الباب الرابع

العناصر الغذائية الضرورية للنبات

وجودها، أهميتها، أعراض نقصها وطرق تقديرها

أنا شاب لكن عمري ولا ألف عـــــام !!!
وحيد لكـــن بيـن ضلوعـي زحـــــام !!!
خايف ... لكـــــن خوفـــي منـــي أنـــــا !!!
أخـــرس ولكـــن قلبـــيِ مليان كـــلام!!!
عجبـــــيَ !!!
صلاح چاهين ... رباعيات

obeikandl.com

العناصر الغذائية الضرورية للنبات

Essential Nutrient Elements

وجودها، أهميتها، أعراض نقصها وطرق تقديرها

والاهتمام بتغذية النبات و البحث العلمي في مجال العناصر الغذائية وأهميتها للنبات بدأ منذ أكثر من ٢٠٠ عام. وكانت البداية في أوربا حيث أجريت دراسات هامة قام بها De Saussure عام ١٨٠٤ من خلالها حدد بعض العناصر وصنفها كعناصر غذائية هامة للنبات مثل الكربون والهيدروجين والأكسجين والنيتروجين. وبعدها توالي اكتشاف العديد من العناصر ومعرفة أهميتها في تغذية النبات. والجدول التالي يوضح تاريخ معرفة العناصر الغذائية وكذلك السنة التي تم فيها تحديد أهميتها للنبات مأخوذاً عن Kalra 1998.

العنصر	العالم الذي أكتشفه	السنة	العالم الذي أكتشف أهميته للنبات	السنة
C	*	❖	De Saussure	١٨٠٤
H	Cavendish	١٧٦٦	De Saussure	١٨٠٤
O	Priestly	١٧٧٤	De Saussure	١٨٠٤
N	Rutherford	١٧٧٢	De Saussure	١٨٠٤
P	Brand	١٧٧٢	Vile	١٨٠٦
S	*	❖	Von Sachs, Knop	١٨٦٥
K	Davy	١٨٠٧	Von Sachs, Knop	١٨٦٠
Ca	Davy	١٨٠٧	Von Sachs, Knop	١٨٦٠
Mg	Davy	١٨٠٨	Von Sachs, Knop	١٨٦٦
Fe	❖	❖	Von Sachs, Knop	- -
Mn	Scheele	١٧٧٤	Mc Hargue	١٩٢٢
Cu	❖	❖	Sommer	١٩٣١
Zn	❖	❖	Sommer & Mackinnon	١٩٣١
Mo	Hezlm	١٧٨٢	Arnon & Stout	١٩٢٦
B	Gaylussa & Thenard	١٨٠٨	Sommer& Lipman	١٩٢٦
Cl	Scheele	١٧٧٤	Stout	١٩٥٤

❖ العنصر معروف منذ زمن بعيد وغير محدد بالضبط.

والكون بصفة عامة يتكون من حوالي 102 عنصر. وعند تحليل النبات وجد أن الرطوبة تمثل حوالي من ٨٠ ٪ إلى ٩٠ ٪ من الوزن والـ ١٠ إلى ٢٠٪ المتبقية تتكون من ٩٠ ٪ مادة عضوية و١٠٪ فقط مواد غير عضوية (رماد). وعند تحليل الرماد وجد أنه يحتوي علي حوالي ٩٠ عنصر. هذه العناصر منها مجموعة مهمة جدا لنمو النبات ولا يكمل دورة حياته بصورة طبيعية في غياب أحد منها هذه المجموعة يطلق عليها العناصر الضرورية لنمو النبات Essential Nutrient Elements. والسؤال الذي يطرح نفسه هنا **ما هي الصفات أو الملامح الرئيسية للعنصر الضروري ؟**

ويمكن أيجاز هذه الصفات أو المواصفات في التالي:

- أن النبات لا يستطيع أن يكمل دورة حياته بنجاح في غياب هذا العنصر.
- لا تزول أعراض نقصه علي النبات إلا بإضافة ذلك العنصر سواء عن طريق التربة أو الرش علي المجموع الخضري.
- لا يستطيع عنصر أخر القيام بدور ذلك العنصر في النبات، أي أنه لا يمكن استبداله بعنصر أخر.
- أن يكون له دور حيوي وجوهري في النبات. فقد يدخل في عمليات التمثيل (الميتابوليزم) ونشاط الأنزيمات النباتية وقد يدخل في تركيب النبات أو يعمل كعامل مساعد للتفاعلات الأنزيمية والتي لا تتم بدونه.
- أن يكون له أثر مباشر في تغذية النبات ولا يكون الاحتياج له مؤقت أو استثنائي (كما في حالات الوقاية من الآفات الحشرية والمرضية).

والعناصر الضرورية جميعها هام ولازم للنبات ولا يمكن للنبات الاستغناء عن أحدها. ولكن لسهولة دراستها تم تقسيم هذه العناصر علي أساس الكمية التي يحتاجها النبات منها إلى: عناصر غذائية ضرورية كبري Essential Macro Nutrients وهي التي يحتاجها النبات بكميات كبيرة مثل الكربون والأكسجين (ويحصل عليهم النبات من الهواء الجوي) والنيتروجين والفسفور والبوتاسيوم والكالسيوم والماغنسيوم والكبريت. وعناصر غذائية صغري Essential Micro Nutrients وهي تلك العناصر التي يحتاجها النبات بكميات قليلة مثل الحديد والزنك والمنجنيز و البورون و الموليبدنم والنحاس والكلور

من المعروف أن التربة هي المصدر الطبيعي والرئيسي للعناصر الغذائية ويحصل النبات علي العناصر اللازمة لنموه منها عن طريق امتصاص الجذور لهذه العناصر .وذلك تحت تأثير الغلاف الجوي الذي يوفر للنبات بعض العناصر مثل الأزوت "التي تستطيع النباتات البقولية الاستفادة منه وكذلك بعض كائنات التربة الدقيقة حيث تقوم بتثبيت جزء منة بالتربة" وكذلك الأكسيجين والكربون ومياه الأمطار التي تحمل معها بعض العناصر مثل الكبريت والنيتروجين في حالة الأمطار الحمضية.

والتربة هي الوسط الذي يزرع فيه النبات ويحصل منه علي احتياجاته ومحتوي التربة من العناصر الغذائية يختلف وبشدة من منطقة لأخرى علي حسب العديد من العوامل مثل الصخور الأصلية التي نشأت منها التربة وعوامل التجوية التي مرت بها تلك الصخور والمناخ السائد في المنطقة والنشاط الميكروبي للتربة و... وبصفة عامة فأن العناصر الغذائية توجد في التربة في أربع صور كالتالي :

- الصورة المثبتة في معادن التربة **soil minerals**. ومعادن التربة هي المصدر الرئيسي للعناصر الغذائية (فيما عدا النيتروجين الذي لا يدخل في تركيب تلك المعادن) وهي المخزن الرئيس لتلك العناصر وتتحلل عن طريق التجوية علي المدى الطويل لتمد الأرض الزراعية باحتياجها من تلك العناصر. والعناصر الداخلة في تركيب الصخور لا يستطيع النبات الاستفادة منها إلا بعدد تجوية تلك الصخور وتحرر هذه العناصر.
- المادة العضوية **Organic matter:** وتمد النبات بالعديد من العناصر الغذائية عند تحللها وتعتبر مستودع لكل من النيتروجين والفوسفور والكبريت بالإضافة لبعض العناصر الصغرى الأخرى. وعند تحللها تزيد من ميسورية العديد من العناصر نتيجة إطلاق أحماض تؤدي إلى خفض الـ pH وتذيب الصور المعقدة الغير ذائبة لتلك العناصر. كما تعمل بعض المركبات العضوية المتحررة من تحلل لمادة العضوية كمواد مخلبية تمنع فقد بعض العناصر من التربة عن طريق الغسيل أو عن طريق التثبيت وتجعلها متاحة وميسرة للنباتات.
- العناصر المدمصة علي أسطح حبيبات الطين و الدبال Absorbed nutrients : ويرجع هذا الادمصاص إلى وجود شحنات سالبة علي أسطح تلك الغرويات أو الحبيبات نتيجة وجود مجاميع الهيدروكسيل أو الكربوكسيل تقوم بجذب

obeikandl.com

الأيونات الموجبة و ادمصاصها علي أسطحها. وغالباً ما تكون قوة جذب جذور النبات لهذه الأيونات أكبر من قوة ادمصاصها علي غرويات التربة بالتالي هي صورة ميسرة وصالحة للامتصاص بواسطة جذور النبات.

- الصورة الرابعة هي **الأيونات الذائبة في المحلول الأرضي** Dissolved ions وتلك الصورة هي الأكثر ميسورية للنبات حيث يمتصها النبات بصورة مباشرة من المحلول. كما إن هذه الصورة هي أكثر الصور عرضة للفقد من التربة مع مياه الصرف عن طريق الغسيل.

وهناك عدة عوامل مؤثرة علي امتصاص النبات لعنصر غذائي معين منها عوامل مرتبطة بالعنصر نفسه مثل الصورة التي يوجد عليها العنصر وتركيز العنصر في المحلول الأرضي وعومل أخري مرتبطة بالبيئة المحيطة به مثل العناصر الغذائية الأخرى السائدة في المحلول وصور وجودها ورطوبة التربة وحموضة التربة والنشاط الميكروبي بالتربة...

وكيفية حصول النبات علي العناصر الغذائية من التربة أو طريقة امتصاصها ودخولها إلى داخل خلايا الجذر تم تفسيرها بواسطة العديد من العلماء وكذلك العديد من النظريات لن نتوسع في دراستها هنا. وبصفة عامة فأن الامتصاص أما أن يكون سلبي أي لا يحتاج إلى طاقة لإتمامه أو امتصاص نشط يلزمه الطاقة لإتمامه. ولفهم كيفية امتصاص العناصر الغذائية من التربة سوف نذكر بعض الطرق والنظريات التي توضح ذلك اعتمادا علي المراجع المتاحة في هذا المجال مثل: Mengel & Kirkby (1982) و Marschner (1995): ، طلعت البشبيشي ومحمد شريف (1997) ,عبد المنعم بلبع (1998) وجورجي نسم (2005)

- **الامتصاص البسيط أو السلبي للعنصر**

وخلال هذا يحدث تدفق للأيونات الذائبة في المحلول الأرضي (ذات التركيز المرتفع) إلى الجدر الخلوية للشعيرات الجذرية (ذات التركيز المنخفض) حتى يحدث اتزان في التركيز وهذا ما يعرف بالانتشار أو التدفق الكتلي للعنصر. ويطلق علي الجزء من الخلية الذي يحدث خلاله الانتشار الحر بالفراغ الحر free space وبالتالي فأن الأيون ينتقل من المحلول الأرضي إلى الفراغ الحر للخلية عن طريق هذا الانتشار. وهذا الانتشار لا يحتاج إلى طاقة مبذولة من النبات كما أنه غير

اختياري بالنسبة للنبات ولكن يعتمد علي تركيز الأيون في المحلول وهو طريقه بطيئة وليست هي الطريقة الرئيسية للامتصاص.

- **الانتشار Diffusion**

عند وضع الخلية النباتية في محلول ملحي ذات تركيز معين فأن الأيونات تنتقل تلقائيا من المحلول إلى الخلية حتى يحدث أتزان في تركيز الأيون ما بين المحلول خارج جدار الخلية وداخل جدار الخلية وهذا ما يطلق علية الانتشار الحر للأيونات

- **الادمصاص Absorption**

من المعروف أن هناك شحنات سالبة علي الخلايا الجذرية كنتيجة لوجود مجموعات الكربوكسيل (R-COO-) أو الهيدروكسيل بالتالي فأن هناك تجاذب ما بين الشحنات السالبة هذه وبين الكاتيونات والذي يؤدى إلى تراكم الكاتيونات علي الجدر الخلوية ودخوله إلى منطقة الفراغ الحر وهذا لا يحتاج إلى طاقة مبذولة من النبات والأمر سوف يكون العكس بالنسبة للأنيونات والتي يحدث لها تنافر مع الجدر الخلوية.

- **أتزان دونان أو توزيع دونان Donnan distribution**

وهنا نفترض أن لدينا غشاء شبة منفذ أي أنة منفذ لأيون دون الأخر فأن تركيز هذا الأيون علي جانبي الغشاء يكون غير متساوي. بالتالي تحدث هجرة من الجانب الأكثر تركيز إلى الجانب الأقل في التركيز حتى يتساوى تركيز الأيون علي جانبي الغشاء. ووفقا لهذا التوزيع يزداد تركيز الأيونات داخل الخلية كلما ذاد تركيزها في المحلول الخارجي

- **نظرية الامتصاص التبادلي:**

الأساس فيها هو تتناسب كمية الأيونات الممتصة بواسطة الجذور مع تركيز ثاني أكسيد الكربون الناتج عن التنفس تناسب طردي. ويطلق علي هذا بالتنفس الأيونى أو الملحي. بالتالي هناك علاقة ما بين تركيز حامض الكربونيك H_2CO_3 في المحلول الأرضي الناتج عن ذوبان CO_2 في الماء وامتصاص الأيونات. وسبق أن أشرنا إلى أن الجذور لها سعة تبادل كاتيوني لما تحمله من شحنات سالبة بالتالي تدمص علي أسطحها الكاتيونات ويحدث هذا التبادل ما بين المحلول الأرضي وبين أسطح الجذور.أي أن هناك أيونات ممسوكة علي أسطح الجذور وهذه

الأيونات يمكنها التبادل مع الأيونات الموجودة في المحلول الأرضي مثل تبادل كاتيون الصوديوم مع كاتيون البوتاسيوم.

والنظريات السابقة لم توضح لنا بدقة كيفية امتصاص النبت للأنيونات السالبة الشحنة واختراقها للجذور التي تحمل شحنة سالبة أيضا كما أنها لم توضح كيفية تراكم الأيونات في خلايا الجذور ضد منحدر التركيز

- **التبادل Exchange**: ويحدث هذا التبادل ما بين المحلول الأرضي وبين الخلايا الجذرية، وكما سبق فأن الجذور لها سعة تبادل كاتيوني بالتالي هناك أيونات ممسوكة علي أسطح الجذور هذه الأيونات يمكنها التبادل مع الأيونات الموجودة في المحلول الأرضي مثل تبادل كاتيون الصوديوم مع كاتيون البوتاسيوم.
- **التحول الكيميائي للأيون**: وفي هذا السياق تفترض تلك النظرية أن الأيونات يحدث لها تحول كيميائي بمجرد دخولها إلى الخلية بالتالي يمكن بذلك امتصاصها ضد منحدر التركيز أي رغم انخفاض تركيزها خارج الخلية. وهذا ما يفسره انتقال الكربوهيدرات من أماكن تخليقها في الأوراق إلى أماكن تخزينها في الدرنات والكرمات حيث التركيز المرتفع.

الامتصاص الإيجابي أو النشط Active uptake

- في هذا النوع يجب أن تبذل الخلية النباتية طاقة أو جهد لامتصاص العناصر الغذائية ومصدر هذه الطاقة هو عملية التنفس. وهذا النوع من الامتصاص يحدث دون النظر إلى تركيز الأيونات في المحلول الأرضي حول الجذر. ومن الدراسات التي أجريت علي المزارع المائية يذكر البشبيشي وشرف 1997 أن تركيز البوتاسيوم في الفجوة العصارية للذرة الشامية كان أعلي 80 مرة من تركيزة في المحلول المغذي بينما كان تركيز الصوديوم في العصير الخلوي للجذور منخفض جدا بالمقارنة بتركيزه في المحلول المغذي. أي أن هناك اختيارية في امتصاص العناصر من المحلول ولتنفيذ هذا فأن الجذر يحتاج إلى طاقة يحصل عليها من عمليات النشاط الحيوي. وهنا يجب الإشارة إلى أن الأيونات تختلف في معدل امتصاصها فمنها الأيونات سريعة الامتصاص مثل البوتاسيوم والأمونيوم والنترات ومنها بطيئة الامتصاص مثل الكالسيوم والماغنسيوم والصوديوم والفوسفات الثنائية والكبريتات.

وفيما يلي سوف نتعرض لكل عنصر علي حدا لمعرفة وجودة في التربة وأهميته للنبات والصورة التي يمتصها النبات من هذا العنصر وكذلك أهم أعراض نقصه الظاهرية علي النبات متناولين بالشرح أهم الطرق الكيميائية المتبعة في تقدير هذه العناصر في العينات النباتية.

أولا العناصر المغذية الكبرى

عنصر النيتروجين (N)
Nitrogen

النيتروجين يمثل حوالي من ٠,٠٢ إلى ٠,٤ ٪ من الطبقة السطحية للأرض ومعظم هذا النيتروجين (حوالي 95%) يوجد في صورة عضوية. وعنصر النيتروجين من العناصر الغذائية الكبرى التي يحتاجها النبات بكمية كبيرة ولا يستطيع أن يكمل نموه ودورة حياته بدون هذا العنصر. والوزن الذري للنيتروجين يساوي ١٤,٠٠٨ وتكافؤه ثلاثي. ويوجد النيتروجين في صورة غاز في الغلاف الجوي حيث يمثل حوالي ٧٨,١١ ٪ من تركيب الهواء الجوي أو ٧٥,٥ ٪ من وزن الهواء الجوي.

ولا يستطع النبات الاستفادة من النيتروجين في الصورة الغازية. بينما تستطيع الكائنات الحية الدقيقة الموجودة في التربة مثل بعض الطحالب الخضراء المزرقة و كذلك بكتريا الأزوتوبكتر *Azotobacter sp* وبكتريا الكلوستريديوم *Clostridium sp* و تثبيته وتحويلة إلى صورة عضوية ثم يتحول إلى الصورة المعدنية التي يستطيع النبات الاستفادة منها. كما أن المادة العضوية الموجودة في التربة أو المضافة إليها تعتبر مخزن رئيسي لهذا العنصر (حيث تحتوي تقريبا علي ٥ ٪ من تركيبها نيتروجين) والنيتروجين العضوي يكون في صورة مجموعات أمين ($-NH_2$) والتي عند موت الكائنات الحية بالتربة تتحلل لتنتج هذا العنصر، هذا بالإضافة إلى الجرعات السمادية التي تضاف للتربة. ولا يدخل النيتروجين في تركيب الصخور الأصلية المكونة للتربة. ونسبة عنصر النيتروجين إلى مكونات الأرض الأخرى تختلف من تربة إلى أخري.

والنبات يمتص النيتروجين علي صورة أيون نترات NO_3^- أو أيون أمونيوم NH_4^+ . ومن المعروف أن النيتروجين عنصر متحرك بل أنه سريع الحركة داخل النبات

مقارنة بالعناصر الأخرى. بالتالي عند غيابه أو نقصه فأنه ينتقل من الأعضاء المسنة إلى النموات الحديثة وهذا ما يجعل أعراض النقص تظهر أولا علي النموات المسنة للنبات وفي حالة استمرار النقص وعدم المعالجة تنتقل إلى النموات الحديثة.

أهمية عنصر النيتروجين للنبات:

النيتروجين عنصر حيوي وهام جداً للخلايا النباتية والأدوار التي يقوم بها في النبات كثيرة ومتعددة ويمكن تلخيص أهمها في النقاط التالية:

- النيتروجين مكون رئيسي للبروتين حيث يكون مع الهيدروجين مجموعة الأمين (NH_2) أساس تكوين الأحماض الأمينية التي يتخلق منها البروتين. ويمثل النيتروجين من ١٦ % إلى ١٨ % من البروتين.
- النيتروجين مكون رئيسي لجزئ الكلوروفيل سواء كلوروفيل أ أو ب الذي يميز الخلايا النباتية عن الخلايا الحيوانية.
- يدخل في تركيب هرمون النمو الطبيعي (الأوكسين) من خلال تكوين الحامض الأميني التريبتوفان، بالتالي هو عامل هام ومؤثر علي نمو النبات. كما يدخل في تركيب بعض الهرمونات النباتية الأخرى مثل السيتوكينينات .
- يدخل النيتروجين في تركيب العديد من الأنزيمات الهامة للنبات وكذلك يدخل في تركيب بعض الفيتامينات.
- النيتروجين مكون رئيسي وهام للأحماض النووية حيث يكون القواعد النيتروجينية التي تتحد مع مركبات الطاقة المفسفرة والسكريات الخماسية مكونة الأحماض النووية الـ DNA والـ RNA
- يدخل النيتروجين في تركيب البروتوبلازم في الخلايا النباتية.

دورة النيتروجين في الطبيعة

المصدر الرئيسي للنيتروجين كما ذكرنا هو الهواء الجوي حيث يحتوي علي ٧٨,١١% من في تركيبة نيتروجين. و النيتروجين هذه الصورة لا يستطيع النبات الاستفادة منه إلا في حالتين **الأولي** حدوث البرق وتوليد شرارة كهربائية في الجو يحوله الـ NO والذي يتحول إلى حامض نيتريك HNO_3 يتساقط مع الأمطار فيما يعرف بالأمطار الحامضيه **والثانية** تثبيته في صورة نيتروجين عضوي في أجسام

الكائنات الحية الدقيقة في التربة والذي يتحول بدوره إلى نيتروجين في صورة معدنية (NH_4 ; NO_3) يستطيع النبات امتصاصه والاستفادة منه.

كما إن البقايا النباتية والحيوانية الموجودة في التربة أو التسميد العضوي أو الأخضر يعطي التربة كميه كبيرة من النيتروجين العضوي، يتم تحويلة بواسطة الكائنات الحية الدقيقة إلى نيتروجين معدني يستطيع النبات امتصاصه. هذا بالإضافة إلى الأسمدة المعدنية التي تضاف للمزرعة.

والنيتروجين في الغلاف الجوي والتربة يمر بتحولات عديدة بعضها يجعله أكثر صلاحية لامتصاص النبات والبعض الأخر يجعله في صورة غير صالحة للامتصاص وجملة هذه التحولات يطلق عليها بدورة النيتروجين في الطبيعة التي يمكن تلخيصها في التالي:

- **معدنة النيتروجين العضوي Nitrogen mineralization**

النيتروجين المثبت في أجسام الكائنات الحية الدقيقة والذي مصدرة الجو وكذلك الموجود في البقايا النباتية والحيوانية يكون في صورة عضوية $R\text{-}NH_2$ هذه الصورة يتم تحويلها إلى NH_3 (ويطلق علي هذه العملية بالنشدره Ammonification) وعملية النشدره تشمل تحلل البروتين واليوريا وتحولهم إلى نشادر. وغاز النشادر الناتج في التربة له ثلاث احتمالات : (١) - إما أن يذوب في الماء الأرضي مكونا NH_4. أو (٢) يتأكسد في وجود أكسجين التربة وبفعل بكتريا النيتروزوموناس مكونا النيتريت NO_2 وهو بطبيعته سام للنبات بالتالي لا يتراكم ولكن يتأكسد بدوره إلى NO_3 بفعل بكتريا النيتروبكتر وهذا ما يطلق علية عملية التأزت Nitrification. أو (٣) يتطاير في الهواء الجوي ويفقد من التربة. وهنا يجب الإشارة إلى أن ارتفاع درجة حرارة التربة يزيد من نشاط الكائنات الحية الدقيقة ولكنة أيضا يزيد من سرعة فقد النيتروجين في صورة غاز أمونيا يتطاير إلى الجو. كما أن عدم توافر الرطوبة الكافية بالتربة يزيد من معدل هذا الفقد. والصورة المعدنية هي الصورة التي يستطيع النبات الاستفادة منها وهذا ما يطلق علية معدنة النيتروجين العضوي Nitrogen mineralization أي تحويله من الصورة العضوية إلى الصورة المعدنية.

وهناك العديد من العوامل تؤثر علي هذه العملية منها درجة حرارة التربة ورطوبتها ومدي تهوية التربة والحمل الميكروبي للتربة ودرجة الـ pH للتربة وكذلك طبيعة المادة العضوية التي يتم تحليلها وبالأخص نسبة الكربون إلى النيتروجين بها.

وهناك عملية أخري تتم في نفس الوقت وهي عملية عكس التأزت وتحدث تحت الظروف اللاهوائية حيث يتم اختزال النترات إلى نيتريت ثم إلى نشادر يتطاير نسبة كبيرة منها ونسبة يمتصها النبات ونسبة أخري تدخل في تكوين الأحماض الأمينية في جسم ميكروبات التربة "أي يتم تمثيلها في جسم ميكروبات التربة".

- **تحويل النيتروجين المعدني إلى عضوي (عملية تمثيل النيتروجين في أجسام ميكروبات التربة) Nitrogen Immobilization**

وهذه العملية تتوقف بصورة كبيرة علي نسبة الكربون إلى النيتروجين في المادة العضوية المضافة للتربة حيث يتم خلال هذه العملية تثبيت النيتروجين المعدني الموجود بالتربة إلى نيتروجين عضوي في صورة أحماض أمينية في أجسام الكائنات الدقيقة في التربة بالتالي يقل النيتروجين الميسر للنبات. وكلما قل محتوي المادة العضوية من عنصر النيتروجين ذاد معدل استهلاك الكائنات الحية الدقيقة للنيتروجين المعدني من التربة والعكس صحيح أي انه كلما أرتفع محتوي المادة العضوية التي يتم عليها التحلل من عنصر النيتروجين كلما قل اعتماد الكائنات الدقيقة علي نيتروجين التربة. كما إن عملية تمثيل النيتروجين تشمل أيضا تثبيت النيتروجين الجوي في صورة نيتروجين عضوي بواسطة الكائنات الحية الدقيقة وهذا ما يطلق علية التثبيت الحيوي Biological fixation.

