الفصل السابع

العناصر المغذية الصغرى

Micronutrients Elements

Zinc	الزنك
Iron	الحديد
Manganese	المنجنيز
Copper	النحاس
Boron	البورون
Molybdenum	الموليبدنم
Chlorine	الكلورين

Chelating Compounds المركبات الكيلاتية

obeikandl.com

obeikandl.com

العناصر المغذية الصغرى

Micronutrients Elements

سبق أن ذكرنا فى الفصل الرابع أن العناصر الغذائية الضرورية للنبات عددها ستة عشر عنصراً تم دراسة القسم الأول منها والخاص بالعناصر الكبرى والتى يحتاجها النبات بكمية كبيرة، أما القسم الثانى فهو العناصر الصغرى، وهى العناصر التى يحتاجها النبات بكمية قليلة وتشمل: الزنك – الحديد – المنجنيز – البورون – النحاس – الموليبدنم والكلوريد، وهناك عناصر تحتاجها بعض النباتات دون غيرها وبكميات قليلة أيضاً مثل الكوبلت والصوديوم، بالإضافة إلى السيليكون، والعناصر الصغرى توجد فى النبات بكمية قليلة بالمقارنة بالعناصر الكبرى، فمثلاً لو علمت أن إنتاج أحد محاصيل الحبوب هو ١٠ طن (٥ طن حبوب و٥ طن قش) فإنه من الممكن أن يحتوى على حوالى ١٠٠ كجم من النيتروجين، بينما نفس الكمية من المحصول يمكن أن تحوى على ٢٥٠ جم زنك فقط أى أن كمية النيتروجين تزيد عن كمية الزنك بحوالى ٤٠٠ مرة تقريباً، وعلى الرغم من صغر هذه الكمية فى النبات، إلا أنها تكفى لإعطاء النمو الأمثل للنبات والمحصول، وتكمن فاعلية العناصر الصغرى فى زيادة نمو ونشاط النباتات إلى قدرتها على تغيير تكافؤها داخل النبات مما يزيد من نشاط الإنزيمات اللازمة للعمليات الحيوية المختلفة.

من الملاحظ أن كمية العناصر المغذية سواء كانت كبرى مثل: النيتروجين والفوسفور والبوتاسيوم أو صغرى مثل: الحديد والزنك والمنجنيز فى الأراضى المصرية فى تناقص مستمر، **وذلك لعدة أسباب منها:**

١ – التكثيف الزراعى وذلك بزراعة أكثر من محصول على نفس المساحة من الأرض خلال العام، أو زراعة الأصناف من المحاصيل الحقلية والبستانية عالية الإنتاجية وقصيرة العمر مما يؤدى إلى استنزاف كمية كبيرة من العناصر المغذية.

٢ – عدم الاهتمام بإضافة المادة العضوية والأسمدة البلدية والتى تعيد للتربة حيويتها وتعويض ما استنزف منها وتزيد من خصوبتها.

٣ – عدم تعويض التربة عما فقدته من العناصر خاصة بعد حجز كميات طمى النيل أمام السد العالى، كذلك ارتفاع مستوى الماء الأرضى فى بعض مناطق الجمهورية مما أثر على الصفات الطبيعية والكيماوية للأرض.

٤ – اكتشاف طرق أكثر دقة لاختبارات التربة وتحاليل النبات، وتحديد مجموعة من المعايير الثابتة التى بها يمكن توضيح نقص العناصر المغذية وخاصة الصغرى منها.

بالإضافة للنقاط السابقة يزداد نقص العناصر الصغرى فى الأراضى المصرية وبالتالى الطلب على استخدامها إلى:

أ – ارتفاع معدلات التسميد بالعناصر الكبرى والذى أدى إلى زيادة المحصول وبالتالى زيادة الكمية المستنزفه من العناصر الصغرى من الأرض.

ب – التطور والتقدم فى صناعة أسمدة العناصر الكبرى أدى إلى استخدام الأسمدة بدرجة عالية من النقاوة بدلاً من الأسمدة التجارية التى كانت تحوى العناصر الصغرى كشوائب وأدى هذا إلى ظهور أعراض نقص العناصر الصغرى.

جـ – ارتفاع رقم الـ pH للأراضى المصرية.

د – التوسع فى زراعة الأراضى الصحراوية قليلة الخصوبة.

ويمكن توضيح ما تساهم به أسمدة العناصر الكبرى والمادة العضوية من العناصر الصغرى عند إضافتها إلى التربة من القيم الموضحة فى جدول (٧ – ١)، ومن الطبيعى أن تختلف القيم الموجودة عند إجراء التحليل الكيميائى لعينة فردية من سماد معين، وأيضاً تختلف هذه القيم تبعاً للمادة الخام المصنع منها هذا السماد.

