة النباتية الحية.

3– يُحسن من جودة الخضروات الورقية ومحاصيل الأعلاف ويُزيد من محتوى البروتين فى محاصيل الحبوب.

جدول (4–11): كمية النيتروجين المستخلصة (ppm) بمحلول كبريتات البوتاسيوم من عدة أراضى مختلفة القوام ودرجة الـ pH

حالة الإمداد	أرض خفيفة القوام ذات pH			أرض متوسطة القوام ذات pH			أرض ثقيلة القوام ذات pH		
	< 5.5	5.5 – 6.5	< 6.5	> 5.5	5.6– 6.5	< 6.5	> 5.5	5.6 – 6.5	< 6.5
منخفض	3	5	6	5	6	8	6	8	<9
متوسط	5	8	9	8	9	11	9	11	12
طبيعى	8	9	11	12	14	15	14	15	17
مرتفع	11	14	15	17	18	20	20	21	23
مرتفع جداً	14	15	17	20	23	23	23	24	< 26

يمتص النبات النيتروجين من المحلول الأرضى إما فى صورة أيون الأمونيوم NH_4^+ أو أيون النترات NO_3^-. وبصفة عامه تختلف السيادة لأيٍ من الأيونين حسب عوامل مختلفة سوف تُذكر فيما بعد. ويجدر الإشارة هنا إلى أن أيونات الأمونيوم تدخل مباشرةً بعد امتصاصها مع الأحماض العضوية داخل النبات لتكون الأحماض الأمينية. بينما أيون النترات لابد أن يُختزل أولاً إلى أيون الأمونيوم على مرحلتين توضحهما المعادلة التالية:

$$NO_3^- + 2e \Rightarrow NO_2^- + 6e \Rightarrow NH_4^+$$

وتتم عملية اختزال النترات إلى نتريت بمساعدة عوامل مساعده موجودة فى السيتوبلازم، بينما اختزال النتريت إلى أمونيوم يتم بواسطة مركبات أُخرى موجودة فى البلاستيدات الخضراء. وعملية الاختزال تتم فى الجذور وأيضاً فى الأجزاء الهوائية للنبات، ويختلف معدل الاختزال فى كل منها باختلاف النبات وتركيز النترات فى الأرض.

أعراض نقص النيتروجين على النبات

كما سبق فى ذكر الوظائف الحيوية للنيتروجين فى النبات نجد أنه عنصر ضرورى لنمو النبات، حيث يدخل فى تكوين البروتينات والبلاستيدات الخضراء والأحماض النووية وغيرها من

المركبات المكونة لخلاياه وأنسجته، وعلى ذلك فنقصه يؤثر بشكل مباشر على إنتاجية المحاصيل. ويمكن إيجاز أهم أعراض نقص النيتروجين على النباتات بصفة عامة فيما يلى :

1- يحدث إعاقة لنمو النبات، أى يكون النبات قصير - السيقان رفيعة - الأوراق صغيرة.

2- يسود اللون الأصفر على النبات وذلك لعدم قدرة البلاستيدات الخضراء على التطور، ويظهر اللون الأصفر أولاً على الأوراق المسنة بدايةً من قمة الورقة، ثم يغطى جميع أجزاء الورقة. وقد تتشابه أعراض نقص النيتروجين والخاصة باللون الأصفر مع أعراض نقص عناصر أُخرى مثل: الحديد والكالسيوم والكبريت إلا أن أعراض نقص العناصر الثلاثة الأخيرة تظهر على الأوراق الحديثة أولاً (لأن هذه العناصر غير قابلة للحركة داخل النبات عكس النيتروجين).

3- تنضج النباتات بسرعة مما يؤثر سلبياً على عملية التزهير، وبالتالى ينخفض المحصول.

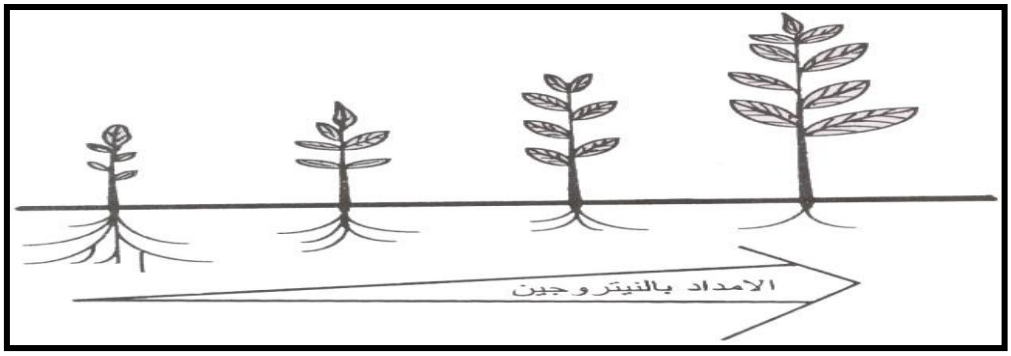
4- ينخفض محتوى النبات بشكل عام من البروتين.

يزداد تشعب المجموع الجذرى للمحاصيل المنزرعة فى أراضى فقيرة فى محتواها من النيتروجين. وإن نسبة الجذور : المجموع الخضرى تكون مرتفعه، وقد تنعكس هذه النسبة بزيادة النيتروجين فى الأرض. وهذا يعنى أن الأراضى الغنية بالنيتروجين تكون جذور النباتات بها قصيرة وسميكة وجيدة التفرع. ويفسر ذلك بأن الجذر يستهلك كمية النيتروجين القليلة الممتصة من الأرض الفقيرة فى عنصر النيتروجين، وبالتالى تقل الكمية المنتقلة من الجذر إلى المجموع الخضرى لكى تتفاعل مع الكربوهيدرات لتكوين مزيد من الخلايا الجديدة مما يسبب ضعف إنتاجية المجموع الخضرى على حساب نمو المجموع الجذرى. وقد يؤدى هذه الحالة إلى تحرك الكربوهيدرات من الأوراق إلى المجموع الجذرى ويتفاعل مع النيتروجين الممتص مما يؤدى إلى مزيد فى نمو الجذور على حساب النمو فى الم.جموع الخضرى شكل (4-4). وطبيعى أن التسميد النيتروجينى يعكس هذه الحالة.

وفيما يلى أعراض نقص النيتروجين على نباتات بعض المحاصيل الاقتصادية:

الموالح : تظهر الأعراض أولاً على الأوراق فى شكل لون أخضر باهت يتدرج إلى الأخضر المصفر، ثم يتحول إلى الأصفر الكامل. ويزداد معدل تساقط هذه الأوراق عن المعدل الطبيعى. وتتميز النموات الحديثة التى تخرج أثناء استمرار حالة النقص باللون الشاحب وبأن أوراقها الحديثة أقل حجماً وسمكاً عنها فى حالة الأشجار العادية. ويجب ملاحظة أنه يمكن أن تظهر أعراض نقص النيتروجين فى أى مزرعة يضاف لها كمية كافية من النيتروجين، ولكن يتم ريها

بكمية زائدة من المياه عن احتياج الأشجار حيث يتم غسيل السماد، أو فى حال ارتفاع مستوى الماء الأرضى نتيجة لسوء الصرف، وأيضا عند انتشار الحشائش فى البستان.



شكل(4-4): تأثير زيادة مستوى الإمداد بالنيتروجين على نسبة الجذور إلى السيقان فى المراحل الأولى من نمو نباتات الحبوب

القمح، الشعير والأرز : يتحول لون الورقة بانتظام إلى اللون الأخضر المصفر مع اصفرار قمة النصل، وتظهر الأعراض على أوراق النبات كله مبتدئاً بالأوراق المسنة، ويؤدى هذا النقص إلى نقص فى تكوين السنابل.

الذرة : يقل حجم النباتات الصغيرة، ويصبح لون الأوراق أخضر مصفر، وتظهر الأعراض على الأوراق السفلية أولاً بشكل اصفرار أطراف الورقة، ثم يسرى هذا الاصفرار فى العرق الوسطى، بينما تبقى حواف الورقة خضراء، وينتشر الاصفرار بسرعة على كل أوراق النبات.

القطن : تظهر الأوراق السفلية بلون أخضر مصفر، وتقل مساحتها. وتنتشر الأعراض إلى أعلى النبات، وفى حالات النقص الشديد يكون ظهور الأعراض مبكرا على الأوراق الفلقية. ويكون حجم النبات أقل عن الحجم الطبيعى وفى جميع مراحل النمو وتظهر الساق بشكل قرمزى مع قلة التفريع، وزيادة التخشب، ويقل ٱلإزهار والإثمار.

البطاطس : يقل نمو النبات، ويقصر الساق، ويصبح لون النبات أخضر فاتح إلى أخضر مصفر، وعند ازدياد النقص يشحب لون الوريقات السفلى ويتحول إلى اللون الأصفر الباهت، ويزيد تساقط الأوراق، ويقل إنتاج الدرنات.

نماذج لأعراض نقص النيتروجين فى الفصل الثانى عشر

الأسمدة المحتوية على النيتروجين (الأسمدة النيتروجينية) Nitrogen Fertilizers

كما سبق إيضاح أن النبات يمتص النيتروجين إما على صورة أيون الأمونيوم NH_4^+ أو أيون النترات NO_3^- ، وعلى ذلك تم تصنيع الأسمدة الكيماوية بحيث تحتوى على إحدى الصورتين أو كليهما. ويمكن تقسيم الأسمدة النيتروجينية إلى خمسة أقسام وهى :

1 – الأسمدة النشادرية

جميع هذه الأسمدة ذائبة فى الماء، ويكون النيتروجين فى صورة أمونيوم، وعند تحرر هذا الأيون من هذه الأسمدة يتأكسد بسرعة فى الأراضى المتعادلة والقليلة الحموضة إلى أيون النترات. ويكون تأثير هذه الأسمدة حامضى على خواص الأرض كما يتضح من المعادلة التالية:

$$(NH_4)_2SO_4 + 4O_2 \Rightarrow 2NO_3^- + 2H_2O + 4H^+ + SO_4^=$$

ومن المعادلة نجد أن جزىء واحد من كبريتات الأمونيوم به 2 مول أمونيوم والذى يعطى 2 مول أيدروجين H^+ لكل واحد مول من الأمونيوم NH_4^+ وتكون الاحتياجات الجيرية اللازمة لمعادلة الحموضة الناتجة عن 1 كجم نيتروجين فى صورة كبريتات أمونيوم هى 7.1 كجم كربونات كالسيوم $CaCO_3$ ، بينما تنخفض هذه الكمية إلى النصف فى حالة استخدام اليوريا كمصدر للنيتروجين. ويتضح من المعادلة أيضاً أن عملية التأزت للأمونيوم يكون لها تأثير حامضى، فى حين إذا امتص أيون الأمونيوم مباشرة بواسطة النباتات لا يحدث هذا التأثير، وبمعنى آخر فى الأراضى جيدة التهوية تسود عملية التأزت، وبالتالى ينتج عن ذلك حموضة الأرض وتحت هذه الظروف تقل أو تنعدم عملية عكس التأزت. ومن الأسمدة النشادرية:

– سماد كبريتات الأمونيوم $(NH_4)_2SO_4$: يحتوى هذا السماد على 21% نيتروجين، 23.4% كبريت.

– سماد كلوريد الأمونيوم NH_4Cl: ويحتوى على 26% نيتروجين، كذلك يحتوى على نسبة كبيرة من الكلوريد، مما يقلل من استخدامه فى الأراضى المتأثرة بالأملاح. كما إنه يفضل على كبريتات الأمونيوم فى مزارع الأرز تجنباً لتعرض الكبريت للاختزال وتكوين غاز H_2S السام للنبات.

– فوسفات أحادى الأمونيوم $NH_4H_2PO_4$: ويحتوى على 11% نيتروجين و21% فوسفور.

– فوسفات ثنائى الأمونيوم $(NH_4)_2HPO_4$): ويحوى من 16–21% نيتروجين و21–23% فوسفور.

2 – الأسمدة النتراتية

تُعتبر جميع الأسمدة النتراتية ذائبة بالماء، وعامل المفاضلة فى اختيار نوع السماد النتراتى هو الأيون المرافق لأنيون النترات. وبصفة عامة لا يُفضل استخدام هذه الأسمدة فى الأراضى المغمورة بالماء مثل: مزارع الأرز أو الأراضى التى تعتمد فى ريها على الأمطار؛ وذلك لقابلية أيون النترات للغسيل بسهولة. ولنفس السبب أيضاً يجب عدم إضافة الأسمدة النتراتية إلا بعد تكوين مجموع جذرى للنبات حتى لا يضيع مع مياه الصرف ومن هذه الأسمدة :

– نترات الصوديوم $NaNO_3$: يحتوى هذا السماد على 16% نيتروجين، 26% صوديوم. ورغم أن هذا الملح متعادل إلا أن تأثيره الفسيولوجى فى الأرض قاعدى، حيث يؤدى إلى رفع الـ pH للأرض وخاصة تحت ظروف المناطق الجافة وشبه الجافة، وبالتالى لا يُنصح باستخدامها تحت هذه الظروف. هذا بجانب تأثير أيون الصوديوم على تفريق حبيبات التربة والتأثير السام على النبات. ويُفضل إضافته للأراضى المنزرعة ببنجر السكر وذلك لحاجة هذا المحصول للصوديوم بالإضافة إلى النيتروجين.

– نترات الجير المصرى (نترات الكالسيوم $Ca(NO_3)_2$): يحتوى هذا السماد على 15.5% نيتروحين، و19.5% كالسيوم. وهذا السماد شديد التميع ولذلك يجب عدم تعرض هذا السماد إلى الهواء إلا عند الاستعمال، ويعتبر هذا السماد جيد للأراضى الجافة القلوية وبعض الأراضى الجيرية. ويفضل إضافة هذا السماد للأراضى الحامضية لاحتوائه على نسبه عالية من الكالسيوم.

– نترات البوتاسيوم KNO_3 : يحتوى على 13.5% نيتروجين و36.5% بوتاسيوم.

3 – الأسمدة النتراتية النشادرية

وهذه الأسمدة تحتوى على النيتروجين فى صورة أيونى الأمونيوم والنترات ، وهى ذائبة بالماء وتشمل :

– سماد نترات الأمونيوم NH_4NO_3: ويحتوى هذا السماد على النيتروجين بنسبة 32–35% وهو شديد التميع مما يجعل من الصعب تداوله، بالإضافة إلى كونه قابل للانفجار فى وجود الحرارة، كذلك يمكن أن يتفاعل هذا الملح مع المواد المختزلة مثل: المواد الكربونية، وعلى ذلك يجب الحرص أثناء تداوله وتخزينه.

– سماد نترات النشادر الجيريه: ويحوى 20.5 % نيتروجين، وهو عبارة عن سماد نترات الأمونيوم مخلوطاً بكربونات الكالسيوم $CaCO_3$ ، والغرض من إنتاجه هو التقليل من شدة تميع نترات النشادر وأيضاً تقليل قابليته للانفجار، وبالتالى يكون من السهل تداوله.

4 – الأسمدة الأميدية

وهى أسمدة غير عضوية من الوجهة الزراعية رغم إنها مركبات عضوية من الناحية الكيماوية، حيث إنها لا تترك أى مخلفات عضوية فى الأرض بعد تحللها. أيضاً تختلف فى سلوكها فى الأرض عن الأسمدة العضوية المعروفة. وهى تحوى النيتروجين فى صورة أميد Amides ومنها:

اليوريا $(NH_2)_2CO$: وهو سماد غير أيونى ويطلق عليه أيضاً Caramide ويحتوى على 46% نيتروجين. وتأثير اليوريا قاعدى فى بداية الأمر لتحللها إلى كربونات أمونيوم، ثم يصبح حامضى نتيجة حدوث عملية التازت التى تحدث للأمونيوم وأيضاً لتكوين حمض الكربونيك الناتج من ذوبان ثانى أوكسيد الكربون الناتج، ويوضح ذلك المعادلة التالية:

$$(NH_2)_2CO + 2H_2O \Rightarrow (NH_4)_2CO_3 + 4O_2 \Rightarrow$$
$$2NO_3^- + 3H_2O + 2H^+ + CO_2$$

ويوجد أيضاً بعض الأسمدة الأخرى غير الشائعة الاستخدام فى مصر ومنها سيانوميد الكالسيوم 21–22% –سماد اليوريا المغطاة بالكبريت 40% نيتروجين – سماد فوسفات اليوريا 17.7% نيتروجين – وسماد اليوريا فورمالدهيد 40% نيتروجين.

5 – الأسمدة السائلة

يوجد العديد من الأسمدة النيتروجينية فى الصورة السائلة والتى يمكن استخدامها مباشرة مع مياه، الرى سواء كان بالرش أو الغمر، وتنتج هذه الأسمدة فى مصر ومنها:

– سماد يوريا – نترات النشادر: ويحتوى على النيتروجين فى صورة أميدية ونتراتية ونشادرية بنسبة 32%. وهذا السماد ذو كثافة قدرها 1.3 جم/سم3 ويحتوى اللتر منه على 416 جم نيتروجين.

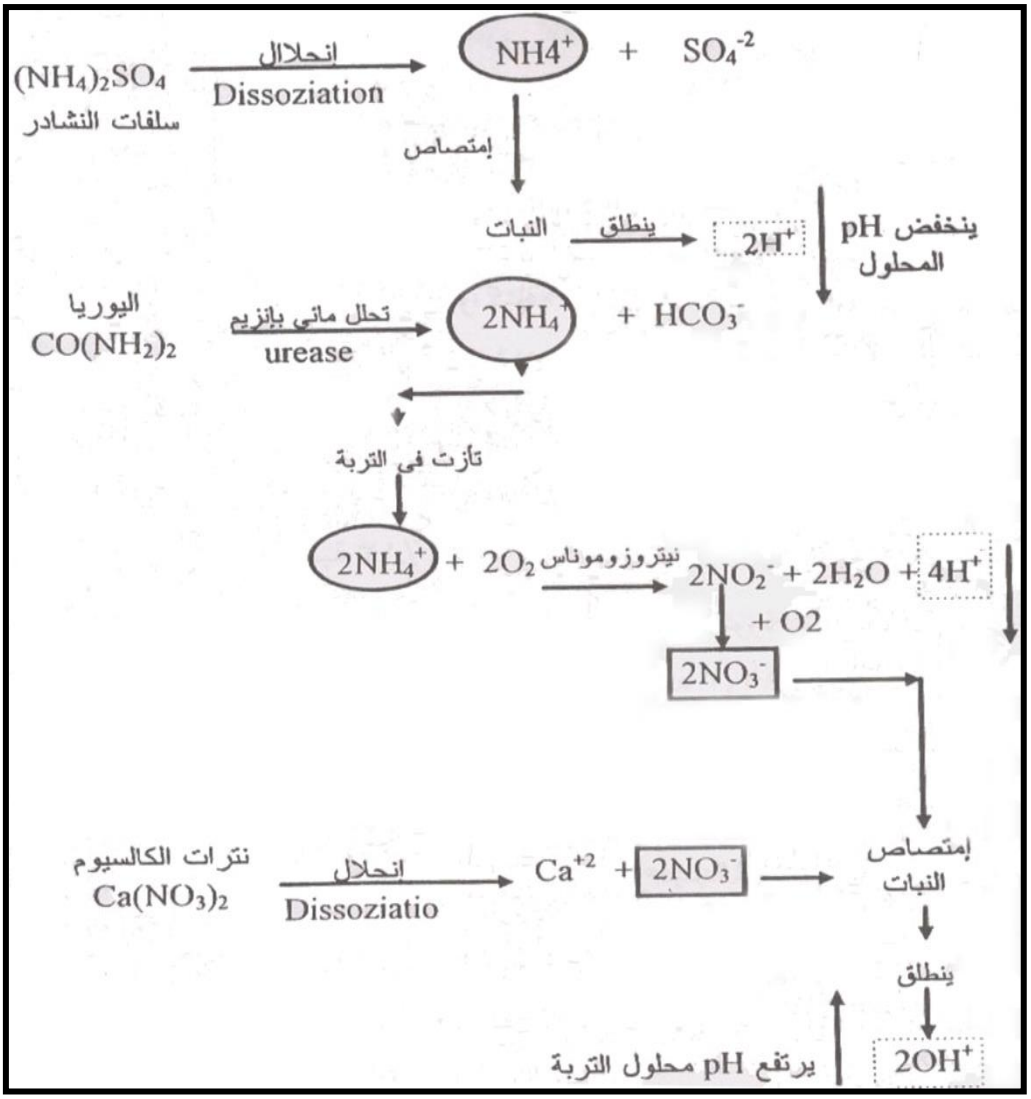
– نترات الكالسيوم السائل: ويحتوى على النيتروجين فى صورة نترات ونسبته 11%. وكثافته 1.6 جم/ سم3 ويحتوى اللتر منه على 176 جم نيتروجين. ويحتوى على الكالسيوم الذائب بنسبة 13%.

– سلفونترات النشادر: ويحتوى على النيتروجين فى صورة نتراتية ونشادرية بنسبة 18%، وعنصر الكبريت بنسبة 2%. وكثافة هذا السماد 1.3 جم/سم3 ويحتوى اللتر منه على 234 جم نيتروجين، وهذا السماد يصلح لجميع أنواع المحاصيل المنزرعة بمختلف أنواع الأراضى ماعدا الأرز.

من ناحية التأثير الفسيولوجى للأسمدة النيتروجينية أوضحها Amberger سنة 1993-b كما فى شكل (4–7) بأنه فى حالة إضافة الأسمدة النشادرية أو اليوريا والمضاف لها مثبطات التأزت Nitrification Inhibitors مثل: (Dicyandiamide) وذلك بهدف إطالة فترة وجود الأمونيا فى التربة مما يجعل النباتات مضطرة لامتصاص النيتروجين على صورة أيون NH_4^+ ، وفى هذه الحالة يقوم النبات بإخراج بروتون (H^+) وذلك للحفاظ على التوازن الأيونى داخل الخلايا، بجانب حدوث عملية التأزت لجزء من الأمونيوم الموجود وفى هذه الحالة ينخفض رقم الـ pH فى منطقة الريزوسفير. والعكس عند التسميد بالنترات لا يحدث هذا التفاعل؛ لأن جذور النباتات تفرز فى هذه الحالة أيونات الأيدروكسيل (بالتبادل مع النترات الممتصة)، وبالتالى ترفع رقم الـ pH حول الجذور.

طريقة وموعد إضافة الأسمدة النيتروجينية

تضاف الأسمدة النيتروجينية للتربة مباشرةً وبطرق متعددة وفقاً لطبيعة السماد والظروف المحيطة به وخصائص التربة. ومن الطرق الشائعة خلط السماد مع الطبقة السطحية أو إضافته نثراً broadcasting على السطح قبل الرى. وقد يضاف السماد النيتروجينى ذائباً مع مياه الرى أو عن طريق التلقيم banding بالقرب من النبات. وحالياً أثبتت طريقة الإضافة بالرش foliar سواء فى هيئة محلول مُعد لذلك أو مع مياه الرى بالرش كفاءة عالية للسماد. وبصفة عامة تتحدد الطريقة المناسبة بناء على نوع السماد المطلوب إضافته، وخواص السماد الطبيعية والكيميائية، وصفات التربة وذلك لتقليل فقد النيتروجين وتوفير الصور النيتروجينية الصالحة للامتصاص بواسطة النبات، والتى تؤدى إلى توفر النيتروجين بالكمية والصورة المطلوبة فى منطقة انتشار المجموع الجذرى.



شكل (4-7): التأثير الفسيولوجى للأسمدة النيتروجينية

ولما كانت الأسمدة النيتروجينية سهلة الذوبان، وبالتالى سهلة الفقد، فإن اختيار الوقت المناسب للإضافة ذات أهمية قصوى. وبصفة عامة يفضل أن يكون هذا الوقت قريب من وقت استعمال النبات لهذه الأسمدة وخاصة فى الأراضى الرملية. إن إضافة الأسمدة النيتروجينية يفضل غالباً قبل وبعد الزراعة بفترة قصيرة وذلك حتى يتوفر هذا العنصر منذ بداية موسم النمو لمساهمته فى بناء خلايا وأنسجة النبات. علاوة على تجنب البذور والبادرات الصغيرة التركيز المرتفع من الأمونيا ونواتج عملية التأزت الضارة. وقد تضاف الكمية الكلية من السماد على دفعتين: الأولى قبل أو بعد الزراعة بفترة قصيرة، والثانية يحددها نوع السماد وطول موسم النمو ولكنها غالباً ما تضاف بعد فترة لا تزيد عن شهر من موعد الزراعة. وحالياً حددت الدراسات

والأبحاث أنسب المواعيد لإضافة الدفعات السمادية وكمياتها للمحاصيل المختلفة وفى الأراضى المختلفة.

وعموماً لا تُحدد كمية الأسمدة النيتروجينية بطريقة أو ميعاد الإضافة، بل تُحَدد حسب محتوى الأرض من النيتروجين المُيسر للنبات وأيضاً النيتروجين الكلى بالتربة – نوع المحصول – طول موسم النمو – والظروف البيئية المحيطة وخصائص كلٍ من الأرض والسماد. وفى نشرة معهد بحوث الأراضى والمياه –بمركز البحوث الزراعية بالجيزة سنة 1993 تم اقتراح مواعيد إضافة الأسمدة النبتروجينية للمحاصيل المختلفة كالآتى:

المحاصيل البقولية :(دفعة واحدة) عند الزراعة كجرعة تنشيطية.

القمح: (ثلاث دفعات) الأولى عند الزراعة، والثانية فى طور التفريع، والثالثة قبل طرد السنابل.

الذرة الشامية: (ثلاث دفعات) الأولى عند الزراعة، والثانية بعد خف النباتات، والثالثة أمام الرية التالية.

القطن: (دفعتان) الأولى بعد خف النباتات والثانية أمام الرية الثالثة.

الأرز: (دفعتان) الأولى بعد الشتل بأسبوعين، والثانية قبل طرد السنابل.

قصب السكر: (أربع دفعات) الأولى بعد تكامل الإنبات بعد شهرين، والدُفعات من الثانية وحتى الرابعة كل ثلاثة أسابيع.

البصل : (دفعتان) بعد الشتل بأسبوعين، والثانية بعدها بشهر.

الكرنب : (دفعتان) الأولى بعد الشتل بأسبوعين، والثانية بعدها بشهر.

البرتقال : (أربع دفعات) الأولى عند خروج العين والثانية بعد تمام العقد.

العنب : (ثلاث دفعات) الأولى عند خروج العين، والثانية بعد عقد، الثمار والثالثة بعدها بأسبوعين.

الفصل الخامس

الفوسفور Phosphorus

غير متحرك في التربة ونشيط الحركة في النبات

الفصل الخامس

الفوسفور Phosphorus

يتشابه الفوسفور مع النيتروجين فى مدى أهميته بالنسبة للنبات على الرغم من وجوده فى أنسجة النبات بكميات أقل من عنصرى النيتروجين والبوتاسيوم، حيث يمتص النبات هذا العنصر لسد احتياجاته لمختلف العمليات الحيوية مثل: عمليات التمثيل الضوئى وتكوين النوايا وانقسام الخلايا وتكوين البذور وتنظيم العمليات الخلوية ونقل الصفات الوراثية، كما أن للفوسفور دور أساسي فى تكوين مركبات الطاقة.

الفوسفور فى الأرض Phosphorus in Soil

تختلف الأراضى فى محتواها من الفوسفور الكلى متأثرة بالعديد من العوامل أهمها : مادة الأصل - الاستغلال الزراعى – المناخ. ....إلخ. وبصفة عامة يكون محتوى الأراضى من الفوسفور الكلى Total phosphorus (P) فى مدى يتراوح بين 02, –0.15%، وهذه الكمية تكون مرتبطة بوجود المادة العضوية حيث يُمثل الفوسفور العضوى من 20–80% من الفوسفور الكلى.

أوضحت الدراسات على الأراضى المصرية كما ذكرها بلبع سنة 1988 بأن الأراضى الطينية الرسوبية تحتوى على نحو 1200 جزء/مليون من الفوسفور الكلى، يليها الأراضى الطفليه الجيرية (600جزء/ مليون)، بينما الأرض الرملية تحتوى على (400جزء/ مليون). كما يتضح من جدول (5–1). وتعتبر الصورة المعدنية هى السائدة فى الأراضى المصرية لانخفاض محتوى هذه الأراضى من المادة العضوية.

جدول (5–1): محتوى الأراضى المصرية من الفوسفور محسوبة بالجزء فى المليون

نوع الأرض	الكلى	المعدنى	العضوى
الرسوبية	1780–650	1250–990	200–40
الرملية	800–230	400–200	80–20
الجيرية	580–300	650–200	40–10

صور الفوسفور فى الأراضى Forms of soil Phosphorus

كما هو معروف أن الفوسفور المعدنى هو المصدر الرئيسى والأساسى للفوسفور فى الأراضى الزراعية. حيث إنه مع بداية تكوين الأراضى لا يكون بها إلا الفوسفور المعدنى والناتج من تجوية مادة الأصل التى يكون الفوسفور أحد مكوناتها، ثم بعد ذلك ومع استغلال هذه

الأراضى زراعياً يُمتص هذا الفوسفور بواسطة النباتات والكائنات الحية الدقيقة الموجودة بالتربة الزراعية، ويصل أيضاً إلى الحيوانات التى تتغذى على هذه النباتات، وبالتالى يتحول جزء من هذا الفوسفور المعدنى إلى فوسفور عضوى داخل أنسجة هذه الكائنات ضمن المركبات العضوية التى يدخل الفوسفور فى تركيبها. وبعد موت هذه الكائنات الحية وتحلل بقاياها يعود الفوسفور مرة أُخرى إلى الأرض فى صورة عضوية وأخرى غير عضوية. وعلى هذا يمكن تقسيم صور الفوسفور فى الأراضى الزراعية بشكلٍ عام إلى قسمين :

1- الفوسفور المعدنى Inorganic Phosphates

الفوسفور المعدنى فى الأرض الزراعية مصدره الأصلى وبشكل كبير يكون ناتج تجوية وتحلل الصخور المحتوية على الفوسفور. وعلى ذلك فإنه يوجد على هيئة مركبات تحتوى على الكالسيوم ، الألومنيوم ، الحديد، الفلوريد أو عناصر أخرى. ولخصائص الأرض الطبيعية والكيميائية دور كبير فى تحديد سيادة هذه المركبات فى الأرض الزراعية.

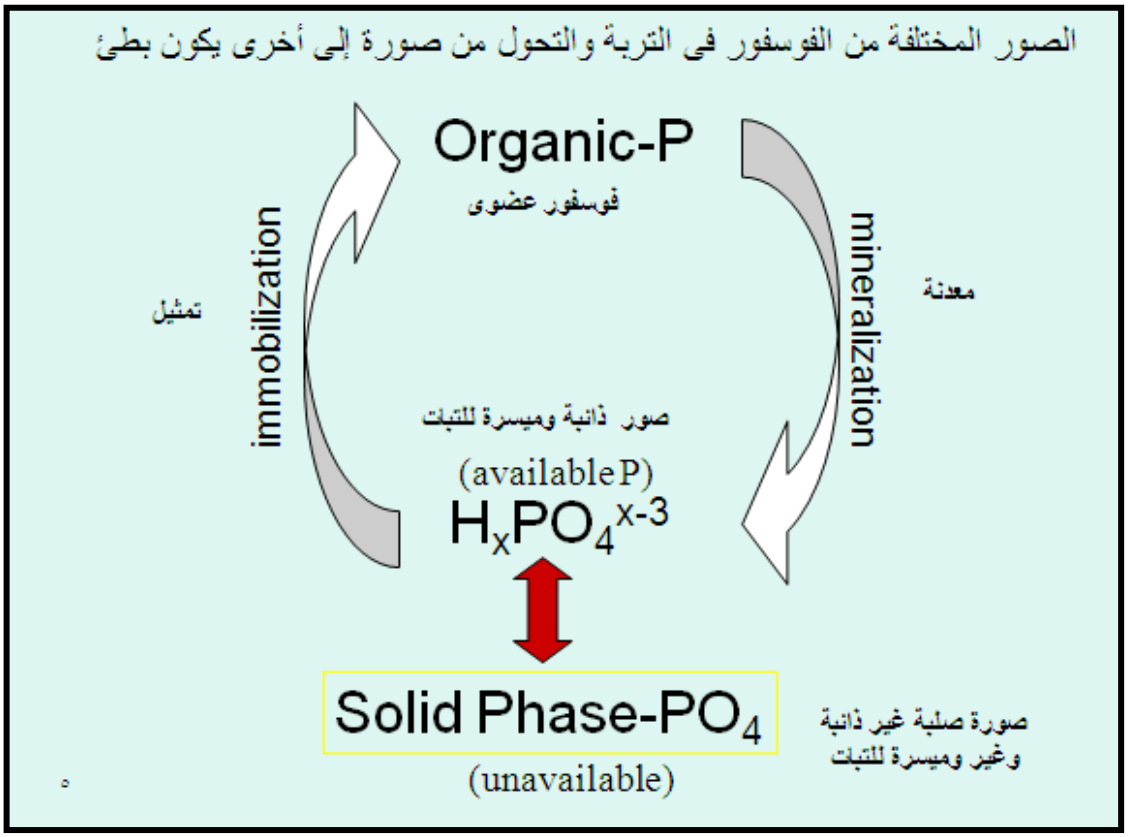
وتُعتبر جميع مركبات الفوسفور قليلة الذوبان فى الماء مما يؤثر سلبياً على الكمية الميسرة من هذا العنصر للنبات، حيث تكون هذه الكمية قليلة جداً فى المحلول الأرضى أو قد تكون معدومة، وتُمثل مجموعة الأباتايت Apatite group المصدر الرئيسى له مثل الهيدروكسى أباتايت، فلور أباتايت (والتى تُعتبر أكثر الأنواع شيوعاً)، الكلورو أباتايت والكربونات أباتايت (جدول 5-2).

جدول (5-2): المركبات الفوسفاتية الشائعة الانتشار فى الأراضى

المركـــب	الرمز
هايدروكسى أباتيت Hydroxy apatite	$Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$
فلورو أباتيت Flour apatite	$Ca_{10}(PO_4)_6(F)_2$
فوسفات ثنائى الكالسيوم Dicalcium phosphate	$CaHPO_4$
فوسفات ثلاثى الكالسيوم Tricalcium phosphate	$Ca_3(PO_4)_2$
الفيرسيت Variscite	$ALH_2PO_4(OH)_2$
السترنجيت Strengite	$FeH_2PO_4(OH)_2$

عن Mengel and Kirkby سنة 1987

وفى الأراضى الحامضية تنتشر معادن الفوسفات المرتبطة بالحديد والألومنيوم وهى أيضاً قليلة الذوبان. وبصفة عامة لا يمكن النظر إلى هذه المركبات بأنها ثابتة بل إنها تتأثر بخواص التربة والزمن والظروف الأُخرى المحيطة ومما يؤكد ذلك تعدد صور المركبات الفوسفاتية وخصائصها المنتشرة فى الأراضى.



2-الفوسفور العضوى Organic Phosphorus

يوجد الفوسفور العضوى بالأرض الزراعية إما فى صورة مركبات فوسفورية عضوية أو مركبات فوسفورية غير عضوية مرتبطاً بمركبات عضوية، وتُمثل هذه الصورة كما سبق ذكرها من 20 إلى 80% من الفوسفور الكلى بالطبقة السطحية للتربة الزراعية، ومن هذا المدى نجد أن هناك اختلافاً شاسعاً بين الأراضى المختلفة فى محتواها من الفوسفور العضوى.

ومصدر الفوسفور العضوى بالأرض هو المادة العضوية الناتجة من جذور وبقايا النباتات والأسمدة العضوية المضافة. ويضم الفوسفور العضوى بالأرض العديد من المركبات ولكن عدد كبير منها غير معروف حتى الآن. وتتحلل بعض المركبات الفوسفورية العضوية الموجودة بأجزاء النباتات سريعاً بوصولها إلى الأرض مثل: مركبات السكر المفسفرة Phosphorylated sugar ولكن الفوسفور العضوى الذى يُستخلص من الأرض يُعتبر شديد المقاومة لفعل الكائنات الأرضية الدقيقة، وأهم هذه المركبات هو الفيتين phytin

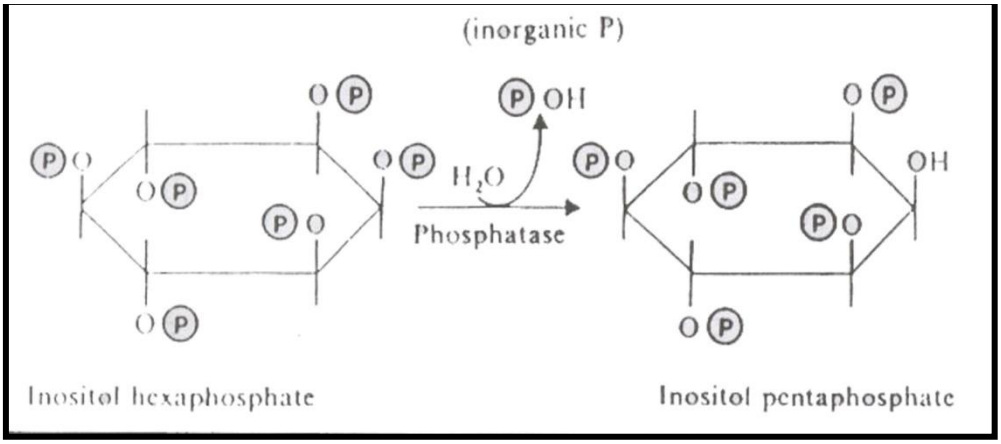
وهو أحد أملاح الكالسيوم أو الماغنسيوم لحامض الفايتيك phytic acid، وينتج حمض الفايتيك من اتحاد حمض الفوسفوريك مع الإينوسيتول Inositol. وبالتالى تكون المركبات الشائعة هى فوسفات الإينوسيتول Inositol phosphate ويُمثل من 30–50% من الفوسفور العضوى الكلى كما ذكرها Anderson سنة 1969، الفوسفوليبيدات Phospholipids وتتراوح نسبته من 2,5–7% من الفوسفور العضوى الكلى، والحمض النووى Nucleic acids phytin والذى يُعتقد بأنه هو ومشتقاته يُمثل من صفر إلى 10% من الفوسفور العضوى الكلى بالأرض كما ذكرها بلبع سنة 1988.

ونسبة الفوسفور العضوى بالمحلول الأرضى عادةً ماتكون صغيرة فأكثره فى الصورة الصلبة وغالباً ما تكون غير صالحة للامتصاص بواسطة النبات، وبالتالى تتوقف صلاحية المركبات العضوية لتغذية النبات على عوامل كثيرة يُعتبر رقم pH الأرض أهمها. وعلى ذلك لكى يستفيد النبات من الفوسفور العضوى يجب أولاً أن يتحول إلى فوسفور معدنى بواسطة عملية يُطلق عليها اسم المعدنة Mineralization والتى بها يتحول الفوسفور العضوى إلى فوسفور معدنى نتيجة تعرض مركبات الفوسفور العضوى بالأرض إلى نشاط أنواع مختلفة من الكائنات الدقيقة. وتعتبر عملية المعدنة أو التمثيل للفوسفور مشابهة لما يحدث للنيتروجين، وكقاعدة عامة فإن معدنة الفوسفور تكون أكثر سرعة تحت الظروف المناسبة لعملية النشدرة Ammonification، حيث أشارت الدراسات بوجود ارتباط معنوى قوى بين معدنة النيتروجين والفوسفور. وهناك عدة عوامل تؤثر على معدنة الفوسفور العضوى منها:

1- نسبة الكربون إلى الفوسفور فى المادة العضوية الموجودة بالتربة الزراعية (C/P ratio) حيث إن إضافة المادة العضوية إلى التربة لا يعنى إنها تؤدى إلى سيادة عملية المعدنة للفوسفور العضوى بل قد يكون لعملية التمثيل Immobilization تأثير مباشر على عملية المعدنة. وعلى ذلك تكون نسبة C / P هى المُحددة للاتجاه السائد بعد إضافة المادة العضوية، فإذا كانت النسبة 1:200 أو أقل تكون السيادة لعملية المعدنة، فى حين أن النسبة 1:300 أو أكثر تُعنى فقد الفوسفور المُيسر نتيجة لعملية التمثيل.

2- نشاط الكائنات الأرضية المُتخصصة (مثل: Penicillium, Mucor Aspergillus ,Pseudomonas ,Bacillus) وكمية إنزيم الفوسفاتيز Phosphatase enzyme المُنطلق من هذه الكائنات وجذور النباتات النامية. ولذلك فإن جميع العوامل المؤثرة على نشاط الأحياء الأرضية وخاصةُ المُتخصصة منها مثل درجة الحرارة – الرطوبة – التهوية – رقم pH التربة –وكثافة الغطاء النباتى يكون لها تأثير كبير على عملية المعدنة. وتوضح

المعادلة التالية كيفية انطلاق الفوسفور المعدنى خلال عملية المعدنة ودور إنزيم الفوسفاتيز فى ذلك كما أوضحها Mengel & Kirkby,1987 سنة 1987.



بعد استعراض الصور المختلفة للفوسفور فى التربة، وبالنظر لتلك الصور من زاوية أُخرى عند إدخال عامل الزمن وكذلك معدل تيسر الصور المختلفة للنبات يمكن تقسيم جميع الصور إلى ثلاث مجاميع ذات خصائص كيميائية وفيزيوكيماوية محددة وهى:

1- الفوسفات الذائبة فى المحلول الأرضى Soluble phosphate in soil solution

2- الفوسفات غير المستقرة (القابل للإحلال أو التغير) Phosphate in the Labile pool.

3- الفوسفات المستقر Phosphate of the non-Labile fraction.

أولاً: الفوسفات الذائبة فى المحلول الأرضى:

تمتص النباتات الفوسفور بشكل رئيسى فى صورة أيونات الفوسفات المعدنيةالأحادية والثنائية $H_2PO_4^-$ ، HPO_4^{2-} ، وهذه الأيونات تكون موجودة فى المحلول الأرضى وفى أى وقت بتركيزات قليلة جداً، وذلك على الرغم من كِبر محتوى الأرض من الفوسفور الكلى. وبصفة عامة لا يزيد التركيز عن بِضعة أجزاء فى المليون، وفى الغالب يكون أقل من واحد جزء فى المليون، ويُعزى هذا التركيز المُنخفض إلى سرعة تثبيت الفوسفور بالطرق المختلفة فى التربة. ويعتبر الفوسفور الذائب فى محلول التربة على الرغم من قلة تركيزه مهماً جداً من ناحية تغذية النبات. فهو أول من يتحرك لسد احتياجات النباتات النامية، وعلى ذلك يجب أن يُجدد باستمرار وإلا فإن المحصول لن يحصل على الكفاية اللازمة من الفوسفور التى تمكنه من النمو فى مرحلة النضج. وعلى ذلك تعتبر السرعة التى يتجدد بها تركيز الفوسفور فى المحلول الأرضى ذا أهمية

قصوى. ومن جهة أخرى، فان النبات يمتص كميات كبيرة من الماء لانتاج المادة الجافة والتى تقدر بحوالى 500 كيلوجرام ماء (محلول أرضى) لكل واحد كيلوجرام مادة جافة، الأمر الذى يجعل كمية الفوسفور الممتصة مع هذه الكمية من الماء قليلة وغير كافية، ولذلك يجب تجديد تركيز الفوسفور الذائب فى المحلول الأرضى. ويمكن توضيح أهمية تجديد محلول التربة من الفوسفور من خلال الأمثلة التالية:

1- إذا كانت كثافة الأرض الظاهرية هى 1.5 جم/سم3 (1.5طن/م3)، ومحتواها من الرطوبة 25% على أساس الوزن الجاف، وتركيز الفوسفور فى المحلول الأرضى 0.5 جزء فى المليون، ويلزم المحصول النامى 20 كجم فوسفور خلال موسم النمو. المطلوب حساب عدد المرات التى يلزم أن يتجدد فيها تركيز الفوسفور فى المحلول الأرضى خلال موسم نمو هذا المحصول:

الحل:

وزن الفدان لعمق 15سم = 4200 x 1.5 x ,15 = 945 طن

=945000 كجم

وزن المحلول الأرضى للفدان = 945000 x 25 ÷ 100

=236250كجم

كمية الفوسفور الذائبة فى المحلول الأرضى= 236250 x 0.5= 18125مجم

=0.12 كجم

فإذا كان الامتصاص والتجديد للفوسفور فى المحلول الأرضى متعاقبين ويتم بصورة تامة فى الأرض فإن:

عدد المرات التى يلزم أن يتجددها المحلول الأرضى =

20 ÷ 0.12 = 167 مرة تقريبا

2- إذا كان معدل النتح Transpiration ratio لنباتٍ ما = 500، وتركيز الفوسفور فى أنسجة هذا النبات = 0.3 % ، وتركيز الفوسفور فى المحلول الأرضى = 0.03 جزء فى المليون.

أى أن كل واحد كيلوجرام مادة جافة بها 0.3% × 10.000 = 3000 ملليجرام فوسفور.

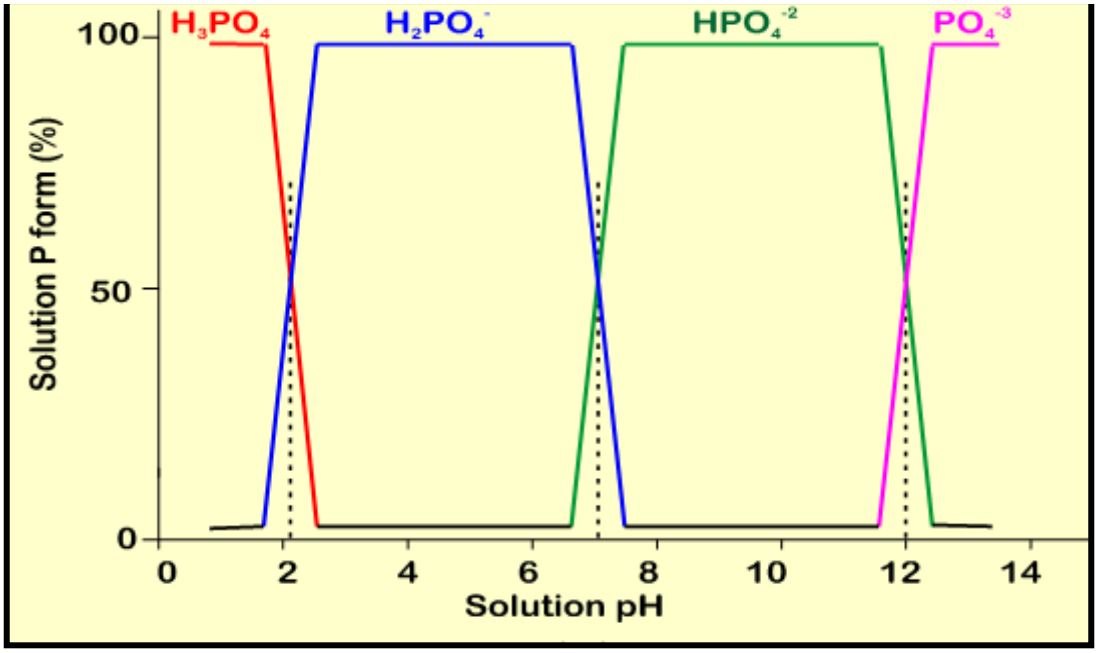
والـ 500 كيلو محلول أرضى بها (500 × 0.03 =15.00 ملليجرام فوسفور)،

وعلى ذلك يكون من المفروض أن يمتص النبات 100.000 كيلوجرام ماء (500 × 300) ÷15 = 100.000) وهذا لا يمكن تحقيقه عملياً لأن هذه الكمية أكبر من معدل النتح بـ 200 مرة، وبالتالى لابد من تجديد تركيز الفوسفور فى المحلول الأرضى (والحفاظ عليه 0.03 جزء

فى المليون) 200 مرة خلال امتصاص النبات لـ500 كيلوجرام ماء. وهذا يبين أهمية انتشار الفوسفور خلال المحلول الأرضى من على أسطح الغرويات الأرضية ومن المناطق ذات التركيز المرتفع إلى المناطق ذات التركيز المنخفض، وبالتالى يتضح أهمية الماء فى امتصاص النبات لاحتياجاته من الفوسفور. ويطلق على قدرة الأرض على تجديد تركيز الفوسفور الذائب فى المحلول الأرضى عند انخفاضه اسم السعة التنظيمية للفوسفور Phosphorus buffering capacity. وتتوقف هذه السعة على كمية الفوسفور القابل للحركة، وعلى السرعة التى يخرج بها هذا الفوسفور من على أسطح الجسم الصلب إلى المحلول الأرضى. وكلما كان معدل خروج الفوسفور إلى المحلول الأرضى سريع فإن ذلك يدل على قدرة الأرض على تجديد المحلول. أى أن للأرض سعة تنظيمية عالية. وتُعتبر السعة التنظيمية من العوامل الهامة فى تحديد كمية السماد الفوسفاتى الواجب إضافتها، حيث تقل الكمية الواجب إضافتها مع زيادة السعة التنظيمية للأرض، وعادةً تكون السعة التنظيمية للأرض ناعمة القوام أعلى منها فى الأراضى خشنة القوام.

وكما هو معروف بأن السطح الفعال للامتصاص على جذور النبات هو قمته المرستيمية، وكلما تحركت الجذور فى التربة فإنها تلامس مناطق جديدة لم يسبق أن حدث امتصاص فيها (الاعتراض الجذرى)؛ لذا فإن إعادة تجهيز المحلول الأرضى بالفوسفور من المحتمل أن يكون سريعاً فى مناطق صغيرة حول نهاية الجذور وبشكل بطئ فى مناطق كبيرة حول الأجزاء القديمة من الجذر حيث يكون الامتصاص بطيئاً.

إن تركيز الأنواع المختلفة من أيونات الفوسفات فى المحلول الأرضى مرتبط بشكل وثيق برقم pH الأرض، فأيون الفوسفات الأحادية $H_2PO_4^-$ يسود فى الوسط الحامضى، بينما أيون الفوسفات الثنائى HPO_4^{2-} يسود فى الوسط ذات pH أكثر من 7 وهذه العلاقة موضحة فى شكل (5−1).



شكل (5–1): تأثير رقم الـ pH على نوع أيون الفوسفات فى المحلول الأرضى

ومع افتراض عدم وجود أيونات مثل الحديد والألومنيوم والكالسيوم أو الماغنسيوم، وذلك لأن فى وجود هذه الأيونات تتكون فوسفات الحديد والألومنيوم غير الذائبة والمترسبة وهذا يحدث فى الوسط الحامضى، وأيضاً يحدث ترسيب لفوسفات الكالسيوم والماغنسيوم فى الوسط القاعدى (pH أكبر من 7). وتوجد سلسلةُ من المركبات الفوسفاتية والمختلفة فى درجة ذوبانها تتكون تحت ظروف الأراضى المختلفة سوف نتعرض لها بشىء من التفصيل فى جزء لاحق.

وبصفة عامة وكقاعدة فإن أكبر درجة تيسر للفوسفور فى الأرض لأكثر المحاصيل الزراعية تكون فى مدى pH يتراوح بين (5,5 – 7). وبجانب رقم pH الأرض هناك عوامل أخرى تؤثر على تيسر الفوسفور، وبالتالى تركيز الفوسفور الذائب فى المحلول الأرضى منها :

أ- السعة الادمصاصية للفوسفات بالأرض

The P Adsorption Capacity of soils

فى الأراضى الحامضية تتأثر هذه الخاصية بكمية أكاسيد كل من الحديد والألومنيوم المتأدرتة، بينما فى الأراضى القاعدية والجيرية تتوقف على كمية الكالسيوم المتبادلة وكمية وحجم حبيبات كربونات الكالسيوم. ويعتبر قوام التربة (محتوى التربة من الطين) هو المؤثر الرئيسى على قدرة الأرض على ادمصاص الفوسفور، ويوضح جدول (5–3) تأثير قوام التربة على تركيز الفوسفور فى المحلول الأرضى والناتج من التسميد الفوسفاتى لكلٍ من الأراضى القاعدية والحامضية. ويمكن ترتيب قيمة السعة الادمصاصية للأراضى مُختلفة القوام كما يلى:

الأراضى الرملية < الطمييية الرملية < الطمييية الطينية السلتية.

جدول(5-3) : تأثير قوام الأراضى الحمضية والجيرية على الاحتياجات السمادية الفوسفاتية وفوسفور المحلول الأرضى

صفات الأرض	قوام الأرض	الفوسفور المضاف (ppm)	فوسفور المحلول الأرضى(ppm) قبل التسميد	بعد التسميد
أراضى جيرية	طينية	35	.017	,053
	طمييية طينية	35	,034	,161
	سلتية	20	,045	,305
	طمييية رملية			
أراضى حامضية	طمييية طينية	200	,01	,07
	سلتية	75	,01	,20
	طمييية رملية			

عن Khasawneh سنة 1980.

ومن الجدول نجد أن إضافة كمية معينة من السماد الفوسفاتى لكلٍ من الأراضى الحامضية أو القاعدية ينتج عنها زيادة كبيرة فى تركيز الفوسفور فى المحلول الأرضى للأراضى خشنة القوام بالمقارنة بالأراضى ناعمة القوام. وأيضاً نلاحظ أن الاحتياجات السمادية فى الأراضى الحامضية أعلى منها فى الأراضى القاعدية المتشابهة معها فى القوام، حيث أثبتت الدراسات أن الأراضى الحامضية تزيد فى قدرتها الادمصاصية للفوسفات عن الأراضى الجيرية بمقدار 2.17 مرة لكل وحدة سطح ادمصاص.

ب- الحد الحرج للفوسفور فى المحلول الأرضى واللازم لنمو النبات

Critical Levels of Soil Solution P for Plant Growth

يختلف المستوى الحرج للفوسفور الصالح للنبات باختلاف طريقة استخلاص الفوسفور، اختلاف نوع التربة واختلاف المحصول، ويبين جدول (5-4) مستوى الفوسفور اللازم تواجده وبصورة صالحة فى محلول بعض الأراضى مختلفة القوام للحصول على أقصى نمو للنبات النامى فى تلك الأراضى. من الجدول يتضح أنه فى الأراضى خشنة القوام يلزم أن يكون تركيز الفوسفور أكثر من ثلاث أضعاف التركيز فى الأراضى ناعمة القوام لنفس المحصول، وهذا يعنى زيادة الاحتياجات السمادية الفوسفاتية لمحصول معين فى الأراضى الخشنة القوام عنها فى الأراضى ناعمة القوام، ويرجع ذلك ربما لسببين: أولهما أن معدل الانتشار للفوسفور فى

الأراضى الرملية قليل جداً بالمقارنة بالأراضى الطينية نظراً لأن الغشاء المائى الموجود حول الحبيبات فى الأراضى االرملية يكون متقطعاً والعكس فى الأراضى الطينية حيث يكون هذا الغشاء متصلاً، ولقد وجد أن المحتوى الرطوبى تحت ضغط جوى قدره 15 بار (نقطة الذبول) يكون موجوداً حول الحبيبات فى الأراضى الطينية وبصورة متصلة. بينما السبب الثانى يرجع إلى أن السعة التنظيمية للفوسفور The P buffering capacity فى الأراضى الرملية أقل منها فى الأراضى الطينية، وعلى هذا يكون تعويض النقص فى تركيز الفوسفور بالمحلول الأرضى والناتج من امتصاص النبات له بطئ جداً، مما يلزم المحافظة على تركيز مرتفع من الفوسفور الميسر فى الأراضى الرملية دائماً حتى نضمن وجود الكمية الكافية أثناء النمو.

جدول (5–4): المستويات الحرجة من الفوسفور الميسراللازم لنمو بعض المحاصيل

المنطقة	المحصول	محلول الاستخلاص	المستوى الحرج (ppm)
غرب الولايات المتحدة أرض طينية طمييية طينية سلتية طمييية رملية	شـــعير	المـــاء	0.1 0.16 0.35
كاليفورنيا	حبوب صغيرة	المـــاء	,40
جنوب شرق أمريكا طمييية طينية سلتية طمييية طمييية رملية	الدخان	0,01 M $CaCL_2$	,07 ,20 ,68
هاواى	الـــذرة البطـــاطا الـــخس	0,01 M $CaCL_2$	,06 ,10 , 40

عن Khasaweneh وأخرون سنة 1980.

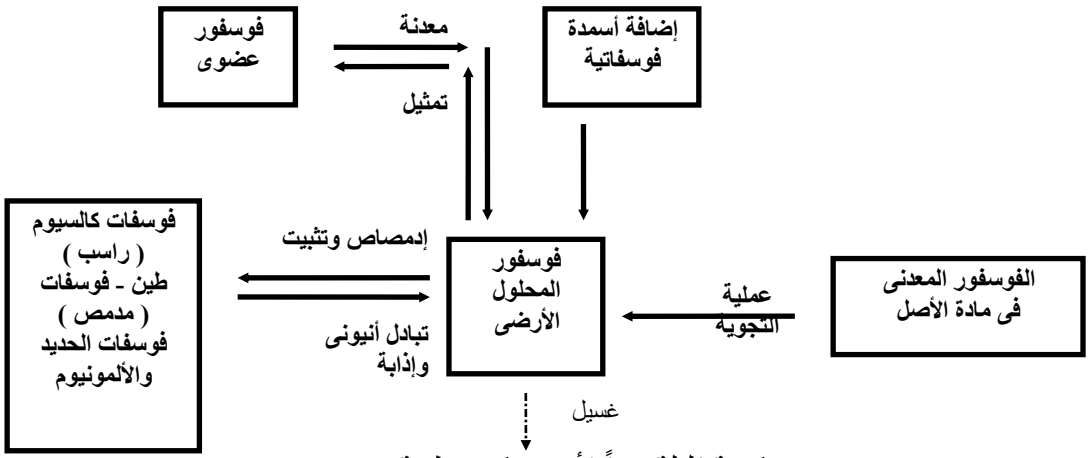
عادة ما يتم استخلاص الفوسفور من الأراضى القاعدية ومنها الأراضى المصرية باستخدام طريقة أولسن Olsen، وتم تحديد المستويات الحرجة للفوسفور الصالح بهذه الطريقة تبعاً لاحتياجات المحاصيل المختلفة (جدول5–5) كما ذكرها أبو الروس وآخرون سنة 1992.

جدول(5-5): المستويات الحرجة للفوسفور الصالح بطريقة أولسن لبعض المحاصيل بالجزء فى المليون

مجموعات المحاصيل	مستوىالفوسفور الصالح منخفض	مستوى الفوسفور الصالح متوسط	مستوى الفوسفور الصالح مرتفع
المحاصيل ذات الاحتياجات المنخفضة وتشمل: المراعى- الحبوب الصغيرة-فول الصويا - الذرة	أقل من 4	من 5 - 7	أكثر من 8
المحاصيل ذات الاحتياجات المتوسطة وتشمل: القطن - البرسيم الحجازى -الطماطم	أقل من 7	من 8 - 13	أكثر من 14
المحاصيل ذات الاحتياجات المرتفعة وتشمل: بنجر السكر - البطاطس - البصل	أقل من 11	من 11 - 20	أكثر من21

دورة الفوسفور فى الأرض Phosphorus cycle in Soil

إن المحافظة على تركيز ملائم من الفوسفور الذائب فى المحلول الأرضى يعتمد على عوامل عديدة منها سرعة تجوية المعادن الحاملة له، سرعة تكوين وتحلل المادة العضوية، إضافة الأسمدة الفوسفاتية وعلى قابلية الجزء المعدنى من التربة على التفاعل أو تثبيت الفوسفور المعدنى الذائب فى صورة غير ذائبة أو قليلة الذوبان، ويمكن تمثيل ذلك فيما يعرف بدورة الفوسفور (شكل 5-2).



شكل (5-2): العمليات الأساسية فى دورة الفوسفور فى الأرض

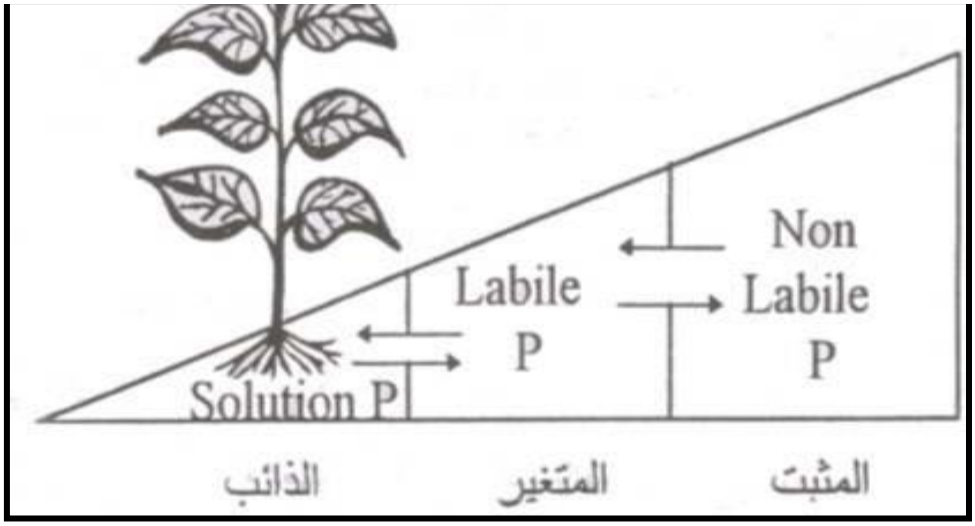
ثانياً: الفوسفور القابل للإحلال أو التغير

Phosphate in the Labile Pool

يُعرف Larsen هذه الصورة من الفوسفور بأنها الجزء من الفوسفور الأرضى الذى يمكن أن يتحول إلى المحلول الأرضى نتيجة التبادل مع الفوسفور المشع p^{32} فى فترة زمنية محددة، علماً بأن التبادل النظيرى (النظير المشع للعنصر) يمكن أن يشمل جميع الفوسفور الأرضى فى الصورة الصلبة إذا امتد الزمن إلى فترة طويلة، ولذا يجب تحديد الفترة الزمنية.

و تشمل هذه الصورة كلٍ من الفوسفور المدمص على أسطح الغرويات الأرضية أو المترسب حديثاً فى صورة مركبات فوسفات الكالسيوم أو الحديد أو الألومنيوم والتى لها قدرة أكبر على الإذابة بالمقارنة بالمركبات قليلة الذوبان مثل: مجموعة الأباتايت. وتختلف هذه الكمية من أرض إلى أخرى حسب توفر العوامل المؤثرة فى قدرة الأرض الادمصاصية منها على سبيل المثال (محتوى الأرض من الغرويات الأرضية والتى تحمل مواقع تبادل ذات شحنة كهربائية موجبة كما فى أكاسيد الحديد والألومنيوم المتأدرتة وأنواع معينة من معادن الطين وغيرها). والجدير بالذكر بأن هذه الصورة مرتبطة مع الصور الأخرى للفوسفور بحالة من الاتزان الكيميائى والشكل (5-3) يوضح ذلك.

ومن الشكل نجد أنه قد يحدث أن تتحول صورة الفوسفور الأيونية والذائبة فى المحلول الأرضى إلى الصورة غير المستقرة وذلك نتيجة ترسيب الفوسفور بتفاعله مع الكالسيوم أو الحديد و الألومنيوم الذائبة فى المحلول الأرضى وتكون مركبات مترسبة حديثاً. أوقد يحدث ادمصاص لهذه الأيونات على سطح الغرويات الأرضية



شكل (5-3): صور الفوسفور فى التربة وحالة الاتزان بينهم

فى نفس الوقت قد ينطلق الفوسفور الموجود فى هذه الصورة خلال عملية التحرر (عكس الادمصاص Desorption) نتيجة التبادل الأنيونى، أو حدوث إذابة لبعض المركبات المترسبة حديثاً. ويلعب الفوسفور الموجود فى هذه الصورة دوراً كبيراً فى تغذية النبات، حيث يعتبر المستودع الذى يمد المحلول الأرضى باستمرار وبشكل تدريجى بعد نفاذ محتواه نتيجة عملية الامتصاص بواسطة النبات. أيضاً يجب ذكر أن قدرة الفوسفور على البقاء فى هذه الصورة يحددها الفترة الزمنية وصفات الأرض الفيزوكيميائية والظروف البيئية المحيطة. وعموماً تتحول الصور المختلفة مع الزمن وبصورة تدريجية إلى صور أخرى أقل ذوباناً تقع ضمن الصورة الثابتة أو المستقرة.

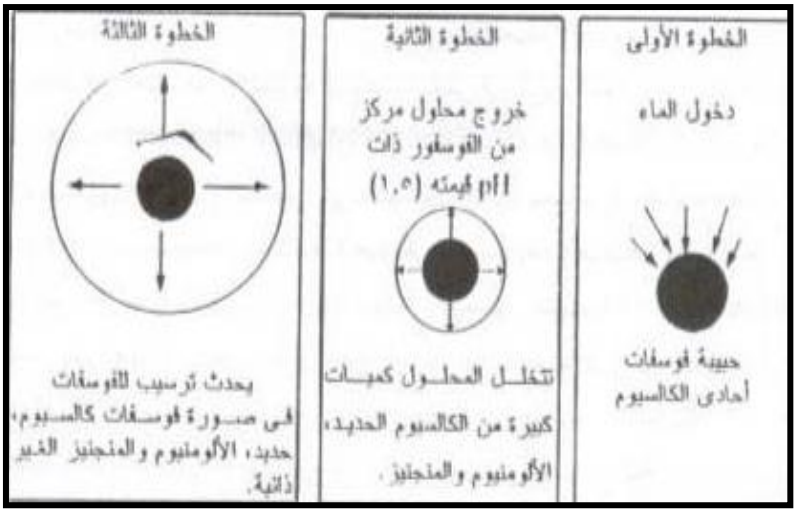
ثالثاً: الفوسفور غير القابل للحركة Non - Labile - phosphours

تشمل هذه الصورة المركبات الفوسفاتية قليلة الذوبان والتى ينطلق منها الفوسفور إلى الصور الأخرى ببطء شديد، وتشمل مجموعة معادن الأباتايت، الفاريسيت Variscite والسترنجيت Strengite وأيضاً صور الفوسفور العضوى المختلفة والبطيئة التحلل. وعموماً لا يمكن إهمال دور جميع هذه الصور مجتمعة فى تغذية النبات لوجودها فى حالة اتزان مستمر معاً على الرغم من أن الكمية المُنطلقة من الصورة غير القابلة للحركة قليلة جداً وذلك لاحتياجها إلى ظروف خاصة لإذابتها مثل توفر الكائنات الدقيقة المتخصصة فى إذابة الفوسفات من مركباته المعدنية أو المتخصصة فى معدنة الفوسفور العضوى.

تفاعلات الفوسفور فى الأراضى المختلفة

عند إمرار محلول يحتوى على أحد الأسمدة الفوسفاتية الذائبة مثل فوسفات أحادى الكالسيوم $Ca(H_2PO_4)_2$ خلال عمود من التربة فإن المحلول أثناء مروره يفقد الفوسفور الموجود به جزئياً أو كلياً. بالإضافة إلى ذلك وجد أن الاستخلاص المتكرر للتربة لهذا الجزء المفقود بالماء أو بالمحاليل الحمضية أو القلوية الضعيفة (المخففة) يؤدى إلى نزع جزء قليل فقط من الفوسفور (المفقود). وهذا النقص فى ذوبان الفوسفات المضاف يُعرف بحجز الفوسفات Phosphate retention أو Phosphate adsorption (ويشير هذا الجزء من الفوسفور المحجوز أو المدمص إلى االفوسفور الذى يُجذب إلى أسطح معادن الطين والذى يمكن أن يُستخلص بواسطة الأحماض أو القلويات الضعيفة ويُعتبر هذا الجزء مُيسر بدرجة كبيرة بالنسبة للنبات). بينما الفوسفور المثبت Phosphorus Fixation (يشير إلى الجزء من الفوسفور قليل الذوبان والذى لا يمكن استخلاصه بواسطة الأحماض أو القلويات المُخففة، ولا يُعتبر سريع فى درجة تيسره للنبات) ويرجع حجز أو تثبيت الفوسفات إلى تحول فوسفات الكالسيوم الأحادية الذائبة إلى فوسفات غير ذائبة نتيجة تفاعلها مع الكالسيوم فى الأراضى القاعدية أو مع الحديد والألومنيوم فى الأراضى الحامضية.

ويمكن توضيح الميكانيكية التى بها يصبح الفوسفور غير ذائب كما يلى: عند إضافة حبيبات سماد السوبر فوسفات إلى التربة فإن بخار الماء الموجود بالوسط المحيط للحبيبة يتحرك ويدخل بسرعة إلى داخل الحبيبة مما يؤدى إلى ذوبان المادة الرئيسية للسماد وهى فوسفات الكالسيوم الأحادية ، ويتكون محلول داخل الحبيبة يكون مشبع بكميات مرتفعة من فوسفات الكالسيوم الأحادية والثنائية بالإضافة إلى حمض الأورثوفوسفوريك، ويكون رقم الـ pH لهذا المحلول فى مدى 1 –1.5 أى شديد الحموضة. وعند انطلاق هذا المحلول إلى الوسط المحيط بالحبيبة يؤدى إلى إذابة مكونات حبيبات التربة الملاصقة له. وفى أراضى القاعدية غالبا ما يسود الكالسيوم والماغنسيوم بها وخاصة فى الأراضى الجيرية وعلى ذلك يتفاعل هذا المحلول مع الكالسيوم ويتكون مركبات صعبة الذوبان، فى حين يكون التفاعل مع الحديد والألومنيوم فى الأراضى الحامضية. إن ميكانيكية التفاعلات التى يُصبح بها الفوسفور غير مُيسر للنبات تحت ظروف الأراضى المختلفة يوضحها شكل (5–4) عن White سنة 1987.



شكل (5-4): يوضح الخطوات المتتالية لذوبان حبيبة فوسفات أحادى الكالسيوم

أولاً: التفاعلات فى الأراضى القاعدية

1- تفاعلات الترسيب :

كما سبق ذكره فإن بارتفاع رقم pH الأرض تزداد أيونات الفوسفات الثنائية والثلاثية، وكما هو معروف بأن درجة الذوبان تقل حسب الترتيب التالى:

$$PO_4^{---} < HPO_4^{=} < H_2Po_4^{-}$$

وفى معظم الأراضى القاعدية يكون للكالسيوم فاعلية كبيرة، وبالتالى تتعرض الفوسفات المضافة إلى سلسلة من التفاعلات مع أيون الكالسيوم الذائب فى المحلول الأرضى أو المتبادل على أسطح معادن الطين مكوناً مجموعة من المركبات الفوسفاتية المتفاوتة فى درجة ذوبانها. وبزيادة تركيز الكالسيوم وثبات تركيز الفوسفات يتم التثبيت بسرعة وذلك بالوصول إلى نهاية سلسلة التفاعل كما يلى:

$$\underset{\text{Mono- Ca-phosphate}}{Ca(H2PO_4)_2} + Ca^{2+} \Rightarrow \underset{\text{Di-Ca-phosphate}}{2CaHPO_4} + 2H^+$$

$$3CaHPO_4 + Ca^{2+} \Rightarrow \underset{\text{Octo-Ca-phosphate}}{Ca_4H(PO_4)_3} + H^+$$

$$Ca_4H(PO_4)_3 + Ca^{2+} + H_2O \Rightarrow \underset{\text{Hydroxy apatite}}{Ca_5(PO_4)_3OH} + 2H^+$$

ومعنى ذلك أن جزءاً كبيراً من الفوسفور المضاف سوف يُصبح فى صورة غير مُيسرة بالنسبة للنبات وذلك لتحوله إلى إحدى صور الفوسفور غير القابل للحركة - Non - Labile phosphorus، وهذا التفاعل يحدث أيضاً فى الأراضى الجيرية.

2- الترسيب السطحى على حبيبات كربونات الكالسيوم:

فى الأراضى القاعدية المحتوية على كربونات الكالسيوم توجد ميكانيكية أُخرى مسئولة عن تقليل صلاحية الفوسفور، فعند تلامس أسطح حبيبات كربونات الكالسيوم مع أيونات الفوسفات الذائبة وخاصةً عند التركيزات المنخفضة يحدث ادمصاص Adsorption لهذه الأيونات على هذه الأسطح فى طبقة سمكها جزىء واحد من الفوسفات من خلال إحلال أيون الفوسفات $H_2PO_4^-$ محل أيون الكربونات CO_3^{2-}. ومع زيادة تركيز الفوسفات المضافة إلى الأرض، وبمرور الزمن تتفاعل كربونات الكالسيوم أو الماغنسيوم، وبغض النظر عن طبيعة التفاعلات التى تحدث فإن الناتج النهائى يتكون فوسفات الكالسيوم فى صورة راسب صعب الذوبان، وثانى أُكسيد الكربون أو الأيدروكسيل.

3- الطين المُشبع بالكالسيوم:

يُعتبر الطين المُشبع بالكالسيوم مسئول عن ميكانيكية ثالثة لتثبيت الفوسفات بالأراضى القاعدية، وأيضاً فى الأراضى ذات pH حامضى ضعيف (6.5)، حيث يقوم الكالسيوم المتبادل بعمل قنطرة تربط بين أيون الفوسفات وسطح الطين، ويمكن تمثيل هذه الرابطة كما يلى:

Clay - Ca - H_2PO_4

ومن الطبيعى أن نتوقع أنه كلما زادت كمية الطين ذات السعة التبادلية الكاتيونية C.E.C المرتفعة مثل معادن من نوع 1:2 ازدادت كمية الفوسفات المثبتة بهذه الطريقة.

ومن السابق نجد أن نشاط الفوسفور فى المحلول الأرضى فى الأراضى القاعدية ومنها الأراضى المصرية يكون متوقف على ثلاثة عوامل أساسية وهى:

أ - نشاط أيون الكالسيوم Ca^{2+}.

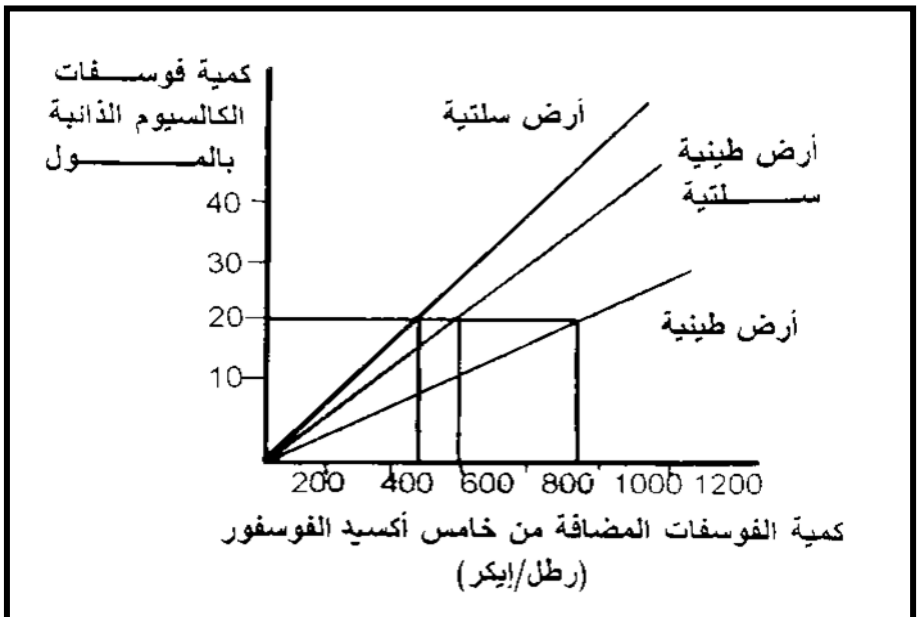
ب - كمية وحجم حبيبات كربونات الكالسيوم الحرة فى الأرض الزراعية.

جـ - كمية ونوع الطين الموجود.

حيث يقل نشاط (تيسر) الفوسفور فى الأراضى ذات نشاط الكالسيوم المرتفع، والمحتوى العالى من كربونات الكالسيوم ناعمة القوام، وكمية كبيرة من الطين المشبع بالكالسيوم. ولهذا يجب إضافة كمية أكبر من الأسمدة الفوسفاتية لمثل هذه الأراضى للحصول على مستوى ملائم من الفوسفور المُيسر فى المحلول الأرضى. وفى إحدى الدراسات بولاية كولورادو بالولايات المتحدة الأمريكية على تأثير كمية الطين (قوام الأرض)، وكمية السوبر فوسفات المضافة على كمية

الفوسفور النشط (المُيسر) فى المحلول الأرضى Tisdzle & Nelson سنة 1987 (شكل 5-5).

من شكل (5-5) يمكن إيضاح نقطتين: الأولى أن كمية الفوسفور الذائبة فى المحلول الأرضى فى الأراضى المختلفة القوام تحت الدراسة تزداد مع زيادة كمية الفوسفات المضافة، والثانية هى لكى يتم الحصول على كمية معينة من الفوسفور النشط (الذائب) فى المحلول الأرضى يلزم إضافة كمية أكبر من السوبر فوسفات فى الأراضى ناعمة القوام عما يلزم إضافته للأرض خشنة القوام للوصول إلى نفس المستوى من النشاط.

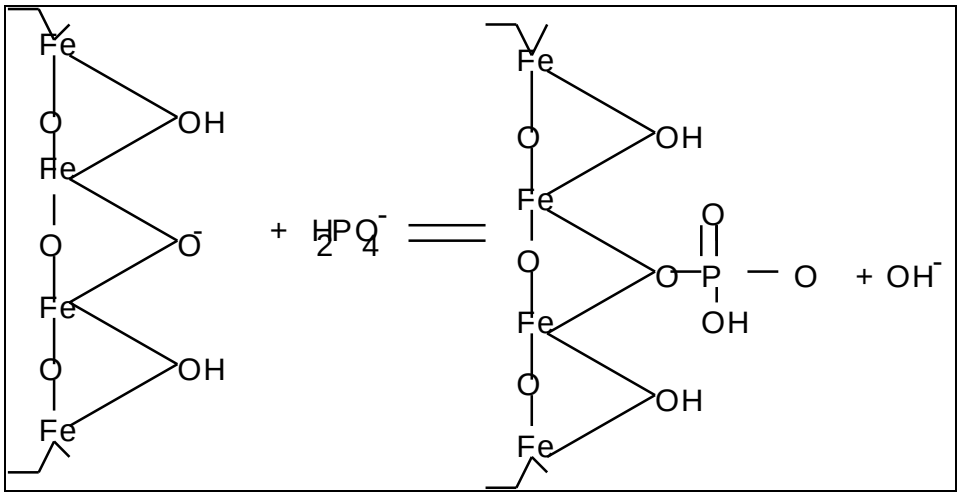


شكل (5-5): يبين تأثير قوام التربة الزراعية على تيسر الفوسفور المضاف إليها.

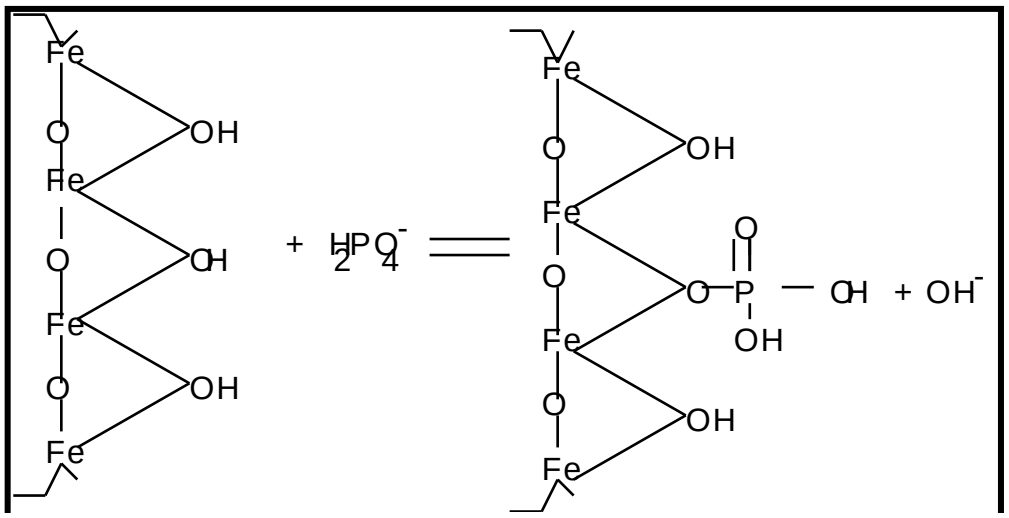
4-التفاعل مع الأكاسيد السداسية المتأدرتة:

نتيجة للسلوك الأمفوتيرى Amphoteric behavior للأكاسيد السداسية فإن أسطحها تحمل صافى شحنه كهربائية قد تكون سالبة أو متعادلة أو موجبة. وعلى هذا فإن أيونات الفوسفات الموجودة فى المحلول الأرض تدخل فى تفاعلات تبادل أنيونى مع مجموعات الأيدروكسيل الموجودة على أسطح حبيبات هذه الأكاسيد. ويوجد ثلاثة تفاعلات لأكاسيد الحديد المتأدرت والتى تحدث عند قيم من الـ pH أعلى أوأقل أو عند نقطة التعادل الكهربائية لهذا المركب Zero-point of charge (ZPC) يمكن إيضاحها كما يلى:

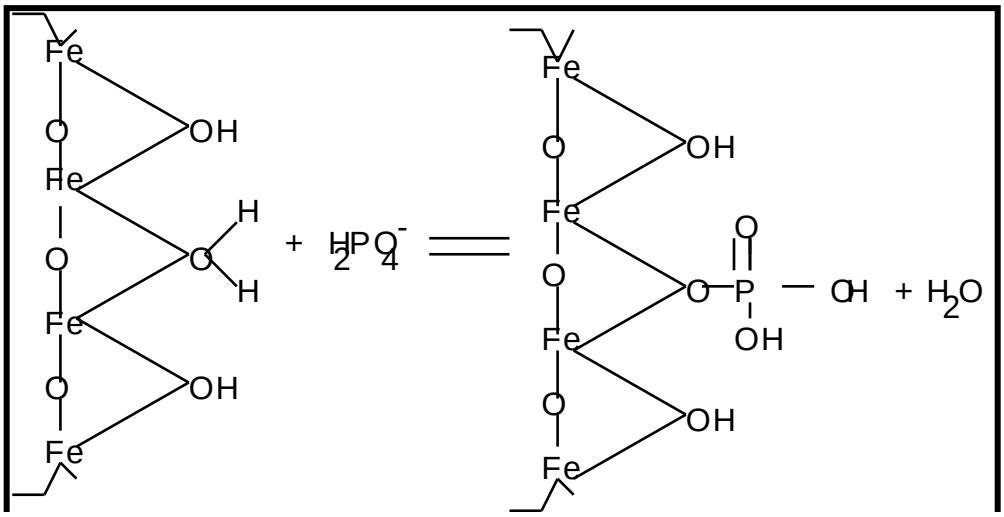
أ – عند نقطة أعلى من نقطة التعادل الكهربية (صافى الشحنة سالب)



ب – عند نقطة التعادل الكهربى (صافى الشحنة صفر)



جـ - عند نقطة أسفل من نقط التعادل الكهربى (صافى الشحنة موجب)



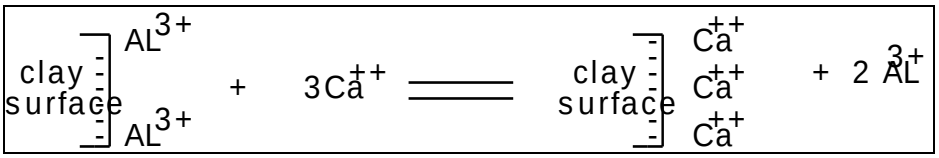
من الخطوات السابقة نجد أنه عند نقطة التعادل الكهربية لأكاسيد الحديد المتأدرتة يحدث إحلال لمجموعة الهيدروكسيل بواسطة مجموعة فوسفات أحادية، ونفس الشيء يحدث عند ارتفاع رقم الـ pH وتصبح شحنة المركب سالبة. أما عند انخفاض رقم الـ pH تصبح شحنة المركب موجبة، ويحدث إحلال لجزيء الماء H_2O بواسطة مجموعة الفوسفات الأحادية.

ثانياً: تفاعلات الفوسفات فى الأراضى الحامضية

1- التثبيت بواسطة الحديد والألومنيوم:

يعتبر تثبيت الفوسفات فى الأراضى الحامضية نتيجة مجموعة تفاعلات مختلفة إلى حدٍ كبير عن تلك الحادثة فى الأراضى القاعدية. حيث يكون غالبية احتجاز الفوسفور أو تثبيته نتيجة تفاعله مع الحديد والألومنيوم، ففى هذه الأراضى تحتوى أسطح التبادل للغرويات الأرضية المعدنية على كميات كبيرة من الألومنيوم، وكميات أقل من الحديد والمنجنيز المتبادل. فعند إضافة الأسمدة الفوسفاتية لهذه الأراضى يحدث ترسيب للفوسفات فى صورة فوسفات الألومنيوم أو الحديد، ويتم ذلك بأن يقوم أيون الكالسيوم الموجود فى تركيب السماد بالتبادل مع أيون الألومنيوم وينطلق الأخير إلى المحلول الأرضى، ثم يحدث له تحلل مائى ويتكون أيدروكسيل العنصر وأخيراً يتحد أيدروكسيل الألومنيوم مع الفوسفات ويحدث ترسيب للفوسفات كما توضح المعادلات الآتية:

أ – التبادل الكاتيونى Caion Exchange:



ب – التأدرت Hydrolysis:

$$AL^{3+} + 2\,H_2O \Leftrightarrow AL(OH)_2^{+} + 2H^{+}$$

جـ – الترسيب Precipitation:

$$AL(OH)_2^{+} + H_2PO_4^{-} \Leftrightarrow AL(OH)_2H_2PO_4 \downarrow$$

Variscite

وبنفس الكيفية يحدث ترسيب للفوسفات بواسطة الحديد كما فى المعادلة التالية:

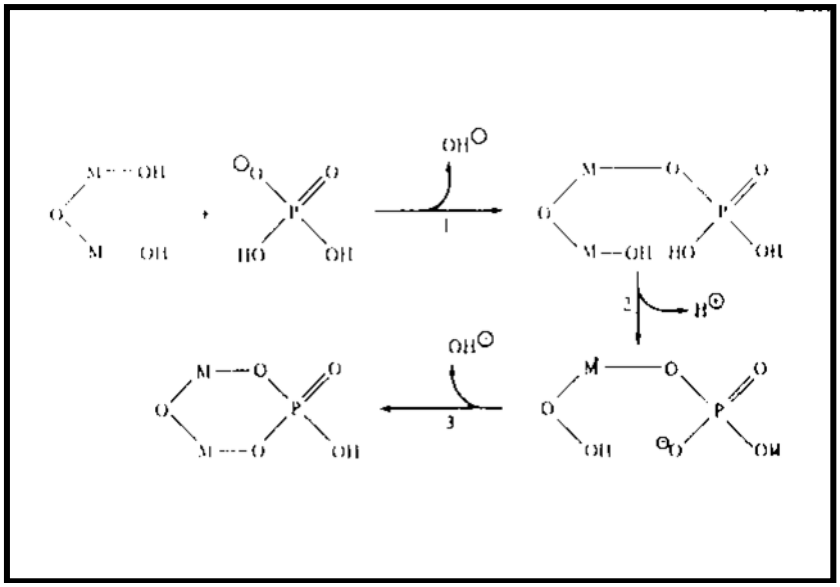
$$Fe^{3+} + H_2PO_4^{-} + 2H_2O \Leftrightarrow Fe(OH)_2HPO_4 \downarrow + 2H^{+}$$

Stringite

وهكذا نجد أن واحد مول من الألومنيوم المتبادل والذى حدث له تحلل مائى يُرسب واحد مول من أيونات الأورثوفوسفات. وليس من المنتظر أو المحتمل حدوث تحلل مائى لكل الألومنيوم المتبادل تحت الظروف الحقلية، وبالتالى من المتوقع أن يكون إسهام هذه الميكانيكية فى تثبيت الفوسفات تكون أقل عن ما يشير إليه هذا التفاعل.

2 – الادمصاص الأيونى بواسطة الأكاسيد:

وهنا تتفاعل الفوسفات مع مركبات الحديد والألومنيوم وتتكون معقدات مختلفة. وقد يكون التفاعل مباشراً مكوناً راسب لمكونات الحديد أو الألومنيوم كما سبق ذكره فى الخطوة السابقة. أو يحدث ادمصاص للفوسفات على أسطح تلك الأكاسيد، وتنطلق جزيئات الماء ومجموعات الأيدروكسيل، شكل (5–6) يصف هذا التفاعل.



شكل (5–6): يبين خطوات ادمصاص الفوسفات على أسطح أكاسيد الحديد

ويمكن أن يحدث ادمصاص للأنيونات على الأسطح التى تحمل شحنة موجبة، وتزداد هذه الحالة تحت ظروف الأراضى الحامضية حيث يحدث جذب للأيدروجين على مجموعة الأيدروكسيل الخارجية، وفى النهاية يكون صافى الشحنة موجب مما يؤدى إلى إدمصاص الأنيونات (An) عن طريق خاصية الجذب بالقوة الإلكتروستاتيكية

3 – التثبيت بواسطة الطين المُشبع بالكالسيوم:

ويحدث ذلك فى الأراضى ذات pH 6.5 أو أقل وذلك عن طريق أيون الكالسيوم المتبادل على أسطح معادن الطين، حيث يعمل أيون الكالسيوم كقنطرة بين أيون الفوسفات وسطح الطين.

ومما سبق نجد أن الفوسفور المضاف إلى الأراضى القاعدية أو الأراضى الحمضية يتعرض إلى التثبيت بطرق مختلفة. ويمكن اعتبار الفوسفور المدمص ضمن صورة الفوسفور القابل للحركة Labile phosphorus أى يكون له إمكانية التحرر أو الانطلاق Desorption ليكون مُيسر للنبات. وعملية التحرر هذه تتم بواسطة إحلال أيون مُعين سالب الشحنة له قدرة الادمصاص النوعى مثل: أيون البيكربونات أو الفلوريد محل أنيون الفوسفات المدمص. وقد يتكون أيون البيكربونات فى المحلول الأرضى أثناء انطلاق ثانى أُوكسيد الكربون من عملية التنفس للجذور والكائنات الدقيقة وذوبانه فى الماء مكوناً حمض الكربونيك الذى سرعان ما يتأين إلى بيكربونات وأيدروجين حسب المعادلة التالية:

$$CO_2 + H_2O \Leftrightarrow H_2CO_3 \Leftrightarrow HCO_3^- + H^+$$

وهناك بعض الأيونات السالبة الشحنة الأخرى التى يمكن أن تحل محل الفوسفات مثل الأيدروكسيل والسليكات وبعض الأيونات العضوية مثل السترات و الطرطرات والهيومات، وغيرها والتى تساهم فى تحرر الفوسفات المدمصة أو تنافس أيون الفوسفات المضاف على صورة سماد فى الادمصاص على الأسطح الموجبة الشحنة للغرويات الأرضية مما يزيد من تيسر الفوسفور فى المحلول الأرضى. ولقد أوضحت الدراسات التى قام بها EL-Beshbeshy وآخرون خلال الفترة من 1990 إلى 1994 بأن هناك تأثير إيجابى لأنيونات السليكات على تيسر الفوسفور الأصلى Native phosphorus بالتربة وذلك من خلال عدة تجارب معملية وحقلية وأيضاً فى البيوت الزجاجية. ففى تجربة تحضين Incubation لعينات تربة طينية رسوبية من أرض الوادى، وعينة تربة من أراضى جيرية حديثة الإستصلاح مع مركبات السليكات (سليكات الكالسيوم وهو منتج ثانوى من مصانع الحديد والصلب بحلوان والذى يعرف بإسم جلخ الأفران العالية المحبب والمبرد مائى ويتركب من أكسيد حديديوز 0.7– 1.2 %، أكسيد سليكون 30 – 35 %، أكسيد كالسيوم 34 – 38 %، أكسيد ماغنسيوم 2 –5 %، أكسيد المونيوم 11 – 14 %، أكسيد بوتاسيوم 0.2 – 0.5 %، وأكسيد باريوم 4.0 – 9.0 %) أوضحت النتائج زيادة كمية الفوسفات الميسرة والمستخلصة من تلك التربة والمعاملة بسليكات الكالسيوم، وفى تجربة فى الصوبة لدراسة تأثير سليكات الكالسيوم والكبريت وزرق الدواجن على تيسر الفوسفور بالتربة وكفاءة استخدام السوبر فوسفات أوضحت النتائج التى حصل عليها EL-Beshbeshy وآخرون سنة 1993 بأن هناك استجابة واضحة بالنسبة للفوسفور الممتص بواسطة نباتات الذرة وخاصة عند الإضافة مع السوبر فوسفات، وفى تجارب حقلية فى أراضى الوادى أدى استخدام هذه المركبات إلى زيادة كمية الفوسفور الممتص بواسطة نباتات الذرة Zanouny وآخرون سنة 1994، وأيضاً بواسطة نباتات الشعير المنزرع فى أراضى حديثة الاستصلاح فى محافظة المنيا وأيضاً زيادة كفاءة استخدام الأسمدة الفوسفاتية EL-Beshbeshy سنة 1994، وربما يُعزى ذلك لحدوث تنافس بين كلٍ من أيونات السليكات والفوسفات على مواقع التبادل على أسطح الغرويات الأرضية.

العوامل المؤثرة على احتفاظ التربة الزراعية بالفوسفور:

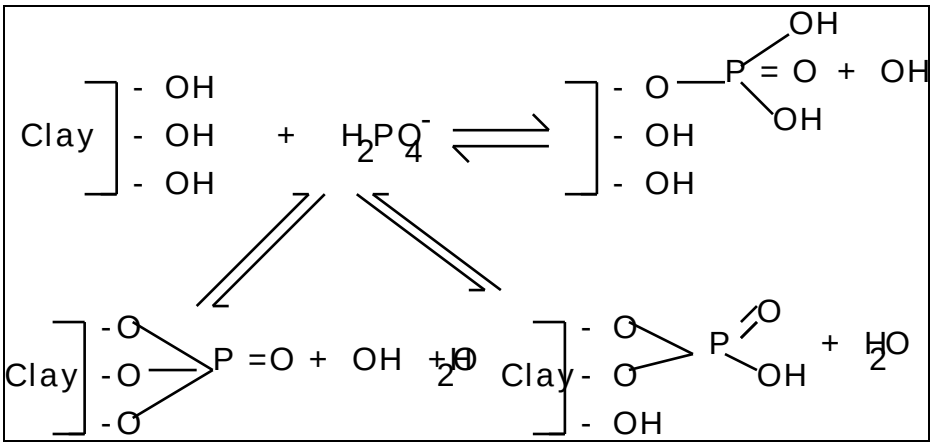
بصفة عامة توجد عدة عوامل تؤثر على مدى صلاحية الفوسفور بالنسبة للنبات، وهذه العوامل مشتركة فى جميع أنواع الأراضى، وسوف نتناولها بشىء من التفصيل فيما يلى:

1- كمية الطين فى الأرض: بزيادة نسبة الطين فى الأرض تزداد الكمية المثبتة من الفوسفور ويرجع ذلك إلى زيادة السطح النوعى لحبيبات الطين.

2- نوع معدن الطين: تبين من العديد من الأبحاث بأن الأراضى الغنية فى معادن الطين من نوع 1:1 مثل الكاؤولينيت تكون قدرتها على تثبيت الفوسفور مرتفعة عن الأراضى الغنية فى معادن من نوع 1:2. ويرجع ذلك إلى أن عدد أكبر من مجموعات الأيدروكسيل المرتبطة مع ذرة الألومنيوم فى طبقة الأوكتاهيدرا تكون مكشوفة فى معادن من نوع 1:1 ولقد وصف عواد 1987سنة طبيعة التفاعل كما يلى:

أ – قد يحدث إحلال متماثل للفوسفات فى طبقة التتراهيدرا محل أيون السيليكات إذ لوحظ فى بعض الدراسات أن كمية السيليكات فى معلق التربة تزداد بزيادة كمية الفوسفات المضافة. وغالباً ما يتم هذا الإحلال فى معادن الطين من نوع 1:1 ولا يُعتبر هذا التفاعل تفاعل ادمصاص حيث يتم تثبيت الفوسفور داخل المعدن، وبالتالى يصبح غير مُيسر بالنسبة للنبات.

ب – قد يحدث تبادل أنيونى بين مجموعة الفوسفات ومجموعة الأيدروكسيل الموجودة فى الهيكل البنائى لمعدن الطين. هذا بالإضافة إلى أن مثل هذا التفاعل يساعد على زيادة عدد مجاميع الأيدروكسيل المرتبطة بالمعدن مما يؤدى إلى زيادة السعة التبادلية الكاتيونية وخاصة عندما يرتفع رقم الـ pH للأرض عن 7 كما توضحها المعادلات الآتية.



بينما الأراضى الغنية فى معادن الطين من نوع 1:2، ونظراً لأن السعة التبادلية الكاتيونية لها مرتفعة فتكون كمية الكالسيوم المتبادلة كبيرة وبالتالى يحدث التثبيت أو الاحتفاظ بواسطة أيون الكالسيوم (فوسفات –كالسيوم–طين).

3- مدة التفاعل: كلما ذاد زمن التلامس بين أيونات الفوسفات ومكونات التربة الزراعية كلما زاد معدل التثبيت، وهذا الزمن يختلف من أرض إلى أُخرى. وتُعتبر المدة التى يتمكن فيها النبات من الاستفادة القصوى من السماد الفوسفاتى المضاف مهمة من الناحية العملية. ففى

الأراضى ذات القدرة العالية على التثبيت تكون هذه المدة قصيرة، بينما فى أراضى أُخرى قد تطول الفترة لمدة شهر أو أكثر. وهنا ترجع أهمية ما إذا كان السماد يضاف على دفعة واحدة أوعلى عدة دفعات خلال الدورة الزراعية، كذلك تحديد طريقة الإضافة.

4- **رقم الـ pH للتربة الزراعية:** يُعتبر رقم pH التربة من العوامل العالية التأثير على تحديد درجة صلاحية الفوسفور للنبات، كما سبق ذكر أن الصورة الأيونية للفوسفات والتى تكون مفضلة للامتصاص من قِبل النبات هى $H_2PO_4^-$ بالمقارنة بالصور الأيونية الأخرى، وذُكر أن تركيز هذه الصورة يقل بارتفاع وانخفاض رقم الـ pH وذلك حسب طريقة التثبيت وتكون أعلى درجة صلاحية للفوسفات فى مدى pH من 6-7. والشكل (5-7) يبين تأثير رقم الـ pH على كمية وميكانيكية تثبيت الفوسفات.

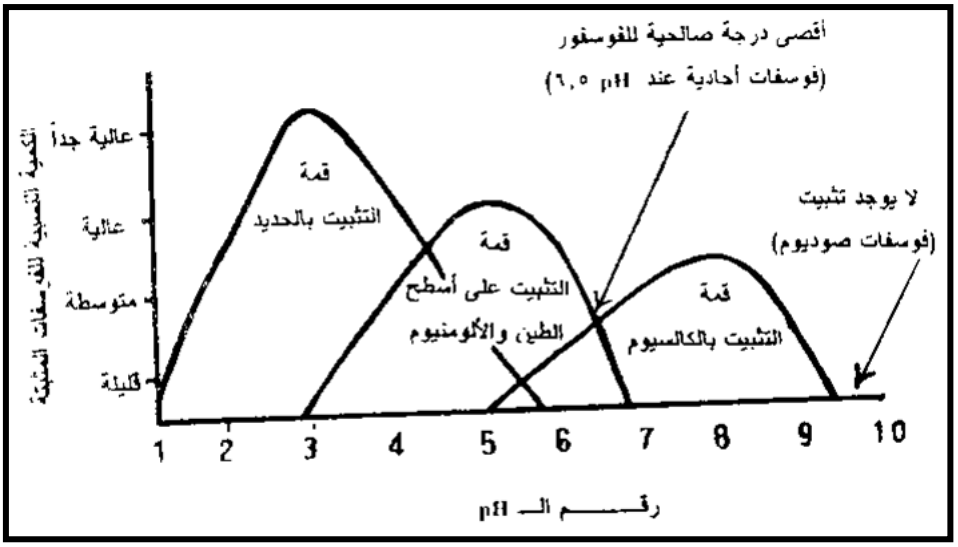
5- **المادة العضوية:** من المعروف بأن الأسمدة العضوية عند إضافتها إلى الأراضى الزراعية تؤدى إلى زيادة خصوبة تلك الأراضى، سواء كان نتيجةً لما تحويه من عناصر، أو بطريقة غير مباشرة عن طريق زيادة ذوبان بعض العناصر، وجعلها فى صورة ميسرة للنبات ومن تلك العناصر الفوسفور.

ويرجع ذلك إلى عدة أسباب وهى:

أ - انطلاق غاز ثانى أكسيد الكربون أثناء عملية تحلل وأكسدة المادة العضوية وأيضاً نتيجة للنشاط الميكروبى المصاحب لوجود المادة العضوية يعمل على خفض رقم الـ pH للأرض مما يزيد من ذوبان المركبات الفوسفاتية.

ب - تقوم الغرويات العضوية بتغليف الأكاسيد السداسية المتأدرتة، وبالتالى تمنع أو تقلل من اتحادها مع الفوسفات.

جـ - وجود بعض الأيونات العضوية السالبة الشحنة والناتجة من تحلل المادة العضوية مثل الهيومات Humate، السترات Citrate، الطرطرات Tartrate، والأوكسلات Oxalateفى المحلول الأرضى يمكن أن تتحد مع الحديد والألومنيوم، أو يمكن أن تتبادل مع أنيونات الفوسفات المدمص، أو تتنافس مع أيونات الفوسفات المضافة وبالتالى تزيد من الفوسفور الميسر للنبات.



شكل (5-7): يوضح العلاقة بين رقم الـ pH وكمية وميكانيكية تثبيت الفوسفات

د- تعتبر المادة العضوية مصدراً هاماً للفوسفور العضوى والذى يمتاز بقلة تثبيته بالمقارنة بالفوسفور المعدنى، وبفعل الكائنات الأرضية الدقيقة يحدث عملية معدنة لهذا الفوسفور، ويُصبح فى صورة ميسرة للنبات.

هـ- مع تقدم تحلل المادة العضوية ينتج الدبال، وهذا المركب يمكن أن يتحد مع الفوسفات ويتكون معقد الدبال والفوسفات، وهذه المركبات يمكن أن يستفيد منها النبات بسهوله.

6- **درجة الحرارة:** كما هو معروف بأن سرعة التفاعلات الكيميائية تزيد بزيادة درجة الحرارة، وبالتالى وجد فى أراضى المناطق الحارة يكون تثبيت الفوسفور أكبر مما هو عليه فى أراضى المناطق المعتدلة، وفى المناطق الاستوائية يكون التثبيت بفعل الأكاسيد السداسية المتأدرتة لزيادة محتوى هذه الأراضى من تلك المركبات.

7- **نسبة اكسيد السليكون إلى أكاسيد الحديد والألومنيوم**
$Si_2 : R_2O_3$ ratio

تؤثر هذه النسبة على ذوبان الفوسفات، ووجد أن هذه النسبة تقل فى الأراضى الحامضية (نتيجة لزيادة الحديد والألومنيوم) وفقد السيليكا بواسطة ماء المطر، وهذه النسبة تؤيد الرأى القائل بأن معادن الطين من نوع 1:1 قدرتها على تثبيت الفوسفات أكبر من معادن 1:2 وذلك لانخفاض هذه النسبة فى معادن 1:1.

8- **التأثير الفسيولوجى للأسمدة الكيماوية:** كما هو معروف بأن الأسمدة النشادرية ذات تأتير حامضى، وبالتالى تُخفض رقم pH الأرض مما يساعد فى ذوبان الفوسفات.

اختبارات فوسفور التربة

تهدف اختبارات التربة فى هذا المجال إلى محاولة تقدير كمية الفوسفور الميسر فى التربة والتى تكون مرتبطة بمدى استجابة المحاصيل لإضافة الفوسفور لهذه الأرض، وبتفسير نتائج تلك الاختبارات يمكن معرفة الأرض التى قد تستجيب لإضافة الفوسفور من عدمه. ويوجد عدد كبير من الطرق التى بواسطتها يمكن تقدير ما يعرف بالفوسفور الميسر، وجدول (5-6) يوضح أهم هذه الطرق والتى عن طريقها يمكن معرفة حالة الفوسفور فى الأراضى:

جدول (5-6): مستويات خصوبة التربة للفوسفور تبعا لطريقة الاستخلاص عن Landon سنة 1984

الطريقة	محلول الاستخلاص	قيم الفوسفورالميسر (ppm) مرتفع متوسط منخفض			الأرض الملائمة
أولسن Olsen	محلول بكربونات صوديوم 0.5 ع عند 8.5 pH	< 15	5- 15	< 5	كل أنواع الأراضى وخاصة القاعدية
براى 2 Bray 2	0.3ع فلوريد أمونيوم + 0.025ع حمض هيدروكلوريك	< 50	50 - 15	< 15	الأراضى الحمضية
نيلسون Nelson	حمض HCL + H_2SO_4 المخفف	< 30	10-30	< 10	بعض الأراضى الحمضية
تروج Troug	0.002ع H_2SO_4 عند 3 pH	< 40	20-40	< 20	الأراضى الحمضية
بنجهام Bingham	محلول مائى	< 2	1 - 2	< 1	كل أنواع الأراضى
مورجان Morgan	خلات صوديوم + حمض الخليك	< 15	15 - 5	< 5	الأراضى الحمضية

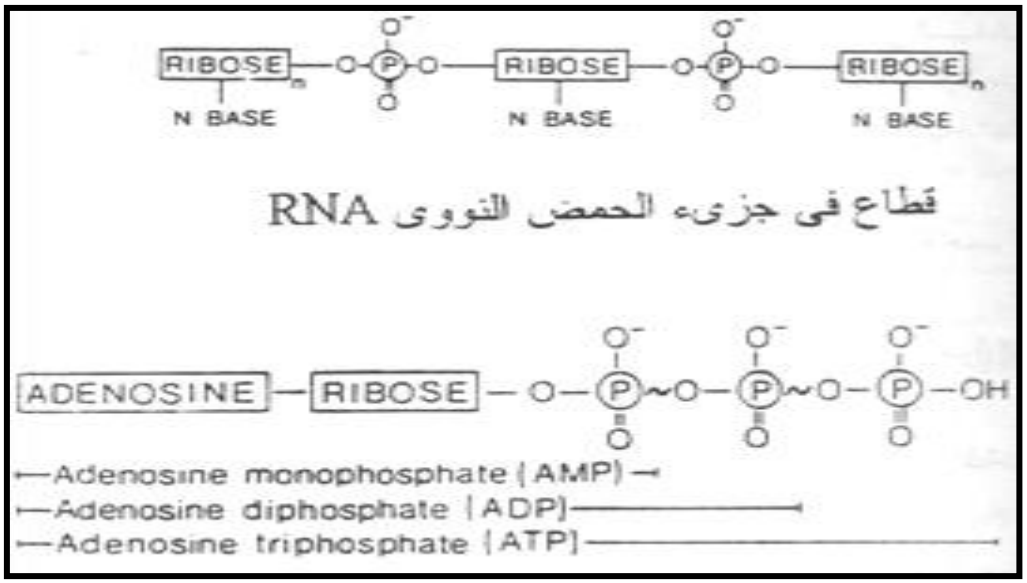
وطبيعى يكون عند المستوى المرتفع من الفوسفور المستخلص لا يكون هناك استجابة لإضافة الفوسفور، وتكون درجة الاستجابة متوسطة عند المستوى المتوسط، فى حين تكون الاستجابة عالية فى حالة المستوى المنخفض من الفوسفور المستخلص.

الفوسفور فى النبات Phosphorus in Plants

تُعتبر الفوسفات الأحادية $H_2PO_4^-$ هى الصورة الأيونية المُفضلة للامتصاص من قِبل النبات بالمقارنة بالصورة الثنائية HPO_4^{2-}. وعلى عكس النيتروجين والكبريت لا تُختزل الفوسفات داخل الأنسجة النباتية، بل يدخل الفوسفور فى المركبات العضوية فى أعلى صور التأكسد، فهو عنصر أساسى فى تركيب الليبيدات المفسفرة والأحماض النووية، فإذا اتحدت الأحماض النووية مع البروتينات تكونت البروتينات النووية وهى مكونات هامة لأنويه الخلايا النباتية.

ويتراكم الجزء الأكبر من فوسفور النباتات الناضجة فى البذور والثمار أثناء فترة تطورها، كذلك لوحظ وفرة الفوسفور فى الأنسجة المرستيمية للنباتات النامية حيث يستخدم فى تخليق البروتينات النووية والمركبات الفوسفورية الأخرى والتى يُستخدم البعض منها فى عمليات التنفس. ويبدو أن هناك ترابطاً بين دور كلٍ من االفوسفور والنيتروجين فى عملية الأيض Metabolism بالنبات، فقد ظهر أن نقص الفوسفور المُيسر يؤدى إلى سرعة تراكم النيتروجين غير العضوى داخل النبات، ولكن مع توافر هذا العنصر بصورة ميسرة فى المحلول الأرضى يقلل من امتصاص النيتروجين. وبالتالى فالتسميد الفوسفاتى بكثرة قد يغير التوازن النيتروجينى للنبات، ويؤدى إلى النضج المبكر للنباتات، فى حين يتأخر نضج النباتات التى تعانى من نقص الفوسفور. كذلك أوضحت الدراسات أنه لا يتم تخليق البروتينات فى النباتات قليلة الفوسفور ويلازم ذلك تراكم السكريات فى الأجزاء النباتية الخضراء مما يؤدى إلى ظهور اللون الأحمر الأرجوانى (قريب من البنفسجى) نتيجة زيادة معدل تخليق صبغة الأنثوسيانين فى الأوراق كما فى نباتات الذرة والطماطم وغيرهما من النباتات الأخرى. وقد ساهم استخدام الفوسفور المشع فى إثبات قدرة هذا العنصر على الحركة داخل النبات، حيث يعاد توزيع الفوسفور بين أعضائه المختلفة وهو على صورته الفوسفاتية، ففى حالة نقص الفوسفور الميسر فى التربة ينتقل هذا العنصر من الأوراق المسنة إلى الأوراق الحديثة، وبالتالى تظهر أعراض نقصه على الأوراق المسنة. ويمكن إيجاز أهم الوظائف الحيوية للفوسفور فيما يلى:

1- يُعتبر مكون أساسي للفوسفاتيدات، الأحماض النووية RNA, DNA، البروتينات، ومساعدات الإنزيم AMP, ADP &ATP (شكل 5-8).



شكل (5-8): رسم تخطيطى يبين تركيب الحمض النووى RNA (لأعلى) ومساعدات الإنزيم ATP , ADP & AMP (لأسفل)

2- يدخل فى تركيب العديد من الأحماض الأمينية.

3- ضروى لانقسام الخلايا، والكروموزمات chromosomes، ونمو الجذور.

4- ضرورى لنمو القمة المريستيمية، البذور والثمار، وأيضاً لعملية التزهير.

ويوجد الفوسفور فى الأنسجة المرستيمية وينتقل بسهولة داخل النبات، وعلى ذلك فإنه يتحرك من الأنسجة المسنة إلى الأنسجة الحديثة فى حالة نقص الفوسفور الميسر بالتربة الزراعية (أى أن هذا العنصر مُتحرك داخل النبات).

أعراض نقص الفوسفور:

تختلف الأعراض حسب نوع النبات، ففى النباتات ذات الفلقة الواحدة يؤدى نقص الفوسفور إلى ظهور لون أحمر أو أرجوانى فى مناطق مختلفة من الورقة فى خلال مراحل النمو المختلفة.أما النباتات ذات الفلقتين فإن العروق الرئيسية للأوراق المسنة تأخذ لوناً أحمر أرجوانى. بينما تبقى الأوراق الحديثة بلون أخضر داكن أو أخضر رمادى، ويزداد اللون الأرجوانى على عروق الأوراق وخاصةً على الناحية السفلية للأوراق وعلى السيقان. وكما سبق ذكر أن الفوسفور يتحرك بسهولة داخل النبات فإن الأعراض تظهر أولاً على الأوراق المسنة، وذلك لتحرك

الفوسفور من تلك الأوراق إلى الأوراق الحديثة لسد احتياجاتها.ويمكن إيجاز هذه الأعراض فى النقاط التالية:

أ – ظهور المجموع الخضرى بلون أخضر داكن غالباً ما يتحول إلى اللون الأحمر أو الأرجوانى.

ب – فى بعض الأحيان تتحول الأوراق السفلية إلى اللون الأصفر، وتجف ثم تتحول إلى اللون البنى المخضر

جـ – تظهر ساق النباتات رفيعة وقصيرة وخاصة إذا نقص هذا العنصر فى المراحل المتأخرة من النمو. ويقل المجموع الجذرى.

د – ظهور الأعراض أولاً على النموات المسنة، وفى حالة النقص الشديد يتأخر النمو لما لهذا العنصر من تأثير على انقسام الخلايا فى القمم النامية.

وفيما يلى أعراض نقص الفوسفور على نباتات بعض المحاصيل الاقتصادية:

القمح، الشعير والأرز : يسود لون أخضر داكن على نصف النصل القاعدى، فى حين يتلون النصف الآخر باللون البرتقالى، يتحول إلى اللون الأحمر ثم البنى. ويظهر نقص الفوسفور فى حالة عدم الاهتمام باستخدامه كسماد بكميات كافية.

الذرة : يقل حجم النباتات ويتحول لون الأوراق السفلى إلى البنى أو الأحمر (الأرجوانى) وتبدأ الأوراق السفلى فى الموت.

الفول البلدى، السودانى، البرسيم ومحاصيل الخضر البقولية : تظهر الأعراض مع انخفاض درجة الحرارة شتاءً، وتبدأ بظهور اللون الأخضر الداكن يعقبه ظهور لون محمر على الأوراق، ويتأثر نمو النبات ويقل حجمه ويتأخر النضج. وقد يظهر النقص رغم توافر كميات عالية من السماد الفوسفاتى فى التربة، ويرجع ذلك لانخفاض معدل انتشار الفوسفور فى المحلول الأرضى بانخفاض درجة الحرارة.

القطن : تظهر الأوراق السفلية بلون أخضر داكن، وتقل مساحتها كثيرا، وتنتقل الأعراض إلى الأوراق العليا، ويتقزم الساق الرئيسى بشكل ملحوظ، ويتأخر الإزهار وتكوين ونضج اللوز، ويقل المحصول.

البطاطس : تظهر الأعراض الأولى بشكل أخضر داكن غير طبيعى للنمو الخضرى. وتتخشب السوق، وتنثنى أعناق الأوراق وحوافها، وكذلك الوريقات لأعلى، وتقل مساحة الوريقات التى يصبح لونها أخضر داكن أكثر من المعتاد، ثم تصفر الأوراق العليا ويتحول لون الأوراق السفلى

إلى المصفر، ثم يتكون عليها لون بنى أو برونزى بادئا من قمة الورقة حتى يشملها كلها ثم تسقط. وتنتج الدرنات مصابة ببقع بنية صدئة فى اللحم يشمل مناطق منفصلة، وقد تتصل ببعضها لتكون مساحة ذات شكل أشعة أو خطوط عريضة ذات قوام متصلب داخل نسيج الدرنة الناعم.

نماذج لأعراض نقص الفوسفور على بعض النباتات فى الفصل الثانى عشر

الأسمدة المحتوية على الفوسفور:

مما سبق يتضح أن الفوسفور يكاد أن يكون عديم الحركة وخاصةً فى الأراضى المتعادلة و القاعدية ومنها الأراضى المصرية، حيث يكون فى صورة فوسفات كالسيوم. ولا يتحرك الفوسفور المضاف أكثر من 2 – 3 مم من جزيئات السماد المضاف، وذلك لترسيبه بسرعة فى صورة فوسفات ثنائى أو رباعى الكالسيوم، كما يمكن أن يدمص على أسطح كربونات الكالسيوم، والفوسفور فى هذه الحالات لا يكون ميسر بأى صورة للنبات. ومن ذلك يتضح أن غسيل الفوسفات من التربة لا يشكل أى مشكلة.

أن الكمية الميسرة للنبات تكون قليلة كما هو الحال فى الأراضى القاعدية والجيرية بمقارنة تلك الكمية مع المحتوى الكلى من الفوسفور، ويرجع السبب فى ذلك إلى ارتفاع رقم pH الأرض وزيادة محتواها من الكالسيوم مما يسرع ويُزيد من عملية تثبيت الفوسفور. وتعتبر كمية الفوسفات المزالة بواسطة المحاصيل قليلة نسبياً ويمكن تعويضها عن طريق إضافة كمية أُخرى من السماد. ومن ناحية الأسمدة الفوسفاتية نجد أن النباتات المضاف لها هذه الأسمدة تستفيد فقط من 10 – 20% من الكمية المضافة، وعلى ذلك يجب أن تكون استراتيجية استخدام السماد هى تقليل فرص الاتصال بين التربة وحبيبات السماد ووضعه فى منطقة الريزوسفير ، حيث يفرز الجذر إفرازات مختلفة ذات تأثير مخلبى وتأثير مختزل ومنها أحماض عضوية وأحماض أمينية وفينولات وسكريات ....وغيرها، مما يؤدى إلى إذابة فوسفات الكالسيوم وكذلك الفوسفات صعبة الذوبان. أيضا وجد أن البقوليات تظهر ميكانيكية فسيولوجية أخرى وذلك بإخراج بروتونات (H^+) عند امتصاصها للأمونيوم المثبت بيولوجيا، وذلك للحفاظ على ثبات نسبة الكاتيونات / الأنيونات فى النبات Marschner سنة 1995. وفى نفس الوقت يكون من المُهم التفكير فى كيفية زيادة صلاحية الفوسفور الأصلى Native phosphorus وقد يتحقق ذلك بعدة طرق من أهمها تحديد موعد وطريقة إضافة السماد والتى تتوقف على:

1- **احتياج النبات وطول موسم النمو:** يساهم الفوسفور فى كثير من العمليات الحيوية داخل النبات بما له من ارتباط وثيق بمركبات الطاقة وعمليات انقسام الخلايا. وعلى ذلك يحتاج

النبات إليه منذ بداية النمو ويستمر الاحتياج حتى تكوين الثمار ودخول النبات مرحلة النضج.

2- **درجة ذوبان السماد وحجم حبيباته:** يفضل إضافة السماد سريع الذوبان فى الماء وفى صورة مسحوق بوضعها فى مناطق نمو الجذور وذلك فى حالة المحاصيل ذات فترة النمو القصيرة.

3- **خصائص التربة:** فى الأراضى الجيرية والأراضى العالية فى محتواها من الكالسيوم يفضل اختيار الأسمدة ذات درجة ذوبان فى الماء مرتفعة وأيضاً ذات حبيبات كبيرة. وأيضاً يُفضل إضافتها بطريقة التلقيم أو التكبيش band بجوار النبات. وفى حالة المحاصيل ذات موسم نمو طويل يفضل إضافة الأسمدة ذات درجة إذابة أقل (50%) لمثل هذه الأراضى، ولا يفضل استخدام الأسمدة الناعمة القوام (مسحوق) وذلك لتقليل فرصة تثبيت الفوسفات. وهناك العديد من الأسمدة الفوسفاتية يوضحها جدول (5-7). وقد أثبتت التجارب أنه لكى نزيد من كفاءة استخدام السماد الفوسفاتى فإنه يفضل إضافته فى جور أو شرائح بجوار البذور بدلا من إضافته نثرا، ويرجع ذلك إلى أنه فى حالة الإضافة فى جور أو خطوط تكون الكمية المعرضة للتلامس مع حبيبات التربة أقل، وبالتالى تقل فرصة حدوث عملية التثبيت.

جدول (5 – 7): أهم الأسمدة الفوسفاتية

اسم السماد	التركيب الكيميائى	ذوبان السماد	P_2O_5 %
سوبر فوسفات	$Ca(H_2PO_4)_2$ + $CaSO_4$	فى الماء	22-18
سوبر فوسفات مكرر (ثلاثى)	$Ca(H_2PO_4)_2$	فى الماء	47-46
فوسفات أحادية الأمونيوم	$NH_4H_2PO_4$	فى الماء	50-48
خبث المعادن القاعدى	$Ca_3P_2O_5.CaO$ + $CaO.SiO_2$	حمض الستريك	22-10
صخر الفوسفات المطحون	Apatite	حمض الستريك	29

الفصل السادس

البوتاسيوم Potassium

الكبريت Sulfur

الكالسيوم Calcium

الماغنسيوم Magnesium

الفصل السادس

البوتاسيوم Potassium

يُعتبر البوتاسيوم عنصر من أكبر ثلاث عناصر مغذية كبرى، حيث يمتص بواسطة النباتات بكمية تفوق باقى العناصر فيما عدا النيتروجين وفى بعض الأحيان الكالسيوم. وعلى عكس العناصر الكبرى الأخرى، فإنه لم يثبت حتى الآن دخول عنصر البوتاسيوم فى بناء المركبات العضوية الضرورية واللازمة لاستمرار وجود النبات. وبالرغم من هذه الحقائق فإن البوتاسيوم عنصر لا غنى عنه، ولا يمكن لعنصر آخر مشابه له كالصوديوم أو الليثيوم أن يحل محله تماماً، إذ يوجد البوتاسيوم دائماً على هيئة مركبات غير عضوية ذائبة، ولو أنه يتحد أيضاً بالأحماض العضوية، ويتدخل هذا العنصر فى تكوين الكربوهيدرات وما ينشأ منها من مركبات أُخرى، و يعمل على تنظيم محتويات الخلية من الماء، ويساعد فى عملية تكثيف المركبات البسيطة إلى مركبات معقدة كما أنه ينشط الإنزيمات. ويوجد هذا العنصر بكميات كبيرة فى الأعضاء الحديثة السن النشيطة النمو، وخاصة البراعم والأوراق الصغيرة وقمم الجذور وخصوصاً فى سائل الخلية Cell sap والسيتوبلازم، فى حين أنه قليل التركيز فى البذور والأنسجة الناضجة. وينتقل البوتاسيوم وبحرية تامة خلال الأنسجة؛ ولذلك يستطيع النبات أن يُعيد استخدامه مرة أُخرى بانتقاله من الأنسجة القديمة إلى الأنسجة النامية.

البوتاسيوم فى الأرض Potassium in Soil

يُعتبر البوتاسيوم من أكبر العناصر شيوعاً بالقشرة الأرضية، حيث يُمثل 0.3–2.5% من المكونات المعدنية للقشرة الأرضية. ويدخل البوتاسيوم فى تركيب بعض المعادن التى تُصبح غنية فى محتواها من هذا العنصر، وعندما تتركز هذه المعادن فى بعض الأماكن تُعتبر هذه المناطق مناجم تمد العالم بكميات كبيرة من أملاحه. ويوجد البوتاسيوم فى المعادن الأولية Primary minerals والتى تعتبر المصدر الأساسى للبوتاسيوم مثل: الفلسبارات البوتاسية Potash feldspars ومنها: الأورثوكلاز والميكروكلين Orthoclase and microcline ($KALSi_3O_8$)، وتحوى من 4 – 15% K_2O، المسكوفايت muscovite ($KAL_3Si_3O_{10}(OH)_2$)، وتحوى من 7 – 11% K2O والبيوتايت biotite ($K_2(Mg\ Fe)_2\ AL_2O_{10}\ (OH)_2$) ، كذلك يوجد البوتاسيوم فى كثير من المعادن الثانوية (الطين) وعلى هذا تكون الأراضى الغنية فى الطين ذات محتوى أكبر من البوتاسيوم بالمقارنة بالأراضى الرملية أو العضوية، وبالرغم من وجوده فى الأراضى الطينية بكمية أكبر إلا أن محلولها الأرضى لا يحتوى على كميات كبيرة منه بسبب إدمصاص هذا الكاتيون على أسطح حبيبات الطين، ولكن هناك توازن دائم بين هذه الكمية المدمصة والذائبة

فى المحلول الأرضى. وتختلف قدرة كلٍ من المركبات السابقة على إمداد المحلول الأرضى بالبوتاسيوم وذلك حسب مقاومة تلك المركبات لعوامل التجوية، ويمكن ترتيب هذه المركبات حسب سرعة تجويتها كما يلى:

الطين (الإيلليت) > الميكا(المسكوفايت والبيوتايت) > الفلسبارات (الأورثوكلاز والميكروكلين)

يوجد البوتاسيوم فى التربة الزراعية بأشكال متعددة و يمكن تقسيمها إلى:

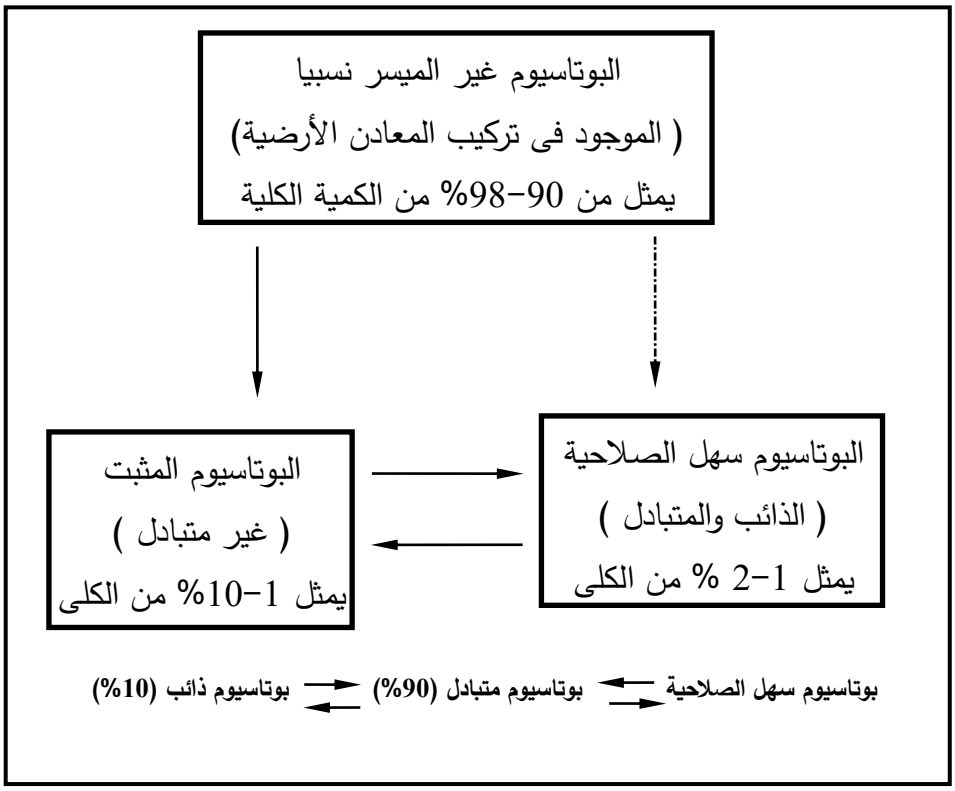
أ – البوتاسيوم الموجود فى تركيب المعادن الأرضية.

ب– البوتاسيوم المُثبت (غير قابل للتبادل).

ج– البوتاسيوم المتبادل (هذا الجزء يمكن استخلاصة بواسطة خلات الأمونيوم).

د– البوتاسيوم الذائب فى المحلول الأرضى (ذائب فى الماء).

ويطلق على الصورتين الأخيرتين غالباً البوتاسيوم المُيسر(available K)، حيث تعتبر من أسهل مصادر إمداد جذور النبات النامى بواسطة البوتاسيوم.



شكل (6–1): العلاقة بين الصور المختلفة للبوتاسيوم فى التربة الزراعية

من شكل (6–1) نجد أن هناك اتزان بين الصور المختلفة للبوتاسيوم والموجودة بالأرض. ويمكن تقسيم صور البوتاسيوم والموجودة بالأرض على أساس درجة تيسر هذه الصور للنبات إلى ثلاثة أقسام رئيسية :

1- البوتاسيوم غير المُيسر نسبياً Relatively unavailable potassium وتمثل هذه الصورة من 90 إلى 95% من البوتاسيوم الكلى.

2- البوتاسيوم (المثبت) البطئ الصلاحية Slowly availabile.

3- البوتاسيوم سريع الصلاحية Readily avialable. وتعتبر الصورتان الأخيرتان ذات تأثير معنوى من وجهة نظر تغذية النبات وإنتاج المحاصيل. ويمكن تناول الصور المختلفة بشيء من التفصيل:

أولاً: البوتاسيوم غير المُيسر نسبياً
Relatively Unavailable Potassium

الجزء الأكبر من البوتاسيوم الكلى والموجود فى الأرض يوجد فى هذه الصورة. ويتواجد البوتاسيوم والمُصَنف فى هذه الصورة فى تركيب المعادن الأولية، وأهم هذه المعادن الفلسبارات Feldspars والميكا Mica. ونظراً لأن هذه المعادن السليكاتية شديدة المقاومة لعمليات التجوية، فإن كمية البوتاسيوم المنطلقة والتى تُصبح مُيسرة للنبات تكون قليلة خلال موسم نمو المحصول. وعلى الرغم من ذلك تُعتبر هذه الصورة ذات أهمية كبيرة نظراً لمساهمتها فى الحفاظ على مستوى البوتاسيوم المُيسر على المدى الطويل، بتوافر ظروف التجوية الكيميائية وخاصةً المُذيبات مثل: الماء وحمض الكربونيك والأحماض العضوية ينطلق البوتاسيوم تدريجياً من هذه المعادن نتيجة لحدوث الإذابة والتحلل.