- **عملية عكس التأزت Denitrification**

يزداد حدوث عكس التأزت في الأراضي الغدقة سيئة الصرف حيث تقوم بعض ميكروبات التربة مثل الـ *Micrococcus; Achromobacter; Bacillus Pseudomonas* بأختزال النترات والنيتريت إلى صورة غازية N_2; NO; N_2O وتتبخر وتفقد في الهواء الجوي أي يعود النيتروجين إلى الجو مرة أخري.

امتصاص النبات للنيتروجين :

يمتص النبات هذا العنصر كما سبق ذكره في صورة أيون نترات سالب أو أيون أمونيا موجب والكمية أو النسبة الممتصة من كل منهم وكذلك تفضيل النبات لصورة علي أخري مرتبط بعدة ظروف وشروط معينة. ولكن يجب أن نشير أن امتصاص النبات لهذا العنصر ليس ثابت علي مدار العام ولكن هناك فترات حرجة في النبات يحتاج فيها هذا العنصر بصورة أكبر مثل فترة الأزهار والعقد في أشجار الفاكهة وكذلك فترة النمو والزيادة السريعة في حجم الثمار وخلال دورات النمو الرئيسية للمجموع الخضري مثل دورة نمو الربيع أو دورة نمو الصيف.

وكلا الأيونان سواء الأمونيا أو النترات يتعرض للفقد من التربة بعدة طرق وتحت ظروف معينة أهمها التالي:

- يفقد جزء من الأمونيا عن طريق التطاير في الهواء الجوي والكمية المفقودة تختلف من تربة لأخري ومن مناخ إلى أخر، حيث يزداد الفقد في الأراضي الخفيفة عن الثقيلة وكذلك يزداد الفقد في المناطق الحارة عن المناطق الباردة.
- يفقد جزء من أيونات النترات من التربة مع مياه الصرف عن طريق الغسيل "حيث أن النترات أنيون سالب الشحنة بالتالي فرصة تثبيته علي أسطح حبيبات التربة قليلة" ويزداد الفقد في الأراضي الخفيفة والمستصلحة عن الأراضي الثقيلة المحتوية علي نسبة عالية من الطين. ومن الجدير بالذكر أن زيادة المادة العضوية في التربة تقلل من فقد العناصر الغذائية للتربة عن طريق تحسين القوام وكذلك زيادة سعة التبادل الكاتيونى للتربة.
- كما إن هناك فقد للنيتروجين العضوي والمعدني الموجود بالتربة عن طريق التجريف للطبقة السطحية أو الانجراف بواسطة الرياح أو السيول التي تجرف الطبقة السطحية للتربة.

والجدول التالي يوضح الكمية الممتصة من N, P, K من التربة بالكيلوجرام للفدان في الموسم بواسطة بعض النباتات (شفيق عبد العال و آخرون ١٩٩٧)

المحصول	N	P	K	المحصول	N	P	K
القمح	٣٧	٧	٢١	بطاطس	٧٠	٦	٨٠
الذرة	٧٥	١٣	٢٧	الطماطم	٧٠	١٠	٩٠
القطن	٦٥	١٨	٦٠	بنجر السكر	٦٥	١١	٨٠
الفول	١٥٠	١٢	٤٥	برتقال	١١٠	١٠	٧٥
البرسيم	٧٥	٨	٥٥	خوخ	٣٥	٤	٣٠
فول الصويا	٥٥	٩	٢٤	كمثري	٧٠	١٢	٩٠

أعراض نقص النيتروجين Symptoms of Nitrogen deficiency

كما ذكرنا سابقا أن النيتروجين عنصر متحرك في النبات بل أنهُ سريع الحركة وهذه الحركة عبارة هجرة من الأعضاء المسنة أو البالغة (الأوراق البالغة أو المسنة) إلى الأوراق الحديثة و النموات الحديثة والتي تحتاجها بصورة أكبر. بالتالي من المتوقع أن يبدأ ظهور أعراض النقص على الأوراق المسنة والبالغة أولاً ثم يمتد إلى الأوراق و النموات الحديثة. وكما ذكرنا أنفا أن النيتروجين هو أساس تكوين الأحماض الأمينية والتي تكون البروتين وأيضاً بروتوبلازم الخلية النباتية كما انه يدخل في تركيب الهرمون الطبيعي للنمو الأندول أسيتك أسيد وكذلك بعض الأنزيمات وهو مكون رئيسي أيضا في الكلوروفيل بالتالي من المتوقع أن أعراض نقصه سوف تشمل الضعف العام في نمو النبات والاصفرار لغياب الكلوروفيل والأفرع الرفيعة الضعيفة في النبات مع مراعاة أن أعراض نقصه تختلف في النباتات ذوات الفلقة الواحدة حيث يكون الاصفرار مركز في وسط النصل وتكون الحواف خضراء وبزيادة

النقص تصفر الورقة كلها عن النباتات ذات الفلقتين والتي يشمل النقص اصفرار الورقة كلها.

ويمكن أيجاز الأعراض الظاهرية لنقص هذا العنصر في التالي:

❖ **أعراض النقص علي المحاصيل الحقلية ومحاصيل الخضر:**

ضعف عام في نمو النبات وتكون الأعضاء أصغر من الحجم الطبيعي لها.

الأفرع تكون رفيعة وضعيفة النمو ومتخشبة.

قلة المحصول ورداءة جودة الثمار وصغر حجمها.

شحوب الأوراق ثم اصفرارها، ويبدأ الاصفرار من أسفل لأعلي (أي علي الأوراق المسنة أولاً) ثم يحدث تليف للأوراق وتتلف ثم تسقط وتموت.

وقد يصاحب أعراض نقص النيتروجين في بعض نباتات الخضر مثل الطماطم تلون الأعناق والعروق الأوراق باللون الأحمر أو البنفسجي

❖ **أعراض النقص علي أشجار الفاكهة:**

توقف نمو الأشجار مبكرا والأوراق تكون أصغر من حجمها الطبيعي مع زيادة سمك الورقة وسهول فصلها عن الفرع.

اصفرار علي الأوراق يشمل الورقة كلها ويبدأ بالأوراق المسنة بقاعدة الفرع وفي حالة الاستمرار يمتد إلى باقي الأوراق علي الفرع. قلة التفريع علي الشجرة والنموات الحديثة تكون رفيعة وضعيفة النمو ومتخشبة وفي حالة الاستمرار دون علاج تموت النموات من أعلي لأسفل.

نقص في نسبة عقد الثمار وتساقطها وإعطاء ثمار صغيرة الحجم رديئة الجودة.

تقدير النيتروجين في العينات النباتية

كما هو معروف في العديد من المراجع فأن الطريقة الرئيسية لتقدير النيتروجين هي طريقة كلداهل. وهذه الطريقة وضعها العالم الدنمركي كلداهل عام ١٨٨٣ لتقدير النيتروجين العضوي في الحبوب ومازالت تستخدم حتى الآن وذلك

obeikandl.com

بعد إدخال العديد من التعديلات عليها مثل التعديل الذي أجراه Wilforth (1885) بإضافة مواد منشطة للهضم (Catalysts) للإسراع من عملية الهضم مثل أستخدام كبريتات البوتاسيوم كمنشط وحاليا يستخدم السلينيوم كعامل من العوامل اللمسية التي تنشط الهضم. وتتلخص طريقة كلداهل في هضم المادة النباتية باستخدام حامض الكبريتيك المركز H_2SO_4 علي درجة حرارة من ٣٧٠ إلى ٤١٠ درجة مئوية في وجود مادة منشطة للتفاعل. وهنا يتحول النيتروجين إلى صورة كبريتات الأمونيوم $(NH_4)_2SO_4$ ويتم أكسدة الكربون والهيدروجين خلال الهضم. ثم يتم إضافة الصودا الكاوية إلى المخلوط المهضوم ويتم التسخين فتتحرر الأمونيا التي يتم استقبالها في حجم معلوم من حامض قياسي H_2SO_4 عياريتة $^N/_{14}$ ويتم معايرة الجزء من الحامض الذي لم يتفاعل مع الأمونيا. بالتالي يمكن حساب نسبة النيتروجين ومنها نحسب تركيز البروتين في العينة النباتية إذا كان ذلك مطلوب.

أولاً: طريقة كلداهل

المحاليل والكيماويات المطلوبة :

1- حامض كبريتيك مركز H_2SO_4 (كثافته = ١,٨٤).

2- محلول صودا كاوية ٤٠ %.

3- حامض كبريتيك H_2SO_4 عياريتة $^1/_{14}$ عياري.

4- منشط للهضم ويتكون من(**80g K_2SO_4 + 20g $CuSO_4$ + 2g Selenium**).

5- دليل لوني: ويحضر بخلط حجمين متماثلين من أحمر الميثيل (٠,٦٦ %) و أخضر البروموكريزول (٠,٣٣ %) في كحول الإيثايل 95%.

6- حامض بوريك ٢ ٪ (ذائب في الماء).

طريقة التقدير :

- يوزن بدقة من ٢٠٠ إلى ٥٠٠ ملجم (علي حسب تركيز النيتروجين في العينة) من العينة النباتية المجففة المطحونة وتوضع في دورق كلداهل ذات العنق الطويل حجمه 150 ملي.

- يتم إضافة ٥ ملي من حامض الكبريتيك المركز ويترك المخلوط علي البارد لمدة نصف ساعة.
- يتم إضافة حوالي ٢٠٠ ملجم من منشط الهضم مع وضع اثنان أو ثلاث من البليات الزجاجية الصغيرة الخاصة لذلك.
- يتم التسخين في البداية ببطء حتى نرفع درجة الحرارة إلى درجة حرارة الغليان لمدة ساعة (من المتوقع الحصول علي لون شفاف في غضون نصف ساعة)
- يترك المخلوط ليبرد وبعدها يضاف ٣٠ ملي من الماء المقطر علي دفعة واحدة
- يتم التقطير بإضافة ٢٥ ملي من محلول الصودا ويثبت دورق كلداهل علي جهاز التقطير (وحدة كلداهل) ليحدث اندفاع للبخار ويتم تكثيفه.
- يستقبل الناتج من التكثيف في دورق ٢٥٠ ملي به ٠,٥ ملي من الدليل السابق إعداده + ١٠ ملي من حامض البوريك 2% ويكمل التقطير.
- يتم المعايرة باستخدام حامض الكبريتيك تركيزة = $^{N}/_{14}$ حتى بداية ظهور اللون الأخضر المحمر.
- يتم الحساب كالتالي :

1 ملي من محلول حامض الكبريتيك يعادل 1 ملجم من النيتروجين

$$\% \quad N \quad = \quad \frac{L}{10 \quad \times \quad W}$$

حيث W = وزن العينة بالجرام والـ L عبارة عن الحجم المستهلك من الحامض في المعايرة.

ثانيا: الطريقة اللونية لتقدير النيتروجين

Nitrogen determination by Colorimetric Method

وفي هذه الطريقة يتم قياس النيتروجين في صورة معقد لوني باستخدام جهاز الكلورميتر علي طول موجي قدرة ٦٦٢ نانوميتر (عاطف إبراهيم وآخرون ٢٠٠٢ وكذلك Evenhuis et al., 1976)

الأدوات والأجهزة المطلوبة :

- وحدة هضم كلداهل سواء تعمل بالكهرباء أو بالتسخين.

- دوارق هضم كلداهل ١٠٠ ملي. دوارق معيارية مختلفة الأحجام ١٠٠، ٢٥٠، ٥٠٠ ملي وكؤوس زجاجية ٢٥٠ ملي.
- أنابيب اختبار ٢٠ ملي .
- جهاز كلورميتر Colorimeter لقياس اللون.

الكيماويات والمحاليل المطلوبة:

- محلول نيتروبروميد الصوديوم ٠,٥ % ويحضر بذوبان ٠,١ جرام من النيتروبروميد الصوديوم في ٢٠٠ ملي ماء مقطر ويحضر وقت أجراء التجربة
- محلول هيبوكلوريت الصوديوم ويحضر بذوبان ٣ ملي من الهيبوكلوريد في ٣٠ ملي ن الماء المقطر. ويتم تحضيره وقت أجراء التجربة
- محلول فينولات الصوديوم ويحضر كالتالي: يذاب ١ جم من ألفينول الأبيض في كمية قليلة من الماء ويضاف له ١ جرام هيدروكسيد صوديوم وتقلب جيدا حتى تمام الذوبان ويكمل الحجم إلى ١٠٠ ملي بالماء المقطر ويحضر هذا طازج عند العمل
- محلول منظم ويحضر كالتالي: يذاب ٢٥ جم فوسفات ثنائي الصوديوم في ٢٠٠ ملي ماء مقطر ثم يضاف لها ٣,٧٥ جم هيدروكسيد صوديوم وتذاب بالتقليب الجيد ثم يكمل الحجم إلى ٥٠٠ ملي بالماء المقطر. وهذا المحلول يمكن حفظة.
- محلول جوهر أ: ويحضر من المحاليل السابقة كالتالي. يتم خلط ٣٠ ملي من محلول فينولات الصوديوم مع ١٢٠ ملي من محلول نيتروبروميد الصوديوم ويضاف لهم ٣٠٠ ملي ماء مقطر
- محلول جوهر ب : ويحضر بخلط ١٢٠ ملي من المحلول المنظم مع ٣٠ ملي من محلول هيبوكلوريت الصوديوم ويضاف لهم ٣٠٠ ملي ماء مقطر.

أعداد العينة وتقديرها :

- يتم أخذ ٠,٥ جرام من العينة المطحونة الجافة وتوضع في دورق كلداهل ثم يتم إضافة ٢٥ ملي حامض كبريتيك مركز علي العينة ويترك الدورق لمدة ١٠ دقائق مع تقليب محتويات الدورق من أن لأخر لخلط العينة جيدا بالحامض، يتم إضافة ١ ملي من فوق أكسيد الهيدروجين H_2O_2 تركيزة ٣٠٪ ويتم التسخين علي لهب هادئ حتى انتهاء الفوران

obeikandl.com

- يتم رفع درجة الحرارة إلى ٢٧٠ درجة مئوية مع تحريك الدورق من حين إلى أخر، عند تصاعد الأبخرة يضاف بضع نقاط من H_2O_2 وتترك علي السخان لمدة ١٠ دقائق.
- يبرد الدورق حتى درجة حرارة المعمل ثم يضاف ١ ملي من H_2O_2 ويعاد التسخين مرة أخري لمدة ١٠ دقائق. يعاد التسخين والتبريد حوالي ٣ مرات وفي كل مرة يضاف ١ ملي من H_2O_2 لضمان تمام هضم العينة
- يتم إضافة كمية كافية من الماء المقطر وبسرعة تفاديا لترسيب كبريتات الكالسيوم ثم يكمل الحجم إلى ٥٠ ملي بالماء المقطر ويتم الترشيح ويصبح المستخلص الرائق جاهز للتقدير.

عمل المنحني القياسي :

- يتم تحضير محلول كبريتات الأمونيوم ١% المحمض كالتالي: يذاب ٤,٧١٤ جم من كبريتات الأمونيوم $(NH_4)2SO_4$ في ٥٠ ملي من الماء المقطر مضاف لها ٣,٥ ملي من حامض الكبريتيك المركز ويكمل الحجم إلى ١٠٠ ملي بالماء المقطر.(تركيز هذا المحلول 10000 ppm). يتم أعداد ٤ دوارق معيارية سعة كل منها ١٠٠ ملي وترقم ويوضع في الأول ١ ملي من محلول كبريتات الأمونيوم والثاني ٢ ملي من محلول كبريتات الأمونيوم والثالث ٣ ملي من نفس المحلول والرابع ٤ ملي من نفس المحلول ويكمل الحجم إلى ١٠٠ ملي بالماء المحمض (٣٥ ملي حامض كبريتيك مركز لكل لتر من الماء).

- يتم عمل سلسلة متدرجة من تركيزات النيتروجين مستخدمين محلول كبريتات الأمونيوم في ٤ دوارق عيارية مرقمة بتركيز كل محلول كالتالي : 400 ppm 100 ppm و 200 ppm و 300 ppm .

- ويجهز المنحني القياسي كالتالي: في أنابيب اختبار ٢٠ ملي يتم أخذ ٠,١ ملي من كل تركيز (١٠٠ و ٢٠٠ و ٣٠٠ و ٤٠٠ جزء في المليون بالترتيب) يضاف لكل أنبوبة ٧,٥ ملي من محلول الجوهر ب وترج جيدا وتكمل بالتالي يكون التركيز الموجود في الأنبوبة ١٠ و ٢٠ و ٣٠ و ٤٠ جزء في المليون بالترتيب

- يتم تشغيل الكلوريميتر ويضبط الطول الموجي علي ٦٦٢ نانوميتر ويتم قياس عينات المنحني القياسي ورسم المنحني.

- يتم تحضير العينة للقياس كالتالي: يؤخذ ٠,١ ملي من مستخلص العينة المهضومة في أنبوبة أخيبار ويضاف لها ٧,٥ ملي من الجوهر أ وترج جيدا ثم يضاف لها ٧,٥ ملي من الجوهر ب وترج جيدا وتترك لمدة ساعة لتمام تكوين اللون. بنفس الطريقة يتم عمل العينة الخاوية الـ Blank مع استبدال العينة بـ ٠,١ من الماء المحمض وتعامل مثل العينة تماما.
- يتم تقدير العينات ويؤخذ قراءة الجهاز ومن المنحني القياسي يحسب التركيز بالـ ppm ثم يحسب التركيز كنسبة مئوية من المادة الجافة من المعادلة التالية:

$$\%N = \frac{C \times 50 \times 100}{L \times W \times 1000 \times 1000}$$

حيث الـ C هي التركيز بالـ ppm ، W عبارة عن وزن العينة بالجرام ولتكن ٠,٥ ،
L حجم المحلول المستخدم في التقدير = ٠,١

أعراض النقص علي أوراق بنجر السكر

أعراض النقص علي أوراق البطاطس

Obeikandl.com

عنصر الفوسفور (P)
Phosphorus

الفوسفور كما هو معروف من العناصر الغذائية الضرورية الكبرى أي التي يحتاجها النبات بكميات كبيرة لأتمام دورة حياته ووزنة الذري يساوي ٣٠.٩٧٤ وتكافؤه أحادي وثنائي وثلاثي. ومن المعروف أيضا أن الفوسفور من العناصر المتحركة داخل النبات بالتالي ينتقل من الأوراق المسنة إلى الأوراق الحديثة في حالة نقصه في النبات. والفوسفور مكون رئيسي لمركبات الطاقة المعروفة في النبات ATP, ADP بتالي يحتاج النبات هذا العنصر للقيام بالعمليات الحيوية المختلفة من بناء ضوئي وانقسام خلايا ونمو وغيرهم من العمليات الحيوية.

ونسبة الفوسفور في التربة تختلف من أرض لأخري علي حسب طبيعة مادة الأصل لهذه الأرض كما إن نسبة المادة العضوية في التربة تلعب دورا هام في مدي احتواء التربة علي هذا العنصر، حيث يمثل الفوسفور العضوي من ٢٠ ٪ إلى ٨٠ ٪ من الفوسفور الكلي بالتربة. ونجد أن الأرض الطينية اعلي في محتواها من هذا العنصر عن الأرض الرملية بالتالي وجود الفوسفور في التربة أما يكون في صورة فسفور معدني ناتج عن تجوية الأرض ومعظم مركبات الفوسفور المعدني قليلة الذوبان في الماء أو فوسفور عضوي ناتج عن تمثيل الفوسفور في أجسام الكائنات الحية الدقيقة التي تسكن التربة أو بقايا المحاصيل وجذور النباتات وكذلك المادة العضوية المضافة للتربة. يضاف إلى هذا الفوسفور المعدني المضاف للتربة كسماد (سوبر فوسفات).

امتصاص الفوسفور والعوامل المؤثرة علية :

النبات يمتص الفوسفور في صورة أيونات الفوسفات الأحادية أو الثنائية HPO_4^{2-} , $H_2PO_4^-$ الذائبة في محلول التربة. والصورة الأحادية هي الأسهل والأكثر امتصاص بواسطة النبات. وتيسير الفوسفور وذوبانه في محلول التربة يرتبط بعدة عوامل أهمها رقم الـ pH للتربة حيث تزداد الصورة الأحادية في حالة انخفاض رقم الـ pH أما في حالة ارتفاعه تزداد نسبة الأيونات الثنائية والثلاثية ويحدث تثبيت للفوسفور وغالبا ما يكون التثبيت بواسطة مركبات الكالسيوم. وفي بعض الأراضي

الحامضية التي تحتوي علي مستوي عالي من الألمونيوم والحديد يحدث تثبيت للفوسفور في هذه الأراضي علي صورة فوسفات الألمونيوم والحديد. والفوسفور عكس النيتروجين والكبريت حيث أنه لا يحدث له اختزال داخل النبات.

وهناك علاقة ما بين دور النيتروجين والفوسفور في النبات حيث وجد أن قلة الفوسفور الميسر للنبات يؤدي إلى زيادة تراكم النيتروجين المعدني داخل النبات في حين أن وفرة الفوسفور بكثرة أدت إلى قلة امتصاص النبات للنيتروجين وهناك علاقة ارتباط سالب بين العنصرين تم ملاحظتها عند تحليل أوراق كروم العنب المأخوذة من مناطق مختلفة بجنوب غرب فرنسا (حمدي إبراهيم 2001).

دورة الفوسفور في التربة :

الفوسفور أما أن يوجد علي الصورة العضوية أو علي الصورة المعدنية. والصورة العضوية مصدرها التسميد العضوي والأخضر وكذلك البقايا النباتية والحيوانية في التربة. أما الصورة المعدنية فمصدرها الفوسفور الموجود في معادن وصخور التربة التي تحللت بفعل عوامل التجوية وكذلك الفوسفور المضاف للتربة في صورة سماد معدني. وتلعب ميكروبات التربة الدور الجوهري أو الأساسي في تحولات الفوسفور بالتربة فهي التي تقوم بمعدنة الفوسفور العضوي في البقايا النباتية أو الحيوانية، وكذلك تستطيع العديد ن ميكروبات التربة تحويل الفوسفور المعدني إلى عضوي لبناءة في أجسامها كما تستطيع العديد من الميكروبات تحويل الصور الغير ميسرة (الغير ذائبة) إلى صورة ميسرة صالحة للامتصاص.

ومن الجدير بالذكر أن محتوي ميكروبات التربة من الفوسفور أعلي بكثير من محتوي النباتات حيث وجد عادل حماد وجابر بريشة (٢٠٠٤) أن الفوسفور يمثل من ٠,٥ % إلى ١ % من تركيب ميسليوم الفطريات، وحوالي ١ % إلى ٣ % من تركيب خلايا البكتريا، بينما يتراوح محتواه في النباتات الراقية من ٠,٠٥ % إلى ٠,٥ %.

وعموما فأن دورة الفوسفور في بالتربة تمر بالمراحل الرئيسية التالية:

- **إذابة الفوسفور المعدني الغير ذائب:** الصور الغير ذائبة من الفوسفور بالتربة صور غير ميسرة للنبات ولا يمكنه الاستفادة منها. ولكن وجد أن عدد ليس بالقليل من ميكروبات التربة له القدرة علي إذابة هذه الصورة وجعلها صالحة للنبات. وقد ذكر عادل حماد وجابر بريشة (2004) أن ١٠% إلى ٥٠ % من ميكروبات التربة

تستطيع القيام بهذا الدور وأن عدد البكتريا المذيبة للفوسفات يتراوح من 10^5 إلى 10^7 خلية لكل جرام تربة. وتتبع البكتريا التي الممثلة للفوسفور عدة أجناس أهمها الـ Bacillus, Micrococcus, Mycobacterium, Pseudomonas, Sporosacina, Streptomyces, Candida, Rhizopus, Sclerotium هذا بالإضافة إلى أجناس أخري. ومن المعلوم أيضا أن كمية الفوسفات المذابة تختلف علي حسب المادة الكربوهيدراتية التي يتم أكسدتها. كما يجب أن نذكر أن الوسيلة الرئيسية في إذابة هذه المركبات هو إنتاج الأحماض العضوية عن طريق الميكروبات الأرضية. ففي حالة الميكروبات التي تقوم بأكسدة النشادر أو الكبريت فأن تحول مركبات الفوسفور وذوبانها يكون عن طريق حامض الكبريتيك أو حامض النيتريك الناتج. وبصورة أخري يمكن تحويل الفوسفور المثبت في صورة مركبات فوسفات الحديديك تحت ظروف الأراضي الغدقة سيئة التهوية باختزال هذه المركبات مكونة أملاح الحديد وانطلاق الفوسفور الذائب الصالح للامتصاص أو عن طريق البكتريا التي تعمل علي إنتاج كبريتيد الأيدروجين الذي يتفاعل مع فوسفات الحديديك وينتج كبريتيد الحديدوز ويتحرر الفوسفور.