ومن فحص القيم الموضحة بالجدول نجد أن أسمدة العناصر الكبرى تساهم بجزء قليل جداً من الاحتياجات السمادية للنباتات المختلفة من العناصر الصغرى، فمثلاً عند إضافة اليوريا كمصدر للنيتروجين لمحصول معين بمعدل ١٥٠ كجم/فداناً، تكون كميات الزنك والمنجنيز والبورون المضافة للتربة هى ٧٥ مليجرام لكل منهم، بينما تكون الكمية بالنسبة للموليبدنيم هى ١٠٥ مليجرام، وعلى الجانب الآخر فإن إضافة طن واحد على سبيل المثال من السماد البلدى للفدان تضيف كميات كبيرة إلى حدٍ ما من العناصر

الصغرى، حيث تكون الكميات المضافة من النحاس ١٠ جم ومن الزنك ٤٠ – ٥٠جم، ونجد الكمية من المنجنيز ٢٠٠ جم، ومن البورون ١٧ جم، ومن الموليبدنم ٢٠٠ مليجرام، وتعتبر هذه الكميات مهمة لرفع خصوبة التربة من العناصر الصغرى عند الإضافات المتتالية من السماد البلدى للتربة الزراعية.

ولما كانت مساحات التوسع الأفقى تقع فى نطاق الأراضى الرملية والجيرية والتى تفتقر إلى كثير من العناصر المغذية، ومع توفر المعلومات عن أعراض نقص العناصر الصغرى فإن الطلب على استخدام الأسمدة التى تحتوى على العناصر الصغرى قد ازداد، ويجب مراعاة أن العناصر الصغرى عند استعمالها كأسمدة للنباتات تعتبر سلاحاً ذا حدين، فنقصها يؤدى إلى فقد المحصول وزيادتها تؤدى إلى حدوث سمية للنبات والحيوان فضلاً عن إحداث تلوث للبيئة مما يؤثر على صحة الإنسان.

جدول (٧ – ١): محتوي بعض الأسمدة المعدنية والعضوية المهمة من العناصر الصغري بالجزء في المليون (ppm)

العنصر ⇐ / السماد ⇓	نحاس	زنك	منجنيز	بورون	موليبدنيم
الأسمدة النيتروجينية:					
كبريتات الأمونيوم	أثار – ٠,٥	٠,٣٣	٧٠	٦,٠	٠,١
اليوريا	صفر – ٣,٦	٠,٥	٠,٥	٠,٥	٠,٧
نترات الكالسيوم والأمونيوم	أثار – ١٨,٠	٨,٠	١٠ – ٥٠	أثـــار	—
الأسمدة الفوسفاتية:					
السوبر فوسفات الأحادى	٢٦,٠	٦٠ – ١٦٠	٧٠ – ٢٧٠	١٠	٣,٠
السوبر فوسفات الثلاثى	٢ – ١٢	٥٠ – ١٠٠	١٦٠ – ٢٤٠	٥٣٠	٩,٠
خبث المعادن القاعدى	١٠ – ٨٠	٥ – ٣٠	*	٣٣	١٠,٠
صخر الفوسفات	٦ – ١٠	٢٥ – ١٤٠	١٣٠٠٠٠	١٥	٦,٠
أسمدة البوتاسيوم:					
كلوريد البوتاسيوم	٣,٠	٣,٠	٨,٠	١٤,٠	٠,٢
كبريتات البوتاسيوم	٥ – ١٠	٢,٠	٢,٢ – ١٣,٠	٤,٠	٠,٢
الأسمدة المركبة:					
فوسفات الأمونيوم	٣,٠ – ٤,٠	٨٠	١٠٠ – ٢٢٠	—	٢,٠
سماد الإسطبل (سماد بلدى) Farmyard Manure	١٠	٤٠ – ٢٥٠	٢٠٠	١٧	٠,٢
أسمدة المخلفات النباتية Compost	٣٠٠ – ٦٠٠	٣ – ١٣	٤٠ – ٦٠	١٥	٢,٠

عن الـ FAO سنة ١٩٨٤.

* قيم المنجنيز في الخبث ٢٨٠٠٠ – ٦٨٠٠٠ (ppm)

وهناك حدود معينة من تركيز هذه العناصر فى التربة حتى تفى هذه الأرض بتوفير الكمية الملائمة من العناصر للنبات وجدول (٧ – ٢) يوضح الحدود الحرجة لتركيز هذه العناصر حسب طريقة استخلاصها من التربة

جدول (٧ – ٢): حدود تركيز العناصر الصغري في الأرض تبعاً لطريقة الاستخلاص والتي يظهر عندها النقص مع ذكر بعض العوامل المؤثرة علي تيسر هذه العناصر (عن Landon سنة ١٩٨٤)

العنصر	العوامل المؤثرة على تيسر العنصر	محلول الاستخلاص	التركيز (ppm)
الحديد Fe	pH، البوتاسيوم، المنجنيز، الكالسيوم، الماغنسيوم، الفوسفور، النحاس، الموليبدنم والزنك.	خلات الأمونيوم (pH4.8)	٢
		DTPA + Ca Cl_2 (pH7.3)	٤,٥ – ٢,٥
الزنك Zn	pH، النحاس، النيتروجين، الفوسفور، والكالسيوم.	٠,١ مول حمض هيدروكلوريك	٧,٥ – ١,٠
		Dithizone + خلات الأمونيوم	٢,٣ – ٠,٣
		EDTA + كربونات الأمونيوم	٣,٠ – ١,٤
		DTPA + كلوريد كالسيوم pH7.3	١,٠ – ٠,٥
المنجنيز Mn	pH، المادة العضوية، البوتاسيوم، الموليبدنم، الفوسفور، الحديد، النحاس والزنك.	٠,٠٥ مول حمض هيدروكلوريك + ٠,٠٢٥ مول حمض كبريتيك	٩ – ٥
		٠,١ مول حمض فوسفوريك مع ٣ مول فوسفات أحادى الأمونيوم	٢٠ – ١٥
		Hydroquinone + خلات أمونيوم الماء	٦٥ – ٢٥ ٢

