

طرق تحليل تربة المناطق الجافة وشبه الجافة

تأليف:

الدكتور عصام بشّور

و

الدكتور انطوان الصايغ

الجامعة الأميركية في بيروت

بيروت - لبنان



طرق تحليل تربة المناطق الجافة وشبه الجافة

تأليف:

الدكتور عصام بشّور

و

الدكتور انطوان الصايغ

الجامعة الأميركية في بيروت
بيروت - لبنان

الأوصاف المستخدمة في هذه المواد الإعلامية وطريقة عرضها لا تعبر عن أي رأي خاص لمنظمة الأغذية والزراعة للأمم المتحدة فيما يتعلق بالوضع القانوني أو التنموي لأي بلد أو إقليم أو مدينة أو منطقة، أو فيما يتعلق بسلطاتها أو بتعيين حدودها وتخومها.

ISBN 978-92-5-6056611-0

حقوق الطبع محفوظة لمنظمة الأغذية والزراعة للأمم المتحدة. ويجوز استنساخ ونشر المواد الإعلامية الواردة في مطبوعات المنظمة للأغراض التعليمية، أو غير ذلك من الأغراض غير التجارية، دون أي ترخيص مكتوب من جانب صاحب حقوق الطبع، بشرط التنويه بصورة كاملة بالمصدر. ويحظر استنساخ المواد الإعلامية الواردة في مطبوعات المنظمة لأغراض إعادة البيع، أو غير ذلك من الأغراض التجارية، دون ترخيص مكتوب من صاحب حقوق الطبع. وتقدم طلبات الحصول على هذا الترخيص مع بيان الغرض منه وحدود استعماله إلى:

Chief,
Electronic Publishing Policy and Support Branch,
Communication Division
FAO
Viale delle Terme di Caracalla, 00153 Rome, Italy

أو بواسطة البريد الإلكتروني:

copyright@fao.org

المحتويات

الصفحة

1	تمهيد	1
2	تقديم	2
3	مقدمة	3
4	إرشادات معملية عامة	4
11	1. تربة أراضي المناطق الجافة وشبه الجافة	11
11	1-1 التربة الكلسية	11
11	2-1 التربة الجبسية	11
11	3-1 التربة المتأثرة بالأملاح	11
13	2. جمع عينات التربة وتحضيرها	13
13	1-2 أدوات جمع عينات التربة	13
14	2-2 جمع عينات التربة لاختبارات الخصوبة	14
14	1-2-2 توقيت جمع العينات	14
14	2-2-2 أعماق العينات	14
14	3-2-2 طرق جمع العينات	14
16	3-2 جمع العينات من أجل مسح التربة ودراسات تصنيفها	16
17	4-2 تحضير العينات	17
19	5-2 طحن ونخل عينات التربة	19
19	6-2 تقليص حجم العينات	19
21	3. رطوبة التربة	21
23	4. قوام التربة – توزع حجم الحبيبات	23
23	1-4 مقدمة	23
24	2-4 تشتيت الحبيبات	24
24	3-4 الترسيب	24
24	4-4 طريقة بيوكس (Bouyoucos)	24
28	5-4 إزالة الجبس من التربة	28
28	1-5-4 إزالة الجبس بواسطة أوكسالات الأمونيوم	28
28	2-5-4 إزالة الجبس بواسطة حامض الهيدروكلوريك	28
29	3-5-4 معاملة التربة مسبقاً بكلوريد الباريوم BaCl ₂ لتغليف بلورات الجبس بطبقة من سلفات الباريوم BaSO ₄	29
29	4-5-4 معاملة التربة مسبقاً بمحلول كلوريد الباريوم BaCl ₂ ثم بالإيثانول	29
29	5-5-4 معاملة التربة مسبقاً بمحلول كلوريد الباريوم	29
30	5. كثافة التربة وحجم المسام الكلي فيها	30
30	1-5 مقدمة	30
30	2-5 قياس الكثافة الكلية للتربة	30
30	1-2-5 تقدير الكثافة الكلية للتربة علي عينات غير متماسكة	30
31	2-2-5 تقدير الكثافة الكلية للأراضي علي عينات متماسكة	31
31	1-2-2-5 طريقة القلائل	31
32	2-2-2-5 طريقة لب التربة	32
32	3-5 قياس كثافة جزيئات التربة أو الكثافة النوعية	32
32	1-3-5 طريقة المخبار المدرج	32
33	2-3-5 طريقة الدورق المعياري	33
33	4-5 حساب نسبة المسامات الكلية في التربة	33
34	6. تحاليل مستخلص عجينة التشبع	34

34	1-6	مقدمة
34	2-6	تحضير عجينة التشبع
34	1-2-6	تقدير النسبة المئوية للتشبع
35	2-2-6	تقدير الرقم الهيدروجيني
36	3-6	تحضير مستخلص التشبع
36	1-3-6	تقدير ملوحة التربة بواسطة الموصلية الكهربية
37	2-3-6	تقدير الصوديوم والبوتاسيوم الذائبة في المستخلص
38	3-3-6	تقدير الكالسيوم والمغنيزيوم الذائبين
39	4-3-6	تقدير الكربونات والبيكربونات
40	5-3-6	تقدير الكلوريد
41	7	كربونات الكالسيوم
42	1-7	تقدير كربونات الكالسيوم الكلي
42	2-7	تقدير كربونات الكالسيوم الفعال طريقة Driueau المعدلة
44	8	سعة التبادل الكاتيوني
45	1-8	تحديد سعة التبادل الكاتيوني
46	2-8	تحديد سعة التبادل الكاتيوني في التربة الكلسية والجبسية
47	3-8	تقدير النسبة المئوية للصوديوم المتبادل
47	9	جس التربة
50	10	تقدير المادة العضوية بالتربة
50	1-10	طريقة الحرق الرطب
51	11	نيتروجين التربة
51	1-11	النيتروجين الكلي (طريقة Kjeldahl)
53	2-11	تقدير النيتروجين المعدني
53	1-2-11	تقدير النيترات بطريقة حامض الفينول دايسلفونيك
55	2-2-11	تقدير النيترات بواسطة الكترود أيوني معين
56	3-11	استخلاص الأمونيوم والنيترات القابلة للتبادل
56	1-3-11	تقدير الأمونيوم بواسطة أزرق الإندوفينول
57	2-3-11	تقدير الأمونيوم بواسطة الكترود أيوني معين
58	12	تقدير الفوسفور في التربة
58	1-12	أشكال الفوسفات في التربة
58	2-12	مصير الأسمدة الفوسفاتية المضافة
59	3-12	تأثير المواد الأصلية للتربة على توزيع أشكال الفوسفات الغير عضوية
59	4-12	تثبيت الفوسفات
59	5-12	فوسفات الحديد والألمينيوم الغير متبلورة في التربة الكلسية
60	6-12	تقدير الفوسفور المتاح بحسب طريقة أولسن (Olsen)
62	13	بوتاسيوم التربة
62	1-13	تقدير البوتاسيوم المتاح
63	2-13	تقدير البوتاسيوم المثبت
65	14	كبريت التربة
67	15	الاحتياجات الجبسية
69	16	العناصر الغذائية الدقيقة في التربة
69	1-1-16	الحديد، الزنك، المنجنيز والنحاس
69	1-1-16	الحديد
69	2-1-16	الزنك
70	3-1-16	المنجنيز
70	4-1-16	النحاس

- 71 2-16 تقدير العناصر الدقيقة المتاحة للنبات
- 71 1-2-16 طريقة الإستخلاص بواسطة محلول DTPA
- 72 2-2-16 قياس تركيز العناصر باستخدام المنظار الطيفي لامتصاص الذرات
- 73 3-16 قدرة الـ DTPA علي الإستخلاص واتاحة العناصر لامتصاص النبات
- 73 17. البورون في التربة
- 74 1-17 تقدير البورون الكلي بإنبهار كربونات الصوديوم
- 75 2-17 تقدير البورون المتاح بإستخلاصه بالمياه الساخنة
- 76 3-17 قياس التركيز بواسطة التحليل الضوئي
- 76 1-3-17 تطور اللون طريقة Carmine
- 77 2-3-17 تطور اللون - طريقة Azomethine-H
- 79 18. الموليبيدينوم في التربة
- 80 19. السيلينيوم في التربة
- 81 20. العناصر المحتمل سميتها - الكاديوم ، الكروم، النيكل، والرصاص
- 84 21. تحديد المعادن الطينية بواسطة إنعطاف الأشعة السينية
- 88 المراجع العلمية
- الجدول:
- 12 جدول 1. الخصائص الكيماوية للتربة الملحية، والصودية الغير ملحية، والتربة الصودية الملحية
- 49 جدول 2. قيم الموصلية الكهربائية للتركيزات المختلفة من كبريتات الكالسيوم في الماء
- 85 جدول 3. تأثير المعاملات المبدئية علي تقليل المسافات البينية لبعض معادن الطين
- الأشكال:
- 16 شكل 1. طريقة جمع عينات لاختبار خصوبة التربة بأرض غير متجانسة
- 16 شكل 2. اختيار مواقع جمع عينات التربة لاختبار الخصوبة
- 18 شكل 3. استمارة البيانات الحقلية
- 20 شكل 4. تقليص حجم العينة بواسطة التقسيم إلى أرباع
- 26 شكل 5. استمارة بيانات لتسجيل قراءات الهيدروميتر
- 27 شكل 6. مثلث قوامالتربة مبينا نسب الرمل والطين لكل نوع من قوام التربة
- 27 شكل 7. مثلث قوام التربة المعدل لتحديد قوام التربة باللمس
- 48 شكل 8. تأثير نسبة الماء للتربة وحجم حبيبات التربة على إستخلاص الجبس الكلي
- 86 شكل 9. التعرف علي الكاولين (Kaolinite) باستخدام صفاته المتعلقة بانعكاسات الأشعة السينية
- 87 شكل 10. التعرف علي الـ smectite عن طريق صفاته لمتعلقة بانعكاسات الأشعة السينية
- ملحق:
- 93 ملحق A قائمة بالاوزان الذرية للعناصر المختلفة
- 94.. ملحق B دلائل الرقم الهيدروجيني
- 95 ملحق C خواص المواد المستعملة بالمختبرات
- 96 ملحق D درجات الكيماويات
- 97 ملحق E معدل العناصر الغذائية بالتربة
- ملحق F العوامل الحرارية لتصحيح بيانات المقاومة والموصلية الخاصة بمستخلصات التربة الي ما يعادلها عند درجة حرارة 25م.
- 99 ملحق G طريقة التحويل للوحدات الدولية.
- 100.....

تمهيد

تبلغ مساحة أراضي المناطق الجافة وشبه الجافة حوالي ربع مساحة اليابسة. وتتصف التربة بهذه المناطق بأنها تميل للقلوية بشكل عام (7.8-8.2 pH)، وتحتوي نسباً مرتفعة من كربونات وسلفات الكالسيوم والمغنيسيوم. وبسبب المعدلات المنخفضة للأمطار والمرتفعة للتبخّر، وتقييد عملية غسل التربة، يؤدي ذلك إلى تراكم الأملاح الذائبة التي تصل في بعض المناطق إلى مستويات مرتفعة مما يجعل التربة ملحية (saline). وفي هذه الحالة، تؤثر وفرة الجير والجبس وتراكم الأملاح الذائبة بالخصائص الفيزيائية والكيميائية لهذه التربة، وكذا على خصوبتها. كذلك، غالباً ما تكون الطبقات السطحية لمعظم هذه الأراضي، والتي تحتوي الكثير من المخلفات، خشنة القوام وينخفض فيها محتوى المادة العضوية، مما يصعب إدارة هذه الأراضي وإستثمارها الزراعي ويتطلب دراسات مبنية على طرق تحليل متناسب وخصائص هذه التربة. عليه يكون القول المأثور "تحقق ولا تتكهن" ملائماً لإدارة هذه الأراضي ومعالجة قضايا الري والصرف، والملوحة والصودية، والجسبية.

لقد صدر العديد من الكتب تحوي الكثير من الإجراءات المختلفة لتحليل التربة، مما يُحير العاملين في هذا الحقل في اختيار الطرق الملائمة. لذلك، يأتي هذا المؤلف كي يكون مرجعاً وسطاً ما بين ما يسمى "كتب الطبخ" التي تسرد خطوات التحليل فقط، وتلك المراجع المتوسعة في شرح أساسيات التحليل، وليقدم الطرق التي طوّرت وكيفت للظروف المعينة الخاصة بهذه الأراضي.

لذا نعتقد أن يكون هذا الكتاب ذو أهمية خاصة للطلاب والاساتذة والباحثين والكيميائيين العاملين في مختبرات أختبار وتحليل الأراضي ليقدموا النصح والإرشاد للمزارعين بالمناطق الجافة وشبه الجافة. كما يرجى ان يكون أيضاً مرجعاً قيماً للهيئات والمؤسسات الداعمة لمشاريع التنمية الزراعية في هذه المناطق.

تقديم

يسر المكتب الإقليمي للشرق الأدنى لمنظمة الأغذية والزراعة للأمم المتحدة (الفاو) أن يقدم هذا الكتاب عن طرق تحليل التربة بالمناطق الجافة وشبه الجافة، ليكون بمثابة مرجع إسترشادي للعاملين في هذا الميدان، بما في ذلك الباحثون والطلاب والكيميائيون والعاملون بمختبرات تحليل المياه والتربة. وتزداد أهمية هذا الكتاب، نظرا لأنه يركز بشكل خاص على تربة المناطق الجافة وشبه الجافة، وهي التربة السائدة بإقليم الشرق الأدنى. كما يلقى الضوء على علاقة التكوين الفيزيائي والكيمائي للتربة بمحتواها من العناصر الغذائية، سواء كانت تلك العناصر الغذائية الكبرى مثل النيتروجين والفسفور والكالسيوم والمغنسيوم، أو ما يسمى بالعناصر الدقيقة مثل الحديد والزنك والمنجنيز والنحاس، ومدى حاجة النبات لكل منها. كذلك يحتوي الكتاب على فصول تشمل طرق جمع عينات التربة، وقياس رطوبتها وقوامها وكثافتها وسعة التبادل الكاتيوني وتقدير المادة العضوية، وكذلك الطرق المتطورة لتحديد المعادن والعناصر المحتمل إضرارها بالنبات، وغير ذلك من الموضوعات التي جعلت من الكتاب مرجعا شاملا عن التربة وتحليلاتها.

ولقد قام بإعداد هذا الكتاب إثنان من علماء التربة بالإقليم، هما الدكتور عصام بشور، أستاذ بالجامعة الأمريكية ببيروت وخبير التربة سابقا بالمنظمة، والدكتور أنطوان الصايغ، أستاذ بالجامعة الأمريكية ببيروت ومستشار سابق لشئون التربة بالمنظمة، وذلك بدعم مادي من جانب المكتب الإقليمي للشرق الأدنى لمنظمة الأغذية والزراعة للأمم المتحدة. وأنتهز هذه الفرصة لتقديم الشكر والتقدير للأستاذين على تعاونهما وجهودهما القيمة، كما نشكر الدكتور غسان حمد الله، المستشار السابق لشئون التربة بالمكتب الإقليمي على إطلاق فكرة هذا الكتاب، وكذا الدكتور محمد بازة، المستشار لشئون الري والموارد المائية بالمكتب الإقليمي لتتبعه وإتمام إصدار هذا الكتاب. كما نخص بالشكر أيضا كلا من السادة A. Shammass و M. R. Motsara و N. R. Roy والسيدة C. Licona-Manzur على مساهمتهم في مراجعة وتدقيق وإتمام هذه الوثيقة.

ويأمل المكتب الإقليمي أن يساهم هذا الكتاب في تحسين إدارة الأراضي الزراعية في إقليم الشرق الأدنى وغيره من المناطق ورفع مردوديتها والحفاظ عليها من التدهور.

والله ولي التوفيق ...

د. محمد ابراهيم البريثن

المدير العام المساعد والممثل الإقليمي
للشرق الأدنى

مع ازدياد الاعتماد على الإنتاج الزراعي في المناطق الجافة وشبه الجافة، إزداد إستعمال الأسمدة الكيماوية لحد كبير. وللأسف فإن الزيادة في إضافة الأسمدة رافقتها بشكل عام زيادة في مشاكل الإنتاج الزراعي. والسبب المهم، وهو غير مفهوم كفاية، هو الإستعمال الغير صحيح للأسمدة من حيث النوع ومعدل الإضافة. وهذا ناتج جزئياً عن غياب الطرق السليمة لتحليل التربة التي تعكس حقيقة حالتها، وجزئياً من سوء فهم حقيقة الأسمدة، وكيف يجب أن تُستعمل، ولأي غرض. وتختلف أراضي المناطق الجافة وشبه الجافة اختلافاً كبيراً في حالتها وقوامها الذي يتراوح من الرملي الي الطفلي الي الطميي كما تختلف التربة في تكوينها الكيميائي حسب محتواها من السيليكا، وكربونات الكلسيوم والجبس. وجزء الطمي في التربة يتنوع في تركيبته المعدنية التي هي خليط من الكيالونايت والمونتوريلونيت والميكا والكورلايت والأتلجلايت (Aba Husayn and Sayegh, 1974). بالإضافة لذلك تختلف نسبة وجود كربونات الكلسيوم والجبس والأملاح القابلة للذوبان من تربة لأخرى، وعليه، تختلف المتطلبات السمادية للمحاصيل أيضاً من تربة لأخرى. ومع ذلك فحتى الآن، فإن عمليات التسميد في منطقة الشرق الأوسط تتم علي أساس التجربة والخطأ بدون النظر لخصائص التربة وحاجتها للسماد.

وأن البرنامج الصحيح لإدارة الأراضي يمكن أن يؤمن للمحاصيل الكميات اللازمة من الأسمدة وبشكل متوازن للعناصر الغذائية الضرورية، من أجل الحصول على أفضل إنتاج. ويمكن مراجعة أعراض العناصر بواسطة تحليل أنسجة النبات وتحليل التربة الذي يعكس الحالة الواقعية لها. ومع ذلك، فيجب أن نعلم بأن الخصوبة ماهي إلا مجرد عنصر واحد من بين العناصر الرئيسية التي تؤثر في الإنتاج المحصولي. فغلة المحصول، سواءً من ناحية الكمية أو النوعية، ما هي إلا نتاج لعدد من العوامل مثل التربة، الماء، صنف النبات، العمليات المتبعة، المناخ وغيرها.

ومن الصعب تأمين النجاح في إدارة الأراضي الجبسية والكلسية المتأثرة بالأملاح بسبب حالتها الفزيائية السيئة. فالتهوية فيها متعطللة بسبب البنية السيئة للتربة. وكذلك هو الحال بالنسبة لتسرُّب الماء وتحركه بسبب قلة الفراغات والمسام؛ الأمر الذي يؤدي إلى غدق التربة وضعف التهوية.

وإلى جانب الحالة الفزيائية السيئة، فإن تربة المناطق الجافة وشبه الجافة ذات خصائص كيماوية تخلق مشاكل في تغذية النبات، مثل:

- فقد النيتروجين بالتطاير عندما تضاف الأمونيا على سطح التربة أو الأسمدة المتحولة إلى أمنيوم نتيجة لتأثير قلوية التربة والنشاط الزائد لكاتيونات الكلسيوم Ca^{2+} .
- تثبيت الفوسفات المتوفر وترسبه في أشكال أقل توفراً للنبات بسبب تفاعل قلوية التربة والنشاط الزائد لكاتيونات الكلسيوم Ca^{2+} .
- الحد من إمتصاص النبات للبو تاسيوم بسبب ضعف التهوية الناتج عن زيادة محتوى الرطوبة بالتربة.
- نقص في العناصر الغذائية الدقيقة لمحدودية ذوبان الحديد و الزنك والمغنيز والنحاس بسبب تأثير قلوية التربة.
- إعاقة نمو وانتشار الجذور بسبب البنية السيئة للتربة وتشكيل طبقة صماء.

لهذه الأسباب نما الدافع لدينا لكتابة هذا المؤلف تديعياً لإستخدام تحليل التربة والأنسجة النباتية كدليل للتوصيات السمادية. وسينظر بمؤلف يتبعه مستقبلاً يكرس ل طرق تحليل النبات.

أرشادات معملية عامة:

في المختبرات الكيماوية لا يمكن تفادي استخدام الأحماض، والقلويات وبعض الكيماويات السامة أو القابلة للإنفجار. وبالإضافة الي ذلك، فإن بعض التفاعلات الكيماوية خلال عملية التحليل، يمكن أن تطلق غازات سامة، وإذا لم تعامل بإحكام قد تتسبب في انفجار. كذلك تستخدم الغازات القابلة للاشتعال كمصدر للوقود والتسخين. وعلي ذلك، فإن العمل الآمن بالمختبر الكيماوي يحتاج الي حرص خاص فيما يتعلق بتصميم وتشبيد مبني المختبر وكذلك في تداول واستخدام الكيماويات. كما يجب توفير خزانات خاصة لإجراء العمليات الكيماوية.

ويجب المحافظة علي درجة حرارة المختبر وأماكن العمل عند مستوي ثابت ما بين 20 – 25 درجة مئوية. كذلك يجب إبقاء الرطوبة عند نسبة حوالي 50%، فعينات التربة غالبا ما تتأثر بالحرارة والرطوبة، كما أن الحرارة تؤثر أيضا في بعض العمليات الكيماوية. لذلك، فإن المحافظة علي كلا من الحرارة والرطوبة كما هو موضح يعتبر أمراً هاماً.

وعملية تغيير الهواء ذات أهمية أيضا حتي لا تتراكم الأبخرة الخطرة والسامة بالمختبر لفترة طويلة. ويمكن التحكم في الغازات والأبخرة التي تنطلق أثناء عمليات تحليل معينة بامتصاصها عن طريق مداخن خاصة، أو اصطباؤها بواسطة محاليل حمضية/قلوية ثم التخلص منها بمياه جارئة. أما المحافظة علي بيئة نظيفة وصحية بالمختبر فهو ضروري من أجل سلامة وصحة العاملين بالمختبر.

ويجب توخي الحذر بوضع الأحماض والكيماويات ذات الخطورة في أرفف آمنة منفصلة. كذلك يجب إعداد قائمة بجميع الأجهزة، والكيماويات، والأدوات الزجاجية والأصناف الأخرى الموجودة بالمختبر. ومبني المختبر الآمن يجب أن يحوي أماكن منفصلة ملائمة لمختلف الأغراض أو للقيام بعمليات مختلفة.

إجراءات الأمان بالمختبر

يجب توخي الحذر التام عند تشغيل الأجهزة، وتداول الكيماويات والتخلص من النفايات.

الأجهزة

تحتاج الكابلات والفيشات والمواسير الكهربائية الي المراجعة من أن لآخر لتفادي الحوادث. كما يجب مراقبة أنابيب مختلف أنواع الغازات المستخدمة بالمختبر مثل الأستيلين، وأكسيد النيتروز والغاز الطبيعي مع إحكام غلقها عند عدم الاستخدام ووضعها في خزانات جيدة التهوية.

الكاشفات الكيماوية

يجب وضع الكيماويات الخطيرة في زجاجات بلاستيكية، عند استخدام كيماويات مثل حامض البركلوريك، يجب استخدام المدخنة الشفافة، كذلك يجب وضع بطاقات علي حاويات الكيماويات موضح بها طبيعة خطورتها. أما الزجاجات المحتوية علي مواد قابلة للاشتعال فتحتاج الي تخزينها في حاويات من الصلب الغير قابل للصدأ.

التخلص من النفايات

كل دولة لديها القوانين الخاصة والأساليب المتعلقة بالتخلص من النفايات الخطرة. ومن المؤلفات استخدام مواد مثل السيانيد، الكروم، الزرنيخ، والسيلينيوم والكوبالت والملبذنوم، وهي كيميائيات خطيرة ويجب عدم التخلص من بقاياها بالبوابة حوض المختبر، ولكن يجب جمعها في حاوية معدنية من أجل التخلص الملائم منها، في أماكن معينة، وبالأسلوب المحدد بواسطة قانون الدولة الخاص بالتخلص من النفايات.

قواعد عامة والحرص المطلوب

- تعلم قواعد الأمان واستخدام مواد الاسعافات الأولية التي يجب أن توضع في مكان واضح للعاملين بالمختبر.
- أثناء العمل بالمختبر، يجب استخدام أدوات الأمان الذاتي مثل بالطو المعمل، قفازات حماية الأيدي، نظارات الأمان، ستر حماية الوجه والأحذية المناسبة.
- يجب مراعاة كافة ممارسات الأمان المعملية المألوفة عند توصيل الأجهزة بمصادر الطاقة، وعند تداول الكيماويات وإعداد الكشافات. ويجب ألا يقوم بالأعمال الكهربائية إلا من هو مؤهل لذلك.
- احتفظ بدليل الجهاز ودفتر قيد استخدام كل جهاز وذلك لتفادي سوء الاستخدام، والحوادث أو تلف الجهاز.
- يجب الإبقاء علي منضدة / مكان العمل نظيفا وإزالة ما يسكب في الحال.
- يجب غسل الأيدي بعد ملامسة الكيماويات الخطيرة / السامة.
- يجب عدم شطف الكيماويات بأي حال بواسطة الفم بل يجب استخدام الأنبوبة الشفافة الأوتوماتيكية.
- استخدام الملقاط أو الكلابية الخاصة لنقل الحاويات من الأحواض الساخنة / الأفران / المستوقدات.
- لا تستخدم الأواني المعملية الزجاجية في الأكل أو الشرب.
- استخدام المدخنة الشفافة عند تداول الأحماض المركزة، والمواد القاعدية والكيماويات الخطرة.
- لا تفتح إطلاقا غطاء جهاز طرد مركزي قبل أن تتوقف الآلة.
- أضف الحامض الي الماء وليس الماء الي الحامض عند إجراء تخفيف للحامض.
- يجب دائما وضع بطاقات بيانات علي الزجاجات والأوعية، وغسل الزجاجات السابق احتوائها علي الكشافات، المحاليل، العينات والماء.
- يجب تداول حامض البيروكلوريك تحت المدخنة الشفافة مع تفادي ملامسته المباشرة مع المواد العضوية أو المطاط. وعند استخدام طريقة الأكسدة الرطبة لهضم العينة، يجب تحطيم المادة العضوية أولا بواسطة حامض النيتريك.
- أقرأ البطاقات الملصقة علي الزجاجات قبل فتحها.

ضبط الجودة المعملية

ضبط الجودة هي جزء هام من ضمان الجودة والتي حددتها ال ISO بأنها "التقنيات والأنشطة التشغيلية التي تستخدم للوفاء بمتطلبات الجودة". ويعتبر تقدير أو تقييم الجودة أمراً ضروريا للتأكد أن الاجراءات المتخذة لمراجعة الجودة فعالة. وعلي ذلك، فإن المراجعة الدقيقة لكل الأنشطة والعمليات المختبرية ما هي إلا لتأكيد أن النتائج المعلنة عن نوعية منتج ما، هي ضمن حدود المعايير المقبولة للدقة.

وفي نظام ضبط الجودة، يراعي الخطوات التالية، التي إذا تم اتباعها بإحكام، سوف تضمن أن النتائج المتحصل عليها مقبولة ويمكن التحقق منها بواسطة مختبر آخر.

- مراجعة أداء الأجهزة
- معايرة الأجهزة والكيماويات
- تطبيق نظام مراجعة عينة من كل مجموعة عينات كأسلوب لضبط العمل بالمختبر
- المراجعة الخارجية – تبادل برامج العمل بين المختبرات

ولتأكيد الحصول علي نتائج دقيقة ومقبولة لتحليل عينة ما، لابد أن يجري العمل بالمختبر بأسلوب منظم حيث تتم معايرة الأجهزة معايرة صحيحة، مع اتباع الأساليب والتقنيات المعملية السليمة التي تؤدي الي نتائج ثابتة، كما يجب اتباع الممارسات المعملية الدقيقة لضمان مستوي عالي من الجودة. وتلك الممارسات المعملية السليمة يمكن تعريفها بأنها "العملية التنظيمية والشروط التي يتم بموجبها تخطيط الدراسات المعملية، وأدائها، ومراقبتها ، وتسجيلها، وتقرير نتائجها". وعي ذلك، فإن هذه الممارسات تستدعي أن يعمل المختبر بنظام الاجراءات والبروتوكولات، حيث تحدد الاجراءات أيضا بأنها "اجراءات التشغيل النموذجية"

إجراءات التشغيل النموذجية

إجراءات التشغيل النموذجية (SOP) هي وثيقة تشرح العمليات التي نلجأ اليها بانتظام فيما يتعلق بنوع الفحص. والهدف من هذه الوثيقة هو القيام بعملية التحليل بطريقة صحيحة ودائما بنفس الأسلوب. ويجب أن يتوفر وجود هذه الوثيقة حيث يجري العمل. وإذا كان هناك مبرر للخروج عما بهذه الوثيقة، فإن الإجراء المعدل يجب أن يوثق بصورة تامة.

ويجب أن تعد هذه الوثيقة بالمختبر لتخدم الأغراض التالية:

- الاحتياطات الأمنية
 - طرق تشغيل المعدات والأجهزة
 - أساليب التحليل وإعداد المواد الكشافة
 - تسجيل العينات
- وباختصار، فإن كل العمليات يجب أن توثق جيدا ولا يترك شئ للتحمين بأي حال من الأحوال.

الخطأ، والدقة، والإحكام وحدود الإكتشاف

الخطأ

الخطأ عنصر هام في عملية التحليل. ففي أي تحليل، عندما يتم قياس كمية ما بأقصى دقة يمكن أن يحققها الجهاز والأسلوب والقائم بالعملية، فقد وجد أن نتائج التحليلات المتتالية تختلف فيما بينها بدرجة أكبر أو أصغر. ولذلك يكون متوسط القيم هو الإحتمال الأكبر. وقد لا تكون هذه القيمة هي الحقيقية بصفة دائمة، ففي بعض الأحوال يكون الفرق في القيم المتعاقبة صغيرا ، وفي أحوال أخرى يكون كبيرا، وتعتمد مصداقية النتيجة علي مقدار هذا الاختلاف. وقد يكون هناك عدد من العوامل المسؤولة عن هذا الاختلاف والتي يشار اليها بكلمة "الخطأ". والخطأ بمعناه الحرفي هو الفرق بين القيمة التي تم إدراكها أو قياسها وتلك القيمة الحقيقية أو الأكثر احتمالا. والخطأ المطلق يعبر عن مدى الدقة في إجراء القياس، وعلي ذلك، فيمكن تعريف دقة التحديد بقياس قيمة معينة بمدى الانسجام بين هذه القيمة وبين القيمة الواقعية أو الأقرب ما تكون لذلك. والخطأ النسبي هو الخطأ المطلق مقسوما علي القيمة الحقيقية أو القيمة الأكثر احتمالا. وقد يتسبب الخطأ نتيجة لأي انحراف عن الخطوات الواجب اتباعها في التحليل، كما أن نقاوة الكيماويات، وتركيزها أو قوتها، ودقة الأجهزة ومهارة الفني القائم بالعملية هي أيضا عوامل ذات أهمية

الدقة والإحكام

إن النقاط الهامة الأخرى التي يجب أن تراعى في عملية التحليل، وهي الدقة والإحكام. وتعرف الدقة بأنها الانسجام والاتفاق في سلاسل القياسات لنفس الكمية. والانحراف المتوسط أو الإنحراف المتوسط النسبي يعتبر قياساً لمدي الدقة. وفي تحليلات الكميات، فإن دقة القياس نادراً ما تتعدى 1 - 2 جزء من ألف.

وبينما يعبر الإحكام عن صحة القياس، تعبر الدقة عن إمكانية تكرار نفس النتيجة بنفس القياس. والدقة دائماً ملازمة للإحكام، ولكن الدرجة العالية من الدقة لا تعني بالضرورة الإحكام. فإلزام الإحكام التام في التحليلات، لا بد من الإحكام في إعداد المواد الكاشفة بما ذلك المعايرة التامة لها. وليس ذلك فحسب، فحتى نقاء الكيماويات لها أهميتها. ففي كل التقديرات، عندما يكون القياس الحقيقي لعنصر أساسي في العينة بأسلوب "تكون الراسب" أو "تكون المركب" أو "تركيز في المادة المذيبة" هو جزء من خطوات التقدير، يجب أن تكون الكاشفات الكيماوية المستخدمة في هذه العمليات على درجة عالية من النقاء ويرمز لها بأنها من الدرجة AR (أي كاشف تحليلي Analytical Reagent).

حدود الاكتشافات

في التحليلات الخاصة بالكميات متناهية الصغر (أثار) من المعادن في التربة، أو النباتات والأسمدة أو من أجل الرقابة على البيئة، تظهر الحاجة إلى قياس المحتويات القليلة جداً من المادة محل التحليل. والأجهزة الحديثة قادرة على مثل هذه التحليلات. ومع ذلك، فعند اختيار الأجهزة وأساليب الاختبار لهذا الغرض، من المهم الحصول على معلومات عن أدنى حدود يمكن عندها اكتشاف المادة، أو تحديد وجودها بثقة كافية. وهذه الحدود يطلق عليها حدود الاكتشاف أو أدنى حدود للاكتشاف.

ضبط الجودة لإجراءات التحليل

المعايير الحرة

إن الهدف النهائي لإجراءات ضبط الجودة هو تأكيد إصدار بيانات تحليلية بالحد الأدنى من الخطأ مع ثبات تلك البيانات. وعندما يتم اختيار الطريقة المناسبة، فإن تنفيذها يجب أن يتم بأعلى درجة من الحرص. ومن أجل مراجعة وتأكيد دقة التحليلات، تستخدم المعايير الحرة في نظام التحليل. ويبين مدى الإنحراف في القيمة التحليلية عن العينة المعيارية مدى دقة التحليل. ويمكن إعداد المعيار الحر في المختبر من الكيماويات النقية. وعندما يتم عمل معيار جديد، فإن باقي المعايير القديمة يجب أن تقاس وذلك كمراجعة تبادلية. وإذا كانت النتائج ليست في حدود مستويات الدقة المقبولة، فإن عملية المعايرة، وإعداد منحني المعايرة وإعداد المواد الكاشفة يجب كلها أن تعاد إلى أن يتم الحصول على نتائج مقبولة عن العينة المعيارية. بعد التأكد من ذلك يمكن البدء في تحليل العينات الغير معروفة.

وبالإضافة إلى المعايير الحرة، يمكن أيضاً استخدام العينات المرجعية المعتمدة "معياري" وهذه العينات يمكن الحصول عليها من بعض المختبرات المنتقاه حيث تجري التحليلات على معيار سبق إعداده في أكثر من مختبر، وتستخدم تلك العينات وما يصاحبها من بيانات القيم التحليلية، كوسيلة للمرجعة لضمان دقة التحليلات.

التحليل الصوري

إن التحليل الصوري هو تحليل بدون محلل أو غير منسوب لشيء أو بمعنى آخر تحليل بدون عينة وذلك باتباع كافة خطوات الإجراء باستخدام المواد الكاشفة فقط. واستخدام التحليل الصوري يؤدي الي تقدير أي تلوث في الكيماويات المستخدمة في التحليلات الحقيقية. وهذا "التقدير" يطرح من تقديرات العينات. ويجري استخدام عينات "الضبط المتتابع" في مجاميع طولية في التحاليل الآلية. وبوجه عام تستخدم عينتان، واحدة ذات محتوى ضئيل من المادة المحللة، والثانية ذات محتوى عالي جدا من مادة معروفة (ولكن المحتويات تقع في مجال عمل طريقة التحليل)، وذلك كمعايير لمراقبة دقة التحليل.

العينة العمياء

هي عينة معروف محتواها من المواد رهن التحليل. وهذه العينة يتم حشرها بواسطة رئيس المختبر ضمن العينات الأخرى والتوقيعات الغير معلومة للقائم بالتحليل. ويمكن أن تعمل أنماط مختلفة من مادة العينة بمثابة عينات عمياء مثل عينات الضبط والمراجعة والبقايا ذات الحجم الكافي من عينات الاختبار (تم تحليلها عدة مرات) ومن الضروري أن يعلم القائم بالتحليل باحتمال وجود عينة عمياء ولكنه ليس باستطاعته اكتشاف أي مادة بأنها عينة عمياء.

صلاحية إجراءات التحليل

الصلاحية هي عملية تحديد مواصفات الأداء لطريقة أو إجراء ما. وهو مطلب مسبق للحكم علي مدى ملائمة بيانات التحليل الناتجة للاستخدام المقصود. وهذا يدل علي أن إحدى طرق التحليل يمكن أن تكون صالحة في ظروف معينة وغير صالحة في ظروف أخرى. وإذا كان هناك طريقة شديدة الدقة والاحكام ولكن تطبيقها يلزمه تكلفة عالية، فيمكن استخدامها فقط عندما تكون هناك حاجة لبيانات بهذا المستوى من الدقة. وقد تصبح البيانات غير كافية، إذا كان الأسلوب المستخدم أقل دقة عما هو مطلوب. وهناك نوعان من الصلاحية كما يلي:

الضبط الداخلي للجودة

بالإضافة الي صلاحية أساليب التحليل، يلزم وجود نظام ضبط داخلي للجودة يجب أن تراعيه المختبرات لتأكيد قدرتها عل اصدار بيانات تحليلية موثقة بالحد الأدنى من الخطأ. ويتطلب ذلك مراقبة مستمرة لعملية التحليل ومراجعة منتظمة من يوم لآخر للبيانات الناتجة لتقرير ما إذا كانت هذه البيانات موثوق فيها بالدرجة الكافية قبل اطلاقها.

ويحتاج الأمر الي اتخاذ الخطوات التالية من أجل الضبط الداخلي للجودة :

- استخدام عينة صورية وعينة ضبط (معيارية) غير معلوم تركيبهم مع العينات الأخرى الجاري تحليلها.
 - يجب تقريب القيم التحليلية الي الكسر العشري الثاني. وإذا كان الكسر الثالث أقل من (5) يمكن أن يحذف، وإذا كان أكبر من (5)، ترفع قيمة الكسر العشري الثاني بمقدار (1).
- ونظرا لأن نظم ضبط الجودة تعتمد بشدة علي عينة الضبط، لذا يجب أن يجري إعداد تلك العينة بكل الحرص لضمان أن:

- العينة متجانسة
- مواد العينة ثابتة
- المادة تحوي حبيبات متماثلة ومضبوطة الحجم حيث تم نخلها بمنخل معياري.
- توفر المعلومات ذات الصلة ، مثل صفات العينة وتركيز المادة رهن التحليل بها.

أما العينات رهن التحليل فهذه أيضا يمكن تجهيزها /إعدادها بطريقة تجعل حبيباتها متماثلة الحجم ومتجانسة مثل الحال في العينة المعيارية (عينة الضبط).

وعند ملاحظة أي خطأ في التحليل عن طريق المراجعة الداخلية، يجب اتخاذ الإجراءات التصحيحية. وقد يرجع الخطأ للعملية الحسابية أو لعملية الطباخة. فإذا لم يكن كذلك، يتطلب الأمر مراجعة شاملة للتحقق من العينة، والمعايير، والكيمويات، والسحاحات، أدوات التقسيم، الأدوات الزجاجية، اجراءات المعايرة، والأجهزة. وقد تكون المعايرة قديمة أو حدث خطأ في إعدادها. وقد تبين السحاحة حجما خاطئا، أو لم تنظف الأدوات الزجاجية جيدا، أو يكون هناك خلل بالأجهزة أو حدث انسداد في أنبوبة سحب العينة خاصة في حالة حدة الضوء في الفوتوميتر (مقياس شدة الضوء) أو الاسبيكتروفوتوميتر (المصور الضوئي الطيفي) للامتصاص الذري. وهكذا، فيجب اكتشاف مصدر الخطأ وإعادة تحليل العينات مرة أخرى.

صلاحية الاجراءات القياسية

المقصود بذلك هو صلاحية الأساليب الحديثة أو القائمة والاجراءات التي سوف تستخدم في كثير من المختبرات بما في ذلك الاجراءات من الجهات المحلية او من ال ISO. ويشمل ذلك برنامج تشاركي بين المختبرات لاختبار اسلوب التحليل بواسطة أحد المختبرات المختارة ذات السمعة الطيبة طبقا لبروتوكول صادر لكل المختبرات. ولا تعتبر الصلاحية غير لائقة عند استخدام اجراءات غير معيارية فحسب ، بل تكون أيضا كذلك عند استخدام الاجراءات المعيارية وربما أكثر عندما يتم ادخال اجراءات معيارية متباينة. ويجب أن تسجل اختبارات الصلاحية في تقرير خاص، يستدل منه علي مدي ملائمة إحدى طرق التحليل لغرض معين.

العينة التشاركية للمختبرات وبرنامج تبادل البيانات:

إذا كان هناك اشتباه في وقوع خطأ باجراءات التحليل، ولم يمكن الوصول لحل مشكلة عدم الوثوق في النتيجة بسرعة، فليس من غير المألوف أن يجري تحليل العينة في مختبر آخر ينتمي لنفس المؤسسة. وقد ترجح النتائج الواردة من المختبر الآخر أو لا ترجح، وبالتالي يستمر وجود الشك. وفي هذه الحالة قد يكون من الضروري والمفيد إعادة التحليل بواسطة مختبر ثالث معتمد، من أجل حل هذه المشكلة.

وأى مختبر معتمد يجب أن يشارك في برنامج واحد علي الأقل لتبادل الخبرات بين المختبرات. ومثل هذه البرامج موجودة فعليا علي المستوي المحلي، والإقليمي، والقطري والدولي. كما يتواجد أيضا برنامج التبادل بين المختبرات من أجل دراسات أداء طرق التحليل، ودراسات أداء المختبرات نفسها.