- **معدنة الفوسفور العضوي:** كما ذكرنا فأن الفوسفور العضوي مصدرة غالبا البقايا النباتية والحيوانية التي تصل للتربة. وهذه البقايا تحتوي علي الفوسفور في صورة أحماض نووية وأحماض أمينية والليبيدات المفسفرة والسكريات المفسفرة والمرافقات الأنزيمية ومركبات الطاقة (ATP, ADP) وغيرها. وأول وأسهل ما يمكن تحويلة إلى الصورة المعدنية بالنسبة للكائنات المحللة لهذه المركبات هو الأحماض النووية مستخدمة في ذلك أنزيمات الـ Nucleases و تتحل إلى مكوناتها الرئيسية لتعطي القواعد النيتروجينية والسكريات الخماسية ويتحرر الفوسفور في صورة معدنية صالحة للامتصاص بواسطة النبات أو لاستخدام الكائنات الدقيقة. أما الفوسفوليبيدات phospholipids وهي مركبات دهنيه مرتبطة بالفوسفات فيتم تحللها بالكائنات الدقيقة باستخدام أنزيم الـ Phosphatas ليتحرر منها الفوسفور المعدني الذائب. والفيتين وهو من مركبات الفوسفور التي تسلك سلوك الفوسفور غير العضوي في تفاعلاته مع

الكالسيوم والحديد والألمونيوم في التربة الحامضية ويتكون أملاح حديد وألومونيوم غير ذائبة. أما في التربة القاعدية يكون التفاعل مع الكالسيوم أو الماغنسيوم ويتكون فيتات الكالسيوم أو فيتات الماغنسيوم وهما قليلا الذوبان.

- **تمثيل الفوسفور المعدني بواسطة ميكروبات التربة:** الميكروبات الأرضية تحتاج إلى عنصر الفوسفور لبناء خلايا أجسامها وتقوم بتحليل المركبات الكربونية الموجودة بالتربة وعند فقر المركبات العضوية في عنصر الفوسفور فأنه لا يكفي احتياجها بالتالي تلجأ إلى الفوسفور المعدني الذائب في التربة وتستخدمه في بناء خلاياها. وهنا يُثبت الفوسفور المعدني في صورة عضوية في خلايا الكائنات الحية الدقيقة بالتربة. وعند موت الكائنات الحية الدقيقة يتحلل مرة أخري إلى فوسفور معدني. ومن الجدير بالذكر أنه عند إضافة المادة العضوية للتربة فأن نشاط الميكروبات وتكاثرها بالتربة يزداد بصورة ملحوظة واحتياجها لعنصر الفوسفور يكون أكثر بالتالي تستهلك جزء لا بأس به من الفوسفور المعدني بالتربة ولذلك ينصح بإضافة المادة العضوية للتربة مبكراً في الشتاء أو قبل الزراعة بمدة كافية لضمان تمام التحلل. أما إذا كانت المادة العضوية المضافة للتربة غنية في الفوسفور فأن الكائنات الدقيقة تجد فيها ما يغنيها عن الفوسفور المعدني بالتربة. وقد وجد أن نسبة ٠,٢ ٪ فوسفور من تركيب المادة العضوية هي الحد الحرج فإذا ذادت عنها يحدث معدنة وإذا قلت عنها يحدث تمثيل . ويطلق علي عملية تحول الفوسفور المعدني بالتربة إلى صورة عضوية في أجسام الكائنات الحية الدقيقة بالتربة بعملية الـ Phosphorus immobilization.
- **تفاعلات الأكسدة والاختزال:** الفوسفور الموجود في المادة العضوية يكون غالبا في صورة مؤكسدة بالتالي عند تحلل المادة العضوية يتحرر الفوسفور في الصورة المؤكسدة "أي أنة لا يحتاج إلى عملية أكسدة مثل النيتروجين والكبريت". في حالة التربة الغدقة سيئة الصرف والتهوية تسود الظروف اللاهوائية وتحت هذه الظروف تحدث عملية اختزال للفوسفور حيث تلجأ الكائنات الحية الدقيقة إلى استخدام الـ $NO3^-$ والـ $SO4^{2-}$ والفوسفات $PO4^{3-}$ كمستقبلات للإلكترونات وهنا يكون معدل اختزال الفوسفات أقل من النترات والكبريتات. وتتحول الفوسفات إلى فوسفيت (H_3PO_3) ثم إلى هيدروفوسفيت (H_3PO_2) ثم إلى فوسفين (PH_3).

أهمية الفوسفور للنباتات الراقية:

- يدخل في تكوين مركبات الطاقة المفسفرة مثل الـ (ATP, ADP) Adenosin diphosphate, Adenosin triphosphate بالتالي هو ضروري ولازم لأتمام العمليات الحيوية والتي تحتاج إلى طاقة لأتمامها.
- الفوسفور مكون أساسي للفوسفوليبيدات phospholipids والأحماض النووية DNA, RNA والبروتينات وكذلك المرافقات الأنزيمية مثل NAD و NADP التي لها دور هام في تفاعلات الأكسدة والاختزال
- الفوسفور ضروري لانقسام الخلايا والكروموزومات وتكوين الأغشية الخلوية
- له دور هام في نمو الجذور والمناطق الميرستيمية وكذلك البذور والثمار
- الفوسفور عنصر يدخل في بناء النبات وتركيبة كما انه ينشط الكثير من العمليات الحيوية في النبات وينظمها كمصدر للطاقة وكذلك بتأثيره علي نشاط الأنزيمات.

أعراض نقص الفوسفور
Symptoms of Phosphorus deficiency

بداية يجب التنويه إلى أنه في حالة ظهور أعراض نقص الفوسفور علي النبات فأن هذا ليس دليل علي نقص تركيز الفوسفور في التربة فقد يوجد بكميات كافية ولكن في صورة غير صالحة للامتصاص نتيجة بعض عوامل التربة وخاصة ارتفاع رقم الـ pH. والفوسفور من العناصر الغذائية المتحركة داخل النبات بالتالي تظهر أعراض نقصه أولا علي الأوراق المسنة للنبات وفي حالة استمرار النقص تمتد إلى الأوراق الحديثة:

- نقص الفوسفور يؤدي إلى قلة التفريع في النبات وتكون الأفرع رفيعة وضعيفة النمو ويتأخر نضج الثمار في النباتات التي تعاني من نقص الفوسفور.
- تظهر الأوراق باللون رمادي مخضر وتكون صغيرة الحجم كما في محاصيل الخضر.

- يظهر اللون الأرجواني أو الأحمر علي أعناق الأوراق كنتيجة لنقص الفوسفور والذي يؤدي إلى زيادة تخليق صبغة الأنثوثيانين وتراكمها في الأوراق وعدم نقلها للأعضاء الأخرى.
- ظهور اللون الأرجواني يكون علي النصل في حالة النباتات ذات الفلقة الواحدة مثل الذرة والقمح أما في حالة ذوات الفلقتين فأن اللون الأرجواني يظهر أولاً علي العرق الوسطي وخاصة من الناحية السفلية وكذلك علي السيقان ثم علي الأوراق.
- أفرع النباتات التي تعاني من نقص الفوسفور تكون رفيعة ضعيفة النمو.
- كما أن نقص الفوسفور يقلل من تكوين البراعم الثمرية علي الأفرع. و يؤدي إلى نقص جودة الثمار بصورة ملحوظة كما يؤدي إلى نقص كمية المحصول.

تقدير عنصر الفوسفور في العينات النباتية :

يتم تقدير الفوسفور لونياً باستخدام جهاز الأسبكتروفوتوميتر والأساس في هذه الطريقة هو أن حامض الفوسفوريك في وجود أيونات الفنادات V^{5+} والمولبدات Mo^{6+} يكون معقد أصفر اللون من الفوسفومولبيدوفندات وهذا المعقد يمكن قياسه لونيا علي طول موجي قدرة 430 nm نانوميتر.

المحاليل والكيماويات اللازمة:

- كمية كافية من الماء المقطر.
- تحضير محلول النيتروفنادوموليبديك ويتم بخلط التالي

1- 100 ملي من موليبدات الأمونيوم تركيزها ٥ ٪

2- 100 ملي من فندات الأمونيوم تركيزها ٢,٥ ٪ تحضر بذوبان 25 g من فندات الأمونيوم في 500 ملي من الماء المقطر الساخن ويضاف ٢٠ ملي من حامض النتريك المركز (كثافته = ١,٣٣) ثم يتم التبريد

3- 67 ملي من HNO_3 المركز (كثافته = ١,٣٣)

تخلط المحاليل السابقة في دورق حجمه لتر ويكمل للعلامة بالماء المقطر.

- محلول قياسي من الفوسفور تركيزة 1000 ملجم / اللتر ويحضر بوزن ٠,٤٣٩ جرام من فوسفات البوتاسيوم الأحادية النقي (PO_4H_2K) وذوبانها في 100ملي من الماء المقطر
- من المحلول السابق يتم تحضير محلول تركيزة ٢٠ ملجم/اللتر ويحضر بتخفيف المحلول السابق بنسبة ١ محلول إلى ٥٠ ماء مقطر

طريقة التقدير :

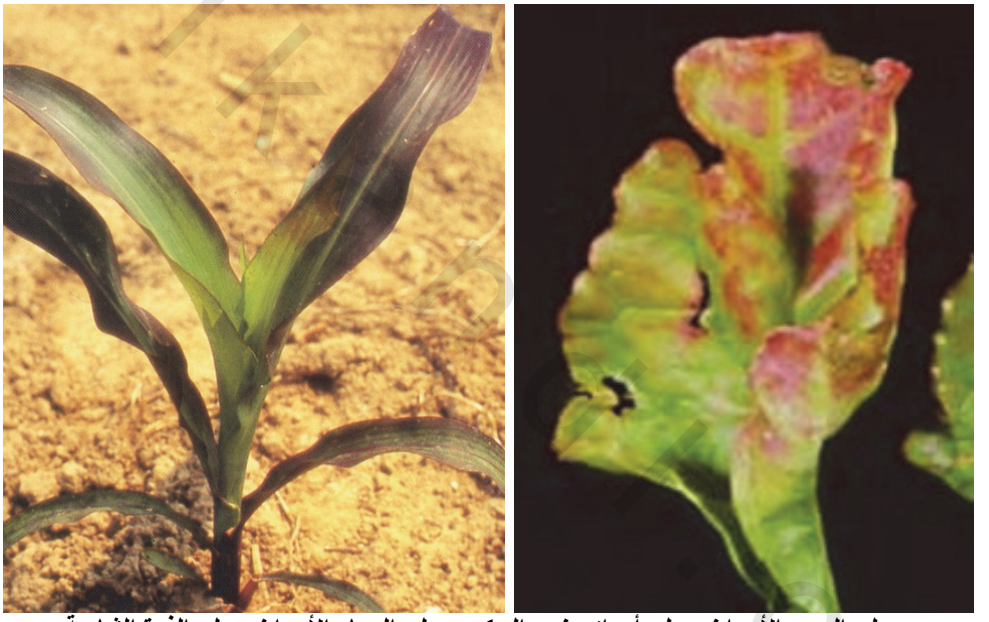
- يتم أخذ من ٥ إلى ١٠ ملي من محلول الرماد السابق تحضيره لتقدير العناصر الغذائية (علي حسب نسبة الفوسفور في العينة النباتية) في دورق معياري حجمه ٢٥ ملي
- يضاف علي العينة السابقة ٥ ملي من دليل النيترو فنادو موليبديك السابق تحضيره ويكمل الحجم بالماء المقطر إلى العلامة
- تترك العينة لمدة ساعة وبعدها يتم قياس اللون علي طول موجي مقداره 430 nm بواسطة جهاز الأسبكتروفوتوميتر كما أنه يمكن القياس علي جهاز الكلورميتر علي طول موجي قدرة 468 nm
- تحضير المحلول القياسي وعمل المنحي القياسي: بنفس الطريقة يتم تحضير محلول قياسي من الفوسفور بالتركيزات التالية: ٠، ٢، ٤، ٦، ٨، ١٠، ١٢ ملجم فوسفور / اللتر بتخفيف المحلول السابق تحضيره (والذي يحتوي علي ٢٠ ملجم/اللتر) ويتم قياس هذه المحاليل مثل العينة تماما ويتم رسم المنحني القاسي حيث يوضع علي المحور الصادي التركيزات وعلي المحور السيني قراءة الجهاز. ومنها يحسب تركيز الفوسفور في العينة التي قيست بالجهاز بالملجم/اللتر.

obeikandi.com

و يتم حساب النسبة المئوية للفوسفور في العينة النباتية كالتالي

$$\%\ P = \frac{C \times 25 \times V}{10^{5} \times w}$$

*علما بأن الـ **w** عبارة عن وزن العينة بالجرام ، والـ **V** عبارة عن الحجم المأخوذ من محلول الرماد، والـ **C** عبارة عن تركيز الفوسفور بال **µg/ml** في المحلول الذي تم قياسه للجهاز (المحلول يحتوي علي **10 ml** مذابة في **25ml** ماء مقطر).*



علي اليمين الأعراض علي أوراق بنجر السكر و علي اليسار الأعراض على الذرة الشامية
(المصدر * Prof. Pissarek)

علي اليمين الأعراض المبكرة وعلي اليسار الأعراض المتأخرة علي أوراق العنب (الصورة للمؤلف)

عنصر البوتاسيوم

Potassium

البوتاسيوم من الكاتيونات الهامة والرئيسية في تغذية النبات ووزنة الذري يساوي٣٩,١٠٢ وتكافؤه أحادى. ويختلف تركيز البوتاسيوم في الأراضي بشدة علي حسب عديد من العوامل. ووجوده في التربة أصلاً راجع إلى أنه أحد المكونات الأولية الرئيسية في الصخور الأصلية التي نشأت منها الأراضي وتذكر المراجع أن نسبة البوتاسيوم إلى باقي مكونات التربة تتراوح من ٠,٥ ٪ إلى ٢,٣ ٪ (Mengel and Kirkby (1987) والبشبيشي وشريف ١٩٩٨).

ويوجد البوتاسيوم في التربة علي الصور التالية : أما في صورة مثبتة في طبقات التربة أو أنه يوجد علي صورة أيونيه مدمصة علي حبيبات الطين بالتربة أو علي صورة

أيونيه حرة في المحلول الأرضي. ونسبة البوتاسيوم الميسر للنبات لاتتعدي ٠,١ ٪ إلى ٠,٢ ٪ فقط من كمية البوتاسيوم الموجود في التربة (Mills and Jones 1996).

والبوتاسيوم من العناصر الغذائية الكبرى وكما سبق وذكرنا أن النبات يستهلك كمية كبيرة منه لأتمام دورة حياته. ويختلف البوتاسيوم عن العنصرين السابقين (نيتروجين وفوسفور) في أنه لا يدخل في بناء أو تركيب النبات ولم يسجل له دور بنائي في النبات حتى الآن. والبوتاسيوم الموجود في التربة في صورة كاتيون يتحرك في تجاه الشعيرات الجذرية ليتم امتصاصه، ووفقا لما ذكره Mills and Jones (1996) فأن ٢٥ ٪ من حركة البوتاسيوم هذه تتم عن طريق الانتشار البسيط في المحلول المائي المحيط بالجذور أي لا تحتاج إلى طاقة.

وترجع أهمية البوتاسيوم للنبات نظرا لقيامه بالعديد من الأدوار الفسيولوجية الهامة في النبات نذكر منها التالي.

أهم الأدوار التي يلعبها البوتاسيوم في النبات :

- له أثر بالغ علي كفاءة عملية التمثيل الضوئي للنبات حيث يتحكم في نشاط بعض الأنزيمات الضرورية لذلك مثل أنزيمات Ribose phosphate carboxylase (Huber 1985).
- عميلة بناء البروتين و الكربوهيدرات والجليسيدات يتحكم فيها عنصر البوتاسيوم من خلال دوره الأنزيمي (حيث وجد أن زيادة تركيز هذه المركبات في النبات تتزامن مع زيادة امتصاص وتركيز البوتاسيوم).
- يلعب دور هام في نظام نقل الإلكترونات في عمليات التمثيل الغذائي Huber (1985) و PUJOS (١٩٩٦).
- عامل مهم ومتحكم في فتح وغلق الثغور في النبات حيث ينظم الضغط الأسموزي للخلايا الحارثة في الثغور.

obeikandl.com

- ينظم الضغط الأسموزي في الخلايا النباتية بالتالي عامل مؤثر في امتصاص النبات للماء والعناصر الغذائية.
- يشارك في عملية الفسفرة التي تحدث في النبات وهو عامل رئيسي هام في إنتاج مركبات الطاقة في النبات.
- يتحد مع الزيادة من الأحماض العضوية مثل الطرطرات و الأكسالات مكون طرطرات البوتاسيوم أو أكسالات البوتاسيوم بالتالي يعمل علي حفظ التوازن الحامضى القلوي للنبات.
- يعمل البوتاسيوم علي حمل أو نقل السكريات المتكونة خلال البناء الضوئي من الأوراق إلى الثمار بالتالي يزيد من جودة الثمار.
- العديد من المرافقات الأنزيمية تحتاج إلى عنصر البوتاسيوم لتنشيطها والقيام بدورها وقد تم رصد العديد من الأنزيمات التي تحتاج إليه لإتمام دورها في النبات (Evans and Wildes, 1971).
- البوتاسيوم يزيد من مقاومة النبات للظروف الغير مواتية، فهو يحسن من مقاومة النبات للبرودة ونوبات الصقيع وكذلك تحمل العطش ومقاومة الجفاف، وأيضا يعمل علي يزيد من مقاومة النبات للأمراض والآفات.

امتصاص البوتاسيوم والعوامل المؤثرة عليه :

البوتاسيوم يمتاز بأنه كاتيون سهل الامتصاص للنبات وذلك راجع إلى النفاذية الجيدة للأغشية البلازمية لهذا العنصر وكذلك سهولة و سرعة حركته داخل النبات . والنبات يمتص البوتاسيوم في صورة كاتيون أحادي التكافؤ وسهولة امتصاص هذا العنصر لا يضاهيه فيها إلا عنصر النيتروجين فقط (Mills *and* Jones 1996).

في حالة الأراضي الحمضية فأن وفرة أيون الهيدروجين في الوسط ينافس البوتاسيوم ويقلل من امتصاصه. وفي حالة الأراضي الجيرية فأن هناك تنافس ملحوظ ما بين عنصري الكالسيوم والبوتاسيوم علي الامتصاص بواسطة النبات. أما في حالة

obeikandl.com

الأراضي المتأثرة بالملوحة وسيادة كاتيون الصوديوم فأنه يعيق أو يقلل من امتصاص أيون البوتاسيوم نتيجة التنافس بينهما.

ومن المعروف أن الأنواع النباتية ليست متساوية في كميات البوتاسيوم الممتصة تحت نفس الظروف. كما أن الأصناف التابعة لنفس النوع تختلف في قدرتها علي امتصاص هذا العنصر كما لوحظ في العديد من أصناف العنب المزروعة في جنوب بفرنسا (Ibrahim 2001; Ibrahim *et al.* 2002). كما أن الأصول المطعومة عليها الأشجار تلعب دوراً هام في سرعة امتصاص هذا العنصر وتخزينه في أنسجة الطعم Garcia *et al.*, 2002 .

أعراض نقص البوتاسيوم

Symptoms of Potassium deficiency

❖ أعراض النقص علي محاصيل الحقل ونباتات الخضار :

من المعروف أن البوتاسيوم عنصر متحرك داخل النبات بالتالي تظهر أعراض نقصه علي الأوراق المسنة أولاً وفي حالة نباتات الخضر والمحاصيل الحقلية تكون هذه الأعراض عبارة عن :

- اصفرار علي حواف الأوراق المسنة يمتد للداخل وسرعان ما يتحول إلى اللون البني الداكن مع احتراق الحواف. تبدأ بعدها الحواف في الالتفاف للداخل في تجاه العرق الوسطي للورقة، ثم تموت الورقة. وفي حالة شدة النقص فأن الأوراق تجف وتسقط من علي النبات كما في الفول البلدي والبرسيم ومحاصيل الخضار.
- في الطماطم يؤدي نقص البوتاسيوم إلى تجعد في الأوراق وخشونتها وعدم انتظام التلوين علي الثمرة. وفي البطاطس يظهر علي الأوراق لون برونزي مميز لنقص البوتاسيوم.
- كما يؤدي نقص البوتاسيوم إلى بطء ملحوظ في نمو النبات بصفة عامة وقصر طول النبات بالمقارنة بالنباتات السليمة.

obeikandl.com

- ضعف الساق وليونته وعدم القدرة علي مقاومة الرياح (نتيجة انخفاض محتواه من الكربوهيدرات).
- عدم اكتمال نمو الثمار وذبولها وتساقطها في بعض الأحيان.
- قد يظهر النقص في صورة تبقع أبيض مصفر يتحول للبني ثم تموت الأماكن الموجود بها البقع مع تلون الحواف باللون البني كما في القطن.
- في نباتات الفلقة الواحدة يظهر لون أصفر علي قمة الأوراق يمتد إلى أسفل ناحية حواف الأوراق مع بقاء وسط الورقة أخضر اللون.

❖ أعراض النقص علي أشجار الفاكهة :

- تأخر موعد تفتح البراعم في الفاكهة المتساقطة الأوراق ونقص حجم الأوراق عن الحجم الطبيعي كما يؤدى إلى نقص المحصول وقلة جودته.
- اصفرار علي حواف الأوراق المسنة يمتد للداخل وسرعان ما يتحول إلى اللون البني الداكن مع احتراق الحواف، تبدأ بعدها الحواف في الالتفاف للداخل في تجاه العرق الوسطي للورقة وعند زيادة النقص تتمتد هذه الأعراض إلى الأوراق الحديثة.
- ظهور اللون البني بعد ذلك علي حواف الأوراق وتجعدها وتقوسها للداخل وسقوطها بعد ذلك.
- يلاحظ أنه في حالة العنب يبدأ ظهور الأعراض علي الأوراق الوسطي علي الفروع وليست القاعدية.
- النقص الشديد للبوتاسيوم يؤدي إلى جفاف الأفرع من أعلي كما هو ملاحظ في أشجار الموالح.
- المزارع التي تعاني من نقص هذا العنصر تمتاز بصغر حجم الثمار وقلة جودتها ورداءة تلوينها.

obeikandl.com

تقدير عنصر البوتاسيوم في العينات النباتية

الطريقة الأولي: (Flame Spectro photometer Method)

بالرجوع إلى الجزء الخاص بتجهيز العينات النباتية للتحليل، فأننا وصلنا للحصول علي مستخلص الرماد الذي يتم فيه تقدير العناصر الغذائية. نأخذ هذا المستخلص ويجري علية التخفيف اللازم ويقدر تركيز البوتاسيوم فيه كالتالي.

- يتم تقدير البوتاسيوم باستخدام جهاز فلام فوتوميتر Flame Spectro photometer وفكرة عمل الجهاز موضحة بدقة في الباب الخاص بشرح الأجهزة المعملية المستخدمة في التحاليل
- ويراعي معايرة الجهاز قبل البدء في عملية التقدير وذلك باستخدام المحاليل القياسية ذات التركيز المعلوم بالضبط من البوتاسيوم.

المحاليل المطلوبة للتقدير :

- حامض هيدروكلوريك مركز (كثافته = ١,١٩).
- حامض هيدروكلوريك تركيزة ٢ ٪ (حجم/حجم باستخدام الماء المقطر).
- كمية كافية من الماء المقطر.
- محلول قياسي من البوتاسيوم Stock تركيزة ١ جرام / اللتر ويحضر بذوبان ١,٩٠٧ جرام من KCl (نقي ومجفف لمدة ساعة علي درجة حرارة 400 درجة مئوية) في لتر من حامض الهيدروكلوريك المخفف (٢ %).
- يستخدم المحلول السابق في عمل سلسلة تصاعدية التركيز من البوتاسيوم كالتالي: ٠، ٥٠، ٧٥، ١٠٠، ١٢٥، ١٥٠، ١٧٥ و ٢٠٠ ملجم / اللتر.

ملاحظات

يفضل استخدام المحلول القياسي بحيث يحتوي علي الأيونات الأخرى مع البوتاسيوم (مثل الكالسيوم والماغنسيوم والفوسفور) في معايرة الجهاز حيث يكون أقرب لظروف العينة. ويراعي أن تكون درجة حرارة اللهب ثابتة طوال فترة التقدير. ومن الضرورة بمكان أجراء القياس ثلاث مرات لكل عينة لتحديد نسبة الخطأ في الجهاز ومدي دقته.