تابع جدول (٧ – ٢): حدود تركيز العناصر الصغري في الأرض تبعاً لطريقة الاستخلاص والتي يظهر عندها النقص مع ذكر بعض العوامل المؤثرة علي تيسر هذه العناصر (عن Landon سنة ١٩٨٤)

العنصر	العوامل المؤثرة على تيسر العنصر	محلول الاستخلاص	التركيز (ppm)
النحاس Cu	النيتروجين، الحديد، الماغنسيوم، الموليبدنم، الفوسفور والزنك.	خلات الأمونيوم (pH4.8)	٠,٢
		٠,٠٥ مول EDTA	٠,٧٥
		٠,٤٣ حمض نيتريك	٣ – ٤
		١ مول حمض هيدروكلوريك	١٠٠
		٠,٠١ حمض هيدروكلوريك	١,٠٦ – ٠,٠٩
البرورون B	قوام التربة، pH، الكالسيوم البوتاسيوم.	الماء الساخن	٠,١ – ٠,٧
الموليبدنم Mo	pH ، الحديد، المنجنيز، الفوسفور، الكبريت والنحاس.	أوكسلات الأمونيوم (pH 3.3)	٠,٠٤ – ٠,٢

الزنـــك Zinc

الزنك فى الأرض Zinc in Soil

يوجد الزنك فى الأرض على عدة صور منها :

- داخل التركيب الكيميائى لبعض المعادن مثل : معادن الـ Ferromagnesium والأوجيت Augite ، الهورنبلند Hornblende والبيوتيت Biotite .
- فى صورة ملح مثل : كبريتيد الزنك Sphalarite (ZnS)؛ الزنكيت Zincite (ZnO) كربونات الزنك Smithsonite ($ZnCO_3$)، وسيليكات الزنك Willemite ($ZnSiO_3$ and $ZnSiO_4$) .
- الزنك (Zn) المدمص على معقدات التبادل بالأرض .
- الزنك الموجود فى صورة معقدات عضوية، ومنه الذائب وغير الذائب .
- الزنك الذائب فى الماء، ويشمل أيون الزنك Zn^{2+} والموجود مع المادة العضوية فى صورة معقدات ذائبة .

معظم الزنك الموجود بالأرض يوجد فى تركيب المعادن الأولية، ويرجع انتشار الزنك فى كثير من المعادن الأرضية بسبب إحلاله محل أيون الماغنسيوم أو محل أيون الحديدوز، ومع حدوث التجوية لهذه المعادن يحدث تحرر لجزء من كمية هذا العنصر إلى محلول التربة، مما يكون له تأثيره الإيجابى على تغذية النبات بهذا العنصر؛ علماً بأن الكمية الذائبة تكون قليلة جداً (٠,٠٠٢ – ٠,٢ جزء لكل مليون جزء) .

الكمية الكلية من الزنك فى الأرض :

تختلف الأراضى فى المحتوى الكلى من الزنك اختلافاً كبيراً، حيث يتراوح هذا المحتوى من ١٠ إلى ٣٠٠ جزء فى المليون، وبمتوسط عام ٨٠ جزءاً فى المليون، وبصفة عامة لا تعبر الكمية الكلية من العنصر فى الأرض على مدى حاجة النبات إلى التسميد من هذا العنصر من عدمه، حيث يتوقف ذلك على الكمية الميسرة والصالحة للامتصاص بواسطة النبات .

كمية الزنك الميسرة بالتربة:

تعتبر كلُ من الصورة الذائبة والمتبادلة ذات درجة تيسر مرتفعة للنبات، وإن كان هناك جزء قليل من الزنك غير المتبادل والموجود داخل تركيب المعادن قد لا يفى بحاجة النبات حيث يتحرر بمعدل بطئ أثناء حدوث تجوية لهذه المعادن، وبصفة عامة وفى معظم الأراضى فإن تركيز الكمية الذائبة فى المحلول الأرضى لا تتعدى أجزاء قليلة من المليون، وفى الغالب تكون أقل من واحد جزء فى المليون، وهناك عدة عوامل تؤثر على سلوك ودرجة تيسر الزنك فى الأرض وتشمل:

١ - **رقم الـ pH**: درجة تيسر الزنك تتوقف بدرجة كبيرة على pH التربة، حيث يزداد التيسر بانخفاض الـ pH، ويتضح ذلك فى الأراضى الحامضية، وعلى العكس من ذلك نجد فى الأراضى القاعدية تكون الكمية الميسرة قليلة جداً، حيث وجد أن تركيز الزنك يقل ١٠٠ مرة مع كل وحدة زيادة فى قيمة الـ pH. ويعزى ظهور أعراض النقص للزنك على النباتات النامية فى الأراضى الجيرية إلى هذا السبب بصورة أساسية، وعلى ذلك فأى عامل يؤثر على خفض أو رفع الـ pH من شأنه أن يؤثر على زيادة أو انخفاض درجة تيسر الزنك للنبات، فمثلاً إضافة الجير للأراضى الحامضية يرفع رقم الـ pH، وبالتالى يقلل من تيسر هذا العنصر، بينما الاستخدام المستمر للأسمدة ذات التأثير الفسيولوجى الحامضى مثل كبريتات الأمونيوم يؤدى إلى خفض الـ pH، وبالتالى زيادة تيسر الزنك، وفى بعض الأراضى الحامضية يزداد التيسر لدرجة وصول التركيز لدرجة السمية، وعموماً وجد أن أفضل رقم pH للتربة يكون عنده الزنك ميسر هو فى مدى من ٥,٥ - ٦,٥.

