

الفصل الأول

علم تغذية النبات Plant Nutrition

موقع علم تغذية النبات من العلوم الأخرى

تقسم العلوم عامة إلى علوم أساسية بحتة Fundamental Sciences وهى التي تهدف إلى معرفة سر الكون وظواهره المختلفة والأسباب التي أدت إلى هذه الظاهرة وعلاقتها ببعضها ومن أمثلة تلك العلوم البحتة علوم الكيمياء-الطبيعة-الرياضة-الحيوان والنبات.....الخ. وكذلك إلى علوم تطبيقية Applied Sciences وهى العلوم التي تهدف في دراستها إلى تطبيق العلوم البحتة السابق ذكرها مثال ذلك العلوم الزراعية كلها (علوم المحاصيل-الألبان-الصناعات الغذائية-الزراعية-أمراض النبات-الإنتاج الحيوانى-الحشرات-مبيدات الآفات-الوراثة-المجتمع الريفى-الاقتصاد الزراعى علوم الأراضى Soil Sciences والتي تنقسم بدورها إلى:

- علوم أساسية تدرس الأرض كجسم طبيعي مثل علوم مورفولوجيا الأراضى soil Morphology - تقسيم الأراضى Soil Classification حصر وتصنيف الأراضى Soil survey.
- علوم تطبيقية تدرس مدى صلاحية الأرض للنبات والعمل على توفير الظروف الملائمة للإنتاج ومنها علم الإيدافولوجى Edaphology ويشمل معظم علوم الأراضى

مثل كيمياء الأراضى Soil Chemistry طبيعة الأراضى Soil Physics. أيضاً يشمل علم خصوبة الأراضى Soil Fertility والذي 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 العلم التطبيقى الزراعى الذى يختص بدراسة الأرض وخصائصها والتفاعلات الحادثة بها وعلاقتها بالنباتات النامية عليها والتى نهدف منها الى محاولة تحسين إنتاجية هذه النباتات كما ونوعاً.

- هذا بجانب علوم أخرى مثل صيانة الأراضى Soil Conservation، علم خدمة الأراضى Soil management والذي يهتم بدراسة العمليات الزراعية التى تحافظ على البناء المرغوب للأرض وتحرك الماء الأراضى 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 الشئ الذى يعلق بحذائها أو يتطاير ليتراكم على أثائها ويحتاج إلى الإزالة والتنظيف، والمهندس المدنى ينظر إلى الأرض على أنها مكان إقامة المنشآت بينما تعنى الأرض بالنسبة للجيولوجى بأنها المواد الجيولوجية الناتجة من تحلل الصخور والمعادن الأرضية وبالنسبة للفلاح فهى

البيئة التي تنمو فيها المحاصيل. وتعتبر هذه التعريفات محدودة المفهوم حيث أن الأرض كظاهرة تشمل مزيداً من التفاصيل أشار إليها اثنين من علماء الأراضي وهما دوكيوشيف Dokuchiev الروسى وهيلجارد Hilgard الأمريكى. وقد أشار كلٍ منهما - مستقلاً 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 والذي وضع كتعريف عام ذكر في دليل حصر الأراضي Soil Survey Manual سنة 1951 وتقسيم الأراضي 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 التي تختلف عن طبقة الصخور الواقعة تحتها كنتيجة لتفاعلات متداخلة خلال وحدة الزمن والمناخ وفي وجود الكائنات الحية الدقيقة ومادة الأصل وطبغرافية المكان". وفي هذا التعريف نجد إنه يأخذ في الاعتبار الشكل الطبيعي للأرض والعديد من التفاعلات المختلفة كعوامل من تكوين الأرض. ولذلك فالتربة عبارة عن مادة شديدة التعقيد تتكون من حبيبات معدنية والنااتجة من تجوية الصخور وأخرى عضوية والنااتجة من تحلل المادة العضوية، والكائنات الحية الدقيقة بالإضافة إلى الماء والهواء الأرضى. والتربة الجيدة تأخذ عدة مئات من السنوات حتى تتكون نتيجة التفاعلات المختلفة والتي تحدث للصخور تحت ظروف الحرارة والماء والعوامل البيولوجية بالإضافة إلى تحلل البقايا النباتية والحيوانية بواسطة الكائنات الحية الدقيقة والحيوانات الأرضية، وعلى ذلك تنشأ أرض مختلفة في صفاتها الكيميائية الأمر الذي يؤدي إلى تغير صفات التربة باستمرار. وحيث أن هناك اختلافات كبيرة في 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 الأراضى لبعضها يكون عميق وللبعض الآخر يكون سطحي. وتعتبر الأرض الزراعية (soil) هى المهد الطبيعى لنمو النبات، وفيها تمتد جذوره وتتعمق باحثه عن الماء والغذاء، وبالتالي 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:

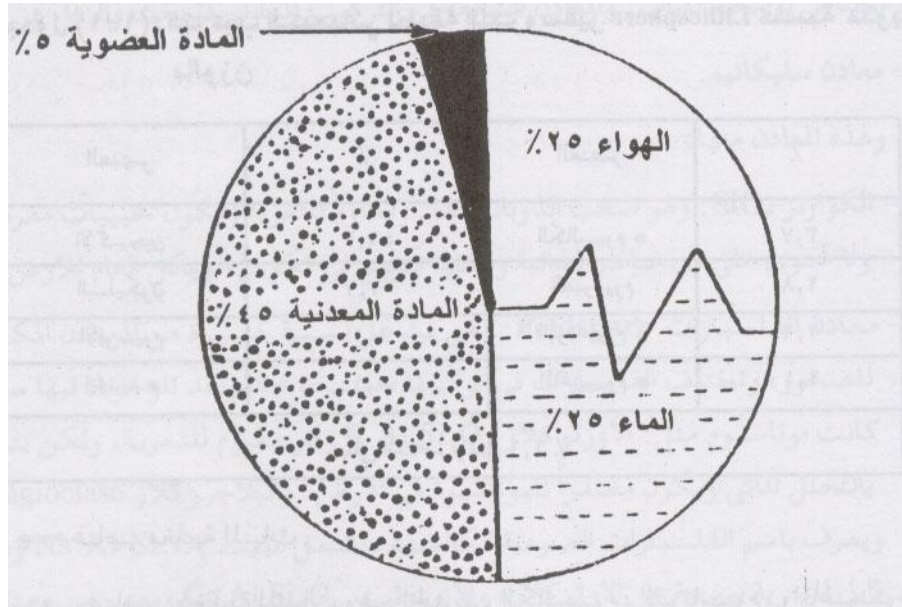
أولاً:- مادة صلبه ويطلق عليها الطور الصلب Solid phase والتمثل فى مخلوط مختلف التركيب من معادن مختلفة فى درجة تجويتها والناجمة من عمليات التجويه المختلفة، الطبيعية والكيميائية والحيوية للصخور الأصلية وكذلك من مواد عضويه ناتجة من تحلل بقايا النباتات والحيوانات والكائنات الدقيقة.

ثانياً:- ماء ويطلق عليه الطور السائل Liquid phase والذي يعبر عنه بالمحلول الأراضى Soil Solution، وهو المحلول الناتج عن إذابة المواد السهلة الذوبان سواء كانت عضويه أو غير عضويه(معدنية) والموجودة فى الأرض عند تعرضها للماء.

ثالثاً:- الصورة الأخيرة وهى الهواء الأراضى ويطلق عليها 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 المتلى لنمو النبات، ممثله فى 50% جزء صلب (45% معدنى، 5% عضوى) بالحجم والـ 50% الأخرى عبارة

عن المسافات البينية بين الحبيبات Pore spaces وهي 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 في العادة أقل من 1 جم/سم³ وبالتالي يكون حجمها كبير وعلى هذا يمكن أن يتغير حجم الجزء الصلب على حساب المسافات البينية. وفي نفس الوقت أيضا يمكن يتغير حجم الجزء السائل على حساب الجزء الغازى والعكس. وعلى هذا يمكن أن يحدث تغير طفيف في نسب هذه المكونات من أرض إلى أخرى وفي نفس الوقت من زمن إلى



الطبقة السطحية للتربة الزراعية حجماً

آخر لنفس الأرض. وعموماً يكون التغيير ملحوظ في حجم الطور السائل والطور الغازي بسرعة تحت الظروف الطبيعية. ويرجع ذلك لظروف المناخ - نمو النبات - الري وخلافه. وبصفة عامه تتواجد هذه المكونات الأربع للأرض في حالة تداخل واختلاط شديد مع بعضها البعض مما يؤدي إلى كثرة التفاعلات داخل كل مكون أو بين المكونات الثلاثة بعضها البعض مما ينشأ عنه تغيرات محسوسة في الظروف المحيطة بنمو النبات. ومن الطبيعي أن تكون الكمية الممتصة من العناصر الضرورية للنبات متوقفة على كميتها في التربة وبالتالي الصورة التي تتواجد عليها في الأطوار الثلاثة المكونة للنظام الأرضي. وعلى هذا سوف نتناول صور تواجد العناصر في كل مكون من المكونات السابقة:-

1- صورة تواجد العناصر في الطور الصلب

يعتبر الطور الصلب بما يحتويه من حبيبات معدنية وعضويه هو المصدر الرئيسي لمعظم المغذيات النباتية. وتمثل المادة المعدنية حوالي 95% من وزن الجزء الصلب في الأراضي المعدنية وهذه المادة المعدنية تنتج من عمليات التجوية الطبيعية والكيميائية والحيوية للصخور والرواسب التي تتكون منها الأرض وعلى ذلك فهي تعكس الصفات الخاصة لصخور مادة الأصل التي نشأت منها. وعموماً لا تتواجد العناصر الغذائية في صورته منفردة في الأرض، بل تتواجد في صورة مركبات كيميائية معدنية وعضويه ويمكن تقسيم هذه المركبات إلى:-

أولاً: المعادن الأولية: Primary minerals

وهي المعادن السائدة في الجزء الخشن من الأرض كالسلت والرمل (2،، -
 5،، مم) وهذه المعادن تنتج من تفتت الصخور بفعل عوامل التجوية الطبيعية والتي لم
 يتغير تركيبها الكيميائي عما كانت عليه في الصخر الأصلي. وترجع أهمية هذه
 المعادن إلى أنها مخزن للعناصر الغذائية التي يحتاجها النبات. ويتعرض هذه المعادن
 للتجوية الكيميائية (مثل الذوبان -التحلل المائي-الكربنة) تتطلق العناصر الغذائية
 الموجودة بها إلى المحلول الأرضي على صورته ميسره للامتصاص بواسطة النبات.
 والمعادن الشائعة في التركيب المعدني للسلت والرمل هي

أ-معادن سليكاتيه:

وهذه المعادن منها:-

1-الكوارتز SiO_2 : وهو صعب الذوبان جداً. ومقاوم للتعرية ويكون حبيبات مفردة.
 ولا تحتوى على أى عناصر غذائية ولكنها تُسهم في تكوين الهيكل العام للأرض.

2-معادن الفلدسبارت **Feldspars**: وهي تشكل نسبة كبيرة من المعادن المكونة
 للصخور، وتختلف الفلدسبارت في تركيبها حسب نوع القواعد الموجودة فيها سواء
 كانت بوتاسيوم مثل الأورثوكلاز $K Al Si_3O_8$ وهو مقاوم للتعرية ولكن يتأثر
 بالتحلل المائي ويكون مصدر للبوتاسيوم في الأرض. والبلاجيوكلاز **Plagioclase**

وتعرف باسم الفلدسبارات الصودية الكالسيه وتشمل البيت $\text{Na Al Si}_3\text{O}_8$ وهو قابل للتعرية بسرعة عن الأرتوكلاز، والأنتروثيت $\text{Ca Al Si}_2\text{O}_8$ ويعتبر من مصادر الكالسيوم فى الأرض.

3-معادن الميكا Micas : وهى تتبع مجموعة السليكات الورقية والصفائيه ومنها ميكا مسكوفيت Mica Muscovite ورمزها الكيميائى $\text{K}(\text{Si,Al})_4\text{Al}_2\text{O}_{10}(\text{OH})_2$ وتسمى بالميكا البيضاء وعند تحللها تعطى معادن الطين وعنصر البوتاسيوم. ومنها أيضا " الميكا السوداء Biotite Mica ورمزها الكيميائى $\text{K}(\text{Si,Al})_4(\text{Fe,Mg})_3\text{O}_{10}(\text{OH})_2$ ولونها غامق وعند تحللها ينطلق البوتاسيوم والحديد.

4-الأمفيبولات والبيروكسين Amphiboles & Pyroxene : ومنها الأوجيت (بيروكسين) $(\text{Ca Mg,Al, Fe})\text{Si}_2\text{O}_6$ والهورنبلند (أمفيبول) $(\text{Ca Mg,Na, Fe, Al})\text{Si}_4\text{O}_{11}$ وهذه المعادن عند تجويتها تعطى معادن الطين، وتكون مصدر لعناصر البوتاسيوم والماغنسيوم والحديد.

5-الأوليفينات Olivines : ورمزها $\text{SiO}_3(\text{Mg,Fe})$ ، 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) والفيلايت (سليكات حديدوز).

6-التورمالين Tourmaline : ورمزها $\text{Na}(\text{Mg},\text{Fe})_3\text{Al}_6(\text{BO}_3)_3$ ويعتبر هذا المعدن ذو أهميه خاصه من وجهة نظر كيمياء الأراضى وتغذية النبات لإحتوائه على عنصر البورون.

ب-المعادن غير سليكاتيه:-

وتشمل هذه المجموعة مايلي:

1-معادن الكبريتات والكبريتيدات: ومن أهمها الجبس Gypsum ورمزه الكيمائى $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ويتراكم فى أراضى المناطق الجافه وشبه الجافه. ومن أمثله الكبريتيدات معدن Pyrite (كبريتيد حديد FeS_2) وهو مصدر للحديد والكبريت.

2-معادن الفوسفات : وأشهرها معادن مجموعة الأباتيت Apatitegroup وتركيبها العام $\text{Ca}_{10}(\text{F},\text{OH},\text{GL})_2(\text{PO}_4)_6$ وهى المصدر الأساسى للفوسفات فى الأرض.

3- معادن الكربونات: وأكثرها شيوعاً فى الأراضى الكالسيت CaCO_3 والماغنيسيت MgCO_3 والدولوميت $(\text{Ca},\text{Mg})(\text{CO}_3)_2$ والسيدريت FeCO_3 ولكنها أقل شيوعاً. وهذه المركبات قليلة الذوبان فى الماء وتذوب نسبياً فى المحاليل الحمضيه، وتعتبر مصدراً للكالسيوم والماغنسيوم.

4 - الأكاسيد والأيدروكسيدات: وهى تكون فى صورة مساحيق مغلفة لحبيبات الرمل والسلت والطين. ومن أمثله المعادن التى تتواجد فى الجزء الخشن من الأرض، أكاسيد الألمونيوم مثل الكوراندوم Al_2O_3 ، الهيماتيت Fe_2O_3 ، المجناتيت Fe_3O_4 وهذا المركب يكسب الأرض اللون الأحمر.

ثانياً: المعادن الثانوية Secondary Minerals

وتشمل المعادن التي تنتج من التجوية الكيميائية للمعادن الأولية، وعلى ذلك فيكون لها تركيب كيميائي جديد وتتواجد هذه المعادن غالباً في الجزء الناعم من الأرض والذي يقل قطر حبيباته عن 2 ميكرون. ويطلق على هذا الجزء الناعم من الأرض اسم الطين Clay.

جدول (1 -1): تركيب وصفات أهم معادن الطين

المعدن نوع المعدن تركيب الطبقات	الكاولينيت	الإيليت	المعادن المتحولة	الفيرميكيوليت	المونتموريلونيت	الكلوريت ١:١:٢
← ← ←	١:١ Si Al		Si, Al Al, Fe, Mg Si, Al		١:٢	Si, Al Al, Fe, Mg Si, Al Al, Fe, Mg
موقع الإحلال المتماثل	-		لساسا في طبقة التتراهدرا		لساسا في الأوكتاهدرا	في التتراهدرا والأوكتاهدرا
مقدار شحنة الوحدة	صفر تقريبا		٠,٩٠ - ٠,٦٦		٠,٦٥ - ٠,٦٠	صفر تقريبا
القدرة على التمدد	-	-	+	++	+++	-
وجود اسطح داخلية	-	-	+	++	+++	-
سعة إدمصاص الماء	+	+	++	+++	++++	+
سعة إدمصاص الأيونات	+	+	++	+++	+++	+
قدرة حجز اليوناتيوم	-	-	+	++	+++	-
الليونة والإنصاف	+	+	+	++	+++	+

ويتركب الطين من حبيبات تختلف في تركيبها الكيميائي والمعدني، وتنتمي إلى أكثر من مجموعة من المركبات والمعادن المختلفة، جدول (1) يوضح باختصار تركيب وصفات تلك المجموعات. وترجع أهمية المعادن الثانوية إلى زيادة سطحها النوعي والذي يحمل شحنات كهربائية الغالبية العظمى منها تكون سالبة والذي يدمص عليه الكاتيونات الغذائية. ويمكن لهذه الكاتيونات أن تنطلق إلى المحلول الأرضي عن طريق عملية التبادل الأيوني وعلى ذلك نجد أن المعادن الثانوية تتحكم في تركيز الأيونات المختلفة في المحلول الأرضي، وبالتالي السعة التبادلية الكاتيونية والتي لها دور أساسي في تغذية النبات.

مصدر الشحنة السالبة على أسطح الطين

1+ - الإحلال المتماثل Isomorphous substitution

ويعتبر المصدر الرئيسي للشحنة السالبة لمعادن الطين. وهو إحلال كاتيونات ذات تكافؤ أقل محل كاتيونات أخرى ذات تكافؤ أعلى في الوحدة البلورية للمعدن مما يجعل صافي الشحنة سالب (لأن صافي الشحنة للبلوره قبل الإحلال متعادل). والإحلال الشائع هو إحلال الألمونيوم الثلاثي محل أيون السليكون الرباعي

فى طبقة التتراهيدرا، وكذلك إحلال الماغنسيوم والحديد الثنائى محل الألمونيوم فى طبقة الأوكتايدرا. 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 ممسوكه بقوه أكبر إذا كان مصدر الشحنة هو طبقة التتراهيدرا كما هو الحال فى معدن الميكا والفيرميكيولايت. وتكون ممسوكه بقوة اقل إذا كان مصدر الشحنة هو طبقة الأوكتايدرا. كذلك يعتبر الإحلال المتماثل المصدر الأساسى للسعة التبادلية الكاتيونية فى معادن (1:2) مثل المونتي موريللونيت والفيرميكيولايت، أما مجموعة (1:1) ومنها الكاؤولينيت فتتميز بانخفاض شحنتها نظراً لعدم وجود إحلال متماثل فى وحداتها البنائية.

2- الروابط المكسورة Broken bonds

عند تكسير المعدن إلى حبيبات صغيرة فإننا نجد أن الروابط الموجودة على الحواف تصبح غير مشبعة وبتزايد عدد هذه الروابط المكسورة تزداد السعة التبادلية الكاتيونية 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

المحلول الأرضى مما يُكسب هذه المعادن القدرة على التبادل الأيونى. وبالتالي يمكن لهذه الأيونات (كاتيونات) أن تخرج إلى المحلول الأرضى مرة أخرى. 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 . والأخيرة 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 -المونتي موريللونيت والتى تختلف فى سعتها التبادلية الكاتيونية ما بين 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 فى تحديد الخواص الطبيعية والكيميائية للأرض، فكلما زاد مقدارها فيها كلما زادت الأرض تماسكاً وقدره على حفظ الماء وقل فقد الماء منها بالرشح والبخر، واتسعت قدرتها على اختزان عناصر الغذاء النباتى فى صورته صالحة للاستعمال. ويمكن إيجاز أهمية كمية الطين فى التربة الزراعية إلى:-

1- أن الطين ذو أقطار تدخل فى حدود الأقطار الغروية، ولذلك فإن سطحه النوعى كبير جداً مما يترتب عليه زيادة كبيرة فى الماء الممتص أو المرسب على صورة ماء أيجروسكوبى، وعلى هذا تتوافر البيئة الصالحة لنمو النبات.

2-الطين حساس للإلكترونات 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 وبالتالي فهي مصدر هام لهذه العناصر .

5-محتوى الأرض من الطين يكون دلالة على مدى شدة عملية التجوية الكيميائية المختلفة والتي تعرضت لها أثناء تكوينها.

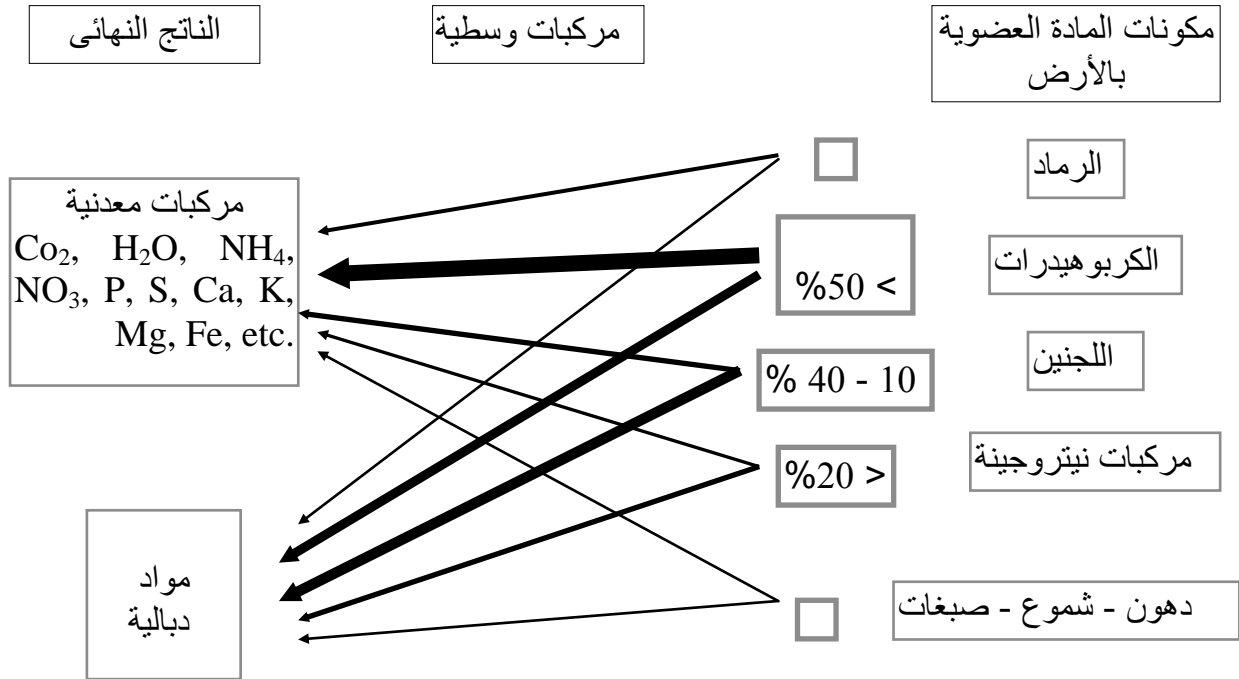
6-السعة التنظيمية Buffering capacity للطين (مقاومة الطين للتغير فى تركيز أيون الأيدروجين أى بعبارة أبسط التغير فى رقم PH الأرض). وتتأثر بوجود الغرويات المعدنية والعضوية، مثل الطين والدبال، والتي تعمل كأحماض ضعيفة التآين، كما ترجع إلى وجود الكربونات، وخاصة مركبات الكالسيوم والماغنسيوم. والواقع أن قدرة 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 الكيميائي، وعموماً يختلف محتوى الأراضى من المادة العضوية، وتكون نسبتها فى الأراضى منخفضة وخاصة فى المناطق الجافة ذات المناخ الحار. وتوجد فى حالة مخلوط مع معدن التربة، وهى تتكون من مخلفات النباتات والأحياء وأهمها الجذور والأوراق المتساقطة ومخلفات المحاصيل عند الحصاد. كذلك من الكائنات الحية الدقيقة الأراضية مثل البكتيريا الطحالب الفطريات الديدان الأراضية. 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 (تستخدمها كمصدر للطاقة) إلى تغيرات فى كميات العناصر الغذائية المكونة لها وفى نسب هذه العناصر بعضها لبعض حيث تُفقد بعض العناصر مثل الكربون والأوكسجين والأيدروجين بكميات كبيرة، والبعض الآخر مثل النيتروجين والفوسفور والكبريت بكميات أقل. وشكل (1-أ) يوضح تركيب المادة العضوية المادة العضوية بالأرض ونواتج تحللها.

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

- 1- طبيعة المادة العضوية المتحللة، كنوع النبات النامى وعمره وتركيبه الكيميائى.
- 2- خواص الأرض، من حيث ملائمتها 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.



شكل (1-أ): نواتج حدوث عملية المعدنة وتكوين الدبال للمادة العضوية بالأرض.
المصدر: (Schroeder, 1984)

الناتج النهائي لتحلل المادة العضوية عبارة عن مجموعة من العناصر المعدنية بجانب مادة معقدة التركيب وبطيئة التحلل يطلق عليها اسم الدبال Humus وهو عبارة عن مادة عضوية وصلت في انحلالها إلى درجة متقدمة، وهي غير متجانسة في تركيبها الكيميائي ذات لون متغير بين البني والأسود وهو لا يشبه تماماً المادة العضوية الناشئة منها. ومن خصائص الدبال بأنه عبارة عن مادة غروية لها أسطح نشطة عليها شحنات سالبة 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 أى تؤدى إلى نشوء التجمعات الأرضية (Soil aggregates) وبالتالي تقلل من انجراف التربة وتحسن من فلاحه هذه الأرض. وبالتالي 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.

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

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

5- قد تكون مصدراً لبعض الهرمونات ومنظمات النمو الطبيعية للنباتات النامية.

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

7- عند تحلل المادة العضوية فى الأرض تتكون بعض الأحماض العضوية 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 الدبال بأن السعة التبادلية الكاتيونية له عالية. وهى ذات فائدة كبيرة خصوصاً للأرض الرملية ذات السعة التبادلية المنخفضة. كذلك وجود الدبال يُكسب

الأرض لونها داكناً، وبذلك تزداد قدرتها على امتصاص الأشعة الحرارية من الشمس مما يزيد من النشاط الميكروبي. أيضاً يزيد الدبال من السعة التنظيمية للأرض.

الفصل الثانى

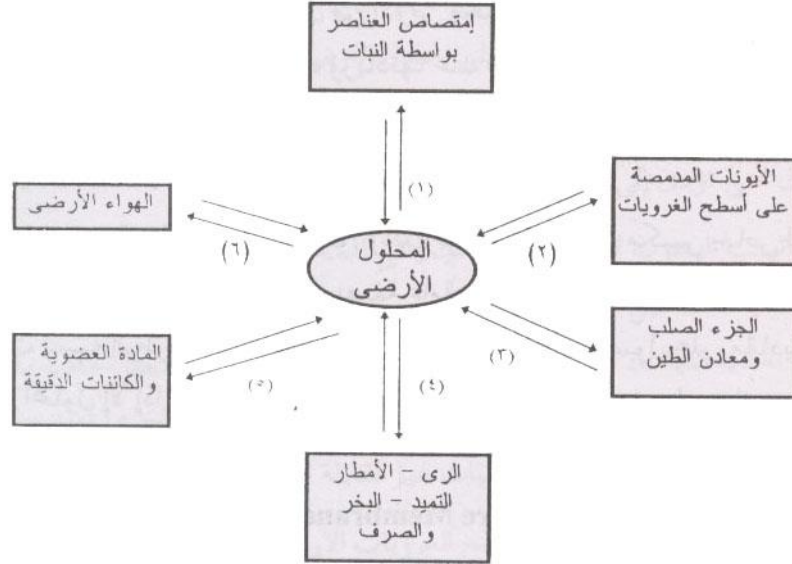
المحلل الأرضى Soil Solution_

يقصد بالمحلل الأرضى ذلك السائل الذى يوجد فى الأرض تحت الظروف الحقلية العادية وهو عبارة عن محلول إلكترولىتى (ممسوك ضد قوى الجاذبية الأرضية) مخفف لأملاح Na, K, NH₄, NO₃, HCO₃, Ca, Mg, CL, SO₄ وكميات صغيرة لأيونات صعبة الذوبان فى الماء من أملاح Fe, Mn, Cu ومركبات عضويه ذائبة لها صفات مخليه تساهم فى زيادة نشاط صلاحية العناصر للنبات، ومواد غروية وقد يحتوى على ملوثات عضويه أو غير عضويه كنتيجة للنشاط الانسانى. وكل هذه المكونات السابقه تكون فى حالة اتزان متجدد مع بقية مكونات الأرض ويعتبر المحلل الأرضى أكثر أجزاء الأرض نشاطاً، حيث يتم فيه العديد من التفاعلات الكيميائية ويكون مصدراً مباشراً لما يحتاجه النبات من العناصر الغذائية والتي تتعدد مصادرها (ناتج تجوية معادن الأرض - تحلل المادة العضوية - تترسب من الجو - إضافة الأسمدة - تسرب العناصر من مناطق أخرى).

وعموماً لا تمثل الكمية الذائبة من العنصر إلا كمية بسيطة من الكمية الكلية فى النظام الأرضى. فمثلاً متوسط مخزون البوتاسيوم فى الأرض حوالى 30000 كجم/فدان لعمق 15سم بينما لاتزيد الكمية الذائبة عن 10-30 كجم/فدان فقط . وبالنسبة للفوسفور تصل الكمية الكلية فى المعادن إلى 1000 كجم/فدان/15سم ولكن الكمية الذائبة فى المحلل الأرضى لا تزيد عن 1-1 كجم. والعكس مع الكلوريد حيث يمكن أن يتواجد جزء كبير من مخزونة الكلى الموجود فى الأرض ذائباً فى المحلل الأرضى وذلك لارتفاع درجة ذوبان مركباته.

ويتوقف تركيب وتركيز المحلول الأرضي على عدة عوامل منها نسبة الرطوبة في الأرض -نوع الأرض وعوامل تكوينها - المناخ (الحرارة والرطوبة) - والمعاملات الزراعية (رى، صرف، زراعة، تسميد) وعلى هذا تتغير المكونات الموجودة في المحلول الأرضي باستمرار لأنه يرتبط ارتباط وثيق بعمليات كيميائية وحيوية بنظم أخرى محيطية به تؤدي إلى تغير نوع وتركيز مكوناته باستمرار كما يوضح الرسم شكل (2). حيث يتضح أن التفاعلات بين المحلول الأرضي وكل مكون من مكونات الأرض تفاعل عكسي (أى يحدث إتران) ويمكن مناقشة تلك التفاعلات المختلفة باختصار كما يلي:-

- 1- يحدث امتصاص للعناصر المغذية من المحلول الأرضي، وفي نفس الوقت يحدث انفراد لبعض المركبات العضوية البسيطة والأيدروجين وغاز ثاني أوكسيد الكربون (من جذور النباتات) الذي يذوب في الماء ويصبح الوسط حامضي وينتج عن ذلك ذوبان بعض مركبات الأرض الصلبة.
- 2- تدخل الكاتيونات والأنيونات الموجودة في المحلول الأرضي في تفاعلات التبادل الأيوني والإدمصاص على أسطح الغرويات الأرضية.



شكل (2) : العلاقة بين مكونات المحلول الأرضي ومكونات الأرض الأخرى

- 3- حدوث انحلال وإذابة لبعض المعادن وبالتالي تنطلق بعض العناصر إلى المحلول الأرضي أو يحدث ترسيب لبعض العناصر في صورة معادن ويتوقف ذلك على درجة التشبع لمكونات هذا معدن وخاصة المعادن الغير متبلوره Amorphous (إذا أصبح المحلول الأرضي فوق التشبع لمكونات المعدن يحدث ترسيب والعكس إذا كان المحلول تحت التشبع).
- 4- مياه الأمطار والرى تُحدث تخفيف للمحلل الأرضي بينما عمليات الصرف والتسميد والتبخير تُزيد من تركيز الأيونات به.
- 5- تؤثر كل من المادة العضوية والكائنات الدقيقة الحية على إتزان المحلول الأرضي حيث تستمد الكائنات الحية الدقيقة حاجتها من العناصر من المحلول الأرضي، وأيضاً

تتفرد عناصر أخرى نتيجة تحلل المادة العضوية بفعل تلك الكائنات وأيضاً تحلل تلك الكائنات بعد موتها.

6- المحلول الأرضي في حالة اتزان مع الطور الغازي والهواء الأرضي، فقد يحدث انطلاق لبعض الغازات الموجودة بالمحلول الأرضي إلى الهواء الجوي أو يحدث إذابة لبعض مكونات الهواء الأرضي في المحلول الأرضي.

وعلى هذا نجد أن كل أيون ذائب في المحلول الأرضي يكون في حالة إتزان مع الصورة الصلبة والصورة المدمصة وباقي المكونات الأخرى.

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 في التركيب الكيميائي له. وهناك عدة طرق للحصول على المحلول الأرضي نذكر منها ما يلي:-

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

2- طريقة غشاء الضغط Pressure membrane method : وتستخدم 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 في هذه الحالة حوالي 15 ضغط ج وهي كافية لاستخلاص المحلول الأرضي حتى نقطة الذبول. وتعتبر هذه الطريقة هي

والسابقة (1) من أفضل الطرق حيث إنها لا تسبب تغييراً في التركيب الكيميائي للمحلول ويكون مماثلاً للحقيقة تقريباً. ومثل السابقة يُعيبها قلة الكمية المُتَحصَل عليها.

3-طريقة الإحلال أو الإزاحة Displacement method: وفيها يتم إحلال سائل غير فعال Inert Liquid محل المحلول الأرضي، وبذلك يزاح المحلول الأرضي منها دون أن يتأثر تركيبه الكيميائي بشرط أخذ احتياطات معينة مثل قياس الانخفاض في درجة التجمد ومتابعة التغير في تركيز المحلول بقياس درجة التوصيل الكهربائي له.

4-طريقة الترشيح Filtration method: وفيها توضع الأرض في جهاز ترشيح يعمل تحت جهاز تفريغ عالي يُمكن من 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 مسامي به ورقة ترشيح مثل قمع بخنر Buchner، وتُعرض لتفريغ كافي للحصول على المحلول الأرضي.

6-طريقة الطرد المركزي السريع Rapid Centrifugation: وتعتبر أحسن وأسرع الطرق التي تؤدي إلى الحصول على المحلول الأرضي الحقيقي.

ولقد أثبتت البحوث أن التركيب الكيميائي للمحلول الأرضي يختلف تبعاً لفصول السنة كما يختلف قبل الحصول عنه بعده. وبالرغم من أن دراسة المحلول الأرضي مهمة من ناحية تغذية النبات غير إنه 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 قابله للذوبان في المحلول الأرضي منها:-

أ - خروج بعض الأيونات من على أسطح الغرويات والتي يمكن ان يستفيد منها النبات بعد خروجها مباشرةً

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

ج - اختلاف معدل امتصاص النبات للعناصر المختلفة تبعاً لدرجة نموه وعمره.

د - أن النبات لا يأخذ كل احتياجاته من العناصر الذائبة في المحلول، بل يمكنه الحصول على بعض العناصر بالتبادل الأيوني 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 في المحلول الأرضي.

3-العناصر الغذائية الموجودة في الهواء الأرضي

يعتبر الجزء الغازي Gaseous phase من التربة من أهم محتوياتها ويطلق عليه اسم الهواء الأرضي. ويوجد في المسافات البينية في صورة حره كما يوجد ذائباً في ماء التربة. وهو جزء فعال فيها ولكنه غير ثابت التركيب والمكونات حتى في التربة الواحدة، وعلى الرغم من أنه أساساً جزء من الهواء الجوي، غير إنه يختلف عنه في ثلاث اعتبارات :- أهمها احتواؤه على نسبة أعلى من غاز ثاني أكسيد

الكربون - احتواؤه على مقدار أقل من الأوكسجين - إنه مشبع ببخار الماء إلا في الأراضي الجافة. ويرجع ذلك لبطء حركته في التربة وعدم اتصاله السريع بالهواء الجوى لاتصاله الدائم بالأغشية المائية المغلفة لحبيبات التربة. مع وجود عمليات حيوية دائمة في التربة مثل تنفس الجذور والأحياء الأرضية نجد أن نسبة CO₂ تزداد دائماً عنها في الهواء على حساب نقص الأوكسجين ويرجع ذلك إلى عمليات التنفس التي تقوم بها الكائنات الحية بالتربة والتي تستهلك الأوكسجين وتخرج ثاني أكسيد الكربون (جدول 2).

جدول (2) مقارنة بين مكونات الهواء الجوى والهواء الأرضى (%)

الغاز	الهواء الأرضى	الهواء الجوى
الأوكسجين	20	21
النيتروجين	78.6	78.3
ثاني أكسيد الكربون	0.2-0.5	0.03

ويتوقف تركيب الهواء الأرضى على معدلات التفاعلات الكيميائية والحيوية وخواص الأرض الطبيعية المتصلة بعملية التهوية والهواء الأرضى لازم أساسى لحيوية التربة والنبات النامى بها ولعمليات الأكسدة والكرينة 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 أوكسجين لى تقوم بدورها فى التربة. فإذا طُرد الهواء من الأرض نتيجة لتراكم الماء بها وقلت كمية الأوكسجين اللازم لها وقف نشاط الكائنات الهوائية وحل محلها فى النشاط

البكتريا الا هوائية التي تستمد الأوكسجين من مركباته فى التربة فتعمل على اختزال هذه المركبات ومنها النترات والكبريتات .

أما النبات النامى فى الأرض فيلزم له الهواء فى طورى الإنبات والنمو، ففي طور الإنبات تحتاج البذور إلى نسبة معينة من الأوكسجين تتوقف على نوع البذور. فالبقوليات تحتاج إلى كثير منه بينما البصل والأرز لا تحتاج إلا إلى مقادير قليلة. وبعض النباتات النصف مائية يمكنها استعمال الأوكسجين الذائب فى ماء التربة مثل نباتات الأرز. ولكن الهواء عموماً لازم لتنفس الجذور أياً كان نوع النبات النامى. وفى الوقت نفسه تحتاج عمليات الأكسدة والكرينة فى التربة إلى وجود مكونات الهواء وهى الأوكسجين 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 مباشرة. وتقوم بعض الكائنات الدقيقة بتثبيت هذا النيتروجين وتحوله 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 في صورة معادن شحيحة الذوبان على صوره غير صالحة لامتصاص النبات، ولكن يمكن أن تتحول ببطء إلى صوره صالحة نتيجة لفعل عوامل التجوية الكيميائية.

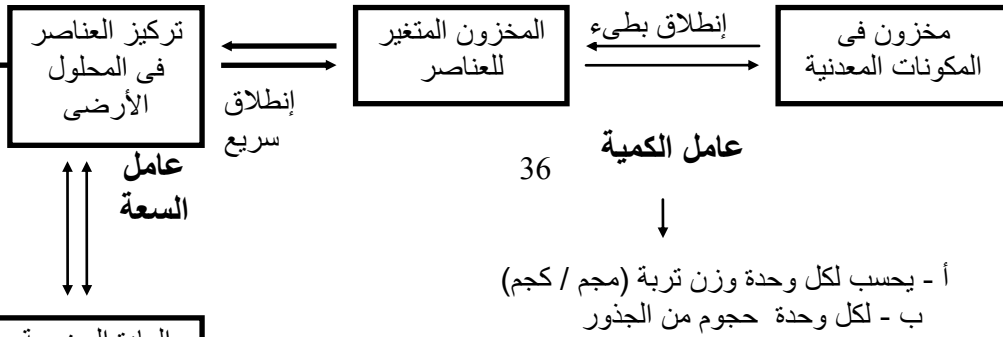
4- موجودة في المادة العضوية على صوره غير ذائبة وغير صالحة للامتصاص، وبتحلل تلك المواد بواسطة الكائنات الدقيقة تتحول إلى الصورة الصالحة. ويمكن تعريف الصورة الصالحة من العنصر بأنها هي الصورة أو الصور من العنصر الضروري للنبات والموجودة في التربة والتي عند حدوث تغير في كميتها يقابله تغير في نمو النبات وأيضاً في محصوله.

وتتوقف قدرة الأرض على إمداد النبات بحاجته من العناصر الغذائية على :

1- كمية العنصر الذائب في المحلول الأرضي ويمثل ذلك بما يسمى بعامل الشده Intensity Factor حيث أن ذلك يمثل المصدر الأول والمباشر للعناصر الممتصة بواسطة النبات. ويمكن القول بأن وفرة العنصر الغذائي بالتربة لتلبية احتياجات النباتات لا تعتمد على تركيز العنصر في المحلول الأرضي، بل على المصادر التجهيزية للطور الصلب والتي يعبر عنها بعامل الكم أو عامل السعه.

2- قدرة الأرض على تجديد تركيز المحلول الأرضي عند انخفاضه ويسمى بعامل السعة Capacity Factor أو عامل الكم Quantity Factor والذي يمثل المخزون من العنصر في الطور الصلب والقابل للانتقال إلى المحلول الأرضي لتعويض نقصه خلال فترة حياة النبات، و يمكن تحديد عامل السعه (الكمية) بالتالي:-

أ - كمية العنصر الموجودة في حالة توازن سريع مع ما هو موجود منه في المحلول الأرضي . مثال ذلك الأيونات (البوتاسيوم والفسفور) المدمصة على ال سطح الخارجية للغرويات الأرضية.



ب - الكمية من العنصر التي في حالة اتزان متوسط مع ما هو موجود منه في المحلول الأرضي، مثال ذلك البوتاسيوم والأمونيوم المثبت Fixed والفسفور المرسب حديثاً.

ج - الكمية الموجودة في حالة اتزان بطيء مع الكمية الموجودة في المحلول الأرضي ومثال ذلك النيتروجين والفسفور والكبريت الموجود في تركيب المادة العضوية والذي يحتاج إلى وقت لكي يتحول إلى صوره صالحة للنبات. أيضاً المركبات القليلة الذوبان مثل مركبات الفوسفور وبعض مركبات العناصر الصغرى . ويوضح شكل (3) توزيع العنصر في الصور المختلفة (حسب درجة تيسره) وطبيعة التوازن بين هذه الصور.

من السابق يتضح أن التفاعل المستمر ما بين المحلول الأرضي ومكونات الأرض المختلفة يتأثر ببعض العمليات الكيميائية والتي من أهمها :-

- 1- التبادل الأيوني وتأثره بالسعة التبادلية الكاتيونية.
- 2- عمليات ذوبان وترسيب العناصر ويتحكم فيها رقم PH الأرض . وسوف نتناول فيما يلي كل عملية بشيء من الإيجاز وأثرها على توفر العناصر الغذائية في صوره ذائبة.

التبادل الأيوني والسعة التبادلية الكاتيونية

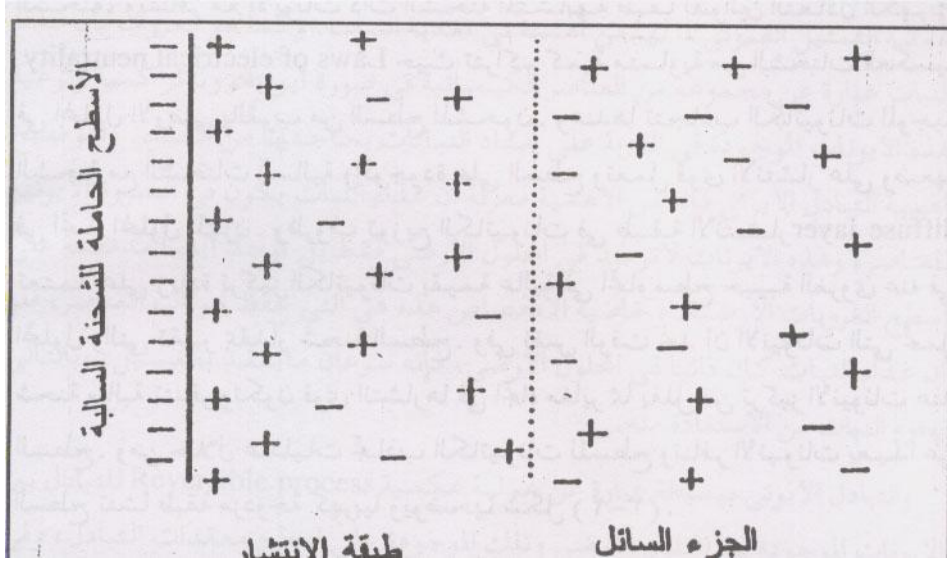
Ion Exchange and Cation Exchange Capacity

تعتبر تفاعلات التبادل الأيوني من أكثر التفاعلات الموجودة في الطبيعة أهمية بعد عملية التمثيل الضوئي لما لها من أهمية في تغذية النبات. وكما هو معروف بأن غذاء النبات عبارة عن مجموعة من العناصر الكيميائية في صورة أيونية وتؤثر كمية ونوعية تلك الأيونات الموجودة في التربة على إمداد النباتات بحاجتها من الغذاء. ولتوضيح أهمية التبادل الأيوني فإنه من الأهمية معرفة أن غذاء النبات يكون في الصورة الأيونية للعناصر وهذه الأيونات لا توجد في المحلول الأرضي فقط بل توجد أيضا مدمصة على أسطح الغرويات الأرضية، فإذا كان غذاء النبات ذائبا في المحلول الأرضي فإنها سرعان ما تفقد بالغسيل خلال التربة وبالتالي يحرم النبات منها.

والتبادل الأيوني ببساطة عبارة عن عملية عكسية reversible process للتبادل بين الأيونات الموجودة في المحلول الأرضي وتلك الموجودة على أسطح معقدات التبادل، وفي حالة تلامس أسطح معقدات التبادل فمن الممكن أن يحدث التبادل بين الأيونات دون مرور الأيون بالمحلول الأرضي وهذا ما يعرف بالتبادل بالتماس. ويشمل التبادل الأيوني 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 يهمننا من تلك المكونات هو الجزء الصلب سواء كان معدني أو عضوي. ويتكون الجزء المعدني من التربة من مكونات صلبة للمعادن الأولية والثانوية والتي هي عبارة عن حبيبات من الصخور ذات أحجام متدرجة في الحجم من الحجم الكبير حتى يصل إلى الحجم الصغير في نطاق الحجم الغروي. بينما الجزء العضوي يتكون من البقايا النباتية والحيوانية

الموجودة في مختلف مراحل تحللها، بما فيها من دبال. ويعتبر الجزء الناعم من التربة والذي يقل قطر حبيباته عن 20 ميكرون هو قاعدة التبادل الأيوني، 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 الأساسي في تفاعلاتها. وكذلك أهمية بناء الطين وحبيباته والتي لها دور كبير في القدرة على ربط الأيونات على سطوحها وتبادلها مع غيرها من الأيونات في الوسط المحيط. ويجب أن نتخيل الصورة العامة للتربة ككتلة من الحبيبات المحاطة بالمحلول الأرضي وهذه الحبيبات يكون لها القدرة على التجاذب ومسك الأيونات المخالفة لها في الشحنة وتتنافر مع الأيونات ذات الشحنة المتشابهة طبقاً لقوانين التعادل الكهربى *the laws of Electrical neutrality* ، حيث تتراكم كمية متساوية من الشحنات العكسية في المحلول الأرضي بالقرب من السطح المشحون. وعندها تتجاذب الكاتيونات الموجبة الشحنة مع الشحنات السالبة والموجودة على السطح وتعمل قوى الانتشار على وضعها في اتجاه المحلول المتزن. وظروف توزيع الكاتيونات في طبقة الانتشار *diffuse layer* تعتمد على زيادة تركيز الكاتيونات بقيمة عالية في اتجاه سطح حبيبة الغروي عنه فالمحلول والتي تقدر بمقدار شحنة السطح. وفي نفس الوقت نجد أن الأنيونات التي تحمل شحنة سالبة تتنافر وتكون قوى انتشارها غي اتجاه مغاير مما يقلل من تركيز الأنيونات عند السطح. ومن خلال عمليات تجاذب الكاتيونات للسطح وتنافر الأنيونات بعيداً عن السطح تنشأ طبقة مزدوجة كهربياً ويوضحها الشكل التالي:



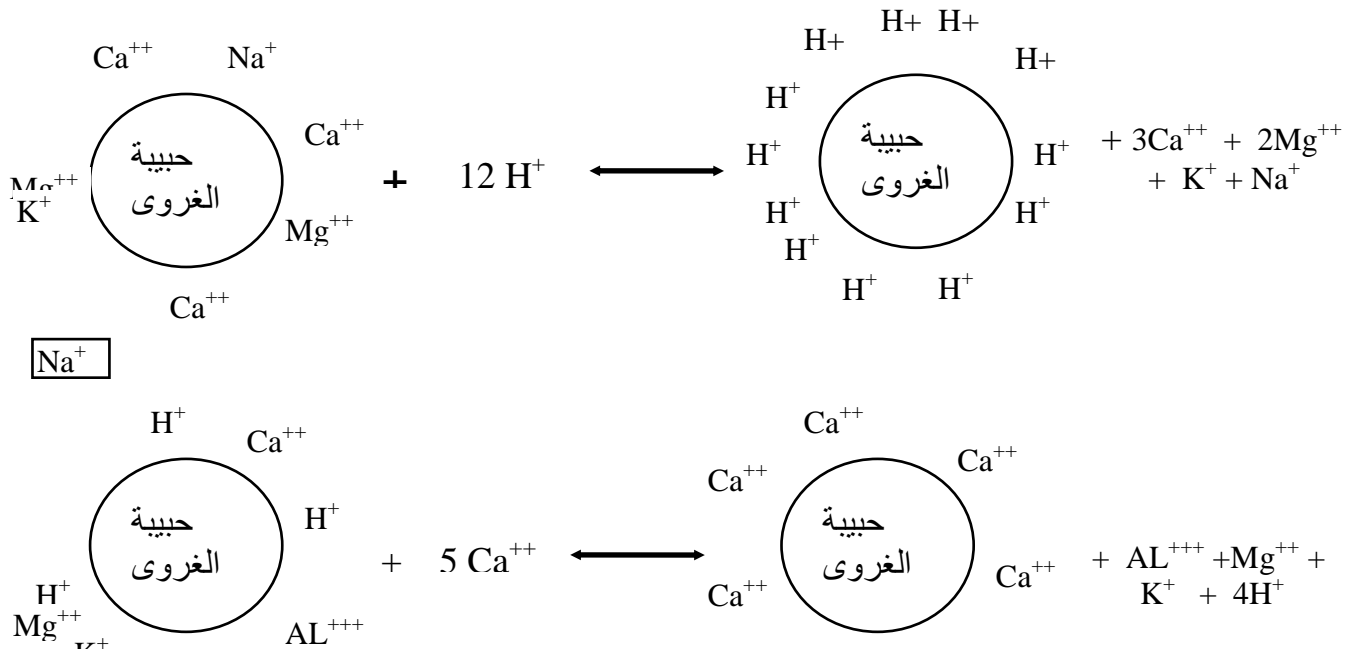
توزيع الشحنات الكهربائية في الطبقة المزدوجة

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 الكترولستاتيكية (وتسمى قوى كولومب Coulombic Forces)، وتتناسب شدة التجاذب تناسب طردياً مع حاصل ضرب شحنة الكاتيون (الشحنة الموجبة) \times شحنة الطين (الشحنة السالبة) وكذلك تناسب عكسياً مع مربع المسافة بين الشحنتين (قانون كولومب Coloumb Law) كما فى المعادلة التالية:-

$$F = a^+ \cdot a^- / D \cdot r^2$$

حيث:- F قوة الجذب، و a^+, a^- شحنة كل من الكاتيون والأنيون على التوالي و D ثابت و r المسافة بين الشحنتين.

أى أن التبادل الأيوني 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 التي تعادل شحنة الجسم مع أيونات مماثلة لها فى الشحنة كما ونوعاً أى تكافئها تماماً. وعلى ذلك نجد أن الجسم السالب الشحنة يجذب إلى سطحه كاتيونات بالقدر الذى يعادل شحنته السالبة، وأن الجسم الذى يحمل شحنة موجبة يجذب إلى سطحه أنيونات تعادل شحنته الموجبة ويمكن فى جميع الأحوال حدوث تبادل كاتيوني أو أنيوني بين تلك الممسوكة على أسطح التبادل ونظيرتها الموجودة فى الوسط المحيط، بحيث يتم التوازن بين الأيونات المتبادلة والذائبة فى الوسط.



رسم توضيحي لعملية التبادل الكاتيوني: فى المثال العلوى حدوث تبادل بنسبة 100% للقواعد الأرضية بواسطة أيون الأيدروجين 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 السفلى 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- الزيادة أو النقص فى كمية الطين فى الأرض تؤثر على قدرتها على التبادل باعتبار أن الطين هو الذى يقوم بهذه العملية. فالأرض الطينية أكبر قدره على التبادل من الأرض الطميية، والأخيرة أكبر من الرملية.
- 2- تتوقف قدرة الأرض على التبادل الكاتيوني على نوع معادن الطين، فمعادن طين ذات الشحنات الثابتة أو الدائمة (permanent surface charge or constant) وتشمل معادن من نوع 1:2 ومنها المونتي موريللونيت، الفيرميكيولايت والإيليت تكون أعلاها قدرة، بينما معادن طين ذات الشحنة المتغيرة والتي تتوقف على درجة تفاعل الأرض (pH-dependant surface charge (or variable) ومنها معادن من نوع 1:1 ومنها الكاؤولينيت تكون أقلها.
- 3- محتوى الأرض من المادة العضوية، حيث تزداد القدرة على التبادل بزيادة المادة العضوية المتحللة فى الأرض.

نقاس قدرة الأرض على التبادل الأيونى بما يسمى بالمليمكافىء لكل 100 جرام من الأرض (المليمكافىء = الوزن المكافىء للعنصر $\times 10^{-3}$). يطلق على مجموع مليمكافئات الكاتيونات المتبادلة على أسطح 100جم أرض إسم السعة

التبادلية الكاتيونية (C.E.C) Cation Exchange Capacity لهذه الأرض. جدول (3)
 (3) يبين الـ C.E.C لبعض المعادن الأرضية وبعض الأراضي.

والواقع أن هذه السعة التبادلية الكاتيونية تُشغل بالقواعد الأرضية وهي الكالسيوم ويشغل حوالي 80% من الـ C.E.C للأرض، والمغنسيوم يشغل من 5-15% منها ثم البوتاسيوم والصوديوم. وقليل من الأيدروجين والألمونيوم (H^+, AL^{+++}) حيث لا يوجدان على صورته مُتبادلة على سطوح الطين إلا في الأراضي الحمضية.

جدول (3) : السعة التبادلية الكاتيونية (C.E.C) لبعض معادن الطين
 وبعض الأراضي.

نوع الأرض أو الغروي	الـ C.E.C ملليمكافىء / 100جم
كاؤولينيت	3-15
إيليت	20-50
مونتي موريللونيت	90-130
فيريكبوليت	50-180
مادة عضوية	100-200
أرض رملية	3-5
أرض طميية	5-20
أرض طينية ثقيلة	تصل إلى 40

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 - عمليات الغسيل (الصرف) وخلافه.....

ماذا تعنى الـ C.E.C فى الأراضى 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 السعة التبادلية للأرض على قدرتها على إمداد النبات بالعناصر الغذائية . فكلما كانت القيمة مرتفعة كلما دل على كبر المخزون الغذائى وزيادة السطح النوعى للتربة.

2- تدل على توافر معادن معينة ذات سعة تبادليه عالية أو وجود نسبه عالية من المادة العضوية المتحللة ذات الشحنة العالية والسعة 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 عند سيادة أيون الكالسيوم تكون الصفات الطبيعية للتربة جيدة نتيجة تكوين التجمعات الأرضية. 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 وأن لها C.E.C (ملليمكافئات الكاتيونات المدمصه على أسطح 100جم جذر) وتتغير 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 وبالتالي تُصبح السعة الامتصاصية لها عالية وتقل بزيادة العمر. ومن الدراسات المختلفة لوحظ أن السعة التبادلية الكاتيونية لجذور النباتات ذات الفلقتين (مثل العائلة البقولية) تكون أكبر منها للنباتات أحادية الفلقة (مثل محاصيل الحبوب)، كذلك 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 سعة تبادليه عالية فتمتص الكالسيوم من فوسفات الكالسيوم صعبة الذوبان وتترك الفوسفات فى صوره صالحة لامتصاص بسهولة عن وجوده مرتبطاً بالكالسيوم .

أى أن النباتات ذات الجذور التى سعتها التبادلية الكاتيونية العالية مثل البرسيم الحجازى يمتص الكالسيوم بقوة أكبر وتفضله عن البوتاسيوم. أما النباتات ذات الجذور منخفضة فى السعة التبادلية الكاتيونية مثل القمح يقل احتفاظها بالكالسيوم وتستطيع أن تمتص البوتاسيوم بسهولة. وجدول (4) يعطى بعض الأمثلة على قيم الـ C.E.C لبعض النباتات المختلفة.

جدول (4): السعة التبادلية الكاتيونية لجذور بعض النباتات المختلفة

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

المصدر: Marschner,H (1995)

الرقم الأيروجيني للأرض PH وعلاقته بصلاحية العناصر الغذائية للنبات

يعتبر تفاعل التربة من العوامل المهمة التي تجعل الأرض وسط ملائم لنمو النباتات والكائنات الدقيقة الموجودة بها، والمقصود بتفاعل التربة هو كون هذه التربة حامضية - متعادلة - أو قاعدية. ودرجة الحموضة أو القاعدية تقاس بما يُعرف برقم الـ PH (اللوغاريتم السالب لتركيز أيون الهيدروجين في الوسط مُعبراً عنه بالمول / لتر $PH = - \log [H]$). ودرجة الحموضة أو القاعدية يتحكم فيها بدرجة كبيرة النسبة بين أيونات H^+ (حامضية) إلى الكاتيونات القاعدية مثل Na^+ , Ca^{++} , Mg^{++} , K^+ وعموماً تصبح الأرض شديدة الحموضة عندما يسود أيون الأيدروجين وتقل 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). ولمزيد من التفاصيل عن PH التربة ومسببات الحموضة وطرق قياس الـ PH يمكن الرجوع إلى مجال كيمياء الأراضي .

ولتفاعل التربة تأثيره العظيم على درجة صلاحية العناصر المغذية للنبات والتي تكون في أعلى درجة صلاحية لها عند رقم PH يتراوح ما بين 6,5 - 7,5 كما في (شكل 4) . ويمكن إيجاز تأثير ارتفاع وانخفاض PH التربة على جعل العناصر المغذية في صورته أقل صلاحية كما يلي :-

أولاً انخفاض PH التربة عن 5.5 :-

1- الفوسفور يحدث له ترسيب لاتحاده مع الحديد والألمونيوم 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-الألمونيوم مع انخفاض رقم PH الأرض عن 5.5 ينفرد الألمونيوم نتيجة لتهدم معادن الطين، ويصبح ذائب لدرجة السمية بالنسبة للنبات.

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

ثانياً ارتفاع PH التربة عن 8 :-

1- الفوسفور فى وجود الكالسيوم، الفوسفات تتحول إلى فوسفات الكالسيوم الثنائية ثم الثلاثية وبالتالي يقل الفوسفور الميسر للنبات.ومع ارتفاع الرقم عن 8.5 وجود الصوديوم يجعل الفوسفور ذائب فى صورة فوسفات صوديوم ذائبة.

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

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

5- عملية التآزوت بارتفاع PH التربة يقل النشاط البكتيرى وبالتالي تقل عملية التآزوت. كذلك يؤدي ارتفاع رقم الـ PH كما هو فى الأراضى القلوية إلى تطاير الأمونيا من الأرض عند إضافة الأسمدة النشادرية لها.

6- العناصر الصغرى تقل درجة صلاحيتها بزيادة PH التربة فيما عدا عنصر الموليبدنم Mo.

بالإضافة إلى ما سبق تتأثر جذور النباتات بتفاعل التربة. حيث ينخفض نمو النبات بشده فى الأراضى شديدة الحموضة نتيجة لذوبان الألمونيوم مما يؤدي 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 الشاي والبطاطس والأناس والصنوبريات تتحمل درجات شديدة من الحموضة وتنمو بدرجة جيدة بعكس نباتات أخرى مثل الشعير والدخان والبرسيم والتي تنمو بطريقة جيدة فى الأراضى القاعدية الخفيفة. بينما الأرز والذى ينمو تحت ظروف الأرض المغمورة بالماء ينمو بدرجة جيدة فى مدى واسع من الـ PH. وشكل (5) يوضح المدى الملائم من الـ PH لبعض المحاصيل المهمة.

الباب الثالث

كيفية حصول النبات على حاجته من العنصر الغذائي

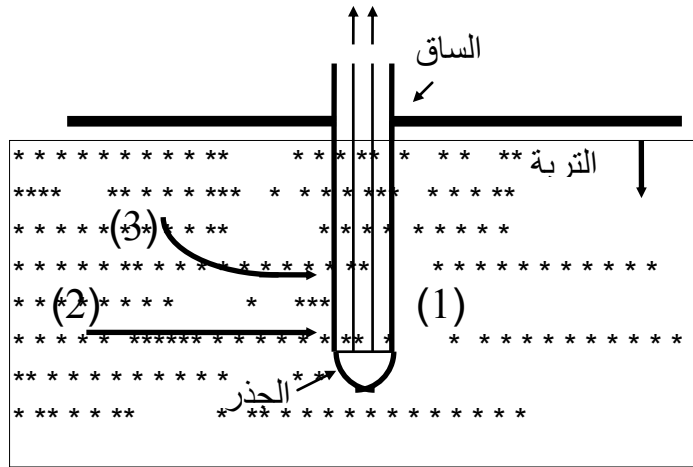
كما سبق القول بأن العنصر الغذائي الواحد يوجد في أكثر من صوره في النظام الأرضي، وأن النبات يمتص العنصر الغذائي في صورته الأيونيه وهذه الصورة تكون ذائبة في المحلول الأرضي. إلا أن مقادير هذه الصورة قد تكون قليلة جداً وقد لا تفي بحاجة النبات بينما الجزء الأكبر منه على صوره غير ذائبة مرتبطاً بالطور الصلب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

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

- 1- انتقال العنصر الغذائي خلال المحلول الأرضي إلى جذر النبات.
- 2- امتصاص العنصر (الأيون) بواسطة الجذر.
- 3- انتقال العنصر داخل النبات من الجذر إلى الأجزاء الهوائية.

أولاً: انتقال العنصر الغذائي خلال المحلول الأرضي إلى جذر النبات.

أهمية انتقال العناصر المغذية في التربة لجعلها في صورة صالحة للنبات تم تأكيدها لأول مرة بواسطة (Barber 1962). وكانت فكرته تتركز في ثلاث مكونات أساسية: الاعتراض الجذري، التدفق الكتلي والانتشار كما يوضحها الرسم التالي:



شكل تخطيطي يوضح انتقال العناصر المعدنية في التربة إلى سطح جذور النباتات النامية. (1) الإعتراض الجذري: وفيه يتم إحلال الجذر محل حجم معين من التربة ويتوقف هذا الحجم على حجم الجذر (امتصاص العنصر يتم بدون انتقاله في المحلول الأرضي) (2) التدفق الكتلي: وفيه يحدث انتقال للمحلول الأرضي حسب المحتوى الرطوبي بالأرض (أى يصل العنصر إلى الجذر بالانتقال) (3) الانتشار: وفيه ينتقل العنصر خلال المحلول الأرضي وذلك حسب تدرج التركيز.

• = العنصر الميسر (المقدر بواسطة اختبارات التربة).

وأمكن توضيح وحساب مساهمة كل طريقة من هذه الطرق في الكمية الممتصة من عناصر الكالسيوم، الماغنسيوم، البوتاسيوم والفسفور بواسطة نبات الذرة والمنزرع في أرض طميية سلتية خصبة في النتائج التالية:

العنصر	الكمية الميسرة في الطبقة السطحية (كجم/ هكتار)	الكمية الكلية الممتصة (كجم/ هكتار)	الكمية (كجم/ هكتار) بواسطة الأعتراض الجذرى	التدفق الكتلى	الانتشار
الكالسيوم	4000	45	40	90	-
الماغنسيوم	800	35	8	75	-
البوتاسيوم	300	110	3	12	95
الفسفور	100	30	1	0.12	28.5

المصدر : (Marschner 1995)

ويمكن توضيح هذه الطرق كما يلي:

1- الاعتراض الجذرى والتبادل بالتماس

Root interception and contact exchange

هناك عدة نقاط مهمة يجب معرفتها لكي يتضح لنا كيفية حصول النبات على ما يلزمه من العناصر المغذية. كما هو معروف مع نمو النبات تنمو الجذور أيضاً وتتفرع الشعيرات الجذرية، ومع نموها تصل إلى أماكن من التربة لم ينطرق 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 التماس 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 المدمصة على أسطح الغرويات الأرضية أو على جذر النبات يكون لها حجم معين وحيز يحدث فيه تذبذب هذه الأيونات، فعند تداخل مناطق التذبذب هذه بعضها مع البعض يحدث تبادل فى مواقع الأيونات المدمصة على سطحى الغروى والجذر. والكمية 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 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 الكمية 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 الكمية الميسرة للجذر بهذه الطريقة وفى هذه الحالة سوف تكون أقل من 2% من الكمية 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% وأخيراً الحجم الذى تشغله المسافات البينية من الحجم الكلى للتربة وهو يمثل عادة 50%. ولذلك تلعب طريقتى التدفق الكلى والانتشار دور كبير فى حركة وانتقال العناصر من مسافات ليست قصيرة إلى جذر النبات.

2- التدفق الكتلي Mass Flow

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

من جدول (5) نجد إن تركيز الكالسيوم في الأرض يتراوح بين 8 إلى 450 جزء في المليون، بينما تركيزه في نبات الذرة هو 2200 جزء في المليون، وعلى ذلك عند التركيز المنخفض في المحلول الأرضي من هذا العنصر لابد أن يمتص كمية ماء أكثر من وزنه بمقدار 275 مره لكي يحصل على هذه الكمية من الكالسيوم وهذا لا يتأتى إلا عن طريق التدفق الكتلي. وبعبارة أخرى إذا كان معدل النتح لنبات الذرة هو 275 وتركيز الكالسيوم في المحلول الأرضي هو 8 جزء في المليون، فعند هذا التركيز تكون كمية الكالسيوم التي يمتصها نبات الذرة كافية لاحتياجاته. وفي الواقع أن معامل النتح transpiration coefficient للنبات يتراوح بين 300 - 600 لتر ماء / كجم مادة جافة وعلى ذلك نجد ان كميته أكبر من احتياجات النبات لعنصر الكالسيوم تنتقل إلى الجذر عن طريق التدفق الكتلي.

جدول (5): العلاقة بين تركيز بعض الأيونات في المحلول الأرضي وتركيزها في نباتات الذرة .

العنصر	التركيز (جزء فى المليون) فى المحلول الأرضى فى النبات			النسبة بين تركيز العنصر فى النبات إلى تركيزه فى الأرض	
	منخفض	مرتفع	المتوسط	إلى المنخفض	إلى 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

المصدر:

. Barber, S.A (1962) "A diffusion and Mass Flow concept of soil nutrient availability. Soil Sci.,93:39-49.

والأمر يختلف تماماً عن الكالسيوم بالنسبة للفوسفور. بصفة عامة يكون تركيز الفوسفور الذائب فى التربة منخفض، 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 منطقي. وعلى ذلك لابد وأن هناك طرق أخرى ينتقل بها العنصر إلى جذر النبات ومن أهم هذه الطرق هى الانتشار.