ويتم القياس كالتالي :

- يتم تخفيف المستخلصات السابقة التحضير المراد قياسها من ٢ إلى ١٠ مرات بحيث يتراوح تركيز البوتاسيوم في العينة من ٥٠ إلى ٢٠٠ ملجم/لتر باستخدام حامض الهيدروكلوريك ٢ %
- يستخدم جهاز فلام فوتوميتر ذات اللهب (هواء/بروبالين أو هواء/أسيتلين علي حسب نوع الجهاز) ويتم معايرة الجهاز بالمحاليل القياسية.
- يتم ضبط حساسية الجهاز عند 760 nm وهو الطول الموجي الخاص بقياس البوتاسيوم ثم تمرر المحاليل المعلومة القوة بداية من ٠ ملجم حتى ٢٠٠ ملجم/اللتر ثم أعاده تمرير العينة الخالية من العنصر Blank.
- تمرر العينات تباعا وتؤخذ القراءات الخاصة بها وتدون النتائج.
- يتم عمل المنحني القياسي للجهاز عن طريق المحاليل المعلومة القوة ومنه يحسب تركيز العنصر في العينة.
- وتحسب النتائج كالتالي : بفرض أن قراءة العينة n ميكروجرام لكل ملي من المحلول ووزن العينة الجافة بالجرام التي استخدمت في الترميد = W ، وحجم المستخلص الذي تم إذابة الرماد فيه = V، والتخفيف الذي تم قبل القياس = D

بالتالي فأن تركيز البوتاسيوم كنسبة مئوية ٪ من المادة الجافة للعينة يحسب من المعادلة التالية

$$\% \quad K \quad = \quad \frac{n \times D}{10^{4} \times w}$$

الطريقة الثانية: الطريقة الحجميه :

في هذه الطريقة يتم ترسيب البوتاسيوم في وسط حامضي في صورة معقد مع نتريت الكوبلت الثنائية double cobalt nitrite في صورة معقد أصفر اللون يتم ذوبانه بواسطة حامض مخفف ساخن ويعاير بمحلول معلوم القوة من برمنجانات البوتاسيوم.

المحاليل المطلوبة للتجربة:

- محلول أسيتات الصوديوم sodium acetate $(NaC_2H_3O_2.\text{-}3H_2O)$ تركيزة ٤٠ %
- محلول الصوديوم – كوبلت - نترات Sodium-cobalt-nitrate $Na_3Co(NO_6)$ ويحضر بذوبان ٢٥ جرام من $Co(NO_3)_2\text{-}6H_2O$ نترات الكوبلت في ٥٠ ملي من الماء المقطر ويضاف ١٢,٥ ملي من حامض الخليك الثلجي في دورق أخر يتم ذوبان ١٤٠ جرام من نيتريت الصوديوم Sodium nitrite $NaNO_2$ في ٢١٠ ملي ماء مقطر. يضاف هذا المحلول علي الزجاجة السابقة ببطء

ويتم إمرار تيار من الهواء في هذا المخلوط لمدة ٣ ساعات ثم يرشح ويحفظ في الثلاجة لحين الاستعمال.

- حامض كبريتيك تركيز ١٢٪ مع الماء المقطر (حجم/حجم). وذلك بإضافة الحامض ببطء إلى الماء المقطر ثم يترك المحلول ليبرد.
- مخلوط الماء مع الأسيتون (٣٠٠ ملي من الماء المقطر+ ١٠٠ ملي من الأسيتون)
- الأسيتون الخالي من الماء (نقي) ويحضر بإضافة كربونات الصوديوم اللامائية (Na_2CO_3) إلى الأسيتون بمعدل ١٠ جرام لكل لتر. ويحفظ حتى الاستعمال.
- محلول أكسالات صوديوم $Na_2C_2O_4$ عيارية ٠,٠١ عياري وتحضر كالتالي: يتم تسخين أكسالات الصوديوم خلال الليل علي درجة حرارة ١٠٥ درجة مئوية ثم تبرد بعيدا عن الهواء. يؤخذ ٠,٦٧ جرام من الأكسالات وتذاب في لتر من الماء المقطر.
- تحضير محلول قياسي Stock من برمنجانات البوتاسيوم عيارية ٠,١ عياري وذلك بذوبان ٣,١٦ جرام من البرمنجانات في الماء المقطر ويكمل الحجم إلى ١ لتر بالماء المقطر ويحفظ في زجاجة بنية بعيدا عن الضوء. ومن هذا المحلول يتم تحضير محلول برمنجانات البوتاسيوم عيارية ٠,٠١ عياري وذلك بتخفيف ١٠ ملي من المحلول السابق إلى ١٠٠ ملي باستخدام الماء المقطر، ويحضر قبل التجربة مباشرة.
- يتم ضبط عيارية البرمنجانات قبل أستخدمها وذلك بمعايرتها بمحلول أكسالات الصوديوم المحمضة (١٥ ملي من H2SO4 / اللتر) وتتم المعايرة علي الساخن (٨٠ درجة مئوي) ويتم حساب عيارية البرمنجانات بالضبط من المعادلة التالية

obeikandl.com

عيارية البرمنجانات = {(حجم الأكسالات بالملي X عيارية الأكسالات)

÷ (حجم البرمنجانات بالملي)}

- **١ ملي من محلول البرمنجانات عياريتة ٠,٠١ عياري = ٠,٠٧ ملجم بوتاسيوم**

obeikandl.com

التجربة وطريقة التقدير:

- يؤخذ ١ ملي من محلول مستخلص الرماد ويوضع في أنبوبة طرد مركزي حجمها ١٥ ملي. يتم إضافة ٣ ملي من الماء المقطر ثم يضاف ١ ملي من محلول أسيتات الصوديوم وبعدها يضاف ١ ملي من محلول الصوديوم كوبلت نتريت (يضاف هذا المحلول قطرة بقطرة)
- يتم خلط المكونات برج الأنبوبة جيدا ثم تترك الأنبوبة علي الحامل لمدة ساعتان علي درجة حرارة ٥ مئوي. ثم يتم الطرد المركزي بمعدل ١٠٠٠ لفة/دقيقة. لمدة ١٥ دقيقة
- يتم التخلص من الطور السائل ويبقي الراسب بالأنبوبة. يتم إضافة ٥ ملي من مخلوط الأسيتون والماء علي الراسب وترج الأنبوبة جيدا ثم يتم أجراء الطرد المركزي لمدة ١٥ دقيقة أخري ثم يستبعد الراشح ويترك الراسب في الأنبوبة
- يتم غسيل الراسب مرة أخري باستخدام الأسيتون وبعدها يجري طرد مركزي والتخلص من الطور السائل. ثم يتم تجفيف الراسب من بقايا الأسيتون وذلك بوضع الأنبوبة في حمام مائي ساخن لتبخير الأسيتون (أو تترك علي درجة حرارة المعمل حتى يتم تبخير الأسيتون)
- يضاف كمية قليلة من برمنجانات البوتاسيوم من السحاحة علي الأنبوبة وتقلب جيدا ثم يتم إضافة ٢ ملي من حامض H_2SO_4 المخفف وتكمل المعايرة من السحاحة. وهذا التفاعل يتم علي الساخن بالتالي يجب تثبيت الأنبوبة في حمام مائي يغلي مع التقليب المستمر.

- تكمل المعايرة حتى الوصول إلى اللون الوردي. يضاف قطرتين من السحاحة بعد الوصول للون المطلوب ثم يتم إضافة ٢ ملي من أكسالات الصوديوم ٠,٠١ عياري (يختفي اللون الوردي) وتكمل المعايرة حتى نهاية التفاعل والوصول للون الوردي مرة أخري. ويتم الحساب كالتالي.

طريقة الحساب :

- حجم البرمنجانات الحقيقي المستخدم في المعايرة = (قراءة السحاحة النهائية – حجم أكسالات الصوديوم ٠,٠١ عياري)
- كل ١ ملي من برمنجانات البوتاسيوم تعادل ٠,٠٧ ملجم من عنصر البوتاسيوم بالتالي يضرب الحجم الحقيقي للبرمنجانات بالملي X ٠,٠٧ ليعطي تركيز البوتاسيوم بالملجم في العينة. من خلال حجم مستخلص الرماد وحجم المستخلص المأخوذ كعينة و وزن العينة الجافة التي تم ترميدها يتم حساب البوتاسيوم بالجرام لكل ١٠٠ جرام وزن جاف (%).

obeikandl.com

أعراض نقص البوتاسيوم علي أوراق البرقوق المصدر (INRA-Paris

أعراض نقص البوتاسيوم علي الأوراق القاعدية للعنب (المصدر ** SCPA)

عنصر الكالسيوم (Ca)
Calcium

أكتُشف عنصر الكالسيوم عام ١٨٠٧ بواسطة العالم Davy وقد تم تصنيفه كعنصر هام للنبات في عام ١٨٦٠ بواسطة Von Sachs, Knop ، وهو مصنف كعنصر من العناصر الغذائية الكبرى منذ أكثر من مائة عام (Kalra 1998; Alexander and Woodham,1970). والكالسيوم من الكاتيونات الغير متحركة داخل النبات، ووزنه الجزيئي يساوي ٤٠,٠٨ وتكافؤه ثنائي.

ونسبة وجودة في الأرض عالية مقارنة بالعناصر الأخرى عدا الحديد ويمثل الكالسيوم ٣,٦٤ % من تكوين الأرض وهذه النسبة تكون أقل في الأراضي الزراعية إذ يمثل حوالي ١,٥ %. ويوجد الكالسيوم في عدة صور في التربة "ليست كلها صالحة للامتصاص بواسطة النبات". ويدخل الكالسيوم في تركيب العديد من معادن التربة مثل الفلسبار والأباتيت والدولوميت وكربونات الكالسيوم.

وبصورة عامه هناك تفاوت كبير في محتوي الأرض من الكالسيوم ويرجع هذا إلى الصخور المكونة للتربة والمناخ السائد في المنطقة وكذلك مدي تعرض هذه الصخور لعمليات التجوية (Mengel and Kirkby 1987). ونجد أن الأراضي

الصحراوية الجافة أكثر احتواء علي الكالسيوم من الأراضي الموجودة في المناطق الرطبة أو المروية (البشبيشي وشريف 1998).

امتصاص الكالسيوم والعوامل المؤثرة عليه :

معظم الأراضي المعدنية تحتوي في محلولها الأرضي علي كمية كافية من هذا العنصر لنمو المحاصيل المختلفة. أما الأراضي العضوية فأن الكالسيوم يدمص علي أسطح الدبال وقد يكون معقدات غير ذائبة بالتالي يكون أقل ميسورية للنبات وكذلك

وفي حالة الأراضي الحامضيه فأن أيون الهيدروجين ينافسه بشدة علي مواقع التبادل الأيونى علي أسطح حبيبات التربة .

ويعد امتصاص الكالسيوم بالنسبة للنبات أصعب من البوتاسيوم والنيتروجين (ووجد أن تركيز البوتاسيوم في أوعية اللحاء أكثر من الكالسيوم من ١٠ إلى ٣٠ مرة) وكذلك حركة الـ Ca داخل أوعية النبات أبطأ بكثير من حركة النيتروجين والبوتاسيوم. ومن الجدير بالذكر أن تيسير الكالسيوم يكون أعلي عند pH يساوي 7 أو أعلي ويقل نسبيا عند تناقص الـ pH حتى ٥,٥.

والكالسيوم من الكاتيونات السائدة في معظم الأراضي وعادة ما يشكل النسبة الكبرى من الكاتيونات المتبادلة ولكن معدل فقده من التربة كبير بالمقارنة بالكاتيونات الأخرى وخاصة عند زيادة حموضة التربة حيث يستبدل بالهيدروجين.

وعلي العموم فأن النبات يمتص الكالسيوم في صورة كاتيون موجب ثنائي Ca^{2+} من المحلول الأرضي أو من علي سطح حبيبات الطين وغرويات التربة. كما أن الأوراق تستطيع امتصاصه عن طريق الثغور في حالة رش المركبات المحتوية علي الكالسيوم علي الأوراق.

أهم الأدوار التي يلعبها الكالسيوم في النبات

والكالسيوم عنصر بنائي هام في النبات والأدوار التي يقوم بها الكالسيوم في النبات متعددة وحيوية ويمكن أيجاز أهمها في التالي:

- عنصر هام لانقسام واستطالة الخلايا النباتية لدخوله في تكوين بكتات الكالسيوم والتي تكون الصفيحة الوسطي للخلايا النباتية.
- هام في تنظيم وثبات الغشاء البلازمي للخلايا وخاصة في نفاذيته.
- يساهم في حفظ التوازن الحامضى والقاعدي للنبات بترسيب الزيادة من الأحماض العضوية في صورة أملاح كالسيوم أو معقدات كالسيوم وبوتاسيوم.
- يحسن من مقاومة النبات للآفات الحشرية والمرضية.
- عنصر هام لأستمرر نمو القمم الميرستيمية للنبات.
- يساعد الكالسيوم علي نشاط كثير من الأنزيمات مثل Phospholipase, Kinase, Adenosine triphosphates.
- له دور في تمثيل النيتروجين في النبات كما يعتقد أن له دور في تحرك الكربوهيدرات داخل النبات.

أعراض نقص الكالسيوم

Symptoms of Calcium deficiency

الكالسيوم كما ذكرنا من العناصر الغذائية الغير متحركة داخل النبات بالتالي فعند نقصه لا يستطيع الانتقال من الأعضاء المسنة أو البالغة إلى الأعضاء الحديثة، بالتالي فأن أعراض نقصه سوف تظهر أولاً علي الأوراق الحديثة. وأعراض نقصه غير مشهورة في الأراضي المرتفعة في رقم الـ pH ولكنها منتشرة ودارجة في الأراضي الحامضية. كما أن الكالسيوم مهم لنمو الجذور بالتالي عند نقصه يقل نمو المجموع الجذري وقد يتوقف وفي حالة النقص الشديد يحدث له موت وتعفن.

❖ **أعراض النقص علي أشجار الفاكهة :**

- ظهور الأوراق الحديثة بالمظهر المشوه وغير المنتظم مع تلونها باللون الأخضر الداكن وعند شدة النقص تجف أطراف الأوراق الحديثة وتتقصف.
- بكتات الكالسيوم مكون رئيسي وأساسي لجدر الخلايا كما تعمل مع بكتات الماغنسيوم علي لصق ألياف السليلوز عند تكون وبناء جدر الخلايا بالتالي نقصه يؤدي لأنتاج أفرع ضعيفة لينة وغير متصلبة.
- في حالة التفاح فأن النقص يكون واضح جداً علي الثمار في صورة بقع بنية اللون علي جلد الثمرة وهذا ما يعرف بالـ bitter Pit
- غالبا ما يحدث جفاف لكثير من البراعم الزهرية وتساقط للأزهار وموت القمم النامية في حالة نقص هذا العنصر.

❖ **أعراض النقص علي المحاصيل الحقلية ومحاصيل الخضار :**

- ضعف في النمو وليونة في الساق والأفرع تكون أرفع من اللازم
- الأوراق مشوهه وغير منتظمة التكوين
- الأوراق الحديثة قد يحدث لها التفاف للحواف والمسنة يحدث لها احتراق للحواف وتشوه.
- غالبا ما يؤدي النقص إلى ظهور بعض العيوب الفسيولوجية علي محاصيل الخضر مثل تعفن الطرف الزهري في الطماطم والفلفل. واحتراق حواف الأوراق في الخس والقلب الأسود في الكرفس. وعدم انتظام شكل الثمار وتشقق جلد الثمرة في الطماطم أو احتراق أو جفاف الجزء الملتصق بعنق الثمرة كما في البطيخ.

تقدير عنصر الكالسيوم في العينات النباتية :

يستخدم مستخلص الرماد الذي تم تحضيره في تجهيز العينة في تقدير عنصر الكالسيوم

openkanar.com

الطريقة الأولي :

ويتم التقدير باستخدام الـ Atomic absorption spectrophotometry وفكرة عمل الجهاز وتركيبة وقياس العينات تم شرحها في الباب الخاص بالأجهزة المستخدمة في التحليل.

المحاليل المطلوبة للتحليل :

- حامض هيدروكلوريك مركز (كثافته = ١,١٩)
- تحضير محلول قياسي من الكالسيوم تركيزة ١ جرام / اللتر ويستخدم لذلك ٢,٤٩٧ جرام من $CaCO_3$ يتم ذوبانها في 50 ملي من الماء المقطر ويضاف 20 ملي حامض هيدروكلوريك مركز بحرص ثم يكمل الحجم إلى لتر بالماء المقطر
- يحضر محلول من الكالسيوم تركيزة 100 ملجم / لتر بتخفيف المحلول السابق 10 مرات
- يتم تحضير المحاليل القياسية باستخدام المحاليل السابقة التحضير كالتالي

تركيز الكالسيوم ملجم/لتر	0	2,5	5	7,5	10
الحجم بالملي من محلول Ca 100 ملجم/لتر	٠,٠	2,5	5	7,5	10
الحجم الملي من HCl مركز	2	2	2	2	2
ماء مقطر نقي	10	10	10	10	10
يكمل الحجم حتى 100 ملي بالماء المقطر					

وفي هذه المحاليل القياسية يتراوح تركيز الكالسيوم من صفر إلى 10 ملجم / لتر

- تحضير المحاليل المراد قياسها: يتم تخفيف العينات بحيث يكون تركيز الكالسيوم بها متراوح من 2 إلى 10 ملجم / لتر

- يتم تثبيت لمبة القياس الخاصة بالكالسيوم (الكاثود)، ويضبط الطول الموجي للجهاز عند 422.67 nm مع استخدام اللهب (هواء/أسيتيلين) ويتم قياس العينات بعد أجراء التخفيف اللازم ويراعي تمرير كل عينة ثلاث مرات علي الجهاز وأخذ المتوسط.
- يعطي الجهاز تركيز الكالسيوم بالملجم / اللتر للمستخلص المخفف الذي يتم قياسه. ومنة يحسب تركيز الكالسيوم كنسبة مئوية من المادة الجافة كما في البوتاسيوم.

الطريقة الثانية : الطريقة الحجميه

تتلخص هذه الطريقة في تقدير الكالسيوم في مستخلص الرماد السابق الحصول علية عن طريق ترسيب الكالسيوم في صورة أكسالات كالسيوم ثم يذاب الراسب في حامض الكبريتيك المخفف H_2SO_4 الساخن والمعايرة باستخدام محلول برمنجانات البوتاسيوم Potassium permanganate (K_2MnO_4) المعلومة القوة.

المحاليل اللازمة وتجهيزها :

- محلول مشبع من أكسالات الأمونيوم: ويحضر بإضافة كميات كافية من الأكسالات إلى الماء المقطر والتقليب حتى تبدأ الأكسالات في الترسيب فيسخن المحلول ويقلب لتمام الذوبان ويترك ليبرد وتترسب الزيادة من الأكسالات ويؤخذ الجزء الرائق للاستخدام
- دليل أحمر الميثيل Methyl red indictor : ويحضر بذوبان ٠,٥ جرام من أحمر الميثيل في ١٠٠ ملي من كحول الأيثانول ٩٥ ٪
- حامض الخليك المخفف بالماء المقطر Dilute acetic acid بنسبة ١حامض : ٤ ماء.

- هيدروكسيد الأمونيوم (NH_4OH) المخفف بالماء المقطر Dilute ammonium hydroxide بنسبة ١ هيدروكسيد أمونيوم + ٤ ماء مقطر.
- حامض كبريتيك مخفف Dilute sulphuric acid (١ حامض + ٤ ماء). ويحضر بإضافة الحامض إلى الماء ببطء ويتم التحريك البسيط ويترك ليبرد.
- محلول ٠,١ عياري من برمنجانات البوتاسيوم K_2MnO_4 ومنه يحضر محلول ٠,٠١ عياري من البرمنجانات بتخفيف المحلول السابق ١ : ١٠ مرات. (١٠ملي من محلول البرمنجانات ٠,١ عياري في دورق معياري ١٠٠ ملي ويكمل الحجم بالماء المقطر). وهذا المحلول يكافئي الواحد ملي منه ٠,٢ ملجم من الكالسيوم.

طريقة التقدير :

- يتم أخذ من ٢٠ إلى ١٠٠ ملي من محلول مستخلص الرماد (علي حسب تركيز الكالسيوم) وتوضع في كأس ٢٥٠ ملي ويضاف عليها من ٢٥ إلى ٥٠ ملي من الماء المقطر وبعدها يضاف ١٠ ملي من محلول أكسالات الأمونيوم المشبع مع التقليب ثم يضاف نقطتين من دليل أحمر الميثيل.
- يتم إضافة بعض القطرات من محلول هيدروكسيد الأمونيوم حتى يصبح المحلول مائل للقلوية ويعرف ذلك من لون الدليل. يتم إضافة قطرات من حامض الخليك المخفف حتى نحصل علي اللون الوردي pink color وعنده يكون رقم الـ pH تقريبا يساوي ٥,٠
- يتم تسخين محتويات الكأس حتى بداية الغليان ثم يترك علي درجة حرارة الغرفة لمدة ٤ ساعات ويفضل تركه لمدة ليلة كاملة.
- يتم ترشيح محتويات الكأس باستخدام ورق ترشيح Whatman No. 42 مع الغسيل بالماء المقطر عدة مرات حتى يصبح الراشح خالي من الأكسالات (وقد يستخدم اختبار نترات الفضة الذي يعطي راسب أبيض مع الكلور للتأكد من خلو المستخلص من الكلور الناتج عن HCl المستخدم في أعداد مستخلص الرماد)

obeikandl.com

- يتم ثقب ورقة الترشيح المستخدمة وغسيلها بحامض الكبريتيك المخفف (١ : ٤) الساخن واستقبال الناتج في نفس الكأس ثم الغسيل بالماء المقطر الساخن
- تتم المعايرة علي الساخن (٧٠ إلى ٨٠ درجة مئوية) لمحتويات الكأس باستخدام برمنجانات البوتاسيوم ٠,٠١ عياري حتى أول نقطة تعطي اللون الوردي. يتم وضع ورقة الترشيح في الكأس الذي تتم به المعايرة وتقليبها مع المستخلص
- تكمل المعيارية علي ورقة الترشيح حتى نصل إلى اللون الوردي وتسجل قراءة السحاحة والتي نرمز لها بالرمز A

طريقة الحساب :

يحسب تركيز الكالسيوم بالملجم (mg) لكل ١٠٠ جرام عينة من المعادلة التالية:

$$mg\ .Ca\ /100\ g\ .sample = \frac{A \times 0.2 \times L \times 100}{w \times n}$$

حيث A قراءة السحاحة ، والـ L الحجم الكلي لمستخلص الرماد ،الـ n هو حجم المستخلص الذي تم فيه التقدير ، والـ W عبارة عن وزن العينة الجافة التي تم ترميدها للحصول علي الرماد .

في حالة إذا ما كانت عيارية البرمنجانات ليس ٠,٠١ بالضبط يستخدم المعادلة التالية:

$$Ca \text{ ملجم / ١٠٠ جم} = \frac{(A \times \text{عيارية البرمنجانات} \times ٢٠ \times L \times ١٠٠)}{(w \times n)}$$

حيث A قراءة السحاحة ، والـ L الحجم الكلي لمستخلص الرماد ، n هو حجم المستخلص الذي تم فيه التقدير ، والـ W عبارة عن وزن العينة الجافة التي تم ترميدها للحصول علي الرماد .

علي اليمين الأعراض علي ثمار الطماطم وعلي اليسار علي ثمار الفلفل (Prof. Bergmann *)

الأعراض علي ثمار التفاح علي اليمين (الصورة للمؤلف) وعلي اليسار علي رؤوس الخس
(Prof. Wiebe *)

الماغنسيوم (Mg)
Magnesium

تم اكتشاف عنصر الماغنسيوم عام ١٨٠٨ بواسطة Davy وقد حدد Von Sachs , Knop عام ١٨٦٦ أن هذا العنصر هام وضروري للنبات. والماغنسيوم من العناصر الغذائية الضرورية الكبرى حيث يحتاجه النبات بكميات كبيرة ووزنه الذري يساوي 40 وتكافؤه ثنائي.

والماغنسيوم واسع الانتشار في معظم الأراضي حيث يدخل في تكوين الصخور الأصلية التي نشأت منها الأراضي ووفقا لما ذكره Mengle and Kirkby (1987) فأن محتوي معظم الأراضي من هذا العنصر يتراوح من ٠,٠٥ ٪ للأراضي الرملية حتى ٠,٥ ٪ للأراضي الطينية. ومن الثابت علميا أن محتوي الأراضي من الماغنسيوم مرتبط بطبيعة الأرض نفسها.

ووجود الماغنسيوم في التربة يكون علي ثلاث صور ماغنسيوم مدمص علي أسطح غرويات التربة وحبيبات الطين وهو قابل للتبادل وماغنسيوم غير قابل للتبادل أي مثبت في الصخور الأرضية أو في صورة معقدات غير ذائبة وماغنسيوم ذائب في المحلول الأرضي. علماً بأن هناك توازن بين هذه الصور الثلاثة في التربة. والماغنسيوم القابل للتبادل يمثل في حدود 5% من الماغنسيوم الكلي. ويمثل من ٤ ٪ إلى ٢٠ ٪ من سعة التبادل الكاتيونى. وفقا لما ذكره Mengle and Kirkby 1987 و طلعت البشبيشي ومحمد شريف (١٩٩٨) فأن الماغنسيوم مثله مثل الكالسيوم فهو كاتيون ثنائي سهل الغسيل من التربة والفقد مع ماء الصرف والكمية المفقودة منه سنويا في حدود ٢ إلى ٣ كجم للهكتار / السنة.