٢ - **المادة العضوية**: مع تحلل المادة العضوية بالتربة تنطلق المركبات العضوية والتى تعمل عمل المركبات المخلبية مما تزيد من تيسر الزنك، وأوضحت كثير من الدراسات بأن الأراضى الفقيرة فى المادة العضوية تعانى من نقص فى الزنك الميسر، وتزداد الكمية الميسرة فى نفس الأرض مع إضافة المادة العضوية، وقد يختلف تأثير المادة العضوية على تيسر الزنك وذلك حسب نوع المركب الناتج من التحلل والمرتبط مع الزنك، فالأحماض العضوية ذات الوزن الجزيئى المنخفض مثل حمض الفولفيك Fulvic acid تكون معقدات زنك ذائبة فى الماء، بينما المركبات ذات الوزن الجزيئى المرتفع

مثل اللجنين والمركبات التى تحوى أحماض الدباليك Humic acids تكون معقدات غير ذائبة فى الماء.. ويلاحظ أن إضافة المادة العضوية للأراضى القاعدية والجيرية يزيد من تيسر الزنك بها سواء بطريقة مباشرة أو غير مباشرة عن طريق خفض رقم الـ pH للأرض.

٣ - **كربونات الكالسيوم**: كثير من الأبحاث أوضحت بأن هناك تأثيراً سلبياً لكربونات الكالسيوم على تيسر الزنك فى التربة الزراعية، وهناك العديد من التفسيرات التى توضح هذا التأثير ومنها:

أولاً: تأثير غير مباشر وذلك لتأثير كربونات الكالسيوم على رفع رقم pH الأرض.

ثانياً: قد يحدث تفاعل بين الكربونات والزنك وخاصة فى حالة كربونات الماغنسيوم (الماغنيسيت $MgCO_3$ والدولوميت $MgCa(CO_3)_2$) وذلك بإحلال الزنك محل الماغنسيوم الموجود بهذه المركبات.

ثالثاً: حدوث ادمصاص للزنك على أسطح كربونات الكالسيوم، وبالتالى تقل الكمية الميسرة.

٤ - **تأثير قوام التربة**: الأراضى الخفيفة خشنة القوام قدرتها على ا لاحتفاظ بالزنك قليلة، وعلى ذلك فإن الأراضى الرملية يعانى النبات النامى فيها من نقص الزنك، بينما العكس فى الأراضى الطينية ناعمة القوام، ولقد وجد أن لبعض معادن الطين القدرة على ادمصاص الزنك على أسطحها، بل أكثر من ذلك فإنه قد يحدث تثبيت للزنك ويصبح فى صورة غير صالحة للنبات، فمعادن البروسيت Brucite والفيرميكيولايت Vermiculite، وأيضاً الطين المشبع بالماغنسيوم Mg-Saturated Clay تكون قدرتها على تثبيت الزنك مرتفعة بالمقارنة بمعادن المسكوفيت Mus-covite، البينتونايت Bentonite، الكاؤولينيت Kaolinite، البيروفيلليت Pyrop-hillite، والبيوتيت Biotite فإنها ذات قدرة محدودة على التثبيت، كما تلعب الأكاسيد الحرة فى الأراضى الحامضية دوراً أساسياً فى تقليل درجة تيسر الزنك فى هذه الأراضى.

٥ - **تأثير مستوى الفوسفات فى التربة**: التركيز المرتفع من الفوسفات الذائبة، سواء الموجودة أصلاً بالتربة Native phosphorus أو الناتجة من التسميد الزائد

بالفوسفات يؤدى إلى تأثير عكسى على الزنك كعنصر مغذى للعديد من المحاصيل، ويكون التضاد Antagonistic متفاقماً فى الأراضى الجيرية، وهناك عدة تفسيرات لذلك ذكرها عواد سنة ١٩٨٧ :

أولاً: قد يحدث ترسيب للزنك فى صورة فوسفات الزنك $Zn_3(PO_4)_2$ وهى مركبات قليلة الذوبان، وقد أعتبر هذا المركب هو المسئول عن نقص الزنك الميسر فى كثير من الأراضى.

ثانياً: إن قدرة الفوسفور على زيادة النمو للنبات تفوق كثيراً قدرة الزنك وهذا بالطبع يؤدى إلى انخفاض تركيز الزنك فى النبات وخاصةً فى القمة، كنتيجة لتأثير التخفيف .

ثالثاً: حدوث اضطراب حيوى داخل النبات لعدم حدوث التوازن المطلوب بين العنصرين داخل النبات، أى أن الفوسفور يشجع على ظهور أعراض نقص الزنك بسبب عدم التوازن بين نسبة الفوسفور إلى الزنك P/Zn، وهذا نتيجة اختلاف معدل حركة الزنك والفوسفور من الجذر إلى القمة.