3- الانتشار Diffusion

ويقصد به تحرك الأيونات خلال المحلول الأرضي 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 في منطقة الجذور، وعلى هذا يحدث تدرج في التركيز لهذا الأيون بالتربة (المحلول الأرضي) وبالتالي يتحرك الأيون في اتجاه الجذور أى مع تدرج التركيز. وهناك عدة عوامل تؤثر على معدل الانتشار في الأرض منها:

1- محتوى الأرض من الرطوبة، وهنا العلاقة طردية حيث يزداد معدل الانتشار في نفس الأرض مع زيادة محتواها من الرطوبة.

2- قوام الأرض، عند نفس الجهد من الماء في الأرض يزداد معدل الانتشار في الأرض الطينية عنه في الأراضي الرملية وذلك لاحتواء الأرض الطينية على مستوى أعلى من الرطوبة عند نفس جهد الماء وأيضاً 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 في الأرض، يزداد معدل الانتشار كلما ارتفع محتوى الأرض من العناصر، حيث أن المستوى المرتفع من العناصر في المحلول الأرضي يسمح بتدرج أكبر في التركيز .

من جدول (5) نجد أن التدفق الكلي يلعب الدور الهام في انتقال الكالسيوم والكبريت إلى النبات بينما الانتشار يلعب الدور الأعظم للفوسفور. أما البوتاسيوم والماغنسيوم والنيتروجين من الواضح أن كلاً من التدفق الكلي والانتشار لهما الدور الأساسى في إمداد النبات بهذه العناصر.

امتصاص الأيونات بواسطة جذور النبات Ions Uptake by plant Roots

توجد عدة اصطلاحات لتعريف معنى كلمة الامتصاص وهي تشير إلى دخول الأيونات داخل جذر النبات ومنها: Absorption أو Intake أو uptake وهي لا تشير إلى طريقة أو ميكانيكية محدد له لامتنصاص الأيونات، كذلك يوجد اصطلاح تراكم accumulation والتي تشير إلى تحرك الأيونات ضد تدرج التركيز وهي عملية حيوية.

عندما يصل عنصر ما في صورته الأيونية إلى أسطح جذور النبات فإن هناك ثلاث احتمالات يمكن أن تحدث له وهي:-

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 الامتنصاص الحيوي metabolic uptake.

أي أن عملية الامتنصاص للعناصر الغذائية إما أن تكون خلال وسيلة انتقال حر أي لا تحتاج إلى طاقة أو ميكانيكية انتقال حيوي وهو ما سنتناوله بشيء من الإيجاز.

وكقاعدة هامة، يوجد تعارض شديد بين تركيز العناصر في المحلول الأرضي من جهة، ومدى احتياجات النباتات لتلك العناصر. علاوة على ذلك نجد أن تركيز بعض العناصر يتضاعف عدة مئات المرات في الأنسجة النباتية عنه في المحلول الأرضي وفي معظم الأحيان يكون التركيز داخل الأنسجة النباتية أكبر بكثير من

احتياجات النباتات لهذه العناصر، وفي نفس الوقت نجد أن تركيز البعض الآخر من العناصر يكون أعلى في المحلول الأرضي عنه في الأنسجة النباتية. وعلى ذلك يمكن أن نجزم بأن عملية الامتصاص عملية اختيارية. وفي البداية تم دراسة ذلك باستخدام خلايا الفطريات وهي خلايا ذات جدارين (بلازما plasms وتونوبلاست tonoplast)

يعتبر العالم الأمريكي هوجلاند ومعاونيه (Hogland et.al 1948) أول من أشاروا إلى ظاهرة التجمع والاختيارية في الامتصاص، حيث قام ببعض التجارب التي أوضحت الكثير من جوانب عملية الامتصاص للأيونات بواسطة النبات. حيث استعمل في دراسته طحالب ذات خلايا كبيرة الحجم حتى يتمكن من فصل مكونات العصارة الخلوية لها ثم تقدير محتواها من الأيونات المختلفة. ففي تجربة عن امتصاص العناصر بواسطة طحلب النيتل *Nitella* الذي ينمو في المياه العذبة وطحلب الفالونيا *Valonia* الذي ينمو في مياه البحار، ظهر أن تركيز الأيونات في الفجوة العصارية لهذه الطحالب لا يتمشى مع تركيز الأيونات في المياه التي تعيش فيها، حيث يتواجد في الفجوة العصارية لطحلب النيتلا العديد من العناصر بتركيز مرتفع جداً عن تركزاتها في الماء الذي تنمو فيه، فمثلاً البوتاسيوم يتضاعف تركيزه 1080 ضعف، الصوديوم 45 ضعف، الكالسيوم 13 ضعف والكلوريد 98 ضعف (جدول 6). وعكس ذلك بالنسبة لطحلب الفالونيا الذي يعيش في مياه البحار عالية الملوحة فنجد أن تركيز كل من الصوديوم والكالسيوم قد انخفض في العصير الخلوي فيما عدا البوتاسيوم الذي زاد تركيزه كثيراً في الفجوة العصارية عن تركيزه في ماء البحر كما يتضح ذلك من جدول (6). ويمكن تلخيص نتائج هوجلاند ومساعدوه فيما يلي:

1- النبات يمتص الأيونات اختيارياً. ويتضح ذلك مع عنصر البوتاسيوم القليل التركيز جداً في مياه المستنقع بالمقارنة بباقي الأيونات الأخرى حيث يُعتبر من أكثر

الأيونات تجمعاً في الفجوة العصارية لطحاب النيتلا . وعكس ذلك عنصر الصوديوم يظل تركيزه منخفضاً في فجوة الفالونيا عن تركيزه المرتفع جداً في ماء البحر. أى أن خلايا النبات يمكن أن تمتص أيونات من وسط النمو وتنقلها إلى داخلها بينما تستبعد أيونات أخرى. وتسمى هذه الظاهرة الامتصاص الاختياري Selective ion uptake. 2- من النتائج نجد أن هناك ارتفاع في تركيز كثير من الأيونات في الفجوة العصارية بالمقارنة بتركيزاتها في المحلول الخارجي، وهذا يؤكد ان تجمع الأيونات بواسطة الخلية يتم ضد تدرج التركيز against concentration gradient. 3- أيضاً تشير النتائج بأن عملية الامتصاص تحتاج إلى طاقه ومصدر هذه الطاقة هو ناتج عمليات الميتابوليزم (التمثيل الحيوى) في الخلية.

جدول (6): العلاقة بين تركيز الأيونات في العصير الخلوى

للطحالب والوسط الخارجى.

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

المصدر : (Marschner, H. 1995)

كل ما ذكر عن الطحالب من ناحية امتصاصها للعناصر المغذية ينطبق تماماً على النباتات الراقية. حيث توضح نتائج إحدى الدراسات كما ذكرها

(Marschner 1995) بأن عند نمو نوعين مختلفين من النباتات مثل الذرة واللوبياء في محلول مغذى محدد الحجم، وبعد أربع أيام تم قياس تركيز العناصر في المحلول المغذى فوجد أن تركيز البوتاسيوم، الفوسفور و النترات قد انخفض بشدة. في حين يظل تركيز الصوديوم والكبريتات كما هو أو يزداد قليلاً، وهذا يدل على أن معدل امتصاص النبات للماء أسرع من امتصاصه لهذين الأيونين (جدول 7). أيضاً توضح هذه النتائج أن معدل امتصاص الأيونات يختلف من نبات إلى آخر وهذا واضح تماماً بالنسبة لامتناس البوتاسيوم والكالسيوم بواسطة الذرة واللوبياء. كذلك يتضح أن تركيز الأيونات في العصير الخولى للجذر أعلى بكثير منه في المحلول المغذى وخاصة بالنسبة لأيونات البوتاسيوم، النترات و الفوسفات .

جدول (7):التغير في تركيز الأيونات بالمحلول المغذى والعصير الخولى

لجذور نباتات الذرة واللوبياء

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

المصدر : (Marschner, H. 1995)

- من النتائج السابقة سواء بالنسبة للطحالب أو النباتات الراقية يمكن توصيف عملية امتصاص النباتات للأيونات بما يلي:-
- 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 وهناك العديد من النظريات التى وضعت لتفسير هذه العملية . واتضح من هذه النظريات بأن ميكانيكية واحدة للامتصاص لا تكفى لتفسير هذه العملية وعلى ذلك فهناك العديد من الطرق التى تُكمل بعضها البعض .

من المتفق عليه الآن إنه لكى يدخل العنصر إلى داخل الخلية فلا بد له أن يمر خلال غشائين، الأول الجدار الخلوى وكما هو معروف يتركب من مواد سيلولوزية بينها فجوات مملوءة بالماء والغازات، وهذا الغشاء مُنفذ تماماً للماء والعناصر الذائبة، والغشاء الثانى هو غشاء البلازمالما والذى يفصل بين الجدار الخلوى والسييتوبلازم وهو غشاء شبه مُنفذ للعناصر المختلفة. وبالتالي 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 العنصر من المحلول الأرضى ذو التركيز المرتفع من هذا العنصر إلى الجدار الخلوى حيث تركيزه منخفض نسبياً بدون أى عائق وبطريقة عكسية، أى عن طريق الانتشار أو والتدفق الكتلى. وقد أطلق العلماء على الجزء من الخلية (أو النسيج النباتى) والتي تتحرك فيه الأيونات بواسطة الانتشار (أى من التركيز المرتفع إلى اليركيز المنخفض) اسم الفراغ الحر Free space والذي يشغل مساحة محسوسة من نسيج 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 ملهى، 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 - نظراً لوجود شحنات سالبه على الجدار الخلوى للجذر نتيجة لوجود مجموعات الكربوكسيل ($R-COO^-$) 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. مما سبق يمكن إيجاز خصائص الامتصاص البسيط فيما يلى:

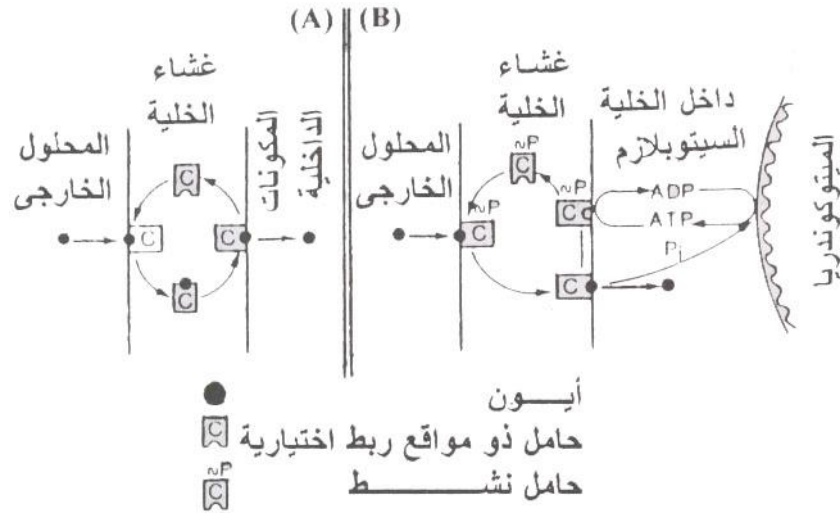
- 1- لا يحتاج إلى طاقة أى لا يعتمد على النشاط الحيوى للخلية (حيث أن عملية الانتشار والإدمصاص يمكن أن تتم فى أنسجة النبات الحية أو الميتة، أيضاً يمكن تتم فى المواد المُخلقة صناعياً سواء بسواء.
- 2- الامتصاص يتم بطريقة عكسية.
- 3- الامتصاص هنا ليس اختياري.

ثانياً: الامتصاص النشط Active Uptake

من النتائج المبوبة في جدول (7) يتضح جلياً انتقال الأيونات ضد تدرج التركيز، وعلى سبيل المثال نجد أن تركيز البوتاسيوم في الفجوة العصارية لجذور نباتات الذرة يزيد حوالى 80 مرة عنه في المحلول المغذى. وعلى العكس نجد أن تركيز الصوديوم في العصير الخلوى لجذر نفس النبات يظل منخفضاً بالمقارنة بالتركيز في المحلول الخارجى. وهذا يؤكد بأن هناك مفاضلة في امتصاص العناصر ويتم انتقالها عبر الأغشية بمساعدة مركبات متخصصة وتسمى بالمواد الحاملة Carriers يتم تخليقها في الأغشية وتتميز بوجود مواقع ربط binding sites متخصصة لكل نوع من الأيونات مما يساعد على الامتصاص الاختيارى selective transport للأيونات (شكل 6) وهذا لا يمكن أن يحدث تلقائياً بل يحتاج إلى طاقة وطبيعى أن يكون مصدر هذه الطاقة النشاط الحيوى بالخلية وعلى ذلك أُطلق على هذا الامتصاص إسم 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 تزيد من النشاط الحيوى للخلية.
 - 2- يزداد معدل الامتصاص مع زيادة ضغط الأوكسجين 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.
- ويمكن تفسير طريقة النقل (الامتصاص) النشط للأيونات خلال الأغشية كما يوضحها شكل (6) 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 (6): انتقال الأيونات خلال الجدار الخولى للخلية

بواسطة الحامل Carrier

وتحتاج المواد الحاملة إلى طاقة لكي تقوم بعملها ويكون مصدر الطاقة هو مركب (Adenosine triphosphate ATP) الذى يقوم بتزويد الحامل بعنصر الفوسفور فيحوّله إلى حامل نشط active carrier (نتيجة تفاعل إنزيم فوسفات كينيز الموجود على السطح الداخلى للغشاء مع ATP حيث يتحول إلى ADP + فوسفات غير عضوى) وبالتالي يتمكن هذا الحامل من الحركة خلال الغشاء والارتباط مع الأيون. وعند الجدار الداخلى للغشاء يصبح الحامل غير نشط بفقد الفوسفور 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 لقلّة 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.

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، وبالتالي يكون من الخطأ أن تُنسب نتائج التحليل الكيميائى للنبات إلى الوزن الطازج بل ينسب إلى الوزن الجاف (المادة الجافة Dray matter). حيث يتم وضع العينة النباتية الطازجة فى فرن على درجة حرارة 70°م لمدة من 24 - 48 ساعة.

وفى العادة تُمثل المادة الجافة حوالى من 10 - 20% من الوزن الطازج، وتتكون المادة الجافة من شقين رئيسيين هما : الشق العضوى، ويمثل حوالى 90-95% من المادة الجافة ويتكون أساساً من الكربون والأكسجين والهيدروجين، ويعتبر كل من الماء والهواء هو المصدر الوحيد لتلك العناصر، بالإضافة إلى جزء من الفوسفور والكبريت والنيتروجين والتي يكون مصدرها المحلول الأرضى. والشق الآخر هو الشق المعدنى (الرماد) والذي يمثل حوالى 5-10% من المادة الجافة ويمكن الحصول عليه بحرق المادة النباتية الجافة على درجة 500-600 5م، أو هضم المادة النباتية الجافة بواسطة مخلوط من الأحماض فيتأكسد الكربون إلى CO₂. وفى النهاية نحصل على الرماد والذي تُصبح مركباته على صورة أكاسيد أو كربونات أو أملاح حسب عملية الحرق أو الهضم. ويصل عدد العناصر الموجودة فى الرماد إلى حوالى 90 عنصر. وهذا لا يعنى أن جميع هذه العناصر مغذيات نباتية بل يتحدد بمدى احتياج النبات إليه ومدى مساهمة هذا العنصر فى بناء أنسجة النبات والتي تم معرفتها باستخدام المزارع الأرضية سواء كانت مزارع محاليل

- مغذية أو مزارع رملية. وفي عام 1939 قام العلمان Arnon و Stout بتحديد ثلاث شروط واجب توافرها في العنصر المغذي الضروري وهي:-
- 1 - غياب هذا العنصر من وسط النمو للنبات يؤدي 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 في القيام بوظيفته الحيوية في النبات.
 - 3 - يدخل هذا العنصر مباشرة في عمليات الميتابوليزم وعمل الإنزيمات داخل النبات، وبالتالي يكون جزء محسوس من مكونات النبات.
- وعلى ذلك يُعرف العنصر الغذائي أو العنصر الضروري للنبات على أنه العنصر الذي يؤدي وظيفة ما في حياة النبات، بحيث إذا غاب أو نقص هذا العنصر ساء النمو أو توقف، وبالتالي يقل المحصول أو ينعدم. ومن نتائج الدراسات حول أهمية العناصر المعدنية في تغذية النبات يمكن القول بأن غالبية هذه العناصر ليست مغذيات ضرورية للنبات. وعلى ذلك يتضح أن النباتات تقوم بامتصاص أي عناصر (أيونات) معدنية موجودة في المنطقة المحيطة بالجذور

جدول (8): العناصر الضرورية للنباتات المختلفة و الصور الميسرة منها للنباتات، أهم مصادرها والكمية الموجودة منها في الأرض

العنصر	الصورة الأيونية	أهم المصادر	متوسط الكمية في لأرض
--------	-----------------	-------------	----------------------

		الصالحة للنبات	
العناصر الضرورية الكبرى			
0.03 - 0.3%	النيتروجين الجوى - المادة العضوية	NO_3^- , NH_4^+	النيتروجين (N)
0.01 - 0.1%	فوسفات الكالسيوم (مجموعة الأباتيت) وفوسفات الحديد والألمونيوم	H_2PO_4^- , HPO_4^{--} , PO_4^{3-}	الفوسفور (P)
0.2 - 3.0%	الميكاء، الإيليت و الفلدسبارات	K^+	البوتاسيوم (K)
0.01 - 0.1%	كبريتور الحديد، وكبريتات الحديد	SO_4^{--}	الكبريت (S)
0.2 - 1.5%	كالسيوم الفلدسبارات، الأوجيت، الهورنبلند و كربونات وكبريتات الكالسيوم	Ca^{++}	الكالسيوم (Ca)
0.1 - 1.0%	الأوجيت، الهورنبلند، الأوليفين، البيوتيت وكربونات الماغنسيوم معدن الدولوميت	Mg^{++}	الماغنسيوم (Mg)
العناصر الضرورية الصغرى			
0.5 - 4.0%	الأوجيت، الهورنبلند، البيوتيت، الأوليفين، أكاسيد وأيدروكسيد الحديد	Fe^{++} , Fe^{+++}	الحديد (Fe)
10 - 300 جزء فى المليون	فوسفات، كربونات وأيدروكسيدات الزنك وبعض المعادن السليكاتية	Zn^{++}	الزنك (Zn)
200-4000 جزء فى المليون	المنجانيت، البيرولوسيت، وبعض المعادن السليكاتية	Mn^{++} , (Mn^{+++})	المنجنيز (Mn)
5 - 100 جزء فى المليون	التورمالين، وبعض المعادن السليكاتية والأملاح	H_2BO_3^- , (HBO_3^{--}), ($\text{B}[\text{OH}]_4^-$)	البورون (B)
0.5 - 5.0 جزء فى المليون	بعض المعادن السليكاتية، أكاسيد وأيدروكسيدات الحديد والألمونيوم	MoO_4^{--}	الموليبدينوم (Mo)
5 - 100 جزء فى المليون	كبريتور النحاس، كبريتات وكربونات النحاس وبعض المعادن السليكاتية	Cu^{++} , (Cu^+)	النحاس (Cu)
50 - < 1000 جزء فى المليون	مختلف الكوريدات	Cl^-	الكلوريد (Cl)

(منطقة الريزوسفير)، ووجد أن للنبات قدرة اختيارية في معدل امتصاص الأيونات المختلفة، أى أن معدل الامتصاص لأيون معين لا يكون متناسب دائماً مع الكمية الميسرة من هذا الأيون في الأرض.

لقد تم تقسيم العناصر الضرورية للنبات على أساس الكمية التي يحتاجها من تلك العناصر إلى مجموعتين أساسيتين : مجموعة العناصر الضرورية الكبرى. والمجموعة الثانية هي مجموعة العناصر الضرورية الصغرى ويوضح جدول (8) هذه العناصر والصور التي تُمتص بها بواسطة النبات، وأهم المصادر الطبيعية لتلك العناصر بالأرض.

ويمكن تقسيم العناصر المغذية من حيث احتياج النبات إليها إلى المجموعات الآتية :-
1-عناصر تدخل في تركيب المواد العضوية ذات التركيب المحدود، مثل الكربوهيدرات والبروتينات والكلوروفيل وغيرها، وهي عناصر في غيابها لا يمكن أن تتكون الخلايا أو الأنسجة النباتية، ومن هذه العناصر الكربون والأكسجين والأيدروجين والنيروجين والفوسفور والكبريت والمغنسيوم.

2- عناصر لا تدخل في تركيب المواد العضوية ولكنها لازمه لإتمام العمليات الحيوية

ويحتاج إليها للنبات بكميات كبيرة نسبياً" ويتوقف المحصول الناتج من النبات على مدى توفرها في الأرض ويتناسب طردياً" مع مقدارها إلى حد معين، مثل عنصر البوتاسيوم.

3- عناصر تعمل كعوامل مساعده للتفاعلات الكيميائية التي تحدث في 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 المغنسيوم.

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 في نموه ومحصوله، كما تؤثر عليه من ناحية مقاومته لبعض الأمراض مثل البورون والنحاس والزنك.

7- عناصر توجد في النبات بصفة عامه ولا يعرف لها تأثير معين وهي السيليكون والألمونيوم.

ويمكن توضيح مدى الفرق بين العناصر المغذية من حيث كونها كبرى أو صغرى من البيانات المبوبة في جدول (8-أ) والتي توضح الكمية المستنزفة أو الممتصة بواسطة الوحدة المحصولية لبعض المحاصيل المختلفة (الكمية المستنزفة

من أى عنصر هي الكمية التي 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 (8-أ) كمية العناصر الضرورية المستنزفة لكل طن محصول اقتصادى.

المحصول ← العنصر ↓	الأرز	الذرة	القمح	ذرة رفيعة	الدخن	الحمص	بسلة هندي	فول سودانى
العناصر الكبرى (كجم / طن محصول إقتصادى)								
نيتروجين (N)	20	26	25	22	42	46	64	58
فوسفور P ₂ O ₅	11	14	9.0	13	23	8.0	18	20
بوتاسيوم K ₂ O	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 إقتصادى)								
الزنك	40	130	56	72	40	38	24	28
الحديد	153	1200	624	720	170	58	40	1500
المنجنيز	675	320	70	54	20	30	14	118
النحاس	18	130	24	6.0	8.0	14	14	15
البورون	15	-	48	54	-	-	-	133
الموليبدينوم	2.0	-	2.0	2.0	-	-	-	4.0

وفي هذه المقدمة عن العناصر الضرورية للنبات سوف نتعرض لنقص العناصر المغذية على النباتات بصفة عامة مع تأجيل توضيح أعراض نقص كل عنصر على حده وذلك عند دراسة هذه العناصر وذلك نقلا عن المشروع المصرى الألمانى : العناصر المغذية الصغرى ومشاكل تغذية النبات فى مصر - المركز القومى للبحوث (الفولى وعبد الحميد، 1992) . ويمكن القول بأن ظهور نقص العناصر يكون على عدة حالات وهي :

نقص واضح مع أعراض ظاهرية على النبات - نقص مستتر بدون ظهور أعراض نقص 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 في 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 في التربة إلى الدرجة التي تؤثر على نمو النبات وبالتالي كمية المحصول الناتج. وتسمى حالة ظهور نقص العنصر بحالة النقص الظاهري، وهذه تختلف عن حالة النقص المستتر والتي لا يمكن اكتشافها إلا عن طريق تقدير العناصر في النسيج النباتي. ويختلف موضع ظهور الأعراض في البداية لنقص العنصر على الأجزاء المختلفة للنبات باختلاف قدرة هذا العنصر على الحركة أو الانتقال داخل النبات من الأجزاء المسنة إلى النموات الحديثة وهي الأوراق غالباً. فمثلاً نجد أن العناصر الكبرى مثل النيتروجين، الفوسفور، البوتاسيوم والماغسيوم تظهر أعراض نقصها على الأوراق المسنة للنبات أولاً. في حين تظهر أعراض الكبريت والكالسيوم والعناصر الصغرى أولاً على الأوراق الحديثة أو الأجزاء العلوية. ويرجع ذلك لصعوبة تحرر هذه العناصر من مركباتها في الأجزاء المسنة البالغة والموجودة في أسفل النبات ثم انتقالها إلى الأجزاء الحديثة. وهنا يجب الإشارة إلى أن طبيعة نمو النبات وحجمه على شكل وألوية ظهور الأعراض، حيث نجد أن الأشجار الكبيرة تختلف عن النباتات العشبية، كما تختلف النباتات ذات الفلقة الواحدة عن ذات الفلقتين، وأيضاً نجد أن نمو النباتات يتأثر بدرجات مختلفة باختلاف نوع العنصر الناقص.

مصادر العناصر الغذائية للنبات Plant Nutrient Sources

يمكن تحديد مصادر العناصر المغذية للنبات في مصدرين أساسيين وهما: العناصر الموجودة أصلاً Native Sources في التربة ومنها المعادن الأرضية ونواتج تحلل المخلفات النباتية والمادة العضوية بالتربة (جدول 8). بينما المصدر الثاني فهو العناصر المضافة added sources والتي تتمثل في إضافة الأسمدة الكيميائية والأسمدة العضوية للتربة.

ويجب معرفة أن كل العناصر الغذائية والموجودة في التربة تخضع إلى العديد من العمليات والتي قد تحد أو تزيد من ذوبانها وبالتالي تؤثر على الصورة والكمية الصالحة منها للنبات. وهذه العمليات تختلف من عنصر إلى آخر وقد تكون عمليات حيوية أو كيميائية تتم في الطبيعة، ومن العمليات الحيوية التي تحد من ذوبان العناصر 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 تلك الكائنات يحدث لها تحلل وتنطلق هذه العناصر مرة أخرى وتصبح في صورة صالحة وهذه العملية تعرف باسم عملية المعدنة mineralization وهي عكس العملية السابقة أى يحدث بها تحول العنصر من الصورة العضوية والغير صالحة للنبات إلى الصورة المعدنية الميسرة، والعملية الحيوية هذه تعتبر ذات أهمية خاصة بالنسبة للنيتروجين ودرجة الأهمية تكون متوسطة بالنسبة للكبريت والفوسفور. ومن العمليات الكيميائية الهامة هي عملية الترسيب للعناصر وجعلها في صورة غير صالحة للنبات، ويعتبر عنصر الفوسفور أكثر العناصر تأثراً بهذه العملية، وأيضاً حدوث تقيد لبعض العناصر وخاصة الكاتيونات منها وذلك نتيجة ادمصاصها على أسطح أو بين الوحدات البلورية لمعقدات التبادل ويعتبر كل من أيونى البوتاسيوم والأمونيوم أكثر الكاتيونات تثبيتها بهذه الطريقة.

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

العناصر الغذائية الكبرى Macronutrients

1- النيتروجين Nitrogen

يُعتبر عنصر النيتروجين من العناصر الغذائية الهامة في تغذية النبات حيث يحتاجه النبات بكميات كبيرة وتتراوح نسبته في النباتات المختلفة من 1.5-4% . ويمكن إيجاز أهم الوظائف الحيوية للنيتروجين في النبات فيما يلي:-

- 1- يتحد مع المركبات الكربونية المتكونة في النبات ليكون مئات المركبات العضوية المختلفة والتي منها الكلوروفيل - البروتوبلازم - البروتين - الأحماض النووية - الفيتامينات و الإنزيمات.
 - 2- يزيد من نمو وتطور كل الأنسجة النباتية الحية.
 - 3 - يُحسن من جودة الخضراوات الورقية ومحاصيل الأعلاف ويزيد من محتوى البروتين في محاصيل الحبوب.
- يمتص النبات النيتروجين من المحلول الأرضي إما في صورة أيون الأمونيوم NH_4^+ أو أيون النترات NO_3^- . وبصفة عامه تختلف السيادة لأي من الأيونين حسب عوامل مختلفة سوف تُذكر فيما بعد. ويجدر الإشارة هنا إلى أن أيونات الأمونيوم تدخل مباشرة بعد إمتصاصها مع الأحماض العضوية داخل النبات لتكون الأحماض الأمينية. بينما أيون النترات لا بد أن يُختزل أولاً إلى أيون الأمونيوم على مرحلتين توضحهما المعادلة التالية-



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

النيتروجين في الأراضي الزراعية:-

يختلف النيتروجين عن معظم العناصر المعدنية الموجودة بالتربة الزراعية في أن مصدره الأصلي هو الهواء الجوى (إذ يشكل النيتروجين حوالى 79% من

حجم الهواء الجوى) فى حين لا تحتوى الصخور الأصلية ومعادن التربة على هذا العنصر. لا تستطيع النباتات النامية الاستفادة من النيتروجين الغازى N_2 مباشرة إلا بعد أن يدخل فى سلسلة من التفاعلات والتي تقوم بها كثير من الأحياء الدقيقة الموجودة بالتربة والتي تعيش إما حره فى التربة أو تعيش فى داخل جذر النبات، حيث تثبت النيتروجين الغازى وتحوله إلى نيتروجين عضوى داخل أجسامها فى صورة أمينية وبروتينات، وعند موت هذه الكائنات فإن النيتروجين العضوى الموجود بها تحت ظروف معينه 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 المنزوع وصفات الأرض الطبيعية والكيميائية. ويمكن إيجاز العوامل المحددة لمحتوى الأرض من النيتروجين (N) كما لخصها (Jenny,1941) فى الظروف المناخيه (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 أن 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 داله لمحتوى الأرض من النيتروجين كما توضحها المعادلة التالية :-

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

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

أ - الصورة العضوية Organic form :

وهي الصورة الثابتة القليلة الصلاحية بالنسبة للنبات وذلك لوجود النيتروجين بها على صورة مجموعة NH_2 - داخله في تكوين الأحماض الأمينية للبروتينات وكثير من المركبات العضوية مثل الأحماض النووية والفيتامينات وغيرها من المعقدات العضوية ذات التركيب الغير متجانس. وتمثل هذه الصورة حوالي 99% من النيتروجين الكلى بالأراضي الزراعية في معظم فترات السنة. ويمكن معرفة كمية النيتروجين بالأرض بمجرد تقدير المادة العضوية بالتربة الزراعية، حيث تُعتبر المخزن والرصيد الأساسي الذي 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 \times الـ % للنيتروجين بالمادة العضوية (أى أن النسبة المئوية للنيتروجين بالأرض $= 100/5 \times 3 = 15$ ، %) ومعنى ذلك أن أى عامل يؤدي إلى زيادة المادة العضوية بالتربة يُزيد من محتوى النيتروجين بالتربة الزراعية. ويمكن إيجاز العوامل المؤثرة على كمية المادة العضوية بالتربة وبالتالي النيتروجين فيما يلي :-

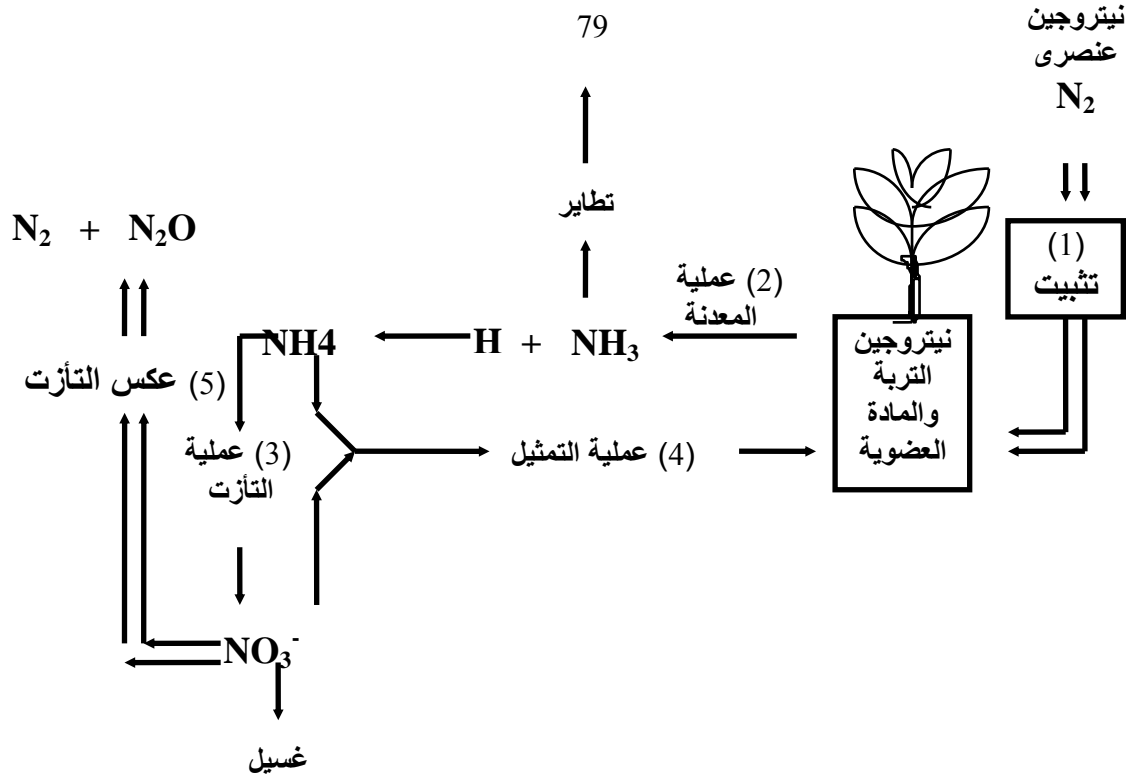
1- نوع وكثافة الغطاء النباتي (الفلورا)، وهنا العلاقة طردية.
 2- طبغرافية الأرض ومدى استوائها وانحدارها. فكلما كانت الأرض مستوية كلما زادت كمية الماء النافذة وبالتالي يزداد محتواها من الرطوبة مما يزيد من الغطاء النباتي. بينما إذا كانت منحدره فإن الانجراف السطحي بفعل المياه والرياح يؤدي إلى انخفاض محتوى التربة من النيتروجين، كذلك قد تتجمع المادة العضوية وتقل عملية المعدنة للنيتروجين العضوي تحت ظروف رداءة الصرف وتجمع الماء في المناطق المنخفضة بسبب عدم توفر التهوية الملائمة لنشاط الأحياء الدقيقة المحللة للمادة العضوية، حيث أن تحسين ظروف الصرف تقلل من تراكم المادة العضوية على سطح التربة نتيجة لزيادة النشاط الميكروبي.
 3- درجة الحرارة والمطر (المناخ)، مع ثبات كمية المطر تزداد نسبة النيتروجين (المادة العضوية) في الأرض ذات المناخ البارد عنها في الأراضي ذات المناخ الحار. وفي حالة ثبات درجة الحرارة تزداد نسبة النيتروجين في الأراضي الرطبة عنها في الأراضي الجافة.

4- قوام الأرض وعمق القطاع الأرضي، تقل كمية النيتروجين في الأراضي الرملية خفيفة القوام عنها في الأراضي الثقيلة (الطينية) ويرجع ذلك إلى سرعة تحلل المادة العضوية وفقد النيتروجين. وتزداد كمية النيتروجين في طبقة الأرض التي تتراكم فيها المادة العضوية كطبقة سطح الأرض الثقيلة ثم تقل كلما تعمقنا في القطاع الأرضي. وقد يحدث أن يزداد النيتروجين كلما تعمقنا في القطاع الأرضي في الأراضي الرملية نتيجة تسرب المادة العضوية إلى الطبقة تحت السطحية

للأرض كذلك إذا حدث عملية نقل (رمال) على الطبقة السطحية التي تزداد فيها النباتات وبقاياها (أى انجراف تربه من منطقه إلى منطقه أخرى).

دورة النيتروجين فى الأرض Soil Nitrogen Cycle

- تُعتبر دورة النيتروجين فى الأرض من الدورات المعقدة كما يتضح ذلك من شكل (7) حيث تشمل عدد من العمليات الأساسية يمكن إيجازها فيما يلى :-
- 1- تثبيت النيتروجين الجوى Nitrogen Fixation.
 - 2- معدنة النيتروجين العضوى Nitrogen mineralization وتكوين الأمونيا (Ammonification).
 - 3- الأكسدة البيولوجية للأمونيا فيما يُعرف بعملية التآزت 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 التآزت Denitrification.
- ويمكن توضيح هذه الخطوات بشيء من التفصيل كما يلى :-



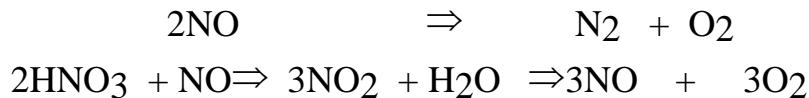
شكل (7) : دورة النيتروجين فى الطبيعة

أولاً : تثبيت النيتروجين الجوى Nitrogen Fixation

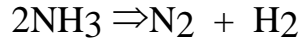
كما سبق الإشارة إلى أن النبات لا يستطيع الاستفادة مباشرة من النيتروجين الجوى، ولذلك لابد من تثبيته سواء بيولوجياً أو غير بيولوجى. ويمكن توضيح الطرق المختلفة التى يُثبت بها النيتروجين الجوى فيما يلى :-

1- الطرق الغير بيولوجية ومنها:-

أ - الطبيعية وذلك نتيجة لحدوث الشرارة الكهربائية أثناء عملية البرق مما يؤدي 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 عامه 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:



ب - الصناعية وذلك عن طريق تفاعل Haber - Bosch reaction حيث يتفاعل النيتروجين الجوى N₂ مع الهيدروجين H₂ وذلك تحت ضغط ودرجة حرارة مرتفعة وينتج غاز الأمونيا حسب المعادلة التالية :-



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 9).

2- التثبيت الحيوى للنيتروجين Biological Nitrogen Fixation

لأن تثبيت النيتروجين صناعياً يحتاج إلى درجة حرارة مرتفعة (500⁵ م) وتحت ضغط مرتفع وفي وجود عامل مساعد مثل أكسيد الحديد النشط وهذا ما يتم في تفاعل Haber - Buch. 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 أى إجابة سوى القول سبحانه الله القادر على كل شيء وهذه إحدى نعمه التى لا تحصى ولا تعد.

ويقصد بالتثبيت الحيوى 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 والتي لها القدرة على اختزال النيتروجين الجوى وتحويله إلى NH₃ تحت الظروف العادية من الضغط ودرجة الحرارة وبالتالي 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 (9).

جدول (9) : يبين كمية النيتروجين المضافة والمفقودة من الأرض

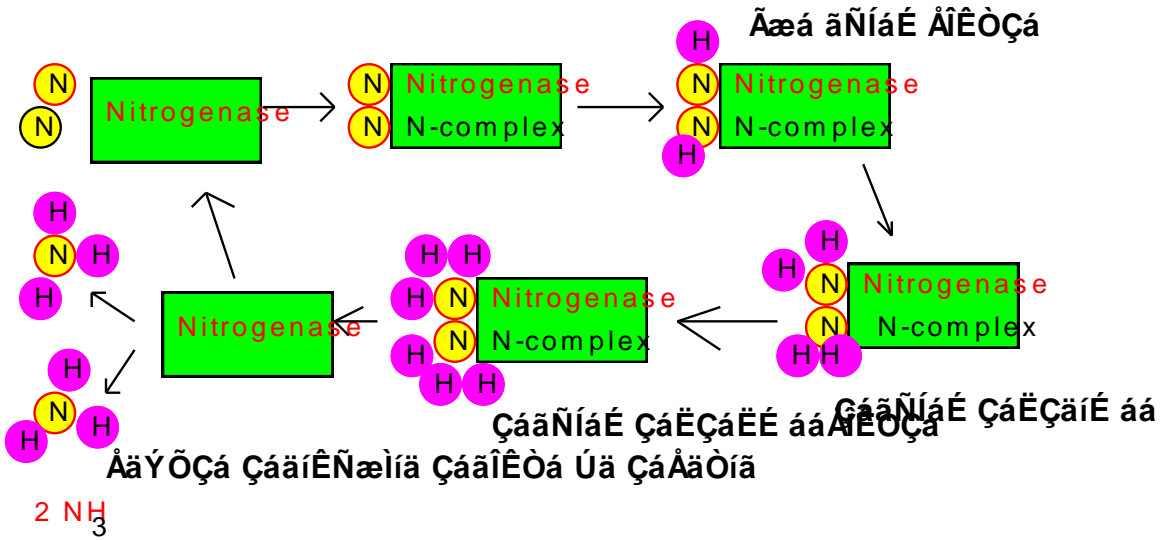
عالمياً محسوبة بالمليون طن / عام

المضاد إلى الأرض (بالمليون طن / عام		المفقود من الأرض بالمليون طن / عام	
الإنتاج الصناعى	46	عكس التآزت	300 - 200
التثبيت البيولوجى	200 - 100	أمونيا متطايرة	165
النترات والنترت	60		
مترسبة			

	140	أمونيا مترسية
--	-----	---------------

المصدر: Mengel and Krikby 1987

وكما سبق ذكره أن عملية التثبيت الحيوى يتم فيها إختزال النيتروجين الجوى داخل أجسام الكائنات الدقيقة، ويتم الاختزال بواسطة إنزيم Nitrogenase وهذه العملية تحتاج إلى طاقه يكون مصدرها مركب Adenosein Triphosphate (ATP). وتحدث عملية الاختزال بأن يتحد هذا الإنزيم مع جزيء 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 الموليبدنيم أو الكوبلت. وشكل (8) يوضح خطوات عملية الاختزال.



شكل (8) خطوات تثبيت النيتروجين بيولوجيا

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 تكافليه Symbiosis فى معيشتها داخل العقد الجذرية للعديد من النباتات البقولية. كذلك

الموجودة في جذور كثير من النباتات العشبية أو جذور بعض الأشجار ومن هذه الكائنات الأرضية الدقيقة :-

- بكتيريا من جنس *Rhizobium sp* والتي تعيش تكافلياً مع جذور النباتات البقولية Legume، والتي يُطلق عليها بكتيريا العقد الجذرية للمحاصيل البقولية. ولهذا النوع من النشاط التكافلي أهميه اقتصادية كبيرة لمساهمته الفعالة في تثبيت النيتروجين الجوي، ويتضح ذلك من جدول (10) والذي يشير إلى الكمية المثبتة بواسطة بعض النباتات البقولية كما أشار إليها (White 1987)

جدول (10) : كمية النيتروجين الجوي المثبتة بواسطة النباتات البقولية مُقدرة بالكيلوجرام / هكتار (2.4 فدان)

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

- بكتيريا خيطيه من جنس *Frankia sp* مثل *Actenomyce* والتي تعيش في جذور نباتات غير بقولية مثل الكازورينا *Casuarina* والهور *Alder*. كذلك بعض الطحالب الخضراء المزرقة blue-green alga 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 في 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 أنواع معينة منها لمجموعة معينة من النباتات البقولية دون الأخرى يوضح ذلك جدول (11). وعلى هذا يتوقف مدى نجاح البكتيريا في تثبيت النيتروجين على البكتيريا المناسبة للعائل البقولي 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 كمية قليلة من النيتروجين مع الأسمدة المضافة للمحاصيل البقولية عند الزراعة لضمان توفر كمية كافية من العنصر للبادرات الصغيرة حتى تتمكن الريزوبيم من المعيشة على جذورها. أما إذا أضيفت كميات كبيرة وباستمرار من النيتروجين لهذه المحاصيل فإن ذلك يُقلل من نشاط الريزوبيم وبالتالي يكون استخدام هذه الأسمدة النيتروجينية غير اقتصادي.

جدول (11) : أنواع بكتيريا الريزوبيم والمحاصيل البقولية الملائمة لها

العائل	نوع البكتيريا
Melilotus, Medicago برسيم حجازي وحلبة	<i>R. meliloti</i>
Trifolium برسيم حولي	<i>R. trifolii</i>
Pisum, Vicia بصل - فول - عدس	<i>R. leguminosarum</i>
Phaseolus فاصوليا	<i>R. phaseoli</i>
Glycine فول صويا	<i>R. japonicum</i>
Lupinus الترمس	<i>R. lupinii</i>

2 - التثبيت الغير تكافلي للنيتروجين Non symbiotic N- Fixation

وتقوم به كائنات حرة المعيشة في الأرض الزراعية أي غير تكافلية Free-living organisms سواء وجد النبات أو لم يوجد وإن كان بعضها ينشط أكثر في وجود النبات وإن لم يكن يعتمد عليه وبالتالي يكون هذا التثبيت غير تكافلياً. وفيه يتم تحويل النيتروجين الغازي بواسطة هذه الكائنات إلى نيتروجين عضوي داخل أجسامها، وبعد موت هذه الكائنات وتحلل أجسامها يتحول إلى نيتروجين ميسر للنبات نتيجة لعملية المعدنة، ومن هذه الكائنات :-

- 1- البكتيريا الهوائية من جنس *Azotobacter Spp* وتنتشر هذه البكتيريا في جميع أنواع الأراضي ماعدا الحمضية ذات pH أقل من 6.
- 2 - البكتيريا الغير هوائية من جنس *Clostridium spp* وهي تختلف عن الأزوتوباكتريا في قدرتها على تثبيت النيتروجين في الأراضي الحمضية ذات pH أقل من 6.
- 3 - الطحالب الخضراء المزرقة Blue-green algae من أجناس *Nostoc, Anabaena, Gloeocapsa* وتوجد تحت ظروف بيئية واسعة المدى، وتحتاج في غذائها إلى الماء والضوء والنيتروجين الحر N_2 وثاني أكسيد الكربون وأملاح تحتوي على العناصر

المعدنية الأساسية. وهذه الطحالب والأشنات تلعب دور هام في إمداد مزارع الأرز بالنيتروجين.

ومن الجدير بالذكر أن الأهمية الزراعية لتثبيت النيتروجين بواسطة البكتيريا الحرة أقل من تلك التي تُثبت بواسطة البكتيريا التكافلية. وهناك تكهنات عديدة حول كمية النيتروجين المثبتة لا تكافئياً بواسطة البكتيريا نذكر منها ما ذكره (أبو الروس وآخرون 1992) وهي 3-5 كجم/فدان/العام بينما المثبتة بواسطة الطحالب الخضراء المزرقمة تتراوح ما بين 30-60 كجم/فدان/العام. وتوجد عدة عوامل تؤثر على معدل تثبيت النيتروجين حيويًا 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 في الأرض كمية ملائمة من عناصر P , Ca , K في صورة ميسره.
- 4 - تعتبر عناصر الموليبدينيم 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 في مقدار كمية النيتروجين المثبتة، حيث يزداد معدل التثبيت كلما زاد معدل التمثيل الضوئي في النبات والتي يتوقف عليها كمية الكربوهيدرات التي تُعطى للبكتيريا من النبات.

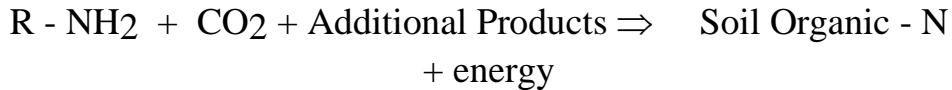
مما سبق نجد أنه من خلال عملية التثبيت البيولوجي للنيتروجين يتحول هذا العنصر إلى صورة عضوية من خلال تحوله إلى أحماض أمينية وبروتينات، وبذلك يمكن اعتبار هذه الحالة نقطة البداية لتراكم النيتروجين accumulation of nitrogen بالأرض الزراعية في صورة مركبات عضوية.

ثانياً : معدنة النيتروجين العضوى Organic nitrogen mineralization

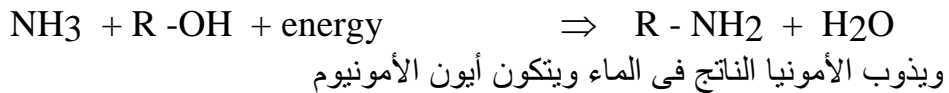
المحصلة النهائية لعملية التثبيت البيولوجيا للنيتروجين بالأرض الزراعية هو تحول النيتروجين العنصري إلى نيتروجين عضوي سواء كان في أجسام الكائنات الحية الدقيقة أو النباتات أو مخلفات الحيوانات التي تتغذى على هذه النباتات. وبالتالي يكون النيتروجين العضوى (الذى يمثل 99% من النيتروجين الكلى

بالأرض) فى مكونات المادة العضوية والدبال وهو فى هذه الصورة غير صالح للامتصاص بواسطة النبات. وعلى ذلك تقوم أنواع عديدة من الكائنات الأرضية الدقيقة الغير ذاتية التغذية heterotrophic organisms (تحصل على الطاقة اللازمة لها من أكسدة الكربون العضوي) بتحليل المادة العضوية وينفرد النيتروجين منها فى صورة الأمونيا NH_3 وفى خطوة لاحقه يتحول الأمونيا إلى أمونيوم ثم نترات NO_3^- ويطلق على هذه العملية اسم عملية المعدنة، وتسمى أيضاً عملية النشدر 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 النشدر Ammonification كما يلي : يحدث تحول للمركبات النيتروجينية العضوية إلى أمونيا فى خطوتين:
الأولى: يحدث تحلل مائى hydrolytic decomposition للبروتينات بفعل الإنزيمات وتتطلق مركبات أبسط فى صورة أحماض أمينية بواسطة الأحياء الدقيقة.



ثم تقوم الكائنات الدقيقة بتحويل الأحماض الأمينية $R-NH_2$ إلى الأمونيا وكحول وطاقة



ويكون مصير الأمونيوم الناتجة إحدى الاحتمالات الآتية:-

- 1- يمكن أن يتحول إلى نترت ثم نترات بواسطة كائنات دقيقة متخصصة وذلك خلال عملية التآزت Nitrification
- 2- يمكن أن يُمتص مباشرةً بواسطة النبات.
- 3- يمكن أن يدخل في تفاعلات التبادل الأيوني.
- 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.

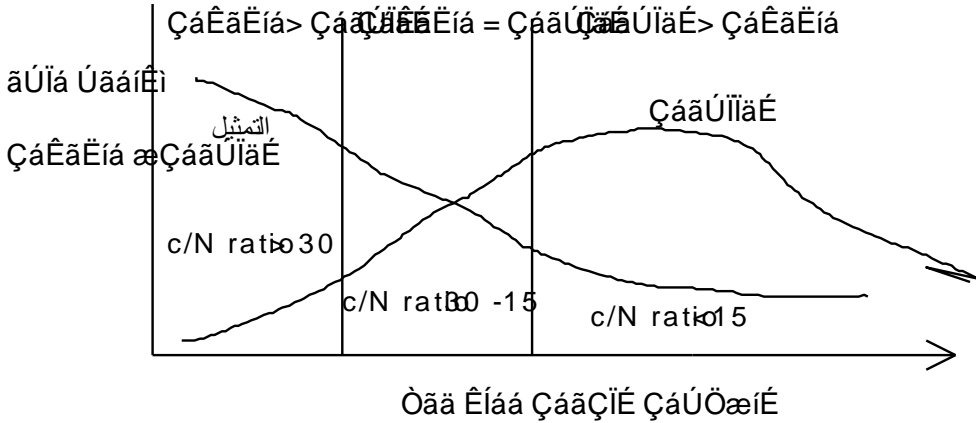
وتساهم الأحياء الدقيقة بالتربة الزراعية من بكتيريا وفطريات وأكتينوميستس actinomycetes بقدر كبير في عملية معدنة النيتروجين وهناك عوامل متعددة تؤثر على هذه العملية وبالتالي يجب مناقشتها بشيء من التفصيل وخاصة التي تتعلق بتركيب المادة العضوية والظروف المحيطة بعملية التحلل ومنها :-

أ. نسبة الكربون إلى النيتروجين C/N ratio

تلعب نسبة الكربون إلى النيتروجين C/N ratio دور اساسى ومهم فى عملية تحلل المادة العضوية وبالتالي معدنة العناصر الموجوده 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 كميته منخفضة من النيتروجين فإن ذلك يعنى استهلاك النيتروجين المعدنى الموجود بالأرض الزراعية بواسطة الكائنات الدقيقة المحللة للمادة العضوية ويُستخدم 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 عمليتي المعدنة والتمثيل فى الأرض بنسبة الكربون إلى النيتروجين بالأرض بعد إضافة المادة العضوية (الأصلية + المضافة). حيث تكون السيادة لعملية التمثيل إذا زادت النسبة عن 30 : 1 وبالتالي يختفى النيتروجين المعدنى من الأرض ويُمثل داخل أجسام الكائنات الدقيقة، مما ينتج عنه معاناة النباتات النامية من نقص النيتروجين. والعكس حيث يؤدي 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 (9)، وتكون السيادة لعملية المعدنة إذا وصلت هذه النسبة إلى 1 : 15 وبالتالي تجد النباتات النامية حاجتها من النيتروجين المعدني، ويصل التحلل حتى تصل النسبة إلى 1 : 10 وبعدها تقف عملية التحلل حيث تكون المادة العضوية وصلت إلى درجة متقدمة في تحللها أي أصبحت في صورة دبال.



شكل (9) يبين العلاقة بين نسبة الكربون إلى النيتروجين في الأرض ومعدل عمليتي المعدنة والتمثيل للنيتروجين

ولهذه النسبة أهمية كبرى في تكنولوجيا التسميد العضوي حيث تساعد على تحديد نوع وميعاد إضافة السماد العضوي للنباتات النامية في الحقل. فمثلاً إذا كان لديك مادة عضوية (مخلفات نباتية) لها نسبة واسعة أكبر من 1 : 30 فإن مثل هذه البقايا لا يمكن حرثها في الأرض قبل أو أثناء زراعة المحصول مباشرةً وإلا سادت عملية التمثيل وبالتالي ستعاني البادرات النامية من نقص النيتروجين المعدني 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. فإذا لم يتوفر ذلك فيمكن إما خلط هذه البقايا مع سماد نيتروجيني بمعدل 1كجم لكل 100كجم مخلفات نباتية (ويسمى ذلك بعامل النيتروجين Nitrogen Factor ويكون 9, كجم نيتروجين /100كجم قش) حتى تضيق النسبة وبالتالي يمكن اختصار الزمن اللازم لبدء عملية المعدنة. أو يتم عمل كومبوست Compost خارج الحقل ثم ننتظر حتى تضيق النسبة (وذلك بعد فترة من التحلل) إلى الحد المناسب قبل إضافتها إلى الأرض. أما المحاصيل البقولية التي تُزرع كسماد أخضر فمن الممكن حرثها في الأرض مباشرةً قبل الزراعة (المحصول التالي) حيث تتميز هذه المحاصيل بضيق النسبة، وبالتالي تحدث عملية المعدنة بسرعة

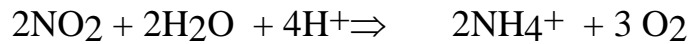
ب - الظروف البيئية المحيطة

تؤثر الظروف البيئية المحيطة (درجات حرارة - رطوبة - تهوية - PH) تأثيراً كبيراً على تحديد طبيعة نشاط الكائنات الأرضية الدقيقة القائمة بعملية التحلل وبالتالي عملية المعدنة للنيتروجين العضوي. ولتحديد تأثير كل عامل من العوامل السابقة يلزم دراستها منفردة وأيضاً تأثيرها وهي متداخلة مع بعضها البعض. ومن الدراسات السابقة لكثير من العلماء يمكن نستخلص بأن أفضل رقم PH لعملية المعدنة هو من 6.5- 8. كما أن أفضل درجة حرارة من 35- 45م وای ارتفاع أو انخفاض عنها يُقلل من نشاط الكائنات القائمة بعملية المعدنة. ايضاً تتم عملية المعدنة للنيتروجين تحت ظروف الأراضي المغمورة بالماء، لكن تتوقف عند تكوين الأمونيوم NH_4^+ ويرجع ذلك لعدم توفر ظروف التهوية الملائمة للكائنات الدقيقة المسؤولة عن أكسدة الأمونيوم إلى نترات NO_3^- . وعلى الرغم من أن عملية المعدنة تحت هذه الظروف البيئية تكون بطيئة، إلا أن الكائنات الأرضية الدقيقة اللاهوائية Anaerobic تستطيع تحويل النيتروجين العضوي 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.

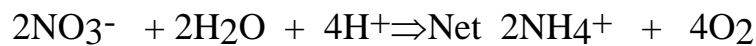
ثالثاً: عملية التآزت Nitrification

تُعرف على أنها عملية الأكسدة البيولوجية لبعض الأمونيوم الناتج من عملية النشدة أو المضاف في صورة أسمدة إلى نترات ز وتتم هذه العملية على خطوتين :-

1- أكسدة الأمونيوم إلى نترت ويقوم بها بكتيريا Nitrosomonas



2- يتم أكسدة النترت إلى نترات ويقوم بها بكتيريا Nitrobacter



ومن التفاعلات السابقة يمكن استنتاج ما يلي:-

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

2- أن عملية التآزت عملية أكسدة أى يلزمها أوكسجين بوفرة لكي تتم، وعلى ذلك فإن جميع العمليات الزراعية التي 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- أن عملية التآزت تُقلل من قاعدية (تزيد من حموضة) الأرض وذلك نتيجة لاستهلاكها للأمونيوم وفي نفس الوقت انطلاق أيونات الأيدروجين إلى الوسط مما يؤدي إلى زيادة حموضة الأرض. وقد لا يظهر هذا التأثير بشكل واضح في الأراضي الغنية بكاربونات الكالسيوم.

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

أ - رقم PH الأرض، حيث لوحظ أن هذه الكائنات تكون في حالة نشاط أفضل في الأراضي المتعادلة أو القاعدية، ويقل النشاط بزيادة حموضة الوسط.

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

ج - درجة الحرارة، بصفة عامة يمكن القول بأن أمثل درجة حرارة لهذه العملية تختلف من أرض إلى أخرى وذلك كما أشارت الأبحاث المختلفة في أماكن إجرائها. وعلى ذلك تكون الدرجة المثلى في حدود 25-32°م وتقل عملية التآزت بانخفاض درجة الحرارة وذلك في المناطق الجافة، ووجد أن هذه العملية تقف بزيادة درجة الحرارة عن 50°م.

وأشارت الأبحاث أن أكسدة الأمونيا إلى نترت NO₂⁻ تكون أسرع من تحول النترت إلى نترات NO₃⁻ في الأراضي ذات الـ pH المرتفع (Amberger, 1993) وعلى هذا قد يحدث تراكم للنترت السام. في حين وجد أنه في الأراضي

جيدة الصرف والمتعادلة أو قليلة الحموضة سرعان ما يتم أكسدة النتريت وتحولها إلى نترات وذلك عند تواجد البكتريا القائمة بهذه العملية ولذلك يكون من الطبيعي ان تتراكم النترات بكميات أكبر. بالإضافة لما سبق وجد أنه عند تعرض الأراضي للجفاف يحدث تراكم للنترات في الطبقة السطحية من التربة نتيجة لما تساهم به عملية التآزت تحت ظروف الرطوبة المنخفضة والموجودة في الطبقة تحت السطحية، ثم هجرة النترات المتكونة وصعودها إلى الطبقة السطحية مع المياه عن طريق الخاصية الشعرية. وبالتالي يكون من المتوقع وجود النيتروجين في الطبقة السطحية في صورة نترات بكمية أكبر منه في صورة أمونيوم ولهذا تستعمل بكميات أكبر وبشكل رئيسي من قبل النباتات النامية. ويكون مصير النترات المتكونة أو المضافة إلى الأرض في صورة أسمدة نيتروجينية مايلي :-

- 1- قد تُمتص النترات من قبل النباتات النامية أو تستهلكها الأحياء الدقيقة في بناء أنسجتها خلال عملية التمثيل Immobilization وهي في هذه الحالة تكون غير صالحة للامتصاص بواسطة النباتات.
- 2- قد تُفقد من الأرض أثناء عملية الري مع مياه الصرف وذلك لقلة قدرتها على الادمصاص على الغرويات الأرضية لأنها تحمل شحنة سالبة.
- 3- يتعرض أيون النترات في الظروف الاهوائية إلى عملية اختزال ويُطلق عليها عملية عكس التآزت Denitrification .

فقد نيتروجين الأرض الزراعية Losses of Soil Nitrogen

استمراراً لتفسير دورة البيتروجين في الأرض الزراعية كما هو واضح في شكل (7) نجد أن عنصر النيتروجين يتعرض للفقد بعدة طرق مختلفة (يُعتبر أكثر العناصر المغذية تعرضاً للفقد من الأرض) وذلك حسب الصورة الموجود بها في الأرض. ويمكن توضيح هذه الطرق فيما يلي:-

1- إزالة بواسطة المحاصيل Crop Removal

يمكن القول بأن معظم النيتروجين الممتص بواسطة المحاصيل المختلفة والذي يُمثل كمية لا يُستهان بها كما هو موضح في جدول (12) تُفقد من التربة الزراعية عند حصاد تلك المحاصيل. فيما عدا المحاصيل التي تُزرع كمحاصيل مراعى حيث ووجد أن حوالي 85 % من النيتروجين الممتص من قبل تلك المحاصيل يعود مرة أخرى للتربة كمخلفات حيوانية للحيوانات التي تقوم بعملية الرعى، كذلك تُعتبر محاصيل الحبوب ذات أهميه في هذا المجال، فمثلاً وجد أن محتوى القش 4 طن من قش straw القمح لمساحة هكتار (2.4 فدان) هو من 20-

25 كجم نيتروجين. وكما هو معروف يستخدم هذا القش (تبن) في تغذية حيوانات المزرعة والتي تُستخدم مخلفاتها في التسميد كأسمدة عضوية وبالتالي تعود هذه الكمية مرة أخرى إلى التربة الزراعية.

جدول (12): كمية النيتروجين، الفوسفور و البوتاسيوم المستنفذة من الأرض الزراعية بواسطة بعض المحاصيل بالكيلوجرام /هكتار)

المحصول	الإنتاج طن /هكتار	النيتروجين (N)	الفوسفور (P ₂ O ₅)	البوتاسيوم (K ₂ O)
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 السوداني	1.5	105	15	42
القطن	5-1.7	180-73	63-28	126-56
الدخان	1.7	90	22	129

المصدر : (1984) ,FAO.

2 - فقد النيتروجين في صورة غازية Gaseous Losses

أشارت الأبحاث العديدة فى السنين الماضية بأن جزء كبير من النيتروجين يُفقد من الأرض الزراعية فى صورة غازية على هيئة أكاسيد نيتروجينية أو الأمونيا وذلك كنتاج لتفاعلات بيولوجية أو كيميائية. وهناك ثلاث طرق مُقترحة تُسبب هذه العملية.

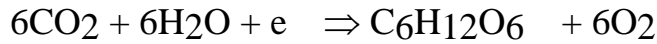
أ - عملية عكس التآزت Denitrification

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

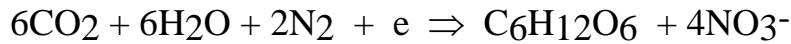


ويمكن تفسير ذلك بأنه فى حالة توافر ظروف تهويه جيدة تقوم البكتيريا بأكسدة المادة العضوية بواسطة الأوكسجين الجوى. أما فى حالة غياب الأوكسجين يتم الأكسدة باستخدام أوكسجين النترات كما توضحه المعادلات التالية:-

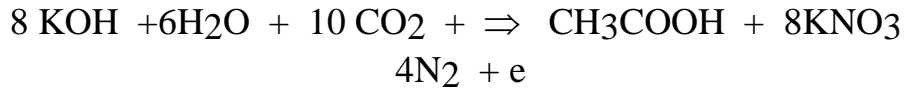
فى وجود الأوكسجين الجوى:



فى غياب الأوكسجين الجوى:



كذلك يحدث أكسدة للأحماض العضوية باستخدام أوكسجين النترات كما يلى:



ويمكن تحديد الأحياء الدقيقة التالية باعتبارها المسؤولة عن هذه العملية وهى من أنواع *Pseudomonas*, *Micrococcus*, *Achromobacter* and *Bacillus* .

وبصفة عامه تختلف الكمية المفقودة بهذه العملية من 5-50% من الكمية المضافة، وكما سبق أن أشرنا فى جدول (9) السابق ذكره بأن الكمية المفقودة بهذه الوسيلة على مستوى العالم تُقدر بـ 200-300 مليون طن فى العام. وهناك عدة عوامل تؤثر على عملية عكس التآزت يمكن إيجازها فى النقاط التالية:-

- 1 - توافر مادة التفاعل وهى النترات والنترت 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، وبالتالي يزداد استهلاك الأوكسجين من قبل الكائنات الدقيقة وعلى هذا يكون من المتوقع زيادة كمية النيتروجين المفقودة عن طريق عملية عكس التآزت. ومعنى ذلك بأن ليس هناك علاقة طردية بين درجات الحرارة وكميات النيتروجين المفقودة بشكل خط مستقيم. بل يتوقف ذلك على معدل النشاط الميكروبي. ووجد أن معدل عملية عكس التآزت يكون أقصاه خلال فصلى الخريف والربيع وبداية الصيف وينخفض بطريقة ملحوظة خلال الصيف بسبب الحرارة المرتفعة جداً، أشارت أبحاث متعددة بأن أكبر كمية مفقودة من النيتروجين بهذه العملية عندما تكون درجة الحرارة ما بين 15-45°م.
- 3 - المادة العضوية، تزداد عملية عكس التآزت بزيادة محتوى الأرض الزراعية من المادة العضوية وخاصة فى الظروف المعتدلة الحرارة وذلك نتيجة زيادة نشاط الكائنات الدقيقة واستهلاكها للأوكسجين، وأيضاً لأن المادة العضوية تُعتبر مصدر للطاقة اللازمة لنشاط تلك الكائنات واخيراً تُعتبر مصدر للأيدروجين اللازم لعملية الاختزال. وفى إحدى الدراسات باستخدام النيتروجين المشع N15 كما ذكرها Mengel and Kirkby (1987) ووجد أن معدل عكس التآزت يكون مرتفعاً فى الأراضى العضوية بالمقارنة بالأرض الطينية الثقيلة والتي تمتاز بأنها متوسطة التهوية والنتائج موضحة بالجدول (13).
- 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 النتراتيه فى مزارع الأرز لحدوث فقد بها بهذه العملية بجانب الفقد بالغسيل.
- 5 - رقم الـ PH للأرض، أشارت الأبحاث بأن بارتفاع الرقم عن 5 يُسرع من كمية النيتروجين المفقودة بعملية عكس التآزت، ووجد أن أقصى كمية مفقودة تكون عند رقم PH متعادل ويميل إلى القاعدى الخفيف.

جدول (13) كمية النيتروجين المفقودة نتيجة لعملية عكس التآزت في 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

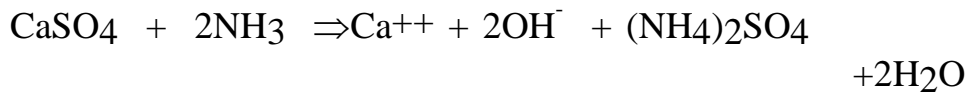
ب - تطاير الأمونيا Ammonia Volatilization

ويُتصد به تطاير الأمونيا والنتاج من تحلل الأسمدة النشادرية أو اليوريا عند إضافتها للتربة إلى أمونيوم وأيضاً النتاج من معدنة النيتروجين العضوى بالأرض وعادةً يكون الفقد بكمية كبيرة فى الأراضى القاعدية والأراضى الغنية بـكربونات الكالسيوم وذات الرطوبة المتوسطة حيث فى حالة جفاف التربة يقل الفقد لعدم حدوث التفاعل فى حين عند ارتفاع الرطوبة فى الأرض تتوفر كميات كبيرة من الماء تسمح بذوبان الأمونيا وإمصاها. ويمكن إيضاح كيفية حدوث الفقد عند إضافة أسمدة نيتروجينية مثل سلفات الأمونيوم أو اليوريا بالمعادلات التالية:-

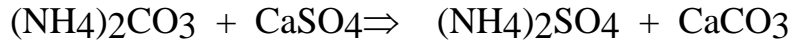
أولاً يحدث تحلل مائى لكربونات الكالسيوم



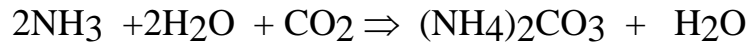
يتحد أيون الكالسيوم وأيون الأيدروكسيل النتاج من الخطوة السابقة مع السماد (سلفات الأمونيوم مثلاً)



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



ثم يحدث تحلل لكربونات الأمونيوم



ومن التفاعل السابق يمكن القول بأنه إذا كان المركب الناتج من اتحاد الكالسيوم والأنيون المصاحب للأمونيوم في السماد غير ذائب فإن ذلك سيؤدي إلى تكوين المزيد من كربونات الأمونيوم وبالتالي يحدث فقد للأمونيا بكمية أكبر. حيث أكدت كثير من الأبحاث أن الأسمدة التي تكون نواتج غير ذائبة مثل $Ca (F-, SO_4-$ HPO_4--), تفقد كمية كبيرة من الأمونيا، بينما الأسمدة التي تكون نواتج ذائبة مع الكالسيوم مثل $Ca (NO_3-, Cl-)$ تفقد كمية قليلة من الأمونيا. وهناك العديد من العوامل التي تؤثر على تطاير الأمونيا ومنها :-

- رقم الـ PH ، حيث وجد أنه بزيادة قاعدية الأرض يزداد الفقد للأمونيا من أسمدة الأمونيوم واليوريا. ويمكن إيضاح طبيعة تأثير الـ PH على سلوك الأمونيوم المتكون أو المضاف بواسطة المعادلة الآتية :-



أى أن بزيادة تركيز أيون الأيدروكسيل في الوسط يتجه التفاعل السابق نحو اليمين. وعلى ذلك يمكن أن نتوقع أن فقد الأمونيا بالتطاير قد ينخفض كثيراً في الأراضي الحمضية.