ثانياً: البوتاسيوم بطئ الصلاحية Slowly Available

البوتاسيوم بطئ الصلاحية يتكون من البوتاسيوم المُثبت بواسطة بعض معادن الطين مثل: الإيلليت Illite والفيرمكيولايت Vermiculite والكلورايت Chlorite، حيث يكون البوتاسيوم مرتبط أو مثبت بين طبقات السليكا والألومنيوم فى تلك المعادن. والبوتاسيوم المحجوز بهذه الطريقة لا يكون سهل التحرر أو الانطلاق إلى المحلول الأرضى، وبالتالى يكون بطئ الصلاحية للنباتات النامية. كما أن البوتاسيوم الموجود فى هذه الصورة غير قابل للتبادل مع الأيونات الأخرى المشابهة له فى الشحنة الكهربائية خلال عملية التبادل الأيونى المعروفة وبالتالى يُطلق عليه اسم البوتاسيوم غيرالقابل للتبادل Nonexchangeable أو المُثبت Fixed.

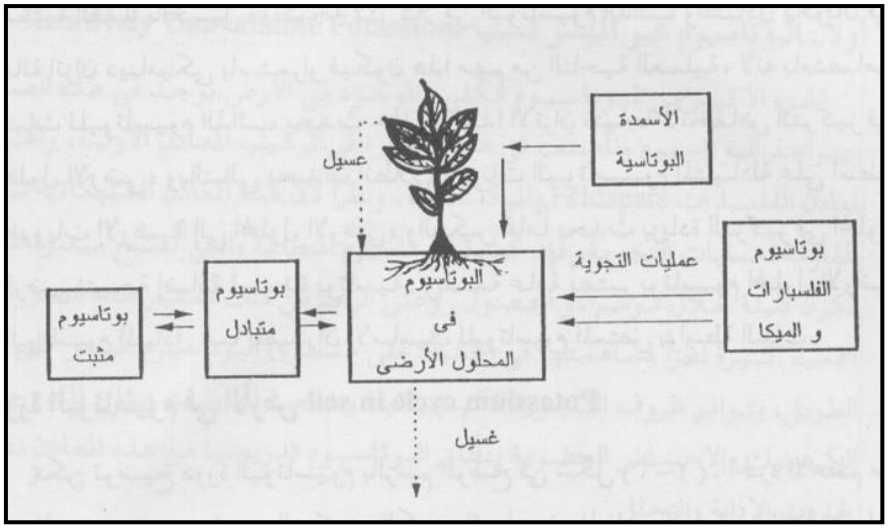
ثالثاً: البوتاسيوم سريع الصلاحية Readily Available.

تمثل كمية البوتاسيوم سهلة الصلاحية من 1–2% وهى نسبة ضئيلة من الكمية الكلية، وهى تشمل البوتاسيوم الذائب والذى يُمثل 10% من هذه الصورة والبوتاسيوم المتبادل على أسطح الغرويات الأرضية والذى يُمثل 90%. والبوتاسيوم المتبادل يكون فى حالة اتزان مع البوتاسيوم الذائب وهما يُمثلان المصدر الرئيسى للبوتاسيوم الممتص بواسطة النباتات النامية. ويعتبر البوتاسيوم الذائب فى المحلول الأرضى أكثر الصور تعرضاً لعملية الفقد بالغسيل. ونتيجة لأن كلاً من البوتاسيوم الذائب والمتبادل يكونان فى حالة اتزان ديناميكى باستمرار فيكون هذا مهم من الناحية العملية، لأنه بامتصاص النبات للبوتاسيوم الذائب يحدث خلل فى هذا الاتزان نتيجة لانخفاض التركيز فى المحلول الأرضى، وبالتالى يحدث انطلاق لأيونات البوتاسيوم المتبادلة على أسطح الغرويات الأرضية إلى المحلول الأرضى، والعكس تماماً يحدث بزيادة التركيز فى المحلول الأرضى نتيجة إضافة أسمدة بوتاسية. وبصفة عامة يُعتبر بوتاسيوم المحلول الأرضى والبوتاسيوم المتبادل هما المصدران الأساسيان للبوتاسيوم الممتص بواسطة النبات.

دورة البوتاسيوم فى الأرض Potassium cycle in soil

يمكن توضيح دورة البوتاسيوم بالرسم الموضح فى شكل (6–2). الجزء الأعظم من البوتاسيوم موجود ضمن التركيب الكيميائى لبعض المعادن الأولية، وخلال عملية التجوية سواء الطبيعية والكيماوية والبيولوجية منها يحدث تفتيت وتكسير لتلك المعادن والمتمثلة فى مادة الأصل وينتج حبيبات معدنية مختلفة الحجم يتراوح من حجم حبيبات الطين إلى حجم حبيبات الرمل، ونتيجة لعملية التفتيت لتلك المعادن تنطلق بعض العناصر ومنها عنصر البوتاسيوم، وأيضاً يحدث تكوين لبعض معادن الطين الثانوية. ووجد أن هناك علاقة بين الكمية المُنطلقة من البوتاسيوم وحجم الحبيبات الناتجة من عملية التفتت، حيث تتأثر عمليات تثبيت وانطلاق البوتاسيوم بنسبة كلٍ من كمية الرمل والسلت أو الطين، وأيضاً بنوع معدن الطين. وفى الأراضى ذات القوام الرملى أو السلتى تكون حبيباتها من الكوارتز أو معادن أخرى مثل الفلسبار، ولكن لوجود هذه الحبيبات فى هذا الحجم الكبير نسبياً تكون قابليتها للإذابة قليلة جداً، وأيضاً النشاط السطحى لها قليل وبالتالى تكون قدرتها على تثبيت البوتاسيوم قليلة جداً. ويمكن ترتيب قابلية المعادن الأولية والغنية فى البوتاسيوم حسب درجة مقاومتها إلى عملية التجوية كما يلى:

الفلسبارات > الميكا > الإيلليت



شكل (6-2): دورة البوتاسيوم فى الأرض

ومعظم البوتاسيوم الناتج من عملية التجوية يتحول إلى الصورة المتبادلة والذى يُعَرف على أنه البوتاسيوم المدمص على أسطح غرويات التربة والتى تحمل شحنة سالبة. ويمكن استخلاص هذه الصورة ببعض المحاليل الخاصة بذلك مثل: خلات الأمونيوم Ammonium acetate ، وتتوقف هذه الكمية على التركيب المعدنى للتربة – نسبة الرطوبة – ظروف التجوية – عمليات الغسيل – السعة التبادلية الكاتيونية للتربة – تركيز الأيونات الأخرى ومحتوى التربة من كبريتات وكربونات الكالسيوم (واللتان تعملان على تقليل مواقع التبادل، وبالتالى تنخفض السعة التبادلية الكاتيونية مما يقل من محتوى التربة من البوتاسيوم المتبادل). ويعتبر البوتاسيوم المتبادل صورة ميسرة للنبات، حيث ترتبط هذه الصورة بحالة اتزان سريع مع الصورة الذائبة، وقد يصعب فصل الصورتين عن بعضهما حتى أثناء التقدير الكمى. والبوتاسيوم الناتج من عملية التجوية يتحول إلى الصورة غير المتبادلة والتى تُعَرف على أنها الصورة البطيئة والمتوسطة التحرر. وهناك علاقة وثيقة بين الصورة المتبادلة وغير المتبادلة والتى تعتمد على حالة الاتزان الكيميائى بينهما، ولا يمكن النظر إلى الصورة غير المتبادلة على أنها غير ميسرة للنبات، حيث ثبت أن النباتات يمكن تمتص جزء من هذه الصورة تحت ظروف معينة. وسرعان ما تتحول هذه الصور إلى الصورة الأيونية K^+ الذائبة فى المحلول الأرضى. ومن مصادر البوتاسيوم الذائب فى المحلول الأرضى البوتاسيوم المضاف فى صورة أسمدة كيماوية. والنباتات تمتص البوتاسيوم كأيون K^+ بصورة أساسية من المحلول الأرضى وكمية قليلة من البوتاسيوم المتبادل على أسطح التبادل عن طريق التبادل بالتماس، وكمية أخرى من البوتاسيوم الذائب فى المحلول الأرضى تدخل فى تفاعلات التبادل الأيونى ويحدث لها إدمصاص على أسطح الغرويات المعدنية. وبصفة عامة هناك عدة عوامل تؤثر على الكمية الميسرة من البوتاسيوم فى المحلول الأرضى سوف نتناولها بشىء من التفصيل.

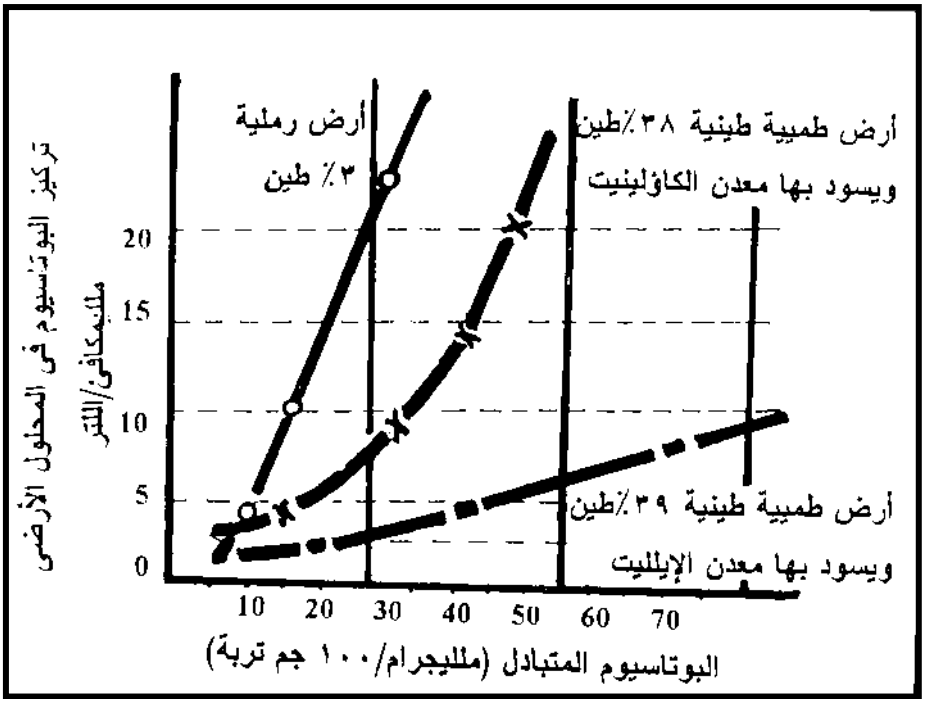
العوامل المؤثرة على تثبيت البوتاسيوم فى الأرض

1- كمية ونوع الطين:

عادةَ يتم تثبيت البوتاسيوم بواسطة معادن الطين داخل الفجوة السداسية فى طبقة التتراهيدرا السيليكا، وخاصة معادن الطين من نوع 1:2 وذلك لتقارب نصف قطر أيون البوتاسيوم (1.33 أنجستروم) مع نصف قطر هذه الفجوة (1.35 أنجستروم). وتتم عملية التثبيت نتيجة انتقال الأيون من مواقع التبادل المشبعة إلى هذه الفجوات، وبالتالى يرتبط هذا الأيون بقوة تمنعه من الانطلاق بسهولة إلى المحلول الأرضى، وبالتالى فإن معادن الطين السائدة يكون لها تأثيرها الكبير فى عملية التثبيت. ومن هنا تختلف قدرة معادن الطين فيما بينها على تثبيت البوتاسيوم. ويمكن توضيح ذلك بنتائج إحدى الدراسات فى ألمانيا Nemeth and Hrrach; سنة 1974، حيث تم استخدام ثلاث عينات تربة مختلفة فى محتواها من الطين الأولى بها 3%، الثانية بها 38% ونوع معدن الطين السائد الكاؤلينيت، بينما العينة الثالثة تحوى 39% طين لكن معدن الطين السائد هو الإيلليت. وكانت النتائج كما يوضحها شكل (3-6).

أ - عند نفس المستوى من البوتاسيوم المتبادل، كان تركيز البوتاسيوم فى المحلول الأرضى فى الأراضى الطينية منخفض عنه فى الأرض الرملية (3% طين).

ب- عند نفس المحتوى من الطين (38% و 39 % طين) يختلف تركيز البوتاسيوم فى المحلول الأرضى اعتماداً على نوع معدن الطين، حيث وجد أن العينة الغنية بمعدن الإيلليت تدمص كمية أكبر من البوتاسيوم مما أدى إلى انخفاض التركيز فى المحلول الأرضى بالمقارنة بالعينة الغنية بمعدن الكاؤلينيت.



شكل (6-3): تأثير كمية ونوع معادن الطين على كمية البوتاسيوم الذائبة فى المحلول الأرضى

وعلى ذلك فعند إضافة كميات متساوية من أسمدة البوتاسيوم (مثلاً لرفع مستويات البوتاسيوم المتبادل من 5 إلى 15 ملليجرام /100حم تربة) نجد أن تركيز البوتاسيوم فى المحلول الأرضى للأراضى الرملية والتى تحوى كمية قليلة من الطين يرتفع بشدة، ويرجع ذلك لأن الكمية القليلة من الطين يحدث تشبع لأسطح التبادل عليها بسرعة، بينما فى الأراضى الثقيلة والتى تحتوى على 39% طين فإن تركيز البوتاسيوم فى المحلول الأرضى يكون قليل ويرجع ذلك لأن محتوى تلك الأرض مرتفع من معدن الإيلليت، والذى يقوم بإدمصاص البوتاسيوم المضاف بسرعة. فى حين نجد أن الأرض الغنية فى معدن الكاؤلينيت تأخذ موقعاً متوسطاً، وعلى الرغم من أن هذه الأرض ثقيلة (بها 38% طين) إلا أن تركيز البوتاسيوم فى المحلول الأرضى يكون مرتفع كما فى الأراضى الرملية تقريباً. و يمكن تقسيم معادن الطين الموجودة فى الأرض حسب درجة تثبيتها للبوتاسيوم إلى ثلاث مجموعات أساسية يمكن توضيح ديناميكية تثبيت كل منها للبوتاسيوم فى شكل (6-4) وهذه المجموعات هى:

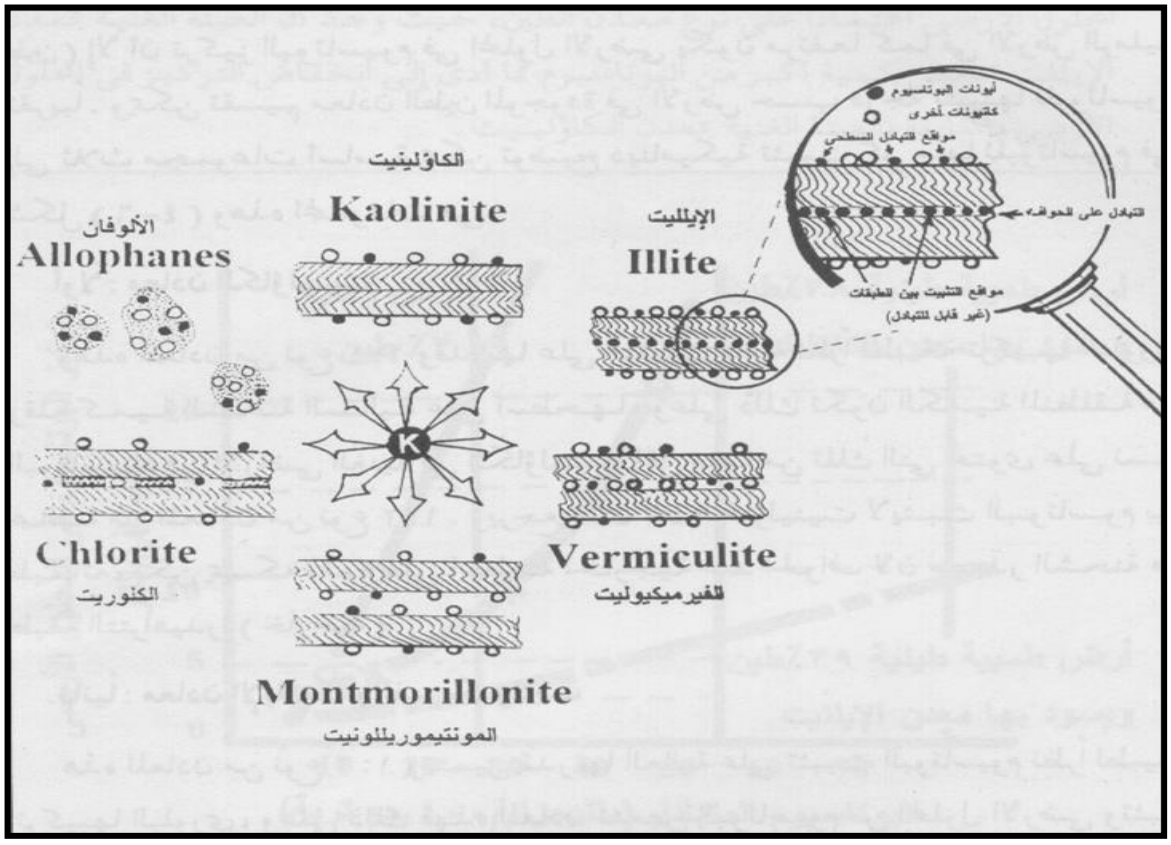
أولاً : معادن الكاؤلينيت

وهذه المعادن من نوع 1:1 وقدرتها على التثبيت قليلة نظراً لطبيعة تركيبها البلورى وقلة كمية الشحنة السالبة على أسطحها، وعلى ذلك تكون الكمية المنطلقة من البوتاسيوم فى الأراضى الغنية فى الكاؤلينيت أقل منها من تلك التى تحتوى على نسبة عالية من المعادن من

نوع 1:2. ويرجع ذلك لأن الكاؤلينيت لا يثبت البوتاسيوم بين طبقاته، لكن يمسكه بقوة على أسطحه الخارجية عند الحواف لأن مصدر الشحنة هو طبقة التتراهيدرا (خارجية).

ثانياً: معادن الإيلليت والفيرمكيولايت

هذه المعادن من نوع 1:2 وتتميز بقدرتها العالية على تثبيت البوتاسيوم نظراً لطبيعة تركيبها البلورى، وعلى ذلك فهذه المعادن تدمص البوتاسيوم من المحلول الأرضى وتثبته بين الوحدات البلورية لها، والتثبيت يتم بطريقة طبيعية وذلك لتشابه حجم كلٍ من أيون البوتاسيوم والمسافة البينية بين الوحدات البلورية، وأيضاً مما يزيد من عملية التثبيت عدم قابلية هذه المعادن على التمدد بالرطوبة. والبوتاسيوم المثبت لا يكون صالح للنبات فى حينه لكن ينطلق ببطء مع انخفاض تركيز كلٍ من البوتاسيوم المتبادل والبوتاسيوم الذائب.



شكل (6–4): رسم تخطيطى يوضح ديناميكية تثبيت البوتاسيوم بمعادن الطين المختلفة

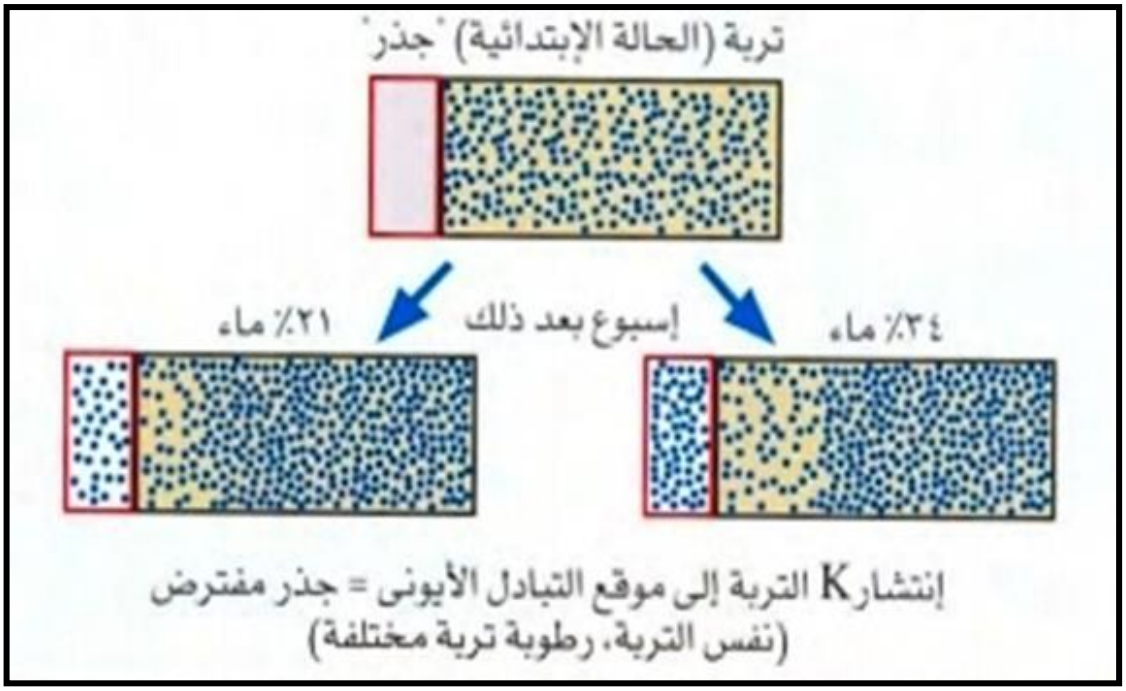
ثالثاً: معدن المونتيموريللونيت

هذا المعدن أيضاً من نوع 2 : 1، لكنه لا يُثبت البوتاسيوم نظراً لأن قوة الربط بين المعدن وأيون البوتاسيوم منخفضة؛ لأن مصدر الشحنة يكون طبقة الأوكتاهيدرا البعيدة عن السطح الخارجى وذلك عكس معدن الكاؤلينيت. وأيضاً هذا المعدن له القدرة على التمدد

والانكماش مما يساعد على حرية دخول وانطلاق أيون البوتاسيوم من مواقع التبادل المدمصة على الأسطح الداخلية بين الوحدات البلورية للمعدن. ونتيجة لأن السعة التبادلية الكاتيونية لهذا المعدن مرتفعة فمن المتوقع أن تكون كمية البوتاسيوم المتبادلة كبيرة وهى تعتبر صورة صالحة للنبات، وبالتالى يمكن القول بإن التثبيت بواسطة هذا المعدن لا يعتبر مشكلة، بل يُعتبر البوتاسيوم المتبادل مخزون صالح للاستهلاك بواسطة النبات. علماً بأنه فى حالة الجفاف الشديد يمكن أن يحدث تثبيت لجزء من البوتاسيوم الموجود على الأسطح الداخلية وسرعان ما ينطلق للمحلول الأرضى مع ابتلال هذه المعادن.

2 – محتوى الأرض من الرطوبة

غالبية البوتاسيوم الذى يمتصه النبات ينتقل إلى الجذور من المحلول الأرضى. ويتم الانتقال عن طريق التدفق الكتلى Mass flow، وأيضاً عن طريق الانتشار نتيجة لحدوث تدرج فى التركيز الناتج من امتصاص الجذور للبوتاسيوم. وعلى ذلك فإن الكمية التى تصل إلى المجموع الجذرى تعتمد على تركيز البوتاسيوم فى المحلول الأرضى القريب والبعيد عن المجموع الجذرى. وكما هو معروف بأن الانتشار يتأثر بمحتوى الأرض من الرطوبة، حيث يزداد معدل الانتشار بزيادة محتوى الأرض من الرطوبة. ولقد أوضحت نتائج التجارب التى قام بها Grimme وآخرون سنة 1971 حول تاثير محتوى الأرض من الرطوبة على معدل انتشار وحركة أيون البوتاسيوم فى المحلول الأرضى تحت مستويات مختلفة من البوتاسيوم المتبادل لعينة أرض واحدة، أن معدل الانتشار كان أعلى وأيضاً مسافة انتقال أيون البوتاسيوم كانت أطول فى الأرض الرطبة عن الأرض الجافة، ويمكن توضيح هذه النتائج كما فى شكل (6–5). ولهذا فإن الأراضى الجافة تحتاج إلى كمية أكبر من البوتاسيوم كى ينتشر أو ينتقل بصورة أسرع ليعطى أعلى درجة من التيسر للنبات.



شكل (6–5): يوضح تأثير نسبة الرطوبة بالأرض على معدل انتشار البوتاسيوم وامتصاص رطوبة مثلى – معدل انتشار مرتفع – زيادة تيسر للبوتاسيوم

كما يؤثر المحتوى الرطوبى على تثبيت البوتاسيوم بواسطة معادن الطين، حيث وجد أن التجفيف يؤدى إلى زيادة التثبيت بسبب زيادة تجمع البوتاسيوم على أسطح معادن الطين، وتعاقب الرى والتجفيف تؤدى إلى تحرر البوتاسيوم المثبت. كما لوحظ أن هناك بعض معادن الطين التى تثبت البوتاسيوم تحت ظروف الرطوبة أو الجفاف على حدٍ سواء، ويرجع ذلك إلى عدم قدرة هذه المعادن على التمدد بالرطوبة.

3 –إضافة الكالسيوم

وجد أن إضافة الكالسيوم إلى الأراضى الحامضية يؤدى إلى زيادة كمية البوتاسيوم المتبادل، حيث يقوم الكالسيوم بطرد الهيدروجين جزئياً من على أسطح التبادل، وبالتالى يسمح بدخول البوتاسيوم ويمنع فقده عن طريق الغسيل. أما فى الأراضى المتعادلة والقاعدية فإن إضافة الكالسيوم تؤدى إلى زيادة البوتاسيوم الذائب.

4 – تأثير أيون الأمونيوم

سبق وأن ذكرنا أن نصف قطر أيون البوتاسيوم K^+ (1.33 أنجستروم) مقارب إلى نصف قطر الفجوة السداسية فى طبقة التتراهيدرا (1.35 أنجستروم)، وبالتالى يحدث تثبيت للبوتاسيوم فى هذا الموقع. أيضاً وجد أن أيون الأمونيوم NH_4^+ (1.3أنجستروم) مقارب لهذه

الفجوة السداسية. ولهذا السبب فإن هناك تأثيراً متبادلاً لهذين الأيونين على تثبيت كلٍ منهما للآخر. حيث أثبتت نتائج العديد من الأبحاث أن مواقع تثبيت البوتاسيوم والأمونيوم متشابهة، وعند إضافة الأمونيوم أولاً فإن مواقع التثبيت يتم شغلها بهذا الأيون مما يؤدى إلى جعل البوتاسيوم المضاف بعده فى صورة ميسرة، وتزداد كمية الأمونيوم المثبتة بزيادة الكمية المضافة منه، ونتيجة لصغر حجمه تزداد قوة مسكه بين الطبقات. فى حين أن إضافة البوتاسيوم أولاً فإنه يعمل على تقليل الأمونيوم المثبت. ووجد أنه فى حالة إضافة كميات متساوية من الأيونين يتم تثبيت كمية أكبر من البوتاسيوم بالمقارنة بكمية الأمونيوم المثبتة

فى الأراضى العضوية والرملية يرتبط البوتاسيوم بمواقع سطحية والتى ترتبط بحالة اتزان سريع مع البوتاسيوم الذائب فى المحلول الأرضى، وإن عدد هذه المواقع فى مثل هذه الأراضى قليل جداً وكذلك الحال فى معادن الطين من نوع 1:1 والتى تمتاز بعدم قدرتها على تثبيت البوتاسيوم. وبالتالى فإن تركيز المحلول الأرضى من البوتاسيوم فى الأراضى الطينية والغنية فى معادن من نوع 1:2 يكون منخفضاً بالمقارنة مع تركيز البوتاسيوم فى المحلول الأرضى للأراضى الرملية أو الأراضى الطينية الغنية فى بمعادن من نوع 1:1 مثل معادن الكاؤلينيت، وذلك لقلة محتوى الأراضى الأخيرة على مواقع ادمصاص البوتاسيوم وانعدام مواقع التثبيت. وبالتالى يمكن التوقع بأن معدل انتشار البوتاسيوم فى الأراضى الرملية أو العضوية وحركته إلى الطبقات تحت السطحية فى القطاع الأرضى يكون أكبر عن ما هو فى الأراضى المعدنية الطينية والغنية بمعادن 1:2 وذلك عند تساوى الرطوبة فى كليهما.

اختبارات التربة للبوتاسيوم

تعتبر كمية البوتاسيوم المتبادلة فى تربة معينة هى المحددة لمدى استجابة النباتات النامية بها لإضافة البوتاسيوم من عدمه. ومن أهم الطرق المستخدمة فى هذا المجال هى طريقة الاستخلاص بمحلول خلات الأمونيوم قوته واحد أساسى، وعلى الرغم من وجود طرق عديدة ومنها طريقة محلول حمضى مخفف، إلا أنها أقل كفاءة من طريقة خلات الأمونيوم. وجدول (6-1) يوضح قيم المستويات الحرجة للبوتاسيوم فى الأراضى المختلفة القوام والمستخلصة بمحلول خلات الأمونيوم.

البوتاسيوم فى النبات

عادةً يوجد البوتاسيوم فى صورة ذائبة داخل العصير الخلوى وسوائل الأنسجة النباتية. ويوجد مرتبط بروابط ضعيفة وليس مُثبت داخل المركبات العضوية فى النبات. وعلى ذلك يكون البوتاسيوم سريع الحركة والانتقال داخل النبات، وبالتالى فهو ينتقل من الأجزاء المُسنة إلى النموات الحديثة فى الجذور والسيقان.

جدول (6-1): المستويات الحرجة للبوتاسيوم فى التربة

نوع الأرض	مستوى البوتاسيوم الصالح (ppm)		
	منخفض	متوسط	مرتفع
رملية	85 >	170- 85	170 <
رملية طميية طينية	125 >	250 -125	250 <
أرض جيرية	175 >	350 -175	350 <

عن أبو الروس وآخرون سنة 1992.

والبوتاسيوم يمتص مُبكراً عن كلٍ من النيتروجين والفوسفور ووجد أن معدل زيادة الكمية الممتصة من هذا العنصر أسرع من معدل إنتاج المادة الجافة للنبات. وهذا يعنى أن البوتاسيوم يتراكم داخل النبات أثناء فترة النمو الأولى، ثم يحدث له انتقال داخل أجزاء النبات. حيث وجد أنه عند مرحلة النضج فإن البوتاسيوم الموجود بمحصول الحبوب لنبات الذرة لا تزيد كميتة عن ثُلث الكمية الموجودة فى الأجزاء الأخرى من النبات. ويمكن إيجاز الوظائف الحيوية للبوتاسيوم فى النبات فيما يلى:

1- يعتبر منشط لعمل كثير من الإنزيمات المرتبطة بعمليات التمثيل الضوئى وتمثيل كلٍ من البروتينات والكربوهيدرات فى النبات.

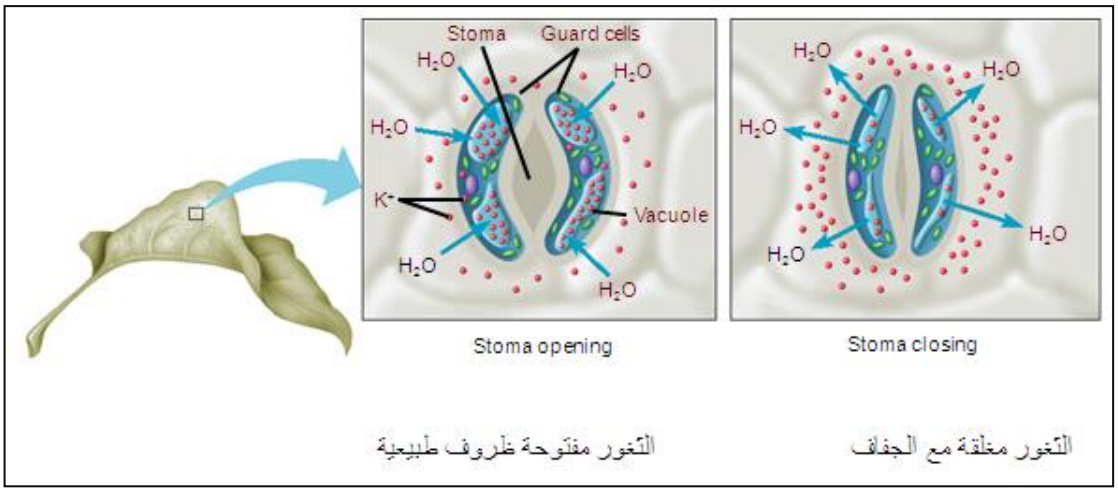
2- يساعد فى انتقال الكربوهيدرات من مناطق تخليقها إلى الأجزاء الأخرى من النبات، المحافظة على بناء البروتينات، نفاذية الأغشية والتحكم فى pH الخلية، ويساعد على الاستفادة من الماء عن طريق تنظيم فتح الثغور.

3- يحسن من الاستفادة من الضوء خلال فترات الطقس الباردة ووجود الغيوم؛ وبذلك يزيد من قدرة النبات على تحمل البرودة وذلك لتأثيره على تنشيط الإنزيمات الناقلة للكربوهيدرات التى تفقد نشاطها فى ظل ظروف البرودة.

4- يزيد من قدرة النبات على مقاومة الأمراض.

5- يزيد من حجم الحبوب والبذور ويحسن من جودة ثمار الفواكه والخضراوات.

6- يؤثر البوتاسيوم على امتصاص النبات للماء، حيث يساعد على زيادة الضغط الإسموزى للخلية، وبالتالى يتحرك الماء إلى داخل الخلية مما يؤدى إلى زيادة ضغط الامتلاء أو الانتفاخ Turgor pressure للخلية، وهذا الضغط ضرورى لتمدد الخلية. كذلك يساعد على توليد ضغط داخلى للخلية على الجدران الداخلية للخلية مما يعمل على فتح الثغور، وبالتالى زيادة عملية النتح Transpiration ودخول ثانى أوكسيد الكربون الجوى إلى داخل الورقة مما يساعد فى عملية البناء الضوئى، كذلك يزيد من عدد الثغور فى الأوراق. ونتيجة للتأثير الإسموزى للبوتاسيوم الممتص يتم تعويض نقص الماء المفقود بالنتح عن طريق امتصاص مزيد من الماء والشكل (6 – 6) يبين دور البوتاسيوم فى عمل الخلايا الحارثة للثغور و كيفية التحكم فى خروج الماء من الثغور مع تغير الظروف البيئية



الشكل (6 – 6) دور البوتاسيوم فى عمل الخلايا الحارثة للثغور

ومن خلال دور البوتاسيوم فى زيادة كفاءة ومعدل عملية التمثيل الضوئى ومحتوى النبات من الكربوهيدرات، فإنه يساعد على زيادة مساحة الأوراق فى النبات. وبمساهمة هذا العنصر فى تنشيط الإنزيمات فى جميع مراحل النمو يساعد فى الحفاظ على أكبر عدد ممكن من الأوراق النباتية بحالة نشطة حتى نهاية موسم النمو مما يؤثر على زيادة الإنتاج وتحسين نوعيته ومحتواه من الكربوهيدرات.

أعراض نقص البوتاسيوم

لأن البوتاسيوم من العناصر المتحركة داخل النبات لوجوده فى صورة ذائبة، فإن أعراض النقص لهذا العنصر تظهر أولاً على النموات المسنة. ويمكن تلخيص أهم أعراض النقص الظاهرية على النبات فيما يلى:

1- ظهور اصفرار على حواف الأوراق المسنة، ثم يحدث لها ما يشبه الاحتراق ويتحول اللون إلى البنى، ثم ينتشر اللون تدريجياً إلى داخل الورقة. أى تظهر بقع لأنسجة ميتة صغيرة، وتكون عادة على الأطراف العليا للأوراق، ثم يمتد انتشارها إلى أسفل بطول الحواف وإلى الداخل فيما بين العروق ولكنها تكون واضحة ومميزة على الحواف.

2- بطء النمو وتقزم النبات.

3- ضعف الساق للنبات وبالتالى ضعف قدرته على مقاومة الرقاد.

4- ذبول البذور والثمار وعدم اكتمال نموها.

بجانب هذه الأعراض الظاهرية فإن نقص البوتاسيوم يؤدى إلى رداءة ونوعية الثمار، وانخفاض محتوى النبات من الكربوهيدرات، كما يؤدى إلى ظهور التجعدات والذبول داخل بعض الثمار خصوصاً الطماطم والبطاطا، ويعمل على غياب اللون فى بعض الثمار مثل: التفاح وفى الطماطم يؤخر من تطور اللون. كذلك يعمل على تكوين حبوب فارغة فى محاصيل الحبوب وقرون البقوليات، كما يسبب انخفاض حموضة الموالح وانخفاض محتوى الدهون فى حبوب المحاصيل الزيتية. وسوف نتناول أعراض البوتاسيوم على نباتات بعض المحاصيل الاقتصادية:

الموالح : تظهر الأعراض باصفرار حواف الأوراق والأجزاء القريبة من التعريق ويتحول هذا اللون إلى البنى، ثم يحدث جفاف للأوراق وتسقط مبكرا قبل مواعيدها مع ظهور بقع بنية اللون على الأوراق الحديثة أحياناً. وتظهر الفريعات الحديثة رفيعة وطويلة، ثم تجف أطرافها وتموت فى أواخر فصل الصيف. أما الثمار فتكون صغيرة الحجم ذات قشرة رقيقة.

العنب : تصبح أطراف الورقة ذات لون غير طبيعى عند الحواف حيث يصبح اللون أخضر باهت أو برونزى يميل إلى البنى. ويحدث ذلك غالبا فى الأوراق الوسطى على أفرع القصبات الرئيسية قبل حدوثه على الأوراق السفلى. بينما يظهر اصفرار على الأوراق الطرفية الموجودة على الأفرع الثانوية، ويزحف هذا اللون حتى أنه يمكن رؤيته من السطح السفلى من الورقة.

القمح، الشعير والأرز : يظهر باصفرار يتحول إلى اللون البنى على حواف النصل فى الأوراق القاعدية تتجه إلى الداخل، مع أصفرار المناطق المجاورة من نصل الورقة. وتظهر أعراض نقص

البوتاسيوم فى الأراضى الثقيلة نظرا لعدم الاهتمام بالتسميد البوتاسى لهذه المحاصيل فى مثل هذه الأراضى.

الذرة : أول أعراض النقص هى قصر السلاميات، وبالتالى تقزم النباتات، ويميل لون حواف الأوراق السفلى إلى اللون البرونزى أو الأصفر، ويكون هذا التحول مستمرا من قمة الورقة إلى قاعدتها، ثم تجف وتموت هذه الحواف. ويظهر نقص البوتاسيوم على الكيزان فى صورة ضمورالحبوب فى الصفوف العليا من الكوز. كما لوحظ أعراض نقص البوتاسيوم على أصناف الهجن عالية الإنتاج فى مناطق كثيرة من مصر وذلك لعدم قدرة التربة على توفير الاحتياجات العالية لهذه الأصناف فى الوقت المناسب.

الفول البلدى، السودانى، البرسيم و محاصيل الخضر البقولية : اصفرار فى حواف الأوراق السفلية، يتحول اللون الأصفر إلى اللون البنى وبعدها تتساقط هذه الأوراق، وتظهر فى المراحل الأولى للنمو فى شكل بقع غير منتظمة باللون البنى. وتكون الأوراق غير مثبتة جيدا على الساق. وتكون البذور مجعدة وغير منتظمة، كما يتأخر النضج، ويلاحظ أعراض نقص البوتاسيوم على المحاصيل البقولية فى المناطق ذات الإنتاج المرتفع، حيث إن احتياجات النبات منه عالية وهذا لا يتوفر فى التربة.

القطن : تظهر الأعراض الأولية فى شكل ما يسمى " صدأ القطن " على صورة تبقع أبيض مصفر بين العروق على الأوراق السفلى، وتموت الأنسجة المصابة بالبقع عند مراكز البقع، وفى نفس الوقت تظهر حروق عند قمم الأوراق وحول الحواف وبين العروق، وتنكسر القمم والحواف، وتنثنى لأسفل، ومع تقدم حالة النقص يتحول لون الورقة إلى البنى المصفر، ثم يسود وتتمزق وتسقط. كما يتوقف نمو الساق والأفرع الجانبية وتنكسر وتسقط، كذلك يتوقف نمو اللوز وتفتحه وتنخفض قيمة التيلة.

البطاطس : تظهر النموات الخضرية بلون باهت، ويبدأ ظهور الأعراض على الأوراق السفلية، ويتغير لون الورقة ابتداء من قمة الورقة وحوافها فى اتجاه العرق الوسطى، ثم تصفر أجزاء الورقة بين العروق وتمتلئ بمساحات ذات لون بنى دلالة على موت الأنسجة، ثم تزحف الأعراض حتى تشمل الورقة كلها.

نماذج لأعراض نقص البوتاسيوم على بعض النباتات فى الفصل الثانى عشر

الأسمدة المحتوية على البوتاسيوم

الأسمدة البوتاسية المعروفة والمستخدمة هى:

1- **كلوريد البوتاسيوم** : يُعتبر من أرخص الأسمدة البوتاسية، ويرجع ذلك لقلة تكاليف إنتاجه، ويحوى 60% أوكسيد بوتاسيوم K_2O، 47.5% كلوريد ومن 2.8 -2.9% كلوريد صوديوم. والملح فى صورته النقية يكون على صورة بلورات بيضاء، ولكن عادةً يكون لون السماد بين الأبيض والأحمر حسب الخام المصنع منه السماد، علماً بأن اللون ليس له تأثير على السماد. وهذا السماد كامل الإذابة فى الماء، وعند إضافة السماد للتربة يحدث إدمصاص لأيون البوتاسيوم على أسطح الغرويات الأرضية، وبالتالى يحفظ من عملية الغسيل، ويُمتص فى صورة أيون بواسطة الجذور. ويعتبر هذا السماد متعادل فى تأثيره فى التربة حيث لا يسبب أى حموضة أو قاعدية لها. وهذا السماد ملاءم لمعظم المحاصيل وخاصة بنجر السكر، وأيضا لمعظم الأراضى عدا الأراضى المتأثرة بالأملاح بسبب ارتفاع محتواه من الكلوريد، لكن هناك بعض المحاصيل مثل: التبغ والبطاطا يتأثر جودة محصولها بزياة الكلوريد، ولذا يفضل استخدام كبريتات البوتاسيوم فى تسميدها.

2- **كبريتات البوتاسيوم:** ملح هذا السماد عبارة عن بلورات بيضاء ويحتوى من 48% إلى 52% K_2O، 18% كبريت، أيضاً هذا السماد كامل الذوبان فى الماء ويعتبر سماد ممتاز من ناحية ملاءمته لكل أنواع الأراضى والمحاصيل. ويعتبر هذا السماد مصدر لعنصر الكبريت. ويستخدم للمحاصيل الحساسة للكلوريد مثل: التبغ والبطاطا والفواكه والخضراوات. وأيضاً يستخدم فى تسميد المحاصيل المنزرعة فى الأراضى المتأثرة بالأملاح أو الزراعات المحمية حيث إن تراكم الكلوريد فى هذه الأراضى يزيد من مشاكلها.

3- **نترات البوتاسيوم:** سماد أبيض يميل إلى اللون الأسمر ويعتبر من الأسمدة المركبة الجيدة لكونه بجانب احتوائه على 46% K_2O فهو يحتوى أيضاً على 13- 14% نيتروجين.

4- **كبريتات البوتاسيوم والماغنسيوم:** توجد العديد من الأسمدة التى تحتوى على كلٍ من البوتاسيوم والماغنسيوم فى صورة كبريتات. وتنتج هذه الأسمدة بكميات تجارية فى أوروبا والولايات المتحدة الأمريكية، وتحوى هذه الأسمدة على حوالى 22 - 30% K_2O، 10 - 19% MgO، 16 - 23% كبريت. وهذه الأسمدة يوصى باستخدامها خاصة فى الأراضى الحامضية والتى تعانى من نقص فى الماغنسيوم، وأيضاً للمحاصيل التى تحتاج البوتاسيوم بكمية كبيرة مثل: البطاطس، الفواكه، الخضراوات، وأشجار الغابات.

طريقة وميعاد إضافة السماد :

كما سبق ذكره فإن هذه الأسمدة ذائبة فى الماء إلا إنها أبطأ فى حركتها من الأسمدة النتراتية خاصةً فى الأراضى الثقيلة، حيث يحدث لها إدمصاص على أسطح الغرويات الأرضية وأحياناً تثبيت. وبناء على قابلية هذه الأسمدة للذوبان فيجب مراعاة إضافتها بعيداً عن البذور وخاصةً عند استعمال كمية كبيرة منها. ونتيجة لعدم حساسية البادرات للبوتاسيوم كما هو الحال بالنسبة للنيتروجين والفوسفات فإن طريقة إضافتها سواء كانت نثراً أو بطريقة التلقيم أو التكبيش أو الخطوط تعطى نفس النتيجة تقريباً إلا فى الأراضى الفقيرة فيفضل طريقة النثر لرفع درجة الخصوبة. ومن ناحية ميعاد الإضافة، تمتاز هذه الأسمدة بإمكان استعمالها قبل وأثناء الزراعة، وذلك لعدم تعرضها للفقد كثيراً، أو التثبيت كالأسمدة النيتروجينية وخاصةً فى الأراضى الثقيلة، ووجد أن نثر هذه الأسمدة مبكراً قد يفيد بعض المحاصيل مثل: الفول السودانى وذلك نتيجة حركتها الجزئية لأسفل مما يعطى فرصة أكبر لامتصاصها بواسطة جذور النبات.

الكبريت Sulphur

الكبريت فى الأرض Sulphur in Soil

يوجد الكبريت فى التربة الزراعية فى الصورة المعدنية و الصورة العضوية، حيث يصل الكبريت إلى التربة، إما فى صورة مخلفات زراعية، أسمدة معدنية ، مع مياه الأمطار، أو مع المكونات المعدنية للتربة والناتجة من عمليات التجوية للصخور الغنية فى الكبريت والناتجة من النشاط البركانى. ويمكن توضيح هذه المصادر بشىء من التفصيل:

الكبريت المعدنى فى التربة:

يوجد فى تركيب بعض المعادن الأرضية ومنها البيريت FeS_2 Pyrite– الكالكوبيريت ($CuFeS_2$) Chalcopyrite خاصةً فى الأراضى الغدقة، فى حين يوجد الجبس أو كبريتات الكالسيوم $CaSO_4$ فى المناطق الجافة، و يزداد تراكم الكبريت مع بعض مركبات الكبريتات لعناصر الماغنسيوم والصوديوم.

الكبريت العضوى:

يعتبر الكبريت العضوى هو الصورة الأكثر وجوداً فى الطبقة السطحية من الأرض الزراعية، حيث تُعتبر المادة العضوية مصدراً رئيسياً للكبريت فى الأرض الزراعية وخاصةً فى المناطق الرطبة، ويوجد الكبريت فى تركيب الأحماض الأمينيه مثل: السيستين – السستئين والمثيونين، وهذه المكونات تتحلل بفعل الكائنات الأرضية وينطلق منها الكبريت المعدنى فى عملية تُعرف بعملية المعدنة Mineralization للكبريت.

الكبريت المضاف للتربة مع مياة الأمطار والأنهار:

كنتيجة لاحتراق المركبات الكبريتية كالفحم والمواد البترولية، وأيضاً مع الأبخرة الناتجة من النشاط البركانى تنطلق بعض الأكاسيد الكبريتية مثل: أكسيد الكبريت SO_2 إلى الهواء الجوى. وهذه الغازات تصل إلى الأرض مرة أخرى عن طريق مياه الأمطار أو مياة الأنهار، كذلك يمكن للنبات امتصاص الكبريت على هذه الصورة (SO_2). علماً بأنه إذا زاد تركيز هذه الغازات فى الهواء الجوى عن حد معين قد يؤدى إلى أضرار كبيرة بالنباتات النامية بهذه المناطق خاصةً إذا كانت هذه المناطق ممطرة: حيث تكون الأمطار حامضية التأثير مما يُضر بالنباتات، وخير مثال على ذلك تلف مساحات واسعة من الغابات المتاخمة للمناطق الصناعية فى أوروبا نتيجة لهذه الأمطار الحامضية.

دورة الكبريت فى الطبيعة:

يمثل شكل (6–6) التحولات المختلفة للكبريت فى الأرض، وهذه التحولات ناتجة من العديد من العمليات المختلفة والتى تشمل:

1– معدنة الكبريت العضوى:

يُعتبر الكبريت العضوى فى حيينه صورة غير ميسرة للنبات. وبتحلل المادة العضوية وحدوث عملية المعدنة للكبريت يتحول إلى كبريتيد الهيدروجين، ثم إلى كبريتات. ومن ثم يصبح فى صورة صالحة للنبات. وعملية معدنة الكبريت مثلها مثل عملية معدنة النيتروجين تتوقف على نسبة الكربون إلى الكبريت C / S ratio فى المادة العضوية بالأرض، حيث وجد أن عملية المعدنة تسود إذا كانت هذه النسبة أقل من 200، بينما إذا زادت عن 400 يحدث تمثيل Immobilization للكبريت الذائب فى المحلول الأرضى داخل أجسام الكائنات الأرضية الدقيقة والقائمة بعملية التحلل، فى حين تتساوى عملية المعدنة للكبريت مع عملية التمثيل لنفس العنصر إذا انحصرت نسبة الكربون إلى الكبريت ما بين 200 و400. ويمكن توضيح عملية المعدنة هذه بأن الكبريت يوجد فى المركبات العضوية فى صورة مجموعة السلفاهيدريل SH-، وبعملية المعدنة ينفرد الكبريت فى صورة H_2S، وتحت الظروف الهوائية سرعان ما يتأكسد إلى الكبريتات $SO4^{2-}$ ، بينما تحت الظروف اللاهوائية يتأكسد H_2S إلى الكبريت العنصرى (S) بواسطة بكتريا ذاتية التغذية الكيماوية Chemotrophic sulphur bacteria مثل Biggiatoa,Thiothrix، وتحت الظروف الهوائية تقوم نفس البكتيريا بأكسدة الكبريت العنصرى (S) إلى حمض الكبريتيك H_2SO_4 ، كما يمكن أيضاً للكبريت العنصرى (S) أن يتأكسد بواسطة البكتريا الذاتية التغذية الكيماوية مثل Thiobacillus ويمكن تمثيل تلك العملية بالمعادلة التالية:

$$2H_2S + O_2 \Rightarrow 2H_2O + 2S + E$$

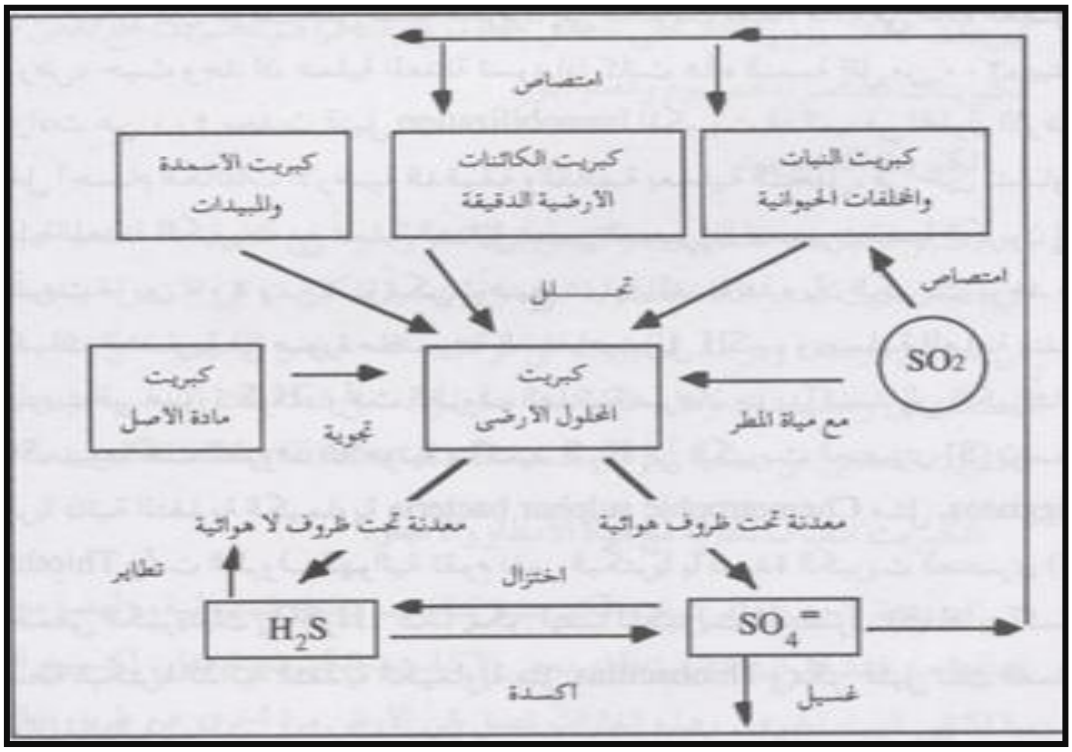
$$2S + 3O_2 + 2H_2O \Rightarrow 2H_2SO_4 + E$$

$$\text{net: } 2H_2S + 4O_2 \Rightarrow 2H_2SO_4 + E$$

وهنا يجب ملاحظة أن ناتج عملية الأكسدة للكبريت هو تكوين حمض الكبريتيك الذى يؤدى إلى زيادة حموضة الأرض، وهذه العملية تحدث أيضاً عند إضافة الكبريت للأراضى القاعدية بغرض خفض رقم الـ pH لها.

أيضاً فى الأراضى الغدقه والتى تحتوى على كبريتور الحديد FeS وعند توافر ظروف التهوية الجيدة يحدث أكسدة لهذا المركب، ويتكون الكبريت العنصرى والذى سرعان ما يتأكسد إلى الكبريتات، ويتم هذا التأكسد كيميائياً أو بواسطة الكائنات الدقيقة حسب المعادلة التالية:

$$2FeS + 2H_2O + O_2 \Rightarrow 2Fe(OH)_2 + S$$



شكل (6-6): دورة الكبريت فى الطبيعة

ويؤدى غمر الأرض بالماء إلى نشوء ظروف التهوية السيئة، وبالتالى تسود ظروف الاختزال، ويتم اختزال الكبريتات بواسطة بكتريا من جنس Desulfovibrio إلى كبريتور الأيدروجين H_2S ويتحد جزء منه مع الحديد ويتكون كبريتور الحديد والجزء الأخر يمكن أن يحدث له فقد إلى الغلاف الجوى.

2- أكسدة الكبريت:

من دورة الكبريت نجد أنه بعد حدوث عملية المعدنة للكبريت يتحول إلى H_2S تحت الظروف اللاهوائية، ويمكن أن يُفقد جزء من الكبريت الأرضى على هذه الصورة للغلاف الجوى. بينما تحت الظروف الهوائية يتكون أنيون الكبريتات SO_4^{2-}، وهذا الأنيون متحرك فى التربة لزيادة قابلية ذوبان أملاحه فى التربة، وعلى ذلك من المتوقع حدوث فقد للكبريت من التربة على هذه الصورة عن طريق غسيل هذا الأنيون مع مياه الصرف. وتعتبر الكبريتات هى الصورة التى

يمتص الكبريت عليها، وبعد امتصاص النبات للكبريتات يحدث اختزال لها وتدخل فى تكوين المركبات العضوية التى يدخل الكبريت فى تكوينها. أيضاً يمكن أن يحدث تمثيل للكبريت داخل أجسام الكائنات الدقيقة الموجودة بالأرض، ثم يعود الكبريت العضوى مرة أخرى للأرض مع المخلفات النباتية والحيوانية وتعاد الدورة مرة أخرى.

3 –كبريت الغلاف الجوى:

كذلك توضح الدورة أن من مصادر الكبريت الأرضى الكبريت الموجود فى الهواء الجوى على صورة أكاسيد كبريتية والتى تصل إلى الأرض إما بطريقة مباشرة مع مياه الأمطار أو الأنهار، أو بطريقة غير مباشرة حيث يستطيع النبات الاستفادة من هذه الصورة مباشرةً بامتصاص SO_2 عن طريق الأوراق، وبعد ذلك يصل الكبريت للأرض مع المخلفات النباتية.

أيضاً يجب ذكر أن من المصادر الأخرى للكبريت بالأرض الأسمدة التى تحوى عنصر الكبريت مثل الأسمدة النتروجينية والفوسفاتية وأسمدة أخرى، كذلك يضاف للأرض فى صورة مُبيدات فطرية وخلافة.

تفاعلات الكبريت فى التربة:

مما سبق نجد أن الصورة المعدنية للكبريت سواء الناتج من عمليات التجوية لمادة الأصل أو من عملية معدنة الكبريت العضوى أو من إضافة الأسمدة هى الكبريتات SO_4^{2-}. وهذه الصورة تتعرض لتفاعلات مختلفة بالتربة، و بالتالى قد تؤثر هذه التفاعلات سلبياً على الكمية الميسرة من هذا العنصر للنبات وأهم هذه التفاعلات ما يلى:

أ – تفاعلات الادمصاص:

تتعرض أيونات الكبريتات إلى تفاعلات التبادل الأنيونى ومنها الادمصاص ويتوقف ذلك على توافر المعادن الأرضية أو الغرويات التى تحمل شحنة موجبة، مثل معادن من نوع 1 : 1 ومنها الكاؤلينيت، كذلك يحدث ذلك على أسطح الأكاسيد السداسية للحديد والألومنيوم. وبصفة عامة تزداد عملية الادمصاص هذه فى الأراضى الحامضية، وذلك لأن مع انخفاض رقم الـ pH للأرض تكتسب الغرويات الأرضية ومنها الأكاسيد السداسية شحنة موجبة وهى شحنة مخالفة للكبريتات، وبالتالى يحدث الادمصاص. كذلك وجد أن هناك تنافس بين أنيونات الفوسفات والكبريتات على مواقع الادمصاص على الغرويات الأرضية، وبالتالى يمكن القول بإن الاستخدام الزائد من الفوسفات يؤدى إلى حدوث فقد فى الكبريت من الأرض عن طريق الغسيل فى صورة كبريتات.

ب – ترسيب الكبريتات :

فى الأراضى الجافة وشبه يتعرض الكبريت للترسيب على هيئة أملاح الكبريتات لأيونات موجبة الشحنة مثل: الكالسيوم والماغنسيوم والصوديوم والبوتاسيوم وذلك حسب سيادة الكاتيون فى الوسط، وبغض النظر عن درجة ذوبان هذه الأملاح إلا إنها تُعتبر مصدراً جيداً للكبريت بالنسبة للنبات. بينما تحت الظروف سيئة التهوية يحدث الترسيب فى صورة كبريتور، مثل كبريتور الحديد (FeS).

الكبريت فى النبات Sulphur in Plant

يتوزع الكبريت توزيعاً منتظماً بين الأعضاء والأنسجة المختلفة للنبات، فهو أحد مكونات بعض الأحماض الأمينية مثل السيستين والسستيئينن، وهى أحماض أمينية أساسية فى تركيب البروتينات والثيامين (Thiamine (vitamin B_1، والبيوتين Biotin وهما هرمونان مهمان للنبات. كذلك يدخل الكبريت فى تكوين الجليكوسيدات مثل: السنجرين الذى يعطى الرائحة والطعم الخاصين لبعض الأنواع النباتية كالخردل والبصل والثوم. والجزء الأعظم من الكبريت يوجد فى بروتين الكلوروبلاست Chlorplasts والذى يحتوى على الكلوروفيل، وعند نقص الكبريت يتأثر تكوين الكلوروبلاست، وبالتالى تظهر الأوراق شاحبة اللون. ويتراوح المحتوى الكلى من الكبريت فى أنسجة النبات مابين 0.2% إلى 0.5% كبريت.

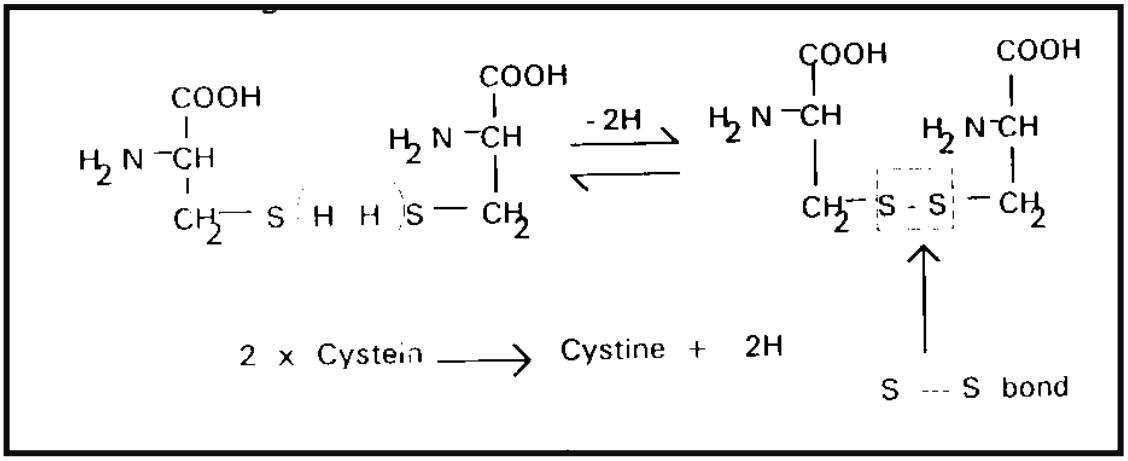
يمتص النبات الكبريت بواسطة الجذور على صورة كبريتات بواسطة الأوراق على صورة ثانى أكسيد الكبريت SO_2 سرعان ما تُختزل إلى مجموعة السلفاهيدريل SH- لتكوين المركبات العضوية المختلفة وأهمها الأحماض الأمينية، وبالتالى البروتينات. ويمكن إيجاز خطوات اختزال الكبريتات وتكوين الأحماض الأمينية كما يلى:

أولاً: تختزل الكبريتات ويتكون الحمض الأمينى السيستين Cysteine كما فى المعادلة:

$$H_2SO_4 + ATP + 8H + \text{acetyl serine} \Rightarrow$$
$$\text{cysteine} + \text{acetate} + 3H_2O + AMP + P \sim P$$

ومن المعادلة نجد أن عملية اختزال الكبريتات يلزمها طاقة، وهذه الطاقة يكون مصدرها مركبات الفوسفور الحاملة للطاقة مثل: أدينوزين تراى فوسفات ATP، والهيدروجين كمختزل.

ثانياً : يتحد 2 جزىء من السيستين ويتكون السيستئين Cystine كما افى المعادلة:



أعراض نقص الكبريت:

تتشابه أعراض نقص الكبريت إلى حد كبير مع أعراض نقص النيتروجين، إذ تتراكم الأحماض الأمينية والمركبات الأزوتية الأخرى داخل النباتات التى تعانى نقصاً من الكبريت، ويعزى ذلك إلى احتمال بطء معدل تخليق البروتينات فى هذه النباتات بالمقارنة بالنباتات التى يتوفر لها كفايتها من الكبريت. وتتلخص أعراض نقص الكبريت بإصفرار عام للنموات الخضرية وخاصةً الأوراق والعروق، بالأوراق يكون لونها أفتح من باقى أنسجة الورقة وتظل الورقة غضه ولا تجف حتى بتقدم العمر، وتصبح السيقان ضعيفة وقصيرة ومتقزمة. ويمكن التميز بين أعراض نقص الكبريت وأعراض نقص النيتروجين من موضع ظهور الأعراض على الأوراق، حيث تظهر أعراض نقص الكبريت على الأوراق الحديثة أولاً؛ وذلك لأنه عنصر غير متحرك داخل النبات، فى حين تظهر أعراض نقص النيتروجين على الأوراق المسنة لكون الأخير من العناصر المتحركة فى النبات.

نماذج لأعراض نقص الكبريت على بعض النباتات فى الفصل الثانى عشر

الأسمدة المحتوية على الكبريت

ونادراً ما تظهر حالات نقص الكبريت على النباتات نتيجة لوصول الكبريت إلى الأرض بطريقة غير مباشرة مع كثير من الأسمدة مثل: السوبر فوسفات، وكبريتات الأمونيوم وكبريتات البوتاسيوم، كذلك فى صورة بعض المبيدات الفطرية وخلافه، بالإضافة إلى إضافته لعلاج مشاكل القلوية فى بعض الأراضى على صورة جبس زراعى. وفى حالة ظهورها تكون فى الأراضى البعيدة عن البحار أو المناطق الصناعية أو فى بعض المناطق الرطبة غزيرة المطر.

وجدول (6–2) يبين أهم الأسمدة التى تحتوى على الكبريت والتى يمكن استخدامها لتعويض النقص منه فى الأرض.

جدول (6–2): يبين أهم الأسمدة المستخدمة والتى تحتوى على الكبريت

السماد	% للكبريت(S)	% للعناصر الرئيسية الأخرى
كبريتات الماغنسيوم الا مائية $(MgSO_4)$	26.5	MgO %33.0
كبريتات الأمونيوم $(NH_4)_2SO_4$	24.0	N 21.0
كبريتات البوتاسيوم والماغنسيوم $(K_2SO_4,MgSO_4)$	22.0 – 16.0	K_2O %30.0 – 26.0
كبريتات البوتاسيوم K_2SO_4	18.0	K_2O %50.0
الجبس $2H_2O.CaSO_4$	18.0	CaO %32.0
السوبر فوسفات $2CaSO_4.Ca(H_2PO_4)_2$	16.0	CaO %20 ، P_2O_5 %18.0
كبريتات الأمونيوم والنترات $(NH_4)SO_4.2NH_4NO_3$	15.0	N %26.0

الكالسيوم Calcium

الكالسيوم فى الأرض Calcium in Soil

يوجد الكالسيوم بتركيز مرتفع فى القشرة الأرضية بالمقارنة بباقى العناصر المغذية الأخرى باستثناء الأكسيجين والحديد حيث تكون نسبته حوالى 3.64%، بينما تكون نسبته فى التربة الزراعية حوالى 1.5%. ويتواجد الكالسيوم فى التربة فى عدة صور تختلف درجة صلاحيتها بالنسبة للنبات وهذه الصور هى:

أ – معادن حاملة للكالسيوم:

يدخل الكالسيوم فى تركيب العديد من المعادن السيليكاتية مثل: الفلسبارات Feldspars و Amphiboles ومركبات الفوسفات مثل: مجموعة الأباتيت، وكربونات الكالسيوم المختلفة مثل: الكالسيت $CaCO_3$ والدولوميت $CaCO_3.MgCO_3$ ، وتعتبر المركبات الأخيرة ذات تأثير كبير فى الأراضى الجيرية، حيث يرتفع تركيز الكالسيوم فى هذه الأراضى إلى نسبة تتراوح بين 10 – 70% كالسيوم.

وتختلف الأراضى فيما بينها اختلافاً كبيراً فى محتواها من الكالسيوم، ويرجع ذلك إلى مادة الأصل الناشئة منها هذه الأرض كذلك على قابلية المعادن الحاوية للكالسيوم على التجوية والذوبان ومدى تعرض هذه الأراضى للأمطار. وتعتبر الأراضى الموجودة فى المناطق الجافة وشبه الجافة غنية فى الكالسيوم وذلك لوفرة المركبات المعدنية المترسبة والتى يدخل فى تركيبها الكالسيوم مثل الكالسيت، والدولوميت، والجبس، والأباتيت وغيرها من المعادن الأولية والثانوية، مع ملاحظة أن معدل تحرر الكالسيوم من هذه المركبات بطئ جداً وذلك لارتفاع رقم الـ pH فى هذه المناطق، وتعتبر الأراضى المصرية غنية فى الكالسيوم نظراً لزيادة محتواها من المعادن الحاملة له حيث تتراوح نسبة كربونات الكالسيوم فى أراضى الوادى والدلتا ما بين 2 – 3%، بينما الأراضى الجيرية والتى توجد بمساحات واسعة فى الساحل الشمالى الغربى وبعض المناطق فى سيناء وأراضى الهضبة الشرقية المتاخمة لوادى النيل وأيضاً فى بعض مناطق الاستصلاح فى غرب النيل تكون نسبة كربونات الكالسوم بها من 10 – 60 %. فى حين نجد فى المناطق الرطبة والأراضى الحامضية يكون محتواها من الكالسيوم منخفض جداً بالمقارنة بأراضى المناطق الجافة وذلك لتعرض الأراضى فى الحالة الأولى للأمطار مما يؤدى إلى غسيل الكالسيوم من على أسطح التبادل للغرويات الأرضية ويحل محله أيون الأيدروجين مما يؤدى إلى زيادة حموضة هذه الأراضى. وتعتبر درجة ذوبان المركبات الحاوية للكالسيوم ومنها الكالسيت

ذات أهمية من حيث تغذية النبات أومن حيث حموضة وقاعدية الأرض. فالكالسيت من المركبات القليلة الذوبان حيث إن درجة ذوبانه فى الماء قليلة (10 – 15 جزء فى المليون). لكن بانخفاض رقم الـ pH سواء بزيادة وجود غاز ثانى أكسيد الكربون CO_2 أو إضافة الأسمدة ذات التأثير الحامضى مثل كبريتات الأمونيوم (ينتج من عملية التأزوت للأمونيوم أيونات الأيدروجين) كذلك إضافة المادة العضوية، كل ذلك يساعد فى ذوبان الكالسيت كما فى المعادلة التالية:

$$CaCo_3 + CO_2 + H_2O \Rightarrow Ca(HCO_3)_2$$

بينما يكون تأثير أيون الأيدروجين كما يلى:

$$CaCO_3 + 2H^+ \Rightarrow Ca^{2+} + H_2O + CO_2$$

وبالتالى يمكن أن يتحرر أيون الكالسيوم نتيجة تأين البيكربونات، أيضاً يمكن أن تتكون البيكربونات الناتجة من تأين حمض الكربونيك الناتج من العمليات الحيوية بالتربة مثل تنفس الجذور والكائنات الأرضية وأيضاً الناتج من تحلل المادة العضوية.

ب- الكالسيوم المدمص (المتبادل):

يوجد الكالسيوم مدمص على أسطح الغرويات الأرضية سواء المعدنية منها أو العضوية، ويعتبر الكالسيوم المدمص ذو أهمية كبيرة فى المحافظة على بناء جيد للتربة حيث يشجع أيون الكالسيوم على تكوين التجمعات الأرضية مما يزيد من المسافات البينية بين الحبيبات خاصة فى الأراضى الطينية وبالتالى تزداد عمليات التهوية مما يؤثر إيجابياً على كفاءة امتصاص الجذور للأيونات. وتختلف كمية الكالسيوم المتبادل فى الأرض حسب نوع معادن الطين السائدة فى هذه الأرض، فمثلاً نجد أن الأراضى الغنية فى معادن من نوع 1:2 يمثل الكالسيوم المتبادل منها حوالى 80% من السعة التبادلية الكاتيونية لهذه الأرض. فى حين نجد أن هذا الرقم ينخفض إلى 20% فى الأراضى الغنية بمعدن الكاؤلينيت وهو من المعادن من نوع 1:1. ويعتبر الكالسيوم المتبادل رصيد للكالسيوم الذائب فى المحلول الأرضى لوجود حالة من الاتزان بينهما علماً بأنه لا يمكن القول بأن كل الكالسيوم المتبادل ميسر للنبات وذلك لأن قوة ربط أيون الكالسيوم على سطح الغروى هى التى تحدد ذلك.

جـ- الكالسيوم الذائب:

معظم الأراضى المعدنية يحتوى محلولها الأرضى على كمية كافية من الكالسيوم لسد حاجة المحاصيل المختلفة والنامية فيها. بينما قد تعانى الأراضى العضوية من نقصه نتيجة لادمصاص الكالسيوم على الدبال وتكوين معقدات عضوية للكالسيوم غير ذائبة. وفى الأراضى

الحامضية نتيجة لإحلال الأيدروجين محل الكالسيوم على مواقع التبادل فإنه يحدث للكالسيوم غسيل من المحلول الأرضى. وتتأثر الكمية الذائبة فى المحلول الأرضى بعوامل مختلفة من أهمها: رقم الـ pH حيث يحدث ترسيب للكالسيوم فى صورة مركبات عديدة بارتفاع هذا الرقم وعلى الرغم من ذلك تحتوى هذه الأراضى على كمية كافية من الكالسيوم صالحة لتغذية النبات. بينما فى الأراضى الحامضية يقل الكالسيوم الذائب وسبق تفسير سبب ذلك. أيضاً لنوع معدن الطين وكمية المادة العضوية تأثير كبير على الكمية الذائبة.

الكالسيوم فى النبات Calcium in Plant

يوجد الكالسيوم فى معظم النباتات بكميات كبيرة وخاصة فى الأوراق. وتحتوى الأوراق المسنة على الكمية العظمى من الكالسيوم عكس الفوسفور والبوتاسيوم اللذين يوجد معظمهما فى الأوراق الحديثة، ويُثبت معظم الكالسيوم فى جدر الخلايا على صورة بكتات الكالسيوم Calcium pactate والتى تكون الصفيحة الوسطى وهذا ضرورى فى الانقسام الميتوزى للخلية، كما يعمل الكالسيوم على المساعدة فى ثبات الجدر الخلوية وكذلك فى الحفاظ على تركيب الكروموسومات. وفى كثير من الأنواع النباتية يوجد الكالسيوم على هيئة بلورات غير ذائبة من أكسلات الكالسيوم. وقد يكون الكالسيوم أملاحاً مع الأحماض العضوية الأخرى كما يحتمل دخوله فى التفاعلات الكيميائية مع جزيئات البروتين. ويمثل أيون الكالسيوم أحد المكونات الهامة للعصير الخلوى، وأيضاً يعتبر هذا العنصر ضرورى لاستكمال واستمرار القمة المرستيمية، حيث وجد أنه بغياب الكالسيوم يقل نشاط الانقسام المباشر وقد يقف تماماً. كذلك يساعد الكالسيوم فى نشاط كثير من الإنزيمات مثل Phospholipase, Argin, Kinase, Adenosine Triphosphates كما وجد أنه يعمل على معادلة الأحماض العضوية بالخلايا مما يقلل من سميتها.

أعراض نقص الكالسيوم على النبات:

يعتبر الكالسيوم من العناصر الغير متحركة داخل النبات حيث قليلاً ما يعاد توزيعه داخل الخلايا النبات إذا ما قل تركيزه أو انعدم وجوده حول الجذور. فقد تحتوى الأوراق المسنة لنبات ما على كميات كبيرة من الكالسيوم المخزون، فى حين تعانى الأوراق الحديثة لنفس النبات نقصاً فى هذا العنصر. وعموماً قلما تظهر أعراض نقص الكالسيوم على النباتات النامية فى الحقل وخاصة فى أراضى المناطق الجافة وشبه الجافة ومنها الأراضى المصرية، بينما العكس يمكن حدوثه بظهور أعراض النقص على النباتات النامية فى الأراضى الحامضية. ويمكن إيجاز أهم الأعراض كما يلى:

1- تبدأ ظهور الأعراض على الأوراق الحديثة، حيث تكون هذه الأوراق مشوهه وصغيرة ولونها الأخضر الداكن غير عادى.

2- الأوراق تصبح مجعدة ويحدث لها التفاف إلى أسفل وتظهر الحواف متموجة وغير منتظمة، ويحدث أن تصبح الأوراق طرية نتيجة انحلال جدر الخلايا ويقف نمو البرعم الطرفى، مع حدوث تكسير فى السويقات الصغيرة.

3- يحدث ضعف أو تلف ملحوظ فى الجذور، ويمكن أن يحدث تعفن لها، كذلك يحدث ضعف عام للسيقان.

4- تظهر نقط جافة على البراعم الطرفية ويحدث تساقط للأزهار.

5- يسبب نقص الكالسيوم ظهور مرض يسمى Btter pit على ثمار التفاح والذى يتميز بظهور بقع بنية صغيرة غائرة ومنتشرة على كافة سطح الثمرة. أما ثمار الطماطم فتصاب بمرض يسمى بعفن الطرف الزهرى للثمرة Blossom-end rot حيث تتهدم الخلايا وتتعفن فى الجهة السائبه من الثمرة.

نماذج لأعراض نقص الكالسيوم على بعض النباتات فى الفصل الثانى عشر

الأسمدة المحتوية على الكالسيوم:

يدخل الكالسيوم فى تركيب كثير من الأسمدة كما هو موضح فى جدول (6-3).

جدل (6-3): الأسمدة المحتوية على الكالسيوم

السماد	الرمز الكيميائى
سوبر فوسفات عادى	$Ca(H_2PO_4)_2 . CaCO_3$
سوبر فوسفات ثلاثى	$Ca(H_2PO_4)_2$
نترات النشادر الجيرى	$NH_4NO_3 . CaCO_3$
نترات الكالسيوم	$Ca(NO_3)_2$
نترات الجير المصرى	$Ca(NO_3)_2$

الماغنسيوم Magnesium

الماغنسيوم فى الأرض Magnesium in Soil

يوجد الماغنسيوم فى الأراضى بكميات مختلفة، وذلك حسب مادة الأصل الناشئة منها وكمية ونوع الطين السائد فى هذه الأراضى. والماغنسيوم يوجد فى الأراضى الرملية بتركيز حوالى 0.05% بينما يرتفع هذا الرقم فى الأراضى الطينية إلى 0.5%. ويرجع ارتفاع كمية الماغنسيوم فى الأراضى الطينية لسهولة تجوية معادن الـ Ferromagnesian، مثل البيوتيت Biotite، السيربنيت Serpenite، الهورنبلند Hornblende والأوليفين Olivine. كذلك لدخوله فى تركيب بعض المعادن الثانوية ومنها الكلوريت Chlorite، الفيرميكيولايت Vermiculite، الإيلليت Illite و المونتيموريللونيت Montmorillonite. ويوجد الماغنسيوم فى بعض الأراضى فى صورة كربونات ماغنسيوم $MgCO_3$، والدولوميت$CaCO_3$.($MgCO_3$ وفى الأراضى الجافة وشبه الجافة يوجد الماغنسيوم بكمية كبيرة فى صورة كبريتات ماغنسيوم $MgSO_4$. ويتشابه الماغنسيوم مع البوتاسيوم من حيث توزيعه فى التربة ويمكن تقسيم الصور التى يوجد عليها الماغنسيوم فى الأرض كما يلى:

1- الماغنسيوم غير المتبادل:

ويشمل كل الماغنسيوم الموجود بالمعادن الأولية ومعظم الماغنسيوم الموجود بالمعادن الثانوية. وبصفة عامة فإن هذه الصورة ليست ذات أهمية من حيث انطلاق الماغنسيوم للنبات. لكن فى حالة وجود المعادن ذات القدرة العالية على التمدد فى الأرض بكميات كبيرة، فإن هذه الصورة تعتبر ذات أهمية بالنسبة للنبات لسهولة تحرر الماغنسيوم من الطبقات الداخلية بجانب الخارجية، علماً بأن معدل انطلاق الماغنسيوم يكون قليل بالمقارنة باحتياجات النبات من هذا العنصر.

2- الماغنسيوم المتبادل:

يوجد الماغنسيوم متبادلاً على أسطح الغرويات الأرضية سواء كانت معدنية أو عضوية، ويمثل الماغنسيوم المتبادل حوالى 5% من الماغنسيوم الكلى فى الأرض، ويشغل من 4 – 20% من السعة التبادلية الكاتيونية أى يكون أقل من الكالسيوم والذى يمثل 80%، وأكثر من البوتاسيوم والذى يمثل حوالى 4% فقط من السعة التبادلية الكاتيونية Mengel and Kirkby ستة 1987. وتزداد كمية الماغنسيوم المتبادل فى الأراضى الملحية والقلوية والأراضى الغنية فى كربونات الماغنسيوم، فى حين تكون كمية الماغنسيوم المتبادل فى العديد من الأراضى الزراعية

منخفضة وخاصة الواقعة فى المناطق الاستوائية حيث زيادة معدل سقوط الأمطار وانخفاض الـ pH وقلة السعة التبادلية يؤدى إلى زيادة ذوبان الماغنسيوم وبالتالى فقده مع مياة الصرف. وتعتبر هذه الصورة ذات أهمية كبيرة بالنسبة للنبات حيث بانخفاض تركيز الماغنسيوم فى المحلول الأرضى يحدث انطلاق للماغنسيوم المتبادل لرفع التركيز مرة أخرى وبالتالى تعتبر هذه الصورة بجانب الصورة الذائبة ذات درجة صلاحية عالية للنبات. وتعتبر الأراضى فقيرة فى محتواها من الماغنسيوم الصالح إذا قلت كمية الماغنسيوم المتبادل عن 3 – 4مجم /100جم تربة، علماً بأن الحد الحرج هذا يختلف حسب قوام التربة حيث يكون مرتفعاً فى الأراضى الغنية بالطين من نوع 1:2 والمادة العضوية.

3 – الماغنسيوم الذائب:

يوجد الماغنسيوم ذائباً فى المحلول الأرضى بتركيز يتراوح بين 2 –5 ملليمول، ويمكن أن يختلف هذا المدى اختلافاً كبيراً ويكون غالباً بين 0.2 – 150 ملليمول، وبصفة عامة يكون التركيز فى المحلول الأرضى للأراضى الحامضية منخفض (1.9 ملليمول) بينما فى الأراضى الجيرية يرتفع هذا التركيز إلى 7 ملليمول Mngel and Kirkby سنة 1987. وفى الأراضى الرملية وكذلك أراضى المناطق الرطبة تكون كمية الماغنسيوم الذائبة فى المحلول الأرضى منخفضة وذلك لقلة كمية الماغنسيوم المتبادل بهذه الأراضى. ويؤدى إضافة كميات كبيرة من الأسمدة غير الحاوية على الماغنسيوم إلى زيادة انخفاض كمية الماغنسيوم الذائب، حيث يتحرر الماغنسيوم المتبادل عن طريق التبادل الأيونى بينه وبين الكاتيون المضاف مما يؤدى إلى سهولة فقد الماغنسيوم بالغسيل خاصة وأن أملاحه لأيونات الكبريتات، والنترات، والفوسفات والكلوريدتكون سهلة الذوبان.

وتتأثر درجة صلاحية الماغنسيوم للامتصاصه بواسطة النبات على محتوى المحلول الأرضى من الكاتيونات الأخرى مثل الكالسيوم والبوتاسيوم بالإضافة إلى درجة حموضة التربة، حيث وجد أن أعراض نقص الماغنسيوم تكون قليلة الظهور على النباتات التى تنمو فى وسط رقم حموضته أعلى من 5.0 وهذا يعنى أن هذا المدى هو الأمثل لصلاحية الماغنسيوم. وعند انخفاض رقم الـ pH تقل كمية الماغنسيوم الممتصة نتيجة لزيادة تركيز أيونات الأيدروجين والألومنيوم. وفى الأراضى شديدة الحموضة يتحد الماغنسيوم مع أكاسيد الحديد والألومنيوم، وعلى هذا يمكن إضافة أسمدة الماغنسيوم للتقليل من سمية الألومنيوم فى هذه الأراضى. وفى الأراضى ذات رقم الـ pH المرتفع يحدث تنافس فى امتاص أيون الكالسيوم مع أيون الماغنسيوم مما يقلل من معدل امتصاص الماغنسيوم. كذلك يؤدى التسميد الزائد بالأسمدة الأمونيومية مثل

كبريتات الأمونيوم ونترات الأمونيوم والأسمدة البوتاسيه مثل كلوريد البوتاسيوم تُزيد من ظهور أعراض نقص الماغنسيوم.

وهناك علاقة بين كمية الماغنسيوم الممتص ووجود البوتاسيوم فى التربة. حيث وجد أن النباتات تمتص كمية من الماغنسيوم أقل من البوتاسيوم وذلك على الرغم من وجود الماغنسيوم المتبادل والذائب بالتربة بكمية أكبر من البوتاسيوم. يوجد حالة من التضاد بين البوتاسيوم والماغنسيوم ولكن فى مدى محدد من العنصر الميسر والذى يظهر عنده أعراض نقص هذا العنصر. وتحت هذه الظروف فإن زيادة الكمية المضافة من أحد العنصرين يؤدى إلى ظهور أعراض نقص العنصر الأخر. وعادةً يكون محتوى النبات من الماغنسيوم مرتفع عند نقص البوتاسيوم حيث تحاول النباتات المحافظة على أن يكون مجموع الكاتيونات K, Ca, Mg, Na موجود بكمية ملائمة وثابتة. كما وجد أيضاً أن إضافة الأسمدة البوتاسية لتصحيح نقصه فى النبات يؤدى إلى نقص تدريجى فى محتوى النبات من الماغنسيوم. وعلى ذلك يجب ملاحظة أنه فى حالة ظهور أعراض نقص كلٍ من الماغنسيوم والبوتاسيوم، فمن المستحسن أن تضاف أسمدة الماغنسيوم أولاً لعلاج نقص الماغنسيوم فى النبات ثم تضاف الأسمدة البوتاسية.

اختبارات التربة للماغنسيوم

تعتبر طريقة تقدير الماغنسيوم المتبادل بواسطة محلول خلات الأمونيوم المتعادل أو محلول كلوريد البوتاسيوم من أهم الطرق لتحديد خصوبة التربة من هذا العنصر. وطبيعى أن تختلف القيم المحددة لمستويات الخصوبة تبعا لقوام التربة كما يتضح من جدول (6-4).

جدول (6-4): الحدود الحرجة للماغنسيوم فى التربة

نوع الأرض	تركيز الماغنسيوم (ppm)		
	منخفض	متوسط	مرتفع
رملية و رملية طمية	حتى 25	26-50	50 <
طمية رملية	حتى36	37-70	70 <
طمية و طينية	حتى 60	60-120	120 <

الاستخلاص بواسطة 0.025 ع كلوريد الكالسيوم

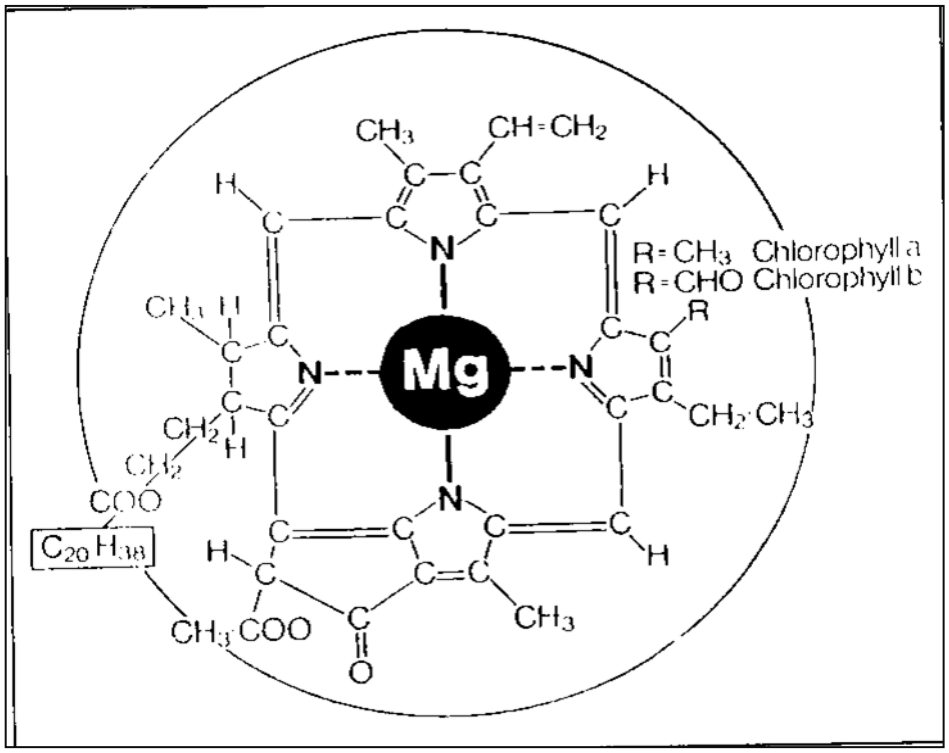
عن Saalbach وآخرون سنة 1970.

الماغنسيوم فى النبات Magnesium in Plant

يحتل الماغنسيوم مركز جزىء الكلوروفيل فى النبات شكل (6-7)، وهى الصبغة الخضراء التى تمكن النبات من استخدام الطاقة الشمسية فى إنتاج المادة العضوية بالنبات حيث يدخل حوالى 15 – 20% من الماغنسيوم الكلى فى النبات فى تركيب الكلوروفيل. وعلى ذلك يعتبر الماغنسيوم مهماً لإتمام عملية التمثيل الضوئى، ويعتبر منشطاً للعديد من الأنظمة الإنزيمية الخاصة بميتابوليزم الكربوهيدرات، وتمثيل الأحماض النووية، كما يعمل الماغنسيوم على تعزيز امتصاص وانتقال الفوسفات و يساعد فى حركة السكريات داخل النبات. كذلك وجد أنه فى حالة نقص الماغنسيوم يقل تمثيل البروتينات مما يعيق النمو فى النبات.

أعراض نقص الماغنسيوم على النبات:

لا يقتصر ظهور أعراض نقص الماغنسيوم على النباتات النامية فى الأراضى الفقيرة فى الماغنسيوم فقط بل يمكن ظهورها على النباتات التى تنمو فى الأراضى العادية. وذلك فى حالة زراعة المحاصيل عالية الإنتاج ومع التكثيف الزراعى فإن النباتات تمتص كمية كبيرة من الماغنسيوم مما يؤدى إلى استنزافه من هذه الأراضى وظهور أعراض النقص. وتختلف أعراض نقص الماغنسيوم باختلاف النبات، ويتميز هذا العنصر بحركته العالية داخل النبات



شكل (6-7): نموذج لجزىء الكلوروفيل

وإمكانية استخدامه من قِبل النباتات عدة مرات. وعلى ذلك تبدأ ظهور الأعراض على الأوراق المسنة أولاً ويمكن إيجاز أهم الأعراض فيما يلى:

1- ظهور اصفرار متداخل مع اللون الأخضر للورقة على هيئة شريط، ويكون ذلك على الأوراق المسنة، ومع تقدم الإصابة يحدث أن تجف الأنسجة وتموت. وأهم ما يميزهذه الأعراض ظهورها أولاً على طرف (قمة) الورقة ثم تنتشر على حواف وبين عروق الأوراق.

2- قد يحدث التواء لحواف الأوراق إلى أعلى، وعند استمرار النقص تتحول البقع إلى اللون الرمادى ثم إلى اللون البنى وتسقط الأوراق قبل موعدها.

3- فى بعض نباتات الخضر تظهر الأعراض على عدة صور منها الاصفرار على هيئة بقع بين العروق وظهور لون رخامى مع لون برتقالى خفيف و أيضاً فى صورة لون أحمر أرجوانى.

4- الأغصان تبدو ضعيفة وتكون عرضة للإصابة بالفطريات، وينخفض النضج الطبيعى للأوراق.

نماذج لأعراض نقص الماغنسيوم على بعض النباتات فى الفصل الثانى عشر

الأسمدة المحتوية على الماغنسيوم

بصفة عامة تحتوى معظم الأراضى الطينية على كمية كافية من الماغنسيوم ومنها أراضى الوادى والدلتا فى مصر، لكن فى ظل التكثيف الزراعى وإضافة كميات كبيرة من الأسمدة البوتاسية وأسمدة الأمونيوم يمكن أن تظهر أعراض نقص الماغنسيوم على النباتات النامية فى تلك الأراضى. هذا بالإضافة إلى أن أراضى مناطق الاستصلاح ومعظمها أراضى رملية نجد أنها تعانى من نقص الماغنسيوم. ويمكن علاج نقص الماغنسيوم على النباتات بإضافة أحد الأسمدة المحتوية على الماغنسيوم الموضحة بجدول (6-5).

جدول (6-5) الأسمدة المعدنية الحاوية على الماغنسيوم.

السماد	MgO %	% للعناصر الأخرى
كبريتات الماغنسيوم $Mg\ SO_4$ $7H_2O.\ Mg\ SO_4.$ $H_2O.Mg\ SO_4$	33 27 16	26.5% كبريت 22% كبريت 13% كبريت
النيتروماغنسيوم Nitromagnesia	7.0	20% نيتروجين + 15% كبريت
كبريتات الماغنسيوم والبوتاسيوم (K_2SO_4 , $MgSO_4$)	18-10	22-16% كبريت

الفصل السابع

العناصر المغذية الصغرى

Micronutrients Elements

الفصل السابع

العناصر المغذية الصغرى

Micronutrients Elements

سبق أن ذكرنا فى الفصل الرابع أن العناصر الغذائية الضرورية للنبات عددها ستة عشر عنصراً تم دراسة القسم الأول منها والخاص بالعناصر الكبرى والتى يحتاجها النبات بكمية كبيرة. أما القسم الثانى فهو العناصر الصغرى وهى العناصر التى يحتاجها النبات بكميات قليلة وتشمل: الزنك – الحديد – المنجنيز – البورون – النحاس – الموليبدنم والكلوريد. وهناك عناصر تحتاجها بعض النباتات دون غيرها وبكميات قليلة أيضاً مثل الكوبلت والصوديوم بالإضافة إلى السيليكون. والعناصر الصغرى توجد فى النبات بكمية قليلة بالمقارنة بالعناصر الكبرى، فمثلاً لو علمت أن إنتاج أحد محاصيل الحبوب هو 10 طن (5 طن حبوب و 5 طن قش) فانه من الممكن أن يحتوى على حوالى 100 كجم من النيتروجين، بينما نفس الكمية من المحصول يمكن أن تحوى على 250 جم زنك فقط آى أن كمية النيتروجين تزيد عن كمية الزنك بحوالي 400 مرة تقريباً. وعلى الرغم من صِغر هذه الكمية فى النبات إلا إنها تكفى لإعطاء النمو الأمثل للنبات و المحصول. وتكمن فاعلية العناصر الصغرى فى زيادة نمو ونشاط النباتات إلى قدرتها على تغيير تكافؤها داخل النبات مما يزيد من نشاط الإنزيمات اللازمة للعمليات الحيوية المختلفة.

ومن الملاحظ أن كمية العناصر المغذية سواء كانت كبرى مثل النيتروجين – الفوسفور والبوتاسيوم أو صغرى مثل الحديد – الزنك والمنجنيز فى الأراضى المصرية فى تناقص مستمر، وذلك لعدة أسباب منها :

1 – التكثيف الزراعى وذلك بزراعة أكثر من محصول على نفس المساحة من الأرض خلال العام، أو زراعة الأصناف من المحاصيل الحقلية والبستانية عالية الإنتاجية وقصيرة العمر مما يؤدى إلى استنزاف كمية كبيرة من العناصر المغذية.

2 – عدم الاهتمام بإضافة المادة العضوية والأسمدة البلدية والتى تعيد للتربة حيويتها وتعويض مأستنزف منها وتزيد من خصوبتها.

3 – عدم تعويض التربة عما فقدته من العناصر خاصةً بعد حجز كميات طمى النيل أمام السد العالى. كذلك ارتفاع مستوى الماء الأرضى فى بعض مناطق الجمهورية مما أثر على الصفات الطبيعية والكيماوية للأرض.

4– اكتشاف طرق أكثر دقة لاختبارات التربة وتحاليل النبات. وتحديد مجموعة من المعايير الثابتة التى بها يمكن توضيح نقص العناصر المغذية وخاصة الصغرى منها.

بالإضافة للنقاط السابقة يزداد نقص العناصر الصغرى فى الأراضى المصرية وبالتالى الطلب على استخدامها إلى:

أ – ارتفاع معدلات التسميد بالعناصر الكبرى والذى أدى إلى زيادة المحصول وبالتالى زيادة الكمية المستنفزة من العناصر الصغرى من الأرض.

ب – التطور والتقدم فى صناعة أسمدة العناصر الكبرى أدى إلى استخدام الأسمدة بدرجة عالية من النقاوة بدلاً من الأسمدة التجارية التى كانت تحوى العناصر الصغرى كشوائب وأدى هذا إلى ظهور أعراض نقص العناصر الصغرى.

جـ – ارتفاع رقم الـ pH للأراضى المصرية.

د – التوسع فى زراعة الأراضى الصحراوية قليلة الخصوبة.

ويمكن توضيح ما تساهم به أسمدة العناصر الكبرى والمادة العضوية من العناصر الصغرى عند إضافتها إلى التربة من القيم الموضحة فى جدول (7–1). ومن الطبيعى أن تختلف القيم الموجودة عند إجراء التحليل الكيميائى لعينة فردية من سماد معين، وأيضا تختلف هذه القيم تبعا لمادة الخام المصنع منها هذا السماد.

ومن فحص القيم الموضحة بالجدول نجد أن أسمدة العناصر الكبرى تساهم بجزء قليل جدا من الاحتياجات السماديه للنباتات المختلفة من العناصر الصغرى، فمثلا عند إضافة اليوريا كمصدر للنيتروجين لمحصول معين بمعدل 150كجم / فدان تكون كميات الزنك والمنجنيز والبورون المضافة للتربة هى 75 مليجرام لكل منهم بينما تكون الكمية بالنسبة للموليبدنيم هى 105 مليجرام. وعلى الجانب الآخر، فإن إضافة طن واحد على سبيل المثال من السماد البلدى للفدان تضيف كميات كبيرة إلى حدٍ ما من العناصر الصغرى حيث تكون الكميات المضافة من النحاس 10 جم و من الزنك 40–50 جم، ونجد الكمية من

جدول (7-1): محتوى بعض الأسمدة المعدنية والعضوية المهمة من العناصر الصغرى (ppm)

السماد ⇓ / العنصر ⇐	نحاس	زنك	منجنيز	بورون	موليبدنيم
الأسمدة النيتروجينية:					
كبريتات الأمونيوم	أثار – 0.5	0.33	70	6.0	0.1
اليوريا	صفر–3.6	0.5	0.5	0.5	0.7
نترات الكالسيوم والأمونيوم	أثار–18.0	8.0	50–10	أثار	–
الأسمدة الفوسفاتية:					
السوبر فوسفات الأحادى	26.0	160–60	270–70	10	3.0
السوبر فوسفات الثلاثى	12–2	100–50	240–160	530	9.0
خبث المعادن القاعدى	80–10	30–5	*	33	10.0
صخر الفوسفات	10–6	140–25	130000	15	6.0
أسمدة البوتاسيوم:					
كلوريد البوتاسيوم	3.0	3.0	8.0	14.0	0.2
كبريتات البوتاسيوم	10–5	2.0	13.0–2.2	4.0	0.2
الأسمدة المركبة:					
فوسفات الأمونيوم	4.0–3.0	80	220–100	–	2.0
سماد الإسطبل (سماد بلدى) Farmyard Manure	10	250–40	200	17	0.2
أسمدة المخلفات النباتية Compost	600–300	13–3	60–40	15	2.0

عن FAO سنة 1984.

*قيم المنجنيز فى الخبث 28000– 68000 (ppm)

المنجنيز 200 جم ومن البورون 17جم ومن الموليبدنم 200 مليجرام. وتعتبر هذه الكميات مهمة لرفع خصوبة التربة من العناصر الصغرى عند الإضافات المتتالية من السماد البلدى للتربة الزراعية.

ولما كانت مساحات التوسع الأفقى تقع فى نطاق الأراضى الرملية والجيرية والتى تفتقر إلى كثير من العناصر المغذية، ومع توفر المعلومات عن أعراض نقص العناصر الصغرى فإن الطلب على استخدام الأسمدة التى تحتوى على العناصر الصغرى قد إزداد. ويجب مراعاة أن العناصر الصغرى عند استعمالها كأسمدة للنباتات تعتبر سلاح ذو حدين، فنقصها يؤدى إلى فقد المحصول وزيادتها تؤدى إلى حدوث سمية للنبات والحيوان فضلاً عن إحداث تلوث للبيئة مما يؤثر على صحة الإنسان. وهناك حدود معينة من تركيز هذه العناصر فى التربة حتى تفى هذه الأرض بتوفير الكمية الملائمة من العناصر للنبات وجدول (8–) يوضح الحدود الحرجة لتركيز هذه العناصر حسب طريقة استخلاصها من التربة.

جدول (7-2) : حدود تركيز العناصر الصغرى فى الأرض تبعاً لطريقة الاستخلاص والتى يظهر عندها النقص مع ذكر بعض العوامل المؤثرة على تيسر هذه العناصر، (عن Landon سنة 1984).

العنصر	العوامل المؤثره على تيسر العنصر	محلول الاستخلاص	التركيز(ppm)
الحديد Fe	pHالبوتاسيوم، المنجنيز، الكالسيوم، الماغنسيوم، الفوسفور، النحاس، الموليبدنم و الزنك.	خلات الأمونيوم (pH4.8) DTPA + CaCl(pH 7.3)	2 4.5-2.5
الزنك Zn	pH، النحاس، النيتروجين،الفوسفور والكالسيوم.	0.1مول حمض هيدروكلوريك Dithizone +خلات الأمونيوم EDTA + كربونات الأمونيوم DTPA + كلوريد كالسيوم3pH7.3	7.5-1.0 2.3-0.3 3.0-1.4 1.0-0.5
المنجنيز Mn	pH، المادة العضوية، البوتاسيوم، الموليبدنم، الفوسفور، الحديد، النحاس والزنك.	0.05 مول حمض هيدروكلوريك + 0.025 مول حمض كبريتيك 0.1مول حمض فوسفوريك مع 3 مول فوسفات أحادى الأمونيوم Hydroquinone + خلات أمونيوم المـــاء	9-5 20-15 65-25 2
النحاس Cu	النيتروجين، الحديد، الماغنسيوم، الموليبدنم، الفوسفور و الزنك.	خلات الأمونيوم (pH 4.8) 0.5 مول EDTA 0.43 حمض نيتريك 1 مول حمض هيدروكلوريك 0.1 مول حمض هيدروكلوريك	0.2 0.75 4-3 100 1.06-0.09
البورون B	قوام التربة، pH ، الكالسيوم البوتاسيوم	الماء الساخن	0.7-0.1
الموليبدنم Mo	pH، الحديد، المنجنيز،الفوسفور الكبريت والنحاس.	أوكسلات الأمونيوم (pH 3.3)	0.2-0.04

1 – الزنك ZINC

الزنك فى الأراضى : Zinc In Soils

يوجد الزنك فى الأرض على عدة صور منها:

– داخل التركيب الكيميائى لبعض المعادن مثل معادن الـ Ferromagnesium والأوجيت Augite، الهورنبلند Hornblende والبيوتيت Biotite.

– فى صورة ملح مثل كبريتيد الزنك (Sphalarite (ZnS ؛ الزنكيت Zincite (ZnO) كربونات الزنك Smithsonite ($ZnCO_3$)، وسيليكات الزنك Willemite ($ZnSiO_3$ and $ZnSiO_4$).

– الزنك (Zn) المدمص على معقدات التبادل بالأرض.
– الزنك الموجود فى صورة معقدات عضوية، ومنه الذائب وغير الذائب.
– الزنك الذائب فى الماء، ويشمل أيون الزنك Zn^{++} والموجود مع المادة العضوية فى صورة معقدات ذائبة.

معظم الزنك الموجود بالأرض يوجد فى تركيب المعادن الأولية. ويرجع انتشار الزنك فى كثير من المعادن الأرضية بسبب إحلاله محل أيون الماغنسيوم أو محل أيون الحديدوز، ومع حدوث التجوية لهذه المعادن يحدث تحرر لجزء من كمية هذا العنصر إلى محلول التربة، مما يكون له تأثيره الايجابى على تغذية النبات بهذا العنصر علماً بأن الكمية الذائبة تكون قليلة جداً (0.002 –0.2 جزء لكل مليون جزء).

الكمية الكلية من الزنك فى الأرض:

تختلف الأراضى فى المحتوى الكلى من الزنك اختلافاً كبيراً حيث يتراوح هذا المحتوى من 10 إلى 300 جزء فى المليون وبمتوسط عام 80 جزء فى المليون. وبصفة عامة لا تعبر الكمية الكلية من العنصر فى الأرض على مدى حاجة النبات إلى التسميد من هذا العنصر من عدمه، حيث يتوقف ذلك على الكمية الميسرة والصالحة للامتصاص بواسطة النبات.

كمية الزنك الميسرة بالتربة:

تعتبر كلاً من الصورة الذائبة والمتبادلة ذات درجة تيسر مرتفعة للنبات، وإن كان هناك جزء قليل من الزنك غير المتبادل والموجود داخل تركيب المعادن قد لا يفى بحاجة النبات حيث يتحرر بمعدل بطىء أثناء حدوث تجوية لهذه المعادن. وبصفة عامة وفى معظم الأراضى فإن تركيز الكمية الذائبة فى المحلول الأرضى لا تتعدى أجزاء قليلة من المليون وفى الغالب تكون أقل من واحد جزء فى المليون. وهناك عدة عوامل تؤثر على سلوك ودرجة تيسر الزنك فى الأرض وتشمل:

1- رقم الـ pH: درجة تيسر الزنك تتوقف بدرجة كبيرة على pH التربة، حيث يزداد التيسر بانخفاض الـ pH ويتضح ذلك فى الأراضى الحامضية. وعلى العكس من ذلك نجد فى الأراضى القاعدية تكون الكمية الميسرة قليلة جداً، حيث وجد أن تركيز الزنك يقل 100 مرة مع كل وحده زيادة فى قيمة الـ pH. ويعزى ظهور أعراض النقص للزنك على النباتات النامية فى الأراضى الجيرية إلى هذا السبب بصورة أساسية. وعلى ذلك فأى عامل يؤثر على خفض أو رفع الـ pH من شأنه أن يؤثر على زيادة أوانخفاض درجة تيسر الزنك للنبات. فمثلاً إضافة الجير للأراضى الحامضية يرفع رقم الـ pH وبالتالى يقلل من تيسر هذا العنصر، بينما الاستخدام المستمر للأسمدة ذات التأثير الفسيولوجى الحامضى مثل كبريتات الأمونيوم يؤدى إلى خفض الـ pH وبالتالى زيادة تيسر الزنك. وفى بعض الأراضى الحامضية يزداد التيسر لدرجة وصول التركيز لدرجة السمية. وعموماً وجد أن أفضل رقم pH للتربة يكون عنده الزنك ميسر هو فى مدى من 5.5 - 6.5.

2- المادة العضوية: مع تحلل المادة العضوية بالتربة تنطلق المركبات العضوية والتى تعمل عمل المركبات المخلبية مما تزيد من تيسر الزنك. وأوضحت كثير من الدراسات بأن الأراضى الفقيرة فى المادة العضوية تعانى من نقص فى الزنك الميسر وتزداد الكمية الميسرة فى نفس الأرض مع إضافة المادة العضوية. وقد يختلف تأثير المادة العضوية على تيسر الزنك وذلك حسب نوع المركب الناتج من التحلل والمرتبط مع الزنك. فالأحماض العضوية ذات الوزن الجزيئى المنخفض مثل حمض الفولفيك Fulvic acids تكون معقدات زنك ذائبة فى الماء، بينما المركبات ذات الوزن الجزيئى المرتفع مثل اللجنين والمركبات التى تحوى أحماض الدباليك Humic acids تكون معقدات غير ذائبة فى الماء. ويلاحظ أن إضافة المادة العضوية للأراضى

القاعدية والجيرية يزيد من تيسر الزنك بها سواء بطريقة مباشرة أو غير مباشرة عن طريق خفض رقم الـ pH للأرض.

3- كربونات الكالسيوم: كثير من الأبحاث أوضحت بأن هناك تأثير سلبى لكربونات الكالسيوم على تيسر الزنك فى التربة الزراعية. وهناك العديد من التفسيرات التى توضح هذا التأثير ومنها: أولاً: تأثير غير مباشر وذلك لتأثير كربونات الكالسيوم على رفع رقم pH الأرض. ثانياً: قد يحدث تفاعل بين الكربونات والزنك وخاصةً فى حالة وجود كربونات الماغنسيوم (الماغنيسيت $MgCO_3$ والدولوميت $Mg\ Ca\ (CO_3)_2$) وذلك بإحلال الزنك محل الماغنسيوم الموجود بهذه المركبات. ثالثاً: حدوث إدمصاص للزنك على أسطح كربونات الكالسيوم وبالتالى تقل الكمية الميسرة.

4- تأثير قوام التربة: الأراضى الخفيفة خشنة القوام قدرتها على الاحتفاظ بالزنك قليلة، وعلى ذلك فإن الأراضى الرملية يعانى النيات النامى فيها من نقص الزنك، بينما العكس فى الأراضى الطينية ناعمة القوام. ولقد وجد أن لبعض معادن الطين القدرة على ادمصاص الزنك على أسطحها، بل أكثر من ذلك فإنه قد يحدث تثبيت للزنك ويصبح فى صورة غير صالحة للنبات فمعادن البروسيت Brucite والفيرميكيولايت Vermiculite وأيضاً الطين المشبع بالماغنسيوم Mg- Saturated Clay تكون قدرتها على تثبيت الزنك مرتفعة بالمقارنة بمعادن المسكوفيت Muscovite ، البينتونايت Bentonite ، الكاؤولينيت Kaolinite ، البيروفيلليت Pyrophillite والبيوتيت Biotite فانها ذات قدرة محدودة على التثبيت. كما تلعب الاكاسيد الحرة فى الأراضى الحامضية دور أساسى فى تقليل درجة تيسر الزنك فى هذه الأراضى.

5- تأثير مستوى الفوسفات فى التربة: التركيز المرتفع من الفوسفات الذائبة، سواء الموجودة أصلاً بالتربة Native phosphorus أو الناتجة من التسميد الزائد بالفوسفات يؤدى إلى تأثير عكسى على الزنك كعنصر مغذى للعديد من المحاصيل. ويكون التضاد Antagonistic متفاقم فى الأراضى الجيرية. وهناك عدة تفسيرات لذلك ذكرها عواد سنة 1987:

أولاً: قد يحدث ترسيب للزنك فى صورة فوسفات الزنك $Zn_3(PO_4)_2$ وهى مركبات قليلة الذوبان وقد أُعتبر هذا المركب هو المسئول عن نقص الزنك الميسر فى كثير من الأراضى.

ثانياً: إن قدرة الفوسفور على زيادة النمو للنبات تفوق كثيراً قدرة الزنك وهذا بالطبع يؤدى إلى انخفاض تركيز الزنك فى النبات وخاصةً فى القمة، كنتيجة لتأثير التخفيف Dilution effect .

ثالثاً: حدوث اضطراب حيوى داخل النبات لعدم حدوث التوازن المطلوب بين العنصرين داخل النبات، أى أن الفوسفور يشجع على ظهور أعراض نقص الزنك بسبب عدم التوازن بين نسبة الفوسفور إلى الزنك P / Zn وهذا نتيجة اختلاف معدل حركة الزنك والفوسفور من الجذر إلى القمة.

رابعاً: فسر بعض الباحثين بأن السبب يرجع إلى تكوين معقدات بين الزنك والبروتين داخل المجموع الجذرى وأن الفوسفور يشجع على تكوين هذه المعقدات.

خامساً: حدوث إعاقة لآمتصاص الزنك نتيجة لزيادة تركيز الكالسيوم فى المحلول الأرضى مع إضافة الأسمدة الفوسفاتية.

6- تأثير الأسمدة الأزوتية: أشارت نتائج كثير من الباحثين بأن إضافة الأسمدة النيتروجينية تؤدى إلى نقص الزنك الميسر للنبات وبالتالى تظهر أعراض نقص هذا العنصر على النباتات. وهناك عدة تفسيرات منها: أن الزنك يتحد مع النترات ويتكون نترات الزنك وهو مركب عالى فى درجة ذوبانه فى الماء وبالتالى يتحرك مع مياه الصرف ويحدث غسيل للزنك من منطقة نمو الجذور، ومن جهة أُخرى فإن نترات الزنك المتكونة تكون مصدر لإمداد النبات بالزنك الميسر. أما التفسير الآخر هو قابلية النبات لتثبيت الزنك فى المجموع الجذرى وذلك عن طريق تكوين معقدات مع البروتينات غير متحركة Immobile Zn-protein complexes وبالتالى تتقيد حركة الزنك داخل النبات وتظهر الأعراض على النموات الحديثة. وتجدر الإشارة أن الأسمدة النيتروجينية ذات التأثير الحامضى تزيد من تيسر الزنك وذلك نتيجة لخفض رقم الـ pH والعكس مع الأسمدة القاعدية التأثير.

اختبارات التربة للزنك

يوجد العديد من من المحاليل المختلفة والتى تستخدم لاستخلاص الكمية الصالحة من عنصر الزنك والموجودة فى التربة. وأكثر المستخلصات انتشارا مدونة فى جدول (7-3) ويمكن استخدام أى مستخلص من هذه المستخلصات لتقدير كمية الزنك الصالحة للنبات، ولكن قد يفضل محلول معين على محلول آخر فى أرض معينة ومثال ذلك وجد أن المستخلصات الحامضية تكون أقل نجاحاً فى أراضى المناطق الجافة وشبه الجافة والتى قد تكون جيرية غالبا. فى حين نجد ان المستخلصات الكيلاتية (المخلبية) تكون أكثر نجاحاً فى كثير من الأراضى وذلك لإمكانية ضبط رقم pH المستخلص حسب رقم الـ pH الطبيعى للتربة. وتعتبر طريقة

الاستخلاص بواسط مركب DTPA من أكثر الطرق انتشارا فى دول العالم والتى تستخدم لتقييم التربة الزراعية من حيث كمية الزنك الميسر بها.

جدول (7–3): الطرق المختلفة لاستخلاص الزنك الميسر بالتربة

محلول الاستخلاص	نسبة التربة (جم) إلى المستخلص(مل)	زمن الرج (دقيقة)
0.1 **ع** من حمض الهيدروكلوريك	20 : 2	5
0.05 **مولر** من EDTA (pH 7-9)	75 : 15	؟؟
0.01% dithizone in CCL_4 + **N** NH_4 OAc (pH 7.0)	25 : 2.5 25 مل من كل مركب	60
0.05 **ع** حمض هيدروكلوريك + 0.025 **ع** حمض كبريتيك	20 : 5	5
DTPA (0.005 **M** diethylen triamine penta acetic acid) + 0.1 **M** triethanolamine + 0.01 **M** $CaCL_2$	20 : 10	120
0.01 **مولر** EDTA + **مولر** كربونات أمونيوم (pH 8.5).	20 : 10	30
2.0 **ع** كلوريد ماغنسيوم	50 : 10	45

بالنسبة للحدود الحرجة للزنك Critical limits فى التربة وبعنى آخر القيم المتحصل عليها من المستخلصات السابقة والتى يظهر عندها نقص الزنك فى التربة تختلف تبعا لنوع المستخلص وحتى داخل الطريقة الواحدة تختلف القيمة حسب نوع المحصول ويرجع ذلك لاختلاف المحاصيل فى درجة حساسيتها لهذا العنصر، بل أكثر من ذلك لنفس المحصول وبنفس الطريقة تختلف القيمة من أرض إلى أخرى وذلك لوجود العديد من العوامل التى تغير من درجة تيسر العنصر. وعلى ذلك عند تحديد القيمة الحرجة والمحددة لابد من ذكر الطريقة، نوع المحصول ونوع الأرض وفى نفس الوقت ذكر الظروف البيئية. وعموما أظهرت كثير من الأبحاث أن القيمة الحرجة والتى يظهر عندها نقص الزنك فى معظم الأراضى ولكثير من المحاصيل هى أقل من 0.6 جزء فى المليون (DTPA - Zn)، بينما لا يكون هناك استجابة واضحة لإضافة الزنك إلى التربة إذا كان تركيز الزنك فى هذا المستخلص هو 1.0 جزء فى المليون، بينما إذا

كانت القيمة محصورة بين 0.5 – 1.0 جزء فى المليون (DTPA - Zn) لا يكون هناك فائدة مؤكدة من إضافة الزنك للتربة.

الزنك فى النبات Zinc In Plant

الزنك من العناصر الضرورية لنمو النبات وبالتالى فإنه يوجد فى جميع الأنسجة النباتية ويتجمع بتركيزات مختلفة فى الأجزاء المختلفة للنبات والتى يمكن ترتيبها حسب محتواها كما يلى:

الجذور> السيقان > الأوراق > الثمار

الوظائف الحيوية للزنك Biological Function:

الزنك من العناصر المعدنية المهمة لتنشيط كثير من الإنزيمات والخاصة يتمثيل ثانى أكسيد الكربون CO_2. ومن أكثر الإنزيمات التى تنشط فى وجود هذا عنصر الزنك إنزيم Fractose 1.6-bisphosphatase إنزيم الـ Carbonic anhydrase والذى يشجع على تحلل حامض الكربونيك إلى ثانى أكسيد الكربون والماء، وأيضاً عدد من إنزيمات Dehydrogenases. ويمكن إيجاز أهم الوظائف الحيوية للزنك فى النبات كما يلى:

أ – ضرورى لتخليق الحمض الأمينى التربتوفان Tryptophane والذى يتحول إلى أُوكسين auxin وهو عبارة عن Indole acetic acid والذى يساعد على زيادة النمو فى النبات. حيث وجد أن النباتات التى تعانى من نقص الزنك يكون تركيز الاكسين فى الجذور والبراعم قليل جداً.

ب – ضرورى لمختلف الـ metallo - enzymes - carbonic anhydrase, alcohol dehydrogenase

جـ – يلعب دور فى تخليق الأحماض النووية والبروتينات.

تركيز الزنك فى النبات:

هناك مدى واسع فى تركيز الزنك داخل النباتاتوالذى يتراوح من إلى 20 إلى 100 جزء فى المليون وفى المادة الجافة من 1 إلى 10000 جزء فى المليون. وهناك عدة عوامل تؤثر على مستوى الزنك فى النبات أهمها:

- **الجزء المأخوذ كعينة:** الأجزاء الحديثة النمو تحتوى على زنك أكثر من الأجزاء المسنة.
- **عمر النبات:** حيث يقل تركيز الزنك بزيادة النبات فى العمر.
- **التداخل بين العناصر Nutrient interactions:** عادة ما يقل تركيز الزنك بزيادة الفوسفور الميسر بالأرض؛ وأيضاً زيادة كلٍ من الحديد والمنجنيز.

يمكن القول بأن تركيز الزنك فى النبات يعكس مدى تيسر الزنك فى التربة النامى بها هذا النبات والظروف البيئية المؤثرة عليه. وعلى ذلك فاختبارات الأنسجة النباتية (تحليل العينات النباتية) تكون معبرةً عن معرفة مدى حاجة النبات إلى التسميد بالزنك من عدمه عندما تؤخذ العينات النباتية من المكان وفى الوقت المناسبان.

المستويات الحرجة للزنك فى النباتات:

تختلف حدود النقص والكفاية وأيضاً حدود السمية للزنك من نبات لآخر، و فى كثير من المحاصيل إذا انخفض التركيز إلى 20 جزء فى المليون فى المادة الجافة يكون هناك احتمال بأن النبات عنده مشكلة نقص فى الزنك، بينما إذا انخفض التركيز إلى 15 جزء فى المليون يكون هناك نقص أكيد فى هذا العنصر.

ومن جدول (7–4) يجب الإشارة إلى أن حد "الكفاية" يعنى إنه عند هذا التركيز للعنصر داخل النبات تكون كمية الزنك كافية وملائمة لإعطاء أعلى محصول، بينما عند حدى "منخفض" و "عالى" يكون هناك مشكلة فى عدم اتزان الزنك مع العناصر داخل النبات سواء بالنقص أو بالزيادة على التوالى. أما فى حالة حد "النقص" فهذا يعنى أن هناك تأثير على النمو، وطبيعى فإن حد "السمية" لا يحتاج إلى تفسير. وعلى ذلك يمكن تحديد ما إذا كان النبات يعانى من نقص فى عنصر الزنك من عدمه وذلك عن طريق معرفة تركيزه فى الأنسجة النباتية.

جدول (7–4) : الحدود الحرجة للزنك فى بعض المحاصيل الهامة.

المحصول	مرحلة النمو	تركيز الزنك (جزء فى المليون)				
		حد النقص	منخفض	حد الكفاية	عالى	حد السمية
الذرة (أوراق)	النمو الخضرى	صفر –10	11 – 20	21 – 70	71 – 150	150
فول الصويا (أوراق)	النمو الخضرى	صفر –10	11 – 20	21 – 70	71 – 150	150
القمح – الشعير والشوفان	8 – 30سم نمو	صفر –10	11 – 20	21 – 40	41 – 150	150 <
القطن	النمو الخضرى	–	–	20 – 30	–	–
الأرز	النمو الخضرى	صفر – 10	11 – 20	21 – 50	–	–
بنجر السكر	النمو الخضرى	صفر – 10	11 – 20	21 – 70	70 +	–
البطاطس	–	–	صفر – 16	17 – 40	30 +	–
البرسيم الحجازى	–	صفر – 8	–	–	9 – 14	–
الطماطم (الأوراق)	–	صفر – 10	11 – 20	21 – 120	121+	–
الموالح	–	صفر – 15	16 – 25	26– 80	81 – 200	200 <
التفاح (الأوراق)	–	صفر – 15	16 – 20	21 – 50	51 +	–
العنب (السويقة)	–	–	صفر – 30	31 – 50	51+	–

عن FAO سنة 1983.

حساسية النبات للزنك

هناك اختلاف كبير بين النباتات المختلفة فى درجة حساسيتها للزنك الميسر فى التربة، فمثلاً عند تركيز معين من الزنك الميسر فى التربة قد يعانى نبات معين من نقص الزنك بينما لا نجد ذلك مع نباتات أخرى عند نموها فى نفس الأرض عند نفس التركيز. حيث وجد أنه عندما كانت كمية الزنك المستخلصة من التربة بمركب DTPA هى 0.8 جزء فى المليون أظهرت نباتات الأرز النامية فى تلك الأرض معاناة نتيجة نقص الزنك، بينما لم تتأثر نباتات القمح

النامية فى نفس الأرض (FAO) سنة 1983. وعلى ذلك يمكن القول بأن الأرض التى يظهر فيها أعراض نقص الزنك على نبات معين قد تكون ملائمة لمحاصيل أخرى دون مشاكل من نقص هذا العنصر، وجدول (8 –5) يوضح درجة حساسية المحاصيل المختلفة لنقص الزنك.

جدول (7–5): حساسية المحاصيل لنقص الزنك.

محاصيل حساسة	محاصيل متوسطة الحساسية	محاصيل غير حساسة
الموالح، أشجار الفاكهة المتساقطة، البيكان، العنب، الفاصوليا، فول الصويا، الذرة، الأرز، الكتان و البصل	القطن، البطاطس، الطماطم البرسيم الحجازى، البرسيم بنجر السكر، الذرة الرفيعة القمح و الشعير	البسلة، الأسبرجس الجذر، الحبوب الصغيرة الفلفل و الخردل

أعراض نقص الزنك على النبات

قد تظهر أعراض نقص الزنك على النبات إذا انخفض تركيز الزنك فيه عن 20 جزء فى المليون، وطبيعى يقل التركيز فى النبات إذا افتقرت التربة النامى بها هذا النبات للكمية الصالحة من الزنك واللازمة لهذا النبات. ويمكن إيجاز العوامل المسببة لظهور أعراض نقص الزنك على النبات فى انخفاض تركيز الزنك الميسر فى التربة والمستخلص بمحلول DTPA عن 0.6 جزء فى المليون، وفى الأراضى ذات الـ pH المرتفع، الأراضى ذات المحتوى المنخفض والمرتفع جدا من المادة العضوية، الأراضى الرملية ، والأراضى الفقيرة فى المناطق شديدة المطر، والأراضى الموجودة فى المناطق الباردة، وفى حالة إضافة كمية زائدة من الفوسفور وأخيرا الأراضى المضغوطة Compacted soil.

وفيما يلى الأعراض العامة لنقص عنصر الزنك والتى يمكن تميزها ظاهرياً على النبات والتى تظهر على الأوراق الحديثة أولاً نظراً لأن الزنك من العناصر غير المتحركة داخل النبات.

1– تبدأ الأعراض بظهور لون أخضر باهت، ثم يتحول إلى الأصفر ثم يتطور إلى بقع يصبح لونها أبيض مع انعكاس الشمس عليها ويكون ذلك جزئياً على الأوراق السفلية المسنة مع شدة النقص، وفى بعض المحاصيل يمكن ظهور بقع بنية تشبه الصدأ.

2– اصفرار الأوراق وظهور بقع كبيرة وعامة الانتشار على الورق وتكون مميزة بين العروق. وغالباً ما تكون هذه الأعراض على الورقة الثانية أو الثالثة كاملة النضج من القمة.

3- ظهور أوراق صغيرة الحجم على قمة الساق (حدوث ما يعرف بظاهرة التورد).
4- ظهور النبات متقزماً نتيجة لصغر طول السلاميات بالساق.
5- حدوث موت للأنسجة المتأثرة بذلك يتبعها موت النبات، و يكون النبات غير مستوى فى استقامته ويتأخر النضج.
6- تكون الثمار غير طبيعية وصغيرة الحجم مما يؤثر على المحصول. وبصفة عامة تكون أعراض نقص الزنك واضحة تماماً على بعض المحاصيل مثل الأرز، الذرة، الموالح، العنب والتفاح. ويمكن استعراض أعراض النقص على نباتات بعض المحاصيل الاقتصادية الهامة تحت الظروف المصرية.

الموالح : يبدأ ظهور الأعراض على الأوراق الحديثة، وذلك بظهور العرق الوسطى والعروق الجانبية الرئيسية باللون الأخضر الداكن والذى يمتد مساحته إلى جانبيها أيضاً. بينما يظهر اللون الأخضر الباهت فى المساحات المتبقية بين العروق. ومن الصفات المميزة لنقص الزنك عدم تماثل مساحة نصفى الورقة. وأن الأوراق تكون أقل عرضاً وأيضاً تقل مساحة الأوراق الطرفية وتأخذ شكلاً رأسياً ويصبح طرف النصل مدبباً. وفى نفس الوقت يكون نمو الأفرع فى شكل قائم، وتقل مساحة الأوراق، وتقصر السلاميات بمقدار نقص الزنك مع تساقط كثير من الأوراق الحديثة حتى أن شكل الفرع يصبح كالمكنسة نظراً لتقارب الأوراق من بعضها نتيجة قصر السلاميات. أعراض نقص الزنك يمكن ظهورها فى معظم مزارع الموالح فى مصر، وتزداد فى مزارع الأراضى الرملية أو الخفيفة.

لعنب : تتشابه هذه الأعراض إلى حد ما مع أعراض المنجنيز فى زمن ظهورها وصفاتها الأساسية، حيث تظهر الورقة باللون الأخضر الباهت مع ظهور مساحات خضراء، ووجه الاختلاف بينها مع أعراض المنجنيز هو أنها تظهر أولاً على الأوراق الطرفية للأفرع الرئيسية، وكذلك على أوراق الأفرع الجانبية التى تتكون فى الصيف. ولوحظ أن مساحة الورقة يقل بمقدار النقص فى الزنك، وأن الفصوص القاعدية لنصل الورقة تنسحب بعيداً فى اتجاه مضاد لاتجاه الساق أو عنق الورقة، ويصاحب نقص الزنك عدم تماثل نصفى الورقة فى المساحة. ومن الأعراض نقص كمية العقد وعدم انتظام حجم الثمار فى العنقود. ولوحظ ظهور أعراض نقص الزنك بشدة فى معظم مناطق زراعة العنب فى مصر. ومن الجدير بالذكر أن أعراض نقص بعض العناصر على العنب تختلف من حيث ألوانها حسب الصنف ومدى احتوائه على الصبغات المختلفة. وأيضا نتيجة لاختلاف الأصناف فى مدى احتياجاتها من العناصر المختلفة، وبالتالى مدى ظهور نقص كل عنصر عليها.

القمح– الشعير والأرز : تكون الأعراض مشابهة لأعراض نقص المنجنيز وذلك بشكل خطوط باهتة اللون على جانبى العروق الوسطى وتنتشر من القاعدة إلى القمة، ويظهر النبات قصيراً، وبصفة عامة تظهر على الحقل مناطق يتفاوت لونها من الأخضر الباهت إلى الأخضر المصفر.

الذرة : وتظهر الأعراض على البادرات النامية فى الأراضى المنخفضة فى محتواها من الزنك الميسر ابتداء من عمر أسبوعين. وتتمثل الأعراض فى ظهور شريط عريض من اللون الأبيض على جانبى العروق الوسطى للأوراق الحديثة بدئا من القاعدة فى اتجاه القمة للورقة، ويكون هذا فى النصف الأسفل للورقة فقط. ويمكن ملاحظته على الورقة الحديثة والخارجة لتوها من محيط الأوراق، ويظل لون العرق الوسطى أخضر داكن، ويقل طول وحجم النبات، ومع تقدم النقص تظهر على الأوراق بقع طولية وغير منتظمة ذات لون رمادى تتخلل اللون الأخضر. ولوحظ ظهور هذه الأعراض فى كثير من مزارع الذرة فى مصر وخاصة الموجودة فى مناطق الاستصلاح.

الفول البلدى والسودانى– البرسيم ومحاصيل الخضروات البقولية : لا يصل النبات إلى حجمه الكامل، وفى الأوراق العلوية الحديثة تكون المساحات بين العروق صفراء اللون، وقد يتحول اللون الأصفر إلى البنى فى الأوراق الأكبر عمراً، وتكون درجة الاصفرار أكبر، ويكون نصفى الورقة غير متماثلين فى الحجم.