رابعاً: فسر بعض الباحثين بأن السبب يرجع إلى تكوين معقدات بين الزنك والبروتين داخل المجموع الجذرى وأن الفوسفور يشجع على تكوين هذه المعقدات.

خامساً: حدوث إعاقة لامتصاص الزنك نتيجة لزيادة الكالسيوم فى المحلول الأرضى مع إضافة الأسمدة الفوسفاتية.

٦ - **تأثير الأسمدة الأزوتية**: أشارت نتائج كثير من الباحثين بأن إضافة الأسمدة النيتروجينية تؤدى إلى نقص الزنك الميسر للنبات، وبالتالى تظهر أعراض نقص هذا العنصر على النباتات، وهناك عدة تفسيرات منها: أن الزنك يتحد مع النترات ويتكون نترات الزنك وهو مركب عالٍ فى درجة ذوبانه فى الماء، وبالتالى يتحرك مع مياه الصرف، ويحدث غسيل للزنك من منطقة نمو الجذور، ومن جهة أخرى فإن نترات الزنك المتكونة تكون مصدراً لإمداد النبات بالزنك الميسر، أما التفسير الآخر هو قابلية النبات لتثبيت الزنك فى المجموع الجذرى وذلك عن طريق تكوين

معقدات مع البروتينات غير متحركة Immobile Zn-protein complexes، وبالتالى تتقيد حركة الزنك داخل النبات وتظهر الأعراض على النموات الحديثة، وتجدر الإشارة أن الأسمدة النيتروجينية ذات التأثير الحامضى تزيد من تيسر الزنك وذلك نتيجة لخفض رقم الـ pH والعكس مع الأسمدة القاعدية التأثير.

اختبارات التربة للزنك:

يوجد العديد من المحاليل المختلفة والتى تستخدم لاستخلاص الكمية الصالحة من عنصر الزنك والموجودة فى التربة، وأكثر المستخلصات انتشاراً مدونة فى جدول (٧ – ٣)، ويمكن استخدام أى مستخلص من هذه المستخلصات لتقدير كمية الزنك الصالحة للنبات، ولكن قد يفضل محلول معين على محلول آخر فى أرض معينة، ومثال ذلك وجد أن المستخلصات الحامضية تكون أقل نجاحاً فى أراضى المناطق الجافة وشبه الجافة والتى قد تكون جيرية غالباً، فى حين نجد أن المستخلصات الكيلاتية (المخلبية) تكون أكثر نجاحاً فى كثير من الأراضى وذلك لإمكانية ضبط رقم pH المستخلص حسب رقم الـ pH الطبيعى للتربة، وتعتبر طريقة الاستخلاص بواسط مركب DTPA من أكثر الطرق انتشاراً فى دول العالم والتى تستخدم لتقييم التربة الزراعية من حيث كمية الزنك الميسر بها.

بالنسبة للحدود الحرجة للزنك Critical Limits فى التربة وبمعنى آخر القيم المتحصل عليها من المستخلصات السابقة والتى يظهر عندها نقص الزنك فى التربة تختلف تبعاً لنوع المستخلص وحتى داخل الطريقة الواحدة تختلف القيمة حسب نوع المحصول، ويرجع ذلك لاختلاف المحاصيل فى درجة حساسيتها لهذا العنصر، بل أكثر من ذلك لنفس المحصول وبنفس الطريقة تختلف القيمة من أرض إلى أخرى وذلك لوجود العديد من العوامل التى تغير من درجة تيسر العنصر، وعلى ذلك عند تحديد القيمة الحرجة والمحددة لابد من ذكر الطريقة، نوع المحصول ونوع الأرض وفى نفس الوقت ذكر الظروف البيئية، وعموماً أظهرت كثير من الأبحاث أن القيمة الحرجة والتى يظهر عندها نقص الزنك فى معظم الأراضى ولكثير من المحاصيل هى أقل من ٠,٦ جزء فى المليون (DTPA-Zn).

جدول (٧ – ٣): الطرق المختلفة لاستخلاص الزنك الميسر بالتربة

محلول الاستخلاص	نسبة التربة (جم) إلى المستخلص (مل)	زمن الرج (دقيقة)
٠,١ N من حمض الهيدروكلوريك	٢ : ٢٠	٥
٠,٠٥ مولر من EDTA pH 7-9	١٥ : ٧٥	–
0.01% dithizone in CCL_4+ N NH_4 OAc (pH 7.0)	٢,٥ : ٢٥ ٢٥ مل من كل مركب	٦٠
٠,٠٥ N حمض هيدروكلوريك + ٠,٠٢٥ N حمض كبريتيك	٥ : ٢٠	٥
DTPA (0.005 M diethylen triamine penta acetic acid) + 0.1 M triethanolamine + 0.01 M $CaCL_2$	١٠ : ٢٠	١٢٠
٠,٠١ مولر EDTA + مولر كربونات أمونيوم (pH 8.5).	١٠ : ٢٠	٣٠
٢,٠ N كلوريد ماغنسيوم	١٠ : ٥٠	٤٥

بينما لا يكون هناك استجابة واضحة لإضافة الزنك إلى التربة إذا كان تركيز الزنك فى هذا المستخلص هو ١,٠ جزء فى المليون، بينما إذا كانت القيمة محصورة بين ٠,٥ – ١,٠ جزء فى المليون DTPA-Zn لا يكون هناك فائدة مؤكدة من إضافة الزنك للتربة.

الزنك فى النبات Zinc in Plant

الزنك من العناصر الضرورية لنمو النبات، وبالتالى فإنه يوجد فى جميع الأنسجة النباتية ويتجمع بتركيزات مختلفة فى الأجزاء المختلفة للنبات والتى يمكن ترتيبها حسب محتواها كما يلى:

الجذور > السيقان > الأوراق > الثمار

الوظائف الحيوية للزنك Biological Function

الزنك من العناصر المعدنية المهمة لتنشيط كثير من الإنزيمات والخاصة بتمثيل ثانى أكسيد الكربون CO_2. ومن أكثر الإنزيمات التى تنشط فى وجود هذا عنصر الزنك إنزيم Fructose 1.6-bisphosphatase إنزيم الـ Carbonic anhydrase والذى يشجع على تحلل حامض الكربونيك إلى ثانى أكسيد الكربون والماء، وأيضاً عدد من إنزيمات Dehydrogenases، ويمكن إيجاز أهم الوظائف الحيوية للزنك فى النبات كما يلى:

أ – ضرورى لتخليق الحمض الأمينى التربتوفان Tryptophane والذى يتحول إلى أوكسين auxin وهو عبارة عن Indole acetic acid والذى يساعد على زيادة النمو فى النبات، حيث وجد أن النباتات التى تعانى من نقص الزنك يكون تركيز الأكسين فى الجذور والبراعم قليل جداً.

ب – منشط لانزيمات Alcohal dehydrogenase - Lactic acid dehydrogenase - Glutamic acid dehydrogenase - Carboxypeptidase.

جـ – يلعب دوراً فى تخليق الأحماض النووية والبروتينات.

تركيز الزنك فى النبات Zinc Concentration in Plant

هناك مدى واضع فى تركيز الزنك داخل النباتات والذى يتراوح من إلى ٢٠ إلى ١٠٠ جزء فى المليون، وفى المادة الجافة من ١ إلى ١٠٠٠٠ جزء فى المليون، وهناك عدة عوامل تؤثر على مستوى الزنك فى النبات أهمها:

- **الجزء المأخوذ كعينة**: الأجزاء الحديثة النمو تحتوى على زنك أكثر من الأجزاء المسنة.

- **عمر النبات**: حيث يقل تركيز الزنك بزيادة النبات فى العمر.

- **التداخل بين العناصر Nutrient Interations**: عادة ما يقل تركيز الزنك بزيادة الفوسفور الميسر بالأرض؛ وأيضاً زيادة كلٍ من الحديد والمنجنيز.

يمكن القول بأن تركيز الزنك فى النبات يعكس مدى تيسر الزنك فى التربة النامى بها هذا النبات والظروف البيئية المؤثرة عليه، وعلى ذلك فاختبارات الأنسجة النباتية (تحليل العينات النباتية) تكون معبرةً عن معرفة مدى حاجة النبات إلى التسميد بالزنك من عدمه عندما تؤخذ العينات النباتية من المكان وفى الوقت المناسبان.

المستويات الحرجة للزنك فى النباتات:

تختلف حدود النقص والكفاية وأيضاً حدود السمية للزنك من نبات لآخر، وفى كثير من المحاصيل إذا انخفض التركيز إلى ٢٠ جزءاً فى المليون فى المادة الجافة يكون هناك احتمال بأن النبات عنده مشكلة نقص فى الزنك، بينما إذا انخفض التركيز إلى ١٥ جزءاً فى المليون يكون هناك نقص أكيد فى هذا العنصر.

ومن جدول (٧-٤) يجب الإشارة إلى أن حد «الكفاية» يعنى إنه عند هذا التركيز للعنصر داخل النبات تكون كمية الزنك كافية وملائمة لإعطاء أعلى محصول.

، بينما عند حدى «منخفض» و«مرتفع» يكون هناك مشكلة فى عدم اتزان الزنك مع العناصر الأخرى داخل النبات سواء بالنقص أو بالزيادة على التوالى. أما فى حالة «حد النقص» فهذا يعنى أن هناك تأثيراً على النمو، وطبيعى فإن حد «السمية» لايحتاج إلى تفسير.

وعلى ذلك يمكن تحديد ما إذا كان النبات يعانى من نقص فى عنصر الزنك من عدمه وذلك عن طريق معرفة تركيزه فى الأنسجة النباتية.