- وجد أن بارتفاع درجة الحرارة يزداد تحلل اليوريا وبالتالي يزداد الفقد، وبصفة عامة يختلف تأثير درجة الحرارة على كمية الأمونيا المفقودة بالتطاير حسب الأسمدة النيتروجينية المضافة وكذلك خواص الأرض.

هذا بجانب عوامل أخرى 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، وعلى ذلك يُفضل إضافة الأسمدة النترائية لمثل هذه الأراضي.

3 - تثبيت الأمونيوم Ammonium Fixation

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

وتفيد عملية التثبيت هذه في 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 التآزت. وفي إحدى الدراسات للعالمين Scherer & Mengel عام 1979 تم تقدير كمية الأمونيوم المثبتة بواسطة معادن 1:2 فوجد 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 مباشرة، 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 (14).

جدول (14) العلاقة بين الكمية المضافة والمثبتة من الأمونيوم

لأرض يسود بها معدن الفيرميكيولايت

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

المصدر عواد كاظم مشحوت (1987) - نسبة التربة : الماء هي 1:1

- 3- تعاقب التجفيف والترطيب للأرض، وجد أن التجفيف بعد إضافة الأمونيوم يُزيد من الكمية المثبتة وذلك لسببين وهما : بانخفاض الرطوبة في الأرض يزداد تركيز الأمونيوم في المحلول الأرضي وبالتالي الكمية المتبادلة والمثبتة، ثانياً مع جفاف التربة يزداد التصاق الوحدات البلورية المكونة لمعادن الطين أى تقل المسافات البينية بين هذه الوحدات لفقدها للماء وبالتالي يزداد تثبيت الأمونيوم.
- 4- نوع معدن الطين السائد، بصفة عامه تزداد قدرة الأرض على التثبيت بزيادة محتواها من معادن 1:2.
- 5 - المادة العضوية، من الدراسات السابقة يمكن القول بأن للمادة العضوية تأثير مزدوج يمكن إيضاحه كما يلي بوجود المادة العضوية يحدث تثبيت للأمونيوم من خلال انجذابها إلى المجاميع الكربوكسيلية والفينولية المتأينة في الوسط القاعدي كما يتضح من المعادلات الآتية : -



والرأى الآخر يقول أن 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 بأن الأيونات التي تُزيد من قدرة المعادن الأرضية على التمدد مثل ($Ca^{++}, Mg^{++}, Na^+, H^+$) تقلل من تثبيت الأمونيوم، والعكس بالنسبة للأيونات التي 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.

وفي النهاية يمكن القول بأن عملية تثبيت الأمونيوم لا تُعتبر ذات أهمية كبيرة في 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 الأراضي الغنية بالطين القابل للتمدد (من نوع 1:2) لأن ذلك يقلل من كفاءة السماد المضاف.

4- الفقد بالغسيل Leaching Losses

كما هو معروف إن أيون النترات NO_3^- أيون سالب الشحنة وعلى ذلك تكون فرصة ادمصاصه على أسطح الغرويات الأرضية قليلة وذلك لتنافر الشحنة (لأن كلٍ منهما تحمل شحنة سالبة). مما يُسهل من غسيله وفقده مع مياه الصرف. وقد يُدمص هذا الأيون على أسطح بعض الغرويات الأرضية والأكاسيد موجبة الشحنة وخاصة في الأراضي الحمضية، وعند غياب هذه المواد يفقد هذا الأيون إلى الطبقات تحت السطحية أو مع مياه الصرف. وتتوقف الكمية النترات المفقودة بالغسيل على :- كمية المياه وعدد مرات الري - محتوى الأرض من الأكاسيد والغرويات الموجبة الشحنة - قوام الأرض حيث يزداد الفقد بانخفاض كمية الطين في الأرض كما توضحها نتائج (Enzmann 1983) والموجودة في جدول (15). ويمكن تقليل الفقد للنترات بالغسيل باتباع المعاملات الزراعية التالية:

- استخدام كميات قليلة من المياه (ترشيد استهلاك مياه الري).
- استخدام السماد النتراتي بالكمية المناسبة وفي الوقت الملائم.
- تجزئة كمية السماد المستخدمة.
- استخدام محاصيل ذات جذور عميقة.

جدول (15) تأثير محتوى الطين على كمية النترات المغسولة في عينات مزروعة بالأرز

الكمية المغسولة محسوبة كنسبة مئوية	كمية النترات المغسولة مع مياه الصرف (مجم/أصيص)	التربة
100	469,3	100% رمل
57	266, .	2/3 رمل + 1/3 طين
41	190,4	1/3 رمل + 2/3 طين
32	150,8	100% طين

المصدر:

Enzmann, A. (1983) In “ Nitrogen in Agriculture” edited by Stevenson Soil Sci. Am USA

5 - فقد النيتروجين العضوى

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 أخرى.

ومن السابق 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 أخرى مع التكتيف 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 الإسطل) - 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 ملوثاً للبيئة. وعلى هذا لابد من إتباع 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:

كمؤشر عام، يُعتبر ظهور أعراض نقص النيتروجين على النباتات المعروفة في 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 للإمتصاص بواسطة النباتات فى حينه. 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) أن معدل تحلل المادة العضوية وبالتالي 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 ($\text{NO}_3 - \text{N}$)، الذى يكون عرضه لعملية الغسيل، وأيضاً تتعرض للفقد عن طريق عملية عكس التآزت denitrification وكذلك تعرضها لعملية التمثيل immobilization داخل أجسام الكائنات الدقيقة.

توجد عدة طرق لتقدير النيتروجين الميسر فى التربة والمستخدمه خلال الـ 70 عام الماضية. وتقسم هذه الطرق والخاصة بتقدير النيتروجين النتراتى ($\text{NO}_3 - \text{N}$) إلى مجموعتين أساسيتين وهما: (أ) اختبارات وصفية للنيتروجين الميسر و (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 ويتم تقدير الأمونيا المكثف فى البخار عن طريق المعايرة. نظرا لأن محتوى المادة العضوية من النيتروجين يكون ثابت نسبيا، على ذلك يمكن بعد عدة سنوات من الزراعة لأرض معينة (وعند ثبات C / N ratio)، وبطريقة غير مباشرة 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) والقلوى (أيدروكسيد الصوديوم NaOH، أيدروكسيد الكالسيوم $Ca(OH)_2$ أو أيدروكسيد باريوم $Ba(OH)_2$ مع الغليان ويتم تقدير كمية الأمونيا الناتجة من أكسدة المادة العضوية فى الأرض، و من أكثر الطرق انتشارا لتقدير النيتروجين المعدنى الأولى بالأرض، هى طريقة phenodisulfonic acid method وذلك لتقدير النيتروجين النتراتى $NO_3 - N$ وتقاس بواسطة nitrate ion electrode وذلك كطريقة روتينية وسريعة أو يتم الاستخلاص بواسطة محلول استخلاص كلوريد البوتاسيوم العيارى (1 N KCL). ومن النتائج المتحصل عليها بطريقة كلاهل يمكن تحديد مدى خصوبة التربة بعنصر النيتروجين كما يلى:

التصنيف	الـ % للنيتروجين الكلى (تر به جافة)
فقيرة جداً	$0.1 >$
فقيرة	0.2- 0.1
متوسطة (مدى طبيعى)	0.5 - 0.2
غنية	1.0 - 0.5
غنية جداً	$1.0 <$

المصدر : (Landon 1984)

و فى عدة أراضى مختلفة القوام من رومانيا تم استخدام مستخلص محلول كبريتات البوتاسيوم K_2SO_4 قوته 0.1 و 0.2 عيارى (Davidescu et al. 1982). وتم تصنيف تلك الأراضى حسب محتواها من النيتروجين كما يلى:

كمية أيونات الأمونيوم والنترات																		حالة الإمداد
أرض ثقيلة القوام ذات						أرض متوسطة القوام ذات						أرض خفيفة القوام ذات						
pH						pH						pH						
6.5 <		6.5-5.6		5.5 >		6.5 <		6.5-5.6		5.5 >		6.5 <		6.5-5.6		5.5 >		
كجم مكتر	pp m	كجم مكتر	pp m	كجم مكتر	pp m	كجم مكتر	pp m	كجم مكتر	pp m	كجم مكتر	pp m	كجم مكتر	pp m	كجم مكتر	pp m	كجم مكتر	pp m	
>	>	>	8	>	6	>	8	>	6	>	5	>	6	>	5	>	3	منخفض
30	9	25	8	20	6	25	8	20	6	15	5	20	6	15	5	10	5	متوسط
40	12	35	11	30	9	35	11	30	9	25	8	30	9	25	8	20	5	طبيعى
55	17	50	15	45	14	50	15	45	14	40	12	35	11	30	9	25	8	عالى
75	23	70	21	65	20	65	20	60	18	55	17	50	15	45	14	35	11	عالى
<	<	<	24	<	23	<	23	<	23	<	20	<	17	<	15	<	14	عالى جدا
85	26	80	24	75	23	75	23	75	23	65	20	55	17	50	15	45	14	

أعراض نقص النيتروجين على النبات

كما سبق في ذكر الوظائف الحيوية للنيتروجين في النبات نجد إنه عنصر ضروري لنمو النبات حيث يدخل في 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 عامه فيما يلي :-

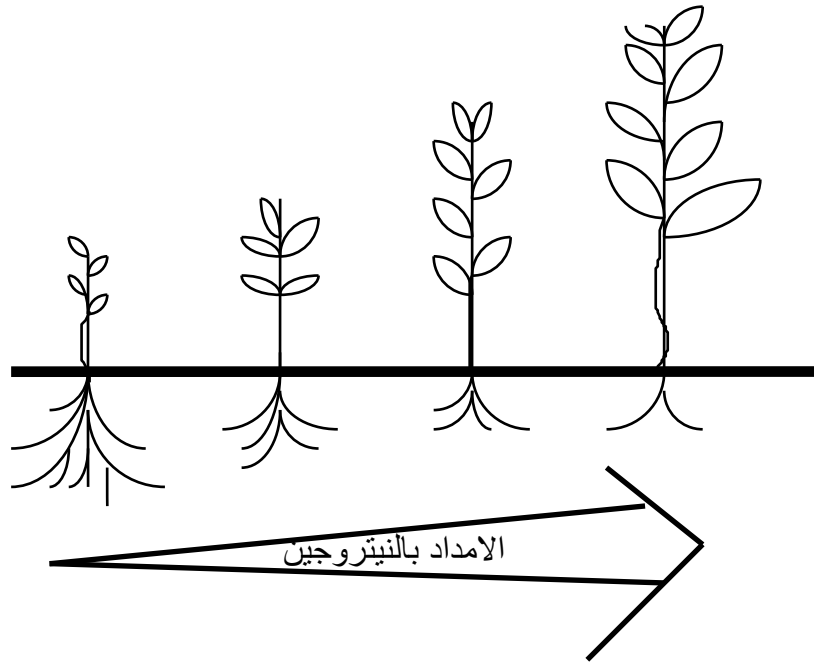
1 - يحدث إعاقة لنمو النبات، أى يكون النبات قصير - السيقان رفيعة - الأوراق صغيرة

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 النقص والخاصة باللون مع أعراض نقص عناصر أخرى 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 سلباً على عملية التزهير وبالتالي 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 الجذور قصيرة وسميكة وجيدة التفرع. ويفسر ذلك بأن الجذر يستهلك كمية النيتروجين القليلة الممتصة من الأرض الفقيرة فى عنصر النيتروجين وبالتالي 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 يؤدي هذه الحالة إلى تحرك الكربوهيدرات من الأوراق إلى المجموع الجذرى ويتفاعل مع النيتروجين الممتص مما يؤدي إلى مزيد فى نمو الجذور على حساب النمو فى المجموع الخضرى. وطبيعى أن التسميد النيتروجينى يعكس هذه الحالة.



رسم تخطيطي يوضح تأثير زيادة مستوى الإمداد بالنيتروجين على نسبة الجذور إلى السيقان في المراحل الأولى من نمو نباتات الحبوب

وفيما يلي أعراض نقص النيتروجين على نباتات بعض المحاصيل الاقتصادية:

الموالح : تظهر الأعراض أولاً على الأوراق في شكل لون أخضر باهت يتدرج إلى الأخضر المصفر ثم يتحول إلى الأصفر الكامل. ويزداد معدل تساقط هذه الأوراق عن المعدل الطبيعي كما وتتميز النموات الحديثة التي تخرج أثناء استمرار حالة النقص باللون الشاحب وبأن أوراقها الحديثة أقل حجماً وسمكاً عنها في حالة الأشجار العادية. ويجب ملاحظة أنه يمكن أن تظهر أعراض نقص النيتروجين في أي مزرعة يضاف لها كمية كافية من النيتروجين ولكن يتم ربيها بكمية زائدة من المياه عن احتياج الأشجار حيث يتم غسيل السماد أو في حال ارتفاع مستوى الماء الأرضي نتيجة لسوء الصرف وأيضاً عند انتشار الحشائش في البستان.

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

الذرة : يقل حجم النباتات الصغيرة، ويصبح لون الأوراق أخضر مصفر، وتظهر الأعراض على الأوراق السفلية أولاً بشكل إصفرار اللون على أطراف الورقة، ثم يسرى هذا الاصفرار في 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، وفي حالات النقص الشديد يكون ظهور الأعراض مبكراً

على الأوراق الفلجية. ويكون حجم النبات أقل عن الحجم الطبيعي وفي جميع مراحل النمو وتظهر الساق بشكل قرمزي مع قلة التفريع، وزيادة التخشب، ويقل الإزهار 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 الدرناات.

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 تحتوي على إحدى الصورتين أو كليهما. ويمكن تقسيم الأسمدة النيتروجينية خمسة أقسام وهي :-

1 - الأسمدة النشادرية

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



ومن المعادلة نجد أن جزيء واحد من كبريتات الأمونيوم يعطى 2 مول أيديوجين H^+ لكل واحد مول من الأمونيوم NH_4^+ وتكون الاحتياجات الجيرية اللازمة لمعادلة الحموضة الناتجة عن 1كجم نيتروجين في صورة كبريتات أمونيوم هي 7.1 كجم كربونات كالسيوم $CaCO_3$ بينما تنخفض هذه الكمية إلى النصف في حالة استخدام اليوريا كمصدر للنيتروجين. ويتضح من المعادلة أيضا أن عملية التآزت للأمونيوم يكون تأثير حامضى، في حين إذا أمتص أيون الأمونيوم مباشرة بواسطة النباتات لا يحدث هذا التأثير وبمعنى آخر في الأراضي جيدة التهوية تسود عملية التآزت وبالتالي ينتج عن ذلك حموضة الأرض وتحت هذه الظروف تقل أو تنعدم عملية عكس التآزت. ومن هذه الأسمدة:-

- سماد كبريتات الأمونيوم $(NH_4)_2SO_4$ ويحتوى 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 $NH_4H_2PO_4$ ، يحتوى على 11% نيتروجين و21% فوسفور
- فوسفات ثنائى الأمونيوم $(NH_4)_2HPO_4$ ويحوى من 16-21% نيتروجين و21-23% فوسفور.

2 - الأسمدة النترائية

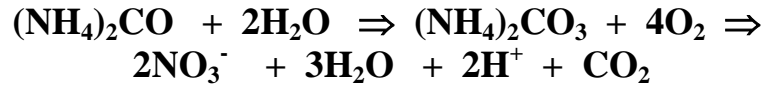
- تُعتبر جميع الأسمدة النترائية ذائبة بالماء، وعامل المفاضلة فى اختيار نوع السماد النتراتي هو الأيون المرافق لأنيون النترات. وبصفة عامه لا يُفضل استخدام هذه الأسمدة فى الأراضى المغمورة بالماء مثل مزارع الأرز أو الأراضى التى تعتمد فى ريها على الأمطار وذلك لقابلية أيون النترات للغسيل بسهولة. ولنفس السبب أيضاً يجب عدم إضافة الأسمدة النترائية 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 يؤدي إلى رفع الـ PH للأرض وخاصة تحت ظروف المناطق الجافة وشبه الجافة وبالتالي لا يُنصح باستخدامها تحت هذه الظروف. هذا بجانب تأثير أيون الصوديوم على تفريق حبيبات التربة والتأثير السام للنبات. ويُفضل إضافته للأراضى المنزرعة ببجر السكر وذلك لحاجة هذا المحصول للصوديوم بالإضافة إلى النيتروجين.
 - نترات الجير المصرى (نترات الكالسيوم $Ca(NO_3)_2$)، يحتوى هذا السماد على 15.5% نيتروجين 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 الحمضية لاحتوائه على نسبة عالية من الكالسيوم.
 - نترات البوتاسيوم KNO_3 ، يحوى 13.5% نيتروجين و36.5% بوتاسيوم.

3 - الأسمدة النترائية النشادرية

وهذه الأسمدة تحتوى على النيتروجين فى صورة أيونى الأمونيوم والنترات ، وهى ذائبة بالماء. وتشمل:-
 - سماد نترات الأمونيوم NH_4NO_3 ويحوى هذا السماد النيتروجين بنسبة 32%- 35% وهو شديد التميع مما يجعل من الصعب تداوله بالإضافة إلى كونه قابل للانفجار فى وجود الحرارة، كذلك يمكن ان 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 بكاربونات الكالسيوم $CaCO_3$ والغرض من إنتاجه هو التقليل من شدة تميع نترات النشادر وأيضاً شدة قابليته للانفجار وبالتالي يكون من السهل تداوله.

4 - الأسمدة الأميدية

وهى أسمدة غير عضوية من الوجة الزراعية رغم إنها مركبات عضوية من الناحية الكيماوية، حيث أنها 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 $(NH_4)_2CO$ ، 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:



ويوجد أيضاً بعض الأسمدة الأخرى الغير شائعة الاستخدام في مصر ومنها سياناميد الكالسيوم 21-22% -سماد اليوريا المغطاة بالكبريت 40% نيتروجين - سماد فوسفات اليوريا 17.7% نيتروجين - وسماد اليوريا فورمالدهيد 40% نيتروجين.

5 - الأسمدة السائلة

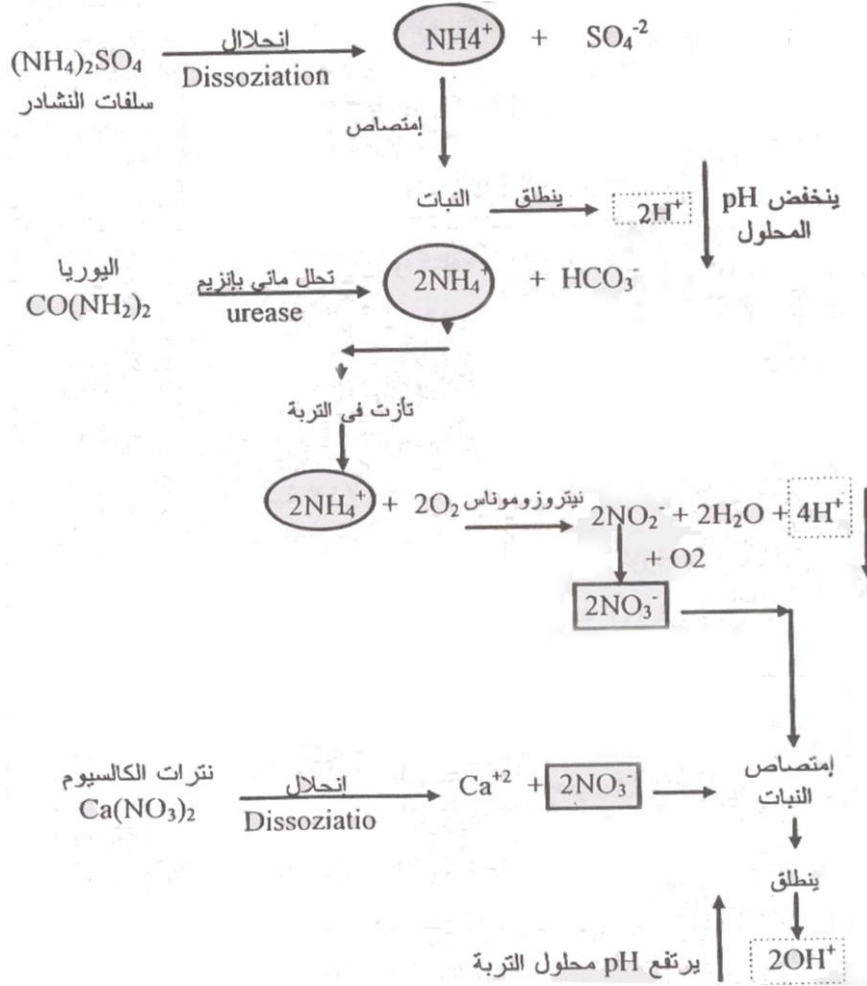
يوجد العديد من الأسمدة النيتروجينية فى الصورة السائلة والتي يمكن استخدامها مباشرة مع مياه الري سواء كان بالرش أو الغمر، وتنتج هذه الأسمدة فى مصر ومنها:

- سماد يوريا - نترات النشادر، ويحتوى على النيتروجين فى صورة أميدية و نتراتية 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 الأراضي ماعدا الأرز.

من ناحية التأثير الفسيولوجى للأسمدة النيتروجينية أوضحها (Amberger, 1993) بأنه فى حالة إضافة الأسمدة النشادرية أو اليوريا المضاف لها مثبطات التآزت (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 التآزت 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) وبالتالي ترفع رقم الـ pH حول الجذور. والتخطيط التالى يوضح هذه الفكرة باختصار.



التأثيرات الفسيولوجية للأسمدة النيتروجينية

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 إما قبل أو بعد الري. وقد يضاف السماد النيتروجيني ذائباً مع مياه الري أو عن طريق التلقيح banding بالقرب من النبات. وحالياً أثبتت طريقة الإضافة بالرش foliar سواء في هيئة محلول مُعد لذلك أو مع مياه الري بالرش كفاءة عالية للسماد. وبصفة عامه تتحدد الطريقة المناسبة بناء على نوع السماد المطلوب إضافته، خواص السماد الطبيعية والكيميائية، صفات التربة) وذلك لتقليل الفقد للنيتروجين بالطرق السابق ذكرها وتوفير الصور النيتروجينية الصالحة للامتصاص بواسطة النبات. والتي تؤدي إلى توفر النيتروجين بالكمية والصورة المطلوبة في منطقة انتشار المجموع الجذري.

ولما كانت الأسمدة النيتروجينية سهلة الذوبان وبالتالي 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 في الأراضي الرملية. إن إضافة الأسمدة النيتروجينية يفضل غالباً قبل وبعد الزراعة بفترة قصيرة وذلك حتى يتوفر هذا العنصر منذ بداية موسم النمو لمساهمة في بناء خلايا وأنسجة النبات. علاوة على تجنب البذور والبادرات الصغيرة التركيز المرتفع من الأمونيا ونواتج عملية التآزت 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 على موعد الزراعة. وحالياً حددت الدراسات والأبحاث أنسب المواعيد لإضافة الدفعات السمادية وكمياتها للمحاصيل المختلفة وفي الأراضي المختلفة.

وعموماً لا تُحدد كمية الأسمدة النيتروجينية بطريقة أو ميعاد الإضافة، بل تُحدد حسب محتوى الأرض من النيتروجين المُيسر للنبات وأيضاً الكلى بالتربة - نوع المحصول - طول موسم النمو - والظروف البيئية المحيطة وخصائص كل من الأرض والسماد. وفي نشرة البوتاسيوم وأثره على إنتاجية المحاصيل في الأراضي المصرية والتي أصدرها معهد بحوث الأراضي والمياه -مركز البحوث الزراعية بالجيزة (1993) تم اقتراح مواعيد إضافة الأسمدة النيتروجينية للمحاصيل المختلفة كالآتي:-

المحاصيل البقولية: (دفعة واحدة) عند الزراعة كجراحة تنشيطية.
القمح: (ثلاث دفعات) الأولى عند الزراعة والثانية في طور التفريع والثالثة قبل طرد السنابل.

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

القطن: (دفعتين) الأولى بعد خف النباتات والثانية أمام الري الثالثة.
الأرز: (دفعتين) الأولى بعد الشتل بأسبوعين والثانية قبل طرد السنابل.

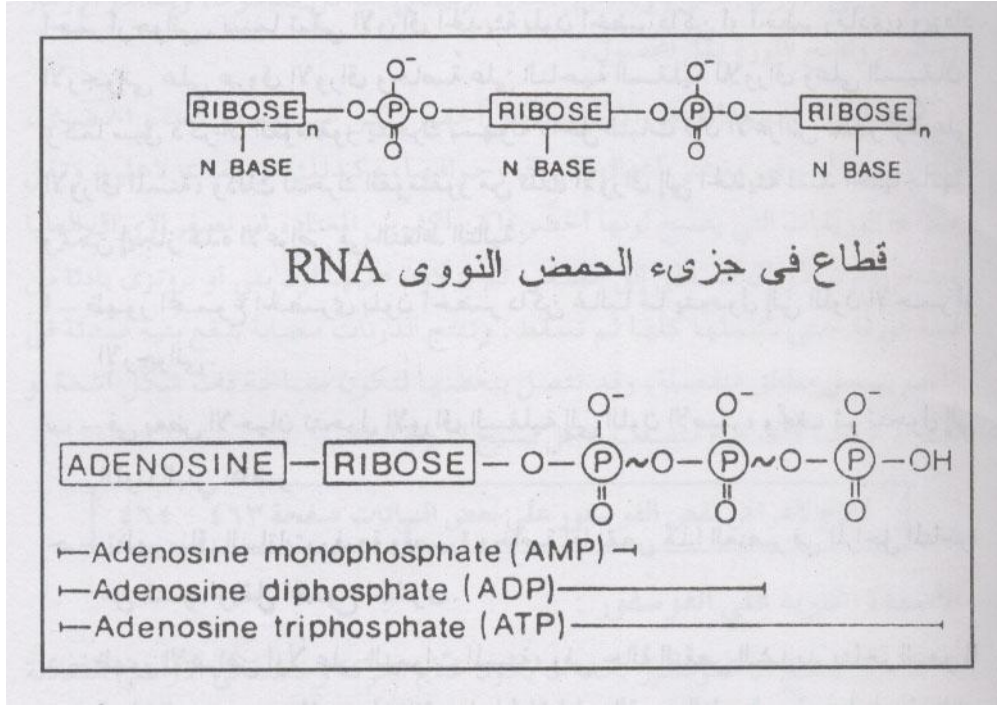
قصب السكر: (4 دفعات) الأولى بعد تكامل الإنبات بعد شهرين والدفعات من الثانية وحتى الرابعة كل ثلاثة أسابيع.
البصل : (دفعتين) بعد الشتل بأسبوعين والثانية بعدها بشهر.
الكرنب : (دفعتين) الأولى بعد الشتل بأسبوعين والثانية بعدها بشهر.
البرتقال : (4دفعات) الأولى عند خروج العين والثانية بعد تمام العقد.
العنب : (ثلاث دفعات) الأولى عند خروج العين والثانية بعد عقد الثمار والثالثة بعدها بأسبوعين.

الفصل الخامس

الفوسفور Phosphorus

يتشابه الفوسفور مع النيتروجين في مدى أهميته بالنسبة للنبات على الرغم من وجوده في 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. كذلك يكون لهذا العنصر دور أساسى فى تكوين مركبات الطاقة، ويمكن إيجاز أهم الوظائف الحيوية للفوسفور فيما يلى:-

- 1- يُعتبر مكون أساسى للفوسفاتيدات، الأحماض النووية DNA, RNA، البروتينات، ومساعدات الإنزيم AMP, ADP & ATP.
 - 2- يدخل فى تركيب العديد من الأحماض الأمينية.
 - 3- ضرورى لانقسام الخلايا، والكروموزومات 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).



رسم تخطيطى يبين تركيب الحمض النووى RNA (أعلى)
ومساعدات الإنزيم ATP, ADP & AMP (أسفل)

الفوسفور فى الأرض:

تختلف الأراضى فى محتواها من الفوسفور الكلى للعديد من العوامل أهمها : مادة الأصل -الاستغلال الزراعى - المناخ... إلخ. ويصفة عامة يكون محتوى الأراضى من الفوسفور الكلى (P) فى مدى يتراوح بين 0.02% - 0.15%، وهذه الكمية تكون مرتبطة بوجود المادة العضوية حيث يُمثل الفوسفور العضوى من 20-80% من الفوسفور الكلى.

أوضحت الدراسات على الأراضي المصرية كما ذكرها بليغ (1988) أن الأراضي الطينية الرسوبية تحتوى على نحو 1200 جزء/ مليون من الفوسفور الكلى يليها الأراضي الطفليه الجيرية (600جزء/ مليون) بينما الأرض الرملية تحتوى على(400جزء/ مليون). كما يتضح من جدول (16) تعتبر الصورة المعدنية هي السائدة فى الأراضي المصرية لانخفاض محتوى هذه الأراضي من المادة العضوية

جدول (16) : محتوى الأراضي 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

كذلك أوضحت تلك الدراسات بأن المحتوى من هذه الصور الثلاثة يقل مع العمق. وسوف نتناول صور الفوسفور بشيء من التفصيل.

صور الفوسفور فى الأراضي Forms of soil Phosphorus

كما هو معروف أن الفوسفور المعدنى هو المصدر الرئيسى والأساسى للفوسفور فى الأراضي الزراعية. حيث أن مع بداية تكوين الأراضي لا يكون بها إلا الفوسفور المعدنى والناجى من تجوية مادة الأصل التى يكون الفوسفور أحد مكوناتها، ثم بعد ذلك ومع استغلال هذه الأراضي زراعياً يُمتص هذا الفوسفور بواسطة النباتات والكائنات الحية الدقيقة الموجودة بالتربة الزراعية، ويصل أيضاً إلى الحيوانات التى تتغذى على هذه النباتات، وبالتالي 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 أخرى إلى الأرض فى صورة عضوية وأخرى غير عضوية. وعلى هذا يمكن تقسيم صور الفوسفور فى الأراضي الزراعية بشكلٍ عام إلى قسمين :-

1 - الفوسفور المعدنى Inorganic phosphates

كما سبق ذكر أن الفوسفور الطبيعي في الأرض الزراعية مصدره الأصلي وبشكل كبير هو ناتج تجوية وتحلل الصخور المحتوية على الفوسفور. وعلى ذلك فإنه يوجد على هيئة مركبات تحتوى على الكالسيوم ، الألمونيوم ، الحديد، الفلوريد أو عناصر أخرى. ولخصائص الأرض الطبيعية والكيميائية دور كبير في تحديد سيادة هذه المركبات في الأرض الزراعية.

وتُعتبر جميع مركبات الفوسفور قليلة الذوبان في الماء مما يؤثر سلبياً على الكمية الميسرة من هذا العنصر للنبات حيث تكون هذه الكمية قليلة جداً في المحلول الأرضى أو قد تكون معدومة وتمثل مجموعة الأباتايت Apatite group المصدر الرئيسى له مثل الهيدروكسى أباتايت، فلور أباتايت (والتي تُعتبر أكثر الأنواع شيوعاً)، الكلورو أباتايت والكاربونات أباتايت (جدول 17). وفي الأراضى الحامضية تنتشر معادن الفوسفات المرتبطة بالحديد والألمونيوم وهى أيضاً قليلة الذوبان. وبصفة عامة لا يمكن النظر إلى هذه المركبات بأنها ثابتة بل إنها تتأثر

جدول (17): المركبات الفوسفاتية الشائعة الانتشار في الأراضى

الرمز	المركب
$Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$	هايدروكسى أباتايت Hydroxy apatite
$Ca_{10}(PO_4)_6(F)_2$	فلورو أباتايت Flour apatite
$CaHPO_4$	فوسفات ثنائى الكالسيوم Dicalcium phosphate
$Ca_3(PO_4)_2$	فوسفات ثلاثى الكالسيوم Tricalcium phosphate
$AlH_2PO_4(OH)_2$	الفيرسيت Varisgite
$FeH_2PO_4(OH)_2$	السترنجيت Strengite

المصدر (Mengel & Kirkby 1987)

بخواص التربة والزمن والظروف الأخرى المحيطة ومما يؤكد ذلك تعدد صور المركبات الفوسفاتية وخصائصها المنتشرة في الأراضي. والجدول التالي يبين بعض المركبات الفوسفاتية المنتشرة في الأراضي.

2- الفوسفور العضوى Organic Phosphorus

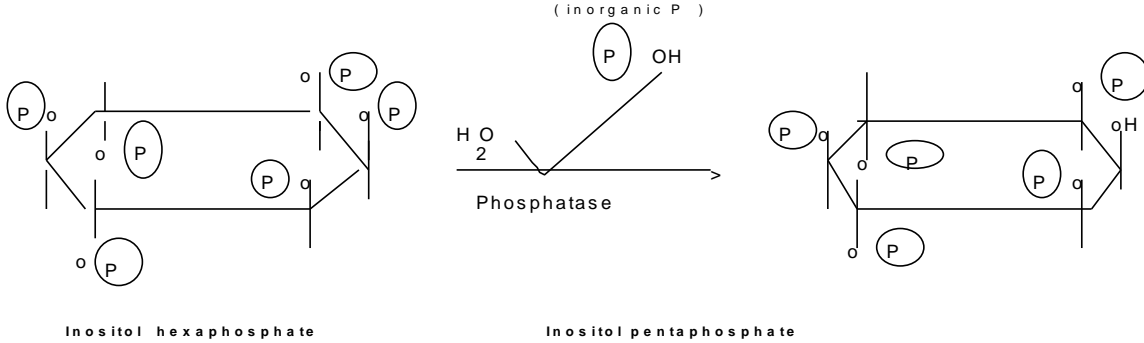
يوجد الفوسفور العضوى بالأرض الزراعية إما فى صورة مركبات فوسفورية عضوية أو مركبات فوسفورية غير عضوية مرتبطاً بمركبات عضوية، وتُمثل هذه الصورة كما سبق ذكرها من 20 إلى 80% من الفوسفور الكلى بالطبقة السطحية للتربة الزراعية، ومن هذا المدى نجد أن هناك اختلاف شاسع بين الأراضي المختلفة فى محتواها من الفوسفور 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 أملاح الكالسيوم أو الماغنسيوم لحمض الفايثيك phytic acid ، وينتج حمض الفايثيك من إتحاد حمض الفوسفوريك مع الانوسيتول Inositol. وبالتالي تكون المركبات الشائعة هى الانوسيتول Inositol phosphate ويُمثل من 30-50% من الفوسفور العضوى الكلى كما ذكرها (Anderson, 1969) ، الفوسفوليبيدات Phospholipids وتتراوح نسبته من 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 1988) ونسبة الفوسفور العضوى بالمحلول الأرضى عادةً صغيرة فأكثره فى الصورة الصلبة وغالباً تكون غير صالحة للامتصاص بواسطة النبات، وبالتالي 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 إسم المعدنة mineralization والتي بها يتحول

الفوسفور العضوى إلى فوسفور معدنى نتيجة تعرض مركبات الفوسفور العضوى بالأرض إلى نشاط أنواع مختلفة من الكائنات الدقيقة. ولايعنى إضافة أى مادة عضوية إلى للأرض أنها تؤدي إلى سيادة عملية المعدنة بل قد يكون لعملية التمثيل (التقييد، التدهور) Immobilization تأثير مباشر على كمية الفوسفور المعدنى بالأرض. وتعتبر عملية المعدنة أو التمثيل للفوسفور مشابهة لما يحدث للنيتروجين، وكقاعدة عامة فإن معدنة الفوسفور تكون أكثر سرعة تحت الظروف المناسبة لعملية النشطرة 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 أن إضافة المادة العضوية إلى التربة لا يعنى إنها تؤدي إلى سيادة عملية المعدنة للفوسفور العضوى بل قد يكون لعملية التمثيل Immobilization تأثير مباشر على عملية المعدنة. وعلى ذلك تكون نسبة (C/P ratio) هى المحددة للاتجاه السائد بعد إضافة المادة العضوية، فإذا كانت النسبة 1:200 أو أقل تكون السيادة لعملية المعدنة فى حين أن قيم النسبة 1:300 أو أكثر تُعنى فقد الفوسفور الميسر نتيجة لعملية التمثيل.

2 - نشاط الكائنات الأرضية المتخصصة (مثل Penicillium Mucor , Aspergillus , Bacillus, Pseudomonas) وكمية إنزيم الفوسفاتيز Phosphatase Enzyme المنطلق من هذه الكائنات وجذور النباتات النامية.ولذلك فإن جميع العوامل المؤثرة على نشاط الأحياء الأرضية وخاصة المتخصصة منها (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).



Inositol hexaphosphate

Inositol pentaphosphate

بعد استعراض الصور المختلفة للفوسفور في التربة، يمكن النظر لتلك الصور من زاوية أخرى عند إدخال عامل الزمن وكذلك معدل تيسر الصور المختلفة للنبات وبالتالي يمكن تقسيم جميع الصور إلى ثلاث مجاميع ذات خصائص كيميائية وفيزيوكيماوية محددة وهي:-

- 1- الفوسفات الذائبة في المحلول الأرضي Soluble Phosphate in Soil solution
- 2- الفوسفات الغير مستقرة (القابل للإحلال أو التغير) Phosphate in the Labile pool
- 3- الفوسفات المستقر Phosphate of the non-Labile fraction

أولاً: الفوسفات الذائبة في المحلول الأرضي:

كما سبق ذكر أن النباتات تمتص الفوسفور بشكل رئيسي في صورة أيونات الفوسفات المعدنية $H_2PO_4^-$ ، $HPO_4^{=}$ وهذه الأيونات تكون موجودة في المحلول الأرضي وفي أي وقت بتركيزات قليلة جداً، وذلك على الرغم من كبر محتوى الأرض من الفوسفور الكلي. وبصفة عامة لا يزيد التركيز عن بضعة أجزاء في المليون، وفي الغالب يكون أقل من واحد جزء في المليون ويعزى هذا التركيز المنخفض إلى سرعة تثبيت الفوسفور بالطرق المختلفة في التربة. ويعتبر الفوسفور الذائب في 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 التي تمكنه من النمو في مرحلة النضج. وبالتالي تعتبر

السرعة التي يتجدد بها تركيز الفوسفور في المحلول الأرضي ذو أهمية قصوى ويمكن توضيح أهمية تجديد محلول التربة من الفوسفور من خلال المثال التالي:-

إذا كانت كثافة الأرض الظاهرية هي 1.5 جم/سم³، ومحتواها من الرطوبة 25% على أساس الوزن الجاف، وتركيز الفوسفور في المحلول الأرضي 5، جزء في المليون، ويلزم المحصول النامي 20كجم فوسفور خلال موسم النمو. المطلوب حساب عدد المرات التي يلزم أن يتجدد فيها تركيز الفوسفور في المحلول الأرضي خلال موسم نمو هذا المحصول:-
الحل:-

$$\begin{aligned} \text{وزن الفدان لعمق 15سم} &= 1.5 \times 15 \times 4200 = 945 \text{ طن} \\ &= 945000 \text{ كجم} \\ \text{وزن المحلول الأرضي للفدان} &= 945000 \times 100/25 = \\ &= 236250 \text{ كجم} \\ \text{كمية الفوسفور الذائبة في المحلول الأرضي} &= 236250 \times 5 = 118125 \text{ مجم} \\ &= 12 \text{ كجم} \end{aligned}$$

فإذا كان الامتصاص والتجديد للفوسفور في المحلول الأرضي متعاقبين ويتم بصورة تامة في الأرض فإن:

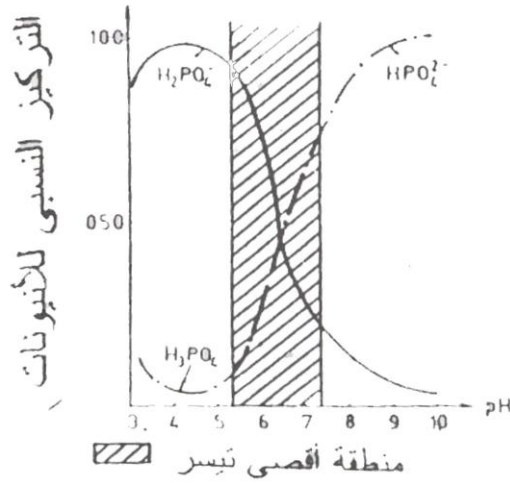
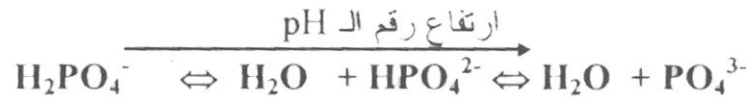
$$\text{عدد المرات التي يلزم أن يتجددها المحلول الأرضي} = 12 / 20 =$$

167 مرة تقريبا

وكما هو معروف بأن السطح الفعال لامتصاص لجذور النبات هو قمته المرستيمية. وكلما تحركت الجذور في التربة فإنها تلامس مناطق جديدة لم يسبق أن حدث امتصاص فيها (الاعتراض الجذري) لذا فإن إعادة تجهيز المحلول الأرضي بالفوسفور من المحتمل أن يكون سريعاً في مناطق صغيرة حول نهاية الجذور وبشكل أبطأ في مناطق كبيرة حول الأجزاء القديمة من الجذر حيث يكون الامتصاص بطيئاً.

إن تركيز الأنواع المختلفة من أيونات الفوسفات في المحلول الأرضي مرتبط بشكل وثيق برقم pH الأرض فأيون الفوسفات الأحادية H_2PO_4 يسود في الوسط الحامضي بينما أيون الفوسفات

الثنائي HPO_4^{2-} يسود في الوسط ذات pH أكثر من 7 وهذه العلاقة موضحة في شكل (10). ويمكن تحديد هذه الصور بالمعادلة التالية:-



شكل (10) تأثير رقم الـ pH على نوع أيون الفوسفات في المحلول الأرضي

مع افتراض عدم وجود أيونات مثل الحديد والألمونيوم والكالسيوم أو الماغنسيوم، وذلك لأن في وجود هذه الأيونات تتكون فوسفات الحديد والألمونيوم الغير ذائبة والمترسبة وهذا يحدث في الوسط الحامضي، وأيضاً يحدث ترسيب لفوسفات الكالسيوم والماغنسيوم في الوسط القاعدي (pH أكبر من 7). وبصفة عامة توجد سلسلة من المركبات الفوسفاتية والمختلفة في درجة ذوبانها تتكون تحت ظروف الأراضي المختلفة سوف نتعرض لها بشيء من التفصيل في جزء لاحق.

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

أ- السعة الامصاصية للفوسفات بالأرض

• The P Adsorption Capacity of soils

في الأراضي الحمضية تتأثر هذه الخاصية بكمية أكاسيد كل من الحديد والألمونيوم المتأدنة، بينما في الأراضي القاعدية والجيرية تتوقف على كمية الكالسيوم المتبادلة وكمية وحجم حبيبات كربونات الكالسيوم. ويعتبر قوام التربة (محتوى التربة من الطين) هو المؤثر الرئيسي على قدرة الأرض على ادمصاص الفوسفور، ويوضح جدول (18) تأثير قوام التربة على تركيز الفوسفور في المحلول الأرضي والنتاج من التسميد الفوسفاتي لكل من الأراضي القاعدية والحمضية. ويمكن ترتيب قيمة السعة الامصاصية للأراضي مختلفة القوام كما يلي :-
الأرضى الرملية > الطميية الرملية > الطميية الطينية السلتية.

جدول (18) : تأثير قوام الأراضي الحمضية والجيرية على الاحتياجات السمادية الفوسفاتية وفوسفور المحلول الأرضي

فوسفور المحلول الأرضي (ppm)	الفوسفور المضاف (ppm)	قوام الأرض	صفات الأرض	
			قبل التسميد	بعد التسميد
0,053	35	طينية	0,017	أرضى جيرية
0,161	35	طميية طينية سلتية	0,034	
0,305	20	طميية رملية	0,045	
0,07	200	طميية طينية سلتية	0,01	أرضى حامضية
0,20	75	طميية رملية	0,01	

المصدر : (Khasawneh 1980)

ومن الجدول نجد أن إضافة كمية معينة من السماد الفوسفاتي لكل من الأراضي الحمضية أو القاعدية ينتج عنها زيادة كبيرة في تركيز الفوسفور في المحلول الأرضي للأراضي خشنة القوام بالمقارنة بالأراضي ناعمة القوام. وأيضاً نلاحظ أن الاحتياجات السمادية في الأراضي الحمضية أعلى منها في الأراضي القاعدية المتشابهة معها في القوام، حيث أثبتت الدراسات أن الأراضي الحمضية تزيد في قدرتها الامصاصية للفوسفات عن الأراضي الجيرية بقدر 2.17 مرة لكل وحدة سطح امتصاص.

ب- الحد الحرج للفوسفور في المحلول الأرضي 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 (19) مستوى الفوسفور اللازم لتواجده وبصورة صالحة في محلول بعض الأراضي مختلفة القوام للحصول على أقصى نمو للنبات النامي في تلك الأراضي. من الجدول يتضح أنه في الأراضي خشنة القوام يلزم أن يكون تركيز الفوسفور أكثر من ثلاث أضعاف التركيز في الأراضي ناعمة القوام لنفس المحصول، وهذا يعني زيادة الاحتياجات السمادية الفوسفاتية لمحصول معين في الأراضي الخشنة القوام عنها في الأراضي ناعمة القوام ويرجع ذلك ربما لسببين : أولهما أن معدل الانتشار للفوسفور في الأراضي الرملية قليل جداً بالمقارنة بالأراضي الطينية نظراً لأن الغشاء المائي الموجود حول الحبيبات في الأراضي الطينية يكون متقطع والعكس في الأراضي الطينية يكون هذا الغشاء متصل. حيث وجد أنه حتى محتوى الرطوبة تحت ضغط جوى قدره 15 بار (نقطة الزبول) يكون هذا الغشاء موجود حول الحبيبات في الأراضي الطينية وبصورة متصلة. وعلى هذا يلزم وجود الفوسفور بتركيز مرتفع في المحلول الأرضي لهذه الأراضي بالمقارنة بالأراضي الطينية لكي نضمن وصول نفس الكمية من الفوسفور إلى الجذور. بينما السبب الثاني يرجع إلى أن السعة التنظيمية للفوسفور The P buffering capacity في الأراضي الرملية أقل منها في الأراضي الطينية، وعلى هذا يكون تعويض النقص في تركيز الفوسفور بالمحلول الأرضي والنتائج من امتصاص النبات له بطيء جداً، مما يلزم المحافظة على تركيز مرتفع من الفوسفور الميسر في الأراضي الرملية دائماً حتى نضمن وجود الكمية الكافية أثناء النمو.

جدول (19): المستويات الحرجة من الفوسفور الميسر
واللازم لنمو بعض المحاصيل

المنطقة	المحصول	محلول الاستخلاص	المستوى الحرج (ppm)
غرب الولايات المتحدة أرض طينية طميية طينية سلتية طميية رملية	شعير	الماء	0.1 0.16 0.35
كاليفورنيا	حبوب صغيرة	الماء	,40
جنوب شرق أمريكا طميية طينية سلتية طميية طميية رملية	الدخان	0,01 M CaCl ₂	,07 ,20 ,68
هاواي	الذرة البطاطا الخنس	0,01 M CaCl ₂	,06 ,10 , 40

المصدر: (Khasaweneh et.al.1980)

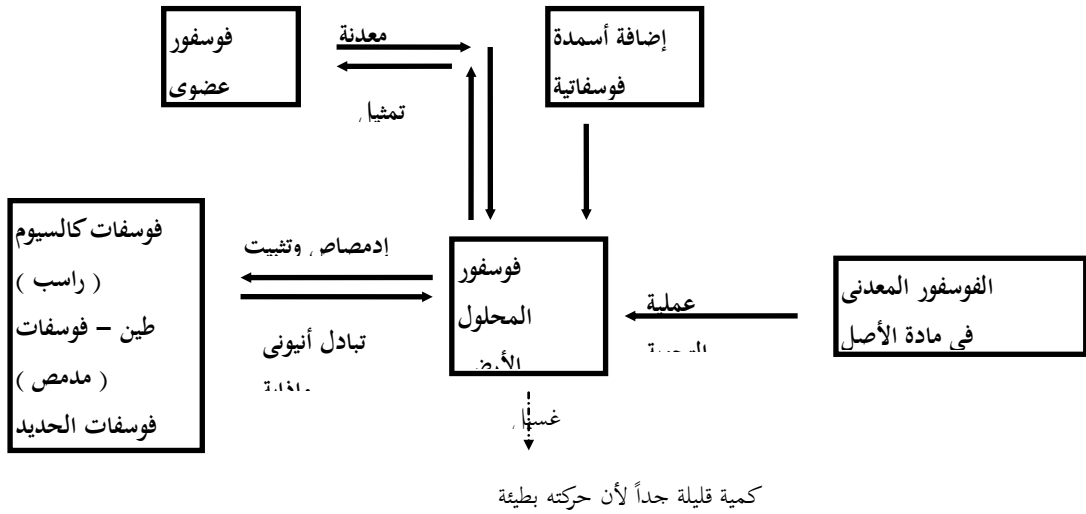
عادة يتم استخلاص الفوسفور من الأراضى القاعدية ومنها الأراضى المصرية باستخدام طريقة أولسن، وتم تحديد المستويات الحرجة للفوسفور الصالح بهذه الطريقة تبعاً لاحتياجات المحاصيل المختلفة (جدول 20) كما ذكرها أبو الروس وآخرون (1992).

جدول (20) : المستويات الحرجة للفوسفور الصالح بطريقة أولسن لبعض المحاصيل بالجزء في المليون

مجموعات المحاصيل	مستوى الفوسفور الصالح منخفض	مستوى الفوسفور الصالح متوسط	مستوى الفوسفور الصالح عالي
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 من 21

دورة الفوسفور فى الأرض Phosphorus cycle in Soil

إن المحافظة على تركيز ملاتم 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 11).

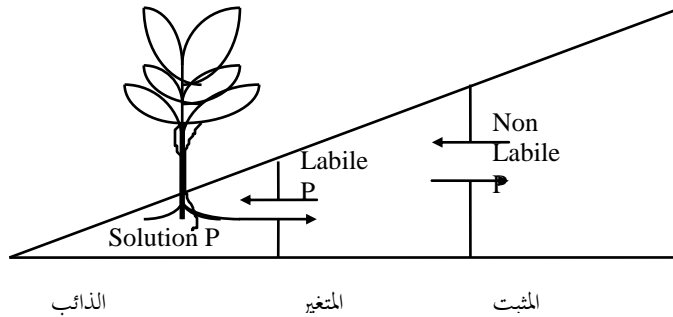


شكل (11): العمليات الأساسية في دورة الفوسفور في الأرض

ثانياً: - الفوسفور القابل للإحلال أو التغير

Phosphate in the Labile pool

يُعرف Larsen هذه الصورة من الفوسفور بأنها الجزء من الفوسفور الأرضي الذي يمكن أن يتحول إلى المحلول الأرضي نتيجة التبادل مع الفوسفور المشع p^{32} في فترة زمنية محددة علمياً بأن التبادل النظيري (النظير المشع للعنصر) يمكن أن يشمل جميع الفوسفور الأرضي في الصورة الصلبة إذا امتد الزمن إلى فترة طويلة ولذا يجب تحديد الفترة الزمنية. وعموماً تشمل هذه الصورة كل من الفوسفور المدمص على أسطح الغرويات الأرضية أو المترسب حديثاً في صورة مركبات فوسفات الكالسيوم أو الحديد أو الألمونيوم والتي لها قدرة أكبر على الإذابة بالمقارنة بالمركبات قليلة الذوبان مثل مجموعة الأباتايت. وتختلف هذه الكمية من أرض إلى أخرى حسب توفر العوامل المؤثرة في قدرة الأرض الإدمصاصية منها على سبيل المثال (محتوى الأرض من الغرويات الأرضية والتي تحمل مواقع تبادل ذات شحنة كهربائية موجبة كما في أكاسيد الحديد والألمونيوم المتأدرة وأنواع معينة من معادن الطين وغيرها). ومن الجدير بالذكر بأن هذه الصورة مرتبطة مع الصور الأخرى للفوسفور بحالة من الاتزان الكيميائي والشكل (12) يوضح ذلك.



شكل (12): صور الفوسفور في التربة وحالة الإتزان بينهم.

من الشكل السابق نجد أن قد يحدث أن تتحول صورة الفوسفور الأيونية والذائبة في المحلول الأرضى إلى الصورة الغير مستقرة وذلك نتيجة ترسيب الفوسفور بتفاعله مع الكالسيوم أو الحديد و الألمونيوم الذائبة في المحلول الأرضى وتكون مركبات مترسبة حديثاً. أو قد يحدث ادمصاص لهذه الأيونات على أسطح الغرويات الأرضية. في نفس الوقت قد ينطلق الفوسفور الموجود في هذه الصورة خلال عملية التحرر (عكس الادمصاص **desorption**) نتيجة التبادل الأنيوني أو حدوث إذابة لبعض المركبات المترسبة حديثاً. ويلعب الفوسفور الموجود في هذه الصورة دوراً كبيراً في تغذية النبات حيث يعتبر المستودع الذى يمد المحلول الأرضى باستمرار وبشكل تدريجى بعد نفاذ محتواه نتيجة عملية الامتصاص بواسطة النبات وخلافه. أيضاً يجب ذكر أن قدرة الفوسفور على البقاء في هذه الصورة يحددها الفترة الزمنية وصفات الأرض الفيزيوكيميائية والظروف البيئية المحيطة. وعموماً تتحول الصور المختلفة مع الزمن وبصورة تدريجية إلى صور أخرى أقل ذوباناً تقع ضمن الصورة الثابتة أو المستقرة.

ثالثاً: - الفوسفور الغير قابل للحركة Non - Labile - phosphours

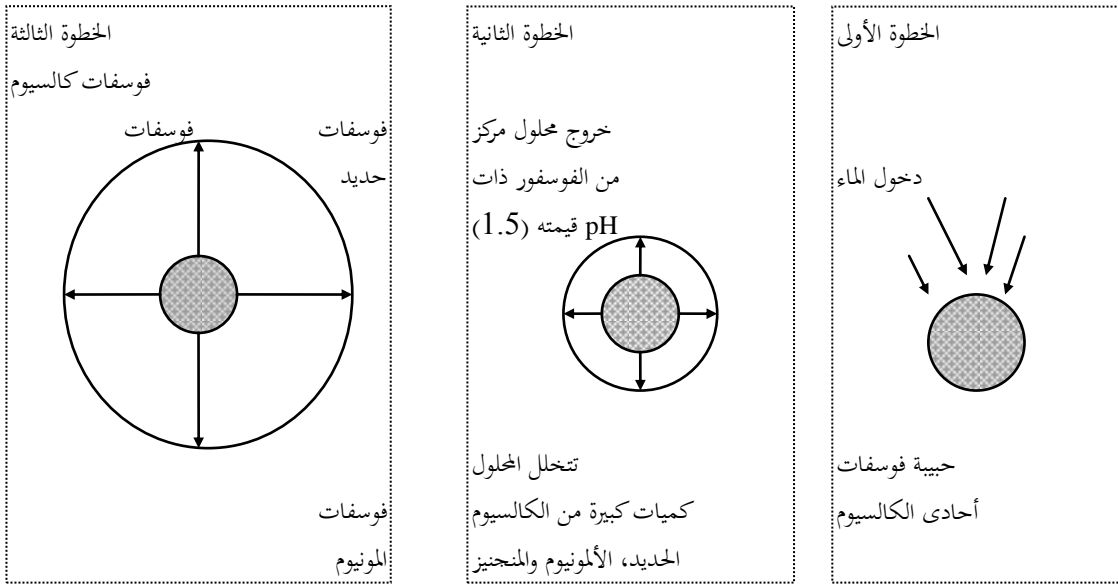
تشمل هذه الصورة المركبات الفوسفاتية قليلة الذوبان والتي ينطلق منها الفوسفور إلى الصور الأخرى ببطء شديد، وتشمل مجموعة معدن الأباتايت، معدن الفاريسيت **Varscite** والسترنجيت **Strengite** وأيضاً صور الفوسفور العضوى المختلفة والبطيئة التحلل. وعموماً لا يمكن إهمال دور جميع هذه الصور مجتمعة في تغذية النبات لوجدها في حالة اتزان مستمر معاً على الرغم من أن الكمية المطلقة من الصورة الغير قابلة للحركة قليلة جداً وذلك لاحتياجها إلى ظروف خاصة لإذابتها مثل توفر الكائنات الدقيقة المتخصصة في إذابة الفوسفات من مركباته المعدنية أو المتخصصة في معدنة الفوسفور العضوى.

تفاعلات الفوسفور فى الأراضى المختلفة:

عند امرار محلول يحتوى على أحد الأسمدة الفوسفاتية الذائبة مثل فوسفات أحادى الكالسيوم **Ca** 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) يؤدي إلى نزع جزء قليل فقط من الفوسفور (المفقود). وهذا النقص في ذوبان الفوسفات المضافة يُعرف بحجز الفوسفات **Phosphate retention** أو **Phosphate adsorption** (ويشير هذا الجزء من الفوسفور المحجز - المدمص

إلى الجزء 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 المخففة وبصفة عامة لا يُعتبر سريع في درجة تيسره للنبات) ويرجع حجز أو تثبيت الفوسفات إلى تحول فوسفات الكالسيوم الأحادية الذائبة إلى فوسفات غير ذائبة نتيجة تفاعلها مع الكالسيوم في الأراضى القاعدية أو مع الحديد والألمونيوم في الأراضى الحمضية.

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 يؤدي 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 ال pH لهذا المحلول فى مدى 1 - 1.5 أى شديد الحموضة. وعند انطلاق هذا المحلول إلى الوسط المحيط بالحبيبة يؤدي إلى إذابة مكونات حبيبات التربة الملاصقة له، فى الأراضى القاعدية غالبا ما يسود الكالسيوم والمغنسيوم بها وخاصة فى الأراضى الجيرية وعلى ذلك يتفاعل هذا المحلول مع الكالسيوم ويتكون مركبات صعبة الذوبان، فى حين يكون التفاعل مع الحديد والألمونيوم فى الأراضى الحمضية.



شكل يوضح الخطوات المتتالية لذوبان حبيبة فوسفات أحادى الكالسيوم

المصدر: White, 1987

إن ميكانيكية التفاعلات التي يُصبح بها الفوسفور غير مُيسر للنبات تحت ظروف الأراضي المختلفة يمكن توضيحها فيما يلي :-

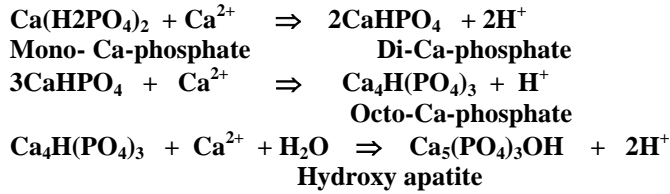
أولاً: التفاعلات في الأراضي القاعدية:-

1- تفاعلات الترسيب :

كما سبق ذكر أن بارتفاع رقم pH الأرض تزداد أيونات الفوسفات الثنائية والثلاثية وكما هو معروف بأن درجة الذوبان تقل حسب الترتيب التالي:-



وفي معظم الأراضي القاعدية يكون للكالسيوم فاعلية كبيرة، وبالتالي تتعرض الفوسفات المضافة إلى سلسلة من التفاعلات مع أيون الكالسيوم الذائب في المحلول الأرضي أو المتبادل على أسطح معادن الطين مكوناً مجموعة من المركبات الفوسفاتية المتفاوتة في درجة ذوبانها. وبتزايد تركيز الكالسيوم وثبات تركيز الفوسفات يساعد على سرعة التثبيت وذلك بالوصول إلى نهاية سلسلة التفاعل كما يلي:-



ومعنى ذلك أن جزء كبير من الفوسفور المضاف سوف يُصبح في صورة غير مُيسرة بالنسبة للنبات وذلك لتحويله إلى إحدى صور الفوسفور الغير قابل للحركة Non - Labile - phosphorus، وهذا التفاعل يحدث أيضاً في الأراضي الجيرية.

2- الترسيب السطحي على حبيبات كربونات الكالسيوم :

في الأراضي القاعدية المحتوية على كربونات الكالسيوم توجد ميكانيكية أخرى 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 تلك الأسطح في طبقة سمكها جزئياً واحد من الفوسفات من خلال إحلال أيون H_2PO_4^- محل أيون CO_3^{2-} . ومع زيادة تركيز الفوسفات المضافة إلى الأرض وتمرور الزمن تتفاعل

كربونات الكالسيوم أو الماغنسيوم وبغض النظر عن طبيعة التفاعلات التي تحدث فإن الناتج النهائي يتكون فوسفات الكالسيوم في صورة راسب صعب الذوبان، وثاني أكسيد الكربون أو الأيدروكسيل.

3- الطين المشبع بالكالسيوم:

يُعتبر الطين المشبع بالكالسيوم مسئول عن ميكانيكية ثالثة لتثبيت الفوسفات بالأرض القاعدية وأيضاً في الأراضي ذات pH حامضى ضعيف (6.5) حيث يقوم الكالسيوم المتبادل بعمل قنطرة تربط بين أيون الفوسفات وسطح الطين ويمكن تمثيل تلك الرابطة كما يلي:-

Clay - Ca - H₂PO₄

ومن الطبيعي يمكن أن نتوقع إنه كلما زادت كمية الطين ذات السعة التبادلية الكاتيوني (C.E.C) المرتفعة مثل معادن من نوع 1:2 ازدادت كمية الفوسفات المثبتة بهذه الطريقة.

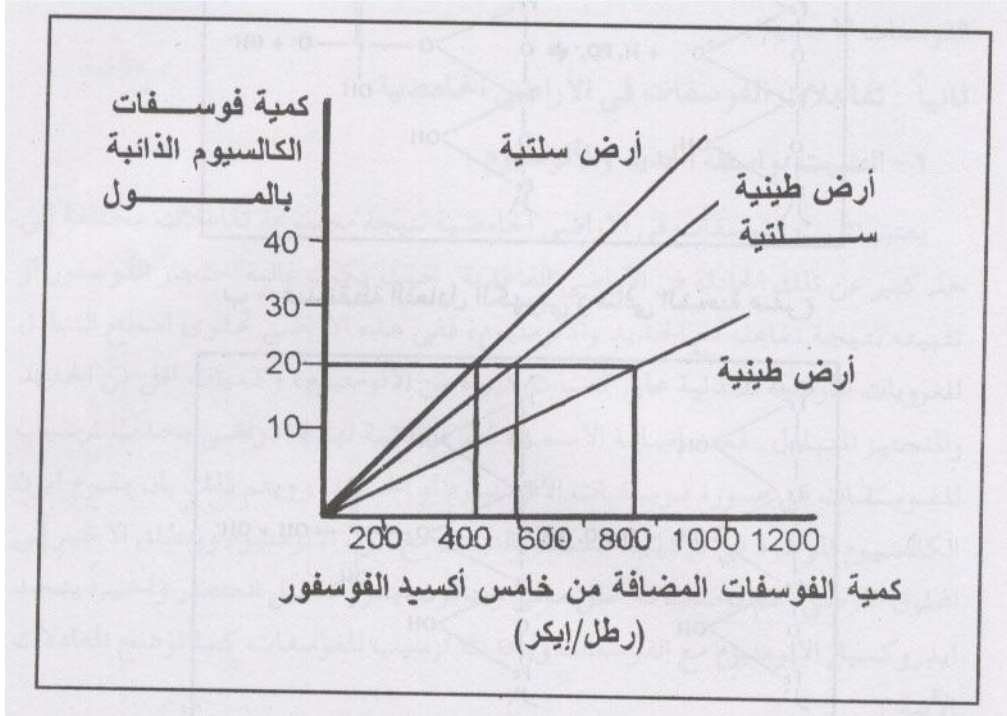
ومن السابق نجد أن نشاط الفوسفور في المحلول الأرضي في الأراضي القاعدية ومنها الأراضي المصرية يكون متوقف على ثلاث عوامل أساسية وهي :-

أ - نشاط أيون الكالسيوم Ca^{2+} .

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

ج - كمية ونوع الطين الموجود.

حيث يقل نشاط (تيسر) الفوسفور في الأراضي ذات نشاط كالسيوم مرتفع، ومحتوى عالي من كربونات الكالسيوم الناعمة القوام، وكمية كبيرة من الطين المشبع بالكالسيوم. ولهذا يجب إضافة كمية أكبر من الأسمدة الفوسفاتية لمثل هذه الأراضي للحصول على مستوى ملائم من الفوسفور الميسر في المحلول الأرضي. وفي إحدى الدراسات بولاية كولورادو بالولايات المتحدة الأمريكية على تأثير كمية الطين (قوام الأرض) وكمية السوبر فوسفات المضافة على كمية الفوسفور النشط (الميسر) في المحلول الأرضي (Tisdzle & Nelson 1987). وكانت النتائج كما يوضحها شكل (13) كما يلي :-



شكل (13): يبين تأثير قوام التربة الزراعية على تيسر الفوسفور المضاف إليها.

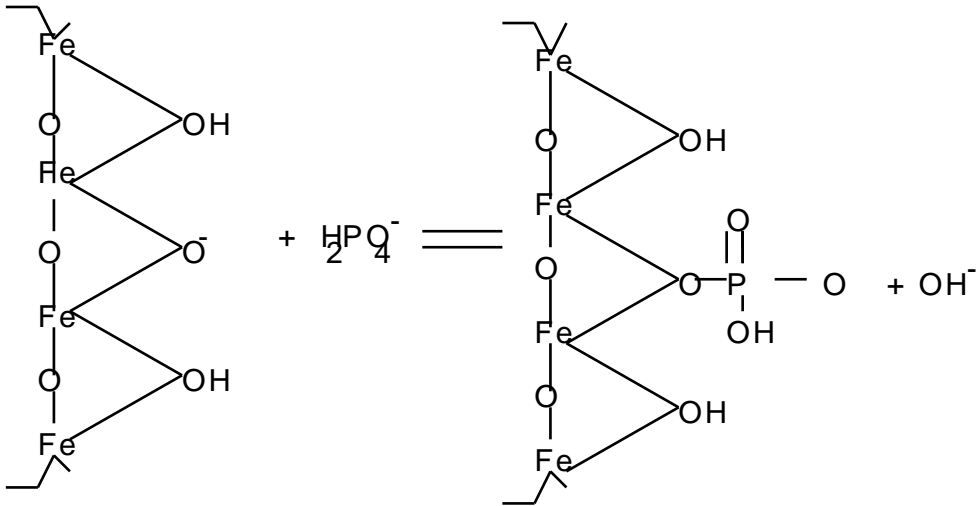
من الشكل السابق يمكن إيضاح نقطتين. الأولى أن كمية الفوسفور الذائبة في المحلول الأرضي في الأراضي المختلفة القوام تحت الدراسة تزداد مع زيادة كمية الفوسفات المضافة، والثانية هي لكي يتم الحصول على كمية معينة من الفوسفور النشط (الذائب) في المحلول الأرضي يلزم إضافة كمية أكبر من السوبر فوسفات في الأراضي ناعمة القوام عن ما يلزم إضافته للأرض خشنة القوام للوصول إلى نفس المستوى من النشاط (نفس الكمية الذائبة).

4-التفاعل مع الأكاسيد السداسية المتأدرة:

نتيجة للسلوك الأمفوتيري (Amphoteric behavior) للأكاسيد السداسية فإن أسطحها تحمل صافي شحنة كهربائية قد تكون سالبة أو متعادلة أو موجبة. وعلى هذا فإن أيونات الفوسفات الموجودة في المحلول الأرضي تدخل في تفاعلات تبادل أنيوني مع مجموعات الأيدروكسيل الموجودة على أسطح حبيبات أو فيلم تلك الأكاسيد. ويوجد ثلاث تفاعلات لأكسيد الحديد المتأدرة والتي تحدث عند قيم من pH أعلى وأقل أو عند نقطة التعادل الكهربائية لهذا المركب Zero-point of charge (ZPC) يمكن إيضاها كما يلي:-

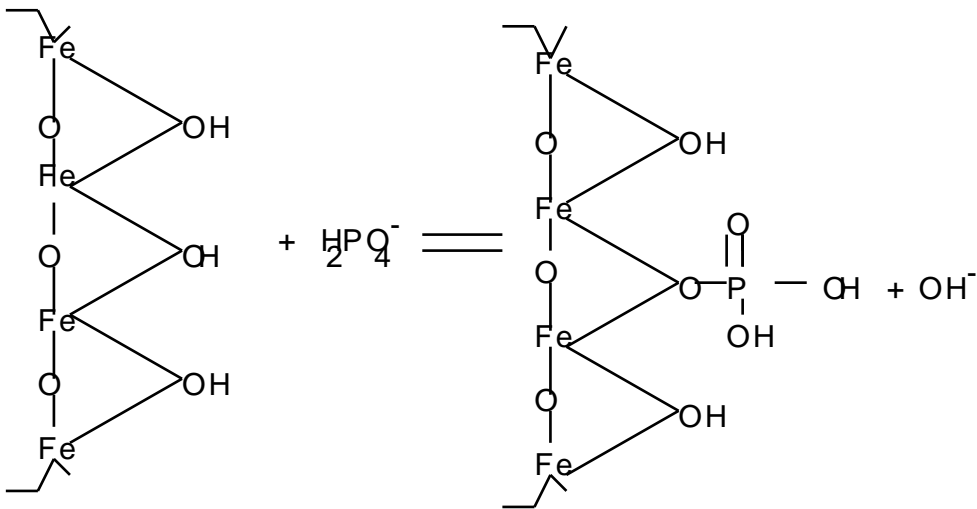
أ - عند نقطة أعلى من نقطة التعادل الكهربية (صافي الشحنة سالب):

a- Above the ZPC-oxide Surface Negatively charged:



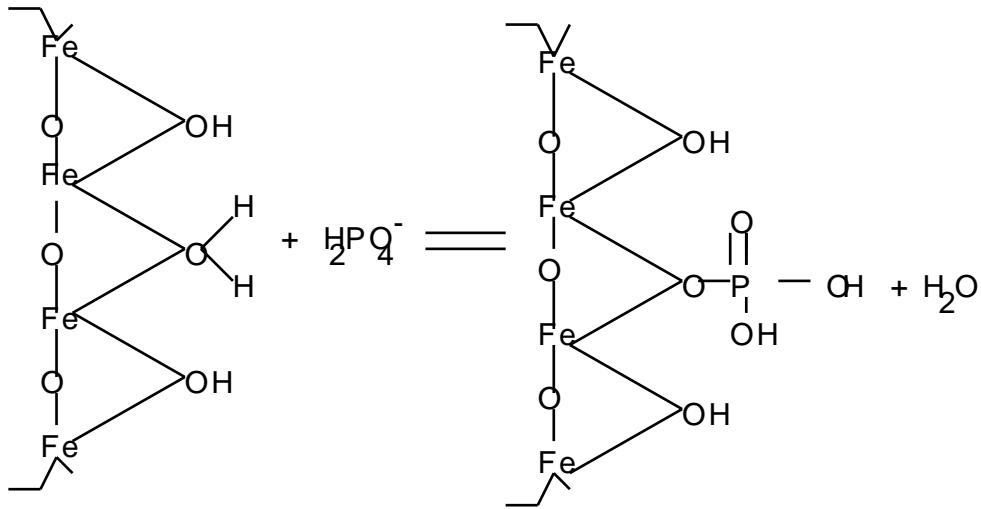
ب - عند نقطة التعادل الكهربي (صافي الشحنة صفر)

b-At the ZPC-Oxide surface with net zero charge:



ج - عند نقطة أسفل من نقط التبادل الكهربي (صافي الشحنة موجب):

C-Below the ZPC-oxide surface with net positive charge:



من الخطوات السابقة نجد أن عند نقطة التبادل الكهربية لأكاسيد الحديد المتأدرة 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 لجزء الماء H_2O بواسطة مجموعة الفوسفات الأحادية.

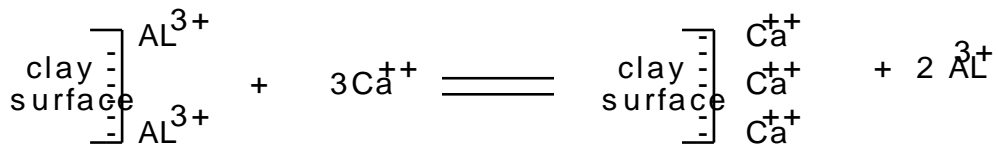
ثانياً: تفاعلات الفوسفات في الأراضي الحمضية:

1- التثبيت بواسطة الحديد والألمونيوم:

يعتبر تثبيت الفوسفات في الأراضي الحمضية نتيجة مجموعة تفاعلات مختلفة إلى حد كبير عن تلك الحادثة في الأراضي القاعدية. حيث يكون غالبية احتجاز الفوسفور أو تثبيته نتيجة تفاعله مع الحديد والألمونيوم، ففي هذه الأراضي تحتوى أسطح التبادل للغرويات الأرضية المعدنية على كميات كبيرة من الألمونيوم وكميات أقل من الحديد والمنجنيز المتبادل. فعند إضافة الأسمدة الفوسفاتية لهذه الأراضي يحدث ترسيب للفوسفات في صورة فوسفات الألمونيوم أو الحديد ويتم ذلك

بأن يقوم أيون الكالسيوم الموجود في تركيب السماد بالتبادل مع أيون الألمونيوم وينطلق الأخير إلى المحلول الأرضي، ثم يحدث له تحلل مائي وتكون أيديروكسيل العنصر وأخيراً يتحد أيديروكسيل الألمونيوم مع الفوسفات ويحدث ترسيب للفوسفات كما توضح المعادلات الآتية:-

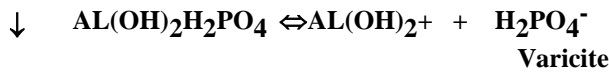
أ - التبادل الكاتيوني Caion Exchange:



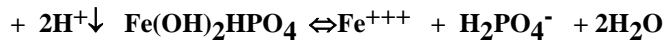
ب - التآدرت Hydrolysis:



ج - الترسيب Precipitation:



وينفس الكيفية يحدث ترسيب للفوسفات بواسطة الحديد كما في المعادلة التالية:-

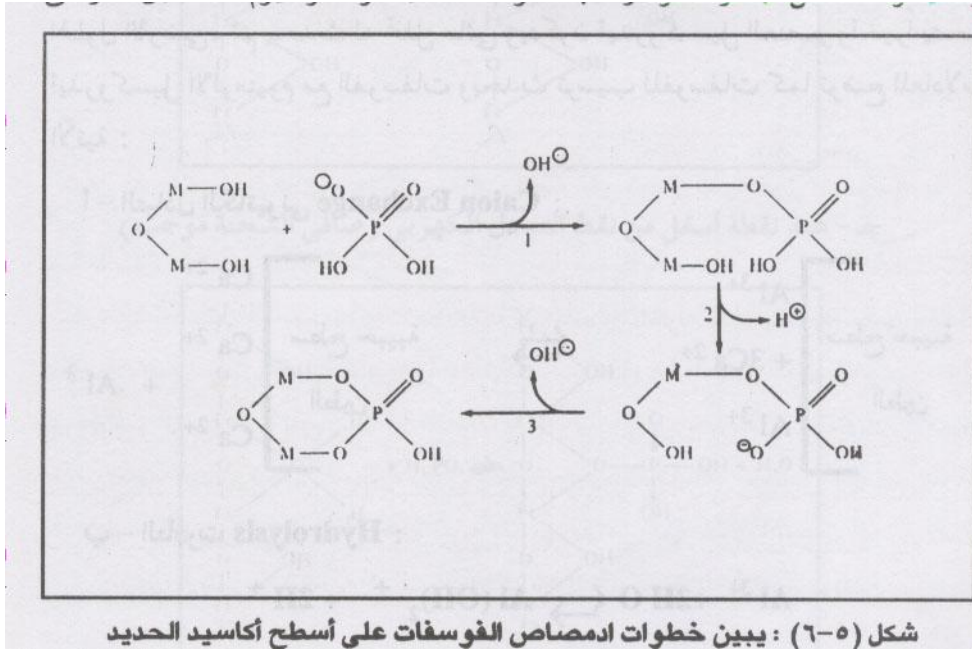


Stringite

وهكذا نجد أن واحد مول من الألمونيوم المتبادل والذي حدث له تحلل مائي يُرسب واحد مول من أيونات الأورثوفوسفات. وليس من المنتظر أو المحتمل حدوث تحلل مائي لكل الألمونيوم المتبادل تحت الظروف الحقلية وبالتالي من المتوقع أن يكون إسهام هذه الميكانيكية في تثبيت الفوسفات تكون أقل عن ما يشير إليه هذا التفاعل.

2 - ادمصاص الأيونى بواسطة الأكاسيد:

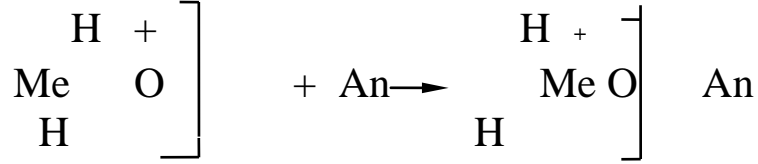
وهنا تتفاعل الفوسفات مع مركبات الحديد والألمونيوم وتتكون معقدات مختلفة. وقد يكون التفاعل مباشراً مكوناً راسب لمكونات الحديد أو الألمونيوم كما سبق ذكره فى الخطوة السابقة. أو يحدث ادمصاص للفوسفات على أسطح تلك الأكاسيد وتنطلق جزيئات الماء ومجموعات الأيدروكسيل، شكل (14) يصف هذا التفاعل.



شكل (14) يبين خطوات ادمصاص الفوسفات على أسطح أكاسيد الحديد

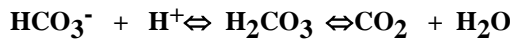
ويمكن أن يحدث ادمصاص للأنيونات على الأسطح التى تحمل شحنة موجبة وتزداد هذه الحالة تحت ظروف الأراضى الحمضية حيث يحدث جذب للأيدروجين على مجموعة الأيدروكسيل الخارجية وفى النهاية يكون صافى الشحنة موجب مما يؤدي إلى إدمصاص الأنيونات عن طريق خاصية الجذب بالقوة الإلكترونية كما يمثلها التفاعل التالى:





3 - تثبيت بواسطة الطين المُشبع بالكالسيوم:

ويحدث ذلك في الأراضي ذات pH 6.5 أو أقل وذلك عن طريق أيون الكالسيوم المتبادل على أسطح معادن الطين حيث يعمل أيون الكالسيوم كتنظرة بين أيون الفوسفات وسطح الطين. وما سبق نجد أن الفوسفور المضاف إلى الأراضي القاعدية أو الأراضي الحمضية يتعرض إلى التثبيت بطرق مختلفة ففي الأراضي الحمضية يكون للحديد والألمونيوم الأثر الفعال في احتفاظ تلك الأراضي بالفوسفور أو تثبيته، بينما في الأراضي القاعدية يكون درجة تشبع الطين بالكالسيوم ومحتوى تلك الأرض من كربونات الكالسيوم الحرة هما العاملان المسيطران على الاحتفاظ أو تثبيت الفوسفور. 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 إحلل أيون مُعين سالب الشحنة له قدرة الإدمصاص النوعى مثل أيون البيكربونات أو الفلوريد محل أنيون الفوسفات المدمص. وقد يتكون أيون البيكربونات في المحلول الأرضى أثناء انطلاق ثانى أوكسيد الكربون من عملية التنفس للجذور والكائنات الدقيقة وذوبانه في الماء مكوناً حمض الكربونيك الذى سرعان ما يتأين إلى بيكربونات وأيدروجين حسب المعادلة التالية:-



أن هناك بعض الأيونات السالبة الشحنة الأخرى التى يمكن أن تحل محل الفوسفات مثل الأيدروكسيل والسليكات وبعض الأيونات العضوية مثل السترات و الطرطرات والهيومات، وغيرها التى تساهم في تحرر الفوسفات المدمصة أو تنافس أيون الفوسفات المضاف في صورة سماد على الإدمصاص على الأسطح الموجبة الشحنة للغرويات الأرضية مما يزيد من تيسر الفوسفور في المحلول الأرضى. حيث أن خلال الفترة من 1990 إلى 1994 أوضحت الدراسات التى قام بها (EL-Beshbeshy) بأن هناك تأثير إيجابى لأنيونات السليكات على تيسر الفوسفور الأصلى Native phosphorus بالتربة وذلك من خلال 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 بمحلولان) وفى تجربة حقلية أدى استخدام هذه المركبات إلى زيادة كمية الفوسفور الممتص بواسطة نباتات الشعير المنزرعة في منطقة حديثة الاستصلاح (غرب شمالوط - المنيا) وأيضاً زيادة كفاءة استخدام الأسمدة

الفوسفاتية، وربما يُعزى ذلك لحدوث تنافس بين كلٍّ 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 في جميع أنواع الأراضي، وسوف نتناولها بشيء من التفصيل فيما يلي:-

1 - كمية الطين في الأرض:

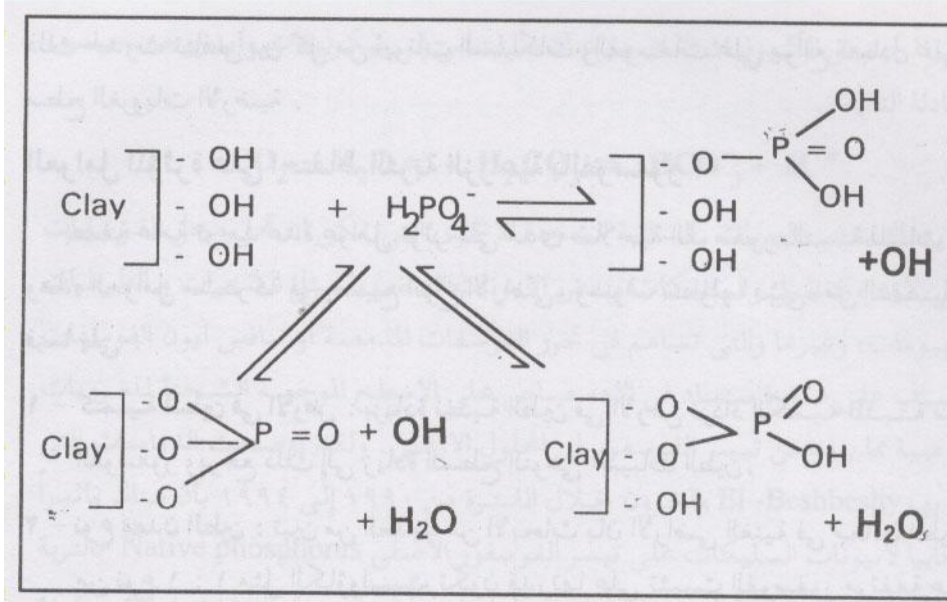
زيادة نسبة الطين في الأرض تزداد الكمية المثبتة من الفوسفور ويرجع ذلك إلى زيادة السطح النوعي لحبيبات الطين. ويتضح ذلك من شكل (13) السابق ذكره.

2 - نوع معدن الطين:

تبين من العديد من الأبحاث بأن الأراضي الغنية في معادن الطين من نوع 1:1 مثل الكاؤولينيت تكون قدرتها على تثبيت الفوسفور مرتفعة عن الأراضي الغنية في معادن من نوع 1:2. ويرجع ذلك إلى أن عدد أكبر من مجموعات الأيدروكسيل المرتبطة مع ذرة الألمونيوم في طبقة الأوكتايدرا تكون مكشوفة في معادن من نوع 1:1 وصف (عواد 1987) طبيعة التفاعل كما يلي:-

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

ب - قد يحدث تبادل أنيوني بين مجموعة الفوسفات ومجموعة الأيدروكسيل الموجودة في الهيكل البنائي لمعدن الطين. هذا بالإضافة إلى أن مثل هذا التفاعل يساعد على زيادة عدد مجاميع الأيدروكسيل المرتبطة بالمعدن مما يؤدي إلى زيادة السعة التبادلية الكاتيونية وخاصة عندما يرتفع رقم ال pH للأرض عن 7 كما توضحها المعادلات الآتية.



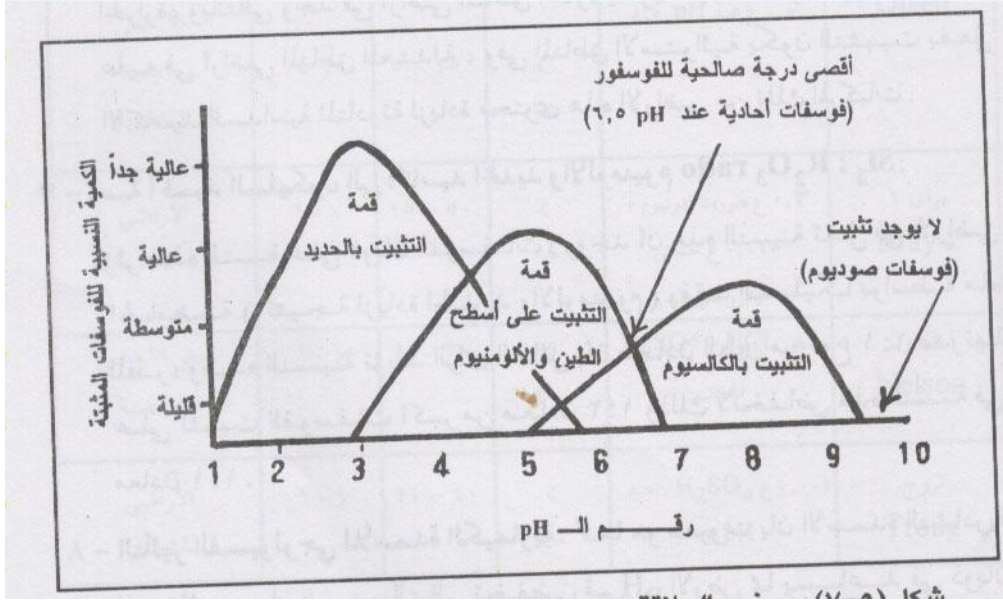
بينما الأراضى الغنية في معادن الطين من نوع 1:2 ونظراً لأن السعة التبادلية الكاتيونية لها مرتفعة فتكون كمية الكالسيوم المتبادلة كبيرة وبالتالي يحدث التثبيت أو الاحتفاظ بواسطة أيون الكالسيوم (فوسفات - كالسيوم - طين).

3 - مدة التفاعل:

كلما زاد زمن التلامس بين أيونات الفوسفات ومكونات التربة الزراعية كلما زاد معدل التثبيت وهذا الزمن يختلف من أرض إلى أخرى. وتعتبر المدة التي يتمكن فيها النبات من الاستفادة القصوى من السماد الفوسفاتي المضاف مهمة من الناحية العملية. ففي الأراضى ذات القدرة العالية على التثبيت تكون تلك المدة قصيرة، بينما في أراضى أخرى قد تطول تلك الفترة لمدة شهر أو أكثر. وهنا ترجع الأهمية حيث يتم تحديد ما إذا كان السماد يضاف على دفعة واحدة أو على عدة دفعات خلال الدورة الزراعية، كذلك تحديد طريقة الإضافة.

4 - رقم ال pH للتربة الزراعية:

يُعتبر رقم ال pH للتربة من العوامل العالية التأثير على تحديد درجة صلاحية الفوسفور للنبات، كما سبق ذكر أن الصورة الأيونية للفوسفات والتي تكون مفضلة للامتصاص من قبل النبات هي $H_2PO_4^-$ بالمقارنة بالصورة الأيونية الأخرى وذكر أن تركيز هذه الصورة يقل بارتفاع وانخفاض رقم ال pH وذلك حسب طريقة التثبيت وتكون أعلى درجة صلاحية للفوسفات في مدى pH من 6-7. والشكل (15) يبين تأثير رقم ال pH على كمية وميكانيكية تثبيت الفوسفات.



شكل (15) يوضح العلاقة بين رقم الـ pH وكمية وميكانيكية تثبيت الفوسفات

5 - المادة العضوية:

- من المعروف بأن الأسمدة العضوية عند إضافتها إلى الأراضى الزراعية تؤدي إلى زيادة خصوبة تلك الأراضى، سواء كان نتيجة لما تجوية المواد العضوية من عناصر أو بطريقة غير مباشرة عن طريق زيادة ذوبان بعض العناصر وجعلها في 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 الميكروبي المصاحب لوجود المادة العضوية يعمل على خفض رقم الـ pH للأرض مما يزيد من ذوبان المركبات الفوسفاتية.
- ب - تقوم الغرويات العضوية بتغليف الأكاسيد السداسية المتأدرة وبالتالي تمنع أو تقلل من اتحادها مع الفوسفات.
- ج - وجود بعض الأيونات العضوية السالبة الشحنة والناجمة من تحلل المادة العضوية مثل الهيومات humate، السترات citrate، الطرترات tartrate والأوكسالات oxalate فى المحلول الأرضى يمكن أن تتحد مع الحديد والألمونيوم أو يمكن أن تتبادل مع أنيونات الفوسفات المدمص أو تتنافس مع أيونات الفوسفات المضافة وبالتالي تزيد من الفوسفور الميسر للنبات.
- د - تعتبر المادة العضوية مصدر هام للفوسفور العضوى والذى يمتاز بقلة تثبيته بالمقارنة بالفوسفور المعدن، ويفعل الكائنات الأرضية الدقيقة يحدث عملية معدنة لهذا الفوسفور ويصبح في 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 بسهولة.

6 - درجة الحرارة:

كما هو معروف بأن سرعة التفاعلات الكيميائية تزيد بزيادة درجة الحرارة. وبالتالي وجد في أراضي المناطق الحارة يكون تثبيت الفوسفور أكبر مما هو عليه في أراضي المناطق المعتدلة، وفي المناطق الاستوائية يكون التثبيت بفعل الأكاسيد السداسية المتأدرة لزيادة محتوى هذه الأراضي من تلك المركبات.

7 - نسبة أكسيد السليكون إلى أكاسيد الحديد والألمونيوم $Si_2 : R_2O_3$ ratio

تؤثر هذه النسبة على ذوبان الفوسفات، ووجد أن هذه النسبة تقل في الأراضي الحمضية (نتيجة لزيادة الحديد والألمونيوم) وفقد السيليكا بواسطة ماء المطر، وهذه النسبة تؤيد الرأي القائل بأن معادن الطين من نوع 1:1 قدرتها على تثبيت الفوسفات أكبر من معادن 1:2 وذلك لانخفاض هذه النسبة في معادن 1:1.

8 - التأثير الفسيولوجي للأسمدة الكيماوية: كما هو معروف بأن الأسمدة النشادرية ذات تأثير حامضي وبالتالي تُخفض رقم pH الأرض مما يساعد في ذوبان الفوسفات.

اختبارات فوسفور التربة

تهدف اختبارات التربة في هذا المجال إلى محاولة تقدير كمية الفوسفور الميسر في التربة والتي تكون مرتبطة بمدى استجابة المحاصيل لإضافة الفوسفور لتلك الأرض، وبتفسير نتائج تلك الاختبارات يمكن معرفة الأرض التي قد تستجيب لإضافة الفوسفور من عدمه. ويوجد عدد كبير من الطرق التي بواسطتها يمكن تقدير ما يعرف بالفوسفور الميسر، والجدول التالي يوضح أهم هذه الطرق والتي عن طريقها يمكن معرفة حالة الفوسفور في الأراضي:

مستويات خصوبة التربة للفوسفور تبعا لطريقة الاستخلاص

الطريقة	محلل الاستخلاص	قيم الفوسفور الميسر (ppm) مرتفع متوسط منخفض	الأرض الملائمة
اولسن Olsen	محلول بكاربونات صوديوم ع 0.5 عند 8.5 pH	15 < 5-15 > 5	كل أنواع الأراضي وخاصة القاعدية
براى 2 Bray 2	0.3 ع فلوريد أمونيوم + 0.025 ع حمض هيدروكلوريك	50 < 15-50 > 15	الأراضي الحمضية
نيلسون Nelson	حمض HCL + H ₂ SO ₄ المخفف	30 < 10-30 > 10	بعض الأراضي الحمضية
تروج Trog	0.002 ع H ₂ SO ₄ عند 3 pH	40 < 20-40 > 20	الأراضي الحمضية
بنجهام Bingham	محلول مائى	2 < 1-2 > 1	كل أنواع الأراضي
مورجان Morgan	خلات صوديوم + حمض الخليك	15 < 5-15 > 5	الأراضي الحمضية

(المصدر: (Landon 1984)

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.

امتصاص النبات للفوسفور الأرضى

Plant Uptake of Phosphorus from Soils

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

ويتراكم الجزء الأكبر من فوسفور النباتات الناضجة في البذور والثمار أثناء فترة تطورها، كذلك لوحظ وفرة الفوسفور في الأنسجة المرستيمية للنباتات النامية حيث يستخدم في تخليق البروتينات النووية والمركبات الفوسفورية الأخرى والتي يُستخدم البعض منها في عمليات التنفس. ويبدو أن هناك ترابط بين دور كلٍ من الفوسفور والنتروجين في عملية الأيض **metabolism** بالنبات، فقد ظهر أن نقص الفوسفور الميسر يؤدي إلى سرعة امتصاص وتراكم النتروجين غير العضوي داخل النبات، ولكن مع توافر هذا العنصر بصورة ميسرة في المحلول الأرضي يقلل من امتصاص النتروجين. وبالتالي فالتسميد الفوسفاتي بكثرة قد يغير التوازن النتروجيني للنبات، ويؤدي إلى النضج المبكر للنباتات، في حين يتأخر نضج النباتات التي تعاني من نقص الفوسفور. كذلك أوضحت الدراسات أنه لا يتم تخليق البروتينات في النباتات قليلة الفوسفور ويلزم ذلك تراكم السكريات في الأجزاء النباتية الخضراء مما يؤدي إلى ظهور اللون الأحمر الأرجواني (قريب من البنفسجي) نتيجة زيادة معدل تخليق صبغة الأنثوسيانين في الأوراق كما في نباتات الذرة والبطاطم وغيرها من النباتات الأخرى. وقد ساهم استخدام الفوسفور المشع في إثبات قدرة هذا العنصر على الحركة داخل النبات، حيث يعاد توزيع الفوسفور بين أعضائه المختلفة وهو على صورته الفوسفاتية، ففي حالة نقص الفوسفور الميسر في التربة ينتقل هذا العنصر من الأوراق المسنة إلى الأوراق الحديثة وبالتالي تظهر أعراض نقصه على الأوراق المسنة.

يُعتبر وجود الماء بالتربة مهم جداً في عملية امتصاص الفوسفات، النبات يمتص حوالي 500 كجم محلول أرضي (ماء) لإنتاج واحد كيلوجرام مادة جافة، وعند امتصاص النبات لهذه الكمية من الماء بما تحويه من فوسفور نجد ان كمية الفوسفور غير كافية لمقابلة احتياجات النبات لهذا العنصر عند امتصاص الماء والفوسفور بهذا المعدل. ولتوضيح ذلك نذكر هذا المثال:-

معدل النتح **Transpiration ratio** لنباتٍ ما = 500،

تركيز الفوسفور في أنسجة هذا النبات = 0.3 % ،

تركيز الفوسفور في المحلول الأرضي = 0.03 جزء في المليون.

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

والـ 500 كيلو محلول أرضي بما (500 x 0.03 = 15.00 ملليجرام فوسفور)،

وعلى ذلك يكون من المفروض أن يمتص النبات 100.000 كيلوجرام ماء (100.000 = 15/ 300 x 500) وهذا لا يمكن تحقيقه عملياً لأن هذه الكمية أكبر من معدل النتح بـ 200 مرة، وبالتالي لابد من تجديد تركيز الفوسفور في المحلول الأرضي (والحفاظ عليه 0.03 جزء في المليون) 200 مرة خلال امتصاص النبات لـ 500 كيلوجرام ماء. وهذا بين أهمية انتشار الفوسفور خلال المحلول الأرضي من على أسطح الغرويات الأرضية ومن المناطق ذات التركيز المرتفع إلى المناطق ذات التركيز المنخفض وبالتالي يتضح أهمية الماء في امتصاص النبات لإحتياجاته من الفوسفور. ويطلق على قدرة الأرض على تجديد تركيز الفوسفور الذائب في المحلول الأرضي عند انخفاضه اسم السعة التنظيمية للفوسفور **Phosphorus buffering capacity**. وتتوقف هذه السعة على كمية الفوسفور القابل للحركة، وعلى السرعة التي يخرج بها هذا الفوسفور من على أسطح الجسم الصلب إلى المحلول الأرضي. وكلما كان معدل خروج الفوسفور إلى

المحلول الأرضي سريع فإن ذلك يدل على قدرة الأرض على تجديد المحلول. أى أن للأرض سعة تنظيمية عالية. وتعتبر السعة التنظيمية من العوامل الهامة في تحديد كمية السماد الفوسفاتي الواجب إضافتها، حيث تقل الكمية الواجب إضافتها مع زيادة السعة التنظيمية للأرض، وعادةً تكون السعة التنظيمية للأرض ناعمة القوام أعلى منها في الأراضي خشنة القوام.

الأسمدة الفوسفاتية، موعد وطرق إضافتها:

مما سبق يتضح أن الفوسفور يكاد أن يكون عديم الحركة وخاصةً في الأراضي المتعادلة و القاعدية ومنها الأراضي المصرية، حيث يكون في صورة فوسفات كالسيوم. ولا يتحرك الفوسفور المضاف أكثر من 2 - 3 مم من جزئيات السماد المضاف، وذلك لترسيبه بسرعة في صورة فوسفات ثنائي أو رباعي الكالسيوم، كما يمكن أن يدمص على أسطح كربونات الكالسيوم، والفوسفور في تلك الحالات لا يكون ميسر بأى صورة للنبات. ومن ذلك يتضح أن غسل الفوسفات من التربة لا يشكل أى مشكلة (عدى بعض الأراضي الرملية الفقيرة).

أن الكمية الميسرة للنبات تكون قليلة كما هو الحال في الأراضي القاعدية والجيرية بمقارنة تلك الكمية مع المحتوى الكلى من الفوسفور، ويرجع السبب في 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 أخرى 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 هي تقليل فرص الاتصال بين التربة وحببيات السماد ووضعه في منطقة الريزوسفير، حيث يفرز الجذر إفرازات مختلفة ذات تأثير محلي وتأثير مختزل ومنها أمحاض عضوية، أمحاض أمينية، فينولات، سكريات... وغيرها، مما يؤدي إلى إذابة فوسفات الكالسيوم وكذلك الفوسفات صعبة الذوبان أيضاً وجد أن البقوليات تظهر ميكانيكية فيسيولوجية أخرى وذلك بإخراج بروتونات (H^+) عند امتصاصها للأمونيوم المثبت بيولوجياً، وذلك للحفاظ على ثبات نسبة الكاتيونات / الأنيونات في النبات (Marschner, 1990). وفي نفس الوقت يكون من المهم التفكير في كيفية زيادة صلاحية الفوسفور الأصلي Native Phosphorus وقد يتحقق ذلك بعدة طرق من أهمها تحديد موعد وطريقة إضافة السماد والتي تتوقف على:-

1 - احتياج النبات وطول موسم النمو: يساهم الفوسفور في 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 في الماء وفي صورة مسحوق بوضعها في مناطق نمو الجذور وذلك في حالة المحاصيل ذات فترة نمو قصيرة.

3 - خصائص التربة: في الأراضي الجيرية والأراضي العالية في محتواها من الكالسيوم يفضل اختيار الأسمدة ذات درجة ذوبان في الماء مرتفعة وأيضاً ذات حبيبات كبيرة. وأيضاً يُفضل إضافتها بطريقة التلقيح band بجوار النبات. وفي حالة المحاصيل ذات موسم نمو طويل يفضل إضافة الأسمدة ذات درجة إذابة أقل (50%) لمثل هذه الأراضي ولا يفضل استخدام الأسمدة

الناعمة القوام (مسحوق) وذلك لتقليل فرصة تثبيت الفوسفات. وهناك العديد من الأسمدة الفوسفاتية يوضحها جدول (21). وقد أثبتت التجارب أنه لكي نزيد من كفاءة استخدام السماد الفوسفاتي فإنه يفضل إضافته في جور أو شرائح بجوار البذور بدلا من إضافته نثرا، ويرجع ذلك إلى أنه في حالة الإضافة في جور أو خطوط تكون الكمية المعرضة للتلامس مع حبيبات التربة أقل وبالتالي تقل فرصة حدوث عملية التثبيت.

جدول (21) أهم الأسمدة الفوسفاتية

اسم السماد	التركيب الكيميائي	ذوبان السماد	P ₂ O ₅ %
سوبر فوسفات	Ca(H ₂ PO ₄) ₂ + CaSO ₄	في الماء	22-18
سوبر فوسفات مكرر(ثلاثي)	Ca(H ₂ PO ₄) ₂	في الماء	47-46
فوسفات أحادية الأمونيوم	NH ₄ H ₂ PO ₄	في الماء	50-48
خبث المعادن القاعدى	Ca ₃ P ₂ O ₅ .CaO+CaO.SiO ₂	حمض الستريك	22-10
صخر الفوسفات المطحون	Apatite	حمض الستريك	29

أعراض نقص الفوسفور:-

تختلف الأعراض حسب نوع النبات، ففي النباتات ذات الفلقة الواحدة يؤدي نقص الفوسفور إلى ظهور لون أحمر أو أرجواني في مناطق مختلفة من الورقة في خلال مراحل النمو المختلفة. أما النباتات ذات الفلقتين فإن العروق الرئيسية للأوراق المسنة تأخذ لونا أحمر أرجواني. بينما تبقى الأوراق الحديثة بلون أخضر داكن أو أخضر رمادى، ويزداد اللون الأرجواني على عروق الأوراق وخاصة 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 في النقاط التالية:-

- أ - ظهور المجموع الخضرى بلون أخضر داكن غالباً ما يتحول إلى اللون الأحمر أو الأرجواني.
- ب- في بعض الأحيان تتحول الأوراق السفلية إلى اللون الأصفر، وتُحَف ثم تتحول إلى اللون البنى المخضر.
- ج- تظهر ساق النباتات رقيقة وقصيرة وخاصة إذا نقص هذا العنصر في المراحل المتأخرة من النمو. ويقل المجموع الجذرى.
- د - ظهور الأعراض أولاً على النموات المسنة وفي حالة النقص الشديد يتأخر النمو لما لهذا العنصر من تأثير على انقسام الخلايا في القمم النامية.

وفيما يلي أعراض نقص الفوسفور على نباتات بعض المحاصيل الاقتصادية:-

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

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

الفول البلدى، السوداني، البرسيم ومحاصيل الخضر البقولية : تظهر الأعراض مع انخفاض درجة الحرارة شتاء، 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، وتثنى 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 يشك 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

الفصل السادس

Potassium البوتاسيوم

يُعتبر البوتاسيوم عنصر من أكبر ثلاث عناصر مغذية كبرى، حيث يمتص بواسطة النباتات بكمية تفوق باقى العناصر فيما عدا النيتروجين وفى بعض الأحيان الكالسيوم. على عكس العناصر الكبرى الأخرى، فإنه لم يثبت تماماً 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 أخرى، و يعمل على تنظيم محتويات الخلية من الماء، ويساعد فى عملية تكثيف المركبات البسيطة إلى مركبات معقدة كما إنه 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 إنه قليل التركيز فى البذور والأنسجة الناضجة. وينتقل البوتاسيوم وبحرية تامة خلال الأنسجة ولذلك يستطيع النبات أن يُعيد استخدامه مرة أخرى بانتقاله من الأنسجة القديمة إلى الأنسجة النامية.

وعلى هذا يُعتبر البوتاسيوم من العناصر الغذائية الكبرى التى يحتاجها النبات بكمية كبيرة تفوق العناصر الأخرى عدا النيتروجين، وقد يفوق احتياجه عنصر النيتروجين فى بعض مراحل نمو النبات.

صور البوتاسيوم فى الأراضى:-

يُعتبر البوتاسيوم من أكبر العناصر شيوعاً بالقشرة الأرضية، حيث يُمثل 0.3-2.5% من المكونات المعدنية للقشرة الأرضية (Lindsay,1979). ويدخل البوتاسيوم فى تركيب بعض المعادن التى تُصبح غنية فى محتواها من هذا العنصر،

وعندما تتركز هذه المعادن في بعض الأماكن تُعتبر هذه المناطق مناجم تمد العالم بكميات كبيرة من أملاحه. ويوجد البوتاسيوم في المعادن الأولية Primary minerals والتي تعتبر المصدر الأساسي للبوتاسيوم مثل الفلدسبارات البوتاسيه Potash feldspars ومنها: الأورثوكلاز والميكروكلين Orthoclase and microcline ($KAlSi_3O_8$) وتحتوي من 4 - 15% K_2O ، المسكوفاييت muscovite ($KAl_3Si_3O_{10}(OH)_2$) وتحتوي من 7 - 11% K_2O والبيوتاييت biotite ($K_2(Mg Fe)_2 Al_2O_{10} (OH)_2$) كذلك يوجد البوتاسيوم في كثير من المعادن الثانوية (الطين) وعلى هذا تكون الأراضي الغنية في الطين ذات محتوى أكبر من البوتاسيوم بالمقارنة بالأراضي الرملية أو العضوية، وبالرغم من وجوده في الأراضي الطينية بكمية أكبر إلا أن محلولها الأرضي لا يحتوي على كميات كبيرة منه بسبب إدمصاص هذا الكاتيون على أسطح حبيبات الطين ولكن هناك توازن دائماً بين هذه الكمية المدمصة والذائبة في المحلول الأرضي. وتختلف قدرة كل من المركبات السابقة على إمداد المحلول الأرضي بالبوتاسيوم وذلك حسب مقاومة تلك المركبات لعوامل التجوية، ويمكن ترتيب هذه المركبات حسب سرعة تجويتها كما يلي:-

الطين (الإيليت) < الميكا(المسكوفاييت والبيوتاييت) < الفلدسبارات (الأورثوكلاز

والميكروكلين)

يوجد البوتاسيوم في التربة الزراعية بأشكال متعددة و يمكن تقسيمها إلى:-

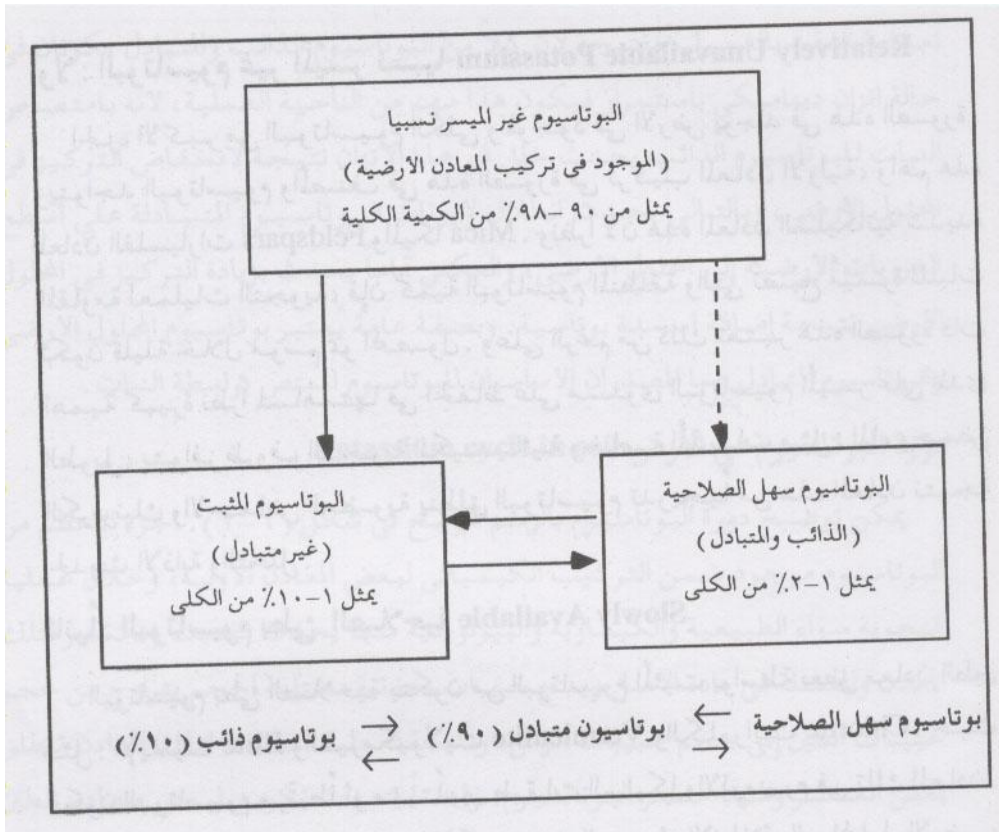
1 - البوتاسيوم الموجود في تركيب المعادن الأرضية.

ب - البوتاسيوم المثبت (غير قابل للتبادل).

ج - البوتاسيوم المتبادل (هذا الجزء يمكن استخلاصه بواسطة خلات الأمونيوم).

د - البوتاسيوم الذائب في المحلول الأرضي (ذائب في الماء).

ويطلق على الصورتين الأخيرتين غالباً البوتاسيوم المُيسر (available K) حيث تعتبر من أسهل مصادر إمداد جذور النبات النامي بواسطة البوتاسيوم. ويمكن التعبير عن تلك الصور السابق ذكرها بالرسم التالي:-



شكل (1-6) العلاقة بين الصور المختلفة للبوتاسيوم في التربة الزراعية

ومن شكل (1-6) نجد أن هناك إتزان بين الصور المختلفة للبوتاسيوم والموجودة بالأرض. ويمكن تقسيم صور البوتاسيوم والموجودة بالأرض على أساس درجة تيسر هذه الصور للنبات إلى ثلاث أقسام رئيسية :-

- البوتاسيوم الغير مُيسر نسبياً Relatively unavailable potassium وتمثل هذه الصورة من 90 إلى 95% من البوتاسيوم الكلى.
 - البوتاسيوم (المثبت) البطيء الصلاحية Slowly available.
 - البوتاسيوم سريع الصلاحية Readily available. وتعتبر الصورتين الأخيرتين ذات تأثير معنوى من وجهة نظر تغذية النبات وإنتاج المحاصيل. ويمكن تناول الصور المختلفة بشىء من التفصيل كما يلى:-
- أولاً: - البوتاسيوم الغير مُيسر نسبياً**

Relatively Unavailable Potassium

الجزء الأكبر من البوتاسيوم الكلى والموجود فى الأرض يوجد فى هذه الصورة. ويتواجد البوتاسيوم والمُصنّف فى هذه الصورة فى تركيب المعادن الأولية، وأهم هذه المعادن الفلدسبارات Feldspars والميكا Mica. ونظراً لأن هذه المعادن السليكاتية شديدة المقاومة لعمليات التجوية، فإن كمية البوتاسيوم المنطلقة والتي 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، حيث بتوافر ظروف التجوية الكيميائية وخاصةً المُذبيبات مثل الماء، حمض الكربونيك، والأحماض العضوية ينطلق البوتاسيوم تدريجياً من تلك المعادن نتيجة لحدوث الإذابة والتحلل لتلك المعادن.

ثانياً:- البوتاسيوم بطيء الصلاحية Slowly available.

البوتاسيوم بطيء الصلاحية يتكون من البوتاسيوم المُثبت بواسطة بعض معادن الطين مثل الإيليت illite والفيرمكيولايت vermiculite والكلورايت chlorite، حيث

يكون البوتاسيوم مرتبطاً أو مثبت بين طبقات السليكا والألمونيوم في تلك المعادن. والبوتاسيوم المحجوز بهذه الطريقة لا يكون سهل التحرر أو الانطلاق إلى المحلول الأرضي وبالتالي يكون بطيء الصلاحية للنباتات النامية. أيضاً البوتاسيوم الموجود في هذه الصورة غير قابل للتبادل مع الأيونات الأخرى المشابهة له في الشحنة الكهربائية خلال عملية التبادل الأيوني المعروفة وبالتالي يُطلق عليه اسم البوتاسيوم الغير قابل للتبادل nonexchangeable أو المثبت fixed.

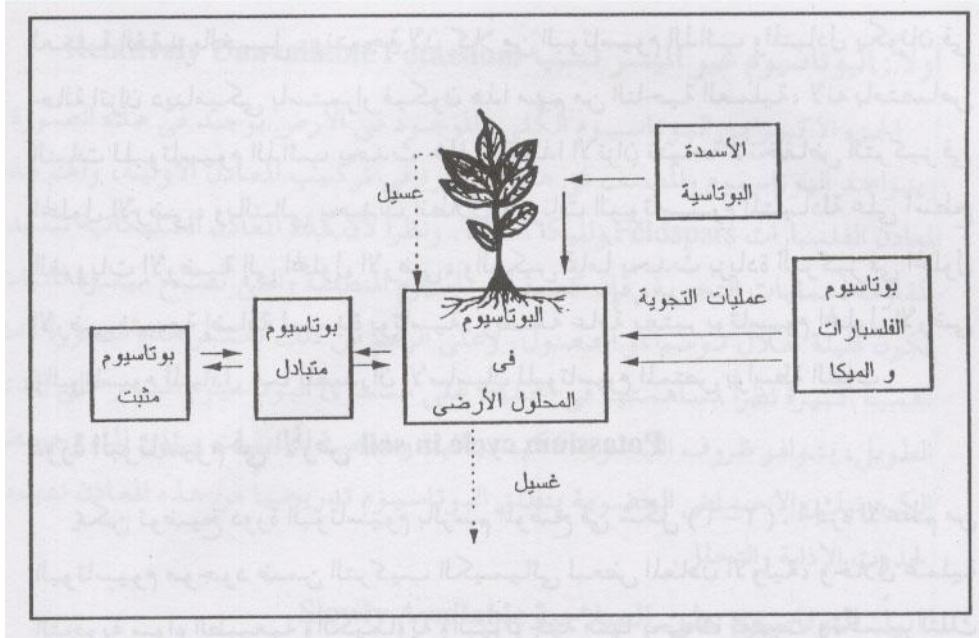
ثالثاً: -البوتاسيوم سريع الصلاحية Readily available.

تمثل كمية البوتاسيوم سهلة الصلاحية من 1-2% وهي نسبة ضئيلة من الكمية الكلية وهي تشمل البوتاسيوم الذائب والذي يُمثل 10% من هذه الصورة والبوتاسيوم المتبادل على أسطح الغرويات الأرضية والذي يُمثل 90%. والبوتاسيوم المتبادل يكون في حالة إتران مع البوتاسيوم الذائب وهما يُمثلان المصدر الرئيسي للبوتاسيوم الممتص بواسطة النباتات النامية. ويعتبر البوتاسيوم الذائب في المحلول الأرضي أكثر الصور تعرضاً لعملية الفقد بالغسيل. ونتيجة لأن كل من البوتاسيوم الذائب والمتبادل يكونا في حالة إتران ديناميكي باستمرار فيكون هذا مهم من الناحية العملية، لأن بامتصاص النبات للبوتاسيوم الذائب يحدث خلل في هذا الإتران نتيجة لانخفاض التركيز في المحلول الأرضي وبالتالي يحدث انطلاق لأيونات البوتاسيوم المتبادلة على أسطح الغرويات الأرضية إلى المحلول الأرضي، والعكس تماماً يحدث بزيادة التركيز في المحلول الأرضي نتيجة إضافة أسمدة بوتاسية. وبصفة عامة يُعتبر بوتاسيوم المحلول الأرضي والبوتاسيوم المتبادل هما المصدران الأساسيان للبوتاسيوم الممتص بواسطة النبات.

دورة البوتاسيوم في الأرض Potassium cycle in soil

يمكن توضيح دورة البوتاسيوم بالرسم الموضح فى شكل (6-2). وكما سبق ذكر بأن الجزء الأعظم من البوتاسيوم موجود ضمن التركيب الكيمايى لبعض المعادن الأولية، وخلال عملية التجوية سواء الطبيعية والكيماوية والبيولوجية منها وما بعد هذه العملية 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 تتطلق بعض العناصر ومنها عنصر البوتاسيوم وأيضاً يحدث تكوين لبعض معادن الطين الثانوية. ووجد أن هناك علاقة بين الكمية المنطلقة من البوتاسيوم وحجم الحبيبات الناتجة من عملية التفتت حيث تتأثر عمليات تثبيت وانطلاق البوتاسيوم بنسبة كل من كمية الرمل والسلت أو الطين وأيضاً بنوع الطين. وفى الأراضى ذات القوام الرملى أو السلتنى تكون حبيباتها من الكوارتز أو معادن أخرى مثل الفلدسبار ولكن لوجود هذه الحبيبات فى هذا الحجم الكبير نسبياً تكون قابليتها للإذابة قليلة جداً وأيضاً النشاط السطحى لها قليل وبالتالي تكون قدرتها على تثبيت البوتاسيوم قليلة جداً. ويمكن ترتيب قابلية المعادن الأولية والغنية فى البوتاسيوم حسب درجة مقاومتها إلى عملية التجوية كما يلى:-

الفلدسبارات < الميكا < الإيليت



شكل (2-6) دورة البوتاسيوم في الأرض

ومعظم البوتاسيوم الناتج من عملية التجوية يتحول إلى الصورة المتبادلة والذي يُعرف على أنه البوتاسيوم المدمص على أسطح غرويات التربة والتي تحمل شحنة سالبة. ويمكن استخلاص هذه الصورة ببعض المحاليل الخاصة بذلك مثل خلات الأمونيوم Ammonium acetate وتتوقف هذه الكمية على التركيب المعدني للتربة - نسبة الرطوبة - ظروف التجوية - عمليات الغسيل - السعة التبادلية الكاتيونية للتربة - تركيز الأيونات الأخرى ومحتوى التربة من كبريتات وكربونات الكالسيوم (تعمل على تقليل مواقع التبادل وبالتالي تتخفض السعة التبادلية الكاتيونية وبالتالي يقل محتوى التربة من البوتاسيوم المتبادل). ويعتبر البوتاسيوم المتبادل صورة ميسرة للنبات حيث ترتبط هذه الصورة بحالة ائزان سريع مع الصورة الذائبة، وقد يصعب فصل الصورتين عن بعضهما حتى أثناء التقدير الكمي. أيضاً البوتاسيوم الناتج من عملية التجوية

يتحول إلى الصورة الغير متبادلة والذي يُعرف على أنه الصورة البطيئة والمتوسطة التحرر. وهناك علاقة وثيقة بين الصورة المتبادلة والغير متبادلة والتي تعتمد على حالة الاتزان الكيميائي بينهما، ولا يمكن النظر إلى الصورة الغير متبادلة على أنها غير ميسرة للنبات حيث ثبت أن النباتات يمكن تمتص جزء من هذه الصورة تحت ظروف معينة. وسرعان ما تتحول تلك الصور إلى الصورة الأيونية K^+ الذائبة في المحلول الأرضي. أيضاً من مصادر البوتاسيوم الذائب في المحلول الأرضي البوتاسيوم المضاف في صورة أسمدة كيماوية. النباتات تمتص البوتاسيوم كأيون K^+ بصورة أساسية من المحلول الأرضي وكمية قليلة من البوتاسيوم المتبادل على أسطح التبادل عن طريق التبادل بالتماس، وكمية أخرى من البوتاسيوم الذائب في المحلول الأرضي تدخل في تفاعلات التبادل الأيوني ويحدث لها إدمصاص على أسطح الغرويات المعدنية. وبصفة عامة هناك عدة عوامل تؤثر على الكمية الميسرة من البوتاسيوم في المحلول الأرضي سوف نتناولها بشيء من التفصيل.

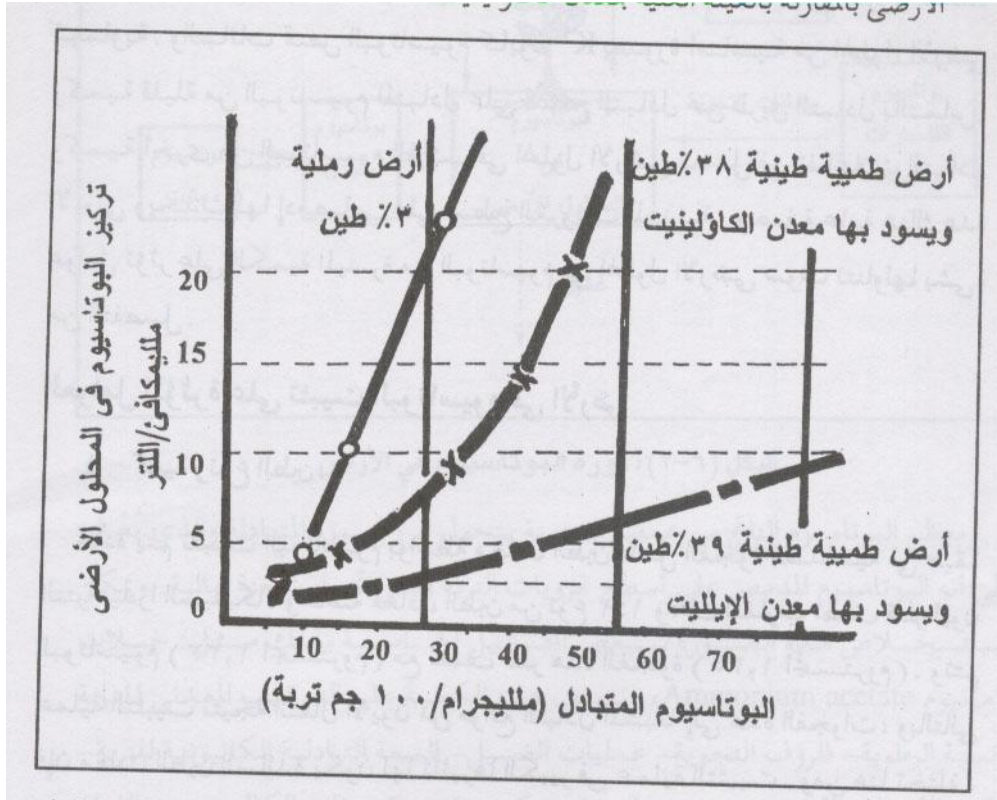
العوامل المؤثرة على تثبيت البوتاسيوم في الأرض

1 - كمية ونوع الطين:-

عادةً يتم تثبيت البوتاسيوم بواسطة معادن الطين داخل الفجوة السداسية في طبقة التتراهيدرا (السيليكات) وخاصة في معادن 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 وبالتالي يرتبط هذا الأيون بقوة تمنعه من الانطلاق بسهولة إلى المحلول الأرضي، وبالتالي فإن معادن الطين السائدة يكون لها تأثيرها الكبير في عملية التثبيت. وبالتالي تختلف قدرة معادن الطين فيما بينها على تثبيت البوتاسيوم. ويمكن توضيح ذلك

بنتائج إحدى الدراسات في المانيا (Nemeth and Hrrach; 1974) شكل (18) ، حيث تم استخدام ثلاث عينات تربه مختلفة في محتواها من الطين الأولى بها 3%، الثانية بها 38% ونوع معدن الطين السائد الكاؤولينيت بينما العينة الثالثة أيضاً تحوى 39% طين لكن معدن الطين السائد هو الإيلليت. وكانت النتائج كما يوضحها الشكل كما يلي:-

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



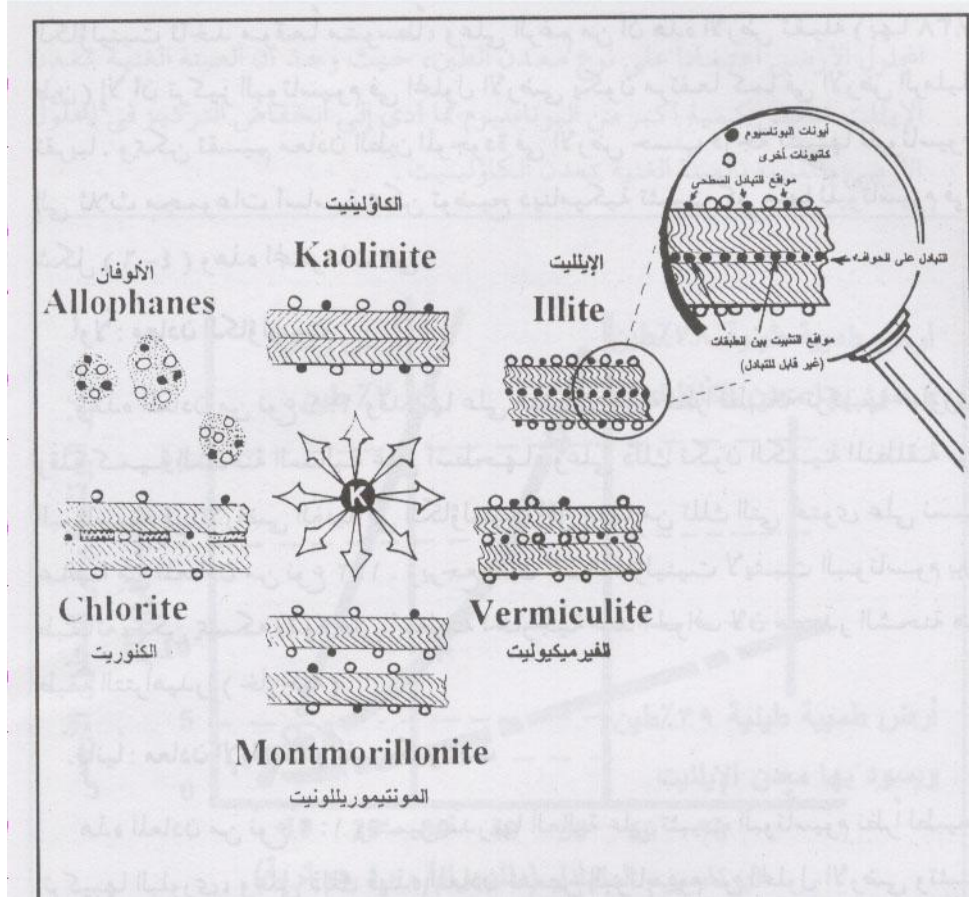
شكل (3-6): تأثير كمية ونوع معادن الطين على كمية البوتاسيوم الذائبة في المحلول الأرضي

ب - عند نفس المحتوى من الطين (38% و 39% طين) يختلف تركيز البوتاسيوم في المحلول الأرضي ويتوقف على نوع معدن الطين، حيث وجد ان العينة الغنية بمعدن الإيليت تدمص كمية أكبر من البوتاسيوم وبالتالي أدى إلى انخفاض التركيز في المحلول الأرضي بالمقارنة بالعينة الغنية بمعدن الكاولينيت.

وعلى ذلك فعند إضافة كميات متساوية من أسمدة البوتاسيوم (مثلاً لرفع مستويات البوتاسيوم المتبادل من 5 إلى 15 ملليجرام /100م تربة) نجد أن تركيز البوتاسيوم فى المحلول الأرضى للأراضى الرملية والتي تحوى كمية قليلة من الطين يرتفع بشدة، ويرجع ذلك لأن الكمية القليلة من الطين يحدث تشبع لأسطح التبادل عليها بسرعة. بينما فى الأراضى الثقيلة والتي تحوى 39% طين فإن تركيز البوتاسيوم فى المحلول الأرضى يكون قليل ويرجع ذلك لأن محتوى تلك الأرض مرتفع من معدن الإيليت والذى يقوم بإدمصاص البوتاسيوم المضاف بسرعة. فحين نجد أن الأرض الغنية فى معدن الكاؤولينيت تأخذ موقع متوسط، على الرغم من أن تلك الأرض ثقيلة (بها 38% طين) إلا أن البوتاسيوم ينطلق من على أسطح التبادل بسرعة إلى المحلول الأرضى كما فى الأراضى الرملية تقريباً. و يمكن تقسيم معادن الطين الموجودة فى الأرض حسب درجة تثبيتها للبوتاسيوم إلى ثلاث مجموعات :-تاسيوم رم تخطيطى يوضح ميكانيكية تثبيت البون

أولاً : معادن الكاؤولينيت

وهذه المعادن قدرتها على التثبيت قليلة نظراً لطبيعة تركيبها البللورى (من نوع 1:1) وقلة كمية الشحنة السالبة على أسطحها، وعلى ذلك تكون الكمية المنطلقة من البوتاسيوم فى الأراضى الغنية فى الكاؤولينيت أقل منها من تلك التى تحتوى على نسبة عالية من المعادن من نوع 1:2. ويرجع ذلك لأن الكاؤولينيت لا يثبت البوتاسيوم بين طبقاته، لكن يمسكه بقوة على أسطحه الخارجية عند الحواف لأن مصدر الشحنة هو طبقة التتراهدرا (خارجية).



رسم تخطيطي يبين ميكانيكية تثبيت البوتاسيوم بواسطة معادن الطين المختلفة ثانياً: معادن الإيليت والفيرميكلولايت

هذه المعادن تتميز بقدرتها العالية على تثبيت البوتاسيوم نظراً لطبيعة تركيبها البلوري (من نوع 1:2) وعلى ذلك فهذه المعادن تدمص البوتاسيوم من المحلول الأرضي وتثبته بين الوحدات البلورية لها، والتثبيت يتم بطريقة طبيعية وذلك لتشابه حجم كلٍّ 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 في حينه لكن ينطلق ببطء مع انخفاض تركيز كلٍّ من البوتاسيوم المتبادل والبوتاسيوم الذائب.

ثالثاً: معدن المونتيموريللونيت

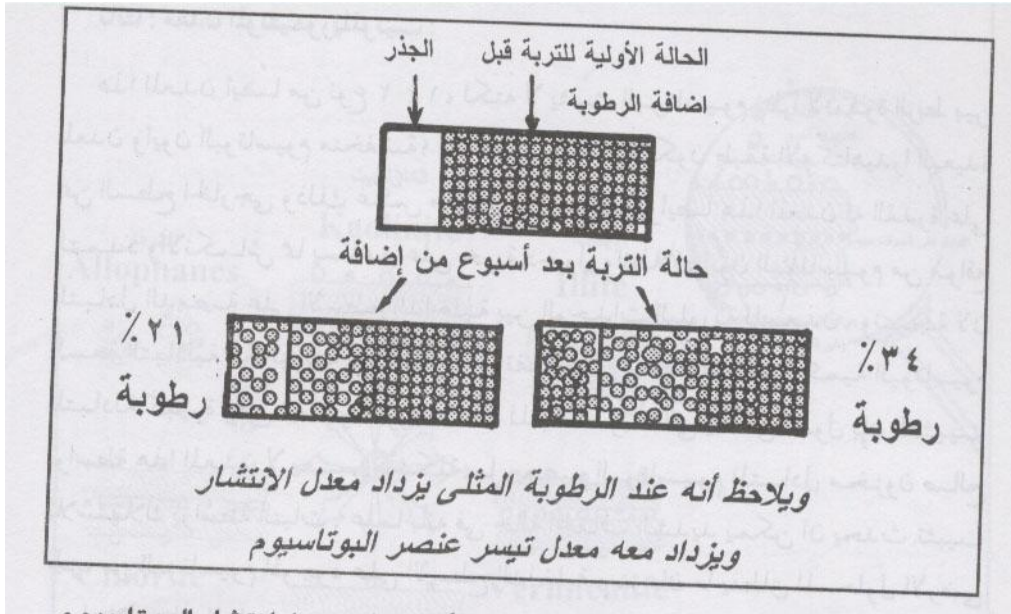
هذا المعدن لا يُثبت البوتاسيوم نظراً لأن قوة الربط بين المعدن وأيون البوتاسيوم منخفضة لأن مصدر الشحنة يكون من طبقة الأوكتاهدرا (بعيدة عن السطح الخارجى) وذلك عكس معدن الكاؤولينيت. وأيضاً هذا المعدن له القدرة على التمدد والانكماش مما يساعد على حرية دخول وانطلاق أيون البوتاسيوم من مواقع التبادل المدمصة 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 وبالتالي يمكن القول بأن التثبيت بواسطة هذا المعدن لا يعتبر مشكلة بل يُعتبر البوتاسيوم المتبادل مخزون صالح

للاستهلاك بواسطة النبات. علماً بأن فى حالة الجفاف الشديد يمكن أن يحدث تثبيت لجزء من البوتاسيوم الموجود على الأسطح الداخلية وسرعان ما ينطلق للمحلل الأرضى مع ابتلال تلك المعادن.

2 - محتوى الأرض من الرطوبة

غالبية البوتاسيوم الذى يمتصه النبات ينتقل إلى الجذور عن طريق 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، حيث قام (Grimme) وآخرون سنة 1971 بدراسة تأثير محتوى

الأرض من الرطوبة على معدل انتشار وحركة أيون البوتاسيوم في المحلول الأرضي تحت مستويات مختلفة من البوتاسيوم المتبادل لعينة أرض واحدة. وأوضحت النتائج أن معدل الانتشار كانت أعلى وأيضاً مسافة انتقال أيون البوتاسيوم كانت أطول في الأرض الرطبة عن الأرض الجافة، ويمكن توضيح هذه النتائج كما في شكل (4-6). ولهذا فإن الأراضي الجافة تحتاج إلى كمية أكبر من البوتاسيوم كي ينتشر أو ينتقل بصورة أسرع ليعطى أعلى درجة من التيسر للنبات.



رطوبة مثلى - معدل انتشار مرتفع - زيادة تيسر للبوتاسيوم

شكل (4-6): يوضح تأثير نسبة الرطوبة بالأرض على معدل انتشار البوتاسيوم وامتصاصه.

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

3 - إضافة الكالسيوم

وجد أن إضافة الكالسيوم إلى الأراضى الحامضية يؤدي إلى زيادة كمية البوتاسيوم المتبادل حيث يقوم الكالسيوم بطرد الهيدروجين جزئياً من على أسطح التبادل وبالتالي يسمح بدخول البوتاسيوم ويمنع فقده عن طريق الغسيل. أما في الأراضى المتعادلة والقاعدية إضافة الكالسيوم تؤدي إلى زيادة البوتاسيوم الذائب.