وفي مثل تلك البرامج التبادلية، فقد دبرت بعض المختبرات أو المؤسسات نظاما يتم بموجبه في أوقات معينة ارسال عينات معروف تركيبها الي المعمل المشارك، بدون الافصاح عن هذا التركيب. وحينئذ يقوم المختبر المشارك بتحليل العينة بأسلوب معين والخروج بالنتيجة. ويوفر هذا الإجراء امكانية تقييم مدي الدقة في أسلوب التحليل المستخدم بالمختبر وكذلك مدي تطبيق الأساليب المقترحة بواسطة المختبر الرئيسي. وبعض هذه البرامج هي:

- البرنامج الدولي لتبادل التحليلات النباتية
- البرنامج الدولي لتبادل تحليلات التربة

وهما مدرجان تحت برنامج Wageningen لتقييم مختبرات التحليل التابع لجامعة Wageningen الزراعية بهولندا. أما البرامج الأخرى التي تديرها نفس الجامعة فهي:

- البرنامج التبادلي الدولي للترسيب من أجل اختبار الملوثات العضوية.
- البرنامج الدولي لتبادل عينات الدبال والنفايات

والمنظمة الدولية الأخرى التي ترعى مختبرا وبرنامجا لتقييم أساليب التحليل، هي اتحاد الكيمايين التحليليين الرسميين بالولايات المتحدة. وأحد أكثر البرامج المشهورة لهذا الاتحاد، يشمل مختبرات ضبط الجودة للأسمدة وأساليب التحليل لاختبارها.

ومن أجل مراجعة جودة التحليل، سوف يستفيد كل مختبر إذا أصبح جزءا من برنامج خاص بمراجعة وتقييم العينات وطرق تحليلها. كذلك يجب أن يتبع بانتظام نظام المراجعة الذاتية داخل المختبر نفسه.

1. تربة أراضي المناطق الجافة وشبه الجافة

إن تربة، المناطق الجافة وشبه الجافة، هي نتاج عوامل عديدة، أهمها المناخ، والمواد الأصلية، التضاريس (Topography). والصخور الساندة هي الحجر الجيري (Limestone)، والحجر الرملي (Sandstone)، والصخور المتحورة (Metamorphic). ويتكون الجبس على أعماق مختلفة في التربة، كما تتراكم فيها الأملاح بسبب عدم فاعلية عملية الغسيل. لذا يغلب في الأراضي الجافة وشبه الجافة وجود الأنواع التالية من أترية:

1-1. التربة الكلسية (Calcareous Soils)

غالبية التربة في المناطق الجافة وشبه الجافة بالشرق الأدنى تحوي نسباً عالية من الكالسيوم (Ca) لأنها تشكلت من الحجر الجيري (Limestone) والحجر الرملي (Sandstone) ذوي الصلابة المختلفة. وتؤثر كمية كربونات الكالسيوم، $CaCO_3$ ، (الإجمالي والجزء الفعال منها) وتوزعها في عمق قطاع التربة، على خصائص التربة الفيزيائية والكيميائية. وطبقاً للأبحاث التي قام بها المؤلفان في لبنان أنه في وجود نفس الكمية من كربونات الكالسيوم، تبيّن أن التربة التي تشكلت من حجر جيري صلب تحوي نسب من الكالسيوم الفعّال أدنى مما هو في التربة التي تشكلت من حجر جيري لين كالم "حوارة" (Marl). والتربة الغنية بكربونات الكالسيوم متواجدة بكثرة في مختلف مناطق الشرق الأدنى بسبب الأحوال المناخية الحارة والجافة على مدار السنة ومعدل الأمطار السنوي المحدودة (400 مل أو أقل) الذي لا يكفي لإذابة الجير وغسله من قطاع التربة. وبالرغم من أن لهذه التربة إمكانية للتنمية الزراعية إما على المطر أو بالري، تبقى إنتاجية هذه الأراضي محدودة بسبب ضعف الخصوبة، والقدرة على الاحتفاظ بالماء، والعمق المحدود للتربة، ووجود طبقة صماء، ممارسات الري الخاطئة.

2-1. التربة الجبسية (Gypiferous soils)

يوجد الجبس في تربة المناطق الجافة وشبه الجافة بكميات تتراوح ما بين آثار، الي مستويات مرتفعة. ومصدر الجبس في بعض أنواع التربة هو المواد الرسوبية التي تشكلت منها التربة، وفي أنواع أخرى يتكون الجبس نتيجة ترسب الكالسيوم Ca^{2+} مع السلفات SO_4^{2-} (أثناء عملية التملح). عندما يصعد الماء بالخاصية الشعرية ليجل محل الماء المتبخّر. وتحوي التربة الجبسية أشكالاً مختلفة من الجبس بسبب تنوع مصادر الجبس والظروف التي تشكل تحنها (Boyadgiev and Sayegh, 1992). أما درجة ذوبان الجبس فهي منخفضة جداً، حيث تبلغ 2.6 غم/لتر من الـ $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ في الماء المقطر على درجة حرارة $25^\circ C$. لذا، فأستمرار عمليات الري في الأراضي الجبسية تؤدي الي هبوط وانهايار لأنظمة الري والصرف.

وتقدير الجبس الكلي في التربة بالطرق التقليدية غير موثوق به، كما برهن ذلك صايغ وفريقه (Sayegh et al., 1978). فالأرقام الواردة في المصادر العلمية هي أدنى بكثير مما هو حقيقة موجود في التربة.

3-1. التربة المتأثرة بالأملاح (Salt affected soils)

منذ العصور القديمة، لوحظ وجود كميات زائدة للأملاح في بعض أنواع التربة. ونمو النباتات فيها متبعثرة، ويكون الإنتاج منخفضاً، مما يجبر المزارعين عادة على هجر أراضيهم لتتصحّر. وتبدأ الملوحة عادة في الأراضي المنخفضة والسينة الصرف بالمناطق الجافة وشبه الجافة.

وبالنظر للعلاقة ما بين معدل المطر (P, Precipitation) والنتح من النبات (ET, Evapotranspiration)، يتبيّن أن نسبة معدل المطر إلى نتح الماء، (E/PT)، يكون ما بين 0.03 – 0.2 في المناطق الجافة، وما بين 0.2 – 0.5 في المناطق الشبه جافة (Balba, 1995).

وإن إدخال الري بدون توفير نظام صرف فعال بالمناطق الجديدة، يؤدي الي خلل في التوازي المائي، مما يسبب ارتفاع مستوي المياه الجوفية والي عداقة التربة وتملحها أو تحولها الي تربة صودية.

ويلخص الجدول التالي الصفات الكيميائية للتربة المتأثرة بالأملاح.

جدول 1. الخصائص الكيماوية للتربة الملحية، – والصودية الغير ملحية والتربة الصودية الملحية.

التربة Soil	EC dS/m	ESP	pH
ملحية Saline	>4.0	<15	<8.5
صودية غير ملحية Sodic (nonsaline)	<4.0	>15	>8.5
صودية ملحية Saline Sodic	>4.0	>15	<8.5

Source: Richards, 1954

2. جمع عينات التربة وتحضيرها

تؤخذ عينات التربة لأغراض مختلفة، وعليه تستخدم طرق تحليل مختلفة ومتعددة لتفي بالغرض الذي من أجله جُمعت العينة. والأخطاء التي قد تقع في جمع العينات تفوق في الكثير من الأحيان الأخطاء التي تُقترف في تحليلها. فإن لم تكن العينات حقاً ممثلة للأراضي المراد دراستها، فنتائج التحليل لن تعكس خصائص التربة المراد فحصها. لذا، فإن جمع عينة ممثلة للحقل هي أهم خطوة في عملية تحليل التربة. ولكي تكون نتائج التحليل صحيحة ودقيقة في إظهار خصائص التربة بدقة، يشترط Cline (1944) توفر ما يلي:

- أن يكون إجمالي العينة الكلية ممثلاً بدقة لكافة التربة التي أخذت منها.
- أن لا يكون قد حصل أي تغيير على العينة الإجمالية أو العينات الفرعية قبل التحليل.
- أن تمثل العينات الفرعية التي تم تحليلها العينة الإجمالية بشكل دقيق.
- أن تكون بيانات التحليل الناتجة تعبر عن حقيقة خواص التربة الجاري فحصها.

1-2 أدوات جمع عينات التربة

أفاد طرزي (1984) أن أية أداة لأخذ عينة تربة يجب أن تُلبى غرضين مهمين. الأول، هو أن تسمح بانتشال شريحة تربة متجانسة من السطح حتى العمق التي تصله الأداة. والثاني، هو أن تأخذ نفس كمية التربة من كل موقع. وقد نبين أن البريمة الأسطوانية (bucket auger) والجاروف والمسطارين تفي بهذا الغرض في جمع عينات التربة من الأراضي الجافة وشبه الجافة.

وبشكل عام، يُمكن تقسيم أدوات جمع عينات التربة إلى ثلاثة مجموعات:

1. أشكال مختلفة من البريمات اليدوية، مثل:
 - البريمة الأسطوانية (bucket auger). هي بريمة أسطوانية الشكل ينتهي طرفها السفلي بأجزاء قاطعة. وهذا النوع هو أفضل ما يلائم التربة ذات القوام المتوسط.
 - البريمة الهولندية (Dutch Auger). تصلح هذه البريمة لأخذ العينات من التربة الرطبة المتماسكة والتي تحتوي نسبة مرتفعة من الطين. وهي لا تصلح في التربة الرملية أو الحصى أو الحجرية، ولا في التربة الجافة من أي قوام.
 - بريمة Jarret. وهي بريمة أسطوانية مفتوحة وذات قواطع جانبية متينة. يسهل إدخالها في كافة أنواع التربة خاصة الحصى، لكن لا تستطيع أخذ عينة من تربة جافة غير متماسكة إلا إذا جري ترطيبها أثناء اختراقها.
 - البريمة اللولبية. لهذه البريمة قيمة محدودة في فحص ووصف التربة لكونها تبعثر التربة بشدة أثناء أخذ العينة. لكنها تفيد في جمع العينات لتقييم خصوبة التربة، والفحص السريع لمراجعة الحدود المبينة على الخرائط لكنها لا تصلح للإستخدام في الأراضي الرملية أو الحصى.
 - أنبوية أخذ العينات: هذه الأداة مفيدة لسرعة أخذ عينة من سطح التربة ذات القوام المتوسط. وهي غير فعالة في التربة الغير متماسكة أو في الطين الجاف أو التربة الحصى.
 - الألواح والكواريك والجاريف والسكاكين الخاصة بنزع العينات

2. الأنابيب والإسطوانات.

3. الأجهزة الهيدرولوجية التي غالباً ما تكون مجهزة بنظام هيدروليكي.

2-2 جمع عيّنات التربة لاختبارات الخصوبة

التحليل الكيميائي لعيّنات التربة هو المصدر المهم للمعلومات عن مدى توفر العناصر الغذائية للنبات. فعندما تفحص نتائج تحاليل التربة بالترابط مع تجاوب النبات و تجمع العيّنات بشكل صحيح، تصبح نتائج التحاليل الكيماوية لعيّنات التربة محورا قويا تدور حوله القرارات الخاصة باضافة السماد وإدارة خصوبة التربة. ولكن، إذا كان الربط ما بين نتائج التحاليل المخبرية وتجاوب النبات ضعيفا، أو أن عيّنات التربة غير مُمثلة للحقل، فعندها تُصبح نتائج التحاليل غير مفيدة بل قد تكون مضللة. وهذا يقودنا للتساؤلات التالية:

هل مستوي العناصر الغذائية بالتربة المحدد بالتحليل الكيماوي له علاقة حقيقية بعملية امتصاص النبات للمغذيات ولنمو النباتات؟ وبتعبير آخر، هل لاختبار التربة علاقة بالاحتياجات السمدية وبأداء المحصول بالحقل؟

لأي مدى تُمثل عيّنات التربة الحقل رهن الإختبار؟ قد يصحح الترابط سليماً ما بين نتائج التحاليل وتجاوب المحصول، لكن إذا كانت هذه العيّنات غير مُمثلة لحالة الحقل. عندها لا يكون لنتائج تحليل التربة قيمة كبيرة.

1-2-2 توقيت أخذ العيّنات

لا يمكن تحديد وقت معين لاخذ عيّنات التربة، لكن يجب تفادي جمع العينة بعد إضافة الأسمدة. والنقطة الرئيسية هي ان تجمع العيّنات في وقت مناسب يسمح بإجراء تحليلها لتقرير معدلات الأسمدة اللازمة وإضافتها. ويمكن جمع عيّنات التربة خلال فترة نمو المحاصيل عندما يكون محتوى العناصر الغذائية بالتربة معرضاً للاجهاد.

مثال ذلك فإن العيّنات التي تُجمع في فصل الربيع، حين يحل الدفء في التربة، يمكن أن تعطي أرقاما للفوسفور المتوفر أدنى مما تعطيه العيّنات التي تُجمع في فصل الخريف حين تكون حرارة التربة منخفضة. وهذا الإنخفاض للفوسفور في عيّنات الربيع قد يكون ناتجاً عن إزدياد نشاط الأحياء الدقيقة في التربة وإستهلاكها لجزء من فوسفور التربة. وهذا ما يجب اخذه بعين الاعتبار في عملية التقييم.

وعادة ما يوصى بإجراء اختبار لتربة أي حقل مرة كل ثلاث سنوات. وغالباً ما يكون هذا كافياً لتحديد مدي كفاية برامج التسميد، أو أن هناك حاجة لزيادة أو خفض معدلات الإضافة.

2-2-2 أعماق العيّنات

عادة ما تُجمع عيّنات التربة في الحقول المنزرعة من الطبقة السطحية لعمق 15 - 25 سم. و في حالة حرت الحقل لعمق 30 سم، تؤخذ العيّنات لهذا العمق. وفي الحقول التي يتم تسميدها بنثر الأسمدة على سطح التربة، تُجمع العيّنات أيضا حتي عمق الحراثة وهو 15-25 سم. وفي الحقول المعدة لزراعة الخضر، ينصح بأخذ عيّنات منفصلة؛ واحدة من عمق 0 - 15 سم، و ثانية من عمق 15 - 25 سم. أما في بساتين أشجار الفاكهة، فالعيّنات تؤخذ من عمق 0 - 30، 30 - 60، و 60 - 100 سم، إذا كانت الجذور تصل لهذا العمق.

2-3 طرق جمع العيّنات.

هناك طرق عديدة لجمع عيّنات من الحقل لتحليلها مخبرياً لتقدير خصوبة التربة. ومن هذه الطرق:

1. العينة المركبة، وهي مكونة من عدة عيّنات فردية تؤخذ من عدة مواقع تختار عشوائياً في الحقل.
2. العيّنات الفردية المتعددة، التي يؤخذ كل منها من موقع يُحدّد بنظام على خريطة الحقل.

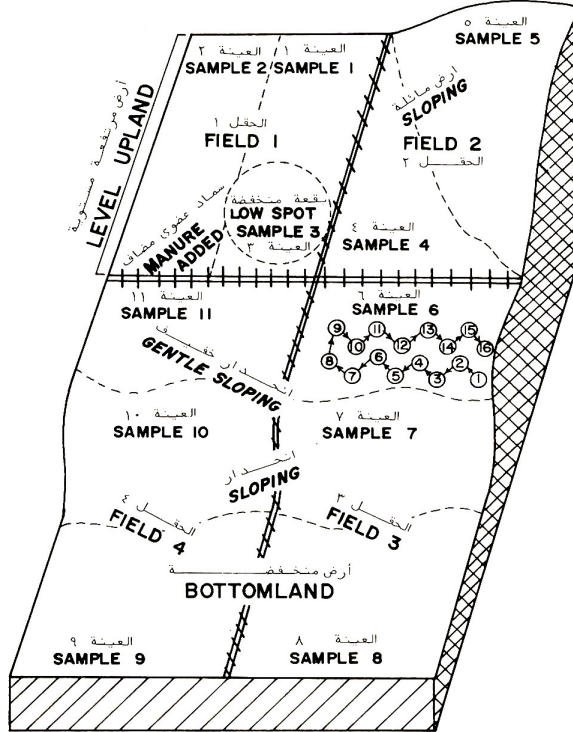
وطريقة أخذ العينات المنفردة المتعددة هي الأفضل، فإلى جانب إعطائها تقديرات عن مستوى المغذيات النباتية، فهي تبيّن التباين في الخصوبة من موقع لآخر بالحقل.

ولن يكون تكثيف جمع العينات عمليا إلا إذا كان لها مردود إقتصادي يبرر التكلفة، أو في حال وجود فروقات كبيرة في طبيعة تربة الحقل. وعليه، تكون طريقة جمع العينة المركبة هي المعتمدة في الغالب. والعينة المركبة الجيدة تتكون من عدد من العينات الصغيرة المأخوذة من عدة مواقع تُختار عشوائيا. ويبلغ عدد هذه المواقع 15 – 20 موقع لكل 1 – 5 هكتار من مساحة الحقل المزروع. والهدف من هذا الإجراء هو تخفيف تأثير أي فروقات بالتربة. مثال ذلك، إضافات السماد في خطوط بطريقة غير متجانسة على سطح التربة. كما قد يكون هناك مواقع تجمع لنفايات النباتات أو الأسمدة. فالعينات المأخوذة من مثل هذه المواقع تكون مُضللة. لذلك يوصى بأن تكون العينة المركبة مؤلفة من عدة عينات صغيرة مأخوذة من 15 – 20 حفرة في الحقل.

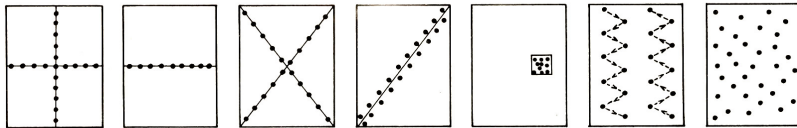
إذا كان جزء من الحقل يختلف عن بقية الحقل في المظهر والميل والصرف ونوع التربة والمعاملات السابقة، فيؤخذ منه عينة على حدة. كذلك، فإن أجزاء الحقل التي لا يمكن التعامل معها أو تسميدها بصورة منفردة يجب أن يلغى جمع العينات منها. ويبيّن الشكل 1 طريقة جمع العينات في ارض غير متجانسة. والكثير من المزارعين يوجهون عنايتهم نحو هذه البقع الصغيرة في حقولهم ويعاملونها كما تتطلب الحاجة. لذلك يُفضل جمع عينات منفردة من هذه البقع ذات النمو المحصولي الضعيف.

ويراعى عند جمع العينات تجنب خطوط التسميد الحديثة والخطوط البائرة والمواقع القريبة من الطرق أو أماكن تجميع الأسمدة المعدنية والعضوية أو بقايا النباتات. وقد يُصبح من الأمثل أن نحدد عشوائيا مواقع أخذ العينات الصغيرة. إلا انه يمكن الحصول على معلومات تعادل الطريقة العشوائية دقة ووثوقا بجهد اقل بكثير حين تكون الحقول متجانسة نسبيا، وذلك بخفض المساحة التي تُجمع منها العينات. وكثيرا ما يُنصح باتباع الخطوط المتعرجة في اختيار مواقع جمع العينات لضمان التوزيع المتجانس ويبيّن الشكل 2 بعض الطرق المختلفة لأختيار مواقع جمع عينات التربة.

أما في بساتين اشجار الفاكهة، وخاصة تلك التي تروى بالتنقيط، فيجب أخذ العينات من منطقة الجذور، أي من التربة المرطبة بماء الري، التي تصل لعمق الجذور. ويتم اختيار الأشجار التي تؤخذ العينات من حولها إما عشوائيا أو بشكل نظامي. وعدد هذه الأشجار يتراوح ما بين 5 – 20% من عدد أشجار البستان.



شكل 1. طريقة جمع عينات لاختبار خصوبة التربة بأرض غير متجانسة، ويشير رقم العينة إلى عينة مركبة (ترزي 1984).



شكل 2. اختيار مواقع جمع عينات التربة لاختبار الخصوبة.

3-2 جمع العينات من أجل مسح التربة ودراسات تصنيفها.

حصص الأراضي هو نوع من دراسات علوم التربة لمعرفة صفاتها في مساحات تبلغ بضعة هكتارات الي مئات أو آلاف الهكتارات، ووضع خرائط لها. وعادة، ماتكون عمليات الحصر هذه مشاريع تقوم بها الحكومات لتحديد وتنمية استخدامات هذه الأراضي وإدارتها.

ففي الأراضي التي تشكلت فيها طبقات أفقية متميزة، تُحفر فيها حفر لعمق يصل إلى حوالي المترين، أو الي الطبقة الصخرية إذا كانت على أعماق أقل من مترين، حيث تدرس قطاعات التربة وتؤخذ عينة من كل طبقة. أما إذا كانت التربة لم تتكون من الصخور أو المواد الأم التي تحتها، كما في حالة التربة الرسوبية، عندها تؤخذ عينات متتابعة العمق؛ كان تؤخذ عينة من كل 20 – 30 سم عمق.

في البداية، ينطلق خبراء مسح الأراضي من نقطة مُميّزة وثابتة، ثمّ يختارون الحقول أو مواقع الحفر التي تُجمَع عينات التربة منها. وتختلف تفاصيل الأساليب المتبعة حسب تضاريس وجيولوجيا المنطقة وطبيعة الأراضي واختلاف أماكنها. والأهم في هذا الأمر هو الغاية التي من أجلها يُجرى المسح، ومقياس رسم الخريطة وطبيعة نماذج التربة محل المسح ويمكن بداية، دراسة الصور الجوية، والصور المأخوذة بالاستشعار عن بعد بواسطة الأقمار الاصطناعية، للحصول على المعلومات الأساسية والتعرف على التضاريس والمظاهر السطحية للأراضي المراد دراستها. ومدى الإعتماد على صحة هذه الصور الجوية يخدم ويساعد على تنفيذ مشروعات المسح.

وكثافة الحفر في الأراضي ذات التفاصيل البسيطة والمتجانسة، تكون حفرة واحدة لكل 15 – 20 هكتار. أما في نماذج الأراضي المعقدة، تُصبح هذه الكثافة حفرة لكل 10 – 15 هكتار. ونقل الحاجة للحفر في الأراضي الفقيرة كالتربة صخرية أو قليلة العمق، أو المتعرجة أو في حالة التلال. هذا ويربط خبراء مسح الأراضي بين سلاسل التربة والمجموعات المتكاملة لخرائطها، وبين مجموعات تكوين الأراضي والملاحم السطحية لها.

2-4 تحضير العينات.

بعد جمع العينات من الحقل، توضع كلها في وعاء نظيف وتُفْتَت القلائيل، ثم تُخلط التربة جيداً ويؤخذ منها عينة ما يقارب وزنة الكيلوغرام، ويوضع في كيس من الخيش المبطن بالبلاستيك. وهذه هي العينة المركبة التي سترسل للتحليل. ويجب أن يُكتب على الأكياس وعلى بطاقات توضع في داخل الكيس رقم العينة والعمق الذي أخذت منه وتاريخ جمعها، ثم تُغلق الأكياس بإحكام وتوضع في صندوق خشب أو كرتون وترسل إلى المختبر. ومن الضروري تعبئة استمارة بيانات حقلية بها وترسل مع العينات الي المختبر (شكل 3). ويجب التأكد من دقة المعلومات المُدونة وعدم الإجابة على الأسئلة التي لا تتوفر أجوبة صحيحة لها.

وفي المختبر تُنثر العينات على صواني بلاستيكية في طبقة رقيقة كي تجف بالهواء. وهذه هي الطريقة المقبولة للمحافظة علي العينة والحد من فرص حصول تفاعلات في عينة التربة المبعثرة. ولا يُسمح بترك عينة التربة رطبة لفترات طويلة من الوقت، لذا تُفْتَت الكتل الترابية بعناية إذا وجدت، لتسريع عملية التجفيف. فمن المفترض أنه بعد هذا التجفيف في الهواء تنخفض التفاعلات الكيماوية والبيولوجية في التربة إلى أدنى حد، لكنها تبقى مصدراً ممكناً للخطأ.

استمارة البيانات الحقلية

رقم العينة : العنوان: التاريخ:
 اسم الجامع : الجهة: الموقع:
 المنطقة : المساحة : الغطاء النباتي:
 اسم المالك: مصدر مياه الري: نوعية مياه الري:
 عمق العينة: محصول العام السابق:

طريقة انتقاء المواقع: عشوائية فردية
 خطوط متعرجة مركبة
 مسار القطرين عدد الثقوب
 خطين متقاطعين
 بقعة اختيارية

الغرض من التحليل: تقييم القدرة الميل السطحي: 1-2%
 تقييم الخصوبة 2-5%
 تقدير الملوحة 5-10%
 تصنيف التربة 10-25%
 غمر بأحواض اكثر من 25%
 طريقة الري: غمر بخطوط لم تروى سابقاً
 رشاشات 1-5 سنوات
 رشاشات محورية 5-10 سنوات
 ري بالتنقيط اكثر من 15 سنة
 ري بالأمطار

عدد سنوات الزراعة: لم تزرع من قبل جيد
 1-5 سنوات متوسط
 5-15 سنوات رديء
 اكثر من 15 سنة

الخلفية التسميدية : عضوي / كيميائي

التسميد العضوي المعدل
 التسميد غير العضوي (كيميائي) المعدل

ملاحظة: الأسئلة التي ليس لها إجابات دقيقة يجب تركها.

وللتسريع بعملية التجفيف، يمكن وضع العينات في مجرى تيار هوائي غير ساخن. فدرجة الحرارة يجب أن لا تتعدى الـ 35 مئوية لأن التجفيف على حرارة أعلى قد يحدث تغيرات كبيرة في الخصائص الطبيعية والكيميائية للتربة (Hesse, 1972). كذلك، قد ينتج عن التجفيف على حرارة مرتفعة إنتساق حبيبات التربة بعضها ببعض مما قد يؤثر بصفة خاصة في تحليلات توزيع حجم الحبيبات. ومن الممكن أيضا أن يؤدي التجفيف على حرارة مرتفعة إلى تغيرات كيميائية باكسدة العناصر وكذلك اختلاف محتوى التربة للعناصر الغذائية المتاحة (Sayegh 1986) بالإضافة الي ردود فعل الأحياء الدقيقة. وتختلف درجة هذه التغيرات حسب درجة الحرارة والفترة الزمنية للتجفيف.

ومن أجل القيام ببعض التحاليل السريعة، كتحديد النيترات والأمونيوم، يُجرى التحليل الكيماوي على عينة من التربة الرطبة كما جُمعت من الحقل. وتؤخذ عينة أخرى من هذه التربة لتحديد الرطوبة بها ثم تستخدم هذه لتعديل النتائج علي أساس التجفيف في الفرن.

2-5 طحن ونخل عينات التربة

للتمكن من خلط التربة جيدا، يلزم أولا تفتيت الكتل في العينة وطحنها إلى حبيبات متجانسة الحجم. فيعد تجفيف العينات تُفكَّت القلائل والكتل وتُخلط، ثم تُطحن لتمر في منخل مفاًس 2مم. ويجب الحرص على عدم كسر جزيئات التربة أثناء عملية الطحن. فالهدف من الطحن هو تخفيض عدم التجانس في العينة مع الكشف عن كامل السطح الخارجي للجزيئات من أجل التفاعلات الفيزيائية والكيميائية. وهناك ادوات متعددة لتفتيت وطحن التربة. ويعتمد إختيار المعدات على أربعة عوامل:

1. كمية التربة المطلوب تنعيمها.
2. درجة النعومة المطلوبة.
3. درجة التلوث المسموح بها.
4. طبيعة التحاليل المراد إجراؤها.

ويمكن تفتيت كتل التربة باستخدام المجرشة الآلية (jaw crusher، او الهون الفولاذي المقسي hardened) (steel mortars، أو الألواح الهزازة (rocking boards). (Tan 1996). فالمجرشة الآلية تُستخدم للكتل الكبيرة، والهون الفولاذي للكتل الأصغر، والألواح الهزازة للكتل الصغيرة. أما أنواع الطاحونات فهي الطاحونة المصفحة (friction mill)، الطاحونة الكروية (ball mill)، والطاحونة ذات العمود (rod mill)، أو الأهوان المصنعة من العقيق (agate) أو من كاربيد البورون (boron carbide). وللعينات الكبيرة تُستخدم الطاحونة المصفحة أو الكروية أو ذات العمود. ويتم قلب العينة بواسطة قضبان من الصلب الذي لا يصدأ في وعاء يتم قلبه لفترة من الوقت. وتعتبر الطواحين الكروية أو ذات العمود طواحين فعالة إذا استخدمت بإحكام (Coghill and Devaney, 1937). ومن أجل أقل تلوث ممكن، ومن أجل العدد القليل من العينات، يمكن استخدام الأهوان المصنوعة من العقيق أو من مادة كاربيد البورون.

وبعد الطحن تُنخل العينات في مناخل بفتحات 2.0 مم وتُخزن في وأوعية زجاجية أو بلاستيكية نظيفة ومحكمة الاغلاق بأسرع ما يمكن لتفادي امتصاصها لبعض غازات المختبر. ثم تُحفظ هذه العينات في غرفة باردة جيدة التهوية لتكون عينات رئيسية للتحليل. إما نخل التربة بمناخل ذات فتحات غير محددة، فتعطي نتائج لا يمكن مقارنتها بما هو متعارف عليه عالمياً. لذا، عند اعطاء النتائج يجب ذكر حجم فتحات المنخل المستخدم.

2-6 تقليص حجم العينات

عند جمع عينة كبيرة، يكون من الضروري تقليص حجم العينة لتسهيل تخزينها وتداولها. ويجب تقليص حجم العينة الإجمالية في حين يجب أن تكون العينات الفرعية المأخوذة للتحليل ممثلة لصفات التربة بالحقل رهن الفحص. ولتحقيق هذا الهدف يلزم قسمة التربة وأخذ عينات فرعية منها بطريقة عشوائية وغير متحيزة. ويمكن القيام بعملية تجزئة العينة الكبيرة باستخدام جهاز قاسم العينات الأتوماتيكي الذي يُقسم العينة الكبيرة إلى قسمين متساويين. (Krumbein and Pettijohn, 1938; Willard and Dhiel, 1943; Hesse, 1972). وتُعاد هذه الخطوة من التقسيم عدد من المرات حسب الحاجة.

و الطريقة الثانية لتقليص العينة الكبيرة هي تقسيمها الي أرباع، وتتم عن طريق توزيع التربة توزيعاً متجانساً على فرخ من البلاستيك النظيف وتقسيمها إلى أربعة أقسام متساوية كما هو موضح بالشكل 4. ثم يتم جمع

الجزئين 2 و3 وخطهما جيداً، والتخلص من باقي العينة. تكرر هذه العملية العدد المناسب من المرات حتى يصبح حجم العينة مناسباً.



شكل 4. تقليص حجم العينة بواسطة التقسيم إلى أرباع.

3. رطوبة التربة

تحتفظ التربة بالماء نتيجة لقوة الجذب بين حبيبات التربة والماء (Adhesion) وايضاً لتجاذب جزيئات الماء مع بعضها البعض (Cohesion) بالإضافة إلى قوة الخاصة الشعرية (Capillary) والناجمة عن حجم المسام أو المسافات الشعرية.

ويعبر عن درجة رطوبة التربة بمقيار pF أو بالضغط الجوي الذي يقاس بـ "البار" (bar). ويمكن أن يبقى الماء بالتربة تحت جهد يتراوح من pF = صفر (أي لا جهد) حتى pF = 7 (جهد عالي). والنقطة التي يبقى عندها الماء بالتربة بعد أن ينصرف الماء الزائد بواسطة الجاذبية تسمى السعة الحقلية pF = 2.54 . اما عندما تنخفض نسبة الرطوبة في التربة لدرجة يصبح النبات عندها غير قادر على امتصاص الماء اللازم لنموه ويبدأ بالذبول، يكون مقدار الجهد على الماء عندها قد وصل إلى pF = 4.2، فتعرف بنقطة الذبول. وكمية الماء المتوفرة بالتربة بين السعة الحقلية ونقطة الذبول هي الكمية التي يستفيد منها النبات، وتعرف بـ "الماء المتوفر" أو المتيسر للنبات (Available Water). وعندما تجف التربة بالهواء العادي، تصل درجة الجهد إلى pF = 6

الأدوات

- غلب معدنية لتحديد الرطوبة
- ميزان حساس
- فرن تجفيف كهربائي
- وعاء تجفيف (Dessicator)

الطريقة

1. توزن العلبه فارغة مع غطائها (W_1).
2. يوضع حوالي 50 غم من التربة في العلبه وتوزن مع غطائها والتربة (W_2).
3. توضع العلبه مفتوحة والغطاء تحتها في الفرن مع محتواها من التربة على درجة حرارة 105م° لمدة 24 - 48 ساعة، أو حتى ثبات الوزن.
4. تُخرَج العلبه من الفرن ويوضع الغطاء عليها بإحكام، وتُنقل الى وعاء التجفيف لتبرد.
5. بعد أن تبرد، توزن العلبه وهي مغطاة مع التربة (W_3).
6. تحسب النسبة المئوية لمحتوي الرطوبة على أساس الوزن الجاف للتربة

طريقة الحساب

$$\text{وزن الماء في التربة} = (W_2 - W_3)$$

$$\text{الوزن الجاف للتربة} = (W_3 - W_1)$$

$$\text{النسبة المئوية للرطوبة (على أساس الوزن الجاف)} = \frac{(W_2 - W_3)}{(W_3 - W_1)} \times 100$$

يُحسب "العامل التصحيحي للرطوبة" (moisture correction factor – mcf) لنتائج هذا التحليل، أو العامل الحسابي لكمية التربة التي توزن من أجل التحليل، كما يلي:

$$\text{العامل التصحيحي للرطوبة} = \frac{100 + \% \text{ رطوبة}}{100}$$

وعادة ما تُحسَب نسبة الرطوبة على أساس الوزن الجاف للتربة. لكن، ولبعض الأغراض، تُحسب النسبة المئوية للرطوبة على أساس الوزن الرطب للتربة، وهذا بإستبدال القسمة على وزن التربة الجاف ($W_3 - W_1$) بالقسمة على وزن التربة الرطب ($W_2 - W_1$) ، كما يلي:

$$(W_2 - W_3) = \text{وزن الماء في التربة}$$

$$(W_2 - W_1) = \text{الوزن الرطب للتربة}$$

$$100 \times \frac{(W_2 - W_3)}{(W_2 - W_1)} = \text{النسبة المئوية للرطوبة (على أساس الوزن الرطب)}$$

4. قوام التربة (Soil Texture) – توزيع حجم الحبيبات

1-4 مقدمة

إن قوام التربة، أو توزيع حجم حبيباتها، هي خاصية ثابتة تؤثر في الصفات الطبيعية والكيميائية للتربة. وهناك علاقة مباشرة بين حجم الحبيبة والمساحة السطحية الإجمالية للحبيبات في وزن معين من التربة وكما قل حجم الحبيبة، تزداد المساحة الإجمالية التي تعرف أكثر بأنها المساحة السطحية الإجمالية التي تعرف أكثر بأنها المساحة السطحية المعينة. ولما كانت معظم الصفات الطبيعية والكيميائية للتربة ترجع الي النشاط السطحي، فإن تحديد توزيع حجم الحبيبات يعتبر إجراءً أساسياً لتوصيف وتصنيف التربة.

ولما كانت حبيبات التربة تستقر بطبيعتها تحت عمود الماء، فيمكن تصنيفها حسب حجم الحبيبات. فالحبيبات الخشنة، كالرمل مثلا تسقط الي القاع بسرعة أكبر من الحبيبات الناعمة. وبسبب المعدل المتباين لاستقرار الحبيبات الي القاع، يمكن فصل الحبيبات عن بعضها تبعاً لاختلافات أحجامها. ويستخدم هيدروميتر Bouyoucos المدرج في قراءة كمية الحبيبات الصلبة التي تبقى في معلق التربة، ولذلك يطلق علي هذه الطريقة Bouyoucos. وهناك شرطان أساسيان مطلوبان لاستخدام هذه الطريقة:

- أن تكون حبيبات التربة غير ملتصقة بعضها ببعض، اي أن تكون كل حبيبة منفردة.
- أن تكون كل حبيبة حرة في تحركها أثناء ترسيبها الي أسفل.

وتحديد توزيع حجم الحبيبات في التربة الجبسية الكلسية يعتبر عملية شاقة ومستهلكة للوقت، ولذلك يزال الجبس الذي يمنع تشتت حبيبات التربة من عينات التربة قبل إجراء التحليل، بالرغم أن للجبس تأثير ملحوظ علي الصفات الطبيعية للتربة، ومن المفضل العمل علي تحديد توزيع الحبيبات بدون إزالة الجبس الموجود بالتربة. لذلك قام Hesse (1974) و Matar and Douleimy (1978) بتطوير طرق لإعداد معلق ثابت من التربة الجبسية دون إزالة الجبس منها كما أدخل Vieillefon (1979) تحسينات مهمة علي طريقة Hesse. لكن، وحتى الآن، لا توجد طريقة تحظى بدقة وكفاءة تامتين لتحديد توزيع حجم حبيبات التربة الجبسية الكلسية .

كما أن أسلوب تقدير قوام التربة في الظروف الحقلية يعتبر مضللاً، بسبب وجود بلورات جبس بأحجام تقارب أحجام حبيبات الرمل. فدرجة تبلور حبيبات الجبس والشكل الذي تتواجد فيه، يؤثران علي تلمس التربة، لتعطيها ملمساً أكثر خشونة مما تحده التحليلات المخبرية.

ونتيجة للخبرة المكتسبة من تحليل عدد كبير من عينات التربة الجبسية، يمكن إستخلاص ما يلي:

1. إن مجموع النسب المئوية للحبيبات الجبسية مختلفة الحجم قد تكون أقل من 100% بسبب تفكك وتبخر الماء الداخلى في تركيب بلورات الجبس ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) عند تخفيفها على درجة حرارة 105م°.
2. نسبة توزع الجبس بين نسب الحبيبات مختلفة الحجم يعتمد على إجمالي كمية الجبس الموجودة في التربة (Vieillefon, 1979). والفرق بين وزن هذه النسب في عينات جُففت على حرارة 50 و 105 م°، يبين ما يلي:
 - ترتفع نسبة الحبيبات التي قطرها أقل من 20 μm عندما تكون نسبة الجبس في التربة حوالي 10%، لكنها تنخفض عندما ترتفع نسبة الجبس إلى حوالي 25%. ومع ارتفاع محتوى الجبس من 25% إلى 45%، تبقى نسبة الحبيبات الأقل حجماً من 20 μm ثابتة لا تتغير؛ لكنها تعود للارتفاع مع ارتفاع محتوى الجبس لأعلى من 45%.
 - ترتفع نسبة الحبيبات التي قطرها أكثر من 20 μm مع ارتفاع محتوى الجبس في التربة. لكن في الكثير من العينات التي تحتوي 10 – 25% جبس، لا تكون لهذه العلاقة أهمية.
3. يتواجد الجبس في التربة بجميع الأحجام، لكن في الغالب يكون في أحجام الرمل الخشن والرمل الناعم، 0.02 – 2.0 م، والباقي في أحجام حبيبات الطين.

2-4 تشتيت الحبيبات

يجب تفريق أو فصل الحبيبات بعضها عن بعض وإبقائها منفصلة عند تقدير توزع حجم الحبيبات. ولما كان تجمع الحبيبات الصلبة مع بعضها ناتج عن بعض المواد اللاصقة فمن الضروري بداية، تُزال هذه المواد اللاصقة، أو أن تزال فاعليتها علي الأقل، فُصِّح الحبيبات بحالة إنتشار خلال عملية التحليل.

وتتم عملية تفكيك حبيبات التربة بواسطة وسائل كيميائية وميكانيكية. إضافة مركب (هكساميتافوسفات الصوديوم Sodium Hexametaphosphate) يساعد في تفريق الحبيبات المتماسكة والمتكتلة للأسباب التالية:

1. تحل كاتيونات الصوديوم الأحادية الشحنة مكان الكاتيونات الأخرى المتعددة الشحنة والملتصقة على سطح حبيبات التربة، وهذا يزيل الربط ما بين الحبيبات. كذلك، يقل نشاط الكاتيونات متعددة الشحنة نتيجة للتفاعل مع الفسفور، وما يتبع ذلك من عملية ترسيب.
2. يؤدي الإندماج السطحي لإيونات الصوديوم إلى إرتفاع قوة التناثر ما بين جزيئات الطين الغروية، فتتباع هذه الحبيبات عن بعضها وتبقى منتشرة.

بعد إزالة المادة اللاصقة لحبيبات التربة، يأتي دور التحريك الميكانيكي السريع الذي يساعد أكثر في عملية التفكك ويسمي خليط جزيئات التربة المشتتة في الماء بمعلق التربة.

3-4 الترسيب.

في تقنية الترسيب، تقاس سرعة هبوط الحبيبات المعلقة في الماء. وتهبط الحبيبات الكبيرة الحجم في المعلق أسرع من هبوط الحبيبات الدقيقة. ويعود هذا إلى كون نسبة المساحة السطحية إلى وزن الحبيبات الكبيرة أقل منه في الحبيبات الدقيقة، مما يجعل قوة الطفو أقل منها في الحبيبات الدقيقة ويُعبّر قانون ستوكس (Stokes Law) عن هذه العلاقة كما يلي:

$$V = \frac{2}{9} X \frac{r^2 g (d_1 - d_2)}{n}$$

وهذا يعني أن سرعة هبوط الحبيبات، V ، متعلقة مباشرة بمُرَبَّع نصف قطر الحبيبة، r ؛ وبقوة الجاذبية الأرضية، g ؛ وبالفارق ما بين كثافة الحبيبة d_1 وكثافة المحلول المعلقة فيه الحبيبات، d_2 ؛ لكنها متعلقة عكسياً بلزوجة السائل (n). ويجدر التنبيه إلى أن كثافة ولزوجة الماء يتأثران بالحرارة حيث تزيد سرعة هبوط الحبيبات بازدياد الحرارة. لهذا السبب، من الضروري إجراء تصحيح خاص بدرجة الحرارة.

وعملياً، فإن الكمية الباقية من المواد في المعلق في أي وقت يمكن قياسها بواسطة الهيدروميتر، الذي يبين كثافة المعلق عند مركز الطفو للهيدروميتر. وقد وجد Bouyoucos أنه بعد 40 ثانية فإن جميع الحبيبات المماثلة لحجم حبة الرمل (0,02مم) تسقط من المعلق ولا تؤثر في قراءة الهيدروميتر. وبعد ساعتين ترسب من المعلق الجزيئات الأكبر من جزيئات الطين (0,002مم) ولا تؤثر بعد ذلك في قراءة الهيدروميتر.

4-4 طريقة بيوكس (Bouyoucos)

الأجهزة

- خلاط كهربائي ذو كأس بطى التقليب
- مخبار للترسيب
- مخبار مدرج بألف شرطة سعة ليتر طوله حوالي 36سم (+2) من قاع المخبار.
- هيدروميتر بيوكس معاير للقياس على درجة حرارة 20 مئوية
- ميزان حرارة

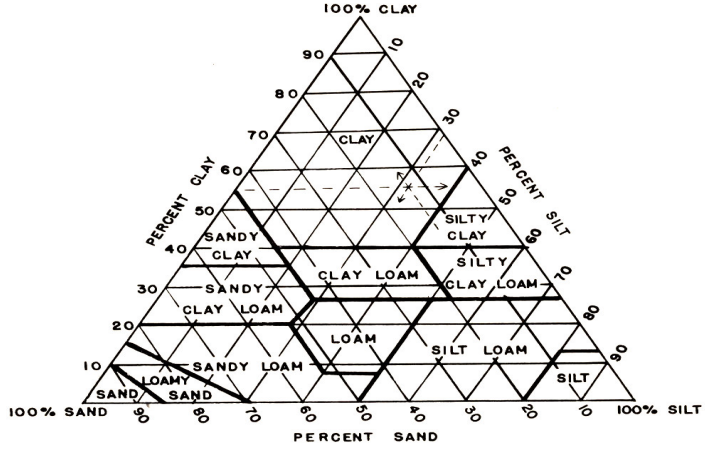
- محلول هكساميتافوسفات الصوديوم - Sodium Hexametaphosphate، $Na_6O_{18}P_6$. (مثال للأسماء التجارية glassy sodium, Graham's salt, calgon...). يُذاب 50 غم من الكالجون في الماء ثم يخفف المحلول الي حجم لتر.

الطريقة

1. يوزن ما يعادل 50 غم من التربة الناعمة المتجانسة المجففة بالفرن، أو (100 غم إذا كانت التربة خشنة القوام)، وتوضع في كأس الخلاط. يُملأ الكأس لنصفه بالماء المقطر مع إضافة 10 مل من محلول الهكساميتافوسفات.
2. يوضع الكأس على جهاز الخلط ويحرك الخليط حتى تتفكك كتل التربة. ويحتاج هذا عادة إلى فترة 3 – 4 دقائق في التربة ذات القوام الخشن، و 7 – 8 دقائق للتربة الطينية الناعمة.
3. ينقل الخليط إلى مخبار الترسيب مع غسل الكوب بالماء المقطر للتأكد من نقل كامل التربة. يوضع الهيدروميتر بعناية في السائل داخل المخبار ثم يملأ المخبار بالماء المقطر حتى خط التدريج الأدنى، وحتى خط التدريج الأعلى عند استعمال 100 غم تربة.
4. يُخرج الهيدروميتر، ثم يُمسك بوضع أفقي ويُرج بقوة من طرف لآخر دون إحداث حركة دائرية في السائل كي لا يؤثر ذلك على معدل هبوط الحبيبات.
5. يوضع المخبار على الطاولة، ويُسجل الوقت فوراً. بعد 20 ثانية يوضع الهيدروميتر بعناية في السائل، وتؤخذ القراءة عليه بعد مرور 40 ثانية تماماً من التسجيل الأول للوقت.
6. تُعاد الخطوة 4 و 5 حتى الحصول على قراءات متقاربة لا تزيد فروقاتها عن 0.5 غم. (الهيدروميتر مدرج لقراءة الجرامات من مادة التربة في المعلق)
7. تُسجّل الأرقام على استمارة قراءات الهيدروميتر (شكل 5).
8. تؤخذ درجة حرارة الخليط، ولكل درجة حرارة فوق 20 م° يضاف 0.36 إلى قراءة الهيدروميتر؛ ولكل درجة حرارة تحت الـ 20 م° يُنقص 0.36 من قراءة الهيدروميتر. وهذه هي القراءة المصححة للهيدروميتر.
9. يؤخذ المخبار بما فيه و يعاد رجه من جديد بنفس الطريقة السابقة، ثم يوضع المخبار على الطاولة. بعد مرور ساعتين تؤخذ قراءة الهيدروميتر، وكذلك تؤخذ حرارة الخليط لتصحيح قراءة الهيدروميتر كما سبق.
10. وبعد تقدير النسب المئوية لكل من الرمل والطيني والطين الناتجة من الحسابات على ورقة قراءات الهيدروميتر، يمكن تحديد قوام التربة من المثلث المعروف بـ "مثلث قوام التربة" (الشكل 6).

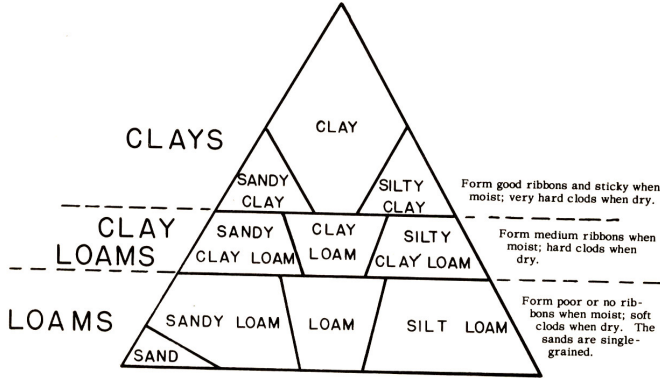
شكل 5. استمارة بيانات لتسجيل قراءات الهيدروميتر

- (1) رقم تعريف عينة التربة
- (2) وزن التربة (غم)
- (3) قراءة الهيدروميتر بعد 40 ثانية
- (4) درجة حرارة المعلق
- (5) القراءة المصححة للهيدروميتر عند 40 ثانية
- (6) قراءة الهيدروميتر بعد ساعتين
- (7) درجة حرارة المعلق بعد ساعتين
- (8) القراءة المصححة للهيدروميتر بعد ساعتين
- (9) وزن الرمل: يرسب الرمل الي القاع خلال 40 ثانية، وعلى ذلك فإن القراءة المدونة المصححة للهيدروميتر بعد 40 ثانية تبين في الواقع وزن الطمي والطين في المعلق أما وزن الرمل فيحصل عليه بطرح القراءة رقم 5 من رقم 2
- (10) وزن الطين (غم) = (القراءة المصححة بعد ساعتين تمثل وزن الطين بالجرام في المعلق حيث يكون كل الرمل والطين قد ترسب بهذا الوقت)
- (11) نسبة الرمل المنوية = قيمة خط (9) ÷ خط (2) × 100
- (12) نسبة الطين المنوية = قيمة خط (10) ÷ خط (2) × 100
- (13) نسبة الطمي المنوية 100 - (نسبة الرمل + نسبة الطين%)
- (14) قوام التربة (طبقاً للشكل 6)



شكل 6. مثلث قوام التربة مبيناً نسب الرمل والطيني والطين لكل نوع من قوام التربة (على سبيل المثال، إن تربة تحوي 55% طين و32% طمي و13% رمل تكون طينية القوام)

بإمكان بعض العاملين في حقل التربة، ونتيجة خبرتهم الطويلة في هذا الشأن، تقدير قوام التربة الجافة بفرك عينة التربة في كف اليد، ثم تلمس مدي لزوجتها بأصابعهم بعد تبليلها ثم يخمنون بمهارة قوام هذه التربة (شكل 7)



شكل 7. مثلث قوام التربة المعدل لتحديد قوام التربة باللمس (Foth et al. 1977)

4-5 إزالة الجبس من التربة

عند تحليل قوام التربة الجبسية، يوصى بإزالة الجبس من العينات قبل تحليلها لمعرفة توزيع حجم الحبيبات. وهناك طرق عديدة يمكن استخدامها لهذا الغرض، لكن الطريقة رقم 4-5-3 هي المفضلة لأن الجبس لا يزال من العينة فتكون النتائج هي الأقرب لحالة الحقل.

4-5-1 إزالة الجبس بواسطة أمونيوم أوكسالات (Coutinet 1965)

1. يوزن 40 غم من التربة في دورق مخروطي، ويُضاف لها حوالي 40 مل ماء مقطر.
2. يُسخن الدورق مع التحريك حتى الغليان. عندها يُضاف 2-3 مل من أكسيد الهيدروجين (H_2O_2) لتفكيك المادة العضوية. تعاد هذه الإضافة من أكسيد الهيدروجين حتى يتوقف الفوران.
3. ينقل الخليط إلى دورق مخروطي سعة 600 مل بغسل التربة بدفعات متكررة من الماء المقطر.
4. أضف ماء مقطر أكثر حتى يصل الحجم الكلي إلى حوالي 300 مل.
5. إذا كان محتوى التربة من الجبس أقل من 25% (على أساس تحليل عينة سابقة)، يضاف 5 غم من مادة أوكسالات الأمونيوم ويعاد غلي المزيج لمدة ساعة. بعدها يتم التخلص من السائل الطافي.
6. تكرر خطوة 4 و 5 حتى يختفي وجود أي بلورات لسلفات الكالسيوم في المحلول.
7. يضاف 20 مل من محلول الهكساميتافوسفات (40 غم/لتر ماء)، ويغلى المزيج لمدة ثلاث ساعات.
8. تُنقل التربة بغسل الدورق عدة مرات بالماء المقطر إلى مخبر وبيدأ بتقدير نسب الأحجام المختلفة للحبيبات.
9. عندما يكون محتوى التربة من الجبس أكثر من 25%، تُتبع نفس الطريقة مع إستبدال محلول أكسالات الأمونيوم بمحلول كلوريد الصوديوم تركيز 131.6 غم/لتر.

4-5-2 إزالة الجبس بواسطة حامض الهيدروكلوريك (Loveday 1974)

تستعمل هذه الطريقة للتربة التي تحتوي حبيبات جبس بشكل واضح، وتعطي موصلية كهربائية تزيد عن 3 مليسيمنز/سم ($EC > 1:15$).

1. يوزن 25 غم تربة مجففة هوائياً وتوضع في دورق مخروطي سعة 800 مل.
2. يُضاف 25 مل من حامض الهيدروكلوريك تركيز 2M إلى الدورق ويهز بلطف لتحطيم المحتوي من كربونات الكالسيوم ثم يُترك على الطاولة لفترة 2-3 دقائق.
3. يُضاف 5 نقط من أكسيد الهيدروجين (H_2O_2) ويهز الدورق برفق لتحطيم المادة العضوية. تُعاد هذه الإضافة من أكسيد الهيدروجين حتى يتوقف الفوران.
4. يُضاف 500 مل من الماء المقطر ويوضع الدورق على هزاز مغناطيسي (Stirrer) ويُحرك لمدة ساعة ويترك المزيج ليهدأ ثم يتم التخلص من السائل الشفاف الطافي.
5. تعاد خطوة 4 حتى يختفي ظهور بلورات الجبس على جوانب الدورق.
6. يضاف 5 مل من هيدروكسيد الصوديوم (NaOH) بتركيز 1M، و10 مل من محلول الهكساميتافوسفات تركيز 10%. يُهز الدورق بلطف ثم يُترك على الطاولة لفترة 20 دقيقة ليتم تشتيت حبيبات التربة.
7. ينقل المزيج مع غسل الدورق إلى المخبر وبيدأ بتقدير نسب الأحجام المختلفة للحبيبات.

3-5-4 معاملة التربة مسبقاً بكلوريد الباريوم $BaCl_2$ لتغليف بلورات الجبس بطبقة من سلفات الباريوم $BaSO_4$ (Hesse 1974)

1. توضع عينة تربة زنة 10 غم في أنبوبة طرد مركزي سعة 100 مل، ويضاف لها 40 مل من محلول كلوريد الباريوم ($BaCl_2$) تركيز 50 غم/لتر، و20 مل من محلول تري إيثانولامين Tri-ethanolamine تركيز 45 غم/لتر ماء، ثم يهز المزيج بخفة لمدة ساعة.
2. تعامل الأنبوبة بالطرد المركزي (Centrifuge)، ثم يزال السائل الطافي.
3. يُضاف للأنبوبة 40 مل من الماء المقطر وتهز ثم يُسكب السائل الطافي. تُعاد عملية الغسل هذه حتى لا يبقى أي أثر لإيونات الباريوم في السائل المسكوب. وللتحقق من عدم وجود باريوم، يضاف بعض النقط من محلول كرومات البوتاسيوم. فإذا لم يتكون أي ترسب أصفر يكون الباريوم قد غُسل نهائياً.
4. يُضاف للتربة في الأنبوب 15 مل من محلول يحتوي 40 غم/ليتر صوديوم هيكساميتافوسفات، و10 غم/ليتر كربونات الصوديوم اللامائية، و10% هيدروكسيد الصوديوم، وتهز لمدة 30 دقيقة.
5. يُنقل محتوى الأنبوبة مع الغسل بالماء المقطر عدة مرات إلى مخبر امدرج من أجل تحديد حجم الحبيبات كما ورد في البند (4-4).

4-5-4 معاملة التربة مسبقاً بمحلول كلوريد الباريوم $BaCl_2$ ثم بالإيثانول (Mater and Douleimy 1978)

1. يوضع 10 غم من التربة في قمع مَّجهز بورقة ترشيح، ثم تغسل ببطئ بمحلول كلوريد الباريوم تركيز 0.1M.
2. تُضاف جرعات من الإيثانول لغسل التربة من الباريوم حتى يختفي تماماً. يمكن التأكد من خلو المحلول من الباريوم بإضافة كرومات البوتاسيوم كما في 4-5-3.
3. تُنقل التربة إلى مخبر ويضاف الماء المقطر و10 مل من محلول هيكساميتافوسفات الصوديوم (تركيز 40جم/لتر) ويقلب المعلق لمدة 12 دقيقة.
4. يُتابع تقدير نسب حجم الحبيبات كما سبق.

5-5-4 معاملة التربة مسبقاً بمحلول كلوريد الباريوم Barium Chloride، (طريقة معدلة بواسطة Vieillefon, 1979)

1. يوضع في أنبوب طرد مركزي 10 غم من التربة، يُضاف لها 10 مل من محلول كلوريد الباريوم $BaCl_2$ (تركيز 50 غم/لتر)، و20 مل Tri-ethanolamine $(HOCH_2CH_2)_3N$.
2. تخرج محتويات الأنبوبة لمدة ساعة، ثم تعامل بجهاز الطرد المركزي.
3. يزال السائل الطافي.
4. يضاف 40 مل ماء مقطر وتعامل بالطرد المركزي، وبعده يُسكب السائل الطافي.
5. يضاف للعينة 15 مل من محلول لثشتيت الحبيبات يحتوي 4% هيكساميتافوسفات الصوديوم + 1% كربونات الصوديوم (Na_2CO_3) ، ويضبط الرقم الهيدروجيني الي 8.2 pH، ويُرج الخليط.
6. يجري تحديد النسب المئوية للحبيبات ذات الأحجام المختلفة.

5. كثافة التربة (Density) وحجم المسام الكلي فيها

1-5 مقدمة

تعرف الكثافة الكلية (Bulk Density) للتربة بأنها الوزن الجاف للمواد الصلبة الجافة مقسوماً على الحجم الكلي لهذه المواد، أي حجم المادة الصلبة مع حجم المسام بين الحبيبات، عند نسبة معينة من الرطوبة؛ التي عادة ما تكون نسبة رطوبة التربة عند أخذ العينة.

أما كثافة الحبيبات (Particle Density) للتربة فهي الوزن الجاف للعينة مقسوماً على الحجم الفعلي لحبيبات التربة فقط. أي أنها كثافة الجزيئات الفعلية للتربة فقط، دون أي اعتبار لحجم الفراغات ما بينها. وهذا ما يجعل مقدار كثافة الحبيبات لتربة ما تتوقف على أنواع المعادن التي تتشكل منها هذه الجزيئات، وعلى محتوى التربة من المادة العضوية. وتبلغ كثافة الحبيبات لغالبية التربة المعدنية حوالي 2.65 غم/سم³، وهي نسبة شبه ثابتة وقلما تختلف من تربة لأخرى، لذا فليس لها أهمية عملية لكنها تستخدم مع الكثافة الكلية لحساب حجم المسام الكلي للتربة.

والكثافة الكلية للتربة هي صفة فيزيائية مهمة إذ أنها مؤشر لقوام التربة وحجم الفراغات فيها. وهي مطلوبة عند معرفة كثافة الحبيبات لحساب حجم الفراغ الكلي، ولتحويل وزن كمية من التربة إلى حجم، ولتقدير وزن حجم كبير من التربة لا مجال لوزنه مباشرة. وتستخدم الكثافة الكلية لتحويل نتائج التحليل المحسوبة على أساس الوزن إلى أرقام محسوبة على أساس الحجم، وهذا له فائدته في غالب الأحيان. مثال ذلك، يمكن معرفة الحجم الكلي للمحتوي المائي في طبقة من طبقات التربة عن طريق ضرب محتوى الماء الجذبي في الكثافة الكلية وفي حجم طبقة التربة أي أن:

$$\text{كمية الماء في التربة} = (\text{رطوبة التربة} \%) \times (\text{الكثافة الكلية}) \times (\text{حجم طبقة التربة})$$

وفي التربة الزراعية المعتدلة القوام وذات البنية الجيدة لنمو النبات، يصل حجم الفراغ أو المسام إلى حوالي 50% من الحجم الكلي للتربة. وتكمن أهمية حجم الفراغ الكلي للتربة في تبادل الهواء، خاصة الأوكسجين وثنائي أكسيد الكربون، ما بين التربة والهواء الخارجي؛ وكذلك في حفظ الماء وتحركه داخل التربة.

وبالإضافة للفراغات الموجودة بين حبيبات التربة الفردية من رمل وطيني وطين، هناك أيضا فراغات ما بين الكتل التي تتشكل من تجمع هذه الحبيبات. لذا فإن قوام التربة وبنيتها هما عاملان رئيسيان لتحديد حجم الفراغ الكلي بالتربة. وارتفاع نسبة المادة العضوية في التربة يحسن بنيتها مما يؤدي إلى زيادة حجم الفراغ الكلي فيها.

هكذا يتضح أن الكثافة الكلية، التي تتأثر بقوام وبنية التربة، هي قياس غير مباشر للحجم الكلي للمسامات. فعندما تتحسن بنية التربة بسبب تشكل كتل، يرتفع حجم الفراغات فيها، مما يؤدي إلى إنخفاض الكثافة الكلية. فبينما تتراوح الكثافة الكلية للتربة المعدنية الناعمة القوام ما بين 1.0 - 1.3 غم/سم³، فإنها ترتفع في التربة الرملية الخشنة القوام إلى 1.3 - 1.7 غم/سم³. ويمكن تفسير هذا الإنخفاض في الكثافة الكلية إلى الزيادة في الحجم الكلي للفراغات بسبب الكتل التي يساعد الطين على تشكيلها في الأراضي الناعمة القوام. وتنخفض الكثافة الكلية للأراضي العضوية عنها في التربة المعدنية وتصل إلى 0.4 غم/سم³. لكن الكثافة الكلية والحجم الكلي للفراغات ترتفع بسبب الحرارة وغيرها من الأعمال الميكانيكية التي تحرك التربة وتضغطها.

2-5 قياس الكثافة الكلية للتربة

هناك طريقتان لتحديد الكثافة الكلية للتربة: واحدة تستخدم عينات تربة غير متماسكة تعرضت للتحريك، والأخرى تستخدم عينات متماسكة مُحافظ على بنيتها، مثل الفلاقليل والكتل.

1-2-5 تقدير الكثافة الكلية للتربة على عينات غير متماسكة.

تُستخدم هذه الطريقة عندما يصعب الحصول على عينة متماسكة، كما في حال التربة التي لا تتشكل فيها كتل متماسكة، مثل التربة الرملية وأراضي البيوت المحمية والمشاتل الهشة المفككة.

الطريقة

1. يوزن مخبار مدرج حجم 100 مل فارغاً، ثم يملأ بتربة مجففة هوائياً.
2. يُضرب قعر المخبار على كف اليد حوالي 15 مرة ببعض الشدة لإدماج التربة.

3. يُسجّل حجم التربة في المخبار.
4. يُسجّل وزن المخبار مع التربة.
5. يحسب وزن التربة في المخبار.
6. في عينة أخرى من ذات التربة، تُحدّد نسبة الرطوبة ويُحسب وزن عينة التربة في المخبار بعد تجفيفها داخل فرن تجفيف.
7. تُحسب الكثافة الكلية لهذه التربة.

حساب الكثافة الكلية

$$\text{الكثافة الكلية} = \frac{\text{الوزن الجاف للتربة، غم}}{\text{حجم عينة التربة (سم}^3\text{)}} = \frac{\text{غم/سم}^3}{\text{سم}^3}$$

ملاحظة: عادة تُحسب الكثافة الكلية للتربة على أساس الوزن الجاف للتربة (المجففة بالفرن)، ولكن لبعض الاستخدامات تحسب على أساس الوزن الرطب للتربة.

2-2-5 تقدير الكثافة الكلية للأراضي على عينات متماسكة.

هناك طريقتان لتحديد الكثافة الكلية للتربة في حالتها المتماسكة: واحدة، تستخدم القلائيل أو الكتل، والأخرى تستخدم عينات متماسكة أخذت من لب التربة.

1-2-2-5 طريقة القلائيل أو الكتل (Clod or Ped).

المواد الكاشفة

غراء مثل "داو ساران" (Dow Saran F 310) وهو مادة لزجة غير متبلورة تستخدم لأغراض مختلفة. تذاب كمية من هذا الغراء في الأسيتون بنسبة واحد غراء إلى سبعة أسيتون. والأسيتون مادة متطايرة وملتهبة، لذا يجب تحضير هذا المزيج داخل مدخنة شفط الغازات (Fume Hood)، ثم يحفظ في وعاء محكم الإغلاق لمنع تطايره. ويُمكن أيضا إستبدال الغراء بالشمع المسيّل على نار خفيفة.

الطريقة

1. تُجمع بعض الكتل من قطاع التربة. إذا وجدت بعض الجذور عالقة، تُقطع بعناية بمقص.
2. تُلَف الكتل بسلك تحاسي رفيع وتوزن.
3. تُغمس الكتل في الغراء السائل، وبعد إخراجها تُعلق لثلاثين دقيقة حتى يجف الغراء. تعاد هذه العملية للتأكد من التغليف التام للكتلة لمنع دخول الماء.
4. توزن الكتل مع الشريط وهي في الهواء (W_a).
5. لتحديد حجم الكتلة، تغمس الكتلة وهي معلقة بالسلك في الماء وتوزن بميزان يسمح بأن تكون الكتلة معلقة على ذراعه بواسطة السلك النحاس الرفيع (W_w). النقص في الوزن ($W_a - W_w$) يساوي وزن أو حجم الماء الذي حلت محله الكتلة؛ أي حجم الكتلة.
6. في حال عدم توفر مثل هذا الميزان، توضع الكتلة المغلفة بالغراء في مخبار مدرّج مملوء لنصفه بالماء، ويُقرأ مستوى الماء قبل وبعد غمس الكتلة. الزيادة بحجم الماء هي حجم الكتلة الكلي (V).
7. تكسر الكتلة ويؤخذ عينة منها لتحديد نسبة الرطوبة اللازمة ولتقدير وزن التربة الجاف (W_{od}).

حساب الكثافة الكلية

$$\text{الكثافة الكلية} = \frac{(W_{od})}{(W_a - W_w)} \text{ غم/سم}^3$$

W_{od} : وزن الحبيبات الصلبة في الكتلة بالغرام.

$W_a - W_w$: وزن أو حجم الماء الذي حلت محله الكتلة؛ أي حجم الكتلة بالسم³.

أما إذا كان حجم الكتلة قد حُدّد كما في الخطوة 6، عندها تُحسب الكثافة الكلية كالتالي:

$$V \setminus W_{od} = \text{الكثافة الكلية}$$

V : الزيادة في حجم الماء في المخبار (سم³).

ملاحظة: طريقة الكتلة هذه قد تُعطي نتائج للكثافة الكلية أعلى من الطرق الأخرى.

2-2-2-5 طريقة لب التربة

الطريقة

1. تُدخّل بعناية اسطوانة فولاذية رقيقة الجوانب وحادة الاطراف (معروفة الوزن والحجم) في التربة بالضرب عليها بكتلة من الخشب وشاكوش مع تفادي ضغط التراب خلال جمع لب التربة. وتسحب بدقة مع كامل ما تحتويه من تربة، ثم تنظف العينة من التراب العالق على أطرافها.
2. توزن الاسطوانة مع التربة، ويطرح منه وزن الاسطوانة لمعرفة وزن عينة التربة فقط .
3. يؤخذ جزء من العينة لتحديد نسبة الرطوبة فيها.
4. بعد تحديد نسبة الرطوبة، يُحسب الوزن الجاف لكامل العينة المأخوذة.
5. تُحسب الكثافة الكلية للتربة، غم/سم³، بقسمة الوزن الجاف لب التربة على حجمها الذي هو حجم الاسطوانة الصلب.

$$\text{الكثافة الكلية (غم/سم}^3\text{)} = \frac{\text{الوزن الجاف للتربة ، غم}}{\text{حجم لب التربة، سم}^3}$$

تحديد الكثافة الكلية للتربة الغير متماسكة له أهميته إذ يُظهر مدى تكثف الحبيبات وقوام التربة تحت الظروف الحقلية.

3-5 قياس كثافة جزيئات التربة (Particle Density) أو الكثافة النوعية

يعرض هنا طريقتان لتقدير كثافة التربة النوعية في الطريقة الأولى يُستخدم مخبار مُدرّج (graduated cylinder)، وفي الثانية يُستخدم دورق معياري (volumetric flask) وكلا التحليلين يتسمان بالسهولة والسرعة. وتتراوح الكثافة النوعية لمعظم أنواع التربة ما بين 2.60 و 2.75 غم/سم³. وكنقديرو وسطي يُعتمد الرقم 2.67 غم/سم³ ليعبر عن الوزن المعين (الكثافة) لأنماط التربة المختلفة.

1-3-5 طريقة المخبار المدرج

الطريقة

1. يوزن 40 غم من التربة وتوضّع في مخبار مدرج حجمه 100 مل.
2. يضاف 50 مل من الماء الي المخبار مع التأكد بعدم وجود مواد تربة عالقة بالحوائط الداخلية للمخبار.
3. تحرك التربة بواسطة قضيب زجاجي للتخلص من الهواء الموجود في مسام التربة. ويغسل القضيب الزجاجي وجوانب المخبار بـ 10 مل ماء.

4. يُترك المزيج لخمس دقائق، ويقرأ الحجم الكلي للمزيج الذي هو مجموع حجم التربة، إضافة إلى الـ 60 مل ماء.

5. تُحدّد بصورة منفصلة محتوى الرطوبة في عينة التربة باستخدام طريقة الوزن والكثافة. ويضاف حجم ماء رطوبة التربة إلى إجمالي الماء المستخدم.

الحساب:

حجم إجمالي المواد الصلبة = حجم (التربة + الماء) - حجم الماء الذي أضيف
حجم (التربة + الماء) = كما يبينه المخيار المدرج
حجم الماء المضاف = 60 مل + رطوبة التربة (مل)

الوزن الجاف للتربة (جم)

كثافة الجزيئات، جم/سم³ =
حجم إجمالي المواد الصلبة (سم³)

2-3-5 طريقة الدورق المعياري (Volumetric Flask)

الطريقة

1. يُملأ دورق معياري جاف سعة 100 مل للعلامة بماء مقطر ومغلي بعد تبريده لدرجة حرارة الغرفة.
2. يوزن الدورق مع الماء ويُسجل الوزن (W_1)، ثم يُفْرغ الدورق من الماء ويُجفف جيداً.
3. يوزن بدقة 50 غم تربة (W_s) وتُنقل بكاملها إلى الدورق المعياري.
4. يُفْرغ بواسطة سحاحة 50 مل من الماء المقطر في الدورق غاسلاً بواسطتها التراب العالق على جوانب الدورق.
5. يوضع الدورق على سخانة كهربائية ويسخن الماء ببطئ حتى يبدأ في الغليان لطرد الهواء من التربة.
6. يُترك الدورق ليبرد ثم يُملأ للعلامة الـ 100 مل بإضافة الماء المقطر المغلي والمبرد لدرجة حرارة الغرفة.
7. يوزن الدورق مع محتواه بدقة (W_2).
8. تُقدّر نسبة الرطوبة في عينة تربة أخرى باستخدام طريقة الوزن والكثافة ويُحسب الوزن الجاف لعينة التربة في الدورق.
9. يُحسب حجم جزيئات التربة، ثم تُحسب الكثافة النوعية (كثافة الجزيئات أو الحبيبات).

حساب النتائج

$$\text{حجم الجزيئات} = W_s + (W_1 - W_2) \text{ سم}^3$$

$$\frac{W_s}{W_s + (W_1 - W_2)} = \text{الكثافة النوعية (جم/سم}^3\text{)}$$

4-5 حساب نسبة المسامات الكلية في التربة

المسامات أو الفراغات هي الجزء من حجم التربة الكلي الذي لا تشغله الجزيئات الصلبة، فيمتليء بالهواء والماء. وبحسب حجمها، تُقسم المسام إلى مسام كبيرة (macropores) ومسام دقيقة (micropores)، وليس هناك خط فاصل محدد بين الإثنين. ويُقدّر الحجم الكلي لهذه الفراغات كما يلي:

$$\text{حجم المسام} \% = 100 \times \frac{\text{الكثافة النوعية} - \text{الكثافة الكلية}}{\text{الكثافة النوعية}}$$

مثال

عينة التربة تزن 110 جم وتحتوي علي 15% رطوبة وحجمها 75 مل، وقد أزاحت العينة 36.8 مل من الماء.

إحسب الكثافة الكلية والكثافة النوعية وحجم المسام للعينة

$$\begin{aligned} \diamond \text{ الوزن الجاف} &= \frac{100}{115} \times 95.65 = 83.17 \text{ جم} \\ \diamond \text{ الكثافة الكلية} &= 95.65 \div 75 = 1.3 \text{ جم/سم}^3 \\ \diamond \text{ الكثافة النوعية} &= 36.8 \div 95.65 = 2.6 \text{ جم/سم}^3 \\ \diamond \text{ النسبة المئوية للفراغات المسامية} &= \frac{100}{2.6} (2.6 - 1.3) = 50 \end{aligned}$$

6. تحاليل مستخلص عجينة التشبع (Saturation Paste Extract)

1-6 مقدمة

الطريقة المفضلة لتقدير ملوحة التربة هي قياس الموصلية الكهربائية في مستخلص التشبع، لدالاتها على الظروف الحقلية. ففي مختلف أنواع قوام التربة، كمية الماء الموجودة في عجينة التشبع تساوي تقريبا ضعف رطوبة التربة عند درجة السعة الحقلية، وأربع أضعاف كمية ماء التربة عند نقطة الذبول. لهذا السبب، يُمكن استخدام الموصلية الكهربائية لمستخلص التشبع (ECe) لتقدير درجة ملوحة التربة في الحقل.

2-6 تحضير عجينة التشبع (Saturated Paste)

الأجهزة

1. ميزان حساس.
2. كأس مطلي بالمينا (جفنة) طبق تبخير سعة 600 مل.
3. سكين التربة (Spatula).
4. مخبار مدرج أو سحاحة سعة 100 مل.

الطريقة

1. تؤخذ عينة وزن 300 غم من تربة مجففة بالهواء* في جفنة سعة 600 مل.
2. باستخدام مخبار مدرج، أو سحاحة مدرجة سعة 100 مل، يُصب تدريجيا إضافات صغيرة من الماء المقطر ويخلط بالسكين مع التربة حتى تصل إلى حالة التشبع. يُسجل حجم الماء الذي أُضيف.
3. تُعرف نقطة التشبع من لمعان سطح العجينة وإعكاس الضوء عليه، والسيلان البطيء عند ميلان الجفنة، وإنزلاقها عن السكين دون التصاق. كذلك، عند الضرب اللطيف للجفنة على الطاولة، تعود العجينة للتصاق إذا ما أحدث فيها أخدود بواسطة الجهة العريضة للسكين.
4. تُترك العجينة بعد تحضيرها مغطاه بورقة ألومينيوم لليوم التالي ليتم إمتصاص التربة للماء.
5. في صباح اليوم التالي، يُعاد تفحص حالة العجينة كما ذكر أعلاه. فإن كانت تقاسمت قليلا، يضاف لها بعض الماء ويخلط بها مرة ثانية. أما إذا لوحظ زيادة الماء عن المطلوب، يضاف للعجينة مقدار معروف الوزن من التربة ذاتها، وتُخلط. راجع ثانيا مواصفات التشبع وسجل الكمية الإجمالية التي أُضيفت من الماء لتحضير عجينة التشبع

1-2-6 تقدير النسبة المئوية للتشبع

تُحسب النسبة المئوية للتشبع بقسمة الحجم الكلي للماء المضاف، مل، على وزن التربة المجففة في الفرن، غم، مضروبة بـ 100. أما رطوبة التربة، كما تم تحديدها في عينة أخرى منفصلة، فأنها تؤخذ بالاعتبار، وذلك باضافتها الي كمية الماء المستخدم لإعداد عجينة التشبع.

* لا تُستعمل التربة المجففة بالفرن لأن تجفيف التربة على درجة حرارة 105 م يحول بعضاً من الجبس من $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ إلى $\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$. والنوع الأخير من الجبس المشبع جزئيا بالماء أكثر ذوبانا في الماء من النوع الأول المشبع كليا.

مثال: أضيف 121 مل ماء إلى عينة تربة تزن 300 غم لتحضير عينة التشبع. نسبة رطوبة التربة 8% من الوزن الجاف. كم تكون النسبة المئوية للتشبع؟

الحساب:

نفترض أن وزن التربة الجافة هو x

$$\text{إذن } 300 = (x \%8) + x \text{ جم}$$

$$\text{أي } 300 = x \cdot 0.08 + x \text{ جم}$$

$$\text{أي } 300 = x \cdot 1.08 \text{ جم}$$

$$\text{فتكون } x \text{ فقط} = \frac{300}{1.08} = 277.78 \text{ جم وزن جاف}$$

$$1.08$$

وكذلك تكون كمية الماء الموجودة بعينة التربة هي:

$$300 - 277.78 = 22.22 \text{ مل}$$

وتكون الكمية الإجمالية من الماء في عينة التشبع هي: $121 + 22.22 = 143.22$ مل

$$\text{إذن النسبة المئوية للتشبع هي: } \frac{143.22}{277.78} \times 100 = 51.6$$

$$277.78$$

2-2-6 تقدير الرقم الهيدروجيني.

الأجهزة

- جهاز قياس الرقم الهيدروجيني (pH meter) مع ألكترود (قطب كهربائي)
- دوارق زجاجية سعة 25 مل

المواد

محاليل قياسية محدّدة للرقم الهيدروجيني. بما أن التربة في المناطق الجافة وشبه الجافة قلووية، فيوصي بأن يُستخدم محلول قياسي آخر في مجال 8.8 – 9.2 pH إلى جانب المحلول القياسي 7 pH.

الطريقة

1. يعاير جهاز قياس الـ pH، باستخدام محاليل الـ pH القياسية مع تكرار غسيل الألكترود بالماء المقطر كل مرة يغمس فيها في المحلول القياسي. تأكد من إجراء التعديلات المتعلقة بدرجة الحرارة طبقاً للتعليمات الملحقة عادة بالمحلول القياسي
2. انقل جزء من عينة التشبع، التي تم إعدادها بحيث يملأ ثلاثة أرباع دورق طويل سعة 25 مل.
3. يُغسل الألكترود بالماء المقطر غسلاً جيداً ثم يغمس بعناية في العينة.
4. يكرر رفع وخفض الدورق للتأكد من احتكاك أفضل للألكترود بالعينة، وعند إستقرار القراءة، تُسجّل النتيجة.

ملاحظة: يمكن أن تُقاس درجة pH التربة في مَرشَح مزيج 2:1 تربة:ماء مقطر أو تربة:محلول كلوريد الكالسيوم (CaCl₂) تركيز 0.01M. ويمكن إستعمال كلوريد البوتاسيوم KCl بدلا من محلول كلوريد الكالسيوم. في حالة قياس درجة pH أيضا في مستخلص عجينة التشبع.

3-6 تحضير مستخلص التشبع

يوصي بقياس الموصلية الكهربائية في مستخلص التشبع وذلك من أجل تقدير ملوحة التربة ذلك لأن النسبة المئوية للتشبع تتعلق بصورة مباشرة بمعدل الرطوبة. مثال ذلك، فإن نقطة الذبول الدائمة هي حوالي ربع النسبة المئوية للتشبع، والسعة الحقلية حوالي نصف النسبة المئوية للتشبع. كذلك يستخدم المستخلص لتحديد وجود بعض المحتويات القابلة للذوبان (مثل الصوديوم والبوتاسيوم والكالسيوم والمنجنيز والكلورين والسلفات والبيكروبات والكربونات) وتقدير مدى توفرها.

ولتحديد العلاقة ما بين تركيز الأملاح الذاتية في التربة ونمو النبات فيها، تقاس الموصلية الكهربائية في مستخلصات يُحصل عليها عندما يكون الجهد على ماء التربة يتراوح ما بين 0.33 – 2 ضغط جوي، وهو يشابه ذلك الضغط المناسب لنمو النباتات.

الاجهزة

- وحدة استخلاص مجهزة بأقماع بوخنر Buchner Funnels وعبوات زجاجية.
- نظام شفط وأوعية .

الطريقة

1. تُنقل العجينة المشبعة إلى قمع بوخنر به ورقة ترشيع واثمان Whatman No. 41، وموصول بجهاز الشفط.
2. تُشغّل مضخة الشفط ويُجمَع الراشح في قنينة 50 مل. يوقف الترشيح عندما يبدأ الهواء في المرور من خلالها.
3. إذا كان الراشح عكرا، يُصب فوق العجينة في القمع ويعاد ترشيحه.
4. يُحفظ المستخلص لقياس الكاتيونات القابلة للذوبان والأنيونات والموصلية الكهربائية.
5. لمنع ترسب الكالسيوم في المستخلص أثناء حفظه، تضاف لكل 25 مل منه نقطة من محلول هكساميتافوسفات الصوديوم تركيز 1 غم/لتر، ويُحفظ في قنينات زجاجية على درجة حرارة 4 م°.

3-6-1 تقدير ملوحة التربة بواسطة الموصلية الكهربائية (Electrical Conductivity)

يدل قياس الموصلية الكهربائية (EC) في محلول أو مستخلص التربة على تركيز إجمالي الأملاح الذاتية فيه وبالتالي يعكس درجة ملوحة التربة. ووحدة القياس تسمى مليموز/سم (mmhos cm⁻¹) أو "مليسيمين/سم (mS cm⁻¹) ويجب تحويل القراءات المأخوذة على درجات حرارة مختلفة إلى ما يعادلها على درجة حرارة 25 م°، كما هو موضَّح في الملحق (F).

وللملوحة تأثير ضار على نمو النبات خلال مختلف مراحل النمو، لكن بعض المحاصيل تختلف حساسيتها من مرحلة نمو لأخرى. فنباتات الشعير والقمح والذرة، تتأثر بالملوحة في المراحل الأولى من النمو أكثر منها عند الإنبات أو في المراحل المتقدمة للنمو وتشكيل البذور (Maas and Hoffman, 1977).

وتأثير الملوحة يكون شديدا جدا عند إنبات البذور وخروج البادرات. وينتج عن ذلك إنخفاض في عدد النباتات في وحدة المساحة وإنخفاض الغلة (Maas and Hoffman, 1977). ويضيف ماس وهوفمان أن تحمّل أشجار الفاكهة وبساتين الكروم للملوحة يختلف باختلاف أصول الجذور. ويضيفون أيضا أن حساسية أشجار الفاكهة ليس فقط من الملوحة بحد ذاتها، بل من التأثيرات السمية لأيونات الصوديوم والكلوريد.

الأجهزة

- جهاز قياس الموصلية الكهربائية (EC meter).

المواد

1. محلول قياسي من كلوريد البوتاسيوم (KCl) تركيز 0.01 وكذلك 0.1

- أ- يُذاب 7.456 غم من كلوريد البوتاسيوم تركيز 0.1 في نصف لتر تقريباً من الماء المقطر في دورق معياري سعة لتر، ثم يُضاف ماء مقطر للعلامة. (محلول قياسي أ 12.90 ملليسيمنز/سم عند درجة حرارة 25 م°).
- ب- يُنقل 100 مل من المحلول القياسي الثاني إلى دورق معياري سعة لتر، ثم يُملأ الدورق مع التحريك بالماء المقطر للعلامة أو يُذاب 0.7456 جم من كلوريد البوتاسيوم في لتر من الماء المقطر. (محلول قياسي ب ذو موصلية كهربائية 1.412 ملليسيمنز/سم عند درجة حرارة 25 م°)

الطريقة

1. يُغسل أليكترود جهاز قياس التوصيل بالماء المقطر ثم يُشطف بالمحلول القياسي ب
2. يُصب بعض مل من المحلول ب في دورق سعة 25 مل ويُغمس الإلكترود فيه. تُضبط قراءة الجهاز على 1.412 ملليسيمنز/سم مصححة لدرجة حرارة 25 م°.
3. يُغسل الأليكترود بالماء المقطر ثم يُغمس في مستخلص العجينة المشبعة للتربة.
4. تُسجل القراءة الرقمية للموصلية الكهربائية بالمليسيمنز/سم مصححة لدرجة حرارة 25 م. هذه القراءة هي قياس لتركيز الأملاح الذائبة في المستخلص ولدرجة ملوحة التربة.

2-3-6 تقدير الصوديوم والبوتاسيوم الذائبة في المستخلص.

الأجهزة

- جهاز تحليل الطيف اللهبى (Flame Photometer).

المواد

1. محاليل قياسية للبوتاسيوم والصوديوم. تُحضّر مجموعة من المحاليل القياسية في مدى 0 - 2 ملليمكافىء/ليتر من البوتاسيوم، و في مدى 0 - 4 ملليمكافىء/ليتر من الصوديوم. وللحصول على نتائج أدق، يُضاف 212.5 مغ من كلوريد الليثيوم LiCl في كل محلول قياسي ليصبح التركيز النهائي 5 ملليمكافىء/ليتر من الـ LiCl. لتحضير محلول 2 ملليمكافىء بوتاسيوم/ليتر، يُذاب 149.2 مغ KCl مجففة في لتر من الماء المقطر، ولتحضير محلول 4 ملليمكافىء صوديوم/ليتر، يُذاب 234 مغ NaCl في لتر من الماء المقطر.

الطريقة

1. يُدار جهاز الطيف اللهبى حتى يصبح دافئاً لفترة 15 دقيقة.
2. تضبط قراءة الجهاز لمحلول المقارنة (control)، وللمحاليل القياسية.
3. تملأ الكبسولات بمستخلصات التربة. أدخل أنبوبة الشفط في الكبسولة وسجل القراءة. إغمس الأنبوبة في ماء مقطر وأغسل النظام، ثم اقرأ العينة
4. قراءة الجهاز تعني تركيز عنصر البوتاسيوم أو الصوديوم في المستخلص بالمليمكافىء/ليتر في مستخلص التشبع.

حساب عنصر البوتاسيوم أو الصوديوم الذائب في التربة

$$\text{مليمكافىء صوديوم او بوتاسيوم ذائب/100 غم تربة} = \frac{\text{مليمكافىء/لتر} \times \text{النسبة المئوية لتشتيع SP}}{1000}$$

3-3-6 تقدير الكالسيوم والمغنيزيوم الذائبين

يمكن قياس كلا من الكالسيوم والمغنسيوم القابلين للذوبان في الماء، في المستخلص التشتيع للتربة. أما الجزء المتبادل منهما، فيتم تقديره في محلول مستخلص أسيتات الأمونيوم (Ammonium Acetate).

ويمكن تحديد تركيز عنصري الكالسيوم والمغنسيوم بواسطة تقنية امتصاص الذرات بجهاز المصور الضوئي الطيفي (Spectrophotometer) وعادة ما تستخدم طريقة المعايرة لأن هذه الكاتيونات تتواجد بتركيز عالي في تربة المناطق الجافة وشبه الجافة. ومن أجل استخدام الجهاز المذكور، يتطلب الأمر تخفيف المستخلص لعدد من المرات.

الأجهزة:

- سحاحة مدرجة دقيقة سعة 10 mL.

المواد:

1. محلول كلوريد الأمونيوم وهيدروكسيد الأمونيوم كمحلول منظم (Buffer). يُذاب 67.5 غم من كلوريد الأمونيوم في 570 مل هيدروكسيد الأمونيوم المركز، ويُخفف بالماء المقطر ليصبح الحجم لتر.
2. محلول هيدروكسيد الصوديوم (NaOH) تركيز 4M: يُذاب 160 غم من هيدروكسيد الصوديوم في لتر ماء مقطر.
3. محلول قياسي لكلوريد الكالسيوم (CaCl₂) تركيز 0.01 M: يُذاب 0.50 غم من بلورات كربونات الكالسيوم النقية في 10 مل حامض الهيدروكلوريك (HCl) 3M ويخفف بالماء المقطر حتى 1 لتر.
4. دليل أريوكروم بلاك T: يُذاب 0.50 غم من دليل Eriochrome Black T و4.5 غم من هيدروكلوريد الهيدروكسيلامين (Hydroxylamine hydrochloride) في 100 مل كحول إيثانول تركيز 95%.
5. دليل كالرد (Calred Indicator). (2-Hydroxy-1-(2-Hydroxy-4 Sulfo-1-Naphthyle 20)-3-Naphtholic acid-original salt).
6. محلول قياسي عياري من 0.01N Ethylenediaminetetraacetic acid (EDTA). يُذاب 2.00 غم EDTA في لتر ماء مقطر. يعاير هذا المحلول مع المحلول القياسي 0.005M (CaCl₂).

الطريقة

أ - تقدير الكالسيوم:

1. يؤخذ بواسطة سحاحة دقيقة 2 – 5 مل من مستخلص التربة وتُفرغ في جفنة بورسلان بيضاء سعة 50 مل.
2. تُخفف العينة بالماء المقطر ليصبح الحجم الكلي حوالي 25 مل.
3. يُضاف 2 مل من محلول هيدروكسيد الصوديوم 4 M، و2-3 مغم من مسحوق دليل كالرد.
4. يُعاير المحلول ببطنى بمحلول EDTA حتى تظهر نقطرة طرفية ذات لون أزرق سماوي.
5. إذا حدث زيادة في إضافة محلول الـ EDTA، يُلجأ الى عكس المعايرة بإستعمال المحلول القياسي كلوريد الكالسيوم 0.01N.
6. يُحضّر محلول المقارنة (Control) بإستعمال 2-5 مل ماء مقطر وتتبع الخطوات 2-4.
7. يُعبر عن التركيز بالمليمكافىء كالسيوم/لتر لمستخلص التشتيع.

حساب نتائج الكالسيوم:

$$\text{مليمكافىء كالسيوم/لتر} = \frac{1000 \text{ (مل EDTA المستخدم للعينه) - مل EDTA المستخدم للمحلل الصورى} \times \text{EDTA N}}{\text{حجم العينه المعايه, مل (بالضبط)}}$$

ب. تقدير الكالسيوم مع المغنيزيوم:

1. يؤخذ بواسطة سحاحة دقيقة 2 - 5 مل من مستخلص التربة وتُفرغ في جفنة بورسلان بيضاء سعة 50 مل.
2. تُخفف العينه بالماء المقطر ليصبح الحجم الكلي حوالي 25 مل، ثم يضاف 5 مل كلوريد الأمونيوم - هيدروكسيد الأمونيوم المتوازن، و 3 - 4 نقط من دليل أريوكروم بلاك T .
3. يعاير المحلول ببطىء بمحلل EDTA القياسى 0.01M حتى تظهر نقطة طرفية لونها أزرق سماوي.
4. يُحضّر محلول المقارنة (Control) بإستعمال 2-5 مل ماء مقطر وتتبع الخطوات 2 و 3.
5. يُعبر التركيز بالمليمكافىء كالسيوم مع مغنيزيوم/لتر في المستخلص.

حساب نتائج (الكالسيوم + مغنيزيوم):

$$\text{مليمكافىء كالسيوم مع مغنيزيوم/لتر} = \frac{1000 \text{ (مل EDTA المستخدم في العينه) - مل EDTA لمحلل المقارنة} \times \text{EDTA N}}{\text{حجم عينه المستخلص, مل}}$$

ج- تقدير تركيز المغنيزيوم:

تركيز المغنيزيوم، مليمكافىء/لتر، بطرح المليمكافىء/لتر للكالسيوم من المليمكافىء/لتر لل (الكالسيوم + المغنسيوم) والفرق هو وتركيز المغنسيوم مليمكافىء/لتر.

6-4 تقدير الكربونات والبيكربونات

أيونات الكربونات (CO_3^{2-}) والبيكربونات (HCO_3^-) هي أيونات لذات الحامض؛ حامض الكربونيك. وتتوقف نسبة وجود كلا منهما على الرقم الهيدروجيني (pH). فأيونات الكربونات (CO_3^{2-}) تبدأ بالتشكل عندما يرتفع الرقم الهيدروجيني pH عن 8.4 .

المعدات:

- هزاز مغناطيسى (Magnetic Stirrer).
- سحاحة مدرجة دقيقة سعة 10 مل.
- جفنتان بيضاء من البورسلان.

المواد

1. محلول حامض الكبريتيك (H_2SO_4) قياسي تركيز 0.01M: يخفف 0.56 مل من حامض الكبريتيك (H_2SO_4) المركز ب لتر ماء مقطر، ويُعاير بواسطة محلول قياسي معياري.
2. دليل فينول فتالين (Phenolphthalein): يذاب 0.25 غم من مسحوق الفينول فتالين في 100 مل كحول إيثيلي 60%.
3. دليل المثيل البرتقالي (Methyl Orange): يذاب 0.1 غم من مسحوق المثيل البرتقالي في 100 مل ماء مقطر.

الطريقة

1. يُنقل بواسطة سحاحة دقيقة 5 مل من مستخلص التربة إلى دورق مخروطي Erlenmyer flask سعة 50 مل. يخفف بماء مقطر مغلي حتي حجم حوالي 25 مل.
 2. يُضاف 3 - 4 نقط من دليل فينول فتالين. ظهور لون طوبي (pink)، يدل على وجود الكربونات في المحلول.
 3. يوضع الدورق على هزاز مغناطيسي ويُعابر المحلول باستخدام حامض الكبريتيك 0.01M ببطئ (نقطة كل 3-4 ثوان) حتى زوال اللون الطوبي.
 4. تُسجّل حجم حامض الكبريتيك المعيار الذي استهلك (V_{pH}).
 5. يضاف إلى السائل، الذي زال لونه، 2-3 نقط من مؤشر المثل البرتقالي (Methyl Orange).
 6. تُكمل المعايرة دون اعادة ملاء السحاحة المدرجة، حتى ظهور النقطة الطرفية بلون طوبي (pink).
 7. يسجّل قراءة الحجم الكلي للحامض الذي استهلك في المعايرتين (V_t).
- يُحفظ المحلول لإستعماله في تقدير الكلوريد يجري تصحيح صوري لمعايرة الميثايل البرتقالي. يُعبر بالمكافئ/لتر عن المحتوى من الكربونات (CO_3^{2-}) والبيكاربونات (HCO_3^-) في العينة.

حساب النتائج

أ- لإحتساب تركيز الكربونات (CO_3^{2-})، تُعتمد النقطة الطرفية لدليل الفينول فتالين.

$$\text{مليمكافئ/لتر} = \frac{1000 \text{ مل} \times (\text{حجم حامض الكبريتيك} \times \text{تركيز الحامض})}{5 \text{ مل مستخلص } (CO_3^{2-})}$$

ب- وإحتساب تركيز البيكاربونات [HCO_3^-]، تُعتمد النقطة الطرفية لدليل مثل فتالين البرتقالي.

$$\text{بيكاربونات، } HCO_3^- = \frac{1000 \text{ مل} \times \text{تركيز حامض الكبريتيك (حجم الحامض المستخدم) - 2 \text{ مل الحامض المعيار}}{5 \text{ مل مستخلص}} \text{ (مليمكافئ/لتر)}$$

5-3-6 تقدير الكلوريد.

يُقاس الكلوريد في مستخلص التشبع للتربة لتقدير الأملاح الذائبة وطريقة التقدير بنترات الفضة كالتالي:

المعدات

- سحاحة مدرجة دقيقة 10 مل.

المواد

1. دليل كرومات البوتاسيوم (K_2CrO_4) تركيز 5%: يُذاب 5 غم كرومات البوتاسيوم في 90 مل ماء مقطر، ثم يُضاف لها ببطء ومع التحريك كميات صغيرة من محلول نترات الفضة المشبّع إلى أن يلاحظ تشكل راسب بني ضارب للحمرة من كرومات الفضة. ضع المحلول في مكان مُظلم لمدة 24 ساعة، ثم يُرشح ويكمل الحجم إلى 100 مل.
2. محلول نترات الفضة القياسي 0.005 M: يُذاب 0.8495 غم من نترات الفضة في ماء مقطر ثم يخفف حتي لتر.

الطريقة

1. يضاف 5 نقط من مؤشر كرومات البوتاس إلى المحلول المتبقي بعد معايرة الكربونات والبيكربونات السابقة، أو أن تؤخذ عينة جديدة بحجم 5 مل من المستخلص.
2. تُعاير العينة تحت إضاءة قوية بمحلول نترات الفضة القياسي إلى أن يتحول اللون إلى البني الضارب للحمرة.
3. بجهاز محلول المقارنة من أجل (أ) لتصحيح الرقم الخاص بكمية كلوريد الفضة المستخدمة لتكوين الراسب الأحمر من كرومات الفضة، (ب) لاستخدامه كمرجع للنقطة الطرفية. ويجب أن يكون حجم المحلول عند نهاية المعايرة لمحلول المقارنة مساوي تقريبا لهذا الحجم الغير معروف.

حساب النتائج

$$\text{ملي مكافئ/ليتر كلوريد} = \frac{x \text{ مل محلول نترات الفضة المستخدمة} \times \text{تركيز}}{5 \text{ مل مستخلص}}$$

0.005M نترات الفضة

7. كربونات الكالسيوم

كربونات الكالسيوم مكون أساسي في الأراضي الكلسية (calcareous) وتتراوح ما بين نسبة مئوية قليلة في التربة ذات الكلسية الطفيفة، لأكثر من 80% في الأراضي الزائدة الكلسية. وتتأثر خصائص التربة الفيزيائية والكيميائية لدرجة كبيرة بهذه النسبة من كربونات الكالسيوم وتكوينها الكيميائي ما بين كلي (total) وفعال (active)، وأيضاً بتوزعها على عمق قطاع التربة. وقد وجد أنه عندما تتعدى نسبة كربونات الكالسيوم الـ 20%، تكون نسبة الكربونات الفعالة أعلى من 10%. وحسب كارتر (Carter 1981)، أن نمو المحاصيل يتأثر سلباً ودرجة كبيرة عندما تتعدى نسب كربونات الكالسيوم الكلية الـ 11 – 30%، وكربونات الكالسيوم الفعالة الـ 9%.

وقد أوضح المؤلفون أن تثبيت التربة للفوسفور والمنغنيز والزنك والنحاس، يتأثر مباشرة بمحتوى التربة من كربونات الكلس الكلي والفعال، وتوزعها على أجزاء التربة من طين وطيني. فعندما تكون نسبة كربونات الكلس الكلي أقل من 20%، يُصبح تثبيت هذه العناصر متأثراً أساساً بالكمية الكلية للكربونات. لكن، عندما تكون النسبة الكلية للكربونات أعلى من الـ 20%، تُصبح نوعية كربونات الكلس هي المتحكمة بهذا التثبيت. ففي التربة التي درست، تصل نسبة كربونات الكلس الفعال إلى أكثر من 10% عندما تزيد نسبة كربونات الكلس الكلية عن 25%. لذلك، يمكن اعتبار نسبة الـ 10% من كربونات الكلس الفعال كحد أدنى ليصبح تأثيره كبيراً على تثبيت عناصر غذائية ضرورية معينة في التربة الكلسية.

التأثير على الصفات الفيزيائية: الجزء الفعال من كربونات الكلس، و توزع كربونات الكلس على مختلف الأجزاء الحجمية لحبيبات التربة، يؤثر على صفات التربة وخاصة علاقة التربة بالماء (Deb and Ghada, 1975; Thabet, 1979) فانتشار الرطوبة وسرعة تحرك الماء في التربة الكلسية التي تحتوي 15% كربونات الكلس، أعلى منها وأسرع في التربة المماثلة في القوام لكنها غير كلسية. ومن الواضح، إن وجود كربونات الكلس يساعد على تشكل كتل ثابتة بالتربة. لكن، وصول نسبة كربونات الكلس لـ 25% أو أكثر، يجعلها ترسب في مسام التربة فيرفع نسبة المسام الدقيقة إلى المسام الكبيرة، وهذا يحد من سرعة انسياب الماء.

التأثير على النبات: إن تراكم كربونات الكلس في الطبقات الأفقية لقطاع التربة قد يمنع اختراق الجذور للتربة مما يحد من نمو النبات وخفض الإنتاجية. وبحسب سيس (Sys, 1975) يمكن تصنيف حساسية النباتات لكربونات الكالسيوم إلى ثلاثة مجموعات:

1. النباتات العالية التحمل؛ مثل القمح، البرسيم الحجازي، التين، الزيتون والنخيل.
2. النباتات المتوسطة التحمل؛ مثل الشعير، البرسيم، القطن، الذرة، الدخن، الأرز، العنب، قصب السكر، بنجر السكر، البطيخ، الخس، الطماطم، الفاصوليا، الخرشوف، التبغ والبصل.
3. النباتات الحساسة؛ مثل الحمضيات (الموالح)، الموز والبطاطس.

1-7 تقدير كربونات الكالسيوم الكلي

المعدات

- دوارق مخروطية سعة 25 و 100 مل.
- سحاحة مدرجة 25 مل

المواد

1. محلول قياسي من حامض الهيدروكلوريك (HCl) 1M: يضاف 81 مل من حامض الهيدروكلوريك المركز (HCl) إلى حوالي نصف لتر ماء مقطر في دورق معياري سعة لتر. يبرد المحلول ، ويُضاف ماء مقطر للعلامة. يُعاير المحلول بواسطة محلول قياسي معياري.
2. محلول قياسي هيدروكسيد الصوديوم (NaOH) 0.5 M: يُذاب 20 غم من هيدروكسيد الصوديوم (NaOH) في 800 مل ماء مقطر في دورق معياري سعة لتر. يبرد المحلول، ثم يخفف الى لتر بإضافة الماء المقطر. يُعاير المحلول بواسطة محلول قياسي .
3. دليل فينول فتالين (Phenolphthalein) 1% في كحول إيثانول 60%: يوزن 1 غم من بلورات الفينول فتالين وتوضع في دورق معياري 100 مل. يضاف لها 60 مل كحول إيثانول، يرج الدورق حتي تذوب البلورات تماما، ثم يكمل الحجم إلى 100 مل بإضافة الماء المقطر .

الطريقة

1. يُوزن 5 غم تربة وتوضع في دورق مخروطي سعة 250 مل.
2. يُضاف 100 مل من محلول حامض الهيدروكلوريك القياسي (1 M HCl).
3. يغطى الوعاء بورقة ألومنيوم ويُترك لليوم التالي، أو يُغلى المزيج لخمس دقائق ثم يُترك ليبرد لدرجة حرارة الغرفة.
4. يرشح المزيج، و تُنقل منه بواسطة سحاحة 10 مل إلى دورق مخروطي 100 مل.
5. يُضاف 2 - 3 نقاط من مؤشر فينول فتالين (Phenolphthalein) ويعاير المحلول بمحلول هيدروكسيد الصوديوم 0.5M.

حساب النتائج:

كربونات الكلس % =

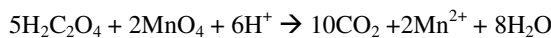
$$\left[\frac{100 \text{ مل} \times 100 \text{ غم}}{1000 \times 2} \times \frac{100 \text{ مل}}{\text{التربة غم}} \right] \times (0.5 \text{ M})$$

كربونات الكلس % = $[(10 \times 1) - (\text{مل هيدروكسيد الصوديوم } 0.5 \text{ M})] \times 10$

2-7 تقدير كربونات الكالسيوم الفعّال طريقة Driuneau المعدلة

المواد

1. محلول أوكسالات الأمونيوم $(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4$ 0.2 M: يُذاب 12.61 غم من أوكسالات الامونيوم في لتر ماء مقطر.
 2. حامض كبريتيك مركز (Analytical grade).
 3. محلول قياسي بيرمنجنات البوتاسيوم (KMnO_4) 0.1N: يُذاب 3.16 غم بيرمنجنات البوتاسيوم في لتر ماء مقطر، ويُبقي المحلول على غليان هاديء لمدة حوالي ساعة، ثم يُغلى ويُترك لليوم التالي. يُرشح المحلول ويُحفظ في قنينة زجاج بنية اللون (amber).
- يمكن معايرة برمنجنات البوتاسيوم بمحلول قياسي من أوكسالات الصوديوم $(\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4)$ مذاباً في حامض الكبريتيك لتكوين حامض الأوكساليك (Oxalic acid):



أثناء المعايرة مع محلول بيرمنجنات البوتاسيوم، يُسخّن المزيج إلى درجة حرارة 80 – 90 م لتسريع التفاعل. التفاعل يكون بطيئاً في البداية، لكن تشكّل الـ Mn^{2+} في المحلول يُحفّز التفاعل فيصبح سريعاً. نقطة نهاية المعايرة تكون عند ظهور لون طوبي يثبت لحوالي 30 ثانية. وبذات الطريقة يعاير محلول المقارنة المحتوي ذات الحجم من حامض الكبريتيك 0.1 M.

الطريقة

1. يوزن بدقة 2.5 غم من عينة التربة المنخولة بمنخل فتحاته 2 مل، وتوضع في دورق مخروطي سعة 500 مل.
2. يضاف للتربة 250 مل من محلول أوكسالات الأمونيوم وترج لمدة ساعتين .
3. يرشح المزيج ويجمع الراشح الصافي بعد رمي الجزء العكر في بداية الرش.
4. يؤخذ من الراشح 10 مل بواسطة سحاحة وتوضع في دورق مخروطي.
5. يضاف إليها 100 مل ماء مقطر و 5 مل حامض كبريتيك مركز، ثم تسخن لدرجة حرارة 60-70 م.
6. يُعاير المزيج بمحلول بيرمنجنات البوتاسيوم (KMnO₄) 0.02M حتى يتحول اللون الى طوبي، وتسجل قراءة الحجم المستخدم (V_{sample}).
7. يُحضّر محلول المقارنة بنفس الأسلوب باستخدام 10 مل من محلول أوكسالات الأمونيوم. يسجل حجم محلول المعايرة الذي استهلك (V_{blank}).
8. إحصب النسبة المئوية للمحتوي من كربونات الكالسيوم النشطة بالتربة.

حساب النتائج:

كربونات الكالسيوم النشطة % =

$$\% \text{ Active CaCO}_3 = N_{KMnO_4} (V_{\text{blank}} - V_{\text{sample}}) \times \frac{(NH_4)_2C_2O_4 \text{ (ml)}}{\text{filtrate aliquote (ml)}} \times \frac{100 \text{ g}}{2.5 \text{ g}} \times \frac{5}{1000}$$

Since 0.1 meq MnO₄²⁻ reacts with 5mg CaCO₃

Therefore,

$$\% \text{ Active CaCO}_3 = N_{KMnO_4} (V_{\text{blank}} - V_{\text{sample}}) \times \frac{250 \text{ ml}}{10 \text{ ml}} \times \frac{100 \text{ g}}{2.5 \text{ g}} \times \frac{5}{1000}$$

$$\% \text{ Active CaCO}_3 = N_{KMnO_4} (V_{\text{blank}} - V_{\text{sample}}) \times 5$$

ملحوظة: الحد الأقصى لتركيز كربونات الكالسيوم النشطة التي يمكن أن تذاب بهذه الطريقة هو 20%. وإذا كان محتوى كربونات الكالسيوم النشطة أكثر من 17% يجب حينئذ تكرار التحليل بكمية أقل من التربة أو حجم أكبر من مستخلص الأوكسالات.

إن وجود تركيزات عالية من الكالسيوم، خاصة في صورة جبس تتداخل في عملية تحديد السعة التبادلية للكاتيونات، التي تعد مؤشرا هاما عن خصوبة التربة وصفاتها المعدنية

والكاتيونات القابلة للتبادل والسعة التبادلية للكاتيونات (الشحنات السالبة على سطح حبيبات التربة)، يعبر عنهما بالمليمكافى للشحنة السالبة لكل 100جم من التربة المجففة بفرن تجفيف (1مليمكافى/100جم تربة = 1 سنتيمكافى في كجم تربة حسب النظام العالمي). وسوف تستخدم وحدة المليمكافى/100 غم تربة في هذا الكتاب لأنها معروفة ومتداولة في معظم مختبرات التربة في منطقة الشرق الأدنى للتعبير عن السعة التبادلية الكاتيونية للتربة، وكذلك قياس الكاتيونات المتبادلة.
أما تعريف أو تحديد معنى المكافىء والوزن المكافىء فهما كما يلي:

- **الوزن الذري (Atomic Weight):** هو الوزن بالغرام لـ 6×10^{23} ذرة من العنصر. والمول (mole) من أي مادة هو 6×10^{23} ذرة من عنصر، أو جزيء (molecule) أو أيون (ion) أو مركب. لذلك، فإن وحدة الوزن الذري تكون "غرام/مول" (g/mole):

$$\text{الوزن الذري} = \text{وزن } 6 \times 10^{23} \text{ أيون أو ذرة بالغرام}$$

- **الوزن المكافىء (Equivalent Weight):** هو الوزن بالغرام من المادة (كأيونات، أيونات، مركب الخ) التي تتفاعل مع أو تزيح غرام واحد من الهيدروجين (H^+)، أي "عدد أفوكادرو" (Avogadro's Number) من الشحنات (+ أو -). وهذا يساوي الوزن بالجرام لـ 6×10^{23} من الشحنات وعلى ذلك، فإن وحدات الوزن المكافىء يعبر عنها بال جرام/مكافىء.

$$\text{الوزن المكافىء} = \text{الوزن بالغرام لـ } 6 \times 10^{23} \text{ من الشحنات (+ أو -)}$$

من المناسب استخدام المكافىء للتعبير عن تركيز أو كمية العناصر الغذائية في التربة، وهذا ما هو معمول به في مختبرات فحص التربة. (كأيون الكالسيوم Ca^{2+} يحل محل كاتيونتين من البوتاسيوم K^+ ، لكن مكافىء واحد من الكالسيوم Ca^{2+} يحل محل مكافىء واحد من البوتاسيوم K^+ أو أي كاتيون أخرى). لذا، سيُتبع في الكتاب التعبير بالمكافىء من أجل التوضيح.

$$\frac{\text{الوزن الذري لأيون س}}{\text{قوة التكافؤ لأيون س}} = \text{الوزن المكافىء لأيون س}$$

مثالا على ذلك:

$$\frac{39.1 \text{ غم/مول}}{1 \text{ مكافىء/مول}} = \text{الوزن المكافىء للبوتاسيوم } K^+ = 39.1 \text{ جرام/مكافىء}$$

$$\frac{40 \text{ غم/مول}}{3 \text{ مكافىء/مول}} = \text{الوزن المكافىء للكالسيوم } Ca^{2+} = 20 \text{ جم/مكافىء}$$

$$\frac{27 \text{ غم/مول}}{3 \text{ مكافىء/مول}} = \text{الوزن المكافىء للألومنيوم } Al^{3+} = 9 \text{ جم/مكافىء}$$

1-8 تحديد سعة التبادل الكاتيوني (CEC)

الأجهزة

1. جهاز طرد مركزي Centrifuge.
2. أنابيب لجهاز الطرد مستديرة القاع سعة 50 مل.
3. رجاجة ميكانيكية.
4. جهاز قياس الضوء اللهبى Flame photometer

المواد

1. محلول أسيتات الصوديوم 1.0 M (NaOAc). يذاب 136.08 غم من أسيتات الصوديوم الثلاثي في الماء المقطر ثم يكمل الحجم إلى لتر، ويضبط الرقم الهيدروجيني إلى 8.2 pH.
2. إيثانول (Ethanol) 95%.
3. محلول أسيتات الأمونيوم 1.0M (NH₄OAc). يذاب 77.09 غم أسيتات الأمونيوم في الماء المقطر ويكمل الحجم إلى لتر، ثم يضبط الرقم الهيدروجيني لـ 7.0 pH أو أضف 57 مل من حامض الأسيتيك المركز إلى 700-800 مل ماء مقطر في دورق سعة لتر، ثم يضاف مع التحريك المستمر 68 مل من هيدروكسيد الأمونيوم المركز ويكمل الحجم إلى حوالي لتر. يضبط الرقم الهيدروجيني لـ 7.0 pH بإضافة مزيد من هيدروكسيد الأمونيوم أو حامض الأسيتيك.
4. محاليل قياسية Na. حسب ما ورد في بند 2-3-6.

الطريقة

1. يوزن بدقة حوالي 5 غم تربة وتوضع في أنبوب طرد مركزي سعة 50 مل.
2. يضاف 30 مل من محلول أسيتات الصوديوم تركيز 1.0M، يغلق الأنبوب جيداً، ثم يوضع على رجاجة ميكانيكية لخمس دقائق.
3. يوضع الأنبوب في جهاز الطرد المركزي بسرعة 2000 دورة بالدقيقة لمدة 5 دقائق او حتى يصبح السائل في الأنبوب رائق وغير عكر.
4. يُزال الرائق من الأنبوب ويعاد الاستخلاص ثلاث مرات ويُرمى الرائق.
5. تُعاد الخطوات من 2 – 4 بإضافة كحول الإيثانول أو الإيزوبروبيل حتى تصبح الموصلية الكهربائية في الراشح أقل من 40 ميكروسيمنز/سم (عادة يحتاج هذا 4 – 5 غسلات).
6. للتخلص من أيونات الصوديوم الملتصقة، تعاد الخطوات من 2 – 4 باستخدام محلول أسيتات الأمونيوم ويُجمع الرائق في دورق معياري سعة 100 مل مجهزة بقمع وورقة ترشيح. يُزيد محلول أسيتات الأمونيوم ليكمل الحجم للعلامة.
7. لتحديد تركيز الصوديوم بواسطة جهاز الطيف اللهبى (أنظر البند 2-3-6)، تعد سلسلة من محاليل الصوديوم المعيارية ما بين صفر الي 40 ملليمكافى/لتر. ومن أجل نتائج أفضل، يضاف كلوريد الليثيوم (LiCl) لكل محلول للوصول الي تركيز نهائي من كلوريد الليثيوم قدره 5 ملليمكافى/لتر.

حساب النتائج

$$\text{ملييكافيء صوديوم/100 غم تربة} = \text{ق} \times \frac{100 \text{ مل}}{1000 \text{ مل}} \times \frac{100 \text{ غم}}{\text{وزن العينة غم}}$$

$$\text{أو} \quad \frac{10 \times \text{ق}}{\text{وزن العينة غم}} =$$

حيث **ق** هي الملييكافيء/لتر من الصوديوم كما تمّ تقديره بواسطة جهاز الطيف اللهبى. والصوديوم المزاح هو في الواقع قياس للسعة التبادلية للكاتيونات بالتربة. وهذا يعني أن الملييكافيء/100 جم من الصوديوم يساوي الملييكافيء/100 جم من الكاتيونات القابلة للتبادل (كاليسيوم، مغنسيوم، صوديوم و بوتاسيوم).

2-8 تحديد سعة التبادل الكاتيوني في التربة الكلسية والجبسية

الأجهزة

1. جهاز طرد مركزي Centrifuge.
2. أنابيب لجهاز الطرد مستديرة القاع سعة 50 مل.
3. رجّاجة ميكانيكية.
4. جهاز قياس الضوء اللهبى Flame photometer.

المواد

1. محلول أوكسالات الصوديوم مُشَبَّع $(\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4)$. يُضَاف 10 غم من بلّورات أوكسالات الصوديوم إلى 100 مل ماء مقطر. يترك المحلول ليستقر ثم يرج من وقت لآخر لمدة ثمان ساعات أو أكثر. بعدها يُترك حتى يصفو أو أن يُرشح لوعاء آخر.
2. كحول الإيثانول 95% أو كحول الإيزوبروبيل.
3. محلول أسيتات الأمونيوم $1.0\text{M } (\text{NH}_4\text{OAc})$. أضف 57 مل من حامض الأسيتيك المركز (من درجة الكاشف الكيماوي) الي 700 – 800 مل ماء مقطر في دورق سعة لتر. ثم مع التقليب المستمر يضاف 68 مل من هيدروكسيد الأمونيوم المركز ويزاد الحجم الي قرب 1 لتر مع تعديل الرقم الهيدروجيني (pH) الي 7 بإضافة مزيد من هيدروكسيد الأمونيوم أو حامض الأسيتيك. أو يذاب 77.09 جم من أسيتات الأمونيوم في ماء مقطر ويخفف المحلول حتي 1 لتر مع تعديل ال pH الي 7.
4. محاليل الصوديوم القياسية. حسب ما ورد في بند 2-3-6.

الطريقة

1. يوزن بدقة 4 غم تربة وتوضع في أنبوب طرد سعة 50 مل.
2. يضاف 30 مل من محلول أوكسالات الصوديوم المركز ويغلق الأنبوب جيدا، ثم يوضع على رجّاجة ميكانيكية لمدة لساعتين.
3. يوضع الأنبوب في جهاز الطرد المركزي بسرعة 2000 دورة بالدقيقة لمدة 5 دقائق او حتى يروق السائل في الأنبوب.
4. يُزال الرائق من الأنبوب تماما وتعاد هذه العملية ثلاث مرات أخرى مع إزالة الرائق.
5. تعاد الخطوات 4-، باستخدام كحول الإيثانول أو كحول الإيزوبروبيل حتى تصبح التوصيلية الكهربائية في الراشح أقل من 40 ميكروسيمنز/سم (4-5 غسلات).
6. لإزاحة أيونات الصوديوم الملتصقة في عينة التربة تعاد الخطوات 2-4 مع إضافة محلول أسيتات الأمونيوم. ويُجمع المحلول في دورق معياري سعة 100 مل مُجهّز بقمع وورقة ترشيح. يُضاف محلول أسيتات الأمونيوم ليُكمل الحجم للعلامة.
7. يُحدد تركيز الصوديوم كما سبق في القسم 2-3-6.

حساب النتائج

$$\begin{aligned} & \frac{100 \text{ مل}}{1000 \text{ مل}} \times \text{ق} = \text{مليمكافىء صوديوم/100 غم تربة} \\ & \frac{10 \times \text{ق}}{\text{وزن العينة غم}} = \text{أي} \end{aligned}$$

حيث ق هي المليمكافىء/ليتر من الصوديوم كما تمّ تقديره بواسطة جهاز قياس الضوء اللهيبي. وهذا الرقم، مليمكافىء/100 غم من الصوديوم المزاح بواسطة أسيتات الأمونيوم هو في الواقع المليمكافىء/100 جم للكاتيونات القابلة للتبادل (كالكسيوم، مغنسيوم، صوديوم و بوتاسيوم).

3-8 تقدير النسبة المئوية للصوديوم المتبادل (Exchangeable sodium percentage, ESP)

النسبة المئوية للصوديوم المتبادل (ESP) هي الحاصل من قسمة كمية الصوديوم المتبادل على مجموع الكاتيونات المتبادلة أو سعة التبادل الكاتيوني (CEC).

فكلما إزداد إكتفاء السعة التبادلية للكاتيونات من الصوديوم على حساب الكلس والمغنيزيوم والبوتاسيوم يصبح الجزء الطمي من التربة متبعثراً ومنفرداً مسبباً تدميراً لبنية التربة.

وهناك قيم متفق عليها عالمياً للنسبة المئوية للصوديوم المتبادل (ESP) لتصنيف الأراضي المتأثرة بالأملاح وأثر ذلك على بنية التربة ونمو النبات فيها. لكن، من الملاحظ أنه في التربة الرملية ببلدان الخليج الفارسي، وفي منطقة فزان بليبيا، تصل النسبة المئوية للصوديوم المتبادل (ESP) إلى 50% أو أكثر، دون أن يسيء ذلك إلى بنية التربة أو نمو وإنتاجية النبات. وقد يعود سبب ذلك إلى حبات الرمل المنفردة الغير مُتكتلة. بالمقابل، فإن الأراضي الطينية في السودان تفقد بنيتها عندما تصل النسبة المئوية للصوديوم المتبادل (ESP) إلى 8% فقط. وهذا عائد إلى إنفراط الحبيبات الطينية المتكتلة. وتبعاً لذلك، فإن النسب المئوية للصوديوم المتبادل (ESP) الخطيرة للتربة الطينية، يمكن تحملها في التربة الرملية.

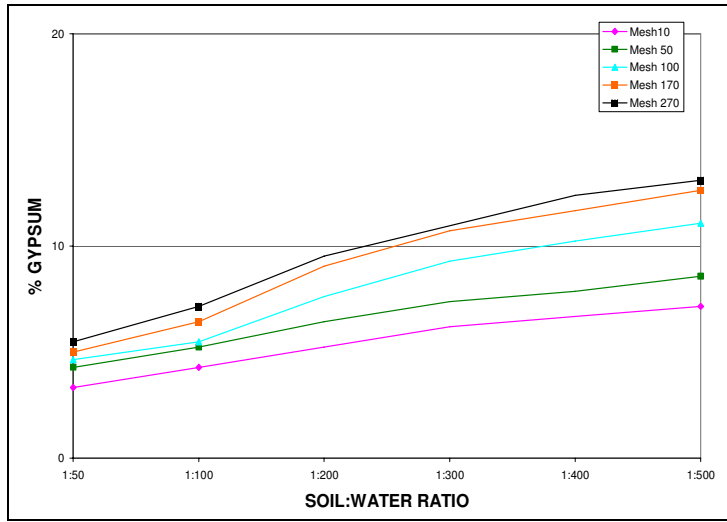
الحساب :

$$\begin{aligned} & \frac{\text{مليمكافىء صوديوم متبادل/100 غم}}{100 \times \text{سعة التبادل الكاتيوني (CEC) مليمكافىء/100 غم}} = \text{النسبة المئوية للصوديوم المتبادل (ESP)} \end{aligned}$$

9. جبس التربة

من الصعب تقدير الجبس في التربة بشكل دقيق بسبب الأخطاء المستمرة في إستخلاص هذا المعدن بواسطة الماء. فإلى جانب درجة ذوبان الجبس في الماء، هناك عوامل أخرى تؤثر على مقدار إستخلاص الكالسيوم والكبريتات من التربة الجبسية، هي:

1. محلول الكالسيوم والكبريتات الناتج من مصادر أخرى غير الجبس.
2. التفاعلات التبادلية التي تسمح للكالسيوم الذائب أن يحل محل كاتيونات أخرى مثل الصوديوم والمغنيزيوم. فالطرق التقليدية العياريّة لتقدير الجبس بالتربة لا تستخلص كامل كمية الجبس. لذا تكون النتائج أقل من المحتوى الحقيقي للجبس. وقد أدخل صايغ وآخرون (1978) تحسينات على طريقة تقدير الجبس بالتربة بطحن العينة ونخلها بمنخل قياس فتحاته 0.053 مم (270 mesh) بدل منخل قياس فتحاته 2 مم (100 mesh)، وإضافة كمية أكبر من الماء. والشكل 8 يبيّن القيم الأعلى لمحتوى الجبس في التربة مع زيادة نسبة كمية الماء للتربة، وزيادة طحن عينة التربة بدرجة أكثر، ويوضح الشكل تحديد الجبس بالتربة بواسطة الترسيب بالأسيتون.



شكل 8. تأثير نسبة الماء للتربة وحجم حبيبات التربة، على إستخلاص الجبس الكلي

الأجهزة

- جهاز الطرد المركزي (Centrifuge).
- أنابيب لجهاز الطرد سعة 50 مل.
- رجاجة ميكانيكية.
- جهاز قياس الموصلية الكهربائية (EC meter).

المواد

- أسيتون (الدرجة الخاصة بالتحليل)

الطريقة

1. ضع 1 غم من التربة الجافة منخولة بمنخل سعة فتحاته 0.05 مم (270 mesh) في دورق مخروطي.
2. يُضاف 500 مل ماء مقطر، بحكم اغلاق الدورق وتوضع على رجاجة الميكانيكية لمدة 20 دقيقة.
3. يرشّح المزيج مستخدماً ورقة ترشيح واتمان 41 (Whatman).
4. يؤخذ بواسطة سحاحة 20 مل من المستخلص المرشح وتوضع في أنبوب جهاز الطرد المركزي سعة 50 مل.
5. يضاف 20 مل أسيتون وتمزج ثم تُترك لـ 15 دقيقة حتى تهبط الترسبات للقاع.
6. توضع المحتويات في جهاز الطرد المركزي على سرعة 2000 دورة في الدقيقة لمدة ثلاث دقائق، ثم يُزل الرائق، ويُقلب الأنبوب على فوهته على ورقة ترشيح نظيفة ويُترك لخمس دقائق لصرف كامل السائل.
7. تغسل جوانب الأنبوب بـ 10 مل أسيتون ويرجّ الأنبوب للتخلص من الرواسب.
8. تُعاد الخطوة رقم 6.
9. يضاف 40 مل من الماء المقطر للأنبوب، تسد فوهته ويرج حتى تدوب الترسبات بالكامل.
10. تقاس الموصلية الكهربائية في السائل وتصحح القراءة الي درجة حرارة 25 مئوية.
11. يُحدد تركيز الجبس في السائل بناءً على جدول 2 أدناه الذي يبيّن العلاقة المباشرة ما بين الموصلية الكهربائية والمحتوي من الجبس.

جدول 2. قيم الموصلية الكهربائية للتركيزات المختلفة من كبريتات الكالسيوم في الماء.

الموصلية الكهربائية عند درجة حرارة 25م (مليمتر/سم)	تركيز كبريتات الكالسيوم مليمكافى/لتر
0.121	1
0.226	2
0.500	5
0.900	10
1.584	20
2.205	30.5

المصدر: ريتشارد، 1954.

حساب النتائج:

يُحسب محتوى الجبس في 100 غم تربة كما يلي:

$$\frac{\text{حجم الماء المستخدم (مل)}}{1000 \text{ (مل)}} \times \text{مليمكافى/لتر جبس من قراءة الموصلية الكهربائية} = \text{مليمكافى كبريتات الكالسيوم في المستخلص}$$

$$\frac{100 \times \text{مليمكافى جبس في الانبوب} \times 500}{20} = \text{مليمكافى جبس/100 غم تربة}$$

10- تقدير المادة العضوية بالتربة

1-10 طريقة الحرق الرطب (Walkley-Black Wet Combustion Method)

تُعرّف المادة العضوية في التربة بأنها الجزء من التربة الذي يحتوي بقايا النبات والحيوان والكاننات الحية المجهرية الموجودة بمراحل مختلفة من التحلل تتراوح بين المواد الحديثة وبين الدبال الكامل التحلل (humus). ويمكن تقدير المادة العضوية في التربة بتحديد النقص في وزن العينة بعد تدمير المادة العضوية بواسطة بيروكسيد الهيدروجين (الماء الأوكسجيني H_2O_2)، أو بعد حرقها على درجة حرارة مرتفعة. طريقة المعالجة بالبيروكسيد لا تزال كامل المادة العضوية، بينما طريقة الحرق على درجة حرارة مرتفعة تعطي نتائج أعلى من المحتوى الحقيقي لأن بعض أجزاء المركبات المعدنية قد تُفقد أثناء عملية الإحتراق.

أما طريقة الحرق الرطب للتربة بواسطة الهضم الذي يقوم به حامض الكروميك، فهي الطريقة القياسية المعتمدة لتقدير الكربون الكلي إذ أنها تعطي نتائج مقبولة. ويمكن بهذه الطريقة تقدير محتوى المادة العضوية في التربة عن طريق ضرب تركيز الكربون العضوي في رقم ثابت مؤسس على النسبة المئوية للكربون (C) في المادة العضوية. وتتراوح هذه الأرقام التحويلية الخاصة بالكربون العضوي في المادة العضوية الكلية في التربة السطحية ما بين 1.724 الي 02 وفي تربة المناطق الجافة وشبه الجافة، يعتبر الرقم 1.724 مقبولاً وعادة يكون هو المستخدم، بالرغم أنه الرقم المناسب يجب أن يحدد عن طريق التجارب لكل نوع من التربة كلما كان ذلك ممكناً. وفي الإجراءات التالية استخدام الرقم 1.724 في حساب المادة العضوية.

المعدات

- دوارق مخروطية Erlenmeyer سعة 500 مل.
- هزاز مغناطيسي (Magnetic stirrer).
- سحاحة مدرجة 10 مل.
- ميزان حرارة لدرجة 200م°.

المواد

1. محلول دايكرومات البوتاسيوم $(K_2Cr_2O_7)$ 0.17M: تذاب 49.04 غم من دايكرومات البوتاسيوم في الماء المقطر وتخفف حتى حجم لتر.
2. حامض كبريتيك مركز يحتوي على كبريتات الفضة: تذاب 25 غم من كبريتات الفضة في لتر حامض الكبريتيك تركيز 96% (درجة الكاشف).
3. دليل فيروين (ortho-phenanthroline) في محلول كبريتات الحديد (ferrous sulfate) 0.025 M: تذاب 14.85 غم (O-phenanthroline mono-hydrate) و6.95 غم كبريتات الحديد (ferrous sulfate) في الماء المقطر وتخفف حتى لتر.
4. محلول كبريتات الحديد $(FeSO_4 \cdot 7H_2O)$ 0.5M: تذاب 140 غم كبريتات حديد في كمية من الماء المقطر، تضاف 15 مل حامض كبريتيك مركز، وتترك لتبرد إلى درجة حرارة الغرفة ثم يكمل الحجم بالماء المقطر إلى لتر. يعاير هذا المحلول يومياً مع 10 مل من محلول دايكرومات البوتاسيوم القياسي 0.17M كما هو مبين في الطريقة التالية:

الطريقة

1. تطحن التربة لتمر في منخل قياس فتحاته 0.5 مم، مع تحاشي ملاصقة مواد من الحديد أو الفولاذ.
2. تنقل عينة من التربة لا يزيد وزنها عن 5غم تحتوي على 10-25 مغم كربون عضوي (يُجرب التحليل أولاً على بضعة عينات غير معروفة) وتوضع في دورق مخروطي سعة 500 مل واسع الفوهة (اجم للتربة الطينية و 2-3جم للتربة الرملية).
3. تُضاف 10 مل من محلول دايكرومات البوتاسيوم 0.17M، ويُحرك الدورق بشكل دائري لتشتيت التربة ثم تُضاف 20 مل حامض كبريتيك مركز.
4. يدخل في الدورق ميزان حرارة، يسخن ببطء إلى حرارة 150م°. يتابع تحريك الدورق باستمرار لمنع بعض الأجزاء من التعرض لحرارة زائدة والتي تسبب تفكك مركب الدايكرومات وإعطاء نتائج خاطئة.

5. يوضع الدورق على لوح أسبستوس ويُترك ليبرد ببطئ حتى حرارة الغرفة.
6. تضاف 200 مل من الماء المقطر و4-5 نقاط من دليل الفيروين.
7. يعاير الخليط باستخدام المحلول القياسي سلفات الحديد 0.5 M حتى يتغير اللون من أخضر إلى أحمر.
8. نظراً لأن بعض أنواع التربة تمتص دليل الفروين، يمكن تحسين المعايرة بالترشيح المسبق باستخدام ورق الترشيح السريع في قمع بوخنر. وفي هذه الحالة، يجري الترشيح بعد إضافة الماء ويضاف الدليل الي السائل المرشح.
9. يُحضّر، محلول المقارنة، ويُعاير بذات الطريقة لكن بدون تربة، وذلك لمعايرة المواد الكاشفة (الكاشفات).
10. إذا انخفض 80% أو أكثر من كمية الدايكرومات المضافة لأي عينة، يُعاد تحليل العينة من جديد بأخذ كمية أقل من التربة أو إضافة كمية أكبر من محلول دايكرومات.

حساب النتائج

$$\text{كربون عضوي \%} = \frac{0.336 \text{ (مليمكافيء دايكرومات البوتاسيوم - مليمكافيء كبريتات حديد)}}{\text{الوزن الجاف لعينة التربة؛ غم}}$$

$$\text{مادة عضوية \%} = \text{كربون عضوي \%} \times 1.724$$

ملاحظات: تبين للباحثين عند مقارنة نتائج ان هذه الطريقة (Walkley – Black method)، لتقدير الكربون العضوي في التربة، أنها تكشف فقط عن حوالي 89% من الكربون العضوي الموجود في التربة بالمقارنة بطريقة الحرق الجاف. وقد تم الحصول علي الرقم التحويلي (Factor) 0.336 من قسمة 0.003، وزن المليمكافيء كربون، على 89 وضربها في 100 لتحويل النتيجة إلى نسبة مئوية. وإضافة سلفات الفضة مع الحامض الهاضم يمنع تداخل الكلوريد في النتائج. كما ان إحتواء التربة لمعدلات تصل إلى 5% نيترات و 50% كربونات ، لا يؤثر على النتائج.

وفي دراسة لصانغ وصليب (1969) أجريت على عينات تربة كلسية جُمعت من سهل البقاع في لبنان، تبين أن طريقة الحرق الرطب تكشف فقط عن 78% من الكربون العضوي الذي تحدده طريقة الحرق الجاف.

11. نيتروجين التربة

1-11 النيتروجين الكلي (طريقة Kjeldahl)

المعدات

- وحدة هضم كладаهل Kjeldahl
- وحدة تقطير نيترات الأمونيا

المواد

1. حامض كبريتيك مع حامض سليسيليك: يذاب 1 غرام من حامض السليسيليك (Salicylic acid) في 30 مل حامض كبريتيك مركز (Sulfuric acid).
2. ثيوسلفات الصوديوم Sodium Thiosulfate ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$): بلورات مطحونة جافة تمر بمنخل 20 ماش.
3. مزيج الكبريتات: تُخلط 10 أجزاء من كبريتات البوتاسيوم، مع جزء واحد من كبريتات الحديد، ونصف جزء من كبريتات النحاس. يُطحن المزيج ليمر في منخل قياس 40 ماش.
4. محلول هيدروكسيد الصوديوم (Sodium Hydroxide) 45%: تُذاب 450 غم هيدروكسيد الصوديوم NaOH في لتر ماء مقطر.
5. قطع زنك مغطاه بالطحالب (Mossy Zinc).
6. محلول حامض البوريك (Boric Acid) 4%: تُذاب 40.0 غم حامض بوريك في لتر ماء مقطر.
7. محلول قياسي من حامض الكبريتيك (Sulfuric Acid) 0.05M. تُذاب 2.8 مل حامض كبريتيك مركز H_2SO_4 في لتر ماء مقطر ثم يُعاير المحلول باستخدام معيار أساسي.
8. دليل أخضر البروموكريزول ودليل أحمر الميثيل المخلوط: تخلص بودرة الدليلين بنسبة 1:1.

الطريقة

1. يوزن 10 غم من عينة تربة مطحونة ومنخولة في منخل قياس 20 ماش، وتوضع في دورق كداهل سعة 800 مل.
2. تُضاف 50 مل من خليط حامض الكبريتيك مع السليسيليك ويحرك الدورق لخلط التربة بالحامض جيداً وتترك لليوم التالي.
3. تُضاف 5 غم ثيوسلفات الصوديوم (Sodium thiosulfate) ويسخن الدورق لمدة 5 دقائق ببطئ لتفادي تشكيل رغوة.
4. يُبريد الدورق وتُضاف 10 غم من مزيج الكبريتات وتعاد إلى جهاز كداهل للهضم وترفع الحرارة تدريجياً إلى أن يصفو الحامض في الدورق. ترفع درجة الحرارة أكثر وتكمل عملية الهضم على حرارة مرتفعة.
5. يُبرد الدورق وتُضاف 300 مل ماء مقطر مع التحريك. تُضاف ببطئ 100 مل من محلول هيدروكسيد الصوديوم المركز ليسيل على رقبة الدورق من الداخل ويستقر في قاعه.
6. تُضاف إلى الدورق قطعة من الزنك المطحوب وملعقة من الحبوب الزجاجية، ثم يوصل الدورق بجهاز التقطير ويُحرك دائرياً قبل أن يوضع على السخانة ويتابع التقطير حتى الحصول على 150 مل في دورق الاستقبال المخروطي الذي يحتوي 50 مل محلول حامض البوريك 4%.
7. تُضاف 10 نقط من دليل مزيج أخضر البروموكريزول واحمر الميثيل، ويعاير بمحلول حامض الكبريتيك القياسي 0.05M حتى ظهور اللون الطوبي الفاتح (Pink).
8. تعابير عينة مقارنة (blank) بنفس الأسلوب ولكن بدون تربة.

حساب النتائج

$$(T - B) \times M \times \frac{2.8}{S} = (N\%) \text{ نسبة النيتروجين المئوية}$$

حيث T هي: حجم الحامض المعياري لمعايرة العينة
و B هي: حجم الحامض المعياري لمعايرة عينة المقارنة
و M هي: تركيز حامض الكبريتيك
و S هي: وزن عينة التربة بالجرام

2-11 تقدير النيتروجين المعدني

مقدمة

النيتروجين الغير عضوي في التربة غالباً ما يكون بشكل أيونات النترات (NO_3^-) والأمونيوم (NH_4^+). أما النيتريت (NO_2^-) فنادر ما يتكون بتركيزات يمكن تقديرها ولذا، لا داعي لتحديدها، إلا في الأراضي المتعادلة أو القلوية التفاعل بعد إضافة أسمدة أمونياكية أو أسمدة نتروجينية تتحول إلى أمونيوم (Keeney and Nelson, 1982).

وبسبب الذوبانية المرتفعة للنترات في الماء، فقد استخدمت محاليل متعدّدة، من ضمنها الماء، لإستخلاص النترات من التربة. هذه المحاليل تشمل محلول كبريتات الكالسيوم ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) المشبع 0.35%، فلوريد الأمونيوم (NH_4F) 0.03%، حامض الكبريتيك (H_2SO_4) 0.015 M، كلوريد الكالسيوم (CaCl_2) 0.01 M، بيكربونات الصوديوم NaHCO_3 و 0.5 M، كبريتات النحاس (CuSO_4) 0.01 M، مع كبريتات الفضة Ag_2SO_4 ، وكلوريد البوتاسيوم (KCl) 2.0 M.

والأمونيوم المتبادل هو الأمونيوم الذي يمكن إستخلاصه من التربة على حرارة الغرفة باستخدام محاليل احد املاح البوتاسيوم المتعادلة. لهذا الغرض استخدمت تركيزات مختلفة من محاليل أملاح البوتاسيوم مثل كبريتات البوتاسيوم 0.05 M K_2SO_4 ، كلوريد البوتاسيوم 0.1 M KCl، وكلوريد البوتاسيوم 1.0 M KCl، وكلوريد البوتاسيوم 2.0 M KCl.

وطرق تحديد النترات والأمونيوم في مستخلص التربة هي أيضا متباينة أكثر من طرق إستخلاصها من التربة (Keeney and Nelson 1982). فهي تتراوح بين الطرق التي تعتمد استخدام الكترود خاص بايون النترات، إلى التقنية اللونية - البيدوية أو الانتشار الميكروني، إلى طرق الحقن التدفقي والتقطير بواسطة البخار وهي الأكثر شيوعاً عند إستخدام أسمدة تحتوي النظير ^{15}N . أما المختبرات التي تستقبل أعداداً كبيرة من العينات، فغالبا ما تستخدم الأجهزة الأتوماتيكية التي تركز على تطوير اللون وقراءة الكثافة الضوئية.

11-2-1 تقدير النترات بطريقة حامض الفينول ديسلفونيك Phenoldisulfonic Acid

إن أحد المصاعب الرئيسية لتقدير النترات في التربة بطرق قياس اللون هي الحصول على مستخلص صافٍ ورائق عديم اللون، بنسب منخفضة من المواد العضوية وغير العضوية كي لا تؤثر قياس اللون، وفي أراضي المناطق الجافة أو المتأثرة بالأملاح، فإن الكلوريد هي الأيون الرئيسي الذي يتداخل في تطوير اللون عند استخدام طريقة حامض الفينول ديسلفونيك. فإذا كان تركيز الكلوريد في مستخلص التربة يزيد عن 15 جزء بالمليون (ميكروغرام/غم)، يجب إزالته قبل التحليل بإضافة كبريتات الفضة Ag_2SO_4 لترسيب الكلوريد بشكل كلوريد الفضة (AgCl). وتضاف كبريتات الفضة الي المستخلص أو الي المادة الكاشفة المستخدمة للإستخلاص، ثم يزال كلوريد الفضة بواسطة الفلترة أو الطرد المركزي بعد ترسيب الزائد من كبريتات الفضة بواسطة مادة قلوية مثل مثل هيدروكسيد الكالسيوم $\text{Ca}(\text{OH})_2$ أو كربونات المغنيزيوم MgCO_3 ومن الضروري إزالة الزائد من أيونات الفضة قبل التحليل لأنها أيضاً تؤثر على طريقة حامض الفينول ديسلفونيك لتقدير النترات.

المعدات

- رجّاجة ترددية
- سخان كهربائي قوي
- المصور الضوئي الطيفي Spectrophotometer
- وعاء توزيع

المواد

1. حامض فينول دايسلفونيك (Phenol 2,4-disulfonic acid): تؤخذ 70 مل من الفينول النقي السائل (Carbolic acid) وتوضع في دورق كداهل سعة 800 مل. يضاف 450 مل حامض كبريتيك مركز مع تحريك خفيف. تضاف 225 مل حامض كبريتيك (Fuming H₂SO₄) تركيز 13-15% SO₃، وتُخلط جيدا. يوضع الدورق وفوهته مغلقة جزئياً لفترة ساعتين في ماء يغلي. يخزن المركب الناتج وهو حامض فينول دايسلفونيك [Phenol 2,4-disulfonic acid, C₆H₃OH(HSO₃)₂] في قنينة ذات سدادة زجاجية.
2. محلول هيدروكسيد الأمونيوم مخفف (Ammonium Hydroxide 7.5 M NaOH): يخلط جزء هيدروكسيد الأمونيوم (الكثافة النوعية = 0.9) مع جزء واحد ماء مقطر.
3. محلول كبريتات النحاس تركيز 0.5 M (Copper Sulfate): تذاب 125 غم كبريتات النحاس (CuSO₄.5H₂O) في لتر ماء مقطر.
4. محلول كبريتات الفضة Silver sulfate 0.6%: تُضاف 6.0 غم كبريتات فضة (Ag₂SO₄) في لتر ماء مقطر، وتسخن أو ترج جيدا حتى تذوب كل الأملاح.
5. محلول إستخلاص النيترات: تمزج 200 مل من محلول كبريتات النحاس تركيز 0.5 M، مع لتر من محلول كبريتات الفضة تركيز 0.6%، ثم يكمل الحجم بالماء المقطر ليصبح 10 لتر وتخلط جيدا.
6. محلول نيترات قياسي معياري تركيز 100 ميكروغرام N/مل: تذاب 0.7221 غم نيترات البوتاسيوم (KNO₃) مجفف على حرارة 105 م° في لتر ماء مقطر ويُرج جيدا.
7. محلول نيترات قياسي لكبريتات الفضة تركيز 10 ميكروغرام/مل. تخفف 100 مل من محلول النيترات القياسي تركيز 100 ميكروغرام N/مل، في ماء مقطر ويكمل الحجم إلى لتر ويخلط جيدا.
8. هيدروكسيد الكالسيوم Ca(OH)₂ بدرجة عالية النقاوة وخالية من النيترات.
9. كربونات المغنيزيوم MgCO₃ بدرجة عالية النقاوة وخالية من النيترات.

الطريقة

1. توضع 5 غم تربة في دورق مخروطي.
2. تضاف 25 مل من محلول كلوريد البوتاسيوم 2.0 M وترج لعشر دقائق.
3. تضاف 0.2 غم من هيدروكسيد الكالسيوم وترج لخمس دقائق.
4. تضاف 0.5 غم من كربونات المغنيزيوم وترج لمدة 10 - 15 دقيقة.
5. يترك الدورق على الطاولة لعدة دقائق ليروق الخليط.
6. يرشح المزيج بورقة ترشيح Whatman # 42.
7. ينقل بواسطة السحاحة 10 مل من الراشح الرائق إلى دورق سعة 100 مل، ويُجفف السائل بوضع الدورق على سخانة كهربائية معتدلة الحرارة في خزانة شفط غاز (Hood) خالية من غازات حامض النيتريك، يجب التوقف عن التسخين عندما تجف العينة.
8. يترك الدورق كي يبرد ثم يضاف بسرعة 2 مل من حامض الفينول دايسلفونيك مستخدماً سحاحة واسعة الفتحة أو أناء توزيع كي تغطي كل الرواسب بسرعة وتحرك محتويات الدورق دائرياً كي يتفاعل حامض الفينول دايسلفونيك مع الأملاح المترسبة. (تنبيه: حامض الفينول دايسلفونيك مادة حارقة شديدة).
9. يُترك الدورق لمدة 10 - 15 دقيقة حتى يستقر المحلول.

10. يضاف 16.5 مل ماء مقطر بارد ويُحرك الدورق دائرياً ثم يقلب بقضيب زجاجي حتى يذوب كامل الراسب.

11. بعد أن يبرد الدورق لحرارة الغرفة، يضاف ببطء محلول هيدروكسيد الأمونيوم المخفف ليصبح المزيج قلوياً بدليل تلونه باللون الأصفر الثابت (15 مل).

12. بعد أن يبرد الدورق، يضاف 16.5 مل ماء مقطر (يصبح الحجم الكلي للمحلول 50 مل) ويخلط المزيج جيداً.

13. يقاس تركيز النيتروجين بشكل نترات عند العلامة 415 nm.

14. تحضر المحاليل القياسية بأخذ 0، 2، 5، 8، 10 مل من محلول النترات تركيزه، 10 ميكروغرام N/مل في بعد إضافة 10 مل من محلول مستخلص النترات في دورق سعة 100 مل ويبخر المحلول حتى الجفاف ثم تتبع الخطوات من 9 - 13 . وتركيز النيتروجين بشكل النترات في هذه المحاليل القياسية هو 0.0، 0.40، 1.00، 1.60، و 2.00 ميكروغرام/مل (NO₃-N).

حساب النتائج:

$$\begin{aligned} & \text{نترات-N في محلول} \\ & \text{العينة (ميكروغرام/مل)} \times \text{ظهور اللون (مل)} \times \text{مستخلص النترات} \\ & \text{من العينة (مل)} \\ & \text{حجم محلول العينة الذي تم تبخيره (مل)} \times \text{وزن عينة التربة الجاف (غم)} \end{aligned} = \text{ميكروغرام نترات N/غرام تربة}$$

2-2-11 تقدير النترات بواسطة ألكترود أيوني معين

يقدّر تركيز النترات NO₃⁻ بمقارنة القوة الدافعة الكهربية بالمليفلوت (Electromotive force, emf) في محلول غير معروف بنفس القوة في النترات القياسية (NO₃-N) التي تم إعدادها بنفس الطريقة.

المعدات

- جهاز قياس رقم الحموضة pH أو جهاز قياس الأيونات، مع الكترود خاص بالنترات، والكترود آخر مرجعي.

المواد

1. محاليل قياسية للنترات NO₃-N: تحضر مجموعة من المحاليل القياسية تحتوي من 1 إلى 100 مليغرام نترات - N/لتر...

2. محلول كبريتات الأمونيوم 2M (NH₄)₂SO₄: (لتعديل القوة الأيونية (Ionic strength)). تذاب 264 غم كبريتات الأمونيوم [(NH₄)₂SO₄] عالي النقاوة في لتر ماء مقطر.

الطريقة

1. تضاف 20 غم من التربة و 40 مل من الماء المقطر في دورق سعة 100 مل، ويقلب المزيج مرتين أو ثلاثة مرات خلال ساعة.

2. يوضع الدورق على هزاز مغناطيسي، يُغمس الإلكترود في المزيج ويبدأ التقليب. تؤخذ قراءة الجهاز بالمليفلوت إذا استخدمت طريقة قياس منحنى المعايرة أو أن يقرأ تركيز النترات مباشرة (إذا كان جهاز قياس الأيونات قد عوّر ليأخذ في الإعتبار نسبة التخفيف 2:1 تربة:ماء).

ملاحظة: يجب الأخذ بتعليمات الجهة المصنعة لمعرفة تفاصيل تركيب وحفظ ومعايرة الإلكترود. إذا كان هناك احتمال لحصول تداخل من تركيز الأملاح الذائبة كالكلوريد أو النيتريت، ، عندها يلزم معالجة خاصة للمستخلص. وإذا كان تقدير الأمونيوم (N+NH₄) سيتم على ذات العينة بواسطة الكترود، فيجب أن يجري التحليل أولاً قبل تحليل النترات (NO₃) لأن التلوث الشديد للعينة بواسطة المحلول المائي الخارجي الخاص بالالكترود المرجعي يمكن أن يحدث. هذا ولا يؤثر بشكل كبير وجود قطع صلبة من التربة على تقدير النترات بالالكترود.

3-11 إستخلاص الأمونيوم والنترات القابلة للتبادل

المعدات

- دوارق مخروطية
- سخانات
- رجاجة ميكانيكية

المواد

- محلول كلوريد البوتاسيوم KCl تركيز M 2.0 تقريباً: تذاب 150 غم كلوريد البوتاسيوم عالي النقاوة في لتر ماء مقطر.

الطريقة

1. توضع 10 غم تربة في دورق مخروطي سعة 250 مل واسع الفوهة، ثم تضاف 100 مل من محلول كلوريد البوتاسيوم (2M).
2. تسد فوهة الدورق ويرج على رجاجة ميكانيكية لمدة ساعة.
3. يترك معلق التربة وكلوريد البوتاسيوم على الطاولة كي يرقد ويصفو السائل (عادة لحوالي نصف ساعة).
4. إذا لم يتم إكمال التحليل بعد إعداده مباشرة (خلال 24 ساعة)، عندها يرشح المعلق بورقة ترشيح Whatman # 42 ويحفظ السائل في الثلاجة لحين إجراء التحليل.

1-3-11 تقدير الأمونيوم NH₄-N بواسطة طريقة أزرق الإندوفينول Indophenol Blue

يتفاعل الفينول مع الأمونيا NH₃، بوجود عامل مؤكسد مثل هيبوكلوريت (hypochlorite) ليكون مركب ملون في وسط قلوي. وإضافة صوديوم نيتروفرزيسانايد دايهيدرات sodium nitroferrocyanide dihydrate، والمعروف أيضاً باسم صوديوم نيتروبروسيد (Sodium nitroprusside)، لتحفيز التفاعل، أنه يزيد من حساسية هذه الطريقة عدة مرات. وإضافة محلول الـ EDTA يعتبر ضرورياً لتثابته تكافؤ المركب وتلائية تكافؤ الكاتيونات، وألا يمكن أن تشكل راسب في وسط الـ pH 11.4-12 المستخدم لظهور اللون، وهذه العكارة يمكن ان تتداخل في تكوين مركب الفينول أمونيا.

المعدات

- المصور الضوئي الطيفي مجهز بممر ضوئي 1 سم وقادر على قياس الإمتصاص حتى 636 nm.

المواد

1. محلول كلوريد البوتاسيوم (2M KCl): تذاب 150 غم كلوريد البوتاسيوم عالي النقاوة في لتر ماء مقطر.
2. محلول أمونيوم (NH₄⁺) قياسي: تذاب 0.4717 غم من كبريتات الأمونيوم (NH₄)₂SO₄ في ماء مقطر ثم تخفف حتى حجم 1 لتر. عند استخدام كبريتات أمونيوم مجفف عالي النقاوة يحتوي المحلول 100 ميكروغرام نيتروجين أمونيوم (NH₄⁺-N) بالمل. يُحفظ هذا المحلول في الثلاجة، وعند الحاجة مباشرة يؤخذ منه 4 مل وتخفف إلى حجم 200 مل، فيكون التركيز المخفف 2 ميكروغرام نيتروجين بصورة أمونيوم/مل.

3. محلول نيتروبروسيد الفينول Phenol-nitroprusside: يذاب مقدار 7 غم من الفينول مع 34 ملغم نيتروبروسيد الصوديوم (sodium nitroprusside)، والذي علميا يعرف ب:
 $(\text{dissodium pentaanitrosylfarrate}, \text{Na}_2\text{Fe}(\text{CN})_5\text{NO} \cdot 2\text{H}_2\text{O})$ في 80 مل ماء مقطر منزوع الأيونات ويخفف حتى حجم حجم لـ 100 مل. يُخلط المحلول جيدا ويُحفظ في قنينة قاتمة اللون في ثلاجة.
4. محلول هيبوكلوريت موازن: تُذاب 1.480 غم هيدروكسيد الصوديوم NaOH في 70 مل ماء مقطر منزوع الأيونات، يضاف 4.98 غم من فوسفات الصوديوم أحادي الهيدروجين sodium monohydrogen phosphate $(\text{Na}_2\text{HPO}_4)$ ، ثم تُضاف 20 مل من محلول هيبوكلوريت الصوديوم sodium hypochlorite 5% - 5.25% NaOCl. يستخدم أقل أو أكثر من محلول هيبوكلوريت المضاف حسب تركيز الـ NaOCl المستعمل. يقاس الرقم الهيدروجيني للتأكد من أن رقم pH يتراوح بين 11.4 و 12.2. تُضاف كمية قليلة من هيدروكسيد الصوديوم لتعديل الـ pH إذا لزم. يخفف المحلول بالماء المقطر لإكمال الحجم النهائي إلى 100 مل.
5. محلول حامض أثيلين دايامين تترا أسيتيك Ethylene Di-amine Tetra Acitic Acid (EDTA): تذاب 6 غم من مركب EDTA ثنائي الصوديوم (EDTA-Disodium) في 80 مل ماء مقطر منزوع الأيونات، ويضبط الرقم الهيدروجيني الـ pH الي 7، ويخلط المحلول جيدا ثم يخفف بماء مقطر لإكمال الحجم لـ 100 مل.

الطريقة

1. تؤخذ بالسحاحة من مستخلص كلوريد البوتاسيوم المرشح ما لا يزيد عن 5 مل (راجع 11-3) تحتوي 0.5-12 ميكروغم نيتروجين أمينيوم $\text{NH}_4\text{-N}$ وتوضع في دورق معياري سعة 25 مل . عادة أخذ 3 مل أو أقل يكفي للحصول على الأمونيوم اللازم لهذا القياس.
2. تُضاف 1 مل من محلول EDTA، وتخلط محتويات الدورق.
3. تترك محتويات الدورق على الطاولة لمدة دقيقة، ثم تضاف 2 مل من محلول نيتروبروسيد الفينول، وبعدها 4 مل من محلول هيبوكلوريت الموازن، وحالا يضاف ماء مقطر منزوع الأيونات مع التقليب ليكمل الحجم لـ 25 مل.
4. يوضع الدورق لمدة 30 دقيقة في حمام مائي على درجة حرارة 40 م° لمدة 30 دقيقة.
5. يُخرج الدورق من الحمام المائي ويترك ليبرد لدرجة حرارة الغرفة، وتؤخذ قراءة امتصاص المركب الملون باستخدام جهاز المصور الضوئي الطيفي على موجة طولها 636nm بالمقارنة مع محلول المقارنة الصوري.
6. تُقدر تراكيز نيتروجين الأمونيوم للعينة بالمقارنة مع منحنى المعايرة المرسوم من قياس التراكيزات المعروفة من نيتروجين الأمونيوم.
7. لرسم منحنى المعايرة من قراءات عينات قياسية، تضاف 0، 1، 2، 3، 4، 5، 6 مل من المحلول القياسي 2 ميكروغرام نيتروجين بصورة امونيوم في مجموعة دوارق معيارية سعة 25 مل.
8. تُضاف مقادير مناسبة من محلول كلوريد البوتاسيوم ليكمل الحجم لـ 25 مل، (نفس الأحجام كما استخدم في مستخلص التربة).
9. تُقاس كثافة اللون الأزرق الذي تشكل في المحاليل المعيارية بنفس الطريقة المشروحة عن تحليل المستخلصات الغير المعروفة.

11-2-3 تقدير الأمونيوم بواسطة ألكترود أيوني معين

يُمكن تقدير تركيز النيتروجين في الأمونيوم بمقارنة القوة الدافعة الكهربائية بالميليفولت (Electromotive force, emf) في المحلول الغير معروف بتلك المستخلصة من تحليل محاليل $\text{NH}_4\text{-N}$ القياسية بنفس الطريقة. ويلزم إضافة محلول هيدروكسيد الصوديوم إلى العينة لتكون قلوية (الرقم الهيدروجيني pH إلى 11-12). فالألكترود يتجاوب فقط مع نشاط الأمونيا.

يعاير الجهاز مباشرة قبيل تحليل كل مجموعة من عينات التربة. ويجب أن يجري القياس بعد دقيقة أو دقيقتين من إضافة هيدروكسيد الصوديوم قبل أن يحصل أي فقد للأمونيا. وإذا كانت العينة ملوثة بالزئبق Hg^+ ، يضاف أيوديد الصوديوم NaI إلى محلول هيدروكسيد الصوديوم 0.25M بنسبة 15 غم/لتر، فالأيوديد يُشكل مركبات

معدّدة مع الزئبق. ويجب الانتباه لمنع تشكل فقاعات هواء تحت الألكترود. وهذا ممكن تحقيقه بسهولة بإدخال الألكترود مانالا بدرجة 20° عن الخط القائم.

الأجهزة

- جهاز قياس القوة الدافعة الكهربائية (Electromotive force, emf) بحساسية ± 0.1 ميلي فولت.
- ألكترود أمونيا

المواد

1. هيدروكسيد الصوديوم 0.25 M NaOH: تذاب 10 غم من هيدروكسيد الصوديوم في 800 مل ماء مقطر ثم يخفف المحلول الي الحجم لتر.
2. محاليل قياسية للنيتروجين بصورة أمونيوم ($\text{NH}_4\text{-N}$): تحضر مجموعة من المحاليل القياسية تحتوي من 0.1 إلى 10 ميكروغرام نيتروجين بصورة أمونيوم $\text{NH}_4\text{-N}$ في محلول كلوريد البوتاسيوم 2M (كما ورد في بند 11-3-1). في حال إستعمال مستخلص آخر غير كلوريد البوتاسيوم، عندها تُحضّر المحاليل القياسية في محلول هذه المادة.

الطريقة

1. ضع 20 مل من مستخلص التربة في ورق سعة 50 مل، فيه قضيب تحريك مغلف بالتفلون.
2. يوضع الدورق على سطح هزاز مغناطيسي، يضاف 2 مل من محلول هيدروكسيد الصوديوم 0.25M، ويُغمس الألكترود الموصول إلى جهاز القياس المذكور .
3. تسجّل القراءة بعد دقيقة من التحريك، وبحسب تركيز الأمونيوم في العينة بالمقارنة مع منحنى المعايرة السابق شرحه في البند 11-3-1.

12. تقدير الفوسفور في التربة.

تفتقر أراضي المناطق الجافة وشبه الجافة غالباً للفوسفور المُيسر القابل للامتصاص (available P) لذا تتجارب النباتات لإضافة الأسمدة الفوسفاتية. لكن الفوسفور المضاف سرعان ما يتحول إلى مركبات غير قابلة للذوبان. فالأشكال التي يتكون فيها الفوسفور في التربة تحدد مدى فاعلية السماد الفوسفاتي في نمو المحاصيل، وذلك يتعلّق أيضاً بأصل التربة وتكوينها (Lindsay and De Ment, 1961). (Westin and Buntley, 1966).

وتثبيت الفوسفات في التربة هو نتيجة ترسّب كيميائي، وأيضاً نتيجة إمتصاص وامتزاج فيزيائي-كيميائي (Hemwall, 1957). وفي دراسة قام بها بثثور والجلعود (2000) لمصير الفوسفات في الأراضي الصحراوية الكلسية بالملكة العربية السعودية، تبين أن ثلث الفوسفات المضاف يتمصه النبات، والثلث الآخر يترسب كفوسفات الكالسيوم. أما الثلث الأخير، فيتحوّل معظمه إلى فوسفات عضوي وإلى ما هو قابل للاستخلاص من بيكربونات الصوديوم (NaHCO_3). أما الدراسة التي قام بها صايغ وعبد المجيد (1969) لتحديد الأشكال الكيميائية التي يوجد بها الفوسفور في عينات تربة من مناطق شبه جافة، فيمكن تلخيص نتائجها كما يلي:

12-1 أشكال الفوسفات في التربة:

كلما ارتفعت نسبة كربونات الكالسيوم في التربة، كلما ازدادت نسبة الفوسفور الممكن إذابته في الماء، وكذلك نسبة الفوسفات الممكن تبادله بسهولة، وانخفضت نسبة فوسفات الحديد والألومنيوم. ومع ازدياد نسبة كربونات الكالسيوم، شكلت نسبة فوسفات الكالسيوم 88% من مجمل فوسفات التربة العالية الكلسية. أما في الأراضي القلوية والتي تحتوي على نسبة منخفضة من كربونات الكالسيوم، فقد انخفضت نسبة فوسفات الكالسيوم إلى 5% من مجمل فوسفات التربة، وارتفعت نسبة فوسفات الحديد إلى 19%. والسبب في ذلك يعود إلى وجود الحديد بنسب مرتفعة، الأمر الذي يدعمه تحليل التربة، ويدل عليه اللون البني الضارب الي الحمرة الغامق لهذه التربة. وعلي ذلك فإن توزّع الفوسفات لأشكاله الكيميائية المختلفة مرتبط بدرجة وجود كربونات الكلس في التربة.

12-2 مصير الأسمدة الفوسفاتية المضافة:

في الأراضي التي ترتفع فيها نسبة كربونات الكالسيوم، يتحوّل معظم الفوسفور المضاف إلى مركبات فوسفات

الكالسيوم، وإلى فوسفور ممكن إذابته في الماء، وكذلك إلى فوسفور ممكن تبادله بسهولة. أما في الأراضي التي ينخفض فيها كربونات الكالسيوم، فتحول الفوسفات يكون أساساً إلى فوسفات الكالسيوم والألمنيوم، ثم إلى الجزء الممكن إذابته بالماء من الفوسفور. وبالمقابل، ففي الأراضي القلوية الغير كلسية الغنية بأوكسيد الحديد وأكسيد الألمنيوم، يكون التوزع أولاً إلى فوسفات الحديد والألمنيوم، ثم إلى فوسفات الكالسيوم، ثم إلى الفوسفور العضوي.

3-12 تأثير المواد الأصلية للتربة على توزيع اشكال الفوسفات الغير عضوية:

التربة العالية الكلسية تحوي نسبة عالية من فوسفات الكلس، ولا يوجد بها فوسفات الحديد المنخفض القابلية للذوبان (reductant soluble)، والمركبات المعقدة من فوسفات الحديد والألمنيوم. بالمقابل، فإن التربة التي تنشأ من الصخور الكلسية الصلبة (Eocene) تحوي نسبة أعلى من جميع أشكال الفوسفور ماعدا فوسفات الكالسيوم. أما التربة الناشئة من صخور كلسية - سيليكونية (siliceous) صلبة فالفوسفات يكون معتدل الكمية في كافة الأشكال.

4-12 تثبيت الفوسفات:

كلما ازدادت تراكيز أكاسيد الألمنيوم والحديد، كلما كان تثبيت الفوسفات أكثر. وقد وجد أن تثبيت الفوسفور يحدث بدرجة أسرع في التربة القلوية الغير كلسية، التي تحوي كميات أكبر من أكاسيد الحديد والألمنيوم، وذلك أكثر من التربة المنخفضة أو عالية الكلسية. والتثبيت الأبطأ في التربة الكلسية قد يرجع الي الترسيب المستمر البطيء لفوسفات الكالسيوم علي مدى الزمن.

وتبين أن إزالة المواد غير المتبلورة (amorphous) من الطين في الأراضي المنخفضة والعالية الكلسية أدى إلى زيادة تثبيت الفوسفور من 2 إلى 70% بعد إضافة 250 ميكروغرام فوسفور/غرام تربة في التربة ذات المحتوى العالي بالكلس. والفرق البسيط في سعة التبادل الكاتيوني ما بين الطين الذي لا يحتوي مواد غير متبلورة والطين الذي يحتوي كمية قليلة منها (الطين النظيف والتنظيف جزئياً)، لا يعطي تفسيراً كافياً للفرق الشاسع في تثبيت الفوسفات. والتفسير المرجح لهذه الظاهرة هو أن تثبيت الفوسفات يتم بتفاعلات على سطح جزيئات الطين. فعندما تزال المواد الغير متبلورة، تنكشف مساحة أوسع وفاعلة لسطح جزيئات الطين لتثبيت الفوسفات. بالمقابل، فإن إزالة المواد الغير متبلورة من الطين في الأراضي غير الكلسية والغنية بأكاسيد الحديد والألمنيوم، أدت إلى انخفاض في نسبة تثبيت الفوسفات. وقد أرجع السبب في ذلك للكمية الكبيرة نسبياً من أكاسيد الحديد والألمنيوم الموجودة في المواد الغير متبلورة.

5-12 فوسفات الحديد والألمنيوم الغير متبلورة في التربة الكلسية:

تشير العديد من المراجع إلى أن فوسفات الحديد وفوسفات الألمنيوم والأشكال المرحلية منهما توجد في التربة الحامضية حيث الظروف ملائمة لوجود الحديد والألمنيوم. بينما يغلب في التربة المتعادلة إلي القلوية وجود فوسفات الكالسيوم حيث الظروف ملائمة لوجود الكالسيوم. لكن هذه المراجع لا تشير إلى أهمية مركبات الحديد والألمنيوم الغير متبلورة التي تُغلف جزيئات الطين والطيني والرمل، والدور الكبير الذي تلعبه في تثبيت الفوسفات في الأراضي المتعادلة والقلوية (Sayegh and Abdul Majid, 1969).

وبحسب Nelson وTisdale (1993)، فإن محتوى الفوسفور الغير عضوي في أراضي المناطق الجافة هو أعلى من محتوى الفوسفور العضوي. كذلك، يشير Brady (1990) و Soltanpour et al. (1988) إلى أنه في تربة المناطق الجافة تبلغ نسبة الفوسفور الغير عضوي 64% بينما تبلغ النسبة في المناطق شبه الجافة و63%.

6-12 تقدير الفوسفور المتاح (Available-P) بحسب طريقة أولسن (Olsen)

من المستخلصات العديدة المقترحة لتقدير الفوسفور المتاح في التربة، يعتبر محلول بيكربونات الصوديوم (Watanabe and Olsen, 1965) هو الأكثر إستخداما في التربة الكلسية.

المعدات

- رجاغة ميكانيكية
- جهاز المصور الضوئي الطيفي Spectrophotometer
- أقماع وأوراق ترشيح

المواد

1. محلول بيكربونات الصوديوم $0.5M$ ($NaHCO_3$). تذاب 42 غم بيكربونات الصوديوم في لتر ماء مقطر، وقبل إكمال الحجم يُعدّل الرقم الهيدروجيني pH إلى 8.5 بإضافة محلول هيدروكسيد الصوديوم $1.0 M$ (20 مل تقريبا). يجب تجنّب تعريض هذا المحلول للهواء. يمكن استخدام هذا المحلول خلال مدة شهر من تحضيره إذا حُفظ في قنينة زجاجية، ولأكثر من شهر إذا حُفظ في قنينة من البوليثلين. لكن، في كل مرة يجب التأكد من صحّة الرقم الهيدروجيني pH قبل الاستخدام.
2. محلول موليبدات الأمونيوم **Ammonium Molybdate**. تذاب 12 غم موليبدات الأمونيوم في 250 مل ماء مقطر، و 0.2908 ملغم أنتيموني بوتاسيوم تترات (Antimony Potassium Tartarate) في 100 مل ماء. يضاف المحلولان إلى لتر حامض الكبريتيك $2.5 M$ (140 مل حامض كبريتيك مركز في لتر ماء). يخلط المزيج ويكمل الحجم ليصبح 2 لتر. يحفظ المحلول في زجاجة بايركس (pyrex) في الثلاجة.
3. محلول موليبدات الأمونيوم مع حامض الأسكوربيك (Ascorbic Acid): تذاب 1.056 غم من حامض الأسكوربيك في 200 مل من محلول موليبدات الأمونيوم الذي تم تحضيره وتخلط جيدا. تحضر كمية محدودة بقدر ما يلزم في كل مرة لأن هذا المحلول يصلح استخدامه فقط خلال 24 ساعة بعد التحضير.
4. محلول فوسفات قياسي: تذاب 0.4393 غم فوسفات البوتاسيوم، KH_2PO_4 ، (مجفف على درجة حرارة 40 م)، في ماء مقطر ثم يخفف حتى حجم 1 لتر. يحتوي هذا المحلول على 100 ميكروغرام فوسفور/مل.
5. محلول فوسفات قياسي مخفف: تؤخذ 50 مل من المحلول القياسي وتخفف إلى لتر ماء، فيكون تركيز الفوسفور 5 ميكروغرم/مل.
6. محلول حامض الكبريتيك $2.5M$: تضاف 140 مل حامض كبريتيك مركز $(18M)$ إلى 800 مل ماء مقطر، وعندما يبرد المزيج يكمل الحجم إلى لتر.

الطريقة

1. يوزن 5.0 غم تربة في دورق مخروطي سعة 250 مل.
2. تضاف 100 مل من محلول بيكربونات الصوديوم $0.5M$ ($NaHCO_3$).
3. يرَجّ الدورق لمدة 30 دقيقة على رجاغة ميكانيكية. (من مصادر الخطأ أن مقدار الفوسفات المستخلص يزداد مع زيادة فترة الرج وسرعته، ومع ارتفاع درجة الحرارة. بمقدار يبلغ 0.4 ميكروغرم P/غم تربة مع كل درجة حرارة.
4. يرَجّ الدورق باليد لتنتقى التربة معلقة، وحالا يرشح المعلق بورقة Whatman #40، في دورق مخروطي نظيف وجاف سعة 125 مل. يُستغنى عن أول 5 - 10 مل من الراشح إذا كانت عكرة.
5. تُثقل 10 مل من الراشح إلى دورق معياري سعة 50 مل. يُخفف الرقم الهيدروجيني للعينة إلى 5 pH بإضافة 1 مل من محلول حامض الكبريتيك $2.5 M$. تُحرّك الدوارق دائريا ببطء، ثم بقوة للتخلص من البيكربونات المتبقية.
6. يضاف ماء مقطر ليصبح الحجم حوالي 40 مل، ثم يضاف 8 مل من محلول موليبدات الأمونيوم وحامض الأسكوربيك، ثم يكمل الحجم إلى 50 مل. يخلط المحلول جيدا ويترك لعشر دقائق ليسكن.
7. تُقرأ كثافة الإمتصاص الضوئي باستخدام جهاز المصور الضوئي الطيفي على موجة 882 nm. تصل

كثافة اللون لأوجها بعد 10 دقائق من التحضير وتبقى ثابتة لمدة 24 ساعة.

8. تحسب تراكيز الفوسفور في العينات من المنحني المعياري الذي يربط وحدات الإمتصاص الضوئي بتركيز الفوسفور بالميكروجرام/مل.

9. لتحضير المنحني المعياري تُنقل بسحاحة 0، 2، 5، 10، 15 و 20 مل من المحلول المخفف القياسي للفوسفات تركيز 5 ميكروغرام/مل، إلى دوارق حجمية سعة 50 مل. تضاف 10 مل من محلول بيكربونات الصوديوم لكل دورق، و 1 مل من محلول حامض الكبريتيك M 2.5، ويتابع تشكل اللون كما سبق شرحه.

حساب النتائج

$$\text{ميكرو غم فوسفور/غم تربة} = \text{ميكرو غم فوسفور/مل} \times \frac{50 \text{ مل}}{10 \text{ مل}} \times \frac{100 \text{ مل}}{5 \text{ غم تربة}}$$

13. بوتاسيوم التربة

1-13 تقدير البوتاسيوم المتاح

عملية تقدير البوتاس المتوفر للنبات هي عملية معقدة. فالإلى جانب البوتاس الذائب في الماء، هناك جزء من البوتاس المتبادل. وفي الأراضي الجافة وشبه الجافة، هناك عامل آخر يزيد عملية تقدير البوتاس المتاح للنبات تعقيدا، هو أن المحاليل التي تستخدم في استخلاص البوتاسيوم المتبادل يمكن أن تستخلص أيضا جزء من البوتاس الغير متبادل من بعض المعادن الطينية التي يدخل البوتاس في تركيبها؛ مثل الفالديسبار والمايكا (K-feldspars and micas). ولا يستفيد النبات في الحقل من هذا التكوين البوتاسي. كما أن محتوى الرطوبة في عينة التربة وطريقة تجفيفها تؤثر على مدى استخلاص البوتاس منها. فيشكل عام، يمكن القول أن الاختبارات المعملية الروتينية لتقدير البوتاسيوم المتاح للنبات لا تعكس الحالة الواقعية تحت الظروف الحقلية وذلك بسبب تباين التكوين المعدني لطين التربة.

وفيما يلي عرض للطريقة المقترحة لتقدير البوتاس المتوفر للنبات في تربة المناطق الجافة وشبه الجافة، والتي يمكن تطبيقها لتقدير الكالسيوم والمغنيزيوم أيضا.

الأجهزة

5. جهاز طرد مركزي Centrifuge.
6. أنابيب لجهاز الطرد مستديرة القاع سعة 50 مل.
7. راجعة ميكانيكية.
8. جهاز قياس الضوء اللهبى Flame photometer.

المواد

1. محلول أسيتات الأمونيوم $1.0M (NH_4OAc)$. يضاف 57 مل من حامض الأسيتيك المركز الي 700 – 800 مل ماء مقطر في دورق سعة لتر، ثم يضاف 68 مل من هيدروكسيد الأمونيوم المركز أثناء التقليب المستمر. يرفع الحجم الي ما يقارب 1 لتر وتعدل درجة الpH الي 7 أما بإضافة هيدروكسيد الأمونيوم أكثر أو حامض أكثر. أو تذاب 77.09 جم من أسيتات الأمونيوم في ماء مقطر ويخفف المحلول حتي حجم 1 لتر وتعدل درجة ال pH الي 7.

2. كلوريد البوتاسيوم $0.02 M (KCl)$ في محلول أسيتات الأمونيوم $1.0M (NH_4OAc)$. تذاب 1.491 غم كلوريد البوتاسيوم في لتر من محلول أسيتات الأمونيوم $1.0M$ وذلك للاستخدام في إعداد المنحني المعياري..

3. كلوريد الليثيوم $0.05M (LiCl)$: تذاب 2.12 غم كلوريد الليثيوم في ماء مقطر ويخفف المحلول الي حجم 1 لتر.

الطريقة

1. توزن بدقة 5 غم تربة وتوضع في أنبوب طرد مركزي سعة 50 مل.
2. يضاف 20 مل من محلول أسيتات الأمونيوم $0.1M$ وتغلق الأنبوبة جيدا، ثم توضع على سطح راجعة تبادلية لمدة خمسة دقائق.
3. توضع في جهاز الطرد المركزي بسرعة 2000 دورة بالدقيقة لمدة 5 دقائق او حتى يروق السائل في الأنبوب.
4. يصبّ الرائق في دورق معياري سعة 100 مل.
5. تعاد الخطوات 2 – 4 ثلاث مرات أخرى.
6. يضاف الي الرائق من محلول أسيتات الأمونيوم ليُملأ الدورق للعلامة (100مل).
7. تُحصّر مجموعة من المحاليل القياسية في مدى 0 – 2 مليمكافيء/لتر من البوتاسيوم، من المحلول الأولي

- السابق إعداده 0.02 M كلوريد البوتاسيوم. وللحصول على نتائج أفضل، يُضاف كلوريد الليثيوم LiCl لكل محلول قياسي ليصبح التركيز النهائي حوالي 5 ملليمكافي/لتر LiCl.
8. يُحدد تركيز الصوديوم في مستخلص كل عينة بجهاز الفوتوميتر كما سبق في القسم 6-3-2 و 8-1.

حساب النتائج

$$\text{مليمكافي ء بوتاسيوم/100 غم تربة} = \frac{100 \text{ مل} \times \frac{100 \text{ غم}}{1000 \text{ مل}} \times \frac{\text{وزن العينة غم}}{100 \text{ غم}}}{1000 \text{ مل}}$$

$$\text{أو} \quad \frac{10 \times \text{ق}}{\text{وزن العينة غم}} =$$

حيث ق هي قراءة جهاز قياس الضوء اللهي بالمليمكافي/لتر.

2-13 تقدير البوتاسيوم المثبت

المعدات

- جهاز قياس الضوء اللهي Flame Photometer، او جهاز قياس شدة الضوء النسبية عن طريق الامتصاص الذري Atomic Absorption Spectrophotometer

المواد

1. حامض نيتريك $0.1M (HNO_3)$ Nitric acid: تُخفف حوالي 62 مل من حامض نيتريك مركز إلى لتر ماء مقطر.
2. حامض نيتريك مخفف $M 0.1$: تضاف 6.2 مل حامض نيتريك مركز في ماء مقطر ويكمل الحجم إلى لتر.
3. محاليل بوتاسيوم معيارية: في مجال الخط البياني المستقيم لعمل الجهاز، كأن يكون ما بين 0.5 و 10 ميكروغرام بوتاسيوم/مل.
4. كلوريد الليثيوم $0.05M (LiCl)$: تذاب 2.12 غم من كلويد الليثيوم في ماء مقطر وتخفف حتى حجم 1 لتر.

الطريقة

1. تؤخذ 2.5 غم تربة مطحونة ناعمة ومنخولة في منخل رقم 70 ماش، وتوضع في دورق سعة 200 مل. تضاف 40 مل حامض نيتريك $M 1.0$ ويوضع الدورق في حمام زيتي على حرارة 113°C لمدة 25 دقيقة. يخرج الدورق ويمسح الزيت عنه من الخارج.
2. يرشح المزيج في دورق معياري سعة 100 مل، وتغسل التربة اربع مرات باضافة 10 مل حامض نيتريك $M 0.1$ ، وفي كل مرة يرشح السائل في الدورق المعياري، ثم يبرد ويخفف حتى العلامة ويقرب جيداً.
3. تحضر محاليل معيارية بالتركيز الموصى به للجهاز؛ مثل 0، 0.5، 1، 2، 3، 5، 7 و 10 ميكروغرام/مل بوتاسيوم، ومضافاً إليها نفس كمية حامض النيتريك المخفف التي أضيفت للعينات. ولمنع التآين والتداخل، يضاف محلول كلوريد الليثيوم للحصول على تركيز نهائي حوالي 5 ملليمكافي/لتر. في حال استعمال جهاز قياس الضوء اللهي لتقدير (AAS) يضاف كلوريد اللانثانوم ($Lanthanum\ chloride, LaCl_3$) كمانع للتآين.
4. يرجع الي البند 6-3-2 لإستخدام جهاز الطيف اللهي لتقدير البوتاسيوم.

حساب النتائج

بوتاس مُنبت، ميكرو غم/غم/تربة = ميكرو غم/مل في المستخلص x
----- 100 مل
2.5 غم تربة

ملاحظة: هذا إذا لم يحصل أي تخفيف للعينة قبل قياس البوتاسيوم.

14. كبريت التربة

يوجد الكبريت (S) Sulfur في التربة بشكل عضوي وغير عضوي. والكبريت العضوي عنصر مهم في تركيب البروتينات والأحماض الأمينية. وأهم المصادر للكبريت الغير عضوي بالتربة هما الجبس $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ والبيريت Fe_2S . ويضاف الكبريت أيضا للتربة مع الأسمدة التي تحتوي كبريت مثل كبريتات البوتاس K_2SO_4 وبعض المبيدات. ويتواجد هذا الكبريت في التربة ومحلل التربة أساسا بشكل أنيون السلفات SO_4^{2-} ، متحدة مع كاتيونات الكالسيوم Ca^{2+} ، المغنيزيوم Mg^{2+} ، البوتاس K^+ ، الصوديوم Na^+ ، والأمونيوم NH_4^+ . وعند وجود الكبريت في التربة كعنصر، فإنه يتحول بسرعة إلى كبريتات SO_4^{2-} نتيجة التأكسد بالأكسجين. أما إذا كانت التربة غدقة فتتنشط الكائنات اللاهوائية وتعمل على إختزال السلفات SO_4^{2-} إلى سلفيت SO_3^{2-} وسلفايد S^{2-} . في هذه الحال يتشكل غاز سلفايد الهيدروجين H_2S في المستنقعات والأماكن ذات المياه الراكدة. لذا تُشكل التربة الغدقة ومزارع الأرز بيئة مناسبة لانطلاق غاز H_2S . وفي الأراضي الغنية بالحديد يترسب الس- H_2S مع الحديد لتشكل سلفيد الحديد FeS مما يعطي التربة لونا أسودا. والتراكم الزائد لـ H_2S ليس ساما للكائنات الحية في التربة فحسب بل يخلق أيضا مشاكل بيئية. لكن يوجد في التربة مجموعة من البكتريا قادرة على أكسدة الـ S^{2-} إلى العنصر S وإلى سلفات SO_4^{2-} .

وفيما عدا المناطق الجافة وشبه الجافة، ربما في التربة الحامضة، فإن التكون المتزايد لحمض الكبريتيك (H_2SO_4)، يُخفض الرقم الهيدروجيني إلى ما يقارب $\text{pH} = 2$ مما يؤدي إلى تشكل أراضي حامضية متأثرة بالكبريتات، يطلق عليها أحيانا طين القط. وبالإضافة إلى السمية التي يسببها الإنخفاض الشديد في درجة الـ pH ، فإن الحمضية تطلق مستويات عالية من الألمنيوم والحديد التي يمكن أن تصل أيضا إلى سمية لنمو النبات.

وهناك فروقات كبيرة في محتوى أنواع التربة للكبريت. فهي تنخفض في الأراضي الرملية بالمناطق الممطرة إلى 0.002% S، بالمقارنة مع 5% S في أراضي المناطق الجافة. وتمتص جذور النبات الكبريت من التربة غالبا في صورة الكبريتات SO_4^{2-} . وهو التكوين المتاح للكبريت والذي يمكن استخلاصه بالماء أو بإحدى محاليل كلوريد الصوديوم NaCl ، كلوريد الكالسيوم CaCl_2 ، أسيتات الأمونيوم NH_4OAc ، بيكربونات الصوديوم NaHCO_3 ، أو فوسفات الكالسيوم $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ ويمكن تقدير تركيز الكبريتات كما هو مبين أدناه.

المعدات

- المصور الضوئي الطيفي Spectrophotometer
- رجاغة ميكانيكية
- دورق معياري

المواد

1. محلول أحادي فوسفات الكالسيوم Mono-Calcium Phosphate: تضاف 2.03 غم $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ إلى 800 مل ماء مقطر في دورق حجمي سعة لتر وتحرك المحتويات جيدا للتأكد من إذابتها، ويكمل الحجم بالماء المقطر إلى لتر فيكون تركيز الفوسفور في هذا المحلول 100 ملغم/لتر.
2. حامض الأسيتيك (50% Acetic acid): يضاف 50 مل CH_3COOH إلى 50 مل ماء مقطر
3. حامض الفوسفوريك المركز (H_3PO_4) Concentrated Ortho-Phosphoric acid.
4. بلورات كلوريد الباريوم Barium chloride (BaCl_2): تؤخذ كمية من بلورات كلوريد الباريوم وتطحن بحيث تمر من منخل سعة 0.5مم وتبقى علي منخل سعة فتحاته 0.25مم..
5. صمغ أكاسيا Acacia مذاب في الماء المقطر بنسبة 0.25 % وزن/حجم.
6. محلول معياري للكبريتات (SO_4): تذاب 147.9 غم كبريتات الصوديوم (anhydrous sodium sulfate, Na_2SO_4) في الماء المقطر، ويكمل الحجم إلى لتر. يصبح تركيز الكبريتات في المحلول 100 ميكروغم $\text{SO}_4/\text{مل}$.

الطريقة

1. توزن 5 غم من التربة في أنبوب طرد مركزي من البوليثلين سعة 100 مل، يضاف إليها 50 مل من محلول فوسفات الكالسيوم. ترح المحتويات لمدة 30 دقيقة على رجاجة ميكانيكية، ثم ترشح دورق معياري 50 مل.
2. تُنقل بواسطة سحاحة 5 مل من المستخلص إلى دورق معياري سعة 50 مل، ويضاف 5 مل حامض الأسيتيك، و 1 مل حامض الفوسفوريك، و 1 غم من بلورات كلوريد الباريوم. إضافة حامض الفوسفوريك هي لإزالة أي تلوين بسبب وجود حديد في المحلول. يخلط المزيج جيدا بقلب الدورق رأسا على عقب عدة مرات. ويضاف 2 مل من محلول الصمغ ثم يُكمل الحجم للعلامة بالماء المقطر.
3. يقلب المزيج من جديد لخمس دقائق، +/- 0.5، ويقاس التعكر بقراءة كثافة الإمتصاص الضوئي باستخدام جهاز ال spectrophotometer علي موجة ضوئية 420 نانوميتر (420 nm).
4. تحسب كمية الكبريتات (SO_4^{2-}) بالعينة من المنحني المعياري الناتج عن قراءة محاليل قياسية تم تحضيرها بذات الطريقة.

حساب النتائج

مغم كبريتات/100 غم تربة =

$$\frac{50 \text{ مل} \times 50 \text{ مل} \times 50 \text{ مل} \times 100 \text{ غم} \times 1 \text{ مغم}}{5 \text{ مل} \times 5 \text{ مل} \times 1000 \text{ ميكروغم/مغم}} \times \text{وزن التربة}$$

$$\frac{10}{x} = \text{ميكروجرام كبريتات/مل من العينة} \\ \text{وزن عينة التربة، غم}$$

15. الاحتياجات الجبسية (Gypsum Requirement)

بالرغم من أن ذوبانية الجبس في الماء هي جد محدودة، لكنه أحد أهم المواد المستخدمة في استصلاح الأراضي الصودية وتلك المتأثرة بالأملاح والصوديوم. ولا تتعدى درجة ذوبان الجبس 2.4 غم / لتر. والمشكلة ليست في درجة ذوبان كبريتات الكلس، ولكن في صعوبة استبدال الصوديوم بالكالسيوم على معقدات التربة. وهذه الصعوبة هي المشكلة الرئيسية في استخدام الجبس لإستصلاح الأراضي الصودية، خاصة من ناحية حساب كمية الجبس المطلوبة لتتفاعل مع كربونات الصوديوم (Na_2CO_3) والصوديوم العالق بالطين لتخفيض الرقم الهيدروجيني للتربة إلى حوالي pH 8. وتزداد هذه الصعوبة عندما تكون التربة غنية بالأملاح الذائبة أي صودية متأثرة بالأملاح أيضا.

والطريقة المثبتة في الإستصلاح هي أولا تقدير كربونات الصوديوم Na_2CO_3 في التربة، ثم حساب كمية الجبس $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ المكافئة واللازمة لتحويل Na_2CO_3 إلى Na_2SO_4 . وهذه الحسابات نظرية والكمية المحسوبة تختلف كثيرا عما يلزم حقيقة للإستصلاح تحت الظروف الحقلية. والسبب في هذا هو عدم اعتبار العوامل الأربعة التالية:

1. الجزء الذائب من أملاح الصوديوم الذي يتراكم في التربة خلال عملية التملح، ثم تحولها لتربة قلوية.
 2. النسبة المئوية للصوديوم المتبادل الموجود في المركب الغروي من التربة.
 3. كمية المواد الغروية في التربة.
 4. محتوى كربونات الكالسيوم في التربة.
- لذا، وبشكل عام، من المفضل إضافة ثلاثة أو أربعة اضعاف كمية الجبس المقدره نظريا للحصول على الكمية الحقيقية اللازمة للاستصلاح وهذا ما يسمى بالاحتياجات الجبسية. والطريقة العملية التي طورها Schoonover (1959) لتحديد الاحتياجات الجبسية للتربة كما هو مبين أدناه.

المعدات

- دوارق معيارية
- سحاحات
- أوراق ترشيع

المواد

1. محلول منظم من كلوريد الأمونيوم Ammonium Chloride مع هيدروكسيد الأمونيوم Ammonium Hydroxide: تذاب 6.75 غم من كلوريد الأمونيوم NH_4Cl في 57 مل من محلول مركز من هيدروكسيد الأمونيوم NH_4OH ويخفف المحلول إلى 100 مل.
2. محلول مشبع من الجبس: يوضع 40 غم من كبريتات الكالسيوم $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ في 10 لتر ماء مقطر وتترك لمدة 8 ساعات أو أكثر مع التحريك من وقت لآخر. يُرشح المحلول أو يترك ليروق، ثم تؤخذ عينة ويحدد فيها تركيز الكالسيوم (ملييمكافي/لتر) بطريقة المعايرة باستخدام ملح ترائيصاديوم (EDTA) المعروف باسم trisodium versenate أو محلول الفرسين (EDTA)
3. محلول الفرسين القياسي 0.03 M EDTA: يذاب 6.0 غم من مادة عالية النقاوة لمركب EDTA الثنائي الصوديوم Disodium dihydrogen Ethylenediaminetetraacetic acid في لتر ماء مقطر. يعاير هذا المحلول بالمقارنة مع محلول قياسي من كلوريد الكالسيوم CaCl_2 .
4. دليل إيروكروم بلاك T: تذاب 0.5 غم من إيروكروم بلاك T، Erichrome black T indicator، و 4.5 غم هيدروكسيل أمين هيدروكلوريد Hydroxylamine hydrochloride في 100 مل إيثانول تركيز 95%.

الطريقة

1. توضع عينة من التربة بوزن 5 غم في دورق مخروطي سعة 200 مل.
2. تضاف 100 مل من محلول الجبس المشبع، يسد الدورق ويرج علي فترات لمدة 10 دقائق، ثم يُرشح.
3. تؤخذ بسحاحة 10 مل من الراشح إلى دورق مخروطي سعة 200 مل.
4. تضاف 50 مل ماء مقطر، و0.5 مل من المحلول المنظم (كلوريد الأمونيوم و هيدروكسيد الأمونيوم) و4-5 نقاط من دليل ابروكروم بلاك T.
5. يحدد تركيز الكالسيوم والمغنيزيوم في هذا المحلول بواسطة المعايرة بمحلول الفرسين القياسي 0.03 M (الحصول على لون أزرق لا أثر فيه للون الطوبي أو البنفسجي). يسجل حجم محلول المعايرة المستخدم = "V".
6. تُجرى هذه المعايرة بنفس الطريقة على 10 مل من محلول الجبس المشبع. يسجل حجم محلول المعايرة المستخدم = "B".

حساب احتياجات التربة للجبس

$$\text{جبس، ملليمكافي/100 غم} = (\text{كلس في محلول الجبس، ملليمكافي/لتر}) - (\text{كلس} + \text{مغنيزيوم في مستخلص العينة، ملليمكافي/لتر}) \times 2$$
$$(V - B) \times 0.03 \times 382 = \text{طن جبس للهكتار لإستصلاح قطاع عمقه 15 سم.}$$
$$(V - B) \times 0.03 \times 764 = \text{طن جبس للهكتار لإستصلاح قطاع عمقه 30 سم.}$$

ملاحظات. تتأثر فعالية دليل ابروكروم بلاك T عند وجود شوائب من الحديد أو الألومنيوم أو المنغنيز في المستخلص بتركيز يزيد عن 20 مجم/كجم، أو نحاس يزيد تركيزه عن عديد من أعشار مجم/كجم. وفي مستخلص أراضي المناطق الجافة . عادة ما تكون تركيزات هذه المعادن في الماء ومستخلصات التربة بمحلول أسيتات الأمونيوم غير كافية لإحداث هذا التأثير. وفي حال حصول تداخل من هذه الشوائب، يقدر تركيز الكالسيوم والمغنسيوم بواسطة جهاز قياس شدة الضوء النسبية Atomic Absorption Spectrophotometer.

16. العناصر الغذائية الدقيقة في التربة

1-16 الحديد، الزنك، المنجنيز والنحاس.

Iron، الحديد، 1-1-16

الحديد هو ثالث عنصر سائد في قشرة الأرض. وأهم المعادن الحديدية بالتربة هي Fe_2O_3 Hematite، والمغنتيت Fe_3O_4 Magnetite. عندما يدخل الماء في تركيب جزيئات الهيماتيت يصبح اسمها ليمونيت $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ Limonite. ولون الهيماتيت احمر وهذا ما يعطي التربة لونها الأحمر عند توفر هذا المعدن فيها. أما المغنتيت فلونه أسود ويتواجد كبلورات لها خواص مغناطيسية قوية. وهناك معدن حديدي آخر هو البيريت FeS_2 Pyrite الذي يتواجد في التربة كبلورات صفراء وذات لمعة شبيهة بلمعان الذهب، لذا سُمي "بالذهب الكاذب". وهناك معدن حديدي مهم آخر يسمى إلمينيت FeTiO_3 Ilmenite وهو مصدر ذو قيمة لإنتاج كثير من المنتجات الصناعية ويتواجد الحديد كذلك بشكل غير متبلور (Amorphus) كغشاء يغلف حبيبات التربة، كما يتواجد أيضاً في مركبات المادة العضوية. ويعتقد أن القوام الحبيبي للتربة في تربة الأكسيسول Oxisol ناتج عن وجود هذا الغلاف من الحديد حول وحدات بنية التربة.

ويتواجد الحديد في محلول التربة في حالتين من الأكسدة؛ حديدوز، Fe^{2+} ، وحديديك، Fe^{3+} . ففي التربة الخالية من اكسجين الهواء (anaerobic)، يغلب وجود الحديد بشكل مختزل حديدوز. بينما يغلب وجود الحديد بشكله المؤكسد حديديك في التربة الجيدة التهوية (aerobic). أما تركيز الحديد، من Fe^{2+} ، أو Fe^{3+} ، في محلول التربة فهو منخفض جداً بسبب طبيعة المعادن الحديدية Fe_2O_3 الغير قابلة للذوبان. ويُقدّر تركيز الحديد في مياه الأنهار والمياه الجوفية ما بين 0.1 و 10 مغم/لتر (Krauskoph, 1973; Tan, 1994).

ويعتبر الحديد من العناصر الغذائية الدقيقة الهامة لنمو النبات. فهو يدخل في تركيب كلوروفيل النبات، والهيموغلوبين بدم الحيوان والانسان، وهو المركب المسؤول عن حمل ونقل الاوكسجين. وهناك فروقات كبيرة بنسبة الحديد في أنسجة النبات، إذ أنها تختلف من نوع لآخر. فبينما يكون تركيزه في الأعشاب الجافة حوالي 100 ميكروغرام/غم، يرتفع تركيزه في البرسيم الجاف (Alfalfa) إلى 1000 ميكروغرام/غم. وتركيز الحديد لأقل من 20 ميكروغرام/جم في أنسجة النبات يعتبر نقصاً يمكن أن يؤدي الي الأنيميا الخضراء التي تظهر أعراضها في شكل خطوط صفراء علي الأوراق الحديثة للنبات. وتزداد أعراض نقص الحديد بالتربة في حالة إضافة كميات كبيرة من الجير ووجود مستويات عالية من الفوسفات. و غالباً ما يظهر نقص الحديد علي النباتات المنزرعة بالأراضي الكلسية القلوية ولذلك فهو مشكلة قائمة في الأراضي الكلسية بالمناطق الجافة وشبه الجافة

Zinc الزنك 2-1-16

تحتوي الصخور البركانية Ingeous rocks والرسوبية Sedimentary rocks على كميات قليلة من الزنك (Zn). ومحتوى الصخور البركانية القلوية كالبازلت بالزنك أعلى من محتوى الصخور البركانية الحامضية كالجرانيت. والمصادر الرئيسية للزنك الغير عضوي هي سفاليريت Sphalerite، وهو مركب الزنك مع الكبريت ZnS، وسميثونيت Smithsonite، وهو مركب الزنك مع الكربونات ZnCO_3 ، وايضاً الهيميمورفيت Hemimorphite الذي هو مركب الزنك مع السيليكات $\text{Zn}_4(\text{Si}_2\text{O}_7)(\text{OH})_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$. وهناك معدن آخر يرد ذكره في الكثير من الأحيان، هو هيدروزينكيت Hydrozincite، وهو مركب شبيه بمعادن سميثونيت (Hurlbut and Klein, (1977). وكل المعادن المذكورة أعلاه نادرة الوجود في التربة، لكنها تتواجد بكميات مرتفعة في بقايا مناجم الزنك.

ويبلغ تركيز الزنك في الأراضي عامة ما بين 10 و 300 ميكروغرام/غم. وفي التربة الزراعية العادية تكون بمعدل 50 ميكروغرام/غم (Brady, 1990). وأكثر مركبات الزنك تذوب قليلاً في الماء، والزنك في محلول التربة يكون بشكل أيون ثنائي التكافؤ Zn^{2+} . ونتيجة طبيعتها الكاتيونية، فإن أيونات الزنك تمتص على سطح غرويات التربة السلبية الشحنة الكهربائي، فتعرف عندها بالزنك المتبادل. ويتوقف تركيز كاتيون الزنك Zn^{2+} على الرقم الهيدروجيني للتربة؛ كما هي حال بقية العناصر الدقيقة من المعادن. فكلما انخفض الرقم الهيدروجيني، كلما ارتفع تركيز الزنك في التربة؛ وكلما ارتفع هذا الرقم، كلما انخفض تركيز الزنك. فعند pH 9.5، يصل تركيز الزنك لأدناه، إذ أنه يترسب كهيدروكسيد الزنك، $\text{Zn}(\text{OH})_2$.

لذا، يتوفر الزنك الذائب في الأراضي الحمضية، بينما تتصف التربة الكلسية القاعدية بنقص الزنك الذائب خاصة في المناطق الجافة. فمثلاً تركيز الزنك الذائب في التربة المتعادلة والقلوية الكلسية، هو في مجال 1×10^{-10} إلى 1×10^{-8} M (Norvell, 1973). وعليه، تكثر حالات نقص الزنك في الأراضي الكلسية القلوية.

والزنك هو احد العناصر الغذائية التي يحتاجها النبات بكميات قليلة جداً. فهو يعمل في النبات كمحفز لبعض العمليات الفسيولوجية، ويدخل في تركيب العديد من الأنزيمات مثل ديهيدروجيناز Dehydrogenase، بروتيناز Proteinase، وبابتيداز Peptidase. كما أن الزنك ضروري لتكوين البذور وإنتاج الحبوب، ولتكوين هورمونات النمو في النبات.

ويختلف محتوى الزنك في معظم النباتات ويتراوح تركيزه بين 15 و 125 ميكروغرام/غم. وعندما ينقص تركيز الزنك عن 15 ميكروغرام/غم من وزن الأوراق الجافة تظهر اعراض النقص المتميزة بضعف النمو، ففي الذرة، يسبب نقص الزنك ظهور تبقعات صفراء اللون مع ابيضاض بشكل خطوط طويلة على الاوراق. وهذه الاعراض تعرف بـ "البرعم الأبيض للذرة". بالمقابل، فإن تركيز أكثر من 400 ميكروغرام/غم زنك من وزن الأوراق الجافة، يعني مستوى زائد قد يُسبب تسمم زنكي. ونقص الزنك يعتبر أمراً شائعاً في التربة الكلسية بالمناطق الجافة وشبه الجافة.

3-1-16 المنجنيز Manganese

يتواجد المنجنيز بكميات صغيرة في كثير من الصخور. وينتقل للتربة نتيجة لتعرية وتآكل هذه الصخور حيث يترسب بأشكال مختلفة من اوكسيد المنجنيز. ويختلف محتوى التربة من المنجنيز الكلي ما بين 20 و 6000 ميكروغرام/غم (Krauskoph, 1973). ومن الممكن أن يتواجد عنصر المنجنيز في ثلاثة حالات من الاكسدة؛ Mn^{2+} ، Mn^{3+} و Mn^{4+} . والأيون الثاني التكافؤ من المنجنيز هو الأكثر وجوداً في محلول التربة، خاصة في التربة ذات البيئة المختزلة. وبسبب طبيعته الكاتيونية، يلتصق المنجنيز عادة على سطح غرويات التربة السالبة الشحنة، مما يدعى بالمنجنيز المتبادل. أما النوع الثلاثي التكافؤ Mn^{3+} فهو يوجد كمركب اوكسيد المنجنيز Mn_2O_3 ، المتوفر في الاراضي الحامضية وأيون هذا النوع غير ثابت في محلول التربة. أما كاتيون الزنك الرباعي التكافؤ، MnO_2 فربما يكون أكثر أشكال المنجنيز ثباتاً وجموداً.

وتركيز المنجنيز Mn^{2+} في محلول التربة يكون عادة منخفضاً ونادراً ما يتعدى 0.05 ملغ/لتر. ويرتفع هذا التركيز مع انخفاض الرقم الهيدروجيني (pH) بالتربة، كما انه ينخفض مع ارتفاع هذا الرقم. لذا فان المنجنيز يكون متوفراً للنبات في الأراضي الشديدة النحر الحامضية مثل Oxisols & Altisols. بالمقابل، تكون تركيزات المنجنيز منخفضة عادة في أراضي المناطق الجافة وشبه الجافة.

والمنجنيز هو احد العناصر الغذائية الدقيقة التي يحتاجها النبات لتنشيط عدد من الأنزيمات. وهو يلعب دوراً هاماً في التفاعلات الكيميائية - الضوئية، وايضاً في عمليات البناء والتمثيل الغذائي لعنصر النيتروجين. ويحتاج النبات في نموه إلى كميات صغيرة من المنجنيز، ونسبته في أنسجة النبات هي في مجال 20-500 ميكروغرام/غم على أساس الوزن الجاف. وانخفاض هذه النسبة إلى أقل من 20 ميكروغرام/غم على أساس الوزن، يُعتبر نقصاً، من أعراضه بقع متعفنة على اوراق البازلاء وبقع رمادية على اوراق الشوفان. وفول الصويا والشوفان من النباتات الشديدة الحساسية لنقص المنجنيز. ومن الغالب أن يحصل نقص المنجنيز في التربة الكلسية من المناطق الجافة وشبه الجافة.

4-1-16 النحاس، Copper

يصنف النحاس Cu كعنصر أو ك معدن "مستوطن" (Native element) بسبب وجوده في قشرة الارض منفرداً ك معدن عنصر، خلافاً للعناصر الاخرى كالألومنيوم Aluminum التي توجد فقط في شكل مركبات. وفي التربة يوجد النحاس بأشكال معدنية كالسلفايد، السلفات، أكسيد، كربونات وسيليكات. والمعادن النحاسية الأكثر شيوعاً في التربة هي الكالكوبايرايت Chalcopyrite، $CuFeS_2$.

ويتراوح محتوى التربة من النحاس الكلي ما بين 10 و 80 ميكروغرام/غم (Krauskoph, 1973). وفي محلول التربة يوجد النحاس بشكل أيون أحادي الشحنة، نحاسوز، Cu^+ ، أو أيون ثنائي الشحنة، نحاسيك، Cu^{2+} . والنحاسوز Cu^+ ، غير مستقر كيميائياً تحت درجات الحرارة المعتادة، عندما يرتفع تركيزه عن 10^{-7} مول Cu^+ /لتر لكن في التربة والمحاليل المائية التي تحتوي تراكيز مرتفعة من الكلورايد Cl^- ، يتشكل مركب مخلبي

من كلوريد النحاس CuCl_2 (Krauskoph, 1973). والأيونات النحاسية ليست ثابتة في المحاليل المائية لدرجة أنها تتأثر تلقائياً بعمليات الأكسدة والاختزال بالتربة، التي تسمى تفاعلات الأكسدة والاختزال الذاتي التي ينتج عنها تحول Cu^+ إلى نحاس Cu وكاتيون نحاسيك Cu^{2+} .

لذا فالنحاسيك (Cu^{2+}) هو الشكل الرئيسي الثابت كيميائياً المتواجد في محلول التربة. ومن دراسات ليندزي (Lindsay, 1973) يبدو أن هذه النظرية صحيحة عندما يكون الرقم الهيدروجيني pH أقل من 7.3. وعندما يزيد الرقم الهيدروجيني عن 7.3، يصبح هيدروكسيد النحاس $\text{Cu}(\text{OH})^+$ هو الشكل الغالب للنحاس في محلول التربة. ومعدل تركيز النحاس الذائب في محلول التربة يقارب 20 ملغم/لتر. ونظراً لطبيعته الكاتيونية فإن أيونات النحاس تلتصق علي الأسطح الغروية السالبة الشحنة لتشكل الجزء المتبادل من النحاس. وتركيز أيونات النحاس الحرة والمتبادلة في محلول التربة يرتفع في الأراضي الحامضية وينخفض في الأراضي القاعدية. ولقد فُذِّر تركيزه في محلول كثير من الأراضي المتعادلة والكلسية بحوالي 1×10^{-12} مول (Norvell, 1973). لذلك غالباً ما تتعرض النباتات لنقص النحاس في الأراضي القاعدية، في المناطق الجافة، بينما تظهر السمية النحاسية بدرجة أكثر في التربة الحمضية التي تعرضت للنحر بشكل زائد قبل *oxisols* و *ultisols*.

ويحتاج النبات لعنصر النحاس بكميات ضئيلة، كأحد العناصر الغذائية الصغرى. وهو ضروري لتكوين الكلوروفيل وله تأثير على عملية التمثيل الضوئي (Photosynthesis). وكذا لتفاعل الأنزيمات (Enzymes) ولمراحل التكاثر، وللمثيل الغذائي (Metabolism) في النبات، وأيضاً لبناء البروتينات والسكريات، ولتثبيت النيتروجين. ونسبة النحاس الطبيعية في أنسجة النبات ما بين 4 و 30 ميكروغرام/غم. وإنخفاض نسبة النحاس في أنسجة النبات عن 3 ميكروغرام/غم، يعني نقصاً في النحاس تظهر أعراضه بإصفرار وتجعد الأوراق، وضعف النمو وقصر المسافات ما بين العقد. وإرتفاع نسبة النحاس عن 20 ميكروغرام/غم في أنسجة الأوراق، تُحدث تسمم للنبات تظهر عوارضه بإصفرار الأوراق وضعف نمو الجذور التي غالباً ما تفقد لونها.

2-16- تقدير العناصر الدقيقة المتاحة للنبات (Available Micronutrients)

لإستخلاص الجزء المتيسر من العناصر الغذائية الدقيقة مثل الحديد، الزنك والمنغنيز والنحاس، تُستخدم عدة مركبات مخلبية (chelating agents)، منها: EDTA، EDDHA و DTPA. وقد عمل لندي ونورفيل (Lindsay and Norvell, 1978) على تطوير طريقة الـ DTPA وهو إختصاص للمركب (Diethylenetriaminepentaacetic acid) وقدماً نتائج تبين العلاقة الجيدة ما بين تركيزات المغذيات الصغرى المستخلصة ونمو النبات. ويمكن تقدير هذه العناصر أيضاً في محلول التربة المستخلص بواسطة الطرد المركزي على عينة تربة رطبة مأخوذة مباشرة من الحقل.

1-2-16 طريقة الإستخلاص بواسطة محلول DTPA.

المواد

1. محلول حامض الديثيلين تراي أمين بنتاأسيتيك (Diethylenetriaminepentaacetic acid) (DTPA):
توزن 19.67 غم من بودرة الـ DTPA وتذاب مع تحريك مستمر في لتر ماء مقطر في دورق. وفي دورق آخر تذاب 149.2 غم من سائل تراي إيثانول أمين (Triethanolamine, TEA) مع 14.7 غم من كلوريد الكالسيوم $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ في لتر ماء مقطر. يصب محلول الـ DTPA علي خليط كلوريد الكالسيوم و TEA مع التحريك المستمر وبعد التأكد من إذابة جميع المواد، يضاف ماء مقطر ليصبح حجم المزيج 9 لتر تقريباً. يُضبط الرقم الهيدروجيني إلى pH=7.3 بإضافة حامض هيدروكلوريك، HCl (42 مل تقريباً)، ثم يضاف الماء المقطر ليصبح الحجم 10 لتر.
2. محاليل معيارية لكل من عناصر الحديد والزنك والمنغنيز والنحاس بتركيز 1000 مغم/لتر.

الطريقة

1. توزن عينة 5.0 غم من تربة مجففة في الهواء ومطحونة لتمر في منخل فتحاته أقل من 2 مم وتوضع في أنبوب طرد مركزي سعة 100 مل من البيولي ايثلين. يضاف لها 20 مل من محلول الإستخلاص، وترج لـ 30 دقيقة على رجاجة ميكانيكية.
2. تعامل الانابيب بجهاز الطرد المركزي، ثم تصب العينة إلى قنينة مجهزة بقمع وورقة ترشيح.
3. يخفف المحلول إذا لزم لتكون القراءة في المدى الطولي التشغيلي لجهاز قياس شدة الضوء النسبية Atomic Absorption Spectroscopy.

2-2-16 قياس تركيز العناصر باستخدام المنظار الطيفي لامتناص الذرات Atomic Absorption Spectroscopy.

أصبح التحليل بواسطة المنظار الطيفي لامتناص الذرات تقنية شائعة في المختبرات، وخاصة لقياس تركيز العناصر الصغرى في المحاليل. وكل جهاز له تعليماته وطريقة تشغيله الخاصة به، لكن يبقى هناك معلومات عامة عن القواعد الأساسية لهذه التقنية يجب أن تُعرف.

ف تقنية جهاز المنظار الطيفي لامتناص الذرات (AAS) ترتكز على امتصاص الضوء لقياس تركيز الذرات في المادة الجارية تحليلها وذلك في لهب أو فرن جرافيتي. ويكون مصدر الضوء هو لمبة ذات قطب أجوف من المعدن الذي يجري قياسه (Hollow cathode lamp). وهذه اللمبات تحول الطاقة الكهربائية إلى إشعاع. والذرات تمتص الإشعاع وتحوله إلى مستوى طاقة أعلى. ومقدار الامتصاص من الإشعاع مرتبط بكمية الذرات المنتشرة في ممر الضوء. ويحدد تركيز العنصر في المحلول بناءً على منحنى بياني ناتج عن معايرة الجهاز لمحاليل قياسية معروفة التركيز. وإستخدام هذه التقنية يتطلب أن تكون ذرات العنصر في صورة غاز، لذا يجب أن تعامل أيونات أو ذرات العينة بالتبخير أو التحويل الي ذرات داخل محيط مرتفع الحرارة، مثل اللهب أو فرن الجرافيت.

ويستخدم هذا الجهاز موقد ذو ممر طويل كي تطول المسافة التي يمر بها اللهب ويزداد الامتصاص حيث يشفط محلول العينة بواسطة أنبوبة دقيقة إلى "غرفة خلط ويشكل رذاذاً قبل أن يصل إلى اللهب.

وجهاز المنظار الطيفي (AAS) الذي يعمل بفرن هو أكثر كفاءة من الجهاز الذي يعمل على اللهب لأنه يقبل كمية صغيرة من العينة، وأقل تركيزاً. فالعينة تدخل مباشرة في أنبوبة الجرافيت، ويُسخن الفرن كهربائياً بعدة خطوات ليحفظ العينة ويحرق المادة العضوية، ثم تتطاير ذرات العنصر، وهكذا يتمكن لهب الجهاز من قياس تركيز العناصر بالميكروغم/مل، في حين أن الجهاز المزود بفرن يقيس التركيزات بالميكروجرام/لتر.

الطريقة

1. يجهز محلول وسيط معياري بنقل 10 مل من المحلول الموجود بالمختبر تركيز 1000 ميكروجرام الي دورق معياري 200 مل ثم يخفف الي العلامة بإضافة محلول الـ DTPA.
2. تُحضّر محاليل قياسية في مجال تشغيل الجهاز، مثل 0، 1، 2، 5 و 10 ميكروغم/مل من آثار العنصر. تخفف حجم المحاليل القياسية دائماً بإضافة محلول الـ (DTPA).
3. تُتبع خطوة بخطوة التعليمات الموضحة في دليل التشغيل لضبط الجهاز وتشغيله بأعلى كفاءة.
4. تُسجّل قراءات عدد من المحاليل القياسية المعروفة التركيز للعنصر، وتعين العلامات التحليلية (تجاوب الجهاز) بتأثير تركيز العنصر الجاري تحليله.

حساب النتائج

محتوى العنصر، ميكروغم/غم تربة = تركيز العنصر في المحلول، ميكروغم/مل x 20 مل

5 غم تربة

3-16 قدرة ال DTPA على الاستخلاص وإتاحة العناصر لإمتصاص النبات

قَدَم ليندزي ونرفال (Lindsay and Norvell, 1978) مستويات هامة لمقادير العناصر الصغرى المستخلصة بمحلول DTPA كمؤشر لنقص، أو توفر آثار هذه العناصر لإمتصاص النبات ونموه:

Micronutrients (µg/g soil)				
Availability مدى توفر العنصر	Zn زنك	Mn منجنيز	Fe حديد	Cu نحاس
Very Low منخفض جدا	0 – 0.5	0 – 0.5	0 – 2.0	0 – 0.1
Low منخفض	0.6 – 1.0	0.5 – 1.2	2.0 – 4.0	0.1 – 0.3
Medium متوسط	1.0 – 3.0	1.2 – 3.5	4.0 – 6.0	0.3 – 0.8
High عالي	3.0 – 6.0	3.5 – 6.0	6.0 – 10.0	0.8 – 3.0
Very High عالي جداً	>6.0	>6.0	>10.0	>3.0

17. البورون في التربة Boron

خلافًا للعناصر الدقيقة الأخرى فإن عنصر البورون (B) ليس بمعن. وهو موجود بكميات ضئيلة في الصخور البركانية، والرسيبة، والمتحولة. وينطلق البورون مع الغازات من باطن الأرض حيث توجد نشاطات جيولوجية حرارية (Geothermal activities). وعندما يذوب البورون في مياه الينابيع الحارة يتحول إلى حامض البوريك (H_3BO_3). ومع ذلك، فالمصدر الرئيسي للبورون الغير عضوي هو البورات وسليكات البورون. وتتكون هذه الأملاح في المناطق الجافة نتيجة لتبخر الماء من البحيرات المالحة والأحواض بالمناطق الجافة. وعندها تترايط وحدات البورات (BO_3^{2-}) وتشكل أنواعا متعددة من بلورات البورات والمركب الشائع للبورات هو البوراكس.

ويبلغ محتوى البورون في التربة ما بين 7 و 80 ميكروغم/غم تربة. ونتيجة لتآكل معادن الصخور، في صورة حامض البوريك (HBO_3) بتركيز $1 \times 10^{-4} M$ ، التي تساوي 0.1 مغ/لتر (Krauskoph, 1973)، وهذا مقدار جد ضئيل. والمعتاد هو أن يكون مستوى البورون في التربة السطحية ما بين 1 و 2 مغ/B كغم تربة. ويوجد البورون في محلول التربة بشكل حامض البوريك H_3BO_3 وأيضا بشكل الأيون $H_2BO_3^-$. ويوجد البورون بتركيز عالية في مياه البحار حيث تمكن كراوسكوف من تحديد 4.6 ميكروغم/مل كمتوسط للتركيز (Krauskoph, 1973). وبسبب الشحن الكهربائي السلبى، فإن أيونات البورات، BO_3^{2-} ، لا تلتصق في التربة على سطح حبيبات الطين لأنها سلبية الشحن أيضاً. لذلك، تتعرض أيونات البورون للغسيل من التربة في المناطق الغزيرة الأمطار. وحيث أن التربة التي تعرضت للغسل الزائد يكون الرقم الهيدروجيني pH فيها منخفضا، فإن نقص البورون يكون عادة في التربة الحامضية. بالمقابل، فمن المتوقع أن يكون البورون الذائب في الماء عالي التركيز في التربة الغير معرضة للغسيل؛ كما هي حال أراضي المناطق الجافة وشبه الجافة، حيث تحتوي التربة القاعدية على تراكيز زائدة من البورون تفوق حاجة النبات. فبعكس باقي العناصر الدقيقة، فإنه من الممكن أن يحصل نقص للبورون في الأراضي الحامضية الزائدة التعرية مثل الألتيسول Altisols والأوكسيسول Oxisols، بينما يرتفع تركيز البورون في الأراضي الكلسية القليلة التعرية كالأريديسول Aridisols، وقد يصل

لمستوى السمية للنبات (Boron Toxicity).

والبورون كأحد العناصر الغذائية الدقيقة، ضروري لإنقسام الخلايا وانطلاق النموات الحديثة، ونقل السكريات داخل أنسجة النبات، ولتكوين البروتين والهرمونات. ويتراوح تركيز البورون في أنسجة النبات بين 20 و100 ميكروغرام/غم في الأوراق المكتملة النمو على أساس الوزن الجاف. وإذا إنخفض تركيز البورون عن 15 ميكروغرام/غم، فهذا يدل على نقص في تغذية النبات بالبورون. وعند ارتفاع تركيز البورون عن 200 ميكروغرام/غم، فهذا يدل على وصول تركيز البورون بالنبات لدرجة السمية. وتظهر اعراض نقص البورون بفقدان الأوراق للونها فتصبح بياضاً وملتفة. ويحصل تعفن للنمو الخضري على نبات البنجر السكري، ويسمى "القلب المتعفن"

والبورون في التربة يعتبر هاما لخصوبة التربة وتغذية النبات ولكنه لا يؤخذ كمقياس ذو أهمية في تحديد صفات التربة أو في تصنيفها.

وفيما يلي الطرق المتبعة لتقدير البورون الكلي والبورون المتيسر للنبات.

1-17 تقدير البورون الكلي بانصهار كربونات الصوديوم Na_2CO_3 Fusion Method.

المعدات

- بوتقة بلاتين (Platinum crucible).
- موقد بنسون Bunsen burner
- دوارق وأقماع
- أوراق ترشيح

المواد

1. كربونات الصوديوم Na_2CO_3 Anhydrous Sodium Carbonate، بشكل مسحوق بلورات صلبة.
2. محلول كربونات الصوديوم 30%. تؤخذ 30 غم كربونات الصوديوم Na_2CO_3 وتوضع في دورق معياري 100 مل، تضاف 80مل من الماء المقطر وتخفف حتى العلامة وتحفظ في زجاجة بولي أنثيلين.
3. محلول حامض الكبريتيك (H_2SO_4) تركيز 2 M: يضاف 12 مل حامض كبريتيك مركز إلى 800 مل ماء مقطر في دورق معياري سعة لتر. تخلط جيداً وتترك لتبرد ثم يضاف الماء المقطر ليكمل الحجم إلى لتر واحد.
4. محلول حامض الهيدروكلوريك تركيز 0.1 M: تضاف 8.1 مل حامض هيدروكلوريك مركز إلى 500 مل ماء مقطر في دورق معياري سعة لتر ويخلط جيداً ثم تترك لتبرد ويكمل الحجم بالماء المقطر إلى لتر.
5. كحول أنثيلي، 95%.
6. محلول هيدروكسيد الصوديوم NaOH تركيز 0.02 M: تذاب 800 ملغم هيدروكسيد صوديوم NaOH في 500 مل ماء مقطر في دورق معياري سعة لتر ويخلط جيداً حتى الذوبان، وبعد أن تبرد تكمل بالماء المقطر إلى لتر.
7. محلول دليل الفينول فتالين Phenolphthalein. توزن 50 ملغم من بودرة الفينول فتالين Phenolphthalein في دورق معياري سعة 100 مل. يضاف 50 مل كحول إيثيلي alcohol Ethyl، ثم يكمل الحجم بالماء المقطر إلى 100 مل. يرج المزيج حتى ذوبان بلورات الفينول فتالين كلياً.
8. محلول قياسي للبورون Boron. تؤخذ بالسحاحة 35 مل من المحلول الاساسي بتركيز 1000 ميكروغرام B /مل، وتفرغ في دورق معياري سعة 100 مل، ويكمل الدورق للحجم بإضافة كحول الأثيل Ethyl alcohol، فيكون تركيز البورون في هذا المحلول القياسي 350 ميكروغرام B /مل.

الطريقة

1. يؤخذ 1.0 غرام من عينة التربة المطحونة والمنخولة في منخل فتحاته 100 mesh (0.2 مم)، وتوضع في بوتقة بلاتين (Platinum crucible).
 2. يضاف 6 غم مسحوق كربونات الصوديوم Na_2CO_3 وتخلط مع التربة، ثم توضع البوتقة فوق موقد بنسون Bunsen burner حتى يتم إنصهار التربة مع كربونات الصوديوم.
 3. تترك البوتقة لتبرد ثم يضاف 10 مل من حامض كبريتيك مركز على المادة المصهورة لتتفتت وتذوب.
 4. توضع البوتقة ملقاة على جانبها في دورق (beaker) بايركس سعة 250 مل، وتضاف دفعات متكررة من حامض الكبريتيك المخفف M 2 بحجم 4 مل للدفعة حتى يصبح الرقم الهيدروجيني للمحلول pH 6.0 – 6.5.
 5. يرشح المحلول إلى دورق معياري سعة 500 مل، مُجهز بقمع وورقة ترشيح، وتغسل المحتويات مع ورقة الترشيح بالماء المقطر في الدورق ليصبح حجم الراشح حوالي 150 مل.
 6. خفف بحول الايثانول ليصبح الحجم 400 مل تقريبا. وتضاف بعض نقاط من دليل الفينول فتالين، ومحلول كربونات الصوديوم 30% ليصبح المحلول قليل القلوية، ثم يضاف كحول ايثانول ليصبح الحجم 500 مل.
 7. يحضر محلول المقارنة الخالي (blank) متبعا ذات الطريقة ولكن بدون تربة.
- لقياس تركيز البورون في محلول الصهر، تُتبع خطوات البند 17-3.

2-17 تقدير البورون المتاح Available Boron باستخلاصه بالمياه الساخنة

هذه الطريقة هي الأكثر استعمالا لتقدير البورون المتوفر في التربة. ويتم تقدير تركيز البورون في المستخلص باستخدام مواد ملوثة مثل كارمن Carmin، أو أزوميثين Azomethine-H، وحديثا استخدم مطياف الانبعاث الذري أو البلازما الاستقرائية المزودة لقياس البورون في المختبرات التي تتوفر بها هذه الأجهزة.

المعدات

- زجاجيات خالية من البورون ومقاومة للقلوية، أو مثلها من الفولاذ الغير قابل للصدأ.
- حوض ماء Water Bath
- قضيب بلاستيكي أو زجاجي مغطى طرفه بأنبوبة مطاطية Policeman

المواد

1. معلق هيدروكسيد الكالسيوم Ca(OH)_2 توزن 400 ملغم هيدروكسيد الكالسيوم Ca(OH)_2 في دورق معياري سعة 100 مل. ويكمل الحجم بالماء المقطر.
2. محلول حامض الهيدروكلوريك 0.1 M: ينقل 8.1 مل حامض هيدروكلوريك مركز HCl (12.4M) إلى دورق معياري سعة لتر، يضاف حوالي 800 مل ماء مقطر، ثم يترك ليبرد ويكمل الحجم بالماء المقطر إلى لتر.
3. محلول كلوريد الكالسيوم 0.01 M Calcium Chloride: يوزن 1.11 غم كلوريد الكالسيوم CaCl_2 وتوضع في دورق معياري سعة لتر. يضاف 900 مل ماء مقطر وتحرك لتذوب ثم تكمل بإضافة الماء المقطر إلى لتر.

الطريقة

1. يوزن 20 غم من التربة المجففة بالهواء في دورق مخروطي سعة 250 مل، يضاف لها 40 مل من المياه الساخنة الغير مؤينة (في التربة الكلسية يستخدم محلول كلوريد الكالسيوم 0.01 M CaCl_2 بدلا من المياه الساخنة الغير مؤينة).
2. يوضع قمع زجاجي على الدورق ويسخن المزيج حتى الغليان لمدة خمس دقائق مع عودة البخار بعد تكثفه للمحلول.
3. يترك المزيج ليبرد ثم يرشح إلى دورق معياري سعة 50 مل ويكمل للحجم بالماء المقطر.

4. ينقل 25 مل من هذا الراشح المخفف إلى بوتقة تبخير (Evaporating Dish) ثم تضاف 2 مل من معلق هيدروكسيد الكالسيوم $Ca(OH)_2$ وتوضع البوتقة على "حمام مائي ساخن" (water bath) حتى تجف.
5. تسخن البوتقة بعناية على لهب لتطهير المادة العضوية.
6. بعد أن تبرد البوتقة، يضاف 5 مل حامض الهيدروكلوريك 0.1 M HCl، وتحك المادة الجافة بالقضيب البلاستيكي حتى تذوب.
7. يرشح المحلول إلى ورق معياري 10 مل ويخفف حتى الحجم بالماء المقطر.

3-17 قياس التركيز بطريقة التحليل الضوئي Colorimetric Method

لتحديد تركيز البورون الكلي في محلول الهضم، أو تركيز البورون المتيسر في مستخلص الماء الساخن، يمكن إتباع إحدى طرق التحليل اللوني. وفيما يلي طريقتان كلا منهما تستخدم مركبا مختلفا لتكون اللون.

1-3-17 تطور اللون - طريقة كارمين Carmine

عند إضافة محلول الكارمين إلى حامض الكبريتيك المركز، ومع وجود بورون، يتغير لون المزيج من أحمر ساطع إلى أزرق حسب درجة تركيز البورون في المزيج.

المعدات

- جهاز قياس الطيف الضوئي Spectrophotometer.
- زجاجيات خالية من البورون Boron-free glassware.

المواد

1. حامض هيدروكلوريك مركز Hydrochloric acid (HCl).
2. حامض كبريتيك مركز Conc. Sulfuric acid (H_2SO_4).
3. محلول كارمين Carmine. يُذاب 920 مغم كارمين في لتر حامض كبريتيك مركز وترج حتى تذوب تماما.
4. محلول حامض بوريك قياسي (H_3BO_3). يُذاب 0.5716 جم حامض البوريك النقي المعاد تبلوره $recrystallized H_3BO_3$ ، في ماء مقطر ويخفف حتى 1 لتر. تركيز البورون في هذا المحلول الأولي هو 0.1 مغم أو 100 ميكروغم B/مل.

الطريقة

1. تعد مجموعات من محلول البورون الأولي المعياري باستخدام الماء المقطر يكون تركيزها 0، 1.0، 2.5، 5.0، 7.5، و 10 ميكروغم بورون/مل.
2. تؤخذ 2 مل من راشح العينات، على الا تحتوي أكثر من 0.02 ملغم بورون B، وتوضع في ورق معياري سعة 25 مل.
3. تُعامل المحاليل القياسية ومحلول المقارنة تماما مثل العينات.
4. تضاف نقطتين من حامض الهيدروكلوريك المركز HCl، وبغاية تضاف 10 مل حامض الكبريتيك المركز، تخلط جيدا وتترك لتبرد.
5. تضاف 10 مل من محلول كارمين Carmine، ثم تكمل للحجم (25مل) بماء غير مؤين وتُخلط جيدا ثم تترك لمدة 45 – 60 دقيقة لتطوير اللون الأزرق، الذي تتوقف كثافته على تركيز البورون.
6. يعد المنحني المعياري باستخدام محلول المقارنة كمرجع ثم يقرأ الإمتصاص الضوئي على موجة 585 nm، في خلية زجاجية بطول 1 سم أو أكثر كمرر للشعاع الضوئي لكل عينة قياسية تحتوي كمية معروفة من البورون (معبّر عنها بالميكروغرام/بورون/مل). حدد محتوى البورون (ميكروغرام/مل) في العينات الغير معروفة، وذلك من المنحني المعياري.

ملاحظة: يجب التأكد من عدم وجود فقاعات داخل الخلية البصرية عند قراءة الإمتصاص الضوئي. تراجع عملية المعايرة يوميا ، لأن محلول الكارمين يتدهور مع الوقت.

حساب النتائج

$$\text{محتوى البورون، ميكروغم } 100/B \text{ غم تربة} = \frac{100 \times 2 \times 10 \times \text{ق}}{20} = 100 \times \text{ق}$$

حيث ق = القراءة بالميكروجرام في المنحنى المعياري

✓ الـ 20 هي وزن عينة التربة، غم

✓ الـ 50 هي حجم المستخلص، مل

✓ الـ 10 هي حجم المحلول بعد تجفيف الـ 25 مل التي أخذت من المستخلص الأساسي 50 مل..

✓ كمية البورون في العينة المخفضة، تساوي ق ميكروغم B. كمية البورون في الـ 10 مل من العينة المخفضة (بالميكروجرام) = ق x 10 (وهي الكمية الموجودة في الـ 25 مل الأصلية من المستخلص)

✓ كمية البورون في المستخلص الأصلي، 50 مل، وهي ميكروغم بورون في 20 غم تربة، وتساوي (ق x 10 x 2) ميكروغم B.

✓ كمية البورون في 100 غم تربة تساوي (ق x 10 x 2 x 100) ميكروجرام

20

2-3-17 تطور اللون طريقة Azomethine-H

المعدات

- ميزان تحليل
- دوارق عادية ودوارق مخروطية
- دوارق قياسية
- أقصاع
- أوراق ترشيح واتمان # 42 Whatman
- المصور الضوئي الطيفي Spectrophotometer

المواد

1. دليل أزوميثين (Azomethine-H). تذاب 0.45 غم من الأزوميثين مع 1.0 غم حامض الأسكوربيك L-ascorbic acid في حوالي 100 مل ماء مقطر منزوع الأيونات أو مقطر مرتين. إذا كان المحلول غير رائق يوضع الدورق في حوض ماء ساخن حرارته 30 م° ليتم الذوبان الكامل. يحضّر هذا المحلول من جديد كل أسبوع ويحفظ في الثلاجة.
2. محلول أسيتات الأمونيوم Ammonium acetate متوازن. تذاب 250 غم أسيتات الأمونيوم في 500 مل ماء مقطر ثنائيا أو منزوع الأيونات، ثم يضبط الرقم الهيدروجيني إلى حوالي pH = 5.5 بإضافة 100 مل تقريبا من حامض أسيتيك الثلجي Glacial Acetic Acid مع التقليب المستمر.
3. محلول حامض الأثيلين داي أمين تتراسيتيك (تركيز 0.025 M Ethylene Diamine Tetraacetic Acid (DTPA)). تذاب 9.3 غم EDTA في لتر ماء مقطر ثنائيا أو منزوع الأيونات.
4. محلول قياسي أولي: تذاب 0.8819 غم من $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ العالي النقاوة في حجم قليل من الماء المقطر ثنائيا أو منزوع الأيونات، ثم يكمل الحجم للتر، فيكون تركيز البورون 100 ميكروغم/مل.
5. محلول قياسي: تؤخذ بسحاحة 5 مل من المحلول القياسي الأولي وتخفف لـ 100 مل، فيكون تركيز البورون 5 ميكروغم/مل.

الطريقة

1. يسحب بسحاحة 5 مل من الراشح الرائق لعينة التربة وتوضع في دورق معياري 25 مل. يضاف لها 2 مل من محلول أسيتات الأمونيوم المتوازن، و 2 مل من محلول EDTA، و 2 مل من دليل أزوميثين.
2. يُخلط المزيج جيدا بعد إضافة كل محلول.
3. يترك المزيج لمدة ساعة ليتم تشكل اللون، يُكمل الحجم للعلامة.
4. تقاس كثافة اللون على موجة طول 420 nm.
5. يبقى اللون ثابتا لمدة 3-4 ساعات.
6. يحضّر المنحني القياسي بسحب 0، 0.25، 0.50، 1.0، 2.0، و 4.0 مل من المحلول القياسي تركيز 5 ميكروغم B/مل، وتوضع في دوارق معيارية سعة 25 مل. تُضاف لكل دورق 2مل من المحلول المتوازن، ومحلول EDTA، ومن محلول دليل أزوميثين. يُخلط المزيج جيدا بعد إضافة كل محلول، ويترك المزيج لـ 30 دقيقة في درجة حرارة الغرفة، ويُكمل الحجم للعلامة بإضافة ماء مقطر ثنائيا أو منزوع الأيونات. تقاس درجة الإمتصاص الضوئي على موجة طول 420 nm، التي تُعطي قراءات الجهاز لتركيز 0، 0.05، 0.10، 0.20، 0.40، و 0.80 ميكروغم B /مل.

حساب النتائج

وزن عينة التربة المأخوذة	=	25 جم
حجم الماء المستخدم في الاستخلاص	=	50 مل
التخفيف الأول	=	2
حجم الراشح المأخوذ	=	5 مل
الحجم النهائي للراشح بعد ظهور اللون	=	25 مل
التخفيف الثاني	=	5
التخفيف الإجمالي	=	10 = 5 x 2 مرات

امتصاص محلول التربة حسب قراءة قياس الضوء الطيفي $x =$

تركيز البورون حسب قراءة المنحني القياسي عند $x = C$ ميكروجرام/مل

محتوي البورون في التربة (ميكروجرام/جم أو جم/كجم) $= C \times 10$

ملاحظة:

- 1- إستعمال الأزوماتين أفضل من الكارمين والكينالزارين والكوركومين لأن الإجراء الذي يشمل هذه الكيماويات يُستغنى عن إستعمال حوامض مركزة.
- 2- تختلف كمية الفحم النباتي المضاف حسب محتوى التربة من المادة العضوية ويجب أن تكون كافية فقط وبدقة لانتاج مستخلص عديم اللون بعد 5 دقائق من الغليان علي سطح ساخن. ويمكن أن يسبب الاستخدام الزائد للفحم في فقد البورون القابل للاستخلاص من التربة.

18. الموليبدينوم في التربة Soil Molybdenum

يعتبر الموليبدينوم Mo احد العناصر النادرة في التربة، وهو موجود بمقادير ضئيلة في الصخور الرسوبية والبركانية. والمصدر الغير عضوي للموليبدينوم هو معدن الموليبدينيت MoS_2 ، وعادة يكون المحتوى الكلي للموليبدينوم Mo في التربة اقل من أي عنصر آخر من العناصر الغذائية الدقيقة، ويُقدَّر ما بين 0.2 و 10 ميكروغرام/غم.

وفي محلول التربة، يوجد الموليبدينوم بالغالب بشكل ايون $HMoO_4^-$ في الظروف الحمضية، و MoO_4^{2-} في الظروف القلوية والقاعدية. وبسبب الطبيعة الأنيونية، فإن انيونات الموليبدينوم لا تنجذب الي غرويات التربة ذات الشحنة السالبة، ولذا تتعرض للغسيل من التربة في المناطق الرطبة.

ويمكن أن يؤدي الموليبدينوم الي سمية النبات بسبب زيادة قابليته للذوبان في الأراضي القلوية بالمناطق الجافة وشبه الجافة بينما تكون التربة الحامضية بالمناطق الرطبة فقيرة في هذا العنصر.

ويتعرض النبات لنقص الموليبدينوم عندما تنخفض نسبته في التربة إلى 0.1 ميكروغرام Mo/غم أو أقل. وتتعرض الحيوانات للتسمم (Molybdenosis) عندما يزيد تركيز الموليبدينوم في النباتات الرعوية إلى 10 – 20 ميكروغرام Mo/غم.

والمبين أدناه شرح لطريقة تقدير الموليبدينوم المتاح بواسطة مستخلص أسيتات الأمونيوم.

المعدات

- جهاز طرد مركزي و أنابيب سعة 50 مل.
- رجاة ميكانيكية.
- جهاز قياس شدة الضوء النسبية عن طريق الامتصاص الذري Atomic Absorption Spectrophotometer.

المواد

محلول أسيتات الأمونيوم Ammonium Acetate 1.0 M: تذاب 77.09 غم من اسيتات الأمونيوم في لتر ماء مقطر ثم يضبط الرقم الهيدروجيني الي 7 pH.

الطريقة

1. توزن بدقة 5 غم تربة وتوضع بأنبوب جهاز الطرد المركزي سعة 50 مل.
2. تضاف 33 مل من محلول أسيتات الأمونيوم 1.0 M للأنبوب، ويسد جيداً ويوضع على رجاة ميكانيكية لمدة خمس دقائق.
3. توضع الأنابيب في جهاز الطرد المركزي بسرعة 2000 دورة بالدقيقة لفترة 5 دقائق أو حتى يصبح المستخلص رائقاً.
4. يصب الرائق في دورق معياري سعة 100 مل.
5. تُعاد خطوات 2 – 4.
6. يضاف محلول أسيتات الأمونيوم حتي الحجم 100 مل.
7. يحدّد تركيز الموليبدينوم في المستخلص بواسطة جهاز ال Atomic Absorption Spectrophotometer. كما سبق شرحه في البند 2-16.

19. السيلينيوم في التربة Selenium

تقدير محتوى السيلينيوم (Se) الكلي في التربة لا يعكس مدى إمتصاص النبات لهذا العنصر. وقد أوضح كاري والألواي (Cary and Allaway, 1969) أن كمية السيلينيوم التي يمتصها النبات ترتبط ارتباطاً وثيقاً بنسبة السيلينيوم القابل للذوبان في التربة الغنية بالسيلينيوم. لكن هذا الارتباط لم يتأكد في الأراضي ذات المحتوى المنخفض من السيلينيوم.

ومحاليل إستخلاص السيلينيوم الشائعة هي: محلول بيكربونات الأمونيوم مع DTPA، الماء الساخن، محلول DTPA لمستخلص التربة المشبعة، ، ومحلول كربونات الصوديوم (Na_2CO_3) تركيز 0.5 M. وهذه المستخلصات الخمسة المذكورة أعلاه، عند اختبارها في تربة ذات محتوى عالي من السيلينيوم فقد أظهرت ارتباطاً وثيقاً بمحتوى نبات القمح للسيلينيوم (Jump and Sabey, 1989). ومع ذلك، فقد وجد أن السيلينيوم الموجود في المستخلص المشبع لعجينة التربة والذي يعبر عنه بال مجم/لتر من المستخلص، هو أفضل دليل عن إمتصاص النباتات التي يتراكم فيها السيلينيوم، لهذا العنصر. وتبين أعمال جامب وساباي (1989) أن التربة والمواد المتبقية من المناجم والتي يحتوي مستخلصها المشبع على أكثر من 0.1 مغم سيلينيوم/لتر، قد تسبب السمية للنبات.

وقد أظهرت طريقة بيكربونات الأمونيوم مع DTPA أن السيلينيوم في المستخلص يرتبط أكثر بالسيلينيوم في حبوب القمح، عندما أخذت عينات التربة من أعماق صفر – 90سم بدلاً من صفر – 30سم. (Soltanpour et al., 1982b). وهذه الطريقة مفيدة لفرز التربة والمواد المتجمعة فوق التربة بالنسبة لإمكانية تسببها بتسمم النبات بالسيلينيوم. وعندما تتدنى نسبة السيلينيوم إلى 0.05 ميكروغم/غم في المواد العلفية، فهذا دليل على نقص السيلينيوم. وعندما تصل نسبته إلى 4 – 5 ميكروغم/غم أو أكثر في الأعلاف، فهذا إقتراب من المجال السام.

الطريقة

تختلف نسبة وزن عينة التربة لحجم أي من محاليل إستخلاص السيلينيوم المذكورة أعلاه من نسبة 2:1 إلى 5:1، وكذلك فترة الإستخلاص من 15 دقيقة إلى ساعتين. أما قياس تركيز السيلينيوم في المستخلص المرشح فيتم بواسطة نظام الـ Hydride Generator الموصول بجهاز قياس الضوء اللهبى أو إلى جهاز (spectrometer) ICP emission (Soltanpour et al., 1982a).

ملاحظات

1. هذه الطرق المذكورة أعلاه والتي طوّرت لإستخلاص السيلينيوم، وجدت مناسبة لمعرفة مدي توقّر السيلينيوم في المناطق التي تعاني فيها النباتات من سمية السيلينيوم. ونظراً لضآلة كمية السيلينيوم بالمناطق التي تعاني نقصاً فيه، لم يتم تطوير مادة يعتمد عليها للإستخلاص. وعلى ذلك، فسوف يستمر الاعتماد على محتوى النبات من السيلينيوم والسيلينيوم الكلي بالتربة كأفضل آلية متوفرة لاختبار حالة هذا العنصر في الأراضي كإفضل آلية متوفرة لاختبار حالة هذا العنصر في الأراضي الفقيرة فيه.
2. ولنقص السيلينيوم مضاعفات بالنسبة لتغذية الإنسان والمواشي، ولا أثر لها على تغذية النبات. وحتى الآن لم يتبين أي زيادة في الإنتاجية نتيجة إضافة السيلينيوم للمحاصيل الزراعية، ولم يتأكد بعد ضرورة هذا العنصر لتغذية النبات.

20. العناصر المحتمل سميتها – الكاديوم Cadmium، الكروم Chromium، النيكل Nickel، والرصاص Lead.

نتيجة لإضافة بعض النفايات، كحمأة المجاري الملوثة بالنفايات الصناعية، يمكن أن تصبح التربة ملوثة ببعض العناصر الخطرة مثل الكاديوم، الكروميوم، النيكل، والرصاص. فبالإضافة إلى تحليل التربة من أجل العناصر الغذائية الصغرى مثل الحديد، الزنك، المنغنيز والنحاس، أصبحت مختبرات التربة منشغلة بتقدير قائمة جديدة من العناصر ذات الخطورة على الإنسان والبيئة.

وليس من الضروري تقدير المحتوى الكلي لهذه المعادن في التربة لتحديد خطورة تلوث التربة بها، ومدى توفرها لامتصاص النباتات. ويكفي تقدير الجزء المتيسر للنبات ويشكل خطرا على الصحة العامة والبيئة. فطريقة الإستخلاص بمحلول داي اثيلين تري امين بنتا اسيتيك اسيد (DTPA)، DiethyleneTriamine Penta Acetic Acid المستخدمة في تقدير الحديد والزنك والمنغنيز والنحاس، تصلح أيضا لتقدير مدى تلوث التربة بهذه العناصر من المعادن الثقيلة. وقد ذكرت المراجع الحديثة استخدام الطرق التي طورتها الوكالة الأمريكية لحماية البيئة لتقدير هذه العناصر وهي مشروحة أدناه. والمعادن الكاتيونية هي عناصر معدنية تتواجد في محلول التربة في صورة كاتيونات مثل Cd^{2+} , Cr^{3+} , Ni^{2+} and Pb^{2+} . أما الأيونات المؤكدة فهي عناصر اتحدت مع الأكسجين في جزيئات ذات شحنة سالبة مثل الكرومات (CrO_4^{2-}) ذات الشحنة السالبة والتي تغسل في محلول التربة مسببة مخاطر علي صحة البشر وعلي البيئة (Pyerzinski et al., 2000).

طريقة وكالة حماية البيئة الأمريكية EPA (3050)

اعتمدت وكالة حماية البيئة الأمريكية EPA سنة 1986 الطريقة التالية لهضم العينات بالحامض المعدني لتقدير العناصر المعدنية الكلية:

المعدات

- جهاز قياس شدة الضوء النسبية عن طريق الامتصاص الذري Atomic Absorption Spectrophotometer
- لوح تسخين كهربائي
- دوارق
- زجاجة ساعة Watch glass
- أوراق ترشيح

المواد

1. حامض نيتريك مركز وآخر مخفف 1:1 مع ماء مقطر منزوع الأيونات.
2. ماء أوكسجينى H_2O_2 (فوق اكسيد الهيدروجين) 30%
3. حامض هيدروكلوريك مركز

الطريقة:

1. أضف 10 مل من حامض النيتريك الى 2 جم من التربة المجففة هوائيا (قطر أقل من مم) وذلك في وعاء سعة 150 مل.
2. توضع العينة على لوح تسخين وتغطى بزجاجة ساعة وتسخن في درجة حرارة 95 م لمدة 15 دقيقة.
3. يبرد المستخلص ويضاف اليه 5 مل من حامض النيتريك المركز واعد تسخينها لمدة 30 دقيقة أخرى على درجة 95 م.
4. كرر الخطوة الأخيرة ، حتى ينخفض حجم المحلول الى حوالي 5 مل بدون غليان (عن طريق التغطية الجزئية فقط للإناء).
5. يبرد المستخلص مرة اخرى ويضاف اليه 2 مل من الماء المؤين و 3 مل من الماء الأوكسجينى تركيز 30%.
6. والإناء مغطى، سخن العينة ببطء حتى يبدأ تفاعل البيروكسيد. اذا اصبح الفوران شديدا، انقل العينة من فوق اللوح الساخن. استمر فى اضافة الماء الأوكسجينى 30% على دفعات قدر كل منها 1 مل ، واتبع ذلك بتسخين

بطيء حتى يتوقف الفوران.
7. اصف 5 مل من حامض الهيدروكلوريك المركز و 10 مل من الماء المؤين وأعد تسخين العينة لمدة 15 دقيقة أخرى بدون غليان.
8. تبرّد العينة وترشح بورقة ترشيح مقاس 42. خفف المحلول حتى 50 مل بواسطة الماء المؤين ثم حلل من أجل عناصر الكاديوم والكروم والنيكل والرصاص بواسطة جهاز قياس شدة الضوء النسبية عن طريق الامتصاص الذري Atomic Absorption Spectrophotometer أو بواسطة جهاز التحليل الطيفي مع الموصلية الكهربائية.

طريقة وكالة حماية البيئة الأمريكية EPA (3052)

تبنّت وكالة حماية البيئة الأمريكية الطريقة EPA 3052 لهضم السليكا والمواد ذات الأصل العضوي بواسطة الحامض في جهاز مغلق باستخدام جهاز ميكروويف للتسخين يمكن التحكم في حرارة تسخينه.

المعدات

- جهاز قياس شدة الضوء النسبية عن طريق الامتصاص الذري.
- فرن ميكروويف.
- دوارق.

المواد

1. حامض النيتريك تركيز 65%.
2. حامض الهيدروكلوريك تركيز 40%.

الطريقة

1. توزن 0.5 غم تربة في وعاء ميكروويف.
2. تضاف 9 مل حامض نيتريك و 3 مل حامض هيدروفلوريك ويحرك الوعاء دائريا لمزج الخليط.
3. يُسَدّ الوعاء ويدخل إلى الدوّار في الميكروويف.
4. يدار الميكروويف بحسب البرنامج كما مذكور في دليل تشغيل الجهاز.
5. يبرّد الوعاء بنفخ الهواء أو بالماء حتى يصل المحلول الي درجة حرارة الغرفة.
6. يُفْتَح الوعاء وينقل المحلول لدورق عليه علامة. يقاس تركيز الكاديوم، الكروميوم، النيكل، و الرصاص بال Atomic Absorption Spectrophotometer.

Step	Time	Temperature	Microwave power
1	5 min	180 °C	Up to 1000 watt
2	10 min	180°C	Up to 1000 watt

طريقة وكالة حماية البيئة الأمريكية EPA (3060A) - الهضم القلوي للكروميوم سداسي الشحنة (VI).

لاستخلاص الكروميوم (VI)، تُهضم عينة التربة باستخدام محاليل M 0.28 كربونات الصوديوم Na_2CO_3 و M 0.5 هيدروكسيد الصوديوم NaOH. يُسخن الخليط لـ 60 دقيقة على درجة حرارة 90 – 95 لإذابة Cr (VI) وتثبيته كي لا يحصل له اختزال إلى Cr(III). يقاس تركيز الكروميوم Cr(VI) في المستخلص بواسطة جهاز Atomic Absorption Spectrophotometer، أو ICPMS، أو أي تقنية تحليل معتمدة مثل طرق رقم EPA 7196 أو 7199.

21. تحديد المعادن الطينية بواسطة انعطاف الأشعة السينية X - Ray Diffraction

الأحجام الدقيقة جداً (<2 microns) لجزيئات الطين تُعطيها مساحة سطحية كبيرة جداً. أضف إلى أنه خلال تشكل المعادن الطينية، يحصل استبدال لعناصر معينة في تركيب معادن الطين، وذات عدد شحنات كهربائية إيجابية عالية، بعناصر أدنى عدداً من الشحنات (Isomorphous replacement). ويكسب سطح جزيئات الطين شحناً كهربائياً سلبياً. وهذه الظاهرة تحدد الخصائص الفيزيوكيميائية للطين في التربة. وهكذا، تصبح نسبة الطين وطبيعة تركيب معدنه هي المحددة لخصائص التربة من صفات وخصوبة وممارسات إدارتها. وعلى سبيل المثال، فإن تثبيت الفسفور والبوتاسيوم والأمونيوم مرتبطة بأنواع المعادن الطينية في التربة (Sayegh and Abdul Majed, 1969; Sayegh and Rehman, 1969; Schwertmann, 1962; Bajwa, 1980 and Carson and Dixon, 1972). لهذا السبب يأخذ النظام الأمريكي لتصنيف التربة بطبيعة معادن الطين.

ومعادن الطين بلورية البنية ومركبة من عدة طبقات. والتحليل المعدني يركز على انعكاس الأشعة السينية على هذه الطبقات. ويمكن تحديد نوع معدن الطين نتيجة قياس هذا الانعكاس من زوايا مختلفة. وكل نوع معدن يتميز بأبعاد معينة بين الطبقات. وهكذا تكون شاذة انعكاسات الأشعة السينية "بصمة إصبع" لكل نوع من المعادن الطينية.

ووحدة القياس للأبعاد بين الطبقات هي الـ أنجستروم (Angstrom). وهذه الوحدة من القياس تساوي 0.1 نانو متر ($1 \text{ \AA} = 0.1 \text{ nm}$) التي هي طول موجة الأشعة السينية. فأبعاد 0.715 nm هي لمعدن الكايولونايت Kaolinite، و 1.0 - 1.2 nm هي لمعدن المونتمولونايت Montmorillonite، و 1.4 nm هي للفرميكيولايت Vermiculite. كذلك، هناك أيضاً معالجات لعينة الطين تسبق قياس الأبعاد، منها إشباع المعدن الطيني بالبوتاسيوم، أو المغنيسيوم، أو المغنسيوم مع الجليكوكلاشن، والتسخين على درجة حرارة 500 °C. وينتج عن هذه المعالجات أبعاد معينة ما بين ألواح الطين تساعد على تحديد نوع معدنه.

وعندما تصطم حزمة من الأشعة السينية بإحدى البلورات تنتشتت هذه الأشعة. وكل طبقة من طبقات البلورة تتكون من ترتيب منظم من الذرات في فراغ. وهذا الطراز من ترتيب الذرات يسمى شبكية البلورة. وكل ذرة في الشبكية تعمل بمثابة نقطة تشتت.

ولتحسين أداء التحليل بالأشعة السينية، تزال المادة العضوية بمعالجة العينة بالهيدروجين باروكسيد H_2O_2 . وإزالة الكربونات الكلس، تُعالج العينة بالحامض. وإزالة مركبات الحديد الغروية التي تغلف جزيئات الطين، تعالج العينة بمحلول مزيج من الديثيونايت - سترات - بيكربونات، dithionite-citrate-bicarbonate (Jackson, 1956).

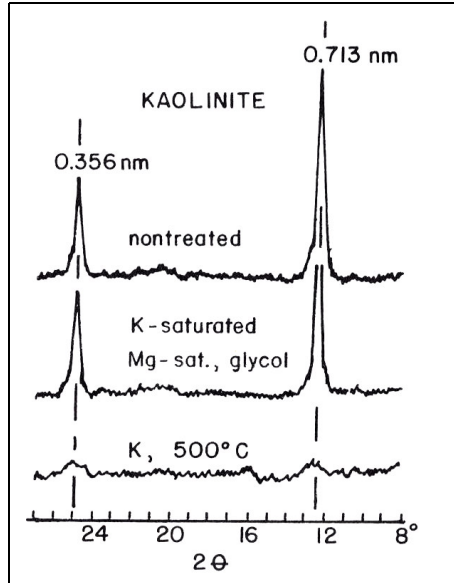
وللتأكد من تحديد معدن الطين، تُحضر أكثر من عينة لتعرض كل منها لمعالجة مختلفة تسبق التحليل بالأشعة السينية. فأشباع المغنيسيوم، ثم معالجة الطين المشبع به بالجليكولاشن (glycolation) يفرق بين معدن الطين الذي يتمدد، عن معدن الطين الذي لا يتمدد. كما أن الإشباع بالبوتاسيوم يسبب انخفاض الأبعاد بين الطبقات لبعض المعادن من 1.7 - 2.0 nm إلى 1 nm. ويمكن العودة إلى مسافات 1.7 nm عن طريق المعاملة بالglycolation وليس لأي من هذه المعاملات تأثير على تغيير المسافات في المعادن الغير قابلة للتمدد مثل kaolinite. والجدول التالي يعطي المسافات ما بين طبقات عدد من معادن الطين تحت معاملات مختلفة.

جدول 3- تأثير المعاملات المبدئية علي تغيير المسافات البينية لبعض معادن الطين

d-spacing nm	Clay minerals معادن الطين
<u>K-saturated samples</u> عينات مشبعة باليوتاسيوم	
1.4	Vermiculite, chlorite
1.0-1.2	Smectite, illite
0.72-0.75	Halloysite, metahalloysite
0.715	Kaolinite, chlorite
<u>Mg-saturated samples</u> عينات مشبعة بالمغنسيوم	
1.4	Vermiculite, chlorite, smectite and illite
1.0-1.2	Illite, halloysite
0.72-0.75	Kaolinite, chlorite
<u>Mg-saturated + glycolation</u> عينات مشبعة بالمغنسيوم ومعالجة بالجليكولاشن	
1.7-1.8	Smectite
1.4	Vermiculite
1.0-1.2	Illite, halloysite
0.715	Kaolinite
<u>Heat at 500 °C</u> تسخين حتى 500 مئوية	
1.4	Chlorites
1.0	Vermiculites
0.70	Chlorites (kaolinite and sesquioxides become amorphous)

وجهاز ال diffratogram يتكون من سلاسل من قمم انعكاس تعطي خطوط بيانية تحدد الأبعاد ما بين طبقات الطين، وترتبط قمم الإنعكاس ارتباطاً مباشراً بالمسافات بين الطبقات وهي تعمل بمثابة البصمة التي تحدد أنواع المعادن. وفيما يلي بعض الأمثلة (Tan, 1995).

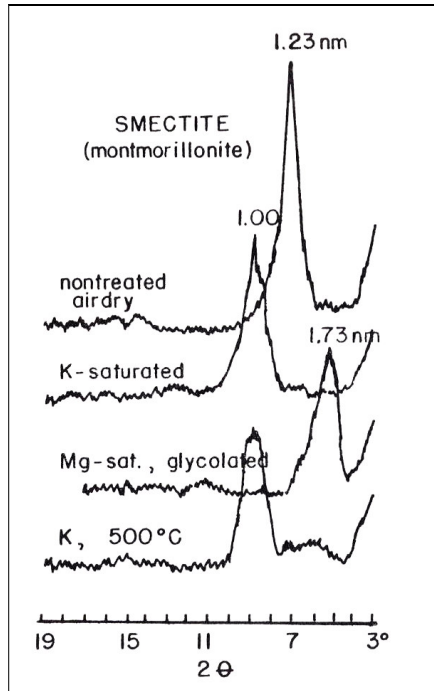
الشكل # 9، يبين الخطوط التي تعطيها انعكاسات الأشعة السينية عن عينة معدن الكاولينايت، حيث البعد بين الطبقات 0.713 nm، وهذا البعد لا يتغير مع المعالجات المسبقة.



شكل 9. التعرف علي ال kaolinite باستخدام صفاته المتعلقة بانعكاسات الأشعة السينية

(المصدر: Tan, 1995)

وتتميز معادن ال smectite وال montmorillonite بقمة انعكاسية قدرها 1.23 nm وترتفع إلي 1.73 nm بعد معاملة العينة بال salivation أو ال glycolation. أما الإشباع بالبيوتاسيوم فيخفض الرقم إلي 1.0 nm (شكل 10)



شكل 10. التعرف علي ال smectite عن طريق صفاته المتعلقة بانعكاسات الأشعة السينية
(المصدر: Tan, 1995)

المراجع العلمية

- Aba-Husayn, M.M. and Sayegh, A.H. 1974. Clays and clay minerals 25 No. 2:138-147.
- Akhvlediani, G.K., 1962. Classification of gypsum-bearing soils in the trans-caucasus. Soviet Soil Science: 532-534.
- Balba, A.M. 1995. Management of Problem Soils in Arid Ecosystem. CRC. Lewis Publishers, New York, N.Y. USA.
- Bajwa, I. 1980. Soil clay mineralogies in relation to fertility management. Effect of soil clay mineral compositions on potassium fixation under conditions of wetland rice culture. Comm. Soil Sci. Plant. Anal., 11:1019-1027.
- Bashour, I.I. and Al-Jaloud, A. 1999. Phosphorus fractionation in calcareous arid soils in Saudi Arabia. The Land Journal Vol. 3.1.
- Bashour, I.I., Al-Mashhady, A.S., Prasad, J.D., Miller, T. and Mazroa, M. 1983. Morphology and composition of some soils under cultivation in Saudi Arabia. Geoderma 29:327-340.
- Bear, F.E., and McClure, G.M. 1920. Sampling soil plots. Soil Sci. 9:65-75.
- Boyadgiev, T. 1985. Salty soils of arid and semi-arid regions Sci. Rev. Arid Zones Res. Vol. 3:1-47. Scientific Publisher, Jodhpur.
- Boyadgiev, T. and Sayegh, A.H. 1992. Forms of evaluation of gypsum in arid soils and soil parent materials. Pedologie, XL11-2, p.171-182.
- Brady, N.C. 1990. The Nature and Properties of Soils: Macmillan Publ. Co. New York, NY.
- Bragg, W.L. 1933. The crystalline state. Macmillan Publ. Co., New York, NY, USA
- Brindley, G.W. 1980. Quantitative x-ray mineral analysis of clays. P. 141-438. In: Crystal structures of clays Minerals and their x-ray identification. Mineral. Soc. monograph No. 5. Mineralogical Society, London, England.
- Bureau, P. and Roederer, P. 1960. Contribution à l'étude des sols gypseux de la partie sud du golfe de Gabès. Bull. Assoc. France Etude Sol 8: 145-149. Section spéc. d'Etudes de pédologie et d'Hydrologie, Es 33.
- Carson, C.D. and Dixon, J.B. 1972. Potassium selectivity in certain montmorillonitic soil clays. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 36:838-843.
- Carter, M.R. 1981. Association of total CaCO₃ and active CaCO₃ with growth of fine tree species on chernozemic soils. Canadian J. Soil Sci. 61:173-175.
- Cary, E.E. and Allaway, W.H. 1969. The stability of different forms of selenium applied to low-selenium soils. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 33:571-574.

- Chang, F.H. 1974. Quantitative interpretation of x-ray diffraction patterns of mixtures. I. Matrix-flushing method for quantitative multicomponent analysis. *J. Appl. Cryst.* 7:519-525.
- Coghill, W.H. and Devaney, F.D. 1937. Ball-mill grinding. U.S. Bureau Mines. Techn. Paper No. 581.
- Coutinet, S. 1965. Méthodes d'analyse utilisables pour les sols salés, calcaires et gypseux. *Agronomie Tropicale*, Paris. 12:1242-1253.
- Drouineau, G. 1942. Dosage rapide du calcaire actif. *Annales Agronomiques* 12:441-450.
- Foth H.D., Withee, L.V., Jacobs, H.S. and Thien, S.J. 1977. Laboratory manual for introductory soil science. W.M. Brown Company Publishers, Dubuque, Iowa.
- Hemwall, J.B. 1957. The fixation of phosphorus by soils. *Advances in Agronomy* 9, 95.
- Hernando, V., Sanchez Conde, M.P., and Contreras, J.G. 1965. Study of the mineral nutrition of maize on soils rich in gypsum. *Zolfo in Agricoltura*, Palermo 1964: 398-411.
- Hesse, P.R. 1974. Methods of soil analysis-texture analysis of gypsic soils. The Euphrates pilot irrigation project. FAO. NO. AGON/SF/SYR/67/522.
- Hughes, R and Bohor, B. 1970. Random clay powders prepared by spray drying. *Am. Mineral.* 55:1780-1786.
- Hurlbut, Jr., C.S. and Klein, C. 1977. *Manual of Mineralogy*. John Wiley & Sons, New York, NY.
- Jackson, M.L. 1956. *Soil Chemical Analysis- Advanced Course*. Publ. by the author, Dept. Soils, Univ. of Wisconsin, Madison, WI.
- Jump, R.K. and Sabey, B.R. 1989. Soil test extractants for predicting selenium in plants. Pages 95-105 in L.W. Jacobs, Ed: Selenium in agriculture and the environment. *Am. Soc. Agr. Inc; SSSA Spec. Publ.* 23 Chapter 5.
- Keeney, D.R. and Nelson, D.W. 1982. Nitrogen - Inorganic forms. P.643-698. In: *Methods of Soil Analysis*, Part 2, A.L.
- Kim, H.T. 1996. Soil Sampling, preparation and analysis. Marcel Dekker, Inc. New York, NY, 10016.
- Krauskoph, K.B. 1973. Geochemistry of micronutrients. p.7-40. In: *Micronutrients in Agriculture*, J.J. Mortvedt (ed). Soil Sci. Soc. Am., Madison, WI.
- Krumbein, W.C. Pettijohn, F.J. 1938. *Manual of Sedimentary Petrology*. Appleton-Century Co., New York, NY.
- Lindsay W.L., and De Ment, J.D. 1961. Effectiveness of some iron phosphate as sources of phosphorus for plants. *Plant and Soil* 14, 118.
- Lindsay, W.L. 1973. Inorganic phase equilibria of micronutrients in soils. P. 41-57. In: *Micronutrients in Agriculture*. J.J. Mordvedt, P.M. Giordano, and W.L. Lindsay (eds). Soil Sci. Soc. Am., Inc., Madison, WI.

- Lindsay, W.L., and Norvell, W.A. 1978. Development of DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 42:421-428.
- Loveday, J. 1974. Methods for analysis of irrigated soils. II: Particle size analysis. Commonwealth Bureau of Soils Technical Communication N: 5H.
- Maas, E.V., and Hoffman, G.Z. 1977. Crop salt tolerance current assessment. *J. of irrigation and drainage division ASCE* 103: 115-134.
- Marcuse, S. 1949. Optimum allocation and variance components in nested sampling with an application to chemical analysis. *Biometrics* 5:189-206.
- Marwan, H.K., Sayegh, A.H., and Atallah, N.J. 1978. the effect of soil conditioners on pore size distribution and water retention of a calcareous soil. *Aust. J. Soil Res.* 29:277-81, 1978.
- Norvell, W.A. 1973. Equilibria of metal chelates in soil solution. P.115-138. In: *Micronutrient in Agriculture*, J.J. Mortvedt, P.M. Giordano, and W.L. Lindsay (eds). Soil Sci. Soc. Am., Inc., Madison, WI, USA.
- Petersen, R.G., and Chamblee, D.S. 1955. Optimum size of sample for hand separation of forage crop mixtures into their component species in small plot experiments. *Agron. Jour.* 47:20-23.
- Post, A.H. 1924. Soil variability as determined by statistical methods. *Soil Sci.* 17:343-357.
- Reed, J.F., and Rigney, J.A. 1947. Soil sampling from fields of uniform and nonuniform appearance and soil types. *Jour. Amer. Soc. Agron.* 39:26-40.
- Sayegh, A.H., Alban, L.A., and Petersen, R.G. 1958. A sampling study in a saline and alkali area. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 22:252-254.
- Sayegh, A.H., Harward, M.E., Knox, E.G. 1965. Humidity and temperature interaction with respect to K-saturated expanding clay minerals. *American Mineralogist* 50:490-495.
- Sayegh, A.H. and Abdul Majid, A. 1969. Phosphorus fractionation and retention in alkaline Lebanese soils. *Agrochimica XIII* n.3, 265-276.
- Sayegh A.H. and Salib, A.J. 1969. Some physical and chemical properties of soils in the Beqa'a plain, Lebanon. *The Journal of Soil Science.* (20)1- 167-175.
- Sayegh, A.H. and Rehman, H. 1969. Ammonium fixation in alkaline Lebanese soils. *Soil Science* 108:202-208.
- Sayegh, A.H. 1974. Suggestion of criteria for sampling and classifying salt affected soils of the Middle East. International symposium on new developments in the field of salt affected soils (December 4-9, 1972). General Organization for Government printing offices, Cairo, Arab Republic of Egypt.
- Sayegh, A.H., Khan, N.A., Khan, P., and Ryan, J. 1978. Factors affecting gypsum and cation exchange capacity determinations in gypsiferous soils. *Soil Sci.* 125, N. 5 194-300.
- Sayegh, A.H. 1986. In: Management of gypsiferous, soil. *FAO Soil Bulletin* 62.

- Schoonover. 1953. Examination of soils for alkali-quick tests. University of Calif. Ext. Service, Berkeley, Calif (mimeograph).
- Schwertmann, U. 1962. Die selective kationensorption der Tonfraktion einiger Boden aus Sedimenten. Z. Pflanz. Dung. Bodenkunde. 97:9-25.
- Sherman, G.D. and Harmer, P.M. 1943. The effect of manganese sulfate on several crops growing on organic soil when applied as a stream or spray on the crop. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 8:334-340.
- Soltanpour, P.N., Fox, R.L. and Jones, R.C. 1988. A quick method to extract organic phosphorus from soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 51:255-256.
- Soltanpour, P.N, Jones J.B. and Workman S.M. 1982a. Optical emission spectrometry. Pages 29-65 in A.L. Page et al, Eds. Method of Soil Analysis. Part 2. 2nd ed. Agronomy No. 9. Amer. Soc. of Agronomy, Madison, WI.
- Soltanpour, P.N, Olsen S.R. and Goos R.J. 1982b. Effect of Nitrogen Fertilization on dryland wheat on grain selenium concentration. SSSAJ. 46:430-433.
- Sys, C. 1975. Land evaluation in Europe. FAO soils bulletin 29, p113, Rome, Italy.
- Tan, K.H. 1994. *Environmental Soil Science*. Marcel Dekker, Inc., New York, NY.
- Tan, K.H. 1995. Soil Sampling, Preparation, and Analysis. Marcel Dekker, Inc. New York, N.Y. USA.
- Tarzi, G.J. 1984. Procedures for collecting soil samples for different purposes. Ministry of Agriculture and Water, Directorate of Agricultural Research, Riyadh, Kingdom of Saudi Arabia.
- Thabet, A. 1975. Active and total CaCO₃ in soils. Thesis. American University of Beirut, Beirut, Lebanon.
- Thomson, A.P. Duthie, D.M.L. and Wilson, M.J. 1972. Randomly oriented powders for quantitative identification by x-ray diffraction. Clay Mineral. 9:345-348.
- Tisdale, S.L., and Nelson, W.L. 1993. Soil Fertility and Fertilizers. Macmillan Co., New York, N.Y.
- United State Salinity Laboratory Staff, Handbook No. 60. 1956. Diagnosis and improvement of Saline and Sodic Soils. United State Department of Agriculture, U.S. Government Printing Office, Washington 25, D.C., USA.
- Van Alphen, J.G. and de los Rios Romero, F. 1971. Gypsiferous soils. Bulletin 12, International Institute for Land Reclamation and Improvement. Wageningen, the Netherlands.
- Van Schuylenborgh, J. 1954. The effect of air-drying of soil samples upon some physical soil properties. Neth. J. Agri. Sci. 2:50-57.
- Walkley, A. 1947. A critical examination of a rapid method for determining organic carbon in soils. Effect of variations in digestion conditions and inorganic soil constituents. Soil Sci. 63:251-263.

- Watanabe, F.S. and Olsen, S.R. 1965. Test of an ascorbic acid method for determining phosphorus in water and NaHCO₃ extracts from soil. *Soil Sci. Am. Proc.* 29:677-678.
- Waynick, D.D. 1918. Variability in soils and its significance to past and future soil investigations. *Univ. of California Pub. in Agr. Sci.* 3:243-269.
- Westin F.C., and Buntley G.J. 1966. Soil Phosphorus in South Dakota I: inorganic phosphorus fixation of some soil series. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 30, 245.
- Whittig, L.D., and Allardice, W.R. 1986. X-ray diffraction techniques. p.331-362. In: *Methods of Soil Analysis*, Part 1, A. Klute (ed.). Agronomy series No. 9. Am. Soc. Agronomy and Soil Sci. Soc. Am., Inc., Publ., Madison, WI.
- Willard, H.H. and Diehl, H. 1943. *Advanced Qualitative Analysis*. Van Nostrad, New York, NY.

ملحق A
قائمة بالاوزان الذرية للعناصر المختلفة

APPENDIX A

LIST OF THE ATOMIC WEIGHTS OF THE ELEMENTS

Element	Symbol	Atomic Number	Atomic Weight	Element	Symbol	Atomic Number	Atomic Weight
Actinium	Ac	89	(227)	Mercury	Hg	80	200.59
Aluminum	Al	13	26.98	Molybdenum	Mo	42	95.94
Americium	Am	95	(243)	Neodymium	Nd	60	144.24
Antimony	Sb	51	121.75	Neon	Ne	10	20.183
Argon	Ar	18	39.948	Neptunium	Np	93	(237)
Arsenic	As	33	74.92	Nickel	Ni	28	58.71
Astatine	At	85	(210)	Niobium	Nb	41	92.91
Barium	Ba	56	137.34	Nitrogen	N	7	14.007
Berkelium	Bk	97	(249)	Nobelium	No	102	(253)
Beryllium	Be	4	9.012	Osmium	Os	76	190.2
Bismuth	Bi	83	208.98	Oxygen	O	8	15.9994
Boron	B	5	10.81	Palladium	Pd	46	106.4
Bromine	Br	35	79.909	Phosphorus	P	15	30.974
Cadmium	Cd	48	112.40	Platinum	Pt	78	195.09
Calcium	Ca	20	40.08	Plutonium	Pu	94	(242)
Californium	Cf	98	(251)	Polonium	Po	84	(210)
Carbon	C	6	12.011	Potassium	K	19	39.102
Cerium	Ce	58	140.12	Praseodymium	Pr	59	140.91
Cesium	Cs	55	132.91	Promethium	Pm	61	(147)
Chlorine	Cl	17	35.453	Protactinium	Pa	91	(231)
Chromium	Cr	24	52.00	Radium	Ra	88	(226)
Cobalt	Co	27	58.93	Radon	Rn	86	(222)
Copper	Cu	29	63.54	Rhenium	Re	75	186.23
Curium	Cm	96	(247)	Rhodium	Rh	45	102.91
Dysprosium	Dy	66	162.50	Rubidium	Rb	37	85.47
Einsteinium	Es	99	(254)	Ruthenium	Ru	44	101.1
Erbium	Er	68	167.26	Samarium	Sm	62	150.35
Europium	Eu	63	151.96	Scandium	Sc	21	44.96
Fermium	Fm	100	(253)	Selenium	SE	34	78.96
Fluorine	F	9	19.00	Silicon	Si	14	28.09
Francium	Fr	87	(223)	Silver	Ag	47	107.870
Gadolinium	Gd	64	157.25	Sodium	Na	11	22.9898
Gallium	Ga	31	69.72	Strontium	Sr	38	87.62
Germanium	Ge	32	72.59	Sulfur	S	16	32.064
Gold	Au	79	196.97	Tantalum	Ta	73	180.95
Hafnium	Hf	72	178.49	Technetium	Tc	43	(99)
Helium	He	2	4.003	Tellurium	Te	52	127.60
Holmium	Ho	67	164.93	Terbium	Tb	65	158.92
Hydrogen	H	1	1.0080	Thallium	Tl	81	204.37
Indium	In	49	114.82	Thorium	Th	90	232.04
Iodine	I	53	126.90	Thulium	Tm	69	168.93
Iridium	Ir	77	192.2	Tin	Sn	50	118.69
Iron	Fe	26	55.85	Titanium	Ti	22	47.90
Krypton	Kr	36	83.80	Tungsten	W	74	183.85
Lanthanum	La	57	138.91	Uranium	U	92	238.03
Lawrencium	Lw	103	(257)	Vanadium	V	23	50.94
Lead	Pb	82	207.19	Xenon	Xe	54	131.30
Lithium	Li	3	6.939	Ytterbium	Yb	70	173.04
Lutetium	Lu	71	174.97	Yttrium	Y	39	88.91
Magnesium	Mg	12	24.312	Zinc	Zn	30	65.37
Manganese	Mn	25	54.94	Zirconium	Zr	40	91.22
Mendelevium	Md	101	(256)				

Numbers in parentheses indicate mass of most stable known isotopes.

ملحق B
دلائل الرقم الهيدروجيني
APPENDIX B
pH INDICATORS¹

pH Indicators	pH transition intervals			
	Colour	pH	pH	Colour
Cresol red	pink	0.2	1.8	yellow
m-Cresol purple	red	1.2	2.8	yellow
Thymol blue	red	1.2	2.8	yellow
p-Xylenol blue	red	1.2	2.8	yellow
Triphenylcarbinol	red	1.2	3.2	Colourless
2,4-Dinitrophenol	Colourless	2.8	4.7	Yellow
4-Dimethylaminoazobenzene	Red	2.9	4.0	Yellow-orange
Bromochlorophenol blue	Yellow	3.0	4.6	Purple
Bromophenol blue	Yellow	3.0	4.6	Purple
Methyl orange	Red	3.1	4.4	Yellow-orange
Bromocresol green	Yellow	3.8	5.4	Blue
2,5-Dinitrophenol	Colourless	4.0	5.8	Yellow
Alizarinsulfonic acid sodium salt	Yellow	4.3	6.3	Violet
Methyl red	Red	4.4	6.2	Yellow-orange
Methyl red sodium salt	Red	4.4	6.2	Yellow-orange
Chlorophenol red	Yellow	4.8	6.4	Purple
Hematoxylin	Yellow	5.0	7.2	Violet
Litmus extra pure	Red	5.0	8.0	Blue
Bromophenol red	Orange-yellow	5.2	6.8	Purple
Bromocresol purple	Yellow	5.2	6.8	Purple
4-Nitrophenol	Colourless	5.4	7.5	Yellow
Bromoxylenol blue	Yellow	5.7	7.4	Blue
Alizarin	Yellow	5.8	7.2	Red
Bromothymol blue	Yellow	6.0	7.6	Blue
Phenol red	Yellow	6.4	8.2	Red
3-Nitrophenol	Colourless	6.6	8.6	Yellow-orange
Neutral red	Bluish-red	6.8	8.0	Orange-yellow
4,5,6,7-Tetrabromophenolphthalein	Colourless	7.0	8.0	Purple
Cresol red	Orange	7.0	8.8	Purple
1-Naphtholphthalein	Brownish	7.1	8.3	Blue-green
m-Cresol purple	Yellow	7.4	9.0	Purple
Thymol blue	Yellow	8.0	9.6	Blue
P-Xylenol blue	Yellow	8.0	9.6	Blue
Phenolphthalein	Colourless	8.2	9.8	Red-violet
Thymolphthalein	Colourless	9.3	10.5	Blue
Alizarin yellow GG	Light yellow	10.2	12.1	Brownish-yellow
Epsilon blue	Orange	11.6	13.0	Violet

¹ Adapted from pH Indicators, E. Merck and Co.

ملحق C
خواص المواد المستعملة بالمختبرات

APPENDIX C
PROPERTIES OF LABORATORY MATERIALS

Material	Max. Working Temperature, °C	Sensitivity to Thermal Shock	Chemical Inertness	Notes
Borosilicate glass	200	150°C change OK	Attacked to certain degree by alkali solutions while heating	Trademarks: pyrex (Corning Glass Works) Kimax (Owens-Illinois)
Soft glass		Low	Attacked by alkali solutions	
Alkali-resistant glass		More sensitive than borosilicate		Boron-free. Trademark: Corning
Fused quartz	1050	Very High	Resistant to most acids, halogens	Quartz crucibles used for fusions
High-silica glass	1000	Very High	More resistant to alkalis than borosilicate	Similar to fused quartz Trademark: Vycor (Corning)
Porcelain	1100 (glazed) 1400 (unglazed)	High	High	
Platinum	1500		Resistant to most acids, molten salts. Attacked by <i>aqua regia</i> , fused nitrates, cyanides, chlorides at >1000°C. Alloys with gold, silver, and other metals	Usually alloyed with iridium or rhodium to increase hardness. Platinum crucibles for fusions and treatment with HF
Nickel and iron			Fused samples contaminated with the metal	Ni and Fe crucibles used for peroxide fusions
Stainless steel	400-500	High	Not attacked by alkalis and acids except conc. HCl, dil. H ₂ SO ₄ , and boiling conc. HNO ₃	
Polyethylene	115		Not attacked by alkali solutions or HF. Attacked by many organic solvents (acetone, ethanol OK)	Flexible plastic
Polystyrene	70		Not attacked by HF. Attacked by many organic solvents	Somewhat brittle
Teflon	250		Inert to most chemicals	Useful for storage of solutions and reagents for trace metal analysis

ملحق D
درجات الكيماويات
APPENDIX D
Grades of Chemicals

Grade	Purity	Notes
Technical or commercial	Indeterminate quality	May be used in preparation of cleaning solution only
C.P. (Chemically pure)	More refined, but still unknown quality	
U.S.P.	Meets minimum purity standards	Conforms to tolerance set by the United States Pharmacopoeia for contaminants dangerous to health
A.C.S. reagent	High purity	Conforms to minimum specifications set by the Reagent Chemicals Committee of the American Chemical Society
Primary standard	Highest purity	Required for accurate volumetric analysis (for standard solutions)

تركيزات المواد الحامضية والقاعدية الموجودة على النطاق التجاري
Concentrations of Commercial Reagent-Grade Acids and bases^a

Reagent	F. Wt. ^b	M ^c	% by Wt.	Density (20°), g/cm ³
H ₂ SO ₄	98.08	17.6	94.0	1.831
HClO ₄	100.5	11.6	70.0	1.668
HCl	36.46	12.4	38.0	1.188
HNO ₃	63.01	15.4	69.0	1.409
H ₃ PO ₄	98.00	14.7	85.0	1.689
HC ₂ H ₃ O ₂	60.05	17.4	99.5	1.051
NH ₃	17.03	14.8	28.0	0.898

^aThese are approximate concentrations and cannot be used for preparing standards solutions.

^bFormula weight.

^cMolarity.

NBS Tolerances for Volumetric Glassware, Class A^a
السعات المختلفة للأواني الزجاجية المدرجة

Capacity, ml (Less than and Including)	Tolerances, ml		
	Volumetric Flasks	Transfer Pipets	Burets
1000	±0.30		
500	±0.15		
100	±0.08	±0.08	±0.10
50	±0.05	±0.05	±0.05
25	±0.03	±0.03	±0.03
10	±0.02	±0.02	±0.02
5	±0.02	±0.01	±0.01
2		±0.006	

^a Corning Pyrex glassware and Kimball KIMAX, Class A, conform to these tolerances.

ملحق E
معدل العناصر الغذائية بالتربة

APPENDIX E
RECOMMENDED NUTRIENT RANGES IN SOIL
in mg Kg⁻¹ or part per million (ppm)

Residual Nitrate (NO₃) Nitrogen النيتروجين المتبقى بشكل نترات (NO₃)

0-5	V.L	(Very Low)	منخفض جداً
5-15	L	(Low)	منخفض
15-30	M	(Medium)	وسط
30-40	H	(High)	مرتفع
40+	V.H	(Very High)	مرتفع جداً

Phosphorus (P) Extracted by 1M NaHCO₃ الفوسفور المستخلص بطريقة أولسن (Olson method)

0-3	V.L
3-8	L
8-14	M
14-20	H
20+	V.H

Potassium (K) Extracted with 1M NH₄OAC البوتاسيوم المستخلص باسيتات الأمونيوم

0-85	V.L
85-170	L
170-300	M
300-500	H
500+	V.H

Exchangeable Magnesium (Mg) المغنسيوم المتبادل

0-85	V.L
85-200	L
200-300	M
300-500	H
500+	V.H

Exchangeable Calcium (Ca) الكالسيوم المتبادل

0-500	V.L
500-1200	L
1200-2500	M
2500-3500	H
3500+	V.H

Soluble Sulfur (S) الكبريت الذواب

0-10	V.L
10-20	L
20-35	M
35-45	H
45+	V.H

Soluble Sodium (Na) الصوديوم الذواب

0-300	M
300+	H

ملحق F

العوامل الحرارية لتصحيح بيانات المقاومة والموصلية الخاصة بمستخلصات التربة إلى ما يعادلها عند درجة حرارة 25°م

APPENDIX F

Temperature factors (f_t) for correcting resistance and conductivity data on soil extracts to the standard temperature of 25°C⁽¹⁾

$$EC_{25} = EC_t \times f_t; EC_{25} = (k/R_t) \times f_t; R_{25} = R_t/f_t$$

°C	°F.	f_t	°C	°F.	f_t	°C	°F.	f_t
3.0	37.4	1.709	22.0	71.6	1.064	29.0	84.2	0.925
4.0	39.2	1.660	22.2	72.0	1.060	29.2	84.6	0.921
5.0	41.0	1.613	22.4	72.3	1.055	29.4	84.9	0.918
6.0	42.8	1.569	22.6	72.7	1.051	29.6	85.3	0.914
7.0	44.6	1.528	22.8	73.0	1.047	29.8	85.6	0.911
8.0	46.4	1.488	23.0	73.4	1.043	30.0	86.0	0.907
9.0	48.2	1.488	23.2	73.8	1.038	30.2	86.4	0.904
10.0	50.0	1.411	23.4	74.1	1.034	30.4	86.7	0.901
11.0	51.8	1.375	23.6	74.5	1.029	30.6	87.1	0.897
12.0	53.6	1.341	23.8	74.8	1.025	30.8	87.4	0.894
13.0	55.4	1.309	24.0	75.2	1.020	31.0	87.8	0.890
14.0	57.2	1.277	24.2	75.6	1.016	31.2	88.2	0.887
15.0	59.0	1.247	24.4	75.9	1.012	31.4	88.5	0.884
16.0	60.8	1.218	24.6	76.3	1.008	31.6	88.9	0.880
17.0	62.6	1.189	24.8	76.6	1.004	31.8	89.2	0.877
18.0	64.4	1.163	25.0	77.0	1.000	32.0	89.6	0.873
18.2	64.8	1.157	25.2	77.4	0.996	32.2	90.0	0.870
18.4	65.1	1.152	25.4	77.7	0.992	32.4	90.3	0.867
18.6	65.5	1.147	25.6	78.1	0.988	32.6	90.7	0.864
18.8	65.8	1.142	25.8	78.5	0.983	32.8	91.0	0.861
19.0	66.2	1.136	26.0	78.8	0.979	33.0	91.4	0.858
19.2	66.6	1.131	26.2	79.2	0.975	34.0	93.2	0.843
19.4	66.9	1.127	26.4	79.5	0.971	35.0	95.0	0.829
19.6	67.3	1.122	26.6	79.9	0.967	36.0	96.8	0.815
19.8	67.6	1.117	26.8	80.2	0.964	37.0	98.6	0.801
20.0	68.0	1.112	27.0	80.6	0.960	38.0	100.2	0.788
20.2	68.4	1.107	27.2	81.0	0.956	39.0	102.2	0.775
20.4	68.7	1.102	27.4	81.3	0.953	40.0	104.0	0.763
20.6	69.1	1.097	27.6	81.7	0.950	41.0	105.8	0.750
20.8	69.4	1.092	27.8	82.0	0.947	42.0	107.6	0.739
21.0	69.8	1.087	28.0	82.4	0.943	43.0	109.4	0.727
21.2	70.2	1.082	28.2	82.8	0.940	44.0	111.2	0.716
21.4	70.5	1.078	28.4	83.1	0.936	45.0	113.0	0.705
21.6	70.9	1.073	28.6	83.5	0.932	46.0	114.8	0.694
21.8	71.2	1.068	28.8	83.8	0.929	47.0	116.6	0.683

Source: Agricultural Handbook 60, U.S. Dept. of Agriculture

ملحق G
طريقة التحويل للوحدات الدولية

Appendix A. Conversion factors for SI and non-SI units (Soil Science Society of America Journal)

To convert Column 1 into Column 2, multiply by	Column 1 SI Unit وحدات دولية	Column 2 Non-SI Unit وحدات غير دولية	To convert Column 2 into Column 1 multiply by
Length			
0.621	kilometer, km (10^3 m)	mile, mi	1.609
1.094	meter, m	yard, yd	0.914
3.28	meter, m	foot, ft	0.304
1.0	micrometer, μm (10^{-6} m)	micron, μ	1.0
3.94×10^{-2}	millimeter, mm (10^{-3} m)	inch, in	25.4
10	nanometer, nm (19^{-9} m)	angstrom, \AA	0.1
Area			
2.47	hectare, ha	acre	0.405
247	square kilometer, km^2 (10^3 m) ²	acre	4.05×10^{-3}
0.386	square kilometer, km^2 (10^3 m) ²	square mile, mi^2	2.590
2.47×10^{-4}	square meter, m^2	acre	4.05×10^3
10.76	square meter, m^2	square foot, ft^2	9.29×10^{-2}
1.55×10^{-3}	square millimeter, mm^2 (10^{-3} m) ²	square inch, in^2	645
Volume			
9.73×10^{-3}	cubic meter, m^3	acre-inch	102.8
35.3	cubic meter, m^3	cubic foot, ft^3	2.83×10^{-2}
6.10×10^{-4}	cubic meter, m^3	cubic inch, in^3	1.64×10^{-5}
2.84×10^{-2}	liter, L (10^{-3} m) ³	bushel, bu	35.24
1.057	liter, L (10^{-3} m) ³	quart (liquid), qt	0.946
3.53×10^{-2}	liter, L (10^{-3} m) ³	cubic foot, ft^3	28.3
0.265	liter, L (10^{-3} m) ³	gallon	3.78
33.78	liter, L (10^{-3} m) ³	pint (fluid), pt	0.473
Mass			
2.20×10^{-3}	gram, g (10^{-3} kg)	pound, lb	454
3.52×10^{-2}	gram, g (10^{-3} kg)	ounce (avdp), oz	28.4
2.205	kilogram, kg	pound, lb	0.454
0.01	kilogram, kg	quintal (metric), q	100
1.10×10^{-3}	kilogram, kg	ton (2000 lb), ton	907
1.102	megagram, Mg (tonne)	ton (U.S.), ton	0.907
1.102	tonne, t	ton (U.S.), ton	0.907
Yield and Rate			
0.893	kilogram per hectare, kg ha^{-1}	pound per acre, lb acre^{-1}	1.12
7.77×10^{-2}	kilogram per cubic meter, kg m^{-3}	pound per bushel, lb bu^{-1}	12.87
1.49×10^{-2}	kilogram per hectare, kg ha^{-1}	bushel per acre, 60 lb	67.19
1.59×10^{-2}	kilogram per hectare, kg ha^{-1}	bushel per acre, 56 lb	62.71
1.86×10^{-2}	kilogram per hectare, kg ha^{-1}	bushel per acre, 48 lb	53.75
0.107	liter per hectare, L ha^{-1}	gallon per acre	9.35
893	tonnes per hectare, t ha^{-1}	pound per acre, lb acre^{-1}	1.12×10^{-3}
893	megagram per hectare, Mg ha^{-1}	pound per acre, lb acre^{-1}	1.12×10^{-3}
0.446	megagram per hectare, Mg ha^{-1}	ton (2000 lb) per acre, ton acre^{-1}	2.24
2.24	meter per second, m s^{-1}	mile per hour	0.447

APPENDIX G (continued)
Conversion Factors for SI and non-SI Units

To convert Column 1 into Column 2, multiply by	Column 1 SI Unit	Column 2 Non-SI Unit	To convert Column 2 into Column 1 multiply by
Specific Surface			
10	square meter per kilogram, m ² kg ⁻¹	square centimeter per gram, cm ² g ⁻¹	0.1
1000	square meter per kilogram, m ² kg ⁻¹	square millimeter per gram, mm ² g ⁻¹	0.001
Pressure			
9.90	megapascal, MPa (10 ⁶ Pa)	atmosphere	0.101
10	megapascal, MPa (10 ⁶ Pa)	bar	0.1
1.00	megagram per cubic meter, Mg m ⁻³	gram per cubic centimeter, g cm ⁻³	1.00
2.09 × 10 ⁻²	pascal, Pa	pound per square foot, lb ft ⁻²	47.9
1.45 × 10 ⁻⁴	pascal, Pa	pound per square inch, lb in ⁻²	6.90 × 10 ³
Temperature			
1.00 (K - 273)	Kelvin, K	Celsius, °C	1.00 (°C + 273)
(9/5 °C) + 32	Celsius, °C	Fahrenheit, °F	5/9 (°F - 32)
Plane Angle			
57.3	radian, rad	degrees (angle), °	1.75 × 10 ⁻²
Electrical Conductivity, Electricity, and Magnetism			
10	siemen per meter, S m ⁻¹	millimho per centimeter, mmho cm ⁻¹	0.1
10 ⁴	tesla, T	gauss, G	10 ⁻⁴
Water Measurement			
9.73 × 10 ⁻³	cubic meter, m ³	acre-inches, acre-in	102.8
9.81 × 10 ⁻³	cubic meter per hour, m ³ h ⁻¹	cubic feet per second, ft ³ s ⁻¹	101.9
4.40	cubic meter per hour, m ³ h ⁻¹	U.S. gallons per minutes, gal min ⁻¹	0.227
8.11	hectare-meters, ha-m	acre-feet, acre-ft	0.123
97.28	hectare-meters, ha-m	acre-inches, acre-in	1.03 × 10 ⁻²
8.1 × 10 ⁻²	hectare-centimeters, ha-cm	acre-feet, acre-ft	12.33
Concentrations			
1	centimole per kilogram, cmol kg ⁻¹ (ion exchange capacity)	milliequivalents per 100 grams, meq 100 g ⁻¹	1
0.1	gram per kilogram, g kg ⁻¹	percent, %	10
1	milligram per kilogram, mg kg ⁻¹	parts per million, ppm	1
Radioactivity			
2.7 × 10 ⁻¹¹	becquerel, Bq	curie, Ci	3.7 × 10 ¹⁰
2.7 × 10 ⁻²	becquerel per kilogram, Bq kg ⁻¹	picocurie per gram, pCi g ⁻¹	37
100	gray, Gy (absorbed dose)	rad, rd	0.01
100	sievert, Sv (equivalent dose)	rem (roentgen equivalent man)	0.01
Plant Nutrient Conversion			
	<i>Element</i>	<i>Oxide</i>	
2.29	P	P ₂ O ₅	0.437
1.20	K	K ₂ O	0.830
1.39	Ca	CaO	0.715
1.66	Mg	MgO	0.602

Printed by:
Print Right Adv.

ISBN 978-92-5-605661-0



9 789256 056610

TC/M/A0955Ar/1/01.07/200