جدول (٧-٤): الحدود الحرجة للزنك في بعض المحاصيل الهامة

المحصول	مرحلة النمو	تركيز الزنك (جزء فى المليون)			
		حد النقص	منخفض	حد الكفاية	مرتفع	حد السمية
الذرة (أوراق)	النمو الخضرى	صفر – ١٠	١١–٢٠	٢١–٧٠	٧١–١٥٠	١٥٠
فول الصويا (أوراق)	النمو الخضرى	صفر – ١٠	١١–٢٠	٢١–٧٠	٧١–١٥٠	١٥٠
القمح- الشعير	٨-٣٠سم نمو	صفر – ١٠	١١–٢٠	٢١–٤٠	٤١–١٥٠	١٥٠<
القطن	النمو الخضرى	–	–	٢٠–٣٠	–	–
الأرز	النمو الخضرى	صفر – ١٠	١١–٢٠	٢١–٥٠	–	–
بنجر السكر	النمو الخضرى	صفر – ١٠	١١–٢٠	٢١–٧٠	٧٠+	–
البطاطس	–	–	صفر – ١٦	١٧–٤٠	٣٠+	–
البرسيم الحجازى	–	صفر – ٨	–	–	٩–١٤	–
الطماطم (الأوراق)	–	صفر – ١٠	١١–٢٠	٢١–١٢٠	١٢١+	–
الموالح	–	صفر – ١٥	١٦–٢٥	٢٦–٨٠	٨١–٢٠٠	٢٠٠<
التفاح (الأوراق)	–	صفر – ١٥	١٦–٢٠	٢١–٥٠	٥١+	–
العنب (السويقة)	–	–	صفر – ٣٠	٣١–٥٠	٥١+	–

عن الـ FAO سنة ١٩٨٣.

حساسية النبات للزنك

هناك اختلاف كبير بين النباتات المختلفة فى درجة حساسيتها للزنك الميسر فى التربة، فمثلاً عند تركيز معين من الزنك الميسر فى التربة قد يعانى نبات معين من نقص الزنك بينما لانجد ذلك مع نباتات أخرى عند نموها فى نفس الأرض عند نفس التركيز. حيث وجد أنه عندما كانت كمية الزنك المستخلصة من التربة بمركب DTPA هى ٠,٨ جزء فى المليون أظهرت نباتات الأرز النامية فى تلك الأرض معاناة نتيجة نقص الزنك، بينما لم تتأثر نباتات القمح النامية فى نفس الأرض (FAO) سنة ١٩٨٣ . وعلى ذلك يمكن القول بإن الأرض التى يظهر فيها أعراض نقص الزنك على نبات معين قد تكون ملائمة لمحاصيل أخرى دون مشاكل من نقص هذا العنصر، وجدول (٧-٥) يوضح درجة حاسية المحاصيل المختلفة لنقص الزنك.

أعراض نقص الزنك على النبات :

قد تظهر أعراض نقص الزنك على النبات إذا انخفض تركيز الزنك فيه عن ٢٠ جزءاً فى المليون، وطبيعى يقل التركيز فى النبات إذا افتقرت التربة النامى بها هذا النبات للكمية الصالحة من الزنك واللازمة لهذا النبات. ويمكن إيجاز العوامل المسببة لظهور أعراض نقص الزنك على النبات فى انخفاض تركيز الزنك الميسر فى التربة والمستخلص بمحلول DTPA عن ٠,٦ جزء فى المليون، وفى الأراضى ذات الـ pH المرتفع، الأراضى ذات المحتوى المنخفض والمرتفع جدا من المادة العضوية، الأراضى الرملية، والأراضى الفقيرة فى المناطق شديدة المطر، والأراضى الموجودة فى المناطق الباردة، وفى حالة إضافة كمية زائدة من الفوسفور وأخيرا الأراضى المضغوطة Compacted soil.

جدول (٧-٥): حساسية المحاصيل لنقص الزنك

محاصيل حساسة	محاصيل متوسطة الحساسية	محاصيل غير حساسة
الموالح، أشجار الفاكهة المتساقطة، البيكان، العنب، الفاصوليا، فول الصويا، الذرة، الأرز، الكتان والبصل	القطن، البطاطس، الطماطم، البرسيم الحجازى، البرسيم، بنجر السكر، الذرة الرفيعة، القمح والشعير	البسلة، الأسبرجس الجذر، الحبوب الصغير الفلف والخردل

وفيما يلى الأعراض العامة لنقص عنصر الزنك والتى يمكن تميزها ظاهراً على النبات والتى تظهر على الأوراق الحديثة أولاً نظراً لان الزنك من العناصر غير المتحركة داخل النبات.

١- تبدأ الأعراض بظهور لون أخضر باهت ثم يتحول إلى الأصفر، ثم يتطور إلي بقع يصبح لونها أبيض مع انعكاس الشمس عليها ويكون ذلك جزئياً على الأوراق السفلية المسنة مع شدة النقص، وفى بعض المحاصيل يمكن ظهور بقع بنية تشبه الصدأ.

٢- اصفرار الأوراق وظهور بقع كبيرة وعامة الأنتشار على الورق وتكون مميزة بين العروق. وغالباً ما تكون هذه الأعراض على الورقة الثانية أو الثالثة كاملة النضج من القمة.

٣- ظهور أوراق صغيرة الحجم على قمة الساق (حدوث مايعرف بظاهرة التورد).

٤- ظهور النبات متقزماً نتيجة لصغر طول السلاميات بالساق.

٥- حدوث موت للأنسجة المتأثرة بذلك يتبعها موت النبات، ويكون النبات غير مستوى فى استقامته ويتأخر النضج.

٦- تكون الثمار غير طبيعية وصغيرة الحجم مما يؤثر على المحصول. وبصفة عامة تكون

أعراض نقص الزنك واضحة تماماً على بعض المحاصيل مثل الأرز، الذرة، الموالح، العنب والتفاح. ويمكن استعراض أعراض النقص على نباتات بعض المحاصيل الاقتصادية الهامة تحت الظروف المصرية.