4 - تأثير أيون الأمونيوم

سبق ذكر أن نصف قطر أيون البوتاسيوم K^+ (1.33 أنجستروم) مقارب إلى نصف قطر الفجوة السداسية في طبقة التتراهيدرا (1.35 أنجستروم) وبالتالي يحدث تثبيت للبوتاسيوم في هذا الموقع. أيضاً وجد أن أيون الأمونيوم NH_4^+ (1.3 أنجستروم) مقارب لهذه الفجوة السداسية. ولهذا السبب هناك تأثير متبادل 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 يؤدي إلى جعل البوتاسيوم المضاف بعده في صورة ميسرة، وتزداد كمية الأمونيوم المثبتة بزيادة الكمية المضافة منه ونتيجة لصغر حجمه تزداد قوة مسكه بين الطبقات. في حين أن إضافة البوتاسيوم أولاً فإنه يعمل

على تقليل الأمونيوم المثبت. ووجد أن إضافة كمية متساوية من الأيونين يساعد على تثبيت كمية أكبر من البوتاسيوم بالمقارنة بكمية الأمونيوم المثبتة.

في الأراضي العضوية والرملية يرتبط البوتاسيوم بمواقع سطحية والتي ترتبط بحالة إيزان سريع مع البوتاسيوم الذائب في المحلول الأرضي، وإن عدد هذه المواقع في مثل هذه الأراضي قليل جداً وكذلك الحال في معادن الطين من نوع 1:1 والتي تمتاز بعدم قدرتها على تثبيت البوتاسيوم. وبالتالي فإن تركيز المحلول الأرضي من البوتاسيوم في الأراضي الطينية والغنية في معادن من نوع 1:2 يكون منخفض بالمقارنة مع تركيز البوتاسيوم في المحلول الأرضي للأراضي الرملية أو الأراضي الطينية الغنية في معادن من نوع 1:1 مثل معادن الكاولينيت وذلك لقلة محتوى الأراضي الأخيرة على مواقع ادمصاص البوتاسيوم وانعدام مواقع التثبيت. وبالتالي يمكن التوقع بأن معدل انتشار البوتاسيوم في الأراضي الرملية أو العضوية وحركته (غسيله) إلى الطبقات تحت السطحية في القطاع الأرضي يكون أكبر عن ما هو في الأراضي المعدنية الطينية والغنية بمعادن 1:2.

اختبارات التربة للبوتاسيوم

تعتبر كمية البوتاسيوم المتبادله في تربة معينة هي المحددة لمدى استجابة النباتات النامية في تلك الأرض لإضافة البوتاسيوم من عدمه. ومن أهم الطرق المستخدمة في هذا المجال هي طريقة الاستخلاص بمحلول خلات الأمونيوم قوته واحد أساسي، وعلى الرغم من وجود طرق عديدة ومنها طريقة محلول حمضي مخفف، إلا أنها أقل كفاءة من طريقة خلات الأمونيوم. وجدول (6-1) يوضح المستويات الحرجة للبوتاسيوم في الأراضي المختلفة القوام كما يلي:

جدول (6-1): المستويات الحرجة للبوتاسيوم في التربة.

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

المصدر : أبو الروس وآخرون (1992)

البوتاسيوم ونمو النبات

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

والبوتاسيوم يمتص مُبكراً عن كلِّ 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 أن عند مرحلة النضج أن البوتاسيوم الموجود بمحصول الحبوب لنبات الذرة كميته لا تزيد عن ثلث الكمية الموجودة فى الأجزاء الأخرى من النبات. ومن ناحية الوظيفة الحيوية أو دور للبوتاسيوم فى النبات يمكن إيجازها فيما يلى:-

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

- 2 - يساعد فى انتقال الكربوهيدرات من مناطق تخليقها إلى الأجزاء الأخرى من النبات؛ المحافظة على تركيب 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 الاسموزى للخلية، وبالتالي يتحرك الماء إلى داخل الخلية مما يؤدي إلى زيادة ضغط الامتلاء (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 وبالتالي 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.
- 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 في صورة ذائبة فإن أعراض النقص لهذا العنصر تظهر أولاً على النموات المسنة. ويمكن تلخيص أهم أعراض النقص الظاهرية على النبات فيما يلي:-

1 - ظهور إصفرار 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 - بطيء النمو وتقرم النبات.

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

4 - ذبول البذور والثمار وعدم اكتمال نموها.

بجانب هذه الأعراض الظاهرية فإن نقص البوتاسيوم يؤدي إلى رداءة ونوعية الثمار، وانخفاض محتوى النبات من الكريوهيدرات كما يؤدي إلى ظهور التجعدات والذبول داخل بعض الثمار خصوصاً الطماطم والبطاطا، ويعمل على غياب اللون في بعض الثمار مثل التفاح وفي الطماطم يؤخر من تطور اللون. كذلك يعمل على تكوين حبوب فارغة في محاصيل الحبوب وتكون قرون البقوليات فارغة، وحموضة الموالح قليلة مع انخفاض محتوى الدهون في 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 مبكراً قبل مواعيدها مع ظهور بقع بنية اللون على الأوراق الحديثة أحياناً. وتظهر الفريعات الحديثة رفيعة وطويلة ثم تجف أطرافها وتموت في أواخر فصل الصيف. أما الثمار فتكون صغيرة الحجم ذات قشرة رقيقة.

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

القمح، الشعير والأرز : يظهر بإصفرار يتحول إلى اللون البنى على حواف النصل في الأوراق القاعدية تتجه إلى الداخل، مع أصفرار المناطق المجاورة من نصل الورقة. وتظهر أعراض نقص البوتاسيوم في الأراضي الثقيلة نظرا لعدم الاهتمام بالتسميد البوتاسى لهذه المحاصيل في مثل هذه الأراضي.

الذرة : أول أعراض النقص هي قصر السلاميات، وبالتالي 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 في صورة ضمور الحبوب في الصفوف العليا من الكوز. ولوحظ أعراض نقص البوتاسيوم على أصناف الهجن عالية الإنتاج في مناطق كثيرة في مصر وذلك لعدم قدرة التربة على توفير الاحتياجات العالية لهذه الأصناف في الوقت المناسب.

الفول البلدى، السوداني، البرسيم و محاصيل الخضر البقولية : أصفرار في حواف الأوراق السفلية يتحول إلى اللون البنى وتتساقط الأوراق السفلية، وتظهر في المراحل الأولى للنمو في شكل بقع غير منتظمة باللون البنى. وتكون الأوراق غير مثبتة جيدا على الساق. وتكون البذور مجمدة وغير منتظمة، كما يتأخر النضج، وتلاحظ أعراض نقص البوتاسيوم على المحاصيل البقولية في المناطق ذات الإنتاج المرتفع، حيث أن احتياجات النبات منه عالية وهذا لا يتوفر في التربة.

القطن : تظهر الأعراض الأولية في شكل يسمى " صدأ القطن " على صورة تبقع أبيض مصفر بين العروق على الأوراق السفلى، وتموت الأنسجة المصابة بالبقع عند

مراكز البقع، وفي نفس الوقت تظهر حروق عند قمم الأوراق وحول الحواف وبين العروق، وتتكرر القمم والحواف، وتنتهي لأسفل، ومع تقدم حالة النقص يتحول لون الورقة إلى البني المصفر ثم يسود وتمزق وتسقط. يتوقف نمو الساق والأفرع الجانبية وتتكرر وتسقط، كذلك يتوقف نمو اللوز وتفتحها وتخفض قيمة التيلة.

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

الأسمدة البوتاسية

الأسمدة البوتاسية المعروفة والمستخدمه هي:-

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

وأيضاً يستخدم فى تسميد المحاصيل المنزرعة فى الأراضى المتأثرة بالأملاح أو الزراعات المحمية حيث 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 من 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، وتحتوى هذه الأسمدة على حوالى 22 - 30% K_2O ، 10-19% MgO ، 16 - 23% كبريت. وهذه الأسمدة يوصى باستخدامها خاصة فى الأراضى الحمضية 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 ذكر أن هذه الأسمدة ذائبة في الماء إلا إنها أبطأ في حركتها من الأسمدة النتراتية خاصة في الأراضي الثقيلة حيث يحدث لها إدمصاص على أسطح الغرويات الأرضية وأحياناً تثبيت. وبناء على قابلية هذه الأسمدة للذوبان فيجب مراعاة إضافتها بعيداً عن البذور وخاصة عند استعمال كمية كبيرة منها. ونتيجة لعدم حساسية البادرات للبوتاسيوم كما هو الحال بالنسبة للنيتروجين والفوسفات فإن طريقة إضافتها سواء كانت نثراً أو بطريقة التلقيح أو الخطوط تعطى نفس النتيجة تقريباً إلا في الأراضي 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 وخاصة في الأراضي الثقيلة، ووجد أن نثر هذه الأسمدة مبكراً قد يفيد بعض المحاصيل مثل الفول السوداني وذلك نتيجة حركتها الجزئية لأسفل مما يعطى فرصة أكبر لامتصاصها بواسطة جذور النبات.

نماذج لأعراض نقص البوتاسيوم على النبات

الفصل السابع

الكبريت Sulphur

الكبريت فى الأرض:

يوجد الكبريت فى التربة الزراعية على هيئة الصورة المعدنية أو على الصورة العضوية، حيث يصل الكبريت إلى التربة الزراعية إما فى صورة مخلفات زراعية أو على صورة أسمدة معدنية أو مع مياه الأمطار أو مع المكونات المعدنية للتربة والنااتجة من عمليات التجوية للصخور الناتجة من النشاط البركانى الغنية فى الكبريت. ويمكن توضيح هذه المصادر بشيء من التفصيل كما يلى:

الكبريت المعدنى فى التربة:

و يوجد فى تركيب بعض المعادن الأرضية ومنها البيريت (Pyrite (FeS₂ - الكاكوبيريت (Cu FeS₂) خاصةً فى الأراضى الغدقه فى حين يوجد الجبس (كبريتات الكالسيوم CaSO₄) فى المناطق الجافة و يزداد تراكمه 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 الأمينية مثل السيستين - السستين والمثيونين وهذه المكونات تتحلل بفعل الكائنات الأرضية وينطلق الكبريت المعدنى فى عملية تُعرف بعملية المعدنة Mineralization للكبريت.

مياة الأمطار والأنهار:

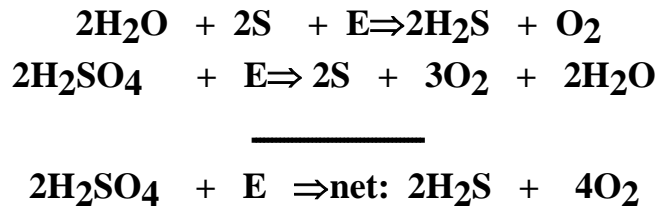
كنتيجة لاحتراق المركبات الكبريتية كالفحم والمواد البترولية وأيضاً مع الأبخرة الناتجة من النشاط البركانى تنطلق بعض الأكاسيد الكبريتية مثل أكسيد الكبريت SO_2 إلى الهواء الجوى والذى يختلف تركيز هذه الأكاسيد به حسب القرب أو البعد من المناطق الصناعية. وهذه الغازات تصل إلى الأرض مرة أخرى عن طريق مياه الأمطار أو مياه الأنهار، كذلك يمكن للنبات امتصاص الكبريت على هذه الصورة (SO_2). علماء بأن إذا زاد تركيز هذه الغازات فى الهواء الجوى عن حد معين قد يؤدي إلى أضرار كبيرة بالنباتات النامية بهذه المناطق خاصةً إذا كانت هذه المناطق ممطرة حيث تكون الأمطار حمضية التأثير مما يُضر بالنباتات، وخير مثال على ذلك تلف مساحات واسعة من الغابات المتاخمة للمناطق الصناعية فى أوروبا نتيجة الأمطار الحمضية.

دورة الكبريت فى الطبيعة:

يمثل شكل (1-7) التحولات المختلفة للكبريت فى الأرض وهذه التحولات ناتجة من العديد من العمليات المختلفة والتي تشمل:

1 - معدنة الكبريت العضوى:

يُعتبر الكبريت العضوي في حينه صورة غير ميسرة للنبات وبتحلل المادة العضوية وحدث عملية المعدنة للكبريت (أى تحوله إلى كبريتيد الهيدروجين ثم إلى كبريتات) يصبح في صورة صالحة للنبات. وعملية و عملية معدنة الكبريت مثلها مثل عملية معدنة النيتروجين تتوقف على نسبة الكربون إلى الكبريت C / S ratio في 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 في المحلول الأرضي داخل أجسام الكائنات الأرضية الدقيقة والقائمة بعملية التحلل، في حين تتساوى عملية المعدنة للكبريت مع عملية التمثيل لنفس العنصر إذا انحصرت نسبة الكربون إلى الكبريت ما بين 200 و 400. ويمكن توضيح عملية المعدنة هذه بأن الكبريت يوجد في المركبات العضوية في صورة مجموعة السلفهيدريل -SH. وبعملية المعدنة ينفرد الكبريت في صورة H₂S وتحت الظروف الهوائية سرعان ما يتأكسد إلى الكبريتات -SO₄²⁻. بينما تحت الظروف اللاهوائية يتأكسد H₂S إلى الكبريت العنصري (S) بواسطة بكتريا ذاتية التغذية الكيماوية Chemotrophic sulphur bacteria مثل (Biggiatoa,Thiothrix) وتحت الظروف الهوائية تقوم نفس البكتيريا بأكسدة الكبريت العنصري (S) إلى حمض الكبريتيك H₂SO₄. أيضاً الكبريت العنصري (S) يمكن أن يتأكسد بواسطة البكتريا الذاتية التغذية الكيماوية مثل (Thiobacillus) ويمكن تمثيل تلك العملية بالمعادلة التالية:

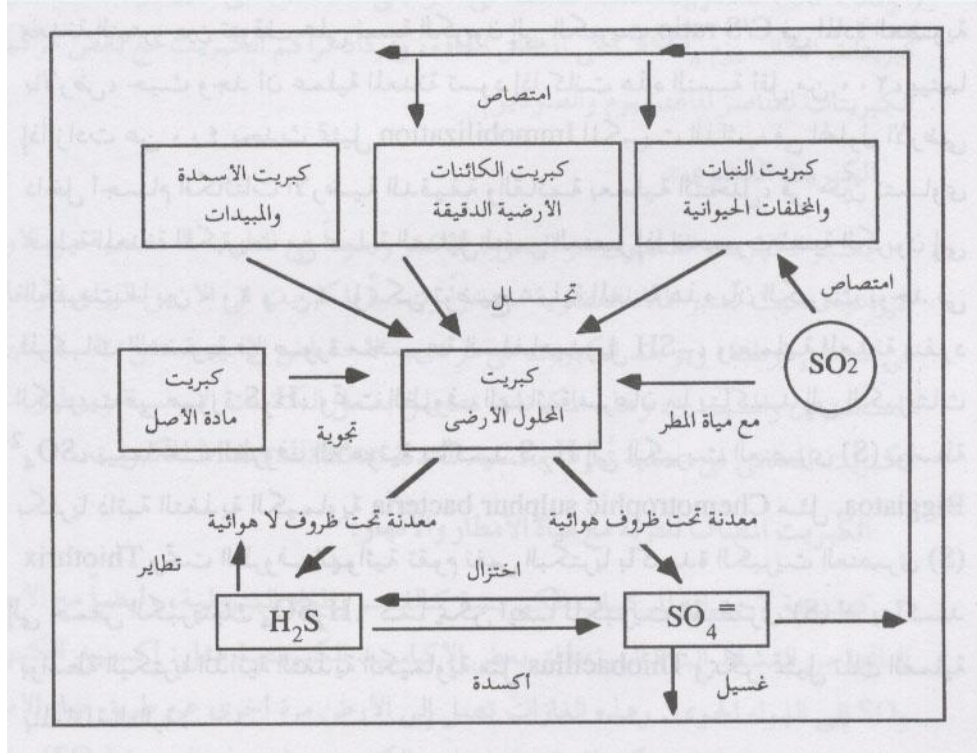


وهنا يجب ملاحظة أن ناتج عملية الأكسدة للكبريت هو تكوين حمض الكبريتيك الذى يؤدى إلى زيادة حموضة الأرض، وهذه العملية تحدث أيضاً عند إضافة الكبريت للأراضى القاعدية بغرض خفض رقم الـ pH لها.

أيضاً فى الأراضى الغدقه والتي تحتوى على كبريتور الحديد FeS، عند توافر ظروف التهوية الجيدة يحدث أكسدة لهذا المركب ويتكون الكبريت العنصرى (S) والذى سرعان ما يتأكسد إلى الكبريتات، ويتم هذا التأكسد كيميائياً أو بواسطة الكائنات الدقيقة حسب المعادلة التالية:



ويؤدى غمر الأرض بالماء إلى نشوء ظروف التهوية السيئة وبالتالي تسود ظروف الاختزال، ويتم اختزال الكبريتات بواسطة بكتريا من جنس (Desulfovibrio) إلى كبريتور الأيدروجين H₂S ويتحد جزء منه مع الحديد ويتكون كبريتور الحديد والجزء الأخر يمكن يحدث له فقد إلى الغلاف الجوى.



2- أكسدة الكبريت:

من دورة الكبريت نجد أن بعد حدوث عملية المعدنة للكبريت يتحول إلى H_2S تحت الظروف الا هوائية ويمكن أن يُفقد جزء من الكبريت الأرضي على هذه الصورة للهواء الجوى. بينما تحت الظروف الهوائية يتكون أنيون الكبريتات SO_4^{2-} وهذا الأنيون متحرك في التربة لزيادة قابلية ذوبان أملاحه في التربة وعلى ذلك من المتوقع حدوث فقد للكبريت من التربة على هذه الصورة عن طريق غسيل هذا الأنيون مع مياه الصرف. وتعتبر الكبريتات هي الصورة التي يمتص النبات الكبريت عليها، وبعد امتصاص النبات للكبريتات يحدث اختزال لها وتدخل في تكوين المركبات العضوية التي يدخل الكبريت في 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 والتي تصل إلى الأرض إما بطريقة مباشرة مع مياه الأمطار أو الأتھار، 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.

كذلك يجب ذكر أن من المصادر الأخرى للكبريت بالأرض الأسمدة التى تحوى عنصر الكبريت مثل الأسمدة النتروجينية والفسفاتية وأسمدة أخرى، كذلك يضاف للأرض فى صورة مُبيدات فطرية وخلافة.

تفاعلات الكبريت فى التربة:

مما سبق نجد أن الصورة المعدنية للكبريت وسواء 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 الإدمصاص:

تتعرض أيونات الكبريتات إلى تفاعلات التبادل الأنيوني ومنها الإدمصاص ويتوقف ذلك على توافر المعادن الأرضية أو الغرويات التي تحمل شحنة موجبة، مثل معادن من نوع 1 : 1 ومنها الكاؤولينيت، كذلك يحدث ذلك على أسطح الأكاسيد السداسية للحديد والألمونيوم. وبصفة عامة تزداد عملية الإدمصاص هذه في الأراضي الحمضية، وذلك لأن مع انخفاض رقم الـ pH للأرض تكتسب الغرويات الأرضية ومنها الأكاسيد السداسية شحنة موجبة وهي شحنة مخالفة للكبريتات وبالتالي يحدث الإدمصاص. كذلك وجد أن هناك تنافس بين أنيونات الفوسفات والكبريتات على مواقع الإدمصاص على الغرويات الأرضية وبالتالي يمكن القول بأن الاستخدام الزائد من الفوسفات يؤدي إلى حدوث فقد في الكبريت من الأرض عن طريق الغسيل في صورة كبريتات.

ب - ترسيب الكبريتات :

في الأراضي الجافة وشبه يتعرض الكبريت للترسيب في هيئة أملاح الكبريتات لأيونات موجبة الشحنة مثل الكالسيوم، الماغنسيوم، الصوديوم والبوتاسيوم وذلك حسب سيادة الكاتيون في الوسط وبغض النظر عن درجة ذوبان هذه الأملاح إلا إنها تُعتبر مصدر جيد للكبريت بالنسبة للنبات. بينما تحت الظروف سيئة التهوية يحدث الترسيب في صورة كبريتور، مثل كبريتور الحديد FeS.

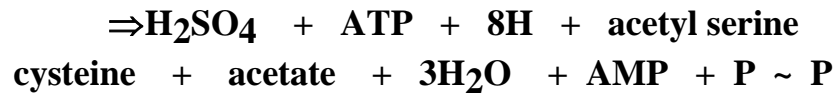
الكبريت في النبات:

يتوزع الكبريت توزيعاً منتظماً بين الأعضاء والأنسجة المختلفة للنبات، فهو أحد مكونات بعض الأحماض الأمينية مثل السيستين والسستئينين، وهي أحماض أمينية أساسية في تركيب البروتينات والثيامين (Thiamine (vitamin B₁، والبيوتين

Biotin وهما هرمونان مهمان للنبات. كذلك يدخل الكبريت فى تكوين الجليكوسيدات (زيت الخردل) مثل السنجرين الذى يعطى الرائحة والطعم الخاصين لبعض الأنواع النباتية كالخردل والبصل والثوم. والجزء الأعظم من الكبريت يوجد فى بروتين الكلوروبلاست Chloroplasts والذى يحتوى على الكلوروفيل، وعند نقص الكبريت يتأثر تكوين الكلوروبلاست وبالتالي تظهر الأوراق شاحبة اللون. ويتراوح المحتوى الكلى من الكبريت فى أنسجة النبات ما بين 0.2% إلى 0.5% كبريت.

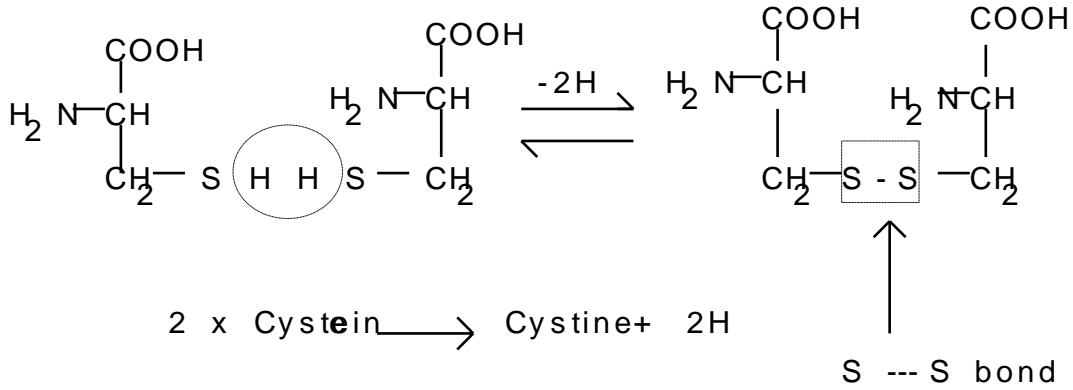
يمتص النبات الكبريت بواسطة الجذور على صورة كبريتات بواسطة الأوراق على صورة ثانى أكسيد الكبريت SO_2 سرعان ما تُختزل إلى مجموعة السلفهيدريل -SH لتكوين المركبات العضوية المختلفة وأهمها الأحماض الأمينية وبالتالي البروتينات ويمكن إيجاز خطوات اختزال الكبريتات وتكوين الأحماض الأمينية كما يلى:

أولاً: تختزل الكبريتات ويتكون الحمض الأمينى السيستين Cysteine كما فى المعادلة:



ومن المعادلة نجد أن عملية إختزال الكبريتات يلزمها طاقة وهذه الطاقة يكون مصدرها مركبات الفوسفور الحاملة للطاقة مثل أدنوزين تراهى فوسفات ATP، والهيدروجين كمختزل.

ثانياً : يتحد 2 جزىء من السيستين ويتكون السيستين Cystine كما افى المعادلة:



أعراض نقص الكبريت:

تتشابه أعراض الكبريت إلى حد كبير مع أعراض نقص النيتروجين، إذ تتراكم الأحماض الأمينية والمركبات الأزوتية الأخرى داخل النباتات التي تعاني نقصاً من الكبريت، ويعزى ذلك إلى احتمال بطء معدل تخليق البروتينات في هذه النباتات بالمقارنة بالنباتات التي يتوفر لها كفايتها من الكبريت. وتتلخص أعراض نقص الكبريت بإصفرار عام للنموات الخضرية وخاصة الأوراق والعروق بالأوراق يكون لونها أفتح من باقى أنسجة الورقة وتظل الورقة غضة ولا تجف حتى بتقدم العمر، وتصبح السيقان ضعيفة وقصيرة ومنقزمة. ويمكن التمييز 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، في حين تظهر أعراض نقص النيتروجين على الأوراق المسنة لكون الأخير من العناصر المتحركة في النبات.

وعادةً نادراً ما تظهر حالات نقص الكبريت على النباتات إلا في الأراضي البعيدة عن البحار أو المناطق الصناعية أو في بعض المناطق الرطبة غزيرة المطر.

كذلك نتيجة لوصول الكبريت إلى الأرض بطريقة غير مباشرة مع كثير من الأسمدة مثل السوبر فوسفات، وكبريتات الأمونيوم وكبريتات البوتاسيوم كذلك في صورة بعض المبيدات الفطرية وخلافه، بالإضافة إلى إضافته لعلاج مشاكل القلوية في بعض الأراضي على صورة جبس زراعى. وجدول (1-7) يبين أهم الأسمدة الحاوية على الكبريت.

جدول (1-7) يبين أهم الأسمدة المستخدمة والتي تحتوى على الكبريت

السماد	% للكبريت (S)	% للعناصر الرئيسية الأخرى
كبريتات الماغنسيوم المائية (MgSO ₄)	26.5	MgO %33.0
كبريتات الأمونيوم (NH ₄) ₂ SO ₄	24.0	N 21.0
كبريتات البوتاسيوم والماغنسيوم (K ₂ SO ₄ ,MgSO ₄)	22.0 - 16.0	K ₂ O %30.0 - 26.0
كبريتات البوتاسيوم K ₂ SO ₄	18.0	K ₂ O %50.0
الجبس 2H ₂ O.CaSO ₄	18.0	CaO %32.0
السوبر فوسفات 2CaSO ₄ .Ca(H ₂ PO ₄) ₂	16.0	CaO %20 ، P ₂ O ₅ %18.0
كبريتات الأمونيوم والنترات (NH ₄)SO ₄ .2NH ₄ NO ₃	15.0	N %26.0

نماذج لأعراض نقص الكبريت على النباتات

الكالسيوم Calcium

الكالسيوم فى التربة:

يوجد الكالسيوم بتركيز مرتفع فى القشرة الأرضية بالمقارنة بباقي العناصر المغذية الأخرى باستثناء الأوكسجين 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 لنبات وهذه الصور هى:

أ - معادن حاملة للكالسيوم:

يدخل الكالسيوم فى تركيب العديد من المعادن السيليكاتية مثل الفلدسبارات Feldspars و Amphiboles ومركبات الفوسفات مثل مجموعة الأباتيت، و كربونات 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 تلك 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 تلك الأراضى للأمطار. وتعتبر الأراضى الموجودة فى المناطق الجافة وشبه الجافة غنية فى الكالسيوم وذلك لوفرة المركبات المعدنية المترسبة والتي يدخل فى تركيبها الكالسيوم مثل الكالسيت، الدولوميت، الجبس، الأباتيت وغيرها من المعادن الأولية والثانوية، مع ملاحظة أن معدل تحرر الكالسيوم من هذه المركبات بطيء جداً وذلك لارتفاع رقم الـ pH فى هذه

المناطق، وتعتبر الأراضي المصرية غنية في الكالسيوم لزيادة محتواها من المعادن الحاملة له حيث تتراوح نسبة كربونات الكالسيوم في أراضي الوادي والدلتا ما بين 2 - 3%، بينما الأراضي الجيرية والتي توجد بمساحات واسعة في الساحل الشمالي الغربى وبعض المناطق في سيناء وأراضي الهضبة الشرقية المتاخمة لوادي النيل وأيضاً في بعض مناطق الاستصلاح في غرب النيل تكون نسبة كربونات الكالسيوم بها من 10 - 60%. في حين نجد في المناطق الرطبة والأراضي الحمضية يكون محتواها من الكالسيوم منخفض جداً بالمقارنة بأراضي المناطق الجافة وذلك لتعرض الأراضي في الحالة الأولى للأمطار مما يؤدي إلى غسيل الكالسيوم من على أسطح التبادل للغرويات الأرضية ويحل محله أيون الأيدروجين مما يؤدي إلى زيادة حموضة تلك الأراضي. وتعتبر درجة ذوبان المركبات الحاوية للكالسيوم ومنها الكالسييت ذات أهمية من حيث تغذية النبات أو من حيث حموضة وقاعدية الأرض. فالكالسييت من المركبات القليلة الذوبان حيث أن درجة ذوبانه في الماء قليلة (10 - 15 جزء في المليون). لكن بانخفاض رقم الـ pH سواء بزيادة وجود غاز ثاني أكسيد الكربون CO₂ أو إضافة الأسمدة ذات التأثير الحامضي مثل كبريتات الأمونيوم (ينتج من عملية التآزوت للأمونيوم أيونات الأيدروجين) كذلك إضافة المادة العضوية، كل ذلك يساعد في ذوبان الكالسييت كما في المعادلة التالية:



بينما يكون تأثير أيون الأيدروجين كما يلي:



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 ذات 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 وبالتالي تزداد عمليات التهوية مما يؤثر إيجابياً على كفاءة امتصاص الجذور للأيونات. وتختلف كمية الكالسيوم المتبادل فى الأرض حسب نوع معادن الطين السائدة فى تلك الأرض، فمثلاً نجد أن الأراضى الغنية فى معادن من نوع 1:2 أن الكالسيوم المتبادل يمثل حوالى 80% من السعة التبادلية الكاتيونية لهذه الأرض. فى حين نجد أن هذا الرقم ينخفض إلى 20% فى الأراضى الغنية بمعدن الكاؤولينيت 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 تحدد ذلك.

ج- الكالسيوم الذائب:

معظم الأراضى المعدنية يحتوى محلولها الأرضى على كمية كافية من الكالسيوم لسد حاجة المحاصيل المختلفة والنامية فيها. بينما قد تعاني الأراضى العضوية من نقصه نتيجة لإدمصاص الكالسيوم على الدبال وتكوين معقدات عضوية للكالسيوم وغير ذائبة. وأيضاً فى الأراضى الحمضية نتيجة إحلال الأيدروجين محله

على مواقع التبادل وبالتالي يحدث له غسيل من المحلول الأرضى. وتتأثر الكمية الذائبة فى المحلول الأرضى بعوامل مختلفة من أهمها: رقم الـ pH حيث بارتفاع هذا الرقم يحدث ترسيب للكالسيوم فى صورة مركبات عديدة وعلى الرغم من ذلك تحتوى هذه الأرضى على كمية كافية من الكالسيوم صالحة لتغذية النبات. بينما فى الأرضى الحمضية يقل الكالسيوم الذائب وسبق تفسير سبب ذلك. أيضاً لنوع الطين، كمية المادة العضوية تأثير على الكمية الذائبة.

الكالسيوم فى النبات:

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، ويثبت معظم الكالسيوم فى جدر الخلايا على صورة بكتات الكالسيوم calcium pactate والتي تكون الصفيحة الوسطى وهذا ضرورى فى الانقسام الميتوزى للخلية، والمساعدة فى ثبات الجدر الخلوية كذلك فى الحفاظ على تركيب الكروموسومات. وفى كثير من الأنواع النباتية يوجد الكالسيوم على هيئة بلورات غير ذائبة من اكسالات الكالسيوم. وقد يكون الكالسيوم أملاحاً مع الأحماض العضوية الأخرى كما يحتل 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) ووجد 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 النبات إذا ما قل تركيزه أو ينعدم وجوده حول الجذور. فقد تحتوى الأوراق المسنة لنبات ما على كميات كبيرة من الكالسيوم المخزون، فى حين تعاني 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 الحمضية. ويمكن إيجاز أهم الأعراض كما يلى:

- 1 - تبدأ ظهور الأعراض على الأوراق الحديثة، حيث تكون تلك الأوراق مشوهة وصغيرة ولونها الأخضر الداكن غير عادى.
- 2 - الأوراق تصبح مجعدة ويحدث لها النفاف 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 للجذور، كذلك يحدث ضعف عام للسيقان.
- 4 - تظهر نقط جافة على البراعم الطرفية و يحدث تساقط للأزهار.
- 5 - يسبب نقص الكالسيوم ظهور مرض يسمى bitter 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 السائبة من الثمرة.

نماذج لأعراض نقص الكالسيوم على النباتات

الماغنسيوم Magnesium

الماغنسيوم فى التربة:

يوجد الماغنسيوم فى الأراضى بكميات مختلفة، وذلك حسب مادة الأصل الناشئة منها هذه الأراضى وحسب كمية ونوع الطين السائد فى تلك الأراضى. فنجد أن الماغنسيوم 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 ال Ferromagnesian، مثل البيوتيت Biotite، السيرينيت Serpenite، الهورنبلند Hornblende والأوليفين Olivine. كذلك لدخوله فى تركيب بعض المعادن الثانوية ومنها الكلوريت Chlorite، الفيرمكيولايت Vermiculite، الإيليت Illite و المونتي موريللونيت Montmorillonite. ويوجد الماغنسيوم فى بعض الأراضى فى صورة كربونات ماغنسيوم $MgCO_3$ ، والدولوميت $CaCO_3 \cdot MgCO_3$ 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 الغير متبادل:

ويشمل كل الماغنسيوم الموجود بالمعادن الأولية ومعظم الماغنسيوم الموجود بالمعادن الثانوية. وبصفة عامة هذه الصورة ليست ذات أهمية من حيث انطلاق الماغنسيوم للنبات فى حينه. لكن فى حالة وجود المعادن ذات القدرة العالية على التمدد فى الأرض بكميات كبيرة تعتبر هذه الصورة ذات أهمية بالنسبة للنبات لسهولة

تحرر الماغنسيوم من الطبقات الداخلية بجانب الخارجية، علماً بأن معدل الانطلاق للماغنسيوم يكون قليل بالمقارنة باحتياجات النبات من هذا العنصر.

2 - الماغنسيوم المتبادل:

يوجد الماغنسيوم متبادل على أسطح الغرويات الأرضية سواء كانت معدنية أو عضوية، ويمثل الماغنسيوم المتبادل حوالي 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 حوالي 4% من السعة التبادلية الكاتيونية (Mengel and Kirkby 1987). وتزداد كمية الماغنسيوم المتبادل فى الأراضى الملحية والقلوية والأراضى الغنية فى كربونات الماغنسيوم. لكن فى العديد من الأراضى الزراعية تكون كمية الماغنسيوم المتبادل منخفضة، وخاصة الواقعة فى المناطق الاستوائية حيث بزيادة سقوط الأمطار وأيضاً مع انخفاض الـ pH وقلة السعة التبادلية لتلك الأراضى يزداد ذوبان هذا العنصر وبالتالي فقده مع مياه الصرف وعلى هذا تعاني هذه الأراضى من نقص فى الماغنسيوم. وتعتبر هذه الصورة ذات أهمية كبيرة بالنسبة للنبات حيث بانخفاض تركيز الماغنسيوم فى المحلول الأرضى يحدث انطلاق للماغنسيوم المتبادل لرفع التركيز مرة أخرى وبالتالي 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 مرتفع فى الأراضى الغنية بالطين من نوع 1:2 والمادة العضوية.

3 - الماغنسيوم الذائب:

يوجد الماغنسيوم ذائباً في المحلول الأرضي بتركيز يتراوح بين 2 - 5 ملليمول، ويمكن أن يختلف هذا المدى اختلافاً كبيراً ويكون غالباً بين 0.2 - 150 ملليمول، وبصفة عامة يكون التركيز في المحلول الأرضي للأراضي الحمضية منخفض (1.9 ملليمول) بينما في الأراضي الجيرية يرتفع هذا التركيز إلى 7 ملليمول (Mngel and Kirkby 1987). وفي الأراضي الرملية كذلك أراضي المناطق الرطبة، تكون كمية الماغنسيوم الذائبة في المحلول الأرضي منخفضة وذلك لقلة كمية الماغنسيوم المتبادل بهذه الأراضي. ويؤدي إضافة كميات كبيرة من الأسمدة الغير حاوية للماغنسيوم إلى زيادة انخفاض كمية الماغنسيوم الذائب، حيث يتحرر الماغنسيوم المتبادل عن طريق التبادل الأيوني بينه وبين الكاتيون المضاف وبالتالي يُفقد بالغسيل خاصة وأن أملاحه مع أيونات الكبريتات، النترات، الفوسفات والكلوريدات سهلة الذوبان وبالتالي تساعد في فقد هـ مع مياه الصرف.

وتتأثر درجة صلاحية الماغنسيوم بالأرض وبالتالي معدل امتصاصه بواسطة النبات على محتوى المحلول الأرضي من الكاتيونات الأخرى مثل الكالسيوم والبيوتاسيوم وكذلك على درجة حموضة التربة. حيث وجد أن أعراض نقص الماغنسيوم تكون قليلة الظهور على النباتات التي تنمو في وسط ذات pH ذو قيمة أعلى من 5.0 وهذا يعني أن هذا المدى هو الأمثل لصلاحية الماغنسيوم. فعند انخفاض الـ pH يقل كمية الماغنسيوم الممتصة نتيجة لزيادة تركيز أيونات الأيدروجين والألمونيوم. وفي الأراضي الشديدة الحموضة يتحد الماغنسيوم مع أكاسيد الحديد والألمونيوم، وعلى هذا يمكن إضافة أسمدة الماغنسيوم للتقليل من سمية الألمونيوم في تلك الأراضي. وفي الأراضي ذات الـ pH المرتفع يحدث تنافس بين إمتصاص أيون الكالسيوم مع أيون الماغنسيوم مما يقلل من امتصاص الأخير. كذلك

يؤدي التسميد الزائد من الأسمدة الأمونيومية (تحوى أيون NH_4^+) والأسمدة البوتاسيه مثل كلوريد البوتاسيوم تُزيد من ظهور أعراض نقص الماغنسيوم.

وهناك علاقة بين كمية الماغنسيوم الممتص ووجود البوتاسيوم فى التربة. النباتات تمتص كمية من الماغنسيوم أقل من كمية البوتاسيوم على الرغم من وجود كمية أكبر من الماغنسيوم المتبادل والذائب بالتربة بالمقارنة بنفس القيم للبوتاسيوم. وهناك حالة من التضاد بين البوتاسيوم والماغنسيوم ولكن ذلك يكون محدد بالمدى من العنصر الميسر والذي يظهر عنده أعراض نقص هذا العنصر. وتحت هذه الظروف، بزيادة الكمية المضافة من أحد العنصرين يؤدي إلى ظهور أعراض نقص العنصر الأخر. عادة يكون المحتوى مرتفع من الماغنسيوم فى النباتات التى تعاني من نقص البوتاسيوم (النباتات تحاول المحافظة على أن يكون مجموع الكاتيونات K, Ca, Mg, Na موجود بكمية ملائمة وثابتة). أيضاً وجد أن إضافة الأسمدة البوتاسية لتصحيح نقصه فى النبات يؤدي 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 نقصه 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. طبيعى أن تختلف القيم المحددة لمستويات الخصوبة تبعا لقوام التربة كما يتضح من جدول (2-7):

جدول (2-7): الحدود الحرجة للماغنسيوم فى التربة.

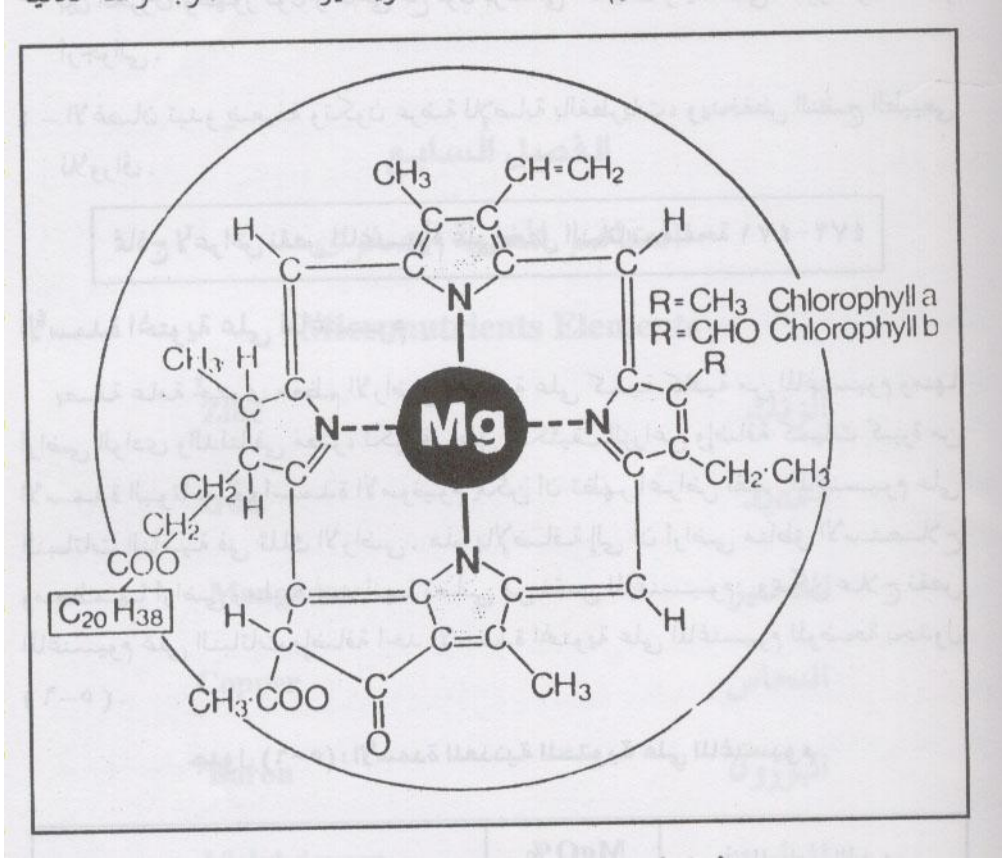
تركيز الماغنسيوم (ppm)			نوع الأرض
منخفض	متوسط	عالي	
حتى 25	26-50	< 50	رملية و رملية طميية
حتى 36	37-70	< 70	طميية رملية
حتى 60	60-120	< 120	طميية و طينية

الاستخلاص بواسطة 0.025 ع كلوريد الكالسيوم

المصدر: (Saalbach et.al. 1970)

الماغنسيوم فى النبات:

يحتل الماغنسيوم مركز جزىء الكلوروفيل فى النبات شكل (21)، 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 مهم لإتمام عملية التمثيل الضوئى، ويعتبر منشط للعديد من الأنظمة الإنزيمية والخاصة بميتابوليزم الكربوهيدرات، وتمثيل الأحماض النووية، يعزز من امتصاص وانتقال الفوسفات فى النبات و يساعد فى حركة السكريات داخل النبات. كذلك وجد أن فى حالة نقص الماغنسيوم يقل تمثيل البروتينات مما يعيق النمو فى النبات.



شكل (2-7) نموذج لجزء الكوروفيل

أعراض نقص الماغنسيوم على النبات:

أعراض نقص الماغنسيوم لا يقتصر ظهورها على النباتات النامية في الأراضي الفقيرة في الماغنسيوم فقط بل يمكن ظهورها على النباتات التي تنمو في الأراضي العادية والتي يضاف لها هذا العنصر، ويرجع إلى أن المحاصيل عالية الإنتاج مع التكتيف الزراعي تمتص كمية كبيرة من الماغنسيوم مما يؤدي إلى استنزافه

من هذه الأراضي. وتختلف أعراض نقص الماغنسيوم باختلاف النبات، ويتميز هذا العنصر بحركته العالية داخل النبات وإمكانية استخدامه من قبل النباتات عدة مرات. وعلى ذلك تبدأ ظهور الأعراض على الأوراق المسنة أولاً ويمكن إيجاز أهم الأعراض فيما يلي:

1 - ظهور أصفرار متداخل مع اللون الأخضر للورقة على هيئة شريط، ويكون ذلك على الأوراق المسنة، ومع تقدم الإصابة يحدث أن تجف الأنسجة وتموت. وأهم ما يميز تلك الأعراض بأنها تظهر 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 الرمادي ثم اللون البني وتسقط الأوراق قبل موعدها.

3 - في بعض نباتات الخضر تظهر الأعراض على عدة صور منها الأصفرار على صورة بقع بين العروق، ظهور لون رخامي مع لون برتقالي خفيف و في صورة لون أحمر أرجواني.

4 - الأغصان ضعيفة وتكون عرضة للإصابة بالفطريات، وينخفض النضج الطبيعي للأوراق.

وبصفة عامة تحتوى معظم الأراضي على كمية كافية من الماغنسيوم ومنها أراضي الوادي والدلتا في مصر، لكن في ظل التكتيف الزراعي وإضافة كميات كبيرة من الأسمدة البوتاسية وأسمدة الأمونيوم (يحدث تنافس بين الماغنسيوم وكل من البوتاسيوم والأمونيوم) يمكن أن تظهر أعراض نقص الماغنسيوم على النباتات النامية في تلك الأراضي. هذا بالإضافة إلى أن أراضي مناطق الاستصلاح ومعظمها أراضي رملية نجد أنها تعاني من نقص الماغنسيوم.

ويمكن علاج نقص الماغنسيوم على النباتات بإضافة أحد الأسمدة الحاوية على الماغنسيوم الموضحة بجدول (3-7)

جدول (3-7) الأسمدة المعدنية الحاوية على الماغنسيوم.

السماذ	% MgO	% للعناصر الأخرى
كبريتات الماغنسيوم Mg SO ₄	33	26.5% كبريت
7H ₂ O. Mg SO ₄ .	27	22% كبريت
H ₂ O.Mg SO ₄	16	13% كبريت
النيتروماغنسيوم Nitromagnesia	7.0	20% نيتروجين + 15% كبريت
كبريتات الماغنسيوم والبوتاسيوم (K ₂ SO ₄ , MgSO ₄)	18-10	22-16% كبريت

نماذج لأعراض نقص الماغنسيوم على النبات

الفصل الثامن العناصر المغذية الصغرى

Micronutrients Elements

كما سبق ذكر بأنه يوجد 16 عنصر ضرورى للنباتات، وتم تقسيمها على أساس كميتها ومدى احتياج النبات لها إلى قسمين العناصر الكبرى والعناصر الصغرى. والعناصر الصغرى تشمل الزنك - الحديد - المنجنيز - البورون - النحاس - الموليبدنيم والكلوريد. بالإضافة إلى الكوبلت والذى تحتاجه بعض النباتات وبالتالى لايعتبر من العناصر الضرورية لكل النباتات. أيضاً وجد أن هناك عناصر أخرى تستجيب بعض النباتات لوجودها فى التربة مثل الصوديوم والسليكون. 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 من العناصر الكبرى، بينما نفس الكمية من المحصول تحوى 250 جم زنك أى أن كمية النيتروجين تزيد عن كمية الزنك بحوالى 400 مرة. بالرغم من صغر هذه الكمية فى النبات إلا إنها تكفى لإعطاء النمو الأمثل وأقصى محصول، وتكمن فاعلية العناصر الصغرى فى زيادة نمو ونشاط النبات إلى أن هذه العناصر لها القدرة على تغيير تكافؤها داخل النبات مما يزيد من نشاط الإنزيمات فى النبات.

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 - التكتيف الزراعى وذلك بزراعة أكثر من محصول فى نفس 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 والتي تعيد للتربة حيويتها وتزيد من خصوبتها.
- 3 - عدم تعويض التربة عما فقدته من العناصر خاصةً بعد حجز كميات طمي النيل أمام السد العالى. كذلك ارتفاع مستوى الماء الأرضى فى بعض مناطق الجمهورية مما أثر على الصفات الطبيعية والكيميائية للأرض.

4- اكتشاف طرق أكثر دقة لاختبارات التربة وتحاليل النبات. وتحديد مجموعة من المعايير الثابتة التى 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 أدى إلى زيادة المحصول وبالتالى زيادة الكمية المستنفذة من العناصر الصغرى من الأرض.

ب - استخدام الأسمدة العالية النقاوة بدلاً من الأسمدة التجارية التي كانت تحوى العناصر الصغرى كشوائب.

ج - ارتفاع رقم ال pH للأراضى المصرية.

د - التوسع فى زراعة الأراضى الصحراوية قليلة الخصوبة.

ويمكن توضيح ما تساهم به كل من أسمدة العناصر الكبرى أو المادة العضوية من العناصر الصغرى عند إضافتها إلى التربة من القيم الموضحة فى الجدول التالى والذى يشمل محتوى أسمدة العناصر الكبرى والمخلفات العضوية من العناصر الصغرى:

محتوى بعض الأسمدة المعدنية والعضوية المهمة

من العناصر الصغرى (ppm)

الموليبدينوم	بورون	منجنيز	زنك	نحاس	السما↓ / العنصر←
0.1	6.0	70	0.33	أثار - 0.5	الأسمدة النيتروجينية: كبريتات الأمونيوم
0.7	0.5	0.5	0.5	صفر-3.6	اليوريا
-	أثار	50-10	8.0	أثار-18.0	نترات الكالسيوم والأمونيوم
3.0	10	270-70	160-60	26.0	الأسمدة الفوسفاتية: السوبر فوسفات الأحادى
9.0	530	240-160	100-50	12-2	السوبر فوسفات الثلاثى
10.0	33	*	30-5	80-10	خبث المعادن القاعدى
6.0	15	130000	140-25	10-6	صخر الفوسفات
0.2	14.0	8.0	3.0	3.0	أسمدة البوتاسيوم: كلوريد البوتاسيوم
0.2	4.0	13.0-2.2	2.0	10-5	كبريتات البوتاسيوم
2.0	-	220-100	80	4.0-3.0	الأسمدة المركبة: فوسفات الأمونيوم

0.2	17	200	250-40	10	سماد الإسطليل (سباخ بلدى) Farmyard Manure
2.0	15	60-40	13-3	600-300	أسمدة مخلفات نباتية Compost

المصدر: (FAO,1984) *قيم المنجنيز فى الخبث 28000-68000 (ppm)

ومن الطبيعى أن تختلف هذه القيم عند إجراء التحليل الكيمائى لعينة فردية من سماد معين، وأيضاً تختلف هذه القيم تبعاً لمادة الخام المصنوع منها هذا السماد.

من القيم السابقة نجد أن أسمدة العناصر الكبرى تساهم بجزء قليل جداً من الاحتياجات السمادية للنباتات المختلفة من العناصر الصغرى، فمثلاً عند إضافة اليوريا كمصدر للنيتروجين لمحصول معين بمعدل 150 كجم / فدان تكون كميات، الزنك، المنجنيز والبورون المضافة للتربة هي 75 مليجرام لكل منهم بينما تكون الكمية بالنسبة للموليبدنيم هي 105 مليجرام. وعلى الجانب الآخر عند إضافة طن واحد من السباخ البلدى لفدان وهذه كمية قليلة عن الواقع نجد أنها تضيف كميات كبيرة إلى حد ما من العناصر الصغرى حيث تكون الكميات المضافة من النحاس 10 جم، من الزنك 40-250 جم، المنجنيز 200 جم، البورون 17 جم والموليبدنيم 200 مليجرام، وتعتبر هذه الكميات مهمة لرفع خصوبة التربة من العناصر الصغرى عند الإضافات المتتالية من السباخ البلدى للتربة الزراعية.

ولما كانت مساحات التوسع الأفقى تقع فى نطاق الأراضى الرملية والجيرية والتي تفتقر إلى كثير من العناصر المغذية، ومع توفر المعلومات عن أعراض نقص العناصر الصغرى كل ذلك يعظم دور الأسمدة والتسميد فى هذه المناطق، نتيجة للأسباب السابقة ازداد الطلب على استخدام الأسمدة التى تحوى العناصر الصغرى. ويجب مراعاة أن العناصر الصغرى عند استعمالها كأسمدة للنباتات تعتبر سلاح ذو حدين، فنقصها يؤدي إلى فقد المحصول وزيادتها تؤدي إلى حدوث سمية للنبات والحيوان فضلاً عن إحداث تلوث للبيئة مما يؤثر على صحة الإنسان. وهناك حدود معينة من تركيز تلك العناصر فى التربة حتى تفى هذه الأرض بتوفير الكمية الملائمة من العناصر للنبات وجدول (24) يوضح الحدود المرحجة لتركيز تلك العناصر حسب طريقة استخلاصها من التربة.

جدول (24) يوضح حدود تركيز العناصر الصغرى في الأرض تبعاً لطريقة الاستخلاص والتي يظهر عندها النقص مع ذكر بعض العوامل المؤثرة على تيسر هذه العناصر.

التركيز (ppm)	محلول الاستخلاص	العوامل المؤثرة على تيسر العنصر	العنصر
2 4.5-2.5	خلات الأمونيوم (pH 4.8) DTPA + CaCl (pH 7.3)	pH البوتاسيوم، المنجنيز، الكالسيوم، الماغنسيوم، الفوسفور، النحاس، الموليبدنيم و الزنك.	الحديد Fe
7.5-1.0 2.3-0.3 3.0-1.4 1.0-0.5	0.1 مول حمض هيدروكلوريك Dithizone + خلات الأمونيوم EDTA + كربونات الأمونيوم DTPA + كلوريد كالسيوم pH 7.3	pH، النحاس، النيتروجين، الفوسفور والكالسيوم.	الزنك Zn
9-5 20-15 65-25 2	0.05 مول حمض هيدروكلوريك + 0.025 مول حمض كبريتيك 0.1 مول حمض فوسفوريك مع 3 مول فوسفات أحادي الأمونيوم Hydroquinone + خلات أمونيوم الماء	pH، المادة العضوية، البوتاسيوم، الموليبدنيم، الفوسفور، الحديد، النحاس والزنك.	المنجنيز Mn
0.2 0.75 4-3 100 1.06-0.09	خلات الأمونيوم (pH 4.8) 0.5 مول EDTA 0.43 حمض نيتريك 1 مول حمض هيدروكلوريك 0.1 مول حمض هيدروكلوريك	النيتروجين، الحديد، الماغنسيوم، الموليبدنيم، الفوسفور و الزنك.	النحاس Cu
0.7-0.1	الماء الساخن	قوام التربة، pH، الكالسيوم البوتاسيوم	البورون B
0.2-0.04	أوكسالات الأمونيوم (pH 3.3)	pH، الحديد، المنجنيز، الفوسفور الكبريت والنحاس.	الموليبدنيم Mo

المصدر: Landon; J.R (1984)

الزنك ZINC

الزنك فى الأراضى : Zinc In Soils

يوجد الزنك فى الأرض على عدة صور كما يلى:-

- 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) كبرونات الزنك (*smithsonite* (ZnCO₃)، وسيليكات الزنك (*willemite* (ZnSiO₃ and ZnSiO₄).
 - الزنك (Zn) المدمص على معقدات التبادل بالأرض.
 - الزنك الموجود فى صورة معقدات عضوية، ومنه الذائب وغير ذائب.
 - الزنك الذائب فى الماء، ويشمل أيون الزنك Zn^{++} والموجد 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 الإيجابى على تغذية النبات بهذا العنصر علماً بأن الكمية الذائبة تكون قليلة جداً (0.002 - 0.2 جزء لكل المليون 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 بطيء 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 وبالتالي درجة تيسر الزنك فى الأرض وتشمل:-

1- رقم ال pH: درجة تيسر الزنك تتوقف بدرجة كبيرة على ال pH التربة، حيث يزداد التيسر بانخفاض ال pH ويتضح ذلك في الأراضي الحمضية. وعلى العكس في الأراضي القاعدية تكون الكمية الميسرة قليلة جداً، حيث وجد أن تركيز الزنك يقل 100 مرة مع كل وحدة زيادة في قيمة ال pH. ويعزى ظهور أعراض النقص للزنك على النباتات النامية في الأراضي الجيرية إلى هذا السبب بصورة أساسية. وعلى ذلك فأى عامل يؤثر على خفض أو رفع ال pH من شأنه أن يؤثر على درجة تيسر الزنك للنبات. فمثلاً إضافة الجير للأراضي (الحمضية) يرفع رقم ال pH وبالتالي يقلل من تيسر هذا العنصر. بينما الاستخدام المستمر للأسمدة ذات التأثير الفسيولوجي الحامضي (مثل كبريتات الأمونيوم) على العكس من الجير يؤدي إلى خفض ال pH وبالتالي زيادة تيسر الزنك. وفي بعض الأراضي الحمضية يزداد التيسر لدرجة وصول التركيز لدرجة السمية. وعموماً وجد أن أفضل رقم ال pH للتربة يكون عنده الزنك ميسر هو في مدى من 5.5 - 6.5.

2- المادة العضوية: مع تحلل المادة العضوية بالتربة تنطلق المركبات العضوية والتي تعمل عمل المركبات المخليبية والتي تؤثر كثيراً على تيسر الزنك. وأوضحت كثير من الدراسات بأن الأراضي الفقيرة في المادة العضوية تعاني من نقص في الزنك الميسر وتزداد الكمية الميسرة في 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 الجزيئي المنخفض مثل حمض الفولفيك (Fulvic acids) تكون معقدات زنك ذائبة في الماء، بينما المركبات ذات الوزن الجزيئي المرتفع مثل اللجنين والمركبات التي تحوي أحماض الدباليك (Humic acids) تكون معقدات غير ذائبة في الماء. ويلاحظ أن إضافة المادة العضوية للأراضي القاعدية والجيرية يزيد من تيسر الزنك بها سواء بطريقة مباشرة أو غير مباشرة عن طريق خفض رقم ال pH للأرض.

3- كربونات الكالسيوم: كثير من الأبحاث أوضحت بأن هناك تأثير سلبي لكربونات الكالسيوم على تيسر الزنك في التربة الزراعية. وهناك العديد من التفسيرات التي توضح السبب ومنها أولاً: تأثير غير مباشر وذلك لتأثير كربونات الكالسيوم على رفع رقم ال pH الأرض. ثانياً: قد يحدث تفاعل بين الكربونات والزنك وخاصة في 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 وبالتالي تقل الكمية الميسرة.

4- تأثير قوام التربة: الأراضي خشنة القوام قدرتها على الاحتفاظ بالزنك قليلة، وعلى ذلك فإن الأراضي الخفيفة كما هو في الأراضي الرملية تعاني النبات النامي فيها من نقص الزنك. بينما العكس في الأراضي ناعمة القوام كما هو في الأراضي الطينية. حيث وجد أن لبعض معادن الطين القدرة على إدمصاص الزنك على أسطحها، بل أكثر من ذلك قد يحدث تثبيت للزنك ويصبح في صورة غير صالحة للنبات في حينه. فقد

وجد أن معادن البروسيت *brucite* والفيرميكيولايت *vermiculite* وأيضاً الطين المشبع بالمغنسيوم *Mg-Saturated Clay* و التي تكون قدرتها على تثبيت الزنك مرتفعة بالمقارنة بمعادن المسكوفيت *Muscovite* - البيبتونايت *bentonite* - الكاؤولينيت *Kaolinite* - البيروفيليت *Pyrophyllite* والبيوتيت *biotite* ذات القدرة المحدودة على التثبيت. أيضاً تلعب الأكاسيد الحرة في الأراضي الحمضية دور أساسى في تقليل درجة تيسر الزنك في هذه الأراضي.

5- تأثير مستوى الفوسفات في التربة: ال تركيز المرتفع من الفوسفات الذائبة، سواء الموجودة أصلاً بالتربة *native* أو الناتجة من التسميد الزائد بالفوسفات يؤدي إلى تأثير عكسى على الزنك كعنصر مغذى للعديد من المحاصيل. ويكون التضاد *antagonistic* متفاقم في الأراضي الجيرية. وهناك عدة تفسيرات لذلك كما ذكرها (عواد 1987)، وهي: أولاً: قد يحدث ترسيب للزنك في صورة فوسفات الزنك $Zn_3(PO_4)_2$ وهي مركبات قليلة الذوبان وقد أُعتبر هذا المركب هو المسئول عن نقص الزنك الميسر في كثير من الأراضي، ثانياً: إن قدرة الفوسفور على زيادة النمو للنبات تفوق كثيراً قدرة الزنك وهذا بالطبع يؤدي إلى انخفاض تركيز الزنك وخاصةً في قمة النبات، أى أن السبب هنا هو تأثير 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.

6- تأثير الأسمدة الأزوتية: أشارت نتائج كثير من الباحثين بأن إضافة الأسمدة النيتروجينية تؤدي إلى نقص الزنك الميسر للنبات وبالتالي تظهر أعراض نقص هذا العنصر على النباتات. وهناك عدة تفسيرات منها بأن الزنك يتحد مع النترات ويتكون نترات الزنك وهو مركب على في درجة ذوبانه في الماء وبالتالي يتحرك مع مياه الصرف ويحدث غسيل للزنك من منطقة نمو الجذور، ومن جهة أخرى قد يكون مصدر لإمداد النبات بالزنك الميسر. أما التفسير الآخر هو قابلية النبات لتثبيت الزنك في المجموع الجذرى وذلك عن طريق تكوين معقدات مع البروتينات غير متحركة *immobile Zn-protein complexes* وبالتالي تنقيد حركة الزنك داخل النبات وتظهر الأعراض على النموات الحديثة. وبصفة عامة وجد أن الأسمدة النيتروجينية ذات التأثير الحامضى يمكن أن تزيد من تيسر الزنك وذلك نتيجة لخفض رقم ال *pH* والعكس مع الأسمدة القاعدية التأثير.

اختبارات التربة للزنك

يوجد العديد من من المحاليل المختلفة والتي تستخدم لاستخلاص الكمية الصالحة من عنصر الزنك والموجودة في التربة. وأكثر المستخلصات انتشاراً مدونة في جدول (24-أ). ويمكن استخدام أى مستخلص

من هذه المستخلصات لتقدير كمية الزنك الصالحة للنبات، ولكن قد يفضل محلول معين على محلول آخر في أرض معينة ومثال ذلك وجد أن المستخلصات الحامضية تكون أقل نجاحاً في أراضي المناطق الجافة وشبه الجافة والتي قد تكون جيرية غالباً. في حين نجد ان المستخلصات الكيلائية (المخلبية) تكون أكثر نجاحاً في كثير من الأراضي المختلفة ويرجع ذلك لإمكانية ضبط رقم الـ pH للمستخلص حسب رقم الـ pH الطبيعي للتربة. وتعتبر طريقة الاستخلاص بواسطة مركب DTPA من أكثر الطرق انتشاراً في دول العالم والتي تستخدم لتقييم التربة الزراعية بما من حيث كمية الزنك الميسر بها.

جدول (24 - أ): الطرق المختلفة لاستخلاص الزنك الميسر بالتربة

زمن الرج (دقيقة)	نسبة التربة (جم) إلى المستخلص (مل)	محلول الاستخلاص
5	20 : 2	0.1 ع من حمض الهيدروكلوريك
??	75 : 15	0.05 مول من EDTA (pH 7-) 9
60	25 : 2.5 25 مل من كل مركب	0.01% dithizone in CCL ₄ + N NH ₄ OAc (pH 7.0)
5	20 : 5	0.05 ع حمض هيدروكلوريك + 0.025 ع حمض كبريتيك
120	20 : 10	DTPA (0.005 M diethylen triamine penta acetic acid) + 0.1 M triethanolamine + 0.01 M CaCl ₂
30	20 : 10	0.01 مول EDTA + مول كربونات أمونيوم (pH 8.5).
45	50 : 10	2.0 ع كلوريد ماغنسيوم

بالنسبة للحدود الحرجة للزنك **critical limits** في التربة ويعني آخر القيم المتحصل عليها من المستخلصات السابقة والتي يظهر عندها نقص الزنك في التربة تختلف تبعاً للمستخلص، أيضاً داخل الطريقة الواحدة تختلف القيمة حسب نوع المحصول ويرجع ذلك لاختلاف المحاصيل في درجة حساسيتها لهذا العنصر، بل أكثر من ذلك

لنفس المحصول وبنفس الطريقة تختلف القيمة من أرض إلى أخرى وذلك لوجود العديد من العوامل التي تغير من درجة تيسر العنصر. وعلى ذلك عند تحديد القيمة الحرجة والمحددة لآبد من ذكر الطريقة، نوع المحصول ونوع الأرض وفي نفس الوقت ذكر الظروف البيئية. وعموماً أظهرت كثير من الأبحاث أن القيمة الحرجة والتي يظهر عندها نقص الزنك في معظم الأراضي ولكثير من المحاصيل هي أقل من 0.6 جزء في المليون (DTPA - Zn)، بينما لا يكون هناك استجابة واضحة لإضافة الزنك إلى التربة إذا كان تركيز الزنك في هذا المستخلص هو 1.0 جزء في المليون، بينما إذا كانت القيمة محصورة بين 0.5 - 1.0 جزء في المليون (DTPA - Zn) لا يكون هناك فائدة مؤكدة من إضافة الزنك للتربة.

الزنك في النبات Zinc In Plant

الزنك من العناصر الضرورية لنمو النبات وبالتالي فإنه يوجد في جميع الأنسجة النباتية ويتجمع بتراكيز مختلفة في الأجزاء المختلفة للنبات والتي يمكن ترتيبها حسب محتواها كما يلي:

الجذور < السيقان < الأوراق < الثمار

الوظيفة الحيوية Function:

الزنك من العناصر المعدنية المهمة لتنشيط كثير من الإنزيمات. ومن أكثر الإنزيمات التي تنشط في وجود هذا العنصر إنزيم الـ Carbonic anhydrase والذي يشجع على تحلل حامض الكربونيك إلى ثاني أكسيد الكربون والماء، وأيضاً عدد من إنزيمات Dehydrogenases. ويمكن إنجاز أهم الوظائف الحيوية للزنك في النبات كما يلي:

أ - ضروري لتخليق الحمض الأميني التربتوفان Tryptophane والذي يتحول إلى أوكسين auxin وهو عبارة عن indole acetic acid والذي يساعد على زيادة النمو في النبات. حيث وجد أن النباتات التي تعاني من نقص الزنك يكون تركيز الأوكسين في الجذور والبراعم قليل جداً.

ب - ضروري لمختلف الـ metallo - enzymes - carbonic anhydrase, alcohol dehydrogenase

ج - يلعب دور في تخليق الأحماض النووية والبروتينات.

تركيز الزنك في النبات:

هناك مدى واسع في تركيز الزنك داخل النباتات، فيتراوح في المادة الجافة من 1 إلى 10000 جزء في المليون. ويكون متوسط التركيز في النباتات من 20 إلى 100 جزء في المليون. وهناك عدة عوامل تؤثر على مستوى الزنك في النبات أهمها:

- الجزء المأخوذ كعينة، الأجزاء الحديثة النمو تحتوي على زنك أكثر من الأجزاء المسنة.

- عمر النبات، حيث يقل تركيز الزنك بزيادة النبات في العمر.

- التداخل بين العناصر «nutrient interactions» عادة يقل تركيز الزنك بزيادة الفوسفور الميسر بالأرض؛ وأيضاً زيادة كل من الحديد والمنجنيز.

يمكن القول بأن تركيز الزنك في النبات يعكس مدى تيسر الزنك في التربة النامي بها هذا النبات والظروف البيئية المؤثرة عليه. وعلى ذلك فاختبارات الأنسجة النباتية (تحليل العينات النباتية) تكون معبرة عن معرفة مدى حاجة النبات إلى التسميد بالزنك من عدمه عندما تؤخذ العينات النباتية من المكان وفي الوقت المناسب.

المستويات الحرجة للزنك في النباتات:

تختلف حدود النقص والكفاية وأيضاً حدود السمية للزنك من نبات لآخر، و في كثير من المحاصيل إذا انخفض التركيز إلى 20 جزء في المليون في المادة الجافة يكون هناك احتمال بأن النبات عنده مشكلة نقص في الزنك، بينما إذا انخفض التركيز إلى 15 جزء في المليون يكون هناك نقص أكيد في هذا العنصر.

جدول (25) : الحدود الحرجة للزنك في بعض المحاصيل الهامة.

المحصول	مرحلة النمو	تركيز الزنك (جزء في المليون)		
		حد النقص	منخفض	حد الكفاية عالي حد السمية
الذرة (أوراق)	النمو الخضري	صفر -10	11 - 20	21 - 70
فول الصويا (أوراق)	النمو الخضري	صفر -10	11 - 20	71 - 150

150 <	150 - 41	40 - 21	20 - 11	صفر - 10	8 - 30 سم نمو	القمح - الشعير والشوفان
-	-	30 - 20	-	-	النمو الخضري	القطن
-	-	50 - 21	20 - 11	صفر - 10	النمو الخضري	الأرز
-	70 +	70 - 21	20 - 11	صفر - 10	النمو الخضري	بنجر السكر
-	30 +	40 - 17	صفر - 16	-	-	البطاطس
-	14 - 9	-	-	صفر - 8	-	البرسيم الحجازي
-	121+	120 - 21	20 - 11	صفر - 10	-	الطماطم (الأوراق)
200 <	200 - 81	80 - 26	25 - 16	صفر - 15	-	الموالح
-	51 +	50 - 21	20 - 16	صفر - 15	-	التفاح (الأوراق)
-	51+	50 - 31	صفر - 30	-	-	العنب (السويقة)

المصدر: FAO (1983).

ومن جدول (25) الذى يوضح الحدود الحرجة لهذا العنصر فى بعض المحاصيل الهامة، 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. وبصفة عامة أن النباتات التى تعانى من نقص الزنك هى التى يكون بها تركيز هذا العنصر 20 جزء فى المليون فأقل.

حساسية النبات للزنك

هناك اختلاف كبير بين النباتات المختلفة في درجة حساسيتها للزنك الميسر في التربة، فمثلاً عند تركيز معين من الزنك الميسر في التربة قد يعاني نبات معين من نقص الزنك بينما لا نجد ذلك مع نباتات أخرى عند نموها في نفس الأرض عند نفس التركيز. حيث وجد أنه عندما كانت كمية الزنك المستخلصة من التربة بمركب DTPA (وهو أحد المركبات المستخدمة في استخلاص الزنك الميسر) هي 0.8 جزء في المليون أظهرت نباتات الأرز النامية في تلك الأرض معاناة نتيجة نقص الزنك، بينما لم تتأثر نباتات القمح النامية في نفس الأرض (FAO, 1983). وعلى ذلك يمكن القول بأن الأرض التي يظهر فيها أعراض نقص الزنك على نبات معين قد تكون ملائمة لمحاصيل أخرى دون مشاكل من نقص هذا العنصر، وجدول (26) يوضح درجة حساسية المحاصيل المختلفة لنقص الزنك.

جدول (26) : حساسية المحاصيل لنقص الزنك.

محاصيل حساسة	محاصيل متوسطة الحساسية	محاصيل غير حساسة
المواخ، أشجار الفاكهة	القطن، البطاطس، الطماطم	البسلة، الأسبرجس
المتساقطة، البيكان، العنب،	البرسيم الحجازي، البرسيم	الجذر، الحبوب الصغيرة
الفاصوليا، فول الصويا،	بنجر السكر، الذرة الرفيعة	الفلفل و الخردل
الذرة، الأرز، الكتان و البصل	القمح و الشعير	

المصدر : (FAO, 1983).

أعراض نقص الزنك على النبات

قد تظهر أعراض نقص الزنك على النبات إذا انخفض تركيز الزنك فيه عن 20 جزء في المليون، وطبيعي يقل التركيز في النبات إذا افتقرت التربة النامي بها هذا النبات للكمية الصالحة من الزنك واللازمة لهذا النبات. ويمكن إيجاز العوامل المسببة لظهور أعراض نقص الزنك على النبات فيما يلي: انخفاض تركيز الزنك الميسر في التربة والمستخلص بمحلول DTPA عن 0.6 جزء في المليون، الأراضي ذات الـ pH المرتفع، الأراضي ذات المحتوى المنخفض والمرتفع جدا من المادة العضوية، الأراضي الرملية، الأراضي الفقيرة في المناطق شديدة المطر، الأراضي الموجودة في المناطق الباردة، إضافة كمية زائدة من الفوسفور وأخيرا الأراضي المضغوطة compacted soil.

وفيما يلي الأعراض العامة لنقص عنصر الزنك والتي يمكن تمييزها ظاهرياً على النبات والتي 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، وفي بعض المحاصيل يمكن ظهور بقع بنية تشبه الصدأ.

- 2- اصفرار الأوراق وظهور بقع كبيرة وعمامة الانتشار على الورق وتكون مميزة بين العروق. وغالباً ما تكون هذه الأعراض على الورقة الثانية أو الثالثة وكاملة النضج من القمة.
- 3- ظهور أوراق صغيرة الحجم على قمة الساق (حدوث ما يعرف بظاهرة التورد).
- 4- ظهور النبات متقرماً نتيجة لصغر طول السلاميات بالساق.
- 5- حدوث موت للأنسجة المتأثرة بذلك يتبعها موت النبات، و يكون النبات غير مستوى في 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 والذي يمتد مساحته إلى جانبيها أيضاً. بينما يظهر اللون الأخضر الباهت في 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. وفي نفس الوقت يكون نمو الأفرع في شكل قائم، وتقل مساحة الأوراق، وتقصر السلاميات بمقدار نقص الزنك، مع تساقط كثير من الأوراق الحديثة حتى أن شكل الفرع يصبح كالمكسنة نظراً لتقارب الأوراق من بعضها نتيجة قصر السلاميات. أعراض نقص الزنك يمكن ظهورها في معظم مزارع الموالح في مصر، وترداد في مزارع الأراضي الرملية أو الخفيفة.

العنب : تتشابه هذه الأعراض إلى حد ما مع أعراض المنجنيز في 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 التي تتكون في الصيف. ولوحظ أن مساحة الورقة يقل بمقدار النقص في الزنك، وأن الفصوص القاعدية لنصل الورقة تنسحب بعيداً في اتجاه مضاد لاتجاه الساق أو عنق الورقة، ويصاحب نقص الزنك عدم تماثل نصفى الورقة في المساحة. ومن الأعراض نقص كمية العقد وعدم انتظام حجم الثمار في العنقود. ولوحظ ظهور أعراض نقص الزنك بشدة في معظم مناطق زراعة العنب في مصر. ومن الجدير بالذكر أن أعراض نقص بعض العناصر على العنب تختلف من حيث ألوانها حسب الصنف ومدى احتوائه على الصبغات المختلفة. وأيضاً نتيجة لاختلاف الأصناف في مدى احتياجها من العناصر المختلفة، وبالتالي مدى ظهور نقص كل عنصر عليها.

القمح، الشعير والأرز : تكون الأعراض مشابهة إلى أعراض المنجنيز وذلك بشكل خطوط باهتة اللون على جانبي 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 ابتداء من عمر أسبوعين والنامية في الأراضي المنخفضة في محتواها من الزنك الميسر. وتمثل الأعراض في ظهور شريط عريض من اللون الأبيض على جانبي العرق الوسطى للأوراق الحديثة بدئا من القاعدة في اتجاه القمة للورقة، ويكون هذا في النصف الأسفل للورقة فقط. ويمكن ملاحظته على الورقة الحديثة والخارجة

لتونها 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 رمادي تتخلل اللون الأخضر. ولوحظ ظهور هذه الأعراض في كثير من مزارع الذرة في مصر وخاصة الموجودة في مناطق الاستصلاح.

الفول البلدى والسودانى، البرسيم ومحاصيل الخضروات البقولية : لا يصل النبات إلى حجمه الكامل، وفي الأوراق العلوية الحديثة تكون المساحات بين العروق صفراء اللون، وقد يتحول اللون الأصفر إلى البني في الأوراق الأكبر عمراً، وتكون درجة الاصفرار أكبر، ويكون نصفى الورقة غير متماثلين في الحجم.

القطن : يبدأ ظهورها في الأوراق العليا الحديثة، وفي المراحل المبكرة لنمو النبات حيث يتحول لونها إلى اللون البرونزي مع وجود بقع صفراء بين العروق التي يبقى لونها أخضر ثم تصبح الورقة رقيقة السمك، وتنثى حواف الورقة لأعلى مكونة شكل الفنجان. ويظهر النبات قصير نتيجة لقصر السلاميات وتتقارب الأوراق بحيث يأخذ شكل الشجيرة. وطبيعي يؤثر ذلك سلباً على تكوين الأزهار وبالتالي اللوز ويقل المحصول. في مصر لوحظ أعراض نقص الزنك في القطن في مناطق مختلفة في مراحل متأخرة من العمر.

البطاطس : تظهر النباتات أصغر حجماً من الطبيعي، الأوراق الحديثة تأخذ الشكل الفنجاني حيث تنثى حوافها لأعلى وتأخذ وضعاً رأسياً وتكون مساحتها أصغر من الطبيعي، وتقصر السلاميات.

الطماطم : اصفرار مع وجود اللون البني بالأوراق الطرفية مع تدلى الأوراق لأسفل والتفاف الوريقات لأعلى.

أسمدة الزنك وطرق إضافتها

هناك العديد من المركبات المحتوية على الزنك والتي تستخدم كمصدر لتسميد النباتات النامية في الأراضي التي تعاني من نقص هذا العنصر. وجدول (27) 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 وهي: الإضافة الأرضية (نثر - تكبيش)، التسميد الورقي (الرش)، تعفير البذور بمسحوق السماد أو نقع البذور في محلول السماد، عمل جروح في سيقان الأشجار ووضع قطعة إسفنجية مبللة بمحلول أو عجينة تحوى السماد.

ويجب الإشارة إلى إن خصائص التربة الزراعية تلعب دوراً هاماً في اختيار نوع السماد وطريقة إضافته. ففي الأراضي الرملية وأيضاً القاعدية يفضل إضافة أسمدة الزنك بطريقة الرش وذلك لتجنب فقد كمية كبيرة منه في الأرض الرملية عن طريق الغسيل، خاصةً عند استخدام كبريتات الزنك والمعروف بدرجة ذوبانه المرتفعة في الماء، بينما في الأرض القاعدية تكون الكمية الممتدة كبيرة. وعلى ذلك يفضل استخدام المركبات المخيلية في الأراضي القاعدية والجيرية. أما بالنسبة للأراضي الميزرعة بالأرز يفضل استخدام سماد أكسيد الزنك ZnO على كبريتات الزنك على الرغم من إن درجة ذوبانه أقل وذلك لحدوث اختزال للكبريتات وينتج غاز كبريتيد الأيدروجين H₂S السام.

جدول (27): مصادر الأسمدة التي تحتوى على الزنك

والمعدلات المقترحة وطرق إضافتها

معدلات الإضافة المقترحة حسب طريقة الإضافة كجم زنك /هكتار			المصدر وال % للزنك
تسميد خضري	الإضافة بالتكبيش	الإضافة نثراً	
كل هذه المركبات تستخدم بعدل من 15 إلى 250 <u>جرام زنك</u> مزاية في 100 لتر ماء	5 - 3		<u>كبريتات الزنك</u> $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ (23%) $ZnSO_4 \cdot H_2O$ (36%) <u>أكسيد الزنك</u> ZnO (60 - 80%) <u>زنك مخلبي</u> <u>Chelated Zn</u> أ- مركبات صناعية Na_2-Zn EDTA (14%) $ZnHEDTA$ (8%) $Na-ZnNTA$ (13%) ب-مركبات طبيعية $Zn-Lignin$ $Sulphonate$ (5%) $Zn - polyflavonoid$ (10%)
	5 - 3		
	1 - 0.5		
	4 - 0.5		

نماذج لأعراض نقص الزنك على النبات

الفصل التاسع

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 لتحليل القشرة الأرضية (حوالى 5 %) بعد الأكسجين والسيليكون والألمونيوم.

صور الحديد فى الأرض:

يوجد الحديد فى الأرض على عدة صور يمكن إيجازها فيما يلى:

- فى تركيب المعادن السليكاتية والتي تعرف بإسم الـ **ferromagnesian silicates** مثل الأوليفين **olivine**، والهورنبلند **hornblende**، والبيوتيت **biotite** والتي تمثل المصدر الرئيسى للحديد **Fe**. وأيضاً يوجد ضمن تركيب بعض المعادن الثانوية.

- فى بعض المركبات و التى يكون فيها بتركيز مرتفع كما فى الهيماتيت (Fe_2O_3) الماغنيتيت (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 ($Fe_2O_3 \cdot 3H_2O$) والأخير ربما يتكون كنتاج من حدوث عمليتي التآدرت **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 الحديدوز Fe^{+2} ، الحديديك Fe^{+3} وأيدروكسيد الحديدوز $Fe(OH)^{+2}$ ؛ علماً بأنه فى الأراضى جيدة التهويه أيون الحديدوز قد يكون معدوم وجوده.

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 كميته 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. فى الأراضى الغنية بالحديد Ferruginous soils يتواجد الحديد بما 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 مياه الأمطار. وليس معنى وجود الحديد الكلى بكمية كبيرة فى أرضٍ ما بأن النباتات النامية بتلك الأرض قد لا تعاني 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 الأراضى إما على هيئة صورة معدنية مثل Fe^{+2} , Fe^{+3} , $Fe(OH)_2^{+}$ أو على صورة عضوية ذائبة مثل معقدات الحديد العضوية Fe - organic complexes. ويتوقف ظهور أعراض النقص للحديد على النباتات على الكمية الميسرة والتى تتحكم فيها عدة عوامل يمكن إيجازها فيما يلى:

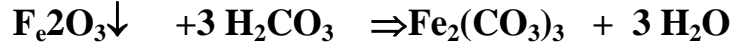
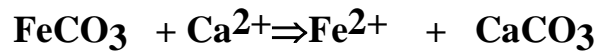
1- رقم ال pH : تعتمد درجة ذوبان الحديد بدرجة كبيرة على ال pH الوسط، لدرجة أنه يحدث إنخفاض فى تركيز الحديد الذائب قدره 1000 ضعف مع كل زيادة فى ال pH قدرها وحدة واحدة. وبالتالي يكون من الواضح أن تيسر الحديد للنبات يقل بدرجة عفيفة مع ارتفاع رقم ال pH. وعلى ذلك يكون نقص الحديد الميسر فى الأراضى الجيرية فى الغالب نتيجة ارتفاع رقم ال pH لها حيث يصبح أيون الحديدىك هو السائد. ويمكن التقليل من شدة هذا النقص بخفض ال 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 لوجوده فى صورة مركبات مخلبية ذائبة فى المحلول الأراضى حتى ولو كان ال pH التربة مرتفع. وعلى ذلك يمكن القول بأن الأراضى الفقيرة فى محتواها من المادة العضوية قد تعاني 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 بما قليلة، وبالتالي تعاني النباتات النامية بما من نقص فى الحديد.

4- تأثير كربونات الكالسيوم: بجانب تأثيرها على رفع رقم الـ pH والذي يؤثر سلبياً على تيسر الحديد الصالح للنبات في مثل هذه الأراضي، تلعب كربونات الكالسيوم والمغنسيوم دوراً مهماً ومباشراً في درجة ذوبان الحديد، حيث تؤدي زيادة كمية الكربونات إلى تحويل

أيون الحديدوز الذائب إلى صورة غير ذائبة كأكسيد الحديديك أو هيدروكسيد الحديديك ويتضح ذلك من المعادلات الآتية:



وعلى ذلك فوجود الكربونات بالأرض يشجع على نقص الحديد الميسر للنبات وبالتالي ظهور الاصفرار على النباتات النامية بها. وهناك تفسير آخر لظهور الاصفرار على النباتات النامية في الأراضي الجيرية وهو أن السبب يرجع إلى عرقلة أيون البيكربونات HCO_3^- لامتصاص أيون الحديد وانتقاله داخل النبات. ويعتبر أيون البيكربونات ناتج طبيعي من عملية التحلل المائي لكربونات الكالسيوم كما في المعادلة التالية:



وقد فسر (Mengle and Kirkby, 1987) تأثير أيون البيكربونات على امتصاص الحديد بواسطة النبات، بأن امتصاص هذا الأيون يؤدي إلى رفع pH خلايا الجذور (في الفراغات الحرة Free space) وأنسجة الأوراق وهذا يؤدي إلى ترسيب الحديد داخل النبات (الجذور) وبالتالي تقل حركته مما يؤدي 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 في الأراضي الجيرية بمراعاة ما يلي:

- عدم زيادة الرطوبة الأرضية أكثر من اللازم تجنباً لحدوث عملية التحلل المائي للكربونات.
- يمكن الإقلال من تأثير أيون OH^- الناتج من التحلل المائي للكربونات بزيادة نسبة ثاني أكسيد الكربون CO_2 في الهواء الأرضي.
- يمكن إضافة بعض المركبات ذات التأثير الحامضي إلى مثل هذه الأراضي مثل الكبريت المعدني.

5- محتوى الأرض من الرطوبة: مع ارتفاع رطوبة التربة الزراعية تقلل بها التهوية، وبالتالي يتأثر نمو النبات حيث يصبح ضعيف ويكون أكثر قابلية للتعرض لنقص الحديد وخاصةً في الأراضي الجيرية. ويشد عن ذلك أراضي المنزعة بالأرز والمغمورة بالماء باستمرار حيث يحدث اختزال للحديد ويصبح في صورة حديدوز ذائبة وصالحة للنبات وبالتالي لا تعاني معظم نباتات الأرز من نقص الحديد. وعلى ذلك في الأراضي الجيرية يجب الحذر من ارتفاع

المحتوى الرطوبي بما يتجنب الري الذائد حيث لوحظ ظهور الاصفرار على النباتات النامية تحت هذه الظروف وذلك نتيجة حدوث التحلل المائي لكربونات الكالسيوم.

6- تأثير التضاد بين الأيونات Antagonistic ions: من الأسباب التي تؤدي إلى ظهور الإصفرار الناتج عن نقص الحديد على النباتات هو وجود أو إضافة أسمدة عناصر معينة، حيث وجد إن زيادة الفوسفور الذائب في التربة يقلل من امتصاص الحديد (كما هو في حالة تأثير الفوسفور على الزنك) ويعتقد بأن الفوسفات تساعد على ترسيب الحديد في وسط النمو وتجعله في 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 حيث كان تركيز الحديد داخل أنسجة النبات كافي وطبيعي لكن نسبة P/Fe كانت مرتفعة. أيضاً نفس التأثير وجد مع زيادة Cu , Mn , Mo and Zn في وسط النمو حيث يحدث تداخل أو تضاد مع امتصاص الحديد بواسطة النبات وبالتالي يمكن أن تظهر أعراض نقص الحديد تحت هذه الظروف. وقد أشارت بعض الأبحاث أن زيادة مستوى التسميد النيتروجيني وخاصة إذا كان في صورة نترات يؤدي إلى ظهور أعراض نقص الحديد، ويرتبط التداخل بين الحديد والنيتروجين بعدة آراء غالبيتها تؤكد إن إضافة الحديد مع التسميد النيتروجيني يزيد الإنتاج إذا أضيف النيتروجين في صورة الأمونيوم NH_4^+ وذلك للتأثير الحامضي لهذا السماد والعكس مع إضافته في صورة نترات NO_3^- ذات التأثير القاعدي. وأن زيادة التسميد النيتروجيني بصفة عامة يزيد النمو الخضري وبالتالي المادة الجافة مما يسبب تخفيف تركيز الحديد في النبات.

7- درجة الحرارة: بجانب العوامل السابق ذكرها على تيسر الحديد في التربة، وجد أن درجة الحرارة تلعب دور أيضاً، حيث مع انخفاض درجة الحرارة ينعكس على معدل نمو النبات، وأيضاً على معدل معدنة المادة العضوية والتي تساهم بجزء أساسي من الحديد الميسر نتيجة لقلة نشاط الكائنات الدقيقة تحت هذه الظروف وبالتالي يمكن ظهور الاصفرار الناتج من نقص الحديد الميسر.

اختبارات التربة للحديد

تعتبر مستخلصات خللات الأمونيوم والمركب الكيلاى DTPA من أكثر المحاليل انتشارا والمستخدمة لاستخلاص الحديد الصالح للنبات من التربة. ووجد أنه في حالة احتواء التربة على 2 جزء في المليون حديد مستخلص بخللات الأمونيوم تعاني النباتات النامية بتلك الأرض من نقص في هذا العنصر. في حين يمكن القول بأن المستوى الحرج للحديد في التربة يكون في مدى 2.5 - 4.5 جزء في المليون حديد في حالة الاستخلاص بمركب DTPA، حيث وجد أن معظم المحاصيل تستجيب لإضافة الحديد عندما يكون تركيز الحديد المستخلص بهذا المركب 2.5 جزء في المليون، بينما المحاصيل الحساسة للحديد (المحاصيل ذات

الاحتياجات المرتفعة) يكون من المفيد إضافة الحديد لهذه المحاصيل عندما يكون تركيز الحديد المستخلص من التربة في مدى 2.5 - 4.5 جزء في المليون. وأهم المحاليل المستخدمة لاستخلاص الحديد من التربة هي:

محلل الاستخلاص	نسبة التربة (جم) إلى المحلول (مل)	زمن الرج (دقيقة)
محلل خللات الأمونيوم قوته 1 ع	2.5 : 50	30
DTPA (0.005 M DTPA + 0.1 M TEA + 0.01 M CaCl ₂) (pH 7.3)	10 : 20	120

الحديد فى النبات Iron In Plant

الوظيفة الحيوية للحديد:

نتيجة لقدرة الحديد على الدخول في صورة معقدات كيميائية وكذلك إمكانية تغير تكافئه أى قدرته على التأكسد والإختزال داخل النبات، فيعتبر الحديد ذو تأثيرات فيسيولوجية مهمة.



- يلعب الحديد دور أساسى وضرورى في نظام العديد من الإنزيمات وخاصة الإنزيمات التى تدخل أو تساعد في عملية التنفس (haem enzyme systems) والتي منها catalase , peroxidase و cytochrome oxidase. ويمثل اشتراك الحديد في تكوين هذه المركبات أهمية خاصة في عمليات الأكسدة وهو أحد الأدوار الهامة في عمليات الميتابوليزم بالخلية.

- بالرغم من عدم دخول الحديد في تركيب جزىء الكلوروفيل، إلا إنه مهم في تخليق والحفاظ على هذه المادة الخضراء داخل النبات وعلى ذلك فنقصه يؤدي إلى ظهور الشحوب الخضري ويظهر الاصفرار على النبات.
- يلعب دور أساسى في 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 هذا يعنى بأن هذه النباتات تعاني من نقص فى الحديد ويتضح ذلك من جدول (28). لكن يجب القول بأنه فى بعض الحالات يكون مستوى الحديد الكلى داخل النبات مرتفع ومع ذلك يظهر عليه الاصفرار chlorosis، ويرجع ذلك لأن النبات يستفيد من الحديد فى صورة حديدوز أكثر منه فى صورة حديدك، ولذلك يعمل النبات على اختزال الحديدك بمجرد امتصاصه إلى حديدوز. ووجد أن النباتات تختلف فيما بينها فى قدرتها على اختزال الحديدك. 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 (Fe^{2+} active iron) وهو الحديد الذائب وله علاقة مباشرة بتكوين الكلوروفيل وباقى العمليات الحيوية التى تحتاج إلى الحديد فى عملها، بينما الحديد الغير نشط (Fe^{3+} inactive iron) يكون مترسب وليس له علاقة بالعمليات الحيوية. ويلعب المنجنيز دور أساسى فى أكسدة الحديدوز (النشط) إلى حديدك (غير نشط) وبالتالي 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 تحليل 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 $H_2PO_4^-$, OH^- , HCO_3^- أو مركبات مخيلية فى خلايا الورقة وبالتالي لا يرتبط الحديد مع المركبات العضوية التى تستخدم الحديد فى العمليات الحيوية بالخلية أى أن يحدث تنافس بين هذه الأصول الكيميائية ومواقع إرتباط الحديد على المركبات العضوية الخاصة بالحديد على الإرتباط بهذا العنصر.

جدول (28) : الحدود الحرجة للحديد في بعض النباتات.

تركيز الحديد (جزء في المليون)		الجزء المأخوذ للتحليل	المحصول
الحدود الطبيعية	حدود النقص		
178 - 56	56 - 24	الأوراق الناضجة حديثاً	الذرة
80 <	63 >	الأوراق	الأرز
60 - 44	38 - 28	السيقان (في عمر 34 يوم)	فول الصويا
113	80	الأوراق الناضجة حديثاً	عباد الشمس
400- 30	30 >	بطول 15 سم من القمة	البرسيم الحجازي
350 - 50	50 >	الأوراق الناضجة حديثاً	القطن

المصدر : (FAO, 1983).

أما بالنسبة للسمية الناتجة عن زيادة الحديد فهي قليلة الحدوث بالنسبة للمحاصيل المختلفة، والتركيز المسبب لحدوث السمية غير معروف. ويشذ عن هذا نباتات الأرز في بعض مزارع وخاصة في الأراضي شديدة الحموضة قد تظهر أعراض السمية بظهور اللون البرونزي **bronzing** على الأوراق ويكون تركيز الحديد أكثر من 300 جزء في المليون في هذه النباتات.

أعراض نقص الحديد على النبات

قد تظهر أعراض نقص الحديد والناتج عن نقص الكمية الصالحة في التربة عندما يقل تركيزه داخل النبات عن 50 جزء في المليون. ويمكن ذكر الظروف التي تشجع على ظهور الإصفرار **chlorosis** وهو العرض الرئيسي على النبات فيما يلي: انخفاض محتوى التربة من الحديد الصالح (الحد الحرج للحديد والمستخلص بمحلول **DTPA** هو في مدى 2.5-4.5) - ارتفاع نسبة الكربونات في التربة - ارتفاع مستوى البيكربونات الذائبة في التربة وفي مياه الري - زيادة الفوسفات الذائبة - زيادة النترات - الري الزائد وارتفاع نسبة الرطوبة بالأرض - زيادة تركيز المعادن الثقيلة بالتربة مثل **Mn , Cu , Zn** وغيرها - عدم الاتزان بين نسب الكاتيونات في 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 الغير متحركة داخل النبات وبالتالي تظهر أعراض نقصه على الأوراق الحديثة النمو. وأهم الأعراض الظاهرية مايلي:

1 - أهم الأعراض المعروفة هي ظهور اصفرار على الأوراق الحديثة النمو. ويبدأ الإصفرار بظهور لون أخضر باهت ثم يتبعه ظهور اللون الأصفر وفي مناطق متداخلة على الورقة، مع بقاء العروق خضراء.

2 - في 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 والمغنسيوم وذلك لتأثيرهما على تكوين جزئ الكلوروفيل في النبات إلا أن عنصر المغنسيوم من العناصر المتحركة في داخل النبات وبالتالي تظهر الأعراض على الأوراق المسنة.

وفيما يلي أعراض نقص الحديد على نباتات بعض المحاصيل الاقتصادية في 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 في حين لا ينقص حجم الورقة كثيراً، و مع شدة النقص تخرج أوراق النموات الحديثة بلون أصفر ولا تصل إلى حجمها الطبيعي وتتساقط مبكراً، وفي الحالات الشديدة تكون الأوراق الحديثة بيضاء اللون، وتموت الأوراق والأفرع المعرضة للشمس. وفي مصر لوحظ

ظهور أعراض نقص الحديد في كثير من مزارع الموالح ويكون ذلك مرتبطاً بزيادة نسبة كربونات الكالسيوم في التربة أو في مياه الري، وأيضاً لوحظ زيادة في نقص الحديد وذلك في حالة عدم ضبط الري.

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 في الأراضي ذات المحتوى المرتفع من كربونات الكالسيوم.

القمح، الشعير و الأرز : تظهر العروق المتوازية بلون أخضر يحدد شبكة التعريق، في حين يكون باقى النصل أصفر ويتضح ذلك في الأوراق الطرفية.

الذرة : يبدأ على الأوراق الحديثة بشكل خطوط خضراء تميز العروق الأساسية بدقة وبينها مساحات صفراء تماماً 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 تماماً وذلك على الأوراق الطرفية صغيرة العمر.

القطن : قد تتشابه أعراض نقص الحديد مع أعراض نقص النيتروجين وخاصة في المراحل المبكرة من النمو أى عندما يكون النبات صغيراً في العمر، وتحت الظروف العادية تظهر أعراض نقص الحديد في الأعمار المتقدمة وذلك على الأوراق الحديثة، وتمثل الأعراض في اصفرار النصل مع بقاء العروق خضراء وتظل الأوراق المسنة خضراء في حين نجد أن نقص النيتروجين يكون على الأوراق المسنة أولاً، وقد لوحظت الأعراض على أوراق القطن في بعض مناطق الوجه البحرى ومصر الوسطى.

البطاطس : على الأوراق الحديثة ، وتميز بأن قمم وحواف الوريقات تظل خضراء لفترة أطول من باقى الورقة والتي يصبح لونها أصفر شاحب. وقد يتحول إلى اللون الأبيض مع شدة النقص وتثنى حواف النسيج الأصفر إلى أعلى. وقد لوحظ هذه الأعراض في بعض زراعات البطاطس في الأراضي الرملية.

الطماطم : يبدأ باصفرار النسيج الموجود بين العروق الوسطى للأوراق العليا، بينما تظل العروق بلونها الطبيعي ويلاحظ أن اصفرار يكون عام بالورقة السفلى للأوراق العليا مع تدرج اللون الأصفر بالوريقات الأخرى بالورقة، ويكون أقلها اصفراراً الورقة المتصلة بعنق الورقة مباشرة. وتظهر أعراض النقص في نهاية عمر النبات في حالة الزراعات الكثيفة مع عدم إضافة الأسمدة العضوية بكمية كافية.

أسمدة الحديد وطرق إضافتها.

هناك عدة مصادر لمركبات الحديد والتي تستخدم كأسمدة لمعالجة نقص الحديد الميسر بالتربة الزراعية يوضحها جدول (29). وتختلف طرق إضافة هذه الأسمدة حسب نوع الأرض

ونوع السماد وأيضاً حسب المحصول. حيث اتضح أن كفاءة استخدام الأسمدة المخيلية أعلى من الأسمدة المعدنية وخاصةً عند إضافتها للأراضي القاعدية أو الجيرية. ويرجع ذلك لأن قوة ارتباط الأيون بالمركب المخلي كبيرة وبالتالي يفقد الأيون قدرته على التفاعل مع المكونات الأخرى للتربة وعلى ذلك يبقى العنصر في صورة ذائبة في المحلول الأرضي وميسرة للنبات حتى في الوسط القاعدى. وقد يفسر تأثير المركبات المخيلية في زيادة صلاحية الحديد للنبات على أساس أن جذور النبات تمتص الكاتيون الغذائى من المركب المخلي عن طريق التبادل بالتماس بين الجذر والمركب المخلي فينتقل الكاتيون إلى الجذر وينطلق بدلاً منه أيون الأيدروجين تاركاً الجزء العضوى في محلول التربة، ويفقد الكاتيون من المركب المخلي يتهدم البناء الحلقى ثم يتحد المركب مرة أخرى مع كاتيونات المحلول الأرضي ومنها أيون الحديد والذي يزداد تيسرة نتيجة انخفاض الـ pH الناتج من انطلاق أيون الأيدروجين ويتكون المركب المخلي مرة أخرى. وأوضحت الدراسات على سلوك المركبات المخيلية ، Fe-DTPA (ثنائي الإيثيلين ثلاثي الأمين خماسى حمض الخليك) ، Fe-EDTA (الإيثيلين ثنائي الأمين رباعى حمض الخليك) و Fe-EDDHA (إيثيلين ثنائي الأمين ثنائي الفينيل حامض الخليك) بالأراضي الجيرية ودرجة صلاحيتها للنبات وجد أن أعلى كمية ممتصة من الحديد بواسطة النبات كانت باستخدام مركب Fe-EDDHA، وإن حوالى 65% من الحديد تظل في صورة ذائبة بالمحلول الأرضي عند استخدام نفس المركب (Lindsay 1974). ويستنتج من هذه النتائج بأن مركب Fe-EDDHA يكون أكثر ثباتاً في الأراضي الجيرية عن باقى المركبات المخيلية الأخرى والتي يجل الكالسيوم محل الحديد الموجود بها مع ارتفاع رقم الـ pH .

جدول (29): الأسمدة الحاملة للحديد والمستخدمة

في الزراعة ومعدل استخدامها.

السماذ ورمزه الكيمياءى	النسبة المئوية للحديد	معدل وطريقة الإضافة*
المركبات المعدنية		

يفضل إضافتها رشاً	20.5	كبريتات الحديدوز FeSO ₄ .7H ₂ O
بتكيز 2% كبريتات	20.0	كبريتات الحديديك Fe ₂ (SO ₄) ₃ .4H ₂ O
حديدوز بمعدل 80- 120 لتر للفدان	14.0	كبريتات الألمونيوم والحديدوز (NH ₄) ₂ SO ₄ ,FeSO ₄ .6 H ₂ O
الحديد المخلبي يضاف رشاً ويعدل 0.5 -	10.0	المركبات المخلبية Fe-DTPA
1كجم حديد مخلبي	12.0-9.0	Fe-EDTA
400/ لتر للفدان	6.0	Fe-EDDHA
	9.0-5.0	Fe-HEDTA

المصدر : (FAO,1983) * أبو الروس وآخرون 1992

نماذج لأعراض نقص الحديد على النباتات

الفصل العاشر

المنجنيز Manganese

المنجنيز في الأراضى Manganese In Soils

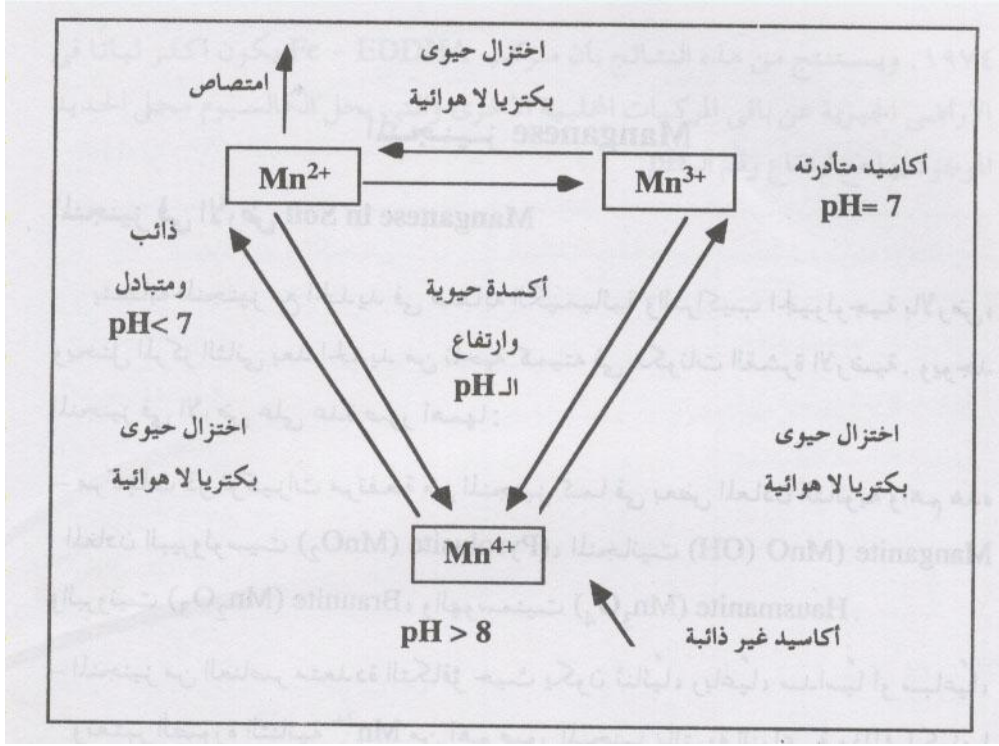
يتشابه المنجنيز مع الحديد في صفاته الكيميائية والتراكيب الجيولوجية بالأرض، ويحتل المركز الثاني بعد الحديد من ناحية كميته في مكونات القشرة الأرضية. ويوجد المنجنيز في الأرض على عدة صور أهمها:

- مركبات ذو تركيزات مرتفعة من المنجنيز كما في بعض المعادن الثانوية وأهم هذه المعادن البيرولوسيت Pyrolusite (MnO₂)، المنجانيت Manganite (MnO(OH)) البرونيت braunite (Mn₂O₃)، و الهوسميت hausmannite (Mn₃O₄).

- المنجنيز من العناصر متعددة التكافؤ حيث يكون ثنائي، ثلاثي، رباعي، سداسي أو سباعي، وتعتبر الصورة الثنائية Mn²⁺ من أهم صور المنجنيز بالتربة الزراعية وذلك لكونها أفضل الصور الصالحة للامتصاص بواسطة النبات وهي تعرف بالصورة النشطة. ويحدث الأكسدة لهذه الصورة تتحول إلى الصورة الثلاثية ثم الرباعية. وقد يوجد المنجنيز مرافق للمادة العضوية بالتربة.

- كما سبق ذكر بأن المنجنيز الثنائي التكافؤ هو أهم صورة بالنسبة للنبات، فهذه الصورة قد تكون ذائبة تماماً في المحلول الأرضي أو مدمصة على أسطح الغرويات الأرضية سواء معدنية ومنها الأكاسيد السداسية أو العضوية، وهنا يجب ذكر بأن الصورة المدمصة لا تكون سريعة الصلاحية للنبات بل يكون لها التأثير المعاكس على صلاحية هذا العنصر للنبات.

ويوجد حالة من التوازن بين الصورة الثنائية التكافؤ والصورة عالية التكافؤ، وهذا الاتزان والتغير في التكافؤ يحكمه ظروف التأكسد والاختزال بالأرض. أيضاً يتوقف مستوى المنجنيز الذائب بالأرض على رقم الـ pH، حيث يزداد المنجنيز الذائب Mn²⁺ بانخفاض الـ pH. بينما في الأراضي القاعدية والأراضي جيدة التهوية يزداد وجود المنجنيز عالي التكافؤ، وشكل (22) يوضح ذلك فيما يعرف بدورة المنجنيز في التربة الزراعية.



شكل (22) 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 الحمضية، وعلى هذا يقلل من محتوى الأرض من المنجنيز الكلى. وهنا يجب التذكير 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 في الأرض نلاحظ أن الصورة الثنائية من المنجنيز هي الصورة الأكثر أهمية وذلك لعلاقتها المباشرة بتغذية النبات. وعلى ذلك فإن حالة التوازن بين الصور الثلاثة تحدد الكمية النشطة والذائبة في محلول التربة. ويوجد عدة عوامل تؤثر على كمية المنجنيز الميسرة (الذائبة) للنبات يمكن إيجازها كما يلي:

1 - درجة الـ pH : ارتفاع الـ pH التربة يؤدي إلى خفض الكمية الميسرة من المنجنيز إلى الدرجة التي لا تسمح بإمداد النباتات النامية في هذه الأراضي بحاجتها من هذا العنصر وذلك لأن تحت هذه الظروف يتأكسد المزيد من المنجنيز الثنائي. و يتضح ذلك جلياً في الأراضي الجيرية حيث أن محتوى هذه الأراضي من المنجنيز الكلي كبير لكن الكمية الميسرة منه قليلة

جداً وذلك يرجع إلى ارتفاع الـ pH هذه الأراضي. وعلى ذلك فمن المفيد استخدام الأسمدة ذات التأثير الحامضي والتي تزيد من المنجنيز الميسر نتيجة لخفضها الـ pH التربة. كذلك هناك تأثير آخر لـ pH التربة، حيث يؤثر على نشاط الكائنات الدقيقة والتي لها دور هام في عمليتي الأكسدة والاختزال للمنجنيز حيث وجد أن هذه الكائنات تقوم بعملية الأكسدة عند قيم من الـ pH حول رقم 7 ويتحول Mn^{++} إلى صور Mn^{+++} , Mn^{++++} الغير ميسرة للنبات. وعكس ذلك في الأراضي الحمضية يزداد تيسر المنجنيز إلى الدرجة التي يصبح التركيز في المحلول الأرضي وصل إلى درجة السمية مما يسبب مشاكل للنباتات النامية بتلك الأراضي.

2- المادة العضوية: كما هو معروف تعمل المادة العضوية على خفض الـ pH للأراضي التي تضاف إليها وبالتالي يكون من المتوقع أن يكون الوسط الحامضي هذا ملائم لحدوث عملية الاختزال وبالتالي تيسر المنجنيز للنبات، وبجانب هذا ومع تحلل المادة العضوية تنطلق بعض الأحماض العضوية ذات الوزن الجزيئي المنخفض والتي تعمل كمركب مخلبي يرتبط مع المنجنيز ويجعله في صورة صالحة للنبات. وعكس ذلك تماماً وجد أن بعض الأراضي العضوية قد تعاني النبات النامي بها من نقص عنصر المنجنيز. حيث وجد بأن هناك علاقة بين نقص المنجنيز الميسر بتلك الأراضي ورقم الـ pH لها حيث تقل الكمية الميسرة مع ارتفاع الـ pH وأن أقصى رقم للـ pH للأراضي العضوية يقل عنه في الأراضي المعدنية. وعلى ذلك فالأراضي القاعدية وذات المحتوى المرتفع من المادة العضوية قد تعاني النباتات النامية بها من نقص المنجنيز وذلك لأن ارتفاع الـ pH الأرض يساعد على تكوين معقدات ثابتة للمنجنيز مع المادة العضوية مما يقلل من صلاحية هذا العنصر.

3- قوام التربة: عموماً الأراضي الرملية، وخاصةً الحمضية منها يكون محتواها الكلي من المنجنيز قليل، وعلى ذلك يكون من المتوقع أن يكون المنجنيز الميسر بهذه الأراضي قليل.

4 - محتوى الأرض من الرطوبة: نظراً لأن المنجنيز من العناصر متعددة التكافؤ مثله مثل الحديد، فنجد أن ظروف التهوية تلعب دور أساسى فى تحديد الكية الصالحة من هذا العنصر (Mn^{++}). وعلى ذلك نجد إنه 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 المسؤولة عن عملية الاختزال. وعلى ذلك فالنباتات المائية ومن أمثلتها الأرز قد لا تعانى من نقص المنجنيز لزيادة زوبانة تحت هذه الظروف. ووجد إنه فى بعض المناطق يحدث فى وقت واحد زيادة فى كلٍ من الكية الميسرة نتيجة لظروف الاختزال، والكية 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 أيون الحديد، حيث أن المستوى المرتفع من الحديد الميسر بالتربة يؤدى إلى ظهور أعراض نقص المنجنيز على النبات. حيث 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. حيث وجد أن عندما تكون هذه النسبة أكبر من 2.5 تؤدى إلى ظهور أعراض نقص المنجنيز على النبات، بينما بانخفاض هذه النسبة عن 1.5 تظهر أعراض السمية لهذا العنصر. ومثل الحديد، أيضاً المستويات المرتفعة من النحاس والزنك تعرقل امتصاص المنجنيز.

6- العوامل المناخية: تظهر أعراض النقص لعنصر المنجنيز على النباتات النامية فى المناطق ذات المناخ البارد، أيضاً المناخ الجاف يعيق من امتصاص المنجنيز. وعكس ذلك وجد أن زيادة شدة الضوء تزيد من المنجنيز الممتص.

اختبارات التربة للمنجنيز

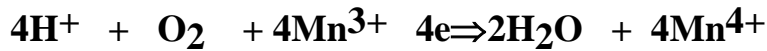
كما سبق ذكر أن الصورة الميسرة للنبات من المنجنيز هى المنجنيز الثنائى التكافؤ Mn^{++} ، بالإضافة إلى الصور السهلة الاختزال من المنجنيز، كلٍ من الصورتين تسمى بالمنجنيز النشط **active** "Mn". والطرق المستخدمة لتقدير المنجنيز الميسر للنبات تقوم باستخلاص جزء من هذه الصورة النشطة. يمكن تقدير المنجنيز الذائب 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 الحمضية. 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 في هذه الأرض. أما بالنسبة لمحلول خلات الأمونيوم العياري والمتعادل تكون الأراضي ذات محتوى منخفض من المنجنيز وتعاني النباتات النامية بها من نقص هذا العنصر إذا كانت القيمة المستخلصة 3.5 جزء في المليون، وهذه الطريقة يمكن استخدامها بنجاح لكثير من الأراضي المختلفة. وتعتبر طريقة الاستخلاص بمركب DTPA من أكثر الطرق نجاحا لكثير من الأراضي وكثير من المحاصيل وتعتبر القيمة 2 جزء في المليون في هذا المستخلص هي البداية لعدم استجابة المحاصيل المختلفة لإضافة المنجنيز لهذه الأرض. والمستوى الحرج للمنجنيز المستخلص بمحلول الفوسفات هي في مدى 15-20 جزء في المليون، وهذه الطريقة من أحسن الطرق المستخدمة للأراضي المعدنية. ويمكن توضيح تركيب المحاليل المختلف وطريقة استخدامها كما يلي:

محلول الاستخلاص	التربة (جم) إلى المستخل ص مل	زمن الرج (دقيقة)
الماء	: 10 100	30
1 ع خلات أمونيوم (pH 7.0)	: 10 100	+ 30 180 رج متقطع
0.2% Hydroquinone + N NH ₄ OAc خلات أمونيوم (pH 7.0)	: 10 100	+ 30 80 رج متقطع
0.1 ع حمض H ₃ PO ₄	: 10 100	60
Double acid (0.05 N HCL + 0.025 N H ₂ SO ₄)	20 : 5	5
DTPA (0.005 M DTPA + 0.1 N TEA + 0.01 M CaCl ₂ (pH 7.3)	: 10 20	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 الغير متحركة داخل النبات وبالتالي إعادة توزيع هذا العنصر بين الأجزاء المختلفة داخل النبات قليلة جداً. يساهم المنجنيز فى العديد من العمليات الحيوية داخل النبات والتي تؤدي إلى زيادة الإنتاج وتحسن من جودته فى كثير من المحاصيل الزراعية. حيث يقوم بدور العامل المساعد الأساسى أو الثانوى فى حياة النبات، وهو يلعب دور مباشراً فى عمليات التأكسد والاختزال وخاصة بالنسبة لمركبات الحديد حيث يمثل المنجنيز أحد العوامل المسببة لظهور الاصفرار الناتج عن نقص الحديد، ويرجع ذلك لتحويل الحديدوز إلى حديديك وهذه الصورة تعتبر خاملة من الوجهة الفسيولوجية. وينشط المنجنيز كثير من الإنزيمات مثل الديهيدروجينيز والكربوكسيليز، وقد ينشط بعض إنزيمات الهيدروجينيز والكربوكسيليز التي ينشطها الماغنسيوم ولكنه لايقوم بنفس العمل بالنسبة للإنزيمات التي 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 تختزل أيونات المنجنيز باستقبالها لأيونات الأيدروجين. أيضاً يلعب المنجنيز دوراً هاماً فى تمثيل النيتروجين داخل النبات.



تركيز المنجنيز فى النبات:

يختلف المنجنيز عن باقى العناصر الصغرى من حيث اختلاف تركيزه بالنباتات المختلفة، 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 (30). عادةً يقل تركيز المنجنيز داخل النبات مع زيادة عمر هذا النبات، كذلك وجد أن تركيز المنجنيز بالنبات يرتبط برقم الـ 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 (30)، ومن هذا الجدول نجد أن عند انخفاض التركيز عن 20 جزء فى المليون فى كثير من النباتات تظهر أعراض نقص هذا العنصر. بينما تظهر أعراض السمية للمنجنيز على النبات إذا زاد التركيز عن 500 جزء فى المليون، ويشد 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 يمكن أن ينمو نبات الأرز بدون ظهور أى أعراض غير طبيعية. أيضاً وجد أن هناك علاقة بين كلٍ من أعراض النقص والسمية للمنجنيز على النبات بمحتوى هذا النبات من الحديد. ومثال ذلك، التركيز المرتفع جداً أو المنخفض جداً من الحديد بالنبات بالمقارنة مع المنجنيز يؤدي إلى ظهور أعراض النقص أو السمية للمنجنيز على النبات بالترتيب.

جدول (30): الحدود الحرجة لتركيز المنجنيز في بعض المحاصيل

تركيز المنجنيز بالجزء في المليون حدود النقص حدود الكفاية حدود السمية			نوع المزرعة النباتية	الجزء النباتي	النبات
-	-	10>	محلل مغذى	القمة النباتية	البرسيم الحجازي
1970-651	240-62	-	مزرعة أرضية	القمة النباتية	
-	30	15	حقل	الأوراق	التفاح
-	76-14	-	مزرعة أرضية	القمة النباتية	الشعير
-	1340-207	68-32	حقل	القمة النامية	فاصوليا الليما
-	84-19	-	الحقل	كيزان أوراق	الذرة
2920-1130	216-27	-	مزرعة أرضية	القمة النامية	القطن
-	370-301	-	أرض حمضية	القمة النامية	الشوفان
1000	200-25	15	الحقل	الأوراق	البرتقال
2500<	-	20>	محلل مغذى	القمة النامية	الأرز
-	35	15>	مزرعة أرضية	القمة النامية	فول الصويا
3020-1250	1700-7	30-5	الحقل	الأوراق	بنجر السكر
-	398-70	6-5	محلل مغذى	الأوراق	الطماطم
2561-395	621-181	-	محلل مغذى	القمة النامية	القمح

المصدر : الـ 1983، FAO

حساسية النباتات لنقص المنجنيز بالتربة:

تختلف النباتات فيما بينها في درجة حساسيتها لنقص المنجنيز الميسر ويمكن تصنيفها كما يلي:

- 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 الحجازي، الشعير، الكرنب، القرنبيط، الطماطم، البطاطس، الأرز و اللفت.
- ج - نباتات درجة حساسيتها منخفضة وتشمل: الإسبرجس والقطن.

أما بالنسبة لدرجة حساسية النبات لزيادة المنجنيز الذائب، يعتبر الأرز من أهم المحاصيل تحملاً، بينما البرسيم الحجازي، الكرنب، القرنبيط، الأناناس، بنجر السكر، الطماطم، محاصيل الحبوب والبرسيم تعتبر من المحاصيل الحساسة لزيادة المنجنيز وبالتالي تظهر عليها أعراض السمية.

أعراض نقص المنجنيز على النبات:

تبدأ ظهور الأعراض أولاً على الأوراق الحديثة النمو إذا انخفض تركيز هذا العنصر في النبات عن 20 جزء في المليون. ويمكن ذكر الظروف المشجعة على ظهور هذه الأعراض والتي تتمثل في: انخفاض محتوى التربة من المنجنيز الميسر والمستخلص بمحلول DTPA عن 2.0 جزء في المليون، الأراضي القاعدية، إرتفاع محتوى الأرض من الكمية الميسرة لعناصر الحديد، النحاس أو الزنك، أراضي المناطق الجافة، أراضي المناطق الباردة وطبيعي الأراضي الفقيرة شديدة الأمطار. وتكون هذه الأعراض باختصار كما يلي:

ظهور اصفرار بين عروق الأوراق الحديثة، ثم تميز 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 رمادي عند قاعدة الأوراق الصغيرة ثم يتحول إلى لون مصفر وفي النهاية يتحول إلى اللون البرتقالي المصفر.

وأعراض المنجنيز المنتشرة على نباتات الشوفان تعرف باسم البقع الرمادية (grey speck) وعلى البسلة تعرف باسم نقط المستنقعات أو البقع السبخية (marsh spot) وعلى قصب السكر تعرف باسم الأمراض الخطية أو الشريطية (streak disease). وفيما يلي بعض الأعراض على نباتات أهم المحاصيل الاقتصادية:

الموالح : تظهر الأعراض أولاً على الأوراق الحديثة في 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. وفي 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 تتطور حالة النقص يزيد عدد البقع وتأخذ لونا يتدرج من الأخضر الباهت إلى الأبيض، وتختلف أعراض نقص المنجنيز مع أعراض نقص الزنك في عدة نقاط وهي:

- 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 شديداً.
- القمح، 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.
- الدرة :** يظهر على الأوراق على شكل خطوط بيضاء مع بقاء التعريق أخضر، وفى حالة النقص الشديد قد تتحول هذه الخطوط إلى اللون البنى وتسقط الأوراق.
- الفول البلى 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. وقد تظهر الأعراض فى بعض المناطق ذات الأراضى الرملية.
- الطماطم :** يبدأ باصفرار الأوراق العليا ويكون الاصفرار أيضا بالعرق الرئيسى للوريقة، ويكون على هيئة بقع تظهر بقاعدة الوريقات أكثر من قماتها ثم باشتداد النقص يتحول اللون إلى اللون البنى فى مكان الاصفرار حتى يعم على الورقة كلها فتسقط أو تجف.

أسمدة المنجنيز:

يتم علاج أعراض نقص المنجنيز على النباتات بإضافة أحد الأسمدة التي تحتوي على المنجنيز سواء عن طريق التربة أو عن طريق الرش وخاصة في حالة الرغبة في المعالجة السريعة للأعراض الظاهرة. وجدول (31) يشير إلى أهم هذه الأسمدة المستخدمة ومعدلات استخدامها بالطرق المختلفة.

ومن الجدير بالذكر بأن الصفات الطبيعية والكيميائية للتربة ونوع السماد يلعبان دور أساسى في تحديد طريقة الإضافة. وعلى ذلك ففي الأراضى الجيرية يفضل استخدام الأسمدة المخلبية عن الأسمدة المعدنية وذلك لقابلية المنجنيز في الصورة الأخيرة من التأكسد وبالتالي يصبح أقل تيسراً للنبات، وفي حالة عدم توفر المركبات المخلبية يمكن استخدام المركبات المعدنية تكميلاً بجوار النبات أو الأفضل إستخدامها رشاً على النبات.

جدول (31) أسمدة المنجنيز والمعدلات المقترحة حسب طريقة الإضافة.

المعدلات المقترحة للاستخدام كجم منجنيز/هكتار			% للمنجنيز	الرمز الكيميائى	إسم السماد
الرش	تكبير (جور)	نثراً			
2.0 - 0.5	11 - 6	130 - 22	28 - 26	MnSO ₄ .3H ₂ O	كبريتات المنجنيز أكسيد المنجنيز
6 - 4	11	84	68 - 41	MnO Mn - EDTA	المنجنيز المخلبي
0.5 - 0.1	-	-	12		

المصدر : ال 1983، FAO

نماذج لأعراض نقص المنجنيز على النباتات

الفصل الحادى عشر

النحاس Copper

النحاس فى الأرض Copper In Soils

- تختلف الأراضى فيما بينها فى محتواها من النحاس الكلى تبعاً لمادة الأصل الناشئة منها تلك الأرض نظراً لدخول هذا العنصر فى التركيب الكيماى لبعض الصخور. ويوجد النحاس فى التربة على عدة صور وهى:
- 1 - معادن كبريتيدية sulphides وأهم هذه المعادن هو (Cu Fe S₂) chalcopyrite. حيث تعتبر المصدر الاساسى للنحاس.
 - 2 - معادن الأوكاسيد النحاسية ومنها Malchite (CuCO₃), Cuprite (Cu₂O). وهذه الصورة مع السابقة لها من الصور التى لا يمكن استخلاصها بالمستخلصات العادية ويطلق عليها النحاس الغير متحرك 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 متبادلاً 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 مكون 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 تعاني من نقص النحاس.
 - 5 - كمية قليلة جداً 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 أقل من 7، بينما تكون السيادة للـ 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) غنية فى النحاس تحتوى على 100 جزء فى المليون نحاس بالمقارنة بالأراضى الناشئة من الصخور الحمضية التأثير مثل الجرانيت تحتوى على 10 جزء فى المليون نحاس. وبصفة عامة يتأثر محتوى الأرض الكلى من النحاس بقوام هذه الأرض، حيث وجد أن المحتوى الكلى يزداد مع زيادة كمية الحبيبات الصغيرة 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، 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 حيث يتضح ذلك من انتشار حدوث النقص لهذا العنصر على النباتات النامية فى الأراضى القاعدية والجيرية. بينما مع انخفاض الـ pH عن 6.0 نجد أن هناك زيادة كبيرة فى النحاس الميسر، وفى الأراضى شديدة الحموضة (pH أقل من 4.5) نجد أن الكمية الميسرة للنبات تقل مرة أخرى ويرجع ذلك إلى أحد أو كل الأسباب التالية:

أ - يمكن أن يتحد النحاس الذائب (الميسر) مع سيليكات الألمونيوم، الفوسفات أو أيونات أخرى.

ب - زيادة الكمية الممتصة من الأيونات الأخرى فى الأراضى الحمضية يخفى أو يعوق امتصاص النحاس.

3 - المادة العضوية: فيما يتعلق بكتيونات 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 (

peat and muck soils) ويرجع ذلك لقوة ارتباط النحاس مع المادة العضوية. وعادةً تكون معقدات النحاس مع المادة العضوية ذات الوزن الجزيئي المرتفع (أكثر من 500) قليلة الذوبان بالمقارنة بمعقدات النحاس العضوية ذات الوزن الجزيئي المنخفض (أقل من 100). ونقص النحاس على النبات لا يقتصر على زيادة المادة العضوية فقط، ففي المناطق الجافة يكون هناك نقص شديد في النحاس على النبات بالرغم من أن محتوى الأرض من المادة العضوية قليل.

4 - قوام الأرض: النباتات النامية في الأراضي الرملية تعاني من نقص النحاس وذلك لقلة الكمية الميسرة ويرجع ذلك لارتباط الكمية الذائبة من هذا العنصر بقوام التربة وبالتالي السعة التبادلية الكاتيونية حيث تزداد الكمية الميسرة بنعومة القوام لاحتواء الأرض ناعمة القوام على كمية أكبر من النحاس الكلي.

5 - التضاد الأيوني 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. أيضاً الزيادة من الزنك الذائب في وسط النمو يُظهر نقص النحاس.

6 - كربونات الكالسيوم: كما هو معرف بأن زيادة كربونات الكالسيوم في التربة ترفع من قيمة pH التربة وبالتالي يكون لها تأثيرها الغير مباشر على نقص الكمية الميسرة من النحاس، حيث يكون رقم الـ pH في حدود 8 وعند هذا الـ pH يحدث تفاعل كيميائي بين النحاس وكربونات الكالسيوم وتتكون كربونات النحاس القاعدية $CaCO_3$. $Cu(OH)_2$ غير الذائبة وبالتالي تقلل من صلاحية هذا العنصر.

اختبارات التربة للنحاس

يوجد العديد من الطرق المستخدمة في تقدير مستوى النحاس الميسر في التربة والتي يستخدم فيها محاليل استخلاص مختلفة وسوف نتعرض لبعض هذه الطرق علماً بأن نتائجها موثوق فيها للتنبؤ بمستوى النحاس الميسر في بعض الأراضي وليست كلها. وكما سبق ذكره بأن كمية النحاس الميسر في التربة تتأثر بعوامل كثيرة وأهمها المادة العضوية وبعض العناصر المعدنية ومنه الألمونيوم والحديد، وهذا يمكن أن يفسر اختلاف نتائج الطريقة الواحدة من أرض إلى أخرى. وتتشترك كل طرق تقدير النحاس الميسر في التربة في أن تركيز العنصر في المستخلص يكون منخفض جداً. وأهم الطرق المستخدمة في هذا المجال هي:

محلول	التربة (جم) إلى	زمن الرج	الحد الحرج
-------	-----------------	----------	------------

الاستخلاص	المحلول (مل)	(دقيقة)	(ppm)
Citrate + EDTA*	50 : 5	60	-
<u>N</u> NH ₄ OAc (pH 4.8)	100 : 50	60	0.2
DTPA	20 : 10	120	0.2
0.05 <u>N</u> HCL + 0.025 <u>N</u> H ₂ SO ₄	20 : 5	5	0.4

- لتحضير واحد لتر من المحلول يذاب 200 جم سترات أمونيوم + 50 جم Na₂-EDTA في لتر ماء مقطر وتكون قيمة الـ pH للمحلول هي 8.5.

النحاس في النبات Copper In Plant

الوظيفة الحيوية :Functions

يعتبر النحاس أحد مكونات بعض إنزيمات الأكسدة والإختزال ومن العناصر اللازمة للعديد من البروتينات، ودوره الأساسي يكون واضح في عمل إنزيم السيتوكروم أوكسيداز Cytochrome Oxidase حيث يعتبر مكملاً لهذا الإنزيم، والإنزيم المؤكسد لحمض الإسكوربيك ascorbic acid- oxidase وبعض الإنزيمات الأخرى مثل الفينوليز phenolase وإنزيم الاكتيز Lactase وبعض الإنزيمات الأخرى. كذلك وجد أن أكثر من 70% من النحاس الموجود في النبات يتركز في الكلوروفيل chlorophyll حيث يتضح مدى أهمية هذا العنصر في تخليق الكلوروفيل، أيضاً يُعزز النحاس من تكوين فيتامين أ (vitamin A) في النبات. كذلك وجد أن النحاس يؤثر على تبادل الكربوهيدرات والبروتينات ويزيد من مقاومة النبات ضد الأمراض الفطرية.

تركيز النحاس في النبات:

يتراوح تركيز النحاس في النباتات المختلفة من 5 إلى 20 جزء في المليون جدول (32)، وتكون النباتات الصغيرة ذات تركيز مرتفع من النحاس ويقل التركيز مع تقدم هذه النباتات في العمر والوصول إلى مرحلة النضج. يتوقف توزيع النحاس داخل النموات الحديثة على مدى توافر هذا العنصر في وسط نمو النبات، حيث يسلك النحاس مسلك العناصر المتحركة داخل النبات في حالة الإمداد الكافي ويشابه العناصر الغير متحركة في حالة النقص. حيث يزداد تركيز النحاس في النموات الحديثة بالمقارنة بالنموات المسنة في حالة توافر العنصر في وسط النمو، بينما في حالة النقص تحتوى هذه النموات على تركيز أقل منه في النموات المسنة.

الحدود الحرجة للنحاس في النبات:

البدائية التي عندها يستجيب النبات لمعالجة أعراض نقص النحاس عندما ينخفض التركيز في النباتات المختلفة يوضحها جدول (32). ومن الجدول نجد أنه بانخفاض التركيز داخل النبات عن 4 جزء في المليون يكون من المتوقع ظهور أعراض نقص النحاس على هذه النباتات. أما من حيث التركيز الذي يؤدي إلى ظهور أعراض السمية للنحاس على النبات فيمكن القول بأن زيادة التركيز عن 20 جزء في المليون ربما يؤدي النبات.

حساسية النباتات المختلفة لنقص النحاس في التربة:

تختلف النباتات فيما بينها في درجة حساسيتها لنقص النحاس في التربة ويمكن وصف ذلك كما يلي:

أ - نباتات حساسة لنقص النحاس في التربة وتشمل البرسيم الحجازي، 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 (32) يبين الحدود الحرجة لتركيز النحاس في بعض النباتات المختلفة

تركيز النحاس بالجزء في المليون حد النقص حد الكفاية حد السمية			الجزء المأخوذ للتحليل (العينة)	المحصول
30 <	30- 10	10 >	قمة النبات (15سم)	البرسيم الحجازي
30 <	30- 5	5 >	ورق الكوز	الذرة
20 <	20- 8	8 >	الأوراق الناضجة حديثاً	القطن
30 <	30 - 10	10	الأوراق الناضجة حديثاً	فول الصويا
-	12- 6	-	الحبوب	الشعير
-	12 - 7	3 >	الأوراق (عمر 6-9 إسبوع)	الشوفان
-	18 - 9	8	السيقان	القمح
-	12 - 3	4 - 1	الأوراق العلوية	التفاح
22 - 17	16 - 6	6 - 4	الأوراق (عمر 4-6 إسبوع)	البرتقال
-	10 - 8	5 - 2	الأوراق الصغيرة	العنب

ج - 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 في تربة تعاني من نقص النحاس الميسر بها ومن خصائص تلك التربة: الأراضي ذات المحتوى الكلى المنخفض من النحاس ويكون الحد الحرج من النحاس الكلى في الأراضي المعدنية هو أقل من 6 جزء في المليون، بينما ترتفع هذه القيمة كثيراً بالنسبة للأراضي العضوية حيث تصل إلى 30 جزء في المليون. وعلى هذا يزداد ظهور أعراض النقص في الأراضي العضوية عنها في الأراضي المعدنية، أيضاً الأراضي القاعدية وخاصة الجيرية منها والأراضي الرملية الحامضية. أيضاً يؤدي الإضافة الزائدة لكلٍ من النيتروجين، الفوسفور و الزنك إلى ظهور أعراض النحاس على النبات. سبق ذكر أن النحاس قد يسلك سلوك كلٍ من العناصر المتحركة والغير متحركة داخل النبات، ويتوقف ذلك على مدى توفر هذا العنصر في 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 وبالتالي تقزم والتفاف النبات وتساقط الأزهار. وفي 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 في لونها. وتظهر الأعراض على السنابل حيث يكون السفا غير قائم والسنابل غير ممتلئة ومشوهة. وتظهر هذه الأعراض أكثر ما يكون على النباتات النامية في الأراضي الرملية حديثة الاستصلاح أما بالنسبة للموالح يحدث تأخر و موت للنموات الحديثة، ظهور بثرات صمغية بين اللحاء والخشب، وتظهر افرازات بنية اللون مائلة للاحمرار وموزعة بدون انتظام على الثمار ويتحول لونها إلى البني القاتم عند نضج الثمار. وقد توجد جيوب صمغية في القشرة، وفي وسط الثمار عند زوايا الفصوص كما تكون الثمار معرضة للتشقق. عموماً أعراض نقص النحاس على النبات أقل انتشاراً من بعض العناصر الصغرى الأخرى مثل الزنك، ويرجع ذلك إلى أن النحاس يدخل في تركيب كثير من المبيدات الحشرية والفطرية والتي تستخدم بكثرة حالياً في الزراعة.

أما من حيث أعراض السمية والتي قد تحدث مع الاستخدام الزائد للأسمدة التي تحوى النحاس أو من استخدام المبيدات الفطرية أو الحشرية بكثرة تظهر أعراض الاصفرار cholorsis وتكون ظاهرياً مشابهة لنقص الحديد. ويمكن علاج السمية بإضافة مركبات الحديد المخليبية إلى التربة أو رشاً على الأشجار.

أسمدة النحاس:

تعتبر كل من الأراضي الرملية - الجيرية والعضوية من أكثر الأراضي 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 والتي يحتاجها النبات وذلك تجنباً لإضافة أى زيادة من النحاس والتي تسبب سمية وضرر للنبات.

ويجب ذكر أن صفات كل من التربة والسماد لها دوراً هاماً فى تحديد الكمية وطريقة الإضافة للسماد. فمثلاً يفضل إضافة المركبات المخلبية للنباتات المنزرعة فى الأراضي الجيرية وذلك لقدرة تلك المركبات على الحفاظ على النحاس فى صورته الصالحة للنبات. وفى كثير من الأحيان يفضل استخدام كبريتات النحاس المائية $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ لإضافتها بالرش وذلك لقدرتها العالية على الذوبان.

جدول (33) : 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	$CuSO_4 \cdot 5H_2O$	25	6.0 - 3.0	0.1 كجم / 100 لتر ماء
	$CuSO_4 \cdot H_2O$	35	6.0 - 3.0	4.5 - 1.4
النحاس المخلبي	$Na_2-CuEDTA$	13	2.4 - 0.8	30 جم / 100 لتر ماء
	$Na-CuEDTA$	9	2.4 - 0.8	0.8 - 0.2

المصدر : (FAO,1983).

نماذج لأعراض نقص النحاس على النباتات

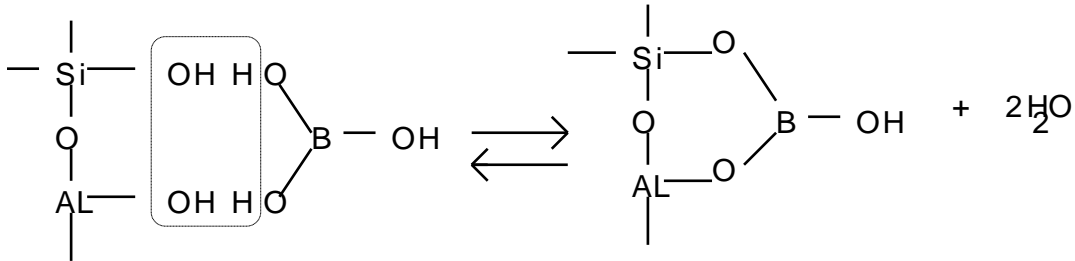
البورون Boron

البورون فى الأرض Boron In Soils

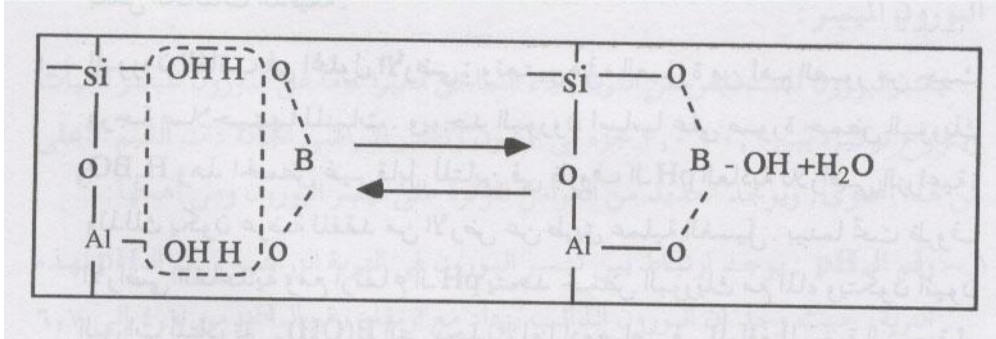
يوجد البورون فى الأرض فى عدة صور كما يلى:

1 - **المعادن الأرضية:** يدخل البورون فى تركيب كثير من المعادن الأرضية وبالتالى فهو ينتشر فى كثير من الأراضى. وأكثر المعادن السيليكاتية شيوعاً والتي يحتوى 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 الألمونيوم أو على الأكاسيد السداسية الحرة مثل هيدروكسيدات الألمونيوم والحديد. ويحدث الادمصاص لحمض البوريك كما اقترحه (Sims and Bingham, 1962) كما يلى:



فى الأراضى القاعدية يصبح البورون على صورة أيون البورات $B(OH)_4^-$ المتأدرة فى المحلول الأرضى وبالتالى يحدث لهذه الأنيونات ادمصاص على أسطح الغرويات الأرضية عن طريق تبادله مع أنيون الأيدروكسيل كما يلى:



ويزداد إدمصاص البورون في الأراضي القاعدية والجيرية بهذه الطريقة نظراً لزيادة تكوين أنيون البورات في مثل هذه الأراضي، وهذا يقلل من فقد البورون عن طريق الغسيل في تلك الأراضي. وعموماً يُعتبر البورون المدمص مخزوناً أساسياً للبورون في الأرض نظراً لوجود حالة من الاتزان بينه وبين البورون الذائب في المحلول الأرضي حيث يمكن تبادله مع أنيونات الأيدروكسيل الذائبة في المحلول الأرضي وبالتالي يمكن أن يعوض انخفاض تركيز البورون في المحلول الأرضي 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 الدبالية مثل مجموعات الكربوكسيل، والهيدروكسيل مكوناً معقدات مختلفة في درجة ذوبانها. ويمكن أن يحدث انطلاق للبورون من هذه المعقدات بعد عملية التحلل بفعل الكائنات الدقيقة.

4 - البورون الذائب في المحلول الأرضي: 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 في ظروف الـ pH العادية للأراضي الزراعية ولذلك يكون عرضة للفقد من الأرض عن طريق عملية الغسيل. بينما تحت ظروف الأراضي القاعدية ومع ارتفاع الـ pH يتحد حمض البوريك مع الماء ويتكون أنيون البورات المتأدرة $B(OH)_4^-$ والتي يحدث لها إدمصاص في 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 وباقي الصور الغير ذائبة ذات أهمية كبرى لأن التركيز المنخفض يؤدي إلى ظهور أعراض النقص بينما الزيادة النسبية

منه تؤدي 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 حمضية التأثير) - الأراضى المتكونة بفعل ترسيبى عن مياه عذبة، وأيضاً الأراضى خشنة القوام وكذلك الأراضى الفقيرة فى المادة العضوية تكون فقيرة فى محتواها من البورون الكلى. والعكس فى الأراضى الغنية بالطين الصفائحى والأراضى الرسوبية الناعمة القوام تكون ذات محتوى كلى 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 كلى مرتفع من البورون. والبورون عُرضة للغسيل بسهولة وبالتالي يمكن القول بأن الأراضى الواقعة فى المناطق الجافة والشبه جافة 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 مايلى:

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 النامى فى تلك الأراضى.

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 لتلك المادة مثل مجاميع الكربوكسيلية والهيدروكسيلية مكوناً معقدات عضوية مختلفة في درجة زوبانها، ولكن يمكن القول بأن مع تحلل تلك المواد بفعل الكائنات الأرضية الدقيقة ينطلق البورون الذائب. ويزداد تأثير المادة العضوية على تيسر البورون في الأراضي الحمضية حيث تتكون معقدات ذائبة من البورون والمادة العضوية.

3 - قوام التربة: بصفة عامة تقل كمية البورون الميسرة للنبات في الأراضي خشنة القوام سريعة النفاذية، بالمقارنة بالأراضي ناعمة القوام. حيث كما سبق القول بأن قدرة البورون على الغسيل من الأرض كبيرة، و نتيجة لقلة السعة التبادلية الكاتيونية للأراضي الرملية وبالتالي قلة أسطح الإدمصاص للبورون يحدث لهذا العنصر فقد عن طريق الغسيل وخاصة في الأراضي الرطبة. وفي الأراضي الطينية يلعب نوع الطين السائد دور مهم في إدمصاص البورون، حيث وجد أن معدن الإيليت ذات قدرة مرتفعة على إدمصاص البورون يليه معدن المونتيموريللونيت وأقل تلك المعادن هو معدن الكاولينيت. وعموماً يعتبر القوام ذات تأثير أقل على تيسر البورون بالمقارنة بتأثير المادة العضوية أو الـ pH.

4 - رطوبة التربة: مع جفاف التربة تزداد الكمية المثبتة من البورون، وعلى ذلك فإن حالة الجفاف المؤقت للأرض قد تعيق من حصول جذور النبات على البورون المدمص بكثرة على أسطح الغرويات الأرضية. وبالتالي تظهر حالة أعراض النقص على النبات. ومع زيادة الرطوبة يزداد معدل حركة البورون الذائب إلى سطح الجذور وبالتالي يزداد تيسره وانتشاره.

5 - تأثير العناصر الأخرى: وجد أن هناك تضاد antagonises بين الكالسيوم والبورون، وعلى ذلك يقل درجة تيسر البورون في الأراضي القاعدية، ووجد أن يمكن تقليل السمية بالنسبة للبورون بإضافة الكالسيوم للأراضي الغنية بالبورون الذائب.

اختبارات التربة للبورون

تعتبر طريقة تقدير البورون الميسر بالتربة بواسطة الاستخلاص بالماء المغلى أكثر الطرق انتشاراً. وفيها يتم الاستخلاص بماء مغلى مع الرج لمدة 5 دقائق وتكون نسبة التربة : المستخلص هي 1 : 2، وتعتبر الأراضى ذات محتوى من 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 الـ pH للتربة وجد أن هناك زيادة فى امتصاص النباتات للبورون بزيادة حموضة التربة وخاصة بالقرب من المدى القاعدى علماً 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 الحمضية قد لا تعاني النباتات النامية بتلك الأرض من نقص البورون، فى حين عند نفس القيمة من البورون الميسر فى الأراضى القاعدية وجد أن النباتات النامية بها تعاني من شدة النقص. وأخيراً تعاني 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 والتي من أهمها:

أ - يساهم فى زيادة نشاط العديد من الإنزيمات، وضرورى لانقسام الخلايا.
ب - يزيد من مسامية الجدر وبالتالي يزيد من انتقال الكربوهيدرات، وعلى ذلك يحدث أقصى تراكم للنشا والسكر فى النباتات التى تحتوى على كمية غير كافية من البورون.

- ج - يلزم في تمثيل اللجنين وبعض التفاعلات الحيوية.
 د - مهم في تمثيل البروتين والأحماض النووية وبالتالي بنقص البورون الممتص من المتوقع تراكم النترات في النبات.
 هـ - ينظم نسبة الكالسيوم / البوتاسيوم في النبات.

تركيز البورون في النبات:

تختلف النباتات فيما بينها في 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 عالي جزئياً من البورون. وتختلف أجزاء النبات الواحد فيما بينها في محتواها من البورون فتركيز البورون في الأوراق يكون مرتفع عنه في السيقان، ويكون أعلى تركيز داخل أجزاء الورقة نفسها في حوافها. وعموماً يقل تركيز البورون داخل النبات ككل في مراحل نموه الأولى، بينما يظل التركيز ثابت تقريباً في معظم مراحل النمو.

الحدود الحرجة داخل النبات:

تعتبر النباتات ذات محتوى من البورون أقل من 15 جزء في المليون في حدود النباتات التي تعاني من نقص البورون و يقل عن ذلك الرقم النباتات أحادية الفلقة جدول (34). ويعتبر التركيز من 15 إلى 100 جزء في المليون هو التركيز الملائم والكافي لنمو النبات نمو طبيعى دون مشاكل من ناحية البورون، بينما بزيادة التركيز عن 200 جزء في المليون تعاني النباتات من السمية الناتجة عن زيادة البورون في النبات.

جدول (34): الحدود الحرجة لتركيز البورون في النباتات المختلفة بالجزء في المليون.

المحصول	الجزء المأخوذ للتحليل	حدود النقص	حدود الكفاية	حدود السمية
أحادية الفلقة الذرة	القمة النامية (25يوم)	2 - 1	10 - 5	25

-	5	4>	القمة	القمح
-	10 - 8	8>	القمة	الشعير ذات الفلقتين
-	83- 27	16 - 15	الأوراق	البنجر
1625-522	50 - 30	16	الأوراق	القطن
817 - 70	43 - 27	-	الأوراق	الخس
-	-	25>	الأوراق	فول سودانى
-	52 - 25	28 - 4	الأوراق	بنجر السكر

المصدر: FAO, 1983

أعراض نقص البورون على النبات:

بصفة عامة يمكن التوقع بظهور أعراض نقص البورون على النباتات فى التربة التى تتوفر بها الخصائص التالية: إنخفاض محتواها من البورون الكلى، الأراضى الناشئة من صخور ذات أصل حامضى، الأراضى الرملية الحمضية، الأراضى ذات المحتوى المنخفض من المادة العضوية، الأراضى القاعدية والجيرية والأراضى الواقعة فى المناطق المتوسطة والغزيرة الأمطار. ومن العمليات الزراعية الرى بالماء ذات المحتوى المرتفع من الكالسيوم وأخيراً التكتيف الزراعى. يعتبر البورون من العناصر الغير متحركة 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 عدم تكوين البروتين وبالتالي عدم تكوين الأزهار وتأخر النضج، كذلك يعرقل تكوين السنابل وتتلون الأوراق الحديثة بلون أخضر مزرق داكن وتمتاز بزيادة سمكها وعدم انتظامها. أيضاً يتأثر نمو وتطور الجذور حيث تظهر سميكة - غير نظيفة ويوجد تبرقش فى قماتها. 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 (35).

جدول (35): حساسية بعض المحاصيل لنقص البورون فى الأرض

نباتات حساسة	نباتات متوسطة الحساسية	نباتات عالية الحساسية
الفول، الشعير، الذرة الشوفان، البسلة، فول الصويا، البطاطس،	الكرنب، الجذر، القطن الخس، الفجل، السبانخ	البرسيم الحجازى، القرنبيط الكرفس، بنجر السكر، بنجر

الذرة الرفيعة، الأرز، القمح الجريب فروت (موالح) المصدر : (FAO,1983)	الخوخ، الكمثرى و العنب	المائدة، اللفت، التفاح والورد
---	------------------------	-------------------------------

سمية البورون:

تُعتبر الحدود الفاصلة بين التركيزات الملائمة والتركيزات التي تؤدي إلى السمية بالبورون قريبة جداً، وإن الزيادة في تركيز البورون تؤدي إلى إعاقة النمو الطبيعي للنبات. حيث بزيادة تركيز هذا العنصر في التربة وبصورة دائمة يؤدي إلى زيادة امتصاصه وبالتالي ظهور أعراض السمية والتي تتمثل في احتراق قمم الأوراق وظهور اللون الأصفر الباهت والذي ينتشر بين العروق الجانبية متجهاً إلى العروق الوسطى. وتعتبر سمية البورون مشكلة في: الأراضي الموجودة في المناطق الجافة وخاصة في الأراضي الملحية السودية - الأراضي الناشئة من الترسيبات البحرية - الأراضي التي يتم ريها بماء ذات محتوى مرتفع من البورون - الأراضي الناشئة من مادة أصل غنية في البورون. وأخيراً الاستهلاك الزائد من الأسمدة الحاملة للبورون. ويمكن معالجة نقص البورون في الأرض عن طريق إضافة الأسمدة الحافية جدول (36).

جدول (36): أسمدة البورون ونسبة البورون بها.

النسبة المئوية للبورون	التركيب الكيميائي	المصدر
11	$N_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$	البوراكس
14	Sodium	تترا بورات الصوديوم
20	tetraborate	أ - سماد بورات 46
17	$N_2B_4O_7 \cdot 5H_2O$	ب - سماد بورات 65
	$N_2B_4O_7$.	حامض البوريك

	H ₃ PO ₃	
--	--------------------------------	--

تعتبر طريقة الإضافة بالرش من أفضل الطرق لعلاج نقص البورون مع مراعاة التركيز الملائم في 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 في الأرض، فإذا كان مصدر هذه الزيادة هو ماء الري فيجب استخدام مياه ذات محتوى أقل من البورون أو تخفيف المياه المرتفعة في 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 في معالجة سمية البورون، كذلك إضافة الجير بكمية معتدلة يساعد في علاج آثار السمية.

نماذج لأعراض نقص البورون على النباتات

الفصل الثاني عشر

الموليبدينوم Molybdenum

الموليبدينوم فى الأراضى Molybdenum In Soils

يوجد الموليبدينوم فى التربة بكميات قليلة بالمقارنة بباقى العناصر الصغرى مثل الحديد، المنجنيز، الزنك، والنحاس. وأن الأراضى الناشئة من الصخور القاعدية تحتوى على كمية أكبر من الموليبدينوم بالمقارنة بالأراضى الناشئة عن الصخور الحمضية، ويوجد الموليبدينوم فى الأرض فى عدة صور وهى:-

- المعادن الأرضية: ومنها الموليبدينايت (MoS₂) molybdenite، powellite (CoMoO₄)، و الفيروموليبدينايت (Fe (MoO₄)₃.8H₂O) ferromolybdate. وأيضاً يوجد هذا العنصر فى تركيب بعض المعادن السيليكاتية ومنها الفلدسبارات والميكا نتيجة حدوث عملية الإحلال المتماثل بين Mo⁴⁺ و Al³⁺ فى صفيحة الأوكتايدرا لهذه المعادن. والموليبدينوم الموجود فى هذه الصورة درجة زوبانه قليلة جداً. فى بعض الأراضى وخاصة الحمضية منها يوجد الموليبدينوم مرتبط مع الأكاسيد السداسية وهذه الروابط تكون ثابتة وعلى هذا يكون الموليبدينوم الموجود فى هذه الصورة أيضاً درجة صلاحيته للنبات قليلة جداً.

- الموليبدينوم الموجود فى صورة أنيون MoO₄²⁻: والموجد على أسطح حبيبات التربة (ذات الشحنة الموجبة)، والـ Mo يكون ممسوك بروابط ثابتة وبالتالي تكون درجة تيسر للنبات قليلة.

- الموليبدينوم الموجود فى تركيب المادة العضوية: يُصنف على أنه ذات أهمية من ناحية تغذية النبات.

- الموليبدينوم الذائب فى المحلول الأرضى: كميته قليلة جداً وتتوقف على رقم الـ pH للتربة حيث يزداد ذوبان هذا العنصر فى الأراضى القاعدية.

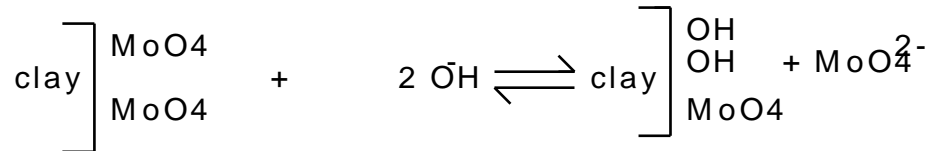
المحتوى الكلى من الموليبدينوم بالأرض:

يوجد الموليبدينوم الكلى فى الأرضى فى مدى يتراوح من 0.6 إلى 3.5 جزء فى المليون بتوسط عام 2.0 جزء فى المليون. ويرجع اختلاف الأراضى فى محتواها الكلى من هذا العنصر إلى مادة الأصل التى نشأت منها هذه الأرض.

المولبيدنيوم الميسر للنبات:

كما هو معروف بأن الكمية الكلية من العناصر ومنها المولبيدنيوم في الأرض ليست دليلاً على الكمية الميسرة من تلك العناصر، وذلك لتأثر الكمية الميسرة على عدة عوامل وهي في حالة المولبيدنيوم ما يلي:

1 - رقم الـ pH للأرض: بعكس باقي العناصر المغذية الأخرى يزداد تيسر المولبيدنيوم للنبات مع زيادة رقم الـ pH للتربة، حيث يزداد تيسره في الأراضي القاعدية عنه في الأراضي الحامضية. ويمكن تفسير ذلك بأنه يمكن أن يحدث تبادل أنيوني في الأرض القاعدية بين أنيون المولبيدات المدمص وأنيون الهيدروكسيل الذائب في المحلول الأرضي لتلك الأرض كما يمثلها الرسم التالي:



بينما في الأراضي الحمضية يحدث إدمصاص له على أسطح الغرويات الأرضية وخاصة الأكاسيد السداسية للحديد والألمونيوم والتي يكون قوة الربط بها شديدة، وعلى هذا يُعتبر الإدمصاص في هذه الحالة عملية تثبيت للمولبيدنيوم وإعاقة لتيسره للنبات.

2 - المادة العضوية: وجد أن للمادة العضوية القدرة على تكوين مركبات معقدة مع المولبيدنيوم Mo-OM complexes قد تحمي المولبيدنيوم من التثبيت والتحول إلى صورة غير ميسرة للنبات، حيث يحدث عملية المعدنة للمادة العضوية يتحول المولبيدنيوم إلى صورة صالحة للنبات. أيضاً إضافة المادة العضوية للأرض يعزز من تيسر المولبيدنيوم الموجود أصلاً بالأرض Native Mo.

3 - قوام الأرض: يلعب قوام التربة دور مهم في كمية المولبيدنيوم الميسرة للنبات، حيث وجد أن الأرض الرملية تعاني من نقص المولبيدنيوم وذلك لسهولة فقده من محلول التربة وذلك لعدم وجود أسطح إدمصاص لهذا الأرض. والعكس في الأراضي ثقيلة القوام، يحدث إدمصاص للمولبيدنيوم وتختلف قدرة الأرض الطينية على إدمصاص المولبيدنيوم حسب نوع الطين.

4 - **كربونات الكالسيوم**: وجد أن كربونات الكالسيوم تلعب دور مهم في تيسر الموليبدنيم للنبات وخاصة في الأراضي الحامضية، ويفسر ذلك بتأثير كربونات الكالسيوم على رفع رقم الـ pH للتربة مما يزيد من إنطلاق الموليبدنيم المدمص على أسطح الغرويات إلى المحلول الأرضي.

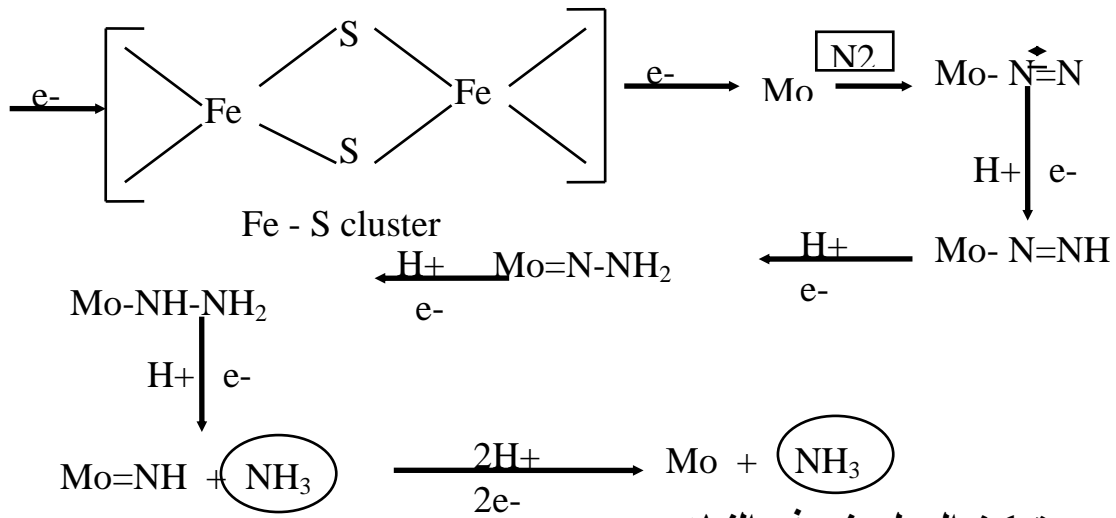
5 - **التداخل بين الأيونات المغذية الأخرى**: يعتبر وجود الفوسفات الذابة في المحلول الأرضي عامل مشجع على زوبان الموليبدات وامتصاصها بواسطة النبات، وفي بعض الأحيان ترتبط سمية الموليبدنيم للنبات بزيادة كميات الفوسفات الذابة في المحلول الأرضي. والعكس مع زيادة الكبريتات الذابة في المحلول الأرضي يحدث إعاقة 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. أيضاً هناك تضاد antagonism بين الموليبدنيم والنحاس، حيث الزيادة من النحاس الميسر للنبات يؤدي إلى خفض الكمية الممتصة من الموليبدنيم بواسطة النبات، وامن معالجة السمية الناشئة عن الموليبدنيم بإضافي النحاس إلى التربة. و أخيراً الزيادة من أكسيد الحديد Fe_2O_3 تسبب نقص في الموليبدنيم الميسر للنبات.

6 - **رطوبة التربة**: يزداد الموليبدنيم الميسر للنبات في التربة بزيادة رطوبة تلك الأرض.

الموليبدنيم في النبات Molybdenum In Plant

يوجد هذا العنصر بكميات قليلة جداً في النبات بالمقارنة بالعناصر المغذية الأخرى، وهذا يدل على أن احتياجات النبات من الموليبدنيم تكون قليلة وهذا لا ينفى ضروريته للنبات. حيث يلعب هذا العنصر دور مهم في تمثيل النيتروجين في النبات ويرجع ذلك لأن نيتروجين النترات موجود في درجة عالية من التأكسد NO_3^- في حين أن الأحماض الأمينية والمركبات العضوية الأخرى تحتوى على النيتروجين في درجة عالية من الاختزال. وبالتالي فاختزال النيتروجين هو إحدى خطوات تخليق الأحماض الأمينية والمركبات النيتروجينية الأخرى في حالة ما إذا كانت النترات هي مصدر النيتروجين. ويتمثل دور الموليبدنيم في اختزال النترات بواسطة إنزيم النيتروجيناز Nitrogenase و إنزيم Nitrate reductase في إنه يعمل كعامل مساعد لهذه الإنزيمات، حيث يحتوى كل جزىء من إنزيم النيتروجيناز على ذرتين موليبدنيم والتي تكون مرافقة للحديد (من 24 - 36 ذرة حديد لكل جزىء إنزيم)،

وبعض هذه الإنزيمات تكون عناقيد من الحديد والكبريت 4Fe - 4S cluster كما في الفيروكسين Ferredoxin، (Marschner, 1995). ويدخل الموليبدنيم في عملية الإختزال للنيتروجين مباشرة، في حين يكون الحديد ناقل للإلكترونات. وعلى ذلك يعتبر هذا العنصر عامل مساعد في تثبيت النيتروجين N₂ إلى NH₃ ومن هنا يكون الموليبدنيم عنصر مهم للنباتات البقولية والبكتريا المثبتة للنيتروجين. وبالتالي يمكن القول بأن احتياج النبات للموليبدنيم يزداد في حالة زيادة التسميد النتراتي لنفس النبات. كذلك وجد أن الموليبدنيم يلعب دور في تكوين حمض الأسكوربيك.



تركيز الموليبدنيم في النبات:

من التخطيط السابق يتضح أن الموليبدنيم يرتبط بالنيتروجين العنصري ثم يتم إختزاله على الأعدة مراحل مع التغذية المستمرة بالإلكترونات، وفي النهاية يتكون جزيء الأمونيا. السيريسيم (٠.٥٣ - ١.٥٣)، السير (٠.٥٥ - ١.٥٥)، السون (٠.٣ - ١.٣) و الطماطم (0.68). وهناك نباتات يكون تركيز الموليبدنيم مرتفع في أوراقها ومنها القطن (113 جزء في المليون)، وبصفة عامة يكون التركيز في معظم النباتات منحصر بين 0.1 و 2.0 جزء في المليون. ويجب التذكر بأن الجزء النباتي المأخوذ كعينة نباتية لتقدير الموليبدنيم يكون ذات أهمية كبرى نتيجة لاختلاف تركيز هذا العنصر في الأجزاء المختلفة لنفس النبات، فمثلاً وجد أن أوراق النبات تحتوى على كمية أكبر من الموليبدنيم 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 الموليبدنيم بالمقارنة بباقي أجزاء نفس الورقة.

الحدود الحرجة للموليبدينيم في النبات:

على الرغم من اختلاف تركيز الموليبدينيم في الأنواع المختلفة من النباتات، لكن يمكن القول بأن النباتات المختلفة تستجيب للمعاملة بهذا العنصر إذا كان تركيزه داخل النبات أقل من 0.1 جزء في المليون (حيث عند هذا التركيز تكون حدود النقص). ويمكن للنباتات أن تتحمل التركيز المرتفع كغير العادة من هذا العنصر، ولكن إذا زاد تركيز هذا العنصر في نباتات العلف عن 15 جزء في المليون يؤدي إلى حدوث مشاكل صحية مع الحيوانات التي تتغذى على تلك الأعلاف ويسبب ظهور مرض يسمى "molybdenosis" أو "teat disease".

أعراض نقص الموليبدينيم على النباتات:

بما أن الموليبدينيم يدخل في صميم عمليات الميثبوليزم للنيتروجين - N metabolism داخل النبات، فعلى ذلك تكون أعراض نقص هذا العنصر تكون مشابهة لأعراض نقص النيتروجين، وهذا التشابه مع أعراض نقص النيتروجين يكون جزئياً حقيقياً في النباتات البقولية، حيث بنقص الموليبدينيم من وسط نمو تلك النباتات يؤثر على كمية النيتروجين المثبتة بواسطة البكتريا الموجودة في العقد الجذرية بجانب تأثيره على عملية إختزال النترات داخل النبات. ونقص الموليبدينيم يؤدي إلى إعاقة النمو الطبيعي للنبات، والأوراق شاحبة اللون وفي النهاية يحدث الذبول لتلك الأوراق. كذلك يسبب نقص هذا العنصر مرض البقع الصفراء "yellow spot" في الموالح و مرض الذيل السوطي "whip tail" في العائلة الصليبية، وتظهر الأعراض بوضوح على نبات القرنبيط في التواء الأوراق ضد عقرب الساعة counter clockwiss ونمو غير طبيعي لعروق الأوراق ويعجز النبات عن تكوين رؤوس القرنبيط.

حساسية النباتات لنقص الموليبدينيم في الأرض:

تختلف النباتات فيما بينها في درجة حساسيتها لنقص هذا العنصر في الأرض، حيث تعتبر انباتات العائلة الصليبية والبقولية من أكثر النباتات احتياجاً للموليبدينيم حيث تتأثر بنقص الموليبدينيم في التربة. بينما نباتات الحبوب تنمو طبيعي تحت هذه الظروف من نقص هذا العنصر. وجدول (37) يبين مدى اختلاف النباتات في درجة الحساسية لنقص الموليبدينيم في الأرض.

جدول (37) : حساسية بعض المحاصيل لنقص الموليبدينيم

المحصول	درجة الحساسية
الشعير-القول-الجذر-الكرفس-الذرة-القطن-البطاطس-الذرة	منخفضة

الرفيعة-الأرز-القمح-التفاح-الخوخ والعنب	
البرسيم الحجازي-الكرنب-الشوفان-فول الصويا-الفجل- بنجر السكر-بنجر المائدة-الطماطم-اللفت والموايح	متوسطة
القرنبيط-البرسيم-الخنس والسبانخ	عالية

ولعلاج نقص الموليبدنيم في التربة هناك العديد من المركبات المستخدمة كمصدر للموليبدنيم بينها جدول (38).

جدول (38): أهم المركبات السمادية المستخدمة كمصدر للموليبدنيم

المصدر	التركيب الكيميائي	% للموليبدنيم
موليبدات الصوديوم	$\text{NaMoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	39
موليبدات الأمونيوم	$(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	54
ثالث أكسيد الموليبدنيم	MoO_3	66

ومن ناحية طريقة ومعدل إضافة الأسمدة التي تحوى الموليبدنيم فهي تختلف حسب نوع التربة وقدرتها على تثبيت هذا العنصر كذلك على نوع المحصول نفسه. والطرق المستخدمة هي الإضافة الأرضية وفيها يضاف الموليبدنيم بمعدل 70 إلى 200 جرام موليبدنيم / هكتار. وهذا المعدل كافى لمحاصيل العلف والبقوليات والعديد من محاصيل الحقل، بينما هناك بعض محاصيل الخضر ومنها القرنبيط يزداد هذا المعدل إلى 400 جرام / هكتار. أما بالنسبة لطريقة الإضافة عن طريق الرش فتعتبر من الطرق الفعالة وخاصةً في حالة الأراضي ذات القدرة العالية على تثبيت هذا العنصر، وفي هذه الطريقة يتم عمل محلول من الملح الحامل للموليبدنيم بتركيز من 0.1 - 0.3% من الملح. ومن الطرق الأكثر فاعلية طريقة معاملة البذور حيث يتم معاملة البذور بكمية العنصر المحددة والتي عادةً تكون بمعدل 50 - 100 جرام / هكتار، وفي هذه الطريقة يتم توزيع هذه الكمية الصغيرة في صورة سائل أو عجينة خفيفة بطريقة متجانسة على كل البذور التي سوف تُستخدم كتناوى. نماذج لأعراض نقص الموليبدنيم على النباتات

الكالورين Chlorine

الكالورين فى الاراضى Chlorine in soils

- يوجد الكالورين فى الاراضى على عدة صور وهى:
- اولاً يجب ذكر انه لا يرتبط وجود الكالورين فى الارض بوجود الغرويات الارضية.
- الغالبية العظمى منه توجد فى صورة أيونية Cl^- ولذلك يكون على درجة عالية من الذوبان وبالتالي يكون عرضة للفقد بالغسيل بدرجة كبيرة.
- أيضاً يمكن أن يتواجد الكالورين داخل بعض المركبات العضوية فى الارض.

محتوى الارض من الكالورين

عادة تتراوح كمية الكالورين Cl^- الذائبة فى الماء من 100 - 1000 كجم / هكتار. ويحدث تراكم للكالوريد فى الاراضى المتأثرة بدورة مياة البحار. أى أنه من المتوقع أن تكون الاراضى المتاخمة للبحار ذات محتوى مرتفع من الكالوريد بالمقارنة بالاراضى البعيدة عن البحار. أيضاً تؤثر نوعية مياة الرى على كمية الكالوريد بالارض، كذلك حالة الصرف لهذه الارض.

الاراضى التى تحتوى على الكالورين بتركيز أقل من 2 جزء / مليون ربما تعاني النباتات النامية بها من نقص الكالورين، ونختلف الاراضى الرملية البعيدة عن البحار فى ذلك فقد يحدث للنباتات النامية مشاكل من نقص الكالورين.

الكالورين فى النبات Chlorine in plants

الوظيفة الحيوية:

يحتاجه النبات بتركيز منخفض يصل إلى 0.05 جزء / مليون، وتكمن الوظيفة الأساسية للكالورين 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 النبات من الكالورين

تختلف النباتات كثيراً في محتواها من الكلورين حيث يتراوح هذا المدى من 0.015 - 5.5 % من المادة الجافة. الكلورين غير متحرك نسبياً داخل النبات حيث وجد أن تركيز هذا العنصر مرتفع في الأوراق المسنة السفلية عنه في الأوراق الحديثة. ومن المعلومات القليلة الميسرة عن هذا العنصر، يتضح أن النباتات تلجأ إلى تجميع الكلورين في أنسجتها مع تقدم عمرها. النباتات التي تحتوى أنسجتها على الكلورين بتركيز أقل من 100 جزء / المليون قد تعاني 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 حدوث التلوث بهذا العنصر من الغلاف المحيط بالنبات. وعموماً إذا حدث وظهت على النبات أعراض نقص للكلورين تتمثل هذه الأعراض في ظهور اصفرار على الأوراق الحديثة و ذبول هذه الأوراق.

السمية الناتجة عن زيادة الكلورين في المحلول الأرضي عادةً ما تظهر على النباتات النامية في الأراضي المتأثرة بالأملاح أو في المناطق الساحلية. وتتمثل الأعراض الناتجة عن السمية في إحتراق حواف الأوراق، ظهور اللون البرونزي bronzing ، نضج مبكر للأوراق واصفرارها ويحدث لها تساقط مفاجئ. وتختلف المحاصيل في درجة حساسيتها وبالتالي درجة تحملها للكلورين في التربة كما يلي:-

- محاصيل عالية في درجة تحملها مثل: بنجر السكر - الشعير - الذرة - السبانخ و الطماطم.

- محاصيل حساسة : اللوبيا - الفاصوليا - الموالح - البطاطس - الخس - بعض البقوليات.

أسمدة الكلورين

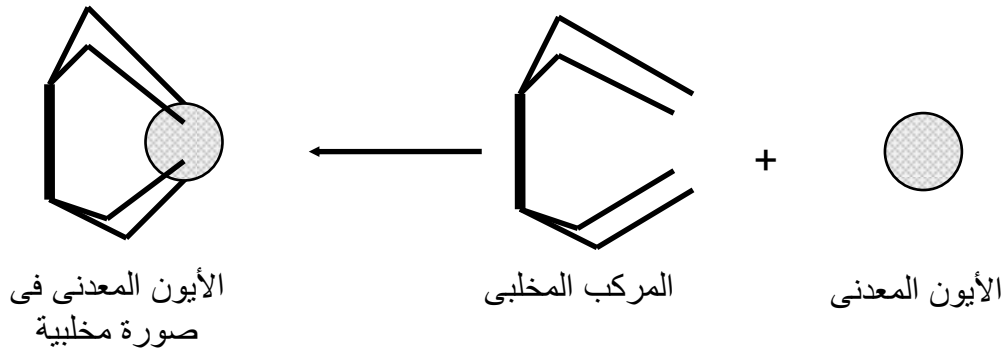
يوجد العديد من الأسمدة التي تحتوى على الكلورين منها الأسمدة المعدنية مثل (كلوريد البوتاسيوم - كلوريد الأمونيوم)، الأسمدة العضوية. ويصل الكلورين إلى الأرض مع مياه الري الغنية في هذا العنصر، في المناطق الساحلية يصل هذا العنصر إلى الأرض مع الرزاز الناتج من مياه البحر. مما لا شك فيه أن نقص الكلورين يؤثر على إنتاجية بعض المحاصيل، حيث وجد أن نباتات نخيل الزيت وجوز الهند تستجيب لإضافة الكلورين في الأراضي الفقيرة في هذا العنصر.

المركبات المخليبية (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 مخليبية وخاصة في الأراضي القاعدية والجيرية. وعلى ذلك أصبح وجوباً علينا التعرف على هذه المركبات ولو بشيء من الإيجاز.

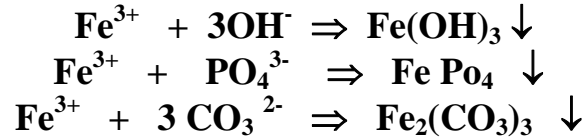
إن اصطلاح كلمة Chelates أو "مخليات" يُنسب إلى كلمة يونانية تعنى المخليات أو "الكيلاتى". وعلى هذا فالمركبات المخليبية هي مركبات لها القدرة على خلب أو مسك بعض المعادن وتحفظها بداخلها، ووسيلة الخلب هنا هي الشحنات الكهربائية. والمركبات المخليبية المستخدمة في المجال الزراعى وخاصة في تغذية النبات هي مركبات عضوية تتحد مع بعض الأيونات المعدنية مثل الحديد، النحاس، المنجنيز أو الزنك وتكون مركب كيلاتى للمعدن metal chelates وهو مركب ذات بناء حلقى مع أحد هذه الكاتيونات، ويؤدى ذلك إلى فقد هذا الأيون (العنصر) المرتبط لخواصه الأيونية، وعلى ذلك يندم نشاطه وبالتالي لا يتفاعل هذا العنصر مع أي أيونات أخرى موجودة في التربة والشكل التالى يوضح هذه الفكرة.

ما هي فكرة المركب المخليبي ؟



هذه هي فكرة استخدام أسمدة العناصر الصغرى في صورة مركبات كيلاتية. حيث يمكن إضافة العنصر المغذى على هذه الصورة إلى النبات النامى في أرض معينة وذات مشاكل خاصة بتثبيت هذا العنصر دون الخوف من دخول هذا العنصر في تفاعلات كيميائية أو حدوث تبادل أيونى له ويرجع ذلك لأن هذه المركبات تحافظ

على العنصر في صورة قابلة للامتصاص بواسطة النبات. ولتوضيح ذلك نسوق المثال التالي: عند إضافة الحديد إلى النبات في صورة أملاح معدنية وليكن كبريات الحديد فنجد أن هناك احتمال حدوث تفاعل أو أكثر من التفاعلات الآتية :



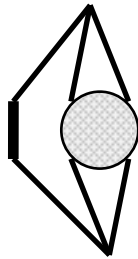
ويرجع ذلك لاحتمال وجود أيونات الأيدروكسيل، الفوسفات أو الكربونات في المحلول الأرضي. وعلى هذا يحدث ترسيب للحديد في صورة أيدروكسيد حديد، فوسفات حديد أو كربونات حديد ويصبح في صورة غير ميسرة للنبات. بينما في حالة إضافة هذا العنصر في صورة مخلبية فيمكن حمايته من الترسيب وهناك العديد من هذه المركبات منها:

EDTA: Ethylene diamine tetra acetic acid.

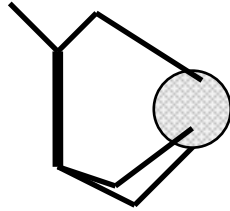
DTPA: Diethylene triamine penta acetic acid.

HEDTA: Hydroxyle Ethylene diamine tri acetic acid.

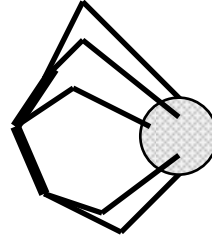
EDDHA: Ethylene diamine di-o-hydroxyphenyl acetic acid.



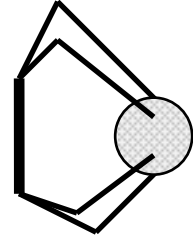
EDDHA



HEDTA

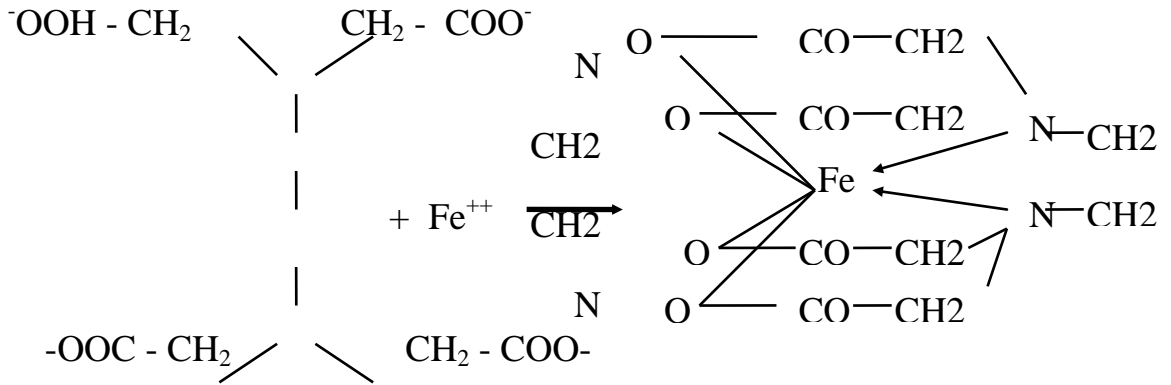


DTPA



EDTA

ويمكن توضيح التركيب البنائي لمركب Fe - EDTA كما يلي :



EDTA + Fe \longrightarrow Fe - EDTA
 ويسمى هذا المركبات كمصدر الحديد النباتية والحيوانية في الأرض واسعة الانتشار
 وناجحة طالما يتم اختيار المركب المناسب تبعاً لصفات الأرض وخاصة رقم الـ pH
 ويمكن توضيح ذلك كما يلي:

6 : Fe - EDTA < pH

7 : Fe - DTPA } } } (+ Cu , Mn , Zn - < pH
 EDTA)

7 : Fe - EDDHA > pH

وترتب مركبات الحديد المخلبية من حيث درجة ثباتها في الأرض كما يلي:

Fe - EDTA > Fe - HEDTA > Fe - DTPA > Fe - EDDHA

ومن الجدير بالذكر أن من نواتج تحلل المخلفات النباتية والحيوانية في الأرض
 مركبات عضوية مثل حمض الهيوميك ، حامض الفلبيك وأحماض عضوية أخرى
 بسيطة. مثل هذه المركبات تعتبر مواد مخلبية طبيعية لها القدرة على تكوين مركبات
 حلقة معقدة مع بعض العناصر ، وبالتالي تحفظ هذه العناصر لفترة من الترسيب.
 كما أن هذه المركبات الطبيعية قد تعمل على إذابة بعض العناصر الصغرى مما يزيد
 من تيسر تلك العناصر وتجعلها في الصورة الصالحة للنبات.

المركبات المخلبية والتسميد الورقي

لإيضاح مدى أهمية استخدام المركبات المخلبية في علاج حالات النقص
 بالعناصر الصغرى بالمقارنة بالمركبات المعدنية، يمكن القول بأنه عند استخدام أي

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 أيون وكاتيون. 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 ذات الشحنة الموجبة يقابله شحنة سالبة على سطح البشرة للأوراق وبالتالي يحدث تجاذب بين الشحنتين وفى النهاية يكون مرور العنصر إلى الداخل بطيء أو يلاقى صعوبة فى المرور إلى داخل الورقة. بينما فى حالة استخدام المركبات المخيلية كمصدر لنفس العنصر نجد أن المركب المخيلى وكما سبق ذكره يعادل هذه الشحنة للعنصر وفى النهاية تكون صافى الشحنة للمركب والعنصر معا متعادله. أى ينعدم نشاط شحنة هذا العنصر وبالتالي يكون من السهل إمتصاصه ومروره خلال بشرة الورقة. وعلى ذلك نجد أن فاعلية إضافة العناصر المعدنية فى صورة مركبات مخيلية يكون أكبر بالمقارنة بإضافة نفس العنصر فى صورة معدنية. وإن كان ثمن المركبات المخيلية أعلى منه بالنسبة للمركبات المعدنية وهذا طبيعى نتيجة عمليات التصنيع، ولكن نظرا لأن فاعلية المركبات المخيلية أكبر يمكن استخدام كمية أسمدة أقل وبالتالي يمكن التغلب على فرق الأسعار.

الفصل العاشر

أمثلة لتغذية النباتات فى المزارع اللاأرضية

أولاً: مزارع المحاليل المغذية

Nutrient Solution Cultures

ثانياً: مزارع البيئات الصلبة

Solid Aggregates Cultures

ثالثاً: الزراعة فى بيئات الألياف

Fibers Cultures

الفصل العاشر

أمثلة لتغذية النباتات في المزارع اللاأرضية

أولاً: مزارع المحاليل المغذية

Nutrient Solution Cultures (Real Hydroponics)

مزارع المحاليل المغذية Nutrient Solution Cultures هي أحد أقسام الزراعة اللاأرضية أو الزراعة بدون تربة Soilless Culture ، وهذه المزارع تشمل كل أنواع المزارع التي تنمو فيها النباتات في المحلول المغذي كبيئة أساسية للنمو، ولذلك فهي وحدها - دون سواها - هي التي يطلق عليها مزارع الهيدروبنكس Hydroponics .

وكما أشرنا سابقاً فإن مزارع المحاليل بصورتها الأولية قد ساهمت بشكل ملموس في تطور علم تغذية النبات حيث مكنت من معرفة أهمية العناصر الغذائية الواحد منها تلو الآخر، حتى تم حصر عناصر التغذية الأساسية والتي بها تتم تغذية النبات في 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 في المحاليل المغذية في الزراعة وإنتاج المحاصيل على نطاق تجارى. فمنذ التجارب التي قام بها Gericke سنة 1929 و Imai سنة 1986 على مزارع المحاليل الساكنة Static Nutrient Solution ومرورا" ب Cooper سنة 1979 والزراعة في أغشية المحاليل Nutrient Film Technique حتى Dreschel وآخرون سنة 1989 والزراعة في الأنابيب المثقبة

Porous Tube لحساب وكالة الفضاء الأمريكية NASA ، حيث تجارب الزراعة في الفضاء Space Agriculture. والنتائج المتحصل عليها في كل الأحوال مشجعة ومذهلة مما جعل أنظمة الزراعة في المحاليل المغذية تدخل مجال الميكنة وتبناها الشركات الزراعية وتوليها اهتماماً خاصاً للوصول بها إلى درجة من الانتشار والتطبيق حول العالم.

وتتمو النباتات بشكل جيد في مزارع المحاليل المغذية طالما ظل المحلول المغذى متزنًا، وتهويته جيدة والنباتات مثبتة بدعامات تتناسب مع حجمها وكمية المحصول الموجود عليها . ومن هذه الأساسيات تطورت طرق التغذية بالمحاليل في أنظمة جديدة ومبتكرة تستخدم تجارياً بالإضافة إلى تحقيق رغبات الهواة.

ومن أمثلة مزارع المحاليل المغذية:

1- مزارع المحاليل المغذية الساكنة (SNSC) Static Nutrient Solution Cultures

2- مزارع المحاليل المغذية المتدفقة
Cultures (FNSC) Flow Nutrient Solution

3- مزارع الأغشية المغذية
Nutrient Film Technique (NFT)

4- المزارع الهوائية Aeroponic Cultures

1- مزارع المحاليل الغذائية الساكنة

Static Nutrient Solution Cultures (SNSC)

مزارع المحاليل المغذية الساكنة يمكن أن تستخدم في أي مكان وبأى أدوات لحفظ المحاليل. وتتطلب مزارع المحاليل الساكنة (تميزاً لها عن مزارع المحلول الدائر) ما يلي:

الأوعية:

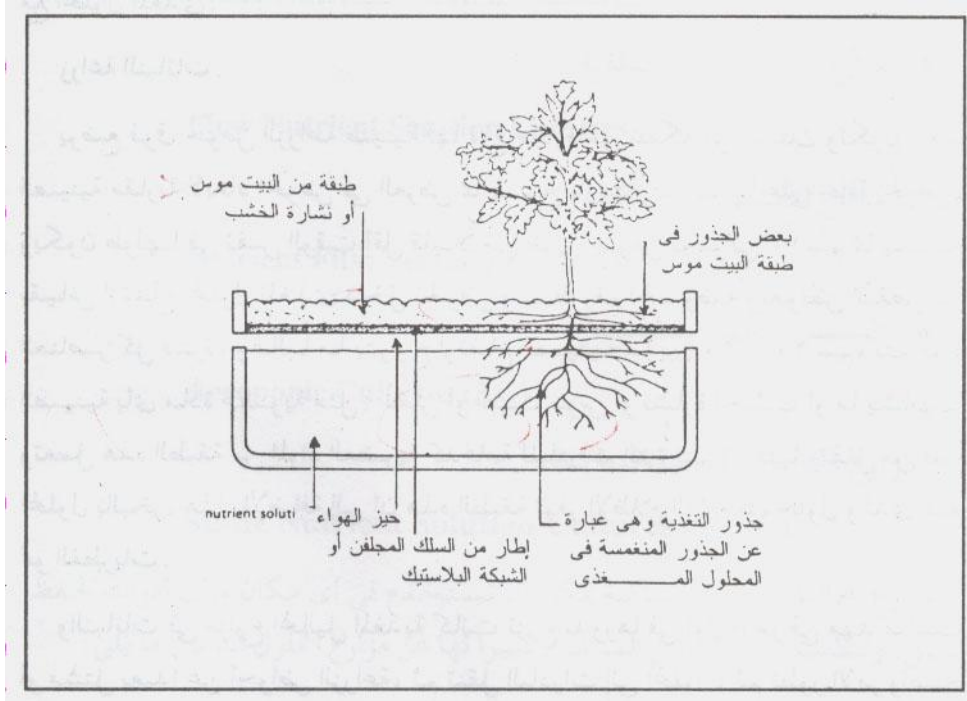
عادة تستخدم أحواض مستطيلة ذات ساعات تتراوح ما بين 100-200 لتر من المحلول، وغالبا يتراوح عمق الحوض ما بين 20-30 سم، وعرضه من 60-80 سم، و طوله من 150-200 سم. ويراعى عند إضافة المحلول إلى الحوض أن لا يزيد ارتفاع المحلول عن نصف ارتفاع الحوض. ويوجد العديد من المواد التي يمكن أن تستخدم فى صناعة الأحواض، حيث 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 والذي 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) لمنع رشح المحلول إلى الخارج إذا كان الحوض مساميا" ، وأيضاً" 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 ارتفاع 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 التي يتم زراعتها وتقلل من فقد المحلول بالبخر، هذا بالإضافة إلى أن هذه الطبقة توفر الإظلام اللازم للمحلول والذي يمنع نمو الفطريات.

والنباتات فى مزارع المحاليل المغذيه كانت تزرع بذورها فى أول الأمر فى مهد مناسب أو مشتل بعيداً عن أحواض الزراعة، ثم تنقل البادرات إلى المحلول، ثم تطور الأمر وأصبح يتم إنبات البذور فى طاوولات مثقبة غير عميقة أبعادها تتناسب مع أبعاد أحواض الزراعة، وفى هذه الطاوولات 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 الموضوعه فوق أحواض المحاليل المغذيه، 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 خلال 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 تماماً" لما وصفه Gericke سنة 1929 (شكل 10-1).



شكل (10-1): نموذج 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 في أحواض الزراعة.

حجم المحلول وطرق توفير الأكسجين به:

عادة ما يكون حجم المحلول المغذي في حدود من 15-20 لتراً للنبات الواحد في حالة الطماطم مثلاً" إلا أن ذلك الحجم قد يقل أو يزيد قليلاً في محاصيل أخرى. وكلما كان حجم المحلول كافياً" كلما قلل ذلك من حدوث أى تغييرات سريعة في تركيزات العناصر بالمحلول وبالتالي تجنب إجراء عملية ضبط المحلول، على فترات متقاربة.

ونظراً لأن هذا المحلول يظل ساكناً طول الوقت فإن محتواه من الأكسجين الذائب يقل مع تقدم نمو النبات الأمر الذى ينعكس على كفاءة الجذور فى عملية امتصاص المحلول المغذى، وهذا بدوره يؤدي 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 الأكسجين 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 أو خرطوم 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 الأكسجين به ومنه يصل إلى أحواض الزراعة.

الطريقة الثانية: ترك مسافة كافية بين سطح المحلول والسطح السفلى لصوانى الزراعة بما لا يقل عن 5-7 سم، حيث تستطيع جذور النباتات النامية فى هذا الحيز من امتصاص الأكسجين.

الطريقة الثالثة: عند تثبيت النباتات فى فتحات أغطية أحواض الزراعة توضع شبكة من البلاستيك مساحة تقريبا حوالى 0.25 سم² بين الغطاء وسطح المحلول بحيث تكون المسافة بينه وبين سطح المحلول من 1-5 سم، وبينه وبين الغطاء حوالى 10 سم مما يتيح الفرصة الأكبر حجم من الجذور بأن تنتشر فى هذا الحيز الهوائى أعلى شبكة البلاستيك للتبادل الغازى مع الأكسجين الموجود به. وتعد هذه أفضل الطرق لما تحققة

من كفاءة عالية وبطريقة طبيعية لا تحتاج إلى مضخات هوائية أو مصدر تغذية كهربائية.

2- مزارع المحاليل المغذية المتدفقة Flow Nutrient Solution Culture (FNCS)

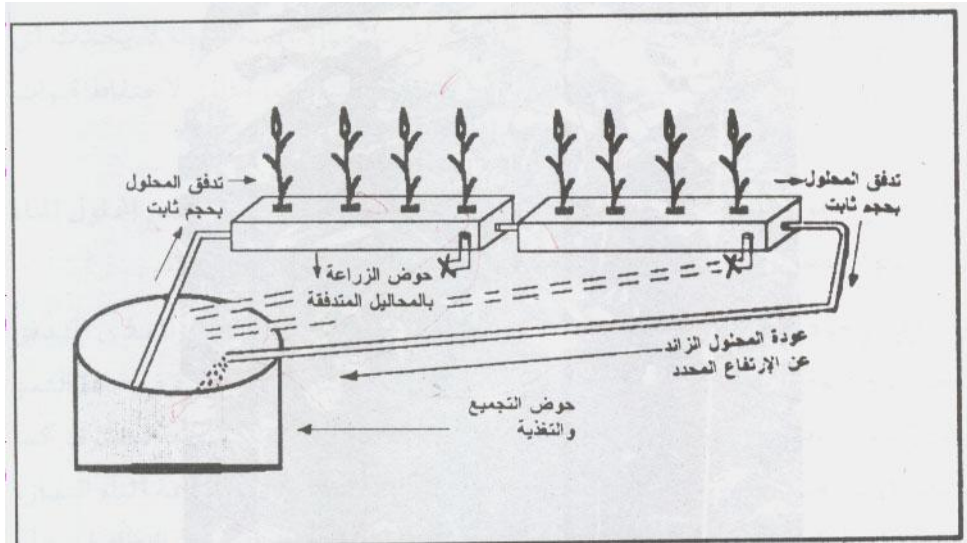
وفى هذا النظام يتم الاستعانة بمضخة مائية تعمل على تدفق ودوران المحلول المغذى فى القنوات والأوعية الحاوية له بارتفاع لا يغطى ولا يغمر كل المجموع الجذرى للنبات ، وهذا الارتفاع تستطيع القنوات أن تحتفظ به عند توقف ضخ المحلول.

تنقل الشتلات 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 طاوولات من البلاستيك أو الصاج المجلفن، وتروى بالماء أو المحلول المغذى المخفف بواسطة الرش على أن يظل الماء أو المحلول بهذه الطاوولات 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) ويعرض من 25-30 بوصة (60-75 سم) وارتفاع 10-12 بوصة (25-30 سم) على ألا يزيد ارتفاع المحلول

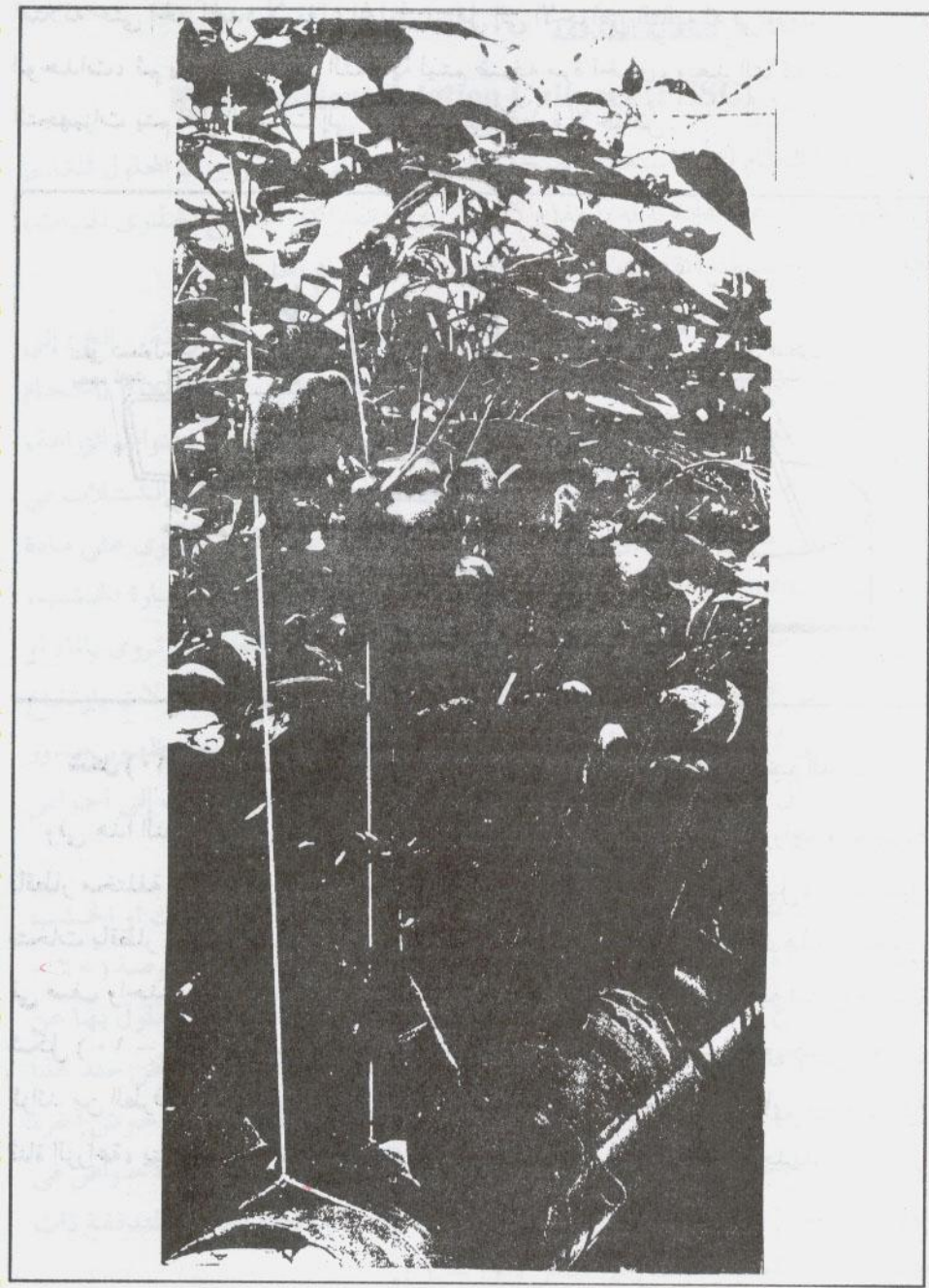
بها عن 6-8 بوصة (15-20 سم) عن طريق عمل فتحة في نهاية حائط الحوض عند هذا الارتفاع مثبت بها أنبوبة من البلاستيك تنقل المحلول الزائد Over flow إلى حوض آخر، أو إلى تنك التجميع والتغذية ليظل الفراغ بين سطح المحلول وغطاء هذه الأحواض في حدود 4 بوصة (10 سم) مما يمكن أن نطلق على هذا النظام "نظام المحاليل المتدفقة ذات الحجم الثابت" كما هو موضح في شكل (10-2).

تغطي 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 في الأنظمة متعددة الوحدات، ثم يعود إلى تنك التغذية ليتم ضخه مرة أخرى، وبعد التأكد من سلامة التجهيزات يتم نقل البادرات إلى مواضعها في أغطية الأحواض.



شكل (10-2): أحواض الزراعة بالمحاليل المغذية 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 للمحاصيل، 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 10-3). يتم ضخ المحلول المغذى من أحد أطراف القنوات ويخرج المحلول الزائد من الطرف الآخر عند الارتفاع المحدد للمحلول والذي غالباً لا يتجاوز ثلث ارتفاع قناة الزراعة. يتم تجميع المحلول وإعادته إلى تنك التغذية ليعاد ضخه من جديد .



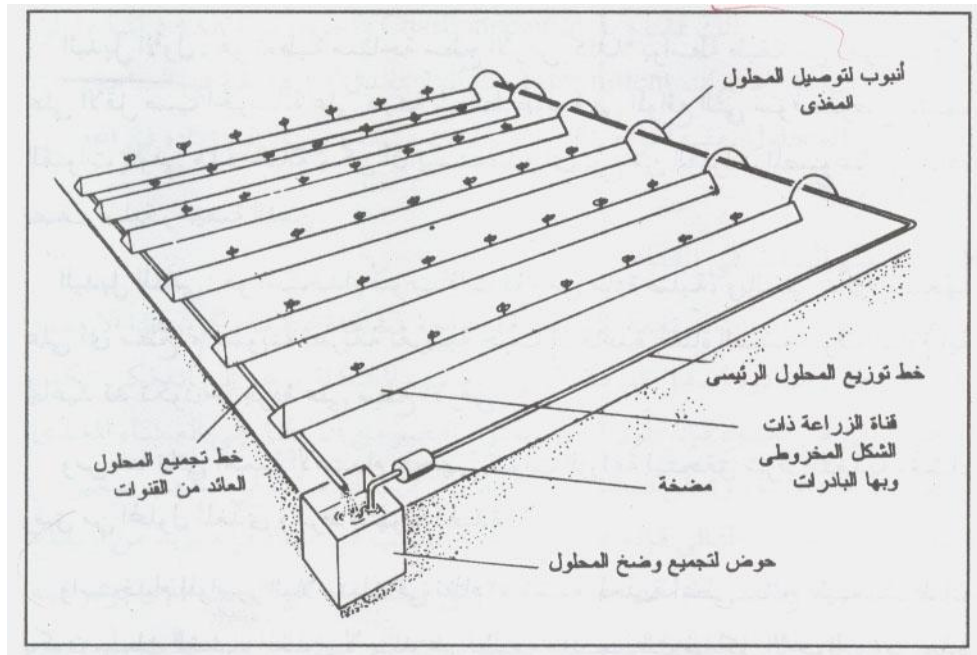
شكل (10-3): أنابيب الزراعة بنظام المحاليل المتدفقة ذات الحجم الثابت

وتتميز طريقة المحاليل المغذية المتدفقة FNSC بما يلي:

- 1- لا يحدث نقص في احتياجات النباتات من الأكسجين حيث يعمل تدفق المحلول ودورانه على تجديد النقص منه باستمرار.
 - 2- في 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 (NFT) Nutrient Film Technique

إحدى طرق الزراعة بالمحاليل المغذية الحديثة والمبتكرة عن طريق Allen Cooper في إنجلترا خلال السبعينيات بهدف التغلب على مشكلتي الحاجة إلى دعائم للنباتات والتهوية والتي تنشأ عند استخدام المحاليل المغذية الساكنة. وتتمو النباتات في قنوات Channels or Gullies تأخذ شكلاً منحدراً يسمح بتدفق المحلول المغذي على هيئة غشاء رقيق Film بها، وهذا الغشاء الرقيق من المحلول يمد النباتات بكل ما تحتاج إليه من العناصر المغذية (شكل 10-4).



شكل (10-4): 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 جيدة 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 للتغذية Feeding roots والجزء العلوى جذوراً للتهوية Aeration roots.

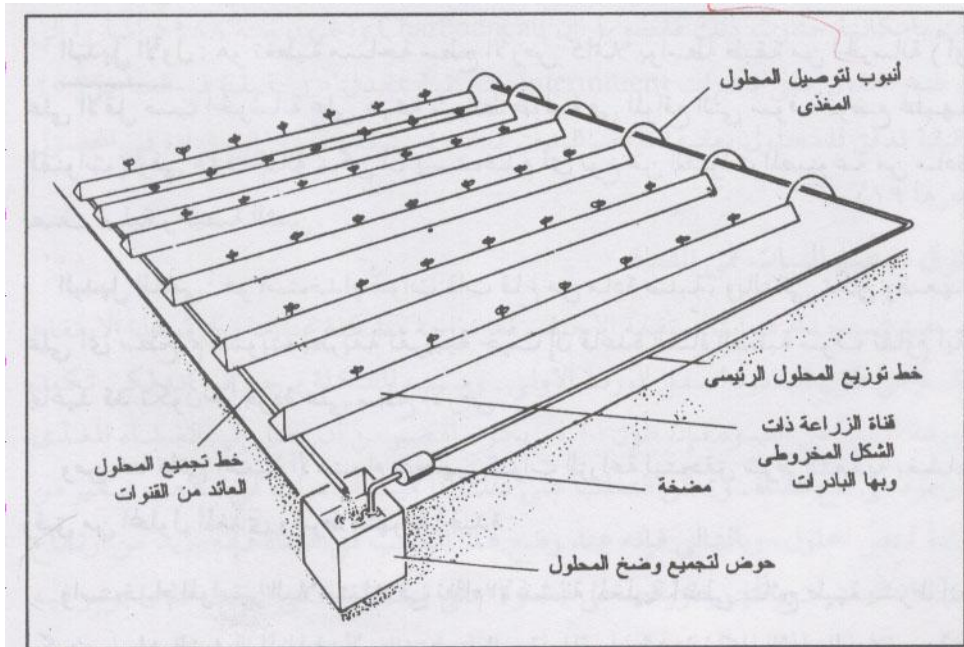
الشروط الواجب توافرها فى نظام الأغشية المغذية:

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 إعاقة 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 في صفوف وعند الحافة المرتفعة للسطح المائل توضع القناة الرئيسية التي يمر فيها المحلول المغذى، ويخرج من هذه القناة مجموعة من أنابيب التوزيع، تصب كل منها في إحدى القنوات النامية فيها النباتات، حيث يتحرك المحلول المغذى بالانحدار حتى يصل إلى قناة تجميع عند الحافة المنخفضة للسطح المائل. وقناة التجميع هذه تصب في النهاية في خزان لجمع المحلول المغذى والذي يتم ضخه مرة أخرى ليعاد توزيعه على قنوات نمو النباتات وهكذا كما هو موضح في شكل (5-10).



شكل (5-10): التصميم العام لمزرعة الأغشية المغذية NFT

وعموماً فإن السطح المائل هذا إما أن يكون قطعة من الأرض تمت تسويتها وإعطاؤها الانحدار المناسب، وفي هذه الحالة فإن قناة التجميع تكون عبارة عن خندق موجود عند نهاية الجزء المنخفض من الأرض والذي يصب في 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.

قنوات الزراعة:

كما سبق الإشارة فإن أهم النقاط الواجب مراعاتها عند تنفيذ نظام الأغشية المغذية هو عمل سطح مائل متمائل الانحدار بدون أى حفر أو انخفاضات، لأن ذلك يحدد بدرجة كبيرة نوع القنوات التى يمكن استخدامها. فالأرض العادية حتى ولو كانت مدكوكة جيداً فإنها لا توفر السطح المناسب لحمل القنوات، حيث إن تعرضها للمياه يؤدي بعد فترة إلى تعرج سطح الأرض. وللتغلب على هذه المشكلة 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 وبالتالي يمكن وضعها على أى سطح تم تسويته بطريقة تقريبية حيث إن قاعدة القناة الصلبة سوف تقاوم أية تجاعيد قد تكون موجودة على سطح الأرض.

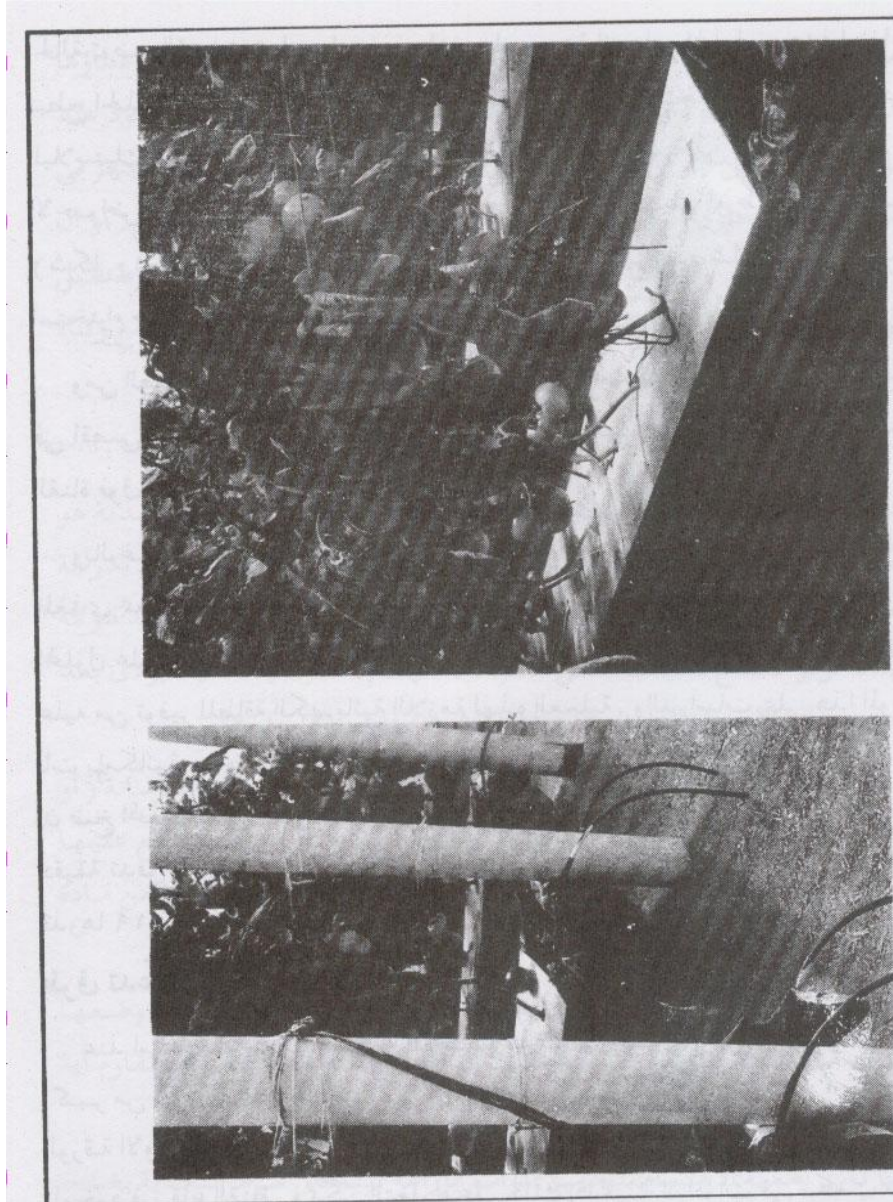
ومن هنا تأتى أهمية الإهتمام بتجهيز قنوات الزراعة ليتحقق شرط التغذية بغشاء رقيق من المحلول المغذى وشرط التهويه الجيدة.

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 10-6). 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 بإمكانية 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 (10-6): قناة من الخشب مبطنة بشرائح البلاستيك 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 لى 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 نمت البادرات فى مكعب صغير من مادة تمتص المحلول، وبالتالي 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. وينمو النبات فإن الجذور تصل إلى المحلول فى قاع القناة وتتعدم 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 البوليثلين (وفى المراحل الأولى للنمو) خفض سلك التدعيم السفلى الذى يثبت عليه جانبى البوليثلين محدداً قمة الشكل الهرمى للقناة مما يقلل من ارتفاع قمة القناة فيساعد ذلك على أن تظهر قمة النباتات أعلى قمة القناة وجذورها ملاسة للمحلول على قاعدتها.

حدود السمية والنقص لتركيزات العناصر المغذية فى محاليل الأغشية المغذية:

تتحمل النباتات النامية فى مزارع الأغشية المغذية 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، والتي قد تؤثر على صلاحية العناصر للتغذية. ولذلك فحدود السمية والنقص في هذا النوع من المزارع يختلف عنه في حالة المحاليل الساكنة أو الأرض العادية.

ولقد بينت التجارب أن اختلاف تركيز النيتروجين في المحلول المغذى الدائر ما بين 10-320 جزء في 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 في المليون أو البوتاسيوم فيما بين تركيزات 20-375 جزء في المليون. وبالرغم من ذلك لا ينصح باستخدام تركيزات منخفضة من المغذيات المختلفة، لأن استخدام التركيز المرتفع نسبياً من العنصر يوفر احتياطي منه في المحلول فلا ينخفض تركيزه بسرعة نتيجة لإمتصاصه بواسطة النبات، وبالتالي 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 في 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 في هذه القنوات، ولو أن النبات يمكنه تحمل توقف دوران المحلول لفترة زمنية بسيطة نظراً لوجود بعض من المحلول محتجزاً في حصيرة الجذور. والفترة الزمنية التي يتحمل فيها 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 يؤدي إلى تغير pH المحلول وتركيز العناصر به، ولذلك يجب ضبط pH المحلول باستمرار في حدود 6-6.5 درجة باستخدام حامض النيتريك 10% أو حامض الفوسفوريك 10% (في حالة ما إذا أريد تعويض بعض النقص في 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 الأصلية في حدود 3 ملليموز/ سم. وفي حالة تحضير المحاليل المغذية من الأسمدة التجارية يتم حساب الكمية المطلوب إضافتها إلى المحلول كما سبق شرحه في 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 جانبي للماء في 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 في خزان المحلول المغذى. ونظراً لأن الماء المضاف يحتوى على أملاح ذائبة فإن استمرار إضافة الماء إلى المحلول المغذى لتعويض الماء المفقود بالنتح يؤدي إلى تراكم هذه الأملاح في المحلول وذلك في حالة ما إذا كان معدل

إضافتها إلى المحلول أكثر من معدل امتصاصها بواسطة النبات، ومثال ذلك: أيونات الصوديوم والكلوريد وبالتالي فإنه بمضى الوقت قد يزداد تركيز أحد هذه الأيونات إلى الدرجة التي تسبب سمية بهذا الأيون للنبات النامي. ولهذا السبب ينصح بتغيير المحلول المغذى الدائر على فترات زمنية. والفترة الزمنية التي يتم فيها تغيير المحلول المغذى الدائر يمكن تقديرها عن طريق:

أ- تحليل المحلول المغذى وتقدير تركيزات العناصر في المحلول معملياً على فترات أسبوعية وخاصة عناصر N, Cu, Mo, Zn, Na, Cl and SO_4 بواسطة أحد أجهزة Flame Photometer والـ Spectrophotometer ، ومن هذه التقديرات يمكن معرفة أى من هذه الأيونات سوف يزداد تركيزه بمضى الوقت.

ب- ملاحظة نمو النباتات وتدوين الإجابة على بعض الأسئلة التي تعطى مؤشراً على حدوث أى تغيير 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 والذي أصبح تركيزه عالياً. وعند هذه النقطة يجب تغيير المحلول الدائر كلية وملء النظام بمحلول حديث التحضير. فإذا افترضنا 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 تأثير النمو مرة أخرى ، فإذا حدث ذلك فعلاً بعد هذه المدة 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 النتج وبالتالي يؤثر على الفترة الزمنية اللازمة قبل استبدال المحلول.

خطوات الزراعة بطريقة الأغشية 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 يلي:

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- تنتقل 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 بكليسات 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 ويتأثير الجاذبية الأرضية إلى تنك التغذية مرة أخرى.

6- يكون معدل ضخ المحلول 2 لتر فى الدقيقة.

7- تثبيت النباتات التي تنمو رأسياً بربطها برفق بخيوط سميكة تمتد من أسفل أول ورقة على النبات إلى أعلى بسلك التثبيت الموازي 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 في مستوى العناصر في 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 التي يمكن زراعتها به، وبصفة خاصة محاصيل الخضر ونباتات الزينة. هذا بالإضافة إلى أن هناك من النتائج ما يؤكد إمكانية الزراعة بنظام الأغشية المغذية تحت الظروف الجوية المختلفة في مصر سواء كان ذلك داخل ظروف الصوبة أو خارجها في الحقل المفتوح. وربما يكون هناك ضرورة في الجو شديد الحرارة إلى عمل بعض التظليل للفنوات عندما تكون النباتات المنزرعة حساسة أو مقاومتها قليلة لارتفاع درجة حرارة المحلول المغذى إلى درجات عالية.

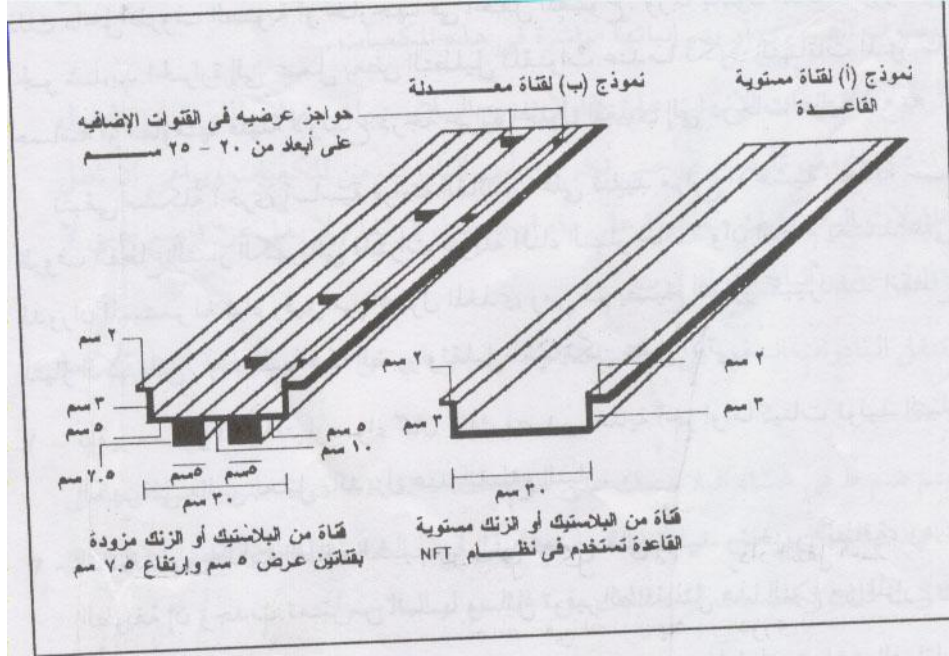
تتبقى مشكلة أخرى أساسية تواجه القائمين على تنفيذ مزارع الأغشية المغذية تحت ظروف انقطاع التيار الكهربائى لفترات طويلة أثناء النهار خاصة وأن النظام يعتمد على الدوران المستمر لغشاء رقيق من المحلول المغذى ومن ثم يصبح الضرر كبيراً عند انقطاع التيار الكهربائى. ولتجنب هذا الضرر وتقليل أثره يمكن عمل الآتى:

1- توفير مصدر آخر للتيار سواء كان ذلك مصدر تغذية آخر أو ماكينات توليد التيار الكهربائى والتي تعمل بالديزل عند انقطاع التيار.

2- استخدام وحدات الطاقة الشمسية التي تعمل على توليد وتخزين الطاقة، وهذه الطريقة إن وجدت تعتبر من أنسب وسائل توفير الطاقة لمثل هذا النوع من المزارع.

3- تحويل شكل القنوات ليحتفظ في بعض أجزائه بقدر من المحلول يساعد لبعض الوقت النباتات على النمو بدون مشاكل حتى يتم تشغيل الماكينات البديلة أو عودة التيار.

ولقد Sherif سنة 1994 بتصميم نموذج لهذه القنوات، والتي تتكون كل قناة منها من قناتين إضافيتين بطول القناة الأصلية ويعرض 5 سم وعمق 7.5 سم عن السطح المستوى للقناة (شكل 10-7). وبداخل هاتين القناتين يتم عمل حواجز عرضية كل 20-25 سم والتي بها نضمن وجود المحلول على طول امتداد القناة عند وضعها بشكل مائل أثناء الزراعة وإمرار المحلول. وعند دوران المحلول فإن هذه القنوات سوف تمتلئ بالمحلول المغذى الذي 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 تحويلات نظام الأغشية المغذية.



شكل (10-7): تحويل قناة الأغشية المغذية لتقليل خطر انقطاع التيار الكهربى

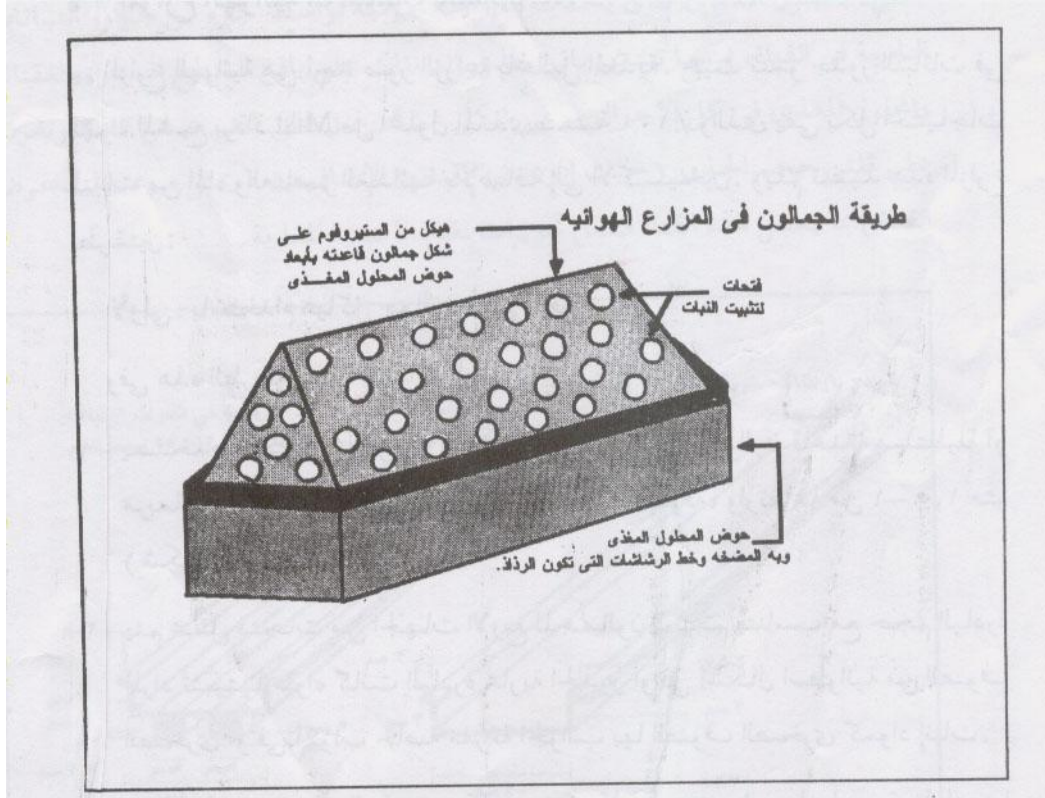
4- المزارع الهوائية Aeroponic Cultures

المزارع الهوائية هي أحد صور الزراعة بالمحاليل المغذية. حيث تنمو جذور النباتات في الهواء المشبع برذاذ Mist من المحلول المغذى بنسبة 100% والذي يفي بكل احتياجات النبات من الماء والعناصر الغذائية بالإضافة إلى الأكسجين. ويتم تنفيذ هذه المزارع بطريقتين:

الأولى: باستخدام هياكل جمالونية على أحواض:

وفي هذه الطريقة تتبع الخطوات التالية:

- 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 10-8).
- 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.



شكل (10-8): المزارع الهوائية بطريقة الجمالون (لأعلى) والأسطوانات الرأسية (لأسفل)

الثانية: باستخدام الأنابيب والإسطوانات البلاستيك:

يستخدم في ذلك أى أنابيب أو مواسير أو إسطوانات بلاستيك بأى أقطار، حيث إن اتساع القطر يزيد من عدد النباتات التي تثبت على سطحها الخارجى ويجب ألا يزيد طولها عن 1.5 متر لسهولة عمليات الزراعة والخدمة، بالإضافة إلى تثبيتها . وتتخلص خطوات الإعداد والزراعة بهذه الطريقة 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 (8-10)

2- يتم غلق فتحتى الاسطوانة السفلية والعلوية بإحكام مع وجود فتحة فى الغطاء العلوى لأنبوية توزيع المحلول وأخرى فى الغطاء السفلى لجمع المحلول الزائد (فى حالة الأسطوانات المعلقة).

3- يتم تثبيت الأسطوانات بطريقتين:

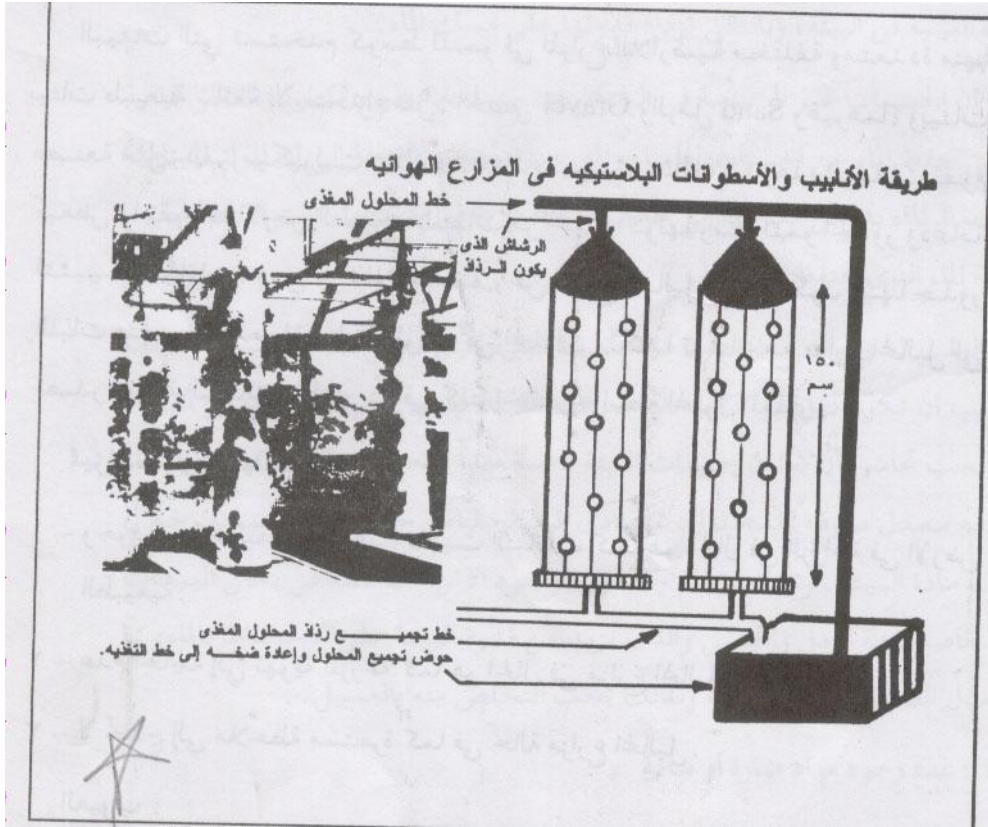
- إما أن تعلق بواسطة خطاف فى سقف الصوبة على مسافات تتيح حرية الحركة بينها.

- أو تثبت رأسياً على سطح التربة بنفس المسافات. وفى هذه الحالة تكون فتحة خروج المحلول أعلى سطح الأرض مباشرة والتي تتصل بماسورة تجميع المحلول الزائد والتي بدورها تصب فى تنك التغذية.

4- يتم ضخ المحلول من تنك التغذية إلى أنابيب التوزيع والتي 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 التغذية.

وبالرغم من عدم شيوع هذه الطريقة فى الإستهاد 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 المتاحة للزراعة، فالتوسع الرأسى فيها هو الأساس وعدد النباتات التى يتم الحصول عليها من وحدة المساحة يفوق أضعاف أضعاف ما يتم الحصول عليه من أى طريقة أخرى مما يؤدى إلى زيادة المحصول بشكل واضح.



ثالثاً: الزراعة فى بيئات الألياف Fibers Agriculture

تعتبر الألياف المصنعة من المعادن والصخور أو المخلفة كيميائياً" فى صورة خيوط Fibers وعلى هيئة وشكل الصوف Wool من البيئات الجديدة فى عالم الزراعة للأرضية، حيث تفيد فى زراعه كثير من النباتات بها حتى الحصول على المحصول بنجاح كبير. فبيئات النمو الجديدة هذه تعتبر نموذجاً للبيئات الصناعية المناسبة للمزارع للأرضية حيث تقوم بالإضافة إلى تثبيت النباتات النامية فيها إلى توفير مستوى مناسب من الأكسجين 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 الخاملة 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 "فليس 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 درجة مئوية مناسبة لهذا الغرض. وهذه المادة المنصهرة تتحول عن طريق الطرد المركزى السريع والتبريد إلى خيوط رفيعة قطرها 5 ميكرون يتم ضغطها إلى رقائق بالسلك 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 الصخري لا تشكل المادة الصلبة به سوى 3% فقط، وبالتالي فإن المسافات
البيئية التي 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 وانتشار الجذور.

ويجهز الصوف الصخري فى عدة تجهيزات أو أشكال يوضحها شكل (10-20) تختلف
على حسب الغرض المطلوب من استخدامها. وسوف نستعرض أهم هذه الأشكال واستخداماتها
فيما يلي:

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.

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 $7.5 \times 7.5 \times 7.5$ سم، و $10 \times 10 \times$
7.5 سم (والارتفاع فى كلاهما 7.5 سم). وعندما تصل النباتات بها إلى الحجم المناسب يتم نقلها
إلى وسائد النمو.

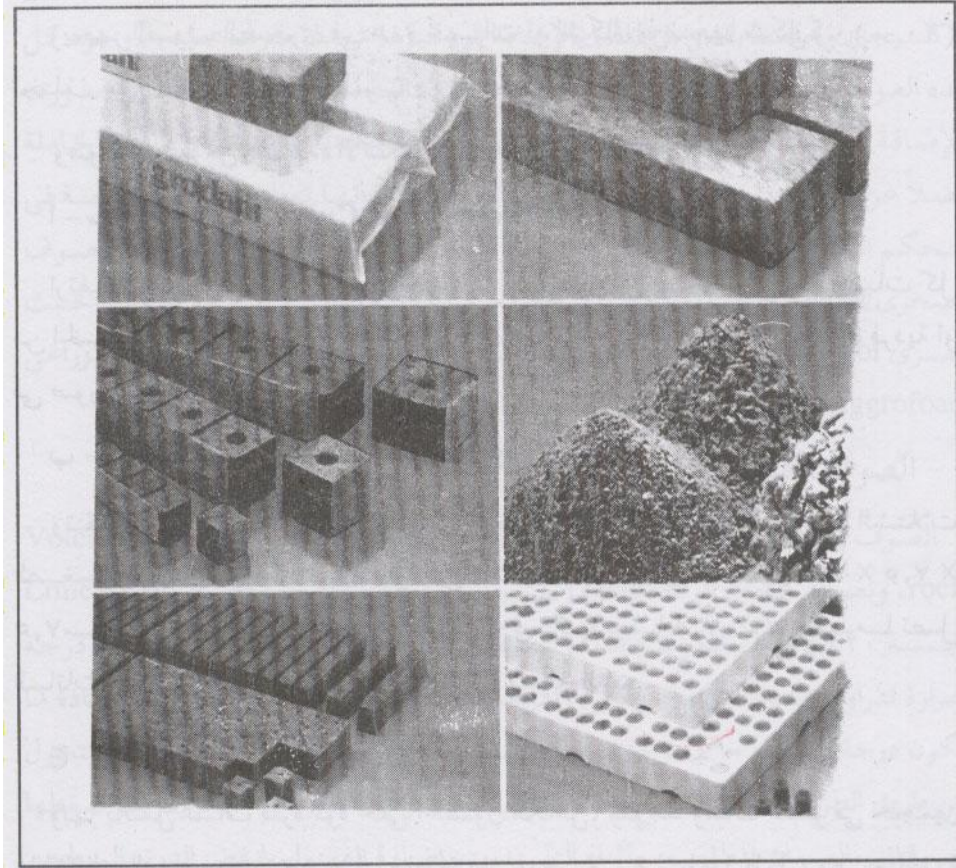
ج- وسائد النمو Growing Slabs

وبها يكمل النبات فترة نموه حتى المحصول الكامل. وتوجد وسائد النمو فى حجمين
(الأطوال بالسنتيمتر) 7.5 ارتفاع $15 \times$ عرض $90-150 \times$ طول، وهى مناسبة لنباتات
الطماطم والفلفل وكثير من محاصيل الخضر والزينة أو $7.5 \times 20 \times 90-150$ (ارتفاع \times
عرض \times 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 الزراعة.

د- الصوف الصخري السائب Loose Rock Wool

ويستخدم كبيئة معبأة في أصص أو تخلط مع بعض البيئات الأخرى لتحسين خواص التهوية والاحتفاظ بالماء بها بنسبة الثلث حجماً، أو يخلط مع التربة بنسب تتراوح ما بين 25-60 % كمحسن.



شكل (10-20): أشكال تجهيزات الصوف الصخري للاستخدام الزراعي (سائب - مكعبات إنبات بأحجام مختلفة - وسائد النمو)

وتتشكل خيوط الصوف الصخري رأسياً (في حالة مكعبات و بلوكات الإنبات للمساعدة على اختراق جذور البادرات لأسفل) و أفقياً (في وسائد النمو لإتاحة الفرصة أمام جذور النباتات للانتشار في أكبر حيز ممكن). وهذا ما يوضحه (شكل 10-21).

ومما يجب التنبيه إليه أن مكعبات وبلوكات الإنبات وكذلك الصوف الصخري السائب المعبأ في أصص مثقبة تستخدم في إعداد وتجهيز البادرات لكل أنواع المزارع للأرضية بنجاح.



شكل (10-21): يوضح كيفية وضع مكعبات الإنبات على وسائد النمو وكيفية انتشار الجذور بينهما

مزايا الصوف الصخري المعد للاستخدام الزراعي:

يتميز الصوف الصخري الزراعي بمزايا عديدة:

- 1- مادة خاملة ممتازة لا تتحلل ولا تتكسر بيولوجياً مما يهيء ظروف جيدة لنمو النباتات التي تمكث به لفترات طويلة مثل: الورود Roses التي تنمو به لعدة أعوام بنجاح.
- 2- مادة جافة وليس بها أي 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 أي تأثير على تغير خواص المحلول.

- 5- مادة خفيفة جداً (كثافتها 0.075 جرام/سم³) وفى الوقت نفسه صلبه Rigid material مما يجعل التعامل معها سهلاً فى الإعداد والتجهيز والنقل، بالإضافة 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 ضغطاً على النبات Minimizing plant stress.
- 7- اختصار الوقت وتوقير 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 استخدام الصوف الصخرى السائب أو المحبب Granulates كمحسن طبيعي للتربة Soil conditioner للأراضى الرملية أو للأراضى الطينية الثقيلة.

عيوب الصوف الصخرى

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.

2- صوف الخبث المصرى Egyptian Slagwool

وهذه المادة عبارة عن مخلفات Waste Materials تنتج من مصانع الحديد والصلب بطلوان وتسمى جليخ محولات الصلب أو الخبث Slag، وتستخدم الآن في بعض مصانع الطوب الأسمنتي، ولكن بدأ مؤخراً إعادة صهره على درجات حرارة عالية وتشكيله في صورة منتج جديد يستخدم كعازل حراري 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 التي قام بها Sherif وآخرون سنة 1993 على هذا المنتج مقارنة ببعض بيئات الزراعة للأرضية الأخرى مثل البرليت - الفيرميكيوليت بالإضافة إلى الصوف الصخري (شكل 10-22).



شكل (10-22): نمو نباتات الطماطم في بيئة صوف الخبث المصرى مقارنة بنموها في بيئات البرليت - الفيرميكيوليت - والصوف الصخرى

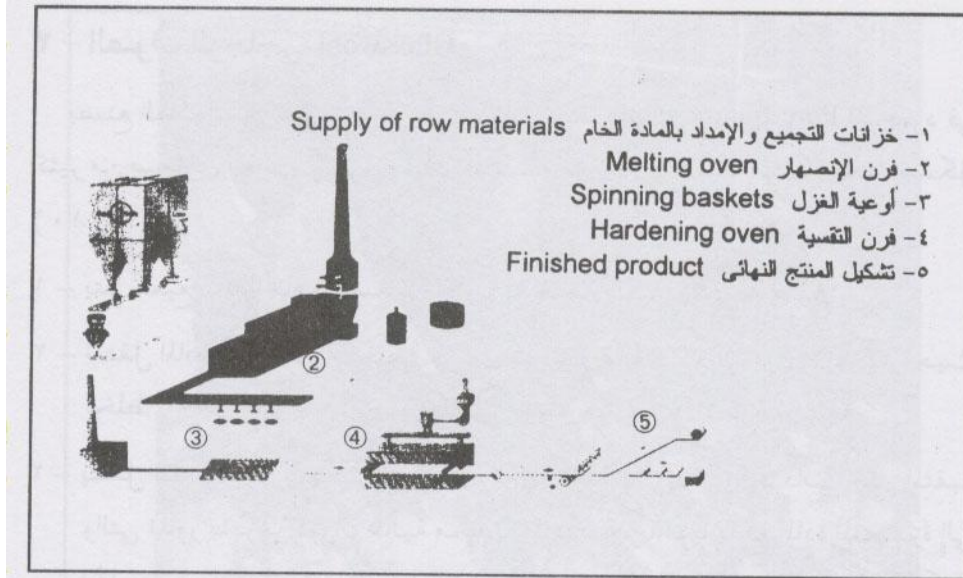
ويتميز صوف الخبث Slagwool بكل ما يتميز به الصوف الصخرى Rockwool من صفات مع بعض الفروق التى تظهر من خلال النقاط التالية:

- 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.

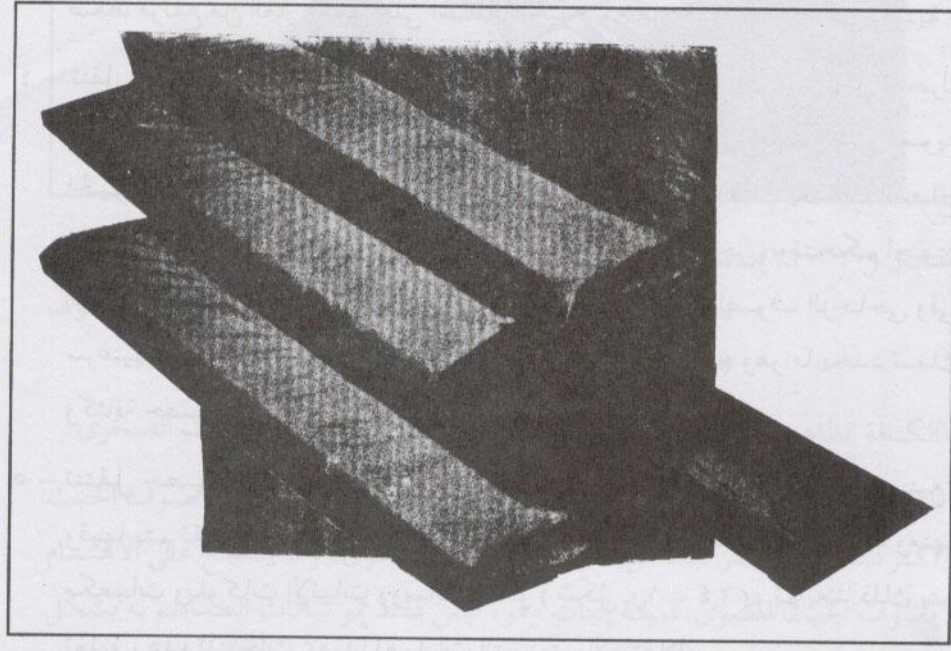
- 3- التوصيل الكهربي 40 ميكروموز/سم مقابل 20 ميكروموز/سم للصوف الصخري.
- 4- الكثافة الظاهرية 0.085 جم/سم³ مقابل 0.075 جم/سم³ للصوف الصخري.
- 5- الفحص الميكروسكوبي وتحليل الاختلاف الحراري أوضح أن خيوط صوف الخبث أكثر اندماجاً وأكثر ثباتاً من خيوط الصوف الصخري. ومما يشجع على الاهتمام بصوف الخبث المصري كبيئة إنبات ونمو، ليس فقط نمو نباتات الطماطم به بشكل جيد، وإنما أيضاً ما أظهره من تكبير في نضج ثمار النباتات النامية به بمقدار أسبوعين إلى ثلاثة أسابيع مقارنة بنباتات الطماطم النامية في الصوف الصخري.

3- الصوف الزجاجي Glasswool Cultures

- يصنع الصوف الزجاجي من رمل الكوارتز النقي Pure quartz sand الموجود في كثير من صحارى العالم. وتتم عمليات التصنيع من خلال خمسة مراحل محددة (شكل 10-23):
- 1- يتم تجميع المادة الخام وتوضع في حاويات خاصة متصلة بفرن الانصهار.
 - 2- تنتقل المادة الخام بعد التخلص من أى شوائب عالقة بها إلى فرن الانصهار حيث تخلط بالحجر الجيري ويتم صهرها على درجة حرارة 1400 درجة مئوية.
 - 3- ينتقل هذا الخليط المنصهر إلى أوعية الغزل Spinning baskets ذات الجدر المتقبة والتي تدور بسرعة دوران عالية محدثة طرداً مركزياً قوياً يدفع المادة المنصهرة إلى الخارج من ثقوبها مكونة خيوط الصوف الزجاجي اللينة وفي صورة سهلة التشكيل Flexible glasswool fibers. وفي هذه المرحلة أيضاً تتعرض هذه الخيوط إلى ضغط مرتفع من الغاز يعمل على استطالة الخيوط وجعل كل منها في صورة فردية.



شكل (١٠ - ٢٣) خطوات تصنيع الصوف الزجاجي من رمل الكوارتز النقي



شكل (10-23): خطوات تصنيع الصوف الزجاجي من رمل الكوارتز النقي

- 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 (10-24): وسائد الصوف الزجاجى مغلقة وجاهزة للاستخدام الزراعى

- وللصوف الزجاجى مميزات عديدة تجعله بيئة نمو جيدة لكثير من النباتات التى تم زراعتها به مثل: الطماطم والخيار والفلفل والبادنجان والخس والجرييرا 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 إقياً 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 الأكسجين ومقاومة للتغير السريع فى رقم pH المحلول مما يوفر بيئة مناسبة لنمو الجذور وامتصاص العناصر الغذائية من المحلول.
 - 4- الصوف الزجاجى خفيف الوزن سهل الاستخدام 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 التي تتميز بقابليتها للاشتعال Inflammable والتي تستخدم في تدفئة الصوبة وفي تعقيم وسائد النمو الأخرى التي ما زالت قابلة للاستخدام في الزراعة.

وخيوط الصوف الزجاجي تنتج في شكل خيوط رفيعة وناعمة Fine and Thin Fibers وأخرى خشنة وأكثر سمكا" Coarse and thick fiber (شكل 10-25). والخيوط الرفيعة لها قدرة أكبر على الاحتفاظ بالماء (95% ماء، 10% هواء، 5% لخيوط الصوف الزجاجي) أكثر من الخيوط الخشنة (80% ماء، 15% هواء، 5% لخيوط الصوف الزجاجي) 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 الزجاجي حيث يمكنها من مقاومة الضغط الواقع عليها ويقلل من انضغاطها. فعند وضع ثقل قدره 1 كيلوجرام على وسادة من الصوف الزجاجي ذو الخيوط السميكة والخشنة فإنها تتضغط وينخفض إرتفاعها بمقدار 0.5 سم، بينما نفس الثقل على وسادة من خيوط الصوف الزجاجي الرفيعة والناعمة تتضغط أكثر ويقل ارتفاعها بمقدار 1.5 سم.

ومن هذه الخصائص الخاصة بخيوط الصوف الزجاجي 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 10-25):

- 1- **الطبقة الأولى:** هي الطبقة السطحية وتتكون فقط من الخيوط الرفيعة ذات المسام الصغيرة والضيقة Only fine fibers with small pores وسمكها قليل والتي تساعد على تحسين توزيع المياه أفقياً بنسبة 20% تقريباً.
- 2- **الطبقة الثانية:** وهي الطبقة التي تلى الطبقة السطحية وتتكون من الخيوط الرفيعة والسميكة Mixture of fine and coarse fibers مع زيادة نسبية في نسبة الخيوط الرفيعة في اتجاه السطح العلوي مما يحسن من توزيع وانتشار الماء رأسياً و يجعل الاختلاف في كمية الماء في وسائد النمو فيما بين القمة والقاعدة قليل.
- 3- **الطبقة الثالثة:** وهي تلى الطبقة السابقة وتتكون أيضا" من الخيوط الرفيعة والسميكة مع زيادة نسبية في نسبة الخيوط الخشنة والسميكة في إتجاه السطح السفلي.

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 (الأكسجين) 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 (10-25): إعداد وسائد الصوف الزجاجي بتوليفات مختلفة الأقطار

وبهذه التوليفة من خيوط الصوف الزجاجي الرفيعة الناعمة والسميكة الخشنة أمكن الحصول على وسائد للنمو ذات مواصفات جيدة ومثالية لنمو النباتات بها.

4- ألياف الفوم Foam Fibers

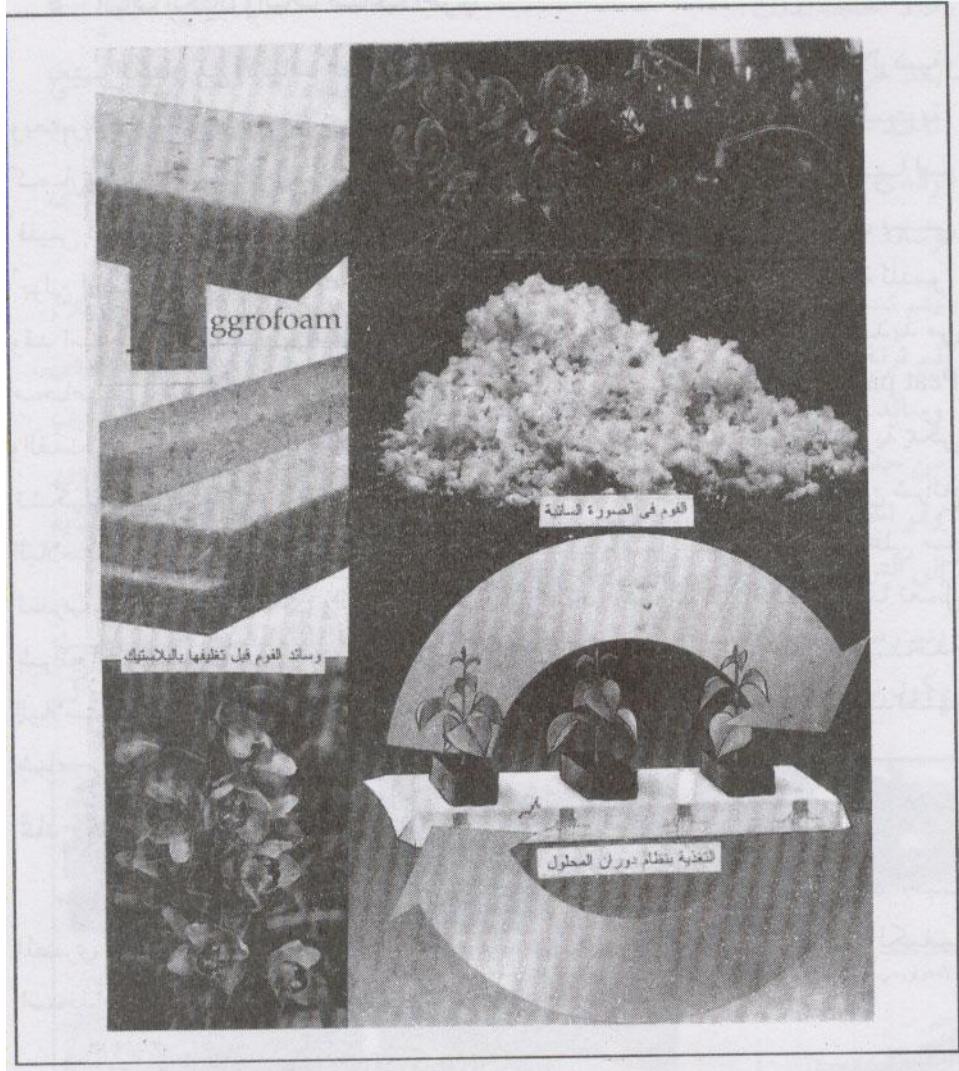
سبق الحديث عن الفوم في صورة الحبيبات أو Granules فيما يعرف بالبلاستيك المتمدّد Expanded Plastic كأحد البيئات الصلبة المستخدمة في الزراعة للأرضية. ولكن الفوم أيضاً يصنع على شكل ألياف Foam Fibers من مركبات البولي يوريثان Polyurethane بواسطة إحدى الشركات العاملة في مجال الزراعة للأرضية بهولندا. والفوم الناتج عبارة عن ألياف تشبه القطن أو الصوف Flocks خاملة كيميائياً ، خفيفة الوزن ، ثابتة التركيب والتكوين، لها القدرة على حفظ الماء والتخلص من الزيادة منه بنفس الدرجة (شكل 10-26).

وهذا المنتج في الصورة السائبة والمفككة يتم ضغطه في 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 الهواء إلى الماء Air/Water Ratio مما يشجع على تكوين مجموع جذرى قوى.

2- ذات خواص صرف ممتازة 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 (10-26): 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 للأرضية، 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 أى 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 شتاءً.

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 نعطي مثالاً لكيفية استخدام أى منها فى الزراعة والذي 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:

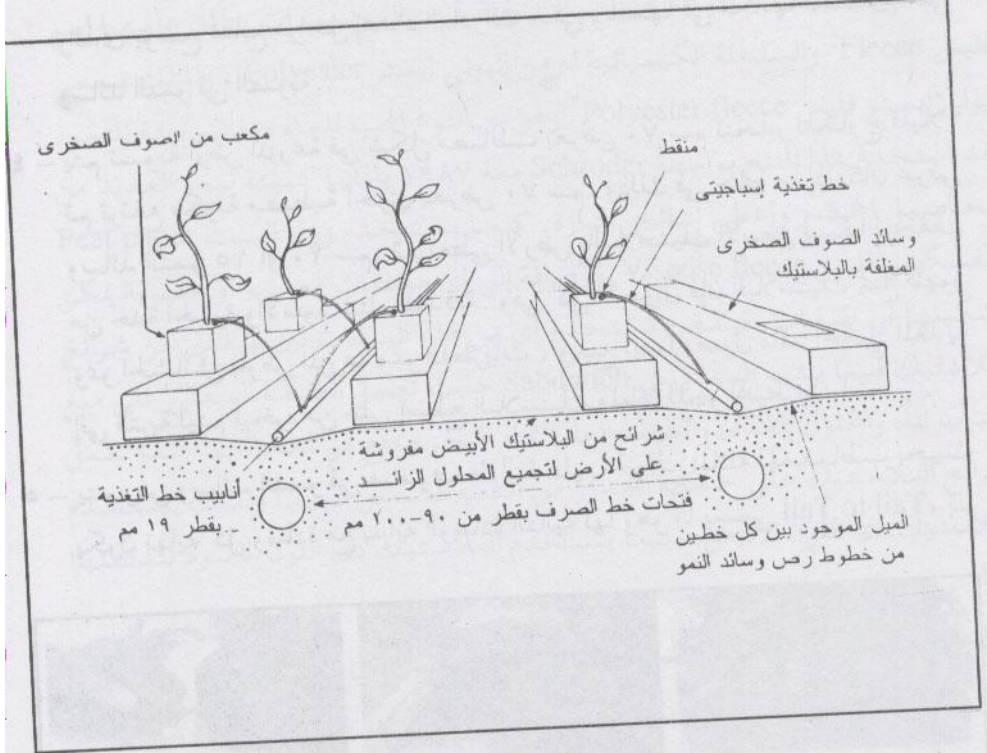
1- ترطيب مكعبات الإنبات قبل الاستخدام بـ 24 ساعة وتكون موضوعة على طاولات من البلاستيك ذات إطار غير مرتفع 5-8 سم.

- 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 تتحدر 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 الحرارة والأسود شتاءً 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 المائلة 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



شكل (10-27): يوضح تتابع خطوات إعداد البادرات في مكعبات الإنبات وكيفية نقلها إلى وسائد النمو

من وسائد النمو، وتكون الممرات على قمة المصاطب بين زوج من الوسائد أيضاً مما يسهل الحركة بعيداً عن رشح المحلول الزائد ومواسير الري والتغذية (شكل 10-28).



شكل (10-28): رسم تخطيطي للشكل العام الذي تكون عليه مزارع الألياف في الصوبة أو الحقل في حالة ما إذا كان النمو الخضرى للنباتات المراد تنميتها قصير مثل: الخس والفراولة، فيمكن تكثيف الزراعة بعمل مصاطب بعرض من 100 - 110 سم و رص الوسائد التي عرضها 15 - 20 سم في زوجين من الصفوف على الحواف المائلة للمصاطب (4 صفوف على المصطبة) بنفس الطريقة السابقة، ويعمل خط الري والتغذية على ري و تغذية أربعة صفوف من وسائد النمو (2 وسادة من كل جانب).

6- يتم عمل فتحات بأبعاد مكعبات الإنبات أو البادرات في البلاستيك المغلف لوسائد النمو على أن تكون المسافة بين كل فتحة وأخرى هي نفس المسافة المطلوبة بين كل نبات وآخر.

7- يتم توصيل منقطات Dripers خط الري والتغذية إلى الفتحات الموجودة في وسائد النمو وتشبيعها بالمحلول المغذى قبل نقل البادرات بـ 24 - 48 ساعة مع ضرورة عدم عمل فتحات

للصرف خلال هذه الفترة، حيث يرفع الصوف الصخري رقم الـ pH للمحلول بمقدار درجة واحدة عند استخدامه لأول مرة فقط.

8- بعد 24-48 ساعة من تشبيع وسائد النمو يتم عمل فتحات الصرف في أسفل الجانب المواجه لمواسير الري، ليتم التخلص من المحلول الذى ارتفع رقم حموضته، ثم تتقل مكعبات الإنبات أو البادرات وتثبت في المكان المجهز لها من قبل على وسائد النمو ويثبت بها المنقطات.

9- يتم التغذية من 4-6 مرات يومياً في فصل الشتاء ومن 8-12 مرة في فصل الصيف وذلك بمعدل 2-4 لتر/ساعة، وفي كل مرة ينتظر حتى يخرج المحلول من فتحة الصرف. وتستمر التغذية بهذا المعدل حتى نهاية المحصول.

ويجب ملاحظه حجم الهواء في وسائد النمو يزداد بارتفاع الوسادة، وغالباً ما تكون التهويه في حدود 25% من حجم الوسائد التي ارتفاعها 7.5 سم كفاياً لمعظم أنواع النباتات، إلا أنه ربما تحتاج بعض المحاصيل إلى حجم تهوية أكبر قد تصل إلى 50%، وفي هذه الحالة تستخدم وسائد ذات ارتفاع أكبر.

مايتم عمله أثناء النمو

1- التأكد من ضبط المحلول المغذى يومياً وذلك بأخذ عينة من المحلول المغذى الموجود في وسائد النمو وليس المضاف إليها. ويتم أخذ العينة بواسطة سرنجة تغمس حتى منتصف الوسادة فيما بين النباتات، ومكونات كل عينة يتم تجميعها من 15-20 وسادة عشوائياً. وعلى هذه العينة يتم القياسات التالية:

الإختبارات اليومية:

أ - قياس رقم الـ pH و التوصيل الكهربى (Electrical Conductivity (E.C) في عينات من المحلول المغذى الموجود في وسائد النمو باستخدام أجهزة قياس الـ pH (pH Meter) وأجهزة قياس درجة التوصيل الكهربى EC Meter.

ب- تقدير العناصر التالية: NH₄-N, NO₃-N, P, K, Ca, Mg and Fe وهذا ما يجب أن يتم، إلا أنه نظراً لارتفاع تكاليف هذه التقديرات، بالإضافة إلى أن التغيرات التي تحدث في المحلول

المغذى ووسط النمو لا تكون كبيرة خلال أسبوع، لذلك يتم أخذ العينة أسبوعياً وعليها يتم إجراء الاختبارات والتقديرات السابقة مرة كل أسبوع.

الإختبارات الشهرية:

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 تحاليلت الأراضى والمياه.

2- إذا حدث تأثير لترسيب الأملاح أثناء نمو المحصول نتيجة لاستخدام ماء به نسبة ما من كلوريد الصوديوم مثلاً فإنه يتم الري بماء فقط لمدة 2-3 أيام، ثم يعاد استخدام المحلول المغذى، وفى حالة إعادة استعمال وسائد النمو لسنة تالية يتم الري 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 الخاصة 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 الري وفرت أجهزة ومعدات قياس فى غاية الدقة والنظام يتحكم فى عملها أجهزة الكمبيوتر المزودة ببرامج تعمل على قياس درجة الـ pH ، و الـ 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 مثلاً من بعض المزارع التجارية بهولندا خلال عام 1994 يوضح

احتياجات ومتطلبات الزراعة لبعض المحاصيل فى الصوف الصخرى مقابل إنتاجيتها (جدول 10-4).

ويلاحظ أن احتياجات محصول الطماطم Tomato تماثل نفس الاحتياجات لمحصول الفلفل Pepper، كما أن متطلبات محصول الخيار Cucumber تماثل ما تتطلبه محاصيل كل من القارون Melon، والباذنجان Egg plant (Aubergine)، والكوسة Squash، فى حين أن ما تحتاجه محاصيل القرنفل Carnation، والجرييرا 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 طاوولات من البلاستيك Trays (طولها بطول 2-3 وسادة، وعرضها عرض وسادة أو وسادتين)، ثم توضع طاوولات 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 التغذية.
- 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 (10-4): يوضح إحتياجات بعض المحاصيل عند زراعتها فى الصوف الصخرى والإنتاج المتحصل منها

المحصول إحتياجات المحصول	الطماطم Tomato	الخيار Cucumber	الورد Rose
المساحة بالمتر المربع	1000	1000	1000
كثافة النباتات فى المتري المربع	2.5	1.5	10
عدد النباتات = عدد مكعبات	3000-2800	-1600	11000-9000

	1900		الإنبات والنمو = عدد المنقطات
1400-1000	900-850	900	عدد وسائد النمو بطول 75 سم
100	100	100	كمية الأسمدة بالكيلوجرام
2000	1800	1500	إستهلاك المياه بالمتر المكعب
12	10	11-10	عمر النبات حتى المحصول بالشهر
200 زهرة	28	65	المحصول بالكيلوجرام للمتر المربع
1	1	1	العمالة اللازمة لكل 4000 متر مربع

- 4- يتم توصيل منقطات Dripers خط الري والتغذية إلى الفتحات الموجودة في وسائد النمو وتشبيعها بالمحلول المغذى قبل نقل البادرات بـ 24-48 ساعة مع ضرورة عدم عمل فتحات للصراف خلال هذه الفترة (كما سبق بيانه في الطريقة السابقة).
- 5- بعد 24-48 ساعة من تشبيع وسائد النمو يتم عمل فتحات الصراف في أسفل الجانب المواجه لمواسير الري، فيتم التخلص من المحلول الزائد، ثم تنقل مكعبات الإنبات أو البادرات وتثبت في المكان المجهز لها من قبل على وسائد النمو ويثبت معها المنقطات.
- 6- يتم التغذية باستخدام المنقطات ويعاد استخدام المحلول الزائد مرة أخرى كما هو متبع في الأنظمة المغلقة، وتستمر التغذية بهذا النظام حتى نهاية المحصول.

ثالثاً: الري تحت السطحي لبيئات الألياف Sub-irrigation System

- 1- في هذا النظام يتم وضع وسائد الصوف الصخري أو غيرها من وسائد بيئات الألياف الأخرى في طاوولات من البلاستيك كل منها يتسع لوسادتين أو ثلاثة على أن تزود هذه الوسائد بفتحات في سطحها السفلى.
- 2- يتم ضخ المحلول المغذى إلى الطاوولات البلاستيك الحاوية لوسائد الصوف الصخري حتى أقصى ارتفاع يجب أن يكون عليه المحلول في الطاولة والوسادة والذي يوجد عنده فتحة جانبيه لإعادة الزيادة إلى تلك التغذية.

3- يتم ضخ المحلول مرة واحدة يومياً في المراحل الأولى للنمو ولمدة من 5-10 دقائق، تزداد بعد ذلك إلى 3-5 مرات شتاء و7-10 مرات صيفاً في المراحل المتقدمة للنمو وحتى المحصول. وتتميز هذه الطريقة بالاستخدام القليل للطاقة اللازمة لضخ المحلول بالإضافة إلى تلافى مشاكل إنسداد المنقطات.

إعادة إستخدام وسائد النمو في 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 على الفطريات ثانياً. ويتم التخلص من الأملاح المترسبة كما سبق الإشارة إليه من قبل. أما القضاء على الفطريات فيتم كما يلي:

- 1- يزال غطاء البلاستيك من على وسائد النمو، وترص فوق بعضها في 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 في العام التالي.

في بعض المناطق من العالم يستخدم بروميد الميثيل بدلاً من بخار الماء، وبنفس الخطوات السابقة وإن كان يفضل استخدام المصدر الطبيعي عن المركب الكيماوى

ملاحق

جدول (1): بعض النباتات والمحاصيل الإقتصادية وأسمائها العلمية

الاسم العلمي	الاسم الانجليزي	الاسم العربي	الاسم العلمي	الاسم الانجليزي	الاسم العربي
المحاصيل السكرية			محاصيل الحبوب Cereal Crops		
Saccharum officinarum L.	Sugar Cane	قصب السكر	Hordeum vulgare L.	Barley	الشعير
Beta vulgaris L.	Sugar Beet	بنجر السكر	Triticum aestivum L.	Wheat	القمح
نباتات الخضر			Oriza sativa L.	Rice	الأرز
Spinacia oleracea L.	Spinach	السيانخ	Zea mays L.	Maize	الذرة
Beta Vulgaris L.	Beet	البنجر	Sorghum bicolor (L.) Moench	Sorghum	ذرة رفيعة
Malva parvifloa L.	Egyptian Mallow	الخبيزة	Secale cereale L.	Rye	الشيلم
Hibiscus esculentus L.	Okra	البامية	Avena sativa L.	Oats	الشوفان
Cucumis sativus L.	Cucumber	الخيار	البذور البقولية		
Cucurbita pepo L.	Field Pumpkin	القرع	Vicia faba L	Faba bean	الفول
Raphanus sativus L.	Radish	الفجل	Pisum sativum L.	Pea	البسلة
Eruca sativa Mill.	Roquette	جرجير	Lens culinaris L.	Lentil	العدس
Brassica oleracea var. capitata L.	Cabbage	كرنب	Vigna sinensis savi.	Cow pea	اللوبياء

تابع جدول (1):

الاسم العلمي	الاسم الانجليزي	الاسم العربي	الاسم العلمي	الاسم الانجليزي	الاسم العربي
Brassica oleracea var. gemmifera L.	Brussee Sprouts	كرنب بروكسل	Phaseolus vulgaris L..	Bean	فصوليا
Brassica oleracea var. botrytis L.	Cauliflower	القنبيط	Cicer arietinum L.	Chick pea	الحمص
Brassica rapa L.	Turmip	اللفت	Arachis hypogaea L.	Peanut	فول سوداني
Daucus carota L.	Carrot	الجزر	Glycine max (L.) Merr	Soybean	فول الصويا
Apium petroselinum L.	Parsley	البقدونس			
Apium graveolens var. dulce Pers.	Celery	الكرفس	محاصيل ألياف أو زيتية		
Solanum tuberosum L.	Potato	بطاطس	Gossypium hirsutum	Cotton	القطن
Solanum melongena L.	Egg-Plant	بادنجان	sesamum indicum L.	Sesame	السمسم
Lycopersicon esculentum Mill	Tomato	الطماطم	Linum usitatissimum L.	Flax	الكتان
Capsicum frutescens L.	Pepper	الفلفل	Helianthus annuus L.	Sunflower	عباد الشمس
Ipomoea batatas Lam.	Sweet Potato	البطاطا	Brassica napus var.oil	Rape	الشلجم

تابع جدول (1):

الاسم العلمي	الاسم الانجليزي	الاسم العربي	الاسم العلمي	الاسم الانجليزي	الاسم العربي
Lactuca sativa L.	Lettuce	الخس	Olea europaea L.	Olive	الزيتون
Cynara scolymus L.	Artichoke	خرشوف	Elaeis guineensis Jacq.	Oil Palm	نخيل الزيت
Allium cepa L.	Onion	البصل	Cocos nucifera L.	Coconut	جوز الهند
Allium sativum L.	Garlic	الثوم	نباتات العلف		
Allum porrum L.	Leek	الكرات	Trifolium alexandrinum L.	Egyptian Clover	البرسيم المصري
Asparagus officinalis L.	Asparagus	الهلينون	Medicago sativa L.	Alfalafa	البرسيم الحجازي
Colocasia antiquorum Schott.	Taro	القلقاس	Melilotus officinalis lam	Yellow Sweet Clover	برسيم حلو
نباتات الفاكهة					
Citrus sinensis Osbech.	Sweet orange	البرتقال	Juglans regia L.	Walnut	الجوز
Citrus nobilis var. delicious Swingle	Mandarine	اليوسفي	Morus spp.	Mullberry	التوت
Citrus aurantifolia Swingle	Lime	الليمون المالح	Pyrus malus L.	Apple	التفاح
Citrus limonum Risso.	Lemon	الليمون الأضاليا	Pyrus communis L.	Pear	الكمثرى

تابع جدول (1):

الاسم العلمي	الاسم الانجليزي	الاسم العربي	الاسم العلمي	الاسم الانجليزي	الاسم العربي
Mangifera indica L.	Mango	المانجو	Prunus persica Batsch	Peach	الخوخ
Vitis vinifera L.	Grape	العنب	Prunus armeniaca L.	Apricot	المشمش
Psidium guajava L.	Guava	الجوافة	Prunus domestica L.	European Plum	البرقوق
Phoenix dactylefera L.	Data Palm	نخيل البلح	Prunus cerasifera	Cherry Plum	الكريز
Musa spp.	Banana	الموز	Ananas comosus Merr	Pine Apple	الأناناس

جدول (2): وحدات التعامل في بعض أصناف المحاصيل الزراعية

وحدات التعامل (كيلوجرام)	الصنف	وحدات التعامل (كيلوجرام)	الصنف
155	الحلبة (بالأردب)	157.5	القطن الزهر (قنطار متري)
150	الترمس (بالأردب)	50	القطن الشعير (قنطار متري)
150	الحمص (بالأردب)	120	بذرة القطن (أردب المتري)
75	فول سودانى (أردب)	150	القمح (بالأردب)
160	البسلة الناشفة (أردب)	120	الشعير (بالأردب)
120	اللوبيا (بالأردب)	140	الذرة الشامية (بالأردب)
120	السهم (بالأردب)	140	الذرة الرفيعة (بالأردب)
122	بذرة الكتان (أردب)	200	الأرز المبيض (بالأردب)
113	القرطم (أردب)	300	الأرز الشعير (بالأردب)
157	البرسيم (بالأردب)	945	الأرز الشعير (بالضريبة)
250	التين (بالحمل)	155	الفول (بالأردب)
67.5	النخالة (بالأردب)	144	الفول المجروش (أردب)
140	الفريك (بالأردب)	160	العدس الصحيح (أردب)
45	البصل (بالقنطار)	148	العدس المجروش (بالأردب)

المصدر: جدول رقم 5 بالقانون رقم 229 لسنة 1951، القرارين الوزاريين رقم 407، 712 لسنة

1961 من وزارة الإقتصاد بشأن إستخدام الأوزان المتريّة في معاملات القطن.

جدول (3): بعض التحويلات الهامة في الأطوال، والمساحة، والكتلة، والتركيزات وغيرها

العمود الأول	العمود الثانى	للتحويل من الأول للثانى يتم الضرب فى	للتحويل من الثانى لأول يتم الضرب فى
الطول			
الكيلو متر (كم = 10^3 م)	الميل	0.621	1.609
المتر (م)	الياردة	1.094	0.914
المتر (م)	القدم	3.28	0.304
الميكروميتتر (10^{-6} م)	الميكرو	1.0	1.0
المليمتتر (10^{-3} م)	البوصة	10×3.94^{-2}	25.4
النانوميتتر (10^{-9} م)	أنجستروم	10	0.1
المساحة			
الهكتار	الفدان	2.38	0.42
الفدان	أيكير	1.04	0.96
الهكتار	أيكير	2.47	0.405
كيلومتر مربع (كم ² = 10^6 م ²)	أيكير	247	10×4.05^{-3}
متر مربع (م ²)	أيكير	10×2.47^{-4}	10×4.05^3
متر مربع (م ²)	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 لأول يتم الضرب فى
الكتلة			
الجرام ، جم (10 ⁻³ كجم)	الرطل	$10 \times 2.20 \times 10^{-3}$	454
الجرام	أوقية	$10 \times 3.52 \times 10^{-2}$	28.4
كيلوجرام ، كجم	الرطل	2.205	0.454
كيلوجرام	الطن (2000 رطل ل)	$10 \times 1.1 \times 10^{-3}$	907
ميجا جرام	طن أمريكى	1.102	0.907
التركيز			
السنتمول/كجم (cmol kg ⁻¹) (¹)	مليمكافىء/ 100 جم	1	1
جم / كجم	نسبة مئوية %	0.1	10
مجم / كجم	نسبة مئوية %	10×10^{-4}	10×10^{-4}
ميجا جرام / م	جرام / سم ³	1	1
مليجرام / 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 ₂ O ₅)	2.29	0.437
البوتاسيوم (K)	أكسيد بوتاسيوم K ₂ O	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

N, Ca	180	164	نترات الكالسيوم (لامائية)
N	80	80	نترات الأمونيوم
N, S	140	132	كبريتات الأمونيوم
N, P	140-120	115	فوسفات الأمونيوم
K	80	75.5	كلوريد البوتاسيوم
K, S	200	174	كبريتات البوتاسيوم
K, P	140	136	فوسفات أحادي البوتاسيوم
K, P	180	174	فوسفات ثنائي البوتاسيوم
P, Ca	750-270	252	فوسفات أحادي الكالسيوم
Mg, S	130	120	كبريتات الماغنسيوم
Mg, N	150	148	نترات الماغنسيوم
Ca, S	190	172	كبريتات الكالسيوم (مائية)
Ca, Cl	150	147	كلوريد الكالسيوم
N	60	60	اليوريا
S	100	98	حامض الكبريتيك
N	70-65	63	حامض النيتريك
H, Cl	40	36.5	حامض الأيدروكلوريك

جدول (5): كمية أسمدة العناصر الكبرى بالجرام في 1000 لتر ماء والتي تعطى تركيز 1 جزء في المليون من العنصر الموجود به، وما يكافؤها بالمليمكافئ/لتر

عناصر ثانوية تضاف بالجزء في المليون	مكافئ 1 جزء في المليون بالمليمكافئ في اللتر	الكمية بالجرام لكل 1000 لتر ماء لتعطى تركيز 1 جزء في المليون	اسم السماد أو المركب
K 2.80	0.0714	N 7.80	نترات البوتاسيوم
N 0.36	0.0256	K 2.8	نترات البوتاسيوم

Ca 1.43	0.0714	N 9.0	نترات الكالسيوم (مائية)
N0.70	0.025	Ca 6.25	نترات الكالسيوم (مائية)
Ca 1.43	0.0714	N 6.44	نترات الكالسيوم (لامائية)
N,0.70	0.025	Ca 4.50	نترات الكالسيوم (لامائية)
---	0.0375	N 3.0	نترات الأمونيوم
---	0.0714	N 4.86	كبريتات الأمونيوم
N 0.45	0.0322	P 3.87	فوسفات الأمونيوم
---	0.0256	K 2.05	كلوريد البوتاسيوم
---	0.0256	K 2.5	كبريتات البوتاسيوم
---	0.0282	N 2.20	اليوريا
---	0.0417	Mg 10.75	كبريتات الماغنسيوم
Ca 3.80	0.0322	P 14.30	فوسفات أحادي الكالسيوم

جدول (6): كمية أسمدة العناصر الصغرى بالجرام في 1000 لتر ماء والتي تعطى تركيز 1 جزء في المليون من العنصر الموجود بها، وما يكافؤها بالمليماكافى/لتر

عناصر ثانوية تضاف بالجزء في المليون	مكافئ 1 جزء في المليون بالمليماكافى في اللتر	الكمية بالجرام لكل 1000 لتر ماء لتعطى تركيز 1 جزء في المليون	اسم السماد أو المركب
---	0.0185	Fe 5.54	كبريتات الحديدوز
---	0.0185	Fe 8.75	سترات الأمونيوم والحديدك
---	0.0182	Mn 4.05	كبريتات المنجنيز
---	0.0910	B 5.64	حامض اليوريك

---	0.0156	Cu 3.91	كبريتات النحاس
---	0.0154	Zn 4.42	كبريتات الزنك

جدول (7): الوزن الجزيئي لأملاح العناصر الصغرى ونسبة العنصر بها

اسم السماد أو المركب	الوزن الجزيئي	النسبة المئوية للعنصر
كبريتات الحديدوز	278	Fe 22.2
كبريتات الحديدوز والأمونيوم	392	Fe14.3
كلوريد الحديدك	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

I 71.0	166	ايوديد البوتاسيوم
Si 18.7	154	سليكات البوتاسيوم
Si 23.0	122	سليكات الصوديوم
F 45.0	42	فلوريد الصوديوم
Al 15.8	382	كبريتات الألومنيوم

المراجع

أولاً: المراجع العربية

- إبراهيم حسين السكرى ، كيمان فواز ، حسن الشيمى (1988). "أساسيات خصوبة الأرض وتغذية النبات". مركز الشنهاى للطباعة والنشر - الإسكندرية.
- سعد محمود الشريف ، طلعت محمد القبيه وعادل السيد اللبوى (1987). "محاضرات فى تغذية النبات" مذكرات لشعبة الأراضى - كلية الزراعة - جامعة عين شمس.
- سعد محمود الشريف ، عادل السيد اللبوى وعبد المنعم الجلا (1987). "كيمياء الأسمدة" مذكرات لشعبة الأراضى - كلية الزراعة - جامعة عين شمس.
- سمير عبد الوهاب أبو الروس، محمدى إبراهيم الخرباوى وشوقى شبل هولـه (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.
- عبد الغنى الباز (1982). محاضرات فى فسيولوجيا النبات. قسم أمراض النبات، كلية الزراعة - جامعة المنيا.

- عبد الفتاح إبراهيم الشعراوي، 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, Rome.
- 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 growing 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,
Wisconsin 53711 USA.
- Landon, J.R. (1984).** Booker Tropical Soil Manual. A handbook for survey and agricultural land evaluation in the tropics and subtropics. Booker Agriculture 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, Switzerland.
- Mengel, K. (1991).** Ernährung 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.