القطن : يبدأ ظهورها فى الأوراق العليا الحديثة، وفى المراحل المبكرة لنمو النبات حيث يتحول لونها إلى اللون البرونزى مع وجود بقع صفراء بين العروق التى يبقى لونها أخضر ثم تصبح الورقة رقيقة السمك، وتنثنى حواف الورقة لأعلى مكونة شكل الفنجان. ويظهر النبات قصير نتيجة لقصر السلاميات وتتقارب الأوراق بحيث يأخذ شكل الشجيرة. وطبيعى أن يؤثر ذلك سلبياً على تكوين الأزهار وبالتالى اللوز ويقل المحصول. فى مصر لوحظ أعراض نقص الزنك فى القطن فى مناطق مختلفة فى مراحل متأخرة من العمر.

البطاطس : تظهر النباتات أصغر حجماً من الطبيعى، الأوراق الحديثة تأخذ الشكل الفنجانى حيث تنثنى حوافها لأعلى وتأخذ وضعاً رأسيا وتكون مساحتها أصغر من الطبيعى، وتقصر السلاميات.

الطماطم : اصفرار مع وجود اللون البنى بالأوراق الطرفية مع تدلى الأوراق لأسفل والتفاف الوريقات لأعلى.

١١الأسمدة الزنك وطرق إضافتها

هناك العديد من المركبات المحتوية على الزنك والتى تستخدم كمصدر لتسميد النباتات النامية فى الأراضى التى تعانى من نقص هذا العنصر. وجدول (7–6) يوضح أهم هذه المركبات مع المعدل الأمثل لكل طريقة إضافة، علماً بأن طريقة الإضافة ونوع السماد تتوقف على عوامل كثيرة أهمها نوع الأرض، وشدة النقص ووقت الإضافة... وخلافه. وطرق الإضافة متعددة وهى: الإضافة الأرضية (نثر – تكبيش)، التسميد الورقى (الرش)، تعفير البذور بمسحوق السماد أو نقع البذور فى محلول السماد، عمل جروح فى سيقان الأشجار ووضع قطعة إسفنجية مبللة بمحلول أو عجينه تحوى السماد.

ويجب الإشارة إلى إن خصائص التربة الزراعية تلعب دوراً هام فى اختيار نوع السماد وطريقة إضافته. ففى الأراضى الرملية وأيضاً القاعدية يفضل إضافة أسمدة الزنك بطريقة الرش وذلك لتجنب فقد كمية كبيرة منه فى الأرض الرملية عن طريق الغسيل، خاصةً عند استخدام كبريتات الزنك والمعروف بدرجة ذوبانه المرتفعة فى الماء، بينما فى الأرض القاعدية تكون الكمية المُثبتة كبيرة. وعلى ذلك يفضل استخدام المركبات المخلبية فى الأراضى القاعدية والجيرية. أما بالنسبة للأراضى المُنزرعة بالأرز يفضل استخدام سماد أكسيد الزنك ZnO على كبريتات الزنك $ZnSO_4$ بالرغم من إن درجة ذوبانه أقل وذلك لحدوث اختزال للكبريتات وينتج غاز كبريتيد الأيدروجين H_2S السام.

جدول (7-5): مصادر الأسمدة التى تحتوى على الزنك

والمعدلات المقترحة وطرق إضافتها

المصدر والـ % للزنك	معدلات الإضافة المقترحة حسب طريقة الإضافة كجم زنك /هكتار		
	الإضافة نثراً	الإضافة بالتكبيش	تسميد خضرى
كبريتات الزنك $ZnSO_4.7H_2O$ (23%) $ZnSO_4.H_2O$ (36%) أكسيد الزنك ZnO (60 - 80% زنك مخلبى Chelated Zn أ- مركبات صناعية Na_2-Zn EDTA (14%) ZnHEDTA(8%) Na-ZnNTA (13%) ب -مركبات طبيعية Zn-Lignin Sulphonate (5%) Zn - polyflavonoid (10%)	20 - 5 20 - 5 - -	5 - 3 5 - 3 1 - 0.5 4 - 0.5	كل هذه المركبات تستخدم بعدل من 15 إلى 250 **جرام زنك** مزابة فى 100لتر ماء

2 - الحديد IRON

الحديد فى الأراضى Iron In Soils

يصنف الحديد ضمن العناصر الضرورية الصغرى بالنسبة لاحتياجات النبات إليه ولكنه يعتبر من العناصر الكبرى جيوكيميائياً. حيث يوجد ضمن مكونات القشرة الأرضية بكمية كبيرة فهو يحتل المرتبة الرابعة فى نسبته بالقشرة الأرضية (والتى قد تصل إلى حوالى 5 %) بعد الأكسيجين والسيليكون والألومنيوم.

صور الحديد فى الأرض:

يوجد الحديد فى الأرض على عدة صور يمكن إيجازها فيما يلى:

– فى تركيب المعادن السليكاتية والتى تعرف بإسم الـ Ferromagnesian silicates مثل الأوليفين olivine، والهورنبلند Hornblende، والبيوتيت Biotite والتى تمثل المصدر الرئيسى للحديدFe. وأيضاً يوجد ضمن تركيب بعض المعادن الثانوية.

– فى بعض المركبات و التى يكون فيها بتركيز مرتفع كما فى الهيماتيت Fe_2O_3 الماجنيتيت Fe_3O_4 وهى أكاسيد حديد وكذلك يوجد فى صورة كربونات حديدوز كما هو الحال فى مركب السيدريت $FeCO_3$ و كربونات الحديديك $Fe_2(CO_3)_3$ ، سلفيد كما فى البيريت FeS_2، والليمونيت $Fe_2O_3.3H_2O$ والذى ربما يتكون كناتج من حدوث عمليتى التأدرت Hydration والأكسدة Oxidation لمركب السيدريت .

– كمية قليلة من الحديد الكلى الموجود بالأرض توجد على صورة متبادلة.

– يوجد الحديد ضمن مكونات بعض المواد العضوية، على هيئة معقدات أو مركبات كيلاتيه وهى مركبات مهمه من ناحية تغذية النبات.

– الحديد الذائب فى المحلول الأرضى منخفض جداً ويشمل بجانب المركبات العضوية، أيون ألحديدوز Fe^{+2}، الحديديك Fe^{+3} وأيدروكسيد الحديدوز $Fe(OH)_2$ علماً بأنه فى الأراضى جيدة التهويه قد ينعدم أيون الحديدوز.

الحديد الكلى فى الأرض:

يختلف الحديد عن باقى العناصر الصغرى من حيث كميته بالأرض، حيث يوجد بكمية كبيرة فى معظم أنواع الأراضى لدخوله فى التركيب الكيميائى لكثير من المعادن المكونة للقشرة الأرضية. ومن الطبيعى أن تختلف كميتة من أرض إلى أخرى حسب محتوى تلك الأراضى على المعادن الحاملة لهذا العنصر، وكمتوسط عام للأراضى المختلفة يكون الحديد موجود بنسبة 5% على أساس الوزن. وفى الأراضى الغنية بالحديد Ferroginous soils يتواجد الحديد بها بنسبة تفوق 10%. وفى الأراضى الرملية تكون الكمية الكلية قليلة حيث تصل النسبة إلى حوالى 1%، وتنخفض النسبة عن 1% فى الأراضى الرملية التى تتعرض للغسيل بواسطة مياة الأمطار.

وليس معنى وجود الحديد الكلى بكمية كبيرة فى أرضٍ ما بأن النباتات النامية بتلك الأرض قد لا تعانى من نقص الحديد لأن ذلك يتوقف على الكمية الميسرة من هذا العنصر للنبات.

الحديد الميسر بالأرض الزراعية:

تعتبر كمية الحديد الميسرة بالأرض الزراعية قليلة جداً بالمقارنة بكمية الحديد الكلية بنفس الأرض. ويوجد الحديد الميسر (الذائب) فى المحلول الأرضى إما على هيئة صورة معدنية مثل Fe^{+2}, Fe^{+3}, $Fe(OH)_2^+$, $FeOH^{+2}$ أوعلى صورة عضوية ذائبة مثل معقدات الحديد العضوية Fe - organic complexes. ويتوقف ظهور أعراض نقص للحديد على النباتات على الكمية الميسرة والتى تتحكم فيها عدة عوامل يمكن إيجازها فيما يلى:

1 –رقم الـ pH : تعتمد درجة ذوبان الحديد بدرجة كبيرة على pH الوسط، لدرجة أنه يحدث إنخفاض فى تركيز الحديد الذائب قدره 1000 ضعف مع كل زيادة فى الـ pH قدرها وحدة واحدة. وبالتالى يكون من الواضح أن تيسر الحديد للنبات يقل بدرجة عنيفة مع ارتفاع رقم الـ pH. وعلى ذلك يكون نقص الحديد الميسر فى الأراضى الجيرية فى الغالب نتيجة ارتفاع رقم الـ pH لها حيث يصبح أيون الحديديك هو السائد. ويمكن التقليل من شدة هذا النقص بخفض الـ pH بإضافة المركبات ذات التأثير الحامضى مثل الكبريت المعدنى لمثل هذه الأراضى. وعلى ذلك يمكن زيادة صلاحية الحديد للنبات فى الأراضى القاعدية بإضافة المواد العضوية لتلك الأراضى. وعكس ذلك فى الأراضى شديدة الحموضة يمكن أن يتواجد أيون الحديدوز بتركيز مرتفع قد يصل إلى حد السمية للنباتات النامية فى تلك الأراضى.

2– المادة العضوية: يزداد الحديد الميسر للنبات بوجود المادة العضوية حيث يوجود فى صورة مركبات مخلبية ذائبة فى المحلول الأرضى حتى ولو كان pH التربة مرتفع. وعلى ذلك يمكن القول بأن الأراضى الفقيرة فى محتواها من المادة العضوية قد تعانى من نقص الحديد الصالح للنبات.

3 – قوام التربة: الأراضى خشنة القوام كما هو فى حالة الأراضى الرملية والتى تحتوى أصلاً على كمية قليلة من الحديد الكلى، نتوقع أن تكون كمية الحديد الميسرة بها قليلة، وبالتالى تعانى النباتات النامية بها من نقص فى الحديد.

4- تأثير كربونات الكالسيوم: بجانب تأثيركربونات الكالسيوم على رفع رقم الـ pH والذى يؤثر سلبياً على تيسر الحديد الصالح للنبات فى مثل هذه الأراضى، تلعب كربونات الكالسيوم والماغنسيوم دوراً مهماً ومباشراً فى درجة ذوبان الحديد، حيث تؤدى زيادة كمية الكربونات إلى تحويل أيون الحديدوز الذائب إلى صورة غير ذائبة كأكسيد الحديديك أوهيدروكسيد الحديديك ويتضح ذلك من المعادلات الآتية:

$$Fe^{2+} + CaCO_3 \Rightarrow FeCO_3 + Ca^{2+}$$

$$2\,FeCO_3 + Ca(HCO_3)_2 + O_2 \Rightarrow Fe_2(CO_3)_3 + Ca(OH)_2$$

$$Fe_2(CO_3)_3 + 3\,H_2O \Rightarrow Fe2O_3\downarrow + 3\,H_2CO_3$$

وعلى ذلك فوجود الكربونات بالأرض يشجع على نقص الحديد الميسر للنبات وبالتالى ظهور الاصفرار على النباتات النامى بها. وهناك تفسير آخر لظهور الاصفرار على النباتات النامية فى الأراضى الجيرية وهو أن السبب يرجع إلى عرقلة أيون البيكربونات $HCO3^-$ لامتصاص أيون الحديد وانتقاله داخل النبات. ويعتبر أيون البيكربونات ناتج طبيعى من عملية التحلل المائى لكربونات الكالسيوم كما فى المعادلة التالية:

$$CaCO_3 + CO_2 + H_2O \Rightarrow Ca^{2+} + 2HCO_3^-$$

وقد فسر Mengle and Kirkby سنة 1987، تأثير أيون البيكربونات على امتصاص الحديد بواسطة النبات، بأن امتصاص هذا الأيون يؤدى إلى رفع pH خلايا الجذور (فى الفراغات الحرة Free space) وأنسجة الأوراق وهذا يؤدى إلى ترسيب الحديد داخل النبات (الجذور) وبالتالى تقل حركته مما يؤدى إلى ظهور الاصفرار على النموات الحديثة. وهنا يجب الإشارة إلى أن الاصفرار ليس ناتج من نقص الحديد الميسر بالتربة بل نتيجة تأثير الكربونات وهو ما يعرف **Lime induced iron chlorosis**، ويمكن التقليل من ظاهرة الاصفرار الناتج عن نقص الحديد فى الأراضى الجيرية بمراعاة ما يلى:

- عدم زيادة الرطوبة الأرضية أكثر من اللازم تجنباً لحدوث عملية التحلل المائى للكربونات.
- يمكن الإقلال من تاثير أيون OH^- الناتج من التحلل المائى للكربونات بزيادة نسبة ثانى أكسيد الكربون CO_2 فى الهواء الأرضى.
- يمكن إضافة بعض المركبات ذات التأثير الحامضى إلى مثل هذه الأراضى مثل الكبريت المعدنى.

5- محتوى الأرض من الرطوبة: مع ارتفاع رطوبة التربة الزراعية تقل بها التهوية، وبالتالى يتأثر نمو النبات حيث يصبح ضعيف ويكون أكثر قابلية للتعرض لنقص الحديد وخاصةً فى الأراضى الجيرية. ويشذ عن ذلك أراضى المنزرعة بالأرز والمغمورة بالماء باستمرار حيث يحدث اختزال للحديديك ويصبح فى صورة حديدوز ذائبة وصالحة للنبات وبالتالى لا تعانى معظم نباتات الأرز من نقص الحديد. وعلى ذلك فى الأراضى الجيرية يجب الحذر من ارتفاع المحتوى الرطوبى بها وذلك بتجنب الرى الذائد حيث لوحظ ظهور الاصفرار على النباتات النامية تحت هذه الظروف نتيجة حدوث التحلل المائى لكربونات الكالسيوم.

6- تأثير التضاد بين الأيونات Antagonistic ions: من الأسباب التى تؤدى إلى ظهور الإصفرار الناتج عن نقص الحديد على النباتات هو وجود أو إضافة أسمدة عناصر معينة، حيث وجد إن زيادة الفوسفور الذائب فى التربة يقلل من امتصاص الحديد (كما هو فى حالة تأثير الفوسفور على الزنك) ويعتقد بأن الفوسفات تساعد على ترسيب الحديد فى وسط النمو وتجعله فى صورة غير صالحة للامتصاص بواسطة النبات، وهناك رأى آخر يقول بأن تأثير زيادة الفوسفات على ظهور الإصفرار الناتج عن نقص الحديد يرجع إلى زيادة نسبة الفوسفور إلى الحديد (P / Fe) داخل النبات. أيضاً نفس التأثير وجد مع زيادة Cu , Mn , Mo and Zn فى وسط النمو حيث يحدث تداخل أو تضاد مع امتصاص الحديد بواسطة النبات وبالتالى يمكن أن تظهر أعراض نقص الحديد تحت هذه الظروف. وقد أشارت بعض الأبحاث أن زيادة مستوى التسميد النيتروجينى وخاصة إذا كان فى صورة نترات يؤدى إلى ظهور أعراض نقص الحديد، ويرتبط التداخل بين الحديد والنيتروجين بعدة آراء غالبيتها تؤكد إن إضافة الحديد مع التسميد النيتروجينى يزيد الإنتاج إذا أضيف النيتروجين فى صورة الأمونيوم NH_4^+ وذلك للتأثير الحامضى لهذا السماد والعكس مع إضافته فى صورة نترات NO_3^- ذات التأثير القاعدى. وأن زيادة التسميد النيتروجينى بصفة عامة يزيد النمو الخضرى وبالتالى المادة الجافة مما يسبب تخفيف تركيز الحديد فى النبات.

7 -**درجة الحرارة:** بجانب العوامل السابق ذكرها على تيسر الحديد فى التربة، وجد أن درجة الحرارة تلعب دوراً أيضاً، حيث وجد أنه مع انخفاض درجة الحرارة ينخفض معدل نمو النبات، وأيضاً يقل معدل معدنة المادة العضوية والتى تساهم بجزء أساسى من الحديد الميسر نتيجة لقلة نشاط الكائنات الدقيقة تحت هذه الظروف وبالتالى يمكن ظهور الاصفرار الناتج من نقص الحديد الميسر.

اختبارات التربة للحديد

تعتبر مستخلصات خلات الأمونيوم والمركب الكيلاتى DTPA من أكثر المحاليل انتشارا والمستخدمة لاستخلاص الحديد الصالح للنبات من التربة. ووجد أنه فى حالة احتواء التربة على 2 جزء فى المليون حديد مستخلص بخلات الأمونيوم تعانى النباتات النامية بتلك الأرض من نقص فى هذا العنصر. فى حين يمكن القول بأن المستوى الحرج للحديد فى التربة يكون فى مدى 2.5 – 4.5 جزء فى المليون حديد فى حالة الاستخلاص بمركب DTPA، حيث وجد أن معظم المحاصيل تستجيب لإضافة الحديد عندما يكون تركيز الحديد المستخلص بهذا المركب 2.5 جزء فى المليون، بينما المحاصيل الحساسة للحديد (المحاصيل ذات الاحتياجات المرتفعة) يكون من المفيد إضافة الحديد لهذه المحاصيل عندما يكون تركيز الحديد المستخلص من التربة فى مدى 2.5 – 4.5 جزء فى المليون. وجدول (8–7) يبين أهم المحاليل المستخدمة لاستخلاص الحديد من التربة .

جدول (7–6): طرق تقدير الحديد فى التربة.

محلول الاستخلاص	نسبة التربة (جم) إلى المحلول (مل)	زمن الرج (دقيقة)
محلول خلات الأمونيوم قوته 1 **ع**	50 : 2.5	30
DTPA (0.005 **M** DTPA + 0.1 **M** TEA + 0.01 **M** $CaCL_2$) (pH 7.3)	20 : 10	120

الحديد فى النبات Iron In Plant

الوظائف الحيوية للحديد Iron Biological Functions:

نتيجة لقدرة الحديد على الدخول فى صورة معقدات كيلاتية وكذلك إمكانية تغير تكافئه أى قدرته على التأكسد والإختزال داخل النبات، فيعتبر الحديد ذو تأثيرات فيسيولوجية مهمة.

$$Fe^{3+} + e^{-} \Leftrightarrow Fe^{2+}$$

– يلعب الحديد دور أساسى وضرورى فى نظام العديد من الإنزيمات وخاصة الإنزيمات التى تدخل أو تساعد فى عملية التنفس Haem enzyme systems والتى منها , Catalase Peroxidase وCytochrome oxidase . ويمثل اشتراك الحديد فى تكوين هذه المركبات أهمية خاصة فى عمليات الأكسدة وهو أحد الأدوار الهامة فى عمليات الميتابوليزم بالخلية.

– بالرغم من عدم دخول الحديد فى تركيب جزىء الكلوروفيل، إلا إنه مهم فى تخليق والحفاظ على هذه المادة الخضراء داخل النبات وعلى ذلك فنقصه يؤدى إلى ظهور الشحوب الخضرى ويظهر الاصفرار على النبات.

– يلعب دور أساسى فى تمثيل الأحماض النووية، والكلوروبلاست.

تركيز الحديد فى النبات:

تختلف كمية الحديد فى النباتات المختلفة، وعادةً يكون تركيز الحديد فى مدى يتراوح بين 50 إلى 100 جزء فى المليون. وعموماً، تكون النباتات البقولية غنية فى محتواها من الحديد بالمقارنة بالنباتات العشبية (المراعى). وأيضاً الأجزاء النباتية المسنة يكون محتواها من الحديد أكبر من الأجزاء حديثة النمو لنفس النبات ويرجع ذلك إلى عدم حركة هذا العنصر داخل النبات. وعلى ذلك يكون من المهم مراعاة هذا عند أخذ العينات النباتية للتحليل.

الحدود الحرجة للحديد فى النبات:

بصفة عامة، إذا كان تركيز الحديد داخل أنسجة النبات أقل من 50 جزء فى المليون فهذا يعنى أن هذه النباتات تعانى من نقص فى الحديد ويتضح ذلك من جدول (8–8). لكن يجب القول بأنه فى بعض الحالات يكون مستوى الحديد الكلى داخل النبات مرتفع ومع ذلك يظهر عليه الاصفرار Chlorois، ويرجع ذلك لأن النبات يستفيد من الحديد فى صورة حديدوز أكثر منه فى صورة حديديك، ولذلك يعمل النبات على اختزال الحديديك بمجرد امتصاصه إلى حديدوز. ووجد أن النباتات تختلف فيما بينها فى قدرتها على اختزال الحديديك. حيث أثبتت الأبحاث أن محتوى الأوراق الخضراء من أيون الحديدوز Fe^{2+} يفوق بكثير محتوى الأوراق التى يظهر عليها الاصفرار لنفس النبات. وعلى ذلك يمكن القول بأنه فى داخل النبات يوجد حديد نشط Active iron (Fe^{2+}) وهو الحديد الذائب وله علاقة مباشرة بتكوين الكلوروفيل وباقى

العمليات الحيوية التى تحتاج إلى الحديد فى عملها، بينما الحديد الغير نشط Inactive iron (Fe^{3+}) يكون مترسب وليس له علاقة بالعمليات الحيوية. ويلعب المنجنيز دور أساسى فى أكسدة الحديدوز (النشط) إلى حديديك (غير نشط) وبالتالى فزيادة المنجنيز داخل النبات يسبب الاصفرار بالرغم من أن الحديد الكلى موجود بتركيز مرتفع ويعرف ذلك بما يسمى بنقص الحديد الناتج عن زيادة المنجنيز **Mn-induced iron deficiency**. وأيضاً يمكن تعليل سبب ظهور الاصفرار على الأوراق Iron chlorotic leaves بالرغم من ارتفاع محتواها من الحديد الكلى إلى أن الحديد يكون مرتبط بإصول كيميائية داخل النبات مثل أنيونات , OH^- , $H_2PO_4^-$ HCO_3^- أو مركبات مخلبية فى خلايا الورقة وبالتالى لايرتبط الحديد مع المركبات العضوية التى تستخدم الحديد فى العمليات الحيوية بالخلية.

جدول (7-7): الحدود الحرجة للحديد فى بعض النباتات.

المحصول	الجزء المأخوذ للتحليل	تركيز الحديد (جزء فى المليون)	
		حدود النقص	الحدود الطبيعية
الذرة	الأوراق الناضجة حديثاً	56 - 24	178 - 56
الأرز	الأوراق	63>	80 <
فول الصويا	السيقان(فى عمر 34 يوم)	38 - 28	60 - 44
عباد الشمس	الأوراق الناضجة حديثاً	80	113
البرسيم الحجازى	بطول 15سم من القمة	30 >	400- 30
القطن	الأوراق الناضجة حديثاً	50 >	350 - 50

عن (FAO) سنة 1983

أما بالنسبة للسمية الناتجة عن زيادة الحديد فهى قليلة الحدوث بالنسبة للمحاصيل المختلفة، والتركيز المسبب لحدوث السمية غير معروف. ويشذ عن هذا نباتات الأرز فى بعض مزارعه وخاصة فى الأراضى شديدة الحموضة حيث تظهر أعراض السمية بظهور اللون البرونزى Bronzing على الأوراق ويكون تركيز الحديد أكثر من 300 جزء فى المليون فى هذه النباتات.

أعراض نقص الحديد على النبات

قد تظهر أعراض نقص الحديد والناتج عن نقص الكمية الصالحة فى التربة عندما يقل تركيزه داخل النبات عن 50 جزء فى المليون. ويمكن ذكر الظروف التى تشجع على ظهور الإصفرار Chlorosis وهو العَرَض الرئيسى على النبات فيما يلى: انخفاض محتوى التربة من الحديد الصالح (الحد الحرج للحديد والمستخلص بمحلول DTPA هو فى مدى 2.5–4.5 ppm) – ارتفاع نسبة الكربونات فى التربة – ارتفاع مستوى البيكربونات الذائبة فى التربة وفى مياة الرى – زيادة الفوسفات الذائبة – زيادة النترات – الرى الزائد وارتفاع نسبة الرطوبة بالأرض – زيادة تركيز المعادن الثقيلة بالتربة مثل Mn , Cu , Zn وغيرها – عدم الاتزان بين نسب الكاتيونات فى النبات – التهوية السيئة – انخفاض درجة حرارة التربة – زيادة الكثافة الضوئية – معدل إضافة المادة العضوية – الإصابة بالفيروسات – إصابة الجذور بالنيماتودا أو الكائنات الأرضية الأخرى وأخيراً العوامل الوراثية للنبات.

يعتبر الحديد من العناصر غير متحركة داخل النبات وبالتالى تظهر أعراض نقصه على الأوراق حديثة النمو. وأهم الأعراض الظاهرية مايلى:

1 – أهم الأعراض المعروفة هى ظهور اصفرار على الأوراق الحديثة النمو. ويبدأ الإصفرار بظهور لون أخضر باهت ثم يتبعه ظهور اللون الأصفر وفى مناطق متداخلة على الورقة، مع بقاء العروق خضراء.

2 – فى العديد من الحالات، ومع شدة النقص يتحول اللون الأصفر إلى اللون الأبيض مع انعكاس الشمس على الورقة.

ومن الجدير بالذكر أنه قد يحدث تشابه بين أعراض نقص الحديد والماغنسيوم وذلك لتأثيرهما على تكوين جزىء الكلوروفيل فى النبات إلا أن عنصر الماغنسيوم من العناصر المتحركة فى داخل النبات وبالتالى تظهر الأعراض على الأوراق المسنة.

وفيما يلى أعراض نقص الحديد على نباتات بعض المحاصيل الاقتصادية فى مصر:

الموالح : تظهر الأعراض على الأوراق الحديثة على شكل شبكة دقيقة التحديد من العروق الصغيرة ذات اللون الأخضر ويتخللها أنسجة ذات لون أصفر، ويظهر التعريق بوضوح على خلفية من اللون الأخضر الباهت لنصل الورقة، ومع نمو الورقة تصبح أقل سمكاً ونصف شفافة فى حين لا ينقص حجم الورقة كثيراً، و مع شدة النقص تخرج أوراق النموات الحديثة بلون أصفر ولا تصل إلى حجمها الطبيعى وتتساقط مبكراً، وفى الحالات الشديدة تكون الأوراق الحديثة بيضاء اللون، وتموت الأوراق والأفرع المعرضة للشمس. وفى مصر لوحظ ظهور أعراض نقص

الحديد فى كثير من مزارع الموالح ويكون ذلك مرتبطاً بزيادة نسبة كربونات الكالسيوم فى التربة أو فى مياه الرى، وأيضاً لوحظ زيادة فى نقص الحديد وذلك فى حالة عدم ضبط الرى.

العنب : وهنا تظهر الأعراض مبكراً مع بداية موسم النمو وذلك بتحول لون الورقة إلى اللون الأصفر أو الأبيض المصفر مع بقاء اللون الأخضر فقط محدداً لشبكة العروق. ويزداد ظهور الأعراض فى الأراضى ذات المحتوى المرتفع من كربونات الكالسيوم.

القمح – الشعير و الأرز : تظهر العروق المتوازية بلون أخضر يحدد شبكة التعريق، فى حين يكون باقى النصل أصفر ويتضح ذلك فى الأوراق الطرفية.

الذرة : يبدأ على الأوراق الحديثة بشكل خطوط خضراء تميز العروق الأساسية بدقة وبينها مساحات صفراء تماما بطول الورقة كله وتظهر على الأوراق الطرفية أولاً ومع تقدم النقص يتحول لون الورقة إلى اللون الأبيض وتموت تماماً.

الفول البلدى والسودانى – البرسيم و محاصيل الخضروات البقولية : شبكة دقيقة من العروق الخضراء تظهر على خلفية صفراء اللون تماما وذلك على الأوراق الطرفية صغيرة العمر.

القطن : قد تتشابه أعراض نقص الحديد مع أعراض نقص النيتروجين وخاصة فى المراحل المبكرة من النمو أى عندما يكون النبات صغيراً فى العمر، وتحت الظروف العادية تظهر أعراض نقص الحديد فى الأعمار المتقدمة وذلك على الأوراق الحديثة، وتتمثل الأعراض فى اصفرار النصل مع بقاء العروق خضراء وتظل الأوراق المسنة خضراء فى حين نجد أن نقص النيتروجين يكون على الأوراق المسنة أولاً، وقد لوحظت الأعراض على أوراق القطن فى بعض مناطق الوجه البحرى ومصر الوسطى.

البطاطس : تظهر الأعراض على الأوراق الحديثة ، وتتميز بأن قمم وحواف الوريقات تظل خضراء لفترة أطول من باقى الورقة والتى يصبح لونها أصفر شاحب. وقد يتحول إلى اللون الأبيض مع شدة النقص وتنثنى حواف النسيج الأصفر إلى أعلى. وقد لوحظت هذه الأعراض فى بعض زراعات البطاطس فى الأراضى الرملية.

الطماطم : يبدأ باصفرار النسيج الموجود بين العروق الوسطى للأوراق العليا، بينما تظل العروق بلونها الطبيعى ويلاحظ أن الإصفرار يكون عام بالوريقة السفلى للأوراق العليا مع تدرج اللون الأصفر بالوريقات الأخرى بالورقة، ويكون أقلها اصفراراً الوريقة المتصلة بعنق الورقة مباشرة. وتظهر أعراض النقص فى نهاية عمر النبات فى حالة الزراعات الكثيفة مع عدم إضافة الأسمدة العضوية بكمية كافية.

أسمدة الحديد وطرق إضافتها.

هناك عدة مصادر لمركبات الحديد والتى تستخدم كأسمدة لمعالجة نقص الحديد الميسر بالتربة الزراعية يوضحها جدول (7–9). وتختلف طرق إضافة هذه الأسمدة حسب نوع الأرض ونوع السماد وأيضاً حسب المحصول. حيث اتضح أن كفاءة استخدام الأسمدة المخلبية أعلى من الأسمدة المعدنية وخاصةً عند إضافتها للأراضى القاعدية أو الجيرية. ويرجع ذلك لأن قوة ارتباط الأيون بالمركب المخلبى كبيرة وبالتالى يفقد الأيون قدرته على التفاعل مع المكونات الأخرى للتربة وعلى ذلك يبقى العنصر فى صورة ذائبة فى المحلول الأرضى وميسرة للنبات حتى فى الوسط القاعدى. وقد يفسر تأثير المركبات المخلبية فى زيادة صلاحية الحديد للنبات على أساس أن جذور النبات تمتص الكاتيون الغذائى من المركب المخلبى عن طريق التبادل بالتماس بين الجذر والمركب المخلبى فينتقل الكاتيون إلى الجذر وينطلق بدلاً منه أيون الأيدروجين تاركاً الجزء العضوى فى محلول التربة، وبفقد الكاتيون من المركب المخلبى يتهدم البناء الحلقى ثم يتحد المركب مرة أخرى مع كاتيونات المحلول الأرضى ومنها أيون الحديد والذى يزداد تيسرة نتيجة انخفاض الـ pH الناتج من انطلاق أيون الأيدروجين ويتكون المعقد المخلبى مرة أخرى. وأوضحت الدراسات على سلوك المركبات المخلبية , Fe-DTPA (ثنائى الإيثيلين ثلاثى الأمين خماسى حمض الخليك), Fe-EDTA (الإيثيلين ثنائى الأمين رباعى حمض الخليك) و-Fe EDDHA (إيثيلين ثنائى الأمين ثنائى الفينيل هيدروكسى حامض الخليك) بالأراضى الجيرية ودرجة صلاحيتها للنبات وجد أن أعلى كمية ممتصة من الحديد بواسطة النبات كانت باستخدام مركب Fe-EDDHA، وإن حوالى 65% من الحديد تظل فى صورة ذائبة بالمحلول الأرضى عند استخدام نفس المركب(Lindsay) سنة 1974. ويستنتج من هذه النتائج بأن مركب Fe EDDHA- يكون أكثر ثباتاً فى الأراضى الجيرية عن باقى المركبات المخلبية الأخرى والتى يحل الكالسيوم محل الحديد الموجود بها مع ارتفاع رقم الـ pH .

جدول (7-8): الأسمدة الحاملة للحديد والمستخدمة في الزراعة ومعدل استخدامها.

السماد ورمزه الكيميائى	النسبة المئوية للحديد	معدل وطريقة الإضافة*
المركبات المعدنية		
كبريتات الحديدوز FeSO4.7H2O	20.5	يفضل إضافتها رشاً بتركيز 2% كبريتات حديدوز بمعدل 80-120 لتر للفدان
كبريتات الحديديك Fe2 (SO4)3.4H2O	20.0	
كبريتات الأمونيوم والحديدوز (NH4)2SO4,FeSO 4.6H2O	14.0	
المركبات المخلبية		
Fe-DTPA	10.0	الحديد المخلبى يضاف رشاً وبعدل 0.5 - 1كجم حديد مخلبى /400 لتر للفدان
Fe-EDTA	12.0-9.0	
Fe-EDDHA	6.0	
Fe-HEDTA	9.0-5.0	

عن : (FAO,) سنة 1983 و * أبو الروس وآخرون 1992

3 – المنجنيز Manganese

المنجنيز فى الأراضى Manganese In Soils

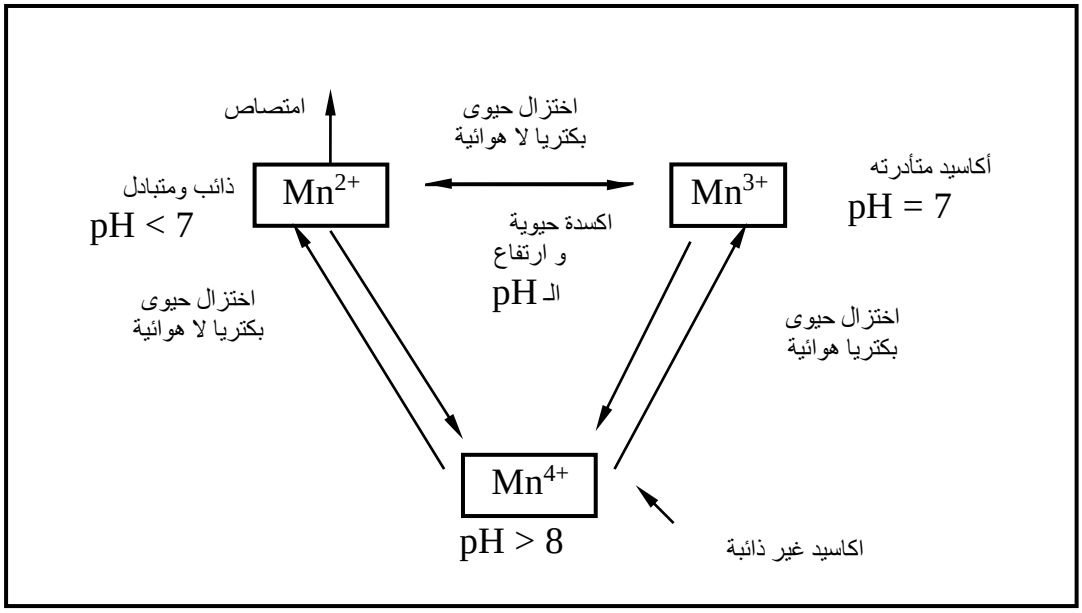
يتشابه المنجنيز مع الحديد فى صفاته الكيميائية والتراكيب الجيولوجية بالأرض، ويحتل المركز الثانى بعد الحديد من ناحية كميته فى مكونات القشرة الأرضية. ويوجد المنجنيز فى الأرض على عدة صور أهمها:

– مركبات ذو تركيزات مرتفعة من المنجنيز كما فى بعض المعادن الثانوية وأهم هذه المعادن البيرولوسيت (Pyrolusite (MnO_2)، المنجانيت (Manganite (MnO(OH) والبرونيت (Braunite (Mn_2O_3)، والهوسمنيت (Hausmannite (Mn_3O_4).

– المنجنيز من العناصر متعددة التكافؤ حيث يكون ثنائى، ثلاثى، رباعى، سداسى أو سباعى، وتعتبر الصورة الثنائية Mn^{2+} من أهم صور المنجنيز بالتربة الزراعية وذلك لكونها أفضل الصور الصالحة للامتصاص بواسطة النبات وهى تعرف بالصورة النشطة. وبحدوث الأكسدة لهذه الصورة تتحول إلى الصورة الثلاثية ثم الرباعية. وقد يوجد المنجنيز مرافق للمادة العضوية بالتربة.

– المنجنيز الثنائى التكافؤ قد يكون ذائباً تماماً فى المحلول الأرضى أو مدمصاً على أسطح الغرويات الأرضية سواء معدنية كما فى الأكاسيد السداسية أو عضوية.

ويوجد حالة من التوازن بين الصورة الثنائية التكافؤ والصور عالية التكافؤ، وهذا الاتزان والتغير فى التكافؤ يحكمه ظروف التأكسد والاختزال بالأرض. أيضاً يتوقف مستوى المنجنيز الذائب بالأرض على رقم الـ pH، حيث يزداد المنجنيز الذائب Mn^{2+} بانخفاض الـ pH. بينما فى الأراضى القاعدية والأراضى جيدة التهوية يزداد وجود المنجنيز عالى التكافؤ، وشكل (7–1) يوضح ذلك فيما يعرف بدورة المنجنيز فى التربة الزراعية.



شكل (7–1): دورة المنجنيز فى التربة.

المنجنيز الكلى بالأرض:

تختلف الأراضى فيما بينها اختلافاً كبيراً فى محتواها من المنجنيز الكلى. فهناك أراضى يكون محتواها من المنجنيز الكلى قليل جداً قد يصل فى ندرته إلى آثار، بينما أراضى أخرى قد يزيد محتواها من هذا العنصر عن 10%. وفى الغالب يكون متوسط تركيز المنجنيز الكلى ما بين 200 – 300 جزء فى المليون. ويعتبر المنجنيز الثنائى التكافؤ قابل للحركة مما يجعله يتعرض للغسيل وخاصة فى أراضى البودزول الحامضية، وعلى هذا يقلل من محتوى الأرض من المنجنيز الكلى. وهنا يجب التذكرة بأن المنجنيز الكلى بالأرض ليس دليل على خصوبتها من هذا العنصر بالنسبة للنبات لأن ذلك يتوقف على الكمية الصالحة والموجودة فى صورة ميسرة للنبات.

المنجنيز الميسر بالأرض الزراعية:

من دورة المنجنيز فى الأرض نلاحظ أن الصورة الثنائية من المنجنيز هى الصورة الأكثر أهمية وذلك لعلاقتها المباشرة بتغذية النبات. وعلى ذلك فإن حالة التوازن بين الصور

الثلاثة تحدد الكمية النشطة والذائبة فى محلول التربة. ويوجد عدة عوامل تؤثر على كمية المنجنيز الميسرة (الذائبة) للنبات يمكن إيجازها كما يلى:

1 – درجة الـ pH : ارتفاع pH التربة يؤدى إلى خفض الكمية الميسرة من المنجنيز إلى الدرجة التى لا تسمح بإمداد النباتات النامية فى هذه الأراضى بحاجتها من هذا العنصر حيث يتأكسد المزيد من المنجنيز الثنائى تحت هذه الظروف. و يتضح ذلك جلياً فى الأراضى الجيرية حيث أن محتوى هذه الأراضى من المنجنيز الكلى كبير ولكن الكمية الميسرة منه قليلة جداً وذلك يرجع إلى ارتفاع pH هذه الأراضى. وعلى ذلك فمن المفيد استخدام الأسمدة ذات التأثير الحامضى والتى تزيد من المنجنيز الميسر نتيجة لخفضها pH التربة. كذلك هناك تأثير آخر لـ pH التربة، حيث يؤثر على نشاط الكائنات الدقيقة والتى لها دور هام فى عمليتى الأكسدة والاختزال للمنجنيز حيث وجد أن هذه الكائنات تقوم بعملية الأكسدة عند قيم من pH حول رقم 7 ويتحول Mn^{++} إلى صور Mn^{+++}, Mn^{++++} غير الميسرة للنبات. وعكس ذلك فى الأراضى الحامضية حيث يزداد تيسر المنجنيز إلى الدرجة التى قد يصبح معها تركيزه فى المحلول الأرضى ساماً مما يسبب مشاكل للنباتات النامية بتلك الأراضى.

2– المادة العضوية: كما هو معروف تعمل المادة العضوية على خفض الـ pH للأراضى التى تضاف إليها وبالتالى يكون من المتوقع أن يكون الوسط الحامضى هذا ملائم لحدوث عملية الاختزال وبالتالى تيسر المنجنيز للنبات، وبجانب هذا ومع تحلل المادة العضوية تنطلق بعض الأحماض العضوية ذات الوزن الجزيئى المنخفض والتى تعمل كمركب مخلبى يرتبط مع المنجنيز ويجعله فى صورة صالحة للنبات. قد تعانى النباتات النامية فى الأراضى القاعدية وذات المحتوى المرتفع من المادة العضوية من نقص المنجنيز وذلك لأن ارتفاع pH الأرض يساعد على تكوين معقدات ثابتة للمنجنيز مع المادة العضوية مما يقلل من صلاحية هذا العنصر.

3– قوام التربة: عموماً الأراضى الرملية يكون محتواها الكلى من المنجنيز قليل، وعلى ذلك يكون من المتوقع أن يكون المنجنيز الميسر بهذه الأراضى قليل.

4 – محتوى الأرض من الرطوبة: نظراً لأن المنجنيز من العناصر متعددة التكافؤ مثله مثل الحديد، فنجد أن ظروف التهوية تلعب دوراً أساسياً فى تحديد الكمية الصالحة من هذا العنصر (Mn^{++}). وعلى ذلك نجد أنه تحت ظروف التهوية السيئة ونقص الأكسجين تزداد كمية Mn^{++} نتيجة لحدوث عملية الاختزال للصور العالية التكافؤ من المنجنيز، وتلعب المادة العضوية سهلة

التحلل دور مهم فى زيادة هذه الكمية وذلك لأن مع تحللها تنطلق الطاقة التى تستخدمها الكائنات الدقيقة المسئولة عن عملية الاختزال. وعلى ذلك فالنباتات المائية ومن أمثلتها الأرز قد لا تعانى من نقص المنجنيز لزيادة ذوبانة تحت هذه الظروف. كما أنه فى بعض المناطق يحدث فى وقتٍ واحد زيادة فى كلٍ من الكمية الميسرة نتيجة لظروف الاختزال، والكمية المفقودة من هذه الصورة نتيجة لعملية الغسيل، كما فى المناطق الرطبة الممطرة.

5 – تأثير الأيونات المغذية الأخرى: وجد أن هناك بعض الأيونات التى تؤثر سلبياً على المنجنيز الممتص بواسطة النبات أى هناك ما يعرف باسم ظاهرة التضاد **Antagonism** بين المنجنيز وهذه الأيونات. ومن الأمثلة الواضحة فى هذا المجال التضاد مع أيون الحديد، حيث أن المستوى المرتفع من الحديد الميسر بالتربة يؤدى إلى ظهور أعراض نقص المنجنيز على النبات. ولقد أثبتت الدراسات بأن أقصى درجة لنمو النبات تحدث عندما تكون نسبة الحديد : المنجنيز Fe: Mn ratio فى وسط النمو تنحصر بين 1.5 –2.5. ففى حالة ارتفاع النسبة عن 2.5 تؤدى إلى ظهور أعراض نقص المنجنيز على النبات، بينما بانخفاض هذه النسبة عن 1.5 تظهر أعراض السمية لهذا العنصر. ومثل الحديد، فى هذه المستويات المرتفعة من النحاس والزنك حيث يعرقل كل منهما امتصاص المنجنيز.

6– العوامل المناخية: تظهر أعراض النقص لعنصر المنجنيز على النباتات النامية فى المناطق ذات المناخ البارد، وأيضاً فى المناخ الجافقد تعانى نقصاً فى امتصاص المنجنيز. وعلى العكس من ذلك فإن زيادة شدة الضوء تزيد من المنجنيز الممتص.

اختبارات التربة للمنجنيز

سبق وأن ذكرنا أن الصورة الميسرة للنبات من المنجنيز هى المنجنيز الثنائى التكافؤ Mn^{++}، بالإضافة إلى الصور السهلة الاختزال من المنجنيز، كلٍ من الصورتين تسمى بالمنجنيز النشط "Active Mn". والطرق المستخدمة لتقدير المنجنيز الميسر للنبات تقوم باستخلاص جزء من هذه الصورة النشطة. يمكن تقدير المنجنيز الذائب فى التربة عن طريق الاستخلاص بالماء، ولكن عادة يكون تركيز المنجنيز فى هذا المستخلص منخفض جداً. وقد تكون هذه الطريقة ملائمة لاستخلاص المنجنيز من الأراضى الحامضية. وتعتبر القيمة 2 جزء فى المليون من المنجنيز المستخلص بالماء منخفضة بالنسبة للمحاصيل الحساسة للمنجنيز، فى حين القيمة 1

جزء فى المليون لنفس المستخلص هى الحد الحرج والذى عنده تظهر أعراض نقص المنجنيز على النباتات النامية فى هذه الأراضى. أما بالنسبة لمحلول خلات الأمونيوم العيارى والمتعادل تكون الأراضى ذات محتوى منخفض من المنجنيز وتعانى النباتات النامية بها من نقص هذا العنصر إذا كانت القيمة المستخلصة 3.5 جزء فى المليون، وهذه الطريقة يمكن استخدامها بنجاح فى كثير من الأراضى. وتعتبر طريقة الاستخلاص بمركب DTPA من اكثر الطرق نجاحاً فى كثير من الأراضى ولكثير من المحاصيل وتعتبر القيمة 2 جزء فى المليون فى هذا المستخلص هى البداية لعدم استجابة المحاصيل المختلفة لإضافة المنجنيز لهذه الأرض. والمستوى الحرج للمنجنيز المستخلص بمحلول الفوسفات هى فى مدى 15–20 جزء فى المليون، وهذه الطريقة من أحسن الطرق المستخدمة للأراضى المعدنية. وجدول (7–10) يوضيح تركيب المحاليل المختلف وطريقة استخدامها.

جدول (7–10): طرق استخلاص المجنيز من التربة.

محلول الاستخلاص	التربة(جم) إلى المستخلص مل	زمن الرج (دقيقة)
المـاء	100 : 10	30
1 **ع** خلات أمونيوم (pH 7.0)	100 : 10	180 + 30 رج متقطع
0.2% Hydroquinone + **N** NH_4OAc خلات أمونيم(pH 7.0)	100 : 10	80 + 30 رج متقطع
0.1 **ع** حمض H_3PO_4	100 : 10	60
Double acid (0.05 **N** HCL + 0.025 **N** H2SO4)	20 : 5	5
DTPA (0.005 **M** DTPA + 0.1 **N** TEA + 0.01 **M** $CacL_2$ (pH 7.3)	20 : 10	120

المنجنيز فى النبات Manganese In Plant

يحتاج النبات المنجنيز بكميات قليلة لأن جميع مركبات هذا العنصر ذات سمية ملحوظة للنبات إلا إذا وجدت بتركيزات قليلة جداً. وعادةً يوجد المنجنيز بكميات وفيرة داخل الأجزاء النشطة فسيولوجياً من النبات وخاصة الأوراق، والمنجنيز من العناصر غير المتحركة داخل النبات وبالتالى إعادة توزيع هذا العنصر بين الأجزاء المختلفة داخل النبات قليلة جداً. يساهم المنجنيز فى العديد من العمليات الحيوية داخل النبات والتى تؤدى إلى زيادة الإنتاج وتُحسن من جودته فى كثير من المحاصيل الزراعية، حيث يقوم بدور العامل المساعد الأساسى أو الثانوى فى حياة النبات، وهو يلعب دوراً مباشراً فى عمليات التأكسد والاختزال وخاصة بالنسبة لمركبات الحديد حيث يُمثل المنجنيز أحد العوامل المسببة لظهور الاصفرار الناتج عن نقص الحديد، ويرجع ذلك لتحول الحديدوز إلى حديديك وهذه الصورة تُعتبر خاملة من الوجهة الفسيولوجية. وينشط المنجنيز كثير من الإنزيمات مثل الديهيدروجينيز والكربوكسيليز، وقد ينشط بعض إنزيمات الهيدروجينيز والكربوكسيليز والتى ينشطها الماغنسيوم ولكنه لا يقوم بنفس العمل بالنسبة للإنزيمات التى ينشطها بعض الكاتيونات الأخرى. وللمنجنيز علاقة بتكوين الكلوروفيل، حيث تتأثر البلاستيدات الخضراء بنقص المنجنيز. كذلك وجد أن المنجنيز ضرورى لإنشطار جزىء الماء أثناء عملية التمثيل الضوئى (Hill's reaction) كما فى المعادلة حيث يقوم بأكسدة جزىء الماء فى وجود الضوء والكلوروفيل إلى أيونات الأيدروجين والأكسجين ثم تُختزل أيونات المنجنيز باستقبالها لأيونات الأيدروجين. أيضاً يلعب المنجنيز دوراً هاماً فى تمثيل النيتروجين داخل النبات.

$$2H_2O + 4Mn^{4+} \Rightarrow 4H^+ + O_2 + 4Mn^{3+} \; 4e$$

تركيز المنجنيز فى النبات:

يختلف المنجنيز عن باقى العناصر الصغرى من حيث اختلاف تركيزه بالنبات حيث وجد أن هناك اختلافات كبيرة فى تركيز المنجنيز داخل النباتات المختلفة وليس هذا فقط بل أيضاً بين النباتات داخل النوع الواحد. والتركيز العادى لهذا العنصر بالنباتات يكون فى مدى 20 إلى 500 جزء فى المليون فى المادة الجافة ويتضح ذلك من جدول (7–11). عادةً يقل تركيز المنجنيز داخل النبات مع زيادة عمر هذا النبات، كذلك وجد أن تركيز المنجنيز بالنبات يرتبط برقم pH بالتربة النامى بها هذا النبات، حيث يقل التركيز مع ارتفاع الـ pH بالتربة. وعلى هذا نجد أن

الحدود الحرجة لهذا العنصر تختلف من نبات إلى آخر كما فى جدول (7-11)، ومن هذا الجدول نجد أنه عند انخفاض التركيز عن 20 جزء فى المليون فى كثير من النباتات تظهر أعراض نقص المنجنيز. بينما تظهر أعراض السمية على النبات إذا زاد التركيز عن 500 جزء فى المليون، ويشذ عن ذلك نبات الأرز حيث وجد أن هذا النبات شديد التحمل لزيادة المنجنيز فى وسط النمو حتى إذا وصل التركيز إلى 2500 جزء فى المليون كما وجد أيضاً أن هناك علاقة بين كلٍ من أعراض النقص والسمية بعنصر المنجنيز والتى تظهر على النبات بمحتوى هذا النبات من الحديد. فالتركيز المرتفع جداً أو المنخفض جداً من الحديد بالنبات مقارنة بتركيز المنجنيز يؤدى إلى ظهور أعراض النقص أو السمية بالمنجنيز على النبات بالترتيب.

جدول (7-11): الحدود الحرجة لتركيز المنجنيز فى بعض المحاصيل.

النبات	الجزء النباتى	نوع المزرعة النباتية	تركيز المنجنيز بالجزء فى المليون حدود النقص حدود الكفاية حدود السمية		
البرسم الحجازى	القمة النباتية القمة النباتية	محلول مغذى مزرعة أرضية	10> -	- 240-62	- 1970-651
التفاح	الأوراق	حقل	15	30	-
الشعير	القمة النباتية	مزرعة أرضية	-	76-14	-
فاصوليا الليما	القمة النامية	حقل	68-32	1340-207	-
الذرة	كيزان أوراق	الحقل	-	84-19	-
القطن	القمة النامية	مزرعة أرضية	-	216-27	2920-1130
الشوفان	القمة النامية	أرض حمضية	-	370-301	-
البرتقال	الأوراق	الحقل	15	200-25	1000
الأرز	القمة النامية	محلول مغذى	20>	-	2500<
فول الصويا	القمة النامية	مزرعة أرضية	15>	35	-
بنجر السكر	الأوراق	الحقل	30-5	1700-7	3020-1250
الطماطم	الأوراق	محلول مغذى	6-5	398-70	-
القمح	القمة النامية	محلول مغذى	-	621-181	2561-395

عن (FAO) 1983.

حساسية النباتات لنقص المنجنيز بالتربة:

تختلف النباتات فيما بينها فى درجة حساسيتها لنقص المنجنيز الميسر ويمكن تصنيفها كما يلى:

أ – نباتات عالية الحساسية لنقص المنجنيز وتشمل: الفول، الخيار، الخس، الشوفان، البسلة، الفجل، فول الصويا، الذرة الرفيعة، السبانخ، بنجر السكر، القمح، الموالح، التفاح، الخوخ، العنب و الفراولة.

ب – نباتات متوسطة الحساسية لنقص المنجنيز وتشمل: البرسيم الحجازى، الشعير، الكرنب، القرنبيط، الطماطم، البطاطس، الأرز و اللفت.

جـ – نباتات درجة حساسيتها منخفضة وتشمل: الإسبرجس والقطن.

أما بالنسبة لدرجة حساسية النبات لزيادة المنجنيز الذائب، يعتبر الأرز من أهم المحاصيل تحملاً، بينما البرسيم الحجازى والكرنب والقرنبيط والأناناس وبنجر السكر والطماطم ومحاصيل الحبوب والبرسيم تعتبر من المحاصيل الحساسة لزيادة المنجنيز وبالتالى تظهر عليها أعراض السمية.

أعراض نقص المنجنيز على النبات:

تبدأ ظهور الأعراض أولاً على الأوراق الحديثة النمو عند انخفاض تركيز المنجنيز فى النبات عن 20 جزء فى المليون. ويمكن ذكر الظروف المشجعة على ظهور هذه الأعراض والتى تتمثل فى: انخفاض محتوى التربة من المنجنيز الميسر والمستخلص بمحلول DTPA عن 2.0 جزء فى المليون، وفى الأراضى القاعدية، إرتفاع محتوى الأرض من الكمية الميسرة لعناصر الحديد، النحاس و الزنك وفىأراضى المناطق الجافة وأراضى المناطق الباردة وأراضى المناطق شديدة الأمطار.

وتكون هذه الأعراض باختصار كما يلى:

– ظهور اصفرار بين عروق الأوراق الحديثة، ثم تتميز بعد ذلك بظهور بقع بنية لأنسجة ميتة منتشرة على الورقة مع بقاء عروق الورقة خضراء داكنة (أى تبدو الورقة مبقعة كلوحة الشطرنج).

– تظهر منطقة ذات لون رمادى عند قاعدة الأوراق الصغيرة ثم يتحول إلى لون مصفر وفى النهاية يتحول إلى اللون البرتقالى المصفر.

– وأعراض المنجنيز المنتشرة على نباتات الشوفان تعرف باسم البقع الرمادية Grey speck وعلى البسلة تعرف باسم نقط المستنقعات أو البقع السبخية Marsh spot و على قصب السكر تعرف باسم الأمراض الخطية أو الشريطيةStreak disease.

وفيما يلى أعراض نقص المنجنيز على أهم المحاصيل الاقتصادية:

الموالح : تظهر الأعراض أولاً على الأوراق الحديثة فى شكل مناطق ذات لون أخضر داكن على طول العرق الوسطى والعروق الجانبية الرئيسية مع ظهور لون أخضر باهت على المساحات الموجودة بينها على نصل الورقة. وقد تمتد هذه الأعراض بسرعة إلى الأوراق الأكبر عمراً. وفى المراحل المبكرة تظهر الأعراض بشكل بقع أو نقط خضراء فاتحة غير منتظمة على حواف الورقة، ومعظم هذه البقع تأخذ شكل حدوة تتجه فتحتها نحو العرق الوسطى. ومع تطور حالة النقص يزيد عدد البقع وتأخذ لونا يتدرج من الأخضر الباهت إلى الأبيض،

وتختلف أعراض نقص المنجنيز مع أعراض نقص الزنك فى عدة نقاط وهى:

- حجم الورقة لا يصغر، وشكل الفرع لا يتغير.
– نصفى الورقة يكونان متماثلان فى المساحة.
– لا يحدث قصر فى طول السلاميات.
– تظهر الأعراض المبكرة على أجزاء الشجرة المعرضة أكثر للظل .
– لا يحدث تساقط غير عادى للأوراق.
– لا يتأثر شكل الثمرة ولا لونها وكذلك حجمها.

العنب : تظهر الأعراض أولاً على الأوراق الحديثة ولكن فى وقت متأخر عن ظهور أعراض نقص الحديد، وذلك بلون أخضر داكن حول العروق الرئيسية، بينما يكون لون باقى الورقة أخضر باهت، ولا يصحب تغير لون الأوراق أى نقص فى حجمها إلا إذا كان النقص شديد.

القمح و الشعير و الأرز : يظهر فى البداية فى شكل بقع بنية، رمادى اللون على النصف القاعدى من الورقة الثالثة من أعلى. وتستطيل البقع لتتطور إلى خطوط موازية للعروق، بينما يبقى لون طرف الورقة القمى أخضر لبعض الوقت، ومع استمرار النقص تظهر الأعراض على الأوراق الأكبر سناً على شكل نقط بنية مخروطية الشكل تظهر مبعثرة على الربع القاعدى من الورقة.

الذرة : تظهر أعراض النقص على الأوراق فى شكل خطوط بيضاء مع بقاء التعريق أخضر، وفى حالة النقص الشديد قد تتحول هذه الخطوط إلى اللون البنى وتسقط الأوراق.

الفول البلدى والسودانى، البرسيم و محاصيل الخضر البقولية : يظهر على الأوراق الصغيرة فى العمر مثل الحديد ، وذلك على شكل نقط بنية – رمادية اللون ومبعثرة على خلفية ذات لون أخضر فاتح ويظل لون العروق الرئيسية أخضر، ماعدا فى حالة الفول السودانى حيث تصفر هذه العروق.

القطن : يبدأ ظهوره على الأوراق العليا الحديثة، وذلك بتحول لونها إلى الرمادى المصفر أو الرمادى المحمر مع بقاء لون العروق أخضر.

البطاطس : تظهر الأعراض على الأوراق الحديثة فى شكل مناطق خضراء باهتة بين العروق ثم تتحول إلى اللون البنى، وتزيد منطقة اللون البنى بطول العروق مع زيادة النقص.

الطماطم : يبدأ باصفرار الأوراق العليا ويكون الاصفرار أيضا بالعرق الرئيسى للوريقة، ويكون على هيئة بقع تظهر بقاعدة الوريقات أكثر من قمتها ثم باشتداد النقص يتحول اللون إلى اللون البنى فى مكان الاصفرار حتى يعم الورقة كلها فتسقط أو تجف.

أسمدة المنجنيز:

يتم علاج أعراض نقص المنجنيز على النباتات بإضافة أحد الأسمدة التى تحتوى على المنجنيز سواء عن طريق التربة أو عن طريق الرش وخاصة فى حالة الرغبة فى المعالجة السريعة للأعراض الظاهرة. وجدول (7–12) يشير إلى أهم هذه الأسمدة المستخدمة ومعدلات استخدامها بالطرق المختلفة.

ومن الجدير بالذكر بأن الصفات الطبيعية والكيميائية للتربة ونوع السماد يلعبان دوراً أساسياً فى تحديد طريقة الإضافة. وعلى ذلك ففى الأراضى الجيرية يفضل استخدام الأسمدة المخلبية عن الأسمدة المعدنية وذلك لقابلية المنجنيز فى الصورة الأخيرة للتأكسد وبالتالى يصبح

أقل تيسراً للنبات، وفى حالة عدم توفر المركبات المخلبية يمكن استخدام المركبات المعدنية تكبيشاً بجوار النبات أو الأفضل إستخدامها رشاً على المجموع الخضرى للنبات.

جدول (7–12) :أسمدة المنجنيز والمعدلات المقترحة حسب طريقة الإضافة.

إسم السماد	الرمز الكيميائى	% للمنجنيز	المعدلات المقترحة للاستخدام كجم منجنيز/هكتار		
			نثراً	تكبيش (جور)	الرش
كبريتات منجنيز	MnSO4.3H2O	28– 26	130– 22	11 – 6	2.0 – 0.5
أكسيد منجنيز	MnO	68– 41	84	11	6 – 4
المنجنيز المخلبى	Mn - EDTA	12	–	–	0.5 – 0.1

عن (FAO) سنة 1983.

4 – النحـاس Copper

النحاس فى الأرض Copper In Soils

تختلف الأراضى فيما بينها فى محتواها من النحاس الكلى تبعاً لمادة الأصل الناشئة منها هذه الأرض نظراً لدخول هذا العنصر فى التركيب الكيميائى لبعض الصخور. ويوجد النحاس فى التربة على عدة صور:

1 – معادن كبريتيدية Sulphides وأهم هذه المعادن هو Chalcopyrite Cu Fe S_2 حيث يعتبر المصدر الاساسى للنحاس.

2 – معادن الأكاسيد والكربونات النحاسية ومنها Cuprite (Cu_2O), Malchite ($CuCO_3$). وهذه الصورة مع السابقة لها من الصور التى لا يمكن استخلاصها بالمستخلصات العادية ويطلق عليها النحاس غير المتحرك فى التربة (ويصنف بالنحاس فى المستودع المستقر Cu- forms in the Lable pool). علماً بأن الجزء الأكبر من النحاس الكلى يوجد فى التركيب البلورى لمعادن التربة الأولية منها أو الثانوية.

3 – يوجد النحاس أيضاً متبادل على أسطح الغرويات المعدنية، والصورة الأيونية المتبادلة هى Cu^{++} أو $CuOH^{+}$ ويعتبر هذا الجزء ميسر للنبات نسبياً.

4 – يوجد النحاس فى التربة مرتبط مع المادة العضوية من خلال المجاميع الكربوكسيلية والفينولية أو الهيدروكسيلية مكوناً معقدات ثابتة Copper- organic matter complexe. وأشارت بعض الأبحاث بأن ارتباط النحاس مع حمض الفولفيك يكون مركبات سهلة الذوبان والعكس عند ارتباط هذا العنصر مع حمض الدباليك Humic acid حيث تتكون مركبات غير ذائبة. وعلى ذلك فمن المتوقع بأن النباتات النامية فى الأراضى العضوية سوف تعانى من نقص النحاس.

5 – كمية قليلة جداُ من النحاس الكلى الموجود فى التربة توجد فى الصورة الذائبة فى المحلول الأرضى والتى لا يتعدى تركيزها فى المحلول الأرضى غالباً عن 0.001 جزء فى المليون، ويرجع ذلك لأن معظم النحاس الذائب فى المحلول الأرضى يرتبط مع المادة العضوية ويكون

مركبات ثابتة. وتعتبر الصورة الأيونية Cu++ هى الأكثر سيادة عند pH الأقل من 7، بينما تكون السيادة للصورة $Cu(OH)^{+}$ فى محلول التربة القاعدية.

النحاس الكلى فى التربة:

سبق ذكر بأن الأراضى تختلف فيما بينها فى محتواها من النحاس الكلى، حيث يتراوح من 10 إلى 200 جزء فى المليون وكمتوسط عام يكون حوالى 55 جزء فى المليون. وتعتبر الأراضى الناشئة من الصخور النارية مثل البازلت وهى صخور قاعدية التأثير وغنية فى النحاس (تحتوى على 100 جزء فى المليون نحاس) فى حين أن الأراضى الناشئة من الصخور الحامضية التأثير مثل الجرانيت (تحتوى على 10 جزء فى المليون نحاس). وبصفة عامة يتاثر محتوى الأرض الكلى من النحاس بقوام الأرض، حيث وجد أن المحتوى الكلى يزداد مع زيادة كمية الحبيبات صغيرة الحجم، أى يزداد فى الأراضى ناعمة القوام. وفى الأراضى المصرية وجد أن المحتوى الكلى من هذا العنصر فى الأراضى الرسوبية يتراوح من 20 إلى 62 جزء فى المليون و فى الأراضى الجيرية كانت هذه القيمة بين 10– 50 بينما كانت فى الأراضى الرملية من 6 إلى 18 جزء فى المليون (أبو الروس وآخرون سنة 1992).

النحاس الميسر فى التربة والعوامل المؤثرة على كميته:

تتوقف كمية النحاس الميسر للنبات بالأرض على عدة عوامل وهى:

1 – المخزون الكلى: هناك ارتباط بين المحتوى الكلى من النحاس فى الأرض والكمية الميسرة للنبات. أى أنه من المتوقع زيادة هذه الكمية مع زيادة المحتوى الكلى للأرض من النحاس.

2 – الـ pH: تتأثر درجة صلاحية النحاس للنبات عند الدرجات المختلفة من الـ pH، بصفة عامة تقل كمية النحاس الميسرة للنبات بارتفاع رقم الـ pH عن 7، بينما مع انخفاض الـ pH عن 6.0 يزداد تيسر النحاس، وفى الأراضى شديدة الحموضة (pH أقل من 4.5) نجد أن الكمية الميسرة للنبات تقل مرة أخرى ويرجع ذلك إلى:

أ – يمكن أن يتحد النحاس الذائب (الميسر) مع سيليكات الألومنيوم، الفوسفات أو أيونات أخرى ذائبة.

ب – زيادة الكمية الممتصة من الأيونات الأخرى فى الأراضى الحامضية يقلل أو يعوق امتصاص النحاس.

3 – المادة العضوية: فيما يتعلق بكاتيونات العناصر الصغرى Cu, Zn, Mn, Fe يعتبر النحاس أكثرهم ارتباطاً مع المادة العضوية. وهذا يفسر سبب زيادة ظهور أعراض نقص عنصر النحاس على النباتات النامية فى الأراضى العضوية كما فى أراضى البيت والمك Peat and muck soils ويرجع ذلك لقوة ارتباط النحاس مع المادة العضوية. وعادةً تكون معقدات النحاس مع المادة العضوية ذات الوزن الجزيئى المرتفع (أكثر من 500) قليلة الذوبان بالمقارنة بمعقدات النحاس العضوية ذات الوزن الجزيئى المنخفض (أقل من 100). ونقص النحاس على النبات لا يقتصر على زيادة المادة العضوية فقط، ففى المناطق الجافة يكون هناك نقص شديد فى النحاس على النبات بالرغم من أن محتوى الأرض من المادة العضوية فى هذه الحالة يكون قليل.

4 – قوام الأرض: النباتات النامية فى الأراضى الرملية تعانى من نقص النحاس وذلك لقلة الكمية الميسرة حيث ترتبط الكمية الذائبة من هذا العنصر بقوام التربة وبالتالى السعة التبادلية الكاتيونية حيث تزداد الكمية الميسرة بنعومة القوام لاحتوائها على كمية أكبر من النحاس الكلى.

5 – **التضاد الأيونى Antagonistic ions:** وجد أن المستويات المرتفعة من النيتروجين أو الفوسفور تؤثر عكسياً على التغذية بعنصر النحاس، حيث تظهر أعراض نقص النحاس على النباتات النامية تحت هذه الظروف. كما أن الزيادة من عنصر الزنك الذائب فى وسط النمو يؤدى إلى ظهور نقص النحاس.

6 – كربونات الكالسيوم: كما هو معرف بأن زيادة كربونات الكالسيوم فى التربة ترفع من قيمة pH التربة وبالتالى يكون لها تأثيرها غير المباشر على نقص الكمية الميسرة من النحاس، حيث يكون رقم الـ pH فى حدود 8 وعند هذا الـ pH يحدث تفاعل كيميائى بين النحاس وكربونات الكالسيوم وتتكون كربونات النحاس القاعدية $Ca\ CO_3 . Cu\ (OH)_2$ غير الذائبة وبالتالى تقلل من صلاحية هذا العنصر.

اختبارات التربة للنحاس

يوجد العديد من الطرق المستخدمة فى تقدير مستوى النحاس الميسر فى التربة والتى يستخدم فيها محاليل استخلاص مختلفة وسوف نتعرض لبعض هذه الطرق علما بأن نتائجها موثوق فيها للتنبؤ بمستوى النحاس الميسر فى بعض الأراضى وليست كلها. وكمية النحاس الميسر فى التربة تتأثر بعوامل كثيرة وأهمها المادة العضوية وبعض العناصر المعدنية مثل الألومنيوم والحديد، وهذا يمكن أن يفسر اختلاف نتائج الطريقة الواحدة من أرض إلى أخرى. وتشترك كل طرق تقدير النحاس الميسر فى التربة فى أن تركيز العنصر فى المستخلص يكون منخفض جدا. وجدول (7–13) يبين أهم الطرق المستخدمة فى هذا المجال .

جدول (7–13): طرق استخلاص النحاس من التربة.

محلول الاستخلاص	التربة (جم) إلى المحلول (مل)	زمن الرج (دقيقة)	الحد الحرج (ppm)
Citrate + EDTA*	50 : 5	60	–
N NH_4 OAc (pH 4.8)	100 : 50	60	0.2
DTPA	20 : 10	120	0.2
0.05 **N** HCL + 0.025 **N** H_2SO_4	20 : 5	5	0.4

- لتحضير واحد لتر من المحلول يذاب 200جم سترات أمونيوم + 50 جم Na_2-EDTA فى لتر ماء مقطر وتكون قيمة الـ pH للمحلول هى 8.5.

النحاس فى النبات Copper In Plant

الوظائف الحيوية للنحاس Cupper Biological Functions:

يعتبر النحاس أحد مكونات بعض إنزيمات الأكسدة والإختزال ومن العناصر اللازمة للعديد من البروتينات، ودوره الأساسى يكون واضحاً فى عمل إنزيم السيتوكروم أوكسيديز Cytochrome oxidase حيث يعتبر مكملاً لهذا الإنزيم، والإنزيم المؤكسد لحمض الإسكوربيك Ascorbic acid- oxidase وبعض الإنزيمات الأخرى مثل الفينوليز Phenolase وإنزيم الاكتيز Lactase. كذلك وجد أن أكثر من 70% من النحاس الموجود فى النبات يتركز فى الكلوروفيل

Chlorophyll مما يوضح مدى أهمية هذا العنصر فى تخليق الكلوروفيل وأيضاً يُعزز النحاس من تكوين فيتامين أ (Vitamin A) فى النبات. كذلك وجد أن النحاس يؤثر على تبادل الكربوهيدرات والبروتينات ويزيد من مقاومة النبات ضد الأمراض الفطرية.

تركيز النحاس فى النبات:

يتراوح تركيز النحاس فى النباتات المختلفة من 5 إلى 20 جزء فى المليون جدول (7-14)، وتكون النباتات الصغيرة ذات تركيز مرتفع من النحاس ويقل التركيز مع تقدم هذه النباتات فى العمر والوصول إلى مرحلة النضج. يتوقف توزيع النحاس داخل النموات الحديثة على مدى توافر هذا العنصر فى وسط النمو، حيث يسلك النحاس مسلك العناصر المتحركة داخل النبات فى حالة الإمداد الكافى ويشابه العناصر غير المتحركة فى حالة النقص. حيث يزداد تركيز النحاس فى النموات الحديثة بالمقارنة بالنموات المسنة فى حالة توافر العنصر فى وسط النمو، بينما فى حالة النقص تحتوى هذه النموات على تركيز أقل منه فى النموات المسنة.

الحدود الحرجة للنحاس فى النبات:

الحدود الحرجة لتركيز النحاس فى النبات يوضحها جدول (7-14). ومن الجدول نجد أنه بانخفاض التركيز داخل النبات عن 4 جزء فى المليون يكون من المتوقع ظهور أعراض نقص النحاس على هذه النباتات. أما من حيث التركيز الذى يؤدى إلى ظهور أعراض السمية للنحاس على النبات فيمكن القول بأن زيادة التركيز عن 20 جزء فى المليون ربما يؤذى النبات.

حساسية النباتات المختلفة لنقص النحاس فى التربة:

تختلف النباتات فيما بينها فى درجة حساسيتها لنقص النحاس فى التربة ويمكن وصف ذلك كما يلى:

أ – نباتات حساسة لنقص النحاس: وتشمل البرسيم الحجازى، الشعير، الجزر، الخس، السبانخ، الشوفان، حشيشة السودان، بنجر المائدة، القمح و الموالح.

ب –نباتات متوسطة الحساسية لنقص النحاس وتشمل الكرنب، القرنبيط، البرسيم، الخيار، الذرة، القطن، الفجل، بنجر السكر، الطماطم، الذرة السكرية، اللفت، التفاح، الخوخ، الكمثرى و الفرولة.

جدول (7–14): الحدود الحرجة لتركيز النحاس فى بعض النباتات.

المحصول	الجزء المأخوذ للتحليل (العينة)	تركيز النحاس بالجزء فى المليون		
		حد النقص	حد الكفاية	حد السمية
البرسيم الحجازى	قمة النبات (15سم)	10 >	30– 10	30 <
الذرة	ورق الكوز	5 >	30– 5	30 <
القطن	الأوراق الناضجة حديثاً	8 >	20– 8	20<
فول الصويا	الأوراق الناضجة حديثاً	10 – 3 >	30 – 10	30 <
الشعير	الحبوب		12– 6	–
الشوفان	الأوراق(عمر 6–9 إسبوع)		12 – 7	–
القمح	السيقان	8 4 – 1	18 – 9	–
التفاح	الأوراق العلوية		12 – 3	–
البرتقال	الأوراق (عمر 4–6 إسبوع)	6 – 4 5 – 2	16 – 6	22 – 17
العنب	الأوراق الصغيرة		10 – 8	–

جـ – نباتات قليلة الحساسية لنقص النحاس وتشمل الأسبرجس، الفول، البسلة، البطاطس، فول الصويا و الأرز.

أعراض نقص النحاس على النبات:

عادة تظهر أعراض نقص النحاس على النباتات النامية فى تربة تعانى من نقص النحاس الميسر بها ومن خصائص هذه التربة: أنها ذات محتوى كلى منخفض من النحاس ويكون الحد الحرج من النحاس الكلى فى الأراضى المعدنية هو أقل من 6 جزء فى المليون، بينما ترتفع هذه القيمة كثيرا بالنسبة للأراضى العضوية حيث تصل إلى 30 جزء فى المليون. وعلى هذا يزداد ظهور أعراض النقص فى الأراضى العضوية عنها فى الأراضى المعدنية، كما تعانى الأراضى القاعدية وخاصة الجيرية منها والأراضى الرملية الحامضية من نقص النحاس. هذا وتؤدى الإضافة الزائدة لكلٍ من النيتروجين، الفوسفور و الزنك إلى ظهور أعراض النحاس على النبات.

والنحاس قد يسلك سلوك كلٍ من العناصر المتحركة وغير المتحركة داخل النبات، ويتوقف ذلك على مدى توفر هذا العنصر فى وسط النمو. وبصفة عامة فإن أعراض نقص النحاس عبارة عن تحول لون قمة الورقة إلى اللون الأبيض مع صغر حجم الورقة وقصر المسافات بين العقد وبالتالى تقزم والتفاف النبات وتساقط الأزهار. وفى محاصيل الحبوب مثل القمح والشعير والأرز، تظهر الأعراض على شكل جفاف وموت قمة الأوراق أو أجزاء من الورقة. وتلتف الأجزاء الجافة على شكل لولب، وقد تجف الأوراق دون تغير فى لونها. وتظهر الأعراض على السنابل حيث يكون السفا غير قائم والسنابل غير ممتلئة ومشوهة. وتظهر هذه الأعراض أكثر ما يكون على النباتات النامية فى الأراضى الرملية حديثة الاستصلاح أما بالنسبة للموالح فيحدث تأخر و موت للنموات الحديثة وتظهر بثرات صمغية بين اللحاء والخشب، وإفرازات بنية اللون مائلة للاحمرار وموزعة بدون انتظام على الثمار ويتحول لونها إلى البنى القاتم عند نضج الثمار. وقد توجد جيوب صمغية فى القشرة، وفى وسط الثمار عند زوايا الفصوص كما تكون الثمار معرضة للتشقق. وعموماً فإن أعراض نقص النحاس على النبات أقل انتشاراً من بعض العناصر الصغرى الأخرى مثل الزنك، ويرجع ذلك إلى أن النحاس يدخل فى تركيب كثير من المبيدات الحشرية والفطرية والتى تستخدم بكثرة حالياً فى الزراعة.

أما من حيث أعراض السمية والتى قد تحدث بكثرة مع الاستخدام الزائد للأسمدة التى تحوى النحاس أو من استخدام المبيدات الفطرية أو الحشرية فتكون عبارة عن إصفرار Cholorsis والذى يكون مشابهة لنقص الحديد ظاهرياً. ويمكن علاج السمية بإضافة مركبات الحديد المخلبية إلى التربة أو رشاً على الأشجار.

أسمدة النحاس:

تعتبر كلٍ من الأراضى الرملية – الجيرية والعضوية من أكثر الأراضى تعرضاً لظهور أعراض نقص النحاس على النباتات النامية بها، ويرجع ذلك لقلة كمية النحاس الميسر بها. وعادةً يتم معالجة نقص النحاس بعد تقدير الكمية الميسرة منه بالأرض وتحديد الكمية اللازمة والتى يحتاجها النبات وذلك تجنباً لإضافة أى زيادة من النحاس والتى تسبب سمية وضرر للنبات.

ويجب ذكر أن صفات كلٍ من التربة والسماد لهما دوراً هاماً فى فى تحديد الكمية وطريقة الإضافة للسماد (جدول 7–15). فمثلاً يفضل إضافة المركبات المخلبية للنباتات المنزرعة فى الأراضى الجيرية وذلك لقدرة تلك المركبات على الحفاظ على النحاس فى صورته الصالحة للنبات. وفى كثير من الأحيان يفضل استخدام كبريتات النحاس المائية $CuSO_4.5H_2O$ لإضافتها بالرش وذلك لقدرتها العالية على الذوبان.

جدول (7–15): يبين أهم الأسمدة التى تحوى النحاس ومعدل إضافتها تبعاً لطريقة الإضافة.

السماد	الرمز الكيميائى	% للنحاس	معدل الإضافة المقترح كجم نحاس / هكتار		
			نثراً	جور	رش
كبريتات النحاس	$CuSO_4.5H_2O$	25	6.0 – 3.0	4.5 – 1.4	0.1كجم/ 100لتر ماء
النحاس المخلبى	$CuSO_4.H_2O$	35	6.0 – 3.0	4.5 – 1.4	
	Na_2-CuEDTA	13	2.4 – 0.8	0.8 – 0.2	30 جم / 100لتر ماء
	Na-CuEDTA	9	2.4 – 0.8	0.8 – 0.2	

عن (FAO) سنة 1983.

5 – البورون Boron

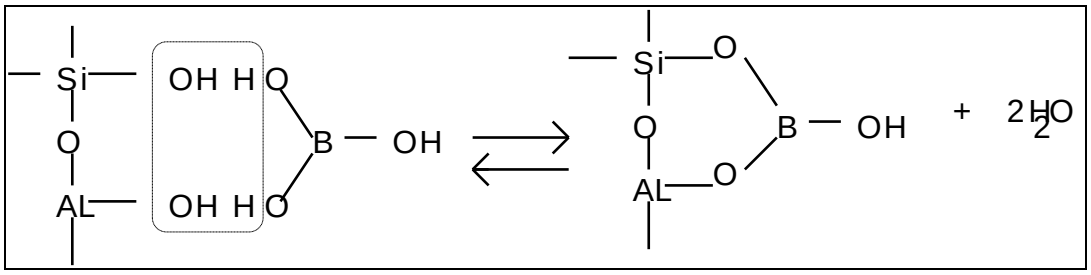
البورون فى الأرض Boron In Soils

يوجد البورون فى الأرض فى عدة صور كمايلى:

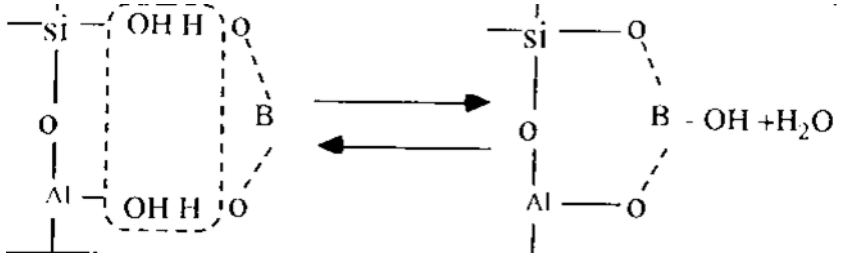
1 – **المعادن الأرضية:** يدخل البورون فى تركيب كثير من المعادن الأرضية وبالتالى فهو ينتشر فى كثير من الأراضى. وأكثر المعادن السيليكاتية شيوعاً والتى تحتوى على البورون هو معدن التورمالين flourin borosilicate - tourmaline ونسبة البورون به من 3 –4%، وهذا المعدن

مقاوم لعمليات التجوية وبالتالى تعتبر صور البورون فى المركبات المعدنية غير ميسرة للامتصاص بواسطة النبات مباشرةً ما لم يتحرر ويصبح ذائباً فى المحلول الأرضى.

2 – **البورون المدمص:** يُدمص البورون على أسطح الغرويات الأرضية التى تحمل شحنة موجبة سواء كان على صورة أيون بورات $B(OH)_4^-$ أو على هيئة حمض البوريك H_3BO_3 ويحدث الادمصاص على الحواف المكسورة لمعادن سيليكات الألومنيوم أو على الأكاسيد السداسية الحرة مثل هيدروكسيدات الألومنيوم والحديد. ويحدث الادمصاص لحمض البوريك كما اقترحه Sims and Bingham سنة 1962، كما يلى:



فى الأراضى القاعدية يصبح البورون على صورة أيون البورات $B(OH)_4^-$ المتأدرتة فى المحلول الأرضى وبالتالى يحدث لهذه الأنيونات ادمصاص على أسطح الغرويات الأرضية عن طريق تبادله مع أنيون الأيدروكسيل كما يلى:



ويزداد إدمصاص البورون فى الأراضى القاعدية والجيرية بهذة الطريقة نظراً لزيادة تكوين أنيون البورات فى مثل هذه الأراضى، وهذا يقلل من فقد البورون عن طريق الغسيل. وعموماً يُعتبر البورون المدمص مخزوناً أساسياً للبورون فى الأرض نظراً لوجود حالة من الاتزان بينه وبين البورون الذائب فى المحلول الأرضى حيث يمكن تبادله مع أنيونات الأيدروكسيل الذائبة

فى المحلول الأرضى وبالتالى يمكن أن يعوض انخفاض تركيز البورون فى المحلول الأرضى نتيجة امتصاص النبات له.

3 – **البورون المرتبط مع المادة العضوية:** يوجد البورون بكميات محسوسة مرتبطاً مع المادة العضوية. وقد يرتبط البورون مع المجاميع الفعالة للمواد الدُبالية مثل مجموعات الكربوكسيل، والهيدروكسيل مكوناً معقدات مختلفة فى درجة ذوبانها. ويمكن أن يحدث انطلاق للبورون من هذه المعقدات بعد عملية التحلل بفعل الكائنات الدقيقة.

4 – **البورون الذائب فى المحلول الأرضى:** وتُعتبر هذه الصورة من أهم الصور من حيث درجة صلاحيتها للنبات. ويوجد البورون أساساً على صورة حمض البوريك H_3BO_3 وهذا الحمض غير قابل للتأين فى ظروف الـ pH العادية للأراضى الزراعية ولذلك يكون عُرضة للفقد من الأرض عن طريق عملية الغسيل. بينما تحت ظروف الأراضى القاعدية ومع ارتفاع الـ pH يتحد حمض البوريك مع الماء ويتكون أنيون البورات المتأدرتة $B(OH)_4^-$ والتى يحدث لها إدمصاص فى المواقع الموجبة الشحنة أو بالتبادل مع مجموعة OH^- على أسطح الغرويات الأرضية.

ومن الجدير بالذكر بأن هناك حالة من الاتزان بين الصور السابق ذكرها، ويعتبر توزيع البورون بين الصورة الذائبة وباقى الصور غير الذائبة ذات أهمية كبرى لأن التركيز المنخفض يؤدى إلى ظهور أعراض النقص بينما الزيادة النسبية منه تؤدى إلى حدوث السمية للنبات، وأن المدى ما بين حدود النقص و السمية ضيق جداً.

البورون الكلى فى الأرض:

يتراوح تركيز البورون فى الأراضى المختلفة بصفة عامة بين 2 إلى 100 جزء فى المليون، بمتوسط عام 30 جزء فى المليون. وتعتبر الأراضى الناشئة من مادة أصل حامضية (صخور حامضية التأثير) – الأراضى المتكونة بفعل ترسيبى عن مياه عذبة، وأيضاً الأراضى خشنة القوام وكذلك الأراضى الفقيرة فى المادة العضوية تكون كلها فقيرة فى محتواها من البورون الكلى. والعكس فى الأراضى الغنية بالطين الصفائحى والأراضى الرسوبية الناعمة القوام تكون ذات محتوى مرتفع من البورون الكلى. وأيضاً تكون الأراضى الجيرية والأراضى المتأثرة بالأملاح والأراضى المتاخمة للبحار (تركيز البورون فى مياه البحار 4.7 جزء فى المليون) ذات

محتوى مرتفع من البورون. وعنصر البورون عُرضة للغسيل بسهولة وبالتالى يمكن القول بأن الأراضى الواقعة فى المناطق الجافة وشبه الجافة تكون ذات محتوى مرتفع من البورون بالمقارنة بالأراضى الواقعة فى المناطق الرطبة. وعموماً لا يُعتبر البورون الكلى فى الأرض دليلاً جيداً على كمية البورون الميسر للنبات. وذلك لوجود العديد من العوامل المؤثرة على تيسر البورون.

البورون الميسر فى الأرض

يُعتبر البورون المستخلص من التربة بالماء الساخن معبراً تماماً عن البورون الميسر للنبات ويتراوح تركيزه بين 0.1 و 3.0 جزء فى المليون وتعتبر الأراضى الجافة ذات القيم الأعلى من هذا المحتوى. ويوجد العديد من العوامل المؤثرة على تيسر البورون ومن أهمها:

1 – رقم الـ pH : يوجد ارتباط بين تيسر البورون فى التربة الزراعية ورقم الـ pH لهذه التربة، حيث وجد أن البورون الذائب يزداد مع ارتفاع رقم الـ pH من 4.7 إلى 6.7 بينما تقل الكمية الميسرة بارتفاع الرقم عن ذلك فيما عدا الأراضى الصودية الملحية، وفى الأراضى الجيرية يكون تأثير الـ pH المرتفع هو المؤثر على ظهور نقص البورون على النبات النامية بها.

2 – المادة العضوية: هناك ارتباط موجب بين محتوى الأرض من المادة العضوية وبين البورون الميسر للنبات، حيث يرتبط البورون بالمادة العضوية عن طريق المجاميع الفعالة مثل المجاميع الكربوكسيلية والهيدروكسيلية مكوناً معقدات عضوية مختلفة فى درجة ذوبانها، ولكن يمكن القول بأن مع تحلل هذه المواد بفعل الكائنات الأرضية الدقيقة ينطلق البورون الذائب. ويزداد تأثير المادة العضوية على تيسر البورون فى الأراضى الحامضية حيث تتكون معقدات ذائبة من البورون والمادة العضوية.

3 – **قوام التربة:** بصفة عامة تقل كمية البورون الميسر للنبات فى الأراضى خشنة القوام سريعة النفاذية، بالمقارنة بالأراضى ناعمة القوام. و نتيجة لقلة السعة التبادلية الأيونية للأراضى الرملية وبالتالى قلة أسطح الإدمصاص للبورون فانه يحدث فقد لهذا العنصر عن طريق الغسيل وخاصةً فى الأراضى الرطبة. وفى الأراضى الطينية يلعب نوع الطين السائد دور مهم فى إدمصاص البورون، حيث وجد أن معدن الإيليت ذو قدرة مرتفعة على إدمصاص البورون يليه معدن

المونتيموريللونيت وأقل هذه المعادن هو معدن الكاؤولينيت. وعموماً يعتبر القوام ذو تأثير أقل على تيسر البورون بالمقارنة بتأثير المادة العضوية أو الـ pH.

4 – رطوبة التربة: مع جفاف التربة تزداد الكمية المُثبتة من البورون، وعلى ذلك فإن حالة الجفاف المؤقت للأرض قد تعيق حصول جذور النبات على البورون المدمص بكثرة على أسطح الغرويات الأرضية، وبالتالى تظهر حالة أعراض النقص على النبات. ومع زيادة الرطوبة يزداد معدل حركة البورون الذائب إلى سطح الجذور وبالتالى يزداد تيسره وانتشاره.

5 – **تأثير العناصر الأخرى:** وجد أن هناك تضاد Antagonises بين الكالسيوم والبورون، وعلى ذلك يقل درجة تيسر البورون فى الأراضى القاعدية، يمكن تقليل السمية بالنسبة للبورون بإضافة الكالسيوم للأراضى الغنية بالبورون الذائب.

اختبارات التربة للبورون

تعتبر طريقة تقدير البورون الميسر بالتربة بواسطة الاستخلاص بالماء المغلى أكثر الطرق انتشارا، وفيها يتم الاستخلاص بماء مغلى مع الرج لمدة 5 دقائق وتكون نسبة االتربة : المستخلص هى 1 : 2. وتعتبر الأراضى المحتوية على 0.1 – 0.5 جزء فى المليون بورون ذائب فى الماء الساخن ذات إمداد ملائم وكاف لنمو معظم النباتات العادية. وعند إجراء اختبارات التربة للبورون يجب مراعاة: قوام التربة حيث تحتاج النباتات فى الأراضى الطينية الثقيلة إلى كمية ميسرة من البورون أكثر منها فى الأراضى الرملية الخفيفة وعلى هذا يكون الحد الحرج من البورون فى مستخلص الأراضى الطينية ذات قيمة أعلى منها بالنسبة للأراضى الرملية. أيضاً بالنسبة لرقم pH التربة فإن هناك زيادة فى امتصاص النباتات للبورون بزيادة حموضة التربة وخاصة بالقرب من المدى القاعدى علما بأن هذه الزيادة ليست متوازية مع الزيادة فى تركيز البورون المستخلص بالماء الساخن لهذه الأرض. وعلى هذا يمكن القول أنه حتى عند المستوى المنخفض من البورون المستخلص بالماء الساخن فى الأراضى الحامضية قد لا تعانى النباتات النامية بهذه الأرض من نقص البورون، فى حين أنه عند نفس القيمة من البورون

الميسر فى الأراضى القاعدية وجد أن النباتات النامية بها تعانى من شدة النقص. وأخيرا تعانى النباتات من السمية نتيجة زيادة لبورون فى حالة زيادة التركيز فى مستخلص الماء الساخن عن 5 جزء فى المليون.

البورون فى النبات Boron In Plants

على الرغم من أن احتياجات النباتات المختلفة من البورون قليلة جداً إلا أن هناك مدى واسع بين النباتات فى الكميات المطلوبة من هذا العنصر لها، فقد دلت بعض نتائج المزارع المائية والمزارع الرملية بأن نباتات الطماطم والجزر يمكن أن تنمو بصورة طبيعية جداً فى وجود البورون بتركيز منخفض جداً يصل إلى أقل من واحد جزء فى المليون. بينما قد يصل تركيز هذا العنصر فى هذه المزارع من 10 إلى 15 جزء فى المليون لكى تنمو نباتات أخرى مثل بنجر السكر نمواً طبيعياً.

ويعتبر البورون مهماً فى تغذية النبات لمساهمته فى كثير من العمليات الفسيولوجية والتى من أهمها:

أ – يساهم فى زيادة نشاط العديد من الإنزيمات، وضرورى لانقسام الخلايا.
ب – يزيد من مسامية الجدر وبالتالى يزيد من انتقال الكربوهيدرات، وعلى ذلك يحدث أقصى تراكم للنشا والسكر فى النباتات التى تحتوى على كمية غير كافية من البورون.
جـ – يلزم فى تمثيل اللجنين وبعض التفاعلات الحيوية.
د – مهم فى تمثيل البروتين والأحماض النووية وبالتالى فإن نقص البورون الممتص يؤدى إلى تراكم النترات فى النبات.
هـ – ينظم النسبة بين الكالسيوم و البوتاسيوم فى النبات.

تركيز البورون فى النبات:

تختلف النباتات فيما بينها فى محتواها من البورون اختلافاً كبيراً. ووجد أن النباتات ذات الفلقة الواحدة يقل محتواها من البورون بالمقارنة بالنباتات ذات الفلقتين، حيث وجد أن البسلة - الكرنب – القرنبيط و الخردل تكون ذات محتوى عالى جزئياً من البورون. وتختلف أجزاء النبات الواحد فيما بينها فى محتواها من البورون فتركيز البورون فى الأوراق يكون مرتفع عنه فى السيقان، ويكون أعلى تركيز داخل أجزاء الورقة نفسها فى حوافها. وعموماً يقل تركيز البورون

داخل النبات ككل فى مراحل نموه الأولى، بينما يظل التركيز ثابت تقريباً فى معظم مراحل النمو.

الحدود الحرجة داخل النبات:

تعتبر النباتات ذات محتوى من البورون أقل من 15 جزء فى المليون فى حدود النباتات التى تعانى من نقص البورون و يقل عن ذلك الرقم النباتات أحادية الفلقة جدول (7-16). ويعتبر التركيز من 15 إلى 100 جزء فى المليون بورون هو التركيز الملائم والكافى لنمو النبات نمواً طبيعياً دون مشاكل خاصة بالبورون، بينما بزيادة التركيز عن 200 جزء فى المليون فإن النباتات تعانى من السمية.

جدول (7-16): الحدود الحرجة لتركيز البورون فى النباتات المختلفة بالجزء فى المليون.

المحصول	الجزء المأخوذ للتحليل	حدود النقص	حدود الكفاية	حدود السمية
أحادية الفلقة				
الذرة	القمة النامية (25يوم)	2 - 1	10 - 5	25
القمح	القمة	4>	5	-
الشعير	القمة	8>	10 - 8	-
ذات الفلقتين				
البنجر	الأوراق	16 - 15	83- 27	-
القطن	الأوراق	16	50 - 30	1625-522
الخس	الأوراق	-	43 - 27	817 - 70
فول سودانى	الأوراق	25>	-	-
بنجر السكر	الأوراق	28 - 4	52 - 25	-

عن (FAO) 1983.

أعراض نقص البورون على النبات:

بصفة عامة يمكن التوقع بظهور أعراض نقص البورون على النباتات فى التربة التى تتوافر بها الخصائص التالية: إنخفاض محتواها من البورون الكلى، الأراضى الناشئة من صخور ذات أصل حامضى، الأراضى الرملية الحامضية، الأراضى ذات المحتوى المنخفض من المادة العضوية، الأراضى القاعدية والجيرية والأراضى الواقعة فى المناطق المتوسطة والغزيرة الأمطار. ومن العمليات الزراعية الرى بالماء ذو المحتوى المرتفع من الكالسيوم وأخيراً التكثيف الزراعى.

يعتبر البورون من العناصر غير المتحركة داخل النبات، وعلى ذلك تظهر الأعراض أولاً على النموات الحديثة. وقد يتسبب نقص البورون فى ظهور عدد من الأمراض الفسيولوجية التى تصيب النبات ومنها تعفن اللب فى بنجر السكر، التفاف الأوراق فى البطاطس، واللب البنى فى اللفت، والاسمرار فى القرنبيط. كذلك نتيجة لتأثير البورون على تمثيل البروتين فإن نقص البورون يؤدى إلى عدم تكوين البروتين وبالتالى عدم تكوين الأزهار وتأخر النضج، كذلك يعرقل تكوين السنابل وتتلون الأوراق الحديثة بلون أخضر مزرق داكن وتمتاز بزيادة سمكها وعدم انتظامها. كما يتأثر أيضاً نمو وتطور الجذور حيث تبدو سميكة – غير نظيفة ويوجد تبرقش فى قمتها.

وتختلف قدرة المحاصيل المختلفة على درجة تحمل نقص البورون فى الأرض. وأمكن تصنيف النباتات المختلفة تبعاً لقدرتها على تحمل التركيزات المنخفضة من البورون فى الأرض إلى ثلاث مجموعات كما فى جدول (7–17).

جدول (7–17): حساسية بعض المحاصيل لنقص البورون فى الأرض

نباتات حساسة	نباتات متوسطة الحساسية	نباتات عالية الحساسية
الفول، الشعير، الذرة الشوفان، البسلة، فول الصويا،البطاطس، الذرة الرفيعة،الأرز، القمح الجريب فروت (موالح)	الكرنب، الجذر، القطن الخس، الفجل، السبانخ الخوخ، الكمثرى و العنب	البرسيم الحجازى، القرنبيط الكرفس، بنجر السكر، بنجر المائدة، اللفت، التفاح والورد

عن (FAO) سنة 1983.

سمية البورون:

تُعتبر الحدود الفاصلة بين التركيزات الملائمة والتركيزات التى تؤدى إلى السمية بالبورون قريبة جداً، وإن الزيادة فى تركيز البورون تؤدى إلى إعاقة النمو الطبيعى للنبات. وبزيادة تركيز البورون فى التربة يزداد إمتصاصه وبالتالى ظهور أعراض السمية والتى تتمثل فى احتراق قمم الأوراق وظهور اللون الأصفر الباهت والذى ينتشر بين العروق الجانبية متجهاً إلى العروق الوسطى. وتعتبر سمية البورون مشكلة فى الأراضى الموجودة فى المناطق الجافة وخاصة فى الأراضى الملحية الصودية والأراضى الناشئة من الترسيبات البحرية والأراضى التى يتم ريها بماء ذات محتوى مرتفع من البورون و الأراضى الناشئة من مادة أصل غنية فى البورون وأخيراً الاستهلاك الزائد من الأسمدة الحاملة للبورون. ويمكن معالجة نقص البورون فى الأرض عن طريق إضافة الأسمدة المحتوية على العنصر (جدول 7-18).

جدول (7-18): أسمدة البورون ونسبة البورون بها.

المصدر	التركيب الكيميائى	النسبة المئوية للبورون
البوراكس	$N_2B_4O_7.10H_2O$	11
تترابورات الصوديوم	Sodium tetraborate	14
أ - سماد بورات 46	$N_2B_4O_7.5H_2O$	20
ب - سماد بورات 65	$N_2B_4O_7.$	17
حامض البوريك	H_3PO_3	

وتعتبر طريقة الإضافة بالرش من أفضل الطرق لعلاج نقص البورون مع مراعاة التركيز الملائم فى محلول الرش. وقد يضاف البورون إلى الأرض وهنا يفضل أن يضاف تكبيشاً بجوار النبات عن الإضافة نثراً. وتختلف كمية السماد المستخدمة تبعاً لطريقة الإضافة.

أما من ناحية معالجة الزيادة من تركيز البورون فى الأرض، فإنه إذا كان مصدر هذه الزيادة هو ماء الرى فيجب استخدام مياه ذات محتوى أقل من البورون أو تخفيف المياه المرتفعة

فى محتواها من هذا العنصر. كذلك يمكن زراعة بعض المحاصيل ذات درجات تحمل مرتفعة للبورون، و يمكن معالجة زيادة تركيز البورون أيضاً باستخدام الأسمدة النيتروجينية وبصفة خاصة نترات الكالسيوم حيث ثبت كفاءة هذا السماد فى معالجة سمية البورون، كذلك إضافة الجير بكمية معتدلة يساعد فى علاج أثار السمية.

6 – المولیبدنم Molybdenum

المولیبدنم فى الأراضى Molybdenum In Soils

يوجد المولیبدنم فى التربة بكميات قليلة بالمقارنة بباقى العناصر الصغرى مثل الحديد، المنجنيز، الزنك، والنحاس. وأن الأراضى الناشئة من الصخور القاعدية تحتوى على كمية أكبر من المولیبدنم بالمقارنة بالأراضى الناشئة عن الصخور الحمضية، ويوجد المولیبدنم فى الأرض فى عدة صور وهى:

– **المعادن الأرضية:** ومنها المولیبدنايت Molybdenite (MoS_2)، Powellite ($CoMoO_4$) ، و الفيرومولیبدايت Ferromolybdite ($Fe(MoO_4)_3.8H_2O$). وأيضاً يوجد هذا العنصر فى تركيب بعض المعادن السيليكاتية ومنها الفلسبارات والميكا نتيجة حدوث عملية الإحلال المتماثل بين Mo^{4+} و AL^{3+} فى صفيحة الأوكتاهيدرا لهذه المعادن. والمولیبدنم الموجود فى هذه الصورة درجة ذوبانه قليلة جداً. وفى بعض الأراضى وخاصةً الحمضية منها يوجد المولیبدنم مرتبط مع الأكاسيد السداسية وهذه الروابط تكون ثابتة وعلى هذا يكون المولیبدنم الموجود فى هذه الصورة أيضاً درجة صلاحيته للنبات قليلة جداً.

– **المولیبدنم الموجود فى صورة أنيون $MoO4^{2-}$:** والموجود على أسطح حبيبات التربة (ذات الشحنة الموجبة)، والـ Mo يكون ممسوك بروابط ثابتة وبالتالى تكون درجة تيسرة للنبات قليلة.

– **المولیبدنم الموجود فى تركيب المادة العضوية:** يُصنف على أنه ذو أهمية من ناحية تغذية النبات.

– **المولیبدنم الذائب فى المحلول الأرضى:** كميته قليلة جداً وتتوقف على رقم الـ pH للتربة حيث يزداد ذوبان هذا العنصر فى الأراضى القاعدية.

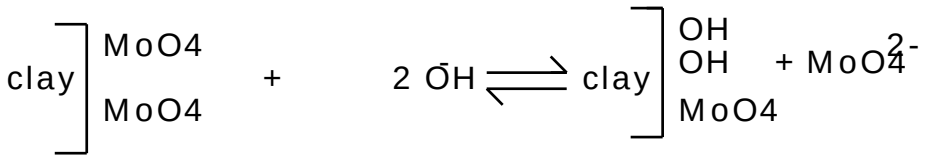
المحتوى الكلى من المولیبدنم بالأرض:

يوجد المولیبدنم الكلى فى الأرضى فى مدى يتراوح من 0.6 إلى 3.5 جزء فى المليون وبمتوسط عام 2.0 جزء فى المليون. ويرجع اختلاف الأراضى فى محتواها الكلى من هذا العنصر إلى مادة الأصل التى نشأت منها هذه الأرض.

الموليبدنم الميسر للنبات:

تتأثر الكمية الميسرة من الموليبدنم بعدة عوامل وهى:

1 – رقم pH الأرض: بعكس باقى العناصر المغذية الأخرى يزداد تيسر الموليبدنم مع زيادة رقم الـ pH للتربة، وبالتالى يزداد تيسره فى الأراضى القاعدية عنه فى الأراضى الحامضية. ويمكن تفسير ذلك بأنه يمكن أن يحدث تبادل أنيونى فى الأرض القاعدية بين أنيون المولييدات المدمص وأنيون الهيدروكسيل الذائب فى المحلول الأرضى لهذه الأرض كما يمثلها الرسم التالى:



بينما فى الأراضى الحامضية يحدث إدمصاص له على أسطح الغرويات الأرضية وخاصة الأكاسيد السداسية للحديد والألومنيوم والتى يكون قوة الربط بها شديدة، وعلى هذا يُعتبر الإدمصاص فى هذه الحالة عملية تثبيت للموليبدنيم وإعاقة لتيسره للنبات.

2 – **المادة العضوية:** وجد أن للمادة العضوية القدرة على تكوين مركبات معقدة مع الموليبدنم Mo-OM complexes قد تحمى الموليبدنم من التثبيت والتحول إلى صورة غير ميسرة للنبات، فبحدوث عملية المعدنة للمادة العضوية يتحول الموليبدنم إلى صورة صالحة للنبات. أيضاً إضافة المادة العضوية للأرض يعزز من تيسر الموليبدنم الموجود أصلاً بالأرض Native Mo.

3 – قوام الأرض: يلعب قوام التربة دوراً مهماً فى كمية الموليبدنم الميسرة للنبات، حيث وجد أن الأرض الرملية تعانى من نقص الموليبدنم وذلك لسهولة فقده من محلول التربة وذلك لعدم وجود أسطح إدمصاص لهذه الأرض. والعكس فى الأراضى ثقيلة القوام حيث يحدث إدمصاص للموليبدنيم على أسطح غرويات التربة وتختلف قدرة الأرض الطينية على إدمصاص الموليبدنم حسب نوع معادن الطين السائدة بها.

4 – **كربونات الكالسيوم:** وجد أن كربونات الكالسيوم تلعب دوراً مهماً فى تيسر الموليبدنم للنبات وخاصةً فى الأراضى الحامضية، ويفسر ذلك بتاثير كربونات الكالسيوم على رفع رقم الـ pH للتربة مما يزيد من إنطلاق الموليبدنم المدمص على أسطح الغرويات الأرضية إلى المحلول الأرضى.

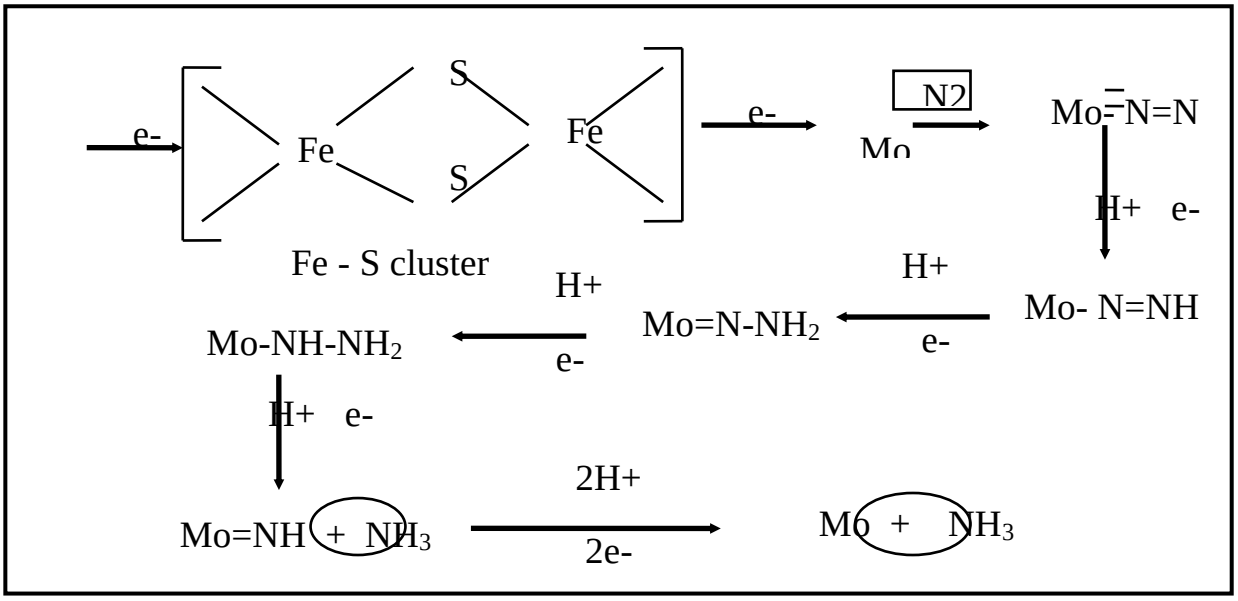
5 – **التداخل بين الأيونات المغذية الأخرى:** يعتبر وجود الفوسفات الذائبة فى المحلول الأرضى عامل مشجع على زوبان الموليبدات وامتصاصها بواسطة النبات، وفى بعض الأحيان ترتبط سمية الموليبدنم للنبات بزيادة كميات الفوسفات الذائبة فى المحلول الأرضى. والعكس فى حالة زيادة الكبريتات الذائبة فى المحلول الأرضى حيث يحدث إعاقة لامتصاص الموليبدات بواسطة النبات ويُفسر ذلك بحدوث تنافس بين أنيون الكبريتات SO_4^{2-} وأنيون الموليبدات MoO_4^{2-} على مواقع الإدمصاص على أسطح الجذور خلال عملية الامتصاص . وهناك أيضاً ظاهرة التضاد Antagonism بين الموليبدنم والنحاس، حيث أن الزيادة من النحاس الميسر يؤدى إلى خفض الكمية الممتصة من الموليبدنم بواسطة النبات، وأمكن معالجة السمية الناشئة عن الموليبدنم بإضافى النحاس إلى التربة. و أخيراً فإن الزيادة من أكسيد الحديديك Fe_2O_3 تسبب نقص فى الموليبدنم الميسر للنبات.

6 – رطوبة التربة: يزداد الموليبدنم الميسر للنبات فى التربة بزيادة رطوبة تلك الأرض.

الموليبدنم فى النبات Molybdenum In Plant

يوجد هذا العنصر بكميات قليلة جداً فى النبات بالمقارنة بالعناصر المغذية الأخرى، وهذا يدل على أن احتياجات النبات من الموليبدنم تكون قليلة وهذا لا ينفى ضروريته للنبات. حيث يلعب هذا العنصر دور مهم فى تمثيل النيتروجين فى النبات ويرجع ذلك لأن نيتروجين النترات موجود فى درجة عالية من التأكسد NO_3^- فى حين أن الأحماض الأمينية والمركبات العضوية الأخرى تحتوى على النيتروجين فى درجة عالية من الاختزال. وبالتالى فاختزال النيتروجين هو إحدى خطوات تخليق الأحماض الأمينية والمركبات النيتروجينية الأخرى فى حالة ما إذا كانت النترات هى مصدر النيتروجين. ويتمثل دور الموليبدنم فى اختزال النترات بواسطة إنزيم النيتروجينيز Nitrogenase و إنزيم Nitrate reductase فى إنه يعمل كعامل مساعد لهذه الإنزيمات، حيث يحتوى كل جزىء من إنزيم النيتروجينيز على ذرتين موليبدنيم والتى تكون مرافقة للحديد (من 24 – 36 ذرة حديد لكل جزىء إنزيم)، وبعض هذه الإنزيمات تكون عناقيد

من الحديد والكبريت 4Fe - 4S cluster كما فى الفيرودوكسين Ferredoxin، كما يوضحها شكل (7−2) عن (Marschner) سنة 1995. ويدخل الموليبدنم فى عملية الإختزال للنيتروجين مباشرةً، فى حين يكون الحديد ناقل للإلكترونات. وعلى ذلك يعتبر هذا العنصر عامل مساعد فى تثبيت النيتروجين N_2 إلى NH_3 ومن هنا يكون الموليبدنم عنصر مهم للنباتات البقولية والبكتريا المثبتة للنيتروجين. وبالتالى يمكن القول بأن احتياج النبات للموليبدنيم يزداد فى حالة زيادة التسميد النتراتى، كذلك وجد أن الموليبدنم يلعب دور فى تكوين حمض الأسكوربيك.



شكل (7–2): دور الموليبدنم فى إختزال النترات إلى أمونيا

من التخطيط السابق يتضح أن الموليبدنم يرتبط بالنيتروجين العنصرى ثم يتم إختزاله على عدة مراحل مع التغذية المستمرة بالإلكترونات، وفى النهاية يتكون جزىء الأمونيا.

تركيز الموليبدنم فى النبات:

يختلف تركيز الموليبدنم اختلافاً كبيراً بين النباتات المختلفة. فهناك بعض النباتات يكون تركيز هذا العنصر فى الأجزاء الخضرية بها أقل من واحد جزء فى المليون ومنها البرسيم الحجازى (0.34)، الشعير (< 0.03)، الفول (0.4) و الطماطم (0.68). وهناك نباتات يكون تركيز الموليبدنم مرتفع فى أوراقها ومنها القطن (113 جزء فى المليون)، وبصفة عامة يكون التركيز فى معظم النباتات منحصر بين 0.1 و 2.0 جزء فى المليون. ويجب التذكر بأن الجزء النباتى المأخوذ كعينة نباتية لتقدير الموليبدنم يكون ذات أهمية كبرى نتيجة لاختلاف تركيز هذا العنصر فى الأجزاء المختلفة لنفس النبات، فمثلاً وجد أن أوراق النبات تحتوى على كمية أكبر من الموليبدنم بالمقارنة بالسيقان لنفس النبات، وأكثر من ذلك نجد أن منتصف الورقة حول العرق الأوسط (منطقة دعامة الورقة) كذلك حواف الورقة تحتوى على كميات أكبر من الموليبدنم بالمقارنة بباقى أجزاء نفس الورقة.

الحدود الحرجة للموليبدنيم فى النبات:

على الرغم من اختلاف تركيز الموليبدنم فى الأنواع المختلفة من النباتات، لكن يمكن القول فإن هذه النباتات تستجيب للمعاملة بهذا العنصر إذا كان تركيزه داخل النبات أقل من 0.1 جزء فى المليون (وهو حدود النقص داخل النبات). ويمكن للنباتات أن تتحمل التركيز المرتفع من هذا العنصر، ولكن زيادة التركيز فى نباتات العلف عن 15 جزء فى المليون يؤدى إلى حدوث مشاكل صحية مع الحيوانات التى تتغذى على تلك الأعلاف ويسبب ظهور مرض يسمى "Molybdenosis" أو Teat disease.

أعراض نقص الموليبدنم على النباتات:

بما أن الموليبدنم يدخل فى صميم عمليات ميتابوليزم النيتروجين N - metabolism داخل النبات، فعلى ذلك تكون أعراض نقص هذا العنصر مشابهة لأعراض نقص النيتروجين، وهذا التشابهه مع أعراض نقص النيتروجين يكون واضحاً فى النباتات البقولية، فبنقص الموليبدنم من وسط نمو تلك النباتات يؤثر على كمية النيتروجين المثبتة بواسطة البكتريا الموجودة فى العقد الجذرية بجانب تاثيرة على عملية إختزال النترات داخل النبات. ونقص الموليبدنم يؤدى إلى إعاقة النمو الطبيعى للنبات، والأوراق تصبح شاحبة اللون وفى النهاية يحدث الذبول لتلك الأوراق. كذلك يسبب نقص هذا العنصر مرض البقع الصفراء "Yellow spot" فى الموالح و مرض الذيل السوطى "Whip tail" فى العائلة الصليبية، وتظهر الأعراض بوضوح على نبات القرنبيط فى التواء الأوراق ضد عقرب الساعة Counter clockwiss ونمو غير طبيعى لعروق الأوراق ويعجز النبات عن تكوين رؤوس القرنبيط.

حساسية النباتات لنقص الموليبدنم فى الأرض:

تختلف النباتات فيما بينها فى درجة حساسيتها لنقص هذا العنصر فى الأرض، حيث تعتبر انباتات العائلة الصليبية والبقولية من أكثر النباتات احتياجاً للموليبدنيم حيث تتأثر بنقص الموليبدنم فى التربة. بينما نباتات الحبوب تنمو نمواً طبيعياً تحت هذه الظروف من نقص هذا العنصر. وجدول (7–19) يبين مدى اختلاف النباتات فى درجة الحساسية لنقص الموليبدنم فى الأرض.

جدول (7–19) : حساسية بعض المحاصيل لنقص الموليبدنم.

درجة الحساسية	المحصـــول
منخفضة	الشعير –الفول– الجذر –الكرفس–الذرة–القطن–البطاطس– الذرة الرفيعة–الأرز –القمح–التفاح–الخوخ والعنب
متوسطة	البرسيم الحجازى–الكرنب–الشوفان–فول الصويا–الفجل– بنجرالسكر –بنجرالمائدة–الطماطم–اللفت والموالح
عالية	القرنبيط–البرسيم–الخس والسبانخ

ولعلاج نقص الموليبدنم فى التربة هناك العديد من المركبات المستخدمة كمصدر للموليبدنيم يبينها جدول (7–20).

جدول (7–20): أهم المركبات السمادية المستخدمة كمصدر للموليبدنم

المصدر	التركيب الكيميائى	% للموليبدنم
موليبدات الصوديوم	$NaMoO_4.2H_2O$	39
موليبدات الأمونيوم	$(NH4)_6Mo_7O_{24}.4H_2O$	54
ثالث أكسيد الموليبدنم	MoO_3	66

ومن ناحية طريقة ومعدل إضافة الأسمدة التى تحوى على الموليبدنم فهى تختلف حسب نوع التربة وقدرتها على تثبيت هذا العنصر كذلك على نوع المحصول نفسه. والطرق المستخدمة هى الإضافة الأرضية وفيها يضاف الموليبدنم بمعدل 70 إلى200 جرام موليبدنم / هكتار، وهذا المعدل كافى لمحاصيل العلف والبقوليات والعديد من محاصيل الحقل، بينما هناك بعض محاصيل الخضر ومنها القرنبيط يحتاج إلى زيادة هذا المعدل إلى 400 جرام /هكتار. وتعتبر الإضافة بالرش من الطرق الفعالة وخاصةً فى حالة الأراضى ذات القدرة العالية على تثبيت الموليبدنم، وفى هذه الطريقة يتم عمل محلول من الملح المحتوى على الموليبدنم بتركيز من 0.1 – 0.3%. ومن الطرق الفعالة فى إضافة الموليبدنم طريقة معاملة البذور بكمية من العنصر المحدد إضافتها لوحدة المساحة والتى عادةً تكون بمعدل 50 – 100جرام / هكتار، حيث يتم توزيع هذه الكمية الصغيرة والمجهزة فى صورة سائل أو عجينة خفيفة بطريقة متجانسة على كل البذور التى سوف تُستخدم كتقاوى.

7 – الكلورين Chlorine

الكلورين فى الأراضى Chlorine in soils

لا يرتبط وجود الكلورين فى الأرض بوجود الغرويات الأرضية وصور تواجده فى التربة هى:

– الغالبية العظمى منه توجد فى صورة أيونية Cl^- ولذلك يكون على درجة عالية من الذوبان وبالتالى يكون عرضة للفقد بالغسيل بدرجة كبيرة.
– يتواجد الكلورين داخل بعض المركبات العضوية فى الأرض.

محتوى الأرض من الكلورين

عادة تتراوح كمية الكلورين Cl^- الذائبة فى الماء من 100 – 1000 كجم/ هكتار. ويحدث تراكم للكلوريد فى الأراضى المتأثرة بدورة مياة البحار. أى أنه من المتوقع أن تكون الأراضى المتاخمة للبحار ذات محتوى مرتفع من الكلوريد بالمقارنة بالأراضى البعيدة عن البحار. كما تؤثر أيضاً نوعية مياة الرى وحالة الصرف على كمية الكلوريد بالأرض.

الأراضى التى تحتوى على الكلورين بتركيز أقل من 2 جزء فى المليون ربما تعانى النباتات النامية بها من نقص الكلورين.

الكلورين فى النبات Chlorine in plants

الوظائف الحيوية للكلورين:

يحتاجه النبات بتركيز منخفض يصل إلى 0.05 جزء فى المليون، وتكمن الوظيفة الأساسية للكلورين فى كونه عامل أساسى لإتمام عملية الأكسدة الضوئية للماء أثناء عملية التمثيل الضوئى وانطلاق الأكسجين. ويقوم ببعض الوظائف الأخرى غير المتخصصة أى كعامل مساعد فى اختزال بعض المركبات الغنية فى الطاقة وإنتاج بعض المركبات أثناء التمثيل الضوئى. أيضاً يساعد فى رفع الضغط الإسموزى للخلايا ويزيد من تأدرت الأنسجة النباتية.

محتوى النباتات من الكلورين

تختلف النباتات كثيراً فى محتواها من الكلورين حيث يتراوح هذا المدى من 0.015 – 5.5 % من المادة الجافة. والكلورين غبر متحرك نسبياً داخل النبات حيث وجد أن تركيز هذا العنصر مرتفع فى الأوراق المسنة السفلية عنه فى الأوراق الحديثة. ومن المعلومات القلية الميسرة عن هذا العنصر، يتضح أن النباتات تلجأ إلى تجميع الكلورين فى أنسجتها مع تقدم عمرها. ومع ذلك فالنباتات التى تحتوى أنسجتها على الكلورين بتركيز أقل من 100 جزء فى المليون قد تعانى من نقص هذا العنصر.

أعراض نقص الكلورين على النبات.

تحت الظروف الطبيعية نادراً ما يظهر على النباتات أعراض نقص لعنصر الكلورين. حيث يكون من الصعب ظهور أعراض نقص حتى تحت ظروف المعمل ويرجع ذلك لحدوث التلوث بهذا العنصر من الغلاف المحيط بالنبات. وعموماً إذا حدث وظهرت على النبات أعراض نقص للكلورين تتمثل هذه الأعراض فى ظهور اصفرار على الأوراق الحديثة و ذبول هذه الأوراق.

السمية الناتجة عن زيادة الكلورين فى المحلول الأرضى عادةً ما تظهر على النباتات النامية فى الأراضى المتأثرة بالأملاح أو فى المناطق الساحلية. وتتمثل الأعراض الناتجة عن

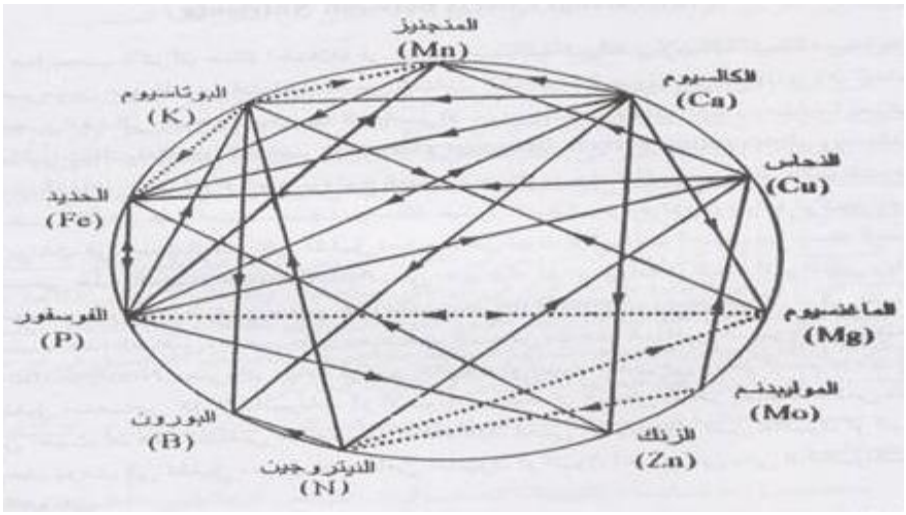
السمية فى إحتراق حواف الأوراق، ظهور اللون البرونزى Bronzing colour ، نضج مبكر للأوراق واصفرارها ويحدث لها تساقط مفاجئ. وتختلف المحاصيل فى درجة حساسيتها وبالتالى درجة تحملها للكلورين فى التربة كما يلى:

- محاصيل عالية فى درجة تحملها مثل: بنجر السكر - الشعير - الذرة - السبانخ و الطماطم.
- محاصيل حساسة : اللوبيا - الفاصوليا - الموالح - البطاطس - الخس - بعض البقوليات.

أسمدة الكلورين

يوجد العديد من الأسمدة التى تحتوى على الكلورين منها الأسمدة المعدنية مثل (كلوريد البوتاسيوم - كلوريد الأمونيوم) والأسمدة العضوية. ويصل الكلورين إلى الأرض مع مياة الرى الغنية بالكلورين كما يصل هذا العنصر إلى الأرض فى المناطق الساحلية مع الرذاذ الناتج من مياه البحر. ومما لا شك فيه أن نقص الكلورين يؤثر على إنتاجية بعض المحاصيل، حيث وجد أن نباتات نخيل الزيوت وجوز الهند تستجيب لإضافة الكلورين فى الأراضى الفقيرة فى هذا العنصر.

وتجدر الإشارة إلى وجود تنافس بين بعض الأيونات مع بعضها الآخر عند إمتصاصها بواسطة جذور النبات وقد تؤدى زيادة تركيز أحد الأيونات فى وسط النمو إلى تقليل إمتصاص أيون أو أيونات أخرى من وسط النمو ويسمى هذا بالتضاد Antagonism. فى حين قد تؤدى زيادة تركيز الأيون إلى زيادة إمتصاص أيونات أخرى ويسمى هذا بالتنشيط Synergism، وتختلف الآراء فى تفسير سبب هذا التنافس، ففى حين يعتقد البعض أن هذا التنافس غير متخصص Nonspecific بمعنى أن زيادة تركيز كاتيون أو أنيون معين فى وسط النمو يؤدى إلى تقليل إمتصاص كل الكاتيونات أو الأنيونات، نجد أن البعض الآخر يعتقد عكس ذلك من حيث أن هذا التنافس متخصص Specific بمعنى أن زيادة تركيز كاتيون أو أنيون معين يؤدى إلى تقليل معدل امتصاص كاتيون أو أنيون آخر وليس باقى الكاتيونات أو الأنيونات. وشكل (7-3) يوضح العلاقة هذه العلاقات بين العناصر.



علاقة تنشيط فى إتجاه السهم

علاقة تثبيط فى إتجاه السهم

شكل (7-3): العلاقة بين العناصر المغذية المختلف.

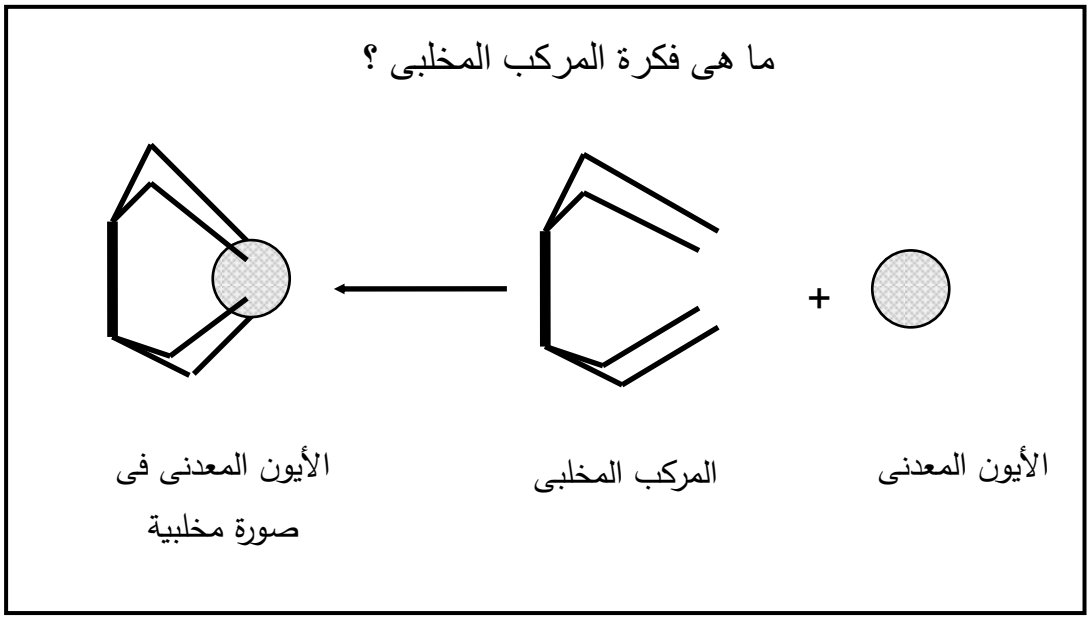
\

\

8 – المركبات المخلبية (الكيلاتية) الصناعية
Synthetic Chelates Compounds

من استعرا ضنا لنوعية الأسمدة المستخدمة كمصادر للعناصر المغذية الصغرى نجد أن معظم هذه العناصر يُفضل إضافتها على صورة مركبات مخلبية وخاصة فى الأراضى القاعدية والجيرية. وعلى ذلك أصبح وجوباً علينا التعرف على هذه المركبات ولو بشيء من الإيجاز.

إن اصطلاح كلمة Chelates أو "مخلبيات " يُنسب إلى الكلمة اليونانية Claw والتى تعنى المخلب أو "الكيلاتى". وعلى هذا فالمركبات المخلبية هى مركبات لها القدرة على خلب أو مسك بعض المعادن وحفظها بداخلها، ووسيلة الخلب هنا هى الشحنات الكهربائية. والمركبات المخلبية المستخدمة فى المجال الزراعى وخاصة فى تغذية النبات هى مركبات عضوية تتحد مع بعض الأيونات المعدنية مثل الحديد، النحاس، المنجنيز أو الزنك وتكون مركب كيلاتى للمعدن Metal chelates وهو مركب ذو بناء حلقى مع أحد هذه الكاتيونات، ويؤدى ذلك إلى فقد هذا الأيون (العنصر) المرتبط لخواصه الأيونية، وعلى ذلك ينعدم نشاطه وبالتالى لا يتفاعل هذا العنصر مع أى أيونات أخرى موجودة فى التربة والشكل التالى يوضح هذه الفكرة.



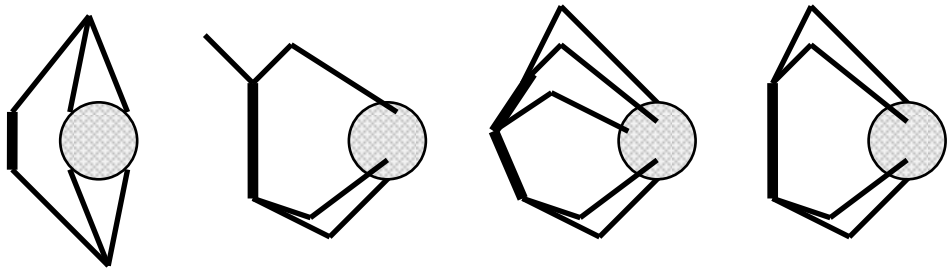
هذه هى فكرة عمل أسمدة العناصر الصغرى فى صورة مركبات كيلاتية. حيث يمكن إضافة العنصر المغذى فى صورة كيلاتية لتغذية النباتات النامية فى أرض ذات مشاكل تعمل

على تثبيت هذا العنصر دون الخوف من دخول هذا العنصر فى تفاعلات كيميائية أو حدوث تبادل أيونى له حيث تحافظ هذه المركبات على العنصر فى صورة قابلة للامتصاص بواسطة النبات. ولتوضيح ذلك نسوق المثال التالى: عند إضافة الحديد إلى التربة فى صورة أملاح معدنية وليكن كبريات الحديديك فنجد أن هناك احتمال حدوث تفاعل أو أكثر من التفاعلات الآتية :

$$Fe^{3+} + 3OH^{-} \Rightarrow Fe(OH)_3 \downarrow$$
$$Fe^{3+} + PO_4^{3-} \Rightarrow Fe\ Po_4 \downarrow$$
$$Fe^{3+} + 3\ CO_3^{2-} \Rightarrow Fe_2(CO_3)_3 \downarrow$$

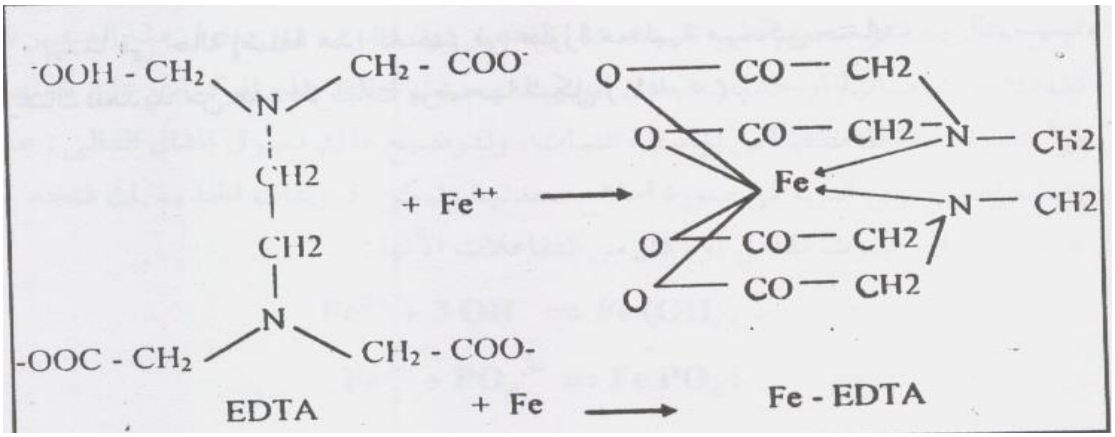
ويرجع ذلك لاحتمال وجود أيونات الأيدروكسيل، الفوسفات أو الكربونات فى المحلول الأرضى. وعلى هذا يحدث ترسيب للحديد فى صورة أيدروكسد حديديك أوفوسفات حديديك أو كربونات حديديك ويصبح فى صورة غير ميسرة للنبات. بينما فى حالة إضافة هذا العنصر فى صورة مخلبية فيمكن حمايته من الترسيب وهناك العديد من هذه المركبات منها:

EDTA: Ethyline diamine tetra acetic acid.
DTPA: Diethyline triamine penta acetic acid.
HEDTA: Hydroxyle Ethyline diamine tri acetic acid.
EDDHA: Ethyline diamine di-o-hydroxyphenyl acetic acid.



EDDHA HEDTA DTPA **EDTA**

ويمكن توضيح التركيب البنائى لمركب Fe - EDTA كما يلى :



واستعمال هذه المركبات كمصدر لإمداد النبات بالحديد عملية واسعة الانتشار وناجحة طالما يتم اختيار المركب المناسب تبعا لصفات الأرض وخاصة رقم الـ pH ويمكن توضيح ذلك كما يلى:

pH < 6 : Fe - EDTA

pH < 7 : Fe - DTPA } } } } (+ Cu , Mn , Zn - EDTA)

pH > 7 : Fe - EDDHA

وترتب مركبات الحديد المخلبية من حيث درجة ثباتها فى الأرض كما يلى:

Fe - EDDHA > Fe - DTPA > Fe - HEDTA > Fe - EDTA

وتعتبر معادن المركبات المخلبية ذائبة فى الماء وحيث أن ثوابت تأين هذه المركبات منخفضة فإن التربة لا تستطيع تثبيت عناصرها. وتوجد المركبات المخلبية فى حالة عدم وجود العناصر المعدنية مثل الحديد والنحاس والزنك أو المنجنيز على صورة أملاح صوديوم أو أحماض عضوية وعند إضافتها إلى الأرض يكون لها القدرة على جذب العناصر المعدنية الثقيلة من صورها الغير ذائبة فى الأرض. حيث وجد أنه من الممكن معالجة نقص الحديد بواسطة إضافة مركبات الصوديوم المخلبية مباشرة إلى الأرض فى منطقة نمو الجذور.

ومن الجدير بالذكر أن من نواتج تحلل المخلفات النباتية والحيوانية فى الأرض مركبات عضوية مثل حمض الهيوميك ، حامض الفلفيك وأحماض عضوية أخرى بسيطة. مثل هذه المركبات تعتبر مواد مخلبية طبيعية لها القدرة على تكوين مركبات حلقية معقدة مع بعض العناصر ، وبالتالى تحفظ هذه العناصر لفترة من الترسيب. كما أن هذه المركبات الطبيعية قد تعمل على إذابة بعض العناصر الصغرى مما يزيد من تيسر هذه العناصر وتجعلها فى الصورة الصالحة للنبات.

المركبات المخلبية والتسميد الورقى

ولإيضاح مدى أهمية استخدام بالمركبات المخلبية فى علاج حالات النقص بالعناصر الصغرى بالمقارنة المركبات المعدنية، يمكن القول بأنه عند استخدام أى مركب سمادى يجب توافر شرط اساسى ألا وهو قابلية هذا المركب على الذوبان فى الماء، ومعنى ذوبان الملح فى الماء هو حدوث تأين مكونات هذا الملح إلى شقين وهما الأنيون والكاتيون. وعلى هذا يكون العنصر المراد إضافته لعلاج النقص يكون فى حالة أيونية أى يحمل شحنة كهربائية سواء سالبة أو موجبة، وفى حالة العناصر الصغرى تكون الغالبية منها فى صورة كاتيون. وعلى ذلك عند استخدام الأسمدة المعدنية فى علاج حالات النقص عن طريق الرش أو التسميد الورقى فإن العنصر ذو الشحنة الموجبة يقابله شحنة سالبة على سطح بشرة الأوراق وبالتالى يحدث تجاذب بين الشحنتين وفى النهاية يكون مرور العنصر إلى الداخل بطىء أو يلاقى صعوبة فى المرور إلى داخل الورقة. بينما فى حالة استخدام المركبات المخلبية كمصدر لنفس العنصر نجد أن المركب المخلبى يعادل هذه الشحنة للعنصر وفى النهاية تكون صافى الشحنة للمركب والعنصر معا متعادله، أى ينعدم نشاط شحنة هذا العنصر وبالتالى يكون من السهل إمتصاصه ومروره خلال بشرة الورقة. وعلى ذلك نجد أن فاعلية إضافة العناصر المعدنية فى صورة مركبات مخلبية يكون أكبر بالمقارنة بإضافة نفس العنصر فى صورة معدنية . وإن كان ثمن المركبات المخلبية أعلى منه بالنسبة للمركبات المعدنية وهذا طبيعى نتيجة عمليات التصنيع، ولكن نظراً لأن فاعلية المركبات المخلبية أكبر فإنه يستخدم كمية أسمدة أقل وبالتالى يمكن التغلب على فروق الأسعار.

الفصل الثامن

تغذية النباتات في الزراعات اللاأرضية
Plant Nutrition of Soilless Agriculture

المحلول المغذى
Nutrient Solution

الفصل الثامن

تغذية النباتات في الزراعات اللاأرضية
Plant Nutrition of Soilless Agriculture

مقدمة:

الهيدروبنكس Hydroponics أو نمو النباتات فى المحاليل المغذية بدأ فى التطور منذ التجارب الأوليه التى أجريت لمعرفة تركيب النبات و المواد التى تسبب نموه بواسطة العالم البلجيكى Jan Van Helmont سنة 1600، إلا أن نمو النباتات بهذه الطريقة كان قبل ذلك بكثير، حيث تعتبر حدائق بابل المعلقة وحدائق المكسيك والصين العائمة أمثلة للهيدروبنكس، بل إن الأكثر من ذلك هو ما سجلته اللغة الهيروغليفية المصرية القديمة من تنمية النباتات فى الماء منذ عدة مئات من السنين قبل الميلاد.

وسار على درب Van Helmont كثير من الباحثين والعلماء، ومع تطورعلوم الكيمياء أمكن التوصل إلى مكونات النبات والمواد التى يحتاجها للنمو والتى عرفت بالعناصر المغذية واستطاع العالم الألمانى Sachs سنة 1860 و زميله Knop سنة 1861 زراعة النباتات وتنميتها فى محلول مائى Water solution به العناصر المغذية التى تحتاجها بدون الاستعانة بأى بيئة نمو، وعرف هذا النظام بمزارع المغذيات "Nutriculture " وهو النظام الذى ما زال يستخدم فى معامل فسيولوجيا وتغذية النبات حتى الآن ويعرف باسم الـ Hydroponics . وأول من أطلق مصطلح الـ Hydroponics على مزارع المحاليل المغذية العالم Gericke بجامعة كاليفورنيا سنة 1929. ففى الفتره من سنة 1925 إلى سنة 1935 نشطت البحوث بهدف تطوير وتحوير تقنية مزارع المغذيات Nutriculture للاستخدام التطبيقى خارج إطار المعمل والبحوث الأكاديميه لاستغلال الأراضى الواقعة تحت الصوب الزراعية بعد ظهور كثير من المشاكل فى بنائها وخصوبتها، بالإضافة إلى الإصابة بالأمراض الفطرية والحشرية، وكانت تجارب Gericke الرائدة فى هذا المجال حيث قام بزراعة عدة محاصيل درنية مثل: الجزر واللفت والبنجر والبطاطس، بالإضافة إلى محاصيل الحبوب والزهور والخضر فى تنكات وأوعية كبيرة بها المحاليل المغذية، واستخدمت هذه الطريقه منذ سنة 1940 فى الباسيفيك لزراعة الأراضى غير الصالحة للزراعة.

والهيدروبنكس Hydroponics كلمة يونانيهة تتكون من مقطعين الأول Hydro بمعنى الماء، والثانى Ponics بمعنى العمل ليصبح المعنى "عمل الماء" أو "المزارع المائية"– وذلك للتفرقة بين هذه الوسيلة وبين الزراعة باستخدام التربة والتى يطلق عليها باليونانية Geoponics – إلا أن الماء H_2O لا يستطيع بمفرده أن يمد النباتات النامية فيه إلا بعنصرى

الأيدروجين والأكسيجين، وبالتالى يحتاج إلى إضافة باقى العناصر المغذية للنبات Essential elements فيتحول الماء إلى محلول للتغذية، ولذلك فإنه من الأصوب التعبير عن الهيدروبنكس بأنها "مزارع المحاليل المغذية أو مزارع المحاليل" بدلاً من القول بأنها "مزارع مائيه".

ثم أخذت الزراعة اللاأرضيه بعداً آخر من الناحية التطبيقية أثناء وبعد الحرب العالمية الثانية منذ سنة 1945، حيث قام الجيش الأمريكى فى اليابان بعمل مزرعة لاأرضية (وكانت بيئة النمو هى الحصى Gravel) وذلك على مساحة 22 هكتاراً (حوالى 55 فداناً) فى إحدى ضواحى مدينة طوكيو لإمداد جنود قواته بالخضروات النقية والطازجة. وفى سنة 1950 بدأ انتشار طرق الزراعة اللاأرضيهة فى عدد من دول العالم مثل: إيطاليا و أسبانيا و وفرنسا و إنجلترا و ألمانيا و السويد والإتحاد السوفيتى السابق وفلسطين المحتلة فى مساحات محدودة. وبتطور صناعة البلاستيك – والمضخات المائية وساعات ضبط الوقت وغيرها من الأدوات المستخدمة فى مثل هذه الأنظمة – أخذت الزراعة اللاأرضية خطوة واسعة إلى الأمام، حيث تحولت من نظام للزراعة إلى تكنولوجيا زراعية تستخدم فيها الميكنة الخاصة بها والحاسبات الآلية مما يقلل من مصاريف الإنشاء والتشغيل فى آن واحد مقارنة بما تحققه من إنتاج كبير، وبدأت دولاً كثيرة تطبق أنظمة الزراعة اللاأرضية مثل: هولندا – إستراليا – بولندا – جزر الباهاما – جنوب إفريقيا – البرازيل – شيلى – سنغافوره – ماليزيا – إيران – أبوظبى – الكويت.

وأنواع المزارع اللاأرضية أصبحت من الكثرة بحيث أصبح عدد طرق الزراعة بها يساوى تقريبا عدد البيئات المستخدمة فيها، ومثال ذلك المزارع الرملية – مزارع الحصى – مزارع الفيرمكيوليت – مزارع البرليت – مزارع الصوف الصخرى – مزارع نشارة الخشب – مزارع صوف الخبث – مزارع البازلت ومزارع الحجر الخفاف، ومزارع بالات القش، ومزارع المحاليل المغذية ....إلخ. كما ظهرت مسميات أخرى على أساس طريقة التغذية مثل طريقة الأغشية المغذية Nutrient Film Technique (NFT) وطريقة المحاليل الساكنة Static Solution Culture ومنها المحاليل العميقة Deep Solution أو السطحية Shallow Solution والتغذية بالرذاذ Mist والتغذية تحت السطحية Sub-Nutrition والتغذية بالجذور المنشقة Split-Root Nutrition ..... إلخ.

وبصفة عامة فإنه يمكن القول بأن مزارع المحاليل المغذية أو الـ Hydroponics هى حجر الأساس الذى إرتكزت عليه الزراعات اللاأرضية وتعرف على أنها تكنولوجيا إنماء النباتات فى المحاليل المغذيه مع استخدام أو عدم استخدام بيئه خاملة كعامل تثبيت ميكانيكى (مثل: الرمل – الحصى – نشارة الخشب – الصوف الصخرى .....إلخ) وغالباً ما يكون المحلول فى

حالة دوران Circulating فى نظام مغلق Closed system (حيث يعاد استخدام المحلول أكثر من مرة) أو غير متحرك Static or non-circulating فى نظام مفتوح Open system (أى يستخدم المحلول مرة واحدة). وبالتوسع فى هذا المجال ظهر اصطلاح Soilless culture وتعنى الزراعة بدون تربة أو أرض أو "الزراعة اللاأرضية" وكلها تعنى إنماء النباتات فى بيئات خاملة صلبة (من غير التربة الطبيعية) مع التغذية بالمحاليل المغذية ومع الفرق الواضح بين الـ Hydroponics , Soilless culture إلا أنهما يعنيان الزراعة بعيداً عن التربه أو الأرض الطبيعيه أياً كانت طريقة أو وسيلة النمو مما يجعل مصطلح الزراعة اللاأرضيه ومرادفاتها مصطلحاً جامعاً لكل طرق الزراعة التى لا تتخذ من الأرض بيئة ومهداً لنمو النباتات، وبالتالى تكون عملية التغذية بالعناصر الغذائية الأساسية وبالكميات المحسوبة والمتوازنة أهم الأسس التى تعتمد عليها هذه الطرق من طرق الزراعة الحديثة.

ومن خلال التطبيق العملى للمزارع اللاأرضية فى كثير من دول العالم، وجد أنها تحقق عدة مزايا و أهداف من الأهمية بمكان أن توضع فى الاعتبار عند صانعى قرار السياسات الزراعية على مستوى الأفراد و المجتمعات والدول حيث إنها:

1- لا تحتاج إلى أرض زراعية خصبة وبالتالى توجد حيث لا يمكن أن توجد زراعة.

2- كفاءة عالية فى استخدام مياه الرى حيث لا يوجد فقد لها إلا الفقد عن طريق النتح مما يوفر من 20-50 % من المياه المستخدمة فى حالة الزراعة فالتربة، بالإضافة إلى ذلك فإن نوعية المياه ذات الخطر التمليحى والتى تسبب مشاكل عند استخدامها فى التربة يمكن استخدامها فى الزراعة اللاأرضية.

3- كفاءه عالية فى استخدام الأسمدة حيث لا يوجد فقد ولا تثبيت.

4- لا تحتاج إلى العمليات الزراعية التقليدية (حرث - عزيق - تنقية حشائش..... إلخ) مما يوفر كثير من العمالة.

5- المحاليل المغذية وبيئات النمو من السهل تعقيمها، وبالتالى التغلب على مشكلة إصابة جذور النباتات بالأمراض.

6- تجانس المحلول المغذى وفى الوقت نفسه من السهل ضبط تركيز العناصر به مما يؤدى إلى أفضل نمو.

7- التكثيف الزراعى وزيادة عدد النباتات فى وحدة المساحه مما يؤدى إلى زيادة المحصول.

8- تحت نفس الظروف البيئية فإن المزارع اللاأرضية تعطى زياده فى المحصول من 4-10 مرات عن مثيلتها فى الأراضى تحت الصوب الزراعية.

9- فى ظروف الإضاءة الجيدة فإن ثمار المحاصيل تنضج أسرع فى المزارع اللاأرضية، كما أن خواص الجودة للثمار يكون أفضل وعمرها التخزينى أطول.

10- نتيجة لارتفاع المحصول وجودته فإن العائد الاقتصادى يكون مرتفعاً.

وإجمالاً فان الزراعة اللاأرضية تتميز عن الزراعة التقليدية فى الأراضى الطبيعية بارتفاع كفاءة التغذية للنباتات، مع الكفاءة العالية فى استخدام الأسمدة والتسميد وزيادة كثافة النباتات. كل هذه المزايا تقود فى النهاية إلى زيادة الإنتاج فى المزارع اللاأرضية مقارنة بالزراعة التقليدية فى الأراضى الزراعية (جدول 8-1).

جدول (8-1): يوضح إنتاج بعض المحاصيل (طن/إيكر*) فى الزراعة التقليدية فى الأراضى مقارنة بالزراعة اللاأرضية

المحصول	الزراعة التقليدية فى الأراضى (طن/إيكر)	الزراعة فى المزارع اللاأرضية (طن/إيكر)
الفول	5	21
البسلة	1	9
البنجر	4	12
البطاطس	8	70
الكرنب	5.9	8.2
الخس	4.1	9.5
الطماطم	10-5	300-60
الخيار	3.2	112-12

* الإيكر (4047 متر مربع) = 0.96 من الفدان (حيث أن الفدان = 4200 متر مربع).

وهذه كلها مزايا ، إلا أن الأمر لا يخلو من عيوب ، وهذه العيوب قليلة وتلافيها ممكن حيث إنها تتمثل فى:

1- ارتفاع التكاليف الأولية لإنشاء مزرعة لا أرضية. وهذا الأمر لم يعد مشكلة فى ظل توافر معظم تجهيزات المزارع اللاأرضية والتى تستخدم على نطاق واسع فى أنظمة الزراعة التقليدية خاصة تحت الصوب الزراعية (ومن هذه التجهيزات أنظمة الرى بالتنقيط – أجهزة خلط الأسمدة مع مياه الرى – المضخات المائية – ساعات التوقيت – شرائح البلاستيك .....إلخ). كما أن الحصول على كثير من الأحواض والقنوات المناسبة للاستخدام فى المزارع اللاأرضية أصبح ميسوراً فى ظل وجود منتجات البلاستيك المتوفرة فى الأسواق.

2- تحتاج بعض الأنظمة من نوع الـ Closed system و Re-circulating solution إلى مصدر دائم للكهرباء. ويمكن عمل بعض التحويرات فى هذه الأنظمة بما يوفر من الطاقة المستخدمة كما يمكن استخدام المضخات التى تعمل بالديزل بدلاً من التى تعمل بالكهرباء أو استخدامهما معاً كما أنه يمكن استخدام طاقة الرياح والطاقة الشمسية فى هذا المجال .

3- هناك بعض الأمراض الفطرية مثل: الفيوزاريوم Fusarium والفرتيسيليوم Verticillium والتى تنتشر بسرعة فى المحاليل المغذية مما تسبب شلل سريع للنباتات، وللتغلب على هذه المشكلة تستخدم أصناف النباتات المقاومة لهذه الأمراض بالإضافة إلى تعقيم المحلول.

وسوف نستعرض فى هذا الفصل – بمشيئة الله – المحاليل المغذية والشروط الواجب توافرها فيها، وكيفية تحضيرها من الأسمدة التجارية المتوفرة فى الأسواق، ونماذج لبعض المحاليل التجارية فى مصر والعالم. ولمزيد من التفاصيل يمكنكم الرجوع إلى كتاب " الزراعة وإنتاج الغذاء بدون تربة " (أبوالروس وشريف ، سنة 1995).

المحاليل المغذية Nutrient Solution

إن الزراعة التقليدية تعتمد فى الأساس على ما تقوم به التربة – إلى جانب تدعيم النباتات النامية بها وتوفير التهوية الجيدة لجذورها – من إمداد النباتات بقدر من العناصر الغذائية الضرورية والذى يختلف باختلاف نوع الأرض وخصوبتها والذى ينضب – حتى فى أجود أنواع الأراضى – باستمرار الزراعة وتكثيفها على بقعة بعينها، الأمر الذى يحتم تعويض النقص فى محتوى التربة من العناصر الغذائية باضافة الأسمدة والمخصبات التى تعيد إليها حيويتها وقدرتها على إنتاج المحاصيل. إذاً لا غنى عن استخدام الأسمدة للإستمرار فى عملية الزراعة ، فإذا ما أمكن توفير الدعامة والتهوية الجيدة للنباتات فى أى بيئة غير بيئة الأرض الطبيعية، والتغذية بالأسمدة الذائبة فى الماء فإن ذلك يعتبر زراعة بدون تربة.

إذاً كل طرق الزراعة اللاأرضية تعتمد بصفة أساسيه على التغذية بواسطة العناصر المغذية الأساسية المذابة فى الماء فيما يعرف بالمحلول المغذى. وهذا المحلول المغذى فضلاً عن كونه بيئة فى حد ذاته إلا أنه يعتبر العامل المحدد فى نجاح أى طريق أخرى من طرق الزراعة اللاألاضية والتى تستهدف تحقيق أعلى إنتاج ممكن من المحصول المنزرع، وهذا الهدف لا يمكن تحقيقه أو الوصول إليه إلا باستخدام محلول غذائى متزن تتوفر فيه كل عوامل التغذية المثلى، ولذلك ولأهمية هذا الموضوع، فلقد أفردنا له هذا الفصل للتعرف على ما هية المحلول المغذى، وما هى الشروط الواجب توافرها فيه، وأنواع المحاليل المغذية، وكيفية تحضيرها، ومعلومات أساسيه أخرى تفيد أى دارس لهذا الموضوع.

1- المحلول المغذى:

المحلول المغذى هو المحلول الذى يحتوى على جميع العناصر الغذائية الضرورية Essential elements اللازمة لنمو النباتات، وبنسب متوازنة مع بعضها البعض والذى يستخدم فى إمداد النبات بحاجته من الماء والعناصر الغذائية طوال فترة حياته. ومن الصعب القول بإن هناك ما يسمى بالمحلول المغذى المثالى أو المناسب لكل النباتات أو حتى بالنسبه للنبات الواحد. ويرجع ذلك إلى اختلاف النباتات عن بعضها بالنسبة لاحتياجاتها من العناصر الغذائية الأساسية، بالإضافة إلى اختلاف احتياجات النبات الواحد من العناصر مع تغير مراحل نموه المختلفة إلا أنه وفى كل الأحوال فلا بد أن تتوفر بعض الشروط الأساسية التى لا يمكن تجاهلها أو التغاضى عنها حتى يستطيع المحلول المغذى أداء دوره الأساسى والحيوى فى التغذية.

2- الشروط الواجب توافرها فى المحلول المغذى:

يجب أن تتوفر فى المحلول المغذى الشروط التالية:

1- ألا يكون تركيز الأملاح فى المحلول المغذى مرتفعاً بدرجة تؤثر على نمو النبات ، وعادة يكون التوصيل الكهربى للمحلول المغذى فى حدود من 2.0 إلى 3.0 ملليموز/ سم و الضغط الإسموزى له فى حدود من 0.5 إلى 1.0 ضغط جوى.

2- أن يكون رقم الحموضه pH للمحلول المغذى فى حدود من 6.0 إلى 6.5 حيث ان انخفاض الـ pH إلى الحدود الحامضيه الشديده يؤدى إلى تلف جذور النباتات بينما إرتفاع رقم الـ pH إلى الجانب القاعدى يؤدى إلى ترسيب كثير من العناصر فى المحلول على صورة أملاح غير ذائبة لا يستفيد منها النبات.

3- أن تكون نسب العناصر إلى بعضها البعض تقارب إلى حد ما النسب التى يمتص بها النبات العناصر الغذائية المختلفة.

3- تركيز العناصر فى المحلول المغذى:

وجد Stoughton سنة 1969 أن تركيز المغذيات فى مزارع المحاليل يكون فى حدود 100-300 جزء فى المليون للنيتروجين ، 120-250 جزء فى المليون للبوتاسيوم. بينما أشار Hewitt سنة 1969 أيضاً إلى أن المحلول القياسى يجب أن يحتوى على 168 جزءاً فى المليون للنيتروجين ، 156 جزء فى المليون للبوتاسيوم. وهذه التركيزات من العناصر تناسب مزارع المحاليل الساكنة Static Nutrient Solution Culture (SNSC) ، وهى مرتفعة جداً إذا ما قورنت بما تحتاجه مزارع المحاليل المتحركة أو الدائرة Flow Nutrient Solution Culture (FNSC) حيث وجد Asher and Ozanne سنة 1979 فى بحثهم على 14 نوعاً من النباتات التى تم زراعتها فى المزارع التى يتم فيها تدوير المحلول FNSC أن أقصى محصول فى ثمانية أنواع منها تم الحصول عليه عندما كان تركيز البوتاسيوم ثابتاً عند 0.9 جزء فى المليون، وفى الستة الأخرى عند تركيز من البوتاسيوم قدره 3.75 جزء فى المليون. كذلك وجد Clement وآخرون سنة 1974 أن نمو النباتات كان مرضياً فى المحلول الدائر عند ثبات تركيز النيتروجين عند 0.1 جزء فى المليون.

هذا التعارض ما بين المحاليل الساكنة والمحاليل المستمرة فى الدوران يرجع إلى أنه فى حالة المحاليل الدائرة لا يحدث انخفاض فى تركيز العناصر حول المجموع الجذرى للنباتات حيث يعمل الدوران المستمر على المحافظة أو بالأحرى على تجديد تركيز العنصر مما يجعله ثابتاً حول الجذور باستمرار بعكس الحالة فى مزارع المحاليل الساكنة حيث يحدث انخفاض شديد

لتركيز العناصر حول المجموع الجذرى نظراً للاستنزاف المستمر للعناصر من حجم ثابت وغير متجدد من المحلول. ومن ذلك نجد أن نمو النباتات يمكن أن يكون جيداً عند تركيزات منخفضة جداً من العناصر ولكن يظل السؤال .. هل هذه التركيزات هى التركيزات المثلى لنمو النباتات ؟ ، وأيضاً إلى أى حد يمكن أن نغير من هذه التركيزات دون أن يتأثر النمو؟.

ولقد أظهرت بعض التجارب فى مزارع الأغشية Nutrient Film Tecnique (NFT) أن المحصول لم يتأثر بدرجة معنوية مع اختلاف تركيز النيتروجين فى المحلول المغذى ما بين 10–320 جزءاً فى المليون (على شرط ثبات التركيز خلال موسم النمو) ، ولكن بصفة عامة يفضل أن يكون تركيز العنصر فى المحلول المغذى مرتفعاً نسبياً حتى نضمن وجود رصيد من العناصر المغذية فى النظام. وكأرقام استرشادية يوضح الجدول رقم (8–2) حدود تركيزات العناصر فى المحلول المغذى للنبات.

والحد الأدنى المشار إليه فى الجدول أكبر بكثير من الحد الذى يبدأ عنده ظهور أعراض نقص العناصر على النبات ، ولذلك إذا أظهر التحليل قيم منخفضة للعنصر فى المحلول يكون ذلك دليلا" على تناقص مستمر للعنصر مما يؤدى إلى ضرر للنبات إذا ما استمر هذا الانخفاض.

4- كيف يمكنك تحضـــير المحلول المغذى:

من الضرورى فهم وتعلم كيفية تحضير المحلول المغذى سواء كان ذلك من الكيماويات النقية (فى حالة التجارب والبحوث)، أو من الأسمدة التجارية (فى حالة الزراعة الإقتصادية على أى مستوى).

جدول (8–2): العناصر المغذية ومدى تركيزاتها فى المحلول المغذى بالجزء فى المليون

العنصـــــــر	الحد الأدنى	الحد الأعلى	الحد المفضل
النيتروجين Nitrogen	50	300	200–150
الفوسفور Phosphorous	20	200	50
البوتاسيوم Potassium	50	800	500–300
الكالسيوم Calcium	125	400	300–150
الماغنسيوم Magnessium	25	100	50
الحديد Iron	3	12	5
المنجنيز Manganese	0.5	2.5	1.0
النحاس Copper	0.05	1.0	0.1
الزنك Zinc	0.05	2.5	0.1
البورن Boron	0.1	1.5	0.5–0.3
الموليبدنم Molybdenium	0.01	0.1	0.05
الصوديوم Sodium	---	250	---
الكلور Chlorine	---	400	---

خواص الماء:

تعتبر خواص الماء ذات أهمية قصوى فى تحضير المحاليل المغذية للزراعات اللاأرضية لذلك يجب أن يراعى ما يلى:

(1) نسبة كلوريد الصوديوم NaCl

يجب أن يكون الماء نقياً وعذباً بحيث لا يتعدى نسبة كلوريد الصوديوم به عن 50 جزء فى المليون. فالماء المحتوى على أكثر من 50 جزء فى المليون من كلوريد صوديوم NaCl لا يناسب النمو الأمثل للنبات، وكلما ازداد تركيز كلوريد الصوديوم انخفض معدل النمو والذى قد يؤدى فى النهاية إلى موت النبات.

(2) نسبة الأملاح الكلية الذائبة Total soluble salts (TSS)

بالإضافة إلى كلوريد الصوديوم فإنه يجب أن يؤخذ فى الإعتبار المحتوى الكلى للأملاح الذائبة فى الماء Total soluble salts (TSS) حيث أن قدرة النباتات على امتصاص الماء وما به من عناصر غذائية تقل مع زيادة محتواه من الأملاح، وإن كانت النباتات تختلف فيما بينها فى قدرتها على تحمل التركيزات المرتفعة من الأملاح، فهناك نباتات حساسة للملوحة Sensitive plants، وأخرى متوسطة الحساسية Moderately sensitive ، وثالثة متوسطة التحمل للملوحة Moderately tolerant، والرابعة تتحمل الملوحة وتسمى Tolerant plants. ولقد وجد بعض الباحثين أنه يمكن إستخدام مياه ملحية تركيزات الأملاح بها تصل إلى 300 جزء فى المليون فى تنمية بعض النباتات فى الزراعات اللاأرضية تحت إعتبارات خاصة، منها المعرفة المسبقة لقدرة تحمل نوع النبات وصنفه للأملاح، ومرحلة نمو النبات ، وإضافة العناصر الغذائية غير الموجودة فى المياه. لذلك فإنه عند إستخدام مياه ملحية فى الزراعات اللاأرضية فإن النباتات التى يتم زراعتها هى النباتات المتحملة للملوحة Tolerant plants أو متوسطة التحمل للأملاح Moderately tolerant مثل القرنفل والطماطم والخيار والخس وحتى بين أنواع النباتات المتحملة للملوحة فإن درجة التحمل تختلف من صنف إلى آخـر.

(3) عسر الماء Hard Water

يتوقف مقدار عسر الماء Hardness على محتواه من أيونات البيكربونات HCO_3 ، فكلما زاد تركيز البيكربونات كلما ازداد عسر الماء، الأمر الذى يؤدى إلى زيادة رقم الـ pH وعليه يقل تيسر وصلاحية عنصر الحديد مثلاً للنبات. ومن الناحية العملية فإن مياه الآبار فى المناطق ذات الأصل الجيرى يمكن أن تحتوى على تركيز مرتفع من أملاح كربونات الكالسيوم والماغنسيوم. والماء العسر المحتوى على كربونات الكالسيوم والماغنسيوم يعتبر مناسب لتنمية النباتات مثله فى ذلك مثل الماء اليسر Soft water .

وفى كل الأحوال فإنه قبل إستخدام أى مصدر للماء فى تحضير المحلول المغذى يجب تحليله ومعرفة مستوى كل من أيونات العناصر التالية: الكالسيوم Ca^{2+} الماغنسيوم Mg^{2+} – الحديد Fe^{2+} – الكربونات CO_3^{2-} – البيكربونات – HCO_3^-، وبالتالى تحديد الكميات المطلوب إضافتها من كل منها للوصول إلى التركيز المطلوب فى المحلول المغذى.

تحضير محلول كوبر Cooper Solution:

يعتبر هذا المحلول أكثر المحاليل إستخداماً فى مزارع الأغشية المغذية. ويبين الجدول رقم (8–3) تركيزات العناصر فى هذا المحلول المغذى، وهى محسوبة على أساس أجزاء فى المليون أو بمعنى آخر جرام/1000 لتر من المحلول.

جدول (8–3): تركيزات العناصر الغذائية فى محلول كوبر

العنصـــــــر	الرمز	التركيز بالجزء فى المليون
النيتروجين Nitrogen	N	200
الفوسفور Phosphorous	P	60
البوتاسيوم Kalium (Potassium)	K	300
الكالسيوم Calcium	Ca	170
الماغنسيوم Magnessium	Mg	50
الحديد Ferrous (Iron)	Fe	12
المنجنيز Manganese	Mn	2
النحاس Copper	Cu	0.1
الزنك Zinc	Zn	0.1
البورن Boron	B	0.3
الموليبدنم Molybdenium	Mo	0.2
الكبريت Sulfur	S	69

ويبين جدول (8–4) الأملاح التى يحضر منها محلول كوبر المغذى والأوزان المطلوبه من كل ملح لتحضير 1000 لتر (متر مكعب) من هذا المحلول. ونظراً لشيوع إستخدام هذا المحلول فى تغذية النباتات، فسوف نستعرض كيفية حساب أوزان الأملاح المطلوبة لتحضير 1000 لتر من هذا المحلول المغذى:

جدول (8–4): أوزان الأملاح بالجرام المستخدمة لتحضير 1000 لتر من محلول كوبر المغذى

الملح المسخدم فى التحضير ورمزه	الوزن الجزيئى	الوزن المطلوب
نترات الكالسيوم $Ca(NO_3)_2.\ 4H_2O$	236	1003
نترات البوتاسيوم KNO_3	101	583
فوسفات أحادى البوتاسيوم KH_2PO_4	136	263
كبريتات الماغنسيوم $MgSO_4.\ 7H_2O$	246.5	513
حديد مخلبى Fe-EDTA	367	79
كبريتات منجنيز $MnSO_4.\ H_2O$	169	6.1
حامض بوريك H_3BO_3	62	1.7
كبريتات نحاس $CuSO_4.\ 5H_2O$	149.7	0.39
موليبدات أمونيوم $(NH_4)_6Mo_7O_{24}.4H_2O$	1236	0.37
كبريتات زنك $ZnSO_4.\ 7H_2O$	287.6	0.44

1- تركيز الفوسفور المطلوب هو60 جزء فى المليون (60 جرام/ 1000 لتر) والملح المستخدم هو فوسفات أحادى البوتاسيوم KH_2PO_4 ، وزنه الجزيئى 136 جم ويحتوى على وزن ذرى واحد من الفوسفور قدره 31 جم. وبالتالى فإنه للحصول على 60 جرام من الفوسفورفإنه يلزم وزنة قدرها [136 ÷ 31] × 60 = 263 جم من ملح KH_2PO_4 فإذا تم إذابة هذه الوزنه فى 1000 لترمن الماء فإن المحلول الناتج يكون تركيز الفوسفور (P) به = 60 جزء فى المليون.

وفى صورة مختصرة فإن خطوات الحساب هى:

أ- أكتب التركيز المطلوب من العنصر = 60 جزء فى المليون

ب- إحسب الوزن الجزيئى للملح المستخدم (فوسفات أحادى البوتاسيوم KH_2PO_4) = 136

جـ- إحسب وزن الملح الذى يعطى 1 جزء فى المليون فوسفور = 136 ÷ 31

د- إحسب وزن الملح الذى يعطى 60 جزء فى المليون فوسفور = [136 ÷ 31] × 60 = 263 جم

2- ملح فوسفات أحادى البوتاسيوم KH_2PO_4 السابق لا يحتوى على الفوسفور فقط ولكن به بوتاسيوم أيضاً K)، بحيث أن كل وزن جزيئى (136 جرام) يحتوى على وزن ذرى

واحد من البوتاسيوم قدره 39 جرام، وبالتالى فإن الوزنه التى مقدارها 263 جم من ملح فوسفات أحادى البوتاسيوم KH_2PO_4 والتى تمت إذابتها فى 1000 لتر من الماء تحتوى على مقدار من البوتاسيوم يمكن حسابه كما يلى:

أ- الوزن الجزيئى لملح (فوسفات أحادى البوتاسيوم KH_2PO_4) = 136

ب- نسبة البوتاسيوم فى الملح = 39 ÷ 136

جـ- وزن البوتاسيوم فى 263 جم من KH_2PO_4 = [39 ÷ 136] × 263 = 75 جم.

وحيث أن هذه الوزنة تم إذابتها فى 1000 لتر من الماء ، فيكون تركيز البوتاسيوم 75 جزء فى المليون. ولكن تركيز البوتاسيوم المطلوب فى المحلول المغذى (أنظر جدول التركيزات رقم 8-3) هو 300 جزء فى المليون، ولذلك فإنه يلزم إضافة كمية إضافية من البوتاسيوم (K) قدرها 225 جزء فى المليون. تستكمل هذه الكميه اللازمه من البوتاسيوم من ملح نترات البوتاسيوم KNO_3 والذى وزنه الجزيئى 101 جم، والذى يحتوى على وزن ذرى من البوتاسيوم قدره 39 جم، وبالتالى فإنه للحصول على 225 جم من البوتاسيوم يلزم وزنه من نترات البوتاسيوم قدرها 225 × [101 ÷ 39]= 583 جرام.

3- إضافة 583 جم من ملح نترات البوتاسيوم KNO_3 إلى 1000 لتر من الماء يعطى كمية من النيتروجين للمحلول يمكن حسابها كما يلى:

أ- نسبة النتروجين N فى نترات البوتاسيوم KNO_3 (من الوزن الذرى والوزن الجزيئى) = 14 ÷ 101

ب- وزنة نترات البوتاسيوم KNO_3 (583 جم) التى تم إضافتها للماء تحتوى على كمية نيتروجين قدرها [14 ÷ 101] × 583 = 81 جم نيتروجين.

ولرفع تركيز النيتروجين إلى الحد المطلوب فى المحلول المغذى وهو 200 جزء فى المليون، فإنه يلزم إضافة 119 جزء فى المليون من النيتروجين بدون إضافة كمية أخرى من البوتاسيوم. ولذلك فإن هذه الكمية المتبقية من النيتروجين يتم الحصول عليها من ملح نترات الكالسيوم $Ca(NO_3)_2$ والذى وزنه الجزيئى 236 جرام ويحتوى على 2 وزن ذرى من النيتروجين قدرهما 2 × 14 = 28 جم. وبالتالى فإن كمية نترات الكالسيوم $Ca(NO_3)_2$

اللازمة لإعطاء 119 جزء فى المليون الإضافية من النيتروجين تساوى : 119 × [236 ÷ 28] = 1003 جم .

4- إضافة 1003 جرام من ملح نترات الكالسيوم $Ca(NO_3)_2$ إلى 1000 لتر من المحلول المغذى تضيف إلى جانب الـ 119 جزء فى المليون نيتروجين، عنصر الكالسيوم. ونسبة الكالسيوم فى كل وزن جزيئى من نترات الكالسيوم $Ca(NO_3)_2$ = 40 ÷ 236 . وعلى ذلك فإن كمية الكالسيوم فى 1003 جم من ملح نترات الكالسيوم تساوى 1003 × [40 ÷ 236] = 170 جم. وهذا يعنى أن تركيز الكالسيوم فى المحلول يساوى 170 جزء فى المليون لأن الحجم الكلى للمحلول = 1000 لتر، وهذا هو التركيز المطلوب من الكالسيوم فى المحلول.

وحتى الآن تم إذابة 363 جم فوسفات بوتاسيوم، 583 جم نترات بوتاسيوم، 1003 جم نترات كالسيوم فى 1000 لتر من الماء لتعطى محلول مغذى يحتوى على 60 جزء/ مليون فوسفور، 300 جزء/ مليون بوتاسيوم، 200 جزء/ مليون نتروجين، 170 جزء/ مليون كالسيوم.

5- نستمر فى إضافة باقى الأملاح للحصول على باقى العناصر الغذائية بنفس الكيفية السابقة، حيث يتم إضافة الماغنسيوم إلى المحلول على صورة ملح كبريتات الماغنسيوم $MgSO_4$ والذى له وزن جزيئى قدره 246 جم ويحتوى على وزن ذرى واحده من الماغنسيوم (Mg) قدره 24 جم. وبالتالى فإنه للحصول على تركيز من الماغنسيوم قدره 50 جزء فى المليون يلزم كمية قدرها 50 × [246 ÷ 24] = 513 جم من كبريتات الماغنسيوم يتم إذابتها فى الألف لتر من الماء.

6- تركيز الحديد المطلوب (12 جزء فى المليون) يتم الحصول عليه من وزنة قدرهـــا 12 × [367 ÷ 56] = 79 جم من مادة FeEDTA.

7- تركيز المنجنيز المطلوب (2 جزء فى المليون) يتم الحصول عليه من وزنة قدرهـــا 2 × [169 ÷ 55] = 6.1 جم من ملح كبريتات المنجنيز.

8- تركيز البورن المطلوب (0.3 جزء فى المليون) يتم الحصول عليه من وزنة قدرهـا 0.3 × [62 ÷ 11] = 1.7جم من حامض البوريك .

9- تركيز النحاس المطلوب (0.1 جزء فى المليون) يتم الحصول عليه من وزنة قدرهـا 0.1 × [250 ÷ 64] = 0.39 جم من ملح كبريتات النحاس .

10- تركيز الموليبدنم المطلوب (0.2 جزء فى المليون) يتم الحصول عليه من وزنة قدرها 0.2 × [1236 ÷ 672] = 0.37 جم من ملح موليبدات الأمونيوم.

11- تركيز الزنك المطلوب (0.1 جزء فى المليون) يتم الحصول عليه من وزنة قدرهـا 0.1 × [287 ÷ 65] =0.44 جم من ملح كبريتات الزنك.

جميع هذه الحسابات تعطى أوزان المواد المطلوب إذابتها فى الألف لتر من الماء للحصول على المحلول المغذى كما هو واضح من جدول (8-4). ويلاحظ فى جميع الحسابات السابقة أننا لم نضع فىالإعتبار درجة نقاوة المادة الكيماوية، ولذلك فإن أوزان المواد المدونة فى الجدول يتم تعديلها بناء على درجة نقاوة كل مادة. فمثلاً إذا كانت نقاوة مادة نترات الكالسيوم 90 % ، فإن الوزن المطلوب من المادة النقيه (1003 جم) يصبح 1003 × [100 ÷ 90] = 1114 جم نترات كالسيوم من المادة ذات النقاوة 90% ، وهكذا بالنسبة لباقى الأملاح.

5- صورة النيتروجين فى المحلول المغذى:

من المعروف أن النبات يمتص النيتروجين إما على صورة أيونات نترات NO_3^- أو كاتيونات أمونيوم NH_4^+ بنفس الدرجة من الكفاءة. ولكن وجد أن بعض النباتات النامية فى نظام الأغشية المغذية يتأثر نموها بدرجة كبيرة إذا كان مصدر النيتروجين الوحيد فى المحلول المغذى على صورة أمونيوم. فمثلاً وجد أن بادرات الطماطم الصغيرة تموت بعد بضعة أسابيع من التغذية بالنيتروجين الأمونيومى، وإن كانت البادرات الأكبر سناً أكثر قدرة على تحمل الأمونيوم إلا أن نمو جذورها يتأثر بذلك. وبالرغم من هذا فإن استخدام النيتروجين الأمونيومى فى المحاليل المغذية قد يكون ضرورياً فى بعض الحالات وخاصة إذا كانت المياه المستخدمة فى تحضير المحلول قلوية التأثير. ففى مثل هذه الحالات نجد أن استخدام النيتروجين الأمونيومى يفيد كثيراً فى منع ارتفاع رقم pH المحلول المغذى بدرجة كبيرة ، وبالتالى يقلل من كمية الأحماض اللازمة لخفض pH المحلول باستمرار. وبصفة عامة فإنه إذا كانت المياه المستخدمة فى تحضير المحلول المغذى تحتوى على تركيز مناسب من الكالسيوم، فإنه يمكن استخدام نترات الأمونيوم بدلاً من نترات الكالسيوم للحصول على التركيز المطلوب من النيتروجين فى المحلول المغذى.

6- ضبط pH المحلول المغذى بعد تحضيره:

أبسط طرق قياس pH المحلول هى الطريقة الوصفية، وفيها يتم استخدام الأشرطة الورقية والتى يتغير لونها على حسب رقم pH المحلول الذى تغمس فيه. ويتم مقارنة لون هذه

الورقه المبتلة مع خريطة توضح الألوان القياسية لدرجات الـ pH من 1 إلى 14 ومن ذلك يمكن تحديد رقم pH المحلول.

وهناك طرق أخرى أكثر دقة يستخدم فيها أدلة Indicators ، وهذه الأدلة عبارة عن مواد يتغير لونها على حسب رقم pH الوسط. ويتم قياس pH المحلول عن طريق وضع جزء من المحلول فى أنبوبة اختبار ثم يضاف إليه نقطة من الدليل فيتلون السائل بلون معين ، ويتم مقارنة هذا اللون مع خريطة الألوان القياسية لدرجات الـ pH المختلفة كما سبق توضيحه. وأفضل الطرق لقياس رقم الـ pH للمحلول هى استخدام جهاز الـ pH Meter .

ويفضل أن يكون رقم pH المحلول المغذى فى حدود من 6 إلى 6.5، وانخفاض pH المحلول كثيراً عن ذلك (أى يصبح حامضى شديد) يكون ضار بالنبات، حيث قد يسبب سمية للجذر ، كما أن الارتفاع الشديد لرقم pH المحلول (أى يتحول إلى قلوى شديد) يؤدى إلى ترسيب كثير من العناصر فى المحلول على صورة غير ذائبة لا يستطيع النبات أن يستفيد بها.

بعد تحضير المحلول المغذى يقاس رقم الـ pH، فإذا كان مرتفعاً عن 6.5 يضاف إلى المحلول بعض الأحماض (مثل حامض النيتريك HNO_3 أو حامض الفوسفوريك H_3PO_4) لخفض رقم pH المحلول إلى الرقم المطلوب. أما إذا كان رقم pH المحلول أقل من 6.0 (حامضى) فإنه يضاف بعض المواد القلويه مثل أيدروكسيد البوتاسيوم KOH لرفع رقم الـ pH إلى القيمة المطلوبه.

7- قياس تركيز الأملاح فى المحلول المغذى بعد تحضيره:

يعتبر تركيز الأملاح الذائبة فى المحلول المغذى عامل هام جداً فى تأثيره على نمو النباتات. فارتفاع تركيز الأملاح بدرجة كبيرة يؤدى إلى انخفاض واضح فى محصول النبات ويرجع ذلك إلى أحد الأسباب التالية:

أ- **التأثير الأسموزى Osmotic Effect** : حيث تقل قدرة النبات على امتصاص الماء نتيجة لارتفاع الضغط الأسموزى للمحلول.

ب- **التأثير النوعى أو السمى Toxic or Specific Ion Effect** : حيث يؤدى زيادة تركيز أيونات معينة فى المحلول مثل الصوديوم ، الكلوريد ، البورن إلى سمية النبات نتيجة للاضطراب فى العمليات الفسيولوجيه.

ولذلك فإنه بعد تحضير المحلول المغذى يجب قياس تركيز الأملاح به، ويتم ذلك عن طريق قياس التوصيل الكهربى للمحلول Electrical Conductivity (EC) باستخدام جهاز خاص لذلك. ومن المعروف أن هناك علاقة ما بين قدرة المحلول على توصيل تيار الكهرباء وتركيز الأملاح به، ولذلك فكلما زاد تركيز الأملاح كلما زاد مقدار التوصيل.

ووحدات قياس التوصيل الكهربى هى الموز/سم ((mhos/cm) أو السيمنSemin/سم (S/cm) والموز = السيمن. وهناك وحدات أقل من الموز أو السيمن وهى المللى والميكرو لكليهما. [والموز = 1000 ملليموز = 1000000 ميكروموز].

وفى كل الأحوال يمكن تحويل هذه الوحدات إلى وحدات أخرى كما يلى:

EC ملليموز / سم	**X 10**	**= ملليمكافىء/لتر**
EC ملليموز / سم	**X 5**	**= ملليمكافىء/100جم تربة**
EC ملليموز / سم	**X 640**	**= جزء فى المليون**
EC ملليموز / سم	**X 0.064**	**= نسبة مئوية (%)**
EC ملليموز / سم	**X 0.36**	**= ضغط جوى**
EC ملليموز / سم	**X 0.350**	**= الأملاح الذائبة الكلية%**

ويجب أن يراعى أن لا يقل التوصيل الكهربى للمحلول المغذى عن 2.0 ملليموز/سم، فإذا انخفض عن ذلك يضاف كمية من العناصر إلى المحلول لرفع التوصيل مرة أخرى إلى 3.0 ملليموز/ سم.

وفى هذا الصدد تعتبر نوعية المياه المستخدمة فى تحضير المحلول المغذى ذات عامل هام جداً فى إقامة مزارع المحاليل. فإذا احتوت هذه المياه على تركيز مرتفع من الأملاح فإن ذلك قد يحد من استخدامها، حيث إنها سوف تزيد من محتوى المحلول المغذى من الأملاح بدرجة كبيرة ، كما قد تحتوى على تركيزات مرتفعة من الأملاح التى قد تسبب سمية للنبات. ولذلك فإنه قبل تحضير المحلول المغذى يجب قياس محتوى المياه من الأملاح، وكذلك نوعية الأملاح الموجودة بها.

وتجدر الإشارة إلى أن النباتات فى مزارع المحاليل تستطيع النمو فى تركيزات تصل إلى 8 ملليموز/سم (Aboulroos وآخرون سنة 1995) وهذا التركيز المرتفع قد لا تستطيع النباتات أن تتحمله عند نموها فى التربة .

8- المحلول المغذى المركـــز Stock Solution:

من الأفضل فى كثير من الأحيان أن يتم تحضير محلول مركز Stock Solution وهذا يتم تخفيفه بالماء إلى التركيز المناسب، وذلك بدلا من تحضير المحلول المغذى بالتركيز المطلوب من البدايه. ولكن يجب أن تراعى نقطتين فى تحضير المحلول المركز هما:

أ: عدم حدوث ترسيب لبعض العناصر الغذائية فى المحلول نتيجة لتفاعلها مع عناصر أخرى، ويحدث هذا فى حالة تحضير المحاليل المركزة. فمثلا: زيادة تركيز الكالسيوم عن حد معين يؤدى إلى ترسيب الفوسفات على صورة فوسفات الكالسيوم غير الذائبة، ولذلك يجب أن تراعى مثل هذه التفاعلات عند حساب أقصى تركيزات للعناصر يسمح بها فى المحلول المركز لتلافى عمليات الترسيب.

ب: الأملاح التى يحضر منها المحلول المغذى ليست تامة الذوبان فى الماء، وإنما معظمها شحيحة الذوبان. فمثلاً: ذوبان نترات البوتاسيوم 13% أى 130 جرام لكل لتر من الماء ، بينما مادة أخرى مثل نترات الكالسيوم تذوب بمعدل 2660 جرام فى اللتر. ولذلك فإن أقصى تركيز يمكن تحضيره من المحلول المغذى المركز يتحكم فيه الملح ذو درجة الذوبان الأقل، وعادة ما يكون التركيز فى المحلول المركز من 100 إلى 200 مرة قدر المحلول المغذى.

وكل من هاتين النقطتين يجب مراعاتهما عند تحضير المحلول المركز وعادة ما يتم تحضير محلولين مركزين هما: محلول (A) ويحتوى على نترات الكالسيوم والحديد المخلبى، ومحلول (B) ويحتوى على باقى الأملاح الأخرى، أى يحتوى كل محلول على مجموعة العناصر التى لا تؤثر على بعضها البعض (أى لا ترسب بعضها). ويراعى أن يكون حجم كل محلول من المحلولين المركزين فيما بين 45 إلى 100 لتر حتى يمكن تداوله بسهوله. ويفضل أن تكون المادة المصنوع منها الوعاء من البلاستيك غير المنفذ للضوء.

ومن الملاحظات التى لا يجب إهمالها عند تحضير المحاليل المركزة ما يلى :

(1) عند تحضير المحلول المركز (A) تضاف نترات الكالسيوم إلى الماء، ويتم التقليب جيداً حتى تمام الذوبان، أما الحديد المخلبى فيتم خلطه جيداً مع كمية قليلة من الماء، ثم يضاف إلى محلول نترات الكالسيوم.

(2) عند تحضير المحلول المركز (B) تضاف أملاح المغذيات الكبرى للماء، وتذاب جيداً، أما أملاح العناصر الصغرى فتذاب جميعها (عدا حامض البوريك) فى جزء قليل من الماء حتى تمام الذوبان، ثم تخلط مع المحلول (B). أما حامض البوريك فيذاب أولا فى ماء مغلى حتى تمام ذوبانه قبل إضافته إلى المحلول.

(3) عدم خلط المحلولين المركزين (B) & (A) مع بعضهما البعض بدون تخفيف وإلا حدث ترسيب لفوسفات الكالسيوم فى الحال.

9- أمثلة للمحاليل المغذية المركزة (كاملة العناصر الصغرى والكبرى):

أ- باستخدام ماء يسر Soft Water

يتم تحضير ثلاثة محاليل مركزة كما يلى:

المحلول المركز (A):

يحضر من 7.5 كيلوجرام من نترات الكالسيوم فى 100 لتر ماء

المحلول المركز (B):

يحضر من الأوزان التالية فى 100 لتر ماء
9.0 كيلوجرام من نترات البوتاسيوم
3.0 كيلوجرام من فوسفات أحادى البوتاسيوم
6.0 كيلوجرام من كبريتات الماغنسيوم
300 جراماً من الحديد المخلبى

تابع المحلول (B)

40 جراماً من كبريتات المنجنيز
24 جراماً من حامض البوريك
8 جرام من كبريتات النحاس
4 جرام من كبريتات الزنك
1 جرام من موليبيدات الأمونيوم

المحلول المركز (C):

يحضر من 10 لتر من حامض النيتريك فى 100 لتر ماء

ويستخدم فى ضبط رقم الـ pH للمحلول المخفف.

تركيزات العناصر فى المحلول المغذى المخفف (جزء فى المليون) بعد التخفيف بمعدل 1 : 100 من المحلول المركز السابق.

العناصر الكبرى	التركيز (ppm)	العناصر الصغرى	التركيز (ppm)

النيتروجين N	214	الحديد Fe	4.5
الفوسفور P	68	المنجنيز Mn	1.0
البوتاسيوم K	434	البورن B	0.4
الماغنسيوم Mg	59	النحاس Cu	0.2
الكالسيوم Ca	128	الزنك Zn	0.09
		موليبدنم Mo	0.05

ب- باستخدام ماء عسر Hard Water

يتم هنا أيضا" تحضير ثلاثة محاليل مركزة كما يلى:

المحلول المركز (A):

يحضر من 5.0 كيلوجرام من نترات الكالسيوم فى 100 لتر ماء

المحلول المركز (B):

يحضر من الأوزان التالية فى 100 لتر ماء
8.0 كيلوجرام من نترات البوتاسيوم
4.0 كيلو جرام من كبريتات البوتاسيوم
6.0 كيلوجرام من كبريتات الماغنسيوم
600 جرام من نترات الأمونيوم
300 جرام من الحديد المخلبى
40 جراماً من كبريتات المنجنيز
24 جراماً من حامض البوريك
8 جرام من كبريتات النحاس
4 جرام من كبريتات الزنك
1 جرام من موليبيدات الأمونيوم

المحلول المركز (C):

يحضر من 6 لتر من حامض النيتريك + 3 لتر من حامض الفوسفوريك فى 100 لتر ماء

ويستخدم فى ضبط رقم الـ pH للمحلول المخفف.

تركيزات العناصر فى المحلول المغذى المخفف (جزء فى المليون) بعد التخفيف بمعدل 1 : 100 من المحلول المركز السابق.

العناصر الكبرى	التركيز (ppm)	العناصر الصغرى	التركيز (ppm)
النيتروجين N	192	الحديد Fe	4.5
البوتاسيوم K	490	المنجنيز Mn	1.0
الماغنسيوم Mg	59	البورن B	0.4
الكالسيوم Ca	85	النحاس Cu	0.2
الفوسفور P	---	الزنك Zn	0.09
		موليبدنم Mo	0.05

ملاحظات على تركيب المحلول:

1) يلاحظ أن تركيز النيتروجين والفوسفور سوف يزداد بإضافة المحلول (C).

2) عدم إضافة الفوسفور فى المحلول إعتماداً على ما سوف يضاف من المحلول (C).

3) إذا لوحظ أن الكميات المضافة من المحلول (C) لا تفى باحتياجات النباتات النامية ، فإنه – وعلى الفور – يتم إضافة 1.5 كيلوجرام من فوسفات أحادى البوتاسيوم إلى المحلول (B)، وفى المقابل يتم خفض كمية كبريتات البوتاسيوم من 4.0 إلى 3.0 كيلوجرام.

10– أمثلة للمحاليل المغذية المستخدمة تجارياً فى المزارع اللاأرضية:

اقترح كثير من العلماء العديد من المحاليل المغذية المناسبة من وجهة نظر كل منهم لتغذية النباتات. ولكن هناك بعض الملامح المشتركة لكل هذه المحاليل وهى أن ثلاثة من المغذيات الكبرى وهى الكالسيوم Ca^{++} والماغنسيوم Mg^{++} والبوتاسيوم K^{+} توجد على شكل كاتيونات وثلاثة منها توجد على صورة أنيونات وهى النترات NO_3^- والفوسفات $H_2PO_4^-$ والكبريتات SO_4^{2-}. وعلى ذلك فجميع المغذيات يمكن الحصول عليها من ثلاثة أملاح هى نترات البوتاسيوم KNO_3 وفوسفات الكالسيوم $Ca(H_2PO_4)_2$ و كبريتات الماغنسيوم $MgSO_4$. ولكن مع ذلك فإنه يفضل استخدام أربعة أملاح بدلاً من ثلاثة حيث

يوفر ذلك مرونة أكبر فى تعديل تركيز ونسب المغذيات إلى بعضها البعض فى المحلول المغذى.

ولكن استخدام الكيماويات النقية فى تحضير المحاليل المغذية لا يمكن أن يتم إلا على نطاق ضيق فى التجارب والأبحاث، بينما فى غير ذلك يعتبر أمراً بالغ الصعوبة خاصة إذا كان تحضير المحاليل بغرض استخدامها فى الزراعة على مساحات واسعة Commercial scale للحصول على عائد اقتصادى عالى، حيث ان ارتفاع أسعار هذه الكيماويات يحول دون ذلك. لذلك فلا بد من التغلب على هذه المشكلة وتحضير المحاليل المغذية من الأسمدة التجارية التى تستخدم فى تسميد النباتات فى الأراضى الزراعية سواء كان ذلك تحت الصوب أو خارجها، وإن كان يفضل استخدام الأسمدة الأكثر نقاوة والتى غالباً ما تستخدم تحت ظروف الصوب الزراعية.

وسوف نستعرض فيما يلى كيفية تحضير المحاليل المغذية من الأسمدة شائعة االإستخدام فى الزراعات اللاأرضيه فى بعض الدول التى تستخدم هذا الأسلوب من الزراعة على نطاق تجارى:

الولايات المتحدة الأمريكية:

أ- المحلول المستخدم صيفاً:

تركيز العنصر بالجزء فى المليون [N = 180 ، P = 63 ، K = 410 ، Ca = 220 ، Mg = 50]

التحضير:

الملـــــح	**الكمية بالجرام لكل 100 لتر**
نترات البوتاسيوم	110
كبريتات الكالسيوم (جبس)	76
كبريتات الماغنسيوم	52
سوبر فوسفات ثلاثى	31
كبريتات الأمونيوم	14
الوزن الكلى للأملاح المضافة	**283**

ب- المحلول المستخدم شتاء :

تركيز العنصر بالجزء فى المليون [N = 104 ، P = 63 ، K = 410 ، Ca = 220 ، Mg = 50]

التحضير:

الملـــح	**الكمية بالجرام لكل 100 لتر**
نترات البوتاسيوم	55
كبريتات البوتاسيوم	50
كبريتات الكالسيوم (جبس)	76
كبريتات الماغنسيوم	52
سوبر فوسفات ثلاثى	31
كبريتات الأمونيوم	14
الوزن الكلى للأملاح المضافة	**278**

المملكة المتحدة (إنجلترا):

أ- المحلول الأول:

تركيز العنصر بالجزء فى المليون [N = 200 ، P = 88 ، K = 200 ، Ca = 270 ، Mg = 50]

التحضير:

الملـــح	**الكمية بالجرام لكل 100 لتر**
نترات البوتاسيوم	55
نترات صوديوم	64
كبريتات الكالسيوم (جبس)	86
كبريتات الماغنسيوم	52
سوبر فوسفات ثلاثى	44
كبريتات الأمونيوم	12
الوزن الكلى للأملاح المضافة	**313**

ب- المحلول الثانى:

تركيز العنصر بالجزء فى المليون [N = 145 ، P = 70 ، K = 90 ، Ca = 180 ، Mg = 58]

التحضير:

الملـــح	الكمية بالجرام لكل 100 لتر
فوسفات أحادى البوتاسيوم	31
نترات الكالسيوم	107
كبريتات الماغنسيوم	58
كبريتات الأمونيوم	9
الوزن الكلى للأملاح المضافة	**205**

ألمـانيـا:

المحلول المستخدم هناك يعرف بمحلول **Knop**

تركيز العنصر بالجزء فى المليون [N = 125 ، P = 45 ، K = 136 ، Ca = 136 ، Mg = 20]

التحضير:

الملـــح	الكمية بالجرام لكل 100 لتر
فوسفات أحادى البوتاسيوم	20
نترات الكالسيوم	80
كبريتات الماغنسيوم	20
نترات البوتاسيوم	20
الوزن الكلى للأملاح المضافة	**140**

جنوب إفريقيـــا:

أ- المحلول المستخدم صيفاً:

تركيز العنصر بالجزء فى المليون [N = 200 ، P = 94 ، K = 330 ، Ca = 305 ، Mg = 50]

التحضير:

الملـــــح	الكمية بالجرام لكل 100 لتر
نترات الكالسيوم	135
كبريتات البوتاسيوم	75
كبريتات الماغنسيوم	55
سوبر فوسفات ثلاثى	47
كبريتات الأمونيوم	19
الوزن الكلى للأملاح المضافة	**331**

أ- المحلول المستخدم شتاء :

تركيز العنصر بالجزء فى المليون [N = 100 ، P = 95 ، K = 380 ، Ca = 220 ، Mg = 50]

التحضير :

الملـــــح	الكمية بالجرام لكل 100 لتر
نترات الكالسيوم	85
كبريتات البوتاسيوم	88
كبريتات الماغنسيوم	55
سوبر فوسفات ثلاثى	47
الوزن الكلى للأملاح المضافة	**275**

مصـــــر :

قام Sherif وآخرون سنة 1992 بتجهيزالمحلول المغذى من ستة أملاح بدلاً من أربعة، وهذه الأملاح عبارة عن الأسمدة التجارية المتوفرة فى الأسواق، وذلك لتوفير العناصر الكبرى، بالإضافة إلى الكيماويات المعملية النقية لتوفير العناصر الصغرى.

أولا": العناصر الكبرى

الملـــــح	الكمية بالجرام لكل 100 لتر
نترات الكالسيوم	59
كبريتات البوتاسيوم	60
كبريتات الكالسيوم	20
كبريتات الماغنسيوم	36

سوبر فوسفات ثلاثى	40
يوريا	30
الوزن الكلى للأملاح المضافة	**245**

ثانيا": العناصر الصغرى

الملـــــح	**الكمية بالمجم لكل 100 لتر**
كبريتات الحديدوز	6000
كبريتات المنجنيز	600
كبريتات النحاس	40
كبريتات الزنك	40

تابع أملاح العناصر الصغرى

الملـــــح	**الكمية بالمجم لكل 100 لتر**
حامض البوريك	180
موليبيدات الأمونيوم	40
الوزن الكلى للأملاح المضافة	**6900**

ليعطى التركيزات التالية للعناصر الغذائية الضرورية اللازمه للنبات:

العنصر	**ملليمول /لتر**	**ملليجرام /لتر**	**العنصر**	**ملليمول /لتر**	**ملليجرام /لتر**
النيتروجين	14.9	208	الحديد	0.218	12
الفوسفور	2.4	75	المنجنيز	0.036	2
الكبريت	6.6	211	الزنك	0.002	0.1
الكالسيوم	4.4	176	النحاس	0.002	0.1
البوتاسيوم	7.5	294	البورن	0.028	0.3
الماغنسيوم	2	50	الموليبدنم	0.002	0.2

وفى حالة الاحتياج إلى كميات كبيرة من المحلول المغذى فإنه يمكن تحضير محاليل مركزة Stock Solution من نفس الأسمدة وبنفس المعدلات السابقة تركيزاً وتخفيفاً.

11- بعض العوامل المؤثرة على تركيب المحلول المغذى:

هناك بعض العوامل التى تؤثر على تركيب المحلول المغذى أهمها:

أ- الظروف المناخية

تؤثر الظروف المناخية على نسبة عنصر البوتاسيوم : النيتروجين الواجب توافرها فى المحلول المغذى. ففى أيام الصيف الطويلة والمشمسة تحتاج النباتات إلى كمية أكبر من النيتروجين وكمية أقل من البوتاسيوم وذلك بالمقارنة بأيام الشتاء القصيرة والمعتمة. ولذلك فإنه من المعتاد أن تضاعف نسبة البوتاسيوم إلى النيتروجين فى فصل الشتاء.

ب- نوع النبات المنزرع

يتأثر اختيار المحلول المغذى بنوع النباتات المنزرعة من حيث هل هو من النباتات الورقية أم من النباتات المثمرة. فالنباتات الورقية (الخس – الكرنب) تستفيد أكثر من المحلول المحتوى على تركيز عال من النيتروجين مقارنة بمحصول آخر مثل الطماطم.

جـ- نوع الأيونات المضافة

بالرغم من أن النبات يمتص النيتروجين على صورة كاتيون أمونيوم $NH4^+$ وأنيون نترات $NO3^-$ بنفس الكفاءة، إلا أنه يفضل ألا تزيد نسبة الأمونيوم فى المحلول عن 20% من الكمية الكلية للنيتروجين. وإضافة النيتروجين الأمونيومى على صورة كبريتات الأمونيوم $(NH4)2SO4$ يساعد فى المحافظة على pH المحلول فى الجانب الحامضى، ويرجع ذلك إلى أن النبات يمتص أيون الأمونيوم بسرعة وسهولة أكثر من أيون الكبريتات. وبقاء هذا الشق الحامضى فى المحلول يعمل على عدم ارتفاع رقم الـ pH إلى الجانب القلوى نتيجة امتصاص النبات لأيونات النترات والفوسفات.

د- سلوك الأيونات فى المحلول

حيث إن الفوسفور فى المحلول المغذى يوجد على شكل أيونات $H2PO4^-$ فإنه يعمل على ترسيب بعض الأيونات الأخرى وخاصة أيونات المغذيات الصغرى مما يقلل من صلاحيتها للنبات. لذلك فإنه يتم عن عمد جعل تركيز الفوسفور فى المحلول المغذى منخفضا" قدر الإمكان.

هـ- قدرة النبات على تحمل تركيزات مرتفعة نسبياً من بعض العناصر

يلاحظ فى جميع أمثلة المحاليل السابقة أنه لم يذكر تركيز أحد العناصر الكبرى وهو الكبريت، ويرجع السبب فى ذلك إلى أن الكبريتات تدخل فى كثير من الأملاح الأخرى مما

يجعل تركيز الكبريتات فى المحلول يتعدى حد الكفاية ويتجه نحو الزيادة، إلا أن النباتات لها القدرة على تحمل التركيزات العالية نسبياً من الكبريتات.

و- حاجة النباتات إلى العناصر الصغرى بكميات ضئيلة

يجب أن يوضع فى الإعتبار أن المغذيات الصغرى سامة جدا" للنبات إذا زاد تركيزها عن حد معين، ولهذا السبب فإن ضبط تركيزها فى المحلول المغذى يجب أن يولى عناية خاصة. ولذلك يفضل تحضير محلول مغذى مركز من العناصر الصغرى كما فى جدول (8-5) ويضاف منه 1 لتر لكل 100 لتر من المحلول المغذى المخفف.

ز- التوقيت الشتوى والصيفى واستخدام المحاليل

يستخدم محلول الشتاء فى الفترة من شهر سبتمبر إلى شهر إبريل تقريباً بينما محلول الصيف يستخدم فى الفترة من شهر مايو إلى شهر سبتمبر تقريباً.

جدول (8-5): تحضير المحلول المركز للعناصر الصغرى

الملح	وزن الملح بالجم/25 لتر من المحلول المغذى	العنصر	التركيز بالـ ppm بعد التخفيف بنسبة 100:1
حديد مخلبى	80	Fe	4.5
كبريتات منجنيز	10	Mn	1.0
حامض البوريك	4	B	0.3
كبريتات النحاس	0.8	Cu	0.08
كبريتات الزنك	0.8	Zn	0.07
موليبيدات الأمونيوم	0.2	Mo	0.04

١

12- خطوات تحضيـر المحاليل المغذية من الأسمدة التجارية:

(1) يتم شراء الأسمدة أولا" والتى توفر فى مجموعها كل العناصر الغذائية الأساسية.

(2) توزن الكمية المطلوبة من كل سماد ، ثم يتم إذابة كل منها على حدة فى حجم كاف من الماء.

(3) نظرا" لتفاوت الأسمدة فى كمية الشوائب و درجة النقاوة فتوقع وجود شوائب عالقة ورواسب مثلما يحدث فى حالة سوبر فوسفات الكالسيوم الثلاثى أو كبريتات الكالسيوم.

(4) خذ الوقت الكافى فى عملية التقليب حتى التأكد من تمام الذوبان.

(5) الأملاح التى سيتم خلطها معاً تخلط فى صورة محلول رائق خال من الرواسب ، ولذلك يجب ترشيح المحلول الذائب (عند الخلط) من خلال قطعة من الشاش أو أى وسيلة أخرى والتخلص من الرواسب.

(6) يجب الاحتياط من ألا يزيد الحجم النهائى للمحلول بعد الخلط عن الحجم المطلوب الذى تم على أساسه وزن كميات الأسمدة ، بل يجب أن يكون حوالى 70–90% من الحجم حتى تعطى الفرصة للتقليب وضبط الحجم بدقة.

ويجب الأخذ فى الاعتبار أن الأسمدة عبارة عن مركبات كيميائية ، وبالتالى فإن كل نوع من أنواع الأسمدة يعطى سلوكاً مختلفاً عند خلطه مع الأنواع الأخرى، وعلى هذا الأساس تنقسم الأسمدة من حيث الخلط مع بعضها إلى:

أولاً: أسمدة يمكن خلطها لمدة طويلة وتشمل:

كلوريد البوتاسيوم Potassium chloride يمكن أن يخلط مع كربونات الكالسيوم Calcium carbonate (Lime) ، صخر الفوسفات Rock phosphate (Powdered) ، خبث المعادن Basic slag ، فوسفات الأمونيوم Ammonium phosphate ، سوبر الفوسفات الأحادى والثلاثى Superphosphate, single and triple ، كبريتات الأمونيوم Ammonium sulphate ، كبريتات البوتاسيوم والماغنسيوم Sulphate of potash and magnesia ، كبريتات البوتاسيوم Potassium sulphate .

كبريتات البوتاسيوم Potassium sulphate يمكن أن تخلط مع كربونات الكالسيوم Calcium carbonate (Lime) ، صخر الفوسفات Rock phosphate (Powdered) ، خبث المعادن Basic slag ، فوسفات الأمونيوم Ammonium phosphate ، سوبر الفوسفات الأحادى والثلاثى Superphosphate, single and triple ، كبريتات الأمونيوم Ammonium sulphate ، كبريتات البوتاسيوم والماغنسيوم Sulphate of potash and magnesia.

كبريتات البوتاسيوم والماغنسيوم Sulphate of potash and magnesia يمكن أن تخلط مع كربونات الكالسيوم Calcium carbonate (Lime) ، صخر الفوسفات Rock

phosphate (Powdered) ، خبث المعادن Basic slag ، فوسفات الأمونيوم Ammonium phosphate ، سوبر الفوسفات الأحادى والثلاثى Superphosphate, single and triple ، كبريتات الأمونيوم Ammonium sulphate.

كبريتات الأمونيوم Ammonium sulphate يمكن أن تخلط مع فوسفات الأمونيوم Ammonium phosphate ، سوبر الفوسفات الأحادى والثلاثى Superphosphate, single and triple ، نترات الكالسيوم والأمونيوم Calcium ammonium nitrate.

نترات الكالسيوم والأمونيوم Calcium ammonium nitrate يمكن أن تخلط مع كربونات الكالسيوم Calcium carbonate (Lime) ، صخر الفوسفات Rock phosphate (Powdered) ، كبريتات الأمونيوم Ammonium sulphate.

سوبر الفوسفات الأحادى والثلاثى Superphosphate, single and triple يمكن أن يخلط مع فوسفات الأمونيوم Ammonium phosphate.

ثانياً: أسمدة لا يتم خلطها إلاَ قبل الإستخدام بفترة قصيرة وتشمل:

سماد اليوريا Urea مع كل الأسمدة السابق ذكرها.

نترات الكالسيوم والأمونيوم Calcium ammonium nitrate مع كلوريد البوتاسيوم Potassium chloride ، كبريتات البوتاسيوم Potassium sulphate ، فوسفات الأمونيوم Ammonium phosphate ، سوبر الفوسفات الأحادى والثلاثى Superphosphate, single and triple ، كبريتات البوتاسيوم والماغنسيوم Sulphate of potash and magnesia.

صخر الفوسفات Rock phosphate (Powdered) مع كبريتات الأمونيوم Ammonium sulphate.

ثالثاً: أسمدة لا يمكن خلطها لأسباب كيميائية وتشمل:

كبريتات الأمونيوم Ammonium sulphate مع كربونات الكالسيوم Calcium carbonate (Lime) ، خبث المعادن Basic slag.

فوسفات الأمونيوم Ammonium phosphate مع صخر الفوسفات Rock phosphate (Powdered) ، خبث المعادن Basic slag ، كربونات الكالسيوم Calcium carbonate (Lime).

سوبر الفوسفات الأحادى والثلاثى Superphosphate, single and triple مع صخر الفوسفات Rock phosphate (Powdered) ، خبث المعادن Basic slag ، كربونات الكالسيوم Calcium carbonate (Lime).

خبث المعادن Basic slag مع نترات الكالسيوم والأمونيوم Calcium ammonium nitrate.

والجدول التالى يعتبر دليلاً لخلط الأسمدة عند عمل محلول مغذى

السماد	كبريتات أمونيوم	نترات الجير	نترات أمونيوم	نترات بوتاسيوم	كبريتات بوتاسيوم	كبريتات ماغنسيوم	حمض فوسفوريك
كبريتات أمونيوم		لا	نعم	نعم	نعم	نعم	نعم
نترات الجير	لا		نعم	نعم	نعم	لا	لا
نترات أمونيوم	نعم	نعم		نعم	نعم	نعم	نعم
نترات بوتاسيوم		نعم	نعم		نعم	نعم	نعم
كبريتات	نعم	لا	نعم	نعم		نعم	نعم
بوتاسيوم							
كبريتات ماغنسيوم	نعم	لا	نعم	نعم	نعم		لا
فوسفات أمونيوم	نعم	لا	نعم	نعم	نعم	لا	نعم
حمض فوسفوريك	نعم	لا	نعم	نعم	نعم	لا	

الفصل التاسع

أمثلة لتغذية النباتات فى المزارع اللاأرضية

أولاً: مزارع المحاليل المغذيه
Nutrient Solution Cultures

ثانياً: مزارع البيئات الصلبة
Solid Aggregates Cultures

ثالثاً: الزراعة فى بيئات الألياف
Fibers Cultures

الفصل التاسع

أمثلة لتغذية النباتات فى المزارع اللاأرضية

أولاً: مزارع المحاليل المغذيه
Nutrient Solution Cultures
(Real Hydroponics)

مزارع المحاليل المغذية Nutrient Solution Cultures هى أحد أقسام الزراعة اللاأرضية أو الزراعة بدون تربة Soilless Cultrure ، وهذه المزارع تشمل كل أنواع المزارع التى تنمو فيها النباتات فى المحلول المغذى كبيئة أساسية للنمو، ولذلك فهى وحدها – دون سواها – هى التى يطلق عليها مزارع الهيدروبنكس Hydroponics .

وكما أشرنا سابقاً فإن مزارع المحاليل بصورتها الأولية قد ساهمت بشكل ملموس فى تطورعلم تغذية النبات حيث مكنت من معرفة أهمية العناصر الغذائية الواحد منها تلو الآخر، حتى تم حصر عناصر التغذية الأساسية والتى بها تتم تغذية النبات فى التربة أو بعيداً عنها، كما تم بها أيضاً تسجيل الأعراض والظواهر المرضية المصاحبة لنقص أو زيادة تركيز هذه العناصر.

ومن الناحية التطبيقية أمكن استخدام أنظمة الزراعة فى المحاليل المغذية فى الزراعة وإنتاج المحاصيل على نطاق تجارى. فمنذ التجارب التى قام بها Gericke سنة 1929 و Imai سنة 1986 على مزارع المحاليل الساكنة Static Nutrient Solution ومرورا" بـ Cooper سنة 1979 والزراعة فى أغشية المحاليل Nutrient Film Technique حتى Dreschel وآخرون سنة 1989 والزراعة فى الأنابيب المثقبة Porous Tube لحساب وكالة الفضاء الأمريكية NASA ، حيث تجارب الزراعة فى الفضاء Space Agriculture. والنتائج المتحصل عليها فى كل الأحوال مشجعة ومذهلة مما جعل أنظمة الزراعة فى المحاليل المغذية تدخل مجال الميكنة وتتباناها الشركات الزراعية وتوليها اهتماماً خاصاً للوصول بها إلى درجة من الانتشار والتطبيق حول العالم.

وتنمو النباتات بشكل جيد فى مزارع المحاليل المغذية طالما ظل المحلول المغذى متزناً، وتهويته جيدة والنباتات مثبتة بدعامات تتناسب مع حجمها وكمية المحصول الموجود

عليها . ومن هذه الأساسيات تطورت طرق التغذية بالمحاليل فى أنظمة جديدة ومبتكرة تستخدم تجارياً بالإضافة إلى تحقيق رغبات الهواة.

ومن أمثلة مزارع المحاليل المغذية:

1- مزارع المحاليل المغذية الساكنة(Static Nutrient Solution Cultures (SNSC

2- مزارع المحاليل المغذية المتدفقة Flow Nutrient Solution Cultures (FNSC)

3- مزارع الأغشية المغذية Nutrient Film Technique (NFT)

4- المزارع الهوائيه Aeroponic Cultures

5 – مزارع سمكية نباتية (الأكوابونيك) Aquaponic Cultures

1- مزارع المحاليل الغذائية الساكنة
Static Nutrient Solution Cultures (SNSC)

مزارع المحاليل المغذية الساكنة يمكن أن تستخدم فى أى مكان وبأى أدوات لحفظ المحاليل. وتتطلب مزارع المحاليل الساكنة (تمييزا" لها عن مزارع المحلول الدائر) ما يلى:

الأوعيه:

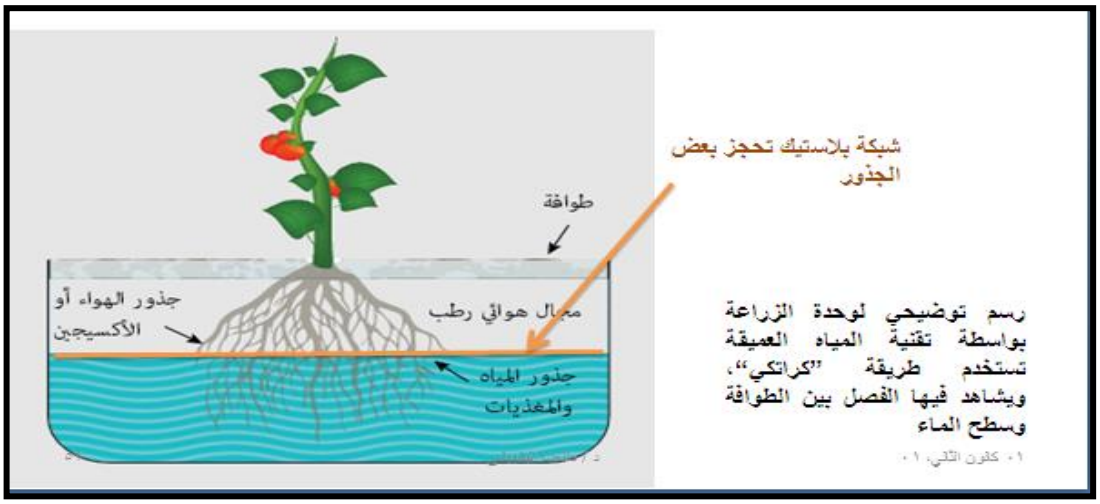
عادة تستخدم أحواض مستطيلة ذات سعات تتراوح ما بين 100-200 لتر من المحلول، وغالبا يتراوح عمق الحوض ما بين 20-30 سم، وعرضه من 60-80 سم، و طوله من 150-200 سم. ويراعى عند إضافة المحلول إلى الحوض أن لا يزيد ارتفاع المحلول عن نصف ارتفاع الحوض. ويوجد العديد من المواد التى يمكن أن تستخدم فى صناعة الأحواض، حيث يمكن استخدام أحواض من الخشب أو الأسمنت أو الحديد أو الصلب أو أى مادة معدنية أخرى غير مجلفنة (حيث يدخل عنصر الزنك فى عملية الجلفنه والذى قد يسبب سمية للنباتات إذا زاد تركيزه عن حد معين) أو يمكن استخدام أحواض من البلاستيك. وفى جميع الأحوال فإن المادة المصنوع منها الحوض يجب أن تكون غير شفافة حتى لا ينفذ الضوء إلى المحلول، فيؤدى إلى نمو الفطريات. ويراعى أن يزود الحوض بفتحة جانبية للصرف قرب قاعدته لتسهيل تفريغ الحوض عند الحاجة إلى ذلك. ويتم طلاء الحوض من الداخل بطبقة رقيقة من البيتومين (الأسفلت) لتمنع رشح المحلول إلى الخارج إذا كان الحوض مساميا" ، وأيضا" لمنع تفاعل المادة المصنوع منها الحوض مع المحلول المغذى.

زراعة النباتات:

يوضع فوق حوض الزراعة صينية لها قاع عبارة عن شبكة من السلك وتكون أبعاد الصينية مقاربة لأبعاد الحوض فى العرض مما يسمح بارتكازها وثباتها على حافة الحوض، ويكون طولها فى نفس الوقت أقل قليلاً من طول الحوض بحوالى 10سم بما يسمح بقياس ارتفاع المحلول المغذى داخل الحوض وضبط رقم الحموضة وتعويض النقص من العناصر كل فترة. وغالباً ما يتراوح إرتفاع الصينية ما بين 10–20 سم. يتم ملء الصينية بأى مادة عضوية مثل: القش أو البيت موس أو نشارة الخشب أو ما يشابهها وتعمل هذه الطبقة من المواد العضوية كدعامة للبادرات التى يتم زراعتها وتقلل من فقد المحلول بالبخر، هذا بالإضافة إلى أن هذه الطبقة توفر الإظلام اللازم للمحلول والذى يمنع نمو الفطريات.

والنباتات فى مزارع المحاليل المغذيه كانت تزرع بذورها فى أول الأمرفى مهد مناسب أو مشتل بعيداً عن أحواض الزراعة، ثم تنقل البادرات إلى المحلول، ثم تطور الأمر وأصبح يتم إنبات البذورفى طاولات مثقبة غير عميقة أبعادها تتناسب مع أبعاد أحواض الزراعة، وفى هذه الطاولات توضع بيئة النمو مثل: البيت موس Peat moss أو نشارة الخشب Sawdust ، وتزرع بها البذور وتنمو من خلالها مباشرة إلى أحواض الزراعة المحتوية على المحلول المغذى، وحالياً أصبح إنبات البذور يتم فى مواد خاملة من مكعبات إنبات الصوف الصخرى أوالصوف الزجاجى كوسيلة جديدة تساعد على إعطاء بادرات قوية ومتجانسة قبل نقلها إلى أحواض الزراعة وتغذيتها بالمحلول المغذى، وذلك بعد تثبيتها فى فتحات مناسبة فى غطاء الحوض.

وفى حالة الزراعة المباشرة بالصوانى الموضوعة فوق أحواض المحاليل المغذية، تزرع بذور النباتات فى البيئة، وترطب بالماء حتى خروج البادرات التى ينتشر بعضاً من جذورها الأولية فى البيئة (جذور تثبيت أولية)، ثم تتدلى باقى جذورها من خ+لال شبكة السلك مارة بحيز الهواء الذى تنتشر فيه بعض الجذور (جذور التهوية Air roots) حتى تصل إلى المحلول المغذى (جذور التغذية أو Solution roots)، بينما تمتد سوقها وما عليها من أوراق إلى أعلى، وهذا النموذج للزراعة فى المحاليل تماما" لما وصفه Gericke سنة 1929 (شكل 9–1).



شكل (9–1): نماذج لمزرعة محاليل مغذية ساكنة كما استخدمها Gericke

وقد تحتاج النباتات إلى تثبيتها بدعامات أو بخيوط من الدوبار أو البلاستيك تتدلى من سقف الصوبة أو من حامل أفقى مرتفع مواز لصفوف النباتات فى أحواض الزراعة.

حجم المحلول وطرق توفير الأكسيجين به:

عادة ما يكون حجم المحلول المغذى فى حدود من 15–20 لتراً للنبات الواحد فى حالة الطماطم مثلا" إلا أن ذلك الحجم قد يقل أويزيد قليلا فى محاصيل أخرى. وكلما كان حجم المحلول كافيا" كلما قلل ذلك من حدوث أى تغييرات سريعة فى تركيزات العناصر بالمحلول وبالتالى تجنب إجراء عملية ضبط المحلول، على فترات متقاربة.

ونظراً لأن هذا المحلول يظل ساكناً طول الوقت فإن محتواه من الأكسيجين الذائب يقل مع تقدم نمو النبات الأمر الذى ينعكس على كفاءة الجذور فى عملية امتصاص المحلول المغذى، وهذا بدوره يؤدى إلى ضعف النمو، ولذلك فمن الأهمية بمكان أن يتم عمل تهوية للمحلول المغذى. ويمكن تنفيذ عملية التهوية بثلاث طرق:

الطريقة الأولى: توصيل أحواض الزراعة بمضخات تدفع الهواء الذى يحتوى على الأكسيجين الى المحلول، وهذا المضخات مثل تلك التى تستخدم فى أحواض تربية أسماك الزينة. وفى حالة الزراعة على مساحات كبيرة يمكن استخدام الطريقة الأوتوماتيكية فى توصيل المحلول إلى أحواض الزراعة وذلك بأن يكون المحلول فى تنك كبير يوضع أعلى أحواض الزراعة بحوالى 1متر، ومنه تخرج ماسورة أوخرطوم التوزيع الذى يتصل بأحواض الزراعة عند سطح المحلول بكل منها عن طريق صمام وعوامه تتيح تدفق المحلول عند استنزاف أى قدر منه، وتحافظ على

ثبات سطح المحلول فى الحوض باستمرار. وفى هذا التنك يتم وضع المضخة الهوائية التى توفر الأكسيجين به ومنه يصل إلى أحواض الزراعة.

الطريقة الثانية: ترك مسافة كافية بين سطح المحلول والسطح السفلى لصوانى الزراعة بما لايقل عن 5–7 سم، حيث تستطيع جذور النباتات النامية فى هذا الحيز من امتصاص الأكسيجين.

الطريقة الثالثة: عند تثبيت النباتات فى فتحات أغطية أحواض الزراعة توضع شبكة من البلاستيك مساحة ثقوبها حوالى 0.25 سم2 بين الغطاء وسطح المحلول بحيث تكون المسافة بينه وبين سطح المحلول من 1–5 سم، وبينه وبين الغطاء حوالى 10سم مما يتيح الفرصة لأكبر حجم من الجذور بأن تنتشر فى هذا الحيز الهوائى أعلى شبكة البلاستيك للتبادل الغازى مع الأكسيجين الموجود به. وتعد هذه أفضل الطرق لما تحققه من كفاءة عالية وبطريقة طبيعية لا تحتاج إلى مضخات هوائية أو مصدر تغذية كهربائية.

نماذج تطبيقية لمزرعة محاليل ساكنة لنبات الخس يستخدم فيها الفوم كحامل للنباتات ويطفو مباشرة على سطح المحلول

2- مزارع المحاليل المغذية المتدفقة
Flow Nutrient Solution Culture (FNSC)

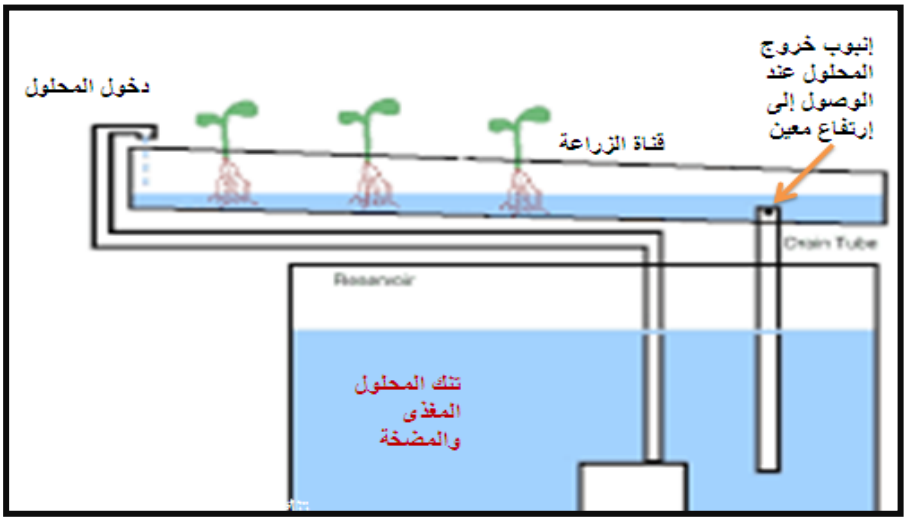
وفى هذا النظام يتم الاستعانة بمضخة مائية تعمل على تدفق ودوران المحلول المغذى فى القنوات والأوعية الحاوية له بارتفاع لا يغطى ولا يغمر كل المجموع الجذرى للنبات ، وهذا الارتفاع تستطيع القنوات أن تحتفظ به عند توقف ضخ المحلول.

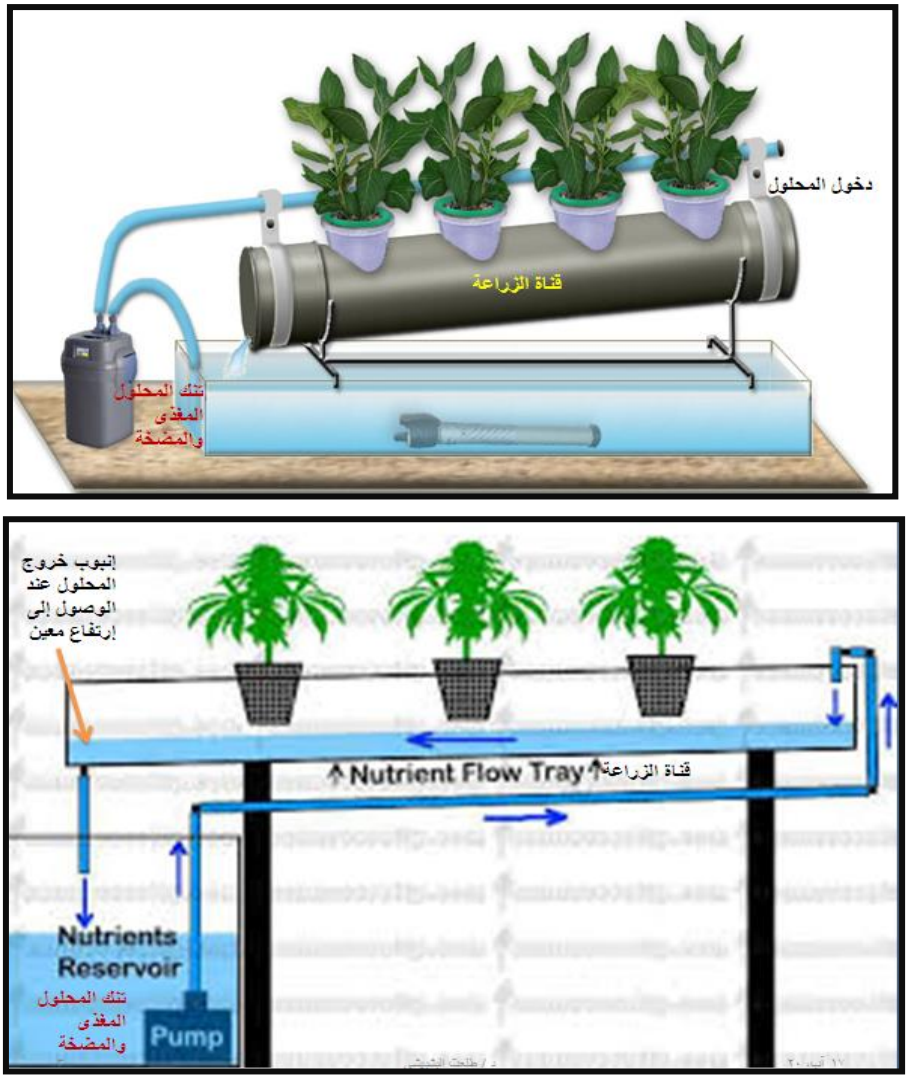
تنقل شتلات النباتات (فلفل – طماطم – خيار – خس – فراولة ..إلخ) إلى مكعبات من صوف الخبث Slagwool، أو الصوف الصخرى Rockwool بأحجام متوافقة تماماً مع فتحات البادرات الموجودة على سطح أغطية أحواض وقنوات الزراعة. وفى حالة عدم وجود صوف الخبث أو الصوف الصخرى فإنه يتم نقل الشتلات فى أكواب مثقبة قطرها 2-3 بوصة (5-7.5 سم) وارتفاعها 5 سم تحتوى على مادة البيت موث Peat moss، أو توليفة من الطين والرمل بنسبة 1:3 أو نشارة الخشب. ترص شتلات النباتات على طاولات من البلاستيك أو الصاج المجلفن، وتروى بالماء أو المحلول المغذى المخفف بواسطة الرش على أن يظل الماء أو المحلول بهذه الطاولات بارتفاع 0.5 سم حتى لا تموت جذور النباتات التى تخرج من بيئة النمو.

بعد ظهور جذور النباتات بشكل جيد تنقل مكعبات أو أكواب النمو وما بها من بادرات إلى أحواض وقنوات الزراعة.

يتم تجهيز قنوات الزراعة بعمل أحواض من الأسمنت أو البلاستيك أو الخشب مستوية القاعدة طولها حوالى 10 قدم (3 متر) وبعرض من 25–30 بوصة (60–75 سم) وارتفاع 10–12 بوصة (25–30 سم) على ألا يزيد ارتفاع المحلول بها عن 6–8 بوصة (15–20 سم) عن طريق عمل فتحة فى نهاية حائط الحوض عند هذا الارتفاع مثبت بها أنبوبة من البلاستيك تنقل المحلول الزائد Over flow إلى حوض آخر، أو إلى تنك التجميع والتغذية ليظل الفراغ بين سطح المحلول وغطاء هذه الأحواض فى حدود 4 بوصة (10 سم) مما يمكن أن نطلق على هذا النظام "نظام المحاليل المتدفقة ذات الحجم الثابت" كما هو موضح فى شكل (9–2).

تغطى أحواض الزراعة بأغطية من الخشب أو البلاستيك أو الفوم Foam وبها فتحات البادرات على مسافات مناسبة لزراعة المحصول. يضخ المحلول من مقدمة الحوض وعند امتلائه حتى الحد المحدد لارتفاع المحلول ينتقل إلى الأحواض التالية له فى الأنظمة متعددة الوحدات، ثم يعود إلى تنك التغذية ليتم ضخه مرة أخرى، وبعد التأكد من سلامة التجهيزات يتم نقل البادرات إلى مواضعها فى أغطية الأحواض.





شكل (9–2): نماذج الفكرة فى عمل أنابيب الزراعة بنظام المحاليل المتدفقة ذات الحجم الثابت

وفى هذا النظام أيضاً يمكن استخدام المواسير البلاستيك كأنابيب للزراعة والموجودة بأقطار مختلفة تتراوح من 4–6 بوصة (10–15 سم) كأوعية للمحاليل، ويتم عمل فتحات بأقطار تتوافق تماماً مع قطر مكعبات وأكواب النمو على أن تكون هذه الفتحات فى صف واحد وعلى مسافات مناسبة لزراعة المحصول، وتتسع كل فتحة لبادرة واحدة (شكل 9–3). يتم ضخ المحلول المغذى من أحد أطراف القنوات ويخرج المحلول الزائد من الطرف الآخر عند الارتفاع المحدد للمحلول والذى غالباً لا يتجاوز ثلث ارتفاع قناة الزراعة. يتم تجميع المحلول وإعادته إلى تنك التغذية ليعاد ضخه من جديد .

شكل (9-3): نماذج تطبيقية من مزارع المحاليل المتدفقة في منطقة لا تصلح للزراعة

وتتميز طريقة المحاليل المغذية المتدفقة FNSC بما يلى:

1- لا يحدث نقص فى احتياجات النباتات من الأكسيجين حيث يعمل تدفق المحلول ودورانه على تجديد النقص منه باستمرار.

2- فى حالة انقطاع التيار الكهربى المستخدم فى تشغيل المضخة فإنه لا يحدث أى ضرر للنباتات النامية لمدة يوم أو أكثر حسب عمر النباتات وذلك لاحتفاظ قنوات الزراعة بقدر من المحلول يفى لهذا الغرض.

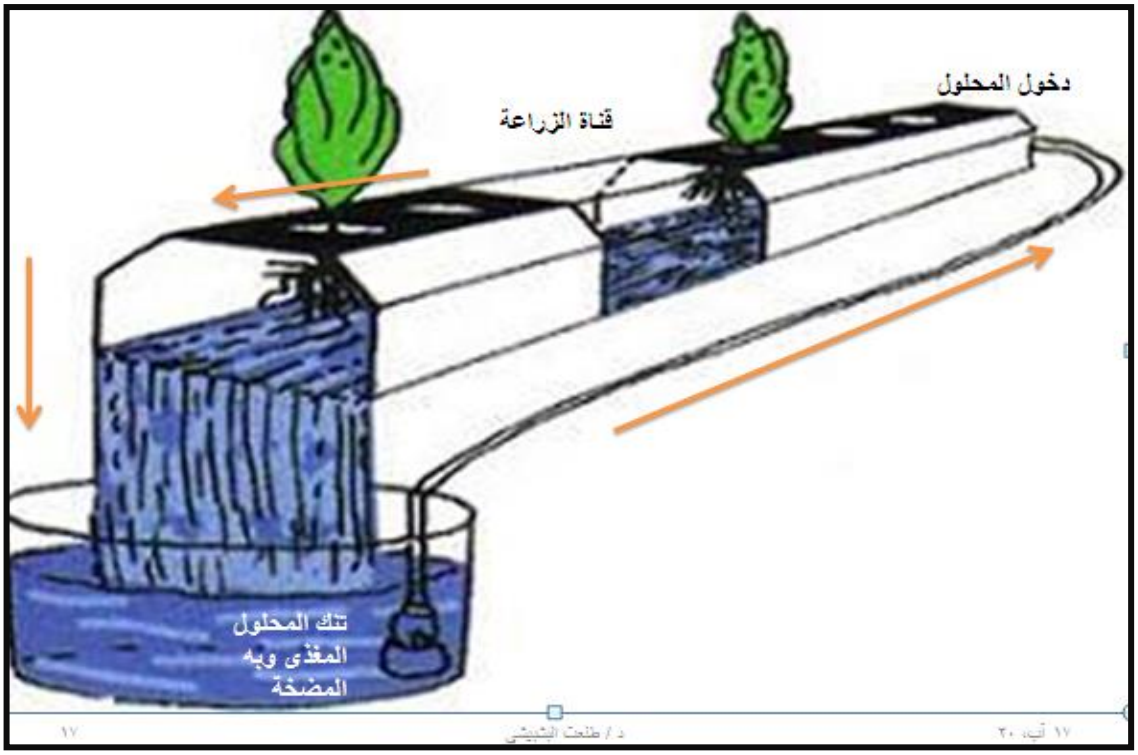
3- ضخ المحلول ودورانه فى هذا النظام فيه مرونة كبيرة، حيث يمكن ضخ المحلول أثناء النهار فقط أو لمدد محدودة متقطعة خلال النهار Intermittent Flow.

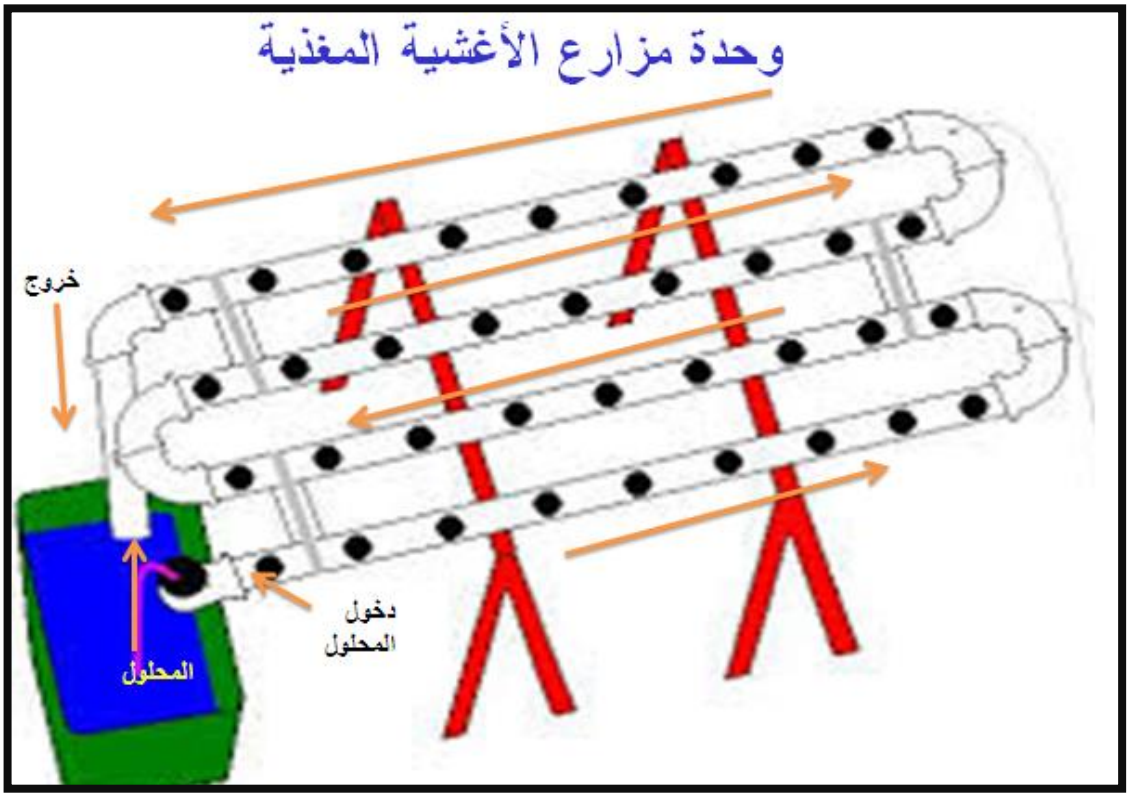
وفى وجود تيار شبه منتظم من الكهرباء يمكن تقليل حجم المحلول المغذى المتدفق بحيث لا يتجاوز 2-3 سم، وفى هذه الحالة يتم وضع البادرات النامية فى مادة النمو من الصوف الصخرى أو صوف الخبث على قاعدة أحواض ومواسير الزراعة مباشرة، كما يمكن أيضاً ضخ المحلول على فترات متقطعة بمعدل ربع ساعة كل ساعة أثناء النهار، والتوقف التام فى النصف الأخير من الليل دون أى تأثير على النمو. والنظام فى هذه الصورة يقع بين نظام المحاليل المتدفقة ذات الحجم الثابت السابق بيانه وبين نظام الأغشية المغذية الذى سيأتى شرحه والذى يكون فيه ارتفاع المحلول لا يزيد عن بضعة ملليمترات.

والزراعة فى الأنابيب أو المواسير البلاستيك تتميز بسهولة الإعداد والتجهيز وتساعد على التكثيف الزراعى داخل الصوبة أو خارجها مما يعنى إستغلالاً أمثل ومحصولاً أوفر من المساحات المتاحة.

3- مزارع الأغشية المغذية Nutrient Film Technique (NFT)

إحدى طرق الزراعة بالمحاليل المغذية الحديثة والمبتكرة عن طريق Allen Cooper فى إنجلترا خلال السبعينيات بهدف التغلب على مشكلتى الحاجة إلى دعامات للنباتات والتهوية والتى تنشأ عند استخدام المحاليل المغذية الساكنة. وتنمو النباتات فى قنوات Channels or Gullies تأخذ شكلاً منحدراً يسمح بتدفق المحلول المغذى على هيئة غشاء رقيق Film بها، وهذا الغشاء الرقيق من المحلول يمد النباتات بكل ما تحتاج إليه من العناصر المغذية (شكل 9-4).





شكل (9-4): الشكل العام لقناة الزراعة والتغذية بنظام الأغشية المغذية

ومنذ المراحل الأولى لنمو النبات يظهر مجموع جذرى قوى مكوناً شبكة متداخلة أو حصيرة من الجذور Root mat الأمر الذى يعد دعامة جيده فى مراحل النمو الأولى هذا من جهة، ومن

جهة أخرى فإن مرور المحلول المغذى فى شكل غشاء **لا** يغمر كل هذا الحجم من الجذور بل يلامس السطح السفلى لها فقط ويكون السطح العلوى مندى دائماً بالماء، حيث يقوم بدور التهوية مما يمكن القول معه بأن الجزء السفلى من الجذور يعتبر جذوراً للتغذيه Feeding roots والجزء العلوى جذوراً للتهوية Aeration roots.

الشروط الواجب توافرها فى نظام الأغشيه المغذيه:

هناك بعض الشروط الأساسية التى تحكم نجاح عملية الزراعة بنظام الأغشية المغذية نوجزها فيما يلى:

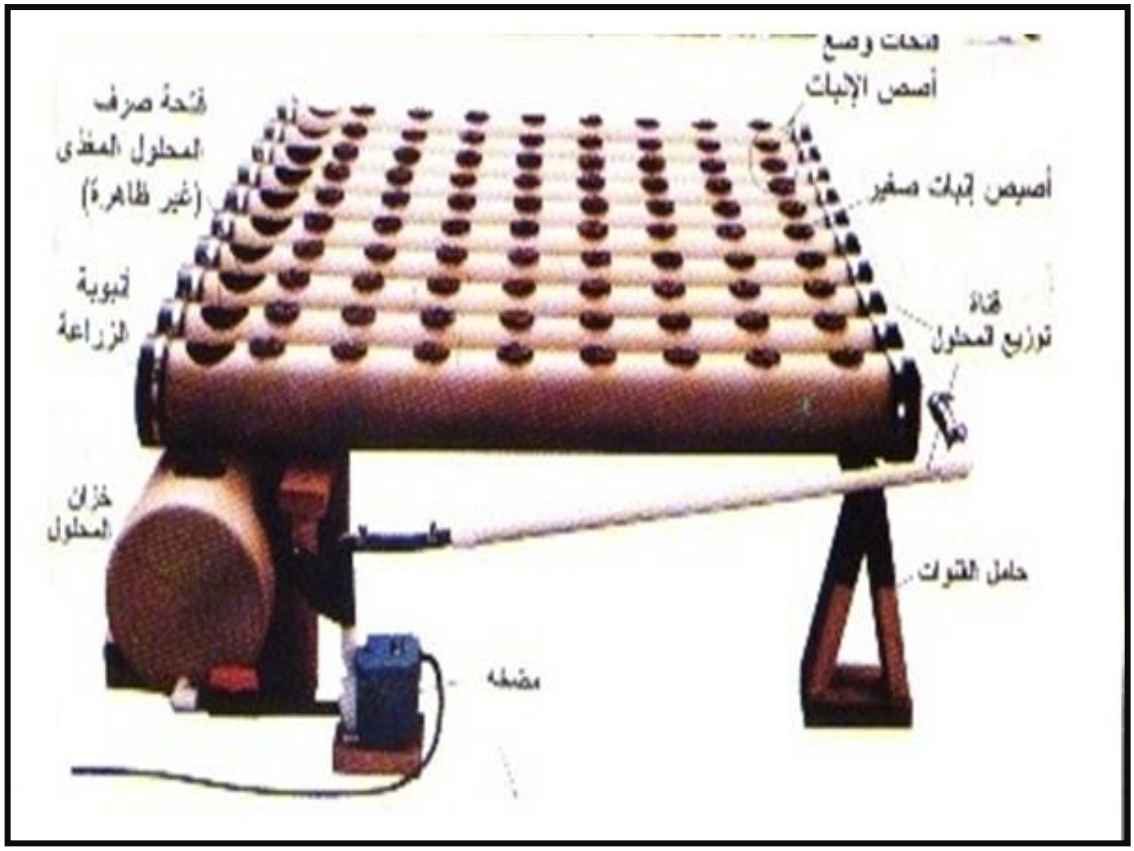
1- يجب أن يكون انحدار القناة منتظماً وبطريقة متجانسة مع عدم وجود أى حفر فى بعض المواقع على طول المجرى (حتى ولو لعدة ملليمترات طولية).

2- ألا يكون دخول المحلول المغذى إلى القناة سريع جداً لدرجة تؤدى إلى تدفق كمية كبيرة من المحلول خلال المنحدر.

3- أن يكون عرض القناة والتى تنمو فيها الجذور كافياً لتجنب أى حجز أو إعاقه لحركة المحلول المغذى بواسطة طبقة الجذور المتكونة، حيث إن هذا العرض إذا لم يكن كافياً فإنه يؤدى إلى نقص كبير فى المحصول.

4- يجب أن تكون قاعدة القناة مستوية وليست مقعرة، لأن القاعدة المقعرة تجعل عمق المحلول فى منتصف القناة كبيراً.

لذلك فإنه لتنفيذ نظام الأغشية المغذية يلزم وجود سطح ناعم ذو ميل أو انحدار مناسب ويوضع على هذا السطح مجموعه من القنوات تنمى فيها النباتات متجاورة مع بعضها فى صفوف وعند الحافة المرتفعة للسطح المائل توضع القناة الرئيسية التى يمر فيها المحلول المغذى، ويخرج من هذه القناة مجموعة من أنابيب التوزيع، تصب كل منها فى إحدى القنوات النامى فيها النباتات، حيث يتحرك المحلول المغذى بالانحدار حتى يصل إلى قناة تجميع عند الحافه المنخفضة للسطح المائل. وقناة التجميع هذه تصب فى النهاية فى خزان لجمع المحلول المغذى والذى يتم ضخه مرة أخرى ليعاد توزيعه على قنوات نمو النباتات وهكذا كما هو موضح فى شكل (9-5).



شكل (9-5): التصميم العام لمزرعة الأغشية المغذية NFT

وعموماً فإن السطح المائل هذا إما أن يكون قطعة من الأرض تمت تسويتها وإعطاؤها الانحدار المناسب، وفى هذه الحالة فإن قناة التجميع تكون عبارة عن خندق موجود عند نهاية الجزء المنخفض من الأرض والذى يصب فى حوض أو ترانش Transh مجهز فى التربة، ومنه يتم ضخ المحلول مرة أخرى إلى قنوات التوزيع فى قمة الجزء المرتفع. أو أن يتم وضع قنوات الزراعة على بنشات أو حوامل على أرض خراسانية تحقق شروط الميل وانسياب وتدفق المحلول وفى كل الأحوال، فإن قناة التوزيع تكون فى الجانب المرتفع وقناة التجميع وخزان المحلول فى الجانب المنخفض.

قنـوات الزراعه:

كما سبق الإشارة فإن أهم النقاط الواجب مراعاتها عند تنفيذ نظام الأغشية المغذية هو عمل سطح مائل متماثل الإنحدار بدون أى حفر أو انخفاضات، لأن ذلك يحدد بدرجة كبيرة نوع القنوات التى يمكن استخدامها. فالأرض العاديه حتى ولو كانت مدكوكة جيداً فإنها لا توفر

السطح المناسب لحمل القنوات، حيث إن تعرضها للمياه يؤدى بعد فترة إلى تعرج سطح الأرض. وللتغلب على هذه المشكله فإنه يوجد بديلين:

البديل الأول: هو تغطية مساحة سطح الأرض كاملاً بواسطة طبقه من الخرسانة (أو على الأقل صب الخرسانة على هيئة شرائط طولية فى المواقع التى سوف توضع عليها القنوات) وفى هذه الحالة يمكن أن يستخدم أى نوع من القنوات المصنوعة من مادة نصف صلبة رخيصة الثمن.

البديل الثانى: هو استخدام قنوات ذات قاع من مادة صلبة وبالتالى يمكن وضعها على أى سطح تم تسويته بطريقة تقريبية حيث إن قاعدة القناة الصلبة سوف تقاوم أية تجاعيد قد تكون موجودة على سطح الأرض.

ومن هنا تأتى أهمية الإهتمام بتجهيز قنوات الزراعة ليتحقق شرط التغذية بغشاء رقيق من المحلول المغذى وشرط التهويه الجيدة.

واستخدام المواسير البلاستيك فى نظام الأغشية المغذية أعطى نتائج طيبة بشرط أن يكون سمك الغشاء المغذى لا يزيد عن بضعة ملليمترات فى كل الأحوال، وفى هذه الحالة توضع القنوات بميل مناسب يساعد على سرعة انسياب المحلول وعدم ارتفاعه فوق سطح الجذور نتيجة تقعر سطح المواسير. كما أنه يمكن استخدام الأحواض المصنعة من البلاستيك لهذا الغرض وفى حالة عدم تواجد أحواض مناسبة من البلاستيك يتم تصنيع الأحواض من الخشب وتبطينها بشرائح من البلاستيك أو طلائها بالبيتومين (شكل 9–6). وهذه الوسائل سهلة الإعداد والتجهيز، من شأنها زيادة الطلب على استخدام طريقة الأغشية المغذية.

ومن الضرورى فى نظام الأغشية المغذية أن نتأكد من أن سمك غشاء المحلول المغذى لا يزيد فى أقصى حالاته عن بضعة ملليمترات، وبذلك يكون معظم جذور النبات النامى فى القناة فوق سطح المحلول.

وبالرغم من أن تصميم مزارع الأغشية المغذية مبنى على الدوران المستمر للمحلول المغذى بمعدل التدفق السابق الإشارة إليه ، إلا أن الدراسات حول إمكانية أن يكون تدفق المحلول على فترات متقاربة أثناء النهار و متباعدة أثناء الليل أخذ أهمية خاصة لما ينطوى عليه من توفير للطاقة الكهربائية اللازمة لهذه العملية. والدراسات على هذا الموضوع لم تأت بامكانية حدوث ذلك فقط بل إن Charbonneau وآخرون سنة 1988 أشاروا إلى أن ضخ المحلول على فترات Intermittent متعاقبة بمعدل 15 دقيقة فى الساعة (15 دقيقة تدفق للمحلول يعقبها توقف التدفق لمدة 45 دقيقة) لا يحدث ضررا" للنباتات النامية بل أكثر من ذلك يؤدى إلى زيادة فى المحصول قدرها 19%.

شكل (9-6): نماذج لقنوات مختلفة للاستخدام فى الزراعة بنظام الأغشية المغذية

طرق تدعيم النباتات فى القناة:

عند استخدام قنوات مرتفعة الأجناب قد نواجه مشكلة عندما يكون هذا الارتفاع أكبر من طول البادرة أسفل الورقة الأولى. وسبب المشكلة يرجع إلى أنه لكى تكون الورقة الأولى فى الضوء فإن طول الجذر يكون أقصر من أن يصل إلى الغشاء المغذى الموجود فى قاع القناة. ويمكن التغلب على ذلك إذا نميت البادرات فى مكعب صغير من مادة تمتص المحلول، وبالتالى فإنه عند وضع هذا المكعب فى القناة فإنه يزيد من ارتفاع سيقان البادرات وظهور أوراقها فى الضوء أعلى قمة القناة فى الوقت الذى يوفر فيه المكعب الماص المحلول المغذى لتغذية جذور البادرات التى بداخله والتى تضمن استمرار نموه. وبنمو النبات فإن الجذور تصل إلى المحلول فى قاع القناه وتنعدم أهمية مكعبات الإنبات والتى ينحصر دورها فى المراحل الأولى للنمو فقط. ويوجد العديد من المواد المناسبة لعمل مثل هذه المكعبات الماصة للمحلول منها الصوف الصخرى Rockwool والبيت موس Peat moss والفيرميكيوليت Vermiculit وخليط من الفيرميكيوليت والبيت موس.

ويمكن أيضاً فى حالة قنوات البوليثين (وفى المراحل الأولى للنمو) خفض سلك التدعيم السفلى والذى يثبت عليه جانبى البوليثين محدداً قمة الشكل الهرمى للقناة مما يقلل من ارتفاع قمة القناة فيساعد ذلك على أن تظهر قمة النباتات أعلى قمة القناة وجذورها ملامسة للمحلول على قاعدتها.

حدود السمية والنقص لتركيزات العناصر المغذية فى محاليل الأغشية المغذية:

تتحمل النباتات النامية فى مزارع الأغشية المغذيه مدى واسع من تركيزات العناصر المغذية المختلفة دون أن يؤثر ذلك على نموها بشكل كبير. ويرجع ذلك إلى تدفق المحلول المغذى باستمرار على شكل غشاء رقيق وعدم وجود بيئة صلبة تنمو فيها الجذور، والتى قد تؤثر على صلاحية العناصر للتغذية. ولذلك فحدود السمية والنقص فى هذا النوع من المزارع يختلف عنه فى حالة المحاليل الساكنة أو الأرض العادية.

ولقد بينت التجارب أن اختلاف تركيز النيتروجين فى المحلول المغذى الدائر ما بين 10–320 جزء فى المليون (لفترات ليست طويلة) كان ذا أثر قليل على محصول نباتات الطماطم أو كمية النيتروجين الممتص بواسطة النبات. ونفس الحال بالنسبة لتغير تركيز الفوسفور ما بين 5–200 جزء فى المليون أو البوتاسيوم فيما بين تركيزات 20–375 جزء فى المليون. وبالرغم من ذلك لا ينصح باستخدام تركيزات منخفضة من المغذيات المختلفة، لأن استخدام التركيز المرتفع نسبياً من العنصر يوفر احتياطى منه فى المحلول فلا ينخفض تركيزه

بسرعة نتيجة لإمتصاصه بواسطة النبات، وبالتالى تقل الحاجة إلى إعادة ضبط تركيز المحلول على فترات متقاربة.

دوران المحلول المغذى وضبطه واستبداله:

يتم ضخ المحلول المغذى من الأوعية المحتوية عليه إلى ماسورة التوزيع ومنها ينساب المحلول إلى قنوات نمو النباتات حيث يصل إلى ماسورة التجميع فخزان المحلول ومن هذا الخزان يعاد ضخه بواسطة مضخات مائية مرة أخرى إلى القناة وهكذا. أى أن المحلول فى حالة دوران مستمر ولذلك يجب العمل على استمرار هذا الدوران وإزالة أى عطل يوقف من استمراره.

ومن الجدير بالذكر أن توقف دوران المحلول لفترة زمنية يضر بنمو النباتات النامية فى هذه القنوات، ولو أن النبات يمكنه تحمل توقف دوران المحلول لفترة زمنية بسيطة نظراً لوجود بعض من المحلول محتجزاً فى حصيرة الجذور. والفترة الزمنية التى يتحمل فبها النبات توقف دوران المحلول تختلف من نبات إلى آخر، وذلك حسب نوع النبات ومرحلة نموه وكذلك حسب العوامل المناخية السائدة. وعادة ما تتراوح هذه الفترة ما بين ساعة واحدة و 48 ساعة.

وكما سبق ذكره فإن إمتصاص النبات للعناصر باستمرار من المحلول يؤدى إلى تغير pH المحلول وتركيز العناصر به، ولذلك يجب ضبط pH المحلول باستمرار فى حدود 6-6.5 درجة باستخدام حامض النيتريك 10% أو حامض الفوسفوريك 10% (فى حالة ما إذا أريد تعويض بعض النقص فى عنصر النيتروجين أو الفوسفور على الترتيب).

أما بالنسبة لتركيز العناصر فإنه يتم قياس درجة التوصيل الكهربى للمحلول المغذى على فترات، وعند ملاحظة انخفاض التوصيل الكهربى للمحلول الدائر إلى 2 ملليموز/ سم فإنه باستخدام محلول Cooper يمكن إضافة حجم قدره 1.5 لتر من محلول (A) و 1.5 لتر من محلول (B) المركزين إلى كل 1000 لتر من المحلول الدائر لرفع التوصيل الكهربى إلى قيمته الأصليه فى حدود 3 ملليموز/ سم. وفى حالة تحضير المحاليل المغذية من الأسمدة التجارية يتم حساب الكمية المطلوب إضافتها إلى المحلول كما سبق شرحه فى الفصل التاسع.

بالإضافة إلى ما سبق فإن النبات يمتص كميات كبيرة من الماء من المحلول المغذى حيث تفقد عن طريق النتح وهذا الماء المفقود يتم تعويضه عن طريق إضافة الماء إلى المحلول المغذى الدائر، ويمكن أن يتم ذلك يدوياً أو أوتوماتيكياً بتوصيل خزان المحلول بخزان جانبى للماء فى مستوى أعلى منه عن طريق خرطوم من البلاستيك مثبت قرب قاع خزان الماء، وعند المستوى المراد ثبات المحلول عنده بخزان المحلول. وبتثبيت عوامه عند هذا الارتفاع يتم المحافظة على ثبات ارتفاع حجم المحلول فى خزان المحلول المغذى. ونظراً لأن الماء

المضاف يحتوى على أملاح ذائبة فإن استمرار إضافة الماء إلى المحلول المغذى لتعويض الماء المفقود بالنتح يؤدى إلى تراكم هذه الأملاح فى المحلول وذلك فى حالة ما إذا كان معدل إضافتها إلى المحلول أكثر من معدل امتصاصها بواسطة النبات، ومثال ذلك: أيونات الصوديوم والكلوريد وبالتالى فإنه بمضى الوقت قد يزداد تركيز أحد هذه الأيونات إلى الدرجة التى تسبب سمية بهذا الأيون للنبات النامى. ولهذا السبب ينصح بتغيير المحلول المغذى الدائر على فترات زمنية. والفترة الزمنية التى يتم فيها تغيير المحلول المغذى الدائر يمكن تقديرها عن طريق:

أ- تحليل المحلول المغذى وتقدير تركيزات العناصر فى المحلول معملياً على فترات أسبوعيه وخاصة عناصر N, Cu, Mo, Zn, Na, Cl and SO_4 بو اسطة أحد أجهزة Flame Photometer والـ Spectophotometer ، ومن هذه التقديرات يمكن معرفة أى من هذه الأيونات سوف يزداد تركيزه بمضى الوقت.

ب- ملاحظة نمو النباتات وتدوين الإجابة على بعض الأسئلة التى تعطى مؤشراً على حدوث أى تغير فى طبيعة النمو. مثال ذلك: ملاحظة هل قل معدل النمو؟ وهل تغير اللون الأخضر للأوراق إلى اللون الأخضر المزرق؟ وهل أصبحت الأوراق الجديدة أصغر فى الحجم من المعتاد؟ وهكذا.

ومن تغيرات نمو النبات ومقارنتها بتركيزات العناصر يمكن معرفة الأيون المشتبه فيه والذى أصبح تركيزه عالياً. وعند هذه النقطه يجب تغيير المحلول الدائر كلية وملء النظام بمحلول حديث التحضير. فإذا إفترضنا أن هذه الحالة قد حدثت بعد 11 أسبوعاً من استمرار دوران المحلول، فإنه يعاد تفريغ النظام وإعادة ملئه بالمحلول الجديد، ثم يستمر ملاحظة نمو النبات وتحليل المحلول لمدة 10 أسابيع تالية لمعرفة هل بدأ تأثر النمو مرة أخرى ، فإذا حدث ذلك فعلاً بعد هذه المده كان ذلك مؤشراً على ضرورة تغيير المحلول المغذى كل 10 أسابيع وهكذا.

ولكن يجب أن يراعى أن تغير معدل نمو النبات وتغير الظروف المناخية يؤثر على معدل النتح وبالتالى يؤثر على الفترة الزمنية اللازمة قبل استبدال المحلول.

خطوات الزراعه بطريقة الأغشـية المغذية:

مما سبق بيانه من شرح وتوضيح لأهم النقاط الواجب مراعاتها عند إعداد وتجهيز مزرعة أغشية مغذية فإنه يمكن ايجاز الخطوات التنفيذية لواحدة من هذه المزارع فيما يلى:

1- يتم إنبات البذور فى البيت موس ثم تنقل إلى مكعبات الإنبات المصنعة من الصوف الصخرى أو يتم إنباتها مباشرة فى هذه المكعبات.

2- توضع مكعبات الإنبات على طاولات من البلاستيك وترش بالماء تارة وبالمحلول المغذى المخفف تارة أخرى حتى تخرج جذور البادرات من المكعبات ويراعى أن تظل طاولات البلاستيك محتوية على ماء أو محلول لارتفاع لا يقل عن 1 سم حتى لا تذبل جذور البادرات أو تموت.

3- تنقل البادرات النامية فى مكعبات الإنبات إلى أى من قنوات الزراعة المجهزة فيما سبق.

4- يتم ضم طرفى غشاء البلاستيك على طول امتداد القناة لتكون جذور النباتات على قاعدتها ويظهر مجموعها الخضرى أعلى قمة الشكل الهرمى الذى تكونه مع تثبيت ذلك بكلبسات أو بمشابك من الخشب أو البلاستيك .

5- يتم ضخ المحلول المغذى من تنك التغذية (الموجود فى الجانب المنخفض لقنوات الزراعة) إلى قنوات التغذية والتى تصب فى أعلى قمة هذه القنوات ليعود المحلول من خلال ميل القنوات وبتأثير الجاذبية الأرضية إلى تنك التغذيه مرة أخرى.

6- يكون معدل ضخ المحلول 2 لتر فى الدقيقه.

7- تثبيت النباتات التى تنمو رأسياً بربطها برفق بخيوط سميكة تمتد من أسفل أول ورقة على النبات إلى أعلى بسلك التثبيت الموازى لطول القناة.

8- تتم متابعة النمو وأخذ عينات من المحلول المغذى وضبط رقم الـ pH الخاصة به إلى حده الأمثل وهو 6.5 درجة، وتعويض النقص فى مستوى العناصر فى المحلول بإضافة أملاح هذه العناصر أو إضافة القدر المناسب من المحلول الأساسى Stock solution إلى محلول التغذية وذلك حتى نهاية المحصول.

والزراعة بهذا النظام تعطى نمواً جيداً لكل المحاصيل التى يمكن زراعتها به، وبصفة خاصة محاصيل الخضر ونباتات الزينة. هذا بالاضافة إلى أن هناك من النتائج ما يؤكد إمكانية الزراعة بنظام الأغشية المغذية تحت الظروف الجوية المختلفة فى مصر سواء كان ذلك داخل ظروف الصوبة أو خارجها فى الحقل المفتوح. وربما يكون هناك ضرورة فى الجو شديد الحرارة إلى عمل بعض التظليل للقنوات عندما تكون النباتات المنزرعة حساسة أو مقاومتها قليلة لارتفاع درجة حرارة المحلول المغذى إلى درجات عالية.

تتبقى مشكلة أخرى أساسية تواجه القائمين على تنفيذ مزارع الأغشية المغذية تحت ظروف انقطاع التيار الكهربائى لفترات طويلة أثناء النهار خاصة وأن النظام يعتمد على الدوران المستمر لغشاء رقيق من المحلول المغذى ومن ثم يصبح الضرر كبيراً عند انقطاع التيار الكهربائى. ولتجنب هذا الضرر وتقليل أثره يمكن عمل الآتى:

1- توفير مصدر آخر للتيار سواء كان ذلك مصدر تغذية آخر أو ماكينات توليد التيار الكهربائى والتى تعمل بالديزل عند انقطاع التيار.

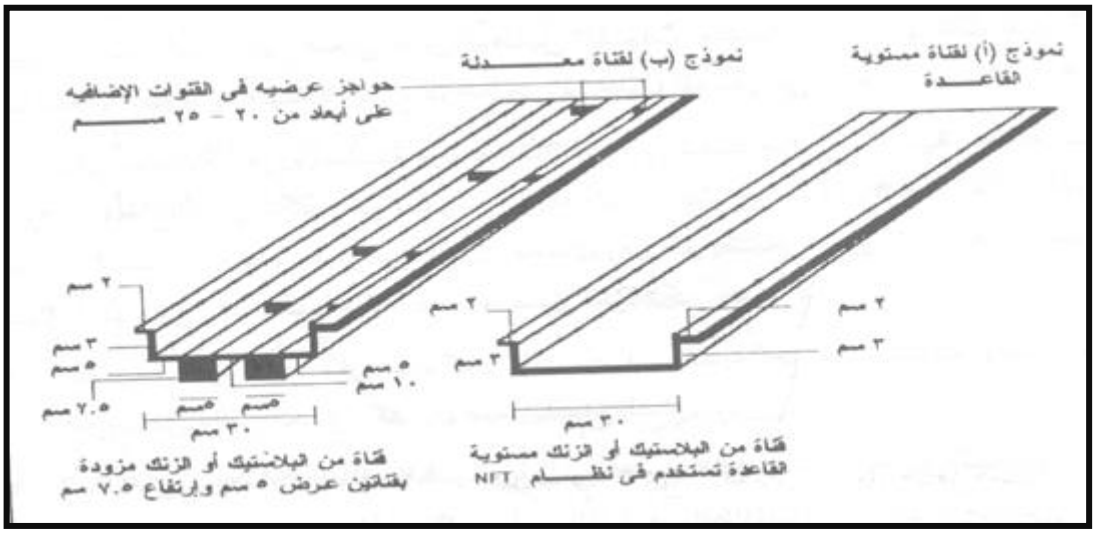
2- استخدام وحدات الطاقة الشمسية التى تعمل على توليد وتخزين الطاقة، وهذه الطريقة إن وجدت تعتبر من أنسب وسائل توفير الطاقة لمثل هذا النوع من المزارع.

3- تحوير شكل القنوات ليحتفظ فى بعض أجزائه بقدر من المحلول يساعد لبعض الوقت النباتات على النمو بدون مشاكل حتى يتم تشغيل الماكينات البديلة أو عودة التيار.

خطوات زراعة الشتلات في قنوات مزارع الأغشية المغذية

ولقد Sherif سنة 1994 بتصميم نموذج لهذه القنوات، والتى تتكون كل قناة منها من قناتين إضافيتين بطول القناة الأصلية وبعرض 5 سم وعمق 7.5 سم عن السطح المستوى للقناة (شكل 9-7). وبداخل هاتين القناتين يتم عمل حواجز عرضية كل 20-25 سم والتى بها نضمن وجود المحلول على طول امتداد القناة عند وضعها بشكل مائل أثناء الزراعة وإمرار المحلول. وعند دوران المحلول فإن هذه القنوات سوف تمتلىء بالمحلول المغذى الذى يحدث له

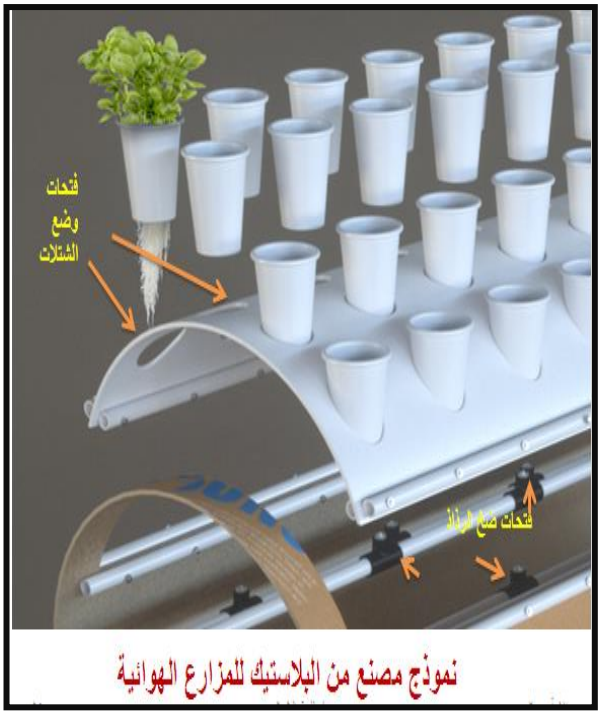
إزاحة جزئية بواسطة جزء من جذور النباتات النامية فى القناة، بينما تنتشر باقى جذورالنباتات على باقى السطح المستوى للقناة. والمحلول المغذى فى كل الأحوال يمر فى شكل غشاء رقيق على ثلثى عرض القناة وتقريبا على ثلثى حجم الجذور (حيث إن عرض القناتين الإضافيتين لا يمثل سوى ثلث عرض القناة) بما يجعل هذه القناة ضمن تحويرات نظام الأغشية المغذية.

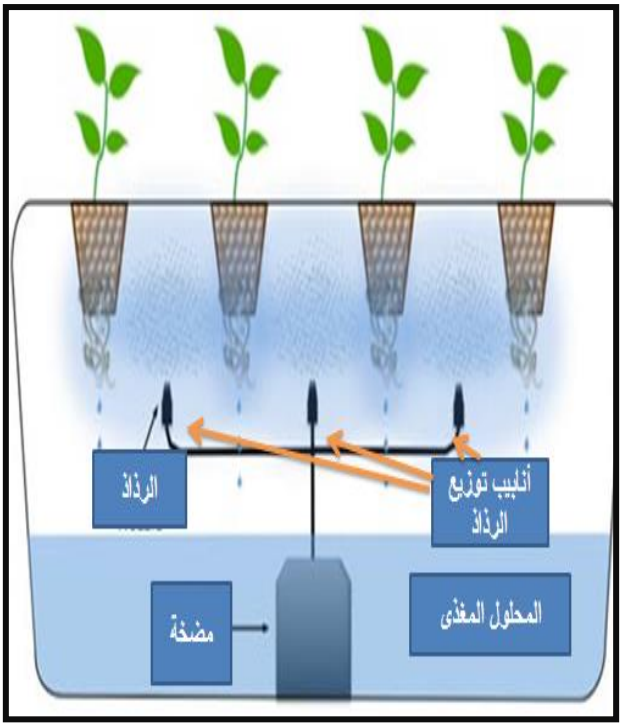


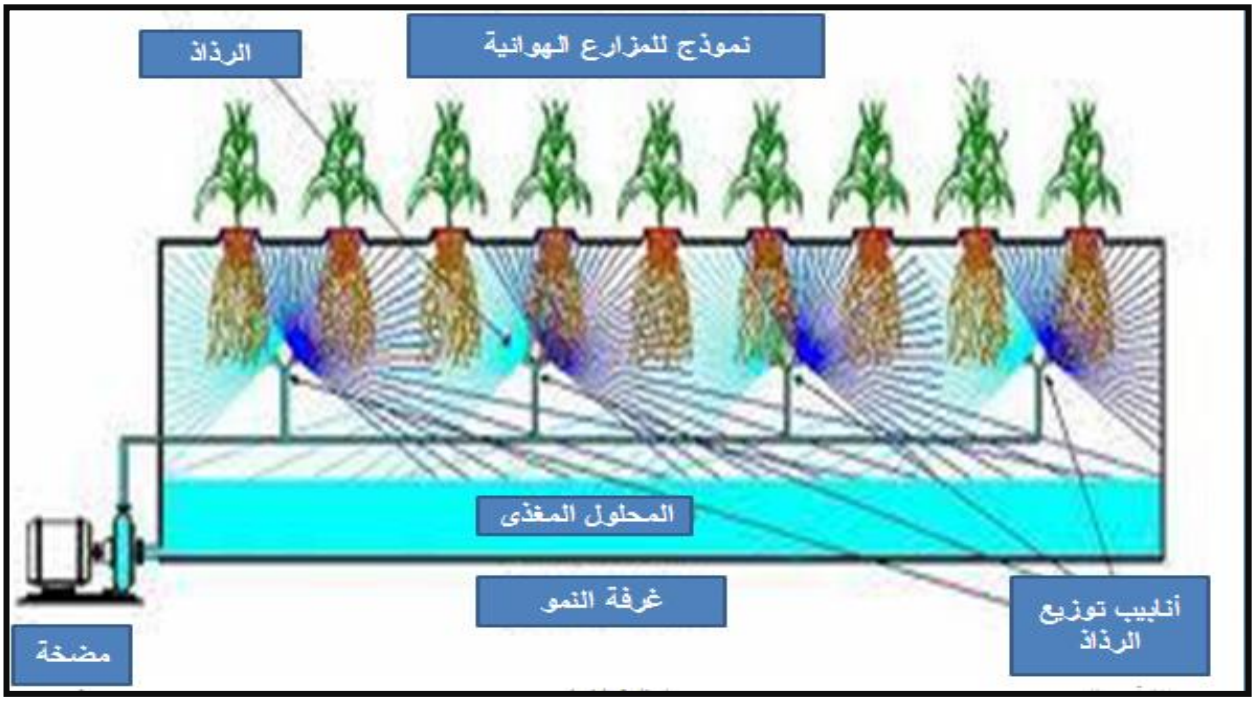
شكل (9-7): تحوير قناة الأغشية المغذية لتقليل خطر انقطاع التيار الكهربى

4- المزارع الهوائيه Aeroponic Cultures

المزارع الهوائية هى أحد صور الزراعة بالمحاليل المغذية. حيث تنمو جذورالنباتات فى الهواء المشبع برذاذ Mist من المحلول المغذى بنسبة 100% والذى يفى بكل احتياجات النبات من الماء والعناصر الغذائية بالإضافة إلى الأكسيجين كما توضحها النماذج التالية:







نماذج للفكرة الأساسية في عمل المزارع الهوائية

ويتم تنفيذ هذه المزارع بطريقتين:

الأولى: بإستخدام هياكل جمالونية على أحواض:

وفى هذه الطريقه تتبع الخطوات التاليه:

1- يستخدم هيكل من الفوم أو البلاستيك على شكل جمالون قاعدته مستطيله أو مربعة بأبعاد حوض المحلول المغذى الذى سيثبت فوقه، وارتفاعه من 1-1.5 متر (شكل 9-8).

2- يتم عمل فتحات من الجهات الأربع للجمالون بحجم يتناسب مع حجم البادرة المراد تثبيتها سواء كانت البادرة عارية الجذور أو فى أشكال اسطوانية من الصوف الصخرى أو فى أكواب خاصة مفرغة الجوانب بها الصوف الصخرى كمواد إنبات.

3- عن طريق مضخة مائية مثبتة فى حوض المحلول ويتصل بها ماسورة بطوله بها فتحات يضخ من خلالها المحلول فى شكل نافورة من الرذاذ أسفل الجمالون.

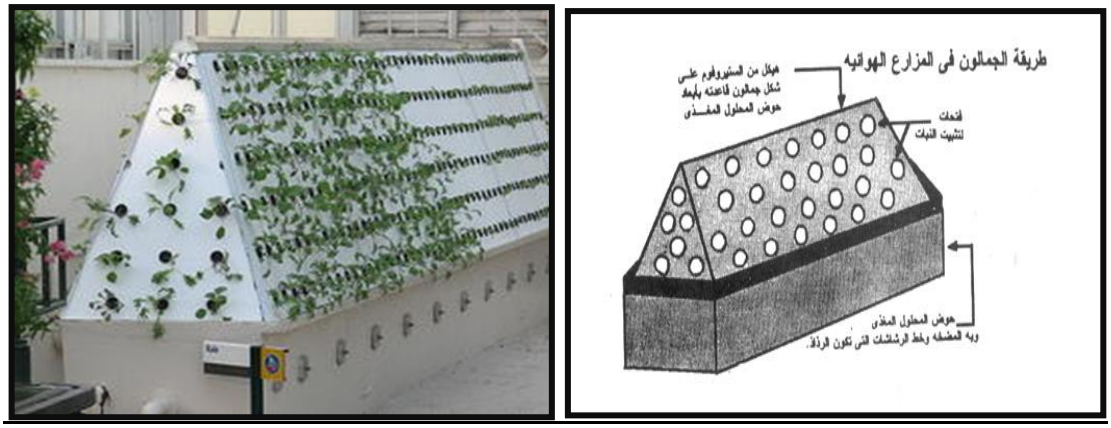
4- يتم ضبط رقم الـ pH وتركيزات العناصر فى المحلول بشمل دورى.

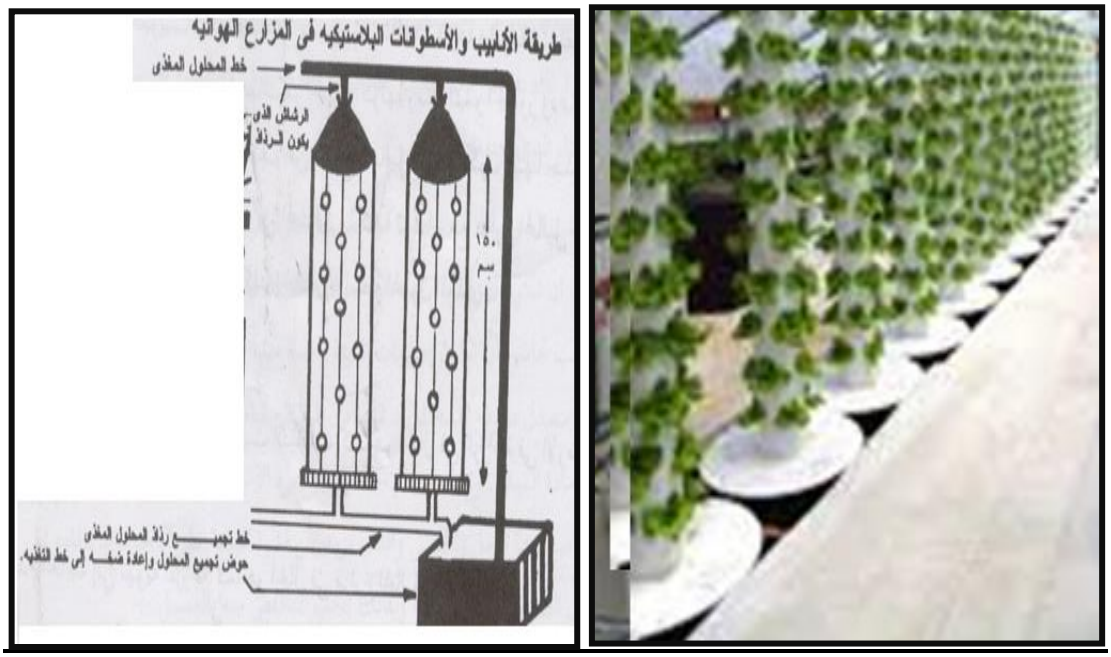
الثانية: باستخدام الأ نابيب والإسطوانات البلاستيك:

يستخدم فى ذلك أى أنابيب أو مواسير أو إسطوانات بلاستيك بأى أقطار، حيث إن اتساع القطر يزيد من عدد النباتات التى تثبت على سطحها الخارجى ويجب ألا يزيد طولها عن 1.5 متر لسهولة عمليات الزراعة والخدمة، بالإضافة إلى تثبيتها . وتتلخص خطوات الإعداد والزراعة بهذه الطريقه فيما يلى:

1- يتم تقطيع الأسطوانات البلاستيك بطول 1.5 متر وعمل الفتحات اللازمة لتثبيت النباتات بها على أن تكون هذه الفتحات مع بعضها شكلاً حلزونياً يتناسب ميله مع حجم النباتات المراد زراعتها كما فى شكل (9-8)

2- يتم غلق فتحتى الاسطوانة السفلية والعلوية بإحكام مع وجود فتحة فى الغطاء العلوى لأنبوبة توزيع المحلول وأخرى فى الغطاء السفلى لجمع المحلول الزائد (فى حالة الأسطوانات المعلقة).





شكل (9-8): المزارع الهوائية بطريقة الجمالون (لأعلى) والأسطوانات الرأسية (لأسفل)

3-يتم تثبيت الأسطوانات بطريقتين:

- إما أن تعلق بواسطة خطاف فى سقف الصوبة على مسافات تتيح حرية الحركة بينها.
- أو تثبت رأسياً على سطح التربة بنفس المسافات. وفى هذه الحاله تكون فتحة خروج المحلول أعلى سطح الأرض مباشرة والتى تتصل بماسورة تجميع المحلول الزائد والتى بدورها تصب فى تنك التغذية.

4- يتم ضخ المحلول من تنك التغذية إلى أنابيب التوزيع والتى يخرج منها وصله لكل أسطوانة تكون نهايتها ضيقة حتى يخرج المحلول على هيئة رذاذ.

5- يتم ضبط رقم الـ pH وتركيزات العناصر من خلال عينات من تنك التغذيه.

وبالرغم من عدم شيوع هذه الطريقة فى الإستخدام التجارى إلا أنها تعطى نتائج مرضية مع كثير من النباتات وخاصة القصيرة منها مثل: الخس والفلفل والفراوله، بالإضافة إلى أنها من أفضل الطرق للاستغلال الأمثل للمساحات المتاحه للزراعة، فالتوسع الرأسى فيها هو الأساس وعدد النباتات التى يتم الحصول عليها من وحدة المساحه يفوق أضعاف أضعاف ما يتم الحصول عليه من أى طريقة آخرى مما يؤدى إلى زيادة المحصول بشكل واضح.

الفصل العاشر

5 – الزراعة السمكية النباتية التكاملية (Aquaponic)

تقنية مزارع الأكوابونيك (نباتات + أسماك)

الفصل العاشر

5 – الزراعة السمكية النباتية التكاملية (Aquaponic)

تقنية مزارع الأكوابونيك (نباتات + أسماك)

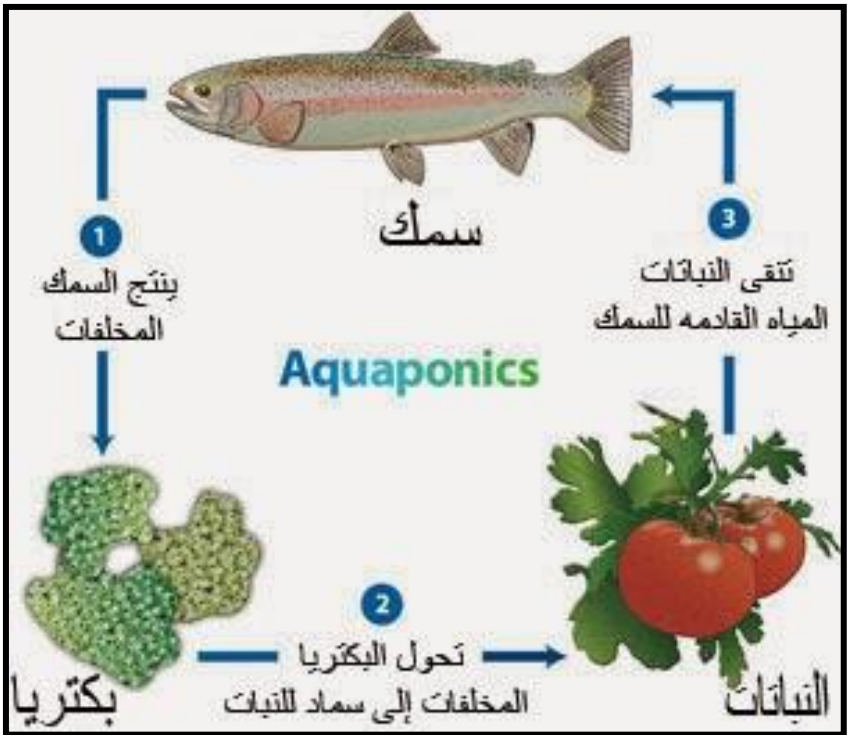
نشأ مصطلح الأكوابونيك (Aquaponics) من خلال الدمج بين مصطلحي (Hydroponics) و يعني الزراعة المائية و مصطلح تربية الأحياء المائيه كالأسماك (Aquaculture). إذا فالأكوابونيك (ويسمى باللغة العربية بالزراعة الأحيومائية) هو نظام بيئي حيوي متكامل يمكنك من تحقيق الإكتفاء الذاتي من الغذاء في منزلك عبر إنتاج الإسماك و المحاصيل الغذائية دون إفراط في إستخدام الأسمدة أو ملوثات في دورة مستديمة و مستمرة تضمن لك الإبتعاد عن الملوثات التي قد تلاحقنا في غذائنا و حياتنا . حيث توفر مخلفات الأسماك مع المتبقى من العليقة النيتروجينية وبعض العناصر اللازمة للزراعة طبيعيا مصدر لغذاء النبات. إختلاف هذا النظام عن الهيدروبونيك ليس فقط في طريقة الري بل في إضافة عنصر جديد لدورة الإنتاج و هو الأسماك حيث أن البعض قد يعتبر الأسماك هي العنصر الأساسي و النباتات هي العنصر الثانوي في هذا النظام.

الأكوابونيك نظام يراعي إحداث توازن شبيه بما يحدث في الطبيعة بين البيئة الزراعية و الحيوانية حيث يتكون من حوضين أحدهم للزراعة و آخر للأسماك معتمدين على مخلفات الاسماك فى تغذية النبات ومعتمدين على تغذية الاسماك من مغذيات النبات التى تضاف للماء منها كالسيوم وبوتاسيوم ونيتروجين. ويقوم النبات فى نظام الاكوابونيك والبكتريا الموجودة بالمرشح بعمل دور الفلتر البيولوجى فى نظام الاكوابونيك حيث ان فضلات الاسماك وبقايا تغذية الاسماك تتخمر ويحدث معدنة للعناصر الموجودة بالمواد العضوية وتصبح فى صورة معدنية (أيونات). و هو نظام مغلق و طبيعي 100% و يساهم في سد الفجوة الغذائية من اللحوم و النباتات معاً و يقلل من تكاليف الإنتاج الزراعي و السمكي معاً كما أنه يساهم في تربية الأسماك في بيئة مغلقة و نظيفة بعيداً عن الملوثات و بالتالي تكون صحية و مفيدة .

عناصر نظام الأكوابونيك

هذه العناصر هى الأسماك – البكتريا – النبات كما يوضحها شكل (10–1) حيث تقوم الأسماك بإنتاج المخلفات العضوية والأمونيا التي تحتوي علي النيتروجين و العناصر الغذائية اللازمة لنمو النباتات وتقوم البكتريا (موجودة بالمرشح) بتحويل مخلفات السمك إلي سماد

للنباتات (عناصر غذائية) عن طريق عملية المعدنة مما يقلل من ثمن التسميد وتنقي النباتات المياه من مخلفات الأسماك التي قد تضر بها.



شكل (10–1) يبين عناصر نظام الأكوابونيك

مكونات نظام الأكوابونيك

هناك أكثر من طريقة لعمل نظام الأكوابونيك اشهرها وضع الأسماك و النباتات في حوضين منفصلين و وضع مضخة تقوم برى النباتات بماء الحوض الغني بفضلات الأسماك ثم يعود الماء المنقي و المحمل بالأكسجين مرة أخري إلي حوض الأسماك لتستمر الدورة

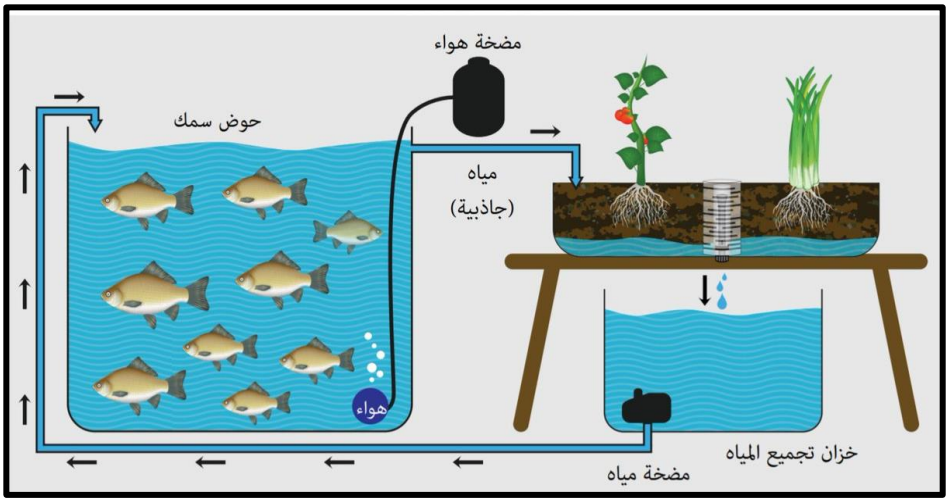
وكما سبق الأكوابونيك هي إدماج وتكامل تربية الأحياء المائية بالأنظمة المغلقة (RAS Recirculating Aquaculture System) والزراعة المائية في نظام إنتاج واحد. وفي وحدة نظام الأكوابونيك تدور المياه خلال حوض الأسماك وعبر المرشحات والبيئات التي تنمو فيها النباتات ، ومن ثم تعود للأسماك، كما يبينه الشكل (10–2). أما في المرشحات فإن مخلفات الأسماك تتم إزالتها من الماء أولا باستخدام مرشح ميكانيكي يقوم بإزالة المخلفات الصلبة وبعد ذلك من خلال مرشح حيوي يقوم على معالجة المخلفات الذائبة . ويوفر المرشح الحيوي بيئة جيدة لنمو البكتيريا والتي تعمل على تحويل الأمونيا السامة بالنسبة للأسماك إلى نترات ومعدنة العناصر من الصورة العضوية إلى الصورة امعدنية، حيث يقوم الماء (الذي يحتوي على النترات والعناصر الغذائية الأخرى) بالانتقال إلى البيئة التي تنمو فيها النباتات ومن ثم يتم امتصاص هذه العناصر الغذائية، وأخيرا يعود الماء إلى خزان

الأسماك مرشحا ونقيا. وتسمح هذه العملية للأسماك والنباتات والبكتيريا بالنمو في تناغم تام، والعمل معا لخلق بيئة صحية بشكل مناسب لبعضها البعض، شريطة أن يكون ذلك في نظام متوازن.

من منافع أنظمة الأكوابونيك يتم تحويل المخلفات السائلة والصلبة من خلال البيئات التي تنمو فيها النباتات ولا تطلق في البيئة الخارجية ، بينما يتم إستغلالها لتوفير العناصر الغذائية للنباتات من مصدر مستدام وفاعل من حيث التكلفة وخالي من المواد الكيميائية إلى حد كبير. وهذا التكامل يزيل بعض المشاكل التي تسببها أنظمة تربية الأحياء المائية والزراعة المائية بشكل مستقل. وإذا ما نظرنا إلى ما وراء المنافع الأخرى التي يجنيها هذا التكامل، فقد أظهرت وحدات الأكوابونيك أن النباتات والأسماك التي يتم إنتاجها يمكن أن تكون أكثر إنتاجية، وذات جدوى اقتصادية في بعض الحالات، وخصوصا عندما تكون الأراضي والمياه محدودة. ومع ذلك فإن الزراعة فى وحدات الأكوابونيك غير معقدة إلا أنها تتطلب تكاليف تشغيلية عالية فى البداية، ولكن زيادة الإنتاج في هذا النظام يمكن أن تعوض ارتفاع تكاليف الاستثمارات المطلوبة لدمج النظامين، وقبل الالتزام بنظام كبير أو باهظ الثمن ينبغي إجراء دراسة كاملة تغطي الجوانب الاقتصادية والبيئية والاجتماعية واللوجستية. وعلى الرغم من أن إنتاج الأسماك والخضراوات هو الناتج الأكثر شيوعاً في وحدة زراعة الأكوابونيك، فمن الضروري أن نفهم أن الزراعة فى هذا النظام هي إدارة كاملة لنظام بيئي يشتمل على ثلاث مجموعات رئيسة من الكائنات الحية: الأسماك – النباتات – والبكتيريا.

تطبيق نظم الأكوابونيك

إن تطبيق هذه النظم والتي تجمع بين اثنين من أكثر الأنظمة إنتاجية في مجالات تخصصهم. حيث قد شهدت أنظمة تربية الأحياء المغلقة (RAS) والزراعة المائية التوسع في العالم على نطاق واسع، ليس فقط لزيادة المحصول ولكن أيضا للاستخدام الأفضل للأراضي والمياه، وإيجاد أساليب أبسط للسيطرة على التلوث وتحسين إستغلال و إدارة المحددات الإنتاجية للحصول على منتج بالجودة العالية بزيادة سلامة الأغذية المنتجة منها تعتبر أنظمة مزارع الأكوابونيك تقنية ذات مكانة وسطية في السياق الأوسع لاستدامة الزراعة المكثفة لا سيما في التطبيقات على النطاق الأسري وكذلك تقدم طرق تعاونية وداعمة لإنتاج الخضراوات والأسماك مع امكانية انتاج كميات كبيرة من المواد الغذائية في المواقع والحالات التي يستحيل فيها الاعتماد على التربة للزراعة. إن استدامة وحدات الأكوابونيك تأخذ في الاعتبار الجوانب البيئية والاقتصادية والاجتماعية؛ وكما سبق هذه الأنظمة تتطلب استثمارات أولية كبيرة ولكن تليها تكاليف متكررة منخفضة وتغطى من عائد كل من الأسماك والخضراوات.



شكل (10–2) نموذج مبسط لمزرعة أكوابونيك بالأنظمة المغلقة (RAS)

المميزات ونقاط الضعف في الإنتاج الغذائي من الأكوابونيك

مميزات نظم الأكوابونيك هي:

1. نظام إنتاج غذائي مستدام ومكثف.
2. إنتاج نوعين من المنتجات الزراعية (السمك، والخضر) من مصدر نتروجيني واحد (عليقة ومخلفات الأسماك).
3. عالية الكفاءة في استهلاك المياه.
4. استخدام التربة غير مطلوب.
5. قلة استخدام الأسمدة و عدم إستخدام المبيدات الكيماوية.
6. ارتفاع العوائد من تحديد الإنتاج النوعي.
7. النظام والإنتاج شبيهة بالتقنية العضوية.
8. مستوى مرتفع من الأمن الحيوي، وانخفاض المخاطر الناجمة عن الملوثات الخارجية.
9. سيطرة عالية على الإنتاج تؤدي إلى انخفاض الخسائر.
10. استخدامها على الأراضي غير الصالحة للزراعة، مثل: الصحارى، والتربة المتدهورة، أو المالحة، والجزر الرملية.
11. المخلفات المتبقية قليلة.
12. توفير العمالة في المهام اليومية والحصاد والزراعة كما يمكن أن يقوم بها كلا الجنسين من مختلف الأعمار.

13. إنتاج اقتصادي للمحاصيل لإنتاج غذاء الأسرة، أو توفير المردود المالي في العديد من المواقع.

نقاط الضعف الرئيسة لإنتاج الغذاء بواسطة نظم الأكوابونيك هي:

1. تكاليف بدء التشغيل الأولية عالية الثمن إلى حد ما مقارنة مع إنتاج الخضراوات بواسطة التربة أو الزراعة فى المحاليل المغذية.
2. الحاجة إلى معرفة التعامل مع الأسماك والبكتيريا والإنتاج النباتي لكل مزارع لضمان نجاحها.
3. لا يمكن تطابق متطلبات الأسماك والنباتات على الدوام.
4. لا يوصى بها في الأماكن التي لا تلبي درجة الحرارة المثلى لنمو الأسماك والنباتات.
5. قلة الخبارات الإدارية مقارنة بأنظمة تربية الأحياء المائية أو الزراعة المائية.
6. إمكانية حدوث الأخطاء أو الحوادث قد تتسبب في انهيار للنظام.
7. إلزامية المتابعة بصورة شبه يومية.
8. توفير مصادر للكهرباء دائمة، وزريعة الأسماك وبذور النباتات.

ومن الناحية البيئية فإن وحدات الأكوابونيك تحد من تصريف المخلفات السائلة الناتجة عن تربية الأحياء المائية وتلويث القنوات المائية. وفي الوقت نفسه توفر تحكما كبيرا في استهلاك الماء والإنتاج كما أنها لا تعتمد على المواد الكيميائية للتسميد بدرجة أساسية، أو السيطرة على الآفات أو الأعشاب الضارة بالمبيدات مما يجعل الغذاء المنتج أكثر أمانا خالى من المواد المتبقية لتلك المبيدات. وعلى الصعيد الاجتماعي فيمكن للزراعة فى وحدات الأكوابونيك أن توفر تحسينات فى المستوى المعيشي حيث ينتج الغذاء محليا، كما يمكن زراعة المحاصيل المناسبة التي تتماشى مع الثقافة المحلية، وفي الوقت نفسه يمكن للزراعة فى وحدات الأكوابونيك دمج استراتيجيات سبل العيش لتأمين الغذاء والدخل لأولئك الذين لا يمتلكون الأراضي والأسر الفقيرة. ناهيك على أن الانتاج المحلي للغذاء والوصول إلى الأسواق واكتساب المهارات وهي معرفة لا تقدر بثمن وذلك لتأمين تحرير وتمكين المرأة في البلدان النامية، كما يمكن للزراعة فى وحدات الأكوابونيك أن توفر الأساس الاجتماعي والاقتصادي العادل والمستدام. بالإضافة إلى أن بروتين السمك هو إضافة قيمة للاحتياجات الغذائية للكثير من الناس.

تعد الزراعة فى وحدات الأكوابونيك الأنسب عندما تكون كلفة الأرض مرتفعة والمياه شحيحة والتربة تفتقر إلى مقومات الزراعة حيث الصحارى، والمناطق الجافة، المالحة والجزر الرملية. والحدائق قى المناطق الحضرية وهي من أكثر المواقع المناسبة لقيام أنشطة الزراعة فى وحدات الأكوابونيك لأنها تستخدم أدنى حد ممكن من المياه وليست هناك حاجة للتربة. وبالمثل فإنه يمكن استخدام وحدات الأكوابونيك في البيئات

الحضرية وشبه الحضرية، حيث انعدام الأراضي أو توافرها بنسبة قليلة وتوفير وسيلة لزراعة المحاصيل بكثافة على الشرفات الصغيرة، والشرفات في الداخل أو على أسطح المنازل.

هذه التقنية يمكن أن تكون مكلفة علاوة على أن الوحدة الإنتاجية التي تقام على نطاق صغير لن توفر كل الغذاء الذي تحتاجه الأسرة. وعلى صاحب المشروع أن يقوم بتركيب نظام كامل لتربية الأسماك والنبات، وهذا هو أحد أهم العناصر التي يجب أن تأخذ في الاعتبار عند البدء في نظام وحدات الأكوابونيك، علاوة على ذلك فإن الإدارة الناجحة تتطلب معرفة شاملة، وصيانة يومية للمجموعات من الكائنات الحية الثلاث المعنية، كما أنه ينبغي مراقبة جودة المياه والتحكم بها حسب الحاجة، وتعد المهارات التقنية ضرورية لبناء وتركيب الأنظمة، وخاصة في حالة السباكة والوصلات الكهربائية. وقد تكون الزراعة فى وحدات الأكوابونيك غير عملية وغير ضرورية في المواقع التي تتوافر فيها الأراضي والتربة الخصبة بالمساحة الكافية والمياه الوفيرة. وفى بعض المجتمعات الزراعية قد تجد وحدات الأكوابونيك معقدة أكثر من اللازم عندما يمكن زراعة نفس الغذاء مباشرة في التربة، ولكن في هذه الحالات يمكن للزراعة فى وحدات الأكوابونيك أن تصبح هواية مكلفة وعلاوة على ذلك تتطلب وحدات الأكوابونيك توافر بعض عوامل الإنتاج بشكل ثابت كالكهرباء مثلا فهي مطلوبة بشكل أساسي لجميع نظم الزراعة فى وحدات الأكوابونيك كم يتضح فيما بعد أو ارتفاع تكلفة الكهرباء، كلها يمكن أن تجعل وحدات الأكوابونيك غير مجدية في بعض المواقع، ويجب أن يكون شراء أعلاف الأسماك على أساس منتظم وأن يكون هناك إمكانية الوصول إلى زريعة الأسماك وبذور النباتات. ويمكن تخفيض بعض هذه المدخلات بإسخدام (الألواح الشمسية كمصدر للكهرباء، وإنتاج أعلاف الأسماك محلياً، وتفريخ الأسماك، وتوفير مشاتل للنباتات).

لمحة تاريخية للتكنولوجيا الحديثة لنظم الأكوابونيك

إن مفهوم استخدام إفرازات أو مخلفات الأسماك لتسميد النباتات قد عرف منذ آلاف السنين مع الحضارات الزراعية القديمة في كل من آسيا وأمريكا الجنوبية، ومن خلال العمل الريادي لمعهد الكيمياء الجديد والمؤسسات الأكاديمية في أمريكا الشمالية وأوروبا في أواخر السبعينيات من القرن الماضي، وأسهمت البحوث التي أنجزت في العقود التي تلتها في تطوير هذا الشكل المبسط من الزراعة فى وحدات الأكوابونيك إلى نظم إنتاج حديثة للغذاء نشهدها اليوم. في حين أن معظم المحاولات لدمج الزراعة المائية وتربية الأحياء المائية قبل التقدم التكنولوجي في الثمانينيات لقيت نجاحا محدودا. وشهدت حقبة الثمانينيات والتسعينيات من القرن الماضي تقدما في تصميم أنظمتها، وفي الترشيح الحيوي،

وتحديد النسب المثلى بين الأسماك والنباتات أدى إلى إنشاء الأنظمة المغلقة التي تسمح بإعادة تدوير المياه وتراكم المغذيات التي تساعد على نمو النباتات، وفي دراسة علمية أجريت في جامعة ولاية نورث كارولينا بالولايات المتحدة الأمريكية أثبتت أن استهلاك المياه في الأنظمة المتكاملة يشكل 5٪ فقط من تلك المستخدمة في بركة تربية سمكة البلطي ويعتبر هذا التطور من بين المبادرات الرئيسة والذى يشير إلى مدى ملاءمة الأنظمة المتكاملة لتربية الأحياء المائية والزراعة المائية لتربية الأسماك وزراعة الخضراوات خاصة في المناطق القاحلة المفتقرة إلى المياه.

على الرغم من أن نظم الأكوابونيك تطبق منذ الثمانينيات من القرن الماضي إلا أنها لا تزال طريقة جديدة نسبيا لإنتاج الغذاء، بالإضافة إلى قلة البحوث ذات الصلة بهذا الموضوع ومراكز التطبيق التي تمتلك الخبرة الشاملة في جميع أنحاء العالم. وكان (James& Rakocy) من رواد هذه الصناعة حيث اشتغل في مجال البحث والتطوير من خلال عمله في جامعة فيرجينا في الولايات المتحدة الأمريكية، حيث استطاع أن يطور نسبا مهمة وعمليات حسابية من أجل تعظيم إنتاج كل من السمك والخضر مع الحفاظ على توازن النظام البيئي. وفي أستراليا قام (Wilson Lennard) بوضع الحسابات الرئيسة وخطط الإنتاج لأنواع أخرى من الأنظمة. وفي كندا أعطت نتائج البحوث التي قام بها (Nick Savidov) على مدى سنتين إلى نتائج تبين أن إنتاج وحدات الزراعة المائية من الطماطم (البندورة) والخيار يفوق بكثير الأنظمة الأخرى عندما يتم توفير العناصر الغذائية الرئيسة بالمستويات المطلوبة. أيضا قام محمد عبد السلام من الجامعة الزراعية ببنجلاديش بتعزيز هذا المجال من خلال مفهوم "الزراعة لغرض الكفاف" في نطاق المنازل للزراعة فى وحدات الأكوابونيك. إن ثورة هذه الأبحاث فضلا عن البحوث الأخرى في هذا المجال قد مهدت الطريق لمختلف المجموعات التي تمارس هذا النشاط مع تشجيع الشركات الداعمة لها والتي توفر التدريب مما ادى إلى ملاحظة إنه بدأ يزدهر في جميع أنحاء العالم.

التطبيقات الحالية للزراعة فى وحدات الأكوابونيك

سيتم بإيجاز مناقشة وتناول بعض التطبيقات الرئيسة لنظم الأكوابونيك التي يتم مشاهدتها في جميع أنحاء العالم وهذه المناقشة ليست بأي حال من الأحوال شاملة بل هي نافذة صغيرة تطل على الأنشطة التى تستخدم مفهوم الأكوابونيك.

الوحدات المحلية والصغيرة

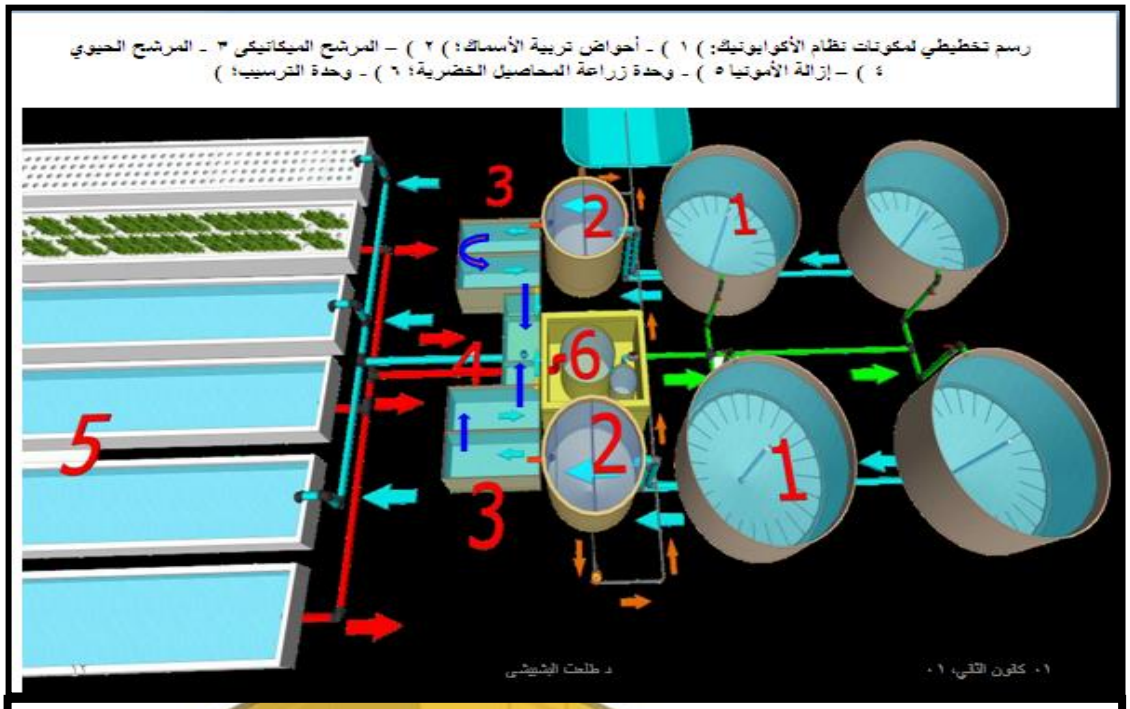
تعد وحدات الزراعة وحدات صغيرة عندما يكون حجم حوض الأسماك بسعة 1000 لتر، وقد تصل المساحة الكلية للمحاصيل المزروعة بها إلى 3م^2 ومناسبة للإنتاج المحلي لمنزل أسرة (الشكل 3–3) وقد تم تجربة واختبار أنظمة وحدات من هذا الحجم، وأعطت نتائج ناجحة بشكل كبير في العديد من المناطق في جميع أنحاء العالم. والغرض الرئيس من هذه الوحدات هو إنتاج الغذاء من أجل الاستخدام المنزلي، حيث يمكن زراعة مختلف أنواع الخضراوات والنباتات العشبية في العديد من هذه الوحدات وفي آن واحد.

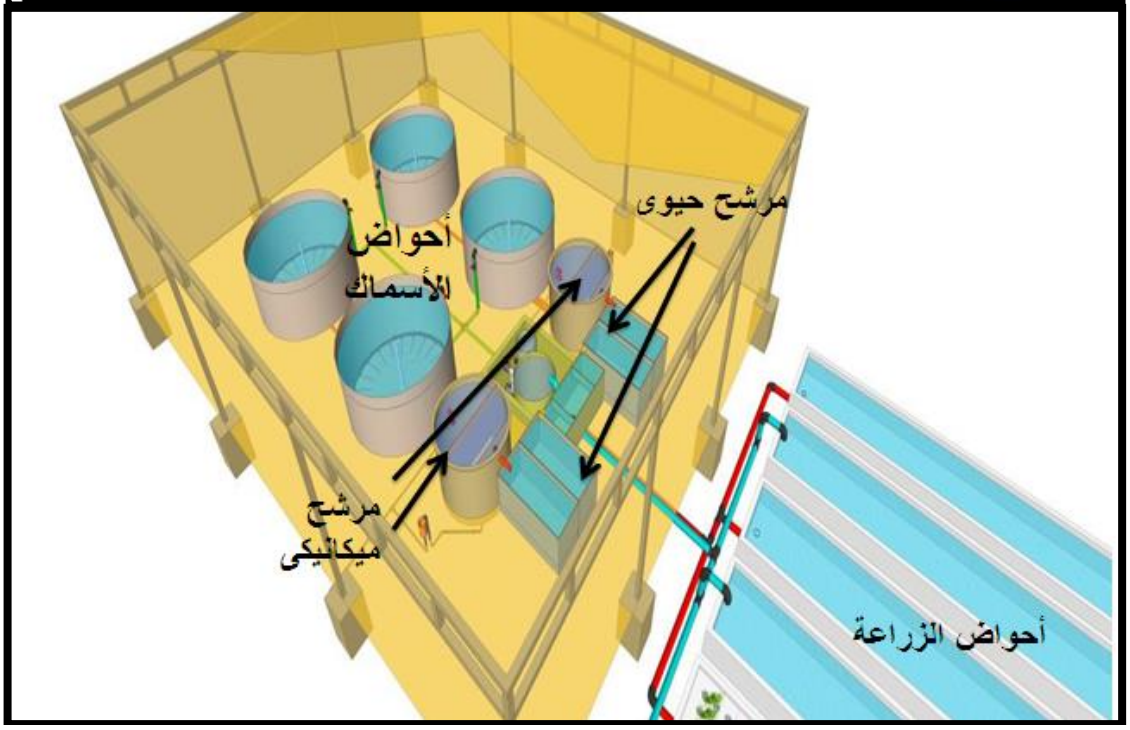
شكل (10–3) وحدة زراعة أكوابونيك محلية في الفناء الخلفي لأحد الامنازل

الوحدات التجارية وشبه التجارية

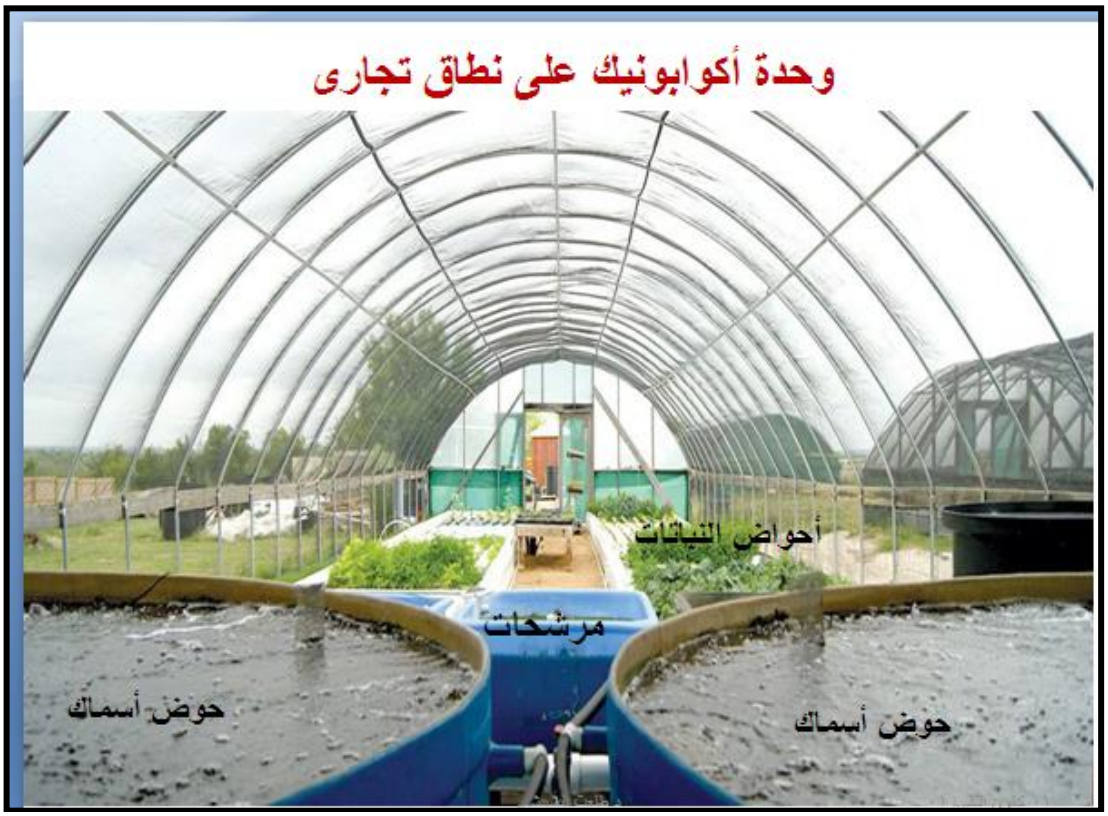
نظرا لارتفاع التكلفة الأولية وقلة الخبرة فإن الزراعة فى وحدات الأكوابونيك التجارية وشبه التجارية تبقى محدودة العدد (الشكل 10–4 و 10 – 5) وفشل الكثير من المشاريع التجارية يرجع إلى أن الأرباح لا تلبي المطالب للخطة الاستثمارية الأولية. وأغلب تلك المشاريع الموجودة حاليا تطبق ممارسات الزراعة الأحادية (محصول واحد) وعادة تقوم بإنتاج الخس أو الريحان – اليقدونس – الكرفس. على الرغم من أن العديد من المعاهد الأكاديمية في الولايات المتحدة الأمريكية وأوروبا وآسيا قد شيدت وحدات كبيرة وكانت أكثرها مخصصة للبحث الأكاديمي بدلا من الإنتاج الغذائي ولم تكن تهدف إلى التنافس مع المنتجين الآخرين في القطاع الخاص، وفي سبيل تنشيط هذا النوع من الزراعة فقد قام مجموعة من الخبراء في هاواي بالولايات المتحدة الأمريكية بتركيب نظام تجاري متكامل وتمكنوا من الحصول على شهادة المنتجات العضوية لوحدتهم مما مكنهم من جني عائد مالي أعلى لمنتجاتهم. وهناك أيضا نموذج آخر من الوحدات الكبيرة والناجحة

على المستوى التجاري للزراعة فى وحدات الأكوابونيك يقع في نيوبرا بنيويورك (الولايات المتحدة الأمريكية)، ويجني الأرباح من خلال مصادر دخل متعددة من أنواع مختلفة من الأسماك و النباتات مع استراتيجية التسويق الناجحة إلى المطاعم المحلية، والبقالات، وأسواق المزارعين . إن توافر خطة عمل مفصلة ودراسة شاملة على النباتات والأسماك الأكثر ربحا في الأسواق المحلية والإقليمية ضرورية لأي مشروع ناجح.





شكل (10 – 4) تخطيطى لوحدة زراعة اكوابونيك على نطاق نجارى



شكل (10 – 5) وحدة زراعة اكوابونيك على نطاق تجارى

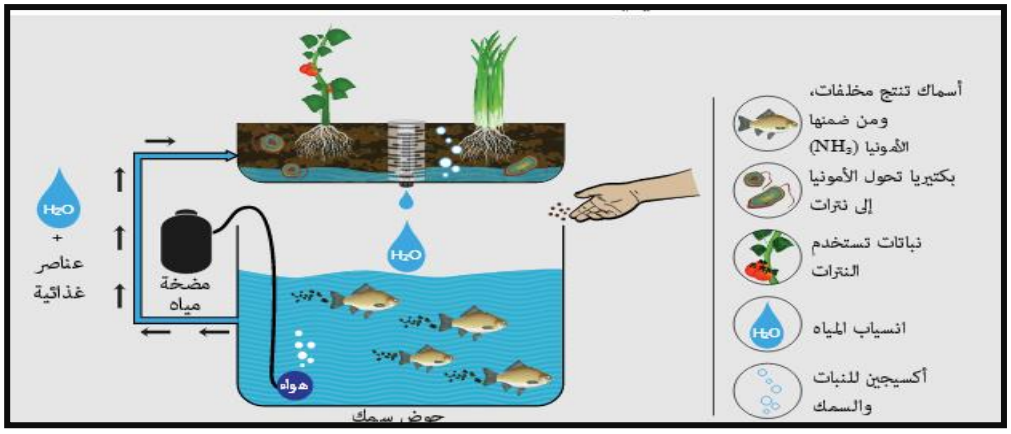
تقنية الأكوابونيك

بناء على التفسير الذي تم مناقشته لمفهوم الزراعة بنظام الأكوابويك سابقاً فإن هذا الجزء سيناقش العمليات الحيوية التي تحدث داخل وحدات الأكوابونيك عبر مناقشة المفاهيم والعمليات الرئيسة المعنية بما في ذلك عملية التأزت ومن ثم سيتطرق للدور الحيوي للبكتيريا والعمليات الحيوية الرئيسة. وأخيرا سيتناول أهمية تحقيق التوازن بين النظام البيئي للزراعة فى وحدات الأكوابونيك الذي يتكون من الأسماك والنباتات والبكتيريا بما في ذلك كيفية تحقيقه مع الحفاظ على وحدات الأكوابونيك مع مرور الوقت.

العناصر الحيوية المهمة لوحدات الأكوابونيك

كما ذكر سابقا فإن الزراعة في نظم الأكوابونيك هي شكل من أشكال الزراعة المتكاملة التي تجمع بين اثنتين من التقنيات الرئيسة: تربية الأحياء المائية، والزراعة المائية. في وحدة

واحدة تقوم بإعادة التدوير بشكل مستمر، تعيش الأسماك في حوض يحتوي على المخلفات الحيوية للأسماك، ومن أجل ذلك فإن هذه العملية تسير وفق الخطوات التالية: أولا يمر الماء من خلال مرشح ميكانيكي يلتقط المخلفات الصلبة (بقايا العليقة ومخلفات الأسماك) ومن ثم يمر من خلال مرشح حيوي يقوم بأكسدة الأمونيا إلى نترات، ثم ينتقل الماء عبر البيئات التي تنمو فيها النباتات فتمتص النباتات المواد المغذية منه، وأخيرا يعود الماء إلى حوض الأسماك منقى (الشكل 10–6). ويوفر المرشح الحيوي بيئة ملائمة للبكتيريا التي تعمل على تحويل المخلفات العضوية للأسماك إلى عناصر غذائية معدنية سهلة الزوبان في الماء ثم يتم امتصاصها من قبل النباتات، ومن فوائد هذه العملية التي تقوم على تنظيف الماء ومنع تسمم الأسماك بالصور الضارة من النتروجين (الأمونيا والنتريت)، وبالتالي فإنه يسمح للأسماك والنباتات والبكتيريا بأن تزدهر في تناغم تام. وهكذا تعمل كل الكائنات الحية معا لخلق بيئة صحية متزايدة لبعضها البعض، شريطة أن يكون نظاما متوازنا.

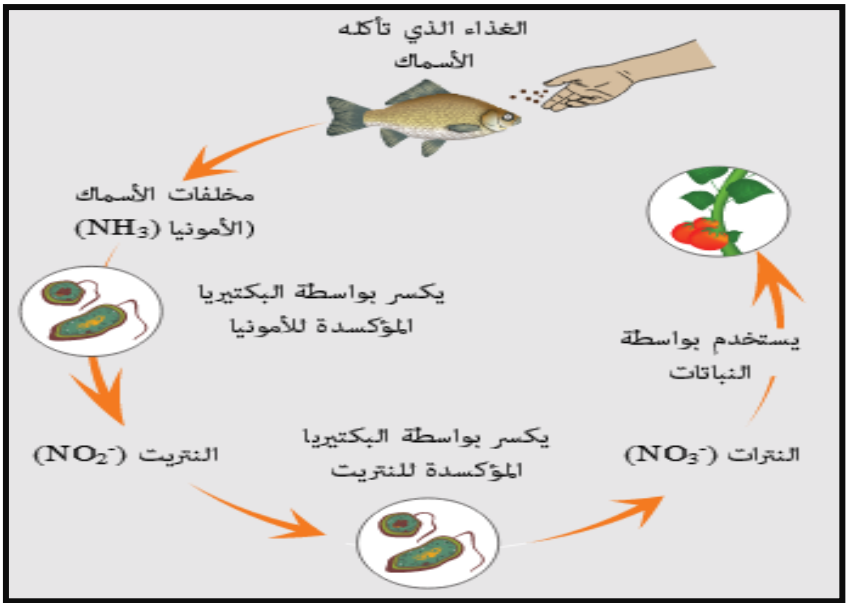


شكل (10–6) يبين دور : الأسماك، والنبات، والبكتيريا في وحدة زراعة الأكوابونيك

دورة النتروجين

إن البكتيريا الآزوتية التي تعيش في بيئات متنوعة مثل: التربة، والرمال، والماء، والهواء، هي عنصر أساسى في عملية المعدنة التي من خلالها يتم تحويل المخلفات النباتية والحيوانية إلى عناصر غذائية صالحة للإمتصاص من قبل النباتات.

ونفس العملية التى تحدث في التربة تحدث أيضا في المياه بالطريقة نفسها كما في الزراعة فى وحدات الأكوابونيك حيث أن المخلفات العضوية هي إفرازات الأسماك التي يتم إطلاقها في خزانات التربية مع وجود البكتيريا الآزوتية التى تعمل على تحويل الأمونيا من مخلفات الأسماك إلى نترات يمكن امتصاصها بسهولة بواسطة النباتات (الشكل 10–7).



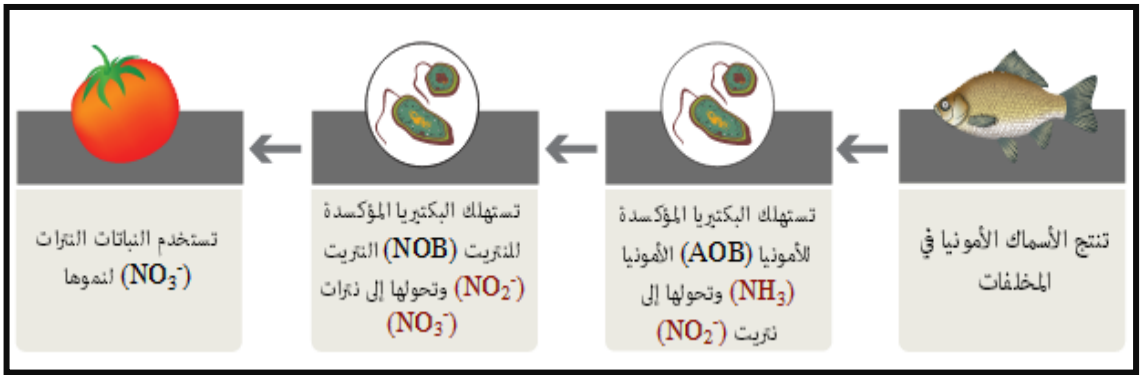
شكل (10–7) رسم توضيحي لتدفق النتروجين في نظم الأكوابونيك

المرشح الحيوي

تعتبر البكتيريا الآزوتية مهمة للأداء العام لوحدة وحدات الأكوابونيك، وفي هذا السياق نشير إلى مجموعتين رئيستين من البكتيريا الآزوتية في عملية التأزت، وهما:

1) البكتيريا المؤكسدة للأمونيا Nitrosomonas (AOB) والتى تحويل الأمونيا (NH_3) إلى نتريت (NO_2).

البكتيريا المؤكسدة للنتريت Nitrobacter (NOB) والتى تحويل النتريت (NO_2) إلى نترات (NO_3).والشكل شكل (10-8) يبين ذلك.



شكل (10–8) عملية التأزت في نظم الأكوابونيك

وباختصار فإن النظام البيئي داخل وحدة الزراعة فى وحدات الأكوابونيك يعتمد كليا على البكتيريا، وفي حالة عدم وجود البكتيريا، أو إذا كانت تعمل بشكل غير صحيح، فستصل تركيزات الأمونيا في الماء إلى مستويات قاتلة للأسماك. فمن الأهمية بمكان الحفاظ

على متابعة المستعمرة البكتيرية بشكل صحي في النظام في جميع الأوقات من أجل الحفاظ على نركيزات بمستويات قريبة من الصفر للأمونيا.

الحفاظ على مستعمرة بكتيرية صحية

العايير الرئيسة التي تؤثر على نمو البكتيريا، والتي يجب أخذها في الاعتبار عند المحافظة على المرشح الحيوي صحيا هي المساحة الكافية لنمو البكتيريا والمياه بالشروط المناسبة، كما هي موضحة أدناه.

مساحة سطح مستعمرة بكتريا التأزت

تزدهر المستعمرات البكتيرية على أية مادة، مثل: جذور النباتات، وعلى طول جدران خزان الأسماك، وداخل جميع الأنابيب. وإن إجمالي المساحة المتاحة لهذه البكتيريا ستحدد مقدار النترات المتوافرة للنبات. كما أن الأنظمة التي بها كثافة عالية من الأسماك تتطلب أن يكون عنصر الترشيح الحيوي منفصلا ويحتوي على بيئة توفر مساحة سطح عالية مثل البيئات الخاملة كالحصى، أو الحجارة المسامية (Tuff) ، أو كريات الطين (Expanded clay) شكل (10–9)

شكل (10–9) مرقد نمو للأكوابونيك مليء بالحصى البركاني يوفر مساحة مسطحة كبيرة لنمو البكتيريا

الرقم الهيدروجيني للمياه (pH)

يعتبر الرقم الهيدروجيني للماء ذو تأثير كبير على النشاط الحيوي للبكتيريا الآزوتية وقدرتها على تحويل الأمونيا والنيتريت و المدى لمناسب للمجموعات الآزوتية طبقاً للبحوث العلمية المنشورة عن البكتيريا تشير إلى أن قوة التحمل فى مدى (6–

8,5) بسبب قدرة البكتيريا على التكيف مع محيطها. ومع ذلك فإن نطاق درجة الحموضة الأكثر ملاءمة في أنظمة الأكوابونيك هو(من6 إلى 7) وذلك لأنه الأفضل بالنسبة للنباتات والأسماك.

درجة حرارة المياه

درجة حرارة الماء من العناصر المهمة للبكتيريا والزراعة فى وحدات الأكوابونيك بشكل عام ودرجة الحرارة المثالية لنمو البكتيريا هو ما بين 17–34° م، فإذا انخفضت درجة حرارة الماء إلى أقل من 17°م سيؤدى ذلك إلى انخفاض نشاط البكتيريا فإذا انخفضت درجة حرارة الماء إلى أقل من 10°م فسيؤدى ذلك إلى انخفاض إنتاجية البكتيريا بنسبة 50 ٪ أو أكثر.

الأكسجين المذاب

تحتاج البكتيريا الآزوتية إلى مستوى كاف من الأكسجين المذاب في الماء Dissolved Oxygen (DO) في جميع الأوقات من أجل الحفاظ على مستويات عالية من الإنتاجية مع العلم أن التأزت هى الأكسدة للأمونيا حيث يستخدم الأكسجين كمادة أساسية تقوم على إحداث التفاعل الكيميائي وبدون الأكسجين يتوقف التفاعل وإن المستويات المثلى للأكسيجين المذاب (DO) في الماء هي (4 – 8 مجم/ لتر). وستنخفض النترجة إذا كان انخفاض تركيز الأكسجين المذاب في الماء أقل من 2 مجم/ لتر. وعلاوة على ذلك ففي حالة عدم توافر الأكسجين المذاب بنسب كافية فإنه يتم نمو البكتيريا اللاهوائية، من شأنها تحويل النترات مرة أخرى إلى النتروجين الجزيئي غير الصالح للاستعمال في العملية المعروفة باسم عكس التأزت.

الآشعة فوق البنفسجية Ultraviolet (UV)

البكتيريا الآزوتية هي كائنات حساسة للضوء وهذا يعني أن الأشعة فوق البنفسجية (UV) من الشمس تشكل تهديدا لها، وخاصة خلال التجهيز الأولي لمستعمرات البكتيريا عند تركيب نظام جديد للأكوابونيك. وبمجرد أن تنمو وتستعمر البكتيريا الأسطح لمدة من ثلاثة إلى خمسة أيام فالأشعة فوق البنفسجية لن تشكل مشكلة كبرى والطريقة البسيطة لإزالة هذا التهديد هي تغطية حوض الأسماك ومكونات الترشيح بالمواد الواقية للأشعة فوق البنفسجية ولذا يجب عدم تعرض النظام لأشعة الشمس على الأقل حتى يتم تشكيل مستعمرات البكتيريا بشكل كامل و المدى المناسب للبكتيريا الآزوتية لعناصر جودة المياه موضح فى جدول (10 – 1).

جدول (10 – 1) المدى المناسب للبكتيريا الآزوتية لعناصر جودة المياه

	درجة الحرارة (°م)	pH	الأمونيا (ملغم/ لتر)	النتريت (ملغم/لتر)	النترات (ملغم/لتر)	الأكسيجين المذاب (ملغم/لتر)
مدى التسامح	34–17	8,5–6	3>	3>	400>	8–4

التوازن البيئي لنظم الأكوابونيك

يتم استخدام مصطلح (موازنة) لوصف جميع التدابير التي يأخذها المزارع الذي يعمل في نظام الأكوابونيك هذا يعني ببساطة أن هناك توازنا بين كمية الأسماك وكمية النباتات وحجم المرشح الحيوي والأخير يعني في الواقع كمية البكتيريا.

هناك نسب تجريبية بين حجم المرشح الحيوي وكثافة النباتات وكثافة الأسماك للزراعة فى وحدات الأكوابونيك، وليس من الحكمة أن لا تعمل الوحدة خارج هذه النسب المثلى لتجنب المخاطرة بعواقب وخيمة قد تطرأ على النظام البيئى للوحده. كما يجب على الممارسين المتقدمين للزراعة فى وحدات الأكوابونيك القيام بالتجارب اللازمة لضبط هذه النسب وسيوفر هذا الجزء فكرة وجيزة وضرورية لتحقيق التوازن للنظام.

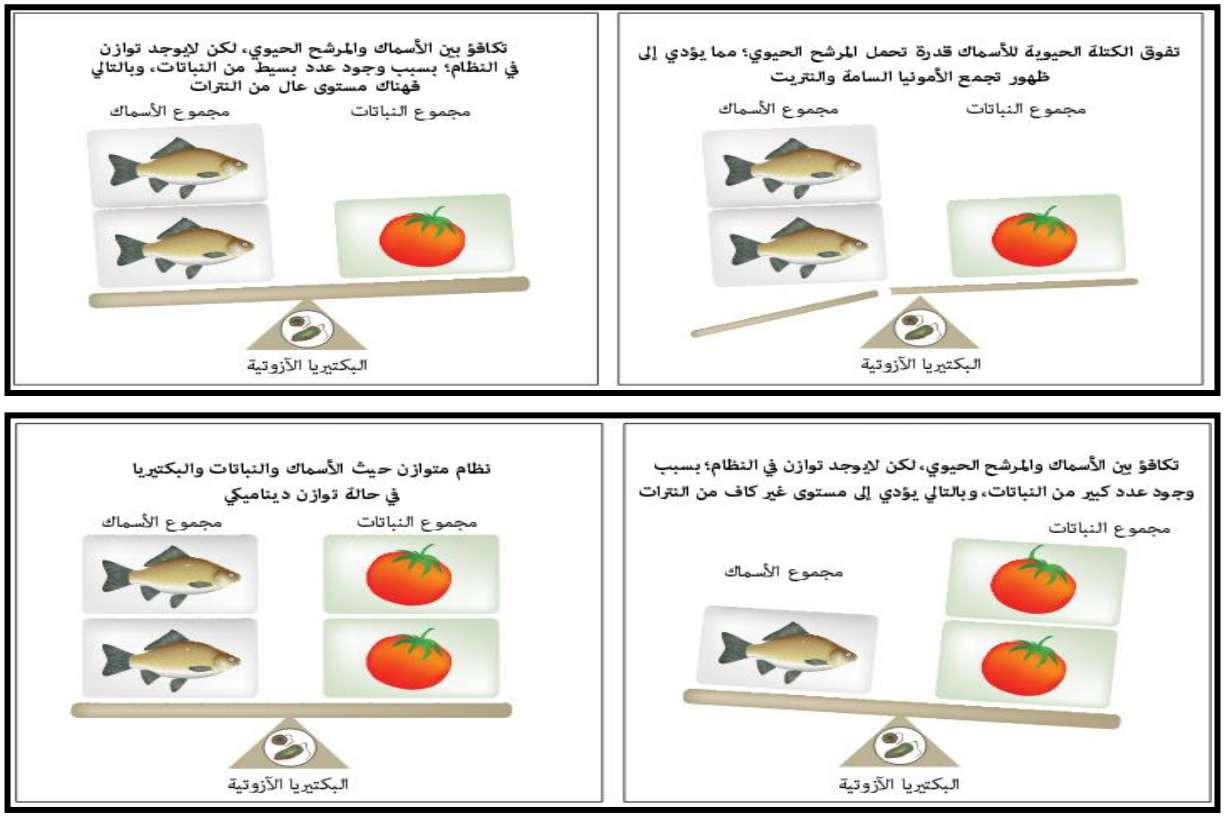
توازن النترات

يمكن مقارنة التوازن في نظام وحدات الأكوابونيك بنطاق موازنة حيث الأسماك والنباتات هي الأوزان التي توضع على أذرع الميزان عكس بعضها و أذرع الميزان هي البكتيريا الآزوتية وبالتالي فمن الأساسي أن يكون الترشيح الحيوي قوي بما فيه الكفاية وذلك لدعم العنصرين الآخرين، وهذا يتوافق مع سمك الذراع شكل (10–10) وفى حالة أن الأذرع لم تكن قوية بما يكفي لدعم كمية مخلفات الأسماك يحدث كسر للذراع وهذا يعني أن الترشيح الحيوي لم يكن كافيا.

من الشكل نجد أن هناك أربع حالات من التوازن الأولى منها فى حالة زيادة كثافة الأسماك ولا يقابلها ماينا سبها من البكترية فى المرشح الحيوى (لاحظ سمك الزراع رفيع) هذا يؤدى إلى تجمع الأمونيا والنتريت وهذا يضر بالأسماك. وفى الحالة الثانية نجد أن المرشح الحيوى متكافىء مع كثافة الأسماك وفى تفغس الوقت كثافة النباتات أقل من المطلوب، هنا يحدث تراكم

للنترات والعناصر المغذية مع العلم بأن ليس هناك ضرر على كل من النبات و الأسماك. وفى الحالة الثالثة يوجد توازن بين الأسماك والمرشح الحيوى ولكن كثافة النباتات عالية وبالتالى يحدث إستهلاك عالى من النترات والعناصر الغذائية مما يؤدى إلى نقص النترات. وأخيراً فى الحالة الرابعة نجد أن هناك توازن بين مكونات النظام الثلاث.

والدرس المستفاد هو أن تحقيق الحد الأقصى من الإنتاج من وحدات الأكوابونيك يتطلب الحفاظ على توازن مناسب بين مخلفات الأسماك وإحتياج النباتات من العناصر الغذائية، مع ضمان مساحة كافية لتنمو مستعمرة البكتيريا من أجل تحويل جميع مخلفات الأسماك. ويظهر هذا السيناريو متوازنا في الشكل السابق ويشار أيضا إلى هذا التوازن بين الأسماك والنباتات بنسبة الكتلة الحيوية



شكل (10–10) العلاقه بين الكتلة الحيوية للأسماك وحجم المرشح الحيوي

نسبة معدل الأعلاف

إن نسبة معدل التغذية هي محصلة المتغيرات الثلاثة الأكثر أهمية و هي: كمية الغذاء اليومي لأعلاف الأسماك (جرام في اليوم الواحد)، ونوع النبات (الخضري أو المثمر)، ومساحة النباتات التي تنمو في المتر المربع.

معدلات التغذية اليومية التي يوصى بها للأسماك هي:

الخضر الورقية 40–50 جراما من العلف لكل متر مربع يوميا

الخضر الثمرية 50–80 جراما من العلف لكل متر مربع يومي

ملاحظة صحة النباتات و الأسماك

غالبا ما تكون الأسماك أو النباتات غير الصحية تحذيرا بأن النظام خارج عن التوازن. كما أن أعراض النقص في النباتات عادة ما تكون مؤشرا على ضعف كفاية العناصر الغذائية الناتجة عن مخلفات الأسماك. ونقص العناصر الغذائية في كثير من الأحيان يظهر بشكل واضح كضعف في النمو، واصفرار في الأوراق ونمو جذري ضعيف وفي هذه الحالة يمكن زيادة كثافة الأسماك والأعلاف (إذا أكلتها الأسماك) أو يمكن إزالة النباتات. وبالمثل إذا شوهدت على الأسماك علامات الإجهاد مثل: مشاهدة الأسماك تلهث على سطح الماء وفرك جسمها بجوانب الخزان أو ظهور المناطق الحمراء حول الزعانف والعيون والخياشيم أو في الحالات القصوى الموت فغالبا ما يكون ذلك بسبب تراكم الأمونيا السامة أو مستويات النتريت. هذا ما يحدث غالبا عندما يكون هناك الكثير من المخلفات التي يجب على المرشح الحيوي معالجتها. إن هذه الأعراض على الأسماك أو النباتات تشير إلى أن المزارع يحتاج إلى أن يتحقق من المسببات وتصحيح السبب.

إختبار النتروجين

تتضمن هذه الطريقة اختبار مستويات النتروجين في المياه باستخدام عدة وسائل لاختبار المياه إذا كانت نسب الأمونيا أو النتريت مرتفعة (>1 مجم/ لتر) فإن هذا يشير إلى أن الترشيح الحيوي غير كاف وينبغي زيادة مساحة السطح الحيوي المتاحة. ومعظم الأسماك لاتتحمل هذه المستويات لأكثر من بضعة أيام. وبالتالي يتطلب الأمر زيادة مستوى النترات ويعني ذلك لابد من توافر مستويات كافية من العناصر المغذية الأخرى اللازمة لنمو النبات. ويمكن للأسماك أن تتحمل مستويات مرتفعة من النترات ولكن إذا استمر عند مستويات عالية (>150 مجم/ لتر) لعدة أسابيع فهذا فيلزم إزالة بعض الماء على أن يستخدم في ري المحاصيل الأخرى. أما إذا كانت مستويات النترات منخفضة (<10مجم/ لتر) على مدار عدة أسابيع فيمكن زيادة أعلاف الأسماك بنسبة طفيفة للتأكد من وجود ما يكفي من العناصر الغذائية للخضراوات. وتجدر الإشارة إلى أنه يوصى باختبار مستويات النتروجين كل أسبوع للتأكد من أن النظام متوازن بشكل صحيح.

ملخص ما سبق

• الأكوابونيك هي نظام إنتاج يجمع بين تربية الأسماك وإنتاج الخضر بدون تربة في نظام مغلق واحد.

• تحول البكتيريا الآزوتية مخلفات السمك (الأمونيا) إلى عناصر غذائية للنبات (نترات).
• عملية التأزت التي تحدث في التربة تحدث أيضا في نظام وحدات الأكوابونيك.
• أهم عنصر حيوي في الأكوابونيك هي البكتيريا، ولا يمكن مشاهدتها بالعين المجردة.
• العوامل الرئيسة للحفاظ على البكتيريا صحية هي درجة حرارة الماء، ودرجة الحموضة، والأكسجين المذاب، وتوافر مساحة كافية لنمو البكتيريا.
• أنظمة وحدات الأكوابونيك الناجحة في حالة توازن. معدل نسب التغذية (feed rate ratio) هي الخط التوجيهي الرئيس لتحقيق التوازن بين كمية أعلاف الأسماك ومساحة زراعة النباتات، والتي تقاس بوحدة (جراما من العلف/ يوم/ متر^2 من مساحة زراعة النباتات).
• نسبة معدل تغذية الخضراوات الورقية هي: (40–50 جراما/م^2/اليوم)، أما الخضراوات الثمرية فنسبتها (50 –80 جراما/م^2/اليوم).
• المراقبة الصحية اليومية للأسماك والنباتات ستعطي نتائج عن التوازن في النظام، فالمرض، ونقص التغذية، والموت هي أعراض نظام غير متوازن.
• اختبار المياه يوفر معلومات عن توازن النظام، فارتفاع الأمونيا أو النتريت يشير إلى عدم كفاية الترشيح الحيوي، وانخفاض النترات يشير إلى وجود العديد من النباتات، وكذلك وجود نسبة غير كافية من الأسماك. كما أن زيادة النترات مرغوب فيه، ويشير إلى وجود وفرة في العناصر الغذائية الكافية للنباتات، على الرغم من ذلك فإنه يجب تغيير الماء عندما يصل مستوى النترات إلى أكثر من150 مجم/لتر.

جودة المياه في نظم الأكوابونيك

الماء هو شريان الحياة بالنسبة لنظام الأكوابونيك. وهو الوسط الذي يتم من خلاله نقل جميع العناصر الغذائية الدقيقة الأساسية للنباتات. والوسط الذي من خلاله تحصل الأسماك على الأكسجين. وبهذا فهو واحد من أهم النقاط التي يجب مراعاتها جيدا في هذا النظام والتعامل معها بوعي تام حيث أن كل كائن في وحدة الأكوابونيك (الأسماك – النباتات– البكتيريا) لديه نطاق محدد لتحمل التغير في كل عنصر من عناصر جودة المياه كما هو موضح فى (الجدول10–2) ورغم أن نطاقات التحمل تتشابه نسبيا لجميع الكائنات الثلاثة، إلا أن هناك حاجة إلى حل وسط، وبالتالي بعض الكائنات الحية قد لا تعمل بالمستوى الأمثل وجدول (10–3) يوضح المدى المثل للكائنات الثلاثة مجتمعة.

جدول (10 – 2) المدى الملائم لتحمل الأسماك (المياه الدافئة أو المياه الباردة) ونباتات الزراعة المائية والبكتيريا الآزوتية لعناصر جودة المياه

نوع الكائن	درجة الحرارة (°م)	pH	الأمونيا (ملغم/لتر)	النتريت (ملغم/لتر)	النترات (ملغم/لتر)	الأكسيجين المذاب (ملغم/لتر)
أسماك المياه الدافئة	32–22	8,5–6	3>	1>	400>	6–4
أسماك المياه الباردة	18–10	8,5–6	1>	0,1>	400>	8–6
نباتات	30–16	7,5–5,5	30>	1>	–	3<
بكتيريا	34–14	8,5–6	3>	1>	–	8–4

جدول (10 – 3) الحدود المثالية لعناصر جودة المياة بنظام الكوابونيك كحل وسط للكائنات الثلاثة

نوع الكائن	درجة الحرارة (°م)	pH	الأمونيا (ملغم/لتر)	النتريت (ملغم/لتر)	النترات (ملغم/لتر)	الأكسيجين المذاب (ملغم/لتر)
الزراعة الأحيومائية	30–18	7–6	1>	1>	150–5	5<

أما نطاق درجات الحرارة عموما فيتراوح بين 18 و 30°م، وينبغي الأخذ في الاعتبار أنواع الأسماك المستهدفة.

لذا ينصح بتوفير أدوات قياس المياه لكل وحدة من وحدات الأكوابونيك. وتتوافر مجموعات من أدوات اختبار المياه العذبة شكل (10–11) والتي تعطي إختبارات وصفية لونية وسهلة الاستخدام وتشمل مجموعات الاختبارات هذه كاشفات لقياسات: درجة الحموضة، والأمونيا، والنتريت، والنترات، والعسر الدائم، وعسر الكربونات. ويتم عند إجراء كل فحص بإضافة 5 ملليلتر من ماء الزراعة إلى الكاشف فينتج لون معين خاص بالمراد قياسة ويقارن هذا اللون بالألوان القياسية للإختبار ومن ثم يمكن معرفة الرقم التقريبي، وكل اختبار من هذه الاختبارات لا يستغرق أكثر من خمس دقائق ويمكن إجراء تلك اختبارات أسبوعياً.

شكل (10–11): أدوات فحص المياه المستخدمة لدرجة الحموضة (pH)، والأمونيا، والنترات والنتريت. يتم تحديد القيم من خلال مقارنة لون مياه الاختبار مع البطاقة المرجعية

ملخص فحص جودة المياه

• الماء هو شريان الحياة لنظام الأكوابونيك حيث انها هي الوسيلة التي تحصل من خلالها النباتات على العناصر الغذائية، وتحصل من خلالها الأسماك على الأكسجين. ومن المهم جدا أن نعرف نوعية المياه والكيمياء الأساسية للمياه؛ من أجل الإدارة السليمة لوحدة الأكوابونيك.

• هناك عناصر رئيسة لجودة المياه في وحدات الأكوابونيك: الأكسجين المذاب (DO) ، ودرجة الحموضة (pH) ، ودرجة حرارة المياه، ومجموع تركيزات النتروجين وصوره.

• يتم الإكتفاء بالمدى الملائم من تلك العناصر على عناصر الإنتاج مجتمعة .

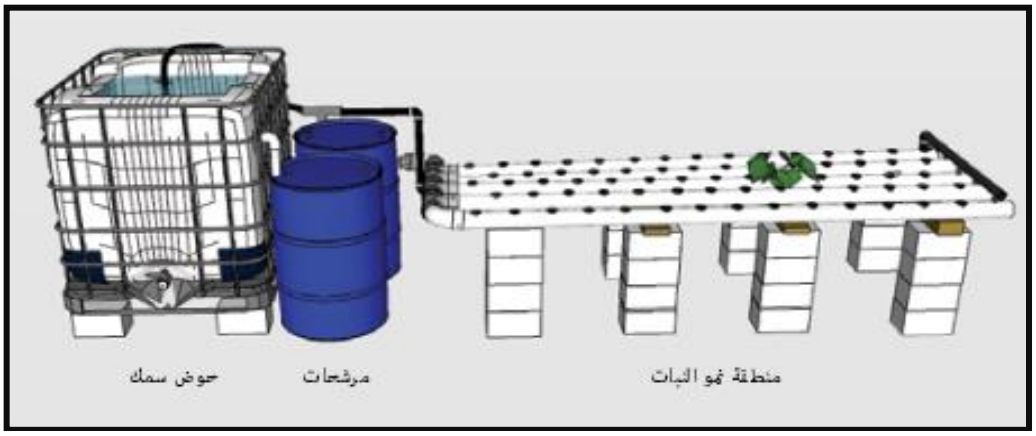
•يتراوح المدى الملائم لعناصر جودة المياه كما يلي:

درجة الحموضة (pH)	**7–6**
درجة حرارة الماء	**30–18°م**
الأكسجين المذاب	**8–5 مجم / لتر**
الأمونيا	**0 مجم / لتر**
النتريت	**0 مجم / لتر**
النترات	**150–5 مجم / لتر**
عسر الكربونات (صلابة الكربونات)	**140–60 مجم / لتر**

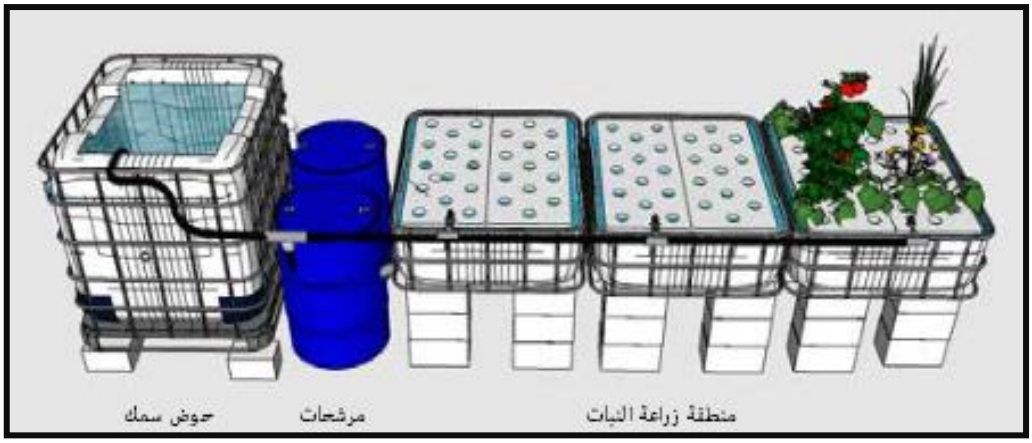
تصميم وحدات الأكوابونيك

سيناقش هذا الجزء الجانب النظري لتصميم وحدات الأكوابونيك. كما سيتم مناقشة العوامل التي يجب أخذها في الاعتبار عند اختيار موقع لوحدة الأكوابونيك بما في ذلك: أشعة الشمس، والرياح، والتعرض للمطر، ومتوسط درجة الحرارة، وغيرها من العوامل الأخرى. وسيناقش أيضا مكونات نظم الأكوابونيك بما في ذلك: مضخات حوض الأسماك، والماء، والهواء، والمرشح الحيوي، وطريقة نمو النباتات، والسباكة، والمواد المرتبطة بها. ثم ستتم مناقشة عنصر الزراعة بنظم الهيدروبونيك بمزيد من التفصيل، مع التركيز على الأساليب الثلاثة الأكثر شيوعا واستخداماتها في نظم الأكوابونيك طبقاً لنوع بيئات نمو النباتات ومنها تقنية البيئات الصلبة تقنية الأغشية المغذية وتقنية الزراعة بواسطة المياه العميقة كما في الأشكال (10-12) (10-13) (10-14) (10-15)

شكل (10-12) رسم توضيحي لوحدة مرقد بيئات النمو الصلبة على نطاق صغير



شكل (10-13) رسم توضيحي لوحدة على نطاق صغير تعمل بتقنية الأغشية المغذية NFT



شكل (10-14) رسم توضيحي لوحدة صغيرة تعمل بتقنية الزراعة بواسطة المياه العميقة

شكل (10-15) مثال على وحدة مرقد بيئات النمو تم تجميعها باستخدام حاويات البيئات السائلة

بعض النقاط المهمة الواجب مراعتها عند إختيار مكان وحدات الأكوابونيك

اختيار الموقع

يعتبر اختيار الموقع أمرا مهما يجب مراعاته قبل إنشاء وحدات الأكوابونيك. فمن المهم أن نتذكر أن بعض مكونات النظام خاصة الماء والحجارة وبيئات نمو النباتات ثقيلة ويصعب نقلها لذلك يستحسن بناء النظام في المكان النهائي و الثابت، وينبغي أن تكون المواقع منتقاة على سطح مستقر ومستو في منطقة محمية من حالات الطقس القاسية، وفي الوقت نفسه يجب

التأكد من أن هذه المنشآت تتعرض لأشعة الشمس لفترات كافية سواء كان فى حقل مكشوف أو فى بيوت محمية.

الاستقرار

تأكد من اختيار الموقع المستقر والمستوي لأن بعض المكونات الرئيسة لنظام وحدات الأكوابونيك ثقيلة الوزن مما يؤدي إلى مخاطر محتملة ناتجة حدوث خلل فى درجة إستواء السطح المقام علية الوحدة مما يؤدي ذلك إلى تعطيل تدفق المياه بيسر أو انهيار للوحدة، ومن هنا من المهم إختيار موقع مستو ذي أرضية صلبة وتعتبر الأرضية المصنوعة من الخرسانة مناسبة لمنع نمو الأعشاب الضارة بالإضافة إلى ذلك يوضع الكتل الخرسانية أو الأسمنت تحت أرجل أحواض بيئات نمو النباتات وذلك لتحسين الاستقرار، وغالبا ما تستخدم بلوكات من الحجارة. علاوة على ذلك فمن المهم أن توضع أحواض الأسماك على قاعدة وهذا سيساعد على حماية الأحواض وترك مساحة تحت الأحواض لأعمال السباكة والصرف من قاع الأحواض وعزل الأحواض حراريا من الأرض إذا تطلب الأمر ذلك.

التعرض للرياح والأمطار والثلوج

يمكن أن تعمل الظروف البيئية القاسية على التأثير على النباتات وتدمير الهياكل ، كما يمكن للرياح السائدة القوية أن تؤثر بشكل سلبي وقوى على الإنتاج النباتي، بالإضافة إلى ذلك يمكن للأمطار القوية أن تضر بالنباتات والوصلات الكهربائية غير المحمية، كما يمكن للأمطار الغزيرة أن تخفف من المغذيات الذائبة في المياه. ويسبب الثلج أيضا نفس المشاكل الناتجة عن الأمطار الغزيرة، مع تهديد إضافي آخر وهو البروده. فمن المستحسن أن يوضع النظام في منطقة محمية من الرياح، لاسيما إذا كانت الأمطار الغزيرة شائعة الحدوث. وقد يكون مجديا حماية النظام بطوق من البلاستيك، على الرغم من أن هذا قد لا يكون ضروريا في جميع المواقع.

التعرض لأشعة الشمس والظل

أشعة الشمس أمر بالغ الأهمية بالنسبة للنباتات وعلى هذا النحو تحتاج النباتات لتلقي الكمية الأمثل من ضوء الشمس أثناء النهار حيث تنمو معظم النباتات الشائعة في وحدات الأكوابونيك بشكل جيد في ظروف الشمس الكاملة، ولكن مع ذلك فإذا كان ضوء الشمس كثيفا جدا يمكن تركيب هيكل الظل البسيط على الوحدة حيث أن بعض النباتات حساسة لأشعة الشمس، مثل: الخس، وسلطة الخضر، وبعض أنواع الملفوف تصبح ذات طعم مر وغير

مستساغة. من ناحية أخرى ومع أشعة الشمس غير الكافية يمكن لبعض النباتات أن تشهد معدلات نمو بطيئة، ويمكن تجنب هذا الوضع عن طريق وضع وحدة الأكوابونيك في مكان مشمس. أما إذا كانت المنطقة الظليلة هي الموقع الوحيد المتوافر فمن المستحسن زراعة الأنواع التي تتحمل الظل. وينبغي تصميم الأنظمة للاستفادة من حركة الشمس عندما تنتقل من الشرق إلى الغرب. عموما ينبغي ترتيب مراقد الزراعة مكانيا بحيث يكون الضلع الأطول على محور الشمال والجنوب، وهذا سيسمح بالإستفادة من الشمس بكفاءة أكثر خلال النهار. أما إذا كانت نسبة الضوء المنخفضة هي المفضلة فلابد من توجيه الأسرة والأنابيب والقنوات إلى محور الشرق والغرب. ويجب ترتيب النباتات بحيث لا تقوم النباتات عن غير قصد بتظليل الواحدة للأخرى ومع ذلك فمن الممكن استخدام النباتات طويلة الساق من أجل تظليل النباتات الحساسة من الضوء وخصوصا بعد الظهر، عن طريق وضع النباتات طويلة الساق في الجانب الغربي أو توزيعها بشكل متناثر.

على عكس النباتات فإن الأسماك لا تحتاج لأشعة الشمس المباشرة، ومن المهم لأحواض الأسماك أن تكون في الظل. وعادة مايتم تغطية أحواض الأسماك بمادة قابلة للإزالة يتم وضعها فوق الحوض (الشكل (10-16)، فإذا كان ذلك ممكنا فمن الأفضل عزل أحواض الأسماك باستخدام هيكل تظليل منفصل وذلك سيمنع نمو الطحالب، وستساعد على الحفاظ على درجة حرارة الماء مستقرة خلال النهار. ومن المهم منع أوراق الشجر والفضلات العضوية من دخول أحواض الأسماك حيث يمكن للأوراق المتحللة أن تعمل على تلوين المياه وتؤثر كيميائيا على المياه وتسد الأنابيب. ويضاف إلى ذلك أن أحواض الأسماك قد تكون عرضة للحيوانات المفترسة وللوقاية من كل هذه التهديدات يستخدم التظليل الشبكي أو أي نوع من التظليل على حوض الأسماك.

شكل (10–16) مواد تظليل (زرقاء) تقلل من ضوء الشمس على حوض الأسماك

المرافق العامة، والأسوار وسهولة الوصول إلى الموقع

عند اختيار الموقع من المهم النظر في توافر المرافق العامة مثل مصادر الكهربائية نظرا للحاجة لمضخات الماء والهواء، وينبغي أن تكون هذه المصادر محمية من المياه وذلك للحد من خطر حدوث صدمة كهربائية ويمكن إستخدام محولات كهربائية لهذا الغرض. بالإضافة إلى ذلك فإنه ينبغي أن يكون الوصول إلى مصدر الماء سهل وبالمثل يجب النظر في طريقة تصريف المياه المستخدمة في الوحدة، فعلى الرغم من أن هذا النظام ذو كفاءة عالية في استخدام المياه إلا أن أنظمة الأكوابونيك تتطلب أحيانا تغييرا للمياه وتحتاج المرشحات أو المنقيات إلى أن تغسل أو تشطف. ومن المستحسن أن زراعة بعض النباتات فى التربة في مكان قريب من الوحدة لكي تستفيد من هذه المياه المنصرفة. ويجب أن يكون النظام موجودا في موقع يسهل الوصول إليه يوميا، وذلك للمراقبة المتكررة والتغذية اليومية. وأخيرا يجب النظر فيما إذا كان لابد من وضع سياج حول الوحدة أم لا. كما قد تكون في بعض الأحيان السياج والتسوير مطلوبة وذلك لمنع السرقة والتخريب والآفات الحيوانية.

اعتبارات خاصة: وحدات الأكوابونيك على أسطح البنايات والمساكن

إن أسطح المساكن في كثير من الأحيان هي مواقع مناسبة للأكوابونيك؛ لأنها مستوية ومستقرة، ومعرضة لأشعة الشمس (شكل10-17) . وعند بناء النظام على السطح فإنه من الأهمية بمكان، النظر في الوزن الكلي للنظام وهل قدرة السقف على تحمل هذا الوزن؟ ولذا فلا بد من التشاور مع مهندس معماري، أو مهندس مدني قبل عملية الإنشاء. بالإضافة إلى ذلك يجب التأكد من أن المواد التي ستستعمل يمكن أن يتم نقلها بشكل آمن وفعال إلى الموقع على السطح.

شكل (10-17) : وحدة تعمل بتقنية الزراعة بواسطة مرقد بيئات النمو على سطح مبنى (اليمين)

أصناف متعددة من الخضار تنمو على سطح مبنى في نظام تقنية الأغشية المغذية (اليسار)

البيوت المحمية وهياكل التظليل

إن البيوت المحمية (Greenhouse) ليست ضرورية لوحدات الأكوابونيك صغيرة الحجم ولكنها قد تكون مفيدة مع طول موسم النمو في بعض المناطق. والبيوت المحمية تستخدم للحفاظ على درجة حرارة الماء دافئة خلال الأشهر الباردة، وبالتالي السماح للإنتاج على مدار العام. شكل (10-18) وحدة زراعة أكوابونيك صغيرة داخل بيت محمي (اليمين) وأخرى جديدة تم تحضيرها داخل بيت محمي (اليسار)

تكون البيوت المحمية مبنية من إطار من الخشب أو المعدن أو من البلاستيك، ويغطيها النايلون الشفاف البلاستيك أو الزجاج او الشبك من الخيوط طبقا للظروف المناخية للمنطقة. والغرض من هذا الهيكل هو السماح لأشعة الشمس بالدخول إلى البيت المحمي واحتباس الحرارة فيه، ومن ثم الاحتفاظ بها حتى تبدأ بتسخين الهواء داخل البيت المحمي (الاحتباس لحراري). وعندما تبدأ الشمس الإختفاء يتم الاحتفاظ بالحرارة في البيت المحمي بواسطة السقف والجدران

الذي من شأنه جعل درجة حرارة الهواء أكثر دفئا وأكثر استقرارا خلال فترة 24 ساعة. كما أن البيوت المحمية توفر حماية عامة للبيئة من الرياح والثلوج والأمطار الغزيرة، وتعمل البيوت المحمية أيضا على تمديد موسم النمو بواسطة الاحتفاظ بدرجة حرارة الشمس المحيطة، ولكن في الوقت ذاته يمكن تسخينه من الداخل، كما يمكن للبيوت المحمية بأن تبعد الحيوانات وغيرها من الآفات، وتوفر أيضا الأمن ضد السرقة، وتساعد البيوت المحمية على العمل بارتياح خلال مواسم الشتاء الباردة ومواسم الصيف الحارة، كما توفر للمزارع حماية من تقلبات الطقس. ويمكن استخدام إطارات البيوت المحمية لدعم النباتات المتسلقة (النموات الرأسية) أو لتعليق المواد المظللة. إن مزايا البيت المحمي هذه إيجابية وتمكن من زيادة في الإنتاجية وفي تمديد موسم الحصاد.

شكل (10-18) وحدة زراعة أكوابونيك صغيرة داخل بيت محمي (اليمين) وأخرى جديدة تم تحضيرها داخل بيت محمي (اليسار)

ورغم ذلك هناك بعض العيوب للبيوت المحمية منها التكاليف الأولية يمكن أن تكون عالية، وهذا يعتمد على درجة التكنولوجيا والتطور المنشود، وتتطلب البيوت المحمية أيضا تكاليف تشغيل إضافية بسبب المراوح اللازمة لتدوير الهواء لمنع ارتفاع درجة الحرارة والظروف الرطبة بشكل مفرط. وبعض الأمراض والآفات الناتجة عن الحشرات هي أكثر شيوعا في البيوت المحمية؛ مما يعني استخدام ناموسيات الحشرات على الأبواب والنوافذ، على الرغم من أن هذه البيئة المحصورة يمكن أن تكون في مناسبة لآفات معينة.

بيت محمي شبكي لإيواء وحدات أكوابونيك

وتتكون البيوت المغطاة بالشباك من إطار مغطى بشبك على طول الجدران الأربعة، وسقف من البلاستيك. إن السقف البلاستيكي له أهمية خاصة حيث يمنع المطر من الدخول، وخاصة في المناطق التي بها مواسم أمطار شديدة. وتستخدم البيوت المحمية المغطاة بالشباك لإزالة التهديد والآفات الضارة وكذلك الطيور والحيوانات الكبيرة. ويمكننا اعتبار الحجم المثالي للشباك الذي يتم وضعه في الجهات الأربع باستخدام حجم شبك بمقاس 0,5 مم، ويمكن للبيوت المحمية المغطاة بالشباك أن توفر بعض الظل إذا كان ضوء الشمس شديدا جدا. وتتفاوت نسبة التظليل لمواد التظليل هذه بين 25و 60٪.

المكونات الأساسية لوحدة الأكوابونيك

جميع أنظمة وحدات الأكوابونيك لها عدة عناصر مشتركة وأساسية، والتي تتكون من: حوض للأسماك، ومرشح ميكانيكي، ومرشح حيوي، وخزانات / قنوات مائية. وتستخدم جميع هذه الأنظمة الطاقة الكهربائية لتدوير وتوزيع الماء عبر الأنابيب وتهوية المياه. وهناك ثلاثة تصميمات رئيسة لزراعة النباتات في هذه الأنظمة: صواني / مراقد الزراعة، وأنابيب الزراعة، وقنوات الزراعة. وسيناقش هذا القسم المكونات الرئيسية، بما في ذلك أحواض الأسماك، والمرشح الميكانيكي، والمرشح الحيوي، والسباكة، والمضخات. كما تم تخصيص فقرات لتقنيات الزراعة المائية المختلفة. وسيتم إجراء مقارنة لتحديد أنسب مزيج من التقنيات لعدة ظروف مختلفة.

حوض الأسماك

حوض الأسماك هو عنصر حاسم في كل وحدة، وبالتالي يجب اختيار حوض الأسماك المناسب بحكمة. وهناك عدة اعتبارات مهمة يجب أن تؤخذ في الاعتبار تكلفة وحدة الأكوابونيك، مراعاة تتطلب الأسماك لظروف معينة من أجل البقاء على قيد الحياة والنمو، بما في ذلك الشكل الحوض والمادة المصنوعة منه وأخيراً اللون.

شكل حوض الأسماك

على الرغم من أن أي شكل من أشكال الأحواض يمكن استخدامه للأسماك، إلا أن الأحواض ذات القيعان المستديرة والمسطحة هي الموصى بها، حيث إن الشكل الدائري للأحواض يسمح للمياه أن تدور بشكل موحد، وتساعد على نقل المخلفات الصلبة نحو مركز الخزان بواسطة قوة الجاذبية. أما الأحواض المربعة الشكل والقيعان غير المسطحة فهي مقبولة أيضاً ولكنها تتطلب إزالة المخلفات الصلبة بشكل مستمر. ومن الجهة الفنية فإذا تم إنشاء الخزانات بأشكال غير هندسية، مع العديد من المنحنيات والإنحناءات، قد يخلق مناطق ميتة في الماء تفتقر إلى تدوير المياه فيها، وفي هذه الحالة يمكن أن تتجمع المخلفات في المناطق الميتة وتعمل على خلق ظروف نقص الأكسجين والتي هي خطيرة للأسماك. وإذا كان لابد من استخدام حوض غريب الشكل يكون من الضروري إضافة مضخات المياه ومضخات الهواء لضمان تدوير المياه بالشكل السليم وإزالة المواد الصلبة منه. ومن المهم أن يتم اختيار حوض يناسب خصائص الأسماك التي يتم تربيتها في الوحدة؛ لأن العديد من الأنواع التي ترعى في القاع تظهر نموا أفضل وتبذل جهدا أقل مع وجود مساحة أفقية كافية.

المادة المصنوع منها حوض الأسماك

يوصى إما باستخدام المواد البلاستيكية الخاملة القوية، أو الألياف الزجاجية؛ بسبب متانتها وعمرها الطويل، ويجب تجنب المعادن بسبب عرضتها للصدأ والتآكل. بالنسبة للبلاستيك والألياف الزجاجية فهي مريحة للتركيب (السباكة)، وخفيفة إلى حد كبير. يجب أن يتم اختيارها من النوع المقاوم للأشعة فوق البنفسجية لأن أشعة الشمس المباشرة يمكن أن تدمر البلاستيك. وإجمالا فإن الأحواض المصنوعة من مادة البولي إثيلين منخفض الكثافة هي الأفضل بسبب المقاومة العالية، ولأنها تمتلك الخصائص الصالحة للاستخدامات الغذائية (food-grade) . وفي الواقع، فإن البولي إثيلين المنخفض الكثافة هو المادة الأكثر استخداما في تصنيع خزانات المياه للاستخدامات المدنية. وهناك خيار آخر هو البركة الأرضية لكن إدارتها للزراعة فى وحدات الأكوابونيك صعبة للغاية؛ لأن العمليات الحيوية الطبيعية تحدث

بالفعل في القاع والطين في الجزء السفلي من البركة، ويمكن أن يكون من الصعب التحكم فيها، وغالبا ما تستهلك النباتات المائية بها العناصر الغذائية في البركة قبل أن تصل إلى نباتات المزرعة. ويمكن التغلب على ذلك بتبطين البرك بالأسمنت أو بالبلاستيك وقد يكون ذلك خيارا غير مكلف. عموماً البرك الأرضية فيمكن أن تجعل عمليات السباكة صعبة وينبغي النظر بعناية في تصميم السباكة قبل الإقدام على هذا الخيار. إن أبسط أحواض الأسماك هي حفرة في الأرض، مرصوصة بالطوب، ثم تبطن ببطانة لمنع تسرب الماء، مثل: البلاستيك. وفى النهاية من المهم جدا التأكد من عدم استخدام الحاوية سابقا لتخزين مواد سامة، كالمواد الكيميائية التي تنتقل عن طريق المذيبات، فربما تكون قد توغلت في البلاستيك الذي يسهل اختراقه، والذي يكون من المستحيل إزالته مع الغسيل، ولهذا يجب اختيار الحاويات بعناية والتعرف على البائع إن أمكن.

اللون

ينصح بشدة استخدام الألوان البيضاء أو الألوان الفاتحة؛ فهي تسمح بمشاهدة الأسماك بسهولة؛ من أجل التحقق من السلوك وكمية المخلفات التي تستقر في قاع الخزان (الشكل **(10 – 19)**، كما أن الخزانات البيضاء تعكس أشعة الشمس، وتحافظ على الماء باردا. ووصولا إلى هذه الغاية يمكن طلاء الخزان الملون بالألوان الداكنة باللون الأبيض من الخارج، وفي المناطق الساخنة جدا أو الباردة، قد يكون من الضروري عزل الخزانات حراريا.

شكل (10 – 19): وحدة تعمل بتقنية الزراعة بواسطة سرير وسائط النمو على سطح مبنى وحوضا أسماك بسعة (1000 لتر لكل واحد) أحدهم أسطوانى و الأخرمستطيلا الشكل بهما أسماك (اليسار)

الأغطية والتظليل

يجب تغطية جميع أحواض أو خزانات الأسماك، فأغطية الظل تمنع نمو الطحالب، بالإضافة إلى أنها تمنع السمك من القفز إلى خارج الحوض. وفي كثير من الأحيان يحدث هذا مع الأسماك المضافة حديثا، أو إذا كان نوع المياه دون المستوى الأمثل. وتمنع كذلك أوراق الشجر وأى مخلفات نباتية والحيوانات المفترسة مثل: القطط، والطيور من مهاجمة الأسماك. وفي أحيان أخرى تستخدم شباك التظليل الزراعية التي تمنع أشعة الشمس بنسبة 80–90 ٪، ويمكن تركيب قماش وشبك الظل على إطار خشبي بسيط وجعل الغطاء سهل الإزالة.

الحيطة والأمان

لا تدع حوض الأسماك يفقد مياهه لتجنب موت السمك إذا استنزف الماء من حوض الأسماك. وعلى الرغم من أن بعض الحوادث لا يمكن تجنبها (مثل سقوط شجرة على الحوض) وأن نفوق الأسماك الأكثر كارثية هي نتيجة الخطأ البشري، فيجب التأكد من أنه لا توجد وسيلة لاستنزاف الماء من الحوض..

الترشيح (الميكانيكي والحيوي)

الترشيح الميكانيكي

في الأنظمة المغلقة (RAS) يمكن القول أن الترشيح الميكانيكي هو الجانب الأهم من جوانب التصميم، وهو يعني: فصل وإزالة مخلفات الأسماك الصلبة العالقة في أحواض الأسماك، ومن الضروري إزالة هذه المخلفات للمحافظة على صحة النظام لأن إطلاق الغازات الضارة عن طريق البكتيريا اللاهوائية يحصل إذا تم ترك المخلفات الصلبة لتتحلل داخل أحواض الأسماك؛ وبالتالي فإن ذلك قد يعيق عمل الأنظمة ويعطل تدفق الماء مما يتسبب في ظروف نقص الأكسجين عند منطقة جذور النباتات. وأنظمة الزراعة الصغيرة الحجم عادة ما تكون بها كثافة السمك أقل من الأنظمة المغلقة المكثفة التي في الأصل صممت لها هذه المرشحات الميكانيكية، وولذا توافر نسبة من الترشيح الميكانيكي هو أمر

ضروري للحفاظ على نظام الأكوابونيك صحيا للزراعة ، بغض النظر عن طريقة الزراعة المائية المستخدمة.

وهناك عدة أنواع من المرشحات الميكانيكية. وأبسط طريقة هي وضع مرشح شبكي بين حوض الأسماك ومراقد الزراعة، ويعمل هذا المرشح الشبكي على حجز المخلفات الصلبة، ويحتاج إلى أن يشطف بالماء في كثير من الأحيان، وبالمثل يمكن للمياه الخارجة من حوض الأسماك أن تمر عبر وعاء صغير مليء بالمواد الصلبة ومنفصلة عن مرقد بيئات نمو النبات وهذا الوعاء هو أسهل لإجراء عملية الشطف بشكل دوري. إن هذه الطرق صالحة لبعض وحدات الأكوابونيك الصغيرة ولكنها غير كافية في الأنظمة الأكبر، والتي تزداد فيها كثافة الأسماك وبالتالي تزداد كمية المخلفات الصلبة.

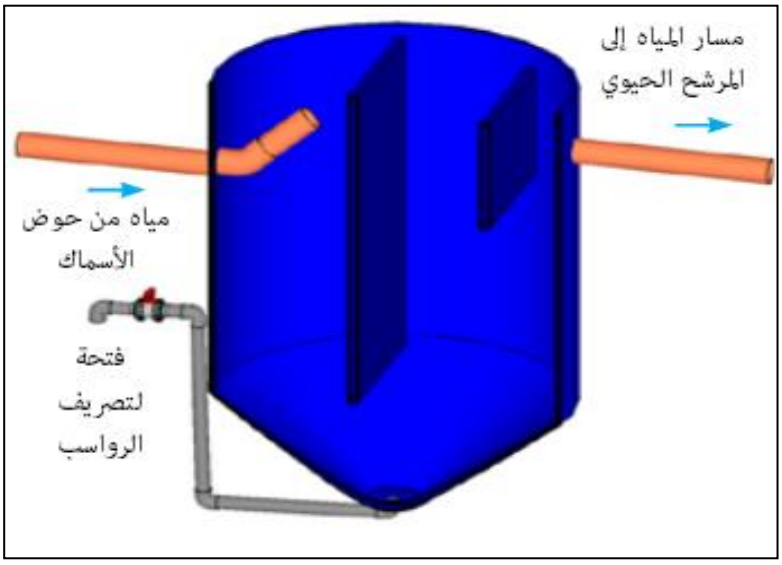
وهناك أنواع عديدة من المرشحات الميكانيكية، بما في ذلك خزانات الترسيب أو المرشحات الرملية أو مرشحات الخرز bead filters)، وكل واحد منها يمكن أن يستخدم وفقا كمية المخلفات الصلبة التي ينبغي إزالتها. وتعتبر المروقات أو الفصل الميكانيكي للمخلفات الصلبة هي المرشحات الأنسب والمروقات بصفة عامة يمكن أن تزيل ما يصل إلى 60٪ من مجموع المواد الصلبة القابلة للإزالة،

المرشحات الميكانيكية (الترسيب)

والمروق هو وعاء مخصص يستخدم سرعة الماء لفصل الجزيئات، بشكل عام فإن المياه التي تتحرك ببطئ غير قادرة على نقل العديد من الجزيئات؛ لذلك يتم إنشاء المروقات بطريقة تسرع وتبطئ سرعة جريان المياه لتركز الجسيمات في الجزء السفلي ويمكن إزالتها في المروقات الدوامة (swirl clarifiers). وفيها يدخل الماء من حوض الأسماك إلى المروق من خلال أنبوب بالقرب من أسفل الجزء الأوسط ويتم وضع هذه الأنابيب بشكل عرضي للحاوية وبالتالي إجبار المياه على أن تشكل دوامة وتنساب داخل الحاوية في حركة دائرية بفعل قوة الجاذبية التي أنشأتها الحركة الدائرية للمياه وبالتالي تجبر المخلفات الصلبة في الماء على أن تتمركز في مركز قاع الإناء لأن الماء في وسط الدوامة أبطأ من تلك التي في الخارج وعندها يتم جمع هذه المخلفات في الأسفل ويتم توصيل أنبوب بالجزء السفلي من الحاوية من أجل التخلص من هذه المخلفات الصلبة بشكل دوري. وتخرج المياه المنقاه من المروقات من الأعلى عبر منفذ أنبوب كبير مزود بشبك ترشيح ثانوي، ويصب بعد ذلك في المرشح الحيوي أو في مراقد بيئات النمو. يعرض الشكل **(10 – 20)** مثال بسيط من المرشحات الميكانيكية

للوحدات الصغيرة والوحدات الكبيرة، كما أن المخلفات الصلبة التي تحصر الماء، ويتم إزالتها تحتوي على عناصر غذائية مفيدة للغاية بالنسبة للأنظمة أو لحديقة النباتات بصفة عامة. أما بالنسبة لموضوع تمعدن المخلفات الصلبة سيناقش في القسم التالي. وكأمر توجيهي بالنسبة للوحدات الصغيرة الحجم يكون حجم حاوية الفاصلة الميكانيكية حوالي سدس حجم حوض للأسماك، ولكن هذا يعتمد على كثافة تخزين الأسماك والشكل الأدق للتصميم. يعتبر الترشيح الميكانيكي الأولي مهما جد سيما في الوحدات التي تعمل بطريقة الأغشيه المغذية (NFT) وطريقة الزراعة بواسطة المياه العميقة (DWC)، ويستخدم كمصيدة لإزالة المخلفات الصلبة وبدون هذه العملية الأولية فإن المخلفات الصلبة والعائمة ستتراكم في أنابيب نمو النباتات والقنوات مما تؤثر على نمو إنتشار الجذور. أيضاً قد تتسبب في انسداد المضخات وشبكة المياه. وأخيرا فإن المخلفات غير المرشحة ستخلق بؤرا لنمو البكتريا غير الهوائية خطرة والتي تنتج كبريتيد الهيدروجين وهو كريه الرائحة تشبه رائحته البيض الفاسد. و هو من الغازات السامة والقاتلة للأسماك. يعتبر الترشيح الميكانيكي الأولي مهما جد سيما في الوحدات التي تعمل بطريقة الأغشيه المغذية (NFT) وطريقة الزراعة بواسطة المياه العميقة (DWC)، ويستخدم كمصيدة لإزالة المخلفات الصلبة وبدون هذه العملية الأولية فإن المخلفات الصلبة والعائمة ستتراكم في أنابيب نمو النباتات والقنوات مما تؤثر على نمو إنتشار الجذور. أيضاً قد تتسبب في انسداد المضخات وشبكة المياه. وأخيرا فإن المخلفات غير المرشحة ستخلق بؤرا لنمو البكتريا غير الهوائية خطرة والتي تنتج كبريتيد الهيدروجين وهو كريه الرائحة تشبه رائحته البيض الفاسد. و هو من الغازات السامة والقاتلة للأسماك.

رسم توضيحي لمرشح عزل المخلفات الصلبة بصفائح رأسية لتغيير مسار المياه وتبطئة سرعتها وعلى اليمين مرشح ميكانيكى من بيئة صلبة



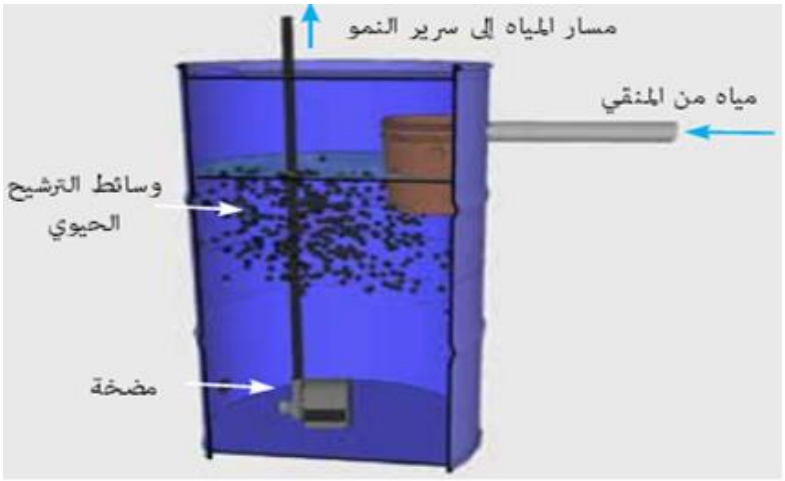
شكل **(10 – 20)** رسم توضيحي لمرشح عزل المخلفات الصلبة بصفائح رأسية لتغيير مسار المياه وتبطئة سرعتها

الترشيح الحيوي

المقصود بالترشيح الحيوي هو تحويل الأمونيا والنتريت إلى نترات بواسطة البكتيريا الحية، ومعظم مخلفات الأسماك لايمكن ترشيحها باستخدام المرشح الميكانيكي؛ لأن بعض المخلفات تذوب مباشرة في المياه وحجم هذه الجسيمات صغير جدا يصعب إزالتها

ميكانيكيا؛ لذلك ومن أجل معالجة هذه المخلفات المجهرية يستخدم نظام الأكوابونيك البكتيريا المجهرية. كما أن الترشيح الحيوي أمر ضروري لأن الأمونيا والنتريت سامة حتى عند التركيزات المنخفضة بينما تحتاج النباتات النترات في النمو. والمرشح الحيوي في وحدة الأكوابونيك هو عنصر يتم تركيبة عمدا لإيواء أغلب البكتيريا الحية إضافة إلى ذلك فإن ديناميكية وحركة المياه داخل المرشح الحيوي ستعمل على تفتيت المواد الصلبة الدقيقة جدا التي مرت من خلال المرشح الميكانيكي أو المروقات، والذي يمنع المزيد من المخلفات من أن تتراكم على جذور النباتات في الوحدات التي تعمل بطريقة الأغشية المغذية (NFT)، وطريقة الزراعة بواسطة المياه العميقة (DWC). ومع ذلك فإن بعض وحدات الأكوابونيك الكبيرة تطبق التصميم الذي وضعته جامعة جزر هاواى والذي لايستخدم مرشحا بيولوجيا منفصلا لكن في الغالب يعتمد على الأسطح الرطبة في الوحدات وعلى جذور النباتات، وكذلك على عملية الامتصاص المباشر للنباتات للأمونيا. أما الترشيح الحيوي المنفصل فهو غير ضروري في الطريقة التي تستخدم فيها بيئات النمو لأن هذه البيئات نفسها تعمل كمرشح حيوي مكتمل.

تم تصميم المرشح الحيوي من أجل الحصول على أكبر مساحة تتعرض فيها المياه للأكسيجين ويتم تثبيت المرشح الحيوي بين مرشح الميكانيكي ومراقد الزراعة المائية. ويجب أن يمثل الحد الأدنى لحجم حوض المرشح الحيوي سدس حوض الأسماك. ويبين شكل **(10 – 21)** مثالا للمرشح الحيوي المستعمل في الوحدات صغيرة الحجم.



رسم توضيحي لمرشح حيوي لوحدات صغيرة تعمل بتقنية غشاء المغذيات وتقنية المياه العميقة

بيانات المرشح البيولوجي البلاستيكية والتي لديها مساحة سطح كبيرة

شكل **(10 – 21)** رسم توضيحي لمرشح حيوي لوحدات صغيرة تعمل بتقنية غشاء المغذيات وتقنية المياه العميقة

ويمكن استخدام وبيئات مثل الحصى البركاني، وأغطية قنينات البلاستيك، وليفة الاستحمام المصنوعة من النايلون، والشباك، وقطع مخلفات البولي فينيل كلوريد (PVC). يحتاج أي مرشح حيوي إلى نسبة عالية من المساحة السطحية مقارنة بالحجم، وأن يكون ثابتا وسهل الشطف. وعند استخدام مواد حيوية دون المستوى الأمثل، فمن المهم ملء المرشح الحيوي إلى أقصى حد ممكن، ولكن قد تكون المساحة المسطحة الكلية غير كافية لضمان الترشيح الحيوي الكافي لذا فمن الأفضل دائما تكبير المرشحات الحيوية عند البناء الأولي. ويمكن إضافة مرشحات حيوية ثانوية لاحقا إذا لزم الأمر. كما أن المرشحات الحيوية تحتاج أحيانا إلى تقليب محتواها للحيلولة دون انسدادها وأحيانا تحتاج بأن تشطف إذا أدت المخلفات الصلبة إلى انسدادها حيث يؤدي هذا الانسداد إلى خلق مناطق نقص الأكسجين شكل **(10 – 22)**.

تعتبر التهوية أمر هام للمرشح الحيوي حيث أن البكتيريا الآزوتية تحتاج إلى الأكسجين بمعدلات كافية من أجل أكسدة الأمونيا، والحل الوحيد السهل هو استخدام مضخة الهواء بحيث توضع حجارة الهواء في أسفل المرشح وهذا يضمن حصول البكتيريا باستمرار على نسبة عالية ومستقرة من تركيزات الأكسجين المذاب. كما أن

مضخات الهواء تساعد على تفتيت أية مادة صلبة أو تعليق المخلفات التي لم يتم فصلها بواسطة المرشح الميكانيكي وإذا ما رغبت في الحصول على مزيد من العزل للمواد الصلبة داخل المرشح الحيوي، فمن الممكن إدراج دلو أسطواني البلاستيك يتم حشوه بالكامل بشباك النايلون أوالإسفنج، أو كيس مليء بالحصى البركاني يوضع أمام مدخل المياه إلى المرشح الحيوي. ولعلك تلاحظ أن المخلفات تحاصر عن طريق هذا المرشح الميكانيكي الثانوي، الأمر الذي يسمح عبر المرشح للمياه المتبقية بالتدفق إلى الأسفل من خلال ثقوب صغيرة في الجزء السفلي من الدلو إلى المرشح الحيوي. مع ضرورة الانتباه إلى أن المخلفات المحصورة هي أيضا عرضة لتحللها وتتحول العناصر الغذائية الموجودة بها إلى صورة صالحة للنبات عن طريق عملية المعدنة.

شكل **(10 – 22)** مقطع أفقي يوضح مرشح بيولوجي: (أ) مرشح ميكانيكي بيولوجي، (ب) وسائط المرشح الحيوي

عملية المعدنة Minerlization

تشير المعدنة إلى الطريقة التي تتم بها معالجة المخلفات الصلبة وتحللها بواسطة البكتيريا لتصبح عناصر مغذية صالحة للنباتات. أيضا أن المخلفات الصلبة التي يتمفصلها من قبل المرشح الميكانيكي تحتوي على عناصر غذائية، وعلى الرغم من أن طريقة معالجة هذه المخلفات تختلف عن طريقتها في الترشيح الحيوي، إلا أن الإبقاء على المواد الصلبة داخل عموم النظام يعمل على إضافة المزيد من العناصر الغذائية إلى النباتات، فأية مخلفات تبقى في

المرشحات الميكانيكية أو ضمن المرشحات الحيوية أو في وبيئات نمو النبات فإنها تتأثر بعملية المعدنة. كما أن ترك المخلفات في نفس المكان لفترة أطول يسمح بالمزيد من المعدنة وبالتالى مزيد من تكون العناصر الغذائية التي يجري الاحتفاظ بها في النظام . وفي معظم النظم الكبيرة تترك المخلفات الصلبة عمدا داخل المرشحات، مع ضمان تدفق المياه ومستوى كاف من الأكسجين، حيث يتم تحرير العناصر الغذائية بكميات كبيرة. ومع ذلك فإن هذه الطريقة غير عملية على نطاق صغير للوحدات التي تعمل بطريقة الأغشية المغذية (NFT) وكذلك للوحدات التي تعمل بطريقة الزراعة بواسطة المياه العميقة (DWC). وتوجد طريقة أخرى بسيطة وغير مكلفة حيث يتم تخزين هذه المخلفات في حاويات منفصلة مع توفير الأكسجين الكافي باستخدام حجارة نشر الهواء وبعد فترة غير محددة من الوقت سيكون قد تم تحلل المخلفات الصلبة وتحويلها بواسطة البكتيريا غير ذاتية التغذية (heterotrophs)، وفي هذه المرحلة يمكن إعادة صب هذا الماء في نظام الأكوابونيك، أيضاً يمكن للمخلفات المتبقية أن تضاف إلى التربة الزراعية كمخصب. كما يمكن بدلا من ذلك فصل هذه المخلفات الصلبة وإزالتها وإضافتها إلى الزراعة الأرضية، أو الحديقة، أو الاحتفاظ بها في برميل حفظ مزيج الأسمدة باعتباره سمادا ذا قيمة عالية. ولكن مع ذلك إذا تم فقدان هذه المواد المغذية فإنه سيسبب نقصا في نمو النباتات، ومن ثم قد يحتاج النظام إلى إضافة عناصر مغذية للتكملة.

استخدام وسائط النمو لتشكيل مزيج من الترشيح الميكانيكي والحيوي

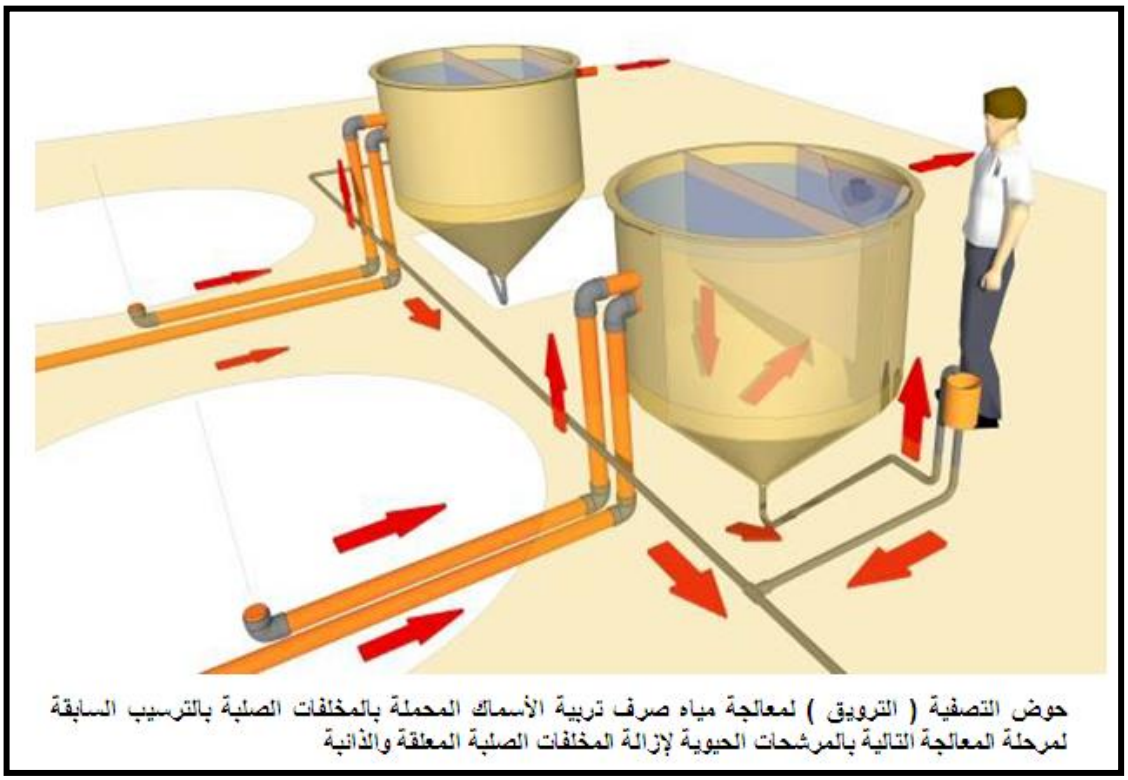
من الممكن أيضا استخدام صينية أو حوض مليء بوسائط النمو كمرشح ميكانيكي وحيوي في الوحدات التي تعمل بطريقة الأغشية المغذية (NFT) ، وكذلك للوحدات التي تعمل بطريقة الزراعة بواسطة المياه العميقة (DWC) . ويمكن أن تكون هذه الطريقة مهمة عندما لايمكن الحصول على المواد اللازمة لصناعة المروقات الدوامة (swirl arifiers) أو إنشاء مرشح حيوي.

شكل (10 – 22): رسم توضيحي لمرشح عزل المخلفات الصلبة (يمين) موصل بمرشح حيوي (يسار)و منظر أفقي لمرشح عزل المخلفات الصلبة (يمين) موصل بمرشح حيوي (يسار)

ويمكن القول أن لكل 200 جرام من أعلاف الأسماك التي تتم إضافتها للنظام يوميا يستوجب استعمال مرشح حيوي سعته 300 لتر، وسيوفر هذا الحصى الصغير الترشيح الحيوي الكافي لحوالي20 كجم من الأسماك، ووبيئات لنمو هذه ستوفر الترشيح الحيوي الكافي للوحدات التي تعمل بطريقة الأغشية المغذية (NFT)، وكذلك للوحدات التي تعمل بطريقة الزراعة بواسطة المياه العميقة (DWC) وكذلك تجميع وحصر المخلفات الصلبة. ويوصى بوضع وسيلة إضافية بداخل مرقد بيئة النمو عند موقع دخول المياه من أجل حماية إضافية.

وباختصار فإن توافر، حتى ولو قليل من، الترشيح أمر ضروري لجميع أنواع وحدات الأكوابونيك. كما أن كثافة الأسماك وتصميم النظام يحددان مدى ضرورة ومقدار الترشيح. وتعمل المرشحات الميكانيكية على فصل المخلفات الصلبة لمنع تراكم السموم، ويعمل الترشيح الحيوي على تحويل المخلفات النتروجينية إلى نترات (الشكل**(10 – 22)** . وتقوم أسرة وسائط النمو بدور المرشحات الميكانيكية والمرشحات الحيوية على حد سواء عند استخدام هذه التقنية، ولكن إضافة الترشيح الميكانيكي ضروري أحيانا عندما تكون كثافة الأسماك أعلى من (15 كجم/ م^3). وبدون أسرة وسائط النمو كما هو الحال في

الوحدات التي تعمل بطريقة الأغشية المغذية (NFT) فإن وجود الترشيح المستقل أمر ضروري. كما أن تمعدن المخلفات الصلبة يعود بمزيد من العناصر الغذائية على النظام؛ مما يؤدي إلى تمعدن أسرة وسائط النمو، ولكن هناك حاجة لجهاز فصل المخلفات الصلبة ضمن الوحدات التي تعمل بطريقة الأغشية المغذية (NFT)، والأنظمة التي تعمل بطريقة الزراعة بواسطة المياه العميقة (DWC).



حوض التصفية (الترويق) لمعالجة مياه صرف تربية الأسماك المحملة بالمخلفات الصلبة بالترسيب السابقة لمرحلة المعالجة التالية بالمرشحات الحيوية لإزالة المخلفات الصلبة المعلقة والذائبة

حركة المياه

تعتبر حركة المياه أمرا أساسيا؛ لإبقاء جميع الكائنات الحية على قيد الحياة في وحدات الأكوابونيك، حيث يتحرك الماء المتدفق من أحواض الأسماك من خلال المرشح الميكانيكي ثم يصب في مراقد بيئات النمو والأنابيب أو القنوات، وفي نهاية المطاف يتم إمتصاص المغذيات الذائبة بواسطة النباتات. وإذا ما توقفت حركة المياه فإن التأثير الأكثر خطورة هو الانخفاض في مستوى الأكسجين المذاب، وتراكم المخلفات في حوض الأسماك، وبدون تصفية المياه ميكانيكيا وحيويا يمكن للأسماك أن تتأثر وتنفق في غضون ساعات قليلة. أيضاً وبدون تدفق المياه ستجف خزانات وبيئات النمو في الوحدات التي تعمل بطريقة الأغشية المغذية (NFT)، وكذلك الوحدات التي تعمل بطريقة الزراعة بواسطة المياه العميقة (DWC).

والمعدل المناسب لدوران المياة فى وحدة الأكوابونيك المكثفة هوأن يسمح للمياه بأن تدور دورتين كاملتين في الساعة، وعلى سبيل المثال إذا كانت كمية المياه الكلية في وحدة الأكوابونيك

تقدر بـ 1000 لتر، فإن معدل تدفق المياه يجب أن يعادل 2000 لتر/ساعة أى تدور بمعدل مرتين في الساعة، بينما في الكثافات المنخفضة غير ضرورية، ويحتاج الماء فقط للدوران مرة واحدة في الساعة. وهناك ثلاث طرق شائعة تستخدم لنقل المياه من خلال النظام، وهي المضخات الغاطسة، أو بواسطة التدفق الهوائي، أو القوة البشرية.

مضخة المياه الغاطسة

إن استخدام المضخة الغاطسة داخل التنك أكثر شيوعا وتعتبر قلب وحدة الزراعة بنظام الأكوابونيك، ويوصى بهذا النوع من المضخات، كما يمكن استخدام مضخات خارجية، لكنها تحتاج إلى مزيد من السباكة ولكن تعتبر أكثر ملاءمة للتصاميم الكبيرة. ويفضل أن تستخدم مضخات المياه ذات الجودة العالية؛ من أجل ضمان عمر طويل وكفاءة أكثر للطاقة يصل إلى 3–5 سنوات.

عند تصميم السباكة للمضخة، فإنه من المهم أن ندرك أنه يتم أنخفاض قوة ضخ المياه عند كل وصلة من وصلات الأنابيب وتصل نسبة الفاقد في قوة التدفق إلى 5٪ من معدل التدفق الكلي عند كل وصلة إضافية في الأنابيب وبالتالي يجب استخدام أقل عدد ممكن من الوصلات بين المضخة وأحواض الأسماك. ومن المهم أيضا أن نلاحظ أنه كلما صغر قطر الأنابيب، تضاعف الفاقد في تدفق المياه، وأن الأنابيب التي بمقاس (30 ملم) لديها ضعف تدفق أنبوب بمقاس (20ملم) حتى لو استخدمت مضخات بنفس القدرة.

النقل بواسطة الهواء (Airlift)

عمليات النقل بواسطة الهواء هي أسلوب آخر من أساليب رفع الماء (الشكل**(10 – 23)**، حيث يتم استخدام مضخة الهواء عوضا عن مضخة المياه، فيضغط الهواء إلى أسفل الأنابيب داخل حوض الأسماك وتتشكل فقاعات وتنفجر. وأثناء صعود لفقاعات إلى سطح الماء تنقل معها الماء الموجود في الأسفل. والفائدة الوحيدة من عمليات النقل بواسطة الهواء هي كونها أكثر كفاءة كهربائيا، ولكن فقط على ارتفاعات منخفضة تقدر بحوالي (30 –40 سم). ويكتسب النقل بواسطة الهواء القوة في الخزانات العميقة، وتعمل بشكل أفضل على عمق أكبر من متر واحد. وهناك قيمة مضافة أخرى وهي أن عمليات النقل بواسطة الهواء لا تنسد مثل المضخات الغاطسة، بالإضافة إلى ذلك يتم ضخ الأكسجين في المياه أيضا من خلال الحركة الرأسية التي تديرها فقاعات الهواء، ومع ذلك فإن حجم الهواء الذي يتم ضخه ينبغي أن يكون كافيا لتحريك المياه على طول الأنبوب. وعموما فإن مضخات الهواء لديها حياة أطول من مضخات المياه الغاطسة، والفائدة الرئيسة

تأتي من وفورات الحجم، حيث إن مضخة الهواء يمكن شراؤها لكلا الأمرين: التهوية وتوزيع المياه، مما يقلل من كلفة الاستثمار في مضخة ثانية.

شكل (10 – 23) أداة بسيطة لنقل الماء بواسطة الهواء يدويا

تم تصميم بعض أنظمة وحدات الأكوابونيك لتستخدم الطاقة البشرية لنقل المياه (الشكل**(10 – 24)**. ويمكن رفع المياه في دلاء، أو باستخدام البكرات، والعجلات المعدلة، أو بوسائل أخرى. كما يمكن ملء خزان علوي يدويا والسماح للماء بالاستنزاف ببطء طوال اليوم، وهذه الأساليب لا تنطبق إلا على المشاريع الصغيرة. وينبغي النظر في تطبيق هذه الوسيلة في الأنظمة التي تفتقر إلى الكهرباء، أو في حالة أن الإمدادات الكهربائية غير موثوق بها، حيث أن غالبية هذه النظم لديها نسب منخفضة من الأكسجين المذاب، وغير كافية لخلط المواد المغذية، على الرغم من أنها يمكن أن تستخدم بنجاح بالتزامن مع تعديل لبعض التقنيات.

شكل **(10 – 24)** نظام الأكوابونيك في باحة خلفية، لا يتم فيه استخدام مضخة مائية

التهوية

مضخات الهواء تضخ الهواء إلى الماء من خلال أنابيب الهواء وحجارة التى تعمل على نشر الهواء بواسطة فقاعات صغيرة ، التي توضع داخل خزانات المياه، وبالتالي تعمل على زيادة مستويات الأكسجين الذائب في الماء (الشكل **(10 – 25)** حيث أن الأكسجين الذائب المضاف هو مكون أساسي من مكونات الوحدات التي تعمل بطريقة الأغشية المغذية (NFT)، وكذلك للوحدات التي تعمل بطريقة الزراعة بواسطة المياه العميقة (DWC).

\

شكل **(10 – 25)** حجارة الهواء التي تستخدم لنشر الهواء المضغوط بشكل فقاعات ناعمة في المياه

قياس أنظمة التهوية

بالنسبة للوحدات الصغيرة الحجم والتي بها حوالي 1000لتر حوض أسماك، فمن المستحسن وضع على الأقل من خطوط الهواء بحجارة تذويب الهواء، والتي تسمى أيضا الحاقنات، كما ينبغي وضعها مع حجارة تذويب الهواء في حوض الأسماك، وحاقن واحد في المرشح الحيوي. ولفهم كمية الهواء التي تدخل النظام فإنه من الجيد قياس معدل التدفق. وللقيام بذلك وببساطة اعكس جهاز قياس الحجم (زجاجة 2لتر، كأس قياس مخبري، قنينة مخبرية ذات معيار) في حوض الأسماك، وبمساعدة شخص آخر ابدأ بتشغيل ساعة توقيت في نفس الوقت الذي يتم فيه إدخال حجر تذويب الهواء التي تخرج فقاعات في جهاز القياس ثم، أوقف ساعة التوقيت عندما تمتلئ الحاوية بالهواء، ثم حدد معدل التدفق باللتر في الدقيقة الواحدة باستخدام النسبة. إن الهدف الذي يجب الوصول إليه للأنظمة الموصوفة هنا هو 4–8 لتر/دقيقة لجميع حجارة الهواء في الوحدة، ومن الأفضل دائما أن يكون الأكسجين المذاب فوق المعدل المطلوب بدلا من أن يكون ناقصا حاول وضع حجارة تذويب الهواء في وضعية بحيث لاتقوم بإعادة تعليق المواد الصلبة في عمود الماء والحيلولة دون ترسبها في قاع الحوض، وبالتالي منع إزالتها من القاع وقت التصريف.

البخاخ الماص (Venturi siphons)

تعد هذه التكنولوجيا بسيطة للإنشاء، وهي أسلوب آخر لزيادة مستويات الأكسجين المذاب في وحدات الأكوابونيك. هذه التقنية ذات قيمة خاصة للوحدات التي تعمل بطريقة الزراعة بواسطة المياه العميقة (DWC). وببساطة، فالبخاخ الماص يستخدم مبدأ الهيدروديناميكية التي تشد الهواء من الخارج عندما ينضغط الماء، ويتدفق بسرعة من خلال جزء من الأنابيب ذات قطر أصغر مع تدفق المياه المستمر، وإذا كان قطر أنبوب المياه يقلل من كمية المياه فإن سرعتها يجب أن تزيد، وهذه السرعة تخلق ضغطا سلبيا. يتكون البخاخ الماص من أجزاء قصيرة من الأنابيب (قطر 20مم ، وطول 5سم) توضع داخل أنبوب المياه الرئيس ذي القطر الأكبر (25مم) حيث تجبر المياه التي في الأنبوب الرئيس المرور من خلال الأنابيب الأضيق، فتخلق تأثيرا نفاثا (الشكل **10 – 26**) . هذا التأثير النفاث يمتص الهواء المحيط إلى مجرى المياه من خلال ثقب صغير موضوع في أنبوب انقباض خارجي، وإذا كان البخاخ الماص موضوعا تحت الماء فيمكن أن يتصل الثقب الصغير بأنبوب طويل تكون فتحته الأخرى معرضة إلى الغلاف الجوي؛ من أجل سحب الهواء. كما يمكن أن يوضع البخاخ الماص بالتكامل في كل أنبوب مياه في قنوات الوحدات التي تعمل بطريقة الزراعة بواسطة المياه العميقة (DWC) ، وهذا سيرفع مستوى الأكسجين المذاب في القناة، كما أنها يمكن أن تكون بمثابة عملية مكررة لتهوية حوض الأسماك إذا تعطلت مضخة الهواء.

شكل(**10 – 26**) صور توضيحية خطوة بخطوة للبخاخ الماص (Venturi siphons)، يتم إدخال جزء صغير من الأنابيب(أ) في نهاية الأنبوب الرئيس للمياه (ب). يتم قطع حز صغير (ج،د) في الأنبوب الضيق الذي يتم من خلاله امتصاص الهواء (و)

خزان تجميع المياه الأرضي (Sump tank)

خزان تجميع المياه الأرضي هو خزان تجميع المياه عند أدنى نقطة في النظام، بحيث تنساب المياه دائما إلى أسفل من الجزء الخاص بزراعة النباتات إلى هذا الخزان (الشكل(**10 – 27**).وغالبا ما يكون هذا الموقع هو المكان الذي يتم فيه وضع المضخة الغاطسة، وينبغي أن يكون حجم هذه الخزانات أصغر من خزانات الأسماك، كما ينبغي أن تكون قادرة على تخزين كمية تتراوح بين ربع وثلث كمية المياه التي في حوض الأسماك. أما بالنسبة لنوع أسرة وسائط النمو التي تعمل بنظام الغمس والتدفق فيجب أن يكون الخزان الأرضي كبيرا بما يكفي لتخزين مالا يقل عن كامل كمية المياه التي في أسرة وسائط النمو، تستخدم الخزانات الأرضية لتجميع المياه أساسا في الوحدات التي بها أسرة وسائط النمو، ومع ذلك فإن الوحدات التي تعمل بطريقة الزراعة بواسطة المياه العميقة (DWC) يمكن للقناة المائية الفعلية أن تستخدم كخزان لتجميع المياه. وعلى الرغم من أن هذا الخزان مفيد إلا أنه ليس عنصرا أساسيا في النظام، وأن العديد من التصاميم لا توظف هذا الخزان الأرضي

الخارجي. وفي الوحدات الصغيرة للغاية، والتي تعمل بحجم خزان أسماك بسعة 200 لتر، يمكن ببساطة ضخ المياه من حوض الأسماك إلى مرقد النمو، ومن ثم تنساب المياه في حوض الأسماك مرة أخرى. ومع ذلك ففي الوحدات الأكبر من المفيد جدا أن يكون هناك خزان أرضي؛ لتجميع المياه.

شكل ((**10 – 27**) خزان تجميع مياه مدفون في الأرض؛ للسماح بتجميع المياه بواسطة الجاذبية

من الطرق الشائعة في الزراعة فى وحدات الأكوابونيك والموصى بها هنا هو أن يتم وضع غاطسة في هذا الخزان، وهناك وصف شائع الاستخدام يصف النقطتان الرئيستان في هذا التصميم، وهما: ارتفاع مستمر في حوض الأسماك، ومضخة في الخزان الأرضي لتجميع المياه (CHIFT– PIST). وباستخدام هذا الأسلوب فإن أي فاقد من المياه بما في ذلك التبخر والتسريب سيظهر تأثيره فقط داخل الخزان الأرضي لتجميع المياه، ولا يؤثر على كمية المياه داخل حوض الأسماك. وبهذه الطريقة يمكن مباشرة قياس كمية التبخر الطبيعي والفاقد من المياه وتحديد الاحتياجات المائية التي يجب إضافتها للنظام، و يمكن على الفور تحديد ما إذا كان هناك تسرب في النظام. ولعل الأهم من ذلك أن أي تسرب في نظام وحدات الأكوابونيك لن يضر بالأسماك.

مواد السباكة

يتطلب كل نظام مجموعة مختارة من الأنابيب البلاستيكية، فالأنابيب والتجهيزات وخراطيم الـ (PVC) كما هي موضحة في (الشكل (**10 – 28**). وتوفر هذه الأنابيب القنوات لتدفق المياه إلى كل مكون في الوحدة. كما أن هناك حاجة إلى صمامات الحاجز (®Uniseals) ، وعازل السيليكون، وشريط التفلون. ويتم ربط الأجزاء المصنوعة من الـ (PVC) كالأنابيب ووصلاتها معا باستخدام الأسمنت المصنوع من الـ (PVC) . وعلى الرغم من أنه يمكن استخدام السيليكون إذا كان قد تم تركيب السباكة بشكل مؤقت، وأن الوصلات والمفاصل لايوجد عليها ضغوط عالية من المياه. بالإضافة إلى ذلك فهناك حاجة إلى بعض الأدوات العامة، مثل: المطارق، والمثقاب، والمناشير اليدوية، والمناشير الكهربائية، وشريط القياس، وكماشة، وكماشة قفل القناة، والمفكات، وأداة قياس المستويات، وما إلى ذلك. وهناك أداة مهمة وهي المنشار الدائري الذي يأتي بأقطار مختلفة، ويتم توصيله بالثاقب؛ لحفر فتحات أو ثقوب دائرية يصل قطرها إلى 8سم، وهي ضرورية لإدخال الأنابيب إلى أحواض الأسماك والمرشحات، فضلا عن إحداث ثقوب في أنابيب الـ (PVC)، أو أسرة البوليسترين في الوحدات التي تعمل بطريقة الأغشية المغذية (NFT)، وكذلك للوحدات التي تعمل بطريقة الزراعة بواسطة المياه العميقة (DWC). ومضافا إلى ما ذكر ينصح دائما بالتأكد من أن الأنابيب والوصلات المستخدمة في النظام لم يتم استخدامها في السابق لتخزين المواد السامة. ومن المهم أيضا أن وصلات السباكة المستخدمة هي من نوعية تمتلك الخصائص الصالحة للاستخدامات الغذائية (food-grade) ؛ لمنع امتصاص المواد الكيميائية بواسطة المياه. هذا ومن المهم أيضا استخدام الأنابيب ذات اللون الأسود أو غير شفافة للضوء، وبالتالي إيقاف نمو الطحالب في الأنابيب.

شكل (10 – 28) مجموعة مختارة من مواد السباكة الشائعة الاستخدام

تقنية مراقد بيئات النمو

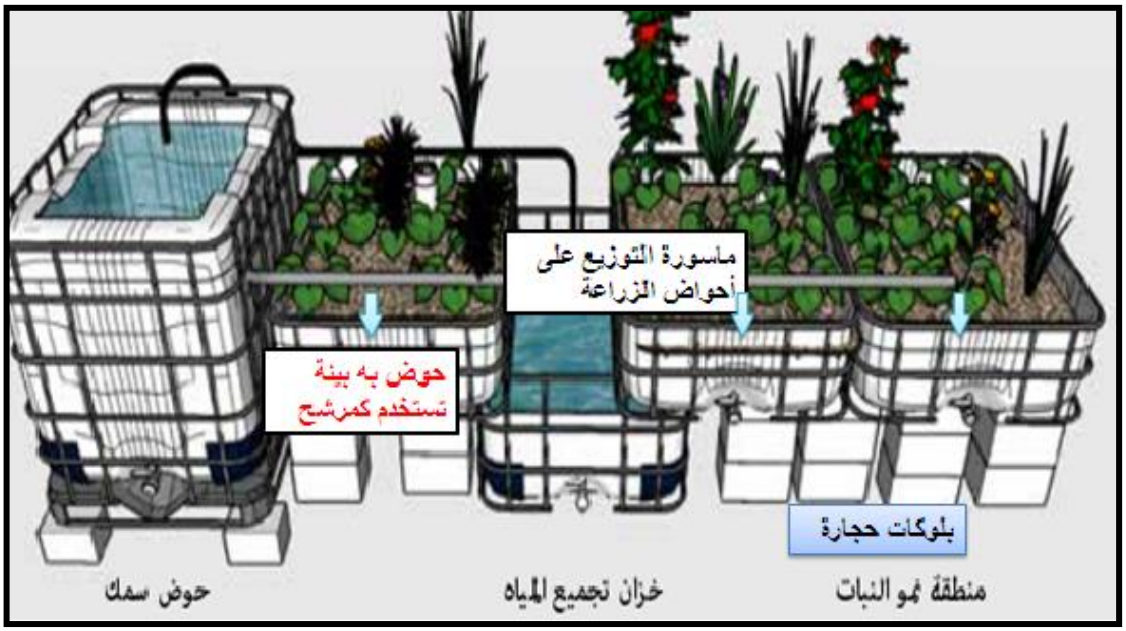
إن وحدة المرقد المليء ببيئات النمو هي التصميم الأكثر شعبية بالنسبة للزراعة بوحدات الأكوابونيك الصغيرة، وينصح بهذه الطريقة بالنسبة لمعظم المناطق النامية. تتميز هذه التصاميم في كفاءتها في استغلال المساحات، وكذلك للانخفاض النسبي للتكلفة الأولية لها وهي مناسبة للمبتدئين؛ وذلك لبساطتها. وفي وحدات مرقد بيئات النمو تستخدم البيئات لدعم جذور النباتات وكذلك كعامل تصفية ميكانيكية وحيوية هذه الوظيفة المزدوجة هي السبب الرئيس لبساطة وحدة مرقد بيئات النمو. و مع ذلك فإن تقنية مرقد وسائط النمو يمكن أن تصبح غير عملية ومكلفة نسبيا إذا ما طبقت على نطاق واسع كما يمكن أن تتراكم على بيئات النمو إذا كانت كثافات الأسماك تفوق القدرة الاستيعابية لمراقد وسائط النمو وذلك بسبب معدل تبخر المياه يكون مرتفع في مرقد وسائط النمو نظرا لوجود مساحة سطح أكبر معرضة لأشعة الشمس ، وعندها يمكن أن يتطلب هذا وضع مرشيح ميكانيكى منفصل.

وهناك العديد من التصاميم لمراقد وسائط النمو، وهذه هي على الأرجح التقنية الأكثر قدرة على التكيف

ديناميكية تدفق المياه

يبين الشكل **(10 – 29)** المكونات الرئيسية لنظام الاكوابوبيك باستخدام مراقد وساط النمو بما في ذلك حوض الأسماك، ومرقد بيئات النمو، والخزان الأرضي لتجميع المياه، ومضخة المياه، وكذلك الكتل الخرسانية الداعمة. ومن الأسهل لنا أن نفهم كيف يعمل النظام من خلال اتباع تدفق المياه من خلاله، حيث يتدفق الماء بفعل الجاذبية من حوض الأسماك، ويمر عبر مرشح ميكانيكي بسيط ليصب في المراقد التي بها وسائط نمو النباتات، هذه المراقد مليئة بوسائط النمو ذات المسامات وتعمل كمرشح ميكانيكي وحيوي على حد سواء. كما أنها أيضا مكان لحدوث عملية المعدنة للعنلصر المغذية الموجودة فى المخلفات العضوية، حيث تستضيف هذه الأسرة مستعمرة البكتيريا الآزوتية وتوفر مكانا للنباتات لتنمو. وعندما تخرج المياه منمراقد وسائط نمو النباتات تصل إلى الخزان الأرضي لتجميع المياه، وكل هذا يحدث بواسطة الجاذبية، وعند هذه المرحلة تكون المياه خالية نسبيا من النفايات الصلبة والذائبة. وأخيرا يتم ضخ هذه المياه النظيفة إلى حوض الأسماك، وهو ما يجعل مستوى المياه يرتفع في حوض الأسماك، ويزيد من نسبة المياه فيه، وبالتالي ينصب الفائض مرة أخرى إلى مرقد وسائط النمو، واستكمال الدورة مرة أخرى. لقد تم تصميم بعض مراقد وسائط النمو لتمتلئ بالماء إلى الأعلى بحيث يتم إغراق الوسائط، ومن ثم ينفتح صمام عند نقطة تصريف المياه ويسمح لجميع الماء بالخروج (تقنية الإغراق والاستنزاف)، وهو ما يعني أن منسوب المياه يرتفع إلى نقطة معينة، ثم يتم استنزافه، وهذا يضيف الأكسجين إلى جذور النباتات ويساعد في الترشيح

الحيوي والتخلص من الأمونيا. وهناك طرق أخرى للري بواسطة التدفق المستمر للماء، بحيث يدخل الماء في المرقد من جهة ويخرج من الجهة الأخرى، أو توزيع المياه بواسطة الري بالتنقيط.



شكل (10 – 29) رسم توضيحي لوحدة صغيرة لمرقد بيئات النمو

بناء مرقد وسائط النمو

مواد مرقد وسائط النمو يمكن أن تكون مراقد مصنوعة من البلاستيك والألياف الزجاجية أو من إطار خشبي مع المطاط العازل للماء أو أغطية البولي إيثيلين التي توضع على قاعدة المرقد وعلى الجدران من الداخل، والأكثر شعبية هو تطبيق مبدأ "إفعل ذلك بنفسك" لصناعة مرقد وسائط النمو من حاويات البلاستيك والحاويات الوسيطة المعدلة أو حتى أحواض الاستحمام (البانيو) القديمة الشكل **(10 – 30)** . ومن الممكن استخدام كل ما سبق كمرقد لوسائط النمو، وأنواع أخرى من الخزانات ما دامت محققة للمتطلبات التالية.

- قوية بما يكفي لحفظ المياه، وتتحمل وزن بيئات النمو دون أن تنكسر.
- قادرة على تحمل الطقس الصعب.
- مصنوعة من مواد آمنة للاستهلاك الآدمي، وآمنة للأسماك والنباتات والبكتيريا.
- يمكن توصيلها بسهولة بمكونات الوحدة الأخرى من خلال أجزاء بسيطة من عناصر السباكة.
- يمكن وضعها على مقربة من مكونات وحدة أخرى.

شكل (10 – 30) وحدة مرقد وسائط النمو تم إنشاؤها من الحاويات الوسيطة (IBCs) وأخرى بالفيبر جلاس (السفل)

شكل مرقد بيئة النمو

يكون شكل مرقد وسائط النمو مستطيلا، ويبلغ عرضه حوالي 1م، وطوله 1–3 أمتار، ويمكن استخدام مرقد أكبر إلا أنه يحتاج إلى مزيد من الدعم (كتل الخرسانة) ومن أجل تحمل الوزن. وبالإضافة إلى ذلك فإن المرقد الطويل قد ينتج عنه توزيعات غير متساوية من المخلفات الصلبة بداخله، والتي قد تتراكم عند مدخل المياه مما يزيد من مخاطر البقع اللاهوائية (تخمرات للمواد العضوية المتراكمة) لذا يجب على المراقد ألا تكون واسعة حتى يتمكن المزارعون أو مشغلوا الوحدة من الوصول على الأقل إلى منتصف المرقد لتناول النباتات.

عمق مرقد بيئة النمو

يعتبر عمق مرقد وسائط النمو مهما لأنه يتحكم في حجم مساحة الجذور في الوحدة الذي بدوره يحدد أنواع الخضراوات التي يمكن زراعتها، فإذا ما تمت زراعة الخضراوات الثمرية الكبيرة مثل: الطماطم، والبامية، أو الملفوف فإنه ينبغي أن يبلغ مرقد عمق وسائط النمو 30سم، والذي بدونه لن تتمكن الخضراوات الكبيرة من الحصول على مساحة كافية للجذور وسيتشكل مايشبه الحصير المتكون من الجذور وسيؤدي إلى نقص العناصر المغذية المغذية، وربما يؤدي إلى ضعف النباتات

اختيار بيئات النمو

تحتوي جميع بيئات النمو التي يتم استخدامها على عدة معايير مشتركة وأساسية، فمثلا يجب أن يكون للبيئة مساحة كافية في حين تبقى قابلة للاختراق بالماء والهواء وبالتالي تسمح للبكتيريا بالنمو وللمياه بأن تتدفق ولجذور النباتات بالتنفس. كما يجب أن تكون البيئات خاملة حتى لا تتفاعل مع العناصروغير مترببة وغير سامة، ويجب أيضا أن يكون الرقم الهيدروجيني متعادل إلى حد ما حتى لا يؤثر على نوعية المياه وذوبان العناصر. ومن المهم أن تغسل جيدا قبل توضع داخل المراقد، لا سيما الحصى البركاني الذي يحتوي على الغبار وعلى الجزيئات الصغيرة جدا والتي يمكن أن تسد النظام ويحتمل أن تضر بخياشيم الأسماك.

ينصح بمراعاة المعايير الضرورية التي يجب أن تتمتع بها بيئات النمو وهي كالتالي:

- مساحة كبيرة لنمو البكتيريا
- الرقم الهيدروجيني متعادل ومادة خاملة (الوسط لن يسرب أي مواد سامة)
- خصائص جيدة للتصريف
- سهلة للتعامل معها
- مساحة كافية للهواء والماء للتدفق داخل الوسط
- غير مكلفة في ثمنها
- خفيفة الوزن إذا أمكن ذلك.

ويحدد المختصون في هذا المسار عدة معايير مشتركة لبيئات النمو، وهي كما يلي:

الحصى البركاني (الطف)

الحصى البركاني هو الوسيلة الأكثر شعبية في الاستخدام في وحدات المرقد كوسائط للنمو، ويوصى بها حيثما كان ذلك متاحا (الشكل (**10 – 31**) . وأفضل الصفات الثلاث للحصى البركاني هي: أنه يحتوي على مساحة عالية جدا بالنسبة للحجم (300م^2/م^3) ويمكن أن يكون رخيصا وسهلا في الحصول عليه، وأنه خامل كيميائيا تقريبا. كما أن الحصى البركاني

متوافر في العديد من المواقع في جميع أنحاء العالم، وعندما يتم غسله من الغبار والأوساخ يصبح تقريبا خاملا كيميائيا تماما، باستثناء إفرازات صغيرة من العناصر الصغرى، مثل: الحديد، والمغنيسيوم، وامتصاص للفوسفات، وأيونات البوتاسيوم في غضون الأشهر القليلة الأولى لبدء الوحدة. أما بالنسبة للحجم الموصى به للحصى البركاني هو قطر يتروح بين (8–20مم)

شكل (10 – 31) الحصى البركاني يستخدم في وحدات المراقد كبيئات للنمو

الحجر الجيري

لا ينصح بالحجر الجيري كبيئة للنمو، على الرغم من أنه يستخدم عادة (الشكل **10 – 32**)، ولا يحبذ استخدام الحجر الجيري والصخور الرسوبية لأن لديها مساحة سطح صغيرة مقارنة بحجمها، وثقيلة وليست خاملة. ويتكون الحجر الجيري في المقام الأول من كربونات الكالسيوم ($CaCO_3$)، والذي يذوب في الماء ويؤثر على نوعية المياه.

شكل (**10 – 32**) حجر جيري يستخدم في وحدات مرقد كوسائط للنمو

كريات الطين خفيفة (Light expanded clay aggregate)

تتكون كريات الطين الخفيفة (LECA) (Light expanded clay aggregate) من حصى مصنوع من الطين (الشكل **10 – 33**) ، وقد تم تصنيعا في الأصل للعزل الحراري لأسقف البنايات، ولكن في الآونة الأخيرة تم استخدامها في الزراعة المائية. وهذه الكريات هي مستديرة الشكل وخفيفة الوزن مقارنة مع البيئات الأخرى، وهي مريحة جدا للعمل بها ، وتقدر مساحة السطح للكريات (LECA) حوالي 250–300م^2/م^3 ، وهذه المساحة تعد ضمن النطاق المستهدف، لكن هذه المادة غالية نسبيا، وغير متوافرة على نطاق واسع في جميع أنحاء العالم. وتتوافر هذه الكريات في مجموعة متنوعة من الأحجام. بالنسبة للأكوابونيك، ينصح باستخدام أحجام أكبر وبأقطار تتراوح بين 8–20مم .

شكل (10 – 33) كريات الطين الخفيفة تستخدم في وحدات مرقد كوسائط للنمو

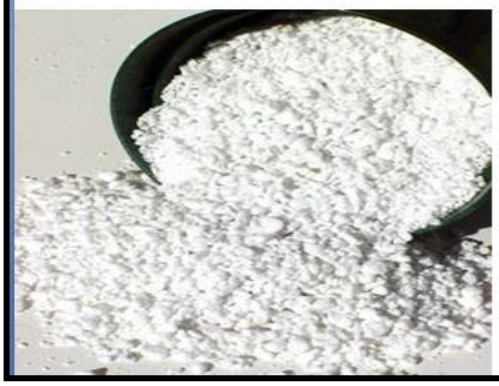
الخيارات البديلة لبيئات النمو الأخرى

إذا كانت وسائط النمو المذكورة أعلاه غير متوافرة فمن الممكن استخدام وسائط نمو أخرى، وهذه البدائل تتضمن الحصى والذي عادة ما يكون من الحجر الجيري، ولكن يمكن أن يكون له مساحة سطح منخفضة مقارنة بنسبة الحجم اعتمادا على حجم الحبيبات. ومن ضمن تلك الصوف الصخري السائب والذى يستخدم بشكل واسع في مزارع الهيدروبونيك، والبلاستيك المعاد تدويره، وعلى الرغم من أن البلاستيك يطفو ويحتاج إلى أن يثبت مغمورا بطبقة من الحصى من أعلى، والبيئات العضوية كألياف جوز الهند، ونشارة الخشب، والبييت موس (Peat moss) ، أو قشرة الأرز (Rice hull)، وهي غير مكلفة في كثير من الأحيان، ولكن المخاطر قد تظهر من حالات غياب الأكسجين. وتتحلل هذه المواد مع مرور الوقت فتعمل على انسداد وحدات النظام، ومع ذلك فيمكن استخدام البيئة العضوية لفترة داخل نظم الأكوابونيك، وبمجرد أن تبدأ في التحلل يمكن إزالتها من النظام واستخدامها كسماد للزراعة العادية حيث تستخدم كقيمة مضافة لتربة المحاصيل، ويلخص الجدول (10 – 5) الفروق الرئيسة لجميع بيئات النمو المذكورة أعلاه.

البرليت Perlite

أهم مواصفات بيئة البيرليت

- معقمة خاملة كيميائياً خفيفة الوزن ثابتة التركيب من الناحية الفيزيائية.
- ذات سعة تبادلية كاتيونية ضعيفة.
- pH يساوي ٧,٥ .
- جيدة الصرف والتهوية.



البيئات البديلة لبيئات النمو في المزارع الصلبة

جدول (10 – 4) خصائص وسائط النمو المختلفة

نوع الوسط	مساحة السطح ($م^2/م^3$)	pH	التكلفة	الوزن	مدة الصلاحية	مدة الاحتفاظ بالمياه	جودة ركيزة النبات	سهولة العمل معها
الحصى البركاني (الطف)	400–300	محايد	متوسط	متوسط	طويلة	متوسط- ضعيف	ممتاز	متوسط
الحصى البركاني الخفيف	300–200	محايد	متوسط-عالي	خفيف	طويلة	متوسط	متوسط-ضعيف	سهل
الحصى الجيري	200–150	قاعدي	منخفض	ثقيل	طويلة	ضعيف	ممتاز	صعب
كريات الطين الخفيفة	300–250	محايد	عالي	خفيف	طويلة	متوسط- ضعيف	متوسط	سهل
أغطية قنينات بلاستيكية	100–50	خامل	منخفض	خفيف	طويلة	ضعيف	ضعيف	سهل
ألياف جوز الهند	400–200 (متغير)	محايد	معتدل	خفيف	قصيرة	عالي	متوسط	سهل

المساحة المستغلة بواسطة بيئة النمو فى المرقد مقارنة بالمياه

ستشغل بيئة النمو ما يقرب من 30–60% وهذه النسبة ستساعد على اتخاذ قرار بشأن حجم خزان تجميع المياه الأرضي، حيث إن هذا الخزان لابد أن يتسع لكمية المياه الكلية التي في مراقد النمو. وينبغي أن تكون خزانات تجميع المياه الأرضية كبيرة قليلا للتأكد من أن هناك دائما ما يكفي من المياه لتشغيل المضخة .

فعلى سبيل المثال لمرقد بيئات النمو الذي سعته 1000لتر (2متر طول × 2متر عرض ×0,25 متر عمق وسائط النمو)، فإن وسائط النمو ستشغل مامقداره 300–600 لتر من سعة المرقد، وبالتالي فإن كمية المياه في مرقد وسائط النمو يجب أن تتراوح بين 400–700 لتر. هذا ويوصى بأن يكون حجم حوض تجميع المياه الأرضي بما لا يقل عن 70٪ من الحجم الكلي لمرقد وسائط النمو .

الترشيح

تعمل مرافد وسائط النمو كمرشحات جيدة و فعالة سواء الميكانيكية أو الحيوية منها، على خلاف نظم الوحدات التي تعمل بطريقة الأغشية المغذية (NFT) ، و الوحدات التي تعمل بطريقة الزراعة بواسطة المياه العميقة (DWC) (كما هو مبين أدناه)، فإن تقنية مراقد بيئات النمو تستخدم مركب المرشح ومنطقة نمو النباتات. وبالإضافة إلى ذلك توفر أسرة وسائط النمو موقعا لحدوث عملية المعدنة، وهو مفقود في النظم المذكورة.

ترشيح الميكانيكي

يعمل المرقد المليء بالجسيمات أو الوسائط كعامل تصفية ميكانيكى حيث يعمل على احتواء المخلفات الصلبة للأسماك العالقة بالمياه وغيرها من الأجسام العضوية العالقة والعائمة في المياه. وتتحدد فعالية هذا المرشح بناء على حجم الجسيمات حيث إن الجسيمات الأصغر حجما معبأة بكثافة أكثر وتقوم بالتقاط المزيد من المواد الصلبة. ومع مرور الوقت ستتحلل تلك المخلفات وتحدث عملية المعدنة. وإذا كان هناك نظام متوازن بشكل صحيح فسيعمل على معالجة جميع المخلفات الصلبة في المرشح.

ويجب أن يكون حجم مرقد الجسيمات مناسب لكثافة الأسماك، فيمكن لمرقد الجسيمات أن ينسد بالمواد الصلبة وهذا يشير إلى وجود خطأ في التصميم الأصلي وسينجم عنه سوء في توزيع المياه، وتشكل مناطق خالية من الأكسجين مما سيتسبب في ظروف خطرة. وعندما يحدث هذا يجب غسل جسيمات المرشح أو المرقد، وهذه العملية تستهلك عمالة، وتعطل دورة نمو النباتات، ويمكن أن تؤثر على البكتيريا الآزوتية لفترة وجيزة ولتجنب هذه الحالة يجب التأكد من أن التصميم الأصلي آخذ. في الاعتبار كثافة الأسماك، ونظام التغذية، ودقة نسبة معدل التغذية لحساب المساحة المطلوبة لسرير الجسيمات، ويجب الا تتجاوز كثافة الأسماك (15كجم/م^3 أو إذا كان معدل التغذية فوق 50 جراما / يوم لكل متر مربع من مرقد نمو النباتات.

الترشيح الحيوي

جميع وسائل أو وسائط النمو الوارد ذكرها هنا لديها مساحة سطح كبيرة حيث يمكن للبكتيريا الآزوتية استعمارها. ولجميع التصاميم الخاصة بوحدات الأكوابونيك فإن سرير الوسائط أو الجسيمات لديها نسبة ترشيح حيوي أكثر، بسبب المساحة الضخمة لهذه الوسائط التي تسمح للبكتيريا أن تنمو. كما يجب الحفاظ على الظروف الملائمة لنمو تلك البكتريا من تهوية – درجة حرارة وخلافه

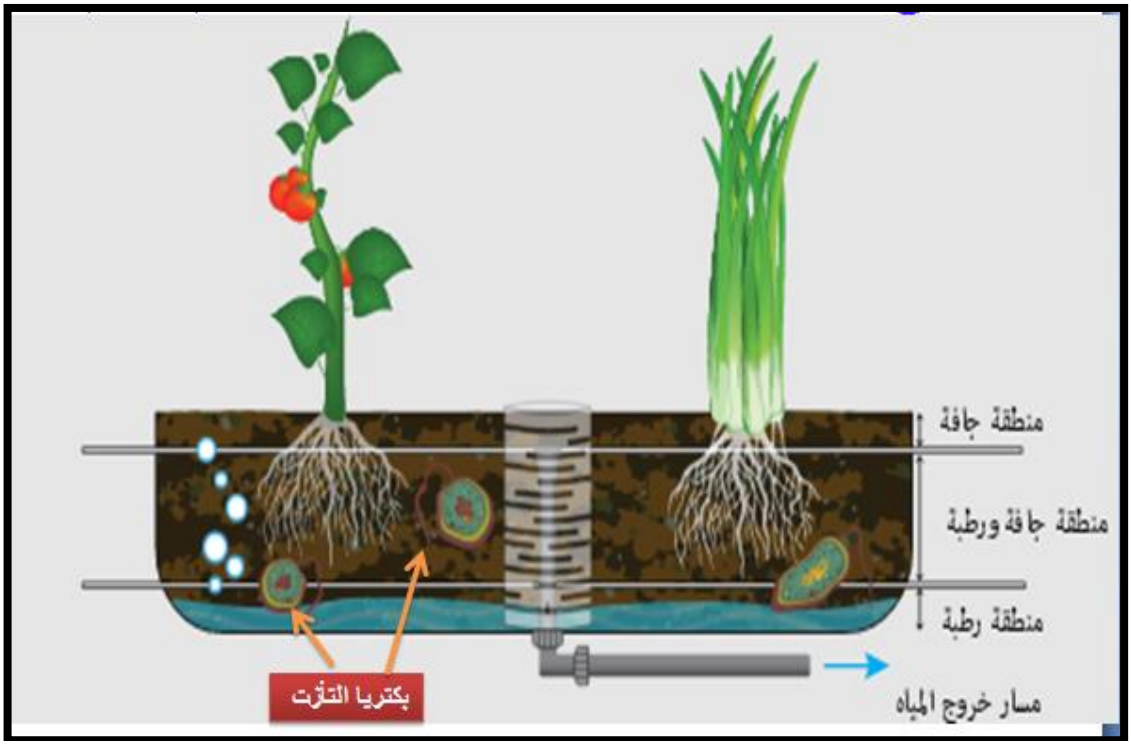
عملية المعدنة

مع مرور الوقت سيتم تفتيت وتحلل المخلفات السمكية الصلبة العالقة في المياه ببطء بواسطة العمليات الحيوية والفيزيائية، وسيتم تحويلها إلى عناصر غذائية بسيطة في شكل أيونات يمكن للنباتات أن تمتصها بسهولة. أما إذا تراكمت المخلفات وبقيت في سرير الوسائط فإنها قد تشير إلى أن عملية المعدنة ليست كافية، وفي هذه الحالة يوصى باستخدام الترشيح الميكانيكي الأكثر فعالية، ومعالجة المخلفات وتصفيتها بشكل منفصل..

المناطق الثلاث لمرقد بيئات النمو

تمتلئ مراقد بيئات النمو بالماء إلى الأعلى بحيث يتم إغراق البيئة ومن ثم ينفتح صمام عند نقطة تصريف المياه ويسمح لكل الماء بالخروج (تقنية الغمر والصرف أو السيفون flood–and–drain, also known as ebb–and–flow). إن هذه الطبيعة تخلق ثلاث مناطق فى محتواها من الرطوبة وتكون منفصلة ويمكن أن تكون أنظمة بيئية صغيرة و يتم التمييز بينها عن طريق محتوى كل منها من المياه ومحتوى االهواء وبكل منطقة مجموعة متنوعة من البكتيريا، والفطريات، والكائنات الدقيقة، والديدان، والحشرات، والقشريات. و تعتبر البكتيريا الآزوتية واحدة من أهم البكتيريا المستخدمة في الترشيح الحيوي، ولكن هناك العديد من الأنواع الأخرى التي لها دور في تحلل مخلفات الأسماك، ويمكن إيجازالاختلافات بين هذه المناطق الثلاث وبعض العمليات البيئية التي تحدث في كل منهما.

المنطقة الجافة وهى المنطقة الأعلى (2–5 سم) من المرقد (الشكل**(10 – 34)**، وتتمثل وظيفة هذه المنطقة في كونها بمثابة حاجز الضوء، وتمنع تأثير الضوء المباشر على المياه والتي يمكن أن تؤدي إلى نمو الطحالب، كما يمنع نمو الفطريات والبكتيريا الضارة في قاع مرقد النمو، والذي يمكن أن يسبب حدوث تعفن وأمراضا نباتية أخرى. وهناك فائدة آخرى للمنطقة الجافة وهو تقليل التبخر من المرقد من خلال تغطية المنطقة الرطبة عن أشعة الشمس المباشرة، علاوة على ذلك فإن البكتيريا المفيدة هي حساسة لأشعة الشمس المباشرة.



شكل **(10 – 34)** المناطق الثلاث لمرقد وسائط النمو خلال دورة تصريف المياه

المنطقة الجافة/الرطبة تتميز هذه المنطقة بنسبة عالية لكل من الرطوبة والغازات في مراقد وسائط النمو التي تمتلئ بالماء وتنج من تصرف المياه بالإغراق والاستنزاف (السيفون) وإن هذه المنطقة بسمك 10–20 سم، حيث يشهد مرقد وسائط النمو باستمرار إغراقا بالمياه يتلوه تصريف (الشكل**10 – 34**) كما أن أغلب النشاط الحيوي سيحدث في هذه المنطقة. إن تطور نمو الجذور ومستعمرات البكتيريا المفيدة والكائنات الحية الدقيقة النافعة تنشط في هذه المنطقة ومن ثم سوف تحصل النباتات والكائنات الدقيقة على المياه والعناصر الغذائية والأكسجين بسبب توافر الهواء والماء بهذه المنطقة. وهناك تقنية شائعة وهي إضافة الديدان الأرضية إلى مرقد وسائط النمو والتي ستعيش في هذه المنطقة الجافة/ الرطبة حيث تسهم الديدان في التخلص من المخلفات الصلبة للأسماك، كما أنها ستستهلك أيضا أي أوراق أو جذور ميتة وتحسن من التهوية كما إن هذا النشاط سيمنع من تراكم المخلفات والتى تعيق تدفق المياه بالنظام.

المنطقة الرطبة هذه المنطقة بسمك قاع 3–5 سم من المرقد وهى رطبة بشكل دائم وفي هذه المنطقة تتراكم الجسيمات الصغيرة للمخلفات الصلبة وتشتمل على الكائنات الحية الدقيقة و هذه الكائنات هي المسؤولة عن تحلل المخلفات إلى فتاتات وجزيئات صغيرة المحتوية على العناصر المغذية والتى تمتصها النباتات من خلال عملية المعدنة.

ري مرقد وسائط النمو

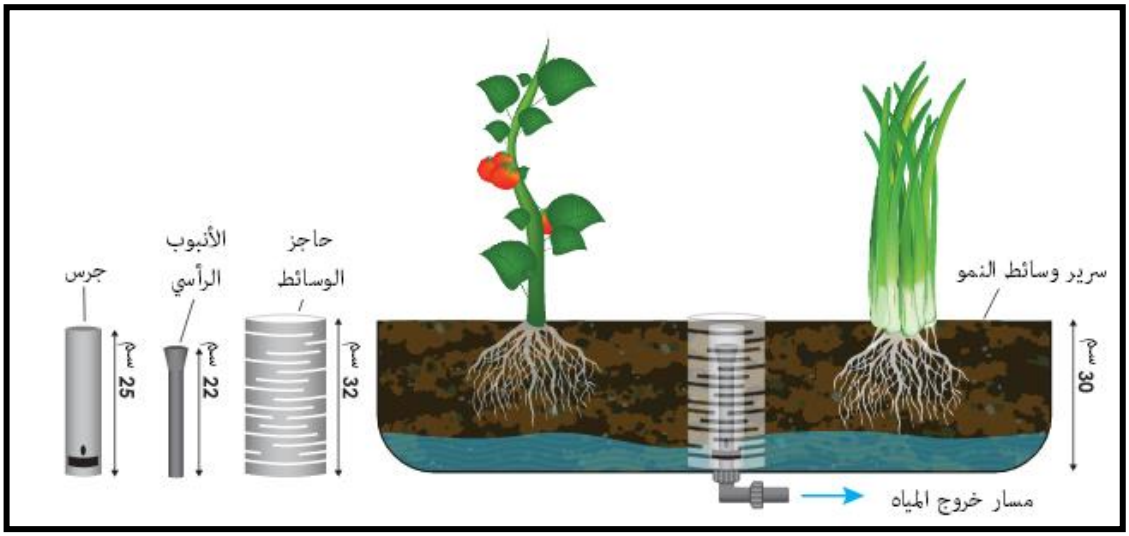
توجد تقنيات مختلفة لتوصيل المياه إلى مرقد وسائط النمو، التى تعتمد كلها على توافر المواد محليا وكذلك درجة التكنولوجيا المطلوبة أو خبرة المشغلين. وفي هذا النظام يمكن أن تتدفق المياه ببساطة من أنابيب الري بشكل موحد موزعة على وسائط النمو وهو تصميم مقبول تماما. ويرى بعض الخبراء أن تصاميم التدفق المستمر تزيد معدلات النمو للنباتات و لكن أنظمة توزيع المياه هذه يمكن أن تنسد بالمخلفات الصلبة للأسماك ولذا يجب أن يتم تنظيف فتحاتها بشكل دوري.

هناك طريقة كما ذكرنا آنفا تسمى بتقنية الغمر والصرف flood–and–drain, also known as ebb–and–flow ، وتعرف أيضا باسم الانحسار والتدفق، ويمكن استخدامها حيث نظام السباكة يتسبب في إغراق مرقد وسائط النمو بالمياه من مياه حوض الأسماك ومن ثم تصفّى مرة أخرى في خزان تجميع المياه الأرضي، ويتم إنجاز ذلك من خلال التصريف التلقائي (Autosiphons) أو الضخ الذي يعمل بالتوقيت. إن هذا التناوب بين الغمر والصرف يضمن للنباتات الحصول على العناصر الغذائية بصفة مستمرة وأيضاً تدفق الهواء الكافي في منطقة

الجذر مما يوفر من مستويات الأكسجين المناسبة للنباتات والبكتيريا، كما يضمن وجود الرطوبة الكافية في المرقد في جميع الأوقات، بل حتى البكتيريا يمكن أن تنشط في ظروف مثلى. وتمر عادة هذه النظم من خلال دورة كاملة من مرة إلى مرتين كل ساعة، ولكن بعض الأنظمة الناجحة تقوم بالتدوير من 3–4 مرات فقط في اليوم الواحد، علما بأن تصاميم تقنية المر والصرف ليست هي التقنيات الوحيدة لمراقد بيئات. وسينم بشكل موجز مناقشة طريقتين شائعتين لإغراق واستنزافالمرقد، على الرغم من أن هناك أساليب أخرى، مثل الشفط اللولبي الموجود وموضوع البحث الحالي للأكوابونيك.

تقنية الشفط بالجرس (Bell siphon)

هو نوع من الشفط التلقائي (Autosiphon) ويستغل بعض القوانين الفيزيائية الأساسية الهيدروديمك physical laws of hydrodynamics ، ويسمح لمرقد وسائط النمو للغمر والصرف تلقائيا، بشكل دوري من دون جهاز توقيت (الشكل**10 – 35**). كما أن طريقة عمله وتوقيت الشفط يعتمدان على معدل تدفق الماء في المرقد وهو ثابت ولكن يمكن أن تكون هذه التقنية صعبة وتتتطلب مزيدا من الاهتمام.



شكل **(10 – 35)** رسم توضيحي لتقنية الشفط بالجرس ومركباته، تم تركيبه في سرير وسائط النمو

أن ديناميكية تدفق المياه في كل مرقد وسائط النمو تتم بمعدل تدفق ثابت، فكلما ملأت المياه المرقد ووصلت إلى أعلى الأنبوب الرأسي تبدأ بالانسياب من خلال هذا الأنبوب الرأسي إلى خزان تجميع المياه الأرضي، وبدون تقنية الشفط بالجرس (Bell siphon) ويمكن أن يؤدي هذا إلى ارتفاع منسوب المياه الثابت، ومع استمرار المياه في الانسياب من خلال الأنبوب الرأسي، يبقى الجرس (Bell) مثل القبعة على الأنبوب الرأسي ويعمل بمثابة قفل للهواء، وينتج

عنه تأثير الشفط. إن هذا الشفط الذي يحدث بداخل هذه الأداة يبدأ بسحب المياه من السرير، وكلما بدأت عملية الشفط، ستخرج كل المياه من السرير بسرعة وسيحافظ الجرس (القبعة) على عمله كقفل للهواء، كما أن تصريف المياه من خلال الأنبوب الرأسي (Standpipe) أسرع من التدفق المستمر من حوض الأسماك. عندما تستنزف كل المياه من سرير وسائط النمو حتى القاع، يدخل الهواء أسفل الجرس (القبعة) التي على الأنبوب الرأسي للتصريف ويتوقف الشفط فورا، ثم يملأ الماء المرقد ببطء مرة أخرى، ويتم تكرار الدورة كاملة مرة أخرى بشكل مستمر.

المكونات الرئيسة للشفط بالجرس (Bell siphon)

تم شرح المكونات الرئيسة الثلاثة لتقنية الشفط بالجرس (Bell siphon)، لكننا نود هنا الإشارة إلى تعليمات مهمة لفهم وإنشاء وتحسين تقنية الشفط. إن أبعاد الأنبوب الرأسي (Standpipe) والجرس (القبعة) وحاجز وسائط النمو يعتمد كليا على حجم السرير ومعدل تدفق المياه، أما الأبعاد التي تم توفيرها لتصاميم أنظمة وحدات الأكوابونيك الواردة في هذا الدليل هي لسرير وسائط النمو التي تتمتع بحجم 1–3 م^2، وبعمق 30 سم، مع معدل تدفق المياه من 200–500 لتر/ساعة لكل سرير، ولأسرة وسائط النمو الكبيرة فإن كافة المكونات بطبيعة الحال تكون أكبر.

الأنبوب الرأسي (Standpipe) : يتم إنشاؤه من الأنابيب البلاستيكية، بقطر 2,5 سم وبارتفاع 22 سم، ويمر الأنبوب الرأسي من خلال الجزء السفلي من سرير وسائط النمو، ويربط بخزان تجميع المياه (Sump tank) الأرضي ، ويعتبر كذلك مسار المياه المصرفة من السرير.

الجرس: الجرس هو أنبوب بلاستيكي قطره (7,5 سم) وارتفاعه (25 سم)، وهذا الأنبوب هو مغلق في نهايته العلوية بغطاء – (PVC) ومفتوح من الجزء السفلي، حيث يتم تغطية الأنبوب الرأسي به، كما يتم فتح ثغرتين مستطيلتين بحجم (1سم × 4 سم) في أسفل الجرس، متعاكستين وتفصل بينهما مسافة (5, م). ويتم سحب المياه من خلال هاتين الفتحتين لتصل إلى الأنبوب الرأسي داخل الجرس، ويفتح ثقب نهائي في الجرس بقطر (1 سم) وبارتفاع (5 سم) من الأسفل؛ للمساعدة على إيقاف شفط الماء عندما ينضب السرير من الماء بواسطة السماح للهواء بالدخول.

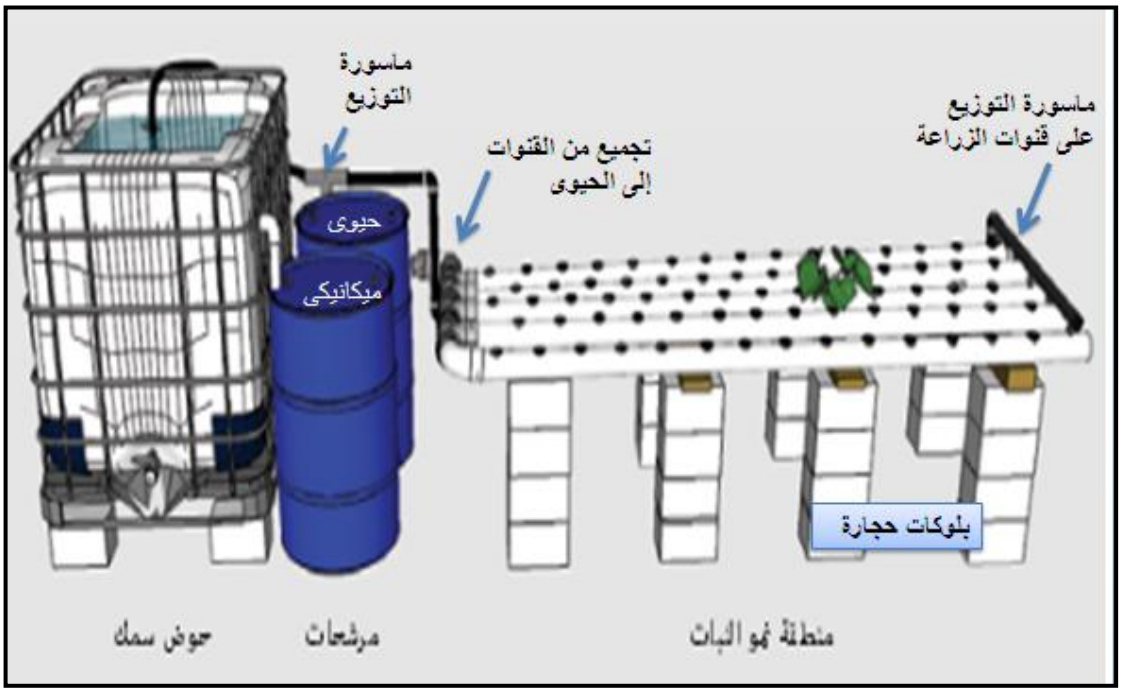
حاجز وسائط النمو: إن حاجز وسائط النمو هو أنبوب من مادة – (PVC) ، وقطره (11سم) وارتفاعه (32 سم)، وبه العديد من الثقوب الصغيرة المحفورة في جوانبه، وتكون وظيفة هذا الحاجز منع وسائط النمو فيالمرقد من الدخول إلى أنابيب المياه وسدها، دون عرقلة تدفق المياه.

آلية التوقيت يعتمد أسلوب الغمر والصرف للمراقد على جهاز توقيت يتم توصيله بمضخة المياه للتحكم بعملية الإغراق والاستنزاف الدوري. وتكمن فائدة هذا الأسلوب في أنه لا توجد عملية شفط تلقائي (Autosiphon) ، التي يمكن أن تتطلب أيدي عاملة بشكل كثيف من أجل

المعايرة، ومع ذلك فإن انخفاض توزيع المياه وانخفاض التهوية في حوض الأسماك يقلل من مستوى الترشيح بشكل عام. وهذا الأسلوب هو أقل ملاءمة في حالات الكثافة العالية للأسماك، ويتطلب عناية فائقة؛ لتوفير تهوية إضافية للسمك.

تقنية الاغشية المغذية (NFT)

تقنية الأغشية المغذية (NFT) هي إحدى مزارع الهيدروبونيك ويتحقق هنا باستخدام أنابيب أفقية مع تيار ضحل من مياه مزرعة الأكوابونيك الغنية بالعناصر الغذائية والتى تتدفق من خلاله، (الشكل**10 – 36**). وفي هذه التقنية توضع النباتات داخل ثقوب في الجزء العلوي من الأنابيب وتكون جذورها قادرة على ملامسة هذه الطبقة الرقيقة المتدفقة من المياه الغنية بالعناصر الغذائية والإستفادة منها.



شكل (10 – 36) رسم توضيحي لوحدة صغيرة تعمل بتقنية غشاء المغذيات

إن الوحدات التي تعمل بطريقة الأغشية المغذية (NFT) ، والوحدات التي تعمل بطريقة الزراعة بواسطة المياه العميقة (DWC) هي الطرق الشائعة ولها شعبية واسعة في الإنتاج التجاري من الناحية المالية، وكذلك أكثر قابلية للاستمرار مقارنة بوحدات مراقد بيئات النمو عندما تتم توسعة الوحدات الإنتاجية إلى أحجام أكبر. ومما يميز هذه التقنية هوأنها تتمتع بنسبة تبخير منخفضة جدا لأن الماء محمي تماما من الشمس. ويعد هذا الأسلوب أكثر تعقيدا بكثير، ومكلفا مقارنة بمراقد بيئات النمو، وربما لا يكون مناسبا في المواقع التي تفتقر إلى الموردين، ولكنها هي

الأكثر فائدة للتطبيق في المناطق الحضرية، وخاصة عند الإستخدام الأمثل للمساحات رأسياً أو عندما تكون الأوزان تكون كعائق يجب أخذها في الاعتبار.

وعلى الرغم من أن جميع الطرق لديها أساليب مختلفة متبعة في نمو النباتات، والفرق الأكثر أهمية بينها هو الأسلوب في الترشيح الذي تستفيد منه كل من الوحدات التي تعمل بطريقة الأغشية المغذية (NFT)، وكذلك الوحدات التي تعمل بطريقة الزراعة بواسطة المياه العميقة (DWC) مقارنة بطريقة مراقد وسائط النمو. ويصف النص التالي هذا الأسلوب من الترشيح لوحدات (NFT) وكذلك (DWC) بالتفصيل، وستتم مناقشة الأساليب لوحدات(NFT) ووحدات (DWC) بشكل فردي.

ديناميكية تدفق المياه

تتدفق المياه بفعل الجاذبية من حوض الأسماك عبر المرشح الميكانيكي وإلى مزيج من المرشح البيولوجي وخزان تجميع المياه الأرضي، ثم يتم ضخ المياه في اتجاهين من خلال وصلة على شكل الحرف "Y"وصمامات حيث يتم ضخ بعض المياه مباشرة إلى حوض الأسماك، أما المياه المتبقية فيتم ضخها في الموزع (Manifold) الذي يعمل على توزيع المياه بالتساوي من خلال أنابيب وحدة (NFT)، ثم يتدفق الماء مرة أخرى بواسطة الجاذبية من خلال أنابيب النمو حيث توجد النباتات. وعندما تخرج المياه من أنابيب النمو، يتم إرجاع المياه إلى المرشح الحيوي وخزان تجميع المياه الأرضي؛ ليتم ضخه مرة أخرى إما في حوض الأسماك أو أنابيب نمو النباتات، علما بأن المياه التي تدخل في حوض الأسماك تتسبب في رفع مستوى المياه داخل الحوض، وخروج الفائض من الحوض من خلال الأنابيب والعودة إلى المرشح الميكانيكي، وبالتالي استكمال الدورة.

هذا التصميم كما هو موضح هنا يسمى تصميم "الشكل8"؛ بسبب شكل مسار المياه، وهو يضمن للماء المصفى أو المرشح بأن يدخل في حوض السمك وأنابيب النمو، في حين تستخدم مضخة مياه واحدة فقط. ليست هناك حاجة لوضع خزان تجميع المياه في مستوى منخفض من بقية أجزاء الوحدة؛ مما يجعل هذا التصميم سهل الاستخدام على الأرضيات الخرسانية أو على أسطح المنازل، وجميع المكونات في مستوى العمل المريح بالنسبة للمزارع، دون الحاجة للانحناء أو استخدام السلالم ولكن هناك عيب واحد فيه وهو أن الجمع بين خزان تجميع المياه الأرضي والمرشح الحيوي يعمل على تخفيف تركيز المغذيات في المياه قبل أن تصل إلى أنابيب النمو، وفي الوقت نفسه يعمل على إعادة المياه إلى حوض الأسماك قبل أن يتم امتصاص العناصر الغذائية وتجريد المياه منها تماما ومع ذلك فيمكن التحكم في التدفق الثنائي الاتجاه وعموما فإنه لا يؤثر على فاعلية هذا النظام في ضوء مميزاته. وبشكل عام ترجع المضخة 80 % من المياه

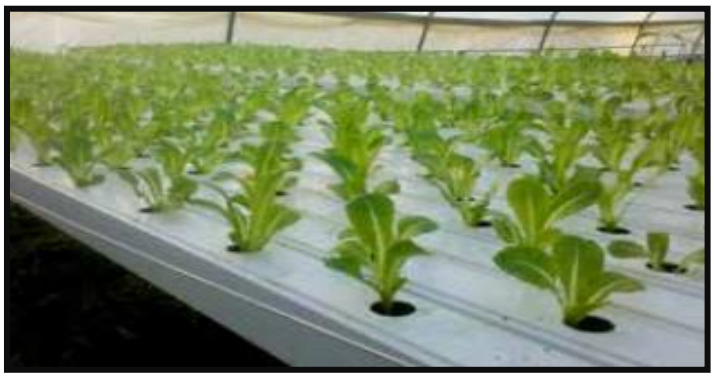
إلى أحواض الأسماك، و20٪ المتبقية إلى القنوات، وهذا يمكن تعديله والتحكم فيه بواسطة صمام.

الترشيح الميكانيكي والبيولوجي

الترشيح المخصص له أهمية حاسمة لكلّ من وحدات طريقة الأغشية المغذية (NFT) ، ووحدات طريقة الزراعة بواسطة المياه العميقة (DWC) ولذلك فإن كلا من هذين النوعين من الأنظمة يحتاج إلى أن يشيد أولا مصيدة لتجميع المخلفات الصلبة، ثم المرشح الحيوي للحصول على النترات كما ذكر سابقا ، هناك العديد من أنواع المرشحات الميكانيكية، ووحدات (NFT) و (DWC) تحتاج إليه و التي تم وصفها سابقا تستخدم مرشحا ميكانيكيا ذا حركة دوامة أو لولبية (Swirl filter) تلتقط المخلفات والجسيمات الصلبة، مع التخلص الدوري من اللمواد الصلبة التي تم التقاطها، وعندما تخرج المياه من دوامة الترشيح تمر من خلال شبكة إضافية لإعتراض أية مواد صلبة متبقية، ومن ثم تصل إلى المرشح الحيوي. أما تهوية المرشح الحيوي فتتم بشكل جيد بواسطة حجارة الهواء، ويحتوي المرشح الحيوي على وبيئات الترشيح الحيوي، وعادة ما يتم استخدام شباك النايلون، أو أغطية القنينات البلاستيكية، حيث تعمل البكتيريا الآزوتية على تحويل المخلفات الصلبة، وإن لم يتم ترشيح المياه بشكل كاف فإن الوحدات التي تعمل بطريقة الأغشية المغذية (NFT) ، وكذلك الوحدات التي تعمل بطريقة الزراعة بواسطة المياه العميقة (DWC) ستنسد، وسيظهر نقص في معدلات الأكسجين وظروف نمو ضعيفة للنباتات والأسماك على حد سواء.

إنشاء وزراعة أنابيب النمو بواسطة تقنية الأغشية المغذية (NFT)

تكملة لأساليب الترشيح الموضحة أعلاه، يوظف أسلوب (NFT) استخدام الأنابيب البلاستيكية الموضوعة أفقيا لزراعة الخضراوات باستخدام مياه وحدات الأكوابونيك كلما كان ذلك ممكنا (الشكل**10 – 37**).



شكل (**10 – 37**) خس ينمو على أنابيب مربعة الشكل في وحدة تعمل بتقنية الأغشية المغذية (NFT)

وينصح باستخدام أنابيب مستطيلة كل بعرض أكبر من الإرتفاع، ويعتبر هذا معيارا عند مزارعي الهيدروبونيك والسبب يكمن في زيادة المسطح التى تنتشر فيه الجذور وبالتالى تعرضها للمحلول المتدفق بالأنبوب مع نطاق متزايد من الامتصاص للعناصر الغذائية ومزيد من نمو النباتات.

ومن مميزات تقنية (NFT) هو أنه يمكن ترتيب الأنابيب في العديد من الأنماط حيث يمكن الاستفادة من المسافة الرأسية، والجدران، والأسوار، وكذلك الشرفات المعلقة (الشكل**10 – 38**).

شكل (10 – 38) أنابيب النمو منظمة رأسيا لوحدة تعمل بتقنية الأغشة المغذية

ويتم ضخ المياه من المرشح الحيوي في كل الأنابيب المائية مع تدفق بسيط متساو يولد تيارا ضحلا من مياه مزرعة الأكوابونيك الغنية بالمواد المغذية، وتتدفق على طول الجزء السفلي، وتحتوي أنابيب نمو النباتات على عدد من الثقوب على الجانب الأعلى على طول الأنبوب؛ ليتم وضع النباتات فيها. وعندما تبدأ جذور النباتات بملامسة المياه الغنية بالمغذيات من المجرى فإنها تبدأ في النمو والإنتشار داخل أنابيب النمو، وفي الوقت نفسه ينمو المجموع الخضرى خارج الأنابيب وحولها، ويضمن غشاء المياه الضحلة في الجزء السفلي من كل أنبوب للجذور بأن تتلقى كميات كبيرة من الأكسجين في منطقة الجذور جنبا إلى جنب مع الرطوبة والمغذيات. إن الحفاظ على تيار ضحل يسمح للجذور أن يكون لها سطح أكبر لتبادل الهواء، كما يجب أن يكون تدفق المياه في أنابيب النمو لا يزيد عن 1–2 لتر/دقيقة. ويتم التحكم في معدل التدفق بواسطة صمام (على شكل حرف Y)، وكل المياه الزائدة تعاد إلى حوض الأسماك.

شكل وحجم أنبوب نمو النبات

إن من الحكمة اختيار الأنابيب بالقطر الأمثل لأنواع النباتات التي تزرع، كما أن الأنابيب التي هي بمقطع عرضي مربع هي الأفضل، ولكن الأنابيب المستديرة هي أكثر شيوعا وقبولا. أما بالنسبة لنباتات الخضر الكبيرة فيمكن استخدام أنابيب نمو بقطر أكبر (11سم)، في حين تتطلب الخضراوات الورقية سريعة النمو والنباتات الصغيرة ذات كتل الجذور الصغيرة أنابيب يبلغ قطرها (7,5 سم) فقط. وفي الأنظمة الصغيرة المتعددة الأنواع (زراعة أنواع مختلفة من الخضراوات) ينبغي استخدام أنابيب قطرها (11سم) كما في (الشكل**10 – 39**) وهذا يجنب القيود في اختيار النباتات لأن النباتات الصغيرة يمكن دائما أن تزرع في الأنابيب الكبيرة فالنباتات ذات جذور كثيفة وبعض الجذور القديمة يمكن أن تسد الأنابيب الأصغر وتتسبب في الفيضانات من الفتحات العلوية وخسائر في المياه. ويجب أن يأخذ في الاعتبار بشكل خاص الطماطم والنعناع، حيث يمكن لنظم الجذور الضخمة أن تسد الأنابيب بكل سهولة وحتى الكبيرة منها.

شكل (**10 – 39**) مجموعة من أنابيب النمو تظهر المسافة بين الثقوب

كما أن طول أنابيب النمو يمكن أن يكون بين (1–12 مترا) . وفي الأنابيب الأطول من 12 مترا يمكن أن يحدث نقص في العناصر الغذائية للنباتات في المنطقة التي تقع في نهاية الأنابيب؛ لأن النباتات التي تقع في أول الأنابيب تعمل على تجريد الماء من العناصر المغذية، ويجب الحصول على منحدر (ميلان) للأنبوب بنحو (1 سم/م) على طوله للتأكد من تدفق المياه من خلاله بسهولة. ويتم التحكم في المنحدر باستخدام حشوات الإسافين (أداة ذات سطح مائل متحرك لها وجه واحد أو وجهان مائلان) على الجانب بعيدا عن حوض الأسماك. وينصح باستخدام أنابيب من نوع (PVC)المستخدمة فى الصرف اصحى بالمبانى لأنها عادة ما تكون متاحة وأكثر شيوعا وغير مكلفة. كما ينبغي

استخدام الأنابيب البيضاء؛ لأن هذا اللون يعكس أشعة الشمس. وكخيار بديل ينصح باستخدام الأنابيب مربعة أو مستطيلة الشكل ذات أبعاد (عرض 10 سم× ارتفاع 7سم) وهذا النوع من الأنابيب الأكثر أستخداماً عند المزارعين التجاريين.

الزراعة داخل أنابيب النمو

يتم حفر الثقوب في الأنابيب المائية بقطر (7–9سم) وينبغي أن تتناسب مع حجم الأكواب الشبكية المتاحة للزرع، كما ينبغي أن يكون هناك حد أدنى للمسافة بين مركز الشتلة الأولى والشتلة الأخرى تقدر بحوالي (21 سم)؛ للسماح بمساحة كافية لإنتاج الخضر الورقية، ونمو الخضراوات الكبيرة (**10 – 40**) (**10 – 41**).

شكل (**10 – 40**) ركائز النبات تظهر بيئة النمو والكوب الشبكي وقطعة من إنبوبة PVC

شكل (10 – 41) نبات خس كاملة تم حصادها من وحدة تعمل بتقنية الأغشية المغذية (NFT)

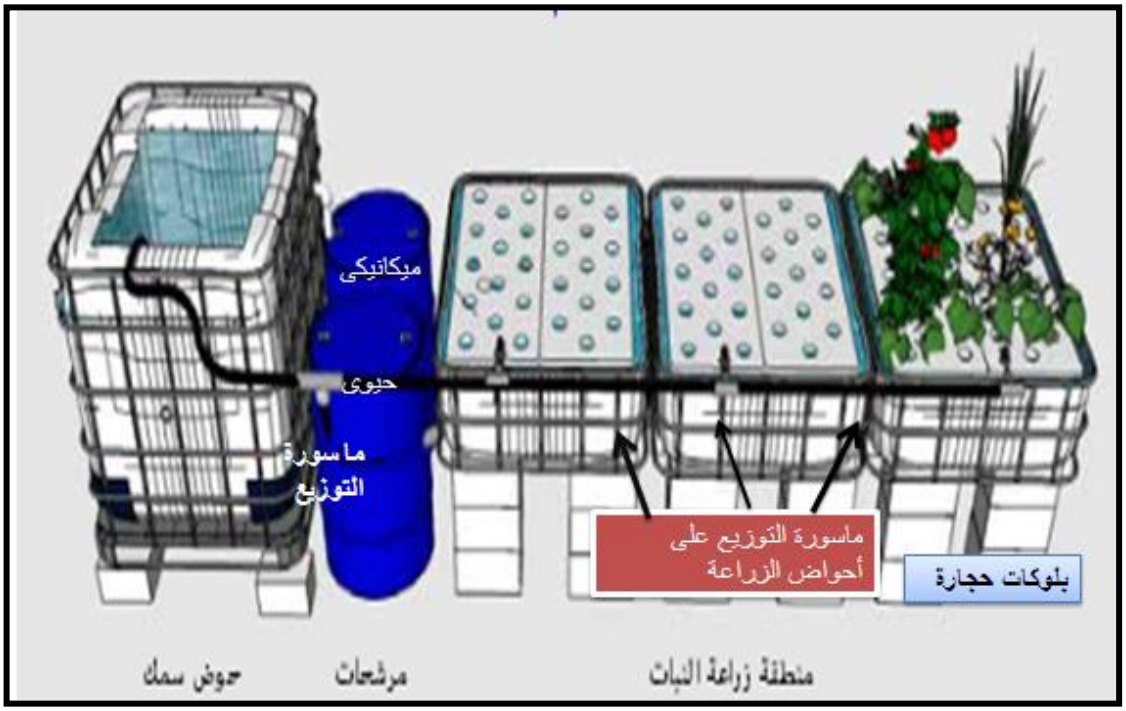
ويتضح من الشكل كوب شبكي موصل به قطعة من أنبوب PVC لمده للأعلى ولتتم عملية الزراعة بوضع كل شتلة في كوب من البلاستيك، ثم يوضع الكوب داخل أنبوب النمو، ثم يتم ملئ هذه الأكواب بوسائط الزراعة المائية كالحصى البركاني، أو الصوف الصخري، أو كريات الطين الخفيفة (LECA) إذا رغبت في ذلك. كما يمكنك استخدام قطعة أنبوب بطول (5–10سم) وبقطر (5سم) من أنابيب (PVC)، والتي يمكن وضعها داخل الكوب لإتاحة مزيد من التوازن والدعم للنباتات، أما إذا كانت الأكواب البلاستيكية الشبكية غير متوافرة أو مكلفة، فمن الممكن استخدام أكواب الشرب العادية البلاستيكية، شريطة اتباع الإجراء المبين في الفقرة السابقة للزراعة، وتأكد من عمل العديد من الثقوب لكوب الشرب البلاستيكي؛ حتى تحصل الجذور على الكثير من الثقوب للوصول إلى أنبوب النمو. كما أن هناك مزارعين آخرين نجحوا في استخدام رغوة مرنة مفتوحة الخلية (Open–cell foam)؛ لدعم النباتات داخل أنابيب النمو، وإذا لم يكن أي من هذه الخيارات متاحا، فمن الممكن زراعة الشتلات مباشرة في الأنابيب ، خصوصا الأنابيب المستطيلة، كما في (الشكل**(10 – 42)**.

شكل ((**10 – 42**) نبتة خس موضوعة في أنبوب نمو بشكل مباشر وبدون كوب شبكي

تقنية مزارع المياه العميقة DWC

تعتمد فكرة طريقة (DWC) على تعليق النباتات على مرقد من البوليستيرين (الفوم)، وتتدلى جذورها في الماء (الشكلين(**10** – 43) (**10** – 44).

شكل (**10** – 43). رسم توضيحي لوحدة الزراعة بواسطة تقنية المياه العميقة يستخدم فيها مرقد بيئة النمو كمرشح



شكل (**10** – 44). رسم توضيحي لوحدة الزراعة بواسطة تقنية المياه العميقة يستخدم فيها مرشح منفصل

إن هذه التقنية هي الأكثر شيوعا في مشاريع الزراعة بنظام الهيدروبونيك والأكوابونيك التجارية الكبيرة التي يتم فيها زراعة محصول واحد محدد عادة يكون (الخس، ورق السلطة، أو

الريحان) كما هو مبين في (الشكل**10 – 45**) وهو أكثرملائمة لإدخال الآلة في عملية الإنتاج. وعلى نطاق صغير يعد هذا الأسلوب أكثر تعقيدا من مراقد بيئات النمو وربما لا يكون مناسبا لبعض المواقع وخاصة عندما يكون الوصول إلى المواد محدودا.

شكل (**10 – 45**) وحدة كبيرة للزراعة بواسطة تقنية المياه العميقة

ديناميكية تدفق المياه

ديناميكية تدفق المياه في الوحدات التي تعمل بطريقة الزراعة بواسطة المياه العميقة (DWC) هي تقريبا مطابقة للوحدات التي تعمل بطريقة الأغشية المغذية (NFT) ، حيث تتدفق المياه بفعل الجاذبية من أحواض الأسماك، وتمر خلال المرشح الميكانيكي، ومن ثم إلى مزيج من المرشح الحيوي وحوض تجميع المياه الأرضي، ومن حوض تجميع المياه يتم ضخ المياه في اتجاهين من خلال وصلة الصمام "Y". ويتم ضخ بعض المياه مباشرة إلى حوض الأسماك، في حين يتم ضخ المتبقي في موزع (Manifold) والذي يعمل على توزيع المياه بالتساوي من خلال القنوات إلى أحواض الزراعة، وتتدفق المياه مرة أخرى عن طريق الجاذبية عبر القنوات، حيث توجد النباتات وتخرج من الجانب الآخر، وعند خروج المياه من القنوات يتم إرجاعها إلى حوض تجميع المياه الأرضي والمرشح الحيوي، حيث يتم ضخه مرة أخرى إما في حوض الأسماك أو أحواض الزراعة. في حين تعمل المياه التي تدخل في حوض الأسماك على رفع منسوب المياه في حوض الأسماك وتجبر المياه الفائضة على الخروج عبر أنبوب الخروج والعودة إلى المرشح الميكانيكي وبالتالي تتم الدورة.

ويمكن أن يتم وضع نظام توزيع المياه بالتوالي على طول قنوات وحدة الزراعة بواسطة المياه العميقة DWC) ، كما يمكن إنشاؤها ببساطة عن طريق استخدام أو تكوين (شلال) مع وجود مدخل واحد يخدم الخزان الأبعد، وفي هذه الحالة يصبح مخرج الخزان الأول هو مدخل الخزان الآخر على التوالي، وأن زيادة تدفق المياه ستساعد الجذور في الحصول على تدفق أعلى من العناصر الغذائية والتهوية.

في نظام الزراعة بواسطة المياه العميقة (DWC)، يتم ضخ المياه من المرشح الحيوي إلى قنوات أو أحواض فيها طوافات من البوليستيرين تطفو في الأعلى لتدعم النباتات، ويكون معدل تدفق المياه التي تدخل كل قناة منخفضا نسبيا، وكل قناة لديها إمكانية بأن تحتفظ بالمياه لفترة (1–4 ساعات)، ووقت الاحتفاظ بالمياه هو مفهوم مماثل لمعدل الدوران، ويشير إلى مقدار الوقت الذي تستغرقه المياه للتغير الكامل في القناة، فمثلا إذا كانت كمية المياه في قناة واحدة هي (600 لتر)، ومعدل تدفق المياه الذي يدخل القناة هو (300 لتر/ساعة) فإن وقت الاحتفاظ يكون ساعتين، حسب المعادلة التالية: (600 لتر / 300 لتر/ساعة).

الترشيح الميكانيكي والحيوي

الترشيح الميكانيكي والحيوي الذي يحصل في الوحدات التي تعمل بطريقة الزراعة بواسطة المياه العميقة (DWC) يحصل أيضا في الوحدات التي تعمل بطريقة الأغشية المغذية (NFT) بنفس الشاكلة كما تم توضيحه سابقا.

أحواض النمو في نظام المياه العميقة (DWC): الإنشاء والزراعة

يمكن أن تكون الأحواض ذات أطوال متفاوتة من (1–10 أمتار)، كما في (الشكل**10 –** 46)، وبشكل عام فإن طولها لا يعتبر مشكلا، كما رأينا في الوحدات التي تعمل بطريقة الأغشية المغذية (NFT) ؛ لأن كمية المياه كافية لتوفير العناصر الغذائية، كما أن تغذية النباتات بالطريقة المثلى في القنوات الطويلة جدا يجب أن تسمح دائما بتدفق مياه كافية وإعادة ضخ الأكسجين؛ لضمان عدم نقص العناصر المغذية، وأن جذور النباتات تستطيع التنفس. أما بخصوص العرض فيمكن أخذ طوافة البوليسترين كمعيار، وعند مضاعفة العرض يمكن وضع طوافتين، لكن مع ذلك فإن الأحواض الضيقة والطويلة توفر سرعة عالية لانسياب المياه التي يمكن أن مد الجذور بتدفقات أكبر من االعناصر الغذائية. كما أن اختيار العرض ينبغي أيضا أن يأخذ في الحسبان إمكانية الوصول إلى مختلف النباتات من قبل المزارع، أما العمق الموصى به فهو

(30سم)؛ وذلك للسماح بتوافر مساحة كافية لجذور النباتات، وعلى غرار أحواض الأسماك

يمكن إنشاء القنوات من أية مادة قوية خاملة يمكنها أن تخزن المياه. أما بالنسبة للوحدات صغيرة الحجم، فإن المواد الشائعة تشمل الحاويات المتوسطة تكون مصنوعة من البلاستيك، أو الألياف الزجاجية، ويمكن إنشاء قنوات أكبر من ذلك بكثير باستخدام قطع الخشب الطويلة، أو كتل الخرسانة المبطنة بغشاء مصنوع من مواد بلاستيكية آمنة للاستهلاك الآدمي، وإذا تم استخدام الخرسانة فيجب التأكد من عزلها بمادة غير سامة؛ لتجنب تسرب المعادن السامة المحتملة من الخرسانة إلى مياه النظام. وكما ذكر أعلاه فإن وقت الاحتفاظ بالماء لكل خوض في أي وحدة هو (1–4 ساعات)، بغض النظر عن حجم الحوض الفعلي، وهذا يسمح بتجديد كاف العناصر المغذية في كل قناة، وعلى الرغم من أن حجم المياه وكمية المواد المغذية في الأحواض عميقة وكافية لتغذية النباتات لفترات أطول؛ لذا فستستفيد النباتات بالتأكيد من معدلات تدفق المياه حيث يكون هناك فرصة لإمداد النبات.

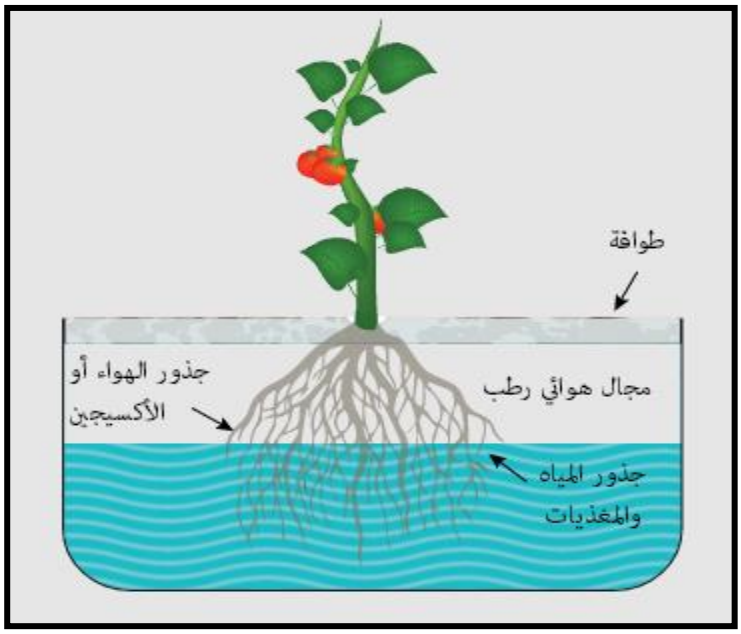
شكل **10 – 46**) وحدة أكوابونيك صغيرة للزراعة بواسطة تقنية المياه العميقة. يمكن مشاهدة جذور النبات تحت الطوافة المصنوعة من البوليسترين

إن تهوية وحدات الزراعة بواسطة المياه العميقة (DWC) هو أمر حيوي في القناة التي تشهد زراعة كثيفة مما يجعل استهلاك للنباتات كبير والتي تتسبب في تراجع مستويات الأكسجين المذاب إلى أقل من الحد الأدنى. كما أن أي تحلل للمواد والمخلفات العضوية ة في الحزض سيفاقم هذه المشكلة مما سيقلل من كمية الأكسجين المذاب بشكل أكثر، وبالتالي يتطلب الأمر إحداث التهوية للمياه وأبسط طريقة ما وهي وضع عدة أحجار هواء صغيرة لتوزيع الهواء في الأحواض، كما هو مبين في (الشكل**10 –** 47) ، وينبغي لحجارة

الهواء ضخ 4 لترات من الهواء في الدقيقة الواحدة ويكون ترتيبها بأبعاد (2–4 م^2) منطقة الحوض.

شكل (10 – 47) حجارة الهواء تستخدم في قناة وحدة الزراعة بواسطة تقنية المياه العميقة

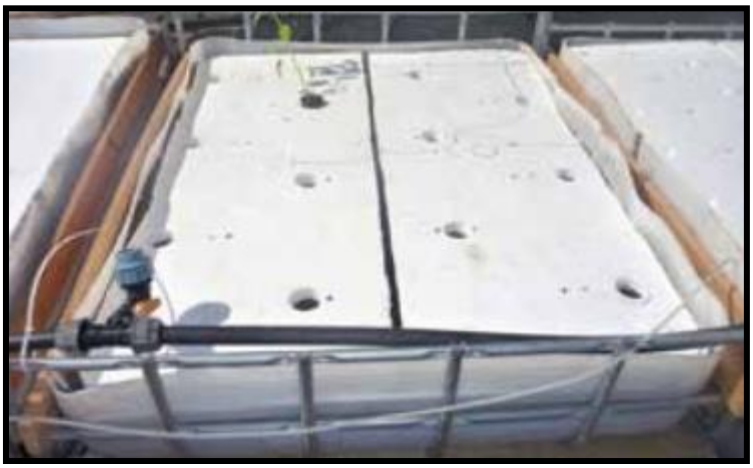
وأخيرا فإنه يمكن استخدام طريقة البروفيسور كراتكي (Kratky method) للزراعة بواسطة المياه العميقة (DWC) (الشكل10 – 48)، وفي هذه الطريقة تترك مساحة من (3–4 سم) بين طوافة البوليسترين وجسم الماء داخل القناة، وهذا سيسمح للهواء بالتوزيع حول القسم العلوي من جذور النباتات. إن هذه الطريقة تغني عن الحاجة إلى حجارة الهواء في القناة على اعتبار أنه يكفي، وسيتم تزويد الجذور بكميات الأكسجين من الهواء، كما أن ميزة أخرى لهذه الطريقة هي تجنب الاتصال المباشر لسيقان النباتات مع الماء؛ مما يقلل من مخاطر الأمراض النباتية في منطقة الطوق، علاوة على ذلك فإن زيادة التهوية نتيجة لزيادة المجال الهوائي يعمل على تبديد الحرارة من الماء، والذي يعتبر أمرا مثاليا في المناخات الحارة.



شكل (10 – 48) رسم توضيحي لوحدة الزراعة بواسطة تقنية المياه العميقة"، ويشاهد فيها الفصل بين الطوافة وسطح الماء

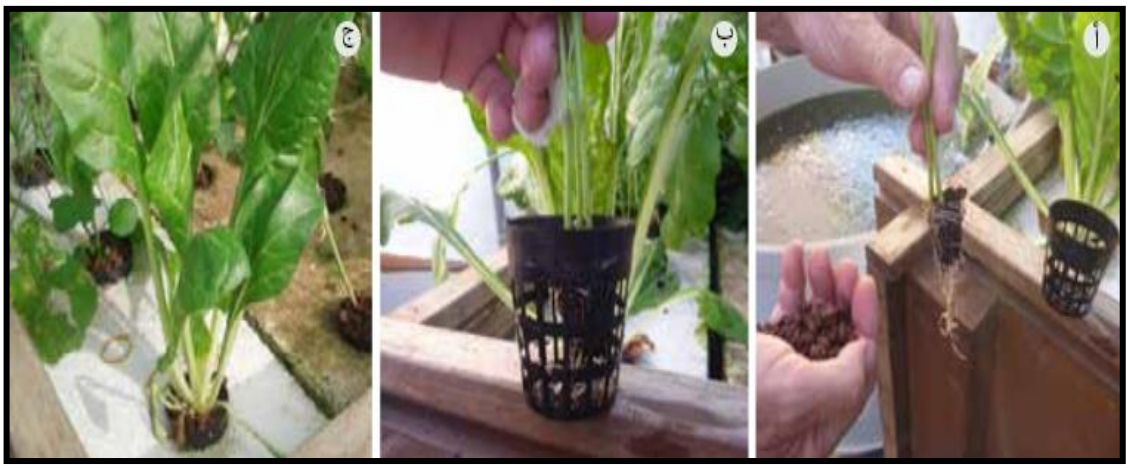
لا يضاف أي نوع من الأسماك في الأحواض؛ لأنها يمكن أن تأكل جذور النباتات، ومن أمثلة تلك الأسماك العاشبة البلطي (Tilapia) والشبوط (Carp). ومع ذلك فإن بعض أنواع الأسماك آكلة اللحوم الصغيرة مثل أسماك الغابي (Mollies)، أو أسماك البعوض، يمكن استخدامها بنجاح للتحكم في يرقات البعوض والتي يمكن أن تصبح مصدر إزعاج كبير للعمال والجيران في بعض المناطق.

يجب أيضا أن يتم حفرعدد من الثقوب في صفيحة البوليستيرين؛ لتتناسب مع الأكواب الشبكية أو مكعبات الإسفنج التي تستخدم لدعم النبات (الشكل10 – 49)، كما أن كمية ومكان الثقوب يحدده نوع الخضار والمسافة المطلوبة بين النباتات، حيث يمكن مقاربة النباتات الصغيرة من بعضها أكثر.



شكل (10 – 49) صفيحة من البوليسترين في وحدة صغيرة للزراعة بواسطة تقنية المياه العميقة يشاهد عليها ثقوب أكواب الزراعة

يتم عنل مشتل منفرد عن الوحدة وعندما تصبح الشتلات كبيرة بما يكفي للتعامل معها فيمكن نقلها في الأكواب الشبكية وزرعها في وحدة المياه العميقة (DWC)، (الشكل 10 – 50) والكوب الشبكي ينبغي أن تملأ بيئات النمو المناسبة مثل: الحصى البركاني، أو الصوف الصخري، أو كريات الطين الخفيفة (LECA)؛ لدعم الشتلات. ومن الممكن أيضا وضع بذور النباتات في الأكواب الشبكية على وسائط النمو، ويوصى بهذه الطريقة في بعض الأحيان إذا كانت بذور الخضراوات متوافرة ويسهل الحصول عليها؛ وذلك لتتجنب الصدمة الناتجة من إعادة زراعة الشتلات عند الحصاد. وعليك أن تتأكد من إزالة النباتات كاملة بما في ذلك الجذور والأوراق الميتة من الحوض. وبعد الحصاد يجب تنظيف الصفائح (الطوافات)، ولكن يجب أن لا تترك لتجف وذلك لتجنب موت البكتيريا الآزوتية الموجودة على السطح المغمور من الطوافة. أما في الوحدات واسعة النطاق فيجب تنظيف الطوافات بالماء؛ لإزالة الأوساخ والبقايا النباتية، ويجب على الفور إعادتها في القنوات لتجنب أي إجهاد للبكتيريا الآزوتية.



شكل (10 – 50) طريقة وضع النبتة والحصى خطوة بخطوة (أ) في الكوب الشبكي (ب) ووضعه في علبة البوليسترين في وحدة صغيرة للزراعة (ج) فى وحدة تقنية المياه العميقة

الوحدات التي تعمل بطريقة (DWC) مع انخفاض كثافة الأسماك وبدون مرشحات

يمكن تصميم هذا النوع من الوحدات بحيث لا تتطلب ترشيحا إضافيا خارجيا (الشكل 10 – 51). وتتحمل هذه الوحدات كثافة منخفضة جدا من الأسماك (أي من 1 – 1, 5 كجم من الأسماك لكل متر مكعب من حوض الأسماك) ومن ثم الاعتماد بشكل رئيس على مساحة جذور النباتات والمنطقة الداخلية للقنوات كمساحة لإيواء البكتيريا الآزوتية، ويمكن استخدام شبك بسيط

لالتقاط المخلفات الصلبة الكبيرة، وتعمل القنوات بمثابة خزانات ترسيب للمخلفات الصغيرة، وميزة هذا الأسلوب هو الانخفاض في تكاليف الاستثمار المالي الأولي وتكاليف رأس المال، وفي نفس الوقت يلغي الحاجة لحاويات الترشيح الإضافية والمواد الأخرى، والتي يمكن أن تكون مكلفة وصعبة المصدر في بعض المواقع. ومع ذلك فإن انخفاض كثافة الأسماك تؤدي إلى إنتاج أقل للأسماك. وفي نفس الوقت تحصل الكثير من مشاريع الأكوابونيك على الغالبية العظمى من أرباحها من إنتاجية النباتات بدلامن إنتاج الأسماك، وفي الأساس تستخدم الأسماك كمصدر للعناصر الغذائية، وفي كثير من الأحيان تتطلب هذه الطريقة إضافة المغذيات لضمان نمو النباتات.

شكل (10 – 51) رسم توضيحي لوحدة صغيرة للزراعة بواسطة تقنية المياه العميقة بدون عازل ميكانيكي للمخلفات الصلبة أو مرشح حيوي

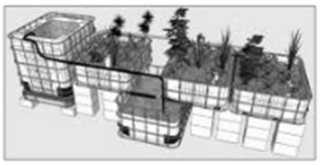
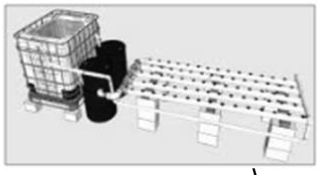
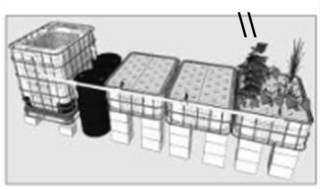
مزايا وعيوب الكثافة المنخفضة للسمك

إن الميزة الرئيسة من الكثافة المنخفضة للسمك هي أن الوحدة تكون بسيطة، ويعد هذا النظام الأسهل للإنشاء والأرخص للبدء، كما أن تكاليف رأس المال منخفضة، ويقل الجهد على الأسماك؛ لأنها تتربى في ظروف أكثر اتساعا، وعموما يمكن لهذه التقنية أن تكون مفيدة جدا للمشاريع التي تكون برأس مال منخفض. كما أن هذه الأنظمة هي مفيدة جدا لزراعة الأسماك ذات القيمة العالية، مثل أسماك الزينة، أو المحاصيل المتخصصة، مثل الأعشاب الطبية، حيث يتم تعويض كمية الإنتاج المنخفض بقيمة أعلى عند بيع المنتج.

ومع ذلك فإن العيب الأكبرلهذه الطريقة هو أن هذه الوحدات من الصعب توسيعها، وتتم زراعة عدد أقل من النباتات والأسماك في منطقة معينة، ولذلك فإن هذه الأنظمة أقل كثافة من بعض الأنظمة المبينة سابقا.

مقارنة بين تقنيات أنظمة الأكوابونيك

يقدم الجدول (10 – 6) أدناه إشارة سريعة ومقارنة موجزة لمختلف نظم الأكوابونيك المذكورة أعلاه

نوع النظام	القوة	الضعف
وحدة سرير وسائط النمو 	تصميم بسيط ومتسامح مثالي للمبتدئين يمكن استخدام أجزاء بديلة أو معاد تدويرها يتم دعم الخضراوات الثمرية طويلة القامة جميع أنواع النباتات يمكن زراعتها تقنيات ري متعددة يمكن استخدام العديد من أنواع وسائط النمو عالية التهوية عند استخدام تقنية الشفط بالجرس طاقة كهربائية منخفضة نسبيا إلتقاط وتمعدن متوسط للمواد الصلبة	ثقيل جدا، وهذا يتوقف على اختيار وسائط النمو يمكن لوسائط النمو أن تكون مكلفة يمكن لوسائط النمو أن تكون غير متوافرة غير عملي على نطاق واسع التبخر أعلى من غشاء المغذيات (NFT)، وكذلك المياه العميقة (DWC) يتطلب عمالة مكثفة يتطلب حذرا لحساب كمية المياه لإنشاء دورات الإغراق والاستنزاف وسائط النمو يمكن أن تنسد فعند الكثافات العالية يتطلب عمالة مكثفة لإعادة زرع النبات؛ نظراً للحاجة إلى نقل وسائط النمو إذا كان توصيل المياه ليس موحدا قد يختلف نموالنبات من سرير إلى سرير
غشاء المغذيات (NFT) 	أكثر فاعلية من حيث التكلفة من النطاق الواسع مثالية للأعشاب والخضار الورقية الخضراء فقدان الماء عن طريق التبخر عند الحد الأدنى نظام خفيف الوزن أفضل طريقة لأسطح المنازل طرق الحصاد بسيطة جدا تباعد الأنابيب يمكن تعديلها لتناسب مع النباتات المختلفة مدروسة جيدا من قبل المشاريع المائية التجارية كمية المياه المطلوبة أصغر يتطلب عمالة عند الحد الأدنى للزراعة والحصاد	طريقة الترشيح أكثر تعقيدا مضخة مياه ومضخة الهواء إلزامية لا يمكن وضع البذور مباشرة كمية المياه المنخفضة تضخم قضايا جودة المياه يزيد التباين في درجة حرارة الماء مع التأثير على الأسماك أنابيب مدخل المياه يمكن أن تسد بسهولة عرضة لانقطاع التيار الكهربائي
المياه العميقة (DWC) 	طريقة فاعلة أكثر من حيث التكلفة عن وسائط النمو على نطاق واسع كمية كبيرة للمياه تخفف التغييرات في جودة المياه يمكن أن تتحمل انقطاعا قصيرا في الكهرباء فقدان الماء عن طريق التبخر عند الحد الأدنى مدروسة جيدا من قبل المشاريع المائية التجارية طوافات البوليسترين تعزل المياه من خسارة / مكسب الحرارة وتسهم في الاحتفاظ بدرجات حرارة ثابتة يمكن لعملية نقل الطوافات تسهيل الزراعة والحصاد توفر الطوافات مساحة للترشيح الحيوي قنوات المياه العميقة (DWC) يمكن أن تكون ثابتة مع بطانات البلاستيك باستخدام (تقريبا) أي نوع من جدار (الخشب، أو إطارات الصلب، أو عوارض معدنية)	طريقة الترشيح أكثر تعقيدا وحدة ثقيلة جدا نسبة الأكسجين المذاب مطلوبة بنسبة عالية في القناة تتطلب مضخة هواء أكثر تطورا يجب أن تكون المواد البلاستيكية آمنة للاستهلاك الآدمي يتم تشقق عوازل البوليستيرين بسهولة النباتات طويلة القامة هي أكثر صعوبة للدعم زيادة كمية المياه ترفع من نسبة الرطوبة وخطر الإصابة بأمراض فطرية

مصدر هذا الفص من:

© FAO, 2014 Small-scale aquaponic food production Integrated fish and plant farming

FAO encourages the use, reproduction and dissemination of material in this information product. Except where otherwise indicated, material may be copied, downloaded and printed for private study, research and teaching purposes, or for use in non-commercial products or services, provided that appropriate acknowledgement of FAO as the source and copyright holder is given and that FAO's endorsement of users' views, products or services is not implied in any way

تشجع منظمة الأغذية والزراعة للأمم المتحدة استخدام هذه المواد الإعلامية واستنساخها ونشرها .وما لم يذكر خلاف ذلك، يمكن نسخ هذه المواد وطبعها وتحميلها بغرض الدراسات الخاصة والأبحاث والأهداف التعليمية، أو الاستخدام في منتجات أو خدمات غير تجارية، على أن يشار إلى أن المنظمة هي المصدر، واحترام حقوق النشر، وعدم افتراض موافقة المنظمة على آراء المستخدمين وعلى المنتجات أو الخدمات بأي شكل من الأشكال

الفصل الحادى عشر

مزارع البيئات الصلبة Solid Aggregates Cultures

االفصل الحادى عشر

مزارع البيئات الصلبة Solid Aggregates Cultures

البيئات التي تستخدم كوسط للنمو في المزارع اللاأرضية مختلفة ومتعدده منها بيئات طبيعية شائعة الإستخدام مثل: الحصى Gravel والرمل Sand وغيرهما, وبيئات مصنعة مثل: الفيرميكيوليتVermiculite والبيرليت Perlite , وهذه البيئات تقوم ببعض ما تقوم به الأرض الطبيعية للنبات من حيث كونها وسط لنمو الجذور ودعامة لتثبيت النباتات. وهي في ذلك تختلف عن مزارع المحاليل والتي تكون فيها جذور النبات منغمسة أو معلقة طوال الوقت في المحلول, ولكنها تتشابة مع مزارع المحاليل في مصدر تغذية النباتات والذي يتم في كلتا الحالتين بواسطة المحلول المغذي.

مميزات مزارع البيئات الصلبة:

1- وجود بيئة صلبة تعمل على تثبيت النباتات كما هو الحال في الزراعة في الأرض الطبيعية.

2- عدم الحاجة إلى تهوية المزرعة كما هو الحال في مزارع المحاليل.

3- لا تحتاج إلى ملاحظة مستمرة كما في حالة مزارع المحاليل.

العيوب:

1- إرتفاع التكلفة الإنشائية بالمقارنة بمزارع المحاليل.

2- الحاجة إلى تعقيم الوسط من فترة إلى أخرى.

3- صعوبة التخلص من جذور النباتات بعد الحصاد, مما يؤدي إلى تراكما في البيئة وقد يسبب إنسداد أنابيب الصرف.

الشروط الواجب توافرها في مادة بيئة النمو الصلبة:

أولاً: القدرة على حفظ وصرف الماء

يتوقف قدرة البيئة على حفظ وصرف الماء على حجم الحبيبات وشكلها ومساميتها, حيث أن الماء يمسك على سطوح الحبيبات وفي المسام ما بين الحبيبات. وكلما صغر حجم الحبيبات كلما إزدادت مساحة سطوحها وقربت الحبيبات من بعضها وإزدادت المسافات البينية في البيئة, وبالتالي تزداد قدرتها على مسك الماء.

كما أن الحبيبات غير المنتظمة في الشكل لها مساحة سطوح أكبر, وبالتالي قدره أعلى على حفظ الماء عن الحبيبات الملساء والمستديرة, هذا بالإضافة إلى أن المواد المسامية يمكنها حفظ

الماء بداخل مسامها إلى جانب ما تحتفظ به في المسافات البينية, وهذا يزيد من كمية الماء الذي تحتفظ به البيئة.

وفي الوقت الذي يجب أن تكون فيه للبيئة قدرة كبيرة على الإحتفاظ بالماء فإنها أيضاً يجب أن تكون لها قدرة أكبر على صرف هذا الماء لضمان جودة التهوية في البيئة. ولذلك يجب تحاشي أن تكون حبيبات البيئة ناعمة جداً فتحتفظ بكمية كبيرة من الماء ويقل معه معدل صرفه للمحلول, مما يؤدي إلى إنخفاض حركة الأكسجين خلال حبيبات مادة البيئة. ومما تجدر الملاحظة إليه وجود الأتربة الناعمة في بعض البيئات الصلبة خاصة بيئة الرمل والحصى والذي يزيد من قدرة البيئة على الإحتفاظ بالماء, مما يقلل من معدل الصرف, بل قد يعوقة ولذلك يجب التخلص منه بالغسيل.

ثانياً: عدم وجود مواد ضارة أو سامة

يجب ألا تحتوي البيئة على مواد ضارة بنمو النباتات. فبيئة نشارة الخشب Sawdust مثلاً تحتوي غالباً على تركيز مرتفع من أملاح كلوريد الصوديوم Na Cl, نظراً لما تتعرض له ألواح الخشب من نقع في محلول ملحي لمدد طويلة, وكذلك بيئات الرمل Sand والحصى Gravel قد تحتوي على تركيزات مرتفعة من الأملاح على حسب مناطق الحصول عليه ولذلك فمن الضروري تقدير تركيز الأملاح في بيئة النمو, فإذا وجد مرتفعاً وجب التخلص منه بالغسيل بالماء العذب.

كذلك فإن الرمل أو الحصى الناتج من مادة الأصل الجيرية (كربونات الكالسيوم $CaCO_3$) يجب تحاشي إستخدامه, حيث أن وجود كربونات الكالسيوم من شأنه أن يؤدي إلى إرتفاع رقم الـ pH للمحلول المغذي إلى الجانب القاعدي (pH أكبر من 7), وهذا الإرتفاع في قاعدية المحلول يؤدي إلى ترسيب الحديد والفوسفور, وبالتالي يعاني النبات من نقص هذه العناصر بالرغم من تواجدها في المحلول المغذي, وعند وجود ضرورة إلى إستخدام مثل هذه البيئات تحت هذه الظروف فإنه يتم غسلها بالأحماض المخففة مثل: حامض الأيدروكلوريك HCl, حيث يعمل على تحويل كربونات الكالسيوم إلى ثاني أكسيد الكربون CO_3, والماء H_2O, وبالتالي يتم التخلص من الكربونات وتأثيرها القاعدي, ويستكمل التفاعل بإتحاد الكلوريد مع الكالسيوم مكوناً ملح كلوريد الكالسيوم $CaCl_2$ سهل الذوبان والغسيل كما يتضح من المعادلة التالية:

$$CaCO_3 + 2\ HCl \longrightarrow CaCl_2 + H_2CO_3$$
$$H_2CO_3 \longrightarrow CO_2 + H_2O$$

كما أنه من الممكن تحت ظروف خاصة نقع هذه المواد في محلول فوسفاتي, حيث يؤدي ذلك إلى تقليل خروج الكربونات إلى المحلول, ومع ذلك فإن تأثير هذه المعاملة يستمر لفترة زمنية قصيرة تنشأ بعدها مشاكل في تغذية النباتات.

ثالثاً: درجة الصلابة

يجب أن تكون البيئة الصلبة من مادة ثابتة لا تتكسر ولا تتفتت بسهولة مما يساعد على إستخدامها لفترات طويلة, بالإضافة إلى أن المواد الناعمة سهلة التكسر تفقد بنائها بسرعة, وتقل أقطار حبيباتها سريعاً مما يؤدي إلى تضاغط البيئة وسوء تهوية الجذور بها. لذلك فإن حبيبات أو حصوات صخر الجرانيت تعتبر من أفضل المواد من حيث الصلابة والتماسك وخاصة تلك المحتوية على نسبة عالية من الكوارتز والكالسيت والفلسبارات.

وجدير بالذكر أنه إذا ما أستخدمت البيئات الصلبة في الزراعة في مزارع خارج الصوبه Open field فإنه يجب تحاشي إستخدام الحبيبات التي لها حواف حادة غير منتظمة, حيث أن قدرتها على تثبيت النباتات قليلة مما يجعل النباتات سهاة الرقاد بالرياح, فإذا كان ولابد من إستخدام هذه المواد فإنه يجب أن تكون الخمسة سنتيمترات العلوية من البيئة من حبيبات ذات حواف ناعمة.

نماذج من بيئات النمو الصلبة في العالم

سبق استعراض أهم البيئات الصلبة المسنخدمة بفختصار فى الباب السابق (الكوابونيك) وسوف نتناولها هنا بشئ من التفصيل.

١- **البيت موس**Peat Moss

والبيت موس هو عبارة عن مادة عضوية متحللة توجد في مستنقعات المناطق الرطبة على مساحات كبيرة تعرف بمناجم البيت, حيث يتم الحصول عليه في درجات متباينة من التحلل نظراً لإختلاف طبيعة المواد و النباتات الموجودة في هذه المستنقعات, وعلية يجب إجراء عملية فرز أولية لإستبعاد جذوع الأشجار والشج رات غير المتحللة والتي يتم طحنها والحصول منها على

درجة أو Grade من درجات تصنيف البيت موس, أما باقي المواد فيتم تصنيفها على حسب درجة النعومة التي هي عليها. وفي الغالب يكون هناك ثلاث درجات من النعومة للبيت موس والتي تحدد إلى حد ما طبيعة إستخدامها في الزراعة (شكل 11– 1) , وهذه الدرجات هي:

أ– البيت موس الناعم Fine Peat Moss Grade

وأقطار حبيباته أو جزيئاته تتراوح من صفر إلى 10مم وهو مناسب لزراعة النباتات الصغيرة أي في مراحل النمو الأولى وذلك في الأصص الصغيرة حتى قطر 7سم.

ب– البيت موس المتوسط النعومة Medium Peat Moss Grade

تتراوح أقطاره من صفر إلى 35 مم وهي مناسبة للنباتات متوسطة العمر والتي تزرع غالباً في أصص قطرها يبدأ من 5– 13سم أو الأصص والأكياس حجم 1 لتر.

جـ– البيت موس الخشن Coarse Peat Moss Grade

وهذا النوع تتراوح أقطارة من صفر إلى 35مم ويستخدم في حالة المحاصيل التي تمكث فترة طويلة في بيئة النمو والتي غالباً ما يتم زراعتها في أصص قطرها أكبر من 13سم أو التي يزيد حجمها عن 1لتر.

ويعبأ البيت موس سائباً في أكياس ويسوق للإستخدام كبيئة للزراعة اللاأرضية, أو يضغط في مكعبات, وهذه المكعبات تستخدم في إنبات البذور والحصول منها على شتلات قوية تستخدم في الزراعة في بعض البيئات الصلبة الأخرى. والبي موس مادة غنية في محتواها من العناصر الغذائية وتستخدم بشكل واسع في أوروبا, وفي مصر يتم إستيرادها وأستخدامها في مشاتل نباتات الزينه بشكل واسع منفردة أو مخلوطة مع بيئات أخرى لتحسين حالتها الغذائية وقدرتها على الإحتفاظ بالماء.

كما أن الزراعة المباشرة في البيت موس في المناطق المتوفرة به يعطي نمواً جيداً ومحصولاً وفيراً.

ومادة البيت موس تختلف في بعض صفاتها وفي محتوى العناصر بها بإختلاف مناطق الحصول عليها, إلا أنها بشكل عام تحتوي على المادة العضوية بنسبه من 94– 99٪, ورقم الحموضة pH يتراوح ما بين 2,5–4,5 والمسامية بها من 95– 98٪ , وقدرتها على الإحتفاظ بالماء تتراوح ما بين 700– 1000جام لكل 100جرام, والعناصر الغذائية بها كما يلي:

النيتروجين أقل من 50 ملليجرام/ لتر – الفوسفور أقل من 30ملليجرام/ لتر

البوتاسيوم أقل من 40 ملليجرام/ لتر – الماغنسيوم أقل من 80ملليجرام/ لتر

2- سفاجنيوم موس Sphagnum Moss

وهذا المكون يشبة البيت موس من حيث ظروف النشأه والخواص إلا أن المخلفات المتحللة هي لإحدى نباتات المستنقعات الحامضية من جنس Sphagnum . ويتميز السفاجنيوم موس بقدرتة الكبيرة على إمتصاص الماء الذي يبلغ 8 أمثال وزنة بعد التشبع وصرف الماء الزائد والذي يتصرف بسهولة. والسفاجنيوم يميل إلى الحموضة, ومع ذلك فقدرته على مقاومة التغير في رقم الـpH عالية High buffering capacity . ويوجد من السفاجنيومنوعين: الأول: غامق اللون وهو الذي أخذ حظه من التحلل, والثاني: فاتح اللون متوسط التحلل يتميز بالتهوية الجيدة وبقيمة متوسطة للإحتفاظ بالماء مما يزيد من سعره.

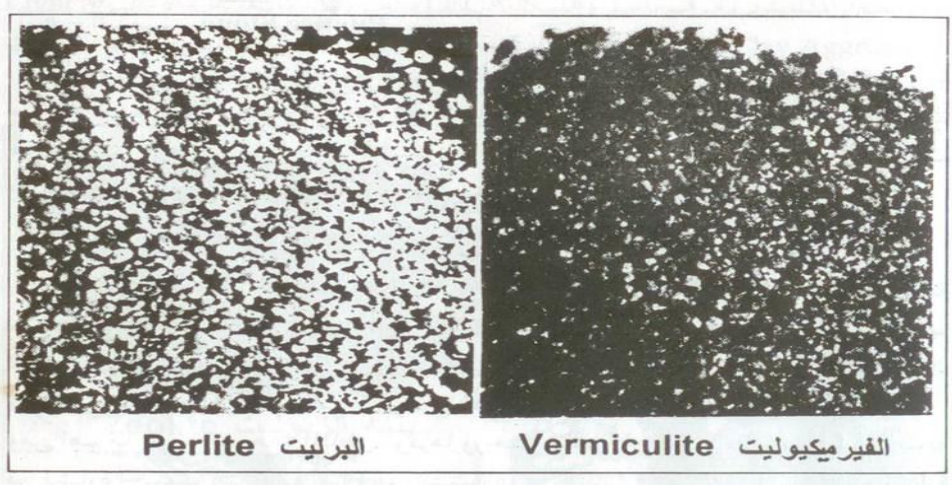
شكل (11 – 1) بيت موس سائب وأخر فى صورة قوالب

3- الفيرميكيوليت Vermiculite

عبارة عن رقائق معدنية Flaky minerals تستخرج من مناجم الميكا ف إفريقيا وأمريكا وأستراليا. وللحصول على الصورة المستخدمة كبيئة زراعية, يتم معاملة المعدن الخام لدرجة حرارة

1000 درجة مئوية فتتحول الرطوبة الموجودة به إلى بخار يزيد من الضغط داخل طبقاته, فيؤدي ذلك إلى تكسير وتقسيم هذه الطبقات إلى جزيئات أو أجزاء صغيرة خفيفة ومسامية ذات صفات جيدة للزراعة اللاأرضية (شكل 11 – 2).

ومن الناحية الكيميائية فإن الفيرميكيوليت عبارة عن سليكات الحديد والألومنيوم والماغنسيوم المتأدرتة والتي تمتاز بقدرتها على الإحتفاظ بقدر مناسب من الماء والتبادل الكاتيوني والقدرة التنظيمية العالية. ويمتاز الفيرميكيوليت بوجود عنصري الماغنسيوم والبوتاسيوم في صورة ميسرة يمكن للنباتات إمتصاصها وإستفادة منها. ويعتبر الفيرميكيوليت مادة ماصة للماء, وبالتالي يظل مبتلاً معظم الوقت, ولذلك يفضل خلطه بمواد أخرى ليقلل ذلك من حالة الإبتلال لتظل الرطوبة مناسبة لنمو النبات.



شكل (11–2): عينات من بيئات الفيرميكيوليت والبيرليت المستخدمة في الزراعة اللاأرضية

4- البيرليت Perlite

عبارة عن زجاج بركاني يتم الحصول علية عند تبريد الحمم المنصهرة بسرعة. وعند طحن هذا الزجاج البركاني وتسخينه حتى درجة حرارة قدرها 1000 درجة مئوية, يتحول إلى حبيبات بيضاء مرنة تشبه في قوامها قوام الفوم المحبب Granulated foam (شكل 11–3). ويتميز البيرليت بأنه مادة قليلة المسامية وفي الوقت نفسة جيدة الصرف مما يجعل من البيرليت والفيرميكيوليت مادتين تكملان بعضهما من حيث إمتصاص الماء والصرف والتهوية, وأفضل نسبة منهما توفر المثالية في بيئة النمو هي 1:2 أي حجمين من البيرليت وحجم واحد من الفيرميكيوليت. والبيرليت على عكس الفيرميكيوليت, حبيباته خاملة وليس لها القدرة على التبادل الكاتيوني وليس لها القدرة على التنظيم No buffering, ولا توجد به عناصر غذائية في صورة

ميسرة للنبات, ولكن الحبيبات مع بعضها تتميز بوجود الخاصية الشعرية مما يسهل من إستخدامها كبيئة تروى بنظام الري تحت سطحي.

5- البوميس Pumice Stone

والبوميس يشبة البيرليت فهو من الصخور السليكاتية من أصل بركاني. وهو موجود طبيعياً ولا يحتاج إلى حرارة أو تسخين, بل إن كل ما يجري علية من عمليات هو التكسير والطحن إلى الحجم المناسب من الحبيبات. والبوميس مادة أثقل من البيرليت ولا تمتص الماء بسهولة. ويستخدم البوميس بمفردة أو مخلوطاً مع الرمل والبيت موس.

6- نشارة الخشب Sawdust

هي عبارة عن قلف الأشجار والبقايا والمخلفات التي تنتج أثناء العملية التصنيعية للأخشاب في المصانع وورش النجارة. وفي المناطق التي تنتشر فيها الفابات ويكثر فيها تصنيع الأخشاب مثل: شمال غرب الولايات المتحدة الأمريكية وغرب كندا وكولومبيا, يتم إنتاج هذه النشارة بكميات كبيرة, مما أدى إلى إستخدامها كبيئة للزراعة اللاأرضية. ومن أهم ما يميزها في هذه المناطق توفرها ورخص ثمنها وخفة وزنها. وتنتشر الرطوبة في نشارة الخشب الناعمة أسرع من إنتشارها في النشارة الخشنة, وتستخدم نشارة الخشب بمفردها أو مخلوطة مع السفاجنيوم موس أوالبيت موس أو الرمل وتعطي نتائج جيدة.

7- صخر الفيرسا Versa Rock

صخر الفيرسا هو ناتج الرماد البركاني للأصول الجرانيتية والذي يعتبر من الخلطات الأولية للسيراميك شكل (11-4), وصخر الفيرسا يتكون من الناحية الميزالوجية من الكاؤلينيت والأوبال, وهي مادة خاملة, لها القدرة على مقاومة التغير في رقم الـ pH, ولها القدرة على

إمتصاص الماء, وتتميز بأنها مسامية, يتخللها الهواء بسهولة نظراً لوجود جزيئاتها في أشكال ذات 4–6 أوجة, ومع ذلك فقدرتها على التبادل الكاتيوني ضعيفة, كما أنها خفيفة الوزن وتتميز أيضاً بصفة العزل الحراري Insulationبحيث لا ترتفع درجة حرارتها بسرعة في الجو الحار, ولا تنخفض أيضاً بسرعة في الجو البارد, ويتميز صخر الفيرسا بميزة فريدة تميزه عن كل بيئات النمو وهو تغير لونها بتغير حالة الرطوبة التي هي عليها مما يعطي مؤشراً جيداً لكمية الرطوبة بها, الأمر الذي يسهل معرفة وقت الحاجة إلى الري.

8- الطين المتمدد Expanded Clay

والطين المتمدد يعرف بإسم ((الليكا LECA))إختصاراً للتعريف الإنجليزي Light **Expanded Clay Aggregates**, أي ((تجمعات الطين المتمدد الخفيف))، وهو ما يعرف في مصر وفي بعض البلاد العربية بإسم الحجر الخفاف شكل (11–5).

شكل (11–5): عينة من بيئات الطين المتمدد والتي تستخدم في الزراعات اللاأرضية

وينتج هذا النوع من ((الطين المتمدد)) من تسخين مزيج من الطين في خلاط يدور بسرعة كبيرة ليتكون نتيجة ذلك كرات صغيرة الحجم, خفيفة الوزن, مسامية, لها خاصية شعرية, وذات تهوية عالية, وينتج الطين المتمدد أو الحجر الخفاف في أحجام مختلفة تستخدم بكثرة في الزراعات المنزلية سواء كان ذلك بالزراعة فية مباشرة أو وضعة على سطح أي بيئة أخرى حيث يعوق نمو وإنتشار الطحالب.

9- البلاستيك المتمددExpanded Plastic

في كثير من دول العالم تجرى التجارب على تخليق بعض المواد كيميائياً من المركبات العضوية مثـــل: البـــولي يوريثـــان Polyurethan , البـــولي ســـيترينPolystyrene , أو اليوريـــا فورمالدهيدUrea- formaldehyde بهدف إستخدامها كبيئة زراعية فيما يعرف بالبلاستيك المتمددExpanded Plastic, أو الفوم المحبب Synthetic granulated foam.

والفوم الناتج عبارة عن حبيبات Granulesخاملة كيميائياً,خفيفة الوزن تصنع في أشكال وأحجام متعددة ذات كثافة ومسام مختلفة, هذه الإختلافات في الحجم والكثافة والمسام يعطي لمادة الفوم قدرتها على حفظ الماء Water retention capacity تختلف تبعاً لنوع ومواصفات الحبيبات المكونة لها, ولقد وجد أن 454 جراماً من الفوم الناتج من مادة اليوريا فورمالدهيد Urea-formaldehyde يحتفظ بحوالي 12 جالوناً أمريكياً من الماء (حوالي 45 لتراً), ومادة الفوم لا تحتفظ بالعناصر الغذائية بشكل جيد وليست دعامة جيدة للنباتات النامية بها, كما أنها ليس لها قدرة تنظيمية على تغير رقم الـ pH ولذلك يفضل إستخدامها مع بيئات أخرى.

ولقد أستخدمت مخاليط من مادة الفوم foam والرمل Sand بنجاح كبير في إنتاج الأبصال المختلفة وزراعة نباتات القرنفل والطماطم والعديد من النباتات التي تزرع في المنازل, والفوم يستخدم بشكل جيد أيضاً كمادةلإنتاج الشتلات من خلال مكعبات وبلوكات الإنبات المصنعة منها.

10- الزيوليت Zeolite

وهو عبارة عن مجموعة من السليكات المائية التي تؤدي إلى زيادة السعة التبادلية الكاتيونية في التربة, والمكون الأساسي من الزيوليت هو Clinoptiloite والذي يتكون من الكالسيوم والبوتاسيوم والماغنسيوم والصوديوم والألومنيوسليكات, ويوجد الزيوليت بشكل طبيعي في بعض المناطق إلا أنه لم يستخدم حتى الآن على نطاق واسع كبيئة للزراعة اللاأرضية بالرغم من إستخدامة بنجاح في الولايات المتحدة الأمريكية, بالإضافة إلى مادة أخرى هي الأباتيت Apatite , وتتميز بالقدرة على التبادل الكاتيوني العالي والذي يسهل على النباتات الإستفادة منه, كما أنه يشبه الحصى من حيث الوزن والحجم.

11- مخاليط بيئات الزراعة اللاأرضية Soilless Mixures

مخـاليط بيئـات الزراعـة اللاأرضـية تحتـوي علـى بعـض التوليفـات مـن الرمـل Sandو البيـت مـوسmoss Peat والبيرليـت Perlite و البـوميسPumice والفيرميكيوليـتVermiculite, وتسـاهم كـل بيئـة مـن هـذه البيئـات بقـدر معـين مـن مخلـوط البيئـة إعتمـاداً علـى نـوع النباتـات المطلوب تنميتها بها.

ونظراً لأن مـادة البـوميس رخيصـة الـثمن فإنهـا تحـل محـل مـادة البيرليـت فـي معظـم مخـاليط البيئـات, هـذا بالإضـافة إلـى أن مـادة السفاجنيوم أيضـا يمكنهـا أن تحـل هـي الأخـرى محـل مـادة البيت موس في حالة توفرها في منطقة من المناطق.

ومن أمثلة هذه المخاليط:

مكونات المخلوط	نسبة الخلط	إستخدام
بيت موس: البيرليت: الرمل	**بنسبة 1:2:2**	**تستخدم كبيئة للزراعة المستديمة**
بيت موس: البيرليت	**نسبة 1:1**	**تستخدم كبيئة لإنتاج الشتلات**
بيت موس: الرمل	**نسبة 1:1**	**تستخدم كبيئة لإنتاج الشتلاتوكبيئة للزراعة المستديمة**
بيت موس: الرمل	**نسبة 3:1**	**تستخدم كبيئة لإنتاج الشتلات**
بيت موس: الرمل	**نسبة 1:3**	**يعطي بيئة خفيفة الوزن, يمتاز بالتهوية الجيدة, تستخدم كبيئة للزراعة في أصص أو بيئة للمشتل**
بيت موس: الفيرميكيوليت	**نسبة 1:1**	**تستخدم كبيئة لإنتاج الشتلات**
الفيرميكيوليت: البيرليت	**نسبة 1:1**	**بيئة خفيفة الوزن, ممتازة في إنتاج الشتلات**
بيت موس: البوميس: الرمل	**نسبة 1:2:2**	**تستخدم كبيئة للزراعة المستديمة**

نماذج لمزارع البيئات الصلبةSolid Medium Cultures

مع إختلاف أنواع البيئات الصلبة المستخدمة في المزارع اللاأرضية إلا أنها يمكن تقسيمها تقسيماً عاماً كما كان متبعاً منذ سنة 1976 بحيث تصبح كل المزارع التي قكر حبيباتها أقل من 3مم

مزارع رملية, ومزارع البيئات الأخرى التي يكون قطر حبيباتها أكبر من 3مم تعتبر مزارع حصى. وعلى هذا الأساس سوف نسوق مثالاً للمزارع الرملية, وآخر لمزارع الحصى, وعلى أساسهما ينطبق إستخدام أي بيئة مماثلة في القطر في الزراعات اللاأرضية مع بعض التعديلات البسيطة التي قد تلزم, نتيجة إختلاف الصفات الطبيعية للبيئة المستخدمة.

أولاً: مزارع الحصى Gravel and Stone Cultures

الحصى هو تعبير حجمي يطلق على الحبيبات التي أقطارها تزيد عن 3مم (0,12 بوصة), وبالتالي يشمل كل حبيبات وجزيئات المواد الصلبة المسامية وغير المسامية الثابتة وغير القابلة للإنهيار, ولا يقتصر اللفظ على حبيبات الجرانيت المسحوق أو الكوارتز.

وتختلف أقطار الحصى المستخدم بإختلاف طريقة الري المراد إستخدامها, أو الطريقة المتوفرة للإستخدام. فعند إستخدام الري تحت السطحي Sub-irrigation فإن أقطار الحصى تتفاوت ما بين 0,12 – 0,60بوصة (3–15مم) مع مراعاة أن يكون نصف الحصى المستخدم له أقطار في حدود 0,5 بوصة (10–12مم) وأفضل حصى هو الجرانيت المجروش غير منتظم الشكل, وعند إستخدام طريقة الري بالتنقيط Drip irrigation أو (الإسباجيتي) فإن حبيبات الحصى يجب أن تكون أقطارها أقل, حيث تتراوح ما بين 0,12 – 0,36بوصة (3–9مم) على أن يكون نصف حجم الحصى المستخدم ذو أقطار في حدود 0,2 بوصة (5–6مم).

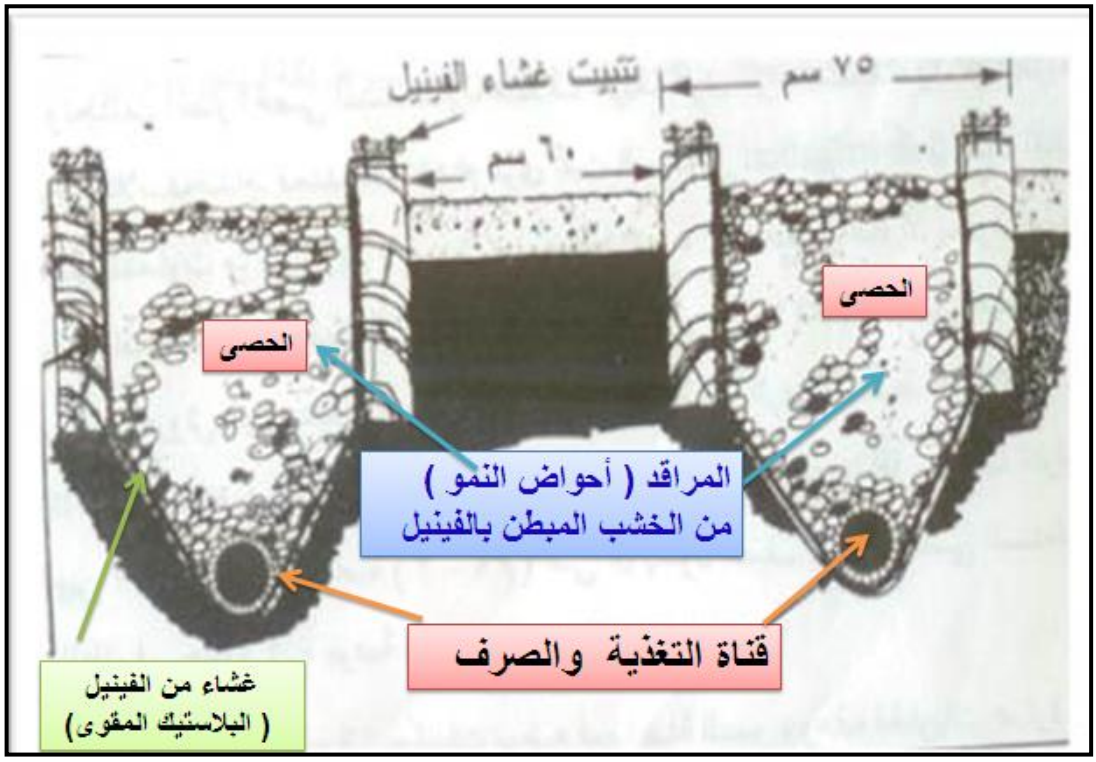
ومزارع الحصى تحتاج إلى حاويات يوضع فيها بيئة النمو, وهذه الحاويات عبارة عن مراقد أو أحواض.

المراقد وأحواض النمو:

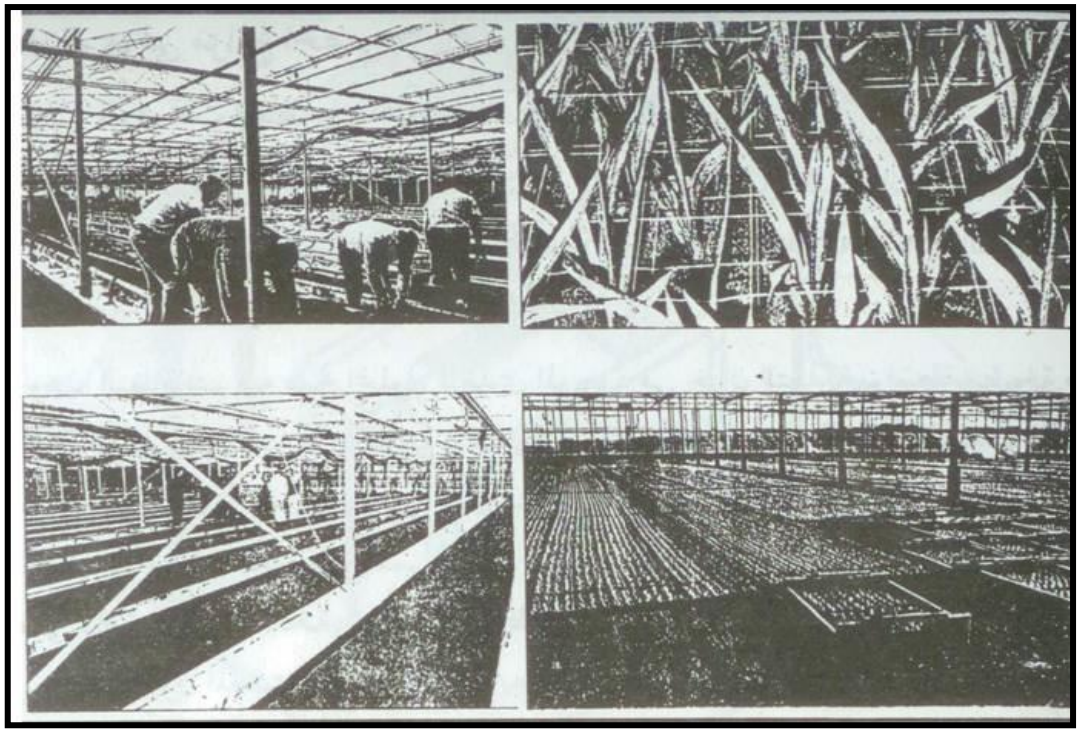
يجب تصميم مراقد Beds وأحواض Boxesالزراعة بالشكل الذي يسمح بسرعة ملئها بالمحلول وسرعة وكفاءة عملية الصرف. وحتى يتحقق ذلك فإن قاع الحوض أو المرقد لا يكون مستوياً, وإنما يكون ذو ميل يسمح بتجميع الماء الزائد من الري, وهذا الميل إما أن يكون في إتجاه واحد أو يكون في منتصف القناه, حيث يصبح قاع الحوض على شكل حرف V, كما في شكل (11–6). كما يجب ألا يقل عرض المرقد عن 24 بوصة (30–35 سم) وطول لا يزيد عن 120–130 قدم (35–40متر) وميل يتراوح ما بين 1–2بوصة لكل 100 قدم. ويتم دخول المحلول إلى البيئة وصرفة منها عن طريق ثقوب أقطارها من 25,. – 50,. بوصة (6–12مم)

على مسافات تتراوح ما بين 30–60سم على مدى الطول الكلي للماسورة على أن تكون الثقوب على السطح الأسفل للماسورة لمنع دخول جذور النباتات إلى داخلها.

يتم ملأ المرقد بالحصى حتى إرتفاع 1بوصة (2,5سم) من قمة المرقد عند الجانب الملاصق لخزان المحلول وحتى إرتفاع 2بوصة (5سم) من قمة المرقد عند الطرف البعيد له, ثم يستخدم أحد أنظمة الري المناسبة. والشكل (11–7) يوضح مراقد النمو المنفذة في كامل أرضية الصوبة لمزرعة حصى من البوميس.



شكل (11–6): قطاع عرضي لمرقد مزرعة حصى تروى بطريقة الري تحت السطحي



شكل (11-7): الزراعة في أحواض مجهزة على أرضية الصوبة بها بيئة البوميس

المواد المستخدمة في الإنشاءات:

حيث أن الأسمدة المستخدمة في تحضير المحلول المغذي هي مواد مسببة للتآكل Corrosiveفإن أجزاء نظام الري التي يتعرض لهذا المحلول مثل المضخات والمواسير والمحابس سو تتآكل بعد فترة زمنية قصيرة. ومن جهة أخرى فإن المواد المجلفنة والتي تقاوم التآكل ينطلق منها كميات كبيرة من الزنك إلى المحلول إلى درجة حدوث سمية للنباتات ونفس المشكلة بالنسبة للمواد المصنوعة من النحاس. ولذلك يجب إستخدام الأنابيب والوصلات والمضخات المصنوعة من البلاستيك, وكذلك فإن خزان المحلول المغذي يجب أن يكون من البلاستيك أو الخرسانة, أما المراقد والأحواض (أحواض النمو) فيمكن أن تكون من الخشب المبطن من الداخل بشرائح البلاستيك السميك (6ميل mil) ويفضل شرائح الفينيل (20ميل mil)والتي تستخدم عادة في أحواض السباحة. كما يمكن تجهيز هذه المراقد بإستخدام الخرسانة ولكنها في هذه الحالة تكون مكلفة.

طرق الري في مزارع الحصى:

أولاً: الري تحت السطحي Sub-surface Irrigation

تستخدم عدة طرق في ري مزارع الحصى, وبصفة عامة فإن النظام الشائع الإستخدام هو نظام الري تحت السطحي Sub-surface Irrigation or Sub-irrigation system والذي يعتبر من الأنظمة المغلقة Closed system في التغذية.

وهذا النظام يتم فيه ضخ المحلول المغذي الموجود في خزان التغذية بواسطة مضخة طرد مركزي تعمل على فترات متقطعة ينظمها جهاز توقيت (Timer) إلى الأنابيب المثقبة الممتدة بطول الحوض أسفل سطح الحبيبات. ويستمر عمل المضخة لفترة زمنية مضبوطة أوتوماتيكياً تكون كافية لأن يغمر المحلول المغذي بيئة النمو (لمدة 10–15 دقيقة), ثم تفصل دائرة موتور المضخة, وبالتالي يهبط المحلول بالجاذبية الأرضية لينصرف مرة أخرى إلى خزان المحلول المغذي (أي أن الخزان يعمل كمصرف مجمع وكخزان للمحلول في وقت واحد). وبعد فترة زمنية مناسبة تعتمد على خواص مادة بيئة النمو ونوع وعمر النبات, بالإضافة إلى العوامل المناخية, يعاد ضخ المحلول إلى البيئة مرة ثانية الشكل (11–8).

ويعتبر توقيت فترات الري وطول فترة الري من العوامل الهامة في نجاح نظام الري تحت السطحي, وكل دورة ري يجب أن توفر للنبات إحتياجاته من الماء والمغذيات, بالإضافة إلى التهوية المناسبة للجذور.

* توقيت فترت الري (الفترة ما بين الريات)

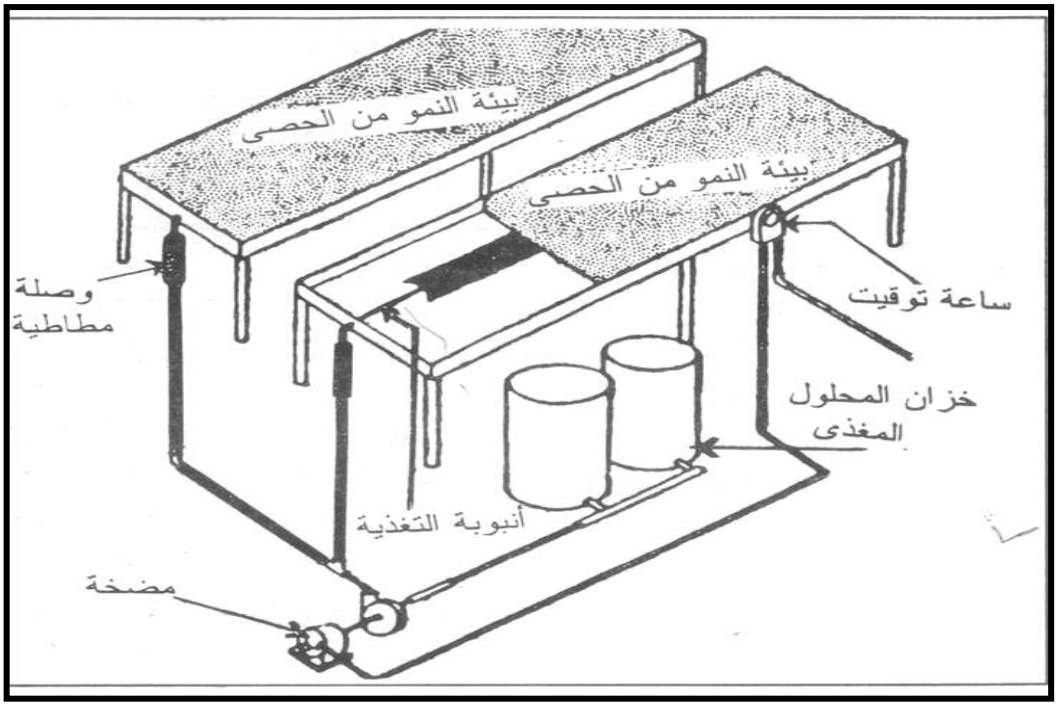
تعتمد الفترة ما بين الريات على عدد من العوامل هي:

أ– حجم حبيبات البيئة. ب– شكل الحبيبات.

جـ– طبيعة المحصول. د– حجم النبات.

هـ– العوامل المناخية. و– الوقت من اليوم.

فالحبيبات الملساء السطح والمنتظمة الشكل والكبيرة الحجم يجب ريها على فترات قصيرة بالمقارنة بالحبيبات المسامية غير المنتظمة الشكل والصغيرة الحجم.



شكل (11–8): رسم تخطيطي لنظام الري تحت السطحي في مزارع الحصى

والمحاصيل ذات المجموع الخضري الكبير والتي تنتج ثماراً تحتاج إلى تقارب فترات الري عن المحاصيل قصيرة العمر ذات المجموع الخضري المحدود. فزيادة المجموع الخضري للنبات يزيد من معدل فقد الماء بالنتح نيجة لكبر مساحة سطوح الأوراق المعرضة للجو, كما أن المناخ الحار الجاف أثناء فصل الصيف يساعد ويشجع أيضاً على زيادة معدل البخر ويجعل من تقارب فترات الري أمراً ضرورياً, في حين تتباعد المسافة بين الريات في ظروف الجو المعتدل والبارد. بإضافة إلى ذلك فإن إختلاف درجة الإضاءة والحرارة خلال فترات اليوم يؤدي إلى إختلاف معدلات الري, وحيث إن شدة الإضاءة والحرارةتكون في أقصى درجاتها عند منتصف النهار, فإنه يجب إختصار الوقت بين الريات. ويعتبر الري بمعدل 3–4 مرات يومياً خلال شهور فصل الشتاء وبحد أقصى 15 دقيقة في كل دورة أمراً جيداً لمعظم المحاصيل. أما في فصول شهر الصيف فإنه قد يصل الأمر إلى الري كل ساعة خلال فترات النهار ولا توجد ضرورة لضخ المحلول والري أثناء فترة الليل.

ومن العوامل التي تؤثر أيضاً في عدد مرات الري (وتقليل الفترة بين الريات) هو طبيعة إمتصاص النبات للماء من المحلول المغذي, حيث يقوم النبات بإمتصاص الماء بمعدل أسرع من إمتصاص المغذيات الأمر الذي يؤدي إلى إزدياد تركيز الأملاح في الأغشية المغذية حول الحبيبات وجذور النباتات, كذلك يزداد تركيز الأملاح في الغشاء المغذي مع إزدياد معدل النتح

وزيادة معدل إمتصاص الماء. وبزيادة عدد مرات الري يتم توفير الإحتياجات الكبيرة من الماء للنباتات النامية وتصبح كمية الماء في الفراغات البينية فيما بين الحبيبات عند المستوى الأمثل, وهذا من شأنه منع زيادة تركيز الأملاح في المحلول المغذي حول جذور النباتات بدرجة كبيرة في الفترة ما بين الريات. كما أنه من المهم أن يتم الري على فترات متقاربة أيضاً حتى لا يحدث إستنفاذ كبير للمغذيات في المحلول المحيط بالحبيبات, ومن الطبيعي أن يكون تركيب المحلول المغذى حول الحبيبات مماثلاً تقريبا لتركيب المحلول الموجود في الخزان ,

وذالك عقب الري مباشرة. وبإستمرا إمتصاص المغذيات فإن تركيزها في البيئة يتغير سواء بالنسبة لنسب الأيونات إلى بعضها البعض, أو بالنسبة للتركيز الكلي للأيونات و pH المحلول. وتباعد فترات الري قد يؤدي إلى ظهور أعراض نقص بعض العناصر على النباتات بالرغم من أن المحلول المغذي المستخدم في التغذية يحتوي على كميات كافية من هذه العناصر لذلك يجب تقريب فترات الري للحفاظ على تركيب المحلول المغذي في وسط النمو مماثلاً لذلك الموجود في خزان المحلول المغذي. ولا يؤثر تقليل الفترات بين الريات على درجة التهوية طالما أن مهد النمو يتم صرفة تماماً بين الريات.

*** سرعة ضخ وصرف المحلول من أحواض النمو**

تتحكم السرعة التي يتم بها ضخ المحلول المغذي إلى البيئة وصرفة منها في درجة تهوية جذور النباتات النامية بها. فالجذور تحتاج إلى الأكسجين لعمليات التنفس الذي يمد النباتات بالطاقة اللازمة لإمتصاص الماء والعناصر الغذائية, وبالتالي فإن عدم كفاية ونقص الأكسجين حول الجذور يبطئ من نموها, وقد يؤدي إلى موتها وينعكس ذلك بالطبع على محصول النبات. وفي نظام الري تحت السطحي حيث يملأ المحلول الفراغات الموجودة بين حبيبات الحصى بدءاً من أسفل ومتجهاً لأعلى فإنه يدفع الهواء الموجود بينها والمحمل بتركيز منخفضض نسبياً من الأكسجين ومرتفع من ثاني أكسيد الكربون إلى الخارج. وعند إنصراف المحلول من البيئة فإنه يسحب الهواء من الجو إلى الفراغات البينية للحبيبات, وهذا الهواء الجديد يحتوي على نسبة مرتفعة نسبياً من الأكسجين وتركيز منخفض نسبياً من ثاني أكسيد الكربون, وبالتالي فإن عملية ضخ المحلول وصرفة تحدد بل وتتحكم في عملية تجديد الهواء والأكسجين في البيئة, وكلما زادت سرعة مرور المحلول (ري وصرف) في بيئة الحصى كلما إزدادت سرعة إحلال الهواء الجديد إلى داخل البيئة. وتتأثر درجة التهوية أيضاً بتوقيت فترات الري, فإذا تم غمر البيئة

بالمحلول على فترات متقاربة فإن الفراغات ما بين الحصى تكون مملؤة بالماء أكثر منها بالهواء, وبالتالي ينخفض تركيز الأكسجين حول الجذور.

وبصفة عامة فإن فترة زمنية قدرها 10–15 دقيقة لملأ البيئة بالمحلول ومثلها لصرف المحلول منها (الزمن الكلي لدورة الري والصرف من 20–30 دقيق) تعتبر كافية ومقبولة لكل رية, وعند صرف المحلول من البيئة يجب أن يكون الصرف تاماً حيث أنه من المطلوب وجود غشاء رقيق من المحلول حول الحبيبات دون وجود زيادة في قاع المرقد والذي إن وجد يؤثر على نمو الجذور والنبات. وهذا الصرف السريع للمحلول من البيئة يمكن أن يحدث يمكن أن يحدث بإستخدام أنبوبة فقطرها كبير نسبياً وذات ثقوب واسعة لمنع حدوث أي إنسداد.

وخلاصة القول فإن دورة الري المناسبة تستلزم:

أ- ملء المرقد بسرعة.

ب- صرف المحلول بسرعة.

جـ– صرف كامل للمحلول.

*** تأثير دورات الري على نمو النبات**

عند تقليل عدد مرات الري ينخفض محتوى بيئة الحصى من الرطوبة ويؤدي ذلك إلى زيادة تركيز الأملاح في غشاء المحلول المغذي المحيط بالحبيبات, ونتيجة لزيادة الضغط الإسموزي في هذا المحلول المغذي تنخفض قدرة الجذور على إمتصاص الماء والعناصر الغذائية وبالتالي ينخفض معدل نمو النبات.

*** منسوب المحلول في البيئة**

عند الري يرتفع المحلول المغذي من أسفل إلى أعلى حتى يصل مستوى المحلول إلى إرتفاع 1بوصة (2,5سم) من سطح الحصى, ويؤدي ذلك إلى إستمرار جفاف الطبقة السطحية مما يقلل من معدل فقد الماء بالبخر, ويقل معه كذلك نمو الفطريات, هذا بالإضافة إلى أن جفاف هذه الطبقة يقلل من نمو جذور النباتات بها, وحتى إذا كات هناك نمو للجذور فإنه في ظروف المناخ الحار ترتفع درجة الحرارة عادة في الطبقة السطحية للبيئة لدرجة تضر بنمو أي جذور للنباتات بها.

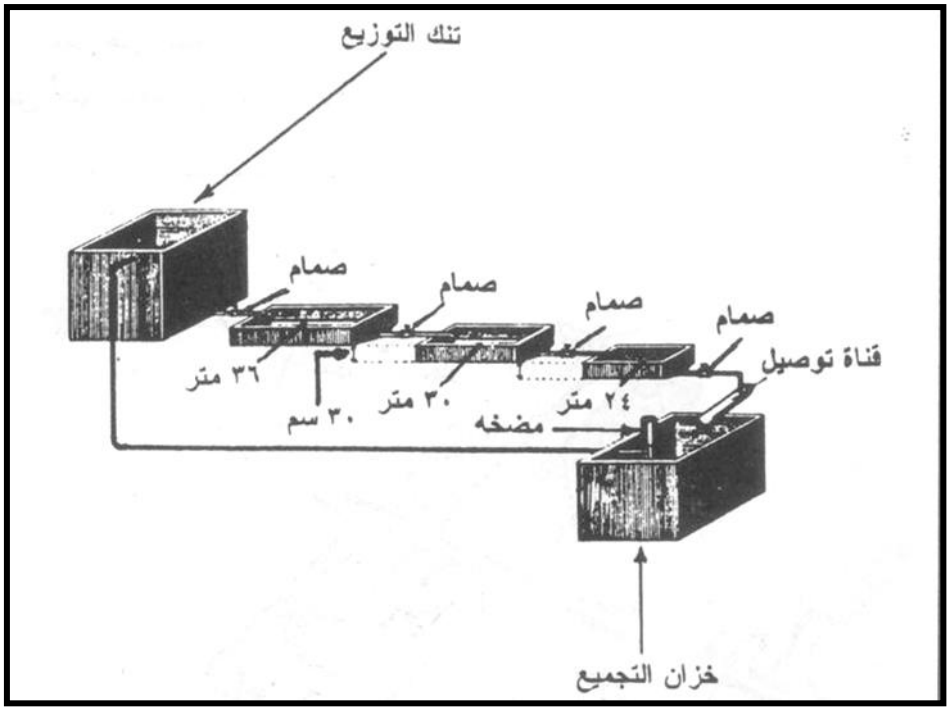
*** درجة حرارة المحلول**

لا يجب أن تنخفض درجة حرارة المحلول المغذي عن درجة حرارة الهواء في فترة الليل, ويمكن رفع درجة حرارة المحلول المغذي في الخزان بإستخدام مسخنات كهربائية Heaters تغمر في المحلول. ويجب عدم إستخدام أي مسخنات مغلفة بالرصاص أو الزنك حيث أنه يمكن أن تسبب سمية للنباتات ولذلك تستخدم مسخنات من الصلب غير القابلة للصدأ أو المغلفة بطبقة من البلاستيك الحراري.

وهناك طريقتان للري تحت السطحي تستخدمان تجارياً في الولايات المتحدة الأميكيك وبعض البلاد الأخرى يجدر الإشارة إليهما:

1- الري بتأثير الجاذبية الأرضية Gravity Sub-irrigation system والذي يعرف بنظام الشرفات Terrace System

ونظام الشرفات هو عبارة عن مجموعة من المراقد أو الأحواض التي تعمل على المنحدرات, ووتتلخص الطريقة بعمل ثلاثة أحواض للزراعة بعرض 120سم وإرتفاع 30سم وطول 36 متراً للأول و30 متراً للثاني و24 متراً للثالث.....هذه الأحواض الثلاثة يتم ترتيبها بحيث يكون كل حوض في مستوى منخفض عن الحوض السابق له بمقدار إرتفاع الحوض (سطح الحوض الثاني في مستوى قاعدة الحوض الأول). يوضع المحلول المغذي في تنك رئيسي أعلى الحوض الأول بمقدار ا متر وسعتة 40 لتراً لكل متر مربع من مساحة أكبر حوض. يتم التحكم في حركة المحلول من التنك الرئيسي إلى الأحواض, وبين الأحواض وبعضها عن طريق صمامات أو محابس حيث يصل المحلول في النهاية إلى خزان لتجميع المحلول أسفل آخر حوض ومنه يتم ضخه مرة أخرى إلى التنك الرئيسي (شكل 11-9). في بعض الأحيان تستخدم طريقة السيفون الأوتوماتيكي لنقل المحلول من حوض إلى الذي يليه, هذا ويمكن توفير ساعة توقيت Time-Clockوعوامات تنظيم Float switchesوصمامات لولبية Solenoid valve فيتحول النظام كله إلى نظام أوتوماتيكي. ويجب أن يتم ملء كل حوض قبل السماح للمحلول بالإنسياب إلى الحوض الذي يليه وهذا النظام الذي يعمل بالجاذبية الأرضية يوفر كثير من سعة الخزانات والمضخات حيث أنه يلزم فقط ضخ المحلول المغذي أو ماء الري بما يفي بإحتياجات الحوض أو المرقد الأول.

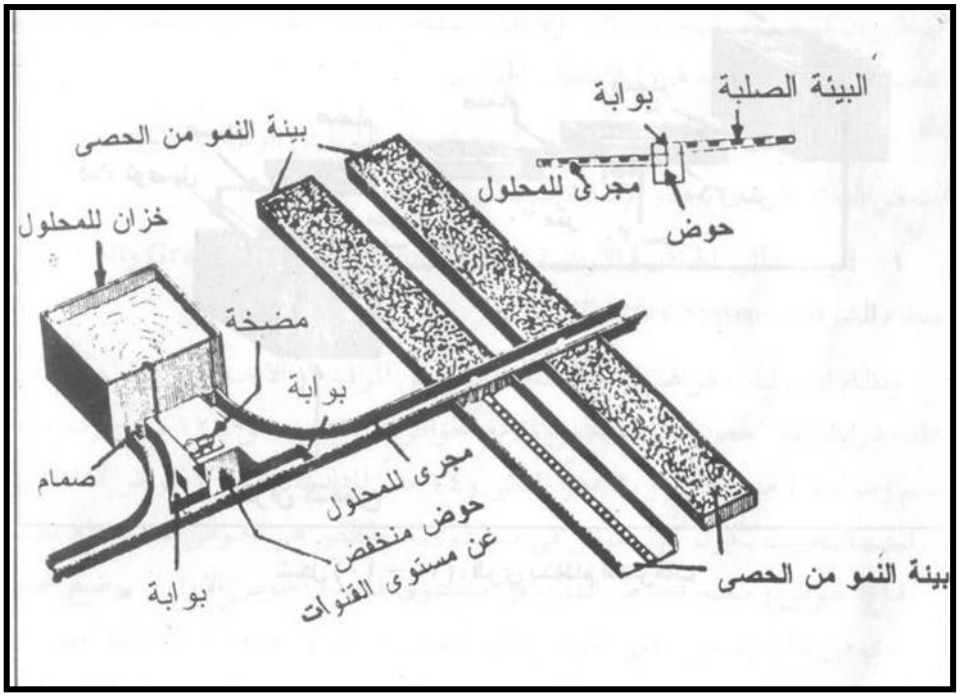


شكل (11-9): الري بنظام الشرفات

2- الري تحت السطحي بطريقة القنوات

Gravel Sub-surface Irrigation with Flume System

في هذا النظام يتم عمل أحواض الزراعة متوازية مع بعضها على أن يكون مستوى مواسير الري السفلية في هذه الأحواض في نفس مستوى قنوات توصيل المحلول من الخزان الرئيسي والذي يرتفع عن سطح الأرض بمقدار 1 متر. يتم فتح خزان المحلول الرئيسي فيندفع المحلول إلى القنوات الرئيسية ومنها إلى قنوات أو مواسير أحواض الزراعة الموجود أسفل بيئة النمو من الحصى. عندما يرتفع المحلول في القنوات إلى الحد المطلوب (وهو إرتفاع المحلول في أحواض الزراعة) يتم فتح البوابات الموصلة إلى خزان ذو مستوى منخفض عن سطح القنوات فينسحب كل المحلول إلى هذا الخزان, ومنه يتم ضخ محتواه من المحلول المغذي إلى التنك الرئيسئ (شكل 11-10).



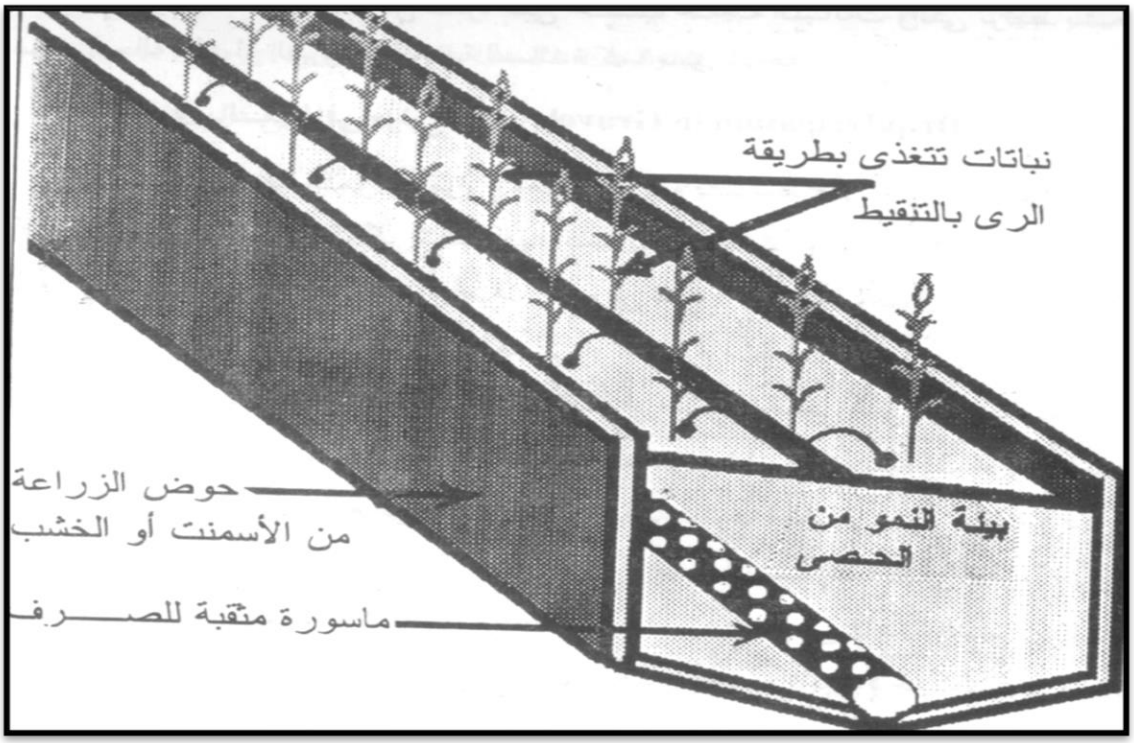
شكل (11–10): الري تحت السطحي بنظام القنوات

تتم دورة التغذية هذه كل فترة على حسب حاحة النباتات والتي ترتبط بشكل مباشر بحالة الجو أو الظروف المناخية السائدة كما سبق شرحة.

ثانياً: الري بالتنقيط في مزارع الحصى Drip Irrigation in Gravel

يتم تصميم مراقد النمو في مزارع الحصى المروية بالتنقيط مثل التي تروى بنظام الري تحت السطحي, وإن كان يمكن تبسيطها كما يوضحها شكل (11–11) ويكون قاع المرقد إما مستديراً أو على شكل حرف V, وفي هذه الحالة فإن المحلول المغذي يضاف بجانب كل نبات إما عن طريق إسباجيتي أو خرطوم مثقب, وبالتالي ينساب المحلول ويتخلل البيئة ويصل للجذور. ومن المهم جداً في مزارع الحصى التي تروى بالتنقيط أن يكون قطر حبيباتها أصغر وتتراوح من 3–6 مم لتسهيل الحركة الجانبية للمحلول المغذي خلال البيئة. ويتكون نظام الري من أنابيب تغذية قطرها الخارجي 5,.بوصة (1,25 سم) مصنوعة من البولي إيثيلين الأسود, ويخرج منها أنابيب إسباجيتي قطرها يتراوح من 4,.. – 6,.. بوصة (1– 1,5 مم) وبطول مناسب يصل إلى قاعدة النبات وإن كان طوله لا يجب أن يزيد عن 4 بوصة (10سم) حتى نتجنب تأثير الإحتكاك على معدل تدفق المحلول منه. ومن عيوب طريقة الإسباجيتي إنسداد الأنابيب ونمو الجذور بداخلها, كما أنها تعرقل العمل أثناء تغيير المحصول. ويلاحظ أن وضع مرشحات في خط التغذية بعد حقن السماد يؤدي إلى تجنب كثير من مشاكل التشغيل.

وبديلاً عن الإسباجيتي يمكن إستخدام خرطوم مثقب ذو جدار خارجي قطره 5,.بوصة (1,25 سم) حيث يرشح منه المحلول ببطء مما يؤدي إلى إنسياب الماء على طول الخط على مسافات من 15–20سم أو أي مسافات تريدها أثناء التصنيع. وأحد الإعتراضات على هذه الطريقة هو إنسداد مخارج المحلول المغذي– نمو الطحالب– بالإضافة إلى ضرورة إستبدالها كل محصول.



شكل (11–11): الري بالتنقيط في مزارع الحصى

والمحلول المغذي يحقن في نظام الري بالتنقيط إما من تنك التغذية مباشرة أو من خلال حاقنات تقوم بحقن نسبة من المحلول المغذي المركز مع نسبة معينه من ماء الري لتعطي في النهاية المحلول المغذي بالتركيز المطلوب. وبصفة عامة لا يفضل إستخدام الري بالتنقيط في مزارع الحصى وإنما يكون ذلك أفضل في المزارع الرملية.

متابعة تركيب المحلول وإستبدالة:

1- ضبط المحلول

يقوم النبات أثناء نموه بإمتصاص العناصر الغذائية من المحلول المغذي مما يخفض من تركيزاتها, أي أن تركيز العناصر في المحلول لا يظل ثابتاً طوال الوقت وإنما يتغير

بإستمرار. ولذلك فإنه من الضروري مراقبة التغيير في تركيز المحلول المغذي من وقت لآخر مع العمل على إعادته إلى تركيزه الأصلي حسب الحاجة وحتى لا ينخفض تركيز المغذيات إلى الدرجة التي قد تؤثر على محصول النبات.

ويتم مراقبة التغير في تركيز المحلول المغذي عن طريق قياس درجة التوصيل الكهربي للمحلول Electrical conductivity (EC) . وتتم عملية القياس كل يوم أو يومين على الأكثر حسب الظروف. وعندما يلاحظ إنخفاض شديد في قيمة الـ EC عن القيمة الأصلية للمحلول المغذي فإن كمية من المحلول المركز يجب إضافتها لرفع قيمة الـ EC إلى قيمته الأصلية. (ويراعى زيادة حجم المحلول المغذي إلى حجمه الأصلي بإضافة الماء وخلط المحلول جيداً قبل قياس التوصيل الكهربي وخاصة في النباتات الكبيرة سريعة النمو).

وكمية المحلول المركز الواجب إضافتها إلى المحلول المغذي واللازمة لرفع قيمة الـ EC للمحلول إلى قيمتا الأصلية تتوقف على معدل نمو النبات. وعادة ما نحتاج إلى لتر من المحلول المغذي المركز يومياً لكل 250لتراً من المحلول المغذي وذلك بالنسبة للنباتات التي يبلغ طولها 2-2,5متر. بينما في خلال الشهر الأول من النمو, حيث تكون النباتات صغيرة, فإن الإحتياجات تكون حوالي ربع الكمية السابقة أو أقل. وعملية التحليل المستمر للمحلول لمتابعة التغير في تركيز كل عنصر من العناصر تعطي المعلومات الضرورية لحساب معدل إضافة المحلول المركز من فترة إلى أخرى.

كذلك يتم قياس pH المحلول على فترات زمنية مناسبة, ثم يجرى تعديلة بإضافة الأحماض أو القلويات حتى يكون في حدود من 6إلى7 كحد أقصى طوال فترة نمو النبات.

2- تغيير المحلول

تؤدي كثرة إستخدام المحلول المغذي وإعادة ضبط تركيزه وتركيبه عدة مرات إلى إعطاء فرصة لتراكم الأملاح غير المرغوب فيها في المحلول (مثل: الصوديوم- الكلوريد- البورون) وهذه الأملاح قد تكون كشوائب في الكيماويات المستخدمة في تحضير المحلول المغذي أو قد تكون موجودة في الماء المستخدم لتحضير المحلول. وبصفة عامة فإن أي محلول مغذي لا يجب إستخدامه لمدة تزيد عن 3شهور بدون إستبدالة بمحلول حديث التحضير كلية. ويعتبر إستخدام المحلول لمدة شهرين هو المتوسط الزمني الشائع في المزارع التجارية وذلك في حالة إستمرار

تحليلة وإعادة ضبطة بإنتظام كل أسبوع. وبالطبع فإنه بدون هذا التحليل وإعادة ضبط المحلول فإن فترة عمر المحلول سوف لا تزيد عن 1–2 أسبوع.

3- غسيل البيئة

يؤدي إستخدام المحاليل المغذية في الري بإستمرار إلى تراكم الأملاح تراكم الأملاح حول الحبيبات, ولذلك فإنه من الضروري غمر الأحواض بالماء العذب مرة كل أسبوعين, ويتم ذلك عن طريق إضافة الماء إلى السطح (وليس عن طريق الري تحت السطحي) ثم يصرف الماء.

تعقيم بيئة مزارع الحصى:

يتم تعقيم بيئة الحصى ما بين المحاصيل بإستخدام هيبو كلوريت الصوديوم أو هيبوكلوريت الكالسيوم, حيث يحضر محلول من الكلورين تركيزه 1000 جزء في المليون في تنك المحلول المغذي, ويتم غمر البيئة عدة مرات بهذا المحلول لمدة من 20–30 دقيقة في كل مرة, ثم يصرف الكلورين إلى المصارف ويغسل الحصى جيداً بالماء النظيف عدة مرات للتخلص من أي آثار للكلورين, ثم تترك المزرعة لمدة يوم أو إثنين لتهويتها قبل إستخدامها في زراعة المحصول التالي. أو يستخدم محلول الفورمالدهيد بتركيز 5,. – 1٪ بنفس الطريقة السابقة.

وإذا أستخدم نظام الري بالتنقيط, فإنه يمكن ضخ محلول الكلورين خلال نظام الري بالتنقيط ولكن ذلك يستغرق بعض الوقت, ولذلك يفضل غمر البيئة من أعلى حتى تمام ملئها, ثم تتبع بعض الخطوات السابقة.

وبعد نهاية كل محصول تتبقى بعض جذور النباتات في وسط النمو (الحصى) وبإستمرار الزراعة فإن التعقيم بالكلورين يصبح أقل فعالية إلا إذا أزيلت هذه الجذور وإزالتها عملية مكلفة, ولذلك تستخدم مواد أكثر فعالية في التعقيم مثل التعقيم بالبخار Stem , أو إستخدام مواد كيماوية مثل Vapam, Methyl promide, Chloropicrin مع ملاحظة أن هذه المواد ضارة بصحة الإنسان, ولذلك يجب الإحتياط عند إستخدامها. وبعد 4–5 سنوات من إستخدام مزرعة الحصى ينصح بإستبدال حصر المزرعة بحصى جديد ونقي.

مزايا وعيوب مزارع الحصى

المزايا:

1- إنتظام ري وتغذية النباتات.
2- يمكن أن تتم عمليات الري والتغذية أوتوماتيكياً بسهولة.

3- تهوية جيدة لجذور النباتات.

4- تناسب العديد من المحاصيل.

5- تصلح للإنتاج التجاري للمحاصيل التي تزرع داخل أو خارج الصوب الزراعية.

6- إستخدام الماء والمغذيات بكفاءة نتيجة لإعادة إستخدام المحلول وتدويره.

العيوب

1- إرتفاع تكاليف الإنشاء والصيانة والإصلاح.

2- قد ينشأ عن تشغيل النظام أوتوماتيكياً بعض الأعطال.

3- من أكثر المشاكل تخلف كثير من جذور النباتات في الحصى بعد حصاد المحصول مما يؤدي إلى إنسداد أنابيب الصرف. ونتيجة لتراكم الجذور أيضاً تزداد قدرة البيئة على حفظ الماء, وبالتالي تقل الفترة بين الريات كل سنة وبمضي الوقت تفقد مزرعة الحصى مزاياها بالنسبة للزراعة في الأرض الطبيعية.

4- بعض الأمراض مثل الفرتسيليوم والفيزاريوم يسهل إنتقالها بسرعة نتيجة إعادة إستخدام المحلول.

ثانياً: المزارع الرملية Sand Cultures

يعتبر الرمل من أقدم وأفضل المواد التي يمكن إستخدامها في بيئات الوسط الحبيبي الصلب حيث أستخدمت في بداية القرن التاسع عشر ومازالت تستخدم حتى الآ في المناطق الصحراوية من الشرق الأوسط وشمال إفريقيا. وبالطبع فإن نجاح الرمل كبيئة زراعية يرجع في الأساس إلى صفاته الطبيعية والكيماوية التي تتوافق مع صفات البيئة الجيدة. ويجب مراعاة ألا يكون الحجر الجيري هو مادة الأصل للرمل حيث يحتوي الرمل في هذه الحالة على نسبة مرتفعة من كربونات الكالسيوم مما يؤدي إلى ترسيب الفوسفات في المحلول المغذي. وفي حالة الضرورة لإستخدام الرمال المحتوية على نسبة من كربونات الكالسيوم يتم غسلة عدة مرات بالحامض المخفف حتى يتم التخلص منها, ثم يشطف بالماء العذب للتخلص من بقايا الحامض. كما أن رمال الشواطئ لا تصلح للإستخدام كبيئة زراعية في المزارع الأرضية لإحتوائها على نسبة مرتفعة من الأملاح, وفي حالة وجود ضرورة لإستخدامها فإنه لابد من غسلها جيداً بالماء العذب والتخلص تماماً من ماء الغسيل. لذلك فإنه من الأنسب إستخدام الرمال ذات الأصل الجرانيتي أو السليكاتي.

وأقطار حبيبات الرمل عامل هام في نجاح إستخدامه. فمن المعروف أن حبيبات الرمل الخشنة جداً لا تحتفظ بقدر كاف من الرطوبة لقلة مساحة السطوح الخاصة بها, كما أن الرمل الناعم جداً لا يسمح بدرجة كافية من التهوية. وللموازنة بين هذين العاملين (الإحتفاظ بالرطوبة وجودة التهوية) فإنه يجب أن تكون حبيبات الرمل في الوسط ذات أقطار مختلفة ومتدرجة في الحجم وليست كلها من حجم واحد بل تكون في حدود بتركيز 6,.-بتركيز 2,0مم ويتم إستبعادالحبيبات الأقل أو الأكبر من ذلك.

إنشاء المزارع الرملية:

توجد ثلاثة طرق لإنشاء المزارع الرملية:

الطريقة الأولى: وفيها يتم تبطين المراقد بالبلاستيك.

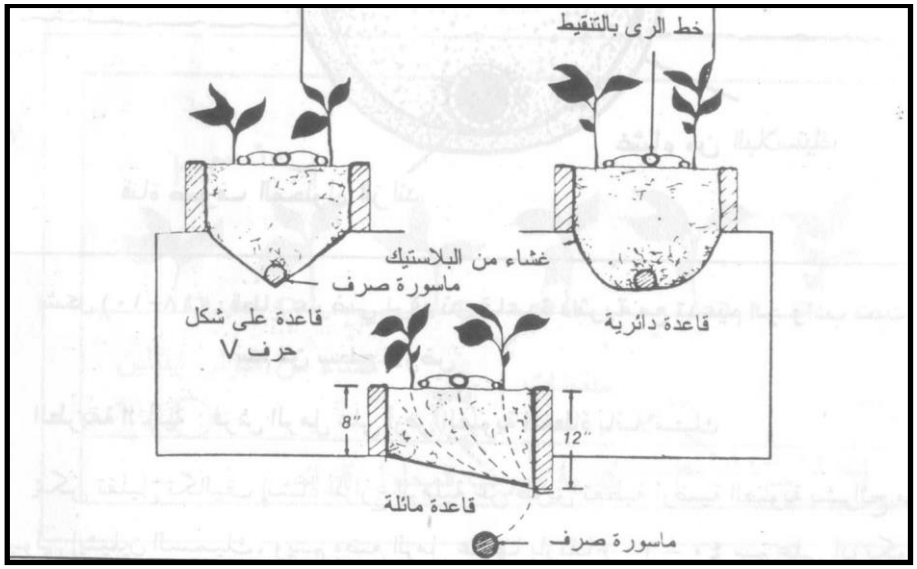
الطريقة الثانية: وفيها يتم فرش الرمل على إمتداد أرضية الصوبة المغطاة بالبلاستيك.

الطريقة الثالثة: وفيها يعبأ الرمل في أكياس من البلاستيك ثم ترتب أفقياً علىأرضية الصوبة.

الطريقة الأولى: المراقد المبطنة بالبلاستيك

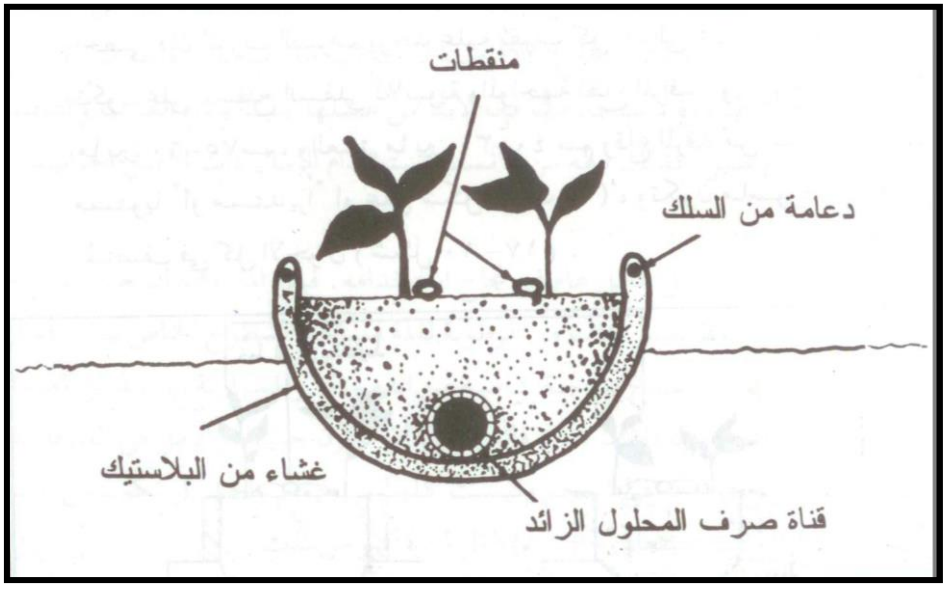
وفيها يتم بناء مراقد نمو النباتات بطريقتين:

1- فوق سطح الأرض: ومثلها في ذلك مثل مزارع الحصى. وفيها تصنع المراقد من الخشب الذي يبطب بالبولي إيثيلين السميك. ويكون قاع المرقد ذو إنحدارخفيف (15سم لكل 60متراً) ليسهل عملية الصرف والغسيل وليس من الضروري أن يكون قطرها 7,5سم كما في مزارع الحصى, حيث أن كمية المحلول المغذي المضافة لا تتجاوز 8-10٪ من كمية المحلول المضافة في كل رية. وكما هو الحال في مزارع الحصى فإن أنبوب الصرف يوجد عليه ثقوب كل حوالي 45سم, وهذه الثقوب تكون على السطح السفلي للأنبوبة والمواجهة لقاع المرقد. ويتراوح عرض المرقد ما بين 60-75 سم وقاع المرقد من الممكن أن يكون مستوياً أو مستديراً أو على شكل حرف(V), وتكون ماسورة الصرف في المنتصف في كل الأحوال شكل (11-12).



شكل (11-12): قطاع عرضي لعدد من مراقد النمو ونظام الري بالتنقيط

3- **تحت سطح الأرض:** عن طريق عمل قناة في الأرض مع وضع سلك للتثبيت على جانبيها بإرتفاع حوالي 5سم فوق سطح الأرض وعلى هذا السلك يتم طي شرائح من البولي إيثيلين مكونة حاجز أو جدار مزدوج ما بين مرقد الرمل والأرض المحفور بها هذا المرقدشكل (11-13). وعملية رفع حواف المرقد فوق سطح الأرض مع رمل المرقد بالإضافة إلى تدعيم جوانب المرقد بما يمكن معه الإستغناء عن إستخدام الخشب والذي يكون مكلفاً في المساحات الواسعة والمناطق الصحراوية.



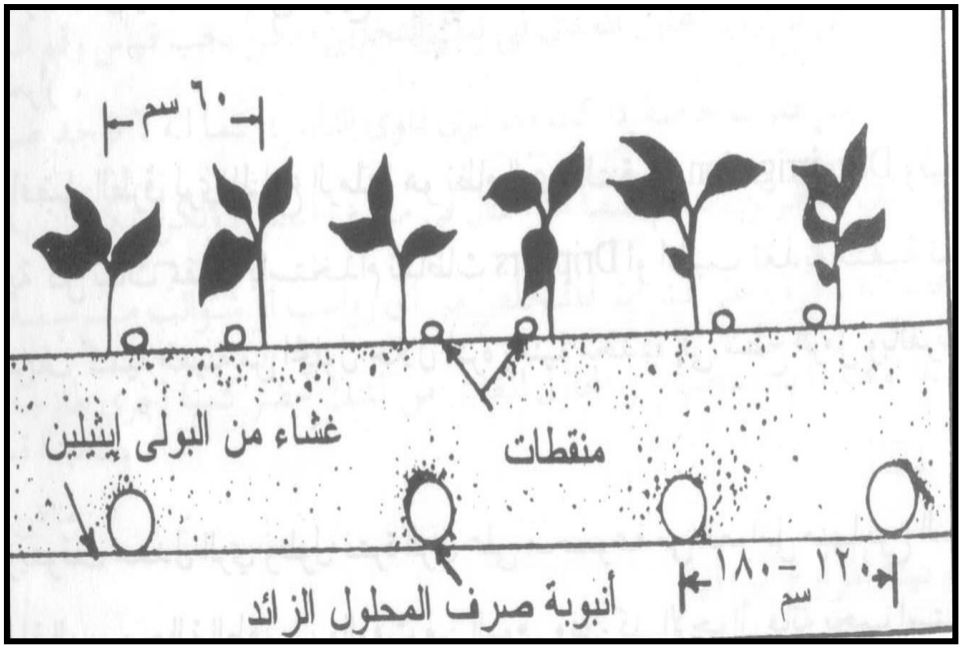
شكل (11-13): قطاع عرضي لمرقد ذي قاعدة دائرية مع تدعيم الجوانب تحت 5سم من سطح الأرض

الطريقة الثانية: فرش الرمل عى أرض الصوبة المغطاة بالبلاستيك

يمكن تقليل تكاليف إنشاء المزارع الرملية عن طريق تغطية أرضية الصوبة بشرائح من البولي إيثيلين السميك, ويتم وضع الرمل عليها بإرتفاع 30-40سم على أن يكون ميل أرضية الصوبة في حدود 15سم لكل 30متراً لتسهيل عملية الصرف.

ولتحقيق ذلك فإنه يتم تسوية أرضية الصوبة وكبسها جيداً بما يوفر الثبات للأرضية وبالميل المطلوب, ثم تفرد شرائح البولي إيثيلين على المساحة المراد تغطيتها بالرمل والتي يراعى فيها أن تكون متداخلة مع بعضها لمنع وجود فواصل بينها خاصة, وأنه يتعذر وجود شرائح من البلاستيك بعرض يغطي كل عرض مساحة أرضية المزرعة. ثم توضع مواسير الصرف (قطرها 3-5سم) على سطح البولي إيثيلين على مسافات بين كل ماسورة وأخرى في حدود 120-180سم (ويتوقف ذلك على طبيعة الرمل المستخدم, فكلما كانت الحبيبات ناعمة كلما قلت المسافة بين المواسير), وهذه المواسير تكون في خطوط متوازية مع ميل سطح الأرض, وتصب في النهاية في مصرف مجمع فيه تجميع المحلول المغذي وإستخدامة في أغراض أخرى خارج الصوبة.

وبعد وضع المواسير يتم فرش الرمل على كامل المساحة وبعمق لا يقل عن 30سم لتجنب مشاكل عدم إنتظام الرطوبة أو إحتمال إمتداد جذور النباتات إلى داخل أنابيب الصرف. ويراعى أن يتم تسوية سطح الرمل وإعطاؤه نفس ميل سطح الأرض (شكل 11-14).



شكل (11-14): قطاع عرضي لأرضية صوبة تم فرشها بالكامل ببيئة الرمل

الطريقة الثالثة: تعبئة الرمل في أكياس من البلاستيك

وفي هذه الطريقة يتم تعبئة الرمل المراد إستخدامة في الزراعة اللاأرضية في أجولة أو أكياس من البلاستيك السميك ذات اللون الأبيض للإستخدام صيفاً أو اللون الأسود للإستخدام شتاءاً وبطول من 60-90سم وقطر من 25-35سم. تربط أو تلحم فتحة كل جوال أو كيس ثم ترص أفقياً في صفوف متوازية على أرضية الصوبة وعلى مسافات تتناسب مع مسافات الزراعة للمحاصيل المراد زراعتها.

وعلى خط المنتصفللسطح العلوي لهذه الأكياس يتم عمل فتحات لوضع البادرات بمسافات الزراعة المناسبة للمحصول المنزرع على أن تكون هذه الفتحات ذات قطر مناسب لحجم البادرة. وفي هذا النوع من المزارع لا توجد مواسير للصرف بل يكتفى بعمل فتحات صغيرة في الجانب الملامس للتربة لصرف الماء الزائد.

ري المزارع الرملية:

عادة ما تروى المزارع الرملية بالنظام المفتوح Open system حيث يضاف المحلول المغذي إلى الرمل بمعدل يسمح برشح 8-10٪من كمية المحلول المضاف. والمحلول المنصرف لا يعاد

إستخدامة في الري مرة أخرى, وهذا بعكس النظام المغلق Closed system الذي يستخدم في مزارع الحصى حيث يعاد إستخدام وتدوير المحلول المغذي بإستمرار.

وأفض الطرق لري المزارع الرملية هو نظام الري بالتنقيط Drip irrigation وفيه يتم تغذية كل نبات بمفردة بإستخدام نقاطات Drippers أو أنابيب تغذية مثقبة تسمح بتصريف كمية معينة من المحلول خلال فترة زمنية محددة إلى سطح الرمل وبالقرب من قاعدة النبات.

ويتوقف معدل الري وطول فترة الري على مجموعة من العوامل منها نوع النبات, مرحلة النمو, حالة الطقس, والوقت من اليوم. وفي كل الأحوال فإنه يجب إستخدام جهاز التنشوميتر Tensiometer لتحديد موعد الري والذي يتم بما يسمح بصرف مالا يزيد عن 8–10٪ من كمية المحلول المضاف في كل دورة ري وهذا يمكن تحديده بقياس كمية المحلول المار خلال الخط الرئيسي وتلك التي تنساب من خط الصرف الرئيسي. ويمكن إستخدام ساعة ميقاتية Timer وتنشوميتر لضبط طول فترة الري وفي هذه الحالة يكون عدد مرات الري من 2–5 مرات يومياً.

ويتم كل أسبوعين تحليل مياه الصرف لمعرفة محتواها الكلي من الأملاح, فإذا زاد تركيز الأملاح في ماء الصرف عن 2000 جزء في المليون فإن المرقد كله يتم غمره بالماء العذب للتخلص من هذه الأملاح. ويجب ملاحظة أنه إذا كات ماء الري لا يحتوي على تركيز مرتفع من الصوديوم فإنه يمكن إستخدام هذا الماء في ري النباتات حتى تقوم النباتات حتى تقوم النباتات نفسها خلال بضعة أيام بخفض محتوى المرقد من الأملاح إلى الدرجة التي يمكن بعدها إستخدام المحلول المغذي في الري مرة أخرى.

وعند إستخدام الحاقنات في الري يجب أن يختبر مرتين أسبوعياً لمعرفة مدى كفاءتها في العمل والتأكد من أن كل حاقن يعطي الكمية المطلوبة من السماد المركز في ماء الري. أما عند إستخدام تنكات التخزين الكبيرة بدون حاقنات فيجب التأكد من أن حجم التنك كافياً لإعطاء كمية الماء اللازمة لكل نبات لمدة أسبوع على الأقل.

وحيث أن نظام الري والتغذية في المزارع الرملية نظام مفتوح فليس هناك ضرورة لمتابعة التغير في تركيب المحلول المغذي في تنك التخزين ولكن يجب قياس رقم الـ pH لهذا المحلول على فترات خاصة إذا كان ماء الري قلوي التأثير, كما أنه لا توجد ضرورة لغسيل تنك التخزين بإنتظام كما هو الحال في مزارع الحصى, ولكن يمكن أن يكون ذلك عند الضرورة وعلى فترات للتخلص من أي رواسب أو شوائب مترسبة من الأسمدة. وعندما يتم سحب كل المحلول المغذي.

تعقيم بيئة المزارع الرملية

يتم تعقيم بيئات الرمل عن طريق إستخدام طريقة التدخين Fumigationوالتي تعمل على التخلص من أي أمراض مصدرها الأرض أو النيماتودا وأن كان لا يمكنه تخليص الرمل من فيرس موازيك الدخان Tobaco mosic virus II (TMVII) أو فيرس موازيك الخيار Cucumber mosic virus II (CMVII)ويوجد مادتان من المواد المدخنةFumigants يمكن إستخدام أحدهما بنجاح.

الأول: هو الـ Vapam والذي يضاف مع ماء الري.

الثاني: بروميد الميثيل Methyle والذي يوضع من خلال نظام الصرف تحت ضغط وفي كلتا الحالتين يتم تغطية كامل مساحة مرقد الزراعة بالبولي إيثيلين قبل وضع المادة المدخنة.

وعند إستخدام الـ vapam مع ماء الري فإنه يجب التخلص جيداً منه بالغسيل بماء نقي ولا تتم الزراعة في البيئة إلا بعد 4-5أيام من عملية التعقيم بالتدخين.

ولتليص الرمل من TMVII orCMVIIيستخدم التعقيم بالبخار, فإذا كانت الصوبة بها نظام تسخين بالماء المغلي فإنه يمكن إستخدام هذا النظام في توليد بخار الماء لتعقيم المراقد حيث يتم ضخ البخار من خلال نظام الصرف إذا كان النظام المستخدم يتلاءم مع ذلك. وتوجد وسيلة أخرى يمكن إستخدامها في التعقيم بالبخار تعرف بنظام التعقيم المتنقل, وفيها يتم وضع أنبوبة على عمق عدة بوصات من سطح الرمل وتغطى بشريحة من البولي إيثيلين قبل ضخ البخار وببعد الإنتهاء من عملية التعقيم تنقل هذه المواسير إلى مرقد آخر لتعقيمه وهكذا.....

مزايا وعيوب المزارع الرملية

المزايا:

يمكن حصر مزايا المزارع الرملية مقارنة بمزارع الحصى فيما يلي:

1- إستخدام النظام المفتوح Open systemفي التغذية يقلل من إنتشار أمراض الفيوزاريوم والفرتيسيليوم في البيئات بدرجة كبيرة.

2- تقل مشاكل إنسداد أنابيب الصرف حيث أن كثافة بيئة الرمل تشجع إنتشار الأفقي للجذور.

3- نعومة حبيبات الرمل تشجع الحركة الجانبية أو الأفقية للماء خلال الخاصية الشعرية مما يضمن توزيع جيد للمحلول المغذي في وسط النمو.

4- يمكن ضمان تهوية جيدة للجذور من خلال الإختيار الصحيح لحجم حبيبات الرمل ليتوافق من نظام الري بالتنقيط.

5- يتم تغذية كل نبات على حده بمحلول مغذي جديد خلال كل دورة ري, وبالتالي لا يوجد مشاكل عدم إتزان بين المغذيات.

6- النظام بسيط, سهل الصيانة والخدمة, وتكاليف الإنشاء أقل من مزارع الحصى التي تروى بالري تحت السطحي.

7- نظراً لصغر أقطار حبيبات الرمل, فإن له قوة مسك للماء مرتفعة وبالتالي فإن عدد الريات المطلوبة خلال اليوم تقل. وإذا حدثت مشاكل في نظام الري فإن كمية الرطوبة الموجودة بالبيئة تكفي لضمان حياة النبات حتى يتم الإصلاح.

8- يمكن وضع خزانات المحلول أو الحاقنات في أماكن بعيده عن مراقد النمو.

9- يتوفر الرمل في معظم المواقع مما يتيح الفرصة لإنشاء مثل هذه المزارع, وعند إستخدام رمل جيري يمكن تعديل تركيب المحلول بما يسمح بمعادلة تغيرات pH المحلول ونقص الحديد أو بعض العناصر الأخرى.

العيوب:

أما عيوبالمزارع الرملية مقارنة بمزارع الحصى فهي:

1- أحد العيوب الكبرى هي ضرورة إستخدام الكيماويات والبخار لتعقيم البيئة ما بين محصول وآخر.

2- إنسداد خطوط الري بالتنقيط بالرواسب وهذا يمكن التغلب عليه بإستخدام فلتر 100-200 مش والذي يمكن تنظيفه بين فترة وأخرى.

3- بعض الإعتراضات تقول أن المزارع الرملية تستهلك مقداراً أكبر من الأسمدة والماء بعكس مزارع الحصى والتي يعاد فيها إستخدام المحلول المغذي أكثر من مرة.

4- يمكن أن تتراكم الأملاح في المراقد خلال موسم النمو وهذا يمكن تصحيحه عن طريق الغسيل على فترات بواسطة الماء العذب.

والأشكال 11 – 15 و11 – 16 تبين الأوانى المستخدمة فى مزارع البئات الصالبة

شكل(11 – 15) نماذج نطبيقية لمزارع بيئات صلبة فى أوانى مختلفة

شكل(11 – 16) زراعة الفراولة فى بيئات صلبة بالصص بطريقة رأسية

ثالثاً: الزراعة فى بيئات الألياف
Fibers Agriculture

تعتبر الألياف المصنعة من المعادن والصخور أو المخلقة كيميائيا" فى صورة خيوط Fibers وعلى هيئة وشكل الصوف Wool من البيئات الجديدة فى عالم الزراعة اللاأرضية، حيث تفيد فى زراعه كثير من النباتات بها حتى الحصول على المحصول بنجاح كبير. فبيئات النمو الجديدة هذه تعتبر نموذجاً للبيئات الصناعية المناسبة للمزارع اللاأرضية حيث تقوم بالإضافة إلى تثبيت النباتات النامية فيها إلى توفير مستوى مناسب من الأكسيجين وتحتفظ بقدر من الماء، بالإضافة إلى تميزها بمعدل صرف جيد. ووجود كل هذه العوامل مجتمعة فى بيئة النمو يجعلها مثالية لنمو النبات وانتشار جذوره. بالإضافة إلى ذلك فإن هذه الألياف تعتبر مواد خاملة Inert materials فالمادة الخامله فضلاً عن أنها لا تتفاعل مع العناصر المغذية للنبات فإنها تعطى للمزارع الفرصة فى التحكم الكامل فى عملية التغذية. ومن هذه الألياف فى العالم اليوم بيئة الصوف الصخرى Rockwool، ونوع من الألياف يعرف لأول مرة فى مصر هو صوف الخبث المصرى Slagwool، بالإضافة إلى الصوف الزجاجى Glasswool، والفوم الزراعى Aggrofoam ونسيج صناعى مصنع من البولى إستر يسمى "الفليس Fleece" .

1- الصوف الصخرى Rockwool

الصوف الصخرى عباره عن خيوط أو ألياف مصنعة من الصخور البركانية Volcanic rocks ، وبصفة خاصة الـ Diabase (بنسبة 60%) مع الحجر الجيرى Lime stone (بنسبة 20%) وفحم الكوك Coke (بنسبة 20%). يتم صهر هذا الخليط على درجة حرارة تتراوح ما بين 1500-2000 درجة مئوية حسب مكونات المخلوط، وعادة ما تكون درجة حرارة 1600 درجه مئويه مناسبة لهذا الغرض. وهذه الماده المنصهرة تتحول عن طريق الطرد المركزى السريع والتبريد إلى خيوط رفيعه قطرها 5 ميكرون يتم ضغطها إلى رقائق بالسمك المطلوب. وأثناء التبريد يتم إضافة الفينول لخفض التوترالسطحى والذى يعمل كمادة لاصقة لخيوط الصوف الصخرى مكونة بيئة اسفنجية أو مسامية Spongy material.

والتركيب الكيماوى للصوف الصخرى يختلف باختلاف مناطق تصنيعه، وإن كان متوسط مكوناته الأساسية عبارة عن أكسيد السليكون بنسبة 45% ، وأكسيد الكالسيوم بنسبة 15% ، وأكسيد الألومنيوم بنسبة 15% ، وأكسيد الحديد بنسبة 10% ، وأكسيد الماغنسيوم بنسبة 10% ، وأكاسيد أخرى بنسبة 5%.

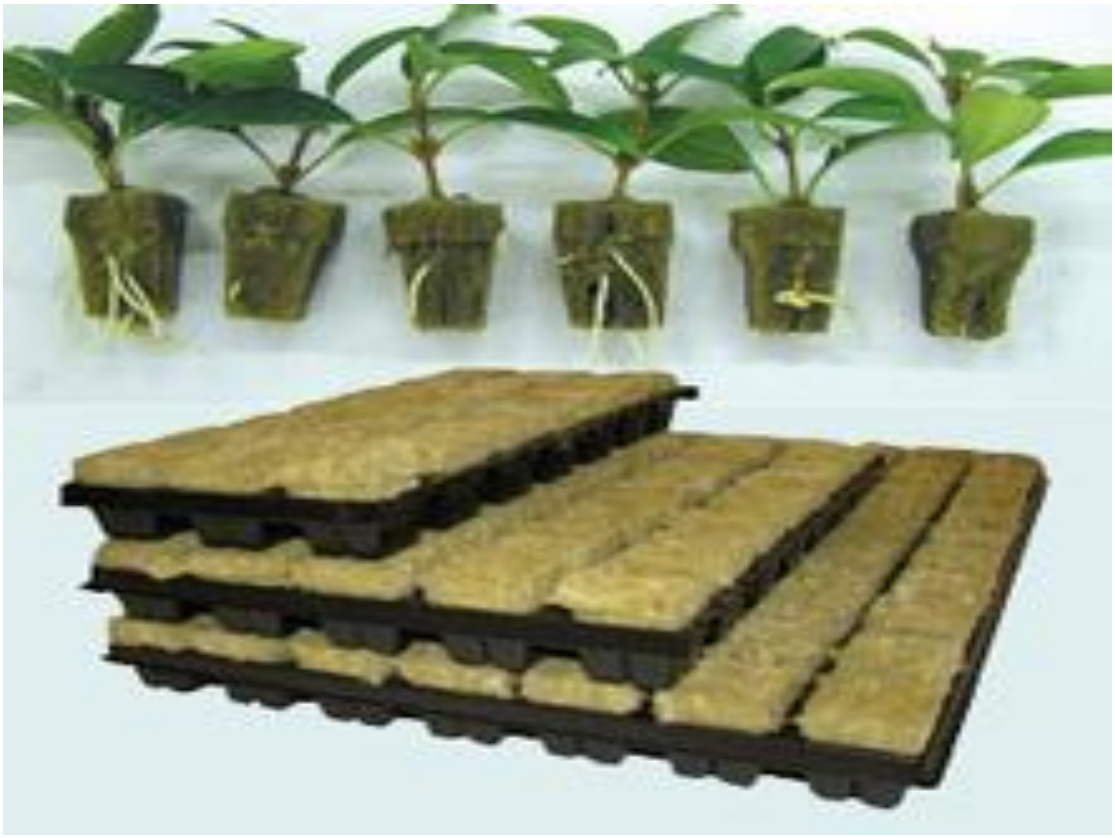
والصوف الصخرى لا تشكل الماده الصلبة به سوى 3% فقط، وبالتالى فإن المسافات البينية التى تحوى الماء والهواء تمثل 97% (تكون فى حالتها المثلى عند التشبع بالماء ورشح الزائد منها، موزعة إلى 14% للهواء و 83% للماء) مما يجعله بيئة جيدة لنمو وإنتشار الجذور.

شكل (11 – 17) الصوف الصخرى على صورة رول

ويجهز الصوف الصخرى فى شكل رول ومنها يجهيز إلى عدة أشكال شـكل (11) تختلف على حسب الغرض المطلوب من استخدامها. وسوف نستعرض أهم هذه الأشكال واستخداماتها فيما يلى:

أ- مكعبات الإنبات Propagation Cubes

ارتفاعها من 1.5-2.5 سم، وقطر 2.5 سم تقريباً وتستخدم فى بداية إنبات كل من الخس والخضروات الورقية ونباتات الزينة، وتوجد هذه المكعبات فى صورة فردية أو فى صورة مجمعة.



مكعبات الإنبات بصورة فردية

ب- بلوكات الإنبات Propagation Blocks

وتنقل إليها مكعبات الإنبات الصغيرة وما بها من بادرات، أو تنقل إليها الشتلات الصغيرة مباشرة. ووحداتها عبارة عن مكعبات توجد فى حجمين 7.5× 7.5 × 7.5 سم، و 10 × 10 × 7.5 سم (والارتفاع فى كلاهما 7.5 سم). وعندما تصل النباتات بها إلى الحجم المناسب يتم نقلها إلى وسائد النمو.

ج- وسائد النمو Growing Slabs

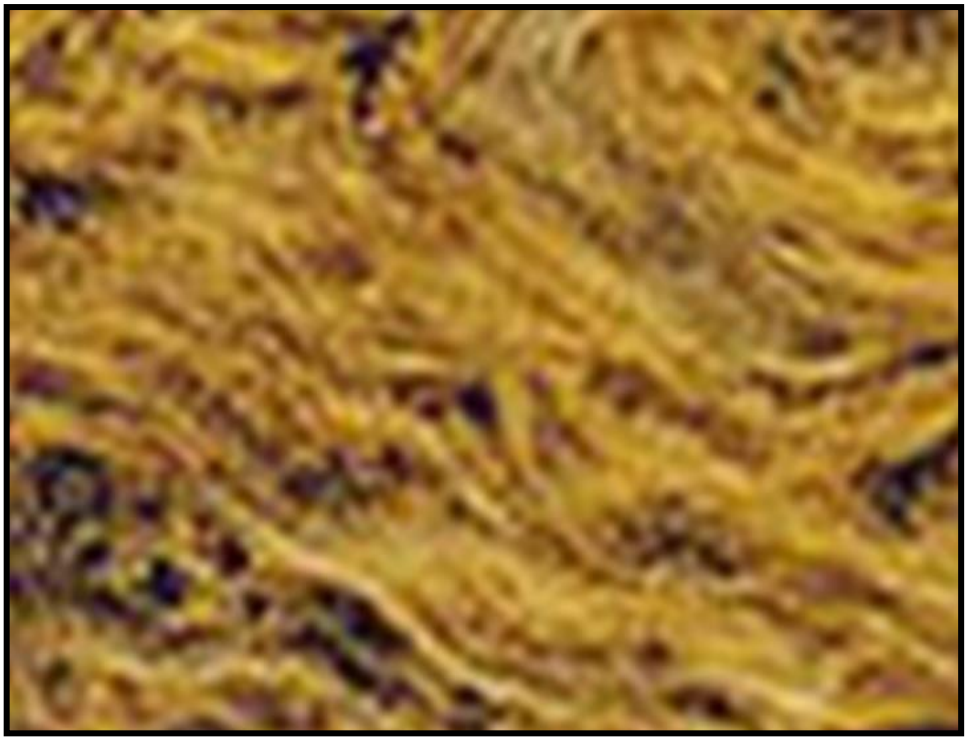
وبها يكمل النبات فترة نموه حتى المحصول الكامل. وتوجد وسائد النمو فى حجمين (الأطوال بالسنتيمتر) 7.5 ارتفاع × 15 عرض × 90-150 طول، وهى مناسبة لنباتات الطماطم والفلفل وكثير من محاصيل الخضر والزينة أو 7.5 × 20 × 90 -150 (ارتفاع x عرض x طول)، وتستخدم أكثر مع نباتات الخيار حيث تحتاج إلى حيز أكبر لنمو الجذور.

ويجب ملاحظة أن أحجام الثلاثة أشكال السابقة ليست ثابتة بل يمكن أن تتغير من مكان لآخر حسب ظروف التصنيع وتطور البحوث وطلبات الزراع.

د- الصوف الصخرى السائب Loose Rock Wool

ويستخدم كبيئة معبأة فى أصص أو تخلط مع بعض البيئات الأخرى لتحسين خواص التهوية والاحتفاظ بالماء بها بنسبة الثلث حجماً، أو يخلط مع التربه بنسب تتراوح ما بين 25-60 % كمحسن.

وتتشكل خيوط الصوف الصخرى رأسياً (فى حالة مكعبات و بلوكات الإنبات للمساعدة على اختراق جذور البادرات لأسفل) و أفقياً (فى وسائد النمو لإتاحة الفرصة أمام جذور النباتات للانتشار فى أكبر حيز ممكن). وهذا ما يوضحه (شكل 10-21).



شكل (11 – 18) صوف صخرى سائب

ومما يجب التنبيه إليه أن مكعبات وبلوكات الإنبات وكذلك الصوف الصخرى السائب المعبأ فى أصص مثقبة تستخدم فى إعداد وتجهيز البادرات لكل أنواع المزارع اللاأرضية بنجاح.

شكل (11-19): يوضح كيفية وضع مكعبات الإنبات على وسائد النمو وكيفية انتشار الجذور بينهما

مزايا الصوف الصخرى المعد للاستخدام الزراعى:

يتميز الصوف الصخرى الزراعى بمزايا عديدة:

1- مادة خاملة ممتازة لا تتحلل ولا تتكسر بيولوجياً مما يهيىء ظروف جيده لنمو النباتات التى تمكث به لفترات طويلة مثل: الورود Roses التى تنمو به لعدة أعوام بنجاح.

2- مادة جافة وليس بها أى مواد سائلة مغذية أو غير مغذية، ورقم الحموضة له pH يقع بين 7-8 درجة.

3- مادة معقمة وخالية تماماً من الآفات والحشرات والأمراض.

4- قدرته التنظيمية ضئيلة أو منعدمة وليس لأسطح خيوطه القدرة على ادمصاص العناصر ومن ثم فليس له أى تأثير على تغير خواص المحلول.

5- مادة خفيفة جداً (كثافتها 0.075 جرام/سم^3) وفى الوقت نفسه صلبه Rigid material مما يجعل التعامل معها سهلاً فى الإعداد والتجهيز والنقل، بالإضافه إلى عدم حاجتها إلى تجهيزات أو قنوات خاصة مما يقلل استهلاك الوقت والجهد والمال.

6- مادة مناسبة جداً لنمو وانتشار الجذور نظراً لمساميتها الشديده (97% مسام) ولا تمثل ضغطا" على النبات Minimizing plant stress.

7- اختصار الوقت وتوفير الحيز المتاح من الأرض تحت الصوبة أو خارجها باستخدام مكعبات وبلوكات الإنبات.

8- سهل التخلص من ترسيبات الأملاح بها فى حالة استخدام ماء به نسبة مرتفعة قليلاً من أملاح الصوديوم بالغسيل، حيث إن طريقة الزراعة به من نوع النظام المفتوح Open system أو ما يطلق عليه طريقة "الإمرار حتى الفقد Run - To - Waste" تتم بسهولة ويسر لما يتمتع به من قدرة عالية على صرف أى زيادة من المحلول.

9- سهل التعقيم والاستخدام لأكثر من عام.

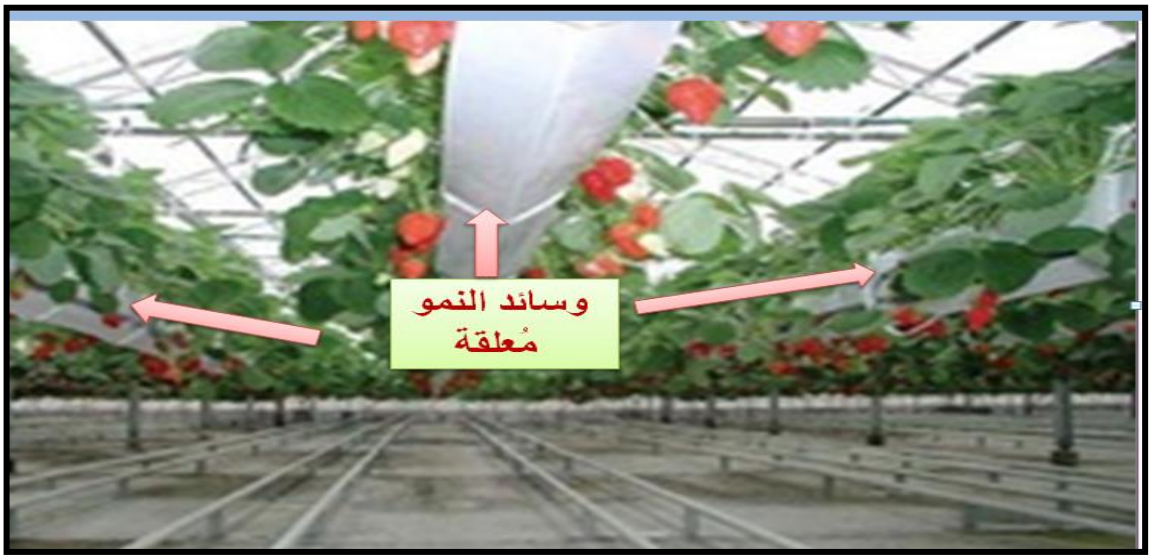
10- يمكن استخدم الصوف الصخرى السائب أو المحبب Granulates كمحسن طبيعى للتربة Soil conditioner للأراضى الرملية أو للأراضى الطينية الثقيلة.

عـــيوب الصوف الصـــخرى

عيوب الصوف الصخرى قليلة وتتمثل فى:

1- يجب الاحتياط عند التعامل مع الصوف الصخرى بلبس قفاز مع أكمام طويلة حيث يسبب إثارة للجلد، ويمكن التغلب على هذه المشكلة بترطيب الصوف الصخرى قبل التعامل معه أو استخدامه.

2- بعض المحاصيل حساسة للزراعة فى وسائد النمو التى سبق زراعة محاصيل بها من قبل مثل: محصول الخيار، وفى هذه الحالة تستخدم الوسائد لسنة واحدة فقط.



شكل (11 – 20) مزارع يستخدم فيها الصوف الصخرى كبيئة للنمو (طماطم) الأعلى و(فراولة) اسفل

2- صوف الخبث المصرى Egyptian Slagwool

وهذه المادة عبارة عن مخلفات Waste Materials تنتج من مصانع الحديد والصلب بحلوان وتسمى جلخ محولات الصلب أو الخبث Slag، وتستخدم الآن فى بعض مصانع الطوب الأسمنتى، ولكن بدأ مؤخراً إعادة صهره على درجات حرارة عالية وتشكيله فى صورة منتج جديد يستخدم كعازل حرارى يسمى صوف الخبث Slagwool.

ويتركب خبث المعادن Slag من أكسيد الكالسيوم 37%، وأكسيد السليكون بنسبة 34%، وأكسيد الألومنيوم 13%، و كسيد الماغنسيوم بنسبة 5%، وأكسيد الحديد بنسبة 1% ، وأكاسيد أخرى بنسبة 10%.

وصوف الخبث Slagwool الناتج من الخبث يبلغ الحد الأقصى لقطر خيوطه 8 ميكرون ويمكن اعتباره بيئة نمو جيدة من خلال التجارب الأولية التى قام بها Sherif وآخرون سنة 1993 على هذا المنتج مقارنة ببعض بيئات الزراعة اللاأرضية الأخرى مثل البرليت - الفيرميكيوليت بالإضافة إلى الصوف الصخرى (شكل 11-21).

شكل (11-21): نمو نباتات الطماطم فى بيئة صوف الخبث المصرى مقارنة بنموها فى بيئات البرليت – الفيرميكيوليت – والصوف الصخرى

ويتميز صوف الخبث Slagwool بكل ما يتميز به الصوف الصخرى Rockwool من صفات مع بعض الفروق التى تظهر من خلال النقاط التالية:

1- سعة احتفاظ صوف الخبث بالماء (بعد 24 ساعة من التشبع بالماء ورشح الزائد) يبلغ 936% مقابل 654% للصوف الصخرى.

2- رقم الحموضة أو رقم الـ pH 7.4 فى مستخلص 1 : 20 ماء مقطر (بعد 48 ساعه) مقابل 7.85 للصوف الصخرى.

3- التوصيل الكهربى 40 ميكروموز/سم مقابل 20 ميكروموز/سم للصوف الصخرى.

4- الكثافة الظاهرية 0.085 جم/سم^3 مقابل 0.075 جم/سم^3 للصوف الصخرى.

5- الفحص الميكروسكوبى وتحليل الاختلاف الحرارى أوضح أن خيوط صوف الخبث أكثر اندماجاً وأكثر ثباتاً من خيوط الصوف الصخرى. ومما يشجع على الاهتمام بصوف الخبث المصرى كبيئة إنبات ونمو، ليس فقط نمو نباتات الطماطم به بشكل جيد، وإنما أيضاً ما أظهره

من تبكير فى نضج ثمار النباتات النامية به بمقدار أسبوعين إلى ثلاثة أسابيع مقارنة بنباتات الطماطم النامية فى الصوف الصخرى.

3- الصوف الزجاجى Glasswool Cultures

يصنع الصوف الزجاجى من رمل الكوارتز النقى Pure quartz sand الموجود فى كثير من صحارى العالم. وتتم عمليات التصنيع من خلال خمسة مراحل محددة

1- يتم تجميع المادة الخام وتوضع فى حاويات خاصة متصلة بفرن الانصهار.

2- تنتقل المادة الخام بعد التخلص من أى شوائب عالقة بها إلى فرن الانصهار حيث تخلط بالحجر الجيرى ويتم صهرها على درجة حرارة 1400 درجة مئوية.

3- ينتقل هذا الخليط المنصهر إلى أوعية الغزل Spinning baskets ذات الجدر المثقبة والتى تدور بسرعة دوران عالية محدثة طرداً مركزياً قوياً يدفع المادة المنصهرة إلى الخارج من ثقوبها مكونة خيوط الصوف الزجاجى اللينة وفى صورة سهلة التشكيل Flexible glasswool fibers. وفى هذه المرحلة أيضاً تتعرض هذه الخيوط إلى ضغط مرتفع من الغاز يعمل على استطالة الخيوط وجعل كل منها فى صورة فردية.

4- تنقل الخيوط الفردية اللينة المتكونة من المرحلة السابقة من خلال سير ناقل متحرك Conveyer belt إلى فرن التقسية Hardening oven الذى يعمل على تقوية الخيوط وتجفيفها على درجة 250 درجة مئوية. ثم بعد ذلك يحدث اندماج للخيوط بعضها ببعض مكونة حصيرة من الصوف الزجاجى. وتتحكم أجهزة الكمبيوتر فى المسافة بين 2 من السيور الناقلة لخيوط الصوف الزجاجى داخل فرن التقسية (أحدهما سفلى والآخر علوى) وفى سرعتيهما وهو ما يحدد سمك وكثافة حصيرة الصوف الزجاجى الناتج.

5- تنتقل حصيرة الصوف الزجاجى إلى حيث المرحلة الأخيرة من مراحل التصنيع ، وفيها يتم تقطيع حصيرة الصوف الزجاجى إلى الأشكال والمقاسات المطلوبة ومنها مكعبات وبلوكات الإنبات ووسائد النمو (شكل 10-24)، ثم يتم بعد ذلك تغليف هذه المنتجات تمهيدا" لعمليات التسويق والاستغلال.

شكل (11-23): وسائد الصوف الزجاجى مغلفة وجاهزة للاستخدام الزراعى

وللصوف الزجاجى مميزات عديدة تجعله بيئة نمو جيدة لكثير من النباتات التى تم زراعتها به مثل: الطماطم والخيار والفلفل والباذنجان والخس والجربيرا والورد والقرنفل والأعشاب الطبية والعطرية. ومن مميزات الصوف الزجاجى ما يلى:

1- يمكن التحكم فى إنتاج الصوف الزجاجى بدرجات مختلفة متدرجاً من الصوف الزجاجى الجاف إلى الرطب جداً على حسب متطلبات السوق.

2- التوزيع الجيد للماء فى الصوف الزجاجى وبشكل متجانس يساعد جذور النباتات على الانتشار إفقيا ورأسياً معطية قوة وكفاءة للمجموع الجذرى.

3- يحتوى الصوف الزجاجى على قدر جيد من الهواء مع قدرة تنظيمية كافية Sufficient Buffering Capacity وهذا يعنى كفاية فى الأكسيجين ومقاومة للتغيرالسريع فى رقم pH المحلول مما يوفر بيئة مناسبة لنمو الجذور وامتصاص العناصر الغذائية من المحلول.

4- الصوف الزجاجى خفيف الوزن سهل الإستخدام مما يوفر الجهد والمال.

5- يمكن إعادة إستغلال الصوف الزجاجى بعد استخدامه فى الزراعة Recycling خاصة فى المزارع التى تستخدم هذه البيئة على نطاق واسع ، حيث يتم طحن وسائد ومكعبات النمو ثم

يتم تسخينها على درجة حرارة قدرها 500 درجة مئوية وخلال عمليات التسخين هذه تنطلق بعض الغازات التى تتميز بقابليتها للاشتعال Inlemmable والتى تستخدم فى تدفئة الصوبة وفى تعقيم وسائد النمو الأخرى التى ما زالت قابلة للاستخدام فى الزراعة.

وخيوط الصوف الزجاجى تنتج فى شكل خيوط رفيعة وناعمة Fine and Thin Fibers وأخرى خشنة وأكثر سمكا" Coarse and thick fiber (شكل10-25). والخيوط الرفيعة لها قدرة أكبر على الاحتفاظ بالماء (95% ماء، 10% هواء، 5% لخيوط الصوف الزجاجى) أكثر من الخيوط الخشنة (80% ماء، 15% هواء، 5% لخيوط الصوف الزجاجى) مما يجعل الخيوط الرفيعة تقوم بدور تحسين خواص الاحتفاظ بالماء، بينما الخيوط الخشنة تعمل على تحسين خاصية التهوية والصرف الجيد. كما أن الخيوط الخشنة تعمل على تحسين الخواص الميكانيكية لوسائد الصوف الزجاجى حيث يمكنها من مقاومة الضغط الواقع عليها ويقلل من انضغاطها. فعند وضع ثقل قدره 1 كيلوجرام على وسادة من الصوف الزجاجى ذو الخيوط السميكة والخشنة فإنها تنضغط وينخفض إرتفاعها بمقدار 0.5 سم، بينما نفس الثقل على وسادة من خيوط الصوف الزجاجى الرفيعة والناعمة تنضغط أكثر ويقل ارتفاعها بمقدار 1.5 سم.

ومن هذه الخصائص الخاصة بخيوط الصوف الزجاجى أمكن تصنيع وسائد للنمو بطريقة تجمع كل من الخيوط الرفيعة والخشنة ليس مزجا" كاملا" بينهما ولكن بترتيب معين يجعل الوسادة مكونة من 4 طبقات (شكل 11-24):

1- **الطبقة الأولى:** هى الطبقة السطحية وتتكون فقط من الخيوط الرفيعة ذات المسام الصغيرة والضيقة Only fine fibers with small pores وسمكها قليل والتى تساعد على تحسين توزيع المياه أفقياً بنسبة 20% تقريباً.

2- **الطبقة الثانية:** وهى الطبقة التى تلى الطبقة السطحية وتتكون من الخيوط الرفيعة والسميكة Mixture of fine and coarse fibers مع زيادة نسبية فى نسبة الخيوط الرفيعة فى اتجاه السطح العلوى مما يحسن من توزيع وانتشار الماء رأسياً و يجعل الاختلاف فى كمية الماء فى وسائد النمو فيما بين القمة والقاعدة قليل.

3- **الطبقة الثالثة:** وهى تلى الطبقة السابقة وتتكون أيضا" من الخيوط الرفيعة والسميكة مع زيادة نسبية فى نسبة الخيوط الخشنة والسميكة فى إتجاه السطح السفلى.

4- **الطبقة الرابعة** : وهى الطبقة السفلية والأخيرة وتتكون فقط من الخيوط الخشنة فى وجود ثقوب واسعة Only coarse fibers with big pores وسمكها قليل. حيث تساعد على سرعة الصرف وزيادة نسبة الهواء (الأكسيجين) فى الطبقة السفلى والذى وجد أن نسبته بها

حوالى 40% تحت ضغط – 3.75 سم فى حين أن هذه النسبة فى وجود الخيوط الرفيعة تبلغ حوالى 15% فقط تحت ظروف التشبع والصرف.

شكل (11–24): إعداد وسائد الصوف الزجاجى بتوليفات مختلفة الأقطار

وبهذه التوليفة من خيوط الصوف الزجاجى الرفيعة الناعمى والسميكة الخشنة أمكن الحصول على وسائد للنمو ذات مواصفات جيدة ومثالية لنمو النباتات بها.

4– ألياف الفوم Foam Fibers

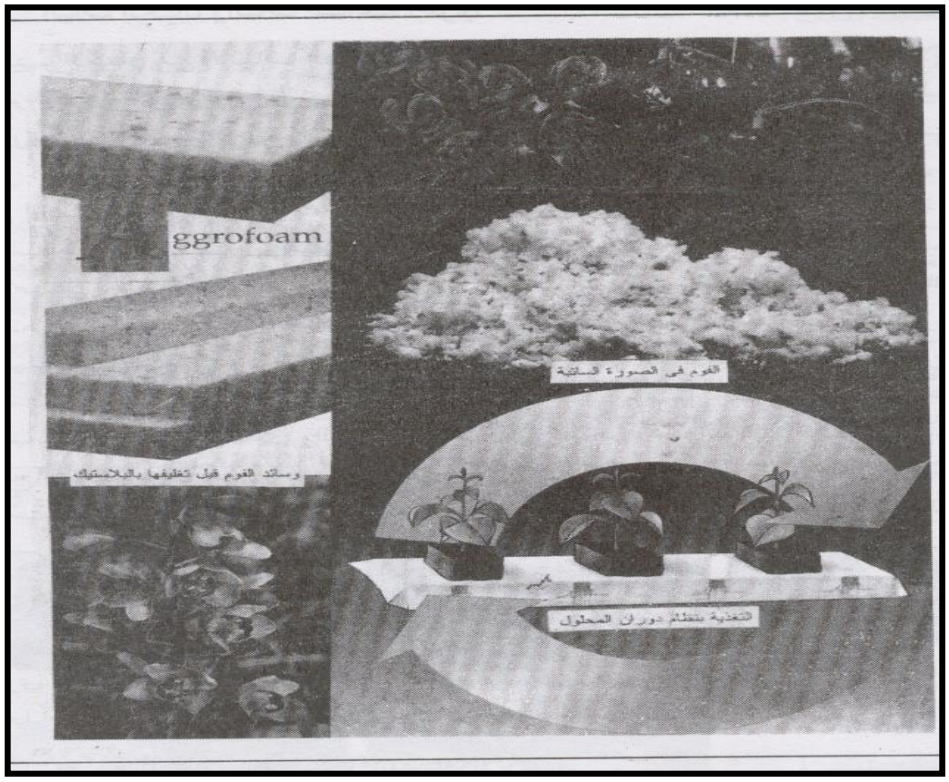
سبق الحديث عن الفوم فى صورة الحبيبات أو Granules فيما يعرف بالبلاستيك المتمدد Expanded Plastic كأحد البيئات الصلبة المستخدمة فى الزراعة اللاأرضية. ولكن الفوم أيضاً يصنع على شكل ألياف Foam Fibers من مركبات البولى يوريثان Polyurethane بواسطة إحدى الشركات العاملة فى مجال الزراعة اللاأرضية بهولندا. والفوم الناتج عبارة عن ألياف تشبة القطن أو الصوف Flocks خاملة كيميائيا" ، خفيفة الوزن ، ثابتة التركيب والتكوين، لها القدرة على حفظ الماء والتخلص من الزيادة منه بنفس الدرجة (شكل 11–25).

وهذا المنتج فى الصورة السائبة والمفككة يتم ضغطه فى صورة بلوكات متجانسة ذات كثافة محددة. وأثناء هذه العملية تتعرض خيوط الفوم لتيار من بخار الماء على درجة حرارة قدرها 120 درجة مئوية، حيث تعمل على تعقيم البلوكات المجهزة من ناحية والعمل على ثبات بنائها من ناحية أخرى.

وبلوكات ووسائد الفوم تتميز بأنها:

1- بيئة جافة Dry Substrate تحتوى على نسبة مناسبة من الهواءإلى الماء Air/Water Ratio مما يشجع على تكوين مجموع جذرى قوى.

2- ذات خواص صرف ممتازه بما يسمح بالتخلص من أى ترسيبات للأملاح بسهولة ، وفى نفس الوقت تجعل منها بيئة مناسبة لاستخدام طريقة التغذية بالمحلول الدائر Recirculation system أو فيما يعرف بالنظام المغلق Close System .



شكل (11-25): الفوم فى صورة سائبة ومجهزة فى شكل وسائد للاستخدام الزراعى

3- بيئة متعادلة ولا تتأثر بتغير رقم الـ pH أو درجة التوصيل الكهربى E.C مما يجعلها بيئة مثلى للنمو.

4- تستخدم لفترات طويلة (من 5-10 سنوات).

5- سهلة التعقيم بالبخار ولا يحدث أى تغير فى الخواص أو فى الكفاءة نتيجة الاستخدام أو التعقيم.

6- بعد إستخدامها فى الزراعة يمكن عمل Recycling لها مرة أخرى.

5- ألياف الكتان وألياف صناعية أخرى

يعتبر الكتان من الألياف الطبيعية التى يمكن استخدامها كبيئة للزراعة اللاأرضية، ويعتبر الخيش الموجود فى الأسواق بيئة قابلة للاستخدام فيما يعرف بالزراعة المستوية. كما يمكن استخدام ألياف صناعية مخلقة من البوليمرات يطلق عليها اسم "فليس Fleece" والسلسلة الكيميائية له من البولى إيستر Polyester ، ولذلك يسمى "بولى إيستر فليس Polyester Fleece" وهو من النوع المحب للماء ويعتبر بيئة للنمو. وقد استخدم هذا المنتج بواسطة Schroder سنة 1987 بألمانيا كبيئة لنمو العديد من محاصيل الخضر وأعطى نتائج ممتازة. كما يستخدم ورق البيت Peat paper والفسكوس فليس Viscose fleece بالإضافة إلى أى مخلفات معدنية أو عضوية يمكن تشكيلها فى طبقات رقيقة. وتستخدم أي من هذه البيئات بين طبقتين من شرائح البلاستيك فيما يشبه السندوتش Sandwich، حيث تعمل الطبقة السفلى على منع تسرب الماء والمحلول المغذى والطبقة العليا تمنع البخر وتمنع نمو الطحالب. كما تعمل شرائح البلاستيك على حماية الجذور من أشعة الشمس صيفاً ولذلك يستخدم البلاستيك ذى اللون الأبيض، بينما يستخدم البلاستيك ذى اللون الأسود لتدفئتها شتاء.

نماذج لإستخدام بيئات الألياف فى الزراعة على المستوى التجارى

سبق الإشارة إلى بيئات الألياف وخواصها ومنها الصوف الصخرى وصوف الخبث المصرى والصوف الزجاجى وألياف الفوم والكتان وغيرها، والآن نعطى مثالاً لكيفية استخدام أى منها فى الزراعة والذى يتم بإحدى الطرق الآتية:

1- مزارع النظام المفتوح Open System

يمكن اتباع الخطوات التالية لتنفيذ مزرعة من الصوف الصخرى أو أى بيئة ألياف أخرى بنظام الـ Open system فى الصوبة أو الحقل المكشوف:

1- ترطيب مكعبات الإنبات قبل الاستخدام بـ 24 ساعة وتكون موضوعة على طاولات من البلاستيك ذات إطار غير مرتفع 5-8 سم.

2- تزرع بذور النباتات فى المكعبات فى مكان دافئ رطب وتروى بالماء والمحلول المغذى عندما الحاجة لذلك.

3- بعد خروج جذور البادرات خارج مكعبات الإنبات تنقل إلى بلوكات الإنبات حتى تأخذ حجماً مناسباً وتصبح جاهزة للنقل إلى وسائد النمو (شكل 10-27)، والذى يوضح تتابع مراحل إعداد البادرات حتى وضعها فى مكانها المستديم على وسائد النمو فى الصوبة.

4- يتم تسوية أرض المزرعة فى شكل مصاطب بعرض 70 سم تنحدر للخارج قليلاً، ثم ترتفع مكونة مصطبة أخرى بعرض 70 سم، وذلك فى حالة ما إذا كان عرض وسائد النمو 15 أو 20 سم، ثم تغطى الأرض بالبلاستيك الأبيض صيفاً ليخفف من حدة الحراره والأسود شتاء للتدفئة. وفى كل الأحوال فإن البلاستيك يمنع ظهور ونمو الحشائش بأرض المزرعة ونمو الفطريات، ويمنع أيضاً وصول فاقد المحاليل المغذية إلى التربة ليتم تبخره من على أسطح البلاستيك ملطفاً للجو المحيط بالنبات.

5- يتم رص وسائد النمو فى صفوف طولية على الحواف المائله للمصاطب بحيث يكون نهاية كل وسادة مع بداية الوسادة التالية لها وهو ما يسمى Tail to Tail، ثم توضع مواسير التغذية فى باطن المصاطب لتغذى زوج

مزارع الأكياس بها صوف صخرى سائب

من وسائد النمو، وتكون الممرات على قمة المصاطب بين زوج من الوسائد أيضاً مما يسهل الحركه بعيداً عن رشح المحلول الزائد ومواسير الرى والتغذية (شكل 10-28).

شكل (11-26) يوضح تتابع خطوات إعداد البادرات فى مكعبات الإنبات وكيفية نقلها إلى وسائد النمو

فى حالة ما إذا كان النمو الخضرى للنباتات المراد تنميتها قصير مثل: الخس والفراوله، فيمكن تكثيف الزراعة بعمل مصاطب بعرض من 100 - 110 سم ورص الوسائد التى عرضها 15 -20 سم فى زوجين من الصفوف على الحواف المائلة للمصاطب (4 صفوف على المصطبة) بنفس الطريقة السابقة، ويعمل خط الرى والتغذية على رى و تغذية أربعة صفوف من وسائد النمو (2 وسادة من كل جانب).

6- يتم عمل فتحات بأبعاد مكعبات الإنبات أو البادرات فى البلاستيك المغلف لوسائد النمو على أن تكون المسافة بين كل فتحة وأخرى هى نفس المسافة المطلوبة بين كل نبات وآخر.

7- يتم توصيل منقطات Dripers خط الرى والتغذية إلى الفتحات الموجودة فى وسائد النمو وتشبيعها بالمحلول المغذى قبل نقل البادرات بـ 24 -48 ساعة مع ضرورة عدم عمل فتحات للصرف خلال هذه الفترة، حيث يرفع الصوف الصخرى رقم الـ pH للمحلول بمقدار درجة واحدة عند استخدامه لأول مره فقط.

8- بعد 24-48 ساعة من تشبيع وسائد النمو يتم عمل فتحات الصرف فى أسفل الجانب المواجه لمواسير الرى، ليتم التخلص من المحلول الذى ارتفع رقم حموضته، ثم تنقل مكعبات الإنبات أو البادرات وتثبت فى المكان المجهز لها من قبل على وسائد النمو ويثبت بها المنقطات.

9- يتم التغذية من 4-6 مرات يومياً فى فصل الشتاء ومن 8-12 مرة فى فصل الصيف وذلك بمعدل 2-4 لتر/ساعة، وفى كل مرة ينتظر حتى يخرج المحلول من فتحة الصرف. وتستمر التغذية بهذا المعدل حتى نهاية المحصول.

ويجب ملاحظه حجم الهواء فى وسائد النمو يزداد بارتفاع الوسادة، وغالباً ما تكون التهويه فى حدود 25% من حجم الوسائد التى ارتفاعها 7.5 سم كافياً لمعظم أنواع النباتات، إلا أنه ربما تحتاج بعض المحاصيل إلى حجم تهوية أكبر قد تصل إلى 50%، وفى هذه الحاله تستخدم وسائد ذات ارتفاع أكبر.

مايتم عمله أثناء النمو

1- التأكد من ضبط المحلول المغذى يومياً وذلك بأخذ عينة من المحلول المغذى الموجود فى وسائد النمو وليس المضاف إليها. ويتم أخذ العينة بواسطة سرنجة تغمس حتى منتصف الوسادة فيما بين النباتات، ومكونات كل عينه يتم تجميعها من 15-20 وسادة عشوائياً. وعلى هذه العينة يتم القياسات التالية:

الإختبارات اليوميه:

أ - قياس رقم الـ pH و التوصيل الكهربى Electrical Conductivity (E.C) فى عينات من المحلول المغذى الموجود فى وسائد النمو باستخدام أجهزة قياس الـ pH (pH Meter) وأجهزة قياس درجة التوصيل الكهربى EC Meter.

ب- تقدير العناصر التالية: NH_4-N, NO_3-N, P, K, Ca, Mg and Fe وهذا ما يجب أن يتم، إلا أنه نظراً لارتفاع تكاليف هذه التقديرات، بالإضافة إلى أن التغيرات التى تحدث فى

المحلول المغذى ووسط النمو لا تكون كبيرة خلال أسبوع، لذلك يتم أخذ العينة أسبوعياً وعليها يتم إجراء الاختبارات والتقديرات السابقة مرة كل أسبوع.

الإختبارات الشهريه:

تقدير عناصر Mn, Cu, Zn and B

إختبارات كل شهرين:

تقدير عناصر Na and Cl

وتقدير تركيزات العناصر فى المحاليل المغذية يتم باستخدام أجهزة الـ Flame photometr and spectrophotometer المتوفرة فى معامل تحليلات الأراضى والمياه.

2- إذا حدث تأثير لترسيب الأملاح أثناء نمو المحصول نتيجة لاستخدام ماء به نسبة ما من كلوريد الصوديوم مثلاً فإنه يتم الرى بماء فقط لمدة 2-3 أيام، ثم يعاد اسخدام المحلول المغذى، وفى حالة إعادة استعمال وسائد النمو لسنة تالية يتم الرى فى الأسبوع الأخير من عمر النباتات أيضاً بماء فقط للتخلص من الأملاح المترسبة بها.

3- تثبيت النباتات ذات المجموع الخضرى الكبير مثل: الطماطم والخيار على الأسلاك أو الدعامات الخاصه بها.

4- مكافحة الآفات أو الحشرات إن وجد.

ونظراً لاستخدام الصوف الصخرى فى الزراعة على مساحات كبيرة لمحاصيل عالية القيمة الاقتصادية، فإن الشركات المتخصصة فى تصنيع أنظمة الرى وفرت أجهزة ومعدات قياس فى غاية الدقة والنظام يتحكم فى عملها أجهزة الكمبيوتر المزودة ببرامج تعمل على قياس درجة الـ pH ، والـ E.C ، وتركيز العناصر الغذائية، وتصحيح قيم كل منها أوتوماتيكياً إلى القيم المثلى مما يوفر الوقت والعمالة ومثالية فى تركيزات المحلول المغذى، وهو ما يؤدى مع مثالية بيئة النمو إلى محصول جيد. وهذا هو سر الإنتاجية العالية فى مثل هذه الأنظمة. وتعتبر محاصيل الخصر ونباتات الزينة من المحاصيل التى يتم زراعتها تجارياً فى الصوف الصخرى وفى الصوف الزجاجى والفوم بنجاح كبير. ولنأخذ لذلك مثالاً من بعض المزارع التجارية بهولندا خلال عام 1994 يوضح احتياجات ومتطلبات الزراعة لبعض المحاصيل فى الصوف الصخرى مقابل إنتاجيتها (جدول 11-4).

ويلاحظ أن احتياجات محصول الطماطم Tomato تماثل نفس الاحتياجات لمحصول الفلفل Pepper، كما أن متطلبات محصول الخيار Cucumber تماثل ما تتطلبه محاصيل كل من القاوون Melon، والباذنجان Egg plant (Aubergine)، والكوسة Squash ، فى حين أن ما تحتاجه محاصيل القرنفل Carnation ، والجربيرا Gerbera والأقحوان Chrysanthemum تقل قليلاً عن احتياجات شجيرات الورد Roses.

ثانياً: النظام المغلق أو الدائرى Closed System

ويتبع فيه الخطوات التالية:

1- يتم استخدام الخطوات من 1-3 من الطريقة السابقة.

2- يتم وضع وسائد النمو فى طاولات من البلاستيك Trays (طولها بطول 2-3 وسادة ، وعرضها عرض وسادة أو وسادتين)، ثم توضع طاولات البلاستيك على أرض الصوبة أو خارجها بميل 1 : 200 ، وفى نهاية الطاولة البلاستيك توجد فتحة بقطر 1.25 - 3.75 سم يثبت عليها ماسورة بلاستيك بنفس قطر الفتحة، وتتصل بماسوره تحمل المحلول الزائد إلى تنك التغذيه.

3- يتم عمل فتحات بأبعاد مكعبات الإنبات أو البادرات فى البلاستيك المغلف لوسائد النمو على أن تكون المسافة بين كل فتحة وأخرى هى نفس المسافة المطلوبة بين كل نبات وآخر.

جدول (11-4): يوضح إحتياجات بعض المحاصيل عند زراعتها فى الصوف الصخرى والإنتاج المتحصل منها

المحصول إحتياجاتالمحصول	الطماطم Tomato	الخيار Cucumber	الورد Rose
المساحة بالمتر المربع	1000	1000	1000
كثافة النباتات فى المتر المربع	2.5	1.5	10
عدد النباتات = عدد مكعبات الإنبات والنمو = عدد المنقطات	3000-2800	1900-1600	11000-9000
عدد وسائد النمو بطول 75 سم	900	900-850	1400-1000

كمية الأسمدة بالكيلوجرام	**100**	**100**	**100**
إستهلاك المياه بالمتر المكعب	**1500**	**1800**	**2000**
عمر النبات حتى المحصول بالشهر	**11-10**	**10**	**12**
المحصول بالكيلوجرام للمتر المربع	**65**	**28**	**200 زهرة**
العمالة اللازمة لكل 4000 متر مربع	**1**	**1**	**1**

4- يتم توصيل منقطات Dripers خط الرى والتغذية إلى الفتحات الموجودة فى وسائد النمو وتشبيعها بالمحلول المغذى قبل نقل البادرات بـ 24 -48 ساعة مع ضرورة عدم عمل فتحات للصرف خلال هذه الفتره (كما سبق بيانه فى الطريقة السابقة).

5- بعد 24-48 ساعة من تشبيع وسائد النمو يتم عمل فتحات الصرف فى أسفل الجانب المواجه لمواسير الرى، فيتم التخلص من المحلول الزائد، ثم تنقل مكعبات الإنبات أو البادرات وتثبت فى المكان المجهز لها من قبل على وسائد النمو ويثبت معها المنقطات.

6- يتم التغذيه باستخدام المنقطات ويعاد استخدام المحلول الزائد مرة أخرى كما هو متبع فى الأنظمة المغلقة، وتستمر التغذيه بهذا النظام حتى نهاية المحصول.

ثالثاً: الرى تحت السطحى لبيئات الألياف Sub-irrigation System

1- فى هذا النظام يتم وضع وسائد الصوف الصخرى أو غيرها من وسائد بيئات الألياف الأخرى فى طاولات من البلاستيك كل منها يتسع لوسادتين أو ثلاثه على أن تزود هذه الوسائد بفتحات فى سطحها السفلى.

2- يتم ضخ المحلول المغذى إلى الطاولات البلاستيك الحاوية لوسائد الصوف الصخرى حتى أقصى ارتفاع يجب أن يكون عليه المحلول فى الطاولة والوسادة والذى يوجد عنده فتحة جانبيه لإعادة الزيادة إلى تلك التغذية.

3- يتم ضخ المحلول مرة واحدة يومياً فى المراحل الأولى للنمو ولمدة من 5-10 دقائق، تزاد بعد ذلك إلى 3-5 مرات شتاء و7-10 مرات صيفاً فى المراحل المتقدمه للنمو وحتى المحصول.

وتتميز هذه الطريقة بالاستخدام القليل للطاقة اللازمة لضخ المحلول بالإضافة إلى تلافى مشاكل إنسداد المنقطات.

إعادة إستخدام وسائد النمو فى زراعة محاصيل أخرى

يمكن استخدام وسائد النمو لأكثر من عام. ولإعادة الاستخدام بشكل جيد يجب التخلص من الأملاح المترسبه بها من المحصول السابق أولاً ، ثم القضاء غلى الفطريات ثانياً.

ويتم التخلص من الأملاح المترسبة كما سبق الإشارة إليه من قبل. أما القضاء على الفطريات فيتم كما يلى:

1- يزال غطاء البلاستيك من على وسائد النمو، وترص فوق بعضها فى شكل بالات، ثم تغطى بإحكام بغطاء سميك من البلاستيك.

2- يمرر عليها بخار الماء لمدة 30 دقيقة، وبعد أن تبرد يتم تغليفها بأغلفة البلاستيك وتكون بهذا جاهزة للاستخدام فى العام التالى.

فى بعض المناطق من العالم يستخدم بروميد الميثيل بدلا من بخار الماء، وبنفس الخطوات السابقه وإن كان يفضل استخدام المصدر الطبيعى عن المركب الكيماوى.

الزراعة على بالات قش الأرز

هى إحدى الطرق للتخلص الآمن من مخلفات قش الأرز و التى تمثل أحد المشاكل الهامة المسببة للتلوث فى مصر حيث يلجأ معظم المزارعين للتخلص من قش الأرز عن طريق عملية الحرق مما يسبب مشاكل عديدة و نواتج ضارة جداً تؤثر على الصحة العامة لذلك فإن أحد طرق التخلص من قش الأرز بالإضافة إلى تحويلة كمبوست و علف حيوانى عن طريق معاملته باليوريا أو الأمونيا هو الزراعة على بالات قش الأرز و خصوصاً فى الأراضى التى بها مشاكل معقدة يصعب حلها مثل الملوحة الشديدة و التى يصعب التخلص منها بالغسيل و القلوية (الصودية) الشديدة و التى لا يجدى معها إضافة الجبس أو الأراضى التى بها طبقات صماء و غيرها من المشاكل الأخرى فى هذه الحالة يمكن رص بالات قش الأرز على هذه الأرض بطريقة معينة و وضع الخراطيم للرى ثم زراعتها و إنتاجها يكون ممتاز جداً و خالى من الأمراض و المبيدات و منتج حيوى طبيعى صحى آمن و سأذكر لكم الطريقة مدعمة بالصور الموضحة فى مقابلة قادمة إنشاء الله لمن أراد أن يستزيد فى هذا الموضوع.

التخلص من قش الأرز بالحرق

زراعة الخضر على بالات قش الارز

وتستخدم هذه الطريقة فى الاراضى التى تعانى من مشاكل فى التربة مثل الارتفاع الشديد فى الملوحة او الاصابة بامراض التربة سواء فى الصوب او فى الحقل المكشوف . كما ان هذه الطريقة تجتاج الى شبكة رى بالتنقيط وتزرع على بالات قش الارز الطماطم والخيار ،الكانتلوب والفراولة. وتحتاج الصوبة الواحدة حوالى 300 بالة ابعادها 120 سم طول و80 سم عرض و 50 سم ارتفاع. حيث يحتاج الفدان فى الزراعة فى الارض المكشوفة مباشرة الى 2500 بالة (شكل 5–1) بالابعاد السابقة .

شكل (11–27) يبين قش الأرز وكبسه بواسطة الالة

تجهيز البالات للزراعة

- يتم رص البالات على شكل مصاطب
- يتم رى البالات الجافة من 4 – 6 ساعات للغسيل بواسطة خرطوم ماء
- يتم إعداد شبكة الرى بالتنقيط على تلك المساطب بحيث نكون المسافة بين المنقطات 40 – 50 سم للخيار – طماطم – فلفل فى حين تكون 25 – 30 سم للفراولة.
- يتم تسميد البالات باحد الاسمدة الازوتية مثل نترات الامونبوم – سلفات النشادر – او اليوريا من 1–2 جم/لتر /اسبوع بالتبادل مع حمض الفوسفوريك التجارى 85% مرتين / اسبوع على النحو التالى: اليوم الأول والثانى أسمدة نيتروجينية اليوم الثالث حمض الفوسفوريك اليوم الرابع غسيل بالماء فقط
- يستمر هذا البرنامج لمدة 10 ايام صيفاً و 12–15 يوم شتاءً

مميزات الزراعة فى بالات قش الآرز

- يمكن الزراعة فى أى أرض غير قابلة للزراعة على هيئة بالات أو اكياس

- بيئة غير مناسبة لكثير من الأمراض نتيجة لارتفاع درجة الحرارة بها أثناء عميات التخمر من 3 – 5 درجات عن التربة.
- سهولة التحكم فى الرى والتسميد ومن ثم توفير السماد ومياه الرى وذلك بتوزيع التسميد والرى على مدار اليوم
- عدم نمو الحشائش وهذا يوفر فى عمليات العزيق وخلافه
- قلة استخدام المبيدات لعدم وجود النيماتودا يقلل من تلوث الثمار
- يمكن استخدام البالات فى الزراعة من 2– 3 مرات

تستخدم البالات المتحللة بعد انتهاء الزراعة بها كسماد عضوى للتربة العادية سواء الرملية أو الطينية

رسم تخطيطى يبين الفكرة الساسية فى زراعة بالات قش الأرز

رص البالات

رش البالات بالماء للغسيل

تركيب الدعامات

البالات بعد تجهيزها بالدعامات وخراطيم الرى بالتنقيط فى حقل مكشوف

طرق الزراعة فى البالات

- فى حالة الزراعة بالبذور توضع البذرة فى الطبقة السطحية بينما الشتلات يتم عمل حفرة وتوضع الشتلة وينم التخطية البذرة او الجذور فى الحالتين
- فى حالة الفراولة بشق القش وندفن الجذور ويتم اظهار البرعم الطرفى فقط
- عدد الشتلات على البالة يختلف حسب المحصول وسبق الذكر عند الكلام على المسافات بين المنقطات

وضع الشتلة فى بالات القش

إحدى طرق الرى (يدويا) للنباتات المزروعة على بالات القش

استخدام الاسمدة المركبة

جدول يبين افحتياجات السمادية لبعض المحاصيل المنزرعة على بالات قش الأرز

نوع السماد بالجرام / متر مكعب ماء	الطماطم	الخيار	كانتالوب وفلفل	فراولة
نترات النشادر	400	360	340	320
سلفات البوتاسيوم	830	700	650	610
سلفات ماغنسيوم	370	300	260	240
نترات كالسيوم	860	770	720	640
حمض فوسفوريك تجارى 85%	200	200	200	200

كيفية اتمام عملية التسميد

- يضاف التسميد بمعدل 1 – 3 لتر / نبات وذلك غى مرات من 2 – 3 مرات فى اليوم فى اليوم وبين كل إضافة وأخرى من 1.5 إلى 2.0 ساعة وذلك للحفاظ على كمية السماد والماء من الفقد مما يزيد من معدل الاستفادة.
- عدد مرات التسميد من 4 – 5 مرات / اسبوع بالإضافة إلى مرتين رى بالمياه فقط وذلك مرتين تسميد واليوم الثالث رى بالماء فقط.مع التكرار المستمر خلال موسم النمو
- فى حالة اضافة نترات الكالسيوم يفضل اضافة ماء فقط فى اليوم التالى لمدة من 3 – 5 دقائق بدون سماد

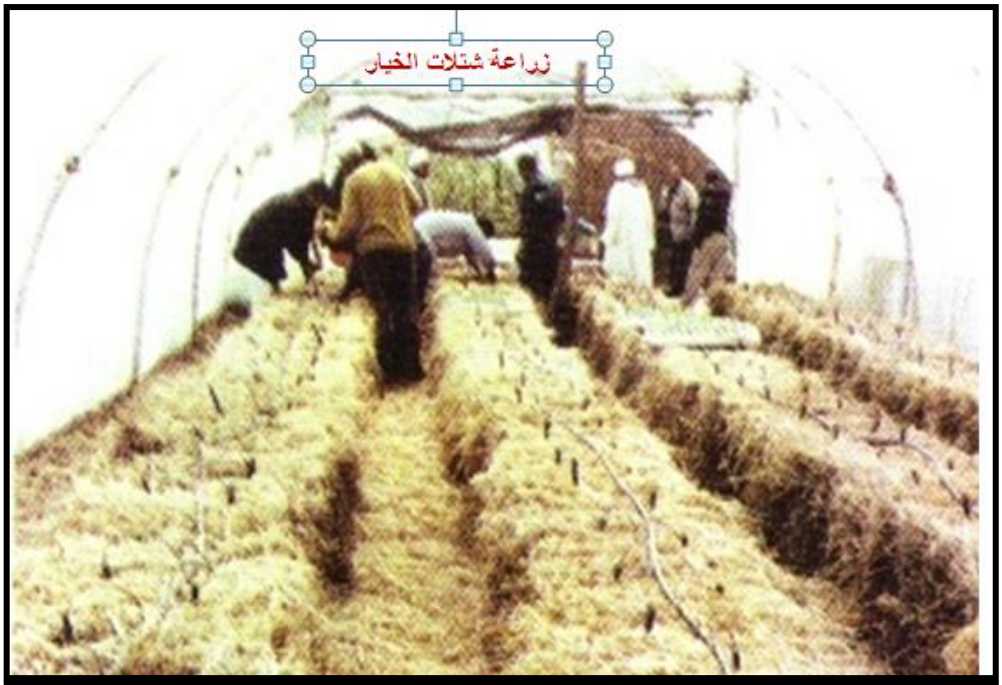
استخدام الاسمدة المركبة

يمكن استخدام الاسمدة المركبة بالمعدلات الآتية:

- فى حالة البادرات 0.5 جم / لتر
- فى بداية التزهير 1.0 جم / لتر
- اثناء جمع الثمار من 1.5 – 2.0 جم / لتر
- يجب اضافة حمض الفوسفوريك من 1 – 2 مرة لمدة من
- اسبوع – 10 ايام
- تضاف الاسمدة الورقية (عناصر صغرى) مرة كل 10 ايام صباحاً بعد نطاير الندى

بعض محاصيل الخضروات مزروعة على بالات قش الأرز

وفى الصور التالية توضح خطوات زراعة الفراولة والخيار على بالات القش فى مصر

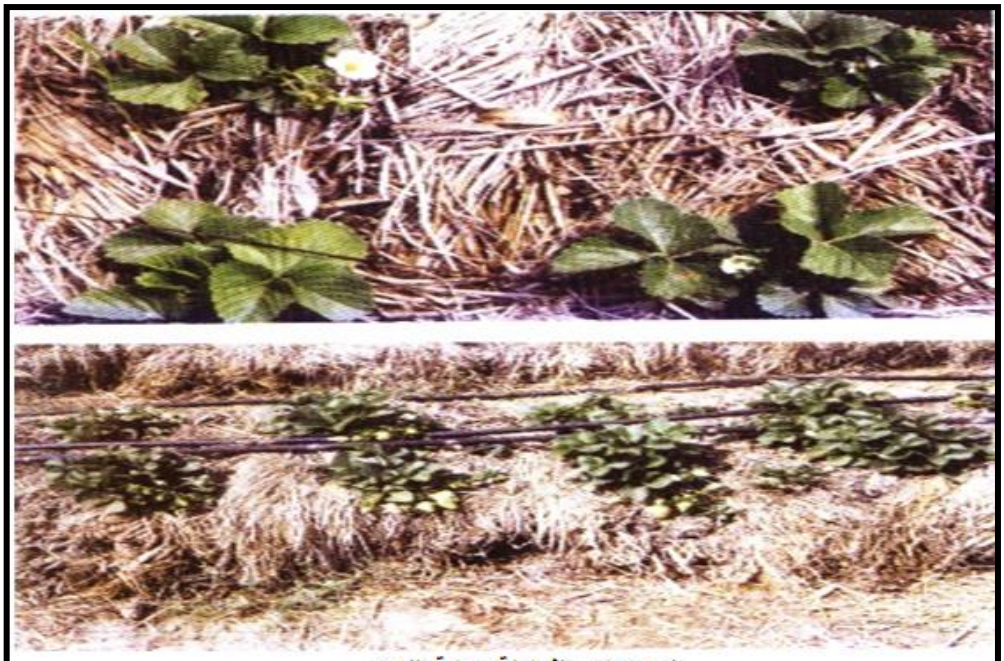


ترتيب البالات فى الحقل المكشوف على هيئة مساطب بطول ٥٠ متر وتوزيع شبكة الرى بالتنقيط عليها
وزراعة شتلات الفراولة فى حقل فى ابو صوير - الإسماعيلية

نمو شتلات الخيار بعد إسبوعين من الشتل

شتلات الخيار بعد ٢ – ٣ أسابيع (الأعلى) وفى مرحلة التذهير والإثمار يصل الإرتفاع إلى ٢٢٠ سم تقريبا

صوب الحاج على غنيم بأبو صوير الإسماعيلية



نمو شتلات الفراولة وبداية التزهير
لاحظ عدم وجود حشائش

ثمارنباتات الفراولة في مراحل النضج المختلفة على بالات قش الأرز في حقل مكشوف

نباتات الفراولة في مراحل النضج المختلفة المنزرعة في التربة

الفصل الثانى عشر

صور أعراض نقص العناصر المغذية على النباتات

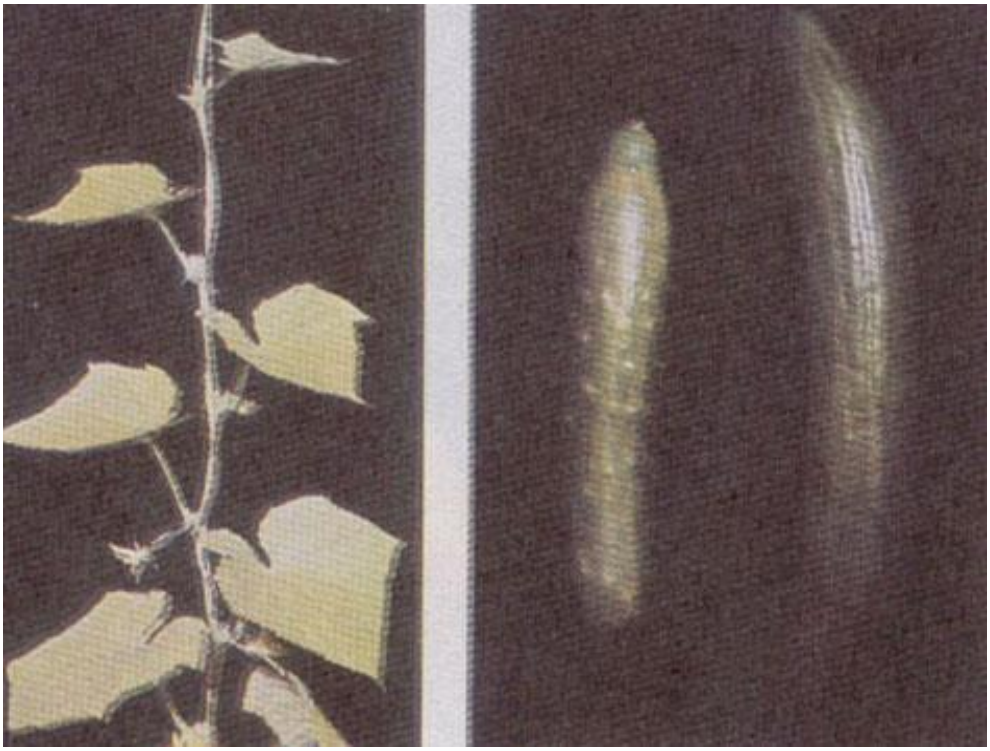
نقص نيتروجين

أعراض نقص نيتروجين على نبات الطماطم (على اليسار)

اعراض قص نيتروجين على أوراق نبات الذرة

نقص نيتروجين

أعراض نقص النيتروجين على ثمار وأوراق الخيار



أعراض نقص النيتروجين على نبات الخس (على اليمين)

نقص فوسفور

أعراض نقص الفوسفور على أوراق نبات الذرة

أعراض نقص الفوسفور على نبات الطماطم

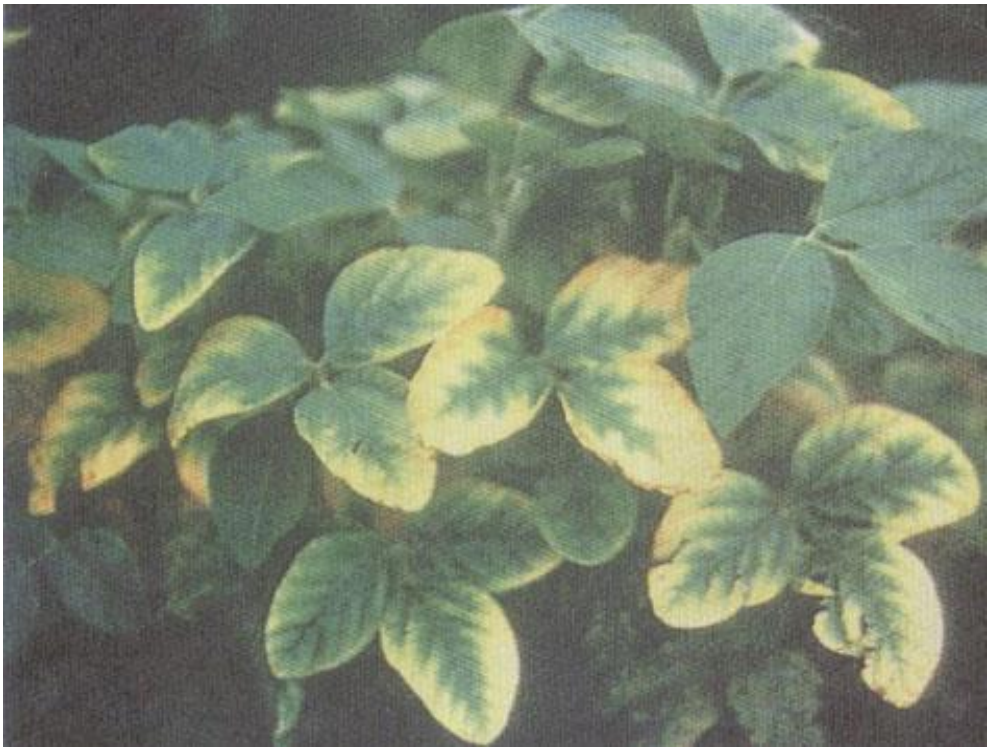
نقص فوسفور

أعراض نقص الفوسفور على نبات الخيار

أعراض نقص الفوسفور على نبات الخس

نقص بوتاسيوم

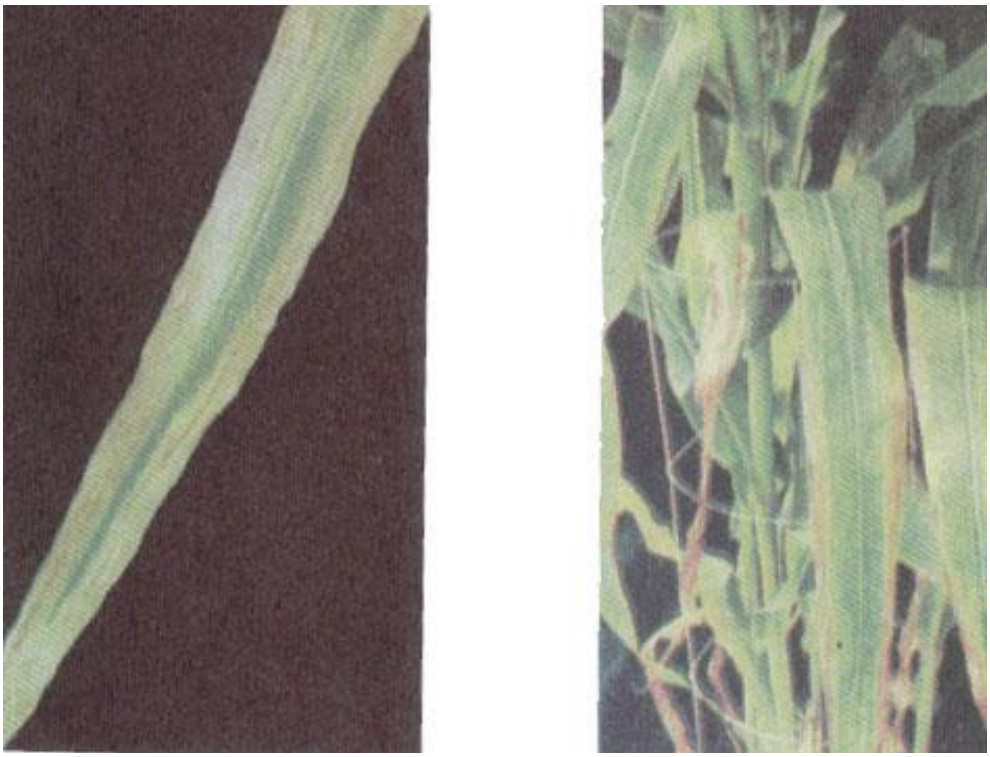
أعراض نقص البوتاسيوم على أوراق نبات فول الصويا



أعراض نقص البوتاسيوم على أوراق نبات الخوخ

نقص بوتاسيوم

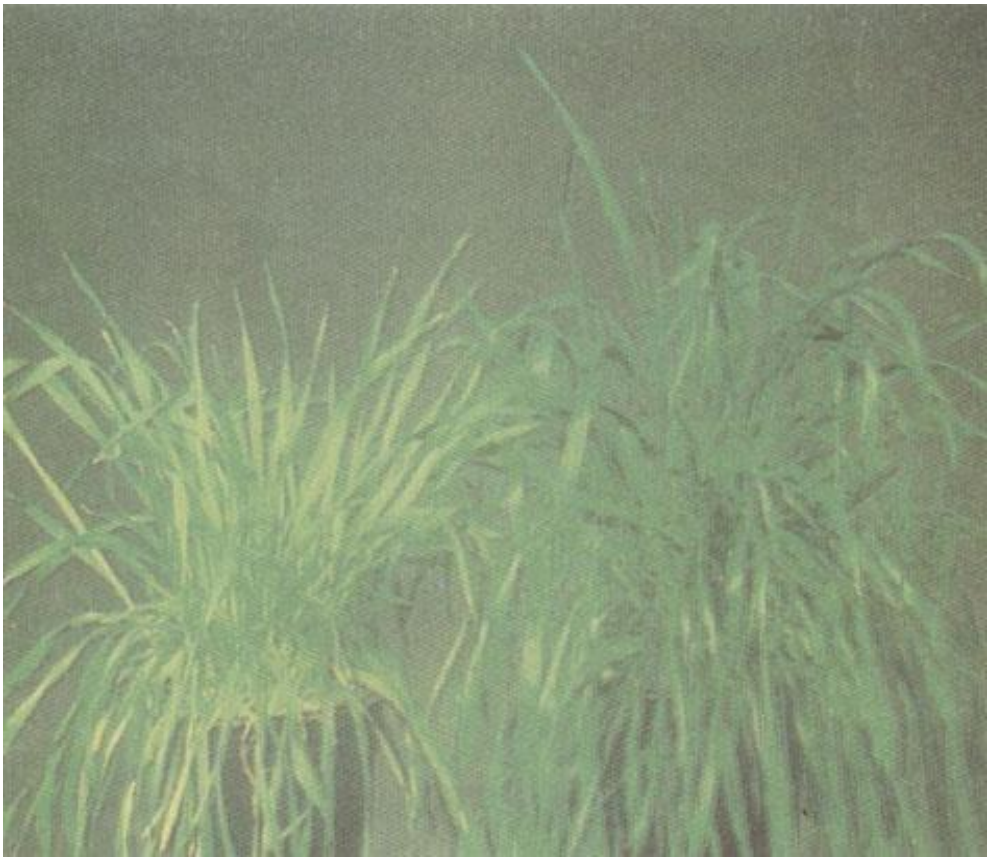
أعراض نقص البوتاسيوم على أوراق نبات الذرة



أعراض نقص البوتاسيوم على أوراق نبات البطاطس

نقص كبريت

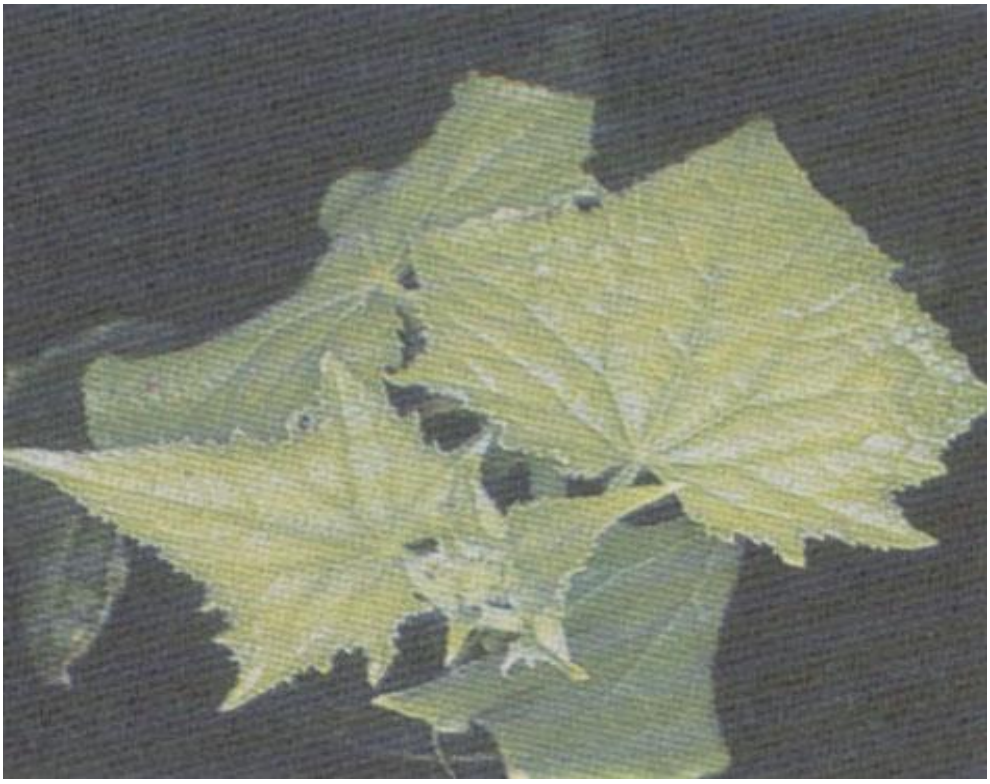
أعراض نقص الكبريت على نبات الأرز



أعراض نقص الكبريت على نبات الطماطم (على اليسار)

نقص كبريت

أعراض نقص الكبريت على نبات الخيار



أعراض نقص الكبريت على نبات الخس

نقص كالسيوم

أعراض نقص الكالسيوم على ثمار الطماطم (بقع جافة وذات لون أسود وجافة)

أعراض نقص الكالسيوم على ثمار البطيخ (حروق القمة الزهرية للثمار)

نقص كالسيوم

أعراض نقص الكالسيوم على أوراق و ثمار الخيار

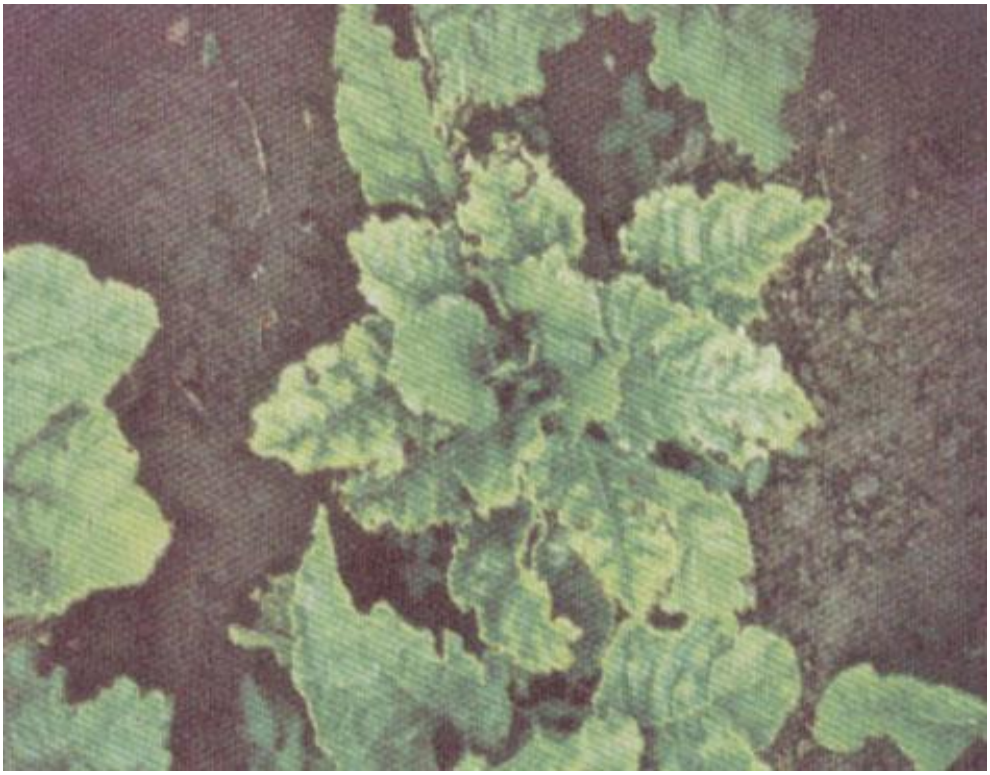
(إلتفاف حواف الأوراق للداخل وضمور فى قمة الثمار)

أعراض نقص الكالسيوم على نبات الخس

نقص الماغنسيوم

أعراض نقص الماغنسيوم على أوراق نبات الذرة (لون أبيض مصفر بين العروق)

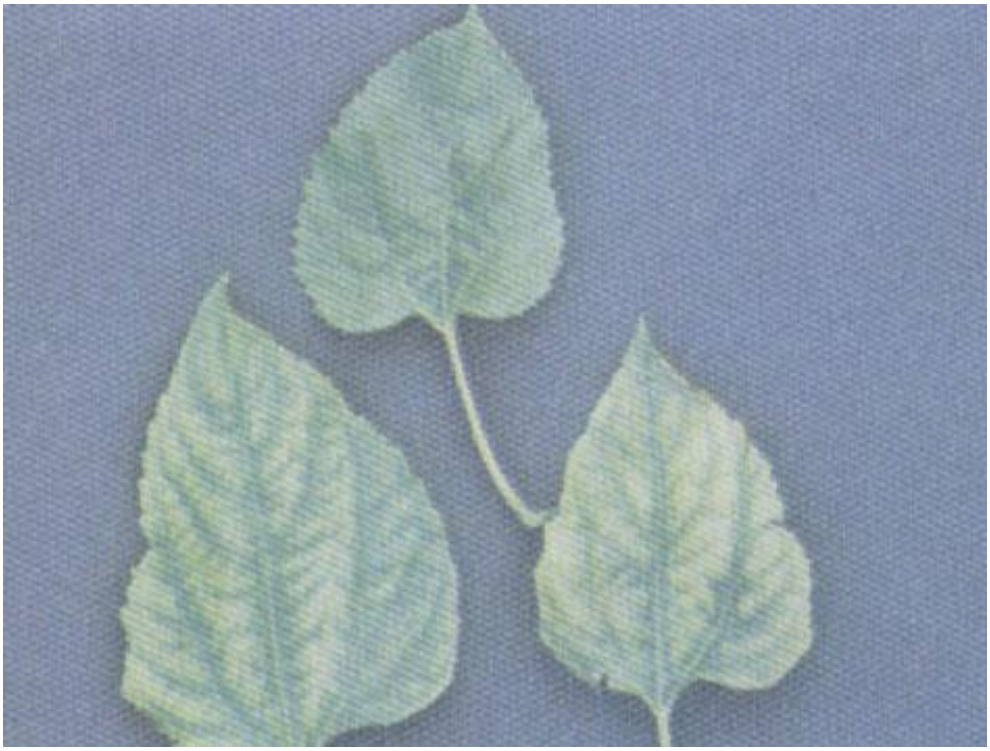
أعراض نقص الماغنسيوم على أوراق نبات بنجر السكر (إصفرار قمم وحواف الأوراق)



نقص الماغنسيوم

أعراض نقص الماغنسيوم على أوراق نبات الباذنجان

أعراض نقص الماغنسيوم على أوراق نبات عباد الشمس



أعراض نقص الزنك

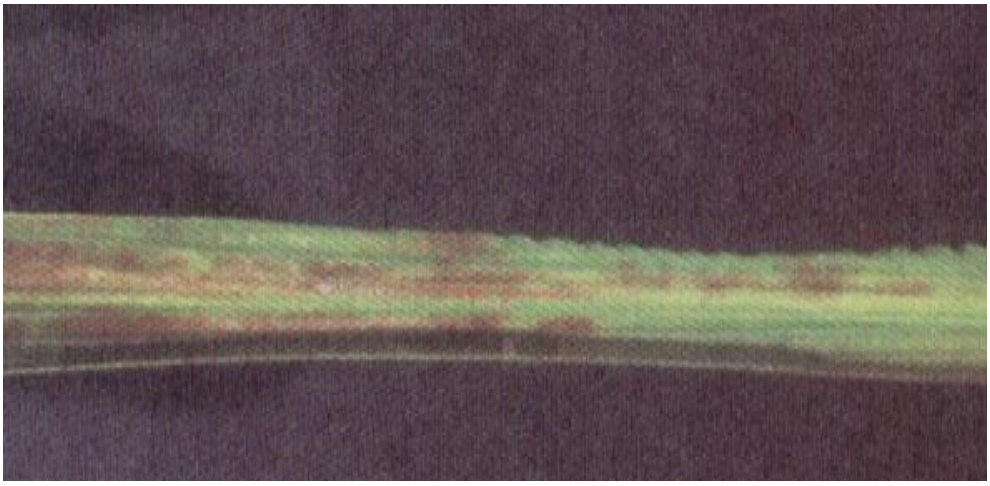
أعراض نقص الزنك على أوراق الموالح

أعراض نقص الزنك على أوراق العنب

أعراض نقص الزنك

أعراض نقص الزنك على أوراق نبات الذرة

أعراض نقص الزنك على أوراق نبات الأرز



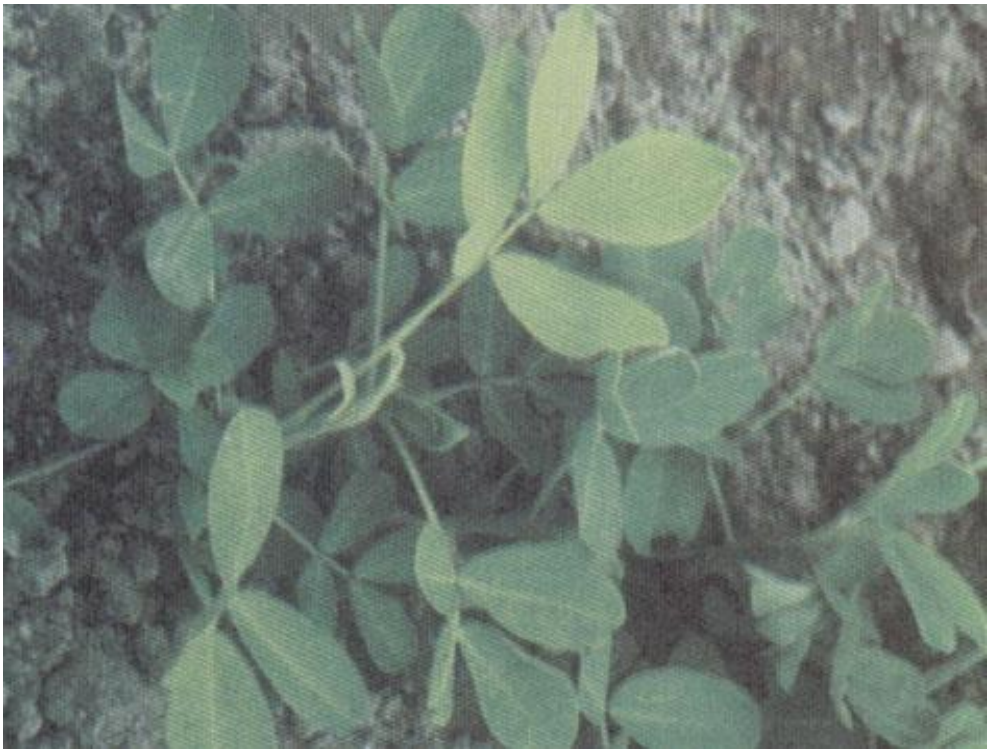
نقص الحديد

أعراض نقص الحديد على أوراق نبات الموز (لون أصفر بين العروق)

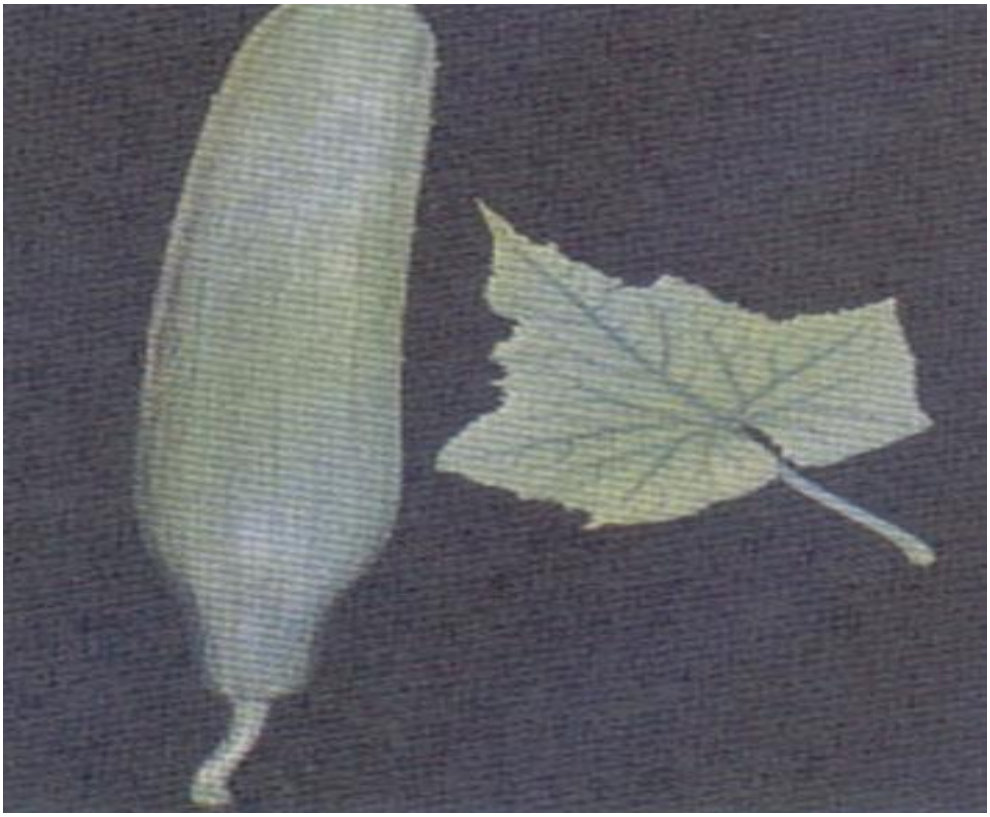
أعراض نقص الحديد على أوراق نبات القطن (أوراق حديثة)

نقص الحديد

أعراض نقص الحديد على أوراق نبات فول الصويا (أوراق حديثة ومتوسطة)



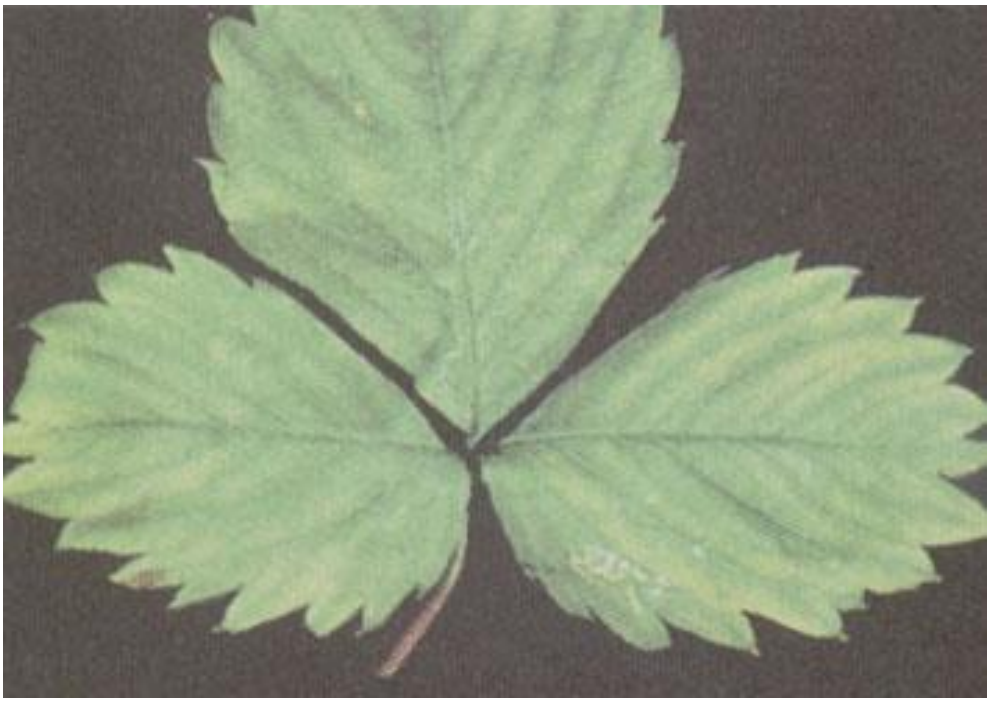
أعراض نقص الحديد على أوراق وثمار نبات الخيار



نقص المنجنيز

أعراض نقص المنجنيز على أوراق نبات العنب (إصفرار بين العروق الخضراء)

أعراض نقص المنجنيز على أوراق نبات الفراولة (إصفرار بين العروق)



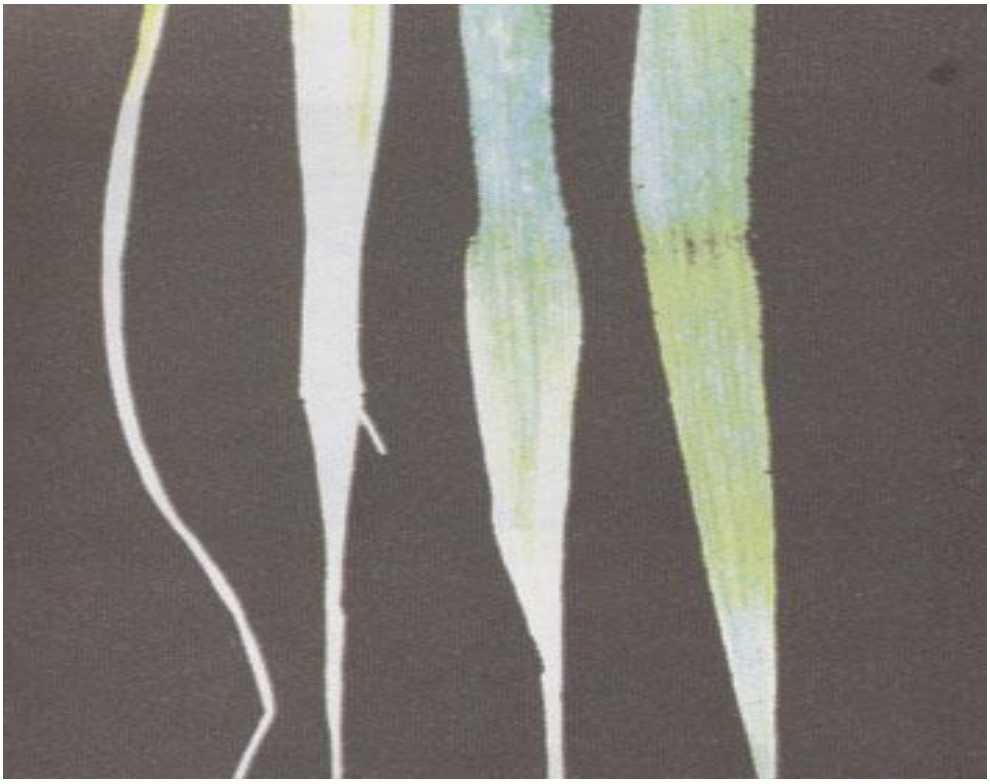
نقص المنجنيز

أعراض نقص المنجنيز على أوراق نبات الخيار

أعراض نقص المنجنيز على أوراق نبات الفول البلدى

أعراض نقص النحاس

أعراض نقص النحاس على أوراق محاصيل الحبوب



أعراض نقص النحاس على أوراق بنجر السكر

أعراض نقص النحاس

أعراض نقص النحاس على أوراق الخيار

أعراض نقص النحاس على أوراق الخس

نقص بورون

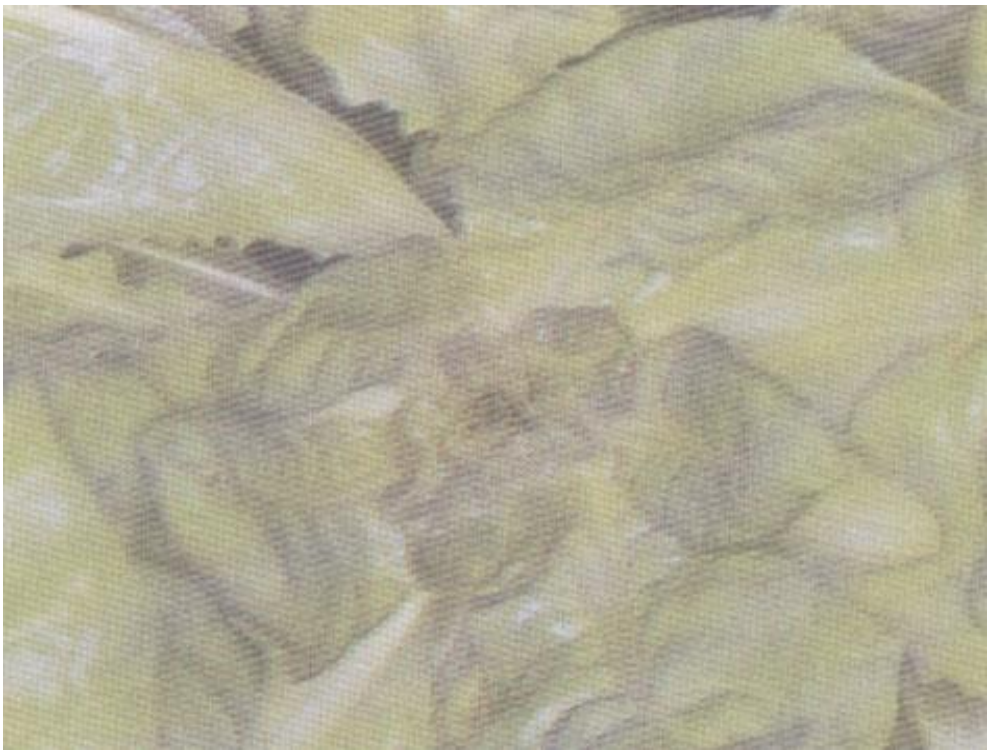
أعراض نقص البورون على نبات بنجر السكر

أعراض نقص البورون على نبات الطماطم

نقص بورون

أعراض نقص البورون على أوراق وثمار نبات الخيار

أعراض نقص البورون على نبات الخس (تورد الرأس)



نقص الموليبدنم

أعراض نقص الموليبدنم على نبات بنجر السكر

أعراض نقص الموليبدنم على نبات الطماطم

نقص الموليبدنم

أعراض نقص الموليبدنم على نبات الخيار

أعراض نقص الموليبدنم على نبات الخس

نقص كلوريد على القمح

ملاحق

جدول (1): بعض النباتات والمحاصيل الإقتصـادية وأسماؤها العلمية

الاسم العربى	الاسم الانجليزى	الاسم العلمى	الاسم العربى	الاسم الانجليزى	الاسم العلمى
محاصيل الحبوب Cereal Crops			**المحاصيل السكرية**		
الشعير	Barley	Hordeum vulgare L.	قصب السكر	Sugar Cane	Saccharum officinarum L.
القمح	Wheat	Triticum aestivum L.	بنجر السكر	Sugar Beet	Beta vulgaris L.
الأرز	Rice	Oriza sativa L.	**نباتات الخضر**		
الذرة	Maize	Zea mays L.	السبانخ	Spinach	Spinacia oleracea L.
ذرة رفيعة	Sorghum	Sorghum bicolor (L.) Moench	البنجر	Beet	Beta Vullgaris L.
الشيلم	Rye	Secale cereale L.	الخبيزة	Egyptian Mallow	Malva parvifloa L.
الشوفان	Oats	Avena sativa L.	البامية	Okra	Hibiscus esculentus L.
البذور البقولية			الخيار	Cucumber	Cucumis sativus L.
الفول	Faba bean	Vicia faba L	القرع	Field Pumpkin	Cucurbita pepo L.
البسلة	Pea	Pisum sativum L.	الفجل	Radish	Raphanus sativus L.
العدس	Lentil	Lens culinaris L.	جرجير	Roquette	Eruca sativa Mill.
اللوبيا	Cow pea	Vigna sinensis savi.	كرنب	Cabbage	Brassica oleracea var. capitata L.

تابع جدول (1):

الاسم العربى	الاسم الانجليزى	الاسم العلمى	الاسم العربى	الاسم الانجليزى	الاسم العلمى
فصوليا	Bean	Phaseolus vulgaris L..	كرنب بروكسل	Brussele Sprouts	Brassica oleracea var. gemmifera L.
الحمص	Chick pea	Cicer arietinum L.	القنبيط	Cauliflower	Brassica oleracea var. botrytis L.
فول سودانى	Peanut	Arachis hypogaea L.	اللفت	Turmip	Brassica rapa L.
فول الصويا	Soybean	Glycine max (L.) Merr	الجزر	Carrot	Daucus carota L.
			البقدونس	Parsley	Apium petroselinum L.
محاصيل ألياف أو زيتية			الكرفس	Celery	Apium graveolens var. dulce Pers.
القطن	Cotton	Gassypium hirsutum	بطاطس	Potato	Solanum tuberosum L.
السمسم	Sesame	sesamum indicum L.	باذنجان	Egg-Plant	Solanum melongena L.
الكتان	Flax	Linum usitatissimum L.	الطماطم	Tomato	Lycopersicum esculentum Mill
عباد الشمس	Sunflower	Helianthus annus L.	الفلفل	Pepper	Capsicum frutescens L.
الشلجم	Rape	Brassica napus var.oil	البطاطا	Sweet Potato	Ipomoea batatas Lam.

تابع جدول (1):

الاسم العربى	الاسم الانجليزى	الاسم العلمى	الاسم العربى	الاسم الانجليزى	الاسم العلمى
الزيتون	Olive	Olea europaea L.	الخس	Lettuce	Lactuca sativa L.
نخيل الزيت	Oil Palm	Elaeis guineensis Jacg.	خرشوف	Artichoke	Cynara scolymus L.
جوز الهند	Coconut	Cocos nucifera L.	البصل	Onion	Allium cepa L.
نباتات العلف			الثوم	Garlic	Allium sativum L.
البرسيم المصرى	Egyptian Clover	Trifolium alexandrinum L.	الكرات	Leek	Allum porrum L.
البرسيم الحجازى	Alfalafa	Medicago sativa L.	الهليون	Asparagus	Asparagus officinalis L.
برسيم حلو	Yellow Sweet Clover	Melilotus officinalis lam	القلقاس	Taro	Colocasia antiquorum Schott.
نباتات الفاكهة					
الجوز	Wallnut	Juglans regia L.	البرتقال	Sweet orange	Citrus sinensis Osbech.
التوت	Mullberry	Morus spp.	اليوسفى	Mandarine	Citrus nobilis var. delicious Swingle
التفاح	Apple	Pyrus malus L.	الليمون المالح	Lime	Citrus aurantifolia Swingle
الكمثرى	Pear	Pyrus communis L.	الليمون الأضاليا	Lemon	Citrus limonum Risso.

تابع جدول (1):

الاسم العربى	الاسم الانجليزى	الاسم العلمى	الاسم العربى	الاسم الانجليزى	الاسم العلمى
الخوخ	Peach	Prunus persica Batsch	المانجو	Mango	Mangifera indica L.
المشمش	Apricot	Prunus armeniaca L.	العنب	Grape	Vitis vinifera L.
البرقوق	European Plum	Prunus domestica L.	الجوافة	Guava	Psidum guajava L.
الكريز	Cherry Plum	Prunus cerasifera	نخيل البلح	Data Palm	Phoenix dactylefera L.
الأناناس	Pine Apple	Ananas comosus Merr	الموز	Banana	Musa spp.

جدول (2): وحدات التعامل فى بعض أصناف المحاصيل الزراعية

الصنف	وحدات التعامل (كيلوجرام)	الصنف	وحدات التعامل (كيلوجرام)
القطن الزهر (قنطار مترى)	157.5	الحلبة (بالأردب)	155
القطن الشعر (قنطار مترى)	50	الترمس (بالأردب)	150
بذرة القطن (أردب المترى)	120	الحمص (بالأردب)	150
القمح (بالأردب)	150	فول سودانى (أردب)	75
الشعير (بالأردب)	120	البسلة الناشفة (أردب)	160
الذرة الشامية (بالأردب)	140	اللوبيا (بالأردب)	120
الذرة الرفيعة (بالأردب)	140	السمسم (بالأردب)	120
الأرز المبيض (بالأردب)	200	بذرة الكتان (أردب)	122
الأرز الشعير (بالأردب)	300	القرطم (أردب)	113
الأرز الشعير (بالضريبة)	945	البرسيم (بالأردب)	157
الفول (بالأردب)	155	التبن (بالحمل)	250
الفول المجروش (أردب)	144	النخالة (بالأردب)	67.5
العدس الصحيح (أردب)	160	الفريك (بالأردب)	140
العدس المجروش (بالأردب)	148	البصل (بالقنطار)	45

المصدر: جدول رقم 5 بالقانون رقم 229 لسنة 1951، القرارين الوزاريين رقم 407، 712 لسنة 1961 من وزارة الإقتصاد بشأن إستخدام الأوزان المترية فى معاملات القطن.

جدول (3): بعض التحويلات الهامة فى الأطوال، والمساحة، والكتلة، والتركيزات وغيرها

العمود الأول	العمود الثانى	للتحويل من الأول للثانى يتم الضرب فى	للتحويل من الثانى للأول يتم الضرب فى
الطـــول			
الكيلو متر (كم =10^3 م)	الميل	0.621	1.609
المتر (م)	اليارده	1.094	0.914
المتر (م)	القدم	3.28	0.304
الميكروميتر (10^{-6} م)	الميكرو	1.0	1.0
الملليمتر (10^{-3} م)	البوصة	10×3.94^{-2}	25.4
النانوميتر (10^{-9} م)	أنجستروم	10	0.1
المســـاحـــــة			
الهكتار	الفدان	2.38	0.42
الفدان	أيكر	1.04	0.96
الهكتار	أيكر	2.47	0.405
كبلومتر مربع (كم^2 = 10^3م)^2	أيكر	247	10×4.05^{-3}
متر مربع (م2)	أيكر	10×2.47^{-4}	10×4.05^{3}
متر مربع (م2)	قدم مربع	10.67	10×9.92^{-2}

تابع جدول (3):

العمود الأول	العمود الثانى	للتحويل من الأول للثانى يتم الضرب فى	للتحويل من الثانى للأول يتم الضرب فى
الكتلـــة			
الجرام ، جم (10^{-3} كجم)	الرطل	2.20×10^{-3}	454
الجرام	أوقية	3.52×10^{-2}	28.4
كيلوجرام ، كجم	الرطل	2.205	0.454
كيلوجرام	الطن(2000رطل)	1.1×10^{-3}	907
ميجاجرام	طن أمريكى	1.102	0.907
التركيـــــز			
السنتيمول/كجم ($cmol\ kg^{-1}$)	ملليمكافىء/ 100جم	1	1
جم / كجم	نسبة مئوية %	0.1	10
مجم / كجم	نسبة مئوية %	10^{-4}	10^{4}
ميجاجرام / م3	جرام / سم3	1	1
ملليجرام / كجم	جزء فى المليون	1	1

تابع جدول (3):

العمود الأول	العمود الثانى	للتحويل من الأول للثانى يتم الضرب فى	للتحويل من الثانى للأول يتم الضرب فى
تحويلات بعض العناصر من صورة إلى صورة أخرى			
الفوسفور (P)	خامس أكسيد الفوسفور (P_2O_5	2.29	0.437
البوتاسيوم (K)	أكسيد بوتاسيوم K_2O	1.20	0.830
الكالسيوم (Ca)	أكسيد كالسيوم CaO	1.39	0.715
الماغسيوم (Mg)	أكسيد ماغنسيوم MgO	1.66	0.602

جدول (4): أسمدة العناصر الكبرى وأوزانها الجزيئية فى حالتها النقية و التجارية

اسم السماد أو المركب	الوزن الجزيئى فى الحالة النقية	الوزن الجزيئى فى الحالة التجارية	العناصر الأساسية بها
نترات البوتاسيوم	101	110	N, K
نترات الكالسيوم (مائية)	182	190	N, Ca
نترات الكالسيوم (لامائية)	164	180	N, Ca
نترات الأمونيوم	80	80	N
كبريتات الأمونيوم	132	140	N, S
فوسفات الأمونيوم	115	140–120	N, P
كلوريد البوتاسيوم	75.5	80	K
كبريتات البوتاسيوم	174	200	K, S
فوسفات أحادى البوتاسيوم	136	140	K, P
فوسفات ثنائى البوتاسيوم	174	180	K, P
فوسفات أحادى الكالسيوم	252	750–270	P, Ca
كبريتات الماغنسيوم	120	130	Mg, S
نترات الماغنسيوم	148	150	Mg, N
كبريتات الكالسيوم (مائية)	172	190	Ca, S
كلوريد الكالسيوم	147	150	Ca, Cl
اليوريا	60	60	N
حامض الكبريتيك	98	100	S
حامض النيتريك	63	70–65	N
حامض الأيدروكلوريك	36.5	40	H, Cl

جدول (5): كمية أسمدة العناصر الكبرى بالجرام فى 1000 لتر ماء والتى تعطى تركيز 1 جزء فى المليون من العنصر الموجود به، وما يكافؤها بالملليمكافئ/لتر

اسم السماد أو المركب	الكمية بالجرام لكل 1000لتر ماء لتعطى تركيز 1 جزء فى المليون	مكافئ 1 جزء فى المليون بالملليمكافئ فى اللتر	عناصر ثانوية تضاف بالجزء فى المليون
نترات البوتاسيوم	N 7.80	0.0714	K 2.80
نترات البوتاسيوم	K 2.8	0.0256	N 0.36
نترات الكالسيوم (مائية)	N 9.0	0.0714	Ca 1.43
نترات الكالسيوم (مائية)	Ca 6.25	0.025	N0.70
نترات الكالسيوم (لامائية)	N 6.44	0.0714	Ca 1.43
نترات الكالسيوم (لامائية)	Ca 4.50	0.025	N,0.70
نترات الأمونيوم	N 3.0	0.0375	---
كبريتات الأمونيوم	N 4.86	0.0714	---
فوسفات الأمونيوم	P 3.87	0.0322	N 0.45
كلوريد البوتاسيوم	K 2.05	0.0256	---
كبريتات البوتاسيوم	K 2.5	0.0256	---
اليوريا	N 2.20	0.0282	---
كبريتات الماغنسيوم	Mg 10.75	0.0417	---
فوسفات أحادى الكالسيوم	P 14.30	0.0322	Ca 3.80

جدول (6): كمية أسمدة العناصر الصغرى بالجرام فى 1000 لتر ماء والتى تعطى تركيز 1 جزء فى المليون من العنصر الموجود بها، وما يكافؤها بالملليمكافئ/لتر

اسم السماد أو المركب	الكمية بالجرام لكل 1000لتر ماء لتعطى تركيز 1 جزء فى المليون	مكافئ 1 جزء فى المليون بالملليمكافئ فى اللتر	عناصر ثانوية تضاف بالجزء فى المليون
كبريتات الحديدوز	Fe 5.54	0.0185	---
سترات الأمونيوم والحديديك	Fe 8.75	0.0185	---
كبريتات المنجنيز	Mn 4.05	0.0182	---
حامض البوريك	B 5.64	0.0910	---
كبريتات النحاس	Cu 3.91	0.0156	---
كبريتات الزنك	Zn 4.42	0.0154	---

جدول (7): الوزن الجزيئى لأملاح العناصر الصغرى ونسبة العنصر بها

اسم السماد أو المركب	الوزن الجزيئى	النسبة المئوية للعنصر
كبريتات الحديدوز	278	Fe 22.2
كبريتات الحديدوز والأمونيوم	392	Fe14.3
كلوريد الحديديك	270.5	Fe 20.7
طرطرات الحديد	204	Fe 27.5
سترات الحديد	299	Fe 18.9
سترات الحديد والأمونيوم	408	Fe 13.7
كبريتات النحاس	249.68	Cu 25.5
كبريتات الزنك	287.54	Zn 22.9
كبريتات المنجنيز	169	Mn 32.5
كبريتات المنجنيز	223	Mn 24.7
حامض البوريك	62	B 18.1
البوراكس	382	B 11.8
ايوديد البوتاسيوم	166	I 71.0
سليكات البوتاسيوم	154	Si 18.7
سليكات الصوديوم	122	Si 23.0
فلوريد الصوديوم	42	F 45.0
كبريتات الألومنيوم	382	Al 15.8

الأسس الإرشادية لإنتاج إثني عشر صنفا شائعا من الخضر يمكن زراعتها في نظم المزارع اللأرضية Soilless Cultures

توفر المعلومات الواردة أدناه المشورة الفنية لاثني عشر صنفا من الخضراوات الأكثر شعبية في النمو في نظم الهيدروبونك. وتم تضمين معلومات حول ظروف النمو المثلى، بما في ذلك تعليمات محددة حول نموها وتقنيات الحصاد لكل نوع من الخضار. والمبادئ التوجيهية أدناه تستند على الخبرة المكتسبة والمتراكمة من ممارسة الزراعة الأحيومائية طويلة الأمد، ومن أدلة البستنة في التربة/بدون تربة، والأوراق الإرشادية، والخبرة المهنية من المزارعين والباحثين. وهذه القائمة ليست بأي حال من الأحوال شاملة، ولكنها توفر معلومات لازمة لزراعة أي محصول، ومساعدة القراء على توجيه بحثهم عن المعلومة عند زراعة المحاصيل التي لم يتم سردها هنا. إن المحاصيل الأخرى الشائعة وغير المدرجة في هذا الملحق، هي: البامية، والملفوف الصيني (pak choy, bok choy, ong choy)، والسبانخ (tatsoi) واللفت (kale)، والنعناع، والزعتر، والشبت، والبصل الأخضر، والثوم المعمر، والكزبر، والقلقاس، والجرجير، والزهور الصالحة للأكل، وزهور الزينة، وحتى أشجار الفاكهة الصغيرة. ومن الخضراوات الجذرية البصل، والجزر، والبنجر، والفجل، والقلقاس، والتي يجب أن تزرع في مرقد الفتل الملحق بمرقد وسائط النمو.

الريحان BASIL

درجة الحموضة: 5,5 – 6,5

المسافة بين الشتلات عند الزراعة: 15–25 سم (8–40 نبتة / م^2)

وقت الإنبات: 6–7 أيام ، ودرجة الحرارة 20–25°م

فترة النمو: 5–7 أسابيع (بدء الحصاد عندما تصبح النبتة بطول 15 سم)

درجة الحرارة: 18–30°م ، والأمثل هي 20–25°م

التعرض للضوء: التعرض الكامل لأشعة الشمس، أو محمية قليلا

ارتفاع النبات: 30–70سم، وعرض النبات 30سم

طريقة أو نظام الأكوابونيك الموصى بها: مراقد وسائط النمو، والزراعة بواسطة الأغشية المغذية (NFT)، والزراعة في المياه العميقة (DWC)

زراعة الريحان في وحدات الأكوابونيك: الريحان هو أحد الأعشاب الأكثر شعبية في النمو في وحدات الزراعة الأحيومائية،وخاصة في الوحدات أحادية المحصول ذات الطابع التجاري الكبير؛ نظرا لقيمته العالية، وارتفاع الطلب عليه في المناطق الحضرية أو شبه الحضرية. والعديد من أصناف الريحان قد تمت تجربتها واختبارها في وحدات الزراعة الأحيومائية بما في ذلك ريحان جنوة الإيطالي (الريحان الحلو)، والريحان برائحة الليمون، والريحان الأرجواني، ونظرا لامتصاصه العالي للنتروجين، يعد الريحان نباتا مثاليا للزراعة الأحيومائية، ومع ذلك ينبغي أن يتوخى الحذر؛ لتجنب نضوب المغذيات المفرط من المياه.

ظروف النمو: تحتاج بذور الريحان إلى درجة حرارة عالية ومستقرة نوعا ما لبدء الإنبات ، وعند زرع شتلات الريحان في الوحدات، ينمو الريحان بشكل أفضل في الظروف الحارة والحارة جدا، ويتحمل التعرض الكامل لأشعة الشمس. ومع ذلك يتم الحصول على نوعية أوراق أفضل من خلال التظليل الطفيف، ولكن مع درجات الحرارة اليومية بمعدل أعلى من27°م يجب تهوية أو تغطية النباتات بشباك التظليل (نسبة التظليل: 20٪) خلال مواسم الإشعاع الشمسي القوية؛ لمنع حروق الأطراف.

إرشادات الزراعة: ينبغي زرع الشتلات الجديدة في وحدة الزراعة الأحيومائية عندما يصبح للشتلات 4–5 أوراق حقيقية. ويمكن أن يتأثر الريحان بمختلف الأمراض الفطرية، بما في ذلك الذبول الفيوزاريومي، والعفن الرمادي، والبقعة السوداء، خاصة في ظل درجات حرارة دون المستوى الأمثل، وظروف الرطوبة العالية. وتساعد التهوية ودرجات حرارة المياه الأعلى من 21°م ليلا ونهارا على تقليل الإجهاد في النبات والإصابة بالأمراض.

الحصاد: حصاد الأوراق يبدأ عندما تكون النباتات بطول 15سم، ويستمر لمدة 30–50 يوما. كما يجب توخي الحذر عند التعامل مع الأوراق في موسم الحصاد؛ لتجنب الكدمات على الورق والإسوداد. ومن المستحسن إزالة الأفرع المزهرة أثناء نمو النباتات؛ لتجنب الأذواق المريرة في الأوراق وتشجيع التفرع. ومع ذلك فإن زهور الريحان جذابة للملقحات والحشرات المفيدة؛ لذلك

يمكن ترك عدد قليل من النباتات المزهرة؛ لتحسين الحديقة، ولضمان إمدادات ثابتة من بذور الريحان. كما أن إنتاج بذور الريحان يعد تخصصا في بعض المواقع.

القرنبيط (الزهرة) CAULIFLOWER

درجة الحموضة: 6,0 – 6,5

المسافة بين الشتلات عند الزراعة: 45–60 سم (3–5 نبتة / م^2)

وقت الإنبات: 4–7 أيام ، ودرجة الحرارة 8–20°م

فترة النمو: 2–3 أشهر (محاصيل الربيع) ، 3–4 أشهر (محاصيل الخريف)

درجة الحرارة: 20–25°م للنمو الخضري الأولي، و10–15°م لوضع القرص (محاصيل الخريف)

التعرض للضوء: التعرض الكامل لأشعة الشمس

ارتفاع النبات: 40–60سم، وعرض النبات 60–70 سم

طريقة أو نظام الأكوابونيك الموصى بها: مراقد وسائط النمو

زراعة القرنبيط في وحداتنظم الأكوابونيك: القرنبيط نبات ذو قيمة عالية، وهو من المحاصيل الشتوية التي تنمو وتزدهر في وحدات سرير وسائط النمو مع تباعد كاف بين الشتلات. ويتطلب القرنبيط درجة مرتفعة نسبيا من العناصر الغذائية، والنباتات تتفاعل بإيجابية لتركيزات عالية من النتروجين والفوسفور. ومن بين العناصر الغذائية الأخرى، يعد البوتاسيوم والكالسيوم عنصران مهمان لإنتاج الأقراص. ونبتة القرنبيط حساسة بشكل خاص للظروف المناخية، ولا تتطور

الأقراص بشكل صحيح في الظروف الحارة، والباردة جدا أو الجافة جدا وبالتالي فإن اختيار الأصناف الملائمة والتوقيت الجيد للزراعة هما أمران حاسمان.

ظروف النمو: درجة حرارة الجو المثلى للنمو الخضري الأولي للنبتة هي 15–20°م. ولتشكل الأقراص تتطلب النباتات درجات حرارة من 10–15°م (محصول الخريف) أو 15–20°م (محصول الربيع) بشرط توافر نسبة جيدة من الرطوبة النسبية، وشروط الشمس الكاملة لتطوير أقراص جيدة. كما يمكن للنباتات أن تتحمل درجات الحرارة الباردة، ومع ذلك فيمكن أن تتلف الأقراص بسبب الصقيع، كما أن توافر الظل الخفيف يمكن أن يكون مفيدا عند درجات حرارة مرتفعة (فوق 23°م).

إرشادات الزراعة: تنبت البذور في صواني التنبيت في 20–25°م، ومن الأحسن العمل على تزويدها بأشعة الشمس المباشرة في وقت مبكر من بدء مراحل الشتلات؛ لكي لا تصبح النباتات طويلة الساق وعندما تكون النباتات بعمر 3–5 أسابيع، ولها 4–5 أوراق حقيقية فابدأ بزرعها في النظام الزراعي الأحيومائي بمسافات حوالي 50سم عن بعضها البعض. وللحفاظ على اللون الأبيض للأقراص، استخدم المطاط؛ لتثبيت الأوراق الخارجية على القرص وتغطيته عندما يكون قطره حوالي 6–10سم، وحالما يتم الوصول إلى هذه المرحلة قد يحين موعد الحصاد في أقل من أسبوع، وكذلك في درجات الحرارة المثالية أو في مدة شهر في ظروف أكثر برودة. ويمكن أن يتسبب الكثير من الشمس والحرارة أو امتصاص النتروجين في انفصال الزهرة الرئيسة إلى حبيبات صغيرة شبيهة بحبوب الأرز. كما يمكن لدرجات الحرارة الأقل من 12°م أن تؤدي إلى إنتاج "الأزارير" بدلا من الزهرة. والقرنبيط عرضة لبعض الآفات بما في ذلك ديدان الملفوف، وبرغوث الخنفساء، ويرقات الدودة البيضاء، والتي يمكن إزالتها يدويا أو باستخدام تقنيات أخرى لإدارة الآفات.

الحصاد: قم بالحصاد عندما تكون الأقراص مدمجة (قبل أن تتفكك وتكون زغبية) وعندما تكون بيضاء وقوية، ثم قم بقطع الأقراص من النبتة بسكين كبيرة، وإزالة النباتات والجذور المتبقية من أنبوب سرير النمو، وبجمعه في حاوية تصنيع السماد العضوي.

الخس (أوراق سلطة مختلطة): LETTUCE (MIXED SALAD LEAVES)

درجة الحموضة: 6–7

المسافة بين الشتلات عند الزراعة: 18–30 سم (20–25 نبتة / م^2)

وقت الإنبات: 3–7 أيام ، ودرجة الحرارة 13–21°م

فترة النمو: 24–32يوما (فترة أطول لبعض الأصناف)

درجة الحرارة: 15–22°م ، (ويزدهر عند درجات حرارة أكثر من24°م)

التعرض للضوء: التعرض الكامل لأشعة الشمس (التظليل الخفيف في درجات الحرارة الدافئة)

ارتفاع النبات: 20–30سم، وعرض النبات 25–35 سم

طريقة أو نظام الأكوابونيك الموصى بها: مراقد وسائط النمو، والزراعة بواسطة الأغشية المغذية (NFT)، والزراعة في المياه العميقة (DWC)

زراعة الخس في وحدات الزراعة الأحيومائية:ينمو الخس جيدا بشكل خاص في الزراعة الأحيومائية؛ نظرا لتركيز العناصر الغذائية المثلى في الماء. ويمكن زراعة العديد من الأصناف في الزراعة الأحيومائية، ولكن يتم تضمين أربعة أنواع رئيسة هنا وهي: خس الرأس الهش (جبل الجليد، iceberg)، والذي لديه قرص ضيق بأوراق مقرمشة ومتموجة، مثالي للظروف الأكثر برودة. وخس الرأس الزبدة (butterhead)، والذي يظهر الأوراق متراكمة فضفاضة واحدة على الأخرى، وليس لها أي طعم مر. الخس الرومي(romaine lettuce)، ولديه أوراق في وضع مستقيم ومطوية بإحكام، وهي حلوة في المذاق، ويتميز هذا الخس بورقه الفضفاض، ويأتي في مجموعة متنوعة من الألوان والأشكال وبدون أي قرص، ويمكن زرعه مباشرة في أسرة وسائط النمو، ويحصد بواسطة قطف الأوراق المنفردة دون جمع النبات كاملا. والطلب على الخس في ارتفاع، وله قيمة عالية في المناطق الحضرية وشبه الحضرية؛ مما يجعله محصولا مناسبا جدا للإنتاج التجاري على نطاق واسع.

ظروف النمو: الخس هو محصول شتوي، ولنمو الحزمة الورقية يجب أن تكون درجة حرارة هواء الليل 3–12°م، ودرجة الحرارة خلال النهار 17–28°م ويتأثر النمو المتوالد بفترة الإضاءة ودرجة الحرارة، حيث إن الفترة النهارية الممتدة والشروط الدافئة في الليل (<18°م)تؤدي إلى وضع الزهور والبذور. ويمكن أيضا لدرجة حرارة الماء، التي هي أعلى من 26°م أن تؤدي إلى

انشقاقه ومرارة الأوراق. وتتطلب نبتة الخس نسبة منخفضة من العناصر الغذائية، ومع ذلك فإن تركيزات الكالسيوم العالية في المياه تساعد على منع حرق أطراف الأوراق في المحاصيل الصيفية، ودرجة الحموضة المثالية هى 5,8 –6,2، ولكن لا يزال الخس ينمو جيدا مع درجة الحموضة العالية مثل 7 ، على الرغم من أنه قد تظهر بعض أوجه القصور في الحديد؛ بسبب الانخفاض في التوافر الحيوي لهذا العنصر الغذائي فوق مستوى الحموضة المحايد.

إرشادات الزراعة: يمكن زراعة الشتلات في وحدات الزراعة الأحيومائية خلال ثلاثة أسابيع عندما يصبح عند النباتات على الأقل 2–3 أوراق حقيقية. والإخصاب التكميلي بالفوسفور للشتلات في الأسبوعين الثاني والثالث يحسن من نمو الجذور، ويبعد الإجهاد في النبات عند إعادة الزراعة في الوحدة، وعلاوة على ذلك فإن عملية تصلب النبات من خلال تعريض الشتلات لدرجات حرارة أكثر برودة وأشعة الشمس المباشرة، لمدة 3–5 أيام أيام قبل الزرع يؤدي إلى ارتفاع معدلات البقاء للشتلات. وعندما تقوم بزراعة الخس في الطقس الحار، قم بوضع تظليل بسيط على النباتات لمدة 2–3 أيام؛ لتجنب الإجهاد المائي. ولتحقيق الهشاشة في الأوراق، وطعم أوراق الخس الحلو، قم بتربية النباتات بوتيرة سريعة، من خلال الحفاظ على مستويات عالية من النترات في الوحدة. وعندما ترتفع درجة حرارة الهواء والمياه خلال الموسم استخدم أصناف (الصيف) المقاومة للتزهير، أما إذا كان الخس ستتم زراعته في سرير وسائط النمو، فقم بزراعة شتلات الخس الجديدة، حيث إنها ستكون مظللة جزئيا بالنباتات المجاورة الأطول منها.

الحصاد: يمكن أن يبدأ الحصاد في أقرب وقت عندما تكون الأوراق أو الحزمة كبيرة بما فيه الكفاية لتناولها كطعام. وإذا ما كنت تبيع إلى الأسواق، فقم بإزالة النباتات الكاملة والجذور عند الحصاد في أقرب وقت عندما تصل إلى وزن التسويق (250–400 جرام)، ثم قم بقطع الجذور ووضعها في حاوية تصنيع السماد العضوي، وقم بإجراء عملية الحصاد في الصباح الباكر عندما تكون الأوراق مقرمشة ومليئة بالندى، وبتبريدها بسرعة.

الخيار CUCUMBERS

درجة الحموضة: 5,5 – 6,5

المسافة بين الشتلات عند الزراعة: 30–60 سم (إعتمادا على الأصناف 2–5 نبتة / م^2)

وقت الإنبات: 3–7 أيام ، ودرجة الحرارة 20–30°م

فترة النمو: 55–65يوما

درجة الحرارة: 22–28°م في النهار، 18–20°م في الليل ، وعرضة للصقيع بشكل كبير

التعرض للضوء: التعرض الكامل لأشعة الشمس

ارتفاع النبات: 20–200سم، وعرض النبات 20–80 سم

طريقة أو نظام الأكوابونيك الموصى بها: مراقد وسائط النمو، والزراعة في المياه العميقة (DWC)

زراعة الخيار في وحداتالأكوابونيك: الخيار والأنواع الأخرى في العائلة القرعية بما في ذلك الإسكواش، والكوسة، والبطيخ، وهي خضراوات صيفية ممتازة عالية القيمة، حيث إنها مثالية للنمو في وحدة سرير وسائط النمو؛ لما لها من بنية جذر كبيرة. ويمكن أيضا أن يزرع الخيار على الطوافات العائمة، وعلى الرغم من أنه ينمو في الأنابيب، إلا أنه يمكن أن يسد الأنابيب؛ نظرالنمو الجذور المفرط. والخيار يتطلب كميات كبيرة من النتروجين والبوتاسيوم؛ وبالتالي فإن اختيار نوع النباتات يجب أن يأخذ في الاعتبار العناصر الغذائية المتوافرة في المياه، والكتلة الحيوية؛ لتخزين الأسماك.

ظروف النمو: الخيار ينمو بشكل أفضل في الأيام الطويلة الحارة والرطبة، مع وفرة أشعة الشمس والليالي الدافئة. ودرجات الحرارة التي تعطي النمو الأمثل هي (24–27°م) خلال النهار مع (70–90 ٪) من الرطوبة النسبية، ودرجة حرارة الركيزة (وسيط النمو) المثلى هي حوالي (21°م) ، يوقف نبات الخيار نموه وإنتاجه عند (10–13°م). ويوصى بأن يكون تركيز البوتاسيوم أعلى لصالح نشأة وانعقاد الثمار؛ وبالتالي العائد المرتفع.

إرشادات الزراعة: يمكن زرع شتلات الخيار خلال (2–3) أسابيع في مرحلة (4–5) ورقية، مضافا إلى ذلك أنها تنمو بسرعة كبيرة، وأنها تعتبر ممارسة جيدة؛ للحد من الزيادة أو التمدد الخضري، وتحويل العناصر الغذائية إلى أثمار عن طريق قطع القمة الجذعية عندما يصبح الجذع طوله مترين. كما أن إزالة الفروع الجانبية توفر التهوية المناسبة. ومزيدا من استطالة النباتات يمكن الحصول عليه بواسطة ترك البرعمين الأبعد الذين يخرجان من الساق الرئيسة. ويتم تشجيع النباتات على مزيد من الإنتاج من خلال الحصاد المنتظم للثمار بحجم التسويق (>180جراما لأصناف الشرائح). كما أن وجود حشرات التلقيح ضروري للإخصاب الجيد وانعقاد الثمار، وتحتاج نباتات الخيار إلى دعم لنموها، كما توفر هذه الدعائم أيضا التهوية الكافية؛ للوقاية من الأمراض الورقية (البياض الدقيقي، والعفن الرمادي)، ونظرا لارتفاع نسبة حوادث الآفات في نباتات الخيار فمن المهم التخطيط للاستراتيجيات المناسبة للإدارة المتكاملة للآفات ، والقيام بالزراعة المتداخلة في وحدة النبات مع النباتات الأقل تأثرا بالعلاجات الممكنة المستخدمة.

الحصاد: عندما يتم زرعها، يمكن أن يبدأ الخيار في الإنتاج بعد (2–3) أسابيع، وفي الظروف المثلى يمكن حصاد النباتات (10–15) مرة. وينصح بالحصاد كل بضعة أيام؛ لمنع الثمار من أن تصبح كبيرة بشكل مفرط.

الباذنجان EGGPLANT

درجة الحموضة: 5,5 – 7,0

المسافة بين الشتلات عند الزراعة: 40–60 سم (3–5 نبتة / م^2)

وقت الإنبات: 8–10أيام ، ودرجة الحرارة 25–30°م

فترة النمو: 90–120 يوما

درجة الحرارة: 15–18°م ليلا، 22–26°م نهارا ، وعرضة للصقيع بشكل كبير

التعرض للضوء: التعرض الكامل لأشعة الشمس

ارتفاع النبات: 60–120سم، وعرض النبات 60–80 سم

طريقة أو نظام الأكوابونيك الموصى بها: مراقد وسائط النمو

زراعة الباذنجان في وحداتالأكوابونيك: الباذنجان هو نبات صيفي مثمر ينمو جيدا في سرير وسائط النمو؛ نظرا للنمو العميق لنظم الجذور، ويمكن أن تنتج النبتة (10–15 ثمرات) ، وبعائد إجمالي من 3–7 كجم. وللباذنجان متطلبات عالية من النتروجين والبوتاسيوم؛ مما يدل على الحاجة إلى خيارات إدارة واعية في كل وحدة زراعة أكوابونيك؛ من أجل تجنب الاختلالات في العناصر الغذائية.

ظروف النمو: يفضل الباذنجان درجات الحرارة الدافئة مع التعرض لأشعة الشمس بالكامل، ويكون أداؤها أفضل مع درجات الحرارة اليومية، التي هي في حدود (22–26°م) ، والرطوبة النسبية تكون من (60–70٪)

وكلاهما لصالح تكون وانعقاد الثمار. ودرجات الحرارة التي تكون(<9–10° م) و (<30– 32 °م) تحد كثيرا من نموه.

إرشادات الزراعة: تنبت البذور خلال 8–10 أيام في درجات الحرارة الدافئة (26–30°م). ويمكن زرع الشتلات عندما يصبح بها (4–5) ورقات. وعندما ترتفع درجات الحرارة في فصل الربيع قرب نهاية موسم الصيف، ابدأ بإزالة الأزهار الجديدة، التي تظهر لصالح نضج الثمرة القائمة. وفي نهاية هذا الموسم يمكن أن يتم تجريد النباتات (تشذيب) بشكل كبير عند 20–30 سم من خلال ترك الفروع الثلاثة فقط. وهذه طريقة تعيق المحصول دون إزالة النباتات أثناء المواسم غير المواتية (الشتاء والصيف)، ويتيح للمحصول بالبدء في الإنتاج بعد ذلك. ويمكن زراعة النباتات بدون تشذيب، ومع ذلك ففي المساحات المحدودة أو في البيوت المحمية يمكن إدارة الفروع بواسطة الأعمدة الصغيرة، أو الخيوط العمودية.

الحصاد: ابدأ بالحصاد عندما تصبح ثمار الباذنجان بطول 10– 15 سم، كما ينبغي أن يكون الجلد لامعا، أما عندما يكون باهتا وأصفرا فإن هذه إشارة على أن الباذنجان أصبح ناضجا فوق اللازم، وتأخر موسم الحصاد يجعل الثمار غير قابلة للتسويق؛ وذلك بسبب وجود البذور داخل

الثمار. استخدم سكينا حادة واقطع الباذنجان من النبتة، واترك 3سم على الأقل من الجذع الذي تتعلق به ثمرة الباذنجان.

الفلفل PEPPERS

درجة الحموضة: 5,5 – 6,5

المسافة بين الشتلات عند الزراعة: 30–60 سم (3–4 نبتة / م^{2}أو أكثر من هذا للأصناف النباتية صغيرة الحجم)

وقت الإنبات: 8–12 يوما، ودرجة الحرارة 22–30°م (ولن تنبت البذور عند درجة حرارة أقل من 13°م)

فترة النمو: 60–95يوما

درجة الحرارة: 14– 16°م ليلا، 22–30°م نهارا

التعرض للضوء: التعرض الكامل لأشعة الشمس

ارتفاع النبات: 30–90سم، وعرض النبات 30–80 سم

طريقة أو نظام الأكوابونيك الموصى بها: مراقد وسائط النمو

زراعة الفلفل في وحدات الأكوابونيك: هناك العديد من أصناف الفلفل، كل منها متفاوت في اللون ودرجة الحرارة، ولكن من الفلفل الحلو إلى الفلفل الحار (هالبينو أو فليفلة كايين) كلها قابلة لأن تنمو في نظم الأكوابونيك. وزراعة الفلفل تتناسب أكثر مع طريقة مرقد وسائط النمو، ولكنها قد تنمو أيضا في أنابيب النمو في تقنية الأغشية المغذية. (NFT)، التي هي بقطر 11 سم، إذا ما أعطيت النبتة الدعم الإضافي.

ظروف النمو: لفلفل هو من خضراوات الأثمار الصيفية، التي تفضل حالات الجو الدافئة والتعرض لأشعة الشمس الكاملة. وإنبات البذور يحدث عند درجات الحرارة المرتفعة: 22–34°م. ولن تنبت البذور جيدا في درجات الحرارة (<15°م).. ودرجات الحرارة في النهار (22–28°م) و (14–16°م). ليلا توفر أفضل ظروف الإثمار تحت الرطوبة النسبية من 60–65 ٪ وتتراوح درجات الحرارة المثلى في مستوى الجذر بين 15و20°م. وبشكل عام فإن درجات حرارة الجو أقل من (10–12°م). توقف نمو النبات، وتسبب تشوها غير طبيعي في الثمار؛ مما يجعلها غير قابلة للتسويق. ودرجات الحرارة المرتفعة (>30–35°م) تؤدي إلى إجهاض الإزهار أو تساقطها. وبصفة عامة فإن الفلفل الأكثر حرارة يمكن الحصول عليه عند ارتفاع درجات الحرارة. وأوراق النبات التي في الأعلى تحمي الثمار المتدلية أدناه من التعرض لأشعة الشمس، كما هو الحال مع نباتات الأثمار الأخرى، فإن النترات تدعم النمو الخضري الأولي (المدى الأمثل: 20– 120مجم/ لتر)، ولكن هناك حاجة لتركيزات أعلى من البوتاسيوم والفوسفور للإزهار والإثمار.

إرشادات الزراعة: قم بزرع الشتلات في الوحدة عندما تكون لديها (6–8) أوراق حقيقية في أقرب وقت تكون فيه درجات الحرارة ليلا مستقرة وفوق (10°م). وقم بوضع دعامات من الأعمدة للنباتات الكثيفة ذات عوائد الثمار الثقيلة، أو بواسطة خيوط عمودية تتدلى من أسلاك الحديد، واسحبها أفقيا فوق الوحدة. أما بالنسبة للفلفل الحلو الأحمر، فاترك الثمار الخضراء في النباتات حتى تنضج وتتحول إلى اللون الأحمر. وقم بقطف الزهور القليلة الأولى التي تظهر على النبات؛ من أجل تشجيع المزيد من النمو للنبتة. وفي حالة الإثمار المفرط، قم بتقليل عدد الأزهار لصالح الثمار النامية؛ وذلك لكي تصل إلى الحجم المناسب.

الحصاد: إبدء الحصاد عندما يصل الفلفل إلى حجم التسويق، واترك الفلفل في النباتات حتى ينضج تماما عن طريق تغيير لونه وتحسن مستوياته من فيتامين سي. قم بإجراء الحصاد باستمرار خلال الموسم، والذي من شأنه تعزيز ازدهارالنبتة، ووضع الثمار والنمو. والفلفل يمكن تخزينه بسهولة طازجا لمدة (أيام في 10°م)، مع نسبة رطوبة بين (90–95 ٪)، أو أنها يمكن أن تجفف للتخزين للمدى الطويل.

الطماطم (البندورة) TOMATO

درجة الحموضة: 5,5 – 6,5

المسافة بين الشتلات عند الزراعة: 40–60 سم (3–5 نبتة / م^2)

وقت الإنبات: 4–6 أيام، ودرجة الحرارة 20–30°م

فترة النمو: 50– 70 يوما حتى الحصاد الأول؛ الإثمار 90– 120يوما وتصل إلى 8–10 أشهر (أصناف غير محددة)

درجة الحرارة المثلى : 13– 16°م ليلا، 22–26°م نهارا

التعرض للضوء: التعرض الكامل لأشعة الشمس

ارتفاع النبات: 60–180سم، وعرض النبات 60–80 سم

طريقة أو نظام الأكوابونيك الموصى بها: مراقد وسائط النمو، والزراعة في المياه العميقة (DWC)

زراعة الطماطم في وحدات الأكوابونيك: الطماطم من الخضار الصيفية المثمرة، وتنمو باستخدام جميع طرق الأكوابونيك ، على الرغم من أنها تحتاج إلى الدعامات (العوامد والخيوط الرأسية). ونظرا للطلب الكبير للطماطم للعناصر الغذائية وخاصة البوتاسيوم؛ فينبغي التخطيط لعدد النباتات في كل وحدة إنتاج وفقا للكتلة الحيوية للأسماك؛ وذلك لتجنب نقص العناصر الغذائية. والتركيز العالي للنتروجين هو الأفضل خلال المراحل الأولى لدعم النمو الخضري للنباتات، ومع ذلك ينبغي أن يكون البوتاسيوم متوافرا من مرحلة الإزهار لدعم انعقاد الثمار ونموها.

ظروف النمو: تفضل الطماطم درجات حرارة دافئة مع التعرض الكامل لأشعة الشمس. وعندما تكون درجة الحرارة أدنى من (8–10°م) تتوقف النباتات عن النمو، كما أن درجات الحرارة

(13–14°م) ليلا تشجع تكون الثمار. ودرجات الحرارة فوق (40°م) تسبب إجهاض الإزهار والتشكل الضعيف للثمار. وهناك نوعان رئيسان من الطماطم: محدود النمو (الإنتاج الموسمي)، وغير محدود (الإنتاج المستمر من فروع مزهرة). وفي حالة استعمال النوع الأول، فمن الممكن أن تترك النباتات لتنمو كشجيرات، من خلال ترك 3–4 من الفروع الرئيسة، وإزالة جميع الفروع الجانبية؛ للمساعدة على تحويل العناصر الغذائية إلى الثمار. وكلا النوعين (المحدود النمو وغير المحدود) يجب أن ينمو بجذع واحد (مزدوج في حالة ارتفاع شدة نمو النبات) عن طريق إزالة جميع الفروع الجانبية. ومع ذلك ففي الأصناف محدودة النمو تقطع الأفرع الجانبية من الجذع الفردي بمجرد تكوين النبات (7–8) فروع نباتية مزهرة؛ من أجل تشجيع الإثمار الجيد. ويعتمد الطماطم على الدعامات التي يمكن أن تكون من العصي (نباتات الأدغال)، أو بواسطة خيوط بلاستيكية، أو من النايلون تعلق على أسلاك الحديد وتعمل على سحب النبتة أفقيا على الوحدة. والطماطم لديه التسامح المعتدل مع الملوحة؛ مما يجعله مناسبا للمناطق التي تكون فيها المياه العذبة النقية غير متوافرة. والملوحة المرتفعة في مرحلة الإثمار تحسن جودة المنتجات.

إرشادات الزراعة: قم بوضع هياكل الدعم للنباتات قبل الزرع؛ لمنع ضرر الجذر. ازرع الشتلات في الوحدات لمدة 3– 6 أسابيع بعد الإنبات عندما يكون طول الشتلات 10–15 سم، وعندما تكون درجات الحرارة ليلا فوق 10°م بشكل مستمر. وعند زرع الشتلات، تجنب ظروف الإغراق بالمياه حول طوق النبتة؛ للحد من مخاطر الأمراض. وعندما تصبح نباتات الطماطم بطول حوالي 60 سم، ابدأ بتحديد طريقة النمو (شجيرة أو جذع واحد) من خلال تشذيب الفروع العليا التي لا لزوم لها؛ وإزالة الأوراق في 30سم السفلى من الساق الرئيس؛ لتحسين دوران الهواء بشكل أفضل، وتقليل الإصابة الفطرية. قم بتقليم جميع الفروع الجانبية لصالح النمو الجيد للثمار، وإزالة الأوراق التي تغطي كل فرع مثمر قبل النضج لصالح تدفق العناصر الغذائية إلى الثمار وتسريع النضج.

الحصاد: للحصول على أفضل نكهة، قم بحصاد الطماطم عندما يكون متينا وملونا بالكامل. وستستمر الفواكه لتنضج إذا تم حصادها نصف ناضجة وتم تخزينها في الداخل، ويمكن أن تحفظ الثمار بسهولة لمدة 2–4 أسابيع في 5–7 °م، ورطوبة نسبية مقدارها 85–90 ٪

الفاصوليا والبازلاء BEANS AND PEAS

درجة الحموضة: 5,5 – 7,0

المسافة بين الشتلات عند الزراعة: 10–30 سم ويعتمد على الأصناف (أصناف النباتات الشجيرة 20–40/ م^2، وأصناف النباتات المتسلقة 10–20/ م^2)

وقت الإنبات: 8–10أيام ، ودرجة الحرارة 21–26°م

فترة النمو: 50–110 يوما؛ لتصل إلى مرحلة النضج تبعا للصنف

درجة الحرارة: 16–18°م ليلا، 22–26°م نهارا

التعرض للضوء: التعرض الكامل لأشعة الشمس

ارتفاع النبات: 60–250سم (تسلق) ، وعرض النبات 60–80 سم (شجيرة)

طريقة أو نظام الأكوابونيك الموصى بها: مراقد وسائط النمو.

زراعة الفاصوليا في وحدات الأكوابونيك: ينمو كلا من الصنفين (المتسلق والشجيرة) جيدا في وحدات الأكوابونيك ، ولكن ينصح بالصنف المتسلق؛ لاستخدامه مساحة أقل من الفضاء، والتي تزيد نسبة استغلال سرير وسائط النمو. ويمكن للأصناف المتسلقة أيضا أن تعطي كميات من قرون الفاصوليا من 2–3 مرات أكثر من أصناف الشجيرات. وللفاصوليا احتياجات منخفضة من النترات، وطلب معتدل من حيث الفوسفور والبوتاسيوم. وهذه الاحتياجات الغذائية تجعل الفاصوليا خيارا مثاليا للإنتاج في وحدات الأكوابونيك ، على الرغم من أن النترات الزائدة قد تؤخر التزهير. وينصح بالفاصوليا للوحدات التي أنشئت حديثا؛ لأنها قد تعمل على تثبيت النتروجين من الغلاف الجوي من تلقاء نفسها.

ظروف النمو: الأصناف المتسلقة تفضل أشعة الشمس الكاملة، ولكن تتسامح مع الظل الجزئي في الظروف الحارة. وهذه النباتات لا تنمو في درجات حرارة (<12–14°م)، ودرجات الحرارة الأعلى من35 °م تسبب إجهاض الإزهار وسوء انعقاد الثمار. والرطوبة النسبية المثلى للنباتات هي 70–80٪. والفاصوليا حساسة للضوء؛ وبالتالي فمن المهم اختيار الأصناف المناسبة وفقا للموقع والموسم. وبشكل عام يتم زراعة الأصناف المتسلقة في الصيف، في حين يتم تكييف الأصناف قزمة القامة لظروف اليوم القصير (الربيع أو الخريف).

إرشادات الزراعة: بالنسبة لوحدات مرقد وسائط النمو، قم بوضع البذور مباشرة في وسائط النمو بداخل السرير بعمق 3–4 سم (تأكد من إزالة الجرس الذي يدير عملية الإغراق والاستنزاف؛ حتى يبقى منسوب المياه مرتفعا خلال الإنبات). ولا تتقبل الفاصوليا إعادة الغرس بشكل جيد، الأمر الذي يجعل من الصعب عليها أن تنمو في أنابيب طريقة الأغشية المغذية(NFT). كما

يجب وضع أقطاب الدعم قبل إنبات البذور؛ من أجل تجنب الضرر للجذور. وينبغي الحرص عند توزيع الشتلات والأغصان المتفرعة الممتدة تجنب التظليل المستقبلي المتداخل مع غيرها من النباتات. كما أن الفاصوليا عرضة للمن (قمل النبات) والعناكب. وعلى الرغم من الحدوث المنخفض لمثل هذه الآفات؛ فإنه يسمح بالسيطرة عليها بالعلاجات الميكانيكية، إلا أنه ينبغي إيلاء الاهتمام لاختيار النباتات المصاحبة؛ لتجنب انتقال التلوث إن كان لابد من القيام بأي علاج.

الحصاد:

أصناف الفاصوليا الطازجة (الفاصوليا الخضراء أو الصفراء) – جب أن يكون قرن الفاصوليا متماسكا وهشا عند الحصاد، وينبغي أن تكون البذور (حبيبات الفاصوليا) في الداخل غير مكتملة التطور أو صغيرة. وامسك ساق النبات بيد واحدة واقطف قرون الفاصوليا باليد الأخرى؛ لتجنب سحب أي فرع من الفروع التي ستنتج ثمارا لاحقا. وقم بجني كل القرون الجاهزة للحصاد؛ للحفاظ على إنتاجية النباتات.

فاصوليا البذور الخضراء (الفاصوليا السوداء، الفول) – قم بجني هذه الأصناف عند تغير لون القرون وعندما يكتمل تشكل الفاصوليا بداخل القرون، وينبغي أن تكون قرون الفاصوليا ممتلئة الجسم ومتينة. كما أن جودتها تنخفض إذا ما تركت في النبات لفترة طويلة جدا.

الفاصوليا المجففة (فاصوليا الكلى وفول الصويا) – اسمح للقرون أن تصبح جافة قدر الإمكان قبل برودة الطقس، أو عندما تتحول النباتات إلى اللون البني وتفقد معظم أوراقها. وستنقسم القرون عندما تكون جافة جدا؛ مما يجعل إزالة البذور عملية سهلة.

ملفوف القرص الكرنب HEAD CABBAGE

درجة الحموضة: 6,0 – 7,2

المسافة بين الشتلات عند الزراعة: 60–80 سم (4– 8 نبتة / م^2)

وقت الإنبات: 4–7 أيام، ودرجة الحرارة 8–29°م

فترة النمو: 45– 70 يوما من المشتل (ويعتمد على الأصناف والموسم)

درجة الحرارة المثالية : 15– 20°م (يتوقف النمو عند >25°م)

التعرض للضوء: التعرض الكامل لأشعة الشمس

ارتفاع النبات: 30–60سم، وعرض النبات 30–60 سم

طريقة أو نظام الأكوابونيك الموصى بها: مراقد وسائط النمو، (وليست مناسبة للوحدات المنشأة حديثا)

زراعة الملفوف في وحداتالأكوابونيك: الملفوف هو محصول شتوي، ذو قيمة غذائية عالية. وتنموهذه النباتات أفضل في سرير وسائط النمو؛ لأنها تصل لأحجام كبيرة عند الحصاد، ويمكن أن تكون كبيرة وثقيلة على الطوافات أو أنابيب النمو. ويتطلب الملفوف نسبة مرتفعة من العناصر الغذائية؛ مما يجعله غير صالح للوحدات المنشأة حديثا (أقل من أربعة أشهر من العمر). ومع ذلك ونظرا للمساحة الكبيرة المطلوبة فإن محاصيل الملفوف تستهلك عناصر غذائية أقل للمتر المربع الواحد عن غيرها من الخضراوات الورقية التي تنبت في فصل الشتاء (الخس، والسبانخ، والجرجير، وغيرها). وعلى الرغم من أن الملفوف يمكن أن يتسامح مع درجات حرارة منخفضة تصل إلى (5°م)، إلا أن هذا المستوى من درجات الحرارة قد لا يكون مناسبا لتربية الأسماك.

ظروف النمو: الملفوف هو محصول شتوي، وبالتالي فإن درجات الحرارة المثلى هي (15–20°م)، وهو ينمو بشكل أفضل عندما تنضج الأقراص في درجات الحرارة المنخفضة؛ ولذلك يجب التخطيط للقيام بالحصاد قبل أن تصل درجة الحرارة في النهار إلى (23– 25°م). كما أن التركيزات العالية من الفوسفور والبوتاسيوم ضرورية عندما تبدأ الأقراص في النمو، والتكامل مع الأسمدة العضوية أيضا ضروري إما بالرش على الأوراق أو في الركائز، وهو قد يكون ضروريا؛ لتزويد النباتات بالمستويات الكافية من العناصر الغذائية.

إرشادات الزراعة: تزرع الشتلات عندما يصبح لديها (4–6) ورقة. وبارتفاع 15سم، يجب القيام بوضع الشتلات في الكثافة الزراعية الأمثل وفقا للتنوع المختار. وفي حالة درجات الحرارة التي تكون خلال النهار أعلى من (25°م)، استخدم شبكة التظليل بنسبة تظليل مقداره (20٪)؛ لمنع النبات من الإزهار (إنتاج البذور). ونظرا لارتفاع معدلات الإصابة بديدان الملفوف وغيرها من

الآفات، مثل: المن وديدان الجذور، وديدان الملفوف القفازة، فمن المهم أن تقوم بالرصد الدقيق واستخدام المبيدات العضوية (آمنة للزراعة الأحيومائية) عند الضرورة.

الحصـاد: ابـدأ بالحصـاد عنـدما تكـون أقـراص الملفـوف متينـة مـع قطـر بحـوالي 10–15سـم (اعتمادا على تنوع الأصناف المزروعة). واقطع القرص من الجذع بواسطة سكين حادة، وضع بعدها الأوراق الخارجية في حاوية تصنيع السماد العضوي. وإذا كانت أقراص الملفوف تميل إلى الكسر، فإن هذا يشير إلى الإفراط في نضج الأقراص، وأن حصادها كان ينبغي أن يكون في وقت سابق.

البروكلى BROCCOLI

درجة الحموضة: 6,0 – 7,0

المسافة بين الشتلات عند الزراعة: 40–70 سم (3–5 نبتة / م^2)

وقت الإنبات: 4–6 أيام ، ودرجة الحرارة 25°م

فترة النمو: 60–100 يوما من الزرع

متوسط درجة الحرارة اليومية: 13–18°م

التعرض للضوء: التعرض الكامل لأشعة الشمس، متسامح مع الظل الجزئي، ولكن سينضج ببطء

ارتفاع النبات: 30–60سم، وعرض النبات 30–60 سم

طريقة أو نظام الأكوابونيك الموصى بها: مراقد وسائط النمو

زراعة البروكلى في وحدات الأكوابونيك: البروكلى هو من الخضر الشتوية المغذية. وطريقة الزراعة في مرقدوسائط النمو هو الخيار الموصى به، حيث إن القرنبيط هو نبات كبير وثقيل عند الحصاد. وزراعة القرنبيط هي صعبة بعض الشيء؛ لأن طلبها على العناصر الغذائية عال جدا. وهو كذلك سريع التأثر لدرجات الحرارة الدافئة؛ لذلك قم باختيار أصناف مقاومة للتزهير.

ظروف النمو:البروكلى ينمو بشكل أفضل عندما تكون درجات الحرارة خلال النهار تتراوح من 14–17°م. ولتشكيل القرص فإن أصناف الشتاء تتطلب درجات حرارة من 10إلى 15°م، ويمكن تشكيل الأقراص في درجات الحرارة العالية، شريطة أن تكون الرطوبة متوافرة بدرجة عالية، كما أن درجات الحرارة العالية تسبب تزهيرا سابقا لأوانه.

إرشادات الزراعة: قم بزراعة الشتلات في مرقد وسائط النمو عندما تكون لدى الشتلة 4–5 ورقات حقيقية، وتكون النباتات بارتفاع 15–20 سم، وينبغي وضع الشتلات بمسافات 40–50 سم، حيث إن قرب المسافات سينتج عنه أقراص مركزية أصغر.البروكلى والملفوف كلاهما عرضة لديدان الملفوف والآفات الثابتة الأخرى. في حين أن بعض الإزالة الميكانيكية يمكن أن يكون لها تأثير هامشي، فالمعالجة بالمبيدات الحيوية والمواد الطاردة يمكن لها السيطرة على التفشي، مع مراعاة الاشتراطات العلمية في ذلك.

الحصاد: للحصول على أفضل جودة، ابدأ بحصاد البروكلى عندما تكون براعم القرص متماسكة وضيقة. احصد على الفور إذا بدأت براعم القرص في الانفصال والتزهير (الزهور الصفراء).

السلق السويسري/مانغولد SWISS CHARD / MANGOLD

درجة الحموضة: 6,0 – 7,5

المسافة بين الشتلات عند الزراعة: 20–30 سم (15– 20نبتة / م^2)

وقت الإنبات: 4–5 أيام، ودرجة الحرارة 25–30°م (النطاق الحراري الأمثل)

فترة النمو: 25– 35 يوما

درجة الحرارة: 16– 24°م

التعرض للضوء: التعرض الكامل لأشعة الشمس (يستخدم الظل الجزئي لدرجات حرارة > 26°م)

ارتفاع النبات: 30–60سم، وعرض النبات 30–40 سم

طريقة أو نظام الأكوابونيك الموصى بها: مراقد وسائط النمو، الزراعة بواسطة الأغشية المغذية (NFT) ، والزراعة في المياه العميقة (DWC)

زراعة السلق السويسري في وحدات الأكوابونيك: السلق من الخضار الخضراء التي لديها شعبية مرتفعة في الزراعة باستخدام الأكوابونيك. وتزدهر في جميع الطرق الثلاث المذكورة أعلاه، وهي نبتة تتطلب مستوى معتدلا من النترات، وتتطلب تركيزا أقل من البوتاسيوم والفوسفور من الخضراوات الثمرية؛ مما يجعلها نبتة مثالية للزراعة الأحيومائية. ونظرا لقيمتها العالية في السوق ومعدل النمو السريع لها والمحتوى الغذائي الذي تتضمنه، فإنها تزرع في كثير من الأحيان في أنظمة الزراعة الأحيومائية التجارية. وأوراق السلق السويسري خضراء إلى خضراء داكنة، ويمكن أن تكون في سيقانها ألوان جذابة من الأصفر والأرجواني أو الأحمر.

ظروف النمو: درجات الحرارة المثلى للسلق السويسري هي16– 24°م، في حين أن الحد الأدنى من درجة الحرارة للنمو تقدر بـ 5°م . وعلى الرغم من أن السلق السويسري تقليديا يعد من المحاصيل التي تنبت في أواخر الشتاء/ الربيع (التسامح المعتدل مع الصقيع)، إلا أنه ينمو جيدا في حالات التعرض الكامل لأشعة الشمس خلال مواسم الصيف المعتدلة، ويقترح إضافة التظليل عند ارتفاع درجات الحرارة. كما أن السلق السويسري لديه تسامح معتدل مع الملوحة؛ مما يجعله نبتة مثالية للمياه المالحة.

إرشادات الزراعة: بذور السلق السويسري تنتج أكثر من شتلة واحدة، وبالتالي يتطلب الترقيق (خفض عدد الشتلات) عندما تبدأ الشتلات في النمو، وعندما تصبح النباتات هرمة خلال الموسم، يمكن إزالة الأوراق القديمة لتشجيع النمو الجديد.

الحصاد: أوراق السلق السويسري يمكن قطعها باستمرار كلما بلغت أحجام الحصاد، وإزالة الأوراق الكبيرة يشجع على نمو أوراق جديدة، وينبغي تجنب إتلاف نقطة النمو في مركز النبتة عند الحصاد.

البقدونس PARSLEY

درجة الحموضة: 6,0 – 7,0

المسافة بين الشتلات عند الزراعة: 15–30 سم (10–15 نبتة / م^2)

وقت الإنبات: 8–10 أيام ، ودرجة الحرارة 25°م

فترة النمو: 20–30 يوما من الزرع

درجة الحرارة: 15–25°م

التعرض للضوء: التعرض الكامل لأشعة الشمس(يستخدم الظل الجزئي لدرجات حرارة > 25°م)

ارتفاع النبات: 30–60سم، وعرض النبات 30–40 سم

طريقة أو نظام الأكوابونيك الموصى بها: مراقد وسائط النمو، الزراعة بواسطة الأغشية المغذية (NFT) ، والزراعة في المياه العميقة (DWC)

زراعة البقدونس في وحداتالأكوابونيك: البقدونس هو عشب شائع جدا ي زرع في كل من وحدات الأكوابونيك المحلية والوحدات التجارية؛ بسبب قيمتها الغذائية (غنية بالفيتامينات (A) + (C) والكالسيوم والحديد)، ولها قيمة عالية في السوق. والبقدونس هو عشب سهل الزراعة، حيث إن متطلباته للعناصر الغذائية منخفضة نسبيا مقارنة مع غيرها من الخضراوات.

ظروف النمو: البقدونس هو عشب ينمو مرة كل سنتين، إلا أنه يزرع تقليديا على أنه سنوي، ومعظم الأصناف تنموعلى مدى فترة سنتين إذا كان فصل الشتاء معتدل مع الحد الأدنى للصقيع. وعلى الرغم من أن النباتات يمكن أن تقاوم درجات الحرارة (0°م) ، فإن درجة الحرارة الدنيا للنمو تقدر بـ (8°م). وفي السنة الأولى تنتج النباتات الأوراق بينما في السنة الثانية تبدأ النباتات بوضع سيقان الزهور؛ لإنتاج البذور. يفضل البقدونس الشمس الكاملة لمدة تصل إلى ثماني ساعات في اليوم، ويتطلب وضع تظليل جزئي عندما تصل درجات الحرارة(<25°م)

إرشادات الزراعة: الصعوبة الرئيسة عند زراعة البقدونس هي الإنبات الأولي، وهو ما قد يستغرق (2– 5 أسابيع) اعتمادا على مستوى طزاجة البذور، ولتسريع عملية الإنبات تنقع البذور في ماء دافئ (20–23°م) لمدة 24–48 ساعة؛ لتليين قشور البذور، وبعد ذلك يتم إزالة المياه وبذر البذور في صواني الاستنبات. وستظهر الشتلات الناشئة على شكل عشب بورقتين من أوراق البذور الضيقة عكس بعضها البعض، وبعد (5–6 أسابيع) ،ازرع الشتلات في وحدة الأكوابونيك خلال أوائل الربيع.

الحصاد: يبدأ الحصاد عندما يكون طول السيقان الفردية على الأقل 15 سم. ويجب البدء بحصاد الينبع الخارجي من النبات؛ لأن هذا سيشجع على النمو طوال الموسم. وإذا تم قطع الأوراق التي في الأعلى فقط فستكون النبتة أقل إنتاجية. ويجف البقدونس ويتجمد جيدا، وإذا تم تجفيفه يمكن للنباتات أن تسحق باليد وتخزن في وعاء محكم.

دليل إنشاء أنظمة مزارع الأكوابونيك
على النطاق الصغير خطوة بخطوة

يصف هذا الدليل خطوة بخطوة كيفية بناء وحدة مرقد لبيئات النمو، ووحدة تقنية الأغشيه المغذيه (NFT)، ووحدة الزراعة في المياه العميقه (DWC) لوحدات الزراعة الأكوابونيك التي هي على نطاق صغير.

التعليقات الأولية على تصاميم الأنظمة الثلاثة

يتم التركز هنا فقط على كيفية بناء وحدات الأكوابونيك باستخدام مواد رخيصة متوافرة على نطاق واسع إضافة إلى توفيرتوضيحات وجيزة عن بعض المكونات الأكثر تعقيدا في كل نظام.

والعوامل الرئيسة التي يجب النظر إليها في تصميم كل وحدة تتمثل في : التكلفة المادية، وتوافرالمواد، والطاقة الإنتاجية. واختيارالمواد لكل تصميم كما هومبين في الرسوم التوضيحية التالية؛ هذالأن كلا منها يمكن الوصول إليها على نطاق واسع . والمادة الرئيسة المستخدمة في خزانات الأسماك، ومراقد بيئات النمو، والمياه العميقة DWC (هي الحاوية الوسيطة (IBC) بسعة حوالي1000 لتر، وتستخدم لنقل السوائل المختلفة في جميع أنحاء العالم .ومع ذلك فإن جميع مكونات تصميم كل وحدة من المواد المحلية / الأرخص يمكن أن تكون بديلا، ولا ينبغي تجاوز التوصيات بشأن المواد البديلة المنصوص عليها. وهنا ثلاثة أقسام رئيسة لهذا الملحق . فالقسم الأول يبين كيفية بناء وحدة مرقد البيئات باستخدام حاويات (IBC) كحوض للأسماك، و مرقد بيئات النمو، وخزان تجميع المياه .في حين أن الجزء الثاني يصف كيفية بناء وحدة الأغشية المغذية (NFT) كما يتضمن كيفية إعداد حوض للأسماك كما في وحدة مرقد بيئات النمو، وكيفية صناعة الفاصل الميكانيكي وتركيبه، والمرشح الحيوي باستخدام براميل البولي إيثيلين، وكيفية تثبيت أنابيب النمو لوحدة الأغشية المغذية باستخدام أنابيب الصرف الصحي البلاستيكية بقطر4 بوصة وطول 110سم. أما القسم الثالث والأخير فيبين كيفية بناء وحدة المياه العميقة (DWC)، ويعمل نفس التصميم بحوض الأسماك ونفس نظام الترسيب (الدوّامة) والمرشح الحيوي، الذي تم وصفه لوحدة الأغشية المغذية (NFT) وتظهر أجزاء أخرى كيفية إعداد قنوات المياه العميقة (DWC)، وإعداد الطوافات باستخدام صفيحة من البولي ستيرين .وتم إعطاء مؤشر لجميع المواد والأدوات المستخدمة لكل قسم في الصفحات التالية، والتي ينبغي أن يُرجع إليها لكل قسم من أقسام وحدة البناء الرئيسة.

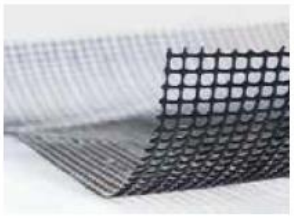
وفيما يلى صور لمستلزمات إنشاء أنظمة الزراعة المائية على النطاق الصغير

1 الحاوية الوسيطة (IBC)

2 برميل بسعة 200 لتر (أزرق)

3 مواد تظليل

4 شباك بلاستيكية



5 طوب خرساني

6 خشب (8 × 1 سم)

7 مضخة مياه غاطسة (الحد الأدنى 2000 لتر/ساعة)

8 الصابون البيئي

9 صفيحة من البوليستيرين

10 شريط تفلون للسباكة

11 أشرطة ربط الكابلات

12 صندوق كهربائي (ضد الماء)

13 أنبوب بلاستيكي PVC (110 ملم)

14 أنبوب بلاستيكي PVC (50 ملم)

15 أنبوب بلاستيكي
(75 ملم) PVC مع
بوصلة + قبعة إحكام
(75 ملم) + حلقات
مطاطية عازلة
(75 ملم)

16 أنبوب بلاستيكي
PVC pipe
(25 ملم)

17 أنبوب البولي إيثيلين
(20، 25 ملم)

18 عازل مطاطي
®Uniseal
(110،50 ملم)

19 حلقات مطاطية عازلة
(110،50 ملم)

20 مخفض قطر الأنبوب
بلاستيكي
PVC
(40–25ملم)

21 وصلة بلاستيكية
(25 ملم × 1 بوصة)
أنثى

22 محول بلاستيكي
PVC
(20ملم × 3/4
بوصة) ذكر

23 كوع بلاستيكي
PVC
(25ملم × 1 انش)
أنثى

24 كوع بلاستيكي
PVC
(25ملم × 3/4
بوصة) ذكر

25 محول بلاستيكي
PVC
(25ملم × 3/4
بوصة)

26 صنبور بلاستيكي
PVC يعمل
"بالضغط" على المفتاح
وتدويره (20 ملم)

27 صنبور بلاستيكي
PVC أومعدني (3/4
بوصة)
ذكر إلى أنثى

28 دلو
(20 لتر)

29 مضخة هواء
(10 واط/ساعة) مع
مخرجين للهواء

30 أنابيب الهواء

31 قنينة بلاستيكية

32 حجارة تذويب الهواء

33 شبك غرف الأسماك

34 وسائط المرشح الحيوي
(كرات حيوية أو
أغطية قنينات)

35 حصى بركاني
(8–20 ملم)

36 كوب شبكي

37 كوع بلاستيكي
PVC
(50 ملم)

38 وصلة تقارن مستقيمة
بلاستيكية
PVC
(50 ملم)

39 وصلة على شكل حرف
"T" بلاستيكية
PVC
(50 ملم)

40 سدادة نهاية أنبوب
بلاستيكية
PVC
(50 ملم)

41 كوع بلاستيكي
PVC
(110 ملم)

42 وصلة على شكل حرف
"T" بلاستيكية
PVC
(110 ملم)

43 وصلة تقارن مستقيمة
بلاستيكية
PVC
(110 ملم)

44 مخفض قطر
الأنبوب بلاستيكي
PVC
(110–50 ملم)

45 وصلة برميل
بلاستيكية (1 بوصة)
PVC
(B-type) –

46 وصلة برميل
بلاستيكية
PVC
(1 بوصة) –
(V-type)

47 صنبور بلاستيكي
PVC أومعدني
(1 بوصة) ذكر إلى
أنثى

48 كوع يتم توصيله
بالأنبوب بواسطة
الضغط بلاستيكي
PVC
(20 ملم)

49 كوع بلاستيكي
PVC
(25 ملم × 3/4
بوصة) أنثى

50 وصلة على شكل
حرف "T" بلاستيكية
PVC، يتم توصيلها
بالأنبوب بواسطة
الضغط (20 ملم)

51 سدادة نهاية أنبوب
بلاستيكية
PVC
(110 ملم)

52 محول بلاستيكي
PVC
(25 ملم × 3/4
بوصة)

53 وصلة بلاستيكية
PVC على شكل
حرف "T"
(25 ملم – 1 بوصة)
أنثى

54 كوع بلاستيكي
PVC
(25 ملم)

55 وصلة على شكل
حرف "T" بلاستيكية
PVC
(25 ملم)

56 كوع بلاستيكي
PVC
(25ملم × 1 بوصة)
ذكر

57 وصلة على شكل حرف
"T" بلاستيكية
PVC
(25 ملم × 3/4
بوصة) أنثى

1 غطاء لحماية الأذن

2 قفازات عمل

3 نظارات واقية

4 ميزان تسوية كحولي

5 شريط قياس

6 مفتاح ربط الأنابيب

7 منشار

8 مطرقة

9 زرادية

10 مفك براغي

11 مثقب كهربائي

12 مثقب مخروطي (1 – 0) بوصة)

13 منشار قطع النماذج

14 سكين

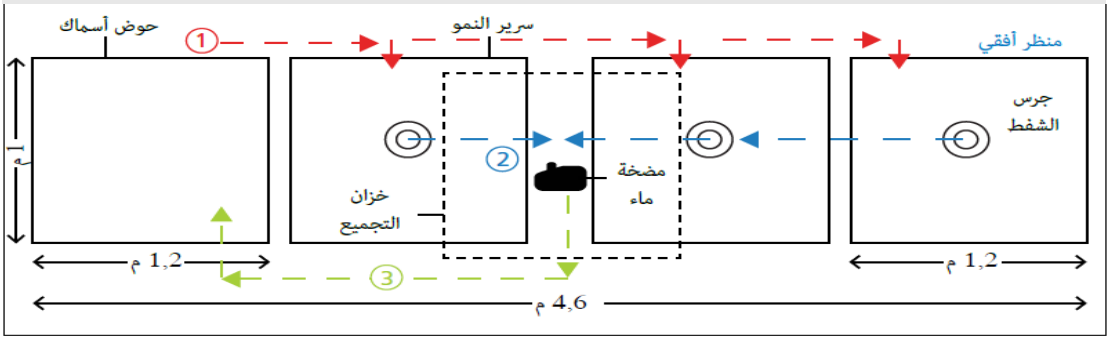
15 قلم لوضع العلامات

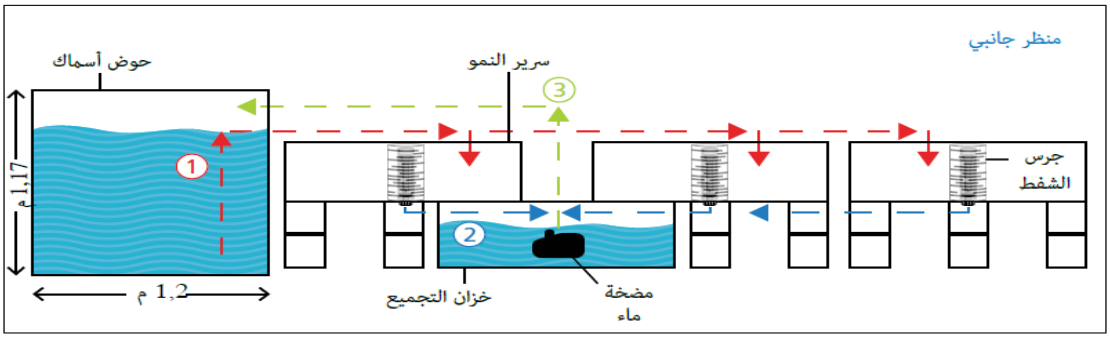
16 مثقب حفر دائري (منشار للحفر)

17 جلاخة زاوية

18 برغي برأس نجمة

وحدة مرقد بيئة النمو





مخطط تدفق المياه

① تدفقات المياه بواسطة الجاذبيةمن خزان الأسماك إلى أسرة وسائط النمو.

② تدفقات المياه من سرير وسائط النمو إلى خزان تجميع المياه.

③ تتدفق المياه إلى خزان الأسماك من خزان تجميع المياه باستخدام مضخة المياه.

قائمة بالمواد المطلوبة لصناعة وحدة مرقد بيئة النمو

	اسم الصنف	رقم الصنف من الجدول (م1.8)	العدد
1	الحاوية الوسيطة (IBC)	1	3
2	مضخة مياه غاطسة (الحد الأدنى 2000 لتر/ساعة)	7	1
3	مضخة هواء (10 واط/ساعة) مع مخرجين للهواء	29	1
4	أنابيب هواء مرنة	30	3 م
5	حجارة تذويب الهواء	32	2
6	طوب خرساني	5	48
7	خشب (8 × 1 سم)	6	21 م
8	حصى بركاني (4–20 مم)	35	750 لتر
9	مواد تظليل	3	2 $م^2$
10	شريط تفلون للسباكة	10	طية واحدة
11	أشرطة ربط الكابلات	11	15
12	صندوق كهربائي (ضد الماء)	12	1
13	الصابون البيئي أو زيوت التشحيم	8	1
14	قنينة بلاستيكية	31	1
	الأنابيب والوصلات البلاستيكية PVC		
15	أنبوب بلاستيكي (50 ملم) PVC	14	7.5 م
16	حلقات مطاطية عازلة (50 ملم)	19	1
17	كوع بلاستيكي (50 ملم) PVC	37	5
18	وصلة تقارن مستقيمة (50 ملم) PVC	38	6
19	وصلة على شكل حرف "T" بلاستيكية (50 ملم) PVC	39	2
20	سدادة نهاية أنبوب بلاستيكية (50 ملم) PVC	40	4
21	وصلة برميل PVC بلاستيكية (1 بوصة) – (B-type)	45	3
22	صنبور بلاستيكي PVC أومعدني (1 بوصة) ذكر إلى أنثى	47	3
23	عازل مطاطي (50 ملم) ®Uniseal	18	1
	الشفط بالجرس		
24	أنبوب بلاستيكي (110 ملم) PVC	13	0.9 م
25	أنبوب بلاستيكي (75 ملم) PVC مع بوصلة + قبعة إحكام (75 ملم) + حلقات مطاطية عازلة (75 ملم)	15	3
26	أنبوب بلاستيكي (25 ملم) PVC	16	0.8 م
27	وصلة PVC برميل بلاستيكية (1 بوصة) – (V-type)	46	3
28	مخفض قطر الأنبوب بلاستيكي (40 – 25 ملم) PVC	20	3
29	وصلة بلاستيكية (25 ملم ×1 بوصة) أنثى	21	3
30	كوع بلاستيكي (25 ملم × 1 بوصة) PVC أنثى	23	3
31	أنبوب البولي إيثيلين (20، 25 ملم)	17	9 م

1. إعداد خزان للأسماك

لإعداد خزان للأسماك ينبغي اتباع الخطوات الآتية:

قم بإزالة القضيب بين الصلبين الأفقيين المرفقين بالسطح العلوي لخزان الحاوية الوسيطة (IBC)، واللذين يمسكان بالجزء البلاستيكي الداخلي مستقرا .وهذه القضبان مثبتة بأربعة براغي

نجمية الرأس .وبعدها قم بإزالة هذه البراغي الأربعة (الشكل 1) باستخدام مفك ذي رأس على شكل نجمة (الشكل2) أو مفتاح ذي رأس على شكل نجمة (الشكل 3). وحينما تتم إزالة هذه القضبان، اسحب خزان البلاستيك الداخلي. وإذا لم يكن هناك مفتاح النجمة، اقطع البراغي بجلاخة زاوية.

بعد سحب الخزان، ارسم شكل مربع على السطح العلوي من الخزان على بعد 5سم من حواف الجوانب الأربعة للخزان (الشكل 4). ثم قم بقطع الشكل المربع وذلك باستخدام جلاخة زاوية (الشكل 5)، ثم أزل القطعة التي تم قطعها من أعلى (الشكل 6). وبعد إزالتها اغسل الحاوية من الداخل جيدا بالصابون والماء الدافئ، واتركها لتجف لمدة 24 ساعة (الشكل7). الجزء الذي تم قطعه يمكن استخدامه كغطاء لخزان الأسماك.

2. تثبيت أنبوب مخرج مياه لخزان الأسماك

على جانب واحد من الحاوية الوسيطة (IBC) ، ضع نقطة عند مسافة12 سم من الأعلى ،و 12 سم من جانب الحاوية (الشكل8), واحفر حفرة في تلك النقطة باستخدام مثقب حفردائري بمقاس 57مم (الشكل9). ادخل عازلا مطاطيا Uniseal بمقاس50 مم (الشكل10) داخل هذا الثقب.
تنبيه : يجب أن يكون مثقب الحفر الدائري بمقاس57 مم، وليس 50 مم (انظرالشكل8),

أنبوب مخرج المياه من خزان الأسماك يتكون من قطعتين من الأنابيب البلاستيكية (50 مم) يتم تركيبها مع بعضها باستخدام الكوع البلاستيكي (50 مم) ، ووصلة تقارن مستقيمة بلاستيكية (50 مم) (الشكل11). ولأجل ذلك يتم قطع أنبوب بلاستيكي بطول (50 مم) ، ويوضع على طول السطح

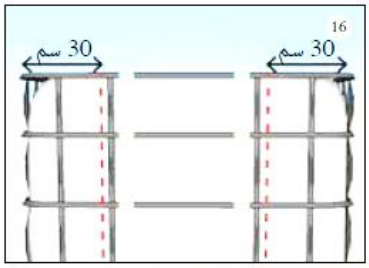
السفلي من الخزان، ويصنع به شقوق أفقية بمسافات مقداره 2-3 مم من بعضها البعض، باستخدام جلاخة زاوية (الشكل12) ؛ للسماح للمخلفات الصلبة للدخول إلى الأنبوب، قم بإغلاق نهاية الأنبوب الذي يوضع على طول السطح السفلي من حوض الأسماك بسدادة بلاستيكية (50مم). وبعدها ادخل قطعة أنبوب بلاستيكي بطول (50 مم) في العازل المطاطي Uniseal الذي تم وضعه في الفتحة سابقا، وقم بتوصيله بكوع بلاستيكي (50 مم) على الطرف الداخلي (الشكل11) ، ثم أرفق الأنبوب الآخر (العمودي) إلى الكوع المتصلب العازل المطاطي Uniseal الذي بمقاس (50 مم) وأخيرا احفر حفرة قطره 2-3 سم في الكوع الذي بمقاس (50 مم) الذي تم توصيله بالعازل المطاطي Uniseal الذي تم وضعه في الفتحة سابقا (الشكل13) ويمنع هذا الثقب الصغير أي غلق هوائي من التشكل داخل الأنبوب، الذي من شأنه أن يستنزف كل الماء من حوض الأسماك في حالة انقطاع التيار الكهربائي، أو إذا توقفت المضخة عن العمل، وهو ما يُسمى بالشفط العرضي .هذه الخطوة ليست اختيارية.

3. إعداد مراقد بيئات النمو وخزان تجميع المياه

ولإعداد ثلاث أسرة بيئات النمو، وخزان واحد لتجميع المياه، هنا كحاجة الحاويتين (IBC) إضافيتين: الحاوية الأولى لإعداد خزان الأسماك ومراقد واحد لبيئات النمو، والحاوية الثانية لإعداد اثنين من مراقد بيئات النمو المتبقية .خذ الحاويتين الوسيطتين، وأزل القضبان الأربعة، ثم اسحب الحاويات البلاستيكية كما هو موضح من قبل في (الأشكال1-3) .

4. إعداد مرقد ببيئات نمو من حاوية وسيطة واحدة

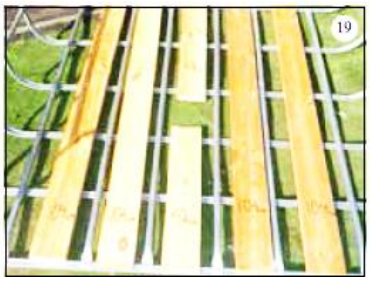
بقلم رصاص قم برسم خطوط على بعد30 سم من كلا جانبي الحاوية (الشكل15). تأكد من وضع الخطوط نفسها كما هو موضح في (الشكل15). خذ جلاخة زاوية واقطع على طول كلا الخطين بعناية؛ من أجل إعداد حاويتين بشكل موحد وبعمق30 سم (الشكل16)، ثم خذ كلا الحاويتين واغسلهما جيدا باستخدام الصابون الطبيعي والماء الدافئ، ثم تترك لتجف في الشمس لمدة 24 ساعة.



5. الدعامات المعدنية لكلا مرقدي النمو

خذ الإطار المعدني الداعم للحاوية الوسيطة، واقطع إطارين باتباع نفس المنوال المبين في (الشكل14) باستخدام جلاخة زاوية (الشكل17). عندما تقوم بقطع الجانبين اللذين هما بمقاس30 سم من إطار الدعم، تأكد من الحفاظ على الجزئين الأفقيين من الدعامة سليمين؛ لأنهما سيوفران دعما ممتازا على جانبي المراقد عندما تكون ممتلئة بالماء والبيئات (الشكل18).

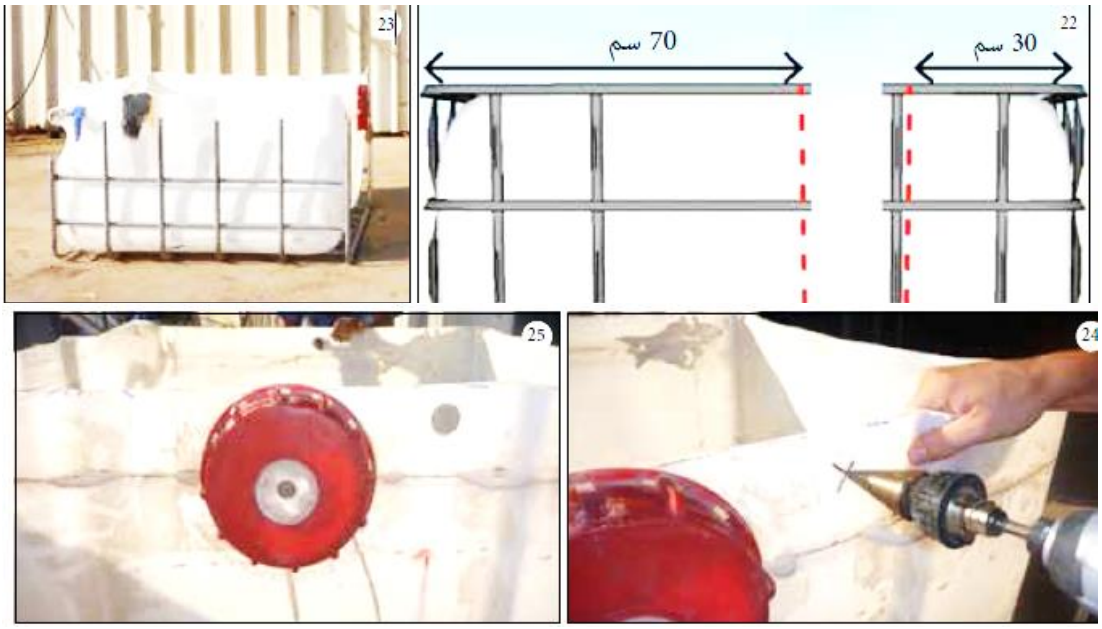
خذ إطاري الدعم وضعهما على الأرض . خذ ألواح الخشب (4 ألواح طول كل واحد 104 سم، لوح واحد بطول42 سم، ولوح واحد بطول 48سم) وضعهماعلى إطار الدعم كماهو مبين في الشكل .وألواح الخشب تحتفظ بمرقد بيئات النمو في وضع أفقي، وهو أمر حيوي لعمل تقنية الشفط بالجرس .وبعد ذلك خذ مراقد بيئات النمو التي تم غسلها وضعها على إطار الدعم وألواح الخشب (الشكل20) . وأخيرا ادخل ألواح الخشب المتبقية مابين مراقد بيئات النمو البلاستيكية، وإطار الدعم على جانبي كل المرقد لتوفير المزيد من الدعم (الشكل21).



6- إعداد خزان تجميع المياه ومرقد واحد لبيئات النمو من الحاوية الوسيطة IBC

خذ الحاوية الوسيطة (IBC) المتبقية، وضعها في وضع مستقيم وضع علامة وذلك باستخدام مسطرة قياس وقلم رصاص، قم برسم خط واحد فقط على بعد30 سم من جانب الحاوية، كما في (الشكل22). ثم استخدم جلاخة زاوية واقطع إطار الدعم المعدني والحاوية البلاستيكية الداخلية مرة واحدة، وذلك باتباع الخط الذي تم رسمه (الشكل22). قم بإزالة الجزء من الحاوية الذي هو بعمق30 سم (مرقد بيئات النمو الثالث) من الجزء المتبقي من الحاوية، والذي هو بعمق70 سم (خزان تجميع المياه (الشكل23). اغسل كلا الحاويتين جيدا بالماء والصابون الطبيعي والماء الدافئ، واتركها في الشمس لمدة24ساعة.

ولمرقد بيئات النمو الثالث، اتبع نفس الخطوات فيما يتعلق بألواح الخشب كما هو مفصل أعلاه للأوليين. وأخيرا قم بصناعة ثقبين بقطر25مم باستخدام مثقاب مخروطي الشكل، كما هو مبين في(الشكل25). سيتم إدخال أنابيب بقطر25مم في كل من هذه الثقوب في وقت لاحق، وهذه الأنابيب ستعمل على تصريف المياه من كل مرقد لبيئات النمو.



1. إعداد الشفط بالجرس

الشفط بالجرس آلية بسيطة، تستخدم لإغراق واستنزاف كل مرقد بيئات النمو تلقائيا . والمواد التالية ضرورية لإعداد آلية واحدة فقط للشفط بالجرس .ولإعداد آليات لثلاثة مراقد هنا نكون بحاجه إلى عدد ثلاثة من كل صنف

1. 35 سم حاجز بيئات النمو (110 مم أنبوب بلاستيكي)
2. 27سم جرس [أنبوب بلاستيكي (75مم) بسدادة في نهايته (75مم) + عازل مطاطي(75مم)
3. 16 سم أنبوب بلاستيكي(25مم)
4. وصلة برميل بلاستيكية (25مم)

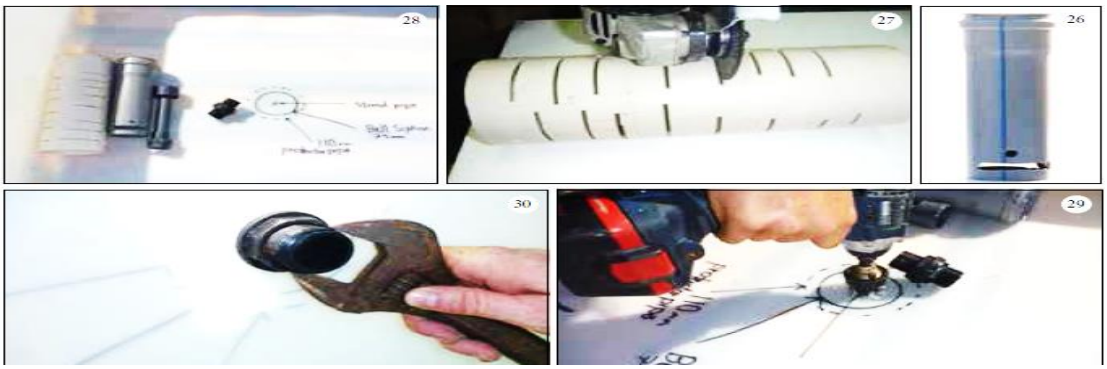
5. مخفض قطر الأنبوب البلاستيكي (25-40مم)
6. محول بلاستيكي(2،5مم × 1 بوصة)
7. كوع بلاستيكي(25مم × 1 بوصة)

أولا قم بإعداد الجرس :خذ قطعة أنبوب بلاستيكي بطول27 سم و75مم قطر)، وقم بقطع قطعتين كما هو مبين في (الشكل26). باستخدام جلاخة زاوية، ثم اصنع ثقب اباستخدام مثقاب (قطره 10مم) بمسافة من مكان قطع القطعتين بمقدار(1،5 سم)، كما هو مبين في (الشكل 26) وأخيرا سد النهاية الأخرى من الجرس باستخدام سدادة نهاية الأنبوب البلاستيكية (75مم)، وعازل مطاطي (75مم)

قم بإعداد حاجز البيئات بطول (35سم) باستخدام قطعة أنبوب بلاستيكية بقطر (110مم)، وقطع فتحات بمقاس (5مم)على طول القطعة، باستخدام جلاخة زاوية (الشكل27).

قم بوضع علامة في منتصف كل مرقد لبيئات النمو بين لوحي الخشب في أسفل المرقد كما هو مبين في (الشكل28) وقم بصناعة ثقب على علامة منتصف المرقد بقطر (25مم)، كما في (الشكل29) وادخل وصلة برميل بلاستيكية بقطر (25مم) مع المطاط العازل الموضوع داخل مرقد بيئات النمو، ثم قم بشد جانبي وصلة البرميل باستخدام مفتاح ربط الأنابيب (الشكل30).

قم بتثبيت محول بلاستيكي (1بوصة - 25مم) على رابط البرميل الذي هو بقطر (25مم) داخل مرقد بيئات النمو، ومن ثم ادخل قطعة الأنبوب الأفقية في فتحة المحول البلاستيكي الذي قطره (1بوصة - 25مم) وبعد ذلك ادخل المحول البلاستيكي الثاني (25-40مم) إلى الجزء العلوي من الأنبوب الأفقي (الأشكال31-33)



والغرض من هذا المحول هو السماح لحجم أكبر من المياه لتتدفق في البداية من خلال الأنبوب الأفقي عندما تصل المياه إلى القمة، وهذا بدوره يساعد آلية الشفط لبدء استنزاف المياه؛ لإخراجها إلى خزان تجميع المياه .

ضع أداة الشفط بالجرس وحاجز بيئات النمو على الأنبوب الأفقي (الأشكال34-36).

وأخيرا قم بتوصيل الكوع البلاستيكي (1بوصة - 25مم) إلى الطرف الآخر من رابط البرميل تحت مرقد بيئات النمو، والذي يسمح لتدفق المياه من سرير بيئات النمو (الأشكال 37-39).

المراجع

أولاً: المراجع العربية

- **إبراهيم حسين السكرى ، كيمان فواز ، حسن الشيمى (1988).** "أساسيات خصوبة الأرض وتغذية النبات". مركز الشنهابى للطباعة والنشر- الإسكندرية.

بهيج محمد راسم (بدون تاريخ) نظام الزراعة الحيومائية (الكوابونك) . مركز أبحاث الثروة السمكية بجدة . الجزء الأول – مقالة أكوابونيك للنشر في المواقع الإلكترونية.

- **سعد محمود الشريف ، طلعت محمد القبيه وعادل السيد اللبودى (1987).** "محاضرات فى تغذية النبات" مذكرات لشعبة الأراضى - كلية الزراعة - جامعة عين شمس.

- **سعد محمود الشريف ، عادل السيد اللبودى وعبد المنعم الجلا (1987).** "كيمياء الأسمدة" مذكرات لشعبة الأراضى - كلية الزراعة - جامعة عين شمس.

- **سمير عبد الوهاب أبو الروس، محمدى إبراهيم الخرباوى وشوقى شبل هوله (1992).** "خصوبة الأراضى وتغذية النبات" التعليم المفتوح - جامعة القاهرة.

- **سمير عبد الوهاب أبو الروس و محمد أحمد شريف (1995).** "الزراعة وإنتاج الغذاء بدون تربة". دار النشر للجامعات المصرية - مكتبة الوفاء - القاهرة-مصر.

- **شفيق إبراهيم عبد العال، محمد عبد العزيزضيف، رضا رجب شاهين و إبراهيم محمد حبيب (1992).** "كيمياء الأراضى" التعليم المفتوح - جامعة القاهرة.

شبكة المعلومات الدولية

طلعت رزق البشبيشى ، محمد أحمد شريف (1998) أساسيات فى تغذية النبات. دار النسر للجامعات - مصر

- **عبد الغنى الباز (1982).** محاضرات فى فسيولوجيا النبات. قسم أمراض النبات، كلية الزراعة - جامعة المنيا.

- **عبد الفتاح إبراهيم الشعراوى، قاسم فؤاد السحار و محمد عبد العزيز نصار (1991).** "النبات الزراعى" التعليم المفتوح - جامعة القاهرة.

- **عبد المنعم بلبع (1988).** "خصوبة الأراضى والتسميد" دار المطبوعات الجديدة.

- **عبد الله زين العابدين (1963).** "أسس علم الأراضى" مكتبة الأنجلو المصرية-القاهرة-مصر.

- **عبد الله همام عبد الهادى (1993).** "العناصر الصغرى والأسمدة الورقية وتأثير إضافتها على إنتاجية المحاصيل الحقلية والبستانية فى الأراضى المصرية" معهد بحوث الأراضى والمياه - مركز البحوث الزراعية - جيزة.

- **عبد الله همام عبد الهادى (1993).** "البوتاسيوم وأثره على إنتاجية المحاصيل فى الأراضى المصرية" معهد بحوث الأراضى والمياه - مركز البحوث الزراعية - جيزة.

- **كاظم مشحوت عواد (1987).** "التسميد وخصوبة التربة" المكتبة الوطنية - بغداد.

- **كامل سعيد جواد، محمد على حمزه وحسن كاظم علوش (1988).** "خصوبة التربة والتسميد" المكتبة الوطنية - بغداد.

- **محاضرات فى أساسيات الأراضى (1997).** مقرر التدريب الدولى لتحليلات الأرض والنبات. قسم الأراضى - كلية الزراعة - جامعة المنيا - المنيا.

- **محاضرات فى تغذية النبات (1987).** قسم الأراضى - كلية الزراعة بكفر الشيخ - جامعة طنطا.

- **محمد أحمد معتوق (1993).** الرى بالرش والرى بالتنقيط. مكتبة الأنجلو المصرية -القاهرة-مصر.

- **محمد عاطف كشك (1979).** مدخل إلى علوم الأراضى. قسم الأراضى - كلية الزراعة - جامعة المنيا.

- **محمد كمال صادق، محمد السيد على، على عبد الحليم و عمر الحسينى (1997).** محاضرات فى تغذية النبات والأسمدة. قسم الأراضى والكيمياء الزراعية - كلية الزراعة بمشتهر - جامعة الزقازيق - فرع بنها.

- **محمد مصطفى الفولى و أحمد فوزى عبد الحميد (1992).** " أساسيات تغذية النبات والتسميد ومشاكل العناصر المغذية الصغرى فى مصر" مشروع العناصر المغذية الصغرى ومشاكل تغذية النبات فى مصر - المركز القومى للبحوث - الدقى - القاهرة.

- **محمد نجيب حسن و مصطفى خضر مصطفى (197).** أصول البيدولوجى. المكتب المصرى للطباعة والنشر - الإسكندرية.

- **لويس فيليب حنا (1977).** محاضرات فى تغذية النبات. قسم الأراضى - كلية الزراعة - جامعة المنيا.

- **هارى بكمان، نيل برادى (1960).** "طبيعة الأراضى وخواصها" ترجمة: أمين عبد البر، أحمد جمال عبد السميع، عبد الحليم الدماطى. مكتبة الأنجلو المصرية.

ثانياً: المراجع الأجنبية

Aboulroos, S.A.; M.A. Sherif and E.S. Abdel Moty (1995). Plastic tubes for growing tomato plants in static nutrient solution culture (SNSC). Unpublished data.

Amberger, A. (1993a). Responsibility of Research a location and crop specific application of fertilizers. Proc. of German/Egyptian/Arab workshop: Environmentally Sound, Location and crop specific application of fertilizers in arid areas of North Africa and The Near East, 6 -17 Cairo and Ismailia, Egypt.

Amberger A. (1993b). Dynamics of Nutrients and Reactions of Fertilizers applied on The Environment .Proc. of German/Egyptian/Arab workshop: Environmentally Sound, Location and crop specific application of fertilizers in arid areas of North Africa and The Near East, 6 -17 Cairo and Ismailia, Egypt.

Asher, C.J. and G.W. Ozanne (1979). Growth and potassium content of plant in solution cultures maintained at constant potassium concentrations. Soil Science, 103: 155-161.

Awad, A.S.; D.G. Edwards and L.C. Campbell (1990). Phosphorus enhancement of salt tolerance of tomato. Crop Sci., 30: 123-128.

Barber, S.A. (1962). A diffusion and mass flow concept of soil nutrient availability. Soil Sci., 93: 39-49.

Bernstein, L.; L.E. Francois and R.A. Clark (1974). Interactive effect of salinity and fertility on yields of grains and vegetables. Agron. J., 66:412-421.

Champagnol, F. (1979). Relationships between phosphate nutrition of plants and salt toxicity. Phosphorus Agric. C., 76: 35-43.

Charbonneau, A.; A. Gosselin and M.J. Trudel (1988). Influence of electric conductivity and intermittent flow of the nutrient solution on growth and yield. Soilless Culture, 4(1):19-30.

Chow, W.S.; M.C. Ball and J.M. Anderson (1990). Growth and photosynthetic responses of spinach to salinity: Implications of K+ nutrition for salt tolerance. Aust. J. Plant Physiol., 17: 563-578.

Clement, C.R.; M.J. Hopper; R.J. Canaway and L.H.P. Jones (1974). A system for measuring the uptake of ions by plants from flowing solutions of controlled composition. J. Exp. Botany, 25:81-99.

Cooper, A. (1979). The ABC of NFT. Grower books, London.

Dreschel, T.W. and J.C. Sager (1989). Control of water and nutrients using a porous tube: A method for growing plants in space. HortScience, 24(6): 944-947.

EL-Beshbeshy, T.R. (1990). Studies on Phosphorus availability in agricultural soils. Ph.D. Thesis Minia Uni. Minia, Egypt.

EL-Beshbeshy, T.R. (1994). Effect of Ca-Silicate slag on yield and uptake of phosphorus by barley plants grown in newly reclaimed soil. Alex. sci. Exch. 15(4):465-476.

EL-Beshbeshy,T.R.; M.A. Sherif and T.M. Mosalem (1993). The effect of Ca-silicate slag, sulfur and poultry manure on the availability of phosphorus from superphosphate added to alluvial and highly calcareous soils.

FAO (1983). Micronutrients. FAO Fertilizer and plant nutrition Bulletin 7. Land and Water Development Division, Rome.

FAO (1984). Fertilizer and plant nutrition. FAO Fertilizer and plant nutrition Bulletin 9. Land and Water Development Division, **FAO (2014) . Small Scale Aquaponic Food production integrated fiche and plant farming Rome.**589.

Follett, R.H.; L.S. Murphy and R.L. Donahue (1981). Fertilizers and Soil Amanment. Englewood Cliffe, New Jersy 07632.

Foth, H. D. (1978). Fundamentals Of Soil Science. JOHN WILEY & SONS, New York

Gericke, W.F. (1929). Fertilization unit for growimg plants in water, United State Patent, 1,915,884.

Grattan, S.R. and C.M. Grieve (1993). Mineral nutrient acquisition and response by plants grown in saline environments: Handbook of Plant and Crop Stress (M.Pessarakli, ed.), Marcel Dekker, Inc., New York, pp. 203-226.

Hewitt, E.J. (1969). Sand and water culture methods used in the study of plant nutrition. Technical communication No.22, Garnham Royal, Commonwealth Agric. Bureaux.

Imai, H. (1986). AVRDC noncirculating hydroponics system. Taiwan AVRDC. Unpublished report.

Janzen, H.H. and C. Chang (1987). Cation nutrition of barley as influenced by soil solution composition in a saline soil. Can. J. Soil Sci., 67: 619-629.

Kafkafi, U. (1984). Plant nutrition under saline conditions: Soil Salinity Under Irrigation Processes and Management (I. Shainberg and J. Shalhevet, eds.), Springer-Verlag, Berlin, pp. 319-338.

Khasawneh, F.E., E.C. Sample and E.J. Kamprath (1980). The Role of Phosphorus in Agriculture. American Soc. of Agr.,Crop Sci. Soc. Am., & Soil Sci. soc. Am., Madison, Wiscnsin 53711 USA.

Landon, J.R. (1984). Booker Tropical Soil Manual. A handbook for survey and agricultural land evaluation in the tropics and subtropics. Booker Agriculure International Limited..

Marschner, H. (1995). Mineral Nutrition of Higher plants. Academic Press Limited, London NW1 7DX.

Mass, E.V. (1990). Crop salt tolerance: Agricultural Salinity Assessment and Management (K.K. Tanji, ed.), ASCE Manuals and Reports on Engineering Practices, No. 71, ASCE, New York, pp. 262-304.

Mengel, K. & E.A. Kirkby (1987). Principles of Plant Nutrition. International Potash Institute. Bern, Swizerland.

Mengel, K. (1991). Ernahrung Und Stoffwechsel der Pflanze. Gustav Fischer Verlag Jena.

Nemeth, K. and T. Harrach (1974). Interpretation der chemischen Bodenuntersuchung bei Lossboden verschiedenen Erosionsgrades. Land. Forsch. 24, Sdh. 30/1, 131-137.

Rush, D.W. and E. Epstein (1981). Comparative studies on the sodium, potassium and chloride relations of a wild halophytic and domestic salt-sensitive tomato species. Plant Physiol., 68: 1308-1313.

Russl, E.W. (1978). Soil Condition and Plant growth. 10th. Edition Longman.

Saalbach, E.; K. Wurtele; P.W. Kurten and H. Alger (1970). Schwefel, Natrium, Magnesium, Landw. Schriftenr. Nr. 14, Ruhrstickstoff, Buchum.

Sauchell, V. (1969). Trace Elements in Agriculture.Van nostrand Reinhold Company, New York, N.Y. 10001,USA.

Schofield, R.K.(1955). Can a precise meaning be given to "available" soil phosphorus ? Soils Fert. 28, 373-375.

Schroeder, D. (1984). Soils - Facts and Concepts. Translated from German and adapted by: Gething, P.A., Int. Potash Institute, Bern, Switzerland.

Schroder, F.G. (1987). Plant plane hydroponic. The growing EDGE, 52-55.

Sherif, M.A. (1988). Studies on Nutrient Film Technique. The influence of contrasting root zone temperatures on growth and yield of tomatoes and cucumber. Ph.D. Thesis, Fac. Agric., Minia Univ., Minia, Egypt.

Sherif, M.A. (1997a). Adaptation of tomato plants to tolerate saline conditions in sand medium and hydroponics. Zagzig J. Agric. Res., 24(4):727-739.

Sherif, M.A. (1997b). Effeect of sodium chloride and potassium sulfate on the adaptation of tomato plants to tolerate saline conditions. Annals of Agric. Sci., Moshtohor, Zagzig Univ. (Banha Branch), In press.

Sherif, M.A.; H.A. Hassan; M.A. Kishk and T.R. El-Beshbeshy (1992). Hydroponic Development in Egypt: Static deep water culture (SDWC) in open field. 8th International Congress on Soilless Culture, 391-398.

Sherif, M.A.; P.A. Loretan and H. Aglan (1993). Hydroponic Development in Egypt: Slagwool is a new hydroponic substrate. Minia J. Agric. Res. & Dev., 15(2): 365-379.

Sherif, M.A. (1994). Desgines and modifications of hydroponic techniques for arid regions.Unpublished.

Sherif, M.A. ; T.R. El-Beshbeshy and C. Richter (1998). Response of some Egyptian varieties of wheat (*Triticum aestivum* L.) to salt stress through potassium application. Bull. Fac. Agric., Cairo Univ., 49(1): In press.

Stoughton, (1969). Soilless cultivation and its application to commercial horticultural crop production. Food and Agric. Organisation, United Nations, Rome, 61 pp.

Tisdale, S.L.; and W.L. Nelson (1975). Soil Fertility and Fertilizers. Macmillan publishing Co. New York, USA.

White, R. E.(1987): Introduction to the Principles and Practice of Soil Science. Blacwell Scientific Publications. Osney Mead, Oxford OX20EL, London, WCIN2ES.

Zanouny, I; T.R. EL-Beshbeshy and M.A. Sherif (1994). Profitability of using Ca-silicate slag for production of corn. Minia J. Agric. & Dev., Vol. 16, No. 4:1397-1408.