امتصاص النبات للماغنسيوم :

حركة الماغنسيوم تجاه الجذور تحدث عن طريق التدفق الكتلي ومعظم امتصاصه يحدث سلبيا. وامتصاص النبات للماغنسيوم يكون أسهل بكثير من امتصاص الكالسيوم ولكنة أصعب في امتصاصه من البوتاسيوم (Hamdy Ibrahim 2001).

والماغنسيوم يمتص في صورة كاتيون ثنائي Mg^{++} بالتالي هناك تنافس واضح بينه وبين الكاتيونات الأخرى مثل الكالسيوم والبوتاسيوم والأمونيوم وفي حالة الأراضي الحمضية فأن أيون الهيدروجين والألمونيوم ينافسا هذا العنصر علي مواقع الارتباط علي غرويات الطين أو المادة العضوية.

والكمية المتصة من الماغنسيوم سنويا بالنسبة لأشجار الفاكهة أقل من تلك المتصة من الكالسيوم والبوتاسيوم. والماغنسيوم من العناصر المتحركة داخل النبات حيث أنه يستطيع الهجرة من الأوراق المسنة إلى الأوراق الحديثة في حالة نقصه.

أهم الأدوار الفسيولوجية للماغنسيوم في النبات :

- الماغنسيوم عنصر ضروري لتكوين جزئ الكلوروفيل حيث يدخل في تركيب كل من جزئ الكلوروفيل أ و ب " تركيب جزئ الكلوروفيل في تقدير الصبغات النباتية" بالتالي هو عنصر أساسي وهام في البناء الضوئي.
- يزداد تركيز هذا العنصر في الأوراق بتقدم عمر الورقة عكس النيتروجين والبوتاسيوم.
- بكتات الماغنسيوم تشترك مع بكتات الكالسيوم في ترسيب ولصق ألياف السليلوز علي جدر الخلايا بالتالي يزيد من تدعيم وصلابة جدر الخلايا.
- الماغنسيوم عامل محفز أو منشط لعديد ن الأنزيمات الهامة والتي تقوم بتمثيل الكربوهيدرات في النبات.
- أيضا الماغنسيوم عامل منشط للأنزيمات التي تشترك في تمثيل الأحماض النووية DNA, RNA.

- له دور هام في تكوين الميكروسومات والتي يتم بها تمثيل البروتين.
- كما تذكر بعض المراجع أن الماغنسيوم له دور حيوي في تفاعلات نقل الطاقة.

أعراض نقص الماغنسيوم Symptoms of Magnesium deficiency

الماغنسيوم عنصر متحرك في النبات بالتالي أعراض نقصه تظهر علي الأوراق المسنة أولاً ثم يمد إلى الأوراق الأحدث عمراً. وبصفة عامه سواء في الأشجار أو الزراعات الحقلية فأن أعراض نقص الماغنسيوم أوضح ما تكون علي الأوراق، حيث تظهر مساحات باللون الأصفر في المنطقة المنحصرة بين العروق وترجع إلى غياب أو تحلل الكلوروفيل. ثم يزداد اتساع هذه المساحات الصفراء حتى تعم الورقة كلها وتتحول الورقة إلى اللون الأخضر المصفر ثم إلى اللون الأصفر معا بقاء العروق خضراء. ولكن في حالة كروم العنب فأن المساحات الصفراء الموجودة بين العروق قد تظهر باللون الأحمر في حالة الأصناف التي تعطي ثمار سوداء اللون أما الأصناف التي تعطي ثمار بيضاء أو صفراء فأنها تتلون باللون الأصفر وفقاً لما ذكره Pierre Galet (1999) . وقد تظهر بقع بنية علي حواف وقمم الأوراق في حالة النقص الشديد.

وليست كل النباتات أو الأشجار ذات حساسية متساوية في تحمل نقص الماغنسيوم فهناك نباتات لا يظهر عليها أعراض النقص إلا في حالة النقص الشديد وأخري بمجرد انخفاض مستوي الماغنسيوم الممتص تظهر أعراض النقص بوضوح. بالتالي يمكن القول بأن هناك نباتات تتحمل نقص الماغنسيوم في التربة **مثل الفاصوليا والبنجر والخس والفجل وفول الصويا البطاطا والسلق** وهناك نباتات حساسة لنقص الماغنسيوم في التربة مثل **الكرنب والذرة السكرية والخيار والبطاطس والفلفل والطماطم والبطيخ.**

تقدير عنصر الماغنسيوم في العينات النباتية :

الطريقة الأولي: باستخدام الـ Atomic absorption

يتم تقديره باستخدام طيف الامتصاص الذري بواسطة جهاز الـ Atomic absorption وفكرة عمل الجهاز وتركيبة تم شرحها في الباب الخاص بأجهزة التحليل.

المحاليل المطلوبة للتقدير :

- حامض هيدروكلوريك مركز (كثافته = ١,١٩).
- محلول قياسي من الماغنسيوم Stock تركيزة 1000 ملجم / لتر. ويحضر باستخدام عنصر الماغنسيوم النقي ويذاب منة 1 جرام في 10 ملي من الحامض سالف الذكر مع 50 ملي من الماء المقطر ويكمل الحجم إلى لتر بالماء المقطر. في حالة تعذر وجود معدن الماغنسيوم النقي نستخدم كبريتات الماغنسيوم $MgSO_4$ النقية المجففة في تحضير هذا المحلول.
- محلول من الماغنسيوم تركيزة 100 ملجم / اللتر وذلك بتخفيف المحلول السابق 10 مرات وهذا المحلول هو المستخدم في أعداد التركيزات القياسية بالجدول التالي.
- يتم تحضير التركيزات القياسية التالية من الماغنسيوم:

تركيز الـ Mg ملجم/لتر (ppm)	0,0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
الكمية المأخوذة من محلول الـ Mg القياسي بالملي	0,0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
الكمية المأخوذة من HCl بالملي	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
يكمل الحجم بالماء المقطر حتى 100 ملي							

تجهيز العينات للتقدير :

نستخدم مستخلص الرماد الذي تم استرجاعه بالحامض والماء المقطر للتقدير كما سبق وأوضحنا في أعداد العينة. ويتم تخفيف العينات بحيث يتراوح تركيز الماغنسيوم بها من ٠,٥ إلى ٣,٠ ملجم / لتر مع استخدام HCl ٢ ٪ في التخفيف وليس الماء المقطر. تُثبت لمبة الكاثود الخاصة بتقدير الماغنسيوم في مكانها في الجهاز ويضبط الطول الموجي للجهاز علي ٢٨٥,٢ نانو ميتر.

- يتم قياس المحاليل القياسية لضبط الجهاز ثم يتم عمل المنحني القياسي للجهاز كما سبق في الكالسيوم.
- تمرر العينات تباعاً مع مراعاة تمرير كل عينة ثلاث مرات وأخذ المتوسط.
- يحسب تركيز الماغنسيوم كنسبة مؤوية من المادة الجافة كما في تقدير البوتاسيوم

الطريقة الثانية : التقدير اللوني

وهذه الطريقة غير مباشرة حيث يتم ترسيب الماغنسيوم في صورة ماغنسيوم موليبدو فوسفات في وسط قلوي بعد التخلص من الكالسيوم والحديد. ثم يتم ذوبان الراسب باستخدام الحامض وتقدير كمية الفوسفور المتحررة لونيا Rangana (1962) ; Ward & Johnston (1977) ومنها نحسب كمية الماغنسيوم وتفاصيل الطريقة كالتالي:

المحاليل اللازمة وتجهيزها :

- تحضير محلول مشبع من أكسالات الأمونيوم (كما في تقدير الكالسيوم)
- تحضير دليل أحمر الميثيل Methyl red (٠,٥ جرام دليل تذاب في ١٠٠ ملي كحول أيثانول ٩٥ ٪)
- محلول فوسفات أمونيوم ($(NH_4)_2HPO_4$) تركيزة ٢ ٪
- محلول هيدروكسيد أمونيوم (NH_4OH) تركيزة ١٠٪
- حامض هيدروكلوريك HCl قوتة ٠,١ عياري

- محلول حامض موليبديك Molybdic acid. ويحضر بذوبان ٢٥ جرام من موليبدات الأمونيوم النقية في ٣٠٠ ملي من الماء المقطر (دون تسخين). ثم يتم تخفيف ٣٧ ملي من حامض H_2SO_4 المركز إلى ٢٠٠ ملي بالماء المقطر وتضاف إلى محلول موليبدات الأمونيوم. ويخزن المحلول في زجاجة بنية اللون غير شفافة.
- محلول ٢ ٪ من الهيدروكينون Hydroquinone . يتم إضافة نقطة من H_2SO_4 المركز لكل ١٠٠ ملي من الهيدروكينون.
- محلول ١٠٪ من سلفات الصوديوم Na_2SO_4 وهذا المحلول يفضل تحضيره طازج أسبوعيا ولا يتم تخزينه
- محلول فوسفات البوتاسيوم ثنائية الهيدروجين KH_2PO_4

طريقة التقدير :

- يتم أخذ ١٠ ملي من محلول مستخلص الرماد وتوضع في أنبوبة طرد مركزي مدرجة ويضاف لها نقطة من دليل أحمر الميثيل ثم يتم معادلة المحلول باستخدام NH_4OH. ثم يضاف للأنبوبة ١ ملي من محلول أكسالات الأمونيوم ويكمل الحجم إلى ١٣ ملي بالماء المقطر.
- يتم خلط المكونات الموجودة بالأنبوبة جيدا وتترك لمدة ليلة كاملة ثم يتم الطرد المركزي لمدة ١٠ دقائق ويستبعد الراسب.
- يؤخذ ١ ملي من المحلول الرائق من قمة الأنبوبة وتوضع في أنبوبة طرد مركزي أخري حجمها ١٥ ملي ويضاف عليها ٣ ملي من الماء المقطر ثم ١ ملي من فوسفات الأمونيوم ثم ٢ ملي من هيدروكسيد الأمونيوم ١٠٪
- يتم رج الأنبوبة لخلط المكونات جيدا وتترك لمدة ليلة كاملة. وبعدها يجري طرد مركزي لمدة ٧ دقائق وعند انتهاء المدة يستبعد الجزء السائل أو الطافي علي السطح.
- الراسب المتحصل عليه يضاف له ٥ ملي من NH_4OH المخفف ويعاد أجراء الطرد المركزي. ثم يتم استبعاد الجزء الرائق

obeikandl.com

- يتم تجفيف الراسب المتحصل علية بوضع الأنبوبة في حمام مائي ساخن
- يضاف ١ ملي من حامض الهيدروكلوريك المخفف علي الراسب الجاف ثم يضاف ٥ ملي من الماء المقطر لتمام ذوبان الراسب.
- يضاف ١ ملي من محلول حامض الموليبديك ثم يضاف ٠,٥ ملي من الـ Hydroquinone ثم يضاف ٠,٥ ملي من سلفات الصوديوم Na_2SO_4 ويتم الخلط جيدا. وتترك الأنبوبة ثابتة علي الحامل لمدة ٣٠ دقيقة بعدها ينقل المحلول إلى الخلية الزجاجية لجهاز الكلورميتر (كيوفت)
- يتم قراءة العينات علي جهاز الكلورميتر وتدون القراءة مع استخدام الماء أولاً المقطر لضبط الجهاز.

عمل المنحني القياسي :

- يتم إذابة ٠,٤٣٨٩ جرام من فوسفات البوتاسيوم ثنائية الهيدروجين potassium dihydrogen phosphate (KH_2PO_4) في الماء المقطر ويكمل الحجم إلى لتر بالماء المقطر (كل ١ ملي من هذا المحلول يحتوي ٠,١ ملجم فوسفور وهو يعادل ٠,٠٧٨٤ ملجم من الماغنسيوم)
- يتم عمل سلسلة من التركيزات من المحلول السابق بحيث تتراوح من ٠,١ إلى ٠,٥ ملي محلول. كل تركيز في أنبوبة اختبار.
- وعلي كل أنبوبة يضاف ١ ملي من حامض HCl المخفف ثم يضاف ٥ ملي من الماء المقطر ثم يضاف ١ ملي من حامض الموليبديك، ثم يضاف ٠,٥ ملي من الـ Hydroquinone، ثم يضاف ٠,٥ ملي من محلول Na_2SO_4 ترج الأنابيب جيدا وتترك لمدة ٣٠ دقيقة لتكوين اللون
- يتم قياس اللون علي جهاز الكلوريميتر. ثم يتم رسم المنحني القياسي.

علي اليمين الأعراض أوراق العنب الأحمر (Garlet *) وعلي اليسار أوراق العنب الأبيض (المؤلف)

علي اليمين الأعراض علي أوراق الذرة وعلي اليسار علي أوراق التفاح (Dr. Pissarek **)

أعراض النقص علي أوراق التوت الأبيض (الصورة للمؤلف)

عنصر الكبريت (S)
Sulphur

الكبريت من العناصر الغذائية الضرورية الكبرى للنبات وزنه الذري يساوي ٣٢,٠٦ . ويوجد الكبريت في التربة أما في صورة عضوية ناتجة عن إضافة المادة العضوية أو راجعه لتحلل البقايا النباتية والحيوانية في التربة أو في صورة معدنية ناتجة عن إضافة الأسمدة المعدنية للتربة أو تحلل الكبريت العضوي إلى المعدني. أو أنه يصل إلى التربة مع مياه الأمطار والتي تتفاعل في الجو مع الأبخرة الكبريتية الناتجة عن النشاط الإنساني أو عن البراكين وتذيبها حاملة إياها إلى التربة.

والكبريت من العناصر التي تدخل في تكوين الصخور الأصلية للتربة بالتالي فقد يرجع وجودة إلى عمليات التجوية التي تتم علي الصخور المكونة للتربة. والكبريت من العناصر الغذائية التي تستخدم كمطهرات فطرية ويستخدم لتعديل أو إصلاح التربة القلوية وهذا ما يجعل استخدام المزارعين له مرتفع أو عالي بالتالي لا تعاني معظم الأراضي المزروعة من نقص هذا العنصر.

وجذور النبات تمتص الكبريت في صورة أيونات الكبريتات السالبة الشحنة. والكبريت العضوي هو الصورة الأكثر شيوعيا في الأراضي الزراعية خاصة الأراضي الرطبة حيث أنه مكون رئيسي لبعض الأحماض الأمينية والتي عند تحللها بفعل ميكروبات التربة يتحرر الكبريت. بالتالي فأن النشاط الميكروبي في التربة له دور رئيسي في تحديد محتواها من هذا العنصر.

دورة الكبريت في الطبيعة :

ومجمل التحولات التي تتم علي عنصر الكبريت في التربة أو الغلاف الجوي يطلق عليها دورة الكبريت في الطبيعة. وبصفة عامة تشمل دورة الكبريت العمليات التالية:

- **معدنة الكبريت العضوي**

الكبريت يوجد في البقايا النباتية والحيوانية في صورة أحماض عضوية مثل السيستين و الميثيونين وكذلك في بعض الفيتامينات مثل الثيامين والبيوتين. تقوم الكائنات الحية الدقيقة الغير ذاتية التغذية بتحليل تلك البقايا منتجة كبريتيد الهيدروجين H_2S. والذي يتأكسد بدورة منتج الماء والطاقة ويتحرر الكبريت الذي يصبح ميسر للنبات ويحدث هذا التأكسد بواسطة بكتريا Thiobacillus أو بكتريا Beggiatos

- **أكسدة الكبريت :**

أكسدة الكبريت المعدني الموجود بالتربة في وجود الماء ينتج عنها حامض الكبريتيك والطاقة ويحدث هذا في الوسط الهوائي بواسطة بكتريا الـ Beggiatos أو في الوسط الغير هوائي بواسطة بكتريا الكبريت الخضراء.

الكبريت في الغلاف الجوي :

والكبريت الموجود في الهواء الجوي كأبخرة ناتجة عن النشاط الإنساني يمكنها الوصول إلى التربة عن طريق ذوبانها في مياه الأمطار وعلي ذلك يستطيع النبات الاستفادة منها كعنصر غذائي.

- **الكبريت في التربة الزراعية :**

الكبريت يصل إلى التربة كما ذكرنا أما عن طريق المادة العضوية المضافة للتربة أو عن طريق الأمطار الحامضية في المناطق الممطرة أو عن طريق أضافته في صورة سماد أو كمبيد فطري هذا بالإضافة إلى الكبريت الناتج عن تجوية المعادن الأرضية. وهناك بعض العمليات الهامة التي تتم علي الكبريت في التربة نختصرها في التالي:

معدنة الكبريت العضوي: يتحول خلالها الكبريت العضوي إلى كبريت معدني صالح وميسر للاستخدام بواسطة النبات

تثبيت الكبريت المعدني في صورة عضوية: ويتم ذلك بواسطة الكائنات الحية الدقيقة التي تقوم بالاعتماد علي الكبريت المعدني بالتربة كمصدر غذائي لبناء

أجسامها بالتالي تثبته في صورة عضوية بنائية في أجسامها ولا يتحول إلى صورة معدنية مرة أخري إلا بموت هذه الكائنات.

فقد الكبريت المعدني من التربة: حيث أن أيون الكبريتات يحمل شحنة سالبة بالتالي إمكانية مسكه وتثبيته علي أسطح غرويات التربة والتي تحمل شحنة سالبة أيضاً تكون قليلة و هذا يجعله عرضة للفقد من التربة عن طريق الغسيل.

أهمية عنصر الكبريت للنباتات الراقية :

الكبريت عنصر مهم لتكوين بعض الأحماض الأمينية في النبات مثل السستين والسستئين والميثونين وهذه الأحماض تكون البروتينات بالتالي هو رئيسي وهام لتكوين البروتين النباتي ونقصه يعطى نباتات ضعيفة النمو.

تدخل الأحماض الأمينية سابقة الذكر في تكوين بعض الهرمونات النباتية الهامة كما يدخل الكبريت في تكوين بروتينات الكلوروبلاست والذي يحتوي بدورة علي الكلوروفيل بالتالي عند نقصه تظهر النباتات باللون الشاحب

يدخل في تكوين مركبات النكهة والطعم لبعض النباتات مثل البصل والثوم والقنبيط.

أعراض نقص الكبريت Symptoms of Sulfur deficiency

الكبريت من العناصر الغير متحركة داخل النبات بالتالي أعراض النقص تظهر علي الأوراق الحديثة أولاً قبل ظهورها علي الأوراق البالغة والأوراق المسنة.

تظهر هذه الأعراض في الأراضي الخفيفة الصحراوية الفقيرة في هذا العنصر مع مراعاة أن هناك تنافس ما بين هذا العنصر وعنصر الفوسفور فنجد أن الأراضي الغنية في الفوسفور عرضه لظهور أعراض نقص الكبريت.

وأعراض نقص الكبريت سواء في أشجار الفاكهة أو في النباتات الحقلية تتشابه لدرجة كبيرة مع أعراض نقص النيتروجين فنقص كل منهما يؤدي إلى تراجع معدل بناء البروتين في النبات.

وأهم هذه الأعراض هي: اصفرار علي الأوراق السفلي والأوراق الحديثة في صورة لون أخضر فاتح ثم اصفرار عام مع تلون العروق بلون فاتح عن باقي نسيج الورقة ثم احتراق الحواف وتكون الأوراق بحجم أصغر من الطبيعي.

ضعف الأفرع الصغيرة وبطء في نموها وقد تنحى الأفرع وتبدأ في التخشب والجفاف

تقدير عنصر الكبريت في العينات النباتية :

الأساس العلمي للتقدير

يبني التقدير علي أساس ترسيب الكبريت الموجود في مستخلص الرماد باستخدام كلوريد الباريوم ثم ينقي الراسب ويجفف ويوزن ويتم حرقة وأخذ وزن الرماد ومنه نحسب نسبة الكبريت.

المحاليل والكيماويات المطلوبة :

- **دليل برتقالي الميثيل Methyl Orange تركيزة ٠.١ ٪.**
- **محلول صودا كاوية تركيزة ٤٠ ٪.**
- **محلول كلوريد الباريوم تركيزة ٥ ٪.**
- **حامض نتريك مركز .HNO_3 Conc.**
- **حامض بيروكلوريك مركز .Perochloric acid Conc.**

الطريقة والتقدير

- **يتم وزن من ١ إلى ٢ جرام من العينة النباتية المجففة المطحونة وتنقل إلى دورق كلداهل ويضاف لها ٥ ملي من حامض النتريك المركز مع تغطية الدورق بزجاجة ساعة ثم يتم وضع الدورق علي حمام مائي يغلي لمدة ١٠ ساعات (مع تعويض الفاقد) ثم ينقل الدورق علي حمام رملي يسخن بواسطة لهب هادئ مع إضافة كميات أخري من حامض النيتريك إذا لزم الأمر**
- **يتم إضافة ٢ ملي من حامض البيروكلوريك Perchloric acid إلى المخلوط وترفع درجة الحرارة مرة أخري لتمام الهضم مع إضافة ٢ ملي أخري من**

obeikandi.com

البيروكلوريك وكذلك النيتريك إذا لزم الأمر وعند تحول اللون إلى الأبيض الرائق يكون الهضم قد أنتهي.

- يتم النقل إلى دورق ٥٠٠ ملي مع الغسيل عدة مرات بالماء المقطر حتى نصل إلى حجم في حدود ٢٠٠ ملي. يتم إضافة نقطتين من دليل برتقالي الميثيل Methyl Orange ويعادل المخلوط باستخدام الصودا الكاوية ٤٠ ٪
- يتم إضافة HCl لجعل المحلول يميل إلى الحموضة ويعرف ذلك من لون الدليل. ثم يتم الغليان لمدة ٥ دقائق وبعدها يضاف ١٠ ملي من كلوريد الباريوم ٥ ٪ ثم يغلي المخلوط لمدة ٥ دقائق أخري ويترك بعد ذلك ليبرد لمدة ليلة كاملة
- يتم الترشيح باستخدام ورق ترشيح عديم الرماد ٤٤ أو Whatman No. 40 مع الغسيل بالماء المقطر عدة مرات للتخلص من كلوريد الباريوم.
- يتم أخذ ورقة الترشيح وعليها الراسب وتجفف في فرن ثم توزن ويسجل الوزن، وبعدها يتم حرق الورقة بمحتوياتها علي درجة حرارة ٦٠٠ مئوي لمدة ٣ إلى ٤ ساعات ويبرد الرماد ويوزن ويسجل الوزن
- يتم حساب تركيز الكبريت بالجرام لكل ١٠٠ جرام عينة من المعادلة التالية:

$$\%S.(g/100g) = wight.of.ashe \times 0.1374 \times \frac{100}{wight.of.sample}$$

ثانياً: العناصر الصغرى

الحديد Iron (Fe)

الحديد واحد من العناصر الحيوية الهامة لنمو النبات ووزنة الذري يساوى ٥٥,٨٥ وتكافؤه ثنائي وثلاثي. ووجود الحديد في التربة مصدرة الرئيسي هو شتراكه في تكوين معادن التربة، وتتفاوت نسبته من تربة إلى أخري حيث يتراوح في الأراضي الزراعية من ٠,٥ ٪ إلى ٥ ٪ من مكونات التربة. وهو من العناصر المتوفرة في معظم الأراضي حيث يدخل في تركيب معادن التربة مثل المعادن السليكاتية والهيماتيت والماجنيتيت.

كما يوجد الحديد ضمن مكونات المادة العضوية المضافة للتربة. وبصفة عامة يوجد الحديد بكميات كبيرة في معظم الأراضي إلا أن الصورة الموجود عليها هي الأهم حيث أن الحديد الذائب في محلول التربة قليل جدا بالمقارنة بالحديد الكلي بها.

ويوجد الحديد أما في صورة مثبتة في تركيب معادن التربة أو معقدات غير ذائبة أو يوجد في صورة مدمصة علي أسطح غرويات التربة أو أنة يوجد في صورة أيونات حديديك أو حديدوز ذائب في المحلول الأرضي وهي الصورة الميسرة للنبات. ومن الثابت أن الأراضي الرملية ذات محتوي أقل من الحديد مقارنة بالأراضي الطينية بالتالي إذا لم يتم التسميد بهذا العنصر فأنهُ من المتوقع ظهور أعراض نقصه علي النباتات المزروعة.

أهمية الحديد للنبات :

- الحديد عنصر هام يدخل في تركيب العديد من الأنزيمات اللازمة لعملية التنفس مثل Cytochrome oxidase, Catalase, Peroxidase

- لا يدخل الحديد في تركيب جزئ الكلوروفيل ولكنة ضروري وأساسي لتكوينه نتيجة أثرة الهام والبالغ في عمل الأنزيمات المسؤولة عن تكوين جزئ الكلوروفيل.والجدول التالي يوضح العلاقة بينهما (Alcaraz *et al.*, 1986).

محتوي الأوراق من الحديد $\mu g.g^{-1}$ dry wt.	تركيز الكلوروفيل $mg.g^{-1}$dry wt.	الـ Fererdoxin $mg.g^{-1}$ DW.	الـ Nitrate reductase مقدرة بال nmol $NO2.g^{-1}$fresh . wt. H^{-1}
٤٧	٠,٥٥	٠,٣٥	٣١٠
٦٢	١,١٥	٠,٤٤	٤٠٨
٩٦	١,٨٠	٠,٨٢	٩٣٧

- يدخل الحديد في تكوين صبغة الهيم Heme حيث يكون الـ Hemeprotein وهي أساسية للمراحل الأخيرة للتنفس.
- يدخل في تركيب الأنزيمات الخاصة بالتنفس مثل الـ Cytochrome peroxidase وأنزيم الـ Catalase.
- له دور هام في تمثيل الأحماض النووية في النبات.
- له دور هام في عملية اختزال النترات في النبات من خلال دخوله في أنزيمات الـ Nitrate reductase. والجدول السابق يوضح العلاقة ما بين تركيز الـ Nitrate reductase ومحتوي الأوراق من الحديد.
- يزداد وجود الحديد في الميتوكوندريا لارتباطه بعملية التنفس في النبات.
- توجد أعلي نسبة من الحديد في البلاستيدات الخضراء (٨٠٪ من الحديد بالورقة).

امتصاص النبات للحديد والعوامل المؤثرة عليه :

يمتص النبات الحديد غالبا علي صورة أيونات الحديديك الثلاثية Fe^{3+} أو أيونات الحديدوز الثنائية Fe^{2+} . ولكن الصورة النشطة بيولوجيا هي أيونات الحديدوز

obeikandl.com

الثنائي Fe^{2+} بالتالي لابد من حدوث عملية اختزال لأيون الحديديك الثلاثي داخل النبات وتحوله إلى أيون حديدوز ثنائي .

في الأراضي الجيرية أو القلوية يحدث تثبيت للحديد ويصبح غير قابل للامتصاص مما قد يؤدي إلى ظهور أعراض نقصه علي النبات بالرغم من توافره في التربة. والتسميد الزائد بالفوسفور قد يؤدي إلى تكوين مركب فوسفات الحديد الغير ذائبة.

كما إن محتوي النبات من المنجنيز يلعب دورا هام في وضع الحديد داخل النبات. حيث يمتص النبات الحديد علي صورة أيونات حديديك أو حديدوز ولكن الصورة النشطة فسيولوجيا في النبات هي الحديدوز وزيادة تركيز المنجنيز كعامل مؤكسد قوي فأنة يعيق تحويل الحديديك (الصورة الغير نشطة داخل النبات) إلى الحديدوز (الصورة النشطة فسيولوجيا) وهذا ما يجعل النبات يعاني من نقص الحديد رغم توافره في محلول التربة وامتصاص النبات له.

التحولات التي تطرأ علي الحديد بالتربة :

الحديد في التربة يمر بمجموعة من التفاعلات والتحولات بين الصور المختلفة لهُ. وهذه لتحولات يمكن تلخيصها في النقاط التالية:

- أكسدة مركبات الحديدوز Ferrous إلى حديديك Ferric والتي تتراكم حول الخلايا الجذرية في صورة هيدروكسيد حديديك وذلك بواسطة بكتريا الحديد Iron bacteria (سعد زكي ١٩٧٧ وآخرون).
- هناك العديد من ميكروبات التربة الهتيروتروفية يمكنها مهاجمة أملاح الحديد العضوية الذائبة في محلول التربة وتحويلها إلى صورة معدنية قليلة الذوبان.
- ميكروبات التربة لها القدرة علي إحداث تغيرات كبيرة في جهد الأكسدة والاختزال في الوسط التي تعيش فيه ويؤدي انخفاض الجهد إلى تحول مركبات الحديديك

الغير ذائبة إلى مركبات حديدوز ذائبة (Marschner 1995 و سعد زكي وآخرون ١٩٧٧).

- تنتج البكتريا والفطريات أثناء نموها وتحليلها للمادة العضوية أحماض عضوية هذه الأحماض تؤدي إلى خفض رقم الـ pH في محلول التربة وزيادة ذوبان مركبات الحديد.
- في حالة سيادة الظروف اللاهوائية في التربة يؤدي ذلك إلى زيادة تكوين H_2S وهذا يؤدي إلى ترسيب مركبات الحديد في صورة Ferrous sulfide (FeS).
- الأحماض العضوية الناتجة عن تحلل المادة العضوية قد تتحد مع الحديد وتكون مركبات حديد عضوية سهلة الذوبان. كما أن بعضها يعمل كمواد مخلبية تحمي الحديد من الفقد أو التثبيت وتسهل علي النبات امتصاصه (سعد زكي ١٩٧٧ وآخرون).
- تلعب درجة حموضة التربة دور هام وفعال في تيسير الحديد في التربة حيث يقل بصورة كبيرة نتيجة ارتفاع رقم الـ pH في التربة.

أعراض نقص الحديد Symptoms of Iron deficiency

- الحديد من العناصر صعبة الحركة داخل النبات بالتالي أعراض نقصه سوف تظهر علي الأوراق والنموات الحديثة أولاً وتكون في صورة اصفرار بين العروق مع بقاء العروق خضراء اللون.
- وبزيادة النقص تتحول الورقة كلها إلى اللون الأصفر مع بقاء العروق خضراء وقد تتحول الأوراق الحديثة إلى اللون الأبيض العاجي في حالة شدة النقص.
- يظل حجم الورقة في الحجم الطبيعي مع ظهور أعراض النقص إلا في حالات النقص الشديد حيث تكون الأوراق الحديثة أصغر حجما وتذبل وتموت من أعلي لأسفل.

openkandil.com

- يصاحب نقص الحديد صغر حجم البلاستيدات الخضراء عن الحجم الطبيعي مما يقلل من كفاءة عملية البناء الضوئي وهذا يؤدي إلى ضعف عام للنبات.

تقدير الحديد في العينات النباتي:

الطريقة الأولي: التقدير باستخدام الـ Atomic absorption

وتعتمد هذه الطريقة علي تقدير الحديد عن طريق طيف الامتصاص الذري للعنصر علي طول موجي محدد (٢٤٨ نانوميتر) باستخدام جهاز الـ Atomic absorption .

الكيماويات والمحاليل المطلوبة :

- حامض هيدروكلوريك مركز(كثافته = ١.١٩)
- محلول Stock من الحديد تركيزة ١٠٠٠ ملجم حديد / اللتر ويحضر كالتالي: يتم وزن ١ جرام من عنصر الحديد النقي وتذاب في ٢٣ ملي من حامض الهيدروكلوريك المركز ويضاف لها ١٦ ملي من فوق أكسيد الهيدروجين ويكمل الحجم بالماء المقطر إلى ١ لتر.وفي حالة عدم توافر معدن الحديد النقي يتم أخذ الكمية اللازمة (التي تكافئ ١ جم حديد) من أحد أملاح الحديد النقية.
- محلول قياسي من الحديد ١٠٠ ملجم حديد / اللتر ويحضر بتخفيف المحلول السابق (١٠٠ ملي محلول وتكمل إلى ١ لتر بالماء المقطر). كل ملي من هذا المحلول يحتوي علي ١٠٠ ميكروجرام حديد.
- تحضير المحاليل القياسية المستخدمة في ضبط ومعايرة الجهاز وتحضر من الجدول التالي:

تركيز الحديد (ملجم/اللتر)	٠.٠	٢.٥	٥	٧.٥	١٠	٢٠
(ملي) محلول حديد ١٠٠ ملجم/اللتر	٠.٠	٢.٥	٥	٧.٥	١٠	٢٠
(ملي) HCl مركز	٢	٢	٢	٢	٢	٢
يكمل الحجم إلى ١٠٠ ملي بالماء المقطر						

obeikandi.com

أعداد العينة والتقدير :

- العينة التي تم ترميدها (٠,٥ إلى ١,٠ جم) وتم استخلاصها في ١٠٠ ملي يتم قياسها مباشرة بدون تخفيف. وفي حالة الحاجة إلى تخفيف يتم ذلك باستخدام حامض الهيدروكلوريك ٢٪ (وليس الماء المقطر).
- يتم ضبط الجهاز بتثبيت لمبة الكاثود الخاصة بقياس الحديد في موضعها ثم تشغيل الجهاز وضبط الطول الموجي علي ٢٤٨ نانوميتر. ثم يتم عمل ضبط أو معايرة Calibration للجهاز.
- تقاس المحاليل القياسية معلومة التركيز المحضرة كما بالجدول وبعدها يتم تقدير العينات حيث تمرر كل عينة ثلاث مرات ويتم أخذ المتوسط.
- يعطي الجهاز تركيز الحديد بالملجم/اللتر للمستخلص ومنة يحسب التركيز بالـ ppm منسوبا للمادة الجافة للعينة.

الطريقة الثانية: الطريقة اللونية :

و الفكرة في هذه الطريقة هو تحويل الحديد الموجود بالمستخلص إلى الصورة المؤكسدة (Ferric) باستخدام مادة مؤكسدة مثل بيرسلفات البوتاسيوم (Potassium persulphate) أو فوق أكسيد الهيدروجين (Hydrogen peroxide) ثم معايرة الناتج باستخدام ثيوسيانات البوتاسيوم potassium thiocyanate لتكوين ثيوسيانات الحديديك Ferric thiocyanate التي تعطي اللون الأحمر الذي يمكن قياسه لونيا علي طول موجي قدرة 480 nm.

المحاليل وطريقة تحضيرها :

- حامض كبريتيك مركز H_2SO_4.
- محلول مشبع من بيروسلفات البوتاسيوم potassium persulphate ($K_2S_2O_8$). ويحضر بإضافة ٧ إلى ٨ جرام من $K_2S_2O_8$ إلى ١٠٠ ملي ماء مقطر

وترج الزجاجة جيدا حتى تمام ذوبان الـ $K_2S_2O_8$ وتغلق الزجاجة وتحفظ في الثلاجة لحين الاستخدام.

- محلول ٣ عياري من ثيوثيانات البوتاسيوم potassium thiocyanate. يحضر بذوبان ١٤٦ جرام من ثيوسيانات البوتاسيوم في كمية من الماء المقطر ويكمل الحجم إلى ٥٠٠ ملي بالماء المقطر (إذا لم يكن المحلول رائق تماماً تجري عملية ترشيح) ثم يضاف له ٢٠ ملي من الأسيتون.
- محلول قياسي من الحديد: ويحضر بذوبان ٠,٧٠٢ جرام من $FeSO_4(NH_4)_2SO_4.6H_2O$ الـ Ferrous ammonium sulphate في ١٠٠ ملي من الماء المقطر مع إضافة ٥ ملي من H_2SO_4 المركز ببطء ثم يتم تدفئة المحلول ويضاف قطرات من برمنجانات البوتاسيوم المركزة (قطرة بقطرة) حتى يعطي المحلول لون شفاف (عديم اللون) ينقل المحلول إلى دورق معياري حجمه ١ لتر مع الغسيل بالماء ويكمل الحجم حتى العلامة بالماء المقطر. هذا المحلول يحتوي علي ٠,١ ملجم حديد / ١ مليلتر (أي ١٠٠ ملجم حديد/ لتر)

طريقة التقدير :

- يستخدم مستخلص الرماد كعينة في التقدير ويتم عمل تجربة خالية من العينة للمقارنة (Blank) وأيضا محلول قياسي من الحديد ويتم تحضيرهم كما في الجدول التالي:

المحلول المستخدم	الـ Blank (ملي)	المحلول القياسي (ملي)	العينة (ملي)
محلول حيد قياسي (٠,١ ملجم/ملي)	٠,٠	١,٠	٠,٠
محلول مستخلص الرماد	٠,٠	٠,٠	٥,٠
الماء المقطر	٥,٠	٤,٠	٠,٠
حامض كبريتيك مركز	٠,٥	٠,٥	٠,٥
بيرسلفات البوتاسيوم	٠,١	٠,١	٠,١
ثيوسيانات البوتاسيوم	٢,٠	٢,٠	٢,٠
يكمل حجم العينة والمحلول القياسي والـ Blank إلى ١٥ ملي بالماء المقطر			

- يتم قياس اللون علي طول موجي قدرة 480 نانوميتر مع ضبط الجهاز قبل التقدير ثم يقاس المحلول القياسي وبعدها تقدر العينات.
- ويحسب تركيز الحديد في العينة من المعادلة التالية:

$$mg\ .Fe\ /100\ g\ .sample\ = \frac{(OD \times 0.1 \times L \times 100)}{OD_{s\tan dr\ .solution} \times 5 \times W}$$

حيث الـ L عبارة عن الحجم الكلي لمستخلص الرماد والـ W وزن العينة الجافة بالجرام.

كما يمكن حساب تركيز الحديد مباشرة من المنحني القياسي الذي يتم أعداده كالتالي:

- يتم أخذ ٠,٠ ملي، ٠,٥ ملي، ١,٠ ملي، ١,٥ ملي، ٢,٠ ملي، ٢,٥ ملي من المحلول القياسي السابق تحضيره في أنابيب اختبار. يضاف علي كل أنبوبة ٠,٥ ملي من H2SO4 مركز ثم يضاف ١ ملي من البوتاسيوم بيرسلفات ثم ٢ ملي من ثيوسيانات البوتاسيوم ويكمل الحجم إلى ١٥ ملي بالماء المقطر ويقاس اللون بالكلوريميتر علي طول موجي قدرة ٤٨٠ نانوميتر
- يتم رسم المنحني القياسي للجهاز بحيث يوقع علي المحور الرأسي الامتصاص الضوئي (OD) وعلي المحور الأفقي التركيز بالـ ppm ومن هذا المنحني يحسب تركيز الحديد في العينة.

أعراض النقص علي الأوراق الحديثة لنبات الجربيرا (الصورة للمؤلف)

أعراض النقص علي الأوراق الحديثة للورد (الصورة للمؤلف)

علي اليمين الأعراض علي خلفات الموز و (Prof. Hecht-Buchholz*) علي اليسار الأعراض علي نبات الفراولة (Prof. El-Fouly *)

المنجنيز (Mn)
Manganese

المنجنيز عنصر غذائي ضروري للنبات ويصنف علي حسب الكمية التي يحتاجها النبات منه كأحد العناصر الغذائية الصغرى. والوزن الذري للمنجنيز يساوى ٥٤,٩٣٨ وتكافؤه قد يكون ثنائي أو رباعي أو سداسي. ويوجد هذا العنصر في التربة نتيجة دخوله في تكوين الصخور الأصلية التي نشأت عنها الأراضي.

ونسبة وجوده في التربة كما ذكرها طلعت البشبيشي ومحمد شريف ١٩٨٨ تتراوح من ٢٠٠ إلى ٣٠٠ ملجم لكل كجم. والمنجنيز كما ذكرنا من العناصر متعددة التكافؤ فقد يوجد في الصورة الثنائية أو الرباعية أو السداسية ولكن أهم الصور هي الصورة الثنائية Mn^{+2} حيث أنها الصورة النشطة أو الذائبة في المحلول الأرضي.

ويجب التنويه إلى أن النسبة الكلية للمنجنيز في التربة لا تدل علي خصوبة التربة أو علي مدي ميسورية ذلك العنصر للنبات حيث أنه قد يوجد بنسبة عالية في التربة ولكن في صور غير صالحة للامتصاص (غير ميسرة)

أهم العوامل التي تؤثر علي نسبة المنجنيز الذائب في التربة :

- درجة حموضة التربة : يلعب رقم الـ pH للتربة دورا هام في تيسير عنصر المنجنيز حيث تقل ميسورية هذا العنصر بزيادة رقم الـ pH ويتحول المنجنيز من الصورة الثنائية الصالحة للامتصاص إلى الصور الأعلى في التكافؤ نتيجة عملية الأكسدة وبالتالي قد يعاني النبات من نقصه رغم أن نسبته الكلية بالتربة عالية. وهذا ما يحدث في الأراضي الجيرية والقلوية.

obeikandi.com

- **النشاط الميكروبيولوجي في التربة:** خلال دورة هذا العنصر في التربة تقوم الكائنات الحية الدقيقة بإذابة وتيسير نسبة من المنجنيز الغير ذائب وإنتاج بعض الأحماض العضوية التي تؤدي إلى خفض رقم الـ pH في التربة ولذلك فأن دور الكائنات الحية الدقيقة لا يمكن إغفاله أو تهميشه.

- **نسبة المادة العضوية بالتربة:** من المعروف أن تحلل المادة العضوية ينتج عنه أحماض عضوية ويتكون أيضا أحماض ضعيفة نتيجة اتحاد الـ CO_2 (الناتج عن تنفس الميكروبات التي تقوم بتحليل المادة العضوية) مع الماء وهذه الأحماض تؤدي لخفض رقم الـ pH مما يزيد من ذوبان وميسورية المنجنيز بالتربة. ويذكر بعض المراجع أن بعض هذه الأحماض ترتبط بالمنجنيز وتعمل عمل المواد المخلبية وتحفظه من الفقد أو التثبيت بالتالي يزداد معدل تيسره.

- **نسبة الرطوبة بالتربة:** كما سبق الإشارة في الباب الأول فأن نسبة الرطوبة بالتربة تلعب دور هام في تيسير العناصر الغذائية من خلال تأثيرها علي النشاط الميكروبي في التربة وسرعة تحلل المادة العضوية بها وذوبان العناصر الغذائية. ولكن عند زيادة الرطوبة عن اللازم يزداد الفقد بالغسيل في الأراضي الخفيفة، وفي الأراضي الثقليه تصبح الظروف لاهوائية ويقل نشاط بعض الميكروبات في التربة بالتالي تؤثر سلبا علي تيسير العديد من العناصر منها المنجنيز.

- **علاقة المنجنيز بالعناصر الأخرى:** أثبتت الدراسات السابقة أن هناك تنافس في الامتصاص بين المنجنيز من ناحية والحديد والنحاس والزنك من ناحية أخري، بالتالي فأن نسبة هذه العناصر بالتربة لها دور هام في تحديد نسبة المنجنيز الميسر ومن الأفضل عند دراسة هذا العنصر بالتربة حساب نسبة المنجنيز الميسر مقارنة بنسبة هذه العناصر.

obeikandl.com

أهمية عنصر المنجنيز للنباتات الراقية :

يقوم المنجنيز بعديد من الأدوار الفسيولوجية الهامة في النباتات الراقية نذكر منها بعض الوظائف الهامة التالية:

- يعمل المنجنيز علي تنشيط أو تحفيز بعض الأنزيمات مثل الديهدروجينيز والكربوكسيليز والفا- كربوكسيليز. كما أنة يدخل في تركيب بعض الأنزيمات النباتية مثل السوبر أكسيد دسيموتيز والذي يحمي الأنسجة النباتية من التدهور.
- يعمل كعامل مساعد لأنزيمات التنفس وأنزيمات اختزال النترات.
- له دور هام في تنظيم صور الحديد داخل النبات (حديديك و حديدوز).
- المنجنيز ينشط تخلق الكلوروفيل في أوراق النباتات.
- يلعب دور هام في عمليات الأكسدة والاختزال وخاصة بالنسبة لمركبات الحديد.
- يلعب دور هام في انشطار جزيء الماء خلال عملية التمثيل الضوئي.

أعراض نقص المنجنيز: Symptoms of Manganese deficiency

المنجنيز من العناصر الغير متحركة داخل النبات أي أنه صعب الحركة من الأوراق المسنة إلى الأوراق الحديثة في حالة نقصه وبالتالي فأن أعراض نقص المنجنيز بصفة عامة تظهر أولا علي الأوراق الحديثة المتجمعة في قمة الفرع مبكراً عن الأوراق البالغة والمسنة.

openkanal.com

وأعراض نقص المنجنيز معروفة ومنتشرة بدرجة كبيرة في الأراضي المصرية وخاصة تلك التي تعاني من ارتفاع رقم الـ pH. وتنتشر أعراض النقص في الأراضي الرملية المستصلحة أكثر من غيرها من الأراضي.

والجدول التالي يوضح الحد الأمثل وكذلك الحد الأدنى والأقصى لتركيز المنجنيز في العينات الخضرية لبعض النباتات (FAO ;1983)

النبات	الحد الأدنى	الحد الأمثل	الحد الأقصى
بنجر السكر	٥ - ٣٠	٧ - ١٧٠٠	١٢٥٠ — ٣٠٢٠
فول الصويا	< ١٥	٣٥	- -
البرتقال	١٥	٢٥ - ٢٠٠	١٠٠٠
القطن	- -	٢٧ - ٢١٦	١١٣٠ - ٢٩٢٠
الذرة	- -	١٩ - ٨٤	- -
الفاصوليا الليما	٣٢ - ٦٨	٢٠٧ - ١٣٤٠	- -
التفاح	١٥	٣٠	- -

❖ أهم أعراض نقصه علي نباتات الخضر والمحاصيل الحقلية :

- علي نبات القمح والشعير تكون أعراض النقص في صورة مساحات صفراء أو شاحبة في وسط الورقة بين العروق الجانبية ومتركزة بالقرب من العرق الوسطي وتظهر علي الأوراق البالغة ثم تمتد إلى الأوراق الحديثة.
- والأعراض قد تشمل الورقة كلها والمساحات الصفراء تبدوا في صورة شبكة علي نصل الورقة.
- وفي حالة بنجر السكر وهو من النباتات الحساسة لنقص هذا العنصر وتظهر أعراض النقص مبكر علي النبات حيث تكون الأوراق ذات لون شاحب أو أصفر.

obeikandl.com

- ويكون الاصفرار في صورة تبرقش أو تبقع شبكي يميزه عن نقص الماغنسيوم وتلتف الحواف ويكون شكل الورقة مثلثي وتكون الأوراق في صوره قائمة ولست منحنية.

❖ أهم أعراض نقصه علي أشجار الفاكهة

- وأعراض النقص تظهر علي الأوراق الحديثة أولا في صورة اصفرار علي الحافة يزحف بعد ذلك للداخل ويكون اللون شاحب وفي صورة شبكية وليس مساحات كاملة كما في الماغنسيوم مع بقاء العروق خضراء اللون.
- يؤدى نقص المنجنيز في بعض الحالات إلى موت الأنسجة الموجودة أسفل القلف وظهورها في صورة تسلخات سهلة الفصل عن الفرع.

تقدير عنصر المنجنيز في العينات النباتية :

التقدير باستخدام الـ Atomic absorption :

الكيماويات والمحاليل المطلوبة:

- حامض هيدروكلوريك مركز (كثافته = ١,١٩).
- محلول Stock من المنجنيز ١٠٠٠ ملجم / اللتر ويحضر كالتالي : يتم إذابة ١ جرام من عنصر المنجنيز النقي في ٢٣ ملي من حامض الهيدروكلوريك المركز ويكمل الحجم إلى ١ لتر بالماء المقطر. كما يمكن تحضير هذا المحلول باستخدام برمنجانات البوتاسيوم في حالة تعذر وجود المنجنيز النقي.

obeikandl.com

- محلول قياسي من المنجنيز تركيزة ١٠٠ ملجم / اللتر. ويحضر بتخفيف المحلول السابق (١٠٠ ملي من المحلول السابق تكمل إلى ١ لتر بالماء المقطر)
- أعداد وتحضير سلسلة المحاليل القياسية التي تستخدم في معايرة وضبط الجهاز وتحضر من الجدول التالي:

تركيز المنجنيز بالملجم/اللتر ppm	٠,٠	٢,٥	٥	٧,٥	١٠	٢٠
(ملي) محلول منجنيز ١٠٠ ملجم/اللتر	٠	٢,٥	٥	٧,٥	١٠	٢٠
(ملي) HCl مركز	٢	٢	٢	٢	٢	٢
يكمل الحجم إلى ١٠٠ ملي بالماء المقطر						

تحضير العينة والتقدير:

مستخلص الرماد السابق الحصول علية يتم قياس العينات فيه مباشرة دون تخفيف. وفي حالة الحاجة إلى تخفيف يتم ذلك باستخدام حامض الهيدروكلوريك ٢ %.

يتم تثبيت لمبة الكاثود الخاصة بتقدير المنجنيز في مكانها. ويتم تشغيل الجهاز ويضبط الطول الموجي للجهاز علي ٢٧٩,٥ نانوميتر. ثم يجري معايرة أو ضبط Calibration للجهاز باستخدام المحاليل القياسية السابقة ثم العينة الـ Blank وبعدها تقاس العينات كل عينة ثلاث مرات ويؤخذ المتوسط. وتكون القراءة بالملجم/اللتر من المحلول المقاس ومنها يتم حساب تركيز المنجنيز بالـ ppm منسوبا إلى المادة الجافة.

علي اليمين الأعراض علي أوراق بنجر السكر علي اليسار الأعراض علي أوراق العنب (الصورة للمؤلف)

Obeikandl.com

عنصر البورون (B)
Boron

يوجد البورون في التربة نتيجة لوجوده في الصخور الأصلية المكونة للأرض مثل التورمالين ونسبة البورون به من ٣ ٪ إلى ٤ ٪ ويتراوح تركيزة في الأراضي بصفة عامة من 2 إلى 100 جزء في المليون (ملجم / كجم تربة) والأراضي الطينية غنية في محتواها من هذا العنصر عن الأراضي الرملية الخشنة أو الأراضي الناتجة من صخور أصلية من الجرانيت والحجر الرملي.

والبورون وزنه الذري يساوي ١٠.٨١١ ويوجد في التربة في صورة أيونات بورات وهي الصورة الميسرة للنبات $B(OH)_4^-$ أو حامض بوريك H_3BO_3 بالتالي هو عرضة للفقد من التربة عن طريق الغسيل وهذا يجعل الأراضي الجافة ذات محتوي أعلي من هذا العنصر عن الأراضي الرطبة. والبورون يوجد علي ثلاث صور هذه الصور في حالة أتزان في التربة :

- **الصورة المثبتة:** وهي تلك الصورة التي يوجد بها البورون في المعادن الأرضية أو المعقدات الغير ذائبة ولا يمكن للنبات الاستفادة من هذه.
- **الصورة المدمصة:** وهي أيون البورات $B(OH)_4^-$ المدمصه علي أسطح الغرويات التي تحمل شحنة موجبة.
- **الصورة الميسرة:** وهي أيونات البورات الذائبة في المحلول الأرضي والموجودة حول المجموع الجذري.

وتيسير البورن يتأثر كثيرا برقم الـ pH حيث يزداد كلما تقارب الوسط من التعادل ويقل بزيادة رقم الـ pH . بالتالي في الأراضي الجيرية والقاعدية ويكون النبات

obeikandl.com

عرضة لظهور أعراض النقص. كما أن امتصاصه يقل بقلة الرطوبة الأرضية وخاصة في فترات النمو وتكوين الأزهار بالتالي يزداد ظهور أعراض النقص في الأراضي الجافة وخاصة القاعدية.

والبورون من العناصر سهلة الفقد من التربة مقارنة بالعناصر الصغرى الأخرى. ويحدث الفقد عن طريق عملية الغسيل بالتالي فأن الأراضي الخشنة وخاصة مع زيادة الري أو هطول الأمطار يكون فقد هذا العنصر منها أسرع.

أهم الأدوار التي يلعبها البورون في النبات:

- البورون يعمل علي تنشيط بعض الأنزيمات في النبات وخاصة المسؤولة عن إنتاج المواد الفينولية.
- البورون يعمل علي نقل الكربوهيدرات من أماكن الإنتاج إلى أماكن التخزين في النبات بالتالي هو عنصر هام للمحاصيل السكرية وكذلك لأشجار الفاكهة.
- يعتقد البعض أن للبورون دور رئيسي في تمثيل البروتين ويدلل علي ذلك بتراكم النترات في النباتات التي تعاني نقص البورون.
- يعمل البورون علي تنظيم النسبة ما بين الكالسيوم والبوتاسيوم في النبات.
- يعتقد أن له دور في انقسام الخلايا ونمو النبات بالتالي يزداد وجودة في المناطق الميرستيمية بالنبات.
- هام جدا لنمو الأنبوبة اللقاحيه للأزهار وإتمام عملية التلقيح والإخصاب، وفي حالة النقص يحدث موت للأزهار ويفشل الإخصاب وتظل الأزهار معلقة علي الأفرع ويطلق علي هذه الظاهرة ذبول الأزهار blossom blast.
- هام لعملية عقد الثمار وكذلك تكوين البذور داخل الثمار.
- مهم لتمثيل الليجانين بالتالي له دور في بناء جدر الخلايا وهذا يجعل نقصه مصحوب بوجود بقع أو نقط غامقة ومناطق فلينية علي الثمار أو الدرنات.

obeikandl.com

- يعتقد أن له دور هام ورئيسي في تركيب الخلايا النباتية وبالتالي عند نقصه تموت أجزاء من النبات وتظهر بصورة فلينية أو مناطق متعفنة.

أعراض نقص البورون Symptoms of boron deficiency :

- تتفاوت حساسية النباتات لنقص هذا العنصر بدرجة كبيرة حيث تظهر أعراض نقصه علي بعض النباتات عندما يكون تركيز البورون الميسر بالتربة متوسط أو منخفض، في حين لا تظهر تلك الأعراض علي نباتات أخرى تحت نفس الظروف. ومن هذا المنطلق يمكن تقسيم النباتات إلى نباتات حساسة لنقص البورون ونباتات متوسطة الحساسية و نباتات تتحمل قلة هذا العنصر (غالبا لا يظهر عليها أعراض نقص عند انخفاض مستواه إلا في مراحل متأخرة) وفي الجدول التالي نذكر بعض الأمثلة لهذه النباتات.

محاصيل حساسة لنقص البورون	محاصيل متوسطة الحساسية لنقص البورون	محاصيل عالية التحمل لنقصا البورون
نبات عباد الشمس	نبات البرسيم	
نبات بنجر السكر	نبات القمح	نبات الأرز
نبات القطن	نبات الدخان	نبات الراي
نبات الكرفس	نبات الذرة	نبات السورجم
بنجر المائدة	الذرة السكرية	نبات فول الصويا
الجذر	نبات الكرنب	نبات الشعير
القرنبيط	كرنب البروكلي	قصب السكر
نبات القرنفل	نبات الفراولة	نبات الفول
نبات اللفت	نبات البطاطس	نبات البسلة
أشجار التفاح	أشجار الكمثرى	نبات الأسبرجس
أشجار نخيل البلح	أشجار الموالح	نبات الخيار
أشجار الصنوبر	أشجار الموز	نبات البصل

- وأعراض نقص البورون تكون مرتبطة بالأدوار التي يؤديها في النبات. ولكن هذه الأعراض تختلف علي حسب النوع النباتي، وعلي حسب مدي النقص الحادث بالتربة. وقد تتشابه أعراض نقصه مع بعض الأمراض أوالخلل الفسيولوجي مثل أضرار البرودة والتلف الناتج عن سوء استخدام الهرمونات النباتية
- والبورون من العناصر بطيئة الحركة أو صعبة الحركة داخل النبات بالتالي تظهر أعراض نقصه أولاً على الأوراق والنموات الحديثة. وبطء الحركة داخل النبات يجعل النبات في حاجة مستمرة لهذا العنصر. ويزداد التأثر بنقص هذا العنصر في فترات النمو السريع للنبات أو تكوين الدرنات، وفي أشجار الفاكهة قد تظهر أعراض النقص علي الثمار قبل الأوراق.
- أول جزء يتأثر بنقص البورون هو نمو القمم الجذرية "ولكن من الصعب ملاحظتها" وتتلخص في التالي: يكون نمو الجذور بطيء وتتلون باللون البني وفي حالة بعض الخضر أو المحاصيل الجذرية مثل البنجر يظهر مرض القلب البني أو الأسود علي الجذور Brown or Black heart ثم يحدث تعفن للجذر.
- الأوراق الحديثة في البداية يكون لونها أصفر باهت أو برتقالي باهت وخاصة علي الحواف وتبدوا متقاربة من بعضها البعض. وفي بعض المحاصيل مثل الكرنب تظهر أوراق فلينية في وسط الرؤوس. ومع زيادة النقص وعدم إضافته وتتحول الأوراق الحديثة إلى اللون البني وتموت.
- ومن أهم أعراض نقصه أيضاً تجعد الأوراق وتكرمشها وخاصة الأوراق الطرفية والوسطي بينما قد تبدوا الأوراق المسنة بصورة طبيعية.
- يحدث موت للقمم النامية في عديد من النباتات نتيجة نقص أو غياب هذا العنصر.

obeikandl.com

- الساق يكون أقل في الطول نتيجة قصر السلاميات ويزداد في السمك ويصبح سهل القصف. وفي بعض النباتات مثل البروكلي يكون الساق قصير وأجوف.
- يؤدي نقص البورون إلى ظهور مناطق فلينية سهل الفصل علي الساق وخاصة في أشجار الفاكهة. وقد تم ملاحظتها في أستراليا مبكرا (عام 1930) علي أشجار التفاح.
- في بعض الفواكه مثل التفاح والكمثري والموالح يؤدي النقص إلى تكوين بقع فلينية على الثمار Carking أو تسمي Corkiness مع وجود لون بني داخل الثمار. وعلي الأفرع يوجد بقع مائية أسفل القمم النامية ويحدث تشقق القلف.
- يؤدي نقص البورون غالبا إلى فشل عملية التلقيح وموت الأزهار وكذلك تساقط الثمار الصغيرة الحجم بالتالي قلة عدد الثمار علي الشجرة.

وهناك بعض العوامل قد تزيد من احتمال نقص هذا العنصر وظهور أعراضه علي النبات مثل إضافة الجير للتربة حيث يقلل من ميسورية البورن في التربة ويؤدي إلى قلة امتصاصه.

كما أن المناطق المعرضة لهطول الأمطار بكمية كبيرة يحدث فقد للبورون من التربة بسرعة مع مياه الصرف عن طريق الغسيل في صورة أيون بورات $B(OH)_3$. كما نجد إن الأراضي التي تعاني من ارتفاع رقم الـ pH يقل بها ميسورية هذا العنصر وتصبح عرضة لظهور أعراض النقص علي النبات.

علي اليمين الأعراض علي جذور بنجر السكر (Prof. Bergmann)

علي اليمين الأعراض علي ساق التفاح وعلي اليسار الأعراض علي أزهار للكمثري (INRA)

عنصر الزنك (Zn)
Zinc

الزنك إحدى العناصر المغذية الصغرى ووزنة الذري يساوي ٦٥,٣٧ ويوجد في التربة بنسبة تتراوح من ٧٠ إلى ١٣٢ ملجم لكل كجم تربة. ومصدر الزنك في التربة الزراعية راجع إلى المعادن الكبريتيدية والسليكاتية حيث يساهم في تركيبها.

ونادرا ما يوجد الزنك علي صورة معدنية منفردة. والزنك كاتيون ثنائي التكافؤ Zn^{2+}. وبصفة عامة يقل ذوبان مركبات الزنك في التربة مع ارتفاع رقم الـ pH بالتالي تقل ميسوريته في الأراضي الجيرية والقلوية. وأيونات الزنك الذائبة في التربة تشمل $Zn(OH)_2$, $Zn(OH)^+$, Zn^{2+}, $Zn(OH)_3^-$.

المادة العضوية الموجودة في التربة تكون بعض المعقدات أو المركبات الثابتة مع الزنك وتعتبر مجموعة الكربوكسيل ومجموعة ألفينول من المجاميع الهامة في ربط الزنك مع مكونات المادة العضوية. بالتالي فأن مركبات الهيوميك أو الدبال (Humic) والفولفيك (Fulvic) هامين في هذا الصدد لاحتوائهم علي المجاميع الكربوكسيلية والفينولية.

امتصاص الزنك والعوامل المؤثرة علية :

يمتص النبات الزنك علي صورة كاتيونات ثنائية التكافؤ ذائبة في المحلول الأرضي أو مدمصة علي أسطح الغرويات المحيطة بالجذر. وكم سبق ذكره فأن زيادة رقم الـ pH في التربة تقلل من ميسورية هذا العنصر للنبات. وكذلك كلما أنخفض محتوي التربة من الطين قل محتواها من الزنك (1988) Lins.

كما وجد أن زيادة تركيز الفوسفور في التربة يقلل من امتصاص النبات للزنك وقد يرجع هذا إلى تكوين فوسفات الزنك الغير ذائبة في التربة (1988) Lins، وهذه

الظاهرة كثيرة الملاحظة في أشجار الموالح المزروعة في الأراضي الغنية بالفوسفور. كما أن وجود التركيزات العالية من الحديد والمنجنيز بالتربة تقلل من قدرة النبات علي امتصاص الزنك نتيجة التنافس الحادث بينهم.

وتتفاوت النباتات في احتياجها للزنك بدرجة كبيرة حيث نجد أن هناك نباتات شديدة الحساسية لنقص هذا العنصر مثل أشجار الموالح والكريز والتفاح وهناك نباتات احتياجها اقل من هذا العنصر بالتالي تظهر أعراض نقص هذا العنصر عليها متأخراً عن السابقة تحت نفس الظروف.

أهمية عنصر الزنك للنباتات الراقية :

يلعب الزنك عدد من الأدوار الفسيولوجية الهامة في النباتات الراقية من أهمها:

- يدخل الزنك في تركيب هرمون النمو الطبيعي حيث أنه مكون رئيسي للحامض الأميني التربتوفان والذي يكون ذلك الهرمون. بالتالي غيابه أو نقصه يؤدي إلى تقزم النبات وصغر حجمه.
- يعمل الزنك كعامل مساعد لعديد من الأنزيمات مثل RNA polymerase, dehydrogenase والـ Carbonic dehydrase

أهم أعراض نقص الزنك Symptoms of Zinc deficiency:

- الزنك من العناصر الغير متحركة في النبات بالتالي أعراض نقصه سوف تظهر علي الأوراق الحديثة والقمم النامية أولاً. ويزداد ظهور أعراض النقص في الأراضي المستصلحة عن الأراضي الطينية وذلك لقلة تركيزه بالتربة من ناحية وارتفاع رقم الـ pH من ناحية أخري.
- يدخل الزنك في تركيب هرمون النمو ويعمل كمرافق أنزيمي هام بالتالي أعراض نقصه تكون في صورة نقص واضح في نمو الساق ويظهر بطول أقل من طوله

الطبيعي وهذا ما يطلق علية ظاهرة التقزم Dwarfing وذلك لتقارب العقد وقصر السلاميات.

- نقص الزنك أيضا يجعل الأوراق أصغر حجما من الحجم الطبيعي ويطلق علي هذه الظاهرة الـ Little leaf.
- تتجمع الأوراق في قمة الفرع نتيجة تقاربها من بعضها "لقصر السلاميات" وتأخذ شكل مقارب لشكل الوردة ويطلق علي هذه الظاهرة التورد أو الـ Rosetting.
- ظهور لون أخضر باهت يتحول إلى اللون الأصفر علي الأوراق ويكون في صورة بقع بين العروق وقد يتحول النصل إلى اللون العاجي.
- الأفرع الجانبية ضعيفة في نموها وأرفع من اللازم. وقد يحدث موت للقمم النامية في حالة النقص الشديد لهذا العنصر.
- يؤدي نقص الزنك إلى قلة المحصول وصغر حجم الثمار. وفي ثمار الموالح تكون الثمار ذات قشرة سميكة مع ظهور بعض الجيوب الصمغية في الثمار.

تقدير عنصر الزنك في العينات النباتية :

الطريقة الأولي: باستخدام الـ Atomic absorption

الكيماويات والمحاليل المطلوبة :

- حامض هيدروكلوريك مركز (كثافته = ١,١٩)
- محلول Stock من الزنك تركيزة ١٠٠٠ ملجم / اللتر ويتم تحضيره بذوبان ١ جرام من الزنك النقي في ٢٥ ملي من حامض الهيدروكلوريك المركز + ٥٠ ملي من الماء المقطر ويكمل الحجم إلى ١ لتر بالماء المقطر. في حالة عدم توفر الزنك النقي يمكن التحضير من خلال أحد أملاح الزنك النقية.
- محلول قياسي من الزنك تركيزة ١٠٠ ملجم / اللتر وذلك بتخفيف المحلول السابق ١٠ مرات (١٠٠ ملي محلول وتكمل بالماء المقطر إلى ١ لتر)
- تحضير محاليل قياسية ذات تركيزات معلومة من الزنك لضبط دقة الجهاز وتحضر من الجدول التالي:

obeikandl.com

تركيز الزنك (ملجم/اللتر)	٠,٠	٠,٢	٠,٤	٠,٨	١,٦	٢
(ملي) محلول زنك ١٠٠ ملجم/اللتر	٠,٠	٠,٢	٠,٤	٠,٨	١,٦	٢
(ملي) HCl مركز	٢	٢	٢	٢	٢	٢
ماء مقطر	يكمل الحجم إلى ١٠٠ ملي بالماء المقطر					

أعداد العينة وتقديرها :

- أعداد العينة يختلف علي حسب تركيز الزنك في النبات المأخوذ منه العينة فقد تقدر العينة في مستخلص الرماد مباشرة أو يتم التخفيف (ويتراوح التخفيف من ٢ إلى ١٠ مرات).
- يتم تثبيت لمبة الكاثود الخاصة بتقدير الزنك في موضعها بالجهاز ويتم تشغيل الجهاز ويضبط الطول الموجي علي ٢١٣,٨ نانوميتر. يتم إجراء Calibration للجهاز وبعدها تقاس المحاليل القياسية معلومة التركيز السابق تحضيرها ثم العينة الخالية (الBlank) وتقاس بعدها العينات (كل عينة تمرر ثلاث مرات علي الجهاز ويؤخذ المتوسط).
- يعطي الجهاز التركيز بالملجم / اللتر من المحلول المقاس. وباستخدام الحجم الكلي لمستخلص الرماد والتخفيف المتبع وكذلك الوزن الجاف الذي تم ترميده نحسب التركيز بالـ ppm منسوبا إلى المادة الجافة في العينة النباتية.

الطريقة الثانية: التقدير اللوني للزنك :

يمكن أجراء هذا التقدير علي مستخلص الرماد الجاف أو الرطب. وتتلخص الفكرة في هذه الطريقة في التخلص من أثار المعادن التي تتداخل مع الزنك في التقدير مثل النحاس والرصاص والأنتيمون في صورة سلفيد (sulphids) والكوبالت في صورة

معقد من Alpha-nitroso beta-naphthal dimethyl glyoxime والزئبق مع الكلوروفورم. ثم يتم استخلاص الزنك في صورة داي ثيونات الزنك Zinc dithionate والتي يمكن قياسها لونيا بالكلوريميتر علي طول موجي قدرة ٥٤٠ نانوميتر.

المحاليل المطلوبة و تحضيرها :

- حامض النتريك المركز Conc. HNO_3
- حامض الكبريتيك المركز Conc. H_2SO_4
- كلوروفورم مقطر Redistilled $CHCl_3$
- محلول الداي فينيل ثيوكاربازون Diphenylthio carbazone ويحضر بذوبان ٣٠ ملجم من الداي فينيل ثيوكاربازون في ٢ ملي من محلول الأمونيا ثم يضاف ١٠٠ ملي من الماء المقطر ويتم الاستخلاص مرتين باستخدام CCl_4 حتى تصبح الطبقة المستخلصة رائقة وذات لون أخضر لامع. ثم يتم الترشيح باستخدام ورق ترشيح جيد عديم الرماد ويحفظ المحلول.
- محلول CCl4 مقطر Carbon tetra chloride
- حامض هيدروكلوريك عياريتة ٠,٠٤ عياري
- محلول قياسي من الزنك Zinc standard solution تركيزه ٥ ملجم/اللتر ويتم تحضيره كالتالي: يتم إذابة ٠,٥ جرام من عنصر الزنك النقي في كمية من HCl المخفف ويكمل الحجم إلى ١ لتر بالماء المقطر ويسمي هذا بمحلول الـ Stock وتركيزه 500 ppm . ومنة يتم أخذ ١٠ ملي وتخفف إلى ١ لتر باستخدام حامض الهيدروكلوريك ٠,٠٤ عياري وتركيز هذا المحلول 5ppm (أي أن كل ١ ملي يحتوي علي ٥ ميكروجرام زنك)

- محلول سلفات النحاس Copper sulphate solution ويحضر بذوبان ٨ جرام من كبريتات نحاس CuSO4 في الماء المقطر ويكمل الحجم إلى ١ لتر بالماء المقطر (كل ملي من هذا المحلول يحتوي علي ٢ ملجم نحاس).
- محلول سترات الأمونيوم Ammonium citrate solution ويحضر بذوبان ٢٢٥ جرام من سترات الأمونيوم (NH4)2HC6H5O7 في الماء المقطر مع إضافة بعض النقاط من دليل أحمر ألفينول Phenol red (pH = ٧,٤) ويتم المعادلة بالأمونيا حتى تحول اللون ثم يتم إضافة ٧٥ ملي زيادة ويكمل الحجم إلى ٢ لتر بالماء المقطر. هذا المحلول يتم استخلاصه مباشرة وذلك بإضافة قليل من الـ Diphenyl thio-carbazon ويتم الاستخلاص بواسطة الـ CCl4 حتى تصبح طبقة الاستخلاص رائقة وذات لون أخضر لامع. ثم يتم التخلص من Diphenyl thio-carbazon ويعاد الاستخلاص مرة أخري باستخدام الكلوروفورم المقطر CHCl3 والمرة الأخيرة يتم الاستخلاص بالـ CCl4 ويتم التخلص تماما من الـ Diphenyl thio-carbazon .
- محلول الداي ميثيل جليوكزيم Dimethyl glyoxime ويحضر بذوبان ٢ جرام من الـ Dimethyl glyoxime في ١٠ ملي من الأمونيا ثم يضاف ٢٠٠ إلى ٣٠٠ ملي من الماء المقطر ويرشح المحلول ويكمل الحجم إلى ١ لتر بالماء.
- محلول الفا نيتروز بيتا نافثول Alpha-nitroso beta-naphthol solution ويحضر بذوبان ٠,٢٥ جرام من في كمية من CCl3 ويكمل الحجم إلى ٥٠٠ ملي.

الطريقة والتقدير :

- يتم التقدير في عينة الهضم الرطب أو مستخلص الرماد الجاف. ويتم أخذ كمية من المستخلص تحتوي تقريبا علي ٢٥ إلى ١٠٠ ميكروجرام زنك (ولتكن ١٠ ملي) يضاف لها نقطتين من دليل أحمر الميثيل ثم يضاف ١ ملي من محلول كبريتات

النحاس $CuSO_4$ (في حالة استخدام مستخلص الهضم كعينة يتم معادلة الـ H_2SO_4 الموجود بالمستخلص باستخدام هيدروكسيد الأمونيوم (NH_4OH) ثم يضاف حامض الهيدروكلوريك بمعدل ٠,٥ ملي لكل ٥٠ ملي مستخلص

- يتم إمرار غاز الـ H_2S داخل المحلول حتى تمام الترسيب ثم يرشح المخلوط علي ورق ترشيح Whatman No. 42 مع الغسيل مرتين أو ثلاث بكميات قليلة من الماء المقطر ويستقبل الراشح في كأس ٢٥٠ ملي
- يتم تسخين الراشح حتى الغليان حتى تختفي أبخرة H_2S المتصاعدة من المحلول (ويعرف هذا من الرائحة) ثم يتم إضافة ٥ ملي من محلول مشبع من الـ saturated bromine solution ويكمل الغليان.
- يبرد الكأس ويعادل المحلول باستخدام هيدروكسيد الأمونيوم في وجود دليل أحمر ألفينول. ثم يتم جعل المحلول حامضي خفيف بإضافة HCl تركيزة ٥ ٪ ثم يتم إكمال الحجم بالماء المقطر إلى ٢٥٠ ملي.
- للتخلص من النيكل والكوبالت يؤخذ ٢٠ ملي وتوضع في قمع فصل حجمه ١٢٥ ملي ثم يضاف عليها ٥ ملي من محلول سترات الأمونيوم ثم ٢ ملي من محلول الداي ميثيل جليوكسيم ثم ١٠ ملي من محلول alpha-nitroso-beta-naphthol solution ثم يتم الرج جيدا لمدة دقيقتين. يتم بعد ذلك التخلص من طبقة المذيب (الفا نيتروزو بيتا نفثول) ومعه النيكل والكوبالت وأخذ الطبقة المائية المحتوية علي الزنك. يعاد أجراء الاستخلاص باستخدام $CHCl_3$ للتأكد من التخلص من بقايا الـ Alpha-nitroso beta-naphthol وتزال طبقة المذيب ونتخلص منها.
- فصل وتقدير الزنك

يتم متابعة التخلص من النيكل والكوبالت علي الطور السائل المتحصل علية في الخطوة السابقة علي رقم pH من ٨,٠ إلى ٨,٢ حيث يضاف ٢ ملي من الداي فينيل كاربازون و ١٠ ملي من CCl_4 مع الرج لمدة دقيقتين ويترك القمع لتكوين طبقة

obeikandl.com

الفصل. يتم فصل الطبقة السائلة السطحية كاملة بقدر الإمكان ويترك المذيب بالقمع. يتم غسيل القمع باستخدام ٢٥ ملي من الماء المقطر ويترك لتكوين طبقة الفصل مرة أخري ثم يضاف ٢٥ ملي من محلول ٠,٠٤ عياري HCl ويتم الرج لمدة دقيقة لنقل الزنك إلى الطبقة المائية المحمضة (أعلي المذيب) وبعدها يتم التخلص من المذيب بسحبة من أسفل القمع ببطء (قطرة بقطرة). ثم يتم التخلص من القطرات الموجودة علي سطح الطبقة المائية المحتوية علي الزنك بحرص وتبعد . ويضاف علي القمع ٥ ملي من سترات الأمونيوم ثم ١٠ ملي من CCl_4 (pH = ٨,٨ : ٩,٠) ثم يضاف كمية (كافية مرة ونصف لاستخلاص ٢٠ ميكروجرام من الزنك) من مادة Diphenyl thio-carbazon ويتم الرج لمدة ٢ دقيقة ويترك لتكوين طبقة الفصل. ثم يتم سحب طبقة الـ CCl_4 من أسفل القمع وتستبعد. ثم يأخذ ٥ ملي ويضاف لها ١٠ ملي من CCl_4 ويقاس اللون بالكلروميتر علي طول موجي قدرة ٥٤٠ نانوميتر.

عمل المنحني القياسي:

- ويتم كالتالي: يؤخذ ٤ ملي من المحلول القياسي السابق التحضير وتنقل إلى قمع الفصل وتكمل إلى ٢٥ ملي باستخدام HCl عياريتة ٠,٠٤ عياري ثم يضاف ٥ ملي من محلول السترات المنظم ثم ١٠ ملي من CCl4 ويضاف علي هذا المخلوط ٠,١ ملي من الداي فينيل ثيوكاربازون. يتم الرج جيد لمدة ٢ دقيقة ويسجل لون المخلوط.
- يتم إضافة ١ ملي من الداي فينيل كاربازون والتقليب ونتابع الإضافة حتى يعطي المحلول اللون الأصفر الرائق (النقي) ويتم تسجيل حجم الداي فينيل كاربازون اللازم للوصول لهذا اللون

- في عدد من أقماع الفصل يتم أخذ سلسلة من التركيزات من المحلول القياسي كالتالي: ٠، ٥، ١٠، ١٥، ٢٠ ميكروجرام من الزنك وتخفف كلا منها إلى ٢٥ ملي باستخدام HCl عيارية ٠,٠٤ عياري علي كل قمع يضاف ٥ ملي من محلول سترات الأمونيوم المنظم ثم يضاف ١٠ ملي من CCl_4 ثم يضاف مرة ونصف الكمية اللازمة لاستخلاص ٢٠ ميكروجرام زنك من محلول الداي فينيل كاربازون ويرج المحلول لمدة ٢ دقيقة ويترك لتكوين طبقة الفصل.
- يتم فصل طبقة الـ CCl4 بالتنقيط من أسفل قمع الفصل. يؤخذ ٥ ملي من المستخلص المتبقي ويضاف لها ١٠ ملي من CCl4 ويقاس الطول اللون علي الكلورميتر علي طول موجي قدرة ٥٤٠ نانوميتر.
- يتم رسم المنحي القياسي لامتصاص الضوء OD كدالة في تركيز الزنك ومنة يحسب تركيز الزنك في عينة المستخلص ومنة يحسب تركيز الزنك بالملجم أو الـ ppm في العينة كالتالي:

$$Zn\ (mg\ /100\ g) = \frac{100 \times V \times v \times L}{1000 \times W \times n \times 20}$$

حيث L = الزنك بالملجم محسوبة من المنحني القياسي، V = الحجم الذي تم الوصول إليه قبل المعاملة بال H2S، V = الحجم الكلي لمستخلص الرماد أو الهضم، n = حجم المستخلص المأخوذ كعينة، W = وزن العينة الجافة التي تم ترميدها أو هضمها.

تركيز الزنك بال ppm = نتيجة المعادلة السابق x ١٠

openkanal.com

الأعراض علي الأوراق الحديثة للموالح (الصورة لـ Prof. El-Fouly)

الأعراض علي النموات الحديثة للخوخ وعلي اليمين وعلي اليسار علي الأوراق الحديثة للكمثري ($SCPA^2$)

عنصر النحاس (Cu)
Copper

النحاس من العناصر التي تدخل في تركيب بعض الصخور الأصلية للتربة وبتالي فأن محتوي الأراضي منه يختلف بدرجة كبيرة علي حسب مادة الأصل. والنحاس من العناصر الغذائية الضرورية التي يحتاجه النبات بكميات قليلة نسبياً مقارنة بالعناصر الكبرى. ووزنه الذرى يساوي ٦٣,٥٤. وبصفة عامة يتراوح محتوي الأراضي الزراعية من هذا العنصر من ١٠ إلى ٢٠ ملجم لكل كجم تربة.

امتصاص النبات للنحاس والعوامل المؤثرة علية :

يمتص النبات النحاس في صورة أيونات نحاس ثنائية Cu^{2+} وهناك بعض العوامل التي من شأنها أن تؤثر علي الكمية الممتصة من النحاس بواسطة جذور النبات من أهم هذه العوامل:

- **رقم pH التربة:** حيث وجد أن الأراضي القلوية التي تعاني من ارتفاع في رقم الـ pH عن ٧ يقل فيها ميسورية النحاس وبالتالي يقل امتصاصه. كما أن الأراضي شديدة الحموضة والتي تعاني من انخفاض رقم الـ pH عن ٥ يقل فيها أيضا امتصاص جذور النبات لهذا العنصر.

- **نسبة المادة العضوية بالتربة:** من المعروف أن المادة العضوية بالتربة تحسن من العديد من خواص التربة مثل سعة التبادل الكاتيونى وتحسين القوام وتعديل رقم الـ pH في الأراضي القلوية والجافة وتزيد من احتفاظ التربة بالماء. ولكن كما ذكر طلعت البشبيشي ومحمد شريف (١٩٨٨) أنه في حالة النحاس فأن الأراضي ذات المحتوي العالي من المادة العضوية تثبت عنصر النحاس في صورة معقدات

openkandil.com

يصعب علي النبات الاستفادة بها. وقد يرجع ذلك لشدة الارتباط بين المادة العضوية وأيونات النحاس عن العناصر الصغرى الأخرى.

- **محتوى التربة من العناصر الأخرى:** هناك علاقة تضاد ثابتة بين الزنك والنحاس حيث تؤدي زيادة تركيز الزنك في التربة إلى أعاقه النبات عن امتصاص أيونات النحاس بالرغم من توافرها بالتربة. كما أن الزيادة المفرطة في التسميد الفوسفاتي من شأنها أن تقلل من امتصاص النحاس بواسطة جذور النبات وقد تظهر أعراض نقصه علي النبات بالرغم من توافره بالتربة.

أهم الأدوار الفسيولوجية للنحاس

- يعمل النحاس كعامل منشط لعدد كبير من الأنزيمات مثل أنزيمات الأكسدة والاختزال.
- ويساعد علي تكوين صبغة الأنثوسيانين في النبات التي تكسب بعض ثمار الفاكهة والخضر لونها المميز.
- يعتقد أن له أثر علي عملية التمثيل الضوئي حيث يقل امتصاص الأوراق لثاني أكسيد الكربون عند نقص محتواه من النحاس.

أعراض نقص النحاس Symptoms of copper deficiency

ولا تعد أعراض نقص النحاس من الأعراض المنتشرة في معظم المناطق الزراعية وذلك لكثافة استخدامه في تكوين المطهرات والمبيدات الفطرية. ولكن تظهر بوضوح في الأراضي المستصلحة وخاصة المهملة منها. وعلي العموم فأهم أعراض نقصه هي:

- ضعف عام في نمو النبات مقارنة بالنباتات الطبيعية.
- نقص النحاس يؤدى إلى موت الأفرع من القمة إلى القاعدة (يسمي في أشجار الفاكهة الموت الخلفي)
- ظهور الجيوب الصمغية بين القلف والخشب علي الأفرع التي تعاني نقص النحاس.

obeikandi.com

- انحناء طرف الأفرع الطويلة لأسفل علي شكل حرف S أو ما يسمي بمرض الزانثيما Exanthema.
- الأوراق الموجودة علي الخشب القديم لأشجار الفاكهة تكون كبيرة في حجمها عن الحجم الطبيعي وغير منتظمة الحواف.
- ظهور لون أصفر شاحب علي الأوراق يعقبه فقدان اللون الأخضر في قمة الأوراق. ثم تتحول قمة الورقة إلى للون البني وتجف.
- وفي حالة الجو الحار تظهر أعراض النقص في صورة احتراق علي بعض نباتات الخضر. وخاصة قمم الأوراق. ومن أكثر الخضر حساسية لنقص النحاس البنجر والسبانخ والبصل.

تقدير عنصر النحاس في العينات النباتية :

الطريقة الأولي: باستخدام الـ Atomic absorption

الكيماويات والمحاليل المطلوبة:

- حامض هيدروكلوريك مركز (كثافته = ١,١٩)
- محلول Stock من النحاس تركيزة ١٠٠٠ ملجم / اللتر ويتم تحضيره بذوبان ١ جرام من النحاس النقي في ٢٥ ملي من حامض الهيدروكلوريك المركز + ٥ ملي فوق أكسيد الهيدروجين ويكمل الحجم إلى ١ لتر بالماء المقطر. في حالة عدم توفر النحاس النقي يمكن التحضير من خلال أحد مركبات النحاس النقية مثل كبريتات النحاس.
- محلول قياسي من النحاس تركيزة ١٠٠ ملجم / اللتر وذلك بتخفيف المحلول السابق ١٠ مرات (١٠٠ ملي محلول وتكمل بالماء المقطر إلى ١ لتر) ومن هذا المحلول يحضر محلول قياسي ١٠ ملجم / اللتر بتخفيف المحلول الأخير ١٠ مرات
- تحضير تركيزات معلومة من النحاس لضبط دقة الجهاز كما في الجدول التالي:

obeikandi.com

تركيز النحاس (ملجم/اللتر)	٠,٠	٠,١	٠,٢٥	٠,٥	١,٠	١,٥	٢,٠
(ملي) محلول نحاس ١٠ ملجم/اللتر	٠,٠	٠,١	٠,٢٥	٠,٥	١,٠	١,٥	٢,٠
(ملي) HCl مركز	٢	٢	٢	٢	٢	٢	٢
يكمل الحجم إلى ١٠٠ ملي بالماء المقطر							

أعداد العينة وتقديرها :

- علي حسب تركيز النحاس في النبات المأخوذ منة العينة فقد يقدر النحاس في مستخلص الرماد مباشرة أو يتم التخفيف (ويتراوح التخفيف من ٢ : ٥ مرات).
- يتم تثبيت لمبة الكاثود الخاصة بتقدير النحاس في موضعها بالجهاز ويتم تشغيل الجهاز ويضبط الطول الموجي علي ٣٢٤,٧٥ نانوميتر.
- يتم إجراء معايرة أو ضبط Calibration للجهاز وبعدها تقاس المحاليل القياسية معلومة التركيز السابق تحضيرها ثم العينة الخاوية الـ Blank وتقاس بعدها العينات بحيث تمرر كل عينة ثلاث مرات علي الجهاز ويؤخذ المتوسط. ويعطي الجهاز التركيز بالملجم / اللتر من المحلول المقاس ومنة نحسب التركيز بالـ ppm منسوبا إلى المادة الجافة.

الطريقة الثانية: تقدير النحاس لونياً

وفي هذه الطريقة يتم فصل النحاس وتقديره لونيا في صورة Copper diethyl dithio-carbamate علي رقم pH = ٨,٥ في وجود المركب المخلبي الـ Ethylene diamine tetra-acetic acid (EDTA). يتفاعل النحاس مع الـ Sodium diethyl dithiocarbamate في وسط قلوي ويتكون الـ Copper diethyl dithio-carbamate وهو ذات لون أصفر أو يميل إلى البني (علي حسب كمية النحاس في المحلول) هذا اللون يمكن تقديره باستخدام الكلورميتر ومنة يحسب التركيز.

المحاليل المطلوبة وتحضيرها :

- محلول الصوديوم داي أيثيل داي ثيوكربامات Sodium diethyl dithiocarbamate ($(C_2H_5)_3NCS_2$ Na) ويحضر بذوبان ١ جرام من الصوديوم داي أيثيل داي ثيوكربامات في الماء المقطر ويكمل الحجم إلى ١٠٠ ملي ويحفظ في الثلاجة لحين الاستعمال (هذا المحلول يفضل تحضيره طازج أسبوعيا).
- محلول الـ EDTA (Citrate ethylene diamine tetra acetic acid) ويحضر بذوبان ٢٠ جرام من سترات الأمونيوم ثنائي القاعدة ($(NH_4)_2HC_6H_5O_7$) و ٥ جرام من الـ EDTA ثنائي الصوديوم في الماء ويكمل الحجم إلى ١٠٠ ملي بالماء المقطر. يتم التخلص من أثار النحاس إذا وجدت وذلك بإضافة ٠,١ ملي من كاربامات الصوديوم ثم الاستخلاص بواسطة ١٠ ملي من الكربون تترا كلوريد CCl_4 والفصل ثم إعادة الاستخلاص حتى يكون لون الكاربامات رائق وشفاف (عديم اللون).
- محلول ٦ عياري من هيدروكسيد الأمونيوم Ammonium hydroxide ويحضر بأخذ ٣٤٩,٧ ملي من الأمونيا (تركيز ليس أقل من ٢٧ ٪ NH3) وتخفف إلى لتر بالماء المقطر.
- محلول من دليل أزرق الثيمول Thymol blue تركيزة ٠,١ ٪. يحضر بذوبان ٠,١ جرام من أزرق الثيمول في كمية من الماء وبعض قطرات من الصودا الكاوية ٠,١ عياري حتى يتحول اللون إلى اللون الأزرق ويكمل الحجم إلى ١٠٠ ملي بالماء المقطر.
- حامض كبريتيك H_2SO_4 عياريتة ٢ عياري وذلك بإضافة ٥٦,٨ ملي من الحامض المركز إلى الماء المقطر ويكمل الحجم إلى ١ لتر بالماء المقطر.
- الكربون تترا كلوريد المقطر Redistilled Carbon tetrachloride (CCl_4)
- محلول قياسي من النحاس Cu- Stock solution ويحضر بذوبان ٠,٢٥ جرام من عنصر النحاس النقي في ١٥ ملي من حامض النتريك HNO_3 في دورق مخروطي مع تغطية الدورق بزجاجة ساعة ويتم التسخين حتى تمام الذوبان. وبعد

Open Kanal.com

الذوبان يتم غلي المخلوط لطرد الأبخرة ثم يعاد تبريده ويخفف إلى ٢٥٠ ملي بالماء المقطر. ويسمي هذا المحلول **A** يتم تخفيف ٢٥ ملي من المحلول **A** إلى ٢٥٠ ملي بالماء المقطر ويسمي المحلول الناتج **B** وكل ١ ملي من المحلول **B** يحتوي علي ٠,١ ملجم نحاس. ولتحضير المحلول القياسي الذي يستخدم في التجربة يتم تخفيف ٥ ملي من المحلول B إلى ٢٥٠ ملي باستخدام H_2SO_4 عياريتة ٢ عياري (بالتالي كل ملي من المحلول القياسي يحتوي علي ٢ ميكروجرام من النحاس).

- يفضل استخدام النحاس النقي في تحضير المحلول القياسي وفي حالة عدم توافر عنصر النحاس النقي يتم استخدام سلفات النحاس ($CuSO_4.\ 5H_2O$) في التحضير كالتالي: يتم ذوبان ٠,٣٩٢٨ جرام من سلفات النحاس في الماء المقطر ويكمل الحجم إلى ١ لتر بالماء المقطر. ثم يتم تخفيف ٢ ملي من هذا المحلول إلى ١٠٠ ملي قبل الاستخدام مباشرة. وفي المحلول الأخير كل ١ ملي يحتوي علي ٢ ميكروجرام من النحاس.

طريقة التقدير:

- يتم أخذ ٢٥ ملي من مستخلص الرماد وتوضع في قمع فصل ذات عنق قصير ويضاف عليها ١٠ ملي من الـ (Citrate EDTA) ثم يضاف نقطتين من دليل أزرق الثيمول.
- يتم التنقيط بمحلول ٦ عياري من هيدروكسيد الأمونيوم حتى يتحول اللون إلى الأخضر أو الأزرق المخضر.
- يترك المحلول ليبرد ويتم إضافة ١ ملي من محلول الكاربامات Carbamate solution ثم يضاف ١٥ ملي من محلول الـ CCl_4 -Carbon tetra chloride ويرج المخلوط جيدا ويترك لتكوين طبقة الفصل.
- يتم فصل الطبقة السفلي وهي عبارة عن CCl_4 ببطء وذلك بالتنقيط من قاعدة القمع مع استخدام طبقة قطنية. (في حالة وجود أثار من الـ CCl_4 متداخلة مع

المحلول بعد الفصل يعاد إضافة CCl_4 وإجراء الفصل مرة أخري). ثم يتم النقل إلى دورق مخروطي وتؤخذ كمية كافية في أنبوبة كلورميتر ويقدر امتصاص اللون علي طول موجي قدرة 400 نانوميتر.

- يتم أعداد التجربة الخالية من العينة الـ Blank بنفس الطريقة السابقة مع عدم إضافة مستخلص الرماد الذي يستبدل بالماء المقطر.
- بعد ذلك يتم عمل المنحني القياسي بأخذ الأحجام التالية من المحلول القياسي (20.0 µg) في أقماع فصل ٠,٠ ملي، ١ ملي، ٢ ملي، ٥ ملي، ١٠ ملي، ٢٠ ملي ويكمل الحجم علي كل من الكميات السابقة بالـ H_2SO_4 عياريتة ٢ عياري حتى ٢٥ ملي ثم يقاس امتصاص الضوء علي الكلوريميتر علي طول موجي قدرة ٤٠٠ نانوميتر ويرسم المنحني القياسي علي المحور الرأسي قراءة الجهاز وعلي المحور الأفقي التركيز.
- من المنحني القياسي يحسب تركيز عنصر النحاس في المستخلص ثم يتم حساب تركيز النحاس في العينة من المعادلة التالية:

$$Cu\,(ppm\ /\ g) = \frac{100 \times L \times Y}{100 \times n \times w}$$

حيث Y = ميكروجرام نحاس في المستخلص، L = الحجم الكلي لمحلول الهضم،
n = حجم محلول الرماد المأخوذ للتقدير، W = وزن العينة الجافة التي تم ترميدها

الأعراض علي أوراق التفاح (الصورة مأخوذة عن INRA – Paris)

الأعراض علي أوراق الورد البلدي (الصورة للمؤلف)

عنصر الموليبدنم
Molybbdenum

الموليبدنم عنصر من العناصر المغذية الضرورية الصغرى وزنه الذرى يساوي ٩٥,٩٤. ويذكر Kalar (1998) أن الموليبدنم تم اكتشافه لأول مرة في عام ١٧٨٢ بواسطة Hezlm ولم يصنف كعنصر غذائي ضروري للنبات إلا في عام ١٩٢٦ بواسطة Arnon & Stout.

وأصل وجوده في الأراضي هو دخوله في تركيب بعض الصخور المكونة لتلك الأراضي ونسبة وجود في الأراضي الزراعية أقل بكثير من باقي العناصر السابق ذكرها إذا يعد من أقل العناصر تواجداً في التربة.

وتعد المادة العضوية المضافة للتربة مصدر جيد لهذا العنصر. تتراوح نسبته في الأراضي من ٠,٦ إلى ٣,٥ ملجم لكل كجم تربة. ومن الملحوظ أن نسبة الموليبدنم الميسرة للنبات في الأراضي الحامضية أقل بكثير من الأراضي القاعدية أو المتعادلة. واحتياج معظم النباتات لهذا العنصر أقل بكثير من باقي العناصر ولكن هذا لا يتعارض مع الدور الحيوي الذي يقوم به هذا العنصر في النبات.

امتصاص النبات للموليبدنم والعوامل المؤثرة علية :

- يمتص النبات الموليبدنم علي صورة أنيونات الموليبدات الثنائية التكافؤ MoO_4^{2-} الذائبة في المحلول الأرضي.

obeikandl.com

- يحدث تنافس ما بين أنيونات الكبريتات السالبة والموليبدات في الامتصاص. بالتالي كلما ذادت نسبة الكبريتات الميسرة في التربة يقل امتصاص الموليبدات. بينما وجد أن زيادة نسبة الفوسفور الميسر في التربة تسرع من عملية امتصاص النبات للموليبدات.
- يرتبط تيسير عنصر الموليبدنم في التربة برقم الـ pH فكلما أنخفض رقم الـ pH يزداد تثبيت عنصر الموليبدنم في التربة والعكس صحيح. بالتالي الأراضي الحامضية أكثر عرضة لظهور أعراض نقص هذا العنصر. ومع انخفاض رقم الـ pH تتحول الموليبدات الثنائية الذائبة إلى tri-molibdate قليلة الذوبان ثم إلى hexa-molibdate غير ذائبة.
- إضافة المادة العضوية للتربة لها تأثيرين مختلفين علي تيسير هذا العنصر، حيث وجد أن بعض المركبات الناتجة من تحلل المادة العضوية تعمل كمركبات مخلبية لهذا العنصر وتمنع فقده أو تثبيته كما أن المادة العضوية قد تحتوي علي نسب متوسطة من الموليبدنم بالتالي تعتبر مصدر هام له. وعلي العكس من ذلك يري بعض الباحثين أن تحلل المادة العضوية ينتج عنه أحماض عضوية تؤدي إلى خفض رقم الـ pH بالتالي تقلل من ميسورية هذا العنصر
- الصورة المضافة من السماد النيتروجيني أيضا تؤثر بصورة معنوية علي احتياج النبات لهذا العنصر وبالتالي علي امتصاصه.

أهم الأدوار الفسيولوجية للموليبدنم في النبات :

الموليبدنم ضروري لعدد من الأنزيمات النباتية الهامة حيث يدخل في تركيب بعضها و ينشط البعض الأخر. ومن أهم هذه الأنزيمات Nitrate reductase, Nitrogenase, Sulfite reductase, Xanthine dehydrogenase وللموليبدنم دور هام في تخلق فيتامين ج (Ascorbic acid) في النبات كما أن له دور في تمثيل الفوسفور في النباتات الراقية.

أعراض نقص الموليبدنم

Symptoms of molybdenum deficiency

- يزداد ظهور أعراض النقص في الأراضي الحامضية والأراضي المحتوية علي كمية عالية من أكاسيد الحديد أو سلفات النحاس.
- تظهر أعراض النقص أولا علي الأوراق الحديثة وإذا أستمر النقص تمتد إلى الأوراق البالغة والمسنة. وهناك نباتات حساسة لنقص هذا العنصر مثل القرنبيط والبرسيم الحجازي والكرفس ومن أشجار الفاكهة تعد أشجار الموالح من الفواكه الحساسة لنقص هذا العنصر.
- يظهر النقص علي النباتات في صورة بقع مصفرة علي نصل الأوراق الحديثة وقد تتشابه أعراض نقص هذا العنصر مع أعراض نقص النيتروجين حيث أنه يؤدي إلى ضعف عام في نمو النبات وشحوب في لون الأوراق ثم تتحول للون الأصفر.
- وعلي الأوراق المسنة يحدث احتراق لقمة الورقة ثم يمتد الاحتراق للحواف الخارجية للأوراق.

openkanal.com

- قد تظهر أعراض النقص لهذا العنصر في صورة بقع صفراء علي النصل بين العروق كما في أشجار الموالح.
- نقص هذا العنصر يقلل من حيوية حبوب اللقاح وضمورها ويؤدي إلى سقوط الأزهار وقلة العقد ممل يؤثر علي كمية المحصول.

تقدير عنصر الموليبدنم في العينات النباتية

التقدير باستخدام جهاز الـ Atomic absorption

الكيماويات والمحاليل المطلوبة :

- حامض هيدروكلوريك مركز (كثافته = ١,١٩)
- محلول Stock من الموليبدنم تركيزة ١٠٠٠ ملجم / اللتر ويتم تحضيره بذوبان ١ جرام من الموليبدنم النقي في ٢٥ ملي من حامض الهيدروكلوريك المركز + ٥ ملي فوق أكسيد الهيدروجين ويكمل الحجم إلى ١ لتر بالماء المقطر. في حالة عدم توفر الموليبدنم النقي يمكن التحضير من باستخدام موليبدات الأمونيوم النقية.
- محلول قياسي من الموليبدنم تركيزة ١٠٠ ملجم / اللتر وذلك بتخفيف المحلول السابق ١٠ مرات (١٠٠ ملي محلول تكمل بالماء المقطر إلى ١ لتر) ومن هذا المحلول يحضر محلول قياسي ١٠ ملجم / اللتر بالتخفيف ١٠ مرات (١ ملي من محلول ١٠٠ ملجم/اللتر + ٩ ملي ماء مقطر)
- تحضير محاليل قياسية ذات تركيزات معلومة من الموليبدنم لضبط دقة الجهاز وتحضر من الجدول التالي:

obeikandl.com

تركيز الموليبدنم (ملجم/اللتر)	٠,٠	٠,١	٠,٢٥	٠,٥	١,٠	١,٥	٢,٠
(ملي) محلول موليبدنم ١٠ ملجم/اللتر	٠,٠	٠,١	٠,٢٥	٠,٥	١,٠	١,٥	٢,٠
(ملي) HCl مركز	٢	٢	٢	٢	٢	٢	٢
ماء مقطر	يكمل الحجم إلى ١٠٠ ملي بالماء المقطر						

أعداد العينة وتقديرها:

يتم تقدير الموليبدنم في مستخلص الرماد سواء جاف أو رطب مباشرة وبدون تخفيف. تثبيت لمبة الكاثود الخاصة بتقدير الموليبدنم في موضعها بالجهاز ويتم تشغيل الجهاز ويضبط الطول الموجي علي ٣٢٤,٧٥ نانوميتر.

يتم إجراء معايرة أو ضبط للجهاز Calibration باستخدام المحاليل القياسية المعلومة التركيز السابق تحضيرها ثم تقرأ العينة الخالية الـ Blank وتقاس بعدها العينات بحيث تمرر كل عينة تمرر ثلاث مرات علي الجهاز ويؤخذ المتوسط.

يعطي الجهاز التركيز بالملجم / اللتر من المحلول المقاس. وبمعرفة الحجم الكلي لمستخلص الرماد بالملي ووزن العينة الجافة التي تم ترميدها بالجرام نحسب التركيز بالـ ppm منسوبا إلى المادة الجافة.