الموالح: يبدأ ظهور الأعراض على الأوراق الحديثة، وذلك بظهور العرق الوسطى والعروق الجانبية الرئيسية باللون الأخضر الداكن والذى يمتد مساحته إلى جانبيها أيضاً. بينما يظهر اللون الأخضر الباهت فى المساحات المتبقية بين العروق. ومن الصفات المميزة لنقص الزنك عدم تماثل مساحة نصفى الورقة. وأن الأوراق تكون أقل عرضاً وأيضاً تقل مساحة الأوراق الطرفية وتأخذ شكلاً رأسياً ويصبح طرف النصل مدبباً. وفى نفس الوقت يكون نمو الأفرع فى شكل قائم، وتقل مساحة الأوراق، وتقصر السلاميات بمقدار نقص الزنك مع تساقط كثير من الأوراق الحديثة حتى أن شكل الفرع يصبح كالمكنسة نظراً لتقارب الأوراق من بعضها نتيجة قصر السلاميات. أعراض نقص الزنك يمكن ظهورها فى معظم مزارع الموالح فى مصر، وتزداد فى مزارع الأراضى الرملية أو الخفيفة.

العنب: تتشابه هذه الأعراض إلى حد ما مع أعراض المنجنيز فى زمن ظهورها وصفاتها الأساسية، حيث تظهر الورقة باللون الأخضر الباهت مع ظهور مساحات خضراء، ووجه الاختلاف بينها مع أعراض المنجنيز هو أنها تظهر أولاً على الأوراق الطرفية للأفرع الرئيسية، وكذلك على أوراق الأفرع الجانبية التى تتكون فى الصيف. ولوحظ أن مساحة الورقة يقل بمقدار النقص فى الزنك، وأن الفصوص القاعدية لنصل الورقة تنسحب بعيداً فى اتجاه مضاد لاتجاه الساق أو عنق الورقة، ويصاحب نقص الزنك عدم تماثل نصفى الورقة فى المساحة. ومن الأعراض نقص كمية العقد وعدم انتظام حجم الثمار فى العنقود. ولوحظ ظهور أعراض نقص الزنك بشدة فى معظم مناطق زراعة العنب فى مصر.

ومن الجدير بالذكر أن أعراض نقص بعض العناصر على العنب تختلف من حيث ألوانها حسب الصنف ومدى احتوائه على الصبغات المختلفة. وأيضاً نتيجة لاختلاف الأصناف فى مدى احتياجاتها من العناصر المختلفة، وبالتالى مدى ظهور نقص كل عنصر عليها.

القمح - الشعير والأرز: تكون الأعراض مشابهة لأعراض نقص المنجنيز وذلك بشكل خطوط باهتة اللون على جانبى العروق الوسطى وتنتشر من القاعدة إلى القمة، ويظهر النبات قصيراً، وبصفة عامة تظهر على الحقل مناطق يتفاوت لونها من الأخضر الباهت إلى الأخضر المصفر.

الذرة: وتظهر الأعراض على البادرات النامية فى الأراضى المنخفضة فى محتواها من الزنك الميسر ابتداء من عمر أسبوعين. وتتمثل الأعراض فى ظهور شريط عريض من اللون الأبيض على جانبى العروق الوسطى للأوراق الحديثة، ابتداءً من القاعدة فى اتجاه القمة للورقة، ويكون هذا فى النصف الأسفل للورقة فقط. ويمكن ملاحظته على الورقة الحديثة والخارجة لتوها من محيط الأوراق، ويظل لون العرق الوسطى أخضر داكن، ويقل طول وحجم النبات، ومع تقدم النقص تظهر على الأوراق بقع طولية وغير منتظمة ذات لون رمادى تتخلل اللون الأخضر. ولوحظ ظهور هذه الأعراض فى كثير من مزارع الذرة فى مصر وخاصة الموجودة فى مناطق الاستصلاح.

الفول البلدى والفول السودانى- البرسيم ومحاصيل الخضروات البقولية: لايصل النبات إلى حجمه الكامل، وفى الأوراق العلوية الحديثة تكون المساحات بين العروق صفراء اللون، وقد يتحول اللون الأصفر إلى البنى فى الأوراق الأكبر عمراً، وتكون درجة الاصفرار أكبر، ويكون نصفا الورقة غير متماثلين فى الحجم.

القطن: يبدأ ظهورها فى الأوراق العليا الحديثة، وفى المراحل المبكرة لنمو النبات، حيث يتحول لونها إلى اللون البرونزى مع وجود بقع صفراء بين العروق التى يبقى لونها أخضر، ثم تصبح الورقة رقيقة السمك، وتنثنى حواف الورقة لاعلى مكونة شكل الفنجان. ويظهر النبات قصير نتيجة لقصر السلاميات، وتتقارب الأوراق بحيث يأخذ شكل الشجيرة. وطبيعى أن يؤثر ذلك سلبياً على تكوين الأزهار، وبالتالى اللوز ويقل المحصول؛ فى مصر لوحظ أعراض نقص الزنك فى القطن فى مناطق مختلفة فى مراحل متