

تحليل التربة والنبات - دليل مختبري
جدول المحتويات

تقديم	PDF, 74KB
مقدمة	PDF, 60KB
كلمة شكر	
1.مدخل	PDF, 143KB
2.أخذ عينات التربة والنبات، ومعالجتها	PDF, 227KB
1.2 التربة	
2.2 النبات	
3.المرافق المخبرية والتحكم في الجودة، ومعالجة البيانات	PDF, 331KB
1.3 تنظيم المختبر	
2.3 السلامة المخبرية	
3.3 التحكم في الجودة وتوحيد الإجراءات	
4.3 معالجة البيانات	
4.التحليل الفيزيائي للتربة	PDF, 369KB
1.4 محتوى التربة من الرطوبة	
2.4 التوزيع الحجمي لمكونات التربة (التحليل الميكانيكي)	
3.4 العجينة المشبعة	
4.4 رطوبة السعة الحقلية ونقطة الذبول الدائمة	
5.التحليل الكيميائي للتربة	PDF, 448KB
1.5 درجة الحموضة (pH)	
2.5 الناقلية الكهربائية (EC)	
3.5 كربونات الكالسيوم	
4.5 المادة العضوية	
5.5 السعة التبادلية للكاتيونات (CEC)	
6.5 الجبس	
6.تحليل العناصر الغذائية والصوديوم والأمونيوم في التربة	PDF, 723KB
1.6 الآزوت	
1.1.6 الآزوت بطريقة كلداهل	
2.1.6 الآزوت الكلي	
3.1.6 الآزوت المعدني	
4.1.6 الآزوت-النتراتي	
5.1.6 الآزوت والكربون في كتلة الأحياء الدقيقة	
2.6 الفوسفور	PDF, 252KB
1.2.6 الفوسفور القابل للاستخلاص	
2.2.6 الفوسفور الكلي	
3.2.6 الفوسفور العضوي	
3.6 البوتاسيوم	PDF, 255KB

1.3.6 البوتاسيوم القابل للاستخلاص	
2.3.6 البوتاسيوم الذائب	
3.3.6 البوتاسيوم المتبادل	
4.6 الصوديوم	
5.6 الكالسيوم والمغنزيوم الذائبان	
6.6 الكربونات والبيكربونات	
7.6 الكلورايد	PDF, 147KB
8.6 الكبريتات	
1.8.6 بطريقة العكارة (Turbidimetric)	
2.8.6 بطريقة الترسيب (Precipitation)	
9.6 البورون	PDF, 271KB
1.9.6 بطريقة الماء الساخن	
2.9.6 بطريقة حمض كلور الماء المخفف	
10.6 كاتيونات العناصر الغذائية الصغرى	
1.10.6 بطريقة DTPA	
2.10.6 بطريقة بيكربونات الأمونيوم DTPA -	
7. تحليل النبات	PDF, 425KB
1.7 الآزوت	
1.1.7 الآزوت بطريقة كداهل	
2.1.7 الآزوت-النتراتي	
3.1.7 الآزوت الكلي	
2.7 الفوسفور	
3.7 تقدير العناصر الغذائية الكبرى والصغرى بطريقة الترميد الجاف	
4.7 البورون	
5.7 تقدير تحليل العناصر الغذائية الصغرى بطريقة الهضم الرطب	
6.7 تقدير تحليل الحديدوز في نسج نباتية طازجة	
المربع 1: تأثير pH التربة في توافر العناصر الغذائية في النبات	PDF, 450KB
المربع 2: تحليل التربة-النبات بواسطة أجهزة مخبرية آلية	
المربع 3: تحليل التربة والنبات لتحديد تلوث البيئة	
المربع 4: تحديد جودة مياه الري	
8. المراجع باللغة الإنكليزية	
9. المراجع باللغة الإنكليزية (للمطالعة)	
10. الملحقات	PDF, 187KB
الملحق 1. الاختصارات	
الملحق 2. عوامل تحويل وحدات النظام الدولي SI ووحدات النظام-Non SI	
الملحق 3. الرمز، الرقم الذري، و الوزن الذري للعناصر الكيميائية	
الملحق 4. تراكيز المحاليل	
الملحق 5. بعض العلاقات المهمة	

الملحق 6. التركيز، النظامية، كمية بعض الأحماض والقواعد لتحضير ليتر واحد من محلول N1	
الملحق 7. مستويات pH التربة و الظروف المقترنة بها	
الملحق 8. منهج مختصر في اختبار التربة لتقييم الخصوبة في الترب القلوية	PDF, 186KB
الملحق 9. دلائل عامة لتفسير بعض البيانات المتعلقة بتحليل التربة	
الملحق 10. الإجراءات المقترحة لأخذ عينات من نسج محاصيل خاصة بالمناطق الجافة	
الملحق 11. دلائل عامة لتفسير بعض البيانات المتعلقة بتحليل نسج النجيليات	
الملحق 12. معايير التصنيف الخاصة بالترب المتأثرة بالملوحة	
الملحق 13. تصنيف ملوحة التربة مقارنة مع قوام التربة	
الملحق 14. الحدود النسبية لمقاومة المحاصيل للملوحة	
الملحق 15. علاقة تحمل بعض الأصناف لسمية البورون	
الملحق 16. حجم فتحات المناخل القياسية	
الملحق 17. الأوزان المكافئة	

تحليل التربة والنبات دليل مختبري

إعداد

جون راين و جورج اسطفان

المركز الدولي للبحوث الزراعية في المناطق الجافة

و

عبد الرشيد

المركز الوطني للبحوث الزراعية، إسلام آباد، الباكستان



المركز الدولي للبحوث الزراعية في المناطق الجافة (ICARDA)

حلب، سورية



المركز الوطني للبحوث الزراعية (NARC)

إسلام آباد، الباكستان

© المركز الدولي للبحوث الزراعية في المناطق الجافة (إيكاردا) 2003

المؤلفون: جون راين، جورج اسطفان وعبد الرشيد. 2003

دليل مختبري لتحليل التربة والنبات، الإصدار الأول باللغة العربية.

نشر بشكل مشترك من قبل المركز الدولي للبحوث الزراعية في المناطق الجافة (إيكاردا) والمؤسسة الوطنية للبحوث الزراعية. يتوافر هذا الدليل في إيكاردا، حلب، سورية، x + 172 صفحة.

المصطلحات المستخدمة: المختبرات؛ التجارب المخبرية؛ الأجهزة المخبرية؛ اختبار التربة؛ أخذ العينات؛ الخواص الكيماوية والفيزيائية للتربة؛ نماذج التربة كيميائياً؛ خصوبة التربة؛ استخدام الأسمدة؛ تغذية النبات؛ العلاقة مابين النبات والتربة؛ التركيب الكيماوي؛ التدريب المهني؛ الشرق الأوسط؛ وشمال إفريقيا.

ISBN: 92-9127-144-5

أعدده باللغة العربية المهندس الزراعي : جورج اسطفان

إن الآراء والأفكار التي أهديت في هذا الدليل هي آراء وأفكار خاصة بالمؤلفين وهي لا تمثل بالضرورة تأييد إيكاردا لها. كما لا يمثل ذكر الأسماء التجارية تشجيع إيكاردا لها أو تمييزها عن غيرها.

المركز الدولي للبحوث الزراعية في المناطق الجافة (إيكاردا)

ص.ب. 5466، حلب، سورية

هاتف: 2225012, 2225112, 2213477, 2213433 (21-963)

فاكس: 5744622, 2225105, 2213490 (21-963)

البريد الإلكتروني: ICARDA@CGIAR.ORG

الموقع على الشبكة: <http://www.icarda.cgiar.org>

تقديم

تتباين الترب إلى حدٍ كبيرٍ في أرجاء العالم، حيث تعاني من ضعفٍ موروث يتجسّد بشكل رئيس في نقص العناصر الغذائية الأساسية لنمو المحاصيل المزروعة. وحتى حينما تتوفر تلك العناصر بشكلٍ كافٍ في المراحل الأولى من زراعة الأرض، فإن الطاقة الإنتاجية تتناقص بشكل ثابت مع مرور الزمن. فمعظم الترب تفتقر إلى الأزوت (N)، إذ أنه سريع الزوال في الطبيعة وحتاج النباتات إلى كميةٍ كبيرةٍ منه. وفي حالات كثيرة، يعتبر الفوسفور (P) على نفس الدرجة من الأهمية، إذ تخفف تفاعلات التربة الكيميائية من فعالية الأسمدة الفوسفورية. وبشكل عام، تحتوي الترب في منطقة وسط وغربي آسيا وشمال إفريقيا (CWANA) على كمياتٍ لإبأس بها من البوتاسيوم (K) الأمر الذي يعني عدم الحاجة إلى التسميد به لاسيما بالنسبة إلى المحاصيل البعلية المتدنية الغلة. وقد تنامي الإحساس في السنوات الأخيرة، بأن ثمة نقص في العناصر الأخرى، كالعناصر الغذائية الصغرى، في بعض البقاع من منطقة CWANA.

ولما كان من غير الممكن إحلال عنصر أساسي محل غيره، كان تحديد مكان حدوث مثل هذا النقص وزمانه أمراً على جاذبٍ كبيرٍ من الأهمية، حيث يأتي عند هذه النقطة دور تحليل التربة والنبات. وقد استنبطت أساليب لتقييم معوقات خصوبة التربة استناداً إلى مستخلصات التربة الكيميائية وتحليل النباتات المزروعة في تلك الترب، علماً أن كليهما يكمل الآخر. وبعد معايرتهما مع استجابة المحصول الحقلّي للتسميد، فإن ذلك يوفر الأساس المنطقي لتحديد العناصر المفقودة وكمية الأسمدة الواجب استخدامها. لذلك تلعب مختبرات تحليل التربة والنبات دوراً حيويّاً في التنمية الزراعية في منطقة CWANA، غير أن العملية لاتتقف عند هذا الحد. فلكي تكون مجدية وصحيحة، لا بد أن تكون الاختبارات ملائمة للهدف المرسوم ومعتمدة وقابلة للتكرار. على اعتبار أن إيكاردا رائدة في تأسيس برنامج معايرة اختبارات التربة بين المؤسسات الوطنية للبحوث الزراعية (NARS) في المنطقة، وفي وضع الأساس لصياغة توصيات سوية تتعلق بالأسمدة، كان من المحتم أن تعمل بالتعاون مع المؤسسات الوطنية على تناول هذه المسألة الأساسية. لذا يعتبر هذا الكتاب حجر الأساس في برنامج التدريب في إيكاردا وحلقة وصل حيوية مع العلماء في منطقة CWANA.



الأستاذ الدكتور عادل البلتاجي

مدير عام إيكاردا

مقدمة

ترتكز فكرة إصدار دليل مخبري عام لمنطقة وسط وغربي آسيا وشمال أفريقيا (CWANA)، على حقيقة أن الترب في هذه المنطقة الجافة وشبه الجافة تتسم بمجموعة مشتركة من الخواص، مؤدية إلى ظهور مشاكل تغذوية متماثلة في المحاصيل. وقد بينت البحوث التعاونية في شبكة معايرة اختبارات التربة في منطقة حوض البحر المتوسط أن عدداً من اختبارات التربة المتعلقة بتوافر العناصر الغذائية تتمتع بقابلية التطبيق على المستوى الإقليمي. بالإضافة إلى ذلك، كان من النادر إيجاد أي كتاب مخبري حول تحليل النبات ذي صلة في المشاكل التغذوية للمحاصيل في المنطقة.

يعتبر توافر دليل عام حول تحليل التربة والنبات أمراً أساسياً في إنجاح شبكة خصوبة التربة في منطقة CWANA. ولسد الفجوة الموجودة، فقد تم تطوير دليل شامل لجميع احتياجات تحليل التربة والنبات. و صُمم الدليل بشكل مُتعمد على شكل كتب الطهي "cook-book" لما فيه تسهيل عمل فنيي المختبر. وتمت مراجعة هذا الكتاب والمصادقة عليه من قبل لجنة فرعية خلال اجتماع خصوبة التربة الذي انعقد في إيكاردا خلال الفترة ما بين 19-23 تشرين الثاني/نوفمبر 1995.

نتيجة لذلك، نُشرت الطبعة الأولى من الدليل في عام 1996 باللغة الإنكليزية، ووزعت على نطاق واسع بين مختبرات تحليل التربة والنبات في منطقة CWANA. حيث كانت الاستجابة مشجعة. وقد أبدى معظم المسؤولين عن المختبرات تقديرهم للمبادرة، لاسيما وأن هذا الدليل يجمع كل الطرق المطلوبة في مجلد واحد وبطريقة سهلة ليصار إلى استخدامه من قبل فنيي المختبر.

وأدخلت في الطبعة الثانية (الطبعة الإنكليزية) كافة المقترحات المقدمة من قبل مدراء المختبرات في منطقة CWANA، مما يجعل الدليل أكثر شمولية، وحديثاً، وخالياً من الأخطاء (كما نأمل ذلك)، وحيث أننا نقدر النقد البناء والاقتراحات المقدمة من قبل الزملاء خبراء التربة لتحسين محتوى الدليل.

وتعكس الطبعة الثانية من الدليل تلك التغيرات التي حدثت خلال السنوات القليلة الماضية في المنطقة. بينما لايزال التركيز على الإنتاج الزراعي، ويعكس اهتماماً متزايداً بالتلوث البيئي. لاسيما من النترات، المعادن الثقيلة، والمركبات العضوية السامة. مع التعقيدات الكبيرة في المنهجيات والمعدات، أصبح بمقدور معظم مختبرات التربة الآن معالجة كافة الاهتمامات الزراعية والبيئية.

ونكرر تشجيعنا لمستخدمي هذا الدليل على تقييم آرائهم حول مدى ملاءمته للظروف الخاصة بهم. والإشارة إلى مواضع الأخطاء، إن وجدت.

جون راين
جورج اسطفان
عبد الرشيد

كلمة شكر

نعرب عن جزيل شكرنا لمن عمل ويعمل في مختبر تحليل التربة والنبات التابع لإيكاردا، وللذين أسهموا في تشغيله وفي تطوير العديد من الإجراءات فيه.

كما نعرب عن تقديرنا للدكتور عبد الله مطر الذي وضع طرائق التحليل هذه كأساس سليم للتطبيق في أرجاء منطقة CWANA عبر برنامج شبكة معايرة اختبارات التربة في المنطقة .

وللمساهمة المميزة التي قدمها الدكتور كارل هارمسون والدكتورة صونيا قره بيت في إعداد الطبعة الإنكليزية الأولى من الدليل.

كما نقدر تقديراً كبيراً للمساعدة التي قدمها السيد سمير مصري، ولاسيما مساهمته في إجراءات أخذ عينات التربة الواردة في هذا الدليل.

وقد لعب مختبر تحليل التربة والنبات، منذ نشوء إيكاردا، دوراً حيوياً في النشاطات البحثية لبرنامج إدارة الموارد الطبيعية (NRMP) وفي المركز ككل. وتقدم إدارة إيكاردا بشكل دائم الدعم لمختبر التربة والنبات، الذي لولاه لما كان في الإمكان نشر هذا الدليل الخاص بالطرائق المناسبة لتحليل التربة والنبات.

كما نقدم شكرنا إلى القراء الذين لاحظوا الأخطاء في الطبعة الإنكليزية الأولى من الكتاب وإلى الذين قدموا اقتراحاتهم من أجل تحقيق التحسين.

ونشكر الدكتورة أديانا بروغمان للمساهمة المميزة في مراجعة الطبعة الإنكليزية الثانية من الدليل.

وأخيراً، نقدم الشكر للسيدة نهى صادق على مساعدتها القيمة في تصحيح الأخطاء المطبعية، وإعداد وتشكيل هذه الوثيقة للطباعة.

أيضاً الشكر للأستاذ مجدي كبة الذي قام بالتدقيق اللغوي.

1. مدخل

توطدت فكرة إمكانية القيام باختبار التربة أو تحليل التربة والحصول على بعض المعلومات المتعلقة بخواصها ولاسيما حموضتها وقلويتها ووضع العناصر الغذائية فيها على فترة طويلة، حيث يمكن تتبع ذلك بالرجوع إلى بداية التحقق العلمي لمعرفة طبيعة التربة. بيد أن تحليل النبات الذي يعكس واقع خصوبة التربة التي ينمو فيها يعد أكثر حداثة، بالرغم من أن الملاحظات البصرية للمحصول قديمة قدم اليونانيين القدماء إن لم تكن أقدم. وفي العقود القليلة الماضية، ونظراً لتحول الزراعة إلى مشروع تجاري وتزايد الطلب على الإنتاج من موارد أرضية محدودة بل ومتناقصة، تم وضع إجراءات لاختبار التربة والنبات، ولاتزال قيد التطوير حتى وقتنا الراهن.

ومع بدء ظهور الأسمدة الكيميائية، أصبحت الحاجة إلى معرفة واقع التربة من حيث العناصر الغذائية أمراً بالغ الأهمية، وذلك ليصار إلى استعمال هذه المدخلات المحدودة ذات الثمن الباهظ، بطريقة أكثر فعالية. ومن ناحية ثانية، إذا أريد لإختبار التربة أن يكون وسيلة فعالة لتقييم واقع الخصوبة للتربة، فإنه لا بد من اتباع منهجية صحيحة. وقد يتم إجراء تقييم لتربة أو حقل ما من حيث قدرته على تزويد المحصول بالعناصر الغذائية الأساسية بالطرق المتعددة التالية:

1. تجارب تسميد القطع الحقلية؛
2. تجارب الأصص في الدفيئات؛
3. أعراض نقص العناصر الغذائية في المحصول؛
4. تحليل النبات؛
5. تحليل سريع للنسج أو النسج؛
6. اختبارات بيولوجية، مثل زراعة الكائنات المجهرية؛
7. اختبار كيميائي سريع لاختبار التربة قبل الزراعة.

ومع إمكانية استعمال جميع هذه الطرائق في البحث، إلا أن هذه الأخيرة هي الأكثر سهولة في التطبيق، ويمكن الاعتماد عليها في صياغة توصيات للمزارعين. و من جهة أخرى، يعد تحليل النبات هو إحدى طرائق الفحص التالية والتي يجب تفسيرها في ضوء نتائج اختبار التربة.

تعتبر اختبارات التربة في الوقت الحاضر جزءاً جوهرياً من الزراعة الحديثة في الغرب. وتركز الاختبارات الأولية على العناصر الرئيسية التي تتطلبها المحاصيل وتقدمها الأسمدة وتمثل بـ: الأزوت (N)، والفوسفور (P)، والبوتاسيوم (K). وبالاعتماد على نماذج التربة، تجري في بعض المناطق اختبارات من أجل العناصر الغذائية الثانوية وهي: الكالسيوم (Ca)، والمغنزيوم (Mg)، والكبريت (S). وفي المناطق الأكثر جفافاً، غالباً

ما يجري قياس العناصر الغذائية الصغرى مثل الحديد (Fe)، والزنك (Zn)، والمنغنيز (Mn)، والنحاس (Cu)، والبورون (B). على اعتبار أن النقص في هذه العناصر هو أكثر ارتباطاً بالتربة الكلسية. وفي الحقيقة، تحتوي هذه المناطق أيضاً على مستويات عالية أو سامة من بعض العناصر مثل البورون والصوديوم. ولما كان سلوك العناصر الغذائية في التربة مرتبطة بخواص تلك التربة والظروف البيئية، فإن قياس تلك الخواص يعد مطلوباً على الأغلب. وتشمل هذه القياسات كلاً من درجة الحموضة (pH)، والملوحة (salinity)، والمادة العضوية (OM)، وكربونات الكالسيوم (CaCO₃)، وقوام التربة (texture). وفي المناطق الأكثر جفافاً، يعد وجود الجبس (CaSO₄·2H₂O) موضع اهتمام خاص.

تشمل اختبارات التربة أربع مراحل متميزة:

1. جمع العينات: يجب أن تعكس العينة بشكل موثوق واقع الحقل كمثل للمعيار المدروس.
2. الاستخلاص أو الهضم وتقدير العناصر الغذائية: يجب أن تعمل المحاليل المستخدمة والإجراءات المعتمدة على قياس كمية جميع العناصر في التربة، أو أجزاء محدودة منها من تلك المرتبطة بتوافر النبات، أي يجب أن تكون مرتبطة بنمو النبات.
3. تفسير النتائج التحليلية: يجب أن تشير وحدات القياس بشكل موثوق إلى واقع العناصر الغذائية، هل هناك من نقص فيها أم أن وجودها كاف أم زائد عن الحد.
4. التوصيات التسميدية: تعتمد هذه التوصيات على الاختبار الذي تمت معايرته للظروف الحقلية، كما تأخذ بعين الاعتبار عوامل أخرى مثل الهدف من الغلة، ومتطلبات المحصول من العناصر الغذائية، وإدارة المحصول، ونموذج التربة، وطرق استخدام الأسمدة وما إلى ذلك.

إلا أنه يجب التأكيد على أن اختبارات التربة، سواء أكانت معتمدة أم بديلة، لا تشكل سوى عامل واحد في اتخاذ القرار فيما يتعلق بالحاجة للتسميد، كما توجد عوامل أخرى كثيرة تؤثر في نمو المحصول وإنتاجه، مثل نموذج التربة والظروف البيئية، أي الرطوبة ودرجة الحرارة... إلخ. ونظراً لتنوع أشكال العناصر الغذائية واختلافها في التربة، مثلاً، التربة الكلسية مقابل التربة الحامضية، فإن اختبارات التربة تتنوع أيضاً ولا سيما بالنسبة إلى الفوسفور المتاح والعناصر الغذائية الصغرى، وبشكل أقل، بالنسبة للأزوت (Walsh and Beaton, 1973). وعلى اعتبار الأزوت سريع الحركة في التربة وعرضة للتمعدن-الثبات (mineralization-immobilization) فإنه يطرح مشاكل خاصة أمام تحقيق اختبار معتمد، في حين تكون الاختبارات من أجل pH، OM، CaCO₃ أكثر دقة.

منذ تطوير اختبار DTPA من قبل Lindsay و Norvell واعتماد أزوميثان-H (azomethine-H) كمحلول تظهير اللون بالنسبة لعنصر البورون (Gaines and Mitchell, 1979)، والعناصر الغذائية الصغرى (Fe, Mn, Zn, Cu, B) أصبحت الاختبارات في التربة القلوية قابلة للاعتماد

بشكل أكثر، ورغم تطور الاختبارات من أجل الجبس (Richards 1954; FAO, 1990)، مازالت هناك مشكلات فريدة أمام قياس السعة التبادلية للكاتيونات (CEC) في ترب كهذه (Rhoades and Mitchell, 1979).

تعد المراجع التي تتناول اختبارات التربة غنية ومتنوعة. حيث تشمل بعض الأمثلة البارزة كلاً من:

1. الدراسات و الرسائل العلمية الصادرة عن الجمعية الأمريكية للعلوم الزراعية والمتعلقة بالتحليل الفيزيائية (Klute, 1986) ، والكيميائية (Page, 1982)، والتي تقدم وصفاً مفصلاً عن جميع اختبارات التربة المتاحة وتعديلاتها.
 2. مطبوعات الجمعية الأمريكية لعلوم التربة (Walsh and Beaton, 1973; Westerman, 1990) التي تتبنى نظرة أوسع لفلسفة طرائق العمل، وعمليات المختبر في تحليل التربة والنبات، مع التفسيرات المعيارية لبعض المحاصيل الخاصة.
 3. اختبارات التربة مدرجة على شكل كتاب مدرسي (Hesse, 1971).
 4. مطبوعات جامعية تبدأ بتلك المطبوعات التي تتناول جميع اختبارات التربة والماء والنبات (Chapman and Pratt, 1961) وتنتهي بالمطبوعات الأضيق مجالاً (Reisenaur, 1983).
 5. مطبوعات تتناول الاعتبارات النظرية المتعلقة بأخذ العينات، ومعامل الارتباط، والمعايرة والتفسيرات (Brown, 1987).
 6. المطبوعات الموجهة تجارياً والتي تعكس الوسائل التقنية الحديثة، وتحليل البيانات ومعالجتها باستخدام الحاسب (Jones, 1991; Jones *et al.*, 1991).
 7. وأخيراً، المطبوعات المكتوبة بنفس أسلوب كتب الطبخ والوصفات الغذائية "Recipe/Cook-book" مع مناقشة محدودة أو غير موجودة، إنها مجرد قوائم تحتوي على العناصر الكيميائية المستخدمة والخطوات العامة الداخلة في طرق العمل (Quick, 1984).
- رغم أن معظم مصادر اختبارات التربة تأتي من الغرب، إلا أن المطبوعات الصادرة عن منظمة الأغذية والزراعة التابعة للأمم المتحدة (FAO, 1970; 1980) تتسم بنطاق أوسع وتعتمد منظور البلدان النامية. فغالباً ما تكون اختبارات التربة في تلك البلدان أقل تطوراً، وفي بعض الحالات غير موجودة أصلاً، وبشكل مماثل، غالباً ما تكون البحوث المتعلقة باختبارات التربة وتحليل النبات مجزأة.
- يفقد ذلك إلى دراسة واقع منطقة وسط وغربي آسيا وشمال إفريقيا التي يضطلع بخدمتها المركز الدولي للبحوث الزراعية في المناطق الجافة (ICARDA). ففي هذه المنطقة، تلعب شبكة معايرة اختبارات التربة في إيكاردا دور المحفز لتعزيز اختبارات التربة، وتفقد في نهاية الأمر إلى مزيد من الاستخدام الكفؤ للتربة وموارد الأسمدة في المنطقة. ويمكن التحقق من تطورها وتأثيرها المحتمل من خلال الدراسة المعمقة للأوراق المقدمة في ورشات عمل متعددة أجريت في حلب، 1986 (Soltanpour, 1987)، أنقرة، 1987 (Matar *et al.*, 1988)، عمان، 1988 (Ryan and Matar, 1990) وأغادير، 1991 (Ryan and Matar, 1992).

يعتبر مختبر تحليل التربة والنبات أساسياً لشبكة معايرة اختبارات التربة وعمليات إيكاردا بشكل عام. ورغم أن مرافقه قد صممت وطورت بدون عوائق شهدتها مختبرات أخرى حكومية أو تعليمية في المنطقة، فإن بعض الإجراءات التي تم تعديلها من قبل المختبر تركز على بحوث إقليمية معتمدة، مثل N و P.

يكن مفتاح العمل في أي مختبر جدير بالثقة في وجود قائمة بالاختبارات الملائمة، يتم عرضها بطريقة يمكن اتباعها بسهولة وبشكل روتيني من قبل هؤلاء الذين يقومون فعلياً باختبارات التربة وتحليل النبات، ونعني بهم قُسيو المختبر. لذلك فإن القراء المستهدفين لهذا الكتاب هم مجموع العاملين الفنيين في كافة أرجاء المنطقة.

لقد تم تقديم مدخل موجز لكل اختبار، وعلى الفني أن يمتلك فهماً أولياً لأهمية العمل الذي يقوم به، كما أن عليه أن يعرف مجال القيم المتوقعة للتربة في هذه المنطقة، الأمر الذي يساعد على تحديد الأخطاء الجسيمة بسهولة أكبر. ولقد حاولنا اختيار أكثر الطرق ملاءمة لكل اختبار و عرضناه بأسلوب واضح بشكل تدريجي. وإلى جانب ذلك يتناول الدليل اختبارات التربة بشكل أساسي، حيث يتم عرض عدد من الاختبارات المهمة للنبات نظراً لكونها مكتملة لاختبارات التربة، ومهمة للدراسات المتعلقة بخصوبة التربة وتغذية النبات. وبصورة مماثلة، حظيت الخواص الفيزيائية بتركيز مطلوب، مع وصف الاختبارات الروتينية التي تجرى مع التحليل الكيميائي. وتم التركيز على أهمية أخذ عينات التربة والنبات بشكل مناسب، وتوصيف مجموعة العينات، ومعالجتها، وشروط تخزينها.

كما عرضنا في هذا الدليل معلومات حول تنظيم المختبر وإجراءات السلامة فيه، وهي جوانب غالباً ما يغفلها الكادر الفني، إلا أن لها تأثيراً كبيراً في مردود عمل ذلك الكادر ودقته. بالإضافة إلى ذلك، احتوت الملحقات على معلومات مفيدة جداً تتسم بمدلول عملي مثل الاختصارات، وعوامل التحويل، والأوزان الذرية، وتركيز المحاليل، وتأثير درجة الحموضة pH في التربة، وملخصات طرائق اختبار التربة، ودليل أخذ عينات النبات، والمعايير في تفسير بيانات تحليل التربة والنبات، وملوحة التربة، وتفسيراتسمية البورون. رغم أن هذا الدليل قد كتب باللغة الإنكليزية بالطبعتين الأولى والثانية، وهي لغة مطبوعات إيكاردا في منطقة متعددة اللغات، إلا أنه لا يتطلب سوى معرفة أولية بتلك اللغة لاستيعاب الإجراءات المدرجة. وبما أن منطقة عمل إيكاردا تعد منطقة متعددة اللغات، فقد وضعت خطط لإصدار نسخ باللغات الفرنسية، والروسية.

2. أخذ عينات التربة و النباتات، ومعالجتها

بينما يقع التركيز المحوري لهذا الدليل بشكل أساسي على تقييم منهجية سهلة الاستخدام لاختبار التربة ومعالجتها، وإلى مدى أقل سهولة لتحليل النبات، توجد جوانب أخرى ذات صلة جديرة بالتركيز عليها أيضاً. لذلك، نقدم فيما يلي وصفاً موجزاً لتلك الجوانب.

1.2 التربة

بينما تحظى الإجراءات المختبرية بأهمية كبيرة، فإن عملية الحصول على التربة من أجل التحليل، أي أخذ عينات من التربة، غالباً ما يتم تجاهلها أو يتم النظر فيها بشكل سيء. إذ يتوجب على الخطة الجيدة لأخذ العينات تأمين قياس لمعدل مستوى خصوبة الحقل وقياس مدى تنوعه. إذا كانت العينة غير ممثلة للحقل أو تم أخذها بشكل خاطئ، فإن نتيجة البيانات التحليلية تصبح عديمة الجدوى، أو في أحسن الأحوال، صعبة التفسير. إن ارتكاب الخطأ في أخذ العينات حقليةً عموماً ما يكون أكثر جسامه من الخطأ الناجم عن التحليل الكيميائي، لذلك يعتبر الحصول على عينة ممثلة للتربة من الحقل من الخطوات المهمة جداً للحصول على تحليل مجدي للتربة.

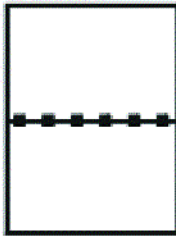
1. أخذ العينات

يجب أن تتألف عينة التربة من عينات فردية عديدة ممثلة فيما يبدو منطقة أو حقلاً متجانسين، لهما تاريخ متشابه في الإدارة والمحاصيل. ولا توجد أرقام متفق عليها عالمياً حول عدد العينات الفردية الخاصة بحالات حقلية مختلفة. على كل حال، يمكن أن تستخدم النقاط التالية كخطوط إرشادية:

أ. أخذ العينات المركبة

- تؤخذ في إيكاردا، ثماني عينات فردية لكل هكتار بنموذج قطري diagonal pattern للحصول على عينة مركبة واحدة.
- يمكن أن تحوي بعض المخططات بين 5-25 حفرة أو عينة فردية في كل عينة مركبة مع وحدة عينات تتفاوت من 2-8 هكتار.
- هنالك حاجة إلى عينات فردية أقل في مناطق يكون استخدام الأسمدة فيها محدوداً أو غائباً بشكل كامل. وغالباً ما تمتد مناطق أخذ العينات عبر نموذج متعرج (zig-zag pattern) لتأمين توزيع متماثل لمواقع أخذ العينات. يدرج بعض هذه الأساليب في الشكل رقم 1.

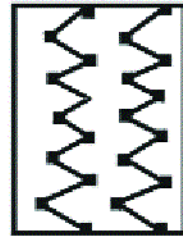
- وعلى نحو مشابه ثمة حاجة لمزيد من العينات الإفرادية حيث تتباين الخصوبة نتيجة نثر السماد يدوياً أو مع النظم القائمة على المحاصيل/المواشي أو مع كليهما معاً. وفي الواقع يطرح تسطير السماد مشاكل خطيرة تتعلق بأخذ عينات معتمد عليها.
- يجب أن يكون عدد العينات الإفرادية التي يأخذها المزارعون واقعيًا، مع الأخذ بعين الاعتبار الوضع الخاص للحقل.



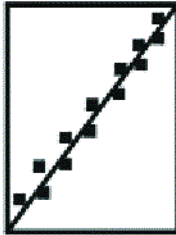
نموذج عرضي في حقل متجانس



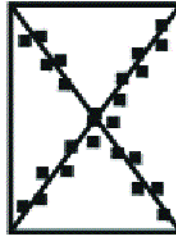
إختبار قطاع في حقل متجانس



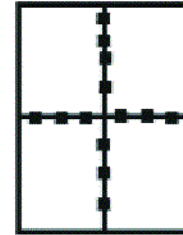
نموذج متعرج في حقل متجانس



نموذج قطري في حقل متجانس

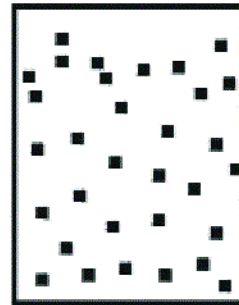


نموذج قطري متقاطع في حقل متجانس



نموذج متصالب في حقل متجانس

نموذج مثالي لأخذ العينات من حقل متجانس (الطريقة العشوائية)



الشكل رقم 1. بعض الطرق المقترحة لأخذ عينات من التربة.

ب. وقت أخذ العينة

- يمكن أخذ العينات في أي وقت تسمح فيه ظروف التربة، إلا أنه يجب تجنب أخذ العينات بعد التسميد أو إضافة المُحسّنات مباشرة.
- سيساعد أخذ العينات خلال فترة نمو المحصول في معرفة وضع العناصر الغذائية في التربة والتي تقوم النباتات بسحبها.
- ينصح في منطقة CWANA بأخذ العينات في الخريف (قبل الزراعة) إذا كان التسميد مقررًا عند الزراعة.
- من المهم أخذ العينات في نفس الموعد من كل عام وذلك لمقارنة نتائج التحاليل في فترات زمنية منتظمة.

ج. عمق العينات

- تؤخذ عينات التربة بالنسبة لمعظم الأغراض حتى عمق 20 سم. حيث أظهرت البحوث في منطقة CWANA أن الفوسفور، والأزوت النتراي، ووجود العناصر الغذائية الصغرى في عينات كهذه مرتبط بنمو النبات، وامتصاص العناصر الغذائية.
- يفضل أخذ العينات في بعض الحالات، ولا سيما في المناطق المروية، حتى عمق 60-100 سم، وخاصة لمراقبة النتراي (NO_3-N) المغسول، والملوحة.
- كما يجب أخذ عينات أيضاً من عمق مماثل في حالة دراسة سمية البورون.

د. أدوات أخذ العينات

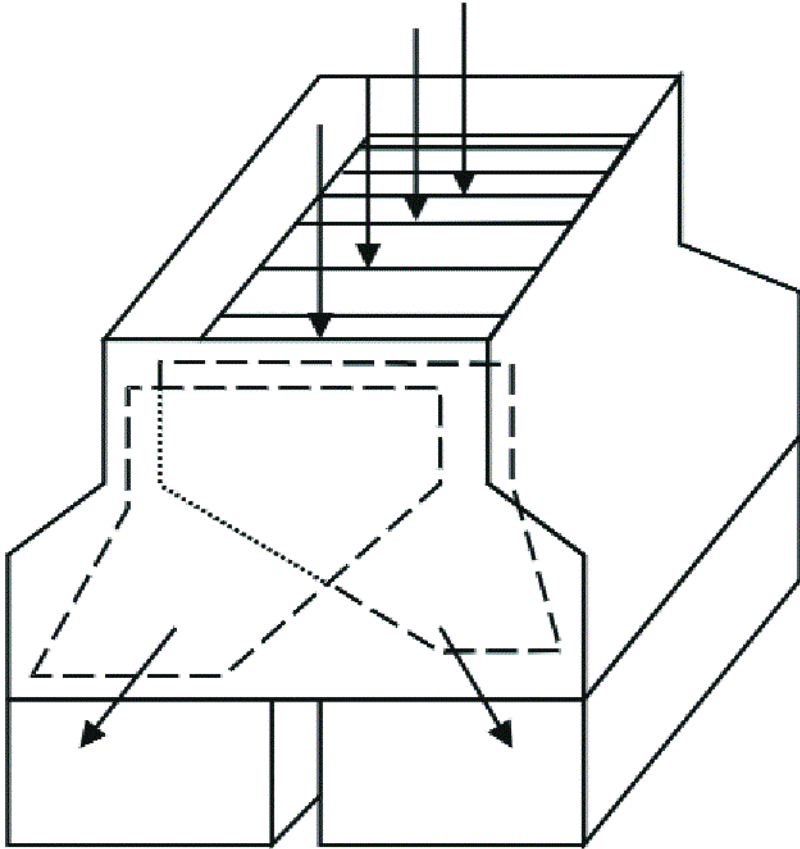
- يجب أن تحقق أدوات أخذ العينات مطلبين هامين: أولهما أخذ شريحة متجانسة من السطح وحتى العمق الذي تصله الأداة، وثانيهما، الحصول على نفس الحجم من التربة في كل عينة فردية.
- يلبي المسبار augers عموماً هذين المطلبين. و في المناطق حيث يكون سطح التربة جافاً، أي في فصل الصيف، يمكن أخذ عينة من سطح التربة بواسطة حلقة معدنية metal ring وذلك بوضع الحلقة داخل التربة لأن أخذ عينة من سطح التربة بواسطة المسبار يعد مسألة أشبه بالمستحيل.
- يجب أخذ عينات التربة لإجراء تحليل العناصر الغذائية الصغرى باستخدام مسبار من الفولاذ الذي لا يصدأ، أو على الأقل باستخدام مسبار مكلفن (لأنه مطلي بمادة أكسيد الزنك).
- يستخدم الباحثون عموماً المسبار لأخذ عينات من الحقل. ويمكن للمزارعين أو لموظفي الإرشاد الزراعي استخدام المجارف shovels أو المقاحف trowels لتحقيق نفس النتيجة.

2. المعالجة الحقلية

- يجب وضع عينات التربة في أكياس بلاستيكية (تربط بها بطاقات وتوضيحات).
- يمكن نقل عينات التربة في صناديق من الورق المقوى أو في أكياس.

3. المعالجة المخبرية

- تسجل جميع المعلومات عن العينات، وتُعطى كل عينة رقماً مخبرياً.
- توضع العينات مباشرة في مجمدة freezer لوقف نشاط الكائنات الحية.
- تجفف العينات هوائياً أو بالفرن (مضغوط الهواء) عند درجة حرارة 30°م.
- عندما تجف العينات، تنظف من الحجارة والبقايا النباتية.
- تطحن العينات في مطحنة تربة مصنوعة من الفولاذ، ومن ثم تمرر عبر منخل 2 مم، أما العينات الخاصة بالتحليل الميكانيكي فتطحن بالهاون. تتطلب بعض التحاليل استخدام مناخل قياس فتحاتها أقل من 1 مم.
- تُجمع التربة المنخولة، وتؤخذ منها عينات فردية (حوالي 500 غرام)، ثم تُحفظ في قوارير بلاستيكية.
- تحضر عينات فردية من العينة المركبة المنخولة بوساطة جهاز فصل عينات التربة Riffle-type Sample Splitter (الشكل رقم 2).
- تُعطى العينات الفردية أرقاماً وترسل إلى المختبر لإجراء التحاليل المطلوبة.



الشكل رقم 2. نموذج لجهاز فصل عينات التربة و خلطها.

2.2 النباتات

يقوم التحليل النباتي من وجهة النظر الغذائية، على مبدأ أن تركيز أي عنصر غذائي داخل النبات هو حصة كاملة لجميع العوامل التي تفاعلت وعملت على تحقيقه. ويتضمن التحليل النباتي تحديد تركيز العناصر الغذائية في عينات أقسام النبات التشخيصية المأخوذة عند الفترة الموصى بها لنمو المحصول.

قد يكون تركيز بعض العناصر الغذائية متدنياً إلى درجة يصعب معها تحقيق النمو الأمثل، في حين يكون بعضها الآخر مرتفعاً إلى درجة الإضرار بنمو النبات. وتبين الدراسات التي قام بها Munson and Nelson (1990) كيف تتباين تراكيز العناصر الغذائية في النباتات من حيث العنصر المدروس، ونوع النبات، والجزء النباتي المحدد، وطور النمو، ومستوى وفرة العناصر الغذائية في التربة، ومستوى الغلة المتوقع، والعوامل البيئية المختلفة.

رغم أن فني المختبر لا يقومون في الأحوال العادية بأخذ العينات النباتية، إلا أنه من المهم جداً أن يكونوا على علم بكيفية أخذ العينات بشكل مناسب وإلا كانت التحاليل التي يجرونها على عينات النبات غير مجدية ومضیعة للوقت.

1. أخذ عينات النبات

أعطت السنوات العديدة من البحوث في مجال خصوبة التربة-تغذية النبات، معايير وإجراءات مضمونة في أخذ العينات لمعظم المحاصيل التجارية في العالم: إذ يتم اختيار الأوراق في معظم الأحوال، في حين يتم اختبار أعناق الأوراق في محاصيل محددة كالقطن و الشوندر السكري مثلاً، أما البذور فنادر ما تستخدم للتحليل إلا في حالة تقييم سمية البورون ونقص عنصري الزنك والفوسفور في محاصيل حبية معينة. وفي بعض الحالات كالنجيليات مثلاً، يتم أخذ جميع الأجزاء الهوائية الفتية للنبات.

تؤخذ الأوراق الناضجة حديثاً عندما يتم أخذ العينات الورقية، وتستبعد الفتية والقديمة منها. إلا أنه تؤخذ الأوراق الفتية كعينات لتشخيص مرض الاصفرار عند تحديد محتوى الأوراق الفتية من الحديد (Fe^{++}) (Katyal and Sharma, 1980) ومحتوى البورون في بعض المحاصيل (Bell, 1997). كما يجب استبعاد الأوراق المتضررة والمريضة، والابتعاد عن أخذ عينات من النباتات عندما يكون المحصول تحت ظروف إجهاد الرطوبة أو الحرارة الشديدة. وتعطى إجراءات أخذ العينات من المحاصيل المهمة في المناطق الجافة من منطقة CWANA في الملحق 10. (يجب نقل عينات النبات إلى المختبر مباشرة في أكياس ورقية ذات بطاقات تعريف مناسبة والتي تسمح بعملية النتح transpiration، الأمر الذي يُضعف من إمكانية التعفن.)

2. المعالجة المخبرية

لمعالجة النسيج النباتية المأخوذة يتعين اتباع الخطوات الخمس التالية:

1. ينظف النسيج النباتي بغية إزالة الغبار وبقايا مبيدات الآفات والأسمدة وذلك بغسل النباتات بالماء المقطر أو بمنظفات خالية من الفوسفور تركيزها 0.1-0.3% ثم بعد ذلك غسلها بالماء المقطر. ليس ضرورياً غسل العينات النباتية عند تقدير العناصر الذائبة، لاسيما لفترات طويلة. إلا أنه، يجب غسل العينات عند تحليل الحديد الكلي.
2. تجفف عينات النبات بشكل فوري في الفرن لوقف النشاط الأنزيمي، حيث يتم ذلك عادة بدرجة حرارة 65°م لمدة 24 ساعة.
3. تطحن العينات ألياً للحصول على مادة ملائمة للتحليل، عادة تمرر في منخل قطر فتحاته mesh-60، وتفضل المطاحن الفولاذية، لاسيما عند طلب تحليل العناصر الغذائية الصغرى.
4. تتطلب معظم الطرائق التحليلية طحن العينة الجافة، لذلك يجب اتخاذ الحيطة لتجنب التلوث بالعنصر الذي هو قيد التحليل، و لاسيما عند تحليل العناصر الغذائية الصغرى.
5. يجفف النسيج المطحون بصورة نهائية عند درجة حرارة 65°م لكي نحصل على وزن ثابت عند إجراء التحليل.

عامل الرطوبة

إن إيجاد وزن دقيق لعينات النبات المجففة بالفرن، يعد أمراً متعباً (حيث تتضمن العملية تجفيف العينات بالفرن ومن ثم وضع العينات في المجفف) وعرضة لحدوث الأخطاء، إذ قد تمتص المواد النباتية الرطوبة أثناء عملية الوزن، وخاصة عندما تكون الرطوبة مرتفعة في المختبر.

لتجنب هذه الصعوبة، فإن الاقتراح البديل يتمثل باستخدام عامل الرطوبة. ولحساب عامل الرطوبة في كل مجموعة من العينات يجب اتباع التالي: يجفف عدد قليل من العينات الإفرادية من المجموع الكلي (حوالي 5 عينات من 100-200 عينة).

$$(1) \quad \text{عامل الرطوبة} = \frac{\text{وزن العينة المجففة بالهواء (غ)}}{\text{وزن العينة المجففة بالفرن (غ)}}$$

بعد ذلك توزن العينات الجافة هوائياً، مع الأخذ بعين الاعتبار عامل الرطوبة. مثال إذا كان عامل الرطوبة = 1.09، فيكون ناتج وزن العينات الجافة هوائياً وبالفرن كالتالي:

الوزن المجفف بالفرن	الوزن الجاف هوائياً
0.25	0.27
0.50	0.55
1.00	1.09
2.00	2.18

يستخدم نهج عامل الرطوبة أيضاً لوزن عينات التربة، والتعبير عن النتائج التحليلية على أساس وزن التربة الجافة بالفرن.

3. المرافق المخبرية، والتحكم في الجودة، ومعالجة البيانات

1.3 تنظيم المختبر

تُجرى تحاليل التربة و النباتات من قبل مؤسسات عديدة تابعة للقطاع العام أو الحكومي أو الخاص. توجد المخابر عادة في وزارات الزراعة ومعاهد البحوث الوطنية والتعليمية والمنظمات الدولية والشركات التجارية. وعلى الجهات التي تقوم بالخدمات التحليلية أن تحفظ بصلات وثيقة مع الجهات العاملة بالإرشاد والاستشارات، وكذلك بعلاقات تنفيذية مع الجامعات ومحطات البحوث ... إلخ.

يتوقف نوع المرفق الذي تتم فيه التحاليل على نمط المؤسسة التي يقوم على خدمتها، وطبيعة الزبائن، وحجم العينات التي سيتم تحليلها. مع ذلك، وبغض النظر عن حجم العينات، يجب تصميم جميع المختبرات بطريقة تحقق معها الكفاءة العملية والحدود الدنيا من التلوث بحيث يتم التوصل إلى نتائج معتمدة ومكررة. تتناول مطبوعات عديدة الاعتبارات الإدارية في تصميم إجراء اختبارات التربة مثل (Walsh and Beaton, 1973). في حين تتمتع التصميمات القياسية للمختبرات بمزايا واضحة، حيث تعاني أكثر المختبرات الموجودة في منطقة CWANA من حالات نقص واضحة للعيان في هذا الصدد (Ryan, 2000; Ryan et al., 1999). إذ كثيراً ما يرى المرء عينات من التربة تُحفظ، أو الأسوأ من ذلك، تُطحن داخل مختبرات التحاليل الكيميائية. وبالمثل، أنشئ الكثير من المخابر بطريقة لا تتيح الاستخدام المرُضي لطاقت العاملين فيها.

ينبغي أن تتيح مرافق تحليل التربة، والنبات، و المياه في نفس المبنى وبإشراف إدارة موحدة. فمختبر تحليل التربة والنبات لبرنامج إدارة الموارد الطبيعية في إيكاردا قد صُمم وفق هذه الاعتبارات (الشكل رقم 3). إذ تعكس المكونات العديدة للتسهيلات الموجودة إطاراً منطقياً لسير العمل.

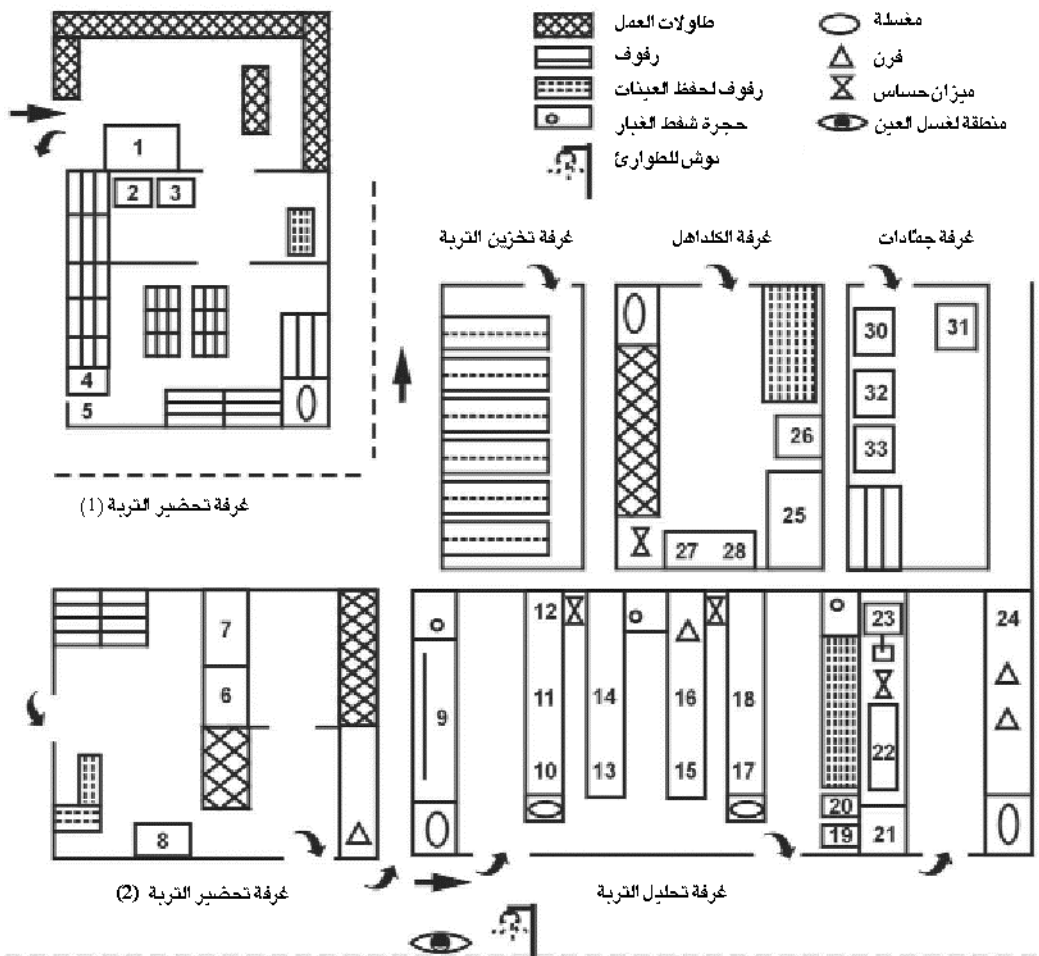
ففي غرفة تحضير عينات التربة رقم 1، يتم استلام عينات ضخمة بعد نقلها بالشاحنة، ثم يتم تجفيفها وغربلتها وحفظها في مجموعة صناديق، ويتم الاحتفاظ بقاءمة بالموجودات أو كتالوج لجميع عينات التربة. وتحفظ جميع العينات في هذه الغرفة لمدة سنتين على الأقل بعد إجراء التحاليل المطلوبة، كما يتم الاحتفاظ بعينات من أنواع خاصة من الترب لوقت غير محدد. ويعتبر هذا المرفق متكاملًا، إذ يضم فرنًا كبيرًا، وجمادة، وجاروشة تربة، ومكان لشطف الغبار، وآلة هواء مضغوط.

تؤخذ مقادير صغيرة (حوالي 1 كغ) إلى غرفة تحضير عينات التربة رقم 2، وتوزن على أوعية مناسبة بغية إجراء التحاليل الكيميائية. وتوضع العينات بعد ذلك في مستودع التربة، ثم تنقل الكمية المُعدة من العينات الموزونة في عربة إلى المختبر المجاور لإجراء التحاليل.

غرفة كلاهل Kjeldahl منفصلة لتحليل النباتات بطريقة كلاهل. وتؤخذ مستخلصات التربة عند الضرورة إلى غرفة الأجهزة instruments لإجراء التحاليل المختلفة (تحتوي على أجهزة عديدة مثل جهاز

التحليل الطيفي بالامتصاص الذري atomic absorption spectrophotometer. والمحلل بطريقة الحقن المتدفق flow injection، والحاسب... إلخ). وعندما يكون عدد العينات كبير حيث يمكن أن يحدث التأخير تغييرات جرثومية في مواد التربة، تُحفظ العينات في غرفة التجميد بشكل مؤقت. حيث أنه لا يشبه مختبر مختبراً آخر أو يكون فيهما المعدات ذاتها، إلا أن عرضنا لتفاصيل مختبر إيكاردا (الشكل رقم 3) قد يكون كما نأمل، موجهاً عاماً في إدارة المختبرات ونوعية التجهيزات المطلوبة بغية القيام بالعمليات الروتينية.

- | | | | |
|---|--|--------------------------------------|---------------------------------|
| 23. جهاز التحليل الطيفي بالامتصاص الذري | باللون | 10. جهاز وحدة التقطير ووحدة المعايرة | 1. فرن |
| 24. مرمدة | 16. ماصة آلية | 11. جهاز الناقلية الكهربائية | 2. جمادة |
| 25. جهاز وحدة الكلداهل | 17, 18. وحدة تقطير الأزوت ووحدة المعايرة | 12. جهاز التحليل الطيفي باللهب | 4. مطحنة تربة و حجرة شفت الغبار |
| 26, 27, 28. ماصات آلية | 19. حاخنة | 13. جهاز قياس درجة الحموضة pH | 5. مضخة هواء |
| 29. طاولة معايرة | 20. براد | 14. المحلل الأيونوني Ion Analyzer | 6. طاولة تحضير العينات |
| 30, 31. جمادات | 21. حاسوب | 15. جهاز التحليل الطيفي | 7. مطحنة تربة |
| 32, 33. برادات | 22. المحلل الذاتي بطريقة الحقن Flow Injection Analyzer | | 8. خزنة لحفظ العينات |
| | | | 9. مجموعة ترشيح العينات بالفريغ |



الشكل رقم 3. مخطط تفصيلي لمرافق مختبر تحليل التربة والنبات في إيكاردا

2.3 السلامة المخبرية

تعتبر إجراءات السلامة في مختبرات تحليل التربة والنبات على جانب كبير من الأهمية، كما هو الحال في أي مكان عمل، علماً أنها كثيراً ما تهمل. وتقع مسؤولية مراعاة تلك الإجراءات على عاتق العاملين في المختبرات والمنظمات التي تديرها.

وينبغي إطلاع جميع العاملين بغض النظر عن الدرجة الوظيفية والمستوى الفني والوضع الوظيفي لهم، على جميع جوانب إجراءات السلامة عند بدء العمل. كما يجب إصدار مذكرات حول تلك الإجراءات بين الحين والآخر بغية مواصلة التقيد بها.

ولما كان هناك عدد كبير من قواعد السلامة، بذلنا جهدنا لتلخيص أكثرها أهمية ووضعها ضمن فئات محددة، علماً أننا اعتمدنا في ذلك على تعليمات السلامة المخبرية التي وضعها (Kalra and Maynard (1993) و (Okalebo *et al.* (1991).

تعليمات عامة

1. ليكن موقفك *إيجابياً* من إجراءات السلامة المخبرية.
2. اتبع تعليمات السلامة المخبرية العادية.
3. اعمل على أن يكون جو العمل آمناً ونظيفاً.
4. تجنب العمل وحيداً.

تشغيل الآلات

5. عند تشغيل الآلات، اتبع إجراءات السلامة التي يزودك بها مصنعو تلك الآلات.
6. راقب الآلات أثناء تشغيلها.
7. يجب تأمين وسيلة لطردهم الغازات المنبعثة من جهاز التحليل الطيفي بالامتصاص الذري خارج المختبر، كما يجب التأكد من امتلاء أنبوب الصرف drain trap بالماء قبل إشعال الحراق burner.
8. لا ترفع أبداً غطاء جهاز الطرد المركزي حتى تتوقف الآلة تماماً.

الحوادث

9. تعلم كيف تتصرف في حالات الطوارئ (مثلاً، حريق أو انسكاب مواد كيميائية،... إلخ). فجهاز إطفاء الحريق يجب أن يكون في متناول اليد، كما يجب إجراء صيانة دورية له.
10. تعلم كيف تقوم بالإسعافات الأولية *first aid* الطارئة. إن وجود مواد الإسعافات الأولية في المختبر أمر

- على جانب كبير من الأهمية، وعلى العاملين في المختبر التدريب على استخدامها. إن استبدال المواد المستهلكة يجب أن يتم في الوقت المناسب.
11. في حال تضرك بالمواد الكيميائية، استشر طبيباً في الحال، وريثما يتم العلاج قم بإجراء الإسعافات الأولية.
12. يجب أن تكون صنابير المياه الخاصة بغسل العيون ودشات الأمان لغسل الجسم جاهزة على الدوام، كما يجب فحصها بين فترة وأخرى للتأكد من صلاحيتها.

المواد الكيميائية

13. استعمل حجرة شطف الغازات fume hood عند استخدامك الأحماض المركزة، المواد القلوية، أو أية مادة كيميائية خطرة.
14. عند استخدام ماصة لا تسحب أية مادة بالفم، استعمل دوماً بالون المص المطاطية suction bulb.
15. عند تخفيف السوائل، أضف دائماً الحمض إلى الماء وليس العكس.
16. كثير من الأملاح المعدنية شديدة السمية وقد تكون خطرة فيما إذا ابتلعت. أغسل يديك بشكل كامل بعد استخدامها، ونظف المواد الكيميائية المنسكبة في الحال، وأفرغ سلة المهملات بصورة منتظمة.
17. ينبغي وضع لصاقات على جميع زجاجات المحاليل وفي مكان بارز، متضمنة معلومات عن أي خطر محتمل. كما يجب تطبيق ذلك بشكل خاص على المواد السامة والمخرشة والقابلة للاشتعال.

الأفران ، المرمدات ، و السخانات

18. استعمل ملاقط أو قفازات مقاومة للحرارة لإخراج المواد من السخانات الحارة، والأفران، والمرمدات.

استعمال الغاز

19. يجب أن تكون أسطوانات الغاز المضغوط في وضع آمن في جميع الأوقات، كما يُفضل تجهيز المختبر بمرفق غاز مركزي.

الصيانة

20. يجب أن تُجرى أعمال الصيانة للأدوات الكهربائية و أنابيب المياه من قبل فنيين، كما يجب فحص حجرة شطف الغازات بشكل منتظم .
21. على اعتبار أن معظم الأجهزة تُشغل بتيار منخفض الاستطاعة ، فإن منبع الطاقة المتواصل (UPS) an Un-interruptible power supply يقوم بتزويد طاقة ثابتة و يسمح بقياس أية مجموعة في حال انقطاع الطاقة.

الأكل والشرب

22. لا تأكل أو تشرب أو تدخن في المختبر، إذ يجب الامتناع عن هذه الأعمال بالقرب من طاولة العمل في المختبر لاعتبارات صحية، وذلك بهدف الإقلال من التلوث. ولتطبيق هذه التعليمات لابد من تخصيص أماكن للعاملين لقضاء الاستراحة فيها.
23. لا تستخدم الأوعية المخبرية في الأكل أو الشرب.
24. لا تحفظ الطعام في المختبر.

مستلزمات الوقاية

25. استعمل مستلزمات الأمان التالية:

- **وقاية الجسم**
استخدم صدرية مخبرية أو مريول مقاوم للمواد الكيميائية.
- **وقاية اليدين**
استخدم قفازات، خاصة عندما تتعامل مع الأحماض المركزة والقلويات والمواد الكيميائية الخطرة.
- **واقى اليدين من الغبار**
استخدم الواقى من الغبار عند طحن عينات التربة والنبات، ... ما إلى ذلك.
- **وقاية العينين**
استخدم نظارات أمان ذات حجاب واقى جانبي، وعلى الأشخاص الذين يضعون عدسات لاصقة أن يستخدموا باستمرار نظارات أمان في المختبر. تأكد من أن زملاءك يعرفون أنك تضع عدسات لاصقة. يجب عدم وضع عدسات لاصقة أثناء العمل بالمواد المخرشة.
- **الحجاب الواقى للوجه**
ضع الحجاب الواقى فوق نظارات الأمان عند إجراء تجارب تستخدم فيها مواد كيميائية مخرشة.
- **وقاية القدمين**
ينبغي ارتعال حذاء مناسب، أما الصندل فيجب عدم ارتعاله في المختبر.

التخلص من الفضلات

26. ينبغي سكب الفضلات السائلة بحذر في المغسلة مع كمية من الماء كافية لتخفيفها ومن ثم إزالتها بالماء الدافق. تذكر أن القوانين المحلية غالباً ما تمنع التخلص من بعض المواد الخاصة عن طريق شبكة المجاري العامة.
27. تخلص من الأوعية الزجاجية المفتتة أو المكسورة بوضعها في حاويات مميزة و واضحة.

استمرار التوجيه

- اعرض في مكان بارز ملصقات حول إجراءات السلامة المخبرية "Laboratory Safety" ملصقات تصف بالصور المراحل المتعددة للأنشطة المخبرية.
- وبالمثل، يجب عرض ملصقات توضح بالصور الإسعافات الأولية التي يجب القيام بها في حال وقوع حوادث في المختبر. لا توضع للزينة مثل هذه الملصقات وإنما لحماية العاملين في المختبر لذلك عليهم الإلمام بكل الإجراءات والاستعداد لجميع الاحتمالات.
- إذا كان المختبر جزءاً من مؤسسة كبيرة، يجب على العاملين فيه أن يعرفوا مسؤول الأمن Safety Officer أو الشخص المسؤول عن هذا الموضوع. أما إذا كان المختبر صغيراً، فيجب عندها تكليف أحد العاملين بهذه المسؤولية.

التلوث

- إن أكثر الجوانب سلبية في أي مختبر هو التلوث، لذلك ينبغي تحديد مصادره ومن ثم التخلص منها. وفيما يلي بعض مصادر التلوث الشائعة:
- الغبار الخارجي الذي يحمله الهواء من البيئة المحيطة.
 - الغبار الداخلي الناجم عن عمليات التنظيف.
 - التلوث المتداخل الناجم عن التعامل مع عينات عديدة في وقت واحد (أي التعامل مع عينات من التربة والنبات معا).
 - الفشل في حفظ المحاليل المتطيرة بعيداً عن العينات.
 - مواد الغسل، لا سيما مساحيق التنظيف.
 - التدخين في المختبر.

3.3 التحكم في الجودة و توحيد الإجراءات

إن المعلومات الواردة في هذا القسم مأخوذة عن كتاب (Okalebo *et al.* (1993). يعتبر التحكم في الجودة جزءاً أساسياً من المعاملات المخبرية الجيدة. فخلال التحاليل الدورية قد تظهر تدريجياً الأخطاء الناجمة عن التلوث، والتغيرات في جودة المحاليل، والفروقات الناجمة عن الظروف البيئية، وخطأ المحلل، و الخطأ في معايرة الجهاز أو فشله. إن الإنتاجية القصوى و الدقة الوافية يمثلان هدفين مهمين. يجب أن تعطي القياسات المتكررة للعينة الجافة هوائياً نتائج موحدة عند تحليلها على مدى فترة محددة بالنسبة لمعظم الإجراءات الكيميائية الروتينية. ينتج انحراف القيمة الملحوظة عن قيمتها المطلقة إما عن أخطاء نظامية errors systematic أو عشوائية Random errors.

بعد أن يتم تحديد هذه الأخطاء، يصبح تصحيح الأخطاء النظامية فيها أكثر سهولة من تلك التي تحدث عشوائياً. هناك ثلاثة إجراءات احتياطية أساسية يجب مراعاتها لتحقيق التحكم في الجودة بالمختبر، ولذلك ينبغي أن تقوم روتينياً بعملية اختبار العينات. تشمل هذه الإجراءات استخدام الشواهد blanks والمكررات repeats والعينات القياسية المحلية internal references كما سيرد أدناه.

عند إدخال أية طريقة جديدة إلى المختبر، لا بد من تقييم دقتها ومقارنتها بالاختبارات الحالية الجارية. إذ ينبغي مقارنة كلتا الطريقتين لعينة مختبرة متجانسة باستخدام عشرة مكررات مع حساب الانحراف المعياري لكل مجموعة، مما يوفر مقياساً للدقة measure of precision. عندئذ يجب إضافة كمية معروفة من المحلول إلى العينة المختبرة المتجانسة، ثم تكرر الطريقتان ويتم حساب الوسطي mean والانحراف المعياري standard deviation. يؤمن التوافق بين الزيادة في القيم المتحصلة والزيادة المعروفة في تركيز العينة المختبرة اختبار الدقة test of accuracy. أما بالنسبة للطرق التي يتم فيها عادة تفاعل المادة المختبرة مع المحلول المضاف كما هو الحال مع التربة المثبتة للفوسفور، يمكن إجراء هذا الاختبار باستخدام محاليل مناسبة.

1. الشواهد

الشواهد هي مركبات تفاعل تخضع لنفس الإجراءات التي تخضع لها العينة في مجموعة ما، إلا أنها لا تحتوي على المادة المختبرة المضافة. والشواهد تتيح تصحيح أي تلوث صادر عن المحاليل المستخدمة في التحاليل، أو ورق الترشيح، أو أية مصادر أخرى للتلوث. فإذا كانت قيم الشواهد ثابتة، يمكن عندها طرح متوسط القيمة من قيمة العينة. عندما تُعطي الشواهد قيمة كبيرة فإن هذا يدل على وجود تلوث خارجي شديد مما يفرض في هذه الحالات إعادة تحليل المجموعة كلها.

2. المكررات

ينبغي إعادة تحليل عينة واحدة كحد أدنى من كل عشرة عينات مختارة من مواد الاختبار وموضوعة عشوائياً ضمن المجموعة، إذ أن اختيار عينة واحدة من كل عشرة عينات بديلاً مقبولاً لتحليل جميع العينات بشكل مضاعف لما يوفره من وقت وجهد ومصاريف. من البديهي أن تتشابه النتائج التحليلية لزوج من المكررات المضاعفة إلى حد كبير. بشكل عام، يجب أن تكون قيم المكرر ضمن $\pm 2.5-5.0\%$ من القيمة المتوسطة لهما وذلك بالاعتماد على التحليل المطلوب، لا بد من التحقق في حال وجود تعارض أكبر. وإذا لم تكن قيم المكرر موحدة، فلا بد من إعادة تحليل مجموعة العينات بأكملها.

3. العينات القياسية المحلية

تعتبر العينات القياسية المحلية ضرورية لكل نوع من المواد المختبرة و لكل تحليل يُجرى في المختبر. يجب أن تكون تلك العينات مختلفة عن المادة المتجانسة التي تستخدم بصورة دورية في اختبار الطرائق الجديدة والأساليب التحليلية. يجب أن تحوي كل مجموعة مُحللة على عينة مأخوذة من كتلة العينة الكبيرة المتجانسة المركبة والممزوجة بشكل جيد. قد يشير الاختلاف عن المتوسط لما تم حسابه في المجموعات السابقة إلى وجود خطأ ما.

يمكن رسم النتائج التحليلية للعينات القياسية المحلية بيانياً على مخطط خاص بالتحكم في الجودة لرصد كفاءة التحاليل خلال فترة زمنية محددة. ويمكن اتخاذ إجراء تصحيحي إذا تجاوزت أية قيمة مفردة حدود الانحراف المعياري ± 3 إذا تجاوزت أية قيمة مزدوجة حدود الانحراف المعياري ± 2 . ويمكن إعادة تقييم الحدود الحرجة بين فترة وأخرى عن طريق إعادة حساب مجمل الانحراف المعياري للعينة القياسية المحلية أثناء تراكم المزيد من البيانات.

4. توحيد الطرائق

لا يمكن إجراء مقارنة سليمة ما بين النتائج إلا إذا جاءت حصيلة طرائق موحدة. ويمكن تحسين التعاون بين المختبرات عن طريق تبادل المواد القياسية ومن ثم مقارنتها (Ryan and Garabet, 1994). ويطلق على تلك المواد القياسية اسم العينات القياسية الخارجية "External References". وتشكل شبكة المركز الدولي لعينات التربة والمعلومات (ISRIC) في هولندا مثلاً عن عملية التوحيد. من خلال البرامج الدولية لتبادل تحاليل التربة والنبات.

إن معظم العينات القياسية الخارجية باهظة الثمن، وإنه يزيد استخدامها المتكرر من تكاليف تشغيل المختبر، في حين أن العينات القياسية المحلية أرخص منها بكثير. لذلك، وفي حال توطيد العلاقة بين العينات القياسية المحلية والعيّنات القياسية الخارجية، يمكن تخفيض التكاليف عن طريق الاستخدام المتكرر للعينات القياسية المحلية إلى جانب استخدام العينات القياسية الخارجية بين فترة وأخرى، مع ضمان الحصول على نتائج مقبولة.

4.3 معالجة البيانات

يتم إنتاج كميات كبيرة من المعلومات في أي مختبر لتحليل التربة والنبات. ولكي يُبرر وجود مختبر ما من الناحية الإقتصادية، فإنه يتعين علينا الاحتفاظ بسجل عن عدد العينات التي جرى عليها التحليل ونوع التحاليل التي تم إجراؤها. ومع دخول استخدام الحاسب في هذا المضمار، أصبح من السهل تخزين هذه المعلومات واسترجاعها. حيث توفر المعالجة الحاسوبية المميزات التالية :

1. التعامل بشكل أسهل مع مجموعات البيانات الكبيرة؛
2. الإقلال من الأخطاء في إعداد التوصيات؛
3. إعداد التقارير؛
4. أتمتة عمليتي وضع القوائم والعناوين؛
5. سهولة الحصول على بيانات قيمة لإعداد ملخصات عن اختبارات التربة.

تعتمد درجة استخدام الحاسب التي ينبغي أن تصل إليها المختبرات، على حجم العينة والموقع ومدى الخدمات التي سيقومها المستخدم. وبشكل عام، تحتاج المختبرات التي تقوم بتحليل أحجام كبيرة من العينات، وتقدم طيفاً واسعاً من التحاليل، إلى مزيد من التطور الحاسوبي وعمليات الأتمتة أكثر من تلك المختبرات المحدودة العينات والتحليل.

لتسهيل معالجة البيانات، يجب تأمين سجلات قياسية للمعلومات، علماً أن هذه السجلات تتباين بين مختبر وآخر، إلا أنها تحتوي عادة على تفاصيل حول التحاليل المطلوبة للعينة وعلى معلومات عن المحصول الذي ستتم زراعته: نموذج التربة وتاريخ الزراعة السابقة، لا سيما فيما يتعلق بالتسميد. تمكن هذه المعلومات من الإجابة على أسئلة حول مدى نقص العناصر الغذائية في المناطق التي أُخذت منها العينات وكيفية تغير مستويات الخصوبة على مدى السنين.

يتزايد حالياً استخدام برامج الحاسب في تفسير بيانات اختبار التربة وصياغة التوصيات في مجال التسميد. وبالفعل فقد توفرت برامج عديدة من هذا القبيل، فاستمارات التقارير الموحدة الخاصة بوضع توصيات تتعلق بالأسمدة، تجمع بين مدخلات بيانات التربة ومعلومات عن التربة والمحصول. وللقيام بذلك، يجب معايرة الاختبارات المستخدمة (NO_3-N) في التربة، والفوسفور القابل للاستخلاص،... إلخ باستجابة المحاصيل الحقلية.

تخزن النتائج التحليلية التي تم الحصول عليها من مختبر إيكاردا، فضلاً عن حصيلة ضخمة نسبياً من التحاليل المقترنة بعدد ضخم من التجارب المنفذة في محطات البحوث وحقول المزارعين، في برنامج الحاسب بهدف التوصل إلى توصيات سمادية قائمة على قيم اختبارات التربة. حيث تتوفر خرائط التربة وبيانات الهطل المطري، يمكن أن تساعد من خلال القيم المتراكمة لاختبارات التربة في مواقع معروفة في علاقات مع نموذج التربة والمنطقة والنطاق المناخي،... إلخ.

4. التحليل الفيزيائي للتربة

تتعدد القياسات الفيزيائية للتربة اعتماداً على الهدف من الدراسة للأغراض الزراعية. تشمل هذه القياسات عموماً، المحتوى المائي للتربة *soil water content*، والرشيح *infiltration*، والناقلية المائية *hydraulic conductivity* والتبخر-النتح *evapotranspiration*، ودرجة الحرارة *temperature*، ودرجة الانعكاس *reflectivity*، والمسامية *porosity*، وحجم الحبيبات *particle size*، والكثافة الظاهرية *bulk density*، وثباتية التحبب *aggregate stability*، والتوزيع الحجمي لمكونات التربة *particle size distribution* (Klute, 1986). على أية حال، لا يجري في العادة سوى عدد محدود من القياسات الفيزيائية في مختبرات تحليل التربة والنبات.

يتم قياس رطوبة التربة بشكل نظامي في العينات الحقلية نظراً لتقدير جميع التحاليل الكيميائية على أساس الوزن الجاف بالفرن. وعلى اعتبار أن قوام التربة *texture* (سواء أكان رملياً أم طينياً) مهم جداً من حيث سلوك العناصر الغذائية، يُجرى غالباً اختبار التوزيع الحجمي لمكونات التربة لاسيما إذا كان المطلوب مزيداً من الدقة وليس الحصول على القيم بالطريقة التقريبية اليدوية "المحسوسة".

إن القياسات الفيزيائية للتربة الشائعة وبشكل خاص في أنواع التربة المروية تتلخص في تحضير عجينه مشبعة وحيث تعطي مستخلصاً تُقاس فيه الأنيونات والكاتيونات الذائبة، كما تعتمد معايير نقص بعض العناصر أو سميتها على تركيزات العناصر في مستخلصات التربة. فعلى سبيل المثال، تعتمد المعايير لتحمل الملوحة، المدرجة في الملحق رقم 14، على مستخلص العجينة المشبعة. وبصورة مشابهة، تعتمد المعايير للبورون فيما يتعلق بنمو النبات، المدرجة في الملحق رقم 15 على هذا المستخلص.

1.4 محتوى التربة من الرطوبة

يعتبر الماء من أكثر العوامل المحدودة في منطقة CWANA، لذلك كان تقدير محتوى التربة من الرطوبة أمر في غاية الأهمية، إذ لا يقتصر تأثير رطوبة التربة على نمو المحصول فحسب بل يتعداه إلى تحولات العناصر الغذائية *nutrient transformation* والسلوك البيولوجي للكائنات الحية *biological behavior*. لذلك في إيكاردا، تقاس رطوبة التربة روتينياً في معظم التجارب الحقلية. وعلى الرغم من إمكانية تقديرها في الحقل بواسطة جهاز مُسبار النيوترونات *neutron probe* إلا أن طريقة التجفيف *gravimetric approach* تعتبر أكثر مرونة لأنه عندئذ يمكن أخذ العينات بسهولة من أي موقع في التربة. وتتعلق جميع التحاليل التي تُجرى في المختبر على أساس الوزن الجاف بالفرن أو الهواء، لذلك يجب دراسة محتوى رطوبة التربة الفعلي (Hesse, 1971).

الأجهزة

فرن كهربائي ذو منظم ذاتي لدرجة الحرارة *thermostat*.
مجفف.

طريقة العمل

1. زن 10 غرام تربة جافة هوائياً (أقل من 2 مم) في علب معدنية مجففة ذات غطاء (عند درجة حرارة 105°م) وموزونة سابقاً (وزن التربة مع العلب قبل التجفيف).
2. جفف العينات بالفرن على درجة حرارة 105°م، والعلبة المعدنية مفتوحة طوال الليل.
3. في اليوم التالي، أخرج العينات من الفرن، أغلق العلب مباشرة، ثم برد العينات بالمجفف لمدة 30 دقيقة على الأقل، ومن ثم زن العينات مرة ثانية (وزن التربة مع العلب بعد التجفيف).

الحسابات

$$(2) \quad 100 \times \frac{\text{التربة الرطبة (غ)} - \text{التربة الجافة (غ)}}{\text{التربة الجافة (غ)}} = \text{الترية في التربة } (\theta)$$

$$(3) \quad \text{التربة الجافة (غ)} = \frac{1}{\frac{\theta}{100} + 1} \times \text{التربة الرطبة (غ)}$$

$$(4) \quad \frac{100 + \% \theta}{100} \quad \text{أو} \quad \frac{\text{التربة الرطبة}}{\text{التربة الجافة}} = \text{عامل الرطوبة}$$

2.4 التوزيع الحجمي لمكونات التربة (التحليل الميكانيكي)

تتباين حجوم حبيبات التربة الفردية في أي نوع من أنواع الترب تبايناً واسعاً. كما تتنوع أشكال التجمعات وحجوم الترب عند تجمع هذه الحبيبات معاً بوجود مواد لاصقة. وبالنسبة لتحديد حجوم الحبيبات الأولية تحلل حبيبات التربة التي يمكن أن تخزل بمنخل 2مم. وتحدد طرائق تحليل التربة بشكل عام النسبة المئوية لجزيئات الرمل (0.05-2.0 مم) السلت (0.002-0.05)، والطين (أصغر من 0.002) في التربة. التوزيع الحجمي لمكونات التربة عامل مهم في تصنيف التربة ومعرفة ما تتضمنه التربة من الماء ونسبة التشبع بالهواء والعناصر الغذائية المتاحة للنبات.

ولأن هذه الحبيبات الأولية عادة تتلاصق معاً بوجود مادة عضوية كان لابد من إزالة هذه المادة بمعاملة تلك الحبيبات بمحلول فوق أكسيد الهيدروجين (الماء الأوكسجيني H_2O_2) ومن ناحية ثانية، إذا وجدت كميات كبيرة من كربونات الكالسيوم $CaCO_3$ ، عندها لا يمكن تحديد النسب المئوية الفعلية للرمل، والسلت، والطين إلا بعد إزالة $CaCO_3$ من التربة. إن الطريقتين الشائعتين لتحليل التوزيع الحجمي لمكونات التربة particle size analysis أو التحليل الميكانيكي mechanical analysis هما طريقة الهيدرومتر hydrometer method (Bouyoucos, 1962; Day, 1965; FAO, 1974) أو طريقة الماصة pipette-gravimetric method.

تعتمد طريقة الهيدرومتر في قياس السلت والطين على تأثير حجم الحبيبة على سرعات سقوط الحبيبات المختلفة ضمن عمود الماء. نظرياً، يفترض أن تكون الحبيبات كروية الشكل وذات كثافة نوعية تقدر بـ 2.65 غرام/سم³ فإذا كانت جميع العوامل الأخرى ثابتة، عندها تتناسب سرعة ترسب حبيبات التربة الفردية طردياً مع مربع أنصاف أقطارها حسب قانون ستوكس (Stoke's Law). وأيضاً تعتبر سرعة سقوط حبيبات التربة الفردية مؤشراً على درجة حرارة السائل واللزوجة والكثافة النوعية للحبيبات المترسبة. أما من الناحية العملية، فيجب أن نعرف درجة حرارة السائل ومن ثم نخزل التصحيحات المناسبة. إذ تؤدي درجات الحرارة الأكثر ارتفاعاً إلى تخفيض اللزوجة نتيجة لتمدد السائل وترسب أسرع للحبيبات المتساقطة.

الأجهزة

خلاط لتفكيك التربة: خلاط كهربائي عالي السرعة مع كأس الخلاط.
هيدرومتر ذو مقياس بيوكس Bouyoucos غرام/ليتر (ASTM 152H).

المحاليل

أ. المحلول المفرق

أذب 40 غ من صوديوم هيكسا ميتافوسفات $[(NaPO_3)_6]$ ، و 10 غ من كربونات الصوديوم

(Na₂CO₃) في الماء المقطر، أكمل الحجم إلى لتر بإضافة الماء المقطر. إن هذا المحلول يفسد مع مرور الوقت، لذا يجب أن لا يُحفظ لأكثر من أسبوع أو أسبوعين.

ب. الكحول الأميلي

طريقة العمل

1. زن 40 غ تربة جافة هوائياً (2 مم) في كأس بيكر سعة 600 مل.
2. أضف 60 مل من المحلول المفروق.
3. غط الكأس بزجاجة ساعة watch-glass، واتركه طوال الليل.
4. انقل محتويات الكأس كلياً إلى كأس خلاط التربة، واملأ حوالي ثلاثة أرباعه بالماء.
5. حرك المعلق بسرعة عالية باستخدام الخلاط الكهربائي ولمدة 3 دقائق. أو رج المعلق طوال الليل في حال عدم وجود خلاط كهربائي.
6. اغسل بلطف محرك الخلاط إلى الكأس، واتركه لمدة دقيقة.
7. أنقل المعلق كلياً إلى اسطوانة هيدروميترية hydrometer jar سعة لتر، وأكمل إلى الحجم المطلوب بإضافة الماء.

أ. تقدير الشاهد

- خفف 60 مل من المحلول المفروق إلى لتر في اسطوانة هيدروميترية بإضافة الماء.
- امزج المعلق جيداً، ضع مقياس الهيدروميتر، وخذ القراءة، R_b .
- يجب أخذ قراءة الشاهد عند التغيرات في درجة الحرارة لأكثر من درجتين مئويتين ابتداءً من 20°م.

ب. تقدير السلت والطين

- أمزج المعلق في اسطوانة الهيدروميتر بعناية، مستخدماً محرك خاص، اسحب المحرك، واغمس مباشرة مقياس الهيدروميتر.
- أزل أية رغوة، عند الضرورة، بإضافة نقطة من الكحول الأميلي، وخذ قراءة الهيدروميتر بعد 40 ثانية وذلك بعد سحب المحرك. ستعطي هذه القراءة، R_{sc} .

الحسابات

النسبة المئوية للسلت والطين:

$$(5) \quad \frac{100}{\text{التربة الجافة بالفرن (غ)}} \times (R_b - R_{sc}) = (W/W) \text{ [الطين + السلت] \%}$$

ج. تقدير الطين

- أمزج المعلق في اسطوانة الهيدرومتر بالمحرك، اسحب المحرك، وبعباية كبيرة دع المعلق يهدأ.
- بعد 4 ساعات، ضع مقياس الهيدرومتر، ثم خذ قراءة الهيدرومتر، R_c .

النسبة المئوية للطين:

$$(6) \quad \% \text{ الطين } (W/W) = \frac{100}{\text{التربة الجافة بالفرن (غ)}} \times (R_b - R_c)$$

النسبة المئوية للسلت:

$$(7) \quad \% \text{ السلت } (W/W) = \% \text{ الطين } + \text{ السلت } (W/W) - \% \text{ الطين } (W/W)$$

د. تقدير الرمل

- بعد أخذ القراءات المطلوبة للطين والسلت، اسكب المعلق عبر منخل 50 ميكرومليتر (μm)
- اغسل المنخل حتى يصبح الماء المار عبره نظيفاً.
- انقل الرمل بالكامل من المنخل إلى 50 مل كأس بيكر معروف الوزن.
- اترك الرمل يترسب في كأس البيكر، ثم اسكب الماء الزائد.
- جفف كأس البيكر مع الرمل طوال الليل عند درجة حرارة 105 °م.
- برد الكأس في المجفف، ومن ثم أعد وزنه مع الرمل.

النسبة المئوية للرمل:

$$(8) \quad \% \text{ رمل } (W/W) = \text{وزن الرمل} \times \frac{100}{\text{التربة الجافة بالفرن (غ)}}$$

حيث أن: وزن الرمل يحسب كالتالي:

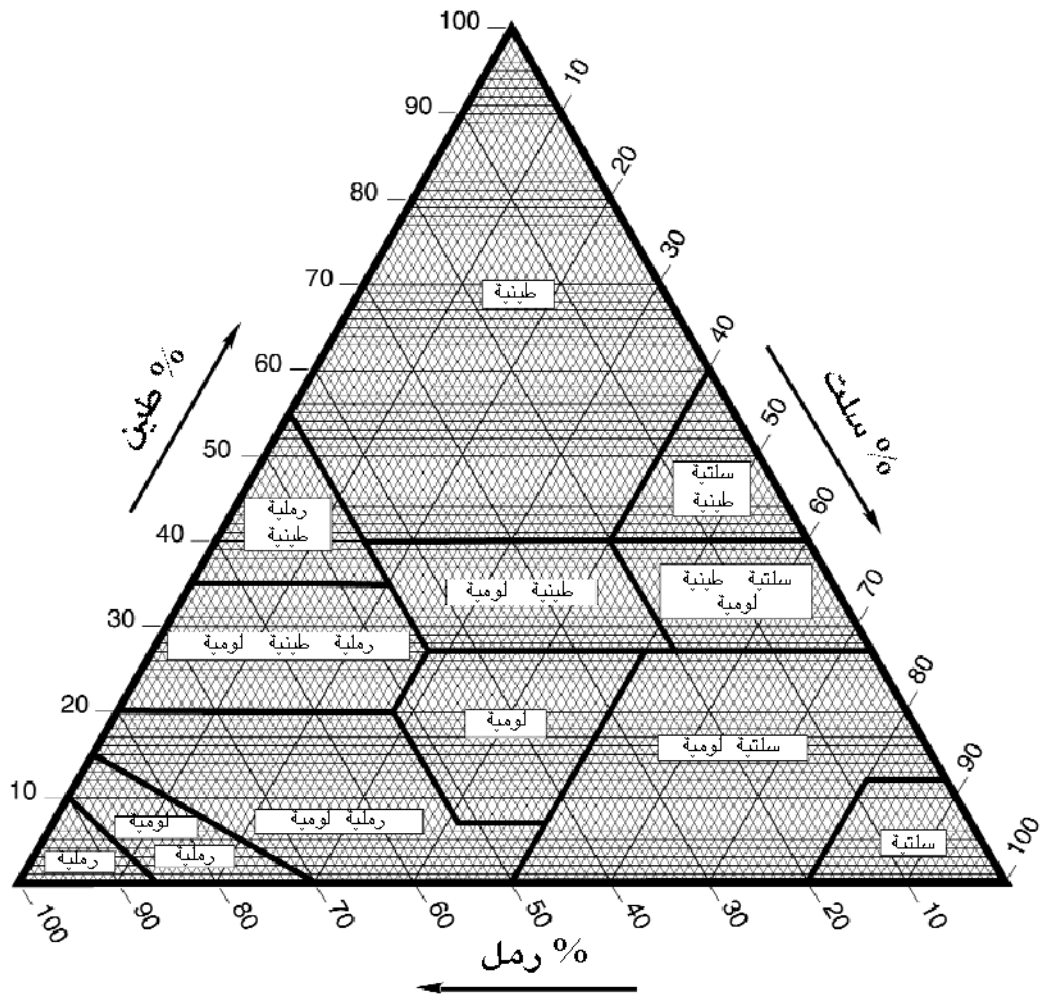
$$(9) \quad \text{وزن الرمل (غ)} = [\text{رمل} + \text{كأس بيكر (غ)}] - [\text{كأس بيكر (غ)}]$$

ملاحظات

1. إذا أمكن، وضع كل أسطوانات الهيدرومتر في حمام مائي بدرجة حرارة ثابتة (20°م)، عندها ليس من الضروري تصحيح درجة الحرارة.
2. من أجل تصحيح درجة الحرارة، استخدم القيمة 0,4 لكل درجة حرارة مختلفة عن 20°م، أضف أو اطرح هذا العامل إذا كانت درجة الحرارة أعلى أو أدنى من 20°م على التوالي.
3. يجب أن يُعبر عن جميع نتائج التحليل الميكانيكي على أساس تربة جافة بالفرن (24 ساعة على درجة حرارة 105°م).
4. في الطريقة المذكورة أعلاه، لا يمكن إزالة الكربونات والمادة العضوية من التربة.
5. لا يمكن تطبيق طريقة الهيدرومتر، الموصوفة في هذا القسم، على التربة التي تحتوي على جبس حر (الترب الجبسية). أما بالنسبة للترب الجبسية انظر (Hesse 1971).
6. يجب أن يكون مجموع السلت والطين بالإضافة إلى الرمل يساوي 100%، وأن أي انحراف عن 100 يُعدّ مؤشراً على عدم الدقة.

تحديد قوام التربة

بعد قياس ومعرفة نسب الرمل، والسلت، والطين، يتم تحديد قوام التربة بناءً على مثلث القوام USDA textural triangle (الشكل رقم 4). ومن خلال مثلث القوام، يمكن معرفة أنواع الترب، المتنوعة بناءً على النسب الموجودة من الحبيبات الترابية.



الشكل رقم 4. مثلث قوام التربة USDA

3.4 العجينة المشبعة

يعد استخدام مستخلص من عجينة مشبعة على قدر كبير من الفائدة لوصف الترب المالحة لأنه يكشف عن الأملاح التي تؤثر في نمو النبات. كما يمكن الحصول بهذه الطريقة على الكاتيونات والأنيونات الذائبة وتقدير قياسات مهمة أخرى كنسبة الصوديوم المدمص (SAR) والتي تتنبأ بدورها بالنسبة المئوية للصوديوم المتبادل (ESP). وقد وضعت معايير لمقاومة سمية البورون لأصناف نباتات متنوعة طورت لمثل هذه المستخلصات (Richards, 1954).

لذلك، يستخدم وبشكل روتيني مستخلص العجينة المشبعة حيث تكون الملوحة موضع اهتمام. وعلى كل حال، نادراً ما يستخدم ذلك المستخلص في المناطق الجافة، والتي تشكل القسم الرئيسي من منطقة CWANA. ومع ذلك يتزايد استخدامه في تحليل التربة مع الاهتمام بالري التكميلي في المناطق الجافة تقليدياً.

إن الكاتيونات التي تحلل في مستخلص العجينة المشبعة هي: Ca^{++} , Mg^{++} , K^{+} , و Na^{+} . أما الأنيونات فهي: SO_4^{--} , CO_3^{--} , HCO_3^{-} , و Cl^{-} . غالباً ما يقاس البورون في المستخلصات المشبعة عند توقع السمية.

الأجهزة

جفنتان من البورسلين.
المُبَسِّط (سباتولا) spatula أو ملاعق لمزج التربة mixing spoons.
جهاز التفريغ vacuum filtration system.

طريقة العمل

1. زن 200-300 غ تربة جافة هوائياً (أقل من 2 مم) في جفنة من البورسلين.
2. أضف ببطء الماء المقطر، وأمزج بالمُبَسِّط (spatula) حتى يبدأ سطح العجينة باللمعان، وتصبح قابلة للسيلان قليلاً إذا مال الوعاء المحتوي عليها، كما يجب أن يمرر المُبَسِّط بالعجينة دون أن يتلوث، والا يتجمع على سطح العجينة أي ماء حر.
3. اترك العجينة المحضرة لمدة ساعة، ثم أعد فحص معايير التشبع السابقة وذلك بإضافة مزيد من الماء أو التربة، حسب الحاجة.
4. اترك العجينة لمدة 6-16 ساعة، ومن ثم رشح بوساطة جهاز التفريغ مستخدماً قمع بوخنر buchner funnel مركب على دورق ذي فتحة جانبية بعد وضع ورقة ترشيح Whatman No. 42.
5. اجمع الراشح في قارورة صغيرة واحفظها من أجل القياسات اللاحقة، وإذا كان الراشح عكراً، أعد الترشيح.

4.4 رطوبة السعة الحقلية ونقطة الذبول الدائمة

المبدأ

بعد اتزان التربة بالماء عند مستويات مختلفة من الشد يقاس المحتوى الرطوبي. وتعتمد قدرة التربة على الاحتفاظ بالماء على عدة عوامل، منها القوام أو توزيع حجم الحبيبات، ومحتوى المادة العضوية (حسب طبيعة غروياتها المحبة للماء)، وحسب طبيعة الغرويات المعدنية، وبناء التربة أو ترتيب الحبيبات.

أ. المجال المنخفض: عند رطوبة 0-100 kPa (0-1 بار) ضغط

الأجهزة

- جهاز الاستخلاص ضغط واحد بار one-bar pressure plate extractor.
- أطباق سيراميك بضغط واحد بار one-bar ceramic plates.
- حلقات مطاطية، (قطر 5 سم، ارتفاع 1 سم).
- مضخة هواء مع المشعّب، والمنظم، والمقياس.
- ميزان balance.
- فرن تجفيف drying oven.
- أطباق الألمنيوم أو علب لحفظ الرطوبة - التربة.
- مجفف.

طريقة العمل

1. اغمر أطباق السيراميك في الماء لمدة 24 ساعة حتى درجة التشبع.
2. ضع الأطباق على طاولة العمل.
3. ضع بطاقات مرقمة على الحلقات المطاطية المرتبة في الأطباق (كل طبق يتسع حتى 12 عينة).
4. ضع تربة جافة هوائياً 2 مم في الحلقة مستخدماً المبسط (حوالي 20 غ من العينة). ولتفادي عزل حجم الحبيبات، ضع عينة التربة بأكملها في الحلقة.
5. مهد سطح العينة في الحلقة. ولكن بدون كبس العينة.
6. إملى الطبق بالماء حتى ترطب العينة من الأسفل، ثم أضف الماء بين الحلقات حتى يفيض الماء (تقريباً بعمق 3 مم) على الطبق.

7. غطي الطبق بورق مقوى أو كيس بلاستيك.
8. اترك العينات طوال الليل.
9. صباح اليوم التالي، انزع الماء الزائد من الطبق بإبرة حقن، أو ماصة ذات استخدام لمرة واحدة، أو بالسيفون.
10. ضع الدعامات المثلية في أسفل جهاز الاستخلاص.
11. ضع الطبق مع العينات في أسفل جهاز الاستخلاص، ثم الوسط فالأعلى (ضع القطع البلاستيكية بين الأطباق كدعامات).
12. صل أنابيب التصريف.
13. أغلق جهاز الاستخلاص بعد التأكد من وضع الحلقة "O" في مكانها وثبت كل البراغي بإحكام وانتظام. ثم طبق الضغط المناسب ضمن المجال 0-100 KPa (0-1 بار).
14. ضع كأس بيكر تحت أنبوب التصريف لجمع الماء المتدفق من أنابيب التصريف.
15. حافظ على الضغط المطلوب حتى لا تتوقف قطرات الماء من التحرر من الطبق (عادة 18-20 ساعة ولكن لبعض أنواع من التربة 48 ساعة أو أكثر).
16. حرر الضغط من جهاز الاستخلاص (افصل أنابيب التصريف قبل عودة الماء إلى الجهاز)
17. أفتح جهاز الاستخلاص.
18. دون أي تأخير، أنقل عينات التربة الرطبة مع الحلقات بوساطة ميسط عريض إلى علب الوزن (ليس من الضروري النقل الكمي لعينة التربة الكلية).
19. زن بسرعة العينات الرطبة (الدقة حتى 0.01 غرام)، ثم ضعها بالفرن من أجل التجفيف عند درجة حرارة 105°م لمدة 24 ساعة.
20. ضع العينات في المجفف، برد، ثم زن العينات المجففة.

الحساب

$$(10) \quad \% \text{ الرطوبة } (\theta) = \frac{\text{التربة الرطبة (غ)} - \text{التربة الجافة (غ)}}{\text{التربة الجافة (غ)}} \times 100$$

ب. المجال العالي: عند رطوبة 100-1500 kPa (0-15 بار) ضغط

الأجهزة

- 1. جهاز الاستخلاص ذو ضغط 15 بار fifteen-bar ceramic plate extractor.
- 2. أطباق سيراميك 15 بار fifteen-bar ceramic plates.
- 3. حلقات مطاطية.
- 4. ميزان.
- 5. فرن تجفيف.
- 6. أطباق وزن.
- 7. سحاحة burette.
- 8. مجفف.

طريقة العمل

1. استخدم أطباق السيراميك 15 بار واتبع الخطوات من 1-12 كما في الطريقة السابقة، مطبقاً الضغط المناسب من 100 - 1500 kPa (1-15 بار).
2. ضع كأس بيكر تحت أنبوب التصريف لجمع الماء المتدفق من أنابيب التصريف.
3. أترك العينات طوال الليل.
4. صل أنابيب التصريف إلى سحاحة مملوءة جزئياً بماء الصنبور.
5. أترك العينات في جهاز الاستخلاص حتى يتوقف التصريف من جميع العينات في الطبق، حتى تصل التربة إلى التوازن (24-48 من أجل معظم الترب؛ إلا أن أنواع بعض الترب ذات القوام الناعم أو العضوي تحتاج إلى مدة تصل إلى 120 ساعة). وإذا لم يحدث أي تغير في قراءة الماصة فإن ذلك يشير إلى أن التصريف قد توقف في كل العينات والوصول إلى التوازن قد حصل.
6. افصل أنابيب التصريف لمنع عودة الماء إلى الجهاز.
7. حرر الضغط من الجهاز.
8. أتبع الخطوات من 17-20 كما في الطريقة السابقة.

الحساب

$$(11) \quad \% \text{ الرطوبة } (\theta) = \frac{\text{التربة الرطبة (غ)} - \text{التربة الجافة (غ)}}{\text{التربة الجافة (غ)}} \times 100$$

ملاحظات

1. إذا استمر خروج فقاعات الهواء من أنابيب الأطباق لعدة ساعات بعد تطبيق الضغط، فمن المحتمل أن تلفاً قد أصاب الأطباق، يجب استبدالها.
2. يجب أن لا يتذبذب الضغط أثناء العمل. ويجب مراقبته كل 2-3 ساعة (تعديله عند الضرورة). إذا كان سبب التذبذب ضمن مجال تحمل المنظم، فلا حاجة للتعديل.
3. لا تنزع غطاء جهاز الاستخلاص والضغط في داخله.
4. يجب أن يكون ارتفاع العينة في الحلقة أقل ما يمكن للتقليل من الزمن المطلوب للوصول لحالة التوازن، الذي يتناسب طردياً مع ارتفاع العينة في الحلقة.
5. **الماء القابل للإفادة (AW) available water** أو **السعة التقريبية للماء القابل للإفادة (AWC) available water capacity**. سعة الماء القابل للإفادة هي كمية الماء المحجوزة في مخزون التربة والذي يمكن امتصاصه بواسطة النباتات. ويقدر بالفرق في المحتوى الرطوبي للتربة بين السعة الحقلية (FC) field capacity و نقطة الذبول الدائمة (PWP) permanent wilting point.

الحساب

$$\% \text{ سعة الماء القابل للإفادة} = \% \text{ السعة الحقلية} - \% \text{ نقطة الذبول الدائمة} \quad (12)$$

6. **السعة الحقلية التقريبية (FC) field capacity**. السعة الحقلية تقدر عموماً بقياس الرطوبة المحجوزة عندما تكون قيمة الضغط كما يلي:

الترب ذات القوام الخشن	10 kPa	(1/10 بار)
الترب ذات القوام المتوسط	33 kPa	(1/3 بار)
الترب ذات القوام الناعم	50 kPa	(1/2 بار)
7. **نقطة الذبول الدائمة التقريبية (PWC) permanent wilting point**. نقطة الذبول الدائمة تقدر عموماً بقياس النسبة المئوية kPa 1500 (15 بار). وهي متنوعة طبقاً لأنواع النبات وفترة نموه، المجال بين 10-25 بار للنباتات ذات الرطوبة المعتدلة.

5. التحليل الكيميائي للتربة

تُصنّف العناصر الغذائية الثمانية عشر الأساسية للنبات إلى أربع مجموعات (Brady and Weil, 1999):

1. العناصر الغذائية الكبرى غير المعدنية الرئيسية: وهي تشكل حوالي 90-95% من وزن النبات الجاف، والنبات يستمدّها عن طريق امتصاص الماء والتمثيل الضوئي O, H, C؛
2. العناصر الغذائية الكبرى الرئيسية N, P, K؛
3. العناصر الغذائية الكبرى الثانوية S, Mg, Ca؛
4. العناصر الغذائية الصغرى Zn, Ni, Mo, Mn, Fe, Cu, Co, Cl, B.

هناك ثلاثة عوامل تساهم في عملية تغذية النبات:

1. كمية العناصر الغذائية في التربة؛
2. قدرة التربة على إمداد النباتات بالعناصر الغذائية؛
3. العوامل البيئية التي تؤثر على وفرة العناصر الغذائية وقابلية امتصاصها.

القياسات، التي تتضمن توصيف محلول التربة ومكوناتها والتركيب العضوي والبلاعضوي للتربة، هي تسمية واسعة لقسم الكيمياء. وهي تشمل جميع العناصر الغذائية ومكونات التربة التي تؤثر على هذه العناصر والمكونات بصورة مباشرة أو غير مباشرة. لذلك يشكل هذا القسم الجزء الأساسي من هذا الكتاب.

إن الطرائق الكيميائية المعروضة هنا شاملة ولكن غير مُجهدّة أبداً. فبالنسبة لأي عنصر، هناك العديد من الطرائق التي يمكن أن نجدها في المراجع المتعلقة بذلك (Walsh and Beaton, 1973; Page, 1982; Westerman, 1990). لقد حاولنا أن نختار الطرائق التي نراها في ضوء خبراتنا ملائمة لترب منطقة CWANA، حيث توجد علاقة بين قيمة الاختبار ونمو المحصول. وحيث عرضنا المزايا البارزة للطرائق الموافقة البديلة، وكما زدنا المستخدمين بمراجع عن المؤلفات حول طرائق اختبارات التربة كي يتمكنوا من توسيع أو تنقيح معلوماتهم حول تلك الطرائق.

عرضنا أولاً التحاليل التي تُجرى بشكل روتيني بهدف توصيف عينة تربة أو نموذج من التربة من حيث إعطاء معلومات شاملة عن pH، الملوحة، كربونات الكالسيوم، المادة العضوية، السعة التبادلية للكاتيونات، والجبس. وفيما يتعلق بالأزوت، فهو يعتبر عامل الخصوبة المسيطر في ترب منطقة CWANA. تعاملنا مع أسهل طرائق لقياس الأشكال أو الجزيئات المختلفة من الأزوت في التربة. وتعاملنا لاحقاً مع طرائق لقياس الفوسفور القابل للإفادة، والكاتيونات الذائبة والمتبادلة، والانيونات الذائبة، والعناصر الغذائية الصغرى. حيث زدنا الكتاب بتعليمات تمكنهم من تفسير البيانات interpreting the data الناتجة مع قوائم الطرائق التحليلية analytical procedures.

1.5 درجة الحموضة (pH)

تُعرف درجة حموضة التربة (pH) على أنه اللوغاريتم السالب لنشاط أيون الهيدروجين. ولأن pH لوغاريتمي، يزداد تركيز أيون الهيدروجين H-ion في المحلول عشر مرات عندما تنخفض درجة pH التربة درجة واحدة. وتتراوح قيم pH التربة الموجودة بشكل طبيعي في الترب بين 3-9. ويمكن وصف الفئات العديدة على الشكل التالي: شديدة الحموضة (pH أقل من 5.0)، معتدلة إلى قليلة الحموضة (5.0-6.5)، حيادية (6.5-7.5)، متعادلة القلوية (7.5-8.5)، وشديدة القلوية (pH أكبر من 8.5).

تتمتع أهمية درجة pH التربة في تأثيرها على وفرة العناصر الغذائية في التربة، قابلية ذوبان العناصر الغذائية السامة في التربة، والانحلال الطبيعي لخلايا الجذور، والسعة التبادلية للكاتيونات في الترب التي تتوقف pH على موادها الغروية (الطين/ الدبال) (clay/humus) colloids، والنشاط البيولوجي. وعند القيم العالية لدرجة pH، تميل كميات الفوسفور ومعظم العناصر الغذائية الصغرى إلى التناقص باستثناء البورون (B) والموليبدينوم (Mo).

تعتبر الترب الحامضية نادرة في المناطق شبة الجافة من العالم، فهي غالباً ما تتواجد في المناطق المعتدلة والمدارية حيث يعتبر هطول الأمطار أمراً محتملاً. وعلى العكس فإن ترب المناطق الأكثر جفافاً عموماً ما تكون قلوية، أي تتجاوز قيمة pH الرقم 7 نتيجة وجود كربونات الكالسيوم (CaCO₃)، حيث يلاحظ فوران واضح عندما نضيف إلى التربة قطرات من حمض كلور الماء 10%. وتبلغ قيم pH التربة 8.0-8.5 في منطقة CWANA. في حين تكون أدنى بقليل في الترب الكالسية المحتوية على الجبس، وترتفع إلى أكثر من 8.5 في الترب التي تحتوي على كمية زائدة من الصوديوم (الترب الصودية).

لذلك، يعتبر قياس pH التربة من أكثر القياسات شيوعاً في مختبرات التربة. فهو يعكس فيما إذا كانت التربة حامضية، حيادية، قاعدية أو قلوية. وفيما يلي طريقة تقدير درجة حموضة pH التربة في معلق 1:1 (McKeague, 1978; McLean, 1982):

الأجهزة

- جهاز pH مع القطب المشترك pH meter with combined electrode.
- محرك زجاجي glass rod.
- كأس بيكر زجاجي glass beaker.

المحاليل

- أ. الماء المقطر
- ب. محلول قياسي منظم pH 7.0
- ث. محلول قياسي منظم pH 4.0

طريقة العمل

1. زن 50 غ تربة جافة هوائياً (أقل من 2 مم) في كأس زجاجي سعة 100 مل.
2. أضف 50 مل من الماء المقطر مستخدماً أسطوانة مدرجة أو دورق حجمي سعة 50 مل.
3. أمزج المعلق جيداً مستخدماً قضيباً زجاجياً، ثم اترك المعلق لمدة 30 دقيقة.
4. حرك المعلق كل 10 دقائق أثناء هذه الفترة.
5. بعد ساعة، حرك المعلق جيداً.
6. مباشرة ضع القطب المشترك combined electrode في المعلق (بعمق حوالي 3 سم). خذ القراءة بعد 30 ثانية.
7. أخرج القطب المشترك من المعلق، وأغسله جيداً بالماء المقطر في كأس آخر، وبعناية نشف الماء الزائد بمنديل ورقي ناعم.

ملاحظات

1. تأكد من أن القطب المشترك يحتوي على محلول من KCl المشبع، وكمية من KCl الخام.
2. اضبط جهاز pH مستخدماً على الأقل محلولين قياسييين منظمين مختلفي القيم، عادة 4.0 و 7.0. أولاً، قس درجة حرارة المحلول، عدك مؤشر درجة الحرارة. knob "temperature" ثانياً، اغمس القطب المشترك في المحلول القياسي المنظم pH 7.0 ثم قارن مع القيمة الفعلية عند درجة الحرارة المقاسة، عدك مؤشر المحلول القياسي المنظم knob "buffer" ثالثاً، اغمس القطب المشترك في المحلول القياسي المنظم pH 4.0، عدك مؤشر المحلول القياسي للحساسية knob "sensitivity". كرر الخطوات السابقة حتى يعطي كلا المحلولين قراءات صحيحة.
3. في إيكاردا، يتم قياس درجة pH التربة في معلق 1:1 (تربة: ماء). ولغايات معينة، يمكن قياس pH في عجينة مشبعة من التربة أو في معلقات مخففة بشكل أكبر. في بعض المختبرات، يمكن قياس pH في معلقات تربة و $N 1 KCl$ أو $M 0.01 CaCl_2$. تتجلى الميزة الرئيسية لقياس pH تربة في محلول ملحي في محاولة التخلص من التأثيرات السلبية الناجمة عن المعلق والمحتويات المتباينة من الملح، مثل بقايا الأسمدة. بيد أن من النادر أن تطلب هذه الطرائق في الترب الكلسية - القلوية في منطقة CWANA.
4. يمكن حفظ عينات التربة الجافة هوائياً في أوعية مغلقة لعدة شهور دون أن يؤثر ذلك في قيم pH.
5. في حال عدم استخدام جهاز pH والقطب المشترك لفترات طويلة، ينبغي الالتزام بالتعليمات المرافقة لجهاز الشركة الصانعة بصدد طريقة الحفظ.
6. إذا كانت العينات غنية بالمواد العضوية، استخدم نسبة 1:2 أو 1:5 (تربة: الماء).

2.5 الناقلية الكهربائية (EC)

ترجع ملوحة التربة إلى تركيز الأملاح اللاعضوية الذوابة في التربة. وتُقاس الملوحة عادة باستخلاص عينة تربة مع الماء (النسبة 1:1 أو 5:1 تربة: ماء، وزن/حجم) أوفي مستخلص عجينة مشبعة. على كل حال، فإن نسبة 1:1 (محلول: تربة) أو النسب الأوسع أكثر ملائمة عندما تكون عينة التربة محدودة. وتقاس مثل هذه المستخلصات خلال وقت قصير، كما تقاس الملوحة بالناقلية الكهربائية باستخدام جهاز قياس الناقلية الكهربائية conductivity bridge. ويمكن تقدير المحتوى الكلي للأملاح في التربة اعتماداً على هذا القياس. كما أن هناك طريقة أكثر دقة تتضمن تبخير المستخلص المائي ووزن الراسب المتبقي.

تعتبر الملوحة أحد القياسات المخبرية المهمة على اعتبار أنها تعكس مدى ملاءمة التربة لزراعة المحاصيل. فعلى أساس مستخلص مشبع تعتبر قيم 0-2 dS/m (أو ميلليموس/سم) مناسبة لكل المحاصيل؛ علماً أن غلال المحاصيل الحساسة تتأثر عندما تكون القيم بين 2-4 dS/m، بينما لا تنمو فوق هذا المستوى سوى المحاصيل المقاومة للملوحة (Richards, 1954).

بينما تشكل الملوحة اهتماماً واسعاً في المناطق المروية من منطقة CWANA وفي المناطق ذات الترب الملحية، إلا أنها لا تمثل درجة الأهمية ذاتها في الزراعة البعلية. على كل حال، مع تزايد استخدام الري، سيكون الطلب أكبر على قياس الناقلية الكهربائية في المستقبل. ويعرض الكتيب 60 الصادر عن وزارة الزراعة الأمريكية (USDA Handbook 60) طرائق قياس الناقلية (Richards, 1954).

الأجهزة

مضخة تفريغ هوائية vacuum filtration system.
جهاز قياس الناقلية الكهربائية conductivity bridge.

طريقة العمل

1. حضر معلقاً بنسبة 1:1 (تربة: ماء)، كما هو الحال عند تقدير درجة حموضة pH التربة.
2. رشح المعلق باستخدام مضخة التفريغ الهوائية. الإجراءات أولاً، ضع ورقة ترشيح مستديرة Whatman No. 42 في قمع بوخنر buchner funnel. ثانياً، رطب ورقة الترشيح بالماء المقطر وتأكد أنها ملتصقة بقاعدة القمع على نحو يغطي جميع الثقوب.
3. شغل مضخة التفريغ الهوائية.
4. أفتح صنبور المضخة، ثم أضف المعلق إلى قمع بوخنر.
5. استمر بالترشيح حتى تبدأ التربة الموجودة في القمع بالتشقق.

6. إذا لم يكن الراشح رائقاً تماماً، يجب إعادة الترشيح ثانية.
7. انقل الراشح الرائق إلى قارورة سعتها 50 مل، ثم اغمس خلية الناقلية conductivity cell في المحلول، وخذ القراءة.
8. اخرج الخلية من الراشح، ثم اغسلها جيداً بالماء المقطر، ونشف بعناية الماء الزائد بمنديل ورقي ناعم.

ملاحظات

1. تسجل القراءات كملليمون/سم (mmhos/cm) أو ديسي سيمنس/م (deci-Siemens per meter). علماً أنه يُفضل استخدام وحدة (dS/m) على وحدة mmhos/cm. علماً بأن الوحدتين متساويتان أي $1 \text{ dS/m} = 1 \text{ mmhos/cm}$.
2. تأخذ القراءات وتكتب على أساس درجة حرارة 25°م.
3. تحقق من دقة جهاز الناقلية الكهربائية EC مستخدماً محلول $N 0.01 \text{ KCl}$ ، حيث يعطي قراءة للناقلية قدرها 1.413 dS/m عند درجة حرارة 25°م.

3.5 كربونات الكالسيوم

تتواجد الكربونات اللاعضوية في التربة إما على شكل كربونات كالسيوم (كالكسيت) أو كربونات مغنسيوم (دولوميت) أو مزيج من كليهما، كنتيجة للعوامل الجوية أو لكونها موروثاً من المادة الأم. معظم الترب السائدة في المناطق الجافة أو شبه الجافة هي ترب كلسية، في الواقع، تحتوي ترب منطقة CWANA حتى 50% من المكافئ الكلي لكربونات الكالسيوم CaCO_3 -equivalent أو أكثر.

كما هو الحال مع درجة pH القلوي، تتسم الترب ذات الكربونات الحرة بكميات متدنية من الفوسفور ومن كاتيونات العناصر الغذائية الصغرى. ونتيجة لذلك، يعد تحديد كربونات الكالسيوم في معظم مختبرات منطقة CWANA أمراً طبيعياً.

تقوم بعض المختبرات بتقدير كربونات الكالسيوم الفعالة CaCO_3 "active" أيضاً، وهي أقل شيوعاً من تقدير كربونات الكالسيوم الكلية CaCO_3 "total"، على اعتبار أن ذلك يتم أساساً في المناطق التي تتبع الأسلوب الفرنسي منذ أن طورت هذه الطريقة من قبل (Drouineau 1942) في فرنسا. إذ تعكس بشكل أساسي المساحة السطحية أو تفاعل حبيبات كربونات الكالسيوم ذات القياس المتماثل مع قياس حبيبات التربة. ويعتمد القياس على أساس تفاعلها مع أوكزالات الأمونيوم الزائدة، ثم يتبع ذلك معايرتها بمحلول البرمنغنات في وسط حامضي.

ترتبط عادة كربونات الكالسيوم الفعالة بالمكافئ الكلي لكربونات الكالسيوم لكونه يشكل حوالي 50% أو نحو ذلك من القيمة الكلية. ويدعى مناصرو استخدامه أن هذه الحبيبة ترتبط على نحو وثق بسلوك العناصر الغذائية، كما يتجلى ذلك في الاصفرار الناجم عن نقص الحديد.

المبدأ

يتفاعل وزن محدد من التربة مع كمية وافرة من الحمض. في هذا التفاعل، ينطلق غاز ثاني أوكسيد الكربون CO_2 ، ومن ثم تعاد معايرة الحمض الزائد الذي لم يستخدم بمحلول هيدروكسيد الصوديوم (FAO, 1974). تعتمد بعض طرق تقدير الكربونات في الترب على تجميع غاز CO_2 وقياس ضغطه الذي ينشأ عند إضافة الحمض إلى التربة الكلسية في دورق مخروطي مغلق. أما طريقة المعايرة، يُفترض أن يتفاعل مكافئان من الحمض مع جزئي واحد من CaCO_3 . لذلك يُفترض في مكافئ واحد من الحمض أن يعادل نصف جزئي من CaCO_3 .

الأجهزة

سخان كهربائي hot plate.

سحاحة burette.

دورق أرلنماير erlenmeyer flask.
ماصة حجمية volumetric pipette.

المحاليل

أ. محلول حمض كلور الماء (HCl)، $N1$.
خفف 82.8 مل من حمض كلور الماء المركز (37%، sp.gr. 1.19) في الماء المقطر، أمزجه جيداً، دعه يبرد، ثم أكمل الحجم إلى لتر بالماء المقطر.

ب. محلول ماءات الصوديوم (NaOH)، $N1$.
أذب 40 غ من ماءات الصوديوم في الماء المقطر، أنقل إلى دورق حجمي سعة لتر، دعه يبرد، ثم أكمل إلى الحجم بالماء المقطر.

ج. دليل فينول فثالين $[C_6H_4COOC(C_6H_4-4-OH)_2]$
أذب 0.5 غ من دليل فينول فثالين في 100 مل إيثانول (كحول اتيلي).

د. دليل برتقالي الميثيل $[4-NaOSO_2C_6H_4N: NC_6H_4-4-N(CH_3)_2]$
أذب 0.1 غ من دليل برتقالي الميثيل في 100 مل من الماء المقطر.

هـ. إيثانول (C₂H₅OH)، 95%

و. محلول كربونات الصوديوم (Na₂CO₃)، $N1$.
أذب 53 غ من كربونات الصوديوم اللامائية في الماء المقطر، وأكمل الحجم إلى لتر بالماء المقطر.

طريقة العمل

1. زن 1 غ تربة جافة هوائياً (0.15 مم) في دورق أرلنماير سعة 250 مل.
2. أضف 10 مل من محلول حمض كلور الماء $N1$ إلى الدورق بوساطة ماصة حجمية.
3. حرك المزيج ثم اترك الدورق طوال الليل، أو سخنه على درجة حرارة 50–60°م. دع الدورق يبرد.
4. أضف 50–100 مل من الماء المقطر مستخدماً أسطوانة مدرجة، ثم أضف 2–3 قطرات من دليل فينول فثالين.
5. عاير بمحلول ماءات الصوديوم مع تحريك الدورق، استمر بالمعايرة حتى يظهر لون زهري خفيف، خذ القراءة، R.

الحساب

النسبة المئوية لكربونات الكالسيوم في التربة:

$$(13) \quad \% \text{CaCO}_3 = [(10 \times N_{HCl}) - (R \times N_{NaOH})] \times 0.05 \times \frac{100}{Wt}$$

حيث أن: N_{HCl} = نظامية محلول HCl.
 R = حجم محلول NaOH المستخدم في المعايرة (مل).
 N_{NaOH} = نظامية محلول NaOH.
 Wt = وزن التربة الجافة هوائياً (غ).

تقدير نظامية المحاليل القياسية

1. حمض كلور الماء (HCl)، $N 1$

اسحب بوساطة الماصة 10 مل من محلول كربونات الصوديوم $N 1$ ، وضعها في ورق الأريلنماير سعة 100 مل، أضف نقطتين من دليل برتقالي المتيل، عاير المحلول بوساطة محلول حمض كلور الماء $N 1$ (في السحاحة). يتغير لون المحلول من برتقالي كاشف إلى برتقالي غامق.

نظامية HCl هي:

$$(14) \quad N_{HCl} = \frac{10 \times N_{Na_2CO_3}}{V_{HCl}}$$

حيث أن: N_{HCl} = نظامية محلول HCl.
 V_{HCl} = حجم محلول HCl المستخدم في المعايرة (مل)
 $N_{Na_2CO_3}$ = نظامية محلول Na_2CO_3 .

2. ماءات الصوديوم (NaOH)، N1.

اسحب بوساطة الماصة 10 مل من محلول حمض كلور الماء المحدد نظاميته بالضبط، ضعها في ورق أرلنماير سعة 100 مل، أضف نقطتين من دليل فينول فتالين، عاير المحلول بوساطة محلول ماءات الصوديوم N1. حيث يتغير لون المحلول من عديم اللون إلى لون زهري.

نظامية NaOH هي:

$$(15) \quad N_{NaOH} = \frac{10 \times N_{HCl}}{V_{NaOH}}$$

حيث أن: N_{NaOH} = نظامية محلول NaOH.
 V_{NaOH} = حجم محلول NaOH المستخدم في المعايرة (مل).
 N_{HCl} = نظامية محلول HCl.

ملاحظات

1. تتطلب هذه الطريقة بعض الخبرة في تحديد تغير لون المعلق من عديم اللون إلى اللون الزهري على نحو دقيق.
2. إن 10 مل من HCl N1 ستذيب حتى 0.5 غرام من $CaCO_3$ ذلك أنه في حالة احتواء الترب على 50% من $CaCO_3$ أو أكثر، وبالتالي 10 مل من HCl N1 لن يكفي. وفي هذه الحالة يجب إضافة 15 أو 20 مل.
3. عندما يتم التفاعل بين التربة والحمض لإذابة الكربونات، قد يُستهلك الحمض أيضاً من قبل بعض مكونات أخرى للتربة. ويُفترض أن معظم التفاعلات الأخيرة معكوسة أو ذات حركة عكسية، أي إذا أعيدت معايرة المعلق يتحرر الحمض مرة ثانية. ولهذا السبب، لا ينصح بترشيح المعلق ومعايرة الراشح الصافي. علماً أن تغير اللون يمكن تحديده بسهولة بالغة في الراشح الصافي، لكن قيمة المعايرة قد تكون زائدة عن القيمة الفعلية لمحتوى $CaCO_3$.
4. لا يمكن اعتبار جميع التفاعلات بين الحمض ومكونات التربة عكسية الحركة على نحو كامل، ولذلك فإن طريقة المعايرة بالحمض لمعلق التربة قد تزيد القيمة أيضاً وإلى حد ما من محتوى التربة الحقيقي من الكربونات، كما يمكن إجراء طريقة المعايرة بالحمض بوساطة طريقة الكالسيمتر، إذا طُلب إجراؤها، ومع ذلك فهي نادرة الاستخدام في الوقت الحالي.

4.5 المادة العضوية

تمثل المادة العضوية في التربة بقايا الجذور، المواد النباتية، والكائنات الدقيقة في مختلف مراحل التحلل decompositions والتركيب synthesis، كما تتسم بتنوع مكوناتها. رغم تواجد المادة العضوية (OM) في التربة بكميات متواضعة نسبياً، إلا أن لها تأثيراً رئيسياً في تحسب التربة soil aggregation، المخزون من العناصر الغذائية ووفرتها nutrient reserve and its availability، الاحتفاظ بالرطوبة moisture retention، والنشاط البيولوجي biological activity.

يتفاوت الكربون العضوي (OC) بين كونه المكون السائد للفحم على شكل حُكّ peat أو التربة ذات السماد الحيواني muck في المناطق الأشد برودة إلى غياب أي أثر له في بعض الترب الصحراوية. وتحتوي الترب الزراعية، في المناطق المعتدلة الحرارة أكثر من 3-4% مادة عضوية، في حين تحوي الترب عموماً في المناطق البعلية شبه الجافة كمنطقة CWANA، أقل من 1% من المادة عضوية.

تقوم معظم المختبرات في المنطقة بإجراء تحليل المادة العضوية في التربة. وأكثر الطرق شيوعاً هي تلك التي تشمل على إرجاع ثاني كرومات البوتاسيوم ($K_2Cr_2O_7$) بوساطة مركبات الكربون العضوي ويتم لاحقاً تقدير الكمية التي لم يتم إرجاعها بطريقة المعايرة أكسدة/إرجاع بمحلول كبريتات الحديدوز والأمونيوم (Walkley, 1947; FAO, 1974). في حين يتم القياس الفعلي للكربون العضوي المؤكسد، ومن ثم تحول البيانات بشكل طبيعي إلى نسبة مئوية من المادة العضوية باستخدام عامل ثابت، على افتراض أن المادة العضوية تحتوي على 58% من الكربون العضوي. وفي الواقع هذه النسبة ليست ثابتة، ونفضل أن نورد النتائج على شكل كربون عضوي مؤكسد، أو نضربها بالرقم 1.334 لنعبر عن الكربون العضوي.

الأجهزة

محرك مغناطيسي مع قضيب مغناطيسي،
أدوات زجاجية وماصات لسحب وتحضير المحاليل،
سحاحة titration apparatus (burette).

المحاليل

- أ. محلول ثاني كرومات البوتاسيوم ($K_2Cr_2O_7$)، N 1
• جفف ثاني كرومات البوتاسيوم بالفرن على درجة حرارة 105° م لمدة ساعتين، برد بالمجفف (silica gel)، واحفظه في زجاجة محكمة الإغلاق.
• أذب 49.04 غ من ثاني كرومات البوتاسيوم في الماء المقطر، وأكمل الحجم إلى لتر بالماء المقطر.

ب. حمض الكبريت (H_2SO_4)، (98 %، sp. gr. 1.84) المركز

ج. حمض الفوسفور (H_3PO_4)، المركز

د. محلول كبريتات الحديدوز والأمونيوم $[(NH_4)_2SO_4 \cdot FeSO_4 \cdot 6H_2O]$ ، $M 0.5$ أذب 196 غ من كبريتات الحديدوز والأمونيوم في الماء المقطر، اذق إلى حجم لتر، أضف 5 مل من حمض الكبريت المركز، أمزج جيداً، وأكمل إلى الحجم المطلوب بالماء المقطر.

هـ. دليل داي فينيل أمين $(C_6H_5)_2NH$ أذب 1 غ من دليل داي فينيل أمين في 100 مل من حمض الكبريت المركز.

طريقة العمل

1. زن 1 غ تربة جافة هوائياً (0.15 مم) في كأس بيكر سعة 500 مل.
2. أضف 10 مل من محلول ثاني كرومات البوتاسيوم $N 1$ مستخدماً ماصة، أضف 20 مل من حمض الكبريت المركز مستخدماً أسطوانة مدرجة، ومن ثم حرك الكأس جيداً لمزج المعلق.
3. اترك المعلق لمدة 30 دقيقة.
4. أضف حوالي 200 مل من الماء المقطر، ثم أضف 10 مل من حمض الفوسفور المركز مستخدماً جهاز أتوماتيكي للسحب dispenser، واطرق المزيج ليبرد.
5. أضف 10-15 نقطة من دليل داي فينيل أمين، أضف قضيب مغناطيسي، ثم ضع الكأس على جهاز تحريك مغناطيسي.
6. عاير بمحلول كبريتات الحديدوز والأمونيوم $M 0.5$ ، حتى يتغير اللون من أزرق بنفسجي إلى أخضر.
7. حضر شاهدين blank، يحتويان على جميع المحاليل ماعدا التربة، واتبع معهما نفس الطريقة التي اتبعتها مع معلقات التربة.

الحساب

النسبة المئوية للمادة العضوية في التربة:

$$M = \frac{10}{V_{blank}} \quad (16)$$

$$(17) \quad \frac{0.3 \times M \times [V_{sample} - V_{blank}]}{Wt} = \text{\% الكربون العضوي المؤكسد (w/w)}$$

$$(18) \quad \text{\% الكربون العضوي الكلي (w/w)} = 1.334 \times \text{\% الكربون العضوي المؤكسد}$$

$$(19) \quad \text{\% المادة العضوية (w/w)} = 1.724 \times \text{\% الكربون العضوي الكلي}$$

- حيث أن: M = نظامية محلول كبريتات الحديدوز والأمونيوم (تقريباً 0.5 M)
 V_{blank} = حجم محلول كبريتات الحديدوز والأمونيوم اللازم لمعايرة الشاهد (مل)
 V_{sample} = حجم محلول كبريتات الحديدوز والأمونيوم اللازم لمعايرة العينة (مل)
 Wt = وزن التربة الجافة هوائياً (غ)
 $0.3 = 100 \times 10^{-3} \times 3$ ، حيث إن رقم 3 هو الوزن المكافئ للكربون.

ملاحظات

1. بالنسبة للترب ذات المحتوى العالي من المادة العضوية (1% من الكربون العضوي المؤكسد أو أكثر)، هناك حاجة لإضافة أكثر من 10 مل من محلول ثاني كرومات البوتاسيوم.
2. إن العاملين 1.344 و 1.724 المستخدمين في حساب الكربون العضوي الكلي TOC والمادة العضوية OM تقريبيين؛ إذ يختلفان تبعاً لعمق التربة وأنواعها.
3. ستعطي الترب التي تحتوي على كميات كبيرة من أيونات الكلورايد (Cl^-)، والمنغنيز (Mn^{2+})، والحديدوز (Fe^{++}) نتائج أعلى. ويمكن إزالة تداخل الكلورايد بإضافة كبريتات الفضة (Ag_2SO_4) للمحلول المؤكسد. ولا تتوفر حتى الآن طريقة معروفة للتعويض عن التداخلات الأخرى.
4. إن وجود $CaCO_3$ إلى حد 50% يؤدي إلى إلغاء التداخلات.

5.5 السعة التبادلية للكاتيونات (CEC)

إن الكثير من المعادن في التربة تعتبر ذات شحنات سالبة، الأمر الذي يعطيها القدرة على جذب الكاتيونات والاحتفاظ بها من قبيل البوتاسيوم (K^+) والصوديوم (Na^+) والكالسيوم (Ca^+) والمغنيزيوم (Mg^{++}) والأمونيوم (NH_4^+) ... إلخ. حيث إن تبادل الكاتيونات عملية عكوسة. لذلك يمكن للعناصر أو العناصر الغذائية أن تُحفظ في التربة دون أن تضيع خلال عملية الارتشاح leaching وبالتالي يمكن إطلاقها من أجل امتصاصها من قبل النبات.

كما تسهم أيضاً بعض المركبات العضوية في السعة التبادلية للكاتيونات cation exchange capacity (CEC) فضلاً عن تأثير CEC بدرجة حموضة pH التربة. إذ أن قسماً محدداً من إجمالي الشحنة السالبة يتسم بطابع دائم permanent، في حين أن قسماً متبايناً يعتمد على درجة pH التربة.

هناك طرق عديدة متوافرة لتحديد CEC (Rhoades, 1982) وأن معظمها يشمل إشباع التربة بكاتيون المؤشر index cation (NH_4^+)، ثم يزال بغسل الكاتيون الزائد excess cation ويستبدل بعد ذلك الكاتيون المؤشر المدمص بكاتيون آخر (Na^+) ويقاس الكاتيون المؤشر بالمستخلص النهائي (Richards, 1954). وقد أُدخلت طرق معدلة نظراً لذويان كمية كبيرة من الكالسيوم في الترب الكلسية والجبسية (FAO, 1990; Rhoades and Polemio, 1977).

يعبر عن السعة التبادلية للكاتيونات بالمليمكافئ / 100 غرام تربة (milliequivalents per 100 g soil) أو بشكل أحدث بالسنتمول (+) / كيلوغرام تربة [cmol (+) / kg soil] حسب المقياس الدولية (S.I. unit)؛ كون الأرقام الحقيقية هي نفسها [مليمكافئ / 100 غرام تربة = سنتمول (+) / كيلوغرام تربة]. وتتراوح قيم CEC بين 1 إلى 100 مليمكافئ / 100 غرام تربة، حيث تكون قيمتها منخفضة في الترب الرملية وعالية في الترب الطينية. وعلى نحو مماثل، تعكس قيم CEC الأعلى سيادة المعادن الطينية 1:2، وتعكس قيم CEC الأدنى وجود المعادن الطينية 1:1.

الأجهزة

- جهاز التحليل الطيفي باللهب flame photometer.
- جهاز رج كهربائي، ترددي mechanical shaker, reciprocating.
- جهاز طرد مركزي، بمعدل 3000 دورة / الدقيقة centrifuge.
- أنابيب طرد مركزي سعة 50 مل conical centrifuge tubes.

المحاليل

- أ. محلول خلات الصوديوم ($NaOAc$)، $N 1$
 - أذب 136 غ من خلات الصوديوم ثلاثي جزئيات ماء ($CH_3COONa \cdot 3H_2O$) في حوالي 950 مل من

الماء المقطر، إمزج جيداً، ثم اترك المزيج يبرد.
• عدل درجة pH إلى 8.2 بإضافة حمض الخليك أو ماءات الصوديوم، وأكمل الحجم إلى لتر بالماء المقطر.

ب. كحول إثيلي (C₂H₅OH)، 95%

ج. محلول خلات الأمونيوم (NH₄OAc)، N 1

• أضف 57 مل من حمض الخليك المركز (CH₃COOH) إلى 800 مل من الماء المقطر، ثم أضف 68 مل من ماءات الأمونيوم (NH₄OH)، إمزج جيداً، ثم دع المزيج يبرد.
• عدل درجة pH إلى 7.0 بإضافة حمض الخليك أو ماءات الأمونيوم، وأكمل الحجم إلى لتر بالماء المقطر.

د. محلول الأم القياسي

• جفف حوالي 5 غ من كلوريد الصوديوم (NaCl) بالفرن لدرجة حرارة 105°م لمدة 3 ساعات، ثم برد في المجفف، واحفظه في زجاجة محكمة الإغلاق.
• أذب 2.5418 غ من كلوريد الصوديوم المجفف في الماء المقطر، وأكمل الحجم إلى لتر بالماء المقطر. يحوي هذا المحلول 1000 ppm (جزء من المليون) Na (محلول الأم).
• حضر سلسلة من المحاليل القياسية من محلول الأم كالتالي: خفف 2، 4، 6، 8، 10، 15، 20 مل من محلول الأم إلى دورق سعة 100 مل حجم نهائي بإضافة محلول خلات الأمونيوم N 1، و25 مل من محلول LiCl (محلول الأم المخفف). تحوي هذه المحاليل تحوي 20، 40، 60، 80، 100، 150، 200 ppm Na، مع احتواء كل محلول لنفس التركيز من LiCl (25 ppm).

طريقة العمل

1. زن 4 غ (تربة متوسطة إلى ناعمة القوام) أو 6 غ (تربة خشنة القوام) جافة هوائياً إلى أنبوب طرد مركزي سعة 40 مل، ثم أضف 33 مل من محلول خلات الصوديوم (ثلاثي جزيئات الماء) N 1، ثم سد الأنبوب، ورج لمدة خمس دقائق.
2. ارفع السدادة عن الأنبوب وضع الأنبوب داخل جهاز الطرد المركزي 3000 دورة/دقيقة حتى يصبح السائل الطافي supernatant liquid رائقاً. صفّ السائل الطافي تماماً قدر المستطاع ثم اطرحها.
3. كرر العملية مع 33 مل من محلول خلات الصوديوم (ثلاثي جزيئات الماء) N 1، المجموع الكلي أربع مرات، في كل مرة صفّ السائل الطافي. ثم أضف 33 مل من كحول إثيلي (إيثانول) 95%، ثم سد الأنبوب، ورج لمدة خمس دقائق، ارفع السدادة عن الأنبوب وضع الأنبوب داخل جهاز الطرد المركزي حتى يصبح السائل الطافي رائقاً ومن ثم صفّ.

4. اغسل العينة مع 33 مل من محلول **كحول ايثيلي** 95% ثلاث مرات، في كل مرة صفِّ السائل الطافي بحيث تكون الناقلية الكهربائية (EC) للسائل الرائق بعد الغسلة الثالثة أقل من 400 ميكروسيمنس/سم ($\mu\text{S}/\text{cm}$).
5. استعض عن الصوديوم (Na^+) المدمص من العينة بإضافة 33 مل من محلول **خلات الأمونيوم N 1**، المجموع الكلي ثلاث مرات، في كل مرة رج لمدة 5 دقائق، وضع الأنبوب داخل جهاز الطرد المركزي حتى يصبح السائل الطافي رائقاً.
6. صفِّ السوائل الثلاثة على نحو كامل بقدر المستطاع (يفضل استخدام ورق ترشيح) في دورق حجمي سعة 100 مل، وأكمل إلى الحجم بمحلول **خلات الأمونيوم N 1**، وامزج المحتوى جيداً.
7. قس سلسلة من المحاليل القياسية Na المناسبة، وارسم منحنى المعايرة (خطاً بيانياً يبين العلاقة بين القراءات وتراكيز المحاليل القياسية).
8. قس العينات (مستخلص التربة) وخذ قراءات الطيف emission بواسطة جهاز **التحليل الطيفي باللهب Flame Photometer** عند طول موجة 767 nm (نانوميتر).
9. احسب تركيز الصوديوم (Na) طبقاً لمنحنى المعايرة.

الحساب

السعة التبادلية للكاتيونات في التربة:

$$CEC (meq/100g) = meq/L Na \text{ (من المنحنى القياسي)} \times \frac{A}{Wt} \times \frac{100}{1000} \quad (20)$$

حيث أن: A = الحجم الكلي للمستخلص (مل).
 Wt = وزن التربة الجافة هوائياً (غ).

ملاحظة

على الرغم مما تتطلبه هذه الطريقة من جهود مضيئة، تعتبر طريقة (Rhoades and Polemio 1977) أكثر ملائمة بالنسبة للترب الحاوية على الكربونات، الجبس، والزيوليت zeolite.

6.5 الجبس

تعتبر الترب الحاوية على كميات متباينة من الجبس ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) شائعة في كثير من بلدان منطقة CWANA، بما فيها سوريا والعراق. يعتبر الجبس إحدى المشاكل الأساسية في المناطق المروية وبينما تقل أهميته في المناطق البعلية. لذلك، يكتسب تحديده أهمية في بعض مختبرات المنطقة. إن الطريقة القياسية لتحديد الجبس والموصوفة هنا هي طريقة (Richards 1954) التي تشمل الترسيب بواسطة محلول الأسيتون acetone. ويمكن الاطلاع على تعديلات هذه الطريقة والطرق الأخرى (Sayegh *et al.*, 1978) في نشرة FAO حول الترب الجبسية (FAO, 1990).

الأجهزة

- جهاز طرد مركزي، بمعدل 4000 دورة/دقيقة.
- أنابيب طرد مركزي، سعة 50 مل.
- جهاز قياس الناقلية الكهربائية مع خلية القياس.
- جهاز رج كهربائي.

المحاليل

الأسيتون

طريقة العمل (كمياً)

1. زن ما بين 10 إلى 20 غ تربة جافة هوائياً (تربة متوسطة إلى ناعمة القوام) في دورق مخروطي سعة 250 مل، ومن ثم أضف حجم مناسب من **الماء المقطر** كاف لإذابة الجبس الموجود.
2. أغلق الدورق المخروطي، ورجه يدوياً ست مرات بفاصل 15 دقيقة أو رج لمدة 15 دقيقة على جهاز الرج الكهربائي.
3. رشح المستخلص باستخدام ورق ترشيح متوسطة المسامية، ثم انقل 20 مل من الراشح إلى أنبوب الطرد المركزي المخروطي سعة 50 مل.
4. أضف 20 مل من **الأسيتون**، وامزج جيداً، ثم اترك الأنبوب ثابتاً حتى يرسب الراسب الأبيض المتشكل من الجبس، تحتاج هذه العملية عادة لمدة 5-10 دقائق.
5. ثفل بواسطة جهاز الطرد المركزي بسرعة 4000 دورة/الدقيقة لمدة 3 دقائق، صفّ السائل الطافي، أقلب الأنبوب، ومن ثم صفّ على ورق ترشيح لمدة 5 دقائق.
6. اخلط الراسب واغسل جدران الأنبوب بإضافة 10 مل من الأسيتون بواسطة الماصة.

6. تحليل العناصر الغذائية والصوديوم والأنيونات في التربة

1.6 الأزوت

عدد استعراض الإحتياجات الكبيرة للمحاصيل من الأزوت وتدني المستويات المتاحة فعلياً في جميع نماذج الترب، نجد أن الأزوت هو أكثر العناصر الغذائية أهمية في الزراعة. كما يعد رصد دينامية أزوت السماد N fertilizer في الترب مهماً من وجهة النظر البيئية.

يوجد الأزوت في التربة بأشكال عديدة، منها العضوي *organic* ومنها اللاعضوي *inorganic*. إن الأشكال السابقة، المكونة في الغالب من بقايا النبات والبكتريا، متباينة التركيب. فقد تكون أساسية في كمياتها الفعلية والنسبية في ترب المناطق ذات الحرارة المعتدلة. ومع تزايد الجفاف، تميل كميات الأزوت العضوي وأزوت التربة الكلي total soil N إلى الانخفاض.

يتألف الشكل اللاعضوي من أزوت التربة من أشكال الأمونيوم (NH_4^+)، والنترات (NO_3^-)، والنترت (NO_2^-). وتؤثر عوامل البيئة (درجة الحرارة والرطوبة) والإدارة (التسميد، الزراعة، إلخ...) في العلاقة الدينامية بين الأشكال العضوية، وكذلك بين الأشكال اللاعضوية (انظر دورة N في الشكل 5).

يُقاس شكلي الأزوت الأمونياكي $\text{NH}_4\text{-N}$ والنتراتي $\text{NO}_3\text{-N}$ روتينياً في مختبرات التربة، لأنهما يعكسان مدى عملية التمعن *mineralization*، وهما شكلا الأزوت اللذين يمتصهما النبات، لقد أثبت في منطقة CWANA أن محتوى الأزوت النتراتي *nitrate-N* في الترب يعد مؤشراً جيد التنبؤ بكمية أزوت السماد المطلوب للمحاصيل. ويقاس شكل الأزوت العضوي *organic-N* كأحد المقاييس لاحتياطي الترب من الأزوت وأقدرته على تحرير الأزوت لتلبية إحتياجات المحصول من خلال عملية التمعن. لذلك، تتباين طرائق تحليل الأزوت اعتماداً على جزئيات الأزوت وأشكاله العضوية المختلفة.

وعموماً يُقاس شكل أزوت التربة الكلي (الشكل العضوي بشكل رئيسي) بعد عملية الهضم الرطب *wet digestion* باستخدام طريقة كلداهل *kjeldahl* المعتمدة. وتُقدر عادة الأشكال غير العضوية للأزوت ($\text{NH}_4^+ + \text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$) باستخدام طريقة التقطير *distillation* بعد عملية استخلاص التربة بمحلول $\text{M} 2 \text{KCl}$. وبالإضافة إلى عملية التقطير، يمكن تحديد $\text{NO}_3\text{-N}$ بطريقة حمض الكروموتروبيك *chromotropic acid*.

1.1.6 تقدير الأزوت بطريقة *kjeldahl*

تشمل هذه الطريقة عمليتي الهضم *digestion* والتقطير *distillation*. إذ تُهضم التربة في H_2SO_4 المركز بوجود خليط مُحفز *catalyst mixture* لرفع درجة حرارة الغليان ولتشجيع التحول من الأزوت العضوي *organic-N* إلى الأزوت الأمونياكي *ammonium-N*. ومن ثم يُقدر الأزوت الأمونياكي في المحلول المهضوم بوساطة عملية التقطير البخاري، مستخدمين الفأض من ماءات الصوديوم (*excess NaOH*)

ويمكن تقدير الأزوت النتراطي عند الطلب، من خلال تعديلات الحديد المرجع reduced iron أو حمض الساليسيليك salicylic acid بوساطة طريقة كنداها (انظر القسم التالي).

الأجهزة

- جهاز هضم block-digester.
- جهاز وحدة التقطير distillation unit.
- جهاز معايرة أوتوماتيكي موصول إلى جهاز automatic titrator pH.
- جهاز خلاط أنابيب دوراني vortex tube stirrer.

المحاليل

أ. خليط مُحفِز *catalyst mixture* (K₂SO₄-CuSO₄.5H₂O-Se) النسبة w/w 100:10:1
• اطحن المواد الكيميائية النقية كل على حدة ومن ثم امزجها، وإذا أصبح المزيغ كتلة متراصة، اطحن المزيغ في هاون porcelain pestle and mortar بحيث تمر المواد المجروشة في منخل قطر فتحاته 60-mesh (0.250 مم)، مع أخذ الحيلة من استنشاق غبار السلينيوم (Se) أو ملامسته للجلد.

ب. حمض الكبريت (H₂SO₄)، (sp.gr. 1.84، 98%) المركز

ج. محلول ماءات الصوديوم (NaOH)، N 10
• أذب 400 غ من ماءات الصوديوم في الماء المقطر، وانقله إلى دورق بيركس Pyrex سميك الجدران سعة لتر، دعه يبرد، وأكمل إلى الحجم بالماء المقطر.

د. محلول حمض البوريك (H₃BO₃)، المشبع
• أضف 500 غ من حمض البوريك إلى دورق حجمي سعة 5 لتر.
• أضف 3 لتر من الماء المقطر، حركه جيداً.
• اتركه طوال الليل
• يجب أن يتواجد على الدوام H₃BO₃ خام في أسفل الدورق الحجمي.

هـ. محلول Tris [هيدروكسي ميثيل أمينوميثان (C₄H₁₁NO₃)]، N 0.01
• جفف المادة الكيميائية النقية من Tris بالفرن على درجة حرارة 80°م لمدة 3 ساعات، ثم بردها في المجفف، واحفظها في زجاجة محكمة الإغلاق.

- أذب 1.2114 غ من *Tris* في الماء المقطر، انقل إلى دورق حجمي سعة ليتر، ثم أكمل إلى الحجم بالماء المقطر.

و. محلول حمض الكبريت (H_2SO_4)، $N 0.01$

- ضع حوالي 600–800 مل من الماء المقطر في دورق حجمي سعة ليتر، أضف 28 مل من حمض الكبريت المركز، وأمزج جيداً، دعه يبرد، أكمل الحجم إلى ليتر بالماء المقطر. نحصل على محلول $N 1 H_2SO_4$.
- ثم خفف 100 مرة (ضع 10 مل في دورق حجمي سعة ليتر) للحصول على محلول $N 0.01 H_2SO_4$.

ز. محلول الأم القياسي

- جفف المادة الكيميائية النقية من كبريتات الأمونيوم $(NH_4)_2SO_4$ بالفرن على درجة حرارة $100^\circ C$ لمدة ساعتين، برد بالمجفف، واحفظها في زجاجة محكمة الإغلاق.
- أذب 5.6605 غ من كبريتات الأمونيوم المجففة في الماء المقطر، وأكمل الحجم إلى ليتر بالماء المقطر. هذا المحلول يحتوي على 1.2 غ NH_4-N في اللتر (محلول الأم).

طريقة العمل

أ. الهضم

1. زن 1 غ تربة جافة هوائياً (0.15 مم) إلى أنبوب هضم معايير سعة 100 مل.
2. أضف حوالي 5.0–5.5 غ من الخليط المحفز، عدة قطع من حجر الخفان لتنظيم الغليان *granules* *pumice boiling*، 15 مل من حمض الكبريت المركز (في حجرة شطف الأبخرة)، رج بعناية. ضع قمعاً زجاجياً في أعلى الأنبوب، بعدها ضع الأنبوب على الحامل *the rack*، واتركه طوال الليل.
3. ضع حامل الأنابيب *rack tubes* في جهاز الهضم *block-digester*، ومن ثم ارفع درجة الحرارة حتى درجة $370^\circ C$ تقريباً. عندها سيتكاثف H_2SO_4 حتى منتصف عنق الأنبوب؛ وبعد أن يصبح محلول الهضم رائقاً تماماً، تابع التسخين بعد ذلك تقريباً لمدة 3 ساعات.
4. ارفع حامل الأنابيب من جهاز الهضم، وبحذر شديد ضعه على ماسك الحامل *rack holder*، ثم دع الأنابيب تبرد حتى تصل إلى درجة حرارة الغرفة.
5. أضف ببطء حوالي 15 مل من الماء المقطر إلى الأنابيب، برد، ثم أكمل إلى الحجم بالماء المقطر. إذا تصلبت محتويات الأنبوب ولم تنحل، سخن الأنابيب مرة ثانية حتى ذوبان الترسبات (الجبس). ثم برد بواسطة استخدام صنوبر الماء.
6. يجب أن تحوي كل مجموعة *batch* من العينات المهضومة على أنبوب شاهد للمحاليل *reagent blank*.

(بدون تربة)، وأنبوب قياسي يحوي تركيزاً معيناً من المحلول الأم chemical standard (بدون تربة، وحجم 1 مل من المحلول الأم).

ب. التقطير

7. قبل البدء بعملية التقطير للعينات المهضومة في كل مجموعة، أضبط جهاز pH مستخدماً محلولين قياسييين منظمين buffer solutions إحداهما المنظم "buffer" عند pH 7.0، والآخر لحساسية القطب المشترك "sensitivity" عند pH 4.0، وذلك بعد قياس درجة حرارة أحد المحلولين وتعديل مؤشر الحرارة على الجهاز. ثم قدر بالضبط نظامية $N 0.01 H_2SO_4$ باستخدام جهاز المعايرة الآلي Auto-Titrator. وذلك بأخذ ثلاثة محاليل منفصلة بحجم 10 مل من محلول $N 0.01 Tris$ القياسي ومعايرته بالحمض حتى درجة pH 5.0. ويجب أن تتفق المعايرات ضمن 0.03 مل، وإذا لم يتم ذلك، استمر بمعايرة محاليل قياسية جديدة حتى التوصل إلى القيم المتوافقة.

لحساب نظامية H_2SO_4 :

$$(23) \quad N_{H_2SO_4} = \frac{10 \times N_{Tris}}{V_{H_2SO_4}}$$

8. تُجرى عمليات التقطير كالتالي (أنظر المخطط البياني لوحدة التقطير في الشكل 6):

- ضع 1 مل من محلول حمض البوريك المشبع و1 مل من الماء المقطر في طبق التبخير dish evaporating سعة 100 مل، ثم ضع الطبق تحت رأس أنبوب المكثف condenser tip، على نحو يلامس فيه الرأس سطح المحلول.
- اسحب بوساطة الماصة 10 مل من العينة المهضومة وضعها في دورق تقطير distillation flask سعة 100 مل، أضف 10 مل من محلول **ماءات الصوديوم** $N 10$.
- صل دورق التقطير مباشرة مع المحلول إلى وحدة التقطير بوساطة ملاقط خاصة clamp، ثم ابدأ عملية التقطير لمدة 3 دقائق، ثم اخفض الطبق بالتدريج كي تسمح للمادة المقطرة بالنزول بشكل حر إلى الطبق.
- بعد 4 دقائق، عندما يتم جمع حوالي 35 مل من المادة المقطرة، أوقف عملية التقطير، ثم اغسل رأس المكثف بكمية قليلة من الماء المقطر إلى طبق التبخير.
- عاير المادة المقطرة إلى درجة pH 5.0 بمحلول $N 0.01 H_2SO_4$ مستخدماً جهاز المعايرة الآلي.
- بعد الانتهاء من المعايرة، اغسل كلاً من قضيب التحريك المغناطيسي المغطى بالتيفلون teflon، ورأس السحاحة، والقطب المشترك إلى طبق الغسيل.

- يجب تبخير وحدة التقطير، بين عينات التقطير المختلفة، وذلك بعد فصل دوارق التقطير المحتوية على العينة المهضومة ومحلول ماءات الصوديوم كما يلي: صل دوارق تقطير فارغ سعة 100 مل إلى وحدة التقطير. ضع كأس فارغ سعة 100 مل تحت رأس المكثف، أوقف المياه المتدفقة إلى المكثف (صرف المياه من غلاف المكثف condenser jacket)، ومن ثم بخر لمدة 90 ثانية.
- يجب أن تحتوي كل عملية تقطير على محلولين قياسييين standards وشاهدين blanks (شواهد المحاليل) كحد أدنى.

الحساب

النسبة المئوية لاسترداد Recovery الأزوت النشادرية القياسي:

$$(24) \quad \% \text{ Recovery} = \frac{(V-B) \times N \times 14.01 \times 100}{C \times D}$$

النسبة المئوية للأزوت في التربة :

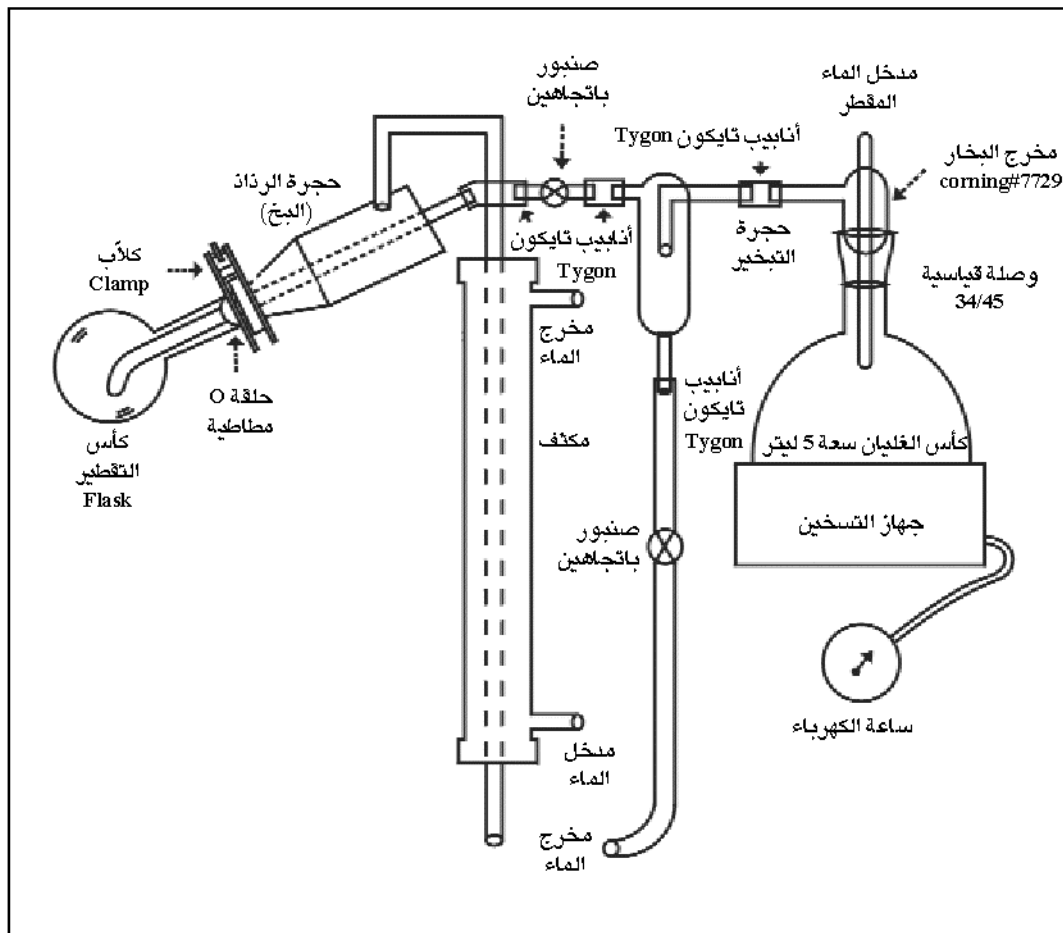
$$(25) \quad \% N = \frac{(V-B) \times N \times R \times 14.01 \times 100}{Wt \times 1000}$$

- حيث أن:
- V = حجم محلول H_2SO_4 0.01 N المستهلك في معايرة العينة (مل)
 - B = حجم معايرة الشاهد المهضوم (مل)
 - N = نظامية محلول H_2SO_4
 - 14.01 = الوزن الذري للأزوت
 - R = النسبة بين الحجم الكلي للعينة المهضومة وبين الحجم المأخوذ للتقطير.
 - Wt = وزن التربة الجافة هوائياً (غ)
 - C = حجم محلول NH_4-N القياسي (مل)
 - D = تركيز محلول NH_4-N القياسي (ميكروغرام/مل)

ملاحظات

1. قد يحتاج جهاز الهضم العزل بمادة واقية من الحرير الصخري asbestos للحصول على توزيع متناسق من درجات الحرارة.

2. أضيف 3 مل من H_2SO_4 المركز إلى الماء المقطر الموجود في دورق التسخين heating mantle من خلال الأنبوب الواصل لأسفل الدورق لمنع تشكل أية كمية من NH_3 . كما يجب إضافة بعض حبيبات الغليان المغطاة بالتيفلون *teflon boiling chips* لتنظيم الغليان بشكل لطيف.



الشكل رقم 6. رسم تخطيطي لجهاز وحدة التقطير

2.1.6 الأزوت الكلي

إن الفرق بين أزوت الكلداهل kjeldahl-N والأزوت الكلي total-N في التربة فرق صغير، ويرجع ذلك أساساً إلى تقدير الأزوت النتراي nitrate-N والأزوت الكلي معاً. في طريقة العمل التالية يُرجع جزئ NO₃-N (الموجود في التربة) ولاحقاً يقدر في عملية التقطير (Bremner and Mulvaney, 1982; Buresh *et al.*, 1982).

المحالييل

أ. حمض الكبريت (H₂SO₄)، (sp. gr. 1.84، 98% المركز)

ب. محلول برمنغنات البوتاسيوم (KMnO₄)

أذب 50 غ من برمنغنات البوتاسيوم في الماء المقطر، وأكمل الحجم إلى لتر بالماء المقطر. احفظ المحلول في زجاجة غامقة اللون.

ج. محلول حمض الكبريت (H₂SO₄)، النسبة 50% v/v

أضف ببطء لتر من حمض الكبريت المركز إلى لتر من الماء المقطر في دورق سعة 4 لتر مع التحريك المستمر.

د. الحديد المُرجع

اطحن في طاحونة الكرات ball mill ثم غربل لتزيل أية مواد لا تمر عبر فتحات غربال قطره 0.15 مم (أقل من 150 mesh).

هـ. محلول N- أوكتيل الكحول

و. خليط المُحفز

يحضر كما في طريقة تقدير أزوت كلداهل.

ز. ملح EDTA ثنائي الصوديوم (Ethylene Diaminetetraacetic Acid)، الوزن الجزيئي = 372.2 يُخزن في المجفف.

ح. محلول ماءات الصوديوم (NaOH)، N 10.
يحضر كما في طريقة تقدير أزوت كلداهل.

ط. محلول حمض البوريك (H_3BO_3)، المشبع.
يحضر كما في طريقة تقدير أزوت كلداهل.

ي. محلول Tris
يحضر كما في طريقة تقدير أزوت كلداهل.

ك. محلول حمض الكبريت (H_2SO_4)، N 0.01.
يحضر كما في طريقة تقدير أزوت كلداهل.

طريقة العمل

أ. الهضم

1. أمزج وانشر عينة التربة المطحونة الناعمة (0.15 مم) على صفيحة ورقية على شكل طبقة رقيقة، حتى تبدو بصورة متجانسة.
2. خذ عينة ممثلة لعينة التربة تحتوي على حوالي 3-8 ميلي غرام أزوت، وذلك بأخذ 10 أجزاء صغيرة من عينة التربة، مثلاً 10 غ.
3. زن عينة إلى اقرب 0.01 غ ثم ضعها في أنبوب هضم حجمي سعة 250 مل.
4. في نفس الوقت، خذ عينة تربة لتقدير نسبة الرطوبة (105 م°).
5. أضف 10 مل من الماء المقطر لكل أنبوب وحرك بشكل دائري على نحو كامل لترطيب التربة. ثم دع التربة الرطبة لمدة 30 دقيقة.
6. حضر أنبوب هضم لعينة الشاهد في كل مجموعة من العينات، ثم زن 0.1 غ من EDTA (الدقة المطلوبة بالوزن حتى 0.1 ميلي غرام).
7. أضف 10 مل من محلول برمنغنات البوتاسيوم، حرك جيداً بشكل دائري، ثم اتركه لمدة 30 ثانية. بعد ذلك أمسك أنبوب الهضم بزاوية 45 درجة وأضف ببطء 20 مل من حمض الكبريت 50% على نحو يزيل المواد العالقة على حواف الأنبوب.
8. اترك الأنبوب بدون تحريك لمدة 15 دقيقة ثم حرك بشكل دائري.

- هام:** لا تحرك أنبوب الهضم مباشرة بعد إضافة الحمض، لمنع الفوران الزائد excessive frothing.
9. أضف نقطتين من محلول N- أوكيتيل الكحول.
 10. أضف عدة قطع من حجر الخفان لتنظيم الغليان إلى أنابيب الشاهد، وEDTA، والعينات.
 11. أضف 2.5 غ من الحديد المُرَجِّع عبر قمع طويل الساق long-stem funnel وغط مباشرة عنق الأنبوبة بقمع زجاجي 5 سم (بدون ساق)، ثم حرك بشكل دائري.
 12. يمكن وقف الفوران الزائد في هذه المرحلة بإضافة 5 مل من الماء المقطر عبر قمع قطرة 5 سم، لا تحرك الأنابيب.
 13. اترك الأنابيب طوال الليل.
 14. أعد هضم العينات، بوضعها على جهاز هضم بارد، حيث تُرفع درجة الحرارة حتى 100°م لمدة ساعة. يصل جهاز الهضم لهذه الدرجة بعد 15 دقيقة ؛ لذلك فإن الوقت الكلي المطلوب على جهاز الهضم يساوي ساعة و15 دقيقة.
 15. حرك العينات بشكل دائري بعد 45 دقيقة.
 16. ارفع الأنابيب من على جهاز الهضم، ثم برد. يمكن استخدام التبريد السريع بوساطة صنبور الماء.
 17. اتركها طوال الليل.
 18. أضف حوالي 5 غ من خليط المُحَفِّز عبر قمع طويل الساق. ثم أضف 25 مل من حمض الكبريت المركز لكل أنبوب، وحرك الأنبوب بشكل دائري (قد تحتاج إلى كمية زائدة من الحمض في حالة استخدام كميات أكبر من التربة).
 19. أعد الأنابيب إلى جهاز الهضم المسخن حتى درجة حرارة 100°م، ثم ارفع درجة الحرارة إلى 240°م، بعد ذلك ارفع الأقماع عن الأنابيب.
 20. رتب الأقماع بانتظام بحيث يمكن إعادتها إلى أنبوب الهضم نفسه. يصل جهاز الهضم إلى هذه الدرجة بعد 40 دقيقة.
 21. استمر في عملية الغليان لإزالة الماء لمدة ساعة بعد الوصول لدرجة الحرارة 240°م.
 22. بعد إزالة الماء، أعد الأقماع، وارفع درجة الحرارة حتى 380°م.
 23. أضبط الوقت اللازم على جهاز الهضم، واستمر بالهضم لمدة 4 ساعات عند درجة الحرارة 380°م.
 24. ارفع الأنابيب من على جهاز الهضم، أضف حوالي 50 مل من الماء المقطر، وامزج جيداً بوساطة جهاز خلاط الأنابيب الدوراني. وفي حالة بقاء مواد صلبة مترسبة في الأنابيب فإنها تُفرط بوساطة قضيب زجاجي.
 25. بعد التبريد، أضف الماء المقطر حتى الحجم 250 مل.

ب. التقطير

1. قبل البدء بعملية التقطير، رج أنبوب الهضم حتى يتم مزج محتوياته بشكل كامل، ومن ثم اسحب بوساطة

- الماصة 50 مل من المزيج وضعها في دورق التقطير سعة 250 مل.
2. قَطِّر المزيج المهضوم مع كمية زائدة من **مئات الصوديوم NaOH**. والكمية المطلوبة من المزيج المهضوم للسحب 50 مل أو 100 مل حيث يضاف 25 مل أو 50 مل من **N 10 NaOH**، على التوالي.
3. تُجرى عمليات التقطير كالتالي :

- ضع 1 مل من محلول **حمض البوريك المشبع** و1 مل من **الماء المقطر** في طبق التبخير dish evaporating سعة 100 مل، ثم ضع الطبق تحت رأس أنبوب المكثف condenser tip على نحو يلامس الرأس سطح المحلول.
- ضع بعناية الكمية الموافقة من **N 10 NaOH** إلى حواف الدورق، وذلك بإمسك دورق التقطير الحاوي على المادة المهضومة بزاوية 50 درجة.
- صل مباشرة دورق التقطير مع المحلول إلى وحدة التقطير بوساطة ملقط خاص clamp، ثم ابدأ عملية التقطير، استمر لمدة 3 دقائق، اخفض الطبق بالتدريج لكي يُسمح للمادة المقطرة بالنزول بشكل حر إلى الطبق.
- أوقف عملية التقطير، بعد 4 دقائق، عندما يتم جمع حوالي 35 مل من المادة المقطرة، ثم اغسل رأس المكثف بكمية قليلة من الماء المقطر إلى طبق التبخير.

هام: يتأخر ظهور المادة المقطرة عند استخدام أحجام كبيرة من المادة المهضومة، علماً أن فترة التقطير يجب ألا تتجاوز 4 دقائق في كل الأحوال منذ ظهور أول قطرة من المحلول المقطر.

- عاير المادة المقطرة إلى درجة pH 5.0 بمحلول H_2SO_4 0.01 N مستخدماً **جهاز المعايرة الآلي - Titrator Auto**.
- بعد الانتهاء من المعايرة، اغسل قضيب التحريك المغناطيسي المغطى بالتيفلون teflon، ورأس السحاحة، والقطب المشترك إلى طبق الغسيل.
- يجب تبخير وحدة التقطير، بين عينات التقطير المختلفة، وذلك بعد فصل دوارق التقطير المحتوية على العينة المهضومة ومحلول ماءات الصوديوم كما يلي : صل دورق تقطير فارغ سعة 100 مل إلى وحدة التقطير. ضع كأس فارغ سعة 100 مل تحت رأس المكثف، أوقف تنبثق المياه القادمة إلى المكثف (صرف المياه من غلاف المكثف condenser jacket)، ومن ثم بخر لمدة 90 ثانية.
- يجب أن تحتوي كل عملية تقطير على محلولين قياسييين standards وشاهدين blanks (شواهد المحاليل) كحد أدنى.

الحساب

النسبة المئوية من استرداد EDTA القياسي:

$$(26) \quad \% \text{ Recovery} = \frac{(V-B) \times N \times R \times 186.1 \times 100}{Wt_1 \times 1000}$$

النسبة المئوية للأزوت في التربة:

$$(27) \quad \% N = \frac{(V-B) \times N \times R \times 14.01 \times 100}{Wt_2 \times 1000}$$

حيث أن : V = حجم محلول H_2SO_4 0.01 N المستهلك في معايرة العينة (مل)
 B = حجم معايرة الشاهد المهضوم (مل)
 N = نظامية محلول H_2SO_4 .
 14.01 = الوزن الذري للأزوت
 R = النسبة بين الحجم الكلي للعينة المهضومة وبين الحجم المأخوذ للتقطير.
 Wt_1 = وزن EDTA (غ)
 Wt_2 = وزن التربة الجافة هوائياً (غ)
 186.1 = الوزن المكافئ لمادة EDTA.

3.1.6 الأزوت المعدني

تمتص جذور النباتات الأزوت إما على شكل أزوت أمونياكي أو على شكل أزوت نترات، و تُنتج أيونات النشادر في الترب نتيجة انحلال المادة العضوية أو إضافة السماد الطبيعي. وتعتبر أيونات النترات الشكل النهائي لتحلل/تفاعلات الأزوت، إلا أنه يمكن تأمينه عن طريق الأسمدة.

يمكن أن يُفقد الأزوت المتاح available-N في التربة بطرق عديدة؛ منها التطاير *volatilization*، والفقد عن طريق النترجة تحت الظروف اللاهوائية *anaerobic de-nitrification*. الارتشاح *leaching*. وفي الأحوال الطبيعية، لا يرشح NH_4^+ من التربة لأن الشحنة الموجبة (+) charge positive تجذبها وتمسك بها الشحنة السالبة (-) charge negative لسطح الطين وجزيئات المادة العضوية المنحلة humus particles. على كل حال، تفقد الشحنة الموجبة متى تحول NH_4^+ إلى NO_3^- ، وتصبح التربة غير قادرة على جذب الأزوت المتاح. فالماء الذي يرشح عبر قطاع التربة يرشح ويستنفذ NO_3^- الحر mobile من الطبقات العليا إلى الطبقات الدنيا، وحتى إلى المياه الجوفية إذا كان الارتشاح شديداً. ومن المرجح أن يتم إنغسال النترات الشديد في الحقول التي يتم تسميدها بشكل زائد.

ويعتبر وجود النترات في المياه الجوفية محط اهتمام بيئي وصحي. فالمستويات العالية من النترات في مياه الشرب (أكثر من 10 ppm) مرتبطة بمشاكل صحية مثل (methemoglobinemia) مما ينتج عنه مواليد "زرقي".

يقدر الأزوت المعدني باستخدام محلول استخلاص بنسبة 5:1 (تربة : الماء). ويقدر الأمونيوم NH_4^+ و النترات NO_3^- بالإضافة إلى النترت NO_2^- بتقطير بخار الأمونيا (ammonia NH_3) باستخدام MgO الثقيل من أجل NH_4^+ وخلطة ديفاردا Alloy Devarda's من أجل NO_3^- . تجمع المادة المقطرة في حمض H_3BO_3 المشبع وتعاير إلى pH 5.0 بمحلول H_2SO_4 المخفف. وتقدر هذه الطريقة الأشكال المنحلة والمدمصة من NH_4^+ ، NO_3^- ، NO_2^- في الترب. ويطلق على المجموع الكلي لهذه الأشكال اسم الأزوت المعدني (Keeney and Nelson, 1982; Buresh, et al., 1982).

المحاليل

أ. محلول كلورايد البوتاسيوم (KCl)، M2

أذب 150 غ من كلورايد البوتاسيوم النقية في الماء المقطر، و أكمل الحجم إلى لتر بالماء المقطر.

ب. أكسيد المغنزيوم (MgO)، بودرة

سخن أكسيد المغنزيوم الثقيل في المرمدة muffle furnace عند درجة حرارة 600-700°م لمدة ساعتين، برد في مجفف يحتوي على حبيبات KOH، و احفظه في زجاجة محكمة الإغلاق.

ج. خلطة ديفاردا (50 Cu: 45 Al: 5 Zn)

اطحن في طاحونة تحتوي على الكرات ball mill خلطة الـديفاردا/ إلى درجة يمكن معها مرور المنتج عبر منخل قطر فتحاته 100 mesh (0.150 مم) أو على الأقل 75% يمكنها المرور عبر منخل قطر فتحاته 300 mesh (0.050 مم).

د. محلول حمض البوريك (H_3BO_3)، المشبع
يحضر كما في طريقة تقدير أزوت كلاًهـل.

هـ. محلول Tris ($C_4H_{11}NO_3$)، 0.01 N
يحضر كما في طريقة تقدير أزوت كلاًهـل.

و. محلول حمض الكبريت (H_2SO_4)، 0.01 N
يحضر كما في طريقة تقدير أزوت كلاًهـل.

ز. محلول الأم القياسي

- جفف المادة الكيميائية النقية من كبريتات الأمونيوم $(NH_4)_2SO_4$ ، وتترات البوتاسيوم (KNO_3) بالفرن على درجة حرارة 100° م لمدة ساعتين، برد بالمجفف، واحفظه في زجاجة محكمة الإغلاق.
- أذب 5.6605 غ من كبريتات الأمونيوم و 8.6624 غ تترات البوتاسيوم في الماء المقطر، انقل إلى دورق حجمي سعة ليتر، أمزج جيداً، وأكمل إلى الحجم بالماء المقطر. هذا المحلول يحتوي على 1.2 غ NH_4-N ، و 1.2 غ NO_3-N في اللتر (محلول الأم).
- حضر محلولاً قياسيماً من محلول الأم كالتالي:
- خفف 50 مل من محلول الأم إلى حجم ليتر بإضافة محلول كلورايد البوتاسيوم $M2$ (محلول الأم المخفف).
- يحتوي كل 20 مل من المحلول الأم المخفف على 1.2 ميلي غرام من NH_4-N و 1.2 ميلي غرام من NO_3-N .

طريقة العمل

1. زن 30 غ تربة جافة هوائياً (2 مم) إلى دورق أرلنيمير سعة 250 مل، ثم أضف 150 مل من محلول كلورايد البوتاسيوم $M2$ (5:1 تربة : المحلول).

2. اغلق الدورق، رج العينات لمدة ساعة واحدة على جهاز رج كهربائي يدور في الساعة 200-300 دورة/ الدقيقة ، ثم رشح المعلق مستخدماً ورقة ترشيح Whatman No. 42.
3. عاير جهاز pH، و قدر نظامية محلول H_2SO_4 0.01 N مستخدماً جهاز المعايرة الأتوماتيكي Auto-Titrator، كما في طريقة تقدير الأزوت Kjeldahl.
4. قبل البدء بعملية التقطير، اغسل وحدة جهاز التقطير بالبخار لمدة 10 دقائق. ثم أضبط عملية التقطير بحيث يمكن الحصول على 7-8 مل من المادة المقطرة في الدقيقة الواحدة.
5. يجب أن تتدفق مياه الصنبور عبر غلاف المكثف condenser jacket بمعدل كاف لإبقاء درجة حرارة المادة المقطرة دون 22° م.
6. تُجرى عمليات التقطير كالتالي:
 - ضع 1 مل من محلول حمض البوريك المشبع و 1 مل من الماء المقطر في طبق التبخير evaporating dish سعة 100 مل، ثم ضع الطبق تحت رأس أنبوب المكثف condenser tip على نحو يلامس فيه الرأس سطح المحلول.
 - اسحب بوساطة الماصة 20 مل من المعلق الرائق وضعها في دورق تقطير distillation flask سعة 100 مل.
 - لتقدير NH_4-N في المحلول، أضف 0.2 غ من أكسيد المغنيزيوم الثقيل إلى دورق التقطير بوساطة ملعقة قياسية calibrated spoon.
 - صل دورق التقطير مباشرة مع المحلول إلى وحدة التقطير distillation unit بوساطة ملقط خاص clamp ثم ابدأ عملية التقطير، لمدة 3 دقائق، خفض الطبق بالتدريج لكي تسمح للمادة المقطرة بالنزول بشكل حر إلى الطبق.
 - بعد 4 دقائق، وعندما يتم جمع حوالي 35 مل من المادة المقطرة، أوقف عملية التقطير، ثم اغسل رأس المكثف بكمية قليلة من الماء المقطر إلى طبق التبخير.
 - عاير المادة المقطرة إلى درجة pH 5.0 بمحلول H_2SO_4 0.01 N مستخدماً جهاز المعايرة الألي Auto-Titrator.
 - بعد الانتهاء من المعايرة، اغسل كلاً من قضيب التحريك المغناطيسي المغطى بالتيفلون teflon، ورأس السحاحة، والقطب المشترك إلى طبق الغسيل.
 - لتقدير NO_3-N (بالإضافة إلى NO_2-N) في نفس المستخلص، أضف 0.2 غ من خلطة الديفاردا Devarda's alloy إلى دورق التقطير بوساطة ملعقة قياسية.
 - صل مباشرة دورق التقطير مع المحلول إلى وحدة التقطير distillation unit بوساطة ملقط خاص clamp ثم ابدأ عملية التقطير، كما هو الحال في عملية تقطير الأمونيوم.

- يجب تبخير وحدة التقطير، بين عينات التقطير المختلفة، وذلك بعد فصل دوارق التقطير المحتوية على مستخلص KCl، كما يلي: صل دورق تقطير فارغ سعة 100 مل إلى وحدة التقطير. ضع كأس فارغ سعة 100 مل تحت رأس المكثف، أوقف المياه المتدفقة إلى المكثف (صرف المياه من غلاف المكثف condenser jacket)، بخر لمدة 90 ثانية. ولا يتم التبخير إلا أثناء عملية تقطير العينات المختلفة، وليس بين الأمونيوم، و النترات في نفس العينة.
- يجب أن تحوي كل عملية تقطير على الأقل محلولين قياسييين standards و شاهدين blanks، أي محلول M2 KCl دون إضافة تربة (محاليل شاهدة).

الحسابات

من أجل الأزوت الأمونيائي في التربة الجافة هوائياً:

$$(28) \quad NH_4-N \text{ (ppm)} = \frac{(V-B) \times N \times R \times 14.01 \times 1000}{Wt}$$

من أجل الأزوت الأمونيائي في التربة الجافة بالفرن:

$$(29) \quad NH_4-N \text{ (ppm)} = \frac{(V-B) \times N \times R \times 14.01 \times 1000}{Wt - \theta}$$

- حيث أن:
- V = حجم محلول H_2SO_4 0.01 N المستهلك في معايرة العينة (مل).
 - B = حجم معايرة الشاهد المهضوم (مل).
 - N = نظامية محلول H_2SO_4 .
 - 14.01 = الوزن الذري للأزوت.
 - R = النسبة بين الحجم الكلي لمحلول الاستخلاص وبين الحجم المأخوذ للتقطير.
 - Wt = وزن التربة الجافة هوائياً (30 غ).
 - θ = وزن الماء (غ) في كل 30 غ تربة جافة هوائياً.

ملاحظات

1. يحسب تركيز NO_3-N بنفس الطريقة التي يُحسب فيها NH_4-N ، إلا أنه يتعين إدخال قيمة شاهد خلطة ديفاردا Devarda's Alloy في المعادلة.
2. يستخدم في بعض المختبرات، مستخلص 3:1 (تربة : محلول) لتقدير الأزوت المعدني. وبالنسبة للترب في شمال غربي سورية، يعطي مستخلص 5:1 مردوداً من NH_4-N أعلى مما يعطي مستخلص 3:1.
3. لتقدير NO_3-N في الترب الكلسية، ننصح باستخدام الماء المقطر كمحلول استخلاص، لأن الكربونات تنحل في محلول KCl وقد يُجمع بعض CO_2 في محلول H_3BO_3 خلال عملية التقطير. حيث تسبب هذه العملية تداخلاً سلبياً في تقدير NO_3-N في مستخلص KCl .
4. إذا أمكن ذلك، يفضل تقدير الأزوت المعدني في تربة رطبة، بعد أخذ العينات مباشرة من الحقل، غير أنه،

- يجب أن يعبر عن النتائج التحليلية على أساس تربة جافة بالفرن. وفي حال عدم المقدرة على إجراء التحليل بعد أخذ العينات مباشرة، يمكن حفظ عينات التربة في جمادة.
5. إذا جففت العينات بالهواء، قد يحدث التمدن/mineralization/النترجة nitrification نتيجة لظروف الرطوبة ودرجات الحرارة. و بالنسبة للترب في شمال غربي سورية، وجد أن محتويات الأزوت المعدني في الترب الجافة بالهواء air-dry وفي ترب الحقول الرطبة moist soils متماثلة تماماً مما يدل أن التحولات البيولوجية للأزوت لا تحدث بدرجة كبيرة في هذه العينات من التربة.
6. غالباً ما يكون هناك التباس كبير في العلاقة بين NO_3^- و $\text{NO}_3\text{-N}$. إذ أن أيون النترات هو الجمع بين ذرة أزوت واحدة وثلاث ذرات من الأوكسجين. حيث تساوي الكتلة الكلية من NO_3^- : $62 = 14 + 48$ وهكذا يوجد 62 غ في NO_3^- أي 14 غ أزوت و 48 غ أوكسجين.
- و يمكن التعبير عن هذه العلاقة بطريقتين، إما 62 غ NO_3^- أو 14 غ $\text{NO}_3\text{-N}$ و كلا التعبيرين صحيح، حيث أن $4.43 = 14/62$ ، لذلك يمكن تحويل قياس NO_3^- إلى تركيز أزوت حقيقي actual N concentration. وعلى سبيل المثال، يمكن التعبير عن 10 ppm $\text{NO}_3\text{-N}$ على شكل 4.43×10 أو 44.3 ppm NO_3^- . إذ تشير كلتا القيمتين إلى نفس التركيز في صيغة مختلفة.

4.1.6 الأزوت النتراطي

يمكن قياس الأزوت النتراطي بوساطة جهاز التحليل الطيفي الضوئي spectrophotometric (باستخدام حمض الكروموتروبيك) chromotropic acid. حيث أن استخدام التحليل الطيفي الضوئي بوساطة حمض الكروموتروبيك هي طريقة سريعة، واستخدمت في تقدير الأزوت النتراطي في الماء كما استخدمت فيما بعد للتربة (Sims and Jackson, 1971; Hadjidemetriou, 1982). ويمكن استخدامه كبديل لتقدير $\text{NO}_3\text{-N}$ بطريقة التقطير. حيث وجدت علاقة وثيقة بين طريقة حمض الكروموتروبيك وطريقة التقطير.

الأجهزة

جهاز التحليل الطيفي الضوئي أو اللوني، طول الموجة 430 nm.
جهاز رج كهربائي، ترددي.
أدوات زجاجية مخبرية قياسية : كؤوس، دوارق حجميه، ماصات، أقما ع.

المحاليل

أ. محلول كبريتات النحاس ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$)، $N 0.02$ ،
أذب 4.9936 غ من كبريتات النحاس في الماء المقطر، ثم أكمل الحجم إلى لتر بالماء المقطر.

ب. محلول حمض الكروموتروبيك ($\text{C}_{10}\text{H}_6\text{Na}_2\text{O}_8\text{S}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)، 0.1%
أذب 0.368 غ من حمض الكروموتروبيك في 200 مل من حمض الكبريت المركز. احفظ المحلول في زجاجة غامقة اللون لمدة أسبوعين.

ج. حمض الكبريت (H_2SO_4)، المركز

د. محلول الأم القياسي

- أذب 3.6092 غ من نترات البوتاسيوم (المجففة على درجة حرارة 100°C لمدة ساعتين) في 500 مل من محلول كبريتات النحاس $N 0.02$ (محلول الأم).
- خفف 10 مل من محلول الأم إلى 200 مل حجم نهائي بإضافة محلول كبريتات النحاس $N 0.02$. هذا المحلول يحتوي 50 ppm $\text{NO}_3\text{-N}$ (محلول الأم المخفف).
- حضر سلسلة من المحاليل القياسية من محلول الأم المخفف كالتالي :

- خفف 1، 2، 3، 4، 5، 6 و 7 مل من محلول الأم المخفف إلى 100 حجم نهائي حيث يضاف لكل منهما محلول كبريتات النحاس $N0.02$. هذه المحاليل تحتوي 0.5، 1.0، 1.5، 2.0، 2.5، 3.0، و 3.5 ppm NO_3-N ، على التوالي.

طريقة العمل

1. زن 10 غ تربة جافة هوائياً (2 مم) إلى دورق أرلنيمير، ثم أضف 50 مل من محلول كبريتات النحاس $N0.02$.
2. رج لمدة 15 دقيقة ثم رشح بورق ترشيح مزدوج Whatman No. 42.
3. اسحب بوساطة الماصة 3 مل من الراشح إلى 50 مل دورق مخروطي conical flask، ثم ضع الدورق في الماء البارد لبضعة دقائق.
4. أضف 1 مل من محلول حمض الكروموتروبيك 0.1%، نقطة بعد نقطة، مباشرة إلى المحلول دون المزج، ثم ضع الدورق ثانية في الماء البارد لدقائق قليلة كي يبرد.
5. امزج المحلول، ثم أضف 6 مل من حمض الكبريت المركز على جدار الدورق دون مزجه.
6. بعد إضافة الحمض لكل العينات، رج الدورق بشكل دائري واتركه يبرد حتى يصل إلى درجة حرارة الغرفة، حيث يتحول إلى اللون الأصفر بعد 45 دقيقة.
7. حضر المنحنى القياسي كما يلي :
 - اسحب بوساطة الماصة 3 مل من كل محلول قياسي (0.5 – 3.5 ppm)، وتابع الإجراءات كما هو الحال مع العينات.
 - كذلك حضر شاهداً بسحب 3 مل من محلول $CuSO_4.5H_2O$ $N0.02$ ، وتابع الإجراءات كما هو الحال مع العينات.
 - اقرأ الامتصاص الضوئي absorbance للشاهد، المحاليل القياسية، و العينات بعد 45 دقيقة على طول موجة 430 nm.
8. حضر الخط البياني للمحاليل القياسية، وذلك برسم خط بياني بين قراءة الامتصاص الضوئي وتركيز NO_3-N في المحاليل القياسية، على التوالي.
9. اقرأ تركيز الأزوت النتراتي NO_3-N في العينات المجهولة من الخط البياني.

الحساب

لحساب الأزوت النتراتى في التربة:

$$(30) \quad NO_3-N(ppm) = ppm \ NO_3-N \text{ (من المنحنى القياسي)} \times \frac{A}{Wt} \times \frac{10}{v}$$

حيث أن : A = الحجم الكلي لمحلول الاستخلاص (مل)
 V = حجم المستخلص المستخدم للقياس (3 مل)
 Wt = وزن التربة الجافة هوائياً (غ)

ملاحظات

1. في حال احتواء الترب على أكثر من 1 ppm من NO_3-N ، أضف 0.1 مل من حمض سولفاميك (*0.2 sulphamic acid* m/v % في H_2SO_4 0.1 N) إلى 3 مل من محلول مستخلص العينة.
2. إذا أعطى ورق الترشيح محاليل أرجوانية اللون، اغسل الورق بالماء المقطر ثم جففه قبل الاستعمال.

5.1.6 الأزوت و الكربون في كتلة الأحياء الدقيقة

تُقاس كتلة الأحياء الدقيقة بطريقة التبخير/الحضن (fumigation / incubation) وذلك بتعريض التربة الرطبة المأخوذة مباشرة من الحقل fresh soil إلى أبخرة الكلوروفورم chloroform مما يسبب تحلل جدران خلايا البكتيريا و تحرر محتواها بحيث يصبح من الممكن استخلاصها بمحلول $M 0.5 K_2SO_4$. إن هذه الطريقة لا تقيس نشاط الأحياء الدقيقة في التربة لأنها لا تميز بين الكائنات الحية الخاملة والنشطة أو بين الأصناف المختلفة للكائنات الدقيقة.

يجب الانتباه عند مقارنة عينات التربة المأخوذة من مواقع مختلفة لأن كتلة الأحياء الدقيقة تتباين إلى حد كبير ضمن التربة الواحدة استجابة للفضلات المدخلة ووفرة الرطوبة ودرجات الحرارة، فإذا أُجريت مقارنة بين ترب زراعية مختلفة في وقت واحد، فيجب أن تكون التربة المأخوذة مباشرة من الحقل بمستوى السعة الحقلية أو قريب منها. أما إذا ما قورنت ترب مأخوذة من نظم بيئية مختلفة، عندها يجب جمع العينات في منتصف الموسم الرطب والموسم الجاف. و تركز الطريقة التالية على طريقة Anderson and Ingram (1993) Okalebo *et al.* (1993).

الأجهزة

- جهاز هضم، وأنايب هضم حجميه.
- جهاز وحدة التقطير
- جهاز معايرة الي موصول إلى جهاز قياس pH.
- جهاز خلاط أنايب دوراني.
- مُجفف.
- جهاز رج كهربائي، دائري orbital.
- أدوات زجاجية مختبريه قياسية: كؤوس، دوارق حجميه، ماصات، وأقماع.

المحاليل

أ. محلول الكلوروفورم ($CHCl_3$)، خال من الكحول

اغسل الكلوروفورم بحمض الكبريت المركز 5% في قمع فصل separation funnel، افصل الحمض ثم اغسل برفق الكلوروفورم عدة مرات (8-12 مرة) في الماء المقطر. احفظ المحلول في زجاجة غامقة اللون.

ب. محلول كبريتات البوتاسيوم (K_2SO_4)، $M 0.5$
أذب 87.13 غ من كبريتات البوتاسيوم في الماء المقطر، وأكمل الحجم إلى لتر بالماء المقطر.

ج. محلول كبريتات النحاس ($CuSO_4 \cdot 5H_2O$)، $M 0.2$
أذب 49.94 غ من كبريتات النحاس في الماء المقطر، و أكمل الحجم إلى لتر بالماء المقطر.

د. محلول ثاني كرومات البوتاسيوم ($K_2Cr_2O_7$)، $N 0.4$
أذب 19.616 غ من ثاني كرومات البوتاسيوم في الماء المقطر، و أكمل الحجم إلى لتر بالماء المقطر.

هـ. محلول كبريتات الحديدوز و الأمونيوم $[Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6H_2O]$ ، $N 0.2$
أذب 78.4 غ من كبريتات الحديدوز و الأمونيوم في الماء المقطر، ثم أضف 5 مل من حمض الكبريت المركز، امزج جيداً، وأكمل الحجم إلى لتر بالماء المقطر.

و. دليل 10.1 فينانثرولين
أذب 14.85 غ من دليل 10.1 فينانثرولين (1.10-phenanthroline)، 6.95 غ من كبريتات الحديدوز ($FeSO_4 \cdot 7H_2O$) في الماء المقطر، و أكمل الحجم إلى لتر بالماء المقطر.

ز. مزيج حمض الكبريتح حمض الفوسفور ($H_3PO_4 : H_2SO_4$) المركز، النسبة 2 : 1
أضف 1000 مل من حمض الكبريت المركز إلى 500 مل من حمض الفوسفور المركز.

طريقة العمل

1. زن مرتين 30 غ من عينات تربة مأخوذة مباشرة من الحقل في كأس سعة 100 مل. قدّر نسبة الرطوبة في عينة تربة ثانوية وبالتالي يمكن التعبير عن النتائج على أساس وزن تربة جافة بالفرن.
2. ضع الكؤوس المكررة في مجففين منفصلين، ضع في المجفف الأول عينات تربة fumigated samples مع كأس سعة 100 مل يحتوي على 50 مل من الكلوروفورم في وسط المجفف. أضف حجر الخفان لتنظيم الغليان إلى كأس الكلوروفورم، هذا سيساعد على سرعة تبخير الكلوروفورم. ثم ضع في المجفف الثاني عينات شاهدة غير مبخرة fumigated control samples - non، حيث يجب معالجتها بنفس الطريقة ماعدا التبخير بالكلوروفورم. ثم ضع أغطية المجففين، مع الانتباه إلى وضع مادة مانعة للتسرب بشكل متناسق بينهما (الشكل رقم 7).
3. استخدم جهاز التفريغ vacuum لمعالجة العينات بالتبخير fumigated treatment إلى أن يتم غليان الكلوروفورم بسرعة.

4. أغلق المجفف واتركه تحت ظروف مظلمة لمدة 72 ساعة عند درجة حرارة الغرفة.
5. استخدم جهاز تفريغ لمعالجة العينات بالتبخير عدة مرات (8-14 مرة).

هام: يجب الانتباه إلى إن زيت مضخة التفريغ قد يحجز الكلوروفورم؛ لذلك يجب تغيير الزيت بصورة متكررة أكثر من الحالات العادية. و كإجراءات بديلة، يمكن حجن الكلوروفورم بوساطة إناء تبريد cooling finger لمنع التلوث من زيت جهاز التفريغ . وليس من الضروري استخدام جهاز التفريغ لمعالجة عينات الشاهد.

6. افتح المجففات، وانقل عينات التربة المبخرة/الشاهد إلى دوارق أرلينماير سعة 250 مل. أضف 100 مل من محلول كبريتات البوتاسيوم $M0.5$ ، ثم رج لمدة ساعة.
7. رشح معلقات التربة باستخدام ورق ترشيح Whatman No. 42 أو بوساطة جهاز الطرد المركزي، للحصول على مستخلص رائق.

1. تقدير الأزوت

أ. الهضم

1. اسحب بوساطة الماصة 50 مل من الراشح إلى أنبوب هضم حجمي سعة 250 مل، ثم أضف 1 مل من محلول كبريتات النحاس $M0.2$.
2. أضف 10 مل من حمض الكبريت المركز، عدة قطع من حجر الخفان لتنظيم الغليان.
3. ضع حامل الأنابيب tubes rack في جهاز الهضم block-digester، ثم ارفع درجة الحرارة إلى 150°C ، لإزالة الماء الزائد.
4. ارفع ببطء درجة الحرارة إلى 380°C ، ثم اهضم لمدة 3 ساعات.
5. ارفع بحذر حامل الأنابيب من جهاز الهضم، ثم دع الأنابيب تبرد لدرجة حرارة الغرفة، وأكمل إلى الحجم بالماء المقطر.
6. يجب أن تحوي كل مجموعة batch من العينات المهضومة على أنبوب شاهد واحد على الأقل (بدون تربة)، وأنبوب قياسي من EDTA (زن بالضبط 0.1 غرام من EDTA إلى أقرب 0.1 ميلي غرام).

ب. التقطير

تقطير العينات و التحليل من أجل تقدير الأزوت، كما هو موضَّح في طريقة تقدير الأزوت الكلي (خذ 50 مل من المحلول المهضوم، ثم أضف 15 مل من $N10 \text{ NaOH}$).

الحساب

حساب محتوى الأزوت في كتلة الأحياء الدقيقة في التربة :

$$(31) \quad \text{Biomass} - N \text{ (ppm)} = (V-B) \times N \times 14.01 \times \frac{100+\theta}{W1} \times \frac{250}{V1} \times \frac{1000}{V2}$$

$$(32) \quad \text{Microbial Biomass } N = (N_{\text{fumigated}} - N_{\text{control}})$$

- حيث أن: V = حجم محلول $N0.01 \text{ H}_2\text{SO}_4$ المستهلك في معايرة العينة (مل)
 B = حجم معايرة الشاهد المهضوم (مل)
 N = نظامية محلول H_2SO_4 .
 14.01 = الوزن الذري للأزوت.
 $W1$ = وزن التربة المأخوذة مباشرة من الحقل (غ)
 $V1$ = حجم محلول هضم التربة المأخوذ (مل)
 $V2$ = حجم محلول التقطير المأخوذ (مل)
 θ = وزن الماء (غ) في كل 30 غ تربة مأخوذة مباشرة من الحقل.

2. تقدير الكربون

أ. الهضم

1. اسحب بوساطة الماصة 8 مل من الراشح إلى أنبوب هضم حجمي سعة 100 مل، ثم أضف 2 مل من محلول ثاني كرومات البوتاسيوم $N0.4$.
2. أضف 0.07 غ من أكسيد (II) الزئبق (HgO)، و15 مل من مزيج حمض الكبريت - الفوسفور (1:2)، وعدة قطع من حجر الخفان لتنظيم الغليان.
3. ضع حامل الأنابيب في جهاز الهضم، ثم ارفع بالتدريج درجة الحرارة حتى 150°C ، اهضم لمدة 30 دقيقة.
4. ارفع بحذر حامل الأنابيب من جهاز الهضم، دع الأنابيب تبرد لدرجة حرارة الغرفة، ثم أنقل العينة المهضومة بوساطة 25 مل من الماء المقطر إلى دورق إري نماير سعة 250 مل.

ب. التقطير

أضف 2-3 نقط من دليل 10.1 - فينال ثرولين، ثم عاير بمحلول كبريتات الحديدوز والأمونيوم 0.2 N، حتى يتغير اللون من الأخضر المزرق bluish-green إلى البني المحمر reddish-brown.

الحساب

من أجل محتوى الكربون في كتلة الأحياء الدقيقة في التربة :

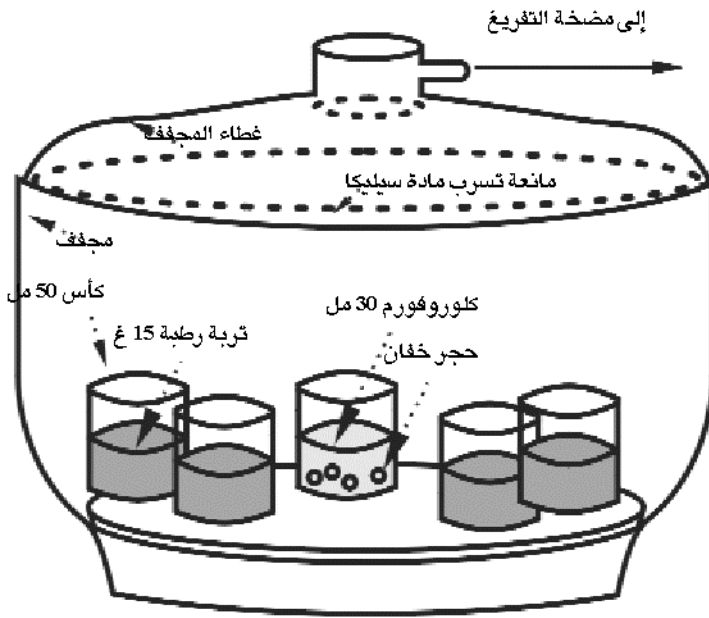
$$(33) \quad \text{Biomass} - C \text{ (ppm)} = (B - V) \times N \times 0.003 \times \frac{100 + \theta}{Wt} \times \frac{1000}{V1} \times 1000$$

$$(34) \quad \text{Microbial Biomass } C = (C_{\text{fumigated}} - C_{\text{control}})$$

حيث أن: V = حجم محلول $[\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}]$ 0.2 N المستهلك في معايرة العينة (مل)
 B = حجم معايرة الشاهد المهضوم (مل)
 N = نظامية محلول $[\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}]$.
 $0.003 = 3 \times 10^{-3}$ ، حيث أن 3 هو الوزن المكافئ للكربون.
 Wt = وزن التربة المأخوذة مباشرة من الحقل (غ)
 $V1$ = حجم محلول هضم التربة المأخوذ (مل)
 θ = وزن الماء (غ) في كل 30 غ تربة مأخوذة مباشرة من الحقل.

ملاحظة

يقترح بعض المؤلفين تطبيق عوامل التصحيح المستمدة من التجارب على هذه النتائج. ويمكن الحصول على هذه العوامل بإجراء طريقة التبخير/الاستخلاص على الترب الحاوية على كمية معروفة من كتلة الأحياء الدقيقة (مثلاً الفطر) أو خلايا البكتريا المفسولة. ويدافع Vance *et al.* (1987) عن العامل 2.64 لكتلة الأحياء الدقيقة، في حين ينصح Brooks *et al.* (1985) بالعامل 1.46 للأزوت في كتلة الأحياء الدقيقة. فلو طبقت هذه العوامل، لتعين الإشارة إلى ذلك بوضوح عند إيراد النتائج. ونظراً للتباين الواسع في مجموعات الأحياء الدقيقة في الترب، يُقترح عدم تطبيق هذه العوامل.



الشكل رقم 7. المجفف وكيفية ترتيب العينات عند استخدام طريقة التبخير (Okalebo *et al.*, 1993)

2.6 الفوسفور

1.2.6 الفوسفور القابل للاستخلاص

بسبب أهميته كأحد العناصر الغذائية الرئيسية، ونتيجة عدم توفره بشكل كاف في الترب الكلسية - القلوية، يقاس الفوسفور (P) فعلياً في جميع مختبرات التربة في منطقة CWANA. وبالمقارنة مع الأزوت ومعظم العناصر الأخرى، فإن اختبارات التربة للفوسفور تعتبر بشكل عام مؤشراً يعتمد عليه في حاجة المحاصيل الحقلية للسماد الفوسفاتي. ولأن مركبات الفوسفور في الترب متباينة إلى حد كبير ومرتبطة بنوع التربة أو المادة الأصل، نجد العديد من المستخلصات المستخدمة على نطاق العالم لتقييم خصوبة التربة. وقليلة هي الطرق التي تستخدم بشكل مرضي في جميع أنواع الترب. ويجب أن يرتبط أي اختبار جيد مع امتصاص المحصول للفوسفور، كما يجب أن يعاير باستجابة المحصول في حالات الحقل إلى تطبيقات التسميد.

يجب أن تكون الاختبارات الروتينية بسيطة، وسريعة، وسهلة الإجراء، وغير مكلفة. تلي طريقة بيكرينونات الصوديوم (Olsen *et al* (1954) هذه المواصفات. وتقبل عموماً كليل مناسب على وفرة الفوسفور في الترب الكلسية؛ حيث تزداد قابلية انحلال فوسفات الكالسيوم بسبب ترسب Ca^{++} على شكل $CaCO_3$. وقد أكدت الأبحاث الحقلية على فائدة الفوسفور في منطقة CWANA لأن ترب المنطقة كلسية بشكل رئيسي (Ryan and Matar, 1990; 1992). وكنتيجة لذلك، يتم التركيز الشديد على تبني هذا الاختبار للاستخدامات الروتينية تقريباً في جميع مختبرات المنطقة.

طريقة بيكرينونات الصوديوم الأصلية طُورت ووصفت من قبل (Olsen *et al* (1954)، حيث يستخدم الفحم الأسود carbon black في محلول الاستخلاص لإزالة اللون (بسبب وجود المادة العضوية في التربة) من المستخلص. مع ذلك، عُلِّت هذه الطريقة فيما بعد بشكل يُهمل فيه استخدام الفحم الأسود (Murphy and Riley, 1962; Watanabe and Olsen, 1965; Olsen and Sommers, 1982). في الطريقة المعدلة، يُستخدم محلول وحيد يحتوي على موليبيدات الأمونيوم ammonium molybdate، حمض الأسكوربيك ascorbic acid وكمية قليلة من أنتيمون antimony، لتطوير اللون في مستخلصات التربة.

الأجهزة

جهاز التحليل الطيفي الضوئي أو اللوني، طول الموجة 882 nm.

جهاز رج كهربائي، ترددي.

قارورة استخلاص، سعة 250 مل مع سدادة.

أدوات زجاجية مخبرية قياسية: كؤوس، دوارق حجمية، ماصات، أقماع.

المحاليل

أ. محلول ماءات الصوديوم (NaOH)، $N 5$
أذب 200 غ من ماءات الصوديوم في الماء المقطر، وأنقل المحلول إلى دورق حجمي سميك الجدران سعة ليتر، دعه يبرد، وأكمل إلى الحجم بالماء المقطر.

ب. محلول بيكربونات الصوديوم (NaHCO_3)، $M 0.5$
أذب 42 غ من بيكربونات الصوديوم في حوالي 900 مل الماء المقطر، عدل المحلول إلى pH 8.5 بمحلول $N 5 \text{ NaOH}$ وأكمل الحجم إلى ليتر بالماء المقطر. حافظ على القارورة مغلقة، لا تحتفظ بها لأكثر من شهر في وعاء زجاجي؛ أو استخدم قارورة من البولي إيثيلين لفترات تزيد على الشهر الواحد.

ج. محلول حمض الكبريت (H_2SO_4)، $N 5$
خفف 148 مل من حمض الكبريت المركز (في حجرة شطف الأبخرة) بالماء المقطر، امزج جيداً، دعه يبرد، وأكمل الحجم إلى ليتر بالماء المقطر.

د. دليل p -نيتروفينول، 0.25 % w/w

هـ. محلول الأم القياسي

- جفف حوالي 2.5 غ من فوسفات البوتاسيوم ثنائي الهيدروجين (KH_2PO_4) بالفرن على درجة حرارة 105°C لمدة ساعة واحدة، برد بالمجفف، واحفظه في زجاجة محكمة الإغلاق.
- أذب 2.197 غ من فوسفات البوتاسيوم ثنائي الهيدروجين المجففة في الماء المقطر، وأكمل الحجم إلى ليتر بالماء المقطر. يحتوي هذا المحلول على 500 ppm من الفوسفور (محلول الأم).
- خفف 50 مل من محلول الأم إلى دورق سعته 250 مل حجم نهائي بإضافة الماء المقطر. هذا المحلول يحتوي على 100 ppm من الفوسفور (محلول الأم المخفف).
- حضر سلسلة من المحاليل القياسية من محلول الأم المخفف كالتالي: خفف 5، 10، 15، 20، 25 من محلول الأم المخفف إلى دورق حجمه سعة 500 مل. تحتوي هذه المحاليل على 1، 2، 3، 4، 5 ppm من الفوسفور، على التوالي.

و. محلول A

- أذب 12 غ من هيبثا موليبدات الأمونيوم $4\text{H}_2\text{O} \cdot 6\text{MoO}_7\text{O}_{24} \cdot (\text{NH}_4)$ في 250 مل من الماء المقطر.

- أذب 0.2908 غ من طرطرات البوتاسيوم الأنتيموني ($\text{KSbO} \cdot \text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6$) في 100 مل من الماء المقطر.
- أضف كلا المحلولين المذابين إلى دورق حجمي سعة ليتين، ثم أضف ليتر من محلول $\text{N5 H}_2\text{SO}_4$ (148 مل من H_2SO_4 المركز لكل ليتر) إلى المزيج. أمزج جيداً، ثم خفف الحجم إلى ليتين بالماء المقطر. احفظ المزيج في قارورة بيركس Pyrex في مكان مظلم وبارد.

ز. محلول B

- أذب 1.056 غ من حمض الاسكوريك ($\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6$) في 200 مل من محلول A، امزج جيداً. يجب تحضير هذا المحلول عند الضرورة لصعوبة الاحتفاظ به أكثر من 24 ساعة.

طريقة العمل

1. زن 5 غ من التربة الجافة هوائياً (2 مم) في دورق أرلينماير سعة 250 مل؛ أضف 100 مل من محلول بيكربونات الصوديوم $\text{M}0.5$.
2. أغلق الدورق بسدادة مطاطية، ثم رجه لمدة 30 دقيقة على جهاز رج كهربائي بسرعة 200-300 دورة/الدقيقة. رج دورق واحد يحتوي على جميع المحاليل الكيميائية ماعدا التربة (الشاهد).
3. رشح المعلق بورقة ترشيح Whatman No. 40، و اسحب بوساطة الماصة 10 مل من الراشح الصافي إلى دورق حجمي سعته 50 مل.
4. حمّض المحلول بـ **حمض الكبريت N5** إلى درجة pH 5.0، ويمكن تحقيق ذلك بأخذ 10 مل من محلول $\text{M}0.5 \text{NaHCO}_3$ وقدر كمية الحمض المطلوب لإيصال المحلول إلى درجة pH 5.0، مستخدماً دليل p-نيتروفينول 0.25% (يتغير اللون من الأصفر إلى بلا لون). عندئذ أضف كمية الحمض المطلوبة إلى جميع العينات. بالتجربة وجد إن 1 مل من $\text{N5 H}_2\text{SO}_4$ كافية لتحميض كل مستخلص مكوّن من 10 مل NaHCO_3 .

هام: لا تحرك الدوارق مباشرة بعد إضافة 1 مل من $\text{N5 H}_2\text{SO}_4$ ، لأنه يعطي فوران زائد.

5. أضف الماء المقطر حتى حجم 40 مل، ثم أضف 5 مل من محلول B، و أكمل الحجم إلى 50 مل.
6. حضر المنحنى القياسي كما يلي:
- اسحب بوساطة الماصة 2 مل من كل محلول قياسي (1-5 ppm)، و تابع الإجراءات كما هو الحال في العينات.

- كذلك حضر شاهداً بسحب 10 مل $M0.5 \text{ NaHCO}_3$ ، وتابع الإجراءات كما هو الحال في العينات.
- اقرأ الامتصاص الضوئي absorbance للشاهد، المحاليل القياسية، والعينات بعد 10 دقائق على طول موجة 882 nm.

7. حضر الخط البياني للمحاليل القياسية، وذلك برسم خط بياني بين قراءات الامتصاص الضوئي وتراكيز الفوسفور في المحاليل القياسية، على التوالي.
8. اقرأ تركيز الفوسفور في العينات المجهولة من الخط البياني.

الحساب

من أجل الفوسفور القابل للاستخلاص في التربة :

$$(35) \text{ Extractable P (ppm)} = \text{ppm P (من المنحنى القياسي)} \times \frac{A}{Wt} \times \frac{50}{v}$$

حيث أن: A = الحجم الكلي لمحلول الاستخلاص (مل)

V = حجم المستخلص المستخدم للقياس (مل)

Wt = وزن التربة الجافة هوائياً (غ)

ملاحظات

1. تستخدم وحدة جزء بالمليون (parts per million) ppm بشكل عام في تحليل التربة والنبات. حيث أن جزءاً واحداً من المليون يعادل بالضبط 1 مغ/ليتر إذا كان الوزن النوعي للمحلول يعادل 1 كغ/ليتر بالضبط. ولتخفيف المحاليل القياسية في الماء المقطر، نجد إن جزءاً واحداً من المليون يساوي على وجه التقريب 1 مغ/ليتر في درجة حرارة الغرفة.
2. تعتمد كمية الفوسفور المستخلص من التربة في العينات على المعاملات السابقة، زمن الرج وسرعته، ودرجة الحرارة خلال عملية الترشيح، لذلك يجب توحيد كل هذه المعاملات خلال عملية الترشيح.
3. إذا كانت العينات المحضرة للقياس غامقة اللون مقارنة مع أعلى محلول قياسي مُحضر، فلا بد من سحب كمية أقل من المستخلص، ومن ثم تعديل الحسابات وفقاً لذلك. لأن المحلول الغامق في العينة لا يمكن التخفيف منه.

4. يجب أن لا تغسل الأدوات والزجاجات المستعملة في هذا التحليل بمنظفات تحتوي على الفوسفور (علماء أن معظم المنظفات تحتوي على الفوسفور).
5. من الأفضل استعمال نفس أنبوب القياس الزجاجي cuvette عند قراءة الناقلية الضوئية absorbance في جهاز التحليل الطيفي الضوئي، بسبب التباين في كثافة أنابيب القياس الزجاجية.
6. تستخدم طريقة اختبار AB-DTPA (الموصوفة في 2.10.6) لتقييم وضع العناصر الغذائية الصغرى في التربة، كذلك يمكن استخدام نفس المستخلص لتقدير الفوسفور. والنقطة الإيجابية في هذا الاختبار 'universal' أنه يمكننا من تقدير العناصر الغذائية الكبرى ($\text{NO}_3\text{-N}$, P, K) و العناصر الغذائية الصغرى (Zn, Fe, Mn, Cu) في الترب القلوية كمستخلص منفرد.

2.2.6 الفوسفور الكلي

تشكل جزيئات الفوسفور المتوفرة في النبات "plant-available P" نسبة صغيرة من الفوسفور الكلي. ويشمل قياس الفوسفور الكلي هضم عينة التربة بحمض قوي وانحلال كل أشكال الفوسفور أو المعادن العضوية واللاعضوية غير القابلة للذوبان. و يستخدم هذا القياس عادة في دراسات نشوء التربة و المعادن فقط (Olsen and Sommers, 1982).

الأجهزة

- جهاز التحليل الطيفي الضوئي أو اللوني، طول الموجة 410 nm.
- جهاز هضم.
- أدوات زجاجية مخبرية قياسية: كؤوس، دوارق حجميه، ماصات، أقماع.
- جهاز خلاط أنابيب دوراني.

المحاليل

أ. حمض فوق الكلوريك (HClO_4)، 60%

ب. هيبوتا موليبدات الأمونيوم فاندات - الأمونيوم في حمض الأزوت

- أذب 22.5 غ من هيبوتا موليبدات الأمونيوم $[(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}]$ في 400 مل من الماء المقطر (a).
- أذب 1.25 غ من فاندات الأمونيوم (NH_4VO_3) في 300 مل من الماء المقطر (b).
- أضف (b) و (a) إلى دورق حجمي سعة لتر، اترك المزيج ليبرد حتى درجة حرارة الغرفة.
- أضف ببطء 250 مل من حمض الأزوت المركز (HNO_3) إلى المزيج، برد المحلول إلى درجة حرارة الغرفة. ثم خفف إلى الحجم بالماء المقطر.

ج. محلول الأم القياسي

- جفف حوالي 2.5 غ من فوسفات البوتاسيوم ثنائي الهيدروجين (KH_2PO_4) بالفرن على درجة حرارة 105°C لمدة ساعة واحدة، برد بالمجفف، واحفظه في زجاجة محكمة الإغلاق.
- أذب 0.4393 غ من فوسفات البوتاسيوم ثنائي الهيدروجين المجففة في الماء المقطر، ثم أكمل الحجم إلى لتر بالماء المقطر. هذا المحلول يحتوي على 100 ppm من الفوسفور (محلول الأم).

- حضر سلسلة من المحاليل القياسية من محلول الأم كالتالي: خفف 1، 2، 3، 4، 5 مل من محلول الأم إلى 50 مل حجم نهائي حيث يضاف لكل منهما الماء المقطر. هذه المحاليل تحتوي على 2، 4، 6، 8، 10 ppm من الفوسفور، على التوالي.

طريقة العمل

أ. الهضم

1. زن 2 غ من التربة الجافة هوائياً (0.15 م) إلى أنبوب هضم حجمي سعة 250 مل.
2. أضف 30 مل من حمض فوق الكلوريك 60%، عدة قطع من حجر الخفان لتنظيم الغليان، أمزج جيداً.
3. ضع حامل الأنابيب tubes rack في جهاز الهضم block-digester، وسخن بلطف إلى حوالي 100°م.
4. ارفع درجة حرارة جهاز الهضم ببطء إلى 180°م، واترك العينات لتُهضم حتى ظهور أبخرة بيضاء كثيفة من الحمض. استخدم كمية قليلة إضافية من حمض فوق الكلوريك لغسل جوانب أنبوب الهضم عند الضرورة.
5. استمر بالتسخين عند درجة حرارة الغليان لمدة 15-20 دقيقة إضافية. في هذه المرحلة تصبح المادة الغير قابلة للذوبان أشبه بالرمل الأبيض. تستغرق عادة عملية الهضم الكلي بطريقة حمض فوق الكلوريك حوالي 40 دقيقة.
6. دع المزيج يبرد، ثم أضف الماء المقطر للحصول على حجم 250 مل، أمزج المحتويات، رشح بورقة ترشيح Whatman No. 1.

ملاحظة

إذا كانت عينات التربة غنية بالمادة العضوية، أضف 20 مل من HNO_3 المركز قبل الخطوة الثانية، ويتم التسخين بشكل حذر لأكسدة المادة العضوية.

ب. القياس

1. اسحب بوساطة الماصة 5 مل من العينة المهضومة إلى دورق حجمي سعة 50 مل.
 2. أضف 10 مل من محلول هيبنتا موليبدات - فاندات الأمونيوم، و خفف إلى الحجم بالماء المقطر.
 3. حضر المنحنى القياسي كما يلي:
- اسحب بوساطة الماصة 5 مل من كل محلول قياسي (2-10 ppm)، وتابع الإجراءات كما هو الحال مع العينات.
 - كذلك حضر شاهداً بسحب 10 مل من محلول هيبنتا موليبدات - فاندات الأمونيوم، وتابع الإجراءات كما هو الحال مع العينات.

• اقرأ الامتصاص الضوئي absorbance للشاهد، المحاليل القياسية، والعينات بعد 10 دقائق على طول موجة 410 nm.

4. حضر الخط البياني للمحاليل القياسية، وذلك برسم خط بياني بين قراءات الامتصاص الضوئي وتراكيز الفوسفور في المحاليل القياسية، على التوالي.

5. اقرأ تركيز الفوسفور في العينات المجهولة من الخط البياني.

الحساب

من أجل الفوسفور الكلي في التربة :

$$(36) \quad Total P (ppm) = ppm P \text{ (من المنحنى القياسي)} \times \frac{A}{Wt} \times \frac{50}{v}$$

حيث أن: A = الحجم الكلي لمحلول الاستخلاص (مل)

V = حجم المستخلص المستخدم للقياس (مل)

Wt = وزن التربة الجافة هوائياً (غ)

3.2.6 الفوسفور العضوي

يقدر محتوى الفوسفور العضوي organic P في التربة، بطريقة الحرق Ignition Method، عن طريق حرق التربة عند درجة حرارة 550°م. متزامنة مع تقدير محتوى الفوسفور اللاعضوي inorganic P في التربة بطريقة الاستخلاص بمحلول حمض الكبريت N1. فيما بعد، يحسب محتوى الفوسفور العضوي في التربة من الفرق بين العينة غير المحترقة unignited sample مع العينة المحترقة ignited sample.

الأجهزة

- جهاز التحليل الطيفي الضوئي أو اللوني، طول الموجة 882 nm.
- جهاز هضم.
- جهاز مرمدة، لحرق التربة عند درجة حرارة 550°م.
- جهاز رج كهربائي.
- جهاز طرد مركزي، بمعدل 1500 دورة/الدقيقة
- أدوات زجاجية مخبرية قياسية: بودقات بورسلين، دوارق حجمية، ماصات.

المحاليل

- أ. حمض الكبريت (H_2SO_4)، N1
خفف 30 مل من حمض الكبريت المركز (في حجرة شطف الأبخرة) بالماء المقطر، أمزج جيداً، دعه يبرد، وأكمل الحجم إلى لتر بالماء المقطر.
- ب. محلول ماعات الصوديوم (NaOH)، N5
يحضر كما في طريقة تقدير الفوسفور القابل للاستخلاص.
- ج. p -نيتروفينول، 0.25% v/w
- د. محلول A
يحضر كما في طريقة تقدير الفوسفور القابل للاستخلاص.

هـ. محلول B

يحضر كما في طريقة تقدير الفوسفور القابل للاستخلاص.

و. محلول الأم القياسي

يحضر كما في طريقة تقدير الفوسفور القابل للاستخلاص.

طريقة العمل

أ. الهضم

1. زن 1 غ من التربة الجافة هوائياً (0.15 م) إلى بوتقة بورسلين.
2. ضع بوتقة بورسلين في مرمدة باردة cool muffle furnace، و ارفع ببطء درجة الحرارة إلى 550°م، المدة اللازمة للوصول إلى هذه الدرجة بين 1 - 2 ساعة.
3. حافظ على درجة الحرارة 550°م لمدة ساعة واحدة، ثم دع البوتقة تبرد، وأنقل التربة المحترقة إلى أنبوب طرد مركزي (بولي بروبلين) سعة 100 مل.
4. زن 1 غ من أجل عينة التربة الغير المحترقة، في أنبوب طرد مركزي منفصل (بولي بروبلين أيضاً) سعة 100 مل.
5. أضف 50 مل من محلول حمض الكبريت N 1 لكلا العينتين، ضع الأنابيب على جهاز الرج لمدة 16 ساعة، تُفل العينات بمعدل 1500 دورة/الدقيقة لمدة 15 دقيقة (إذا كان المستخلص ليس صافياً، يفضل ترشيح العينات باستخدام ورق ترشيح مقاوم للأحماض).

ب. القياس

1. اسحب بوساطة الماصة 2 مل من الراشح الصافي إلى دورق حجمي سعة 50 مل.
2. أضف 5 نقاط من محلول p -نيتروفينول 0.25%، و عادل بمحلول ماءات الصوديوم N 5 (حتى يتحول اللون إلى الأصفر).
3. خفف إلى حوالي 40 مل بالماء المقطر، ثم أضف 8 مل من محلول B، وأكمل إلى الحجم بالماء المقطر.
4. حضر المنحنى القياسي كما يلي:
 - اسحب بوساطة الماصة 2 مل من كل محلول قياسي (2-10 ppm)، وتابع الإجراءات كما هو الحال في العينات.
 - كذلك حضر شاهداً بسحب 2 مل من محلول H_2SO_4 N 1، وتابع الإجراءات كما هو الحال في العينات.
 - اقرأ الامتصاص الضوئي absorbance للشاهد، المحاليل القياسية، و العينات بعد 15 دقائق على طول موجة 882 nm.

5. حضر الخط البياني للمحاليل القياسية، وذلك برسم خطٍ بياني بين قراءات الامتصاص الضوئي وتراكيز الفوسفور في المحاليل القياسية، على التوالي.
6. اقرأ تركيز الفوسفور في العينات المجهولة من الخط البياني.

الحساب

من أجل الفوسفور العضوي في التربة:

$$(37) \text{ Organic P (ppm)} = (\text{Ignited P} - \text{Unignited P}) \text{ ppm} \times \frac{A}{W_t} \times \frac{50}{V}$$

حيث أن: A = الحجم الكلي لمحلول الاستخلاص (مل)
 V = حجم المستخلص المستخدم للقياس (مل)
 W_t = وزن التربة الجافة هوائياً (غ)

3.6 البوتاسيوم

يعتبر البوتاسيوم (K) إلى جانب الأزوت والفوسفور، على جانب كبير من الأهمية في إنتاج المحاصيل. وتحتوي معظم الترب على كميات كبيرة نسبياً من البوتاسيوم الكلي (1-2%) على شكل مكونات من المعادن غير القابلة للذوبان. ومع ذلك، هناك جزء صغير فقط (حوالي 1%) موجود بشكل وفير للنباتات، أي بوتاسيوم ذائب بالماء water-soluble K وبوتاسيوم قابل للتبادل exchangeable K.

بشكل عام تفتقر الترب الحامضية المعرضة للغس الخارجي (المناطق المدارية) إلى البوتاسيوم المتاح للنبات، في حين توجد كمية وافرة من البوتاسيوم في ترب المناطق الجافة وشبه الجافة. وهكذا، تحتوي ترب منطقة CWANA عموماً على كميات كافية منه باستثناء الترب الرملية و الترب المروية التي تزرع محاصيل ذات احتياجات عالية من البوتاسيوم، مثل الشوندر والبطاطا.

ومع ذلك، يعتبر البوتاسيوم القابل للاستخلاص extractable-K، أو المتبادل + الذائب في الماء exchangeable plus water-soluble K، الجزء المتاح للنبات والذي يقاس بشكل روتيني في مختبرات المنطقة. ويشكل البوتاسيوم الذائب في الماء نسبة كبيرة من أجزاء البوتاسيوم القابل للاستخلاص في ترب المناطق الأكثر جفافاً.

وحيث تكون مستويات قيم البوتاسيوم القابلة للاستخلاص أقل من 100-150 ppm، ويُحتمل حدوث نقص في البوتاسيوم مما يعني ضرورة التسميد بغية رفع إنتاج المحاصيل المروية أو المحاصيل التي تتطلب البوتاسيوم بكمية كبيرة، يتعين أن يكون المستوى الحرج critical level أعلى بشكل متوازن.

1.3.6 البوتاسيوم القابل للاستخلاص

إن هذا الجزء من بوتاسيوم التربة هو مجموع البوتاسيوم الذائب في الماء والبوتاسيوم المتبادل. في هذه الطريقة يُستخدم محلول ملحي حيادي من أجل استبدال الكاتيونات الموجودة على معقد التربة المتبادلة؛ لذلك يُشار إلى تركيز الكاتيونات المقدرة بهذه الطريقة على أنه "متبادل" بالنسبة للترب غير الكلسية. أما بالنسبة للترب الكلسية، فيُشار إلى تركيز الكاتيونات على أنها "متبادلة + ذائبة" (Richards, 1954).

الأجهزة

جهاز التحليل الطيفي باللهب مع الملحقات.

جهاز طرد مركزي، بمعدل 3000 دورة/الدقيقة.

جهاز رج كهربائي، ترددي.

المحاليل

أ. محلول خلات الأمونيوم (NH₄OAc)، N 1

- أضف 57 مل من حمض الخليك المركز (CH₃COOH) إلى 800 مل من الماء المقطر، ثم أضف 68 مل من ماءات الأمونيوم المركز (NH₄OH)، امزجه جيداً، دع المزيج ليبرد.
- عدل درجة pH إلى 7.0 بإضافة حمض الخليك acetic acid أو ماءات الأمونيوم ammonium hydroxide. وأكمل الحجم إلى لتر بالماء المقطر.

ب. محلول الأم القياسي

- جفف حوالي 3 غ من كلورايد البوتاسيوم (KCl) بالفرن على درجة حرارة 120°م لمدة 1-2 ساعة واحدة، برد بالمجفف، واحفظه في زجاجة محكمة الإغلاق.
- أذّب 1.907 غ من كلورايد البوتاسيوم المجفف في الماء المقطر، وأكمل الحجم إلى لتر بالماء المقطر. هذا المحلول يحتوي على 1000 ppm من البوتاسيوم (محلول الأم).
- حضر سلسلة من المحاليل القياسية من محلول الأم كالتالي: خفف 2, 4, 6, 8, 10, 15, 20 مل من محلول الأم إلى 100 مل حجم نهائي حيث يضاف لكل منها الماء المقطر أو محلول خلات الأمونيوم N1. هذه المحاليل تحتوي على 20, 40, 60, 80, 100, 150, 200 ppm من البوتاسيوم، على التوالي.

ملاحظة

يجب تحضير المحاليل القياسية عند تقدير البوتاسيوم الذائب soluble-K في الماء المقطر، ولكن بغية تقدير البوتاسيوم القابل للاستخلاص extractable-K يجب تحضير المحاليل القياسية في محلول خلات الأمونيوم.

طريقة العمل

1. زن 5 غ من التربة الجافة هوائياً (أقل من 2 مم) إلى أنبوب طرد مركزي سعة 50 مل. أضف 33 مل من محلول خلات الأمونيوم، ثم رج لمدة 5 دقائق على جهاز رج كهربائي. يجب إغلاق الأنابيب بسدادات مطاطية نظيفة أو مصنوعة من مادة البولي ايثيلين، واستبعاد مادة الفلين الذي قد يسبب وقوع بعض الأخطاء.
2. تُفل حتى يصبح السائل رائقاً، ثم يُجمع المستخلص في دورق حجمي سعته 100 مل عبر ورقة ترشيح لاستبعاد أية جزيئات من التربة. تكرر هذه العملية مرتين إضافيتين و يجمع المستخلص في كل مرة.
3. خفف مستخلصات خلات الأمونيوم المركبة إلى الحجم بمحلول خلات الأمونيوم N 1

4. اقرأ سلسلة المحاليل القياسية المناسبة للبوتاسيوم، وارسم المنحنى البياني.
5. اقرأ تركيز العينات (مستخلصات التربة)، وخذ قراءات الطيف على جهاز التحليل الطيفي باللهب بطول موجة 767 nm.
6. احسب تركيز البوتاسيوم (K) طبقاً للمنحنى البياني.

الحساب

من أجل البوتاسيوم القابل للاستخلاص في التربة :

$$(38) \quad \text{Extractable } K \text{ (ppm)} = \text{ppm } K \text{ (من المنحنى القياسي)} \times \frac{A}{Wt}$$

حيث أن: A = الحجم الكلي لمحلول الاستخلاص (مل)
 Wt = وزن التربة الجافة هوائياً (غ)

2.3.6 البوتاسيوم الذائب

في هذا الجزء تقدر كمية البوتاسيوم المستخلصة من التربة بوساطة الماء المقطر.

طريقة العمل

1. زن 5 غ من التربة الجافة هوائياً (أقل من 2 مم) إلى دورق ارلينماير سعة 250 مل، أضف 100 مل من الماء المقطر، ثم رج لمدة ساعة واحدة.
2. رشح، وثم اقرأ تركيز البوتاسيوم الذائب في جهاز التحليل الطيفي باللهب.

الحساب

من أجل البوتاسيوم الذائب في التربة :

$$(39) \quad \text{Soluble } K \text{ (ppm)} = \text{ppm } K \text{ (من المنحنى القياسي)} \times \frac{A}{Wt}$$

3.3.6 البوتاسيوم المتبادل

يُشكل عادة البوتاسيوم المتبادل، الموجود في مواقع التبادل أو على سطوح معادن الطين، الجزء الأكبر من إجمالي البوتاسيوم القابل للاستخلاص. ويمكن استنتاج كميته من المعادلة التالية :

من أجل البوتاسيوم المتبادل في التربة :

$$(40) \quad \text{Exchangable K (ppm)} = \text{Extractable K (ppm)} - \text{Soluble (ppm)}$$

ملاحظات

1. يمكن قياس الصوديوم (Na)، والكالسيوم (Ca)، والمغنيزيوم (Mg) المتبادل بنفس الطريقة التي يقاس بها البوتاسيوم المتبادل (K). حيث يتم قياس Na، Ca، Mg القابل للاستخلاص في محلول خلات الأمونيوم، ويتم قياس Na، Ca، Mg، الذائب في محلول الماء المقطر. وسيمثل الفرق قيم Na، Ca، Mg المتبادل، على التوالي.
2. يمكن تحضير سلسلة من المحاليل القياسية للصوديوم تتراوح بين 20 إلى 200 ppm في محلول خلات الأمونيوم للحصول على الصوديوم القابل للاستخلاص، وفي الماء المقطر من أجل الحصول على الصوديوم الذائب.
3. بعد عملية الاستخلاص، يجب عدم حفظ الراشح الحاوي على K، Na، Ca، Mg لأكثر من 24 ساعة ما لم يحفظ في مكان بارد أو يُعامل معاملة خاصة لمنع النمو البكتيري.
4. يمكن حفظ عينات التربة المجففة بالهواء لعدة شهور دون حدوث أي تأثيرات في محتوياتها من العناصر K، Na، Ca، Mg المتبادلة.

4.6 الصوديوم

يمكن استخلاص الصوديوم (Na) بمحلول خلاات الأمونيوم بنفس الطريقة التي يستخلص بها البوتاسيوم، بينما يمكن الحصول على الصوديوم الذائب من مستخلص الماء المقطر أو من مستخلص العجينة المشبعة saturated paste عند تقدير EC. لاحقاً، يمكن تقدير الصوديوم في المستخلص بواسطة جهاز التحليل الطيفي باللهب. فعناصر كثيرة بما فيها الصوديوم لها خاصية إصدار ضوء (لون) ذو طول موجة خاص بالعنصر و كثافة متناسبة مع التركيز عندما تتعرض أملاحها للهيب (Richards, 1954). وينطبق هذا بشكل خاص على عنصر الصوديوم بسبب خاصية إصدار ضوء ذو لون أصفر محمر رائع.

المحاليل

أ. محلول كلورايد الليثيوم (LiCl)، 1000 ppm

- أذب 6.109 غ من كلورايد الليثيوم الجاف في الماء المقطر، وأكمل الحجم إلى لتر بالماء المقطر. يحتوي هذا المحلول على 1000 ppm LiCl (محلول الأم).
- خفف 100 مل من محلول الأم إلى حجم لتر بالماء المقطر، هذا المحلول يحتوي على 1000 ppm LiCl (محلول الأم المخفف).

ب. محلول الأم القياسي

- جفف حوالي 5 غ من كلورايد الصوديوم (NaCl) بالفرن بدرجة حرارة 110°م لمدة 3 ساعات، برد بالمجفف، واحفظه في زجاجة محكمة الإغلاق.
- أذب 2.5418 غ من كلورايد الصوديوم المجفف في الماء المقطر، وأكمل الحجم إلى لتر بالماء المقطر. يحتوي هذا المحلول على 1000 ppm صوديوم (Na محلول الأم).
- حضر سلسلة من المحاليل القياسية من محلول الأم كالتالي: خفف 2، 4، 6، 8، 10، 15، 20 مل من محلول الأم إلى 100 حجم نهائي حيث يضاف لكل منهم الماء المقطر أو محلول خلاات الأمونيوم 1 N. وأضف 25 مل من LiCl محلول الأم المخفف (100 ppm). هذه المحاليل تحتوي على 20، 40، 60، 80، 100، 150، 200 ppm Na، مع نفس التركيز من محلول LiCl (25 ppm) لكل المحاليل.

ملاحظة

يجب تحضير المحاليل القياسية لتقدير البوتاسيوم الذائب soluble-Na في الماء المقطر، أما بالنسبة لتقدير البوتاسيوم القابل للاستخلاص extractable-Na فيجب تحضير المحاليل القياسية في محلول خلاات الأمونيوم.

طريقة العمل

1. شغل جهاز الطيفي باللهب وفقاً للتعليمات المرفقة بالجهاز.
2. اقرأ سلسلة المحاليل القياسية المناسبة للصوديوم، وارسم المنحنى البياني.
3. اقرأ تركيز الصوديوم في العينات (مستخلصات التربة)، وخذ قراءات الطيف على جهاز التحليل الطيفي باللهب بطول موجة 589 nm.
4. احسب تركيز الصوديوم طبقاً للمنحنى البياني.

الحساب

من أجل الصوديوم الذائب أو القابل للاستخلاص في التربة:

$$(41) \quad Na \text{ (meq/L)} = \text{meq/L Na (من المنحنى القياسي)} \times \frac{A}{Wt}$$

$$(42) \quad Na \text{ (ppm)} = \text{meq/L Na (من المنحنى القياسي)} \times \frac{A}{Wt} \times 23$$

حيث أن: A = الحجم الكلي لمحلول الاستخلاص (مل)
 Wt = وزن التربة الجافة هوائياً (غ)
 23 = الوزن الذري للصوديوم.

5.6 الكالسيوم و المغنزيوم الذائبان

يمكن الحصول على الكالسيوم والمغنزيوم الذائبين عن طريق استخلاص التربة بالماء المقطر وقياس تركيزهما في المستخلص بطريقة المعايرة بمحلول EDTA (Richards, 1954). كما يمكن أيضا قياس Ca وMg في المستخلص بوساطة جهاز التحليل الطيفي بالامتصاص الذري.

المحاليل

أ. محلول مُنظَّم Buffer Solution ($\text{NH}_4\text{Cl}-\text{NH}_4\text{OH}$)

أذب 67.5 غ من كلوريد الأمونيوم في 570 مل من ماء/ات الأمونيوم المركز، ثم انقل المحلول إلى دورق حجمي سعة لتر، دعه يبرد، وأكمل إلى الحجم بالماء المقطر.

ب. نليل إريوكروم الأسود

أذب 0.5 غ من إريوكروم الأسود *Eriochrome black* مع 4.5 غ من هيدروكسيل أمين هيدروكلوريد *hydroxylamine hydrochloride* في 100 مل من الكحول الإيثيلي 95%. حضر مجموعة جديدة كل شهر.

ج. محلول حمض اتيلي ثنائي أمين رباعي الخليك (EDTA)، $N 0.01$

أذب 2 غ من حمض اتيلي ثنائي أمين رباعي الخليك *ethylene diaminetetraacetic acid*، 0.05 غ من كلوريد المغنزيوم (MgCl_2) في الماء المقطر، وأكمل الحجم إلى لتر بالماء المقطر.

د. محلول ماءات الصوديوم (NaOH)، $N 2$

أذب 80 غ من ماءات الصوديوم في حوالي 800 مل من الماء المقطر، ثم انقل المحلول إلى دورق حجمي سعته لتر، دعه يبرد، وأكمل إلى الحجم بالماء المقطر.

هـ. نليل بربرات الأمونيوم ($\text{C}_8\text{H}_8\text{N}_6\text{O}_6$)

أمزج 0.5 غ من بربرات الأمونيوم ammonium purpurate (الميروكسيد Murexid) مع 100 غ من كبريتات البوتاسيوم (K_2SO_4).

و. محلول كلوريد الكالسيوم الأم القياسي ($\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)، $N 0.01$

أذب 0.5 غ من كربونات الكالسيوم المجفف (جفف CaCO_3 لمدة 3 ساعات عند درجة حرارة 100°C)،

في 10 مل من حمض كلور الماء $N 3$ وأكمل الحجم إلى لتر بالماء المقطر. وأيضاً يمكن أن يحضر بإذابة 0.735 غ من كلورايد الكالسيوم ثنائي الماء في لتر من الماء المقطر.

طريقة العمل

أ. الكالسيوم

1. اسحب بوساطة الماصة 10-20 مل من مستخلص التربة المشبعة، بحيث لا يحوي على أكثر من 1.0 ميلليمكافى Ca، إلى ورق ارلنماير سعة 250 مل.
2. خفف بالماء المقطر حتى 20-30 مل، أضف 2-3 مل من محلول **مئات الصوديوم $N 2$** ، وحوالي 50 ملغ من دليل بريرات **الأمونيوم**.
3. عاير بمحلول EDTA 0.01 N حتى يتغير اللون من أحمر إلى أرجواني شاحب أو أرجواني. وعند الاقتراب من نقطة النهاية، يجب إضافة نقطة واحدة من EDTA كل 10 ثواني لأن تغير اللون لن يكون فورياً.
4. دوماً جهز شاهداً يحتوي كل المحاليل ماعدا التربة، وعامله بالضبط بنفس الطريقة التي تعامل بها العينات ومن ثم أطرَح قراءة معايرة الشاهد من قراءات كل العينات.

ب. الكالسيوم + المغنزيوم

1. اسحب بوساطة الماصة 10-20 مل من مستخلص التربة المشبعة إلى ورق ارلنماير سعة 250 مل. خفف بالماء المقطر حتى 20-30 مل. ثم أضف 3-5 مل من **المحلول المُنظَّم**. ونقط قليلة من دليل **إريوكروم الأسود**.
2. عاير بمحلول EDTA 0.01 N . حتى يتغير اللون من أحمر إلى أزرق.

الحساب

من أجل الكالسيوم أو المغنزيوم الذائبان في التربة :

$$(43) \quad Ca \text{ or } Ca + Mg \text{ (meq/L)} = \frac{(V - B) \times N \times R \times 1000}{Wt}$$

$$(44) \quad Mg \text{ (meq/L)} = Ca + Mg \text{ (meq/L)} - Ca \text{ (meq/L)}$$

- حيث أن: V = حجم محلول EDTA المستهلك في معايرة العينة (مل).
 B = حجم معايرة الشاهد (مل).
 R = النسبة بين الحجم الكلي لمحلول الاستخلاص وبين الحجم المأخوذ للمعايرة.
 Wt = وزن التربة الجافة هوائياً (غ).
 N = نظامية محلول EDTA.

تقدير نظامية محلول EDTA

- اسحب بوساطة الماصة 10 مل من محلول كلورايد الكالسيوم 0.01 N، وعامله بالضبط بنفس الطريقة التي تعامل بها العينات لتقدير Ca وCa+Mg، على التوالي.
- خذ القراءة، واحسب نظامية EDTA:

$$(45) \quad N_{EDTA} = \frac{10 \times N_{CaCl_2}}{V_{EDTA}}$$

- حيث أن: N_{EDTA} = نظامية محلول EDTA.
 V_{EDTA} = حجم محلول EDTA المستخدم (مل)
 N_{CaCl_2} = نظامية محلول $CaCl_2$.

ملاحظات

1. تكون عادة النظامية عند تقدير Ca أعلى بنسبة 3 إلى 5% من النظامية عند تقدير Ca + Mg.
2. في حال عدم توفر كمية كافية من المستخلص المشبع، يمكن تحضير معلق تربة - الماء (النسبة 1 : 5). يُرج لفترة 30 دقيقة، ثم يرشح، وبعد ذلك يُستخدم الراشح للتحليل.
3. في حال استخدام جهاز التحليل الطيفي بالامتصاص الذري، تكون كمية صغيرة من المستخلص المشبع كافية لتقدير Ca وMg.

6.6 الكربونات و البيكربونات

بشكل عام تقدر الكربونات و البيكربونات في مستخلص التربة المشبعة بطريقة المعايرة بمحلول H_2SO_4 0.01 N إلى 8.3 و 4.5 pH، على التوالي (Richards, 1954).

المحاليل

- أ. دليل برتقالي الميثيل $[4-NaOSO_2C_6H_4N:NC_6H_4/-4-N(CH_3)_2]$ ، (F.W. 327.34)، 0.1%
أذب 0.1 غ من دليل برتقالي الميثيل في 100 مل من الماء المقطر.
- ب. محلول حمض الكبريت (H_2SO_4)، 0.01 N
• خفف 28 مل من حمض الكبريت المركز (sp.gr.1.84، 98%) في الماء المقطر، أمزج جيداً، دعه يبرد،
وأكمل الحجم إلى ليتر بالماء المقطر. هذا المحلول يحتوي على حمض الكبريت 0.01 N.
• ثم خفف 100 مرة (10 مل إلى حجم ليتر) للحصول على حمض الكبريت 0.01 N.
- ج. دليل الفينول فتالين، 1%
أذب 1 غ من دليل الفينول فتالين في 100 مل من الكحول الايثيلي (إيثانول ethanol).

طريقة العمل

1. اسحب بوساطة الماصة 10-15 مل من مستخلص التربة المشبعة في جفنه من البورسلان واسعة الفتحة أو في دورق إرلنماير سعة 150 مل.
2. أضف نقطة واحدة من دليل الفينول فتالين، فإذا ظهر لون زهري، أضف حمض الكبريت 0.01 N بوساطة السحاحة burette، نقطة فنقطة، حتى يزول اللون.
3. خذ القراءة، y.
4. استمر بالمعايرة بمحلول حمض الكبريت 0.01 N بعد إضافة نقطتين من دليل برتقالي الميثيل 0.1% حتى يتحول اللون إلى برتقالي.
5. خذ القراءة، t.
6. دوماً جهن شاهدين يحتويان كل المحاليل ماعدا التربة، و عامله بالضبط بنفس الطريقة التي تعامل بها العينات ومن ثم أطرح قراءة معايرة الشاهد من قراءات كل العينات.

الحساب

من أجل الكربونات و البيكربونات في التربة :

$$(46) \quad CO_3 \text{ (meq/L)} = \frac{2y \times N \times R \times 1000}{Wt}$$

$$(47) \quad HCO_3 \text{ (meq/L)} = \frac{(t - 2y) \times N \times R \times 1000}{Wt}$$

حيث أن : R = النسبة بين الحجم الكلي لمحلول الاستخلاص وبين الحجم المأخوذ للمعايرة.
 N = نظامية محلول H_2SO_4 .
 Wt = وزن التربة الجافة هوائياً (غ).

7.6 الكلورايد

يمكن الحصول على الكلورايد الذائب من مستخلص التربة المشبعة (يحضر كما في طريقة تقدير Mg, Ca الذائبان، الأنيونات)، ويُقدر تركيزه في المستخلص بطريقة المعايرة بمحلول نترات الفضة (1954 Richards).

المحاليل

- أ. محلول كرومات البوتاسيوم (K_2CrO_4)، 5% في الماء المقطر
- أذب 5 غ من كرومات البوتاسيوم في 50 مل من الماء المقطر.
 - أضف نترات الفضة $N 1$ تدريجياً حتى يتشكل راسب أحمر خفيف ثابت.
 - رشح، وأكمل الحجم إلى 100 مل بالماء المقطر.

ب. محلول نترات الفضة ($AgNO_3$)، $N 0.01$

- جفف حوالي 3 غ من نترات الفضة بالفرن على درجة حرارة $105^\circ C$ لمدة ساعتين، برد بالمجفف، واحفظه في زجاجة محكمة الإغلاق.
- أذب 1.696 غ من نترات الفضة المجففة في الماء المقطر، وأكمل الحجم إلى ليتر بالماء المقطر.

ج. محلول كلورايد الصوديوم ($NaCl$)، $N 0.01$

- أذب 0.585 غ من كلورايد الصوديوم المجففة في الماء المقطر، وأكمل الحجم إلى ليتر بالماء المقطر.

طريقة العمل

1. اسحب بوساطة الماصة 5-10 مل من مستخلص التربة المشبعة في جفنه من البورسلان واسعة الفتحة أو في دورق أرلينماير سعة 150 مل.
2. أضف 4 نقاط من محلول كرومات البوتاسيوم.
3. عاير العينات بمحلول نترات الفضة حتى يظهر لون بني مائل إلى اللون الأحمر الدائم.
4. جهز دوماً شاهدين يحتويان كل المحاليل ماعدا التربة، و عامله بالضبط بنفس الطريقة التي تعامل بها العينات؛ ومن ثم أطح قراءة معايرة الشاهد من قراءات كل العينات.

الحساب

من أجل الكلورايد في التربة :

$$(48) \quad Cl \text{ (meq/L)} = \frac{(V - B) \times N \times R \times 1000}{Wt}$$

- حيث أن: V = حجم محلول $AgNO_3$ N 0.01 المستهلك في معايرة العينة (مل)
 B = حجم معايرة الشاهد (مل)
 R = النسبة بين الحجم الكلي لمحلول الاستخلاص وبين الحجم المأخوذ للمعايرة.
 N = نظامية محلول $AgNO_3$.
 Wt = وزن التربة الجافة هوائياً (غ)

تقدير نظامية محلول $AgNO_3$

- عاير 10 مل من محلول كلورايد الصوديوم N 0.01 بمحلول نترات الفضة N 0.01 بعد إضافة 4 نقاط من محلول كرومات البوتاسيوم حتى يظهر اللون البني المحمر الدائم.
- خذ القراءة، واحسب نظامية $AgNO_3$:

$$(49) \quad N_{AgNO_3} = \frac{10 \times N_{NaCl}}{V_{AgNO_3}}$$

- حيث أن: N_{AgNO_3} = نظامية محلول $AgNO_3$.
 V_{AgNO_3} = حجم محلول $AgNO_3$ المستخدم (مل)
 N_{NaCl} = نظامية محلول $NaCl$.

8.6 الكبريتات

1.8.6 طريقة العكارة

إن الطريقة الشائعة في تقدير الكبريت (S) في الترب القلوية يتم باستخلاص $\text{SO}_4\text{-S}$ بمحلول $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 0.15% (Williams and Steinbergs, 1959) ومن ثم قياس تركيز $\text{SO}_4\text{-S}$ في المستخلصات بطريقة العكارة باستخدام محلول كبريتات الباريوم (Verma, 1977). وبشكل عام، يكون المدى الحرج لتركيز $\text{SO}_4\text{-S}$ حوالي 10-13 مغ/كغ المستخلص بوساطة محلول $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ بالنسبة للحبوب كالقمح والذرة الصفراء وبالنسبة لمحاصيل البذور الزيتية كالخردل (Tandon, 1991).

الأجهزة

جهاز رج كهربائي، ترددي
جهاز التحليل الطيفي أو اللوني، طول الموجة 470 nm.

المحاليل

أ. محلول كلورايد الكالسيوم ثنائي الماء ($\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)، 0.15 %
أذب 1.5 غ من كلورايد الكالسيوم ثنائي الماء في حوالي 700 مل من الماء المقطر، وأكمل الحجم إلى لتر بالماء المقطر.

ب. محلول حمض كلور الماء (HCl)، M 6
خفف 496.8 مل من حمض كلور الماء المركز (sp. gr. 1.19، 37%) في الماء المقطر، امزج جيداً، دعه يبرد، و أكمل الحجم إلى لتر بالماء المقطر.

ج. كلورايد الباريوم ($\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)، بلوري

د. سوربيتول *sorbitol*، 70% محلول مائي

هـ. محلول الأم القياسي

• أذب 0.5434 غ من كبريتات البوتاسيوم (K_2SO_4) في الماء المقطر، و أكمل الحجم إلى لتر بالماء

- المقطر. هذا المحلول يحتوي على SO_4-S ppm 100 (محلول الأم).
- حضر سلسلة من المحاليل القياسية من محلول الأم كالتالي: خفف 5، 10، 20، 30، 40، 50 مل من محلول الأم إلى 100 مل حجم نهائي حيث يضاف لكل منهما محلول كلورايد الكالسيوم ثنائي الماء 0.15% هذه المحاليل تحتوي على 5، 10، 20، 30، 40، 50 SO_4-S ppm، على التوالي.

طريقة العمل

أ. الاستخلاص

1. زن 5 غ من التربة الجافة هوائياً (2 مم) في دورق أرلينماير سعة 150 مل.
2. أضف 25 مل من محلول كلورايد الكالسيوم ثنائي الماء 0.15%، (لا تستخدم سدادة مطاطية، أو تلف السدادة المطاطية برفافة من البولي ايثلين. الأخطاء الناجمة عن الأكسدة التدريجية لمكونات الكبريت تتواجد في السدادة).
3. رج لمدة 30 دقيقة على جهاز رج كهربائي ترددي (180 دورة/بالدقيقة).
4. رشح المعلق بورقة ترشيح Whatman No. 42. تعطي هذه الطريقة مستخلصات عديمة اللون تقريباً.

ب. قياس SO_4-S

1. اسحب بوساطة الماصة 10 مل من المستخلص إلى أنبوب اختبار سعة 50 مل، أو اسحب كمية أقل مخففة إلى 10 مل بالماء المقطر.
2. أضف 1 مل من محلول حمض كلور الماء $M6$ بإضافة 5 مل من محلول سوروبيتول 70% بوساطة ماصة ذات تدفق كبير. أخيراً، أضف حوالي 1 غ من كلورايد الباريوم البلوري (مستخدماً ملعقة قياسية).
3. رجه بقوة (على جهاز رج أنابيب اختبار لمدة 30 ثانية) لإذابة كلورايد الباريوم والحصول على معلق متجانس.
4. حضر المنحنى القياسي كما يلي:
 - اسحب بوساطة الماصة 10 مل من كل محلول قياسي (0-50 ppm) وتابع الإجراءات كما هو الحال في العينات.
 - كذلك حضر شاهداً بسحب 10 مل من محلول كلورايد الكالسيوم ثنائي الماء 0.15%، وتابع الإجراءات كما هو الحال في العينات.
 - اقرأ الامتصاص الضوئي (turbidity) absorbance للشاهد، المحاليل القياسية، والعينات مباشرة عند طول موجة 470 nm.

5. حضر الخط البياني للمحاليل القياسية، وذلك برسم خطٍ بياني بين قراءات الامتصاص الضوئي و تراكيز SO_4-S في المحاليل القياسية، على التوالي.
6. اقرأ تركيز SO_4-S في العينات المجهولة من الخط البياني.

الحساب

من أجل الكبرينات بطريقة العكارة في التربة:

$$SO_4 - S(ppm) = ppm \text{ } SO_4-S \text{ (من المنحنى القياسي)} \times \frac{A}{Wt} \quad (50)$$

حيث أن: A = الحجم الكلي للمستخلص (مل)
 Wt = وزن التربة الجافة هوائياً (غ)

ملاحظات

- لا تترك المحاليل القياسية و العينات المجهولة (مستخلصات التربة) لفترة تزيد عن 2-3 دقائق، وخلافاً لذلك يجب إعادة عملية رج المعلق قبل أخذ القراءة من جهاز التحليل الطيفي باللون.
- أعط نفس الوقت تقريباً للمحاليل القياسية و العينات المجهولة بين الرج وقراءة العكارة في جهاز التحليل الطيفي باللون.

2.8.6 طريقة الترسيب

تقدر الكبريتات عادة في الماء بطريقة ترسيب كبريتات الباريوم (Richards, 1954).

الأجهزة

جهاز زج كهربائي، ترددي.

مرمدة muffle furnace.

المحاليل

أ. دليل برتقالي الميثيل $[4\text{-NaOSO}_2\text{C}_6\text{H}_4\text{N: NC}_6\text{H}_4\text{-4-N (CH}_3)_2]$ ، 0.1%.

أذب 0.1 غ من دليل برتقالي الميثيل في 100 مل من الماء المقطر.

ب. محلول حمض كلور الماء (HCl)، 1 : 1.

أمزج نسبة متساوية من حمض كلور الماء والماء المقطر.

ج. محلول كلورايد الباريوم $(\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O})$ ، N 1.

أذب 122 غ من كلورايد الباريوم في الماء المقطر، وأكمل الحجم إلى لتر بالماء المقطر.

طريقة العمل

1. ضع نسبة من مستخلص التربة الحاوية على 0.05 إلى 0.5 ميلي مكافئ $\text{SO}_4\text{-S}$ إلى كأس زجاجي pyrex سعة 250 مل ومن ثم خفف المستخلص إلى 50 مل.
2. أضف 1 مل من محلول حمض كلور الماء (1 : 1)، 2-3 نقاط من دليل برتقالي الميثيل، فإذا لم يتحول اللون إلى اللون الزهري، أضف كمية زائدة من محلول حمض كلور الماء (1 : 1).
3. ضع الكؤوس على سخانة معدنية hotplate، سخن لدرجة الغليان، ثم أضف 10 مل من محلول كلورايد الباريوم N 1 زيادة لكي يترسب $\text{SO}_4\text{-S}$ على شكل كبريتات الباريوم.
4. اغلي لمدة 5-10 دقيقة، و الكؤوس مغطاة بزجاجة ساعة، ثم اترك المحلول حتى يبرد.
5. رشح المحلول من خلال ورقة ترشيح عديمة الرماد ashless، واجمع راسب كبريتات الباريوم على ورقة الترشيح، واغسله عدة مرات بالماء المقطر الفاتر حتى لا يتبقى أي أثر للكلورايد. يمكن فحص وجود

الكلورايد في المحلول الراشح بوساطة محلول $AgNO_3$ من فترة إلى أخرى ويدل عدم ظهور اللون الأبيض على انتهاء عملية الغسل.

6. بعد الانتهاء من عملية الغسل، ضع ورقة الترشيح مع الراسب في بوتقة بورسلين مجففة ومعروفة الوزن (تجفف على درجة حرارة $105^\circ C$ بالفرن لمدة ساعة واحدة حتى تجف و تبرد بالمجفف).
7. انقل البوتقة إلى المرمدة، سخن بالتدريج حتى درجة حرارة $550^\circ C$ ، ثم رمد العينات لمدة 2-3 ساعات.
8. اخرج البوتقة من المرمدة، ثم ضعها في المجفف حتى تبرد، زن البوتقة على ميزان تحليلي حساس، وخذ القراءة، t.

الحساب

من أجل الكبرينات بطريقة الترسيب في التربة :

$$(51) \quad SO_4 - S(\text{meq/L}) = \frac{t - b}{V} \times 8583.7$$

حيث أن: t = وزن البوتقة + راسب $BaSO_4$ (غ)

b = وزن البوتقة فارغة (غ)

V = حجم المستخلص المستخدم في القياس (غ)

9.6 البورون

1.9.6 طريقة الماء الساخن

قُدمت طريقة الاستخلاص بالماء الساخن من قبل (Berger and Truog (1939، وعدلها الباحثون لاحقاً، وما تزال من أكثر الطرق انتشاراً لقياس بورون التربة "المتاح" أو أجزاء البورون المتعلقة بنمو النبات في الترب القلوية. ويُقاس البورون في مستخلصات التربة بالطريقة اللونية باستخدام محلول أزوميثان-H (Bingham, 1982).

وحيث تكون مستويات بورون التربة أقل من 0.5 ppm، يحتمل أن تعاني معظم المحاصيل من نقص البورون. ومع ذلك، حيث تكون مستويات بورون التربة أكثر من 5 ppm، ستعاني معظم المحاصيل من سمية البورون.

الأجهزة

دورق أرلينماير (pyrex) سعة 50 مل، عُولجت مسبقاً بـ HCl المركز لمدة أسبوع واحد.
جهاز التحليل الطيفي الضوئي أو اللوني، طول الموجة 420 nm.
أنابيب اختبار من البولي بروبيلين سعة 10 مل.

المحاليل

أ. المحلول المُنظَّم

أذب 250 غ من خلات الأمونيوم (NH_4OAc)، 15 غ من حمض إيتيلين ثنائي أمين رباعي الخليك، ملح ثنائي الصوديوم (EDTA ثنائي الصوديوم) في 400 مل من الماء المقطر. ثم أضف ببطء 125 مل من حمض الخل الثلجي (CH_3COOH)، ثم امزج جيداً.

ب. الفحم الفعال (خالٍ من البورون B-free)

حضر هذا الفحم بغسله بشكل متكرر (8-9) بالماء المقطر (يغلى الفحم مع الماء بنسبة 1 : 5)، ثم رشحه. ويمكن فحص وجود البورون في الراشح بوساطة محلول أزوميثان-H لإظهار اللون. استمر بالغسل حتى تحصل على راشح خالي من البورون.

ج. محلول آزوميتان $(C_{17}H_{12}NNaO_8S_2)H$

أذب 0.45 غ من آزوميتان H^- في 100 مل من محلول حمض الأسكوربيك L-ascorbic acid 1%. يحضر هذا المحلول أسبوعياً بشكل طازج ويحفظ في البراد .

د. محلول الأم القياسي

- أذب 0.114 غ من حمض البوريك (H_3BO_3) في الماء المقطر، و أكمل الحجم إلى لتر بالماء المقطر. هذا المحلول يحتوي على 20 ppm بورورن (محلول الأم).
- حضر سلسلة من المحاليل القياسية من محلول الأم كالتالي: خفف 2.5، 5.0، 7.5، 10.0، 12.5، 15.0 مل من محلول الأم إلى 100 مل حجم نهائي حيث يضاف لكل منهم الماء المقطر. هذه المحاليل تحتوي على 0.5، 1.0، 1.5، 2.0، 2.5، 3.0 ppm، على التوالي.

طريقة العمل

أ. الاستخلاص

1. ضع 10 غ من التربة الجافة هوائياً في ورق أرلنماير (pyrex) سعة 50 مل، عولج مسبقاً بـ HCl المركز لمدة أسبوع واحد.
2. أضف حوالي 0.2 غ من الفحم الفعال (خالي من البورون).
3. أضف 20 مل من الماء المقطر.
4. اغل على سخان معدني لمدة 5 دقائق الدورق المغلى بزجاجة ساعة.
5. رشح المعلق مباشرة من خلال ورقة ترشيح Whatman No. 40. عندها يكون الراشح جاهزاً لتقدير البورون.

ب. القياس

1. اسحب بواسطة الماصة 1 مل من المستخلص إلى أنبوب بولي بروبيلين سعة 10 مل.
 2. أضف 2 مل من المحلول المُنظَّم.
 3. أضف 2 مل من محلول آزوميتان H^- ، و امزج جيداً.
 4. حضر المنحى القياسي كما يلي:
- اسحب بواسطة الماصة 1 مل من كل محلول قياسي (0.5-3.0 ppm)، وتابع الإجراءات كما هو الحال في العينات.
 - كذلك حضر شاهداً بسحب 1 مل من الماء المقطر، وتابع الإجراءات كما هو الحال في العينات.

• اقرأ الامتصاص الضوئي absorbance للشاهد، المحاليل القياسية، والعينات بعد 30 دقيقة على طول موجة 420 nm.

5. حضر الخط البياني للمحاليل القياسية، وذلك برسم خط بياني بين قراءات الامتصاص الضوئي وتراكيز البورون في المحاليل القياسية، على التوالي.

6. اقرأ تركيز البورون (B) في العينات المجهولة من الخط البياني.

الحساب

من أجل البورون القابل للاستخلاص في التربة:

$$B(ppm) = ppm B \text{ (من المنحنى القياسي)} \times \frac{A}{Wt} \quad (52)$$

حيث أن: A = الحجم الكلي للمستخلص (مل)
 Wt = وزن التربة الجافة هوائياً (غ)

ملاحظة

يجب الإقلال من استخدام الأواني الزجاجية قدر الإمكان؛ واستخدم دوماً أوان زجاجية مُعالجة بـ HCl المركز (تدفع لمدة أسبوع)، عند الضرورة.

2.9.6 طريقة حمض كلور الماء المخفف

بالرغم من أن طريقة الاستخلاص بالماء الساخن (HWE) واسعة الانتشار للتنبؤ بوجود البورون المتوفر في الترب القلوية، إلا أنها طريقة مملة وتميل إلى كثرة الأخطاء (بسبب صعوبة المحافظة على وقت غليان منتظم). وفي محاولة لتفديم بديل مناسب، وجد الباحثون (Rashid *et al.*, 1994; Kausar *et al.*, 1990; Rashid *et al.*, 1997) طريقة محلول HCl المخفف للعالم (Ponnamperuma *et al.* (1981). حيث أن الطريقة الأصلية مصممة للترب الحامضية، ولكنها في الحقيقة تشخص نقص البورون بنفس التأثير بالنسبة للترب القلوية و الكلسية. وأن طريقة HCl المخفف بسيطة، واقتصادية، وأكثر كفاءة.

المحاليل

أ. المحلول المُنظَّم

يحضر كما في طريقة تقدير البورون القابل للاستخلاص بالماء الساخن في التربة.

ب. محلول آزوميتان $(C_{17}H_{12}NNa O_8S_2)H-$

يحضر كما في طريقة تقدير البورون القابل للاستخلاص بالماء الساخن في التربة.

ج. الفحم الفعال (خالي من البورون)

يحضر كما في طريقة تقدير البورون القابل للاستخلاص بالماء الساخن في التربة.

د. محلول الأم القياسي

يحضر كما في طريقة تقدير البورون القابل للاستخلاص بالماء الساخن في التربة.

هـ. محلول حمض كلور الماء (HCl)، 0.05 N

خفف 4.14 مل من حمض كلور الماء (37%، sp. gr. 1.19) في الماء المقطر، امزج جيداً، وأكمل الحجم إلى لتر بالماء المقطر.

طريقة العمل

أ. الاستخلاص

1. زن 10 غ تربة جافة هوائياً (2 مم) إلى أنبوب بولي بروبيلين.

2. أضف حوالي 0.2 غ من الفحم الفعال.
3. أضف 20 مل من محلول حمض كلور الماء 0.05 N.
4. رج لمدة 5 دقائق، ومن ثم رشح المعلق.

ب. القياس (نفس طريقة آزوميتان -H)
يحضر كما في طريقة تقدير البورون القابل للاستخلاص بالماء الساخن في التربة.

الحساب

من أجل البورون المستخلص بطريقة حمض كلور الماء المخفف في التربة:

$$(53) \quad B(ppm) = ppm B \quad (\text{من المنحنى القياسي}) \times \frac{A}{Wt}$$

حيث أن: A = الحجم الكلي للمستخلص (مل)
 Wt = وزن التربة الجافة هوائياً (غ)

10.6 كاتيونات العناصر الغذائية الصغرى (الحديد، والزنك، والمنغنيز والنحاس)

رغم حاجة النباتات إلى العناصر الغذائية الصغرى بكميات أقل من العناصر الغذائية الرئيسية (مثل N، P، K) إلا أنها لا تقل أهمية عنها لنمو المحاصيل. وتتناقص قابلية ذوبان العناصر الغذائية الصغرى مع تزايد درجة حموضة التربة pH. ولما كانت معظم الترب في منطقة CWANA قلوية، لذلك يصبح النقص في العناصر الغذائية الصغرى أكثر تكراراً وانتشاراً في المحاصيل الحقلية، ولاسيما مع ازدياد عملية التكتيف الزراعي. ويعتبر اختبار DTPA الذي استنبطه (Lindsay and Norvell 1978) الأسلوب الأكثر استخداماً لتقييم وضع الخصوبة فيما يتعلق بكاتيونات العناصر الغذائية الصغرى. مثل عناصر الحديد، الزنك، المنغنيز، النحاس. ومع ذلك، يعتبر اختبار التربة عموماً للترب القلوية (مثل AB-DTPA الموصوفة في القسم 2.10.6) متساوية الفعالية عند الرغبة في تقدير العناصر الغذائية الصغرى في الترب القلوية. ولا تعاني الترب القلوية من نقص في عناصر Co، Ni، Cl، Mo.

1.10.6 طريقة DTPA

الأجهزة

جهاز رج كهربائي، ترددي
جهاز التحليل الطيفي بالامتصاص الذري

المحاليل

أ. محلول الاستخلاص DTPA

- زن 1.97 غ من ثنائي اثيلين ثلاثي أمين خماسي حمض الخليك *diethylene triamine pentaacetic acid* (DTPA)، 1.1 غ من كلورايد الكالسيوم (CaCl_2) أو [1.47 غ من كلورايد الكالسيوم ثنائي الهيدروجين ($\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)] في كأس بيكر. أذب المواد بالماء المقطر ومن ثم انقل إلى دورق حجمي سعة ليتر.
- زن في كأس آخر 14.92 غ أو (13.38 مل) من ثلاثي ايثانول أمين *Triethanolamine* (TEA)، وانقله مع الماء المقطر إلى الدورق الحجمي، ثم أكمل الحجم بالماء المقطر إلى حوالي 900 مل.
- عندك درجة حموضة pH إلى 7.3 بالضبط بمحلول حمض كلور الماء N 6، وأكمل الحجم إلى ليتر بالماء المقطر. وبذلك يكون تركيز محلول الاستخلاص النهائي DTPA 0.005 M، TEA 0.1 M، CaCl_2 0.1 M.

ب. محلول الأم القياسي

حضر سلسلة من المحاليل القياسية للعناصر الغذائية الصغرى في محلول الاستخلاص DTPA:

Zn: 0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0 ppm
Fe: 0, 1, 2, 3, 4, 5 ppm
Mn: 0, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5 ppm
Cu: 0, 1, 2, 3, 4 ppm

طريقة العمل

1. زن 10 غ من التربة الجافة هوائياً (2 مم) إلى دورق أرلينماير سعة 125 مل.
2. أضف 20 مل من محلول الاستخلاص DTPA. رجه لمدة ساعتين على جهاز رج كهربائي ترددي.
3. رشح المعلق بورقة ترشيح Whatman No. 42.
4. قس الـ Zn, Fe, Cu, Mn مباشرة من الراشح بوساطة جهاز التحليل الطيفي بالامتصاص الذري.

ملاحظة

اتبع طريقة تشغيل جهاز التحليل الطيفي بالامتصاص الذري مستخدماً المصباح الكهربائي المناسبة لكل عنصر.

الحساب

من أجل كاتيونات العناصر الغذائية الصغرى القابلة للاستخلاص في التربة:

$$(54) \quad Zn, Fe, Cu, \text{ or } Mn \text{ (ppm)} = (\text{ppm in extract} - \text{blank}) \times \frac{A}{Wt}$$

حيث أن: A = الحجم الكلي للمستخلص (مل)
 Wt = وزن التربة الجافة هوائياً (غ)

ملاحظة

1. تعتبر عملية التوازن بين المعادن في التربة مع الكومبلكسونات chelating agent الأساس النظري لمحلول الاستخلاص DTPA. ويمكن لمحلول الاستخلاص DTPA عند درجة حموضة pH 7.3 استخلاص Fe ومعادن أخرى.
2. يجب أن يكون محلول DTPA بالشكل الحامضي (بلا ملح ثنائي الصوديوم).

2.10.6 طريقة بيكربونات الأمونيوم-DTPA

تستخدم طريقة بيكربونات الأمونيوم (AB-DTPA) في تقدير عناصر غذائية متعددة في الترب القلوية وقد طورها (Soltanpour and Schwab (1977)، ثم عُدلت فيما بعد من قبل Soltanpour and Workman (1979) لإلغاء استخدام الكربون الأسود. ويبلغ تركيز محلول الاستخلاص $M 1$ في بيكربونات الأمونيوم $(\text{NH}_4\text{HCO}_3)$ ، $M 0.005$ في DTPA المعدلة عند درجة pH 7.6، ويمكن تقدير $\text{NO}_3\text{-N}$ ، K ، P في نفس المستخلص.

و ترتبط هذه الطريقة ارتباطاً وثيقاً بطريقة بيكربونات الصوديوم من أجل P ، وطريقة خلات الأمونيوم من أجل K ، وطريقة DTPA من أجل Cu ، Mn ، Fe ، Zn . علماً أن المدى والحساسية لا يتغيران بل يرتبطان مع المدى والحساسية في اختبار DTPA، لذلك يستخدم اختبار بيكربونات الصوديوم، واختبار خلات الأمونيوم من أجل العناصر الغذائية الصغرى، K ، P ، على التوالي.

الأجهزة

- جهاز التحليل الطيفي بالامتصاص الذري.
- جهاز التحليل الطيفي باللون مناسب للقياس عند طول موجة 880 و 420 nm.
- جهاز تخفيف أوتوماتيكي دقيق.
- جهاز التحليل الطيفي باللهب.
- جهاز رج كهربائي، ترددي.

المحاليل

أ. محلول الاستخلاص Extracting Solution

أضف 1.97 غ من DTPA إلى 800 مل من الماء المقطر للحصول على محلول $M 0.005$ DTPA. ثم أضف حوالي 2 مل من ماء/ات الأمونيوم 1 : 1 (NH_4OH) لتسهيل عملية الذوبان ولمنع الفوران عند إضافة البيكربونات.

عندما يذوب معظم DTPA، أضف 79.06 غ من بيكربونات الأمونيوم (NH_4HCO_3) مع التحريك بلطف حتى يذوب المحلول. عدل درجة pH إلى 7.6 بماء/ات الأمونيوم. خفف المحلول إلى حجم ليتر بالماء المقطر، يمكن استخدامه مباشرة أو حفظه بالزيت المعنوي.

ب. محلول خليط لتقدير الفوسفور

أذب 12 غ من موليبدات الأمونيوم $[(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}\cdot 4\text{H}_2\text{O}]$ في 250 مل من الماء المقطر. ثم أذب

0.2908 غ من طرطرات البوتاسيوم الأنتيموني *antimony potassium tartarate* في لتر من حمض الكبريت $N5$ (148 مل من حمض الكبريت المركز إلى لتر)، امزج المحلولين معاً بشكل جيد كافٍ، ثم أكمل الحجم إلى لترين بالماء المقطر. احفظه في زجاجة بيركس pyrex في مكان مظلم وبارد.

ج. محلول تطوير اللون لقياس الفوسفور

أضف 0.739 غ من حمض الأُسكوريك إلى 140 مل من محلول الخليط لتقدير الفوسفور. يجب إعداد هذا المحلول عند الطلب لعدم إمكانية حفظه أكثر من 24 ساعة.

د. محلول الأم لكبريتات الهيدرازين ($H_2N_2H_2.H_2SO_4$)

أذّب 27 غ كبريتات الهيدرازين (الوزن الجزيئي 130.12) في 750 مل من الماء المقطر، وأكمل الحجم إلى لتر بالماء المقطر، امزج جيداً. حضر محلول قياسي من كبريتات الهيدرازين بتخفيف 22.5 مل من محلول الأم إلى حجم لتر بالماء المقطر. يبقى هذه المحلول ثابتاً لمدة ستة أشهر.

هـ. محلول الأم لكبريتات النحاس ($CuSO_4.5H_2O$)

أذّب 3.9 غ من كبريتات النحاس خماسي الماء (الوزن الجزيئي 249.68) في 800 مل من الماء المقطر، وأكمل الحجم إلى لتر بالماء المقطر، امزج جيداً. حضر محلول قياسي من كبريتات النحاس بتخفيف 6.25 مل من محلول الأم إلى حجم لتر بالماء المقطر.

و. محلول الأم لماءات الصوديوم (NaOH)، $N1.5$

أذّب 60 غ من ماءات الصوديوم (الوزن الجزيئي 40.0) في 500 مل من الماء المقطر، برد، وأكمل الحجم إلى لتر بالماء المقطر، امزج جيداً. حضر محلول قياسي من ماءات الصوديوم ($N0.3$) بتخفيف 200 مل من محلول الأم إلى حجم لتر بالماء المقطر.

ز. محلول تطوير اللون لقياس الآزوت - النترات

أضف 5 غ من سولفانيل أميد *sulfanilamide* (الوزن الجزيئي 172.21)، 0.25 غ من N -(1-نافتيل) إيثيلين ثنائي أمين كلورايد ثنائي الهيدروجين *N-(1-naphthyl)-ethylenediamine* إلى 300 مل من الماء المقطر. ثم أضف ببطء 50 مل من حمض الفوسفوريك $dihydrochloride$ إلى 300 مل من الماء المقطر. ثم أضف ببطء 50 مل من حمض الفوسفوريك (H_3PO_4) 85% مع التحريك، أكمل الحجم إلى 500 مل. يجب إعداد هذا المحلول عند الطلب لعدم إمكانية استخدامه بعد ظهور اللون الزهري.

ح. محاليل الأم القياسية

أزوت-النتراتى:

حضر محاليل قياسية تحتوي 0، 0.5، 1.0، 1.5، 2.0، 2.5، 3 ppm NO₃-N.

الفوسفور:

حضر محاليل قياسية تحتوي 0، 0.5، 1.0، 1.5، 2.0، 2.5، 3 ppm P.

البوتاسيوم:

حضر محاليل قياسية تحتوي 0، 5.0، 10.0 ppm K.

العناصر الغذائية الصغرى:

حضر محاليل قياسية من أجل:

- الحديد Fe: 0، 1.0، 2.0، 3.0، 4.0، 5.0 ppm.
- النحاس Cu: 0، 1.0، 2.0، 3.0، 4.0 ppm.
- المنغنيز Mn: 0، 1.0، 1.5، 2.5 ppm.
- الزنك Zn: 0، 0.2، 0.4، 0.6، 0.8، 1.0 ppm.

طريقة العمل

1. طريقة الاستخلاص

زن 10 غ من التربة الجافة هوائياً (2 مم) إلى دورق مخروطي سعة 125 مل. أضف 20 مل من محلول الاستخلاص، رج على جهاز رج ترددي لمدة 15 دقيقة عند 180 دورة / الدقيقة مع إبقاء الدوارق مفتوحة. رشح المستخلصات بورقة ترشيح Whatman No. 42.

2. أزوت-النتراتى

انقل 1 مل من مستخلص التربة إلى أنبوب اختبار سعة 25 مل، أضف 3 مل من محلول قياسي لكبريتات النحاس، أضف 2 مل من محلول قياسي لكبريتات الهيدرازين، 3 مل من محلول قياسي ماءات الصوديوم. امزج المحاليل جيداً وسخن على حمام مائي (38°م) لمدة 20 دقيقة ثم أخرجها، أضف 3 مل من محلول تطوير اللون لقياس الأزوت - النتراتى، امزج، اترك المزيج في درجة حرارة الغرفة لمدة 20 دقيقة، اقرأ الامتصاص عند طول موجة 540 nm في جهاز التحليل الطيفي باللون (Kamphake *et al.*, 1967).

تتطور المحاليل القياسية بنفس الطريقة المبيّنة سابقاً، ويمكن الحصول على المنحنى القياسي باستخدام قيم الامتصاص للمحاليل القياسية.

3. الفوسفور

خفف 1 مل من مستخلص التربة حتى 10 مل من الماء المقطر. أضف بعناية 2.5 مل من محلول تطوير اللون لمنع فقد أي مقدار من العينة نتيجة زيادة الرغوة. حرك المزيج، ودعه لمدة 30 دقيقة، ثم قس كثافة اللون عندما يصبح طول موجة 880 nm باستخدام جهاز التحليل الطيفي باللون. تتطور المحاليل القياسية بنفس الطريقة المبيئة سابقا، ويمكن الحصول على المنحنى القياسي باستخدام قيم الامتصاص للمحاليل القياسية.

4. البوتاسيوم

قدر البوتاسيوم في مستخلصات التربة إما عن طريق جهاز التحليل الطيفي باللهب أو جهاز التحليل الطيفي بالامتصاص الذري باستخدام مصباح كهربائي خاص للبوتاسيوم hollow cathode lamp. حضر المحاليل القياسية بإضافة محلول الاستخلاص extracting solution.

5. العناصر الغذائية الصغرى

قدر الزنك، الحديد، النحاس، المنغنيز باستخدام جهاز التحليل الطيفي بالامتصاص الذري. حضر المحاليل القياسية لجميع المعادن بإضافة محلول الاستخلاص extracting solution.

الحساب

من أجل آزوت - نترات في التربة:

$$(55) \quad NO_3 - N(ppm) = NO_3 - N (ppm \text{ in extract}) \times Dilution Factor$$

من أجل الفوسفور في التربة:

$$(56) \quad P (ppm) = P (ppm \text{ in extract}) \times Dilution Factor$$

من أجل البوتاسيوم في التربة:

$$(57) \quad K (ppm) = K (ppm \text{ in extract}) \times Dilution Factor$$

من أجل العناصر الغذائية الصغرى في التربة:

$$(58) \quad Zn, Fe, Me, Cu (ppm) = Zn, Fe, Me, Cu (ppm \text{ in extract}) \times \text{Dilution Factor}$$

ملاحظات

1. يجب أن يكون محلول DTPA بالشكل الحامضي. ويمكن تخزين محلول الاستخلاص لمدة أسبوعين بالزيت المعنني، ثم تعدل درجة pH إلى 7.8 عند الضرورة.
2. يمكن تفسير البيانات المتعلقة بتحليل التربة بطريقة AB-DTPA باستخدام الدلائل العامة في الملحق 9.

7. تحليل النبات

يُقاس تركيز العناصر الغذائية في النباتات في مستخلص من مواد نباتية طازجة (مثلاً في تحليل النسج)، أو من مواد نباتية جافة تماماً. ويعتبر الاختبار الأول اختباراً كيمياً وملائماً للقياسات السريعة لمحتوى مزرع. ويعتبر تحليل النبات الكلي total plant analysis تحليلاً كيمياً بالجواهر ويمكن الاعتماد عليه بشكل أكبر، بالإضافة لفائدته. ويعطي الملحق 11 أمثلة عن المدى العام للنقص deficiency، والكفاية adequacy، والزيادة excess في تركيز العناصر الغذائية في حالة محاصيل الحبوب. مما يكسب أهمية بالغة للعنصر N بالإضافة إلى P، B، وكاتيونات العناصر الغذائية الصغرى. ولمزيد من التفصيلات حول الدلائل التفسيرية لبيانات تحليل النبات راجع Jones *et al.* (1991) و Reuter and Robinson (1986، 1997).

1.7 الأذوت

يعتبر تحليل النبات بطريقة الكداهل عدد تقدير الأذوت (N) من أكثر الطرق شيوعاً. ومن ناحية ثانية، يُستخدم أيضاً الهضم الرطب بوساطة حمض الكبريت المركز و الماء الأكسجيني (H_2O_2) لكي يلغى استخدام السيلينيوم في الطرق السابقة (Van Schouwenberg and Walinge, 1973).

1.1.7 أذوت الكداهل

الأجهزة

- جهاز هضم.
- جهاز وحدة تقطير.
- جهاز معايرة أتوماتيكي موصول إلى جهاز pH.
- جهاز رج أنابيب.

المحاليل

إن المواد الكيميائية المستخدمة هنا هي ذاتها المستخدمة في طريقة أذوت كداهل في التربة.

أ. خليط مُحفَظ (K_2SO_4 -Se) النسبة 1 : 100 w/w.

ب. حمض الكبريت (H_2SO_4)، المركز

ج. ملح EDTA ثنائي الصوديوم، الوزن الجزيئي = 372.2

د. محلول ماءات الصوديوم (NaOH)، N 10

هـ. محلول حمض البوريك (H_3BO_3)، المشبع

و. محلول حمض الكبريت (H_2SO_4)، N 0.01

ز. محلول الأم القياسي : 1.2 غ NH_4-N في اللتر.

طريقة العمل

أ. الهضم

1. أمزج عينة النبات المطحونة جيداً (بمطحنة لولبية) وانشرها على شكل طبقة ناعمة على صفحة من الورق حتى تبدو متجانسة.
2. لتحديد الرطوبة، خذ عينات ثانوية ممثلة لعدة عينات نباتية، وزن الواحدة منها 1 غ، وذلك بأخذ 10 أجزاء صغيرة على الأقل من جميع العينات بوساطة المُبسط spatula ثم ضعها في قارورة بلاستيكية صغيرة.
3. جفف العينات الثانوية عند درجة حرارة 60°م بالفرن، ومن ثم برد في المجفف.
4. زن 0.25 غ (حب) أو 0.50 (قش) من المادة النباتية الجافة، ثم انقل كمياً إلى أنبوب هضم سعة 100 مل.
5. أضف عدة قطع من حجر الخفان لتنظيم الغليان. ثم أضف حوالي 3 غ من الخليط المُحفز بوساطة ملعقة معيارية.
6. أضف 10 مل من حمض الكبريت المركز باستخدام ماصة آلية، امزج العينات جيداً بوساطة جهاز رج الأنابيب.
7. ضع الأنابيب في جهاز الهضم لمدة 20 دقيقة عند درجة حرارة 100°م. ثم ضع الأنابيب جانباً، اغسل الحواف الداخلية للأنابيب من أي مواد نباتية ملتصقة بالعنق بنفس حمض الكبريت المركز الموجود بالأنابيب. وذلك بتدوير محتويات الأنبوب بشكل كافي، ومن ثم اعد الأنابيب إلى جهاز الهضم وعند درجة حرارة 380°م أكمل الهضم لمدة ساعتين.
8. بعد إتمام عملية الهضم، ضع الأنابيب جانباً، بردها، واكمل إلى الحجم 100 مل بالماء المقطر.
9. يجب أن تحوي كل مجموعة batch من العينات المهضومة على أنبوب شاهد واحد للمحاليل (بدون نبات)، أنبوب قياسي للمواد الكيميائية (زن 0.1 غ من EDTA كعينة كيميائية قياسية)، وأنبوب واحد كعينة نباتية قياسية (عينة نباتية قياسية محلية internal reference).

ب. التقطير

1. أضبط أجهزة التقطير و المعايرة كما في طريقة أزوت كلباهل في التربة، بخر وحدة التقطير لمدة 10 دقائق.
2. رج أنبوب الهضم قبل البدء بعملية التقطير، حتى يتم مزج محتوياته بشكل كامل. اسحب مباشرة بوساطة الماصة 10 مل من المزيج وضعها في دورق التقطير سعة 100 مل.
3. أضف بعناية 10 مل من محلول ماءات الصوديوم 10 N. صل مباشرة دورق التقطير إلى وحدة التقطير بوساطة ملفظ خاص، ثم ابدأ عملية التقطير.
4. اجمع حوالي 35 مل من المادة المقطرة في طبق التجميع. أوقف عملية التقطير.

5. ارفع دورق التقطير، صل دورق تقطير فارغ سعة 100 مل إلى وحدة التقطير. أوقف المياه المتدفقة إلى المكثف ومن ثم بخر لمدة 90 ثانية قبل البدء بالعينة التالية.
6. عاير المادة المقطرة إلى درجة pH 5.0 بمحلول H_2SO_4 0.01 N مستخدماً جهاز المعايرة الأتوماتيكي. سجل حجم الحمض المستهلك في المعايرة.
7. يجب أن تحتوي كل عملية تقطير على 10 مل من أزوت - أمونيوم القياسي مع 0.2 غ من MgO و 10 مل من الماء المقطر مع 0.2 غ من MgO. كما يجب أن تكون نسبة الاسترداد لمحلول أزوت-أمونيوم القياسي 98% على الأقل. وتقدر نسبة الاسترداد لمادة EDTA القياسية المصححة على أساس شاهد للمحاليل blank reagent بـ 97% على الأقل.

الحساب

النسبة المئوية من استرداد الأزوت النشادرى القياسي:

$$(59) \quad \% \text{ Recovery} = \frac{(V - B) \times N \times 14.01 \times 100}{C \times D}$$

- حيث أن:
- V = حجم محلول H_2SO_4 0.01 N المستهلك في معايرة العينة (مل)
 - B = حجم معايرة الشاهد المهضوم (مل)
 - N = نظامية محلول H_2SO_4 .
 - 14.01 = الوزن الذري للأزوت.
 - C = حجم محلول NH_4-N القياسي (مل)
 - D = تركيز محلول NH_4-N القياسي (ميكروغرام/مل)

النسبة المئوية من استرداد EDTA القياسي :

$$(60) \quad \% \text{ Recovery} = \frac{(V - B_1) \times N \times R \times 186.1 \times 100}{W_{I1} \times 1000}$$

النسبة المئوية للأزوت في النبات :

$$(61) \quad \% N = \frac{(V - B_1) \times N \times R \times 14.01 \times 100}{Wt_2 \times 1000}$$

حيث أن: R = النسبة بين الحجم الكلي للعينة المهضومة و بين الحجم المأخوذ للتقطير.

B_1 = حجم معايرة الشاهد المهضوم (مل)

Wt_1 = وزن EDTA (غ)

Wt_2 = وزن النبات الجاف (غ)

الوزن المكافئ لمادة EDTA = 186.1.

2.1.7 الأزوت النتراطي

لايعد الاستخدام الروتيني للمعادن الثقيلة كخليط مُحفّز أمراً سليماً من الناحية البيئية. وانطلاقاً من هذا الرأي، أُقترح حديثاً إجراء معاملة المواد النباتية بمزيج من H_2O_2 - H_2SO_4 في غياب الخليط المعدني كطريقة هضم بديلة لطريقة أزوت الكلاهل في التربة و النباتات (McGill and Figueiredo, 1993).

المحاليل

أ. حمض الكبريت (H_2SO_4)، المركز

ب. فوق أكسيد الهيدروجين (الماء الأكسجيني) (H_2O_2)، 30%

طريقة العمل

1. زن 0.5 غ من المادة النباتية الجافة إلى أنبوب هضم سعة 100 مل.
2. أضف 3-4 قطع من حجر الخفان لتنظيم الغليان، 5 مل من حمض الكبريت المركز، امزجه جيداً.
3. اتركه طوال الليل.
4. سخن على جهاز الهضم عند درجات حرارة معتدلة 100-150°م.
5. حرك جيداً لإيقاف الرغوة. وفي حال وصولها إلى عنق أنبوب الهضم، أضف 2 مل من فوق أكسيد الهيدروجين 30%.
6. سخن الأنابيب لمدة تتراوح بين 30-60 دقيقة في جهاز الهضم.
7. برد الأنابيب، ثم أضف 2 مل من فوق أكسيد الهيدروجين 30%.
8. ارفع درجة حرارة جهاز الهضم حتى 280°م.
9. سخن الأنابيب لمدة 10 دقائق عند الحرارة 280°م.
10. برد الأنابيب، ثم أضف 2 مل فوق أكسيد الهيدروجين 30%، وسخنها لمدة 10 دقائق.
11. أعد الخطوتين 9 و 10 حتى يبدو المحلول صافياً بعد 10 دقائق من التسخين.
12. برد المحلول، وأكمل الحجم إلى 100 مل بالماء المقطر.

القياس

يمكن قياس محتوى الأزوت في هذا المحلول المهضوم بطريقة التقطير. كما يمكن قياس الفوسفور بالطريقة اللونية، بعد ترشيح المحلول المهضوم بورقة ترشيح 5 أو 1 Whatman No. 1، كما وصفها من قبل (Murphy and Riley (1962). وترتبط نتائج العنصرين N و P بشكل وثيق مع طريقة هضم كلاهل القياسية.

3.1.7 الأزوت الكلي

تعتمد هذه الطريقة على هضم المادة النباتية في مزيج من حمض الساليسيليك والكبريت (Buresh *et al.*, 1982).

المحاليل

أ. مزيج حمض الساليسيليك-الكبريت (يحتوي H_2SO_4 المركز على 2.5% w/v من حمض الساليسيليك).

أذب 62.5 غ من حمض الساليسيليك النقي ($C_7H_6O_3$) في 2.5 لتر من حمض الكبريت المركز.

ب. خليط مُحفَظ (K_2SO_4 -Se) النسبة 1 : 100 w/w.

ج. ثيو كبريتات الصوديوم ($Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$)، بلورات

د. ملح EDTA ثنائي الصوديوم، الوزن الجزيئي = 372.2

طريقة العمل

أ. الهضم

1. أمزج عينة النبات المطحونة جيداً وانشرها على شكل طبقة ناعمة على صفحة من الورق حتى تبدو متجانسة.
2. لتحديد الرطوبة، خذ عينات ثانوية ممثلة لعدة عينات نباتية، وزن الواحدة 1 غ، وذلك بأخذ 10 أجزاء صغيرة على الأقل من جميع العينات بواسطة المُبسط spatula ثم وضعها في قارورة بلاستيكية صغيرة.
3. جفف العينات الثانوية عند درجة حرارة $60^\circ C$ بالفرن، ومن ثم بردها في المجفف.
4. زن 0.25 غ (حب) أو 0.50 (قش) من المادة النباتية الجافة، ثم انقل كمياً إلى أنبوب هضم سعة 250 مل.
5. أضف 20 مل من مزيج حمض الساليسيليك-الكبريت بينما يُدوّر الأنبوب لغسل أية بقايا ملتصقة على حواف أنبوب العينة النباتية، ثم اترك المزيج لمدة ساعتين أو أكثر مع إجراء التدوير بين فترة وأخرى.
6. أضف 2.5 غ من ثيو كبريتات الصوديوم عبر قمع طويل الساق إلى محتوى الأنبوب، ثم دوّر بلطف مرات قليلة، ومن ثم اتركه طوال الليل.

7. أضف 4 غ من **خليط مُحفَظ**، 3-4 قطع من **حجر الخفان لتنظيم الغليان**، ثم ضع الأنابيب على جهاز هضم تصل درجة حرارته إلى 400°م.
8. ضع أقمع زجاجية في فتحات الأنابيب للتأكد من وجود ارتداد فعال للمزيج المهضوم و لمنع فقد H_2SO_4 ، ثم أكمل عملية الهضم حتى يصبح المزيج صافياً.
9. ارفع الأنابيب عن جهاز الهضم جانباً و اتركها تبرد لمدة 20 دقيقة. ثم اغسل الحواف الداخلية للأنابيب من أي مواد نباتية ملتصقة بالعنق بأقل كمية ممكنة من الماء المقطر.
- 10.حرك محتويات الأنبوب بشكل كافي، و من ثم أعد الأنابيب إلى جهاز الهضم و أكمل الهضم لمدة ساعتين بعد صفاء المحلول. علماً أنه يجب ألا تبقى أية مادة صلبة في الأنبوب بعد الهضم.
11. بعد انتهاء عملية الهضم، اترك المحلول المهضوم ليبرد، ثم أضف الماء المقطر بلطف مع الرج حتى يصبح مستوى السائل حوالي 2 مل تحت علامة التدرج.
12. اترك الأنابيب حتى تصبح درجة حرارتها ماثلة لدرجة حرارة الغرفة، ثم أكمل الحجم إلى العلامة (250 مل) بالماء المقطر.
13. يجب أن تحتوي كل مجموعة batch من العينات المهضومة على أنبوب شاهد واحد للمحاليل (بدون نبات)، و أنبوب قياسي للمواد الكيميائية (زن 0.1 غ من EDTA كعينة كيميائية قياسية)، و أنبوب واحد كعينة نباتية قياسية (عينة نباتية قياسية محلية internal reference).

ب. التقطير

- إن المحاليل المطلوبة لعملية التقطير هي ذاتها المستخدمة في طريقة أزوت كداهل في التربة.
1. أضبط أجهزة التقطير والمعايرة كما في طريقة أزوت كداهل في التربة، بخر وحدة التقطير لمدة 10 دقائق.
 2. قبل البدء بعملية التقطير، رج أنبوب الهضم حتى يتم مزج محتوياته بشكل كامل. اسحب بوساطة الماصة مباشرة حجماً مناسباً من المحلول المهضوم ثم ضعه في دورق التقطير سعة 300 مل.
 3. أضف بعناية 7 مل أو 15 مل من محلول **ماءات الصوديوم** 10 N إلى الحجم 25 مل أو 50 مل من المحلول المهضوم، على التوالي، صل مباشرة دورق التقطير إلى وحدة التقطير بوساطة ملقط خاص، ثم ابدأ عملية التقطير.
 4. اجمع حوالي 35 مل من المادة المقطرة في طبق التجميع. أوقف عملية التقطير.
 5. ارفع دورق التقطير، صل دورق تقطير فارغ سعة 100 مل إلى وحدة التقطير. أوقف المياه المتدفقة إلى المكثف ومن ثم بخر لمدة 90 ثانية قبل البدء بالعينة التالية.
 6. عابر المادة المقطرة إلى درجة pH 5.0 بمحلول H_2SO_4 0.01 N مستخدماً **جهاز المعايرة الأتوماتيكي**. سجل حجم الحمض المستهلك في المعايرة.

7. يجب أن تحتوي كل عملية تقطير على محلولين قياسييين standards وشاهدين blanks (شواهد المحاليل). وتقدر نسبة الاسترداد لمادة EDTA القياسية المصححة على أساس شاهد للمحاليل blank reagent بـ 97% على الأقل.

الحساب

النسبة المئوية من استرداد EDTA القياسي:

$$(62) \quad \% \text{ Recovery} = \frac{(V - B) \times N \times R \times 186.1 \times 100}{Wt_1 \times 1000}$$

النسبة المئوية للأزوت في النبات:

$$(63) \quad \% N = \frac{(V - B) \times N \times R \times 14.01 \times 100}{Wt_2 \times 1000}$$

حيث أن:

- V = حجم محلول H_2SO_4 0.01 N المستهلك في معايرة العينة (مل)
- B = حجم معايرة الشاهد المهضوم (مل)
- N = نظامية محلول H_2SO_4 .
- 14.01 = الوزن الذري للأزوت.
- R = النسبة بين الحجم الكلي للعينة المهضومة وبين الحجم المأخوذ للتقطير.
- Wt_1 = وزن EDTA (غ)
- Wt_2 = وزن النبات الجاف (غ)
- 186.1 = الوزن المكافئ لمادة EDTA.

2.7 الفوسفور

يمكن تقدير الفوسفور الكلي في المادة النباتية أما بطريقة الهضم الرطب (موصوفة بالقسم 1.1.7) أو بطريقة الترميد الجاف (موصوفة بالقسم 3.7). تُعطي كلتا الطريقتين نتائج مرضية satisfactory. ومع ذلك، طريقة الترميد الجاف بسيطة، وسهلة، وغير خطيرة واقتصادية. ومن ثم يمكن قياس محتوى الفوسفور في المحلول المهضوم أو الذائب بالطريقة اللونية.

الأجهزة

- جهاز التحليل الطيفي الضوئي أو اللوني، طول الموجة 410 nm.
- جهاز هضم.
- جهاز رج الأنابيب.

المحاليل

أ. موليبدات الأمونيوم-فاندات الأمونيوم في حمض الأزوت

- أذب 22.5 غ من موليبدات الأمونيوم $[(NH_4)_6Mo_7O_{24} \cdot 4H_2O]$ في 400 مل من الماء المقطر (a).
- أذب 1.25 غ من فاندات الأمونيوم (NH_4VO_3) في 300 مل من الماء المقطر الحار (b).
- أضف (b) إلى (a) في دورق حجمي سعة ليتر، دع المزيج يبرد حتى تصبح درجة حرارته مماثلة لدرجة حرارة الغرفة.
- أضف بحذر 250 مل من حمض الأزوت المركز (HNO_3) إلى المزيج السابق، برد حتى تصبح درجة حرارته مماثلة لدرجة حرارة الغرفة، وأكمل الحجم إلى ليتر بالماء المقطر.

ب. محلول الأم القياسي

- جفف حوالي 2.5 غ من فوسفات البوتاسيوم ثنائي الهيدروجين (KH_2PO_4) بالفرن على درجة حرارة $105^\circ C$ لمدة ساعة واحدة، برد بالمجفف، واحفظه في زجاجة محكمة الإغلاق.
- أذب 0.2197 غ من فوسفات البوتاسيوم ثنائي الهيدروجين في الماء المقطر، ثم أكمل إلى حجم ليتر بالماء المقطر. هذا المحلول يحتوي على 50 ppm من الفوسفور (محلول الأم).
- حضر سلسلة من المحاليل القياسية من محلول الأم كالتالي: خفف 1، 2، 3، 4، 5 مل من محلول الأم إلى 100 مل حجم نهائي حيث يضاف لكل منهما الماء المقطر. تحتوي هذه المحاليل على 1.0، 0.5، 1.5، 2.0، 2.5 ppm من الفوسفور، على التوالي.

طريقة العمل

أ. طريقة الهضم الرطب

- يتم الهضم الرطب للمواد النباتية (كما هو موضَّح في أزوت كلداهل في النبات القسم 1.1.7).
- يتم ترشيح العينات المهضومة بورقة ترشيح Whatman No.1، ويجمع الراشح في زجاجة صغيرة.
أو كطريقة بديلة

طريقة الترميد الجاف

- يتم الترميد الجاف للمواد النباتية (كما هو مبين في تحليل كاتيونات العناصر الغذائية الكبرى والصغرى في الفصل 3.7).
- أذب المادة المرمدة في $N 2 HCl$ (كما هو مبين في القسم 3.7).

ب. القياس

1. اسحب بوساطة الماصة 10 مل من الراشح المهضوم أو حجم مناسب من الرماد الذائب (تعتمد على الطريقة المستخدمة) إلى دورق حجمي سعة 100 مل، ثم أضف 10 مل من محلول موليبيدات-فانادات-الأمونيوم، خفف المحلول إلى الحجم بالماء المقطر.
2. حضر المنحنى القياسي كما يلي:
 - اسحب بوساطة الماصة 1، 2، 3، 4، 5 مل من محلول الأم القياسي، وتابع الإجراءات كما هو الحال في العينات.
 - كذلك حضر شاهداً بسحب 10 مل من محلول موليبيدات-فانادات-الأمونيوم، وتابع الإجراءات كما هو الحال في العينات.
 - اقرأ الامتصاص الضوئي absorbance للشاهد، المحاليل القياسية، والعينات بعد 30 دقيقة عند طول موجة 410 nm.
3. حضر الخط البياني للمحاليل القياسية، وذلك برسم خط بياني بين قراءات الامتصاص الضوئي وتراكيز الفوسفور في المحاليل القياسية، على التوالي.
4. اقرأ تركيز الفوسفور (P) في العينات المجهولة من الخط البياني.

الحساب

النسبة المئوية للفوسفور الكلي في النبات:

$$(64) \quad \% P = ppm P \quad (\text{من المنحنى القياسي}) \times \frac{R}{Wt} \times \frac{100}{10000}$$

حيث أن: R = النسبة بين الحجم الكلي للعينه المهضومه أو الحجم المناسب من الرماد الذائب إلى الحجم المأخوذ للقياس.
 Wt = وزن النبات الجاف (غ)

ملاحظة

يمكن أيضاً استخدام مستخلص النبات المهضوم بوساطة فوق أكسيد الهيدروجين وحمض الكبريت المركز في قياس تركيز الفوسفور الموجود في النباتات (الموصوفة بالقسم 2.1.7).

3.7 تقدير العناصر الغذائية الكبرى و الصغرى بطريقة الترميد الجاف

يعد تحليل النبات بطريقة الترميد الجاف طريقة سهلة، غير خطيرة وأقل كلفة إذا ما قورنت مع طريقة الهضم الرطب بوساطة $\text{HNO}_3\text{-HClO}_4$. وتعتبر طريقة الترميد الجاف مناسبة لتحليل P, K, Ca, Mg, و Na. أما كاتيونات العناصر الصغرى (Fe, Zn, Cu, و Mn) لا يمكن تحليلها بطريقة الترميد إلا في أنسجة النباتات المتبخنة المحتوى من السيليكا silica (مثل البقوليات).

لذلك يتعين استخدام طريقة الهضم الرطب بوساطة $\text{HNO}_3\text{-HClO}_4$ عند الرغبة في تقدير كاتيونات العناصر الصغرى في أنسجة النباتات العالية المحتوى من السيليكا (مثل القمح، الشعير، الرز، وقصب السكر ... الخ) (الطريقة موضحة في القسم 5.7). ويحذر عند تقدير B بطريقة الترميد الجاف استخدام الأواني الزجاجية (تستخدم إجراءات خاصة عند تحليل B في أنسجة النباتات، موضحة في القسم 4.7).

الأجهزة

- جهاز التحليل الطيفي الضوئي أو اللوني، طول الموجة 410 nm.
- جهاز التحليل الطيفي باللهب.
- جهاز التحليل الطيفي بالامتصاص الذري.
- جفئات من البورسلين أو بياكر زجاجية pyrex (سعة 30-50 مل).

المحاليل

حمض كلور الماء (HCl)، N 2
خفف 165.6 مل من حمض كلور الماء المركز (sp.gr. 1.19، 37%) في الماء المقطر، أمزج جيداً، دعه يبرد، وأكمل الحجم إلى لتر بالماء المقطر.

طريقة العمل

- هي نفس الطريقة التي اتبعها (Chapman and Pratt (1961) مع بعض التعديلات الطفيفة.
1. زن 0.5-1.0 غ من المادة النباتية المطحونة في جفئات من البورسلين سعة 30-50 مل أو بياكر زجاجية pyrex.
 2. ضع جفئات البورسلين في المرمدة muffle furnace الباردة، ثم ارفع درجة الحرارة تدريجياً حتى تصل إلى 550°م.

3. استمر بعملية الترميد لمدة 5 ساعات بعد الوصول إلى درجة حرارة 550°م.
4. أطفئ المرمدة وافتح الباب بحذر كي تبرد العينات بسرعة.
5. أخرج الجفنت من المرمدة بحذر.
6. أذب الرماد البارد في 5 مل من حمض كلور الماء مع المزج بقضيب بلاستيكي.
7. بعد مرور 15-20 دقيقة، أكمل إلى الحجم (عادة 50 مل) مستخدماً الماء المقطر.
8. أمزجه جيداً، ثم اتركه لمدة 30 دقيقة تقريباً، استخدم المحلول الطافي أو رشحه بوساطة ورق ترشيح Whatman No. 42، مع الاستغناء عن القطرات الأولى من الراشح.
9. قدر الفوسفور في الراشح بالطريقة اللونية (بوساطة طريقة موليبدات الأمونيوم-فانادات الأمونيوم ذات اللون الأصفر)، قدر البوتاسيوم و الصوديوم بجهاز التحليل الطيفي باللهب، قدر Ca, Mg, Zn, Cu, Fe, Mn بجهاز التحليل الطيفي بالامتصاص الذري.

ملاحظة

عند قياس Ca و Mg، يجب أن تحتوي التخفيفات النهائية للمستخلصات على 1% w/v من الليثيوم (La)، كما يجب أن تتم مقارنة التقديرات مع المحاليل القياسية والشاهد المحتويان على نفس النسبة من تركيز الليثيوم وذلك للتغلب على التداخلات الأيونية.

4.7 البورون

يقاس البورون في عينة النبات بواسطة الترميد الجاف (Chapman and Pratt, 1961) وتستخدم كخطوة ثانية الطريقة اللونية لتقدير البورون بواسطة آزوميتان H- (Bingham, 1982).

الأجهزة

جهاز التحليل الطيفي الضوئي أو اللوني، طول الموجة 420 nm.
أنابيب اختبار من البولي بروبيلين سعة 10 مل.
جفئات من البورسلين .

المحاليل

أ. حمض الكبريت (H_2SO_4)، N 0.36

ب. محلول مُنظم Buffer Solution
يحضر كما في طريقة الماء الساخن في التربة.

ج. آزوميتان H-
يحضر كما في طريقة الماء الساخن في التربة.

د. محلول الأم القياسي
يحضر كما في طريقة الماء الساخن في التربة.

طريقة العمل

1. زن 1 غ من المادة الجافة و المطحونة في جفئة من البورسلين.
2. رمد العينة في المرمدة muffle furnace الباردة، و ارفع درجة الحرارة تدريجياً حتى تصل إلى 550°م.
3. استمر بعملية الترميد لمدة 6 ساعات بعد الوصول إلى درجة حرارة 550°م.
4. بعد الانتهاء من الترميد و التبريد، رطب الرماد بخمس قطرات من الماء المقطر، ثم أضف 10 مل من محلول حمض الكبريت N 0.36 إلى العينات المرمدة في جفئات البورسلين. ضع الجفئات على حمام مائي لمدة 20 دقيقة.

5. اترك الرماد لمدة ساعة عند درجة حرارة الغرفة، مع التحريك بين الفترة و الأخرى بقضيب بلاستيكي لتفتيت الرماد.

6. رشح المحلول بورقة ترشيح Whatman No.1 إلى دورق حجمي من بولي بروبيلين سعة 50 مل. ثم أكمل إلى الحجم المطلوب بالماء المقطر. ويكون الراشح جاهزاً لتقدير البورون.

ب. القياس

يفاس البورون كما في طريقة الماء الساخن في التربة.

الحساب

من أجل البورون في النبات:

$$(65) \quad B \text{ (ppm)} = \text{ppm } B \text{ (من المنحنى القياسي)} \times \frac{A}{Wt}$$

حيث أن: A = الحجم الكلي للمستخلص (مل)

Wt = وزن النبات الجاف (غ)

5.7 تقدير العناصر الغذائية الصغرى بطريقة الهضم الرطب

لا يمكن استرداد للعناصر الغذائية الصغرى (Cu, Mn, Fe, Zn) استرداداً كاملاً full recovery بطريقة الترميد الجاف في أنسجة النباتات العالية المحتوى من السيليكا (مثل القمح، الشعير، الرز، وقصب السكر ... إلخ)، لذلك، يمكن اتباع طريقة الهضم الرطب لمثل هذه الأنواع من المواد النباتية مستخدمين $\text{HNO}_3\text{-HClO}_4$. وقد اقتبست طريقة الهضم هذه من Rashid (1986). ويمكن أيضاً تقدير عناصر كثيرة (مثل Na, Mg, Ca, K, P) في نفس المحلول المهضوم.

الأجهزة

- جهاز هضم.
- جهاز رج الأنابيب.
- جهاز التحليل الطيفي بالامتصاص الذري.
- جهاز التحليل الطيفي باللهب.

المحاليل

حمض فوق الكلوريك - حمض الأزوت ($\text{HNO}_3\text{-HClO}_4$)، النسبة 2 : 1،
أضف 500 مل من حمض فوق الكلوريك المركز إلى لتر من حمض الأزوت المركز.

طريقة العمل

أ. الهضم

1. زن 1 غ من المادة النباتية الجافة، ثم انقلها كميّاً إلى أنبوب هضم pyrex سعة 100 مل.
2. أضف 10 مل من المزيج حمض فوق الكلوريك - حمض الأزوت (2 : 1)، دع العينات جانبا طوال الليل حتى ينتهي طور التفاعل القوي في العينة.
3. ضع أقماع صغيرة ذات ساق قصيرة في فتحات الأنابيب لمنع فقد الحمض.
4. بعد إجراء ترتيبات الهضم الأولية، ضع الأنابيب على جهاز الهضم البارد، ومن ثم ارفع درجة الحرارة حتى 150°م لمدة ساعة واحدة.
5. ضع قضبان زجاجية ذات شكل U تحت كل قمع لضبط خروج الأبخرة المتطايرة.

6. ارفع درجة الحرارة تدريجياً حتى تختفي كل أثار حمض الأزوت، ومن ثم ارفع القضبان الزجاجية ذات الشكل U.
7. ارفع درجة الحرارة حتى 235°م.
8. راقب الوقت، فعند ظهور الأبخرة البيضاء لحمض فوق الكلوريك في الأنابيب، استمر بالهضم لمدة 30 دقيقة زيادة.
9. ارفع حامل الأنابيب من جهاز الهضم، دعه يبرد لعدة دقائق، ثم أضف بعناية نقاط قليلة من الماء المقطر من خلال فتحة القمع.
10. بعد تكثيف الأبخرة، أضف الماء المقطر بكميات قليلة لغسل الحواف الداخلية للأنابيب والأقماع.
11. أكمل إلى الحجم بالماء المقطر. أمزج المحلول في كل أنبوب واركهم بدون تحريك مدة من الوقت.
12. يجب أن تحتوي كل مجموعة batch من العينات المهضومة على أنبوب شاهد واحد على الأقل (بدون مادة نباتية).

ب. القياس

قدر العناصر التالية Zn, Fe, Mn, Cu, Ca, Mg بواسطة جهاز التحليل الطيفي بالامتصاص الذري. وقدر Na, K بواسطة جهاز التحليل الطيفي باللهب.

الحساب

من أجل كاتيونات العناصر الغذائية الصغرى في النبات:

$$(66) \quad Zn, Fe, Cu \text{ or } Mn \text{ (ppm)} = (\text{ppm in extract} - \text{blank}) \times \frac{A}{Wt}$$

من أجل كاتيونات العناصر الأرضية القلوية Alkaline Earth Cations في النبات :

$$(67) \quad Ca, Mg, Na \text{ or } K \text{ (ppm)} = (\text{ppm in extract} - \text{blank}) \times \frac{A}{Wt}$$

حيث أن: A = الحجم الكلي للمستخلص (مل)
 Wt = وزن النبات الجاف (غ)

6.7 تقدير الحديدوز في نسج نباتية طازجة

بما أن محتوى الحديد الكلي (Fe) في نسج النبات لا يشير إلى الحالة الغذائية للحديد في النباتات، فقد تم اقتراح تقدير أيون الحديدوز (Fe^{2+}) في النسج الطازجة بواسطة محلول (10-1)-o-فيناثرولين (o-phenathroline) وهي طريقة قدمها العالمان (Katyal and Sharma, 1980). من ثم يقاس محتوى الحديدوز في المستخلصات بالطريقة اللونية أو بجهاز التحليل الطيفي بالامتصاص الذري.

استخلاص أيون الحديدوز بواسطة محلول (10-1)-o-فيناثرولين

الأجهزة

جهاز التحليل الطيفي الضوئي أو اللوني، طول الموجة 510 nm.
جهاز التحليل الطيفي بالامتصاص الذري.

المحاليل

أ. محلول الاستخلاص ($C_{12}H_8N_2$)، 1.5% في HCl محلول مُنظم عند pH 3.0
أضف 15 غ من (10-1)-o-فيناثرولين إلى حوالي 850 مل الماء المقطر. ثم أضف حمض كلور الماء
N 1 تدريجياً مع التحريك المستمر للمحلول حتى تتلاشى أثار (10-1)-o-فيناثرولين. وحينها ستكون
درجة pH النهائية للمحلول حوالي 3.0. أكمل الحجم إلى لتر بالماء المقطر.

ب. محلول الأم القياسي

حضر محاليل قياسية للحديد تحتوي على 0، 1.0، 1.5، 2.0، 2.5، 3.0 ppm Fe^{2+} باستخدام محلول
الاستخلاص.

طريقة العمل

أ. الاستخلاص

1. استخدم بعناية نسج نباتية طازجة مغسولة عند تحليل الحديدوز.
2. زن 2 غ من عينة نباتية طازجة (مفرومة بواسطة مقص فولاذي غير قابل للصدأ scissors stainless) في
دورق معياري أرلينماير سعة 50 مل.

3. أضف 20 مل من محلول الاستخلاص، حرك بلطف للتأكد من أن نسج النبات قد غمرت بشكل كلي بالمحلول.

4. أغلق الدورق باستخدام البارافيلم parafilm، واتركه لمدة 16 ساعة بدرجة حرارة الغرفة.

5. رشح المحتوى بورقة ترشيح Whatman No. 1.

ب. القياس

1. قدر محتوى الحديدوز في الراشح بوساطة الطريقة اللونية عند طول موجة 510 nm أو بجهاز التحليل الطيفي بالامتصاص الذري. ويحسب تركيز الحديدوز في مستخلصات النبات مقارنة مع المحاليل القياسية.

2. عبر عن محتوى الحديدوز في نسج النبات على أساس الوزن الجاف وذلك بعد تحديد محتوى الرطوبة في عينة ثانوية من نسج النبات الطازج.

الحساب

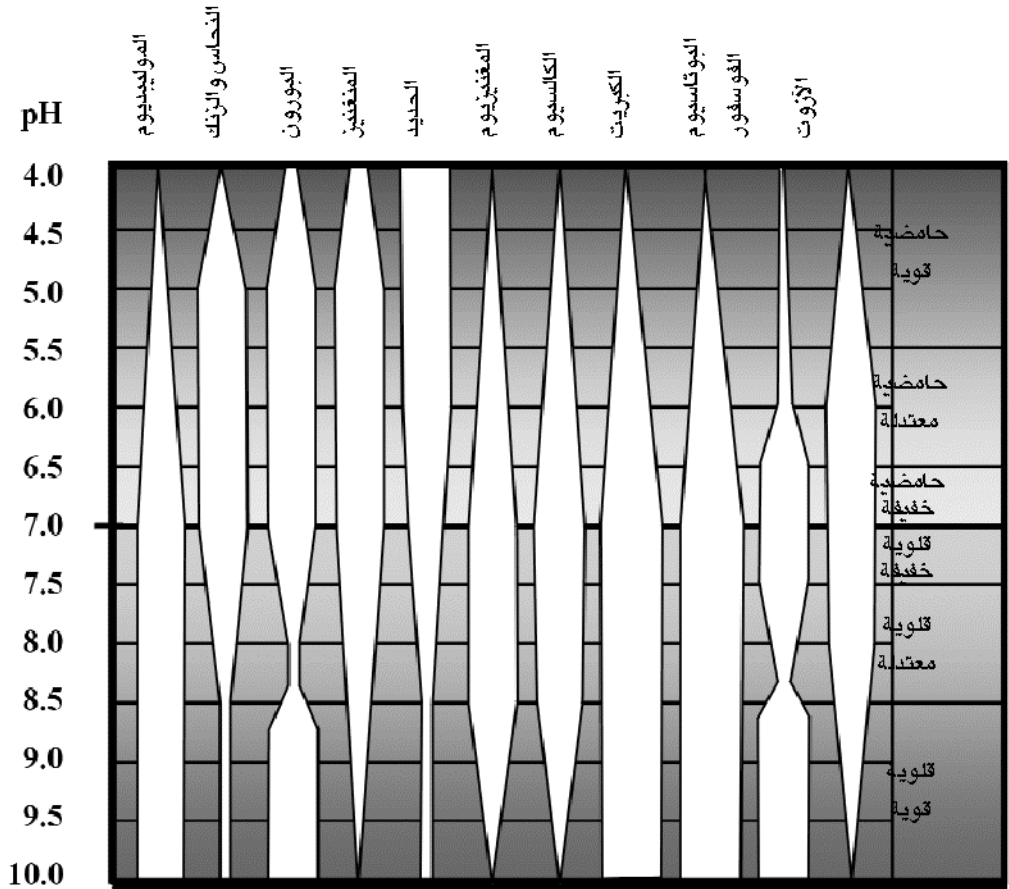
من أجل الحديدوز في النسج النباتية الطازجة :

$$(68) \quad Fe^{++} (ppm) = ppm Fe^{++} \text{ (من المنحنى القياسي)} \times \frac{A}{Wt}$$

حيث أن: A = الحجم الكلي للمستخلص (مل)
 Wt = وزن مادة النبات المجففة بالفرن (غ)

المربع 1

تأثير PH التربة على محتوى العناصر الغذائية في النباتات



المربع 2

تحليل التربة والنبات بواسطة أجهزة مخبرية آلية

مع التقدم الكبير في علوم التكنولوجيا، أضحى بالإمكان الآن إجراء الكثير من تحاليل التربة والنبات بسرعة أكبر باستخدام أجهزة مخبرية آلية automated laboratory equipments، مثل جهاز المحلل الذاتي autoanalyzer وجهاز التحليل الطيفي للروابط الاستقرائية للبلازما inductively coupled plasma (ICP) spectrometer.

يعتبر جهاز المحلل الذاتي نسخة متطورة عن جهاز التحليل الضوئي اللوني colorimeter، حيث تُمكنه تقنيته الآلية من إجراء التقديرات اللونية باستمرار وبسرعة أكبر من جهاز التحليل الطيفي الضوئي spectrophotometer.

تقرأ العينات المحضرة (مستخلصات التربة، نباتات مهضومة، ... إلخ) والمتوضعة على مبدل العينات الآلي automatic sample changer (مثلاً كل مجموعة تحتوي على 50 عينة) من خلال شدة كثافة اللون، بعد إضافة المحاليل الكاشفة ألياً لتطوير اللون. وعموماً يستخدم جهاز المحلل الذاتي لتقدير $\text{NO}_3\text{-N}$ ، P ، $\text{NH}_4\text{-N}$... إلخ) وفي الحقيقة يمكن إجراء أكثر من قياس في نفس الوقت اعتماداً على عدد القنوات الفعالة الموجودة في الجهاز.

يعتبر جهاز ICP ذو تقنية عالية ويُستخدم لقياس عدد من العناصر في مستخلصات التربة والنبات المهضومة ... إلخ في نفس الوقت. حيث يعمل على مبدأ عمل أجهزة الطيف emission spectroscopy ويستطيع قياس 20-40 (أو أكثر) من العناصر في نفس الوقت وبكمية أقل من المستخلص خلال ثوانٍ. ويستخدم عموماً جهاز ICP في مختبرات تحليل التربة والنبات من أجل تقدير العناصر الغذائية الكبرى والصغرى والمعادن الثقيلة ... إلخ.

بالرغم من الفوائد السابقة للأجهزة المخبرية الآلية مقارنة مع التقليدية منها، يوجد العديد من العوائق والمشكلات من قبيل كلفة جهاز ICP الباهظة وحظر استخدامه في كثير من الحالات، لما يتطلبه من طاقة كهربائية ثابتة ونظام تبريد هوائي فعال وثابت؛ وكافة مستلزماته (مثل غاز الأرجون) بالإضافة إلى ارتفاع كلفة إصلاحه وصيانته (كلفة قطع التبديل والفنيين). والحاجة إلى وجود خبراء مؤهلين بما يكفي لتشغيل الجهاز والعناية به.

لذلك، وكشرط وحيد للحصول على مثل هذه الأجهزة المكلفة والمعقدة يجب أن يكون هناك تبرير قوي لذلك. أي أن يمتلك المختبر الإمكانيات الكافية لتغطية نفقات الاستثمار والصيانة وعدم وجود عوائق للإصلاح والصيانة، عندها يمكن الحصول على الأجهزة المخبرية الآلية. أما في حالات نقص الموارد وكثرة المعوقات، قد تكون الأجهزة ذاتها مصدر إزعاج، لذلك على إدارة مختبرات تحليل التربة والنبات في منطقة CWANA أخذ بعين الاعتبار الميزات والمساوي قبل اختيار مثل هذه النماذج من الأجهزة المعقدة.

المربع 3

تحليل التربة والمياه لتحديد تلوث البيئة

تتلوث التربة أو المياه أو كليهما معاً جراء تلوث مجاري المياه الموحلة بالمعادن الثقيلة، والأراضي المزروعة بالأغنام، فضلاً عن استخدام معدلات زائدة من الأسمدة الأوتية، والنشاطات الأخرى. وعلى الرغم من التركيز الرئيسي لمختبرات تحليل التربة والنبات على بقايا الإنتاج الزراعي، تنبعت العديد من مختبرات التحليل في منطقة CWANA إلى خطر التلوث البيئي. وتركز معظم الدراسات البيئية عامة والمتعلقة بالتربة والمياه خاصة على التلوث نتيجة زيادة استخدام النترات، والمعادن الثقيلة، والمركبات العضوية السامة في الواقع ومع تزايد التعقيدات في وسائل البحث والأجهزة، يستطيع أي من المخابر المجهزة معالجة كلا المدلولين البيئي والزراعي. وفيما يلي موجز لبعض دلائل الإجراءات العامة والمتعلقة بتحليل التربة والنبات من أجل تحديد مدى التلوث البيئي.

تحليل التربة من أجل تقدير المعادن الثقيلة

ترجع المخاوف العامة بتلوث التربة إلى المحتويات الزائدة من المعادن الثقيلة مثل الرصاص (Pb)، النيكل (Ni)، الكروميوم (Cr)، الكاديوميوم (Cd)، السيلينيوم (Se) ... إلخ. وبالرغم من أن تحليل التربة عند تقدير المعادن الثقيلة الكلية يعد طريقة مملة، إلا أنه أسهل طرق اختبار التربة التي تعطي دلائل معتمدة لكمية المعادن الثقيلة في التربة ومدى وفرتها في النباتات. ومع ذلك، يجب أن تكون الطرق المستخدمة متناسبة مع نموذج التربة ونوع المعدن المراد تحليلية.

الترب القلوية في منطقة CWANA، مثلاً يعطي اختبار DTPA بطريقة (Lindsay and Norvell 1978) قيم مُمهَرسَة ومعمدة لتقييم المعادن الثقيلة القابلة للإفادة في النبات. وبشكل مماثل، يعد اختبار AB-DTPA بطريقة (Soltanpour and Workman, 1979) فعالاً في غربلة الترب الملوثة بالمعادن الثقيلة. لذلك يجب استخدام المعيار المتوافق مع الطريقة المستخدمة في تفسير معطيات نتائج المختبر.

تحليل المياه من أجل تقدير النترات، القساوة، المعادن الثقيلة

يعتبر تحليل المياه من أبسط طرق العمل في أي مختبر تحليل تربة - نبات من أجل معرفة تركيب المواد الصلبة الذائبة فيه، كما أنه بسيط نظراً لعدم الحاجة لإذابة الأيونات أو المعادن الداخلة فيه أو استخلاصها. وتؤخذ القياسات بشكل مباشر. علاوة على ذلك، تتماثل الإجراءات المستخدمة في قياس العناصر المختلفة مع تلك المتخذة من أجل التربة والنبات. فمثلاً يقاس محتوى الأزوت النتراتي ($\text{NO}_3\text{-N}$) في المياه بالضبط بنفس طريقة مستخلصات التربة (القسم 4.1.6).

ويُعبّر عن قساوة المياه عموماً كميلغرام من كربونات الكالسيوم باللتر، ويمكن أيضاً أن يقاس باتباع طرق خاصة كما هو واضح عند تقدير الكالسيوم الذائب (القسم 5.6) والكربونات الذائبة (القسم 6.6) في التربة. بدون الحاجة إلى أجهزة خاصة أو محاليل إضافية.

لتفسير معطيات التحاليل المخبرية، يمكن استخدام المعيار المتوافق مع الطريقة المناسبة. ويمكن أن نجد بعض المصادر الممكنة للمعلومات والتي تفي بالغرض في (WHO 1996) و (National Research Council 1977) و (Sonneborn et al. 1983) و (Wigle et al. 1986).

المربع 4

تحديد جودة مياه الري

إن تركيز وتركيب الأملاح الذائبة في أي نوع من المياه تحدد نوعية هذا الماء وصلاحيته للري. وتعتبر جودة مياه الري بالغة الأهمية خاصة عند إمكانية تحديد تركيز الأملاح الكلية، أو خطورة الصوديوم، أو خطورة الكربونات والبيكربونات، أو الأيونات السامة (مثل البورون والكلورايد). والتحليل المطلوبة من أجل تقدير جودة مياه الري تتضمن معرفة EC، الكاتيونات والأيونات الذائبة. وتجري أغلب هذه التقديرات بشكل روتيني في مختبرات تحليل التربة والنبات، ويمكن لجميع المختبرات في منطقة CWANA إنجاز التحليل المطلوبة لمعرفة جودة مياه الري. ويُعبر عادة عن EC في مياه الري بالوحدة deciSiemens per meter (dS m^{-1}) عند درجة حرارة 25°م.

الحسابات

$$(69) \quad SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{(Ca^{++} + Mg^{++})/2}}$$

نسبة الصوديوم الممنص

حيث أن: Na^+ ، Ca^{++} ، Mg^{++} تمثل التركيز مقدرة بالمليمكافئ/ليتر لهذه الأيونات في المياه (أو المحلول).

$$(70) \quad RSC = (CO_3^{--} + HCO_3^-) - (Ca^{++} + Mg^{++})$$

كربونات الصوديوم المتبقية

حيث أن: الكاتيونات والأيونات تمثل التراكيز مقدرة بالمليمكافئ/ليتر في المياه (أو المحلول). لذلك، يمكن تقدير جودة مياه الري من خلال تفسير المعطيات مستخدمين الدلائل التالية:

النوعية	EC (dS/m)	نسبة الصوديوم الممنص SAR	كربونات الصوديوم المتبقية RSC مليمكافئ/ليتر
صالحة للري	1.5 >	7.5 >	2.0 >
متوسطة	2.7-1.5	15-7.5	4.0-2.0
غير صالحة للري	2.7 <	15 <	4.0 <

المصدر: (Muhammed, 1996)

يعتبر تركيز البورون أمناً في مياه الري حتى 0.7 ppm، بينما يُعد تركيز الصوديوم والكلورايد أمناً في مياه الري حتى أقل من 70 و 140 ppm، على التوالي (Muhammed, 1996).

8 المراجع باللغة الإنكليزية

- Anderson, J. M., and J.S.I. Ingram. 1993. p. 68-71. In *Tropical soil biology and fertility: A handbook of methods*. CAB International, Wallingford, U.K.
- Ayers, R.S., and D. W. Westcot. 1985. Water quality for agriculture. FAO Irrigation Drainage Paper 29: Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome , Italy
- Berger, K. C, and E. Truog. 1939. Boron determination in soils and plants. *Ind. Eng. Anal. Ed.* 11: 540 - 545.
- Bell, R. W. 1997. Diagnosis and prediction of boron deficiency for plant production. *Plant Soil* 193: 149 - 168.
- Bingham, F. T. 1982. Boron, p. 431 - 448. In A. L. Page (ed.), *Methods of soil analysis*, Part 2: *Chemical and mineralogical properties*. Amer. Soc. Agron., Madison, WI, USA.
- Bohn, H. L., B. L. McNeal, and G. A. O'Connor. 1985. Soil chemistry, 2nd ed. John Wiley and Sons, New York.
- Bouyoucos, G. J. 1962. Hydrometer method improved for making particle-size analysis of soils. *Agron. J.* 53: 464 - 465.
- Brady, N. C., and R. R. Weil. 1999. The nature and properties of soils, 12th ed. Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, USA.
- Bremner, J. M., and D. R. Keeney. 1965. Steam distillation methods for determination of ammonium, nitrate, and nitrite. *Anal. Chem. Acta.* 32: 215 - 163.
- Bremner, J. M., and C. S. Mulvaney. 1982. Nitrogen total. p. 595 - 624. In A. L. Page (ed.), *Methods of soil analysis*. Agron. No. 9, Part 2: *Chemical and microbiological properties*, 2nd ed., Am. Soc. Agron., Madison, WI, USA.
- Brookes, P. C., A. Landman, G. Pruden, and D. S. Jenkinson. 1985. Chloroform fumigation and release of soil nitrogen; a rapid extraction method to measure microbial biomass nitrogen in soil. *Soil Biol. and Biochem.* 17: 837 - 842.
- Brown, J. R. (ed.). 1987. Soils testing: sampling, correlation, calibration, and interpretation. *Soil Sci. Soc. Amer. Spec. Publ. 21. Soil Sci. Soc. Am.* Madison, WI, USA.
- Buresh, R. J., E. R. Austin, and E. T. Craswell. 1982. Analytical methods in N-15 research. *Fert. Res.* 3: 37 - 62.
- California Fertilizer Association, Soil Improvement Committee, 1980. Western Fertilizer Handbook. 6th (ed.), Interstate Printers and Publishers. Danville IL, USA.
- Chapman, H. D., and P. F. Pratt. 1961. *Methods of analysis for soils, plants and water*. Univ. California, Berkeley, CA, USA.
- Day, P. R. 1965. Particle fractionation and particle size analysis. p. 546 - 566. In C. A. Black (ed.), *Methods of soil analysis*, Agron. No. 9, Part I: *Physical and mineralogical properties*. Am. Soc. Agron., Madison, WI, USA.

- Drouineau, G. 1942. Dosage rapid du calcire actif du sol. Nouvelles donnies sur la reportation de la nature des fractions calcaires. *Ann. Agron.* 12: 411 - 450.
- FAO. 1970. Physical and chemical methods of soil and water analysis. *Soils Bull. No. 10*. Food and Agriculture Organization, Rome, Italy.
- FAO. 1974. The Euphrates Pilot Irrigation Project. *Methods of soil analysis*, Gadeb Soil Laboratory (A laboratory manual). Food and Agriculture Organization, Rome, Italy.
- FAO. 1980. Soil testing and plant analysis. *Bull. No. 38/1*, Food and Agriculture Organization, Rome, Italy.
- FAO. 1990. Management of gypsiferous soils. *Soils Bull. No. 62*, Food and Agriculture Organization, Rome, Italy.
- Gaines, T. P., and G. A. Mitchell. 1979. Boron determination in plant tissue by the azomethine-H method. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 10: 1099 - 1108.
- Hach Company. 1992. *Soil and irrigation water interpretation manual*. Hach, USA.
- Hadjidemetriou, D. G. 1982. Comparative study of the determination of nitrates in calcareous soils by the ion-selective electrode, chromotropic acid, and phenodisulphonic acid methods. *Analyst* 107: 25 - 29.
- Hesse, P. R. 1971. *A Textbook of Soil Chemical Analysis*. John Murray, London.
- Jones, Jr., J. B., B. Wolf, and H. A. Mills. 1991. *Plant analysis handbook*. Micro-Macro Publishing, Inc., Athens, GA, USA.
- Jones, Jr., J. B. 1991. *Kjeldahl method for nitrogen determination*. Micro-Macro Publishing Inc., Athens, GA, USA.
- Johnson, G. V., and P. E. Fixen. 1990. Testing soils for sulfur, boron, molybdenum, and chlorine. p. 265 - 273 In R. L. Westerman (ed.), *Soil testing and plant analysis*, 3rd ed., Soil Sci. Soc. Am. Madison. WI, USA.
- Kalra, Y. P., and D. G. Maynard. 1991. *Methods manual for forest soil and plant analysis*. Forestry Canada, Northwest Region, Edmonton, Alberta, Canada. Inf. Rep. NOR-X-319.
- Kamphake, L. J., S. A. Hannah, and J. M. Cohen. 1967. Automated analysis for nitrate by hydrazine reduction. *Water Research* 1: 205 - 216.
- Katyal, J. C., and B. D. Sharma. 1980. A new technique of plant analysis to resolve iron chlorosis. *Plant Soil* 55: 105 - 119.
- Kausar, M. A., M. Tahir, and A. Hamid. 1990. Comparison of three methods for the estimation of soil available boron for maize. *Pakistan J. Sci. Ind. Res.* 33: 221 - 224.
- Keeney, D. R., and D. W. Nelson. 1982. Nitrogen-inorganic forms. p. 643 - 698. In A. L. Page (ed.), *Methods of soil analysis*. Agron. 9, Part 2: *Chemical and microbiological properties*, 2nd ed., Am. Soc. Agron., Madison, WI, USA.
- Keren, R., and F. T. Bingham. 1985. Boron in water, soils, and plants. *Adv. Soil sci.* 1: 229 - 276.
- Klute, A. (ed.). 1986. *Methods of soil analysis*, Agron. 9, Part 1: Physical and mineralogical methods. Am. Soc. Agron., Madison, WI, USA.
- Lindsay, W. L., and W. A. Norvell. 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron,

- manganese, and copper. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 42: 421 - 428.
- Ludwick, A. E. (ed.). 1995. Western Fertilizer Handbook, 8th ed. Soil Improvement Committee, California Fertilizer Association. Interstate Publ., Danville, IL, USA.
- Martens, D. C, and W. L. Lindsay. 1990. Testing soils for copper, iron, manganese, and zinc. p. 229 - 264. In R. L. Westerman (ed.), *Soil testing and plant analysis*, 3rd ed., Soil Sci. Soc. Am., Madison, WI, USA.
- Matar, A., P. N. Soltanpour, and A. Chouinard (ed.). 1988. Soil Test Calibration in West Asia and North Africa. Proc. Second Regional Workshop. Ankara, Turkey, Sept 1 - 7, 1987. ICARDA, Aleppo, Syria.
- McGill, D, and Figueiredo. 1993. Total Nitrogen, p. 201 - 211. In M. R. Carter (ed.), *Soil sampling and methods of analysis*. Lewis Publ., Boca Raton, FL, USA.
- McKeague, J. A. (ed.). 1978. Manual on soil sampling and methods of analysis. Canadian Society of Soil Science: 66 - 68.
- McLean, E. O. 1982. Soil pH and lime requirement. p. 199 - 224, In A. L. Page (ed.), *Methods of soil analysis, Part 2: chemical and microbiological properties*. Am. Soc. Agron., Madison, WI, USA.
- Miller, R. W., and R. L. Donahue. 1992. Soils: An introduction to soils and plant-growth. 6th ed. Prentice Hall of India, New Delhi.
- Muhammed, S. 1996. Soil salinity, sodicity, and water logging. p. 472 - 506. In A. Rashid and K. S. Memon (Managing Authors). *Soil Science*. National Book Foundation, Islamabad, Pakistan.
- Munson, R. D, and W. L. Nelson. 1990. Principles and practices in plant analysis. p. 223 - 248. In R. L. Westerman (ed.), *Soil testing and plant analysis*, 3rd ed. Soil Sci. Soc. Am., Madison, WI, USA.
- Murphy, J., and J. P. Riley. 1962. A modified single solution method for determination of phosphate in natural water. *Analytic Chimica Acta.* 27: 31 - 36.
- National Research Council. 1977. Drinking water and health. National Academy of Sciences, Washington, DC, USA.
- Okalebo, J. R., K. W. Gathua, and P. L. Woome. 1993. Laboratory methods of soil and plant analysis: A working manual. *Soil Sci. Soc. East Africa. Tech. Publ. No. 1*. Marvel EPZ, Nairobi, Kenya.
- Olsen, S. R., C. V. Cole, F. S. Watanabe, and L. A. Dean. 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. *U.S. Dep. Agric. Circ.* 939, USA.
- Olsen, S. R., and L. E. Sommers. 1982. Phosphorus. p. 403 - 430. In A. L. Page (ed.), *Methods of soil analysis, Agron. No. 9, Part 2: Chemical and microbiological properties*, 2nd ed., Am. Soc. Agron., Madison, WI, USA.
- Page, A. L. (ed.). 1982. *Methods of soil analysis, Agron. 9, Part 2: Chemical and mineralogical properties*, 2nd ed., Am. Soc. Agron., Madison, WI, USA.
- Ponnampuruma, F. N., M. T. Caytan, and R. S. Lantin. 1981. Dilute hydrochloric acid as an

- extractant for available zinc, copper, and boron in rice soils. *Plant Soil*. 61: 297 - 310.
- Quick, J. 1984. *California soil testing procedures*. Cooperative Extension, Univ. California, Davis, CA, USA.
- Rashid, A. 1986. Mapping zinc fertility of soils using indicator plants and soils analyses. *PhD Dissertation*, University of Hawaii, HI, USA.
- Rashid, A., E. Rafique, and N. Bughio. 1994. Diagnosing boron deficiency in rapessed and mustard by plant analysis and soil testing. *Commun. Soil sci. Plant Anal.* 25: 2883 - 2897
- Rashid, A., E. Rafique, and N. Bughio. 1997. Micronutrient deficiencies in calcareous soils of Pakistan. III. Boron nutrition of sorghum. *Commun. Soil sci. Plant Anal.* 28: 441 - 454.
- Reisenauer, H. M. (ed.) 1983. *Soil and plant tissue testing in California*. Davis, CA, USA.
- Reuter, D. J., and J. B. Robinson (ed.). 1986. *Plant analysis: An interpretation manual*. Inkata Press, Melbourne, Australia.
- Reuter, D. J., and J. B. Robinson (ed.). 1997. *Plant analysis: An interpretation manual*, 2nd ed. CSIRO Publ., Australia.
- Rhoades, J. D. 1982. Cation exchange capacity. p. 149 - 157. In A. L. Page (ed.), *Methods of soil analysis*, Agron. No. 9, Part 2: *Chemical and mineralogical properties*. Am. Soc. Agron., Madison, WI, USA.
- Rhoades, J. D., and Polemio, M. 1977. Determining cation exchange capacity: A new procedure for calcareous and gypsiferous soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 41: 524 - 300.
- Richards, L. A. 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. *USDA Agric. Handbook* 60. Washington, D. C.
- Ryan, J. 2000. Soil and plant analysis in the Mediterranean region: Limitations and potential. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 31(11 - 14): 2147 - 2154.
- Ryan, J., and A. Matar. 1990. Soil test calibration workshop in West Asia - North Africa. Proc. 3rd regional workshop. Amman, Jordan, Sept. 3 - 9, 1988. ICARDA, Aleppo, Syria.
- Ryan, J., and A. Matar. 1992. Fertilizer use efficiency under rain-fed agriculture in West Asia and North Africa. *Proc. 4th regional soil test calibration workshop in West Asia - North Africa region*. Agadir, Morocco, 5 - 10, 1991. ICARDA, Aleppo, Syria.
- Ryan, J., and S. Garabet. 1994. Soil test standardization in West Asia - North Africa region. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 25 (9&10): 1641 - 1653.
- Ryan, J, S. Garabet, A. Rashid, and M. El-Gharous. 1999. Assessment of soil and plant analysis laboratories in the West Asia - North Africa region. *Commun. Soil Sci. Plant Analysis.* 30:885 - 894.
- Sayegh, A. H., N. A. Khan, P. Khan, and J. Ryan. 1978. Factors affecting gypsum and cation exchange capacity determinations in gypsiferous soils. *Soil Sci.* 125: 294 - 300.
- Schollenberger, C.J., and R.H.Simon. 1945. Determination of exchange capacity and exchangeable in soil-ammonium acetate method. *Soil Sci.*59:13-24.

- Sims, J. R., and G. D. Jackson. 1971. Rapid analysis of soil nitrate with chromotropic acid. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 35: 603 - 606.
- Soil and Plant Analysis Council. 1992. *Handbook on reference methods for soil analysis*, Athens, GA, USA.
- Soltanpour, P. N., and A. P. Schwab (ed.). 1977. A new soil test for simultaneous extraction of macro -and micro- nutrients in alkaline soils. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 8: 195 - 207.
- Soltanpour, P. N., and S. Workman. 1979. Modification of the NaHCO₃ DTPA soil test to omit carbon black. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 10: 1411 - 1420.
- Soltanpour, P. N. 1985. Use of ammonium bicarbonate-DTPA soil test to evaluate elemental availability and toxicity. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 16: 323 - 338.
- Soltanpour, P. N. (ed.). 1987. *First West Asia - North Africa Soil Test Calibration Workshop Proc.*, June 23 - 25, 1986. ICARDA, Aleppo, Syria.
- Sonneborn, M. 1983. Health effects of inorganic drinking water constituents, including hardness, iodide, and fluoride. *CRC Critical Reviews on Environmental Control* 13: 1 - 22.
- Tandon, H. L. S. 1991. *Sulphur research and agricultural production in India*. 3rd ed., The Sulphur Institute, Washington, D.C.USA.
- Tandon, H. L. S. (ed.). 1993. *Methods of analysis of soils, plants, waters and fertilizers*. Fertilizer Development and Consultation Organization, New Delhi, India.
- Tekalign, T., I. Haque, and E. A. Aduayi. 1991. *Soil, plant, water, fertilizer, animal manure, and compost analysis manual*. Plant Science Division Working Document 13. ILCA, Addis Ababa., Ethiopia.
- Van Schouwenberg, J. CH., and I. Walinge. 1973. *Methods of analysis for plant material*. Agric. Univ., Wageningen, The Netherlands.
- Vance, E. D., Brooks, P. C., and Jenkinson, D. S. 1987. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. *Soil Biol. and Biochem.* 19: 703 - 707.
- Verma, B.C. 1977. An improved turbidimetric procedure for the determination of sulphate in plants and soils. *Talanta* 24: 49 - 50.
- Walkley, A. 1947. A critical examination of a rapid method for determining organic carbon in soils: Effect of variations in digestion conditions and of organic soil constituents. *Soil Sci.* 63: 251 - 263.
- Walsh, L. M., and J. D. Beaton. 1973. Soil testing and plant analysis. *Soil Sci. Soc. Am.*, Madison, WI, USA.
- Watanabe, F. S., and S. R. Olsen. 1965. Test of an ascorbic acid method for determining phosphorus in water and NaHCO₃ extracts from soil. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 29: 677 - 678.
- Westerman, R. L. (ed.) 1990. Soil testing and plant analysis. 3rd ed. *Soil Sci. Soc. Am.* Madison, WI, USA.

- WHO. 1996. Guidelines for drinking water quality, 2nd ed. Vol. 2. Health criteria and other supporting information. World Health Organization, Geneva, Switzerland.
- Wigle, D. T. 1986. Contaminants in drinking water and cancer in Canadian cities. *Canadian J. Public Health* 77: 335 - 342.
- Williams, C. H., and A. Steinbergs. 1959. Soil sulphur fractions as chemical indices of available sulphur in some Australian soils. *Aust. J. Agric. Res.* 10: 340 - 352.

9. المراجع باللغة الإنكليزية للمطالعة

- Anonymous. 1992. Handbook on reference methods for soil analysis. Soil and Plant Analysis Council, Athens, Georgia, USA.
- Black, C. A. 1993. Soil fertility evaluation and control. Lewis Publishers, Boca Raton, Florida, USA.
- Boutton, T. W., and S. Yamasaki. (ed.). 1996. Mass spectrometry of soils. Marcel Dekker, New York, USA.
- Brady, N. C., and R. R. Weil. 1999. The nature and properties of soils, 12th ed. Prentice Hall, New Jersey, USA.
- Bergman, W. (ed.). 1992. Nutrient disorders of plant development: Visual and analytical diagnosis. Gustav Fischer, Jena, Stuttgart, New York, USA.
- Carter, M. R. (ed.). 1993. Soil sampling and methods of analysis. Lewis Publishers, Boca Raton, Florida, USA.
- Council on Soil Testing and Plant Analysis. 1999. Soil and plant analysis laboratory registry for the United States and Canada, 2nd ed. Council on Soil Testing and Plant Analysis, Athens, Georgia, USA.
- Elliott L. F., and F. J. Stevenson (ed.). 1977. Soils for management of organic wastes and wastewaters. Soil Sci. Soc. Amer., Madison, Wisconsin, USA.
- Foth, H. D., and B. G. Ellis. 1997. Soil fertility, 2nd ed. Lewis Publishers, Boca Raton, Florida, USA.
- Glendinning, J. S. (ed.). 1999. Australian soil fertility manual. CSIRO Publishing, Collingswood, Victoria, Australia
- Havlin, J., and J. S. Jacobsen (ed.). 1994. Soil testing: Prospects for improving nutrient recommendations. Soil Sci. Soc. Amer., Madison, Wisconsin, USA.
- Kalra, J. P. (ed.). 1998. Handbook of reference methods for plant analysis. Soil and Plant Analysis Council, Athens, GA, USA.
- Mortvedt, J. J., F. R. Cox, L. M. Shuman, and R.M. Welch (ed.). 1991. Micronutrients in agriculture, 2nd ed. Soil Sci. Soc. Amer., Madison, Wisconsin, USA.
- Mortvedt, J. J., P. M. Giordano, and W. L. Lindsay. 1972. Micronutrients in agriculture. Soil Sci. Soc. Amer., Madison, Wisconsin, USA.
- Peck, T. R. (ed.). 1977. Soil testing: Correlating and interpreting the analytical results. Amer. Soc. Agrono., Madison, Wisconsin, USA.
- Smith, K. A. (ed.). 1996. Soil analysis: Modern instrumental techniques, 2nd ed. Marcel Dekker, New York, USA.
- Smith, K. A., and C. E. Mullins (ed.). 1996. Soil analysis: Physical methods. Marcel Dekker, New York, USA.
- Sparks, D. L. (ed.). 1996. Methods of soil analysis: Part 3 - Chemical methods. Soil Sci. Soc. Amer., Madison, Wisconsin, USA.

- Sumner, E. M. (ed). 1999. Handbook of soil science. CRC Press, Boca Raton, Florida, USA.
- Peeverill, K. I., L. A. Sparrow, and D. J. Reuter (ed.). 1999. Soil analysis: An interpretation manual. CSIRO Publishing, Collingswood, Victoria, Australia.
- Weaver, R. W. (ed.). 1994. Methods of soil analysis: Part 2 - Microbiological and biological properties. Soil Sci. Soc. Amer., Madison, Wisconsin, USA.

الملحق 1. الاختصارات

الوزن		الطول	
g	غرام	m	متر
mg	مليغرام	cm	سنتيمتر
µg	ميكروغرام	mm	ملليمتر
التركيز		تركيز الأملاح	
mg/L	مليغرام من المُذاب في اللتر	dS	ديسيسيمنس
meq/L	مليمكافى من المُذاب في اللتر	mS	مليسيمنس
		µS	ميكروسيمنس
		$mS\ cm^{-1} = dS\ m^{-1} = Sm^{-1} \times 10$	
		$mS\ cm^{-1} \times 0.1 = Sm^{-1}$	
الحجم		المساحة	
L	لتر	ha	هكتار
mL	مليلتر	da	ديكار
		du	دونومس
		A	فدان
درجة الحرارة		متنوعات	
°C	درجة مئوية °م	OM	المادة العضوية
		sp.gr	الكثافة النوعية
		pHs	درجة pHs في العجينة المشبعة
		ESP	النسبة المئوية للصدويوم المتبادل
		nm	نانومتر (وحدة طول)
AAS	التحليل الطيفي بالامتصاص الذري		
CEC	السعة التبادلية للكاتيونات		
SAR	نسبة الصوديوم المدمص		
Ece	الناقلية الكهربائية في مستخلص العجينة المشبعة		

الملحق 2، عوامل تحويل وحدات النظام الدولي SI ووحدات النظام Non-SI

لتحويل وحدات العمود 1 إلى وحدات العمود 2 اضرب بـ:	العمود 1 وحدات SI	العمود 2 وحدات non-SI	لتحويل وحدات العمود 2 إلى وحدات العمود 1 اضرب بـ:
الطول			
1.609	mi, ميل,	(10 ³ m) km, كيلومتر,	0.621
0.914	yd, ياردة,	m, متر,	1.094
0.304	ft, قدم,	m, متر,	3.28
1.0	micron, ميكرون,	(10 ⁻⁶ m) μm, ميكرون,	1.0
25.4	in, بوصة,	(10 ⁻³ m) mm, ملليمتر,	3.94 × 10 ⁻²
0.1	Å, أنغستروم,	(10 ⁻⁹ m) nm, نانومتر,	10
المساحة			
0.405	Acre, فدان,	ha, هكتار,	2.47
4.05 × 10 ⁻³	Acre, فدان,	(10 ³ m) ² km ² , كيلومتر مربع,	247
2.590	mi ² , ميل مربع,	(10 ³ m) ² km ² , كيلومتر مربع,	0.386
4.05 × 10 ³	Acre, فدان,	m ² , متر مربع,	2.47 × 10 ⁻⁴
9.29 × 10 ⁻²	ft ² , قدم مربعة,	m ² , متر مربع,	10.76
645	in ² , بوصة مربعة,	(10 ⁻³ m ²) mm ² , ملليمتر مربع,	1.55 × 10 ⁻³
الحجم			
102.8	Acre-inch, فدان-بوصة,	m ³ , متر مكعب,	9.73 × 10 ⁻³
2.83 × 10 ⁻²	ft ³ , قدم مكعب,	m ³ , متر مكعب,	35.3
1.64 × 10 ⁻⁵	in ³ , بوصة مكعبة,	m ³ , متر مكعب,	6.10 × 10 ⁴
28.3	ft ³ , قدم مكعب,	(10 ⁻³ m ³) L, لتر,	3.53 × 10 ⁻²
3.78	gallon, غالون,	(10 ⁻³ m ³) L, لتر,	0.265
2.96 × 10 ⁻²	oz, أونصة (سائل),	(10 ⁻³ m ³) L, لتر,	33.78
0.473	pt, البايبت (سائل),	(10 ⁻³ m ³) L, لتر,	2.11
الكتلة			
454	lb, رطل,	(10 ⁻³ kg) g, غرام,	2.20 × 10 ³
28.4	oz (avdp), أونصة,	(10 ⁻³ kg) g, غرام,	3.52 × 10 ⁻²
0.454	lb, رطل,	kg, كيلوغرام,	2.205
100	q (مصري), كنتال (مصري),	kg, كيلوغرام,	0.01
907	ton, (2000 lb), طن,	kg, كيلوغرام,	1.10 × 10 ⁻³
0.907	ton, (U.S.), طن,	(tonne), Mg, ميغagram,	1.102
0.907	ton, (U.S.), طن,	(tonne), t, طن,	1.102

الغلة و المعدل			
1.12	رطل بالفدان، lb acre ⁻¹	كيلوغرام بالهكتار، Kg ha ⁻¹	0.893
9.35	غالون بالفدان، gallon acre ⁻¹	ليتر بالهكتار، L ha ⁻¹	0.107
1.12 × 10 ⁻³	رطل بالفدان، lb acre ⁻¹	طن بالهكتار، t ha ⁻¹	893
1.12 × 10 ⁻³	رطل بالفدان، lb acre ⁻¹	ميغagram بالهكتار، Mg ha ⁻¹	893
2.24	طن (2000 lb) بالفدان، ton acre ⁻¹	ميغagram بالهكتار، Mg ha ⁻¹	0.446
الضغط			
0.101	الجوي	ميغا باسكال، (10 ⁶ Pa) M Pa	9.90
0.1	بار، bar	ميغا باسكال، (10 ⁶ Pa) M Pa	10
1.00	غرام بالسنتيمتر المكعب، g cm ⁻³	ميغagram بالمتر المكعب، Mg cm ³	1.00
47.9	رطل بالقدم المكعب، lb ft ⁻²	باسكال، Pa	2.09 × 10 ⁻²
6.90 × 10 ³	رطل بالبوصة المكعبة، lb in ⁻²	باسكال، Pa	1.45 × 10 ⁻⁴
درجة الحرارة			
1.00(°C + 273)	مئوية، °C	كلفن، K	(K-273) 1.00
5/9(°F - 32)	فهرنهايت، °F	مئوية، °C	(9/5)°C + 32
الناقية الكهربائية EC، الكهرباء، المجال المغناطيسي			
0.1	مليمون/سنتيمتر، mmho cm ⁻¹	سيمنس لكل ليتر، S m ⁻¹	10
10 ⁻⁴	غاوس، G	تسلا، T	10 ⁴
وحدات قياس الماء			
102.8	فدان-بوصات، acre-in	متر مكعب، m ³	9.73 × 10 ⁻³
101.9	قدم مكعبة/ثانية، ft ³ s ⁻¹	متر مكعب/الساعة، m ³ h ⁻¹	9.81 × 10 ⁻³
0.227	غالونات U.S./بالدقيقة، gal min ⁻¹	متر مكعب/الساعة، m ³ h ⁻¹	4.40
0.123	فدان-قدم، acre-ft	هكتار-متر، ha-m	8.11
1.03 × 10 ⁻²	فدان-قدم، acre-ft	هكتار-متر، ha-m	97.28
12.33	فدان-قدم، acre-ft	هكتار-سنتيمتر، ha-cm	8.1 × 10 ⁻²
التركيز			
1	مليمكافئ لكل 100 غرام، meq 100g ⁻¹	سينتيمول لكل كيلوغرام، cmol kg ⁻¹	1
10	النسبة المئوية، %	غرام/كيلوغرام، g kg ⁻¹	0.1
1	جزء بالمليون، ppm	مليغرام/كيلوغرام، mg kg ⁻¹	1
تحويل العناصر المغذية في النبات			
0.437	أكسيد الفوسفور، P ₂ O ₅	الفوسفور، P	2.29
0.830	أكسيد البوتاسيوم، K ₂ O	البوتاسيوم، K	1.20
0.715	أكسيد الكالسيوم، CaO	الكالسيوم، Ca	1.39
0.602	أكسيد المغنيزيوم، MgO	المغنيزيوم، Mg	1.66

الملحق 3. الرمز، الرقم الذري، الوزن الذري للعناصر الكيميائية

العنصر	الرمز	الرقم الذري	الوزن الذري	العنصر	الرمز	الرقم الذري	الوزن الذري
أكتينيوم Actinium	Ac	89	227	جرمانيوم Germanium	Ge	32	72.59
الألمنيوم Aluminium	Al	13	26.9815	ذهب Gold	Au	79	196.967
أمريكيوم Americium	Am	95	234	هافنيوم Hafnium	Hf	72	178.49
أنتيمون Antimony	Sb	51	121.75	هيليوم Helium	He	2	4.0026
أرغون Argon	Ar	18	39.948	هولميوم Holmium	Ho	67	164.93
زرنيخ Aresnic	As	33	74.9216	هيدروجين Hydrogen	H	1	1.0079
أستاتين Asatine	At	85	210	إنديوم Indium	In	49	114.82
باريوم Barium	Ba	56	137.34	يود iodine	I	53	126.904
بركليوم Berkelium	Bk	97	249	أيريديوم Iridium	Ir	77	192.2
بيريليوم Beryllium	Be	4	9.0122	حديد Iron	Fe	26	55.847
بزموت Bismuth	Bi	83	208.98	كريبتون Krypton	Kr	36	83.8
بورون Boron	B	5	10.81	لانثانوم Lanthanum	La	57	138.91
بروم Bromine	Br	35	79.909	لورنسيوم Lawrencium	Lr	103	257
كادميوم Cadmium	Cd	48	112.4	الرصاص Lead	Pb	82	207.19
كالسيوم Calcium	Ca	20	40.08	ليثيوم Lithium	Li	3	6.94
كاليفورنيوم Californium	Cf	98	251	لوتسيوم Lutetium	Lu	71	174.97
كربون Carbon	C	6	12.011	مغنزيوم Magnesium	Mg	12	24.312
سيريوم Cerium	Ce	58	140.12	منغنيز Manganese	Mn	25	54.938
سيزيوم Cesium	Cs	55	132.905	مندليفيموم Mendeleevium	Md	101	258
كلور Chlorine	Cl	17	35.453	زئبق Mercury	Hg	80	200.59
كروم Chromium	Cr	24	51.996	موليبدينوم Molybdenum	Mo	42	95.94
كوبالت Cobalt	Co	27	58.9332	نيوديميوم Neodymium	Nd	60	144.24
النحاس Copper	Cu	29	63.54	نيون Neon	Ne	10	20.183
كوريوم Curium	Cm	96	247	نبتونيوم Neptunium	Np	93	237
ديسبروسيوم Dysprosium	Dy	66	162.5	نيكل Nickel	Ni	28	58.71
أينشتاينيوم Einsteinium	Es	99	254	نيوبيوم Niobium	Nb	41	92.906
أربيوم Erbium	Er	68	167.26	الأزوت Nitrogen	N	7	14.0067
يوروبيوم Europium	Eu	63	151.96	نوبليوم Nobelium	No	102	254
فرميوم Fermium	Fm	100	25	أوسميوم Osmium	Os	76	190.2
فلور Fluorine	F	9	18.9984	أكسجين Oxygen	O	8	15.9994
فرنسيوم Francium	Fr	87	233	بلاديوم Palladium	Pd	46	106.4
جادالينيوم Gadolinium	Gd	64	157.25	فوسفور Phosphorus	P	15	30.9738
غاليوم Gallium	Ga	31	69.72	بلاتين Platinum	Pt	78	195.09

العنصر	الرمز	الرقم الذري	الوزن الذري	العنصر	الرمز	الرقم الذري	الوزن الذري
بلوتونيوم	Pu	94	239	كبريت	S	16	32.064
بولونيوم	Po	84	209	تنتالوم	Ta	73	180.948
بوتاسيوم	K	19	39.098	تكنيتيوم	Tc	43	99
براسيوميوم	Pr	59	140.907	تلوريوم	Te	52	127.6
بروميثيوم	Pm	61	145	تربيوم	Tb	65	158.925
بروتكتينيوم	Pa	91	231	ثاليوم	Tl	81	204.37
راديوم	Ra	88	226	ثوريوم	Th	90	232.028
رادون	Rn	86	222	ثوليوم	Tm	69	168.934
رينيوم	Re	75	186.2	قصدير	Sn	50	118.69
روديوم	Rh	45	102.905	تيتانيوم	Ti	22	47.9
روبيديوم	Rb	37	85.47	تنغستن	W	74	183.85
روثينيوم	Ru	44	101.07	يورانيوم	U	92	238.03
ساماريوم	Sm	62	150.35	فاناديوم	V	23	50.9412
سكانديوم	Sc	21	44.956	زينون	Xe	54	131.3
سليينيوم	Se	34	78.96	ايتربيوم	Yb	70	173.04
سليكون	Si	14	28.086	اتريوم	Y	39	88.906
فضة	Ag	47	107.87	زنك	Zn	30	65.37
صوديوم	Na	11	22.9898	زيركونيوم	Zr	40	91.22
أسترونتيوم	Sr	38	87.62				

المصدر: Tekalign et al. (1991)

الملحق 4. تراكيز المحاليل

اسم النظام	الاختصار	التعريف
مولر ، Molar	M	الوزن الجزيئي-غرام (مول من المُذاب) في واحد ليتر من المحلول
مولال ، Molal	M	الوزن الجزيئي-غرام (مول من المُذاب) في واحد كيلو غرام من المحلول
شكلي ، Formal	F	الوزن الغرامي لصيغة المُذاب في واحد ليتر من المحلول
طبيعي ، Normal	N	الوزن المكافئ-الغرامي من المُذاب في واحد ليتر من المحلول
النسبة المئوية للوزن في الحجم Weight per volume percent	w/v, %	عدد غرامات المُذاب \times 100 في حجم المُذيب (مل)
النسبة المئوية للحجم Volume percent	Vol % or v/v %	حجم المُذاب \times 100 في حجم المحلول (مل)
النسبة المئوية للوزن Weight percent	wt % or w/w %	وزن المُذاب \times 100 في وزن المحلول (مل)
جزء بالمليون Parts per million	ppm	مليغرام من المُذاب أو مليغرام في اللتر (كيلوغرام) من المحلول
جزء بالمليار Parts per billion	ppb	ميكروغرام من المُذاب أو ميكروغرام في اللتر (كيلوغرام) من المحلول

المصدر: Tekalign et al. (1991)

الملحق 5. بعض العلاقات المهمة.

جزء بالمليون = ميكروغرام/غرام (صلب/سائل) 1 غرام = 1000 ملليغرام = 1000000 ميكروغرام
ppm = $\mu\text{g/g}$ (solid per liquid)
 $1\text{g} = 1000\text{mg} = 1,000,000\ \mu\text{g}$

جزء بالمليون = ميكروليتر/ليتر (صلب/سائل) 1 ميكروغرام = 0.001 ملليغرام = 0.0000001 غرام
ppm = $\mu\text{L/L}$ (solid per liquid)
 $1\ \mu\text{g} = 0.001\text{mg} = 0.0000001\text{g}$

جزء بالمليون $\times 2 = 1$ رطل بالفدان
ppm $\times 2 = 1$ lbs/A
1 ليتر = 1000 مل
1 L = 1000 mL

جزء بالمليون $\times 10^{-4} = \%$
ppm $\times 10^{-4} = \%$
1 مل = 0.001 ليتر
1 mL = 0.001 L

جزء بالمليون = ميكروغرام/مل (صلب/سائل) 1 غرام/100 مل = 1%
ppm = $\mu\text{g/mL}$ (solid per liquid) %1 = 1 gm/100 ml

جزء بالمليون = ميلليغرام/ليتر (صلب/سائل) 10000 جزء بالمليون = 1%
ppm = mg/L (solid per liquid) %1 = 10,000 ppm

الملحق 6 . التركيز ، النظامية ، كمية الأحماض و قواعد تحضير ليتر واحد من محلول N1.

حجم المحلول اللازم ¹ (مل)	الخواص الكيميائية			النظامية التقريبية N	الأحماض أو القواعد
	الكثافة النوعية	النسبة المئوية بالوزن	غرام لكل ليتر		
58	1.05	99.0	1042.0	17.45	حمض الخليك
67	0.90	28.3	255.0 (NH ₃)	15.0	ماءات الأمونيوم
81	1.19	38.0	451.6	12.4	حمض كلور الماء
35	1.16	50.0	577.5	28.8	حمض الفلور
62	1.42	72.0	1024.0	16.2	حمض الأزوت
23	1.69	85.0	1436.0	44.0	حمض الفوسفور
86	1.66	70.0	1165.0	11.6	حمض فوق الكلوريك
53	1.53	50.0	762.7	19.0	ماءات الصوديوم
28	1.84	96.0	1742.0	35.5	حمض الكبريت

¹ لتحضير ليتر واحد من محلول N1

المصدر: Tekalign et al. (1991)

الملحق 7. مستويات pH التربة و الظروف المقترنة بها.

الدلائل Indications	الظروف المقترنة Associated Conditions	pH التربة Soil pH
تعاني التربة من نقص في Ca أو Mg أو كليهما معاً، ويجب أن يضاف لها الكلس.	نمو ضعيف للمحاصيل ناجم عن تدني CEC وسمية Al^{3+} الممكنة. ومن المتوقع حدوث نقص في P.	أقل من 5.5
التربة خالية من الكلس ويجب مراقبتها عن كثب .	مُرضية بالنسبة لمعظم المحاصيل.	5.5-6.5
المدى المثالي لإنتاج المحاصيل.	السعة التبادلية للتربة حوالي 100% من درجة التشبع القاعدي.	6.5-7.5
تواجد الكلس الحر ($CaCO_3$) في التربة	هناك عادة ترشيح و تسرب على نحو ممتاز نظراً للمحتوى العالي من Ca في الترب الطينية. إن الفوسفور والعناصر الغذائية الصغرى متوفران بشكل أقل.	7.5-8.4
تشير بشكل ثابت تقريباً إلى تربة صودية .	ظروف فيزيائية سيئة للغاية، ترشيح وتسرب مياه التربة بطيء. إمكانية تلف الجذور وانحلال المادة العضوية.	أكبر من 8.4

المصدر : Hach Company, USA (1992).

الملحق 8. منهج مختصر في اختبار التربة لتقييم الخصوبة في التربة

Hot Water	DTPA	NH ₄ OAc	AB-DTPA	Olsen P	المعيار
B	Zn, Cu Fe, Mn	K, Mg Na, Ca	NO ₃ -N, P, K Zn, Cu, Fe, Mn		الخاصية/ العناصر المغذية
10	10	5	10	2.5	حجم العينة (غ)
20	20	25	20	50	حجم المستخلص (مل)
H ₂ O	0.005 M DTPA ⁺ 0.01 M TEA+ 0.01 M CaCl ₂ (pH7.3)	1N NH ₄ OAc pH 7.0	1N NH ₄ HCO ₃ ⁺ 0.005 M DTPA (pH7.6)	0.5 M NaHCO ₃ at pH 8.5	محلول الاستخلاص
5	120	5	15	30	رج/علي (نفيفة)
الرج والسريعة: جميع الطرق تستخدم جهاز الرج الترددي بسرعة 180 دورة بالنفيفة، ماعدا طريقة تقدير البورون.					
اللونية، طول موجة 430 nm (أزوميتان-A)	AAS	باللهب: K&Na	اللونية: P باللهب: K Zn, Cu: AAS Fe, Mn	اللونية، طول موجة 880 nm (مولبيدات الأزرق)	الأجهزة المستخدمة في تقدير العناصر الغذائية
B, 1-10	Zn, 0.5-20	K, 50-1000; Ca, 500-2000; Mg, 5-500; Na, 10-250;	P, 2-100 K, 5-750 Zn, 0.5-35	P, 2-200	تركيز العناصر المغذية في التربة بدون تخفيف (جزء بالمليون)
Berger & Truog (1939)	Lindsay & Norvell (1978)	Schollenberger & Simon (1945)	Soltanpour & Schawb (1977)	Olsen et al (1954)	المرجع الأساسي

AAS = جهاز تحليل الطيفي بالامتصاص الذري
المصدر: مجلس تحليل التربة والنبات (1992)

الملحق 9. دلائل عامة لتفسير بعض البيانات المتعلقة بتحليل التربة .

العنصر المقاس	طريقة اختبار التربة	منخفض	هامشي %	كاف
المادة العضوية	Walkley-Black	0.86>	1.29-0.86	1.29<
----- ppm -----				
الأزوت	AB-DTPA	11>	20-11	20<
الفوسفور	NaHCO ₃	8>	15-8	15<
	AB-DTPA	4>	7-4	7<
البوتاسيوم	NH ₄ OAc	100>	150-100	150<
	AB-DTPA	60>	120-60	120<
الزنك	DTPA	0.5>	1.0-0.5	1.0<
	AB-DTPA	1.0>	1.5-1.0	1.5<
النحاس	DTPA	0.2>	0.5-0.2	0.5<
	AB-DTPA	0.2>	0.5<	0.5<
الحديد	DTPA	4.5>		4.5<
	AB-DTPA	2.0>	4.0-2.1	4.0<
المنغنيز	DTPA	1.0>	2.0-1.0	2.0<
	AB-DTPA	1.8>		1.8<
اليورون	Hot water	0.5>	1.0-0.5	1.0<
	HCl	0.45>	1.0-0.45	1.0<

DTPA = ثنائي ايثيلين ثلاثي أمين خماسي حمض الخليك AB = بيكرينات الأمونيوم

NaHCO₃ = بيكرينات الصوديوم

المصادر: FAO (1980); Soltanpour (1985); Ludwick (1995); Martens and Lindsay (1990); Johnson and Fixen (1990); Soil and Plant Analysis Council (1992); Matar *et al.* (1992).

الملحق 10. الإجراءات المقترحة لأخذ عينات من نسج محاصيل خاصة بالمناطق الجافة¹

أطوار النمو جزء النبات المأخوذ كعينة عدد النباتات المأخوذة

القمح و الشعير		
100-50	كل الأجزاء الهوائية للنبات	طور البادرات (طولها أقل من 30 سم)
50-25	ورقة العلم	قبل ظهور السنابل

الذرة

30-20	كل الفروع الهوائية . كل الأوراق التي تطورت بشكل كامل تحت الدوّارة .	طور البادرات (طولها أقل من 30 سم) قبل ظهور شُرَابَات الذرة (الإزهار الذكري)
25-15	جميع الأوراق عند عقدة السنبل (أو فوقها أو تحتها بشكل مباشر)	من ظهور الشُرَابَات حتى اكتمال تكوينها

الذرة الرفيعة

25-15	الورقة الثانية أو الثالثة من قمة النبات.	قبل أو عند التسنبل
-------	--	--------------------

فول الصويا وبقوليات أخرى

30-20	كل الأجزاء الهوائية للنبات	طور البادرات (طولها أقل من 30 سم)
30-20	ورقتان أو ثلاث مكتملة النمو من قمة النبات	قبل أو خلال طور الإزهار الأولي

الفول السوداني

25	وريقات نضجت حديثاً	ذروة الإشتاء
----	--------------------	--------------

الفصّة، البرسيم وبقوليات علفية أخرى

50-40	أنصال الأوراق الناضجة المأخوذة من حوالي ثلث النبات	قبل أو عند عشر طور الإزهار
-------	--	----------------------------

البقوليات الغذائية بما فيها الحمص والعدس

50-40	جميع الفروع	طور النمو الخضري
200-50	الأوراق الناضجة حديثاً	بدء الإزهار

¹ عندما تكون الإرشادات الخاصة غير متاحة ، فالقاعدة العامة أن تؤخذ العينات من الأوراق العليا الناضجة عند بدء الإزهار

المصدر: Jones et al. (1971, 1991); Reuter and Robinson (1986); Tandon (1993)

ملحق 11. دلائل عامة بعض البيانات المتعلقة بتحليل نسج النجيليات.

تركيز العناصر الغذائية في النسج الجافة				
مرتفع	كاف	منخفض	نقص بالعنصر	العناصر الغذائية
		----- % -----		
3.0<	3.00-1.75	1.74-1.25	1.25>	الأزوت (حبوب شتوية)
3.00<	3.00-2.00	1.99-1.50	1.50>	(حبوب ربيعية)
0.50<	0.50-0.20	0.19-0.15	0.15>	الفوسفور
3.00<	3.00-1.50	1.49-1.25	1.25>	البوتاسيوم
0.50<	0.50-0.20	0.20>		الكالسيوم (قمح، شوفان) (شعير)
1.20<	0.50-0.20	0.30>		
0.50<	0.50-0.15	0.15>		المغنيزيوم
0.40<	0.40-0.15	0.15>		الكبريت
		----- ppm -----		
100<	100-25	24-5	5>	المنغنيز
70<	70-15	15>		الزنك
25<	25-5	5>		النحاس

المصدر: (Walsh and Beaton 1973).

الملحق 12. معايير التصنيف الخاصة بالترب المتأثرة بالملوحة.

التربة	ECe ¹ --dS/m --	النسبة المئوية للسوديوم المتبادل (ESP)	نسبة الصوديوم المدمص (SAR)
طبيعية	4>	15>	15>
مالحة	4≤	15>	15>
صودية	4>	15<	15≤
مالحة-صودية	4≤	15<	15≤

ECe¹: في مستخلص عجيبة مشبعة.

المصدر: (Bohn et al. 1985)

الملحق 13. تصنيف ملوحة التربة مقارنة مع قوام التربة.

درجة الملوحة (الناقلية الكهربائية) ¹					قوام التربة
خالية	خفيفة	متوسطة	قوية	قوية جداً	
----- dS/m -----					
1.2>	2.4-1.2	4.4-2.5	8.9-4.5	9.0<	رملية خشنة إلى لومية رملية
1.3>	2.4-1.3	4.7-2.5	9.4-4.8	9.5<	لومية رملية ناعمة إلى رملية
1.4>	2.5-1.4	5.0-2.6	10.0-5.1	10.1<	لومية سلتية إلى لومية ناعمة
1.5>	2.8-1.5	5.7-2.9	11.4-5.8	11.5<	لومية سلتية طينية إلى طينية

EC¹ في 1:1 معلق تربة/ماء.

المصدر: (Hach Company 1992).

لملحق 14. الحدود النسبية لمقاومة المحاصيل للملوحة

المحصول	ECe ¹ - dS/m -	المحصول	ECe ¹ - dS/m -
محاصيل علفية			
(<i>Sorghum sudanense</i>) حشيشة السودان	14.4	(<i>Leptochloa fusca</i>) حشيشة كارال	22.0
(<i>Medicago sativa</i>) فصة	9.9	(<i>Cynodon dactylon</i>) حشيشة برمونية	15.0
(<i>Trifolium alexandrinum</i>) برسيم	10.3	(<i>Hordeum vulgare</i>) دريس، الشعير	13.5
(<i>Vigna unguiculata</i>) لوبياء	7.0	(<i>Brassica campestris</i>) خردل (<i>Glauca group</i>)	14.0
محاصيل حقلية			
(<i>Sesbania aculeata</i>) سيسبان شوكي	9.0	(<i>Hordeum vulgare</i>) حب الشعير	18.0
(<i>Saccharum officinarum</i>) قصب السكر	10.0	(<i>Beta vulgaris</i>) شوندر سكري	15.0
(<i>Oryza sativa</i>) أرز غير مقشور	8.0	(<i>Gossypium hirsutum</i>) قطن	16.0
(<i>Zea mays</i>) ذرة	6.0	(<i>Carthamus tinctorius</i>) عصفور	12.0
(<i>Linum usitatissimum</i>) كتان	6.5	(<i>Helianthus annuus</i>) عباد الشمس	14.0
(<i>Vigna unguiculata</i>) لوبياء	9.1	(<i>Triticum aestivum</i>) قمح	13.0
(<i>Arachis hypogea</i>) الفول السوداني	4.9	(<i>Surghum bicolor</i>) ذرة	10.0
		(<i>Glycine max</i>) فول الصويا	8.0
محاصيل نباتية			
(<i>Lactuca sativa</i>) خس	5.0	(<i>Beta vulgaris</i>) شوندر سكري	9.6
(<i>Capsicum annum</i>) فلفل أحمر	5.0	(<i>Spinacia oleracea</i>) سبانخ	8.0
(<i>Allium cepa</i>) بصل	4.0	(<i>Lycopersicon esculentum</i>) بندورة، طماطم	8.0
(<i>Daucus carots</i>) جزر	4.5	(<i>Brassica oleracea</i>) ملفوف	7.0
(<i>Phaseolus vulgaris</i>) فاصولياء خضراء أو فرنسية	3.5	(<i>Brassica oleracea</i>) فربيط	6.0
(<i>Raphanus sativus</i>) فجل	5.0	(<i>Solanum tuberosum</i>) بطاطا	6.0
(<i>Cucumis sativa</i>) خيار	6.3	ذرة حلوة (<i>Zea mays</i>) (maize)	6.0
(<i>Brassica rapa</i>) لفت	6.5	بطاطا حلوة (<i>Ipomoea batatas</i>)	6.0
محاصيل ثمرية			
(<i>Olea europaea</i>) زيتون	8.4	(<i>Phoenix dactylifera</i>) بلح	18.0
(<i>Citrus limon</i>) ليمون	4.8	(<i>Vitis spp.</i>) عنب	6.7
(<i>Malus sylvestris</i>) تفاح	4.8	جريب فروت، كريفون (<i>Citrus paradise</i>)	4.9
(<i>Prunus communis</i>) إجاص	4.8	برتقال (<i>Citrus sinensis</i>)	4.8
(<i>Fragaria spp.</i>) فريز	2.5	دراق (<i>Prunus persica</i>)	4.1
(<i>Punica granatum</i>) رمان	8.4	مشمش (<i>Prunus armeniaca</i>)	3.7
(<i>Juglans regia</i>) جوز	4.8	خوخ، خوخ مجفف (<i>Prunus domestica</i>)	4.3
		لوز (<i>Prunus dulcis</i>)	4.1

¹ECe ما يعادل أو ما يسبب 50% انخفاض في إنتاج المحصول.

المصدر: (California Fertilizer Association (1980), Ayers and Westcot (1985).

الملحق 15. علاقة تحمل بعض الأصناف لسمية البورون.

عتبة التركيز --mol B/m ³ --	أنواع المحاصيل	عتبة التركيز --mol B/m ³ --	أنواع المحاصيل
0.093	بازلاء (<i>Pisum sativum</i>) جزر (<i>Daucus carots</i>) بطاطا (<i>Solanum tuberosum</i>) خيار (<i>Cucumis sativa</i>) خس (<i>Lactuca sativa</i>) ملفوف (<i>Brassica oleracea</i>) كرفس (<i>Cepium graveolens</i>) لفت (<i>Brassica rapa</i>) شعير (<i>Hordeum vulgare</i>) ذرة (<i>Zea mays</i>) أرضي شوكة (<i>Cynara scolymus</i>) فجل (<i>Raphanus sativus</i>) تبغ (<i>Nicotiana tabacum</i>) حنذقوق (<i>Melilotus indica</i>) قرع (<i>Cucurbita pepo</i>) الشمام (<i>Cucumis melo</i>)	0.028	محاصيل حساسة ليمون (<i>Citrus limon</i>) حبة الفاصولياء (<i>Phaseolus lunatus</i>) توت (<i>Rubus sp.</i>) أفوكادو (<i>Persea americana</i>) برتقال (<i>Citrus sinensis</i>) كريفون (<i>Citrus paradise</i>) مشمش (<i>prunus armeniaca</i>) دراق (<i>Prunus persica</i>) كرز (<i>Prunus avium</i>) خوخ (<i>Prunus domestica</i>) كاكاي (<i>Diosyos kaki</i>) تين (<i>Ficus carica</i>) عنب (<i>Vitis vinifera</i>) جوز (<i>Juglans regia</i>) جوز زيتوني (<i>Carya illinoensis</i>) لوبياء (<i>Vigna sinensis</i>) بصل (<i>Allium cepa</i>) ثوم (<i>Allium sativum</i>) بطاطا حلوة (<i>Ipomoea batatas</i>) قمح (<i>Triticum aestivum</i>) لوبياء ذهبية (<i>Phaesolus aureux</i>) فريز (<i>Fragaria sp.</i>) فاصولياء (كلية) (<i>Phaesolus vulgaris</i>)
	محاصيل متحملة ذرة (<i>Sorghum bicolor</i>) فصة (<i>Medicago sativa</i>) بيقية أرجوانية (<i>Vicia benghlensis</i>) شوفان (<i>Avena vulgare</i>) بقدونس (<i>Petroselinum crispum</i>) شوندر أحمر (<i>Beta vulgaris</i>) بننورة (<i>Lycopersicun esculentum</i>) شوندر سكري (<i>Beta vulgaris</i>) قطن (<i>Gossypium hirsutum</i>) هليون (<i>Asparagus officinalis</i>)	0.046 0.074 0.093	محاصيل شبيهة متحملة سمسم (<i>Seasmum indicum</i>) لفل أحمر (<i>Capsicum annum</i>)

المصدر: (Keren and Bingham 1985).

الملحق 16. حجم فتحات المناخل القياسية

عدد الفتحات القياسية			فتحة المنخل (مم)
فرنسية	بريطانية	أمريكية	
34	8	10	2.0
31	16	18	1.00
28	30	35	0.500
-	36	40	0.420
25	60	60	0.250
-	72	70	0.210
-	-	100	0.149
22	120	120	0.125
19	240	230	0.063
-	300	270	0.053

المصدر: Tekalign et al. (1991).

الملحق 17. الأوزان المكافئة

الرمز/الصيغة	الوزن المكافئ (غ)	الأسم الشائع
الأيونات		
Ca ⁺⁺	20.04	أيون الكالسيوم
Mg ⁺⁺	12.16	أيون المغنيزيوم
Na ⁺	23.00	أيون الصوديوم
K ⁺	39.10	أيون البوتاسيوم
Cl ⁻	35.46	أيون الكلورايد
SO ₄ ⁻⁻	48.03	أيون الكبريتات
CO ₃ ⁻⁻	30.00	أيون الكربونات
HCO ₃ ⁻	61.01	أيون البيكربونات
PO ₄ ⁻⁻⁻	31.65	أيون الفوسفور
NO ₃ ⁻	62.01	أيون النترات
الأملاح		
CaCl ₂	55.50	كلورايد الكالسيوم
CaSO ₄	68.07	كبريتات الكالسيوم
CaSO ₄ .2H ₂ O	86.09	الجبس
CaCO ₃	55.04	كربونات الكالسيوم
MgCl ₂	47.62	كلورايد المغنيزيوم
MgSO ₄	60.19	كبريتات المغنيزيوم
MgCO ₃	42.16	كربونات المغنيزيوم
NaCl	42.16	كلورايد الصوديوم
Na ₂ SO ₄	71.03	كبريتات الصوديوم
Na ₂ CO ₃	53.00	كربونات الصوديوم
NaHCO ₃	84.01	بيكربونات الصوديوم
KCl	74.56	كلورايد البوتاسيوم
K ₂ SO ₄	87.13	كبريتات البوتاسيوم
K ₂ CO ₃	69.10	كربونات البوتاسيوم
KHCO ₃	100.11	بيكربونات البوتاسيوم
مُحَسِّنَات كِيَمِيَاءِيَّة		
S	16.03	الكبريت
H ₂ SO ₄	49.04	حمض الكبريت
Al ₂ (SO ₄) ₃ .18H ₂ O	111.07	كبريتات الألمنيوم
FeSO ₄ .7H ₂ O	139.01	كبريتات الحديد

تحويل من مللمكافئ في اللتر إلى جزء بالمليون؛ جزء بالمليون = مللمكافئ في اللتر الوزن المكافئ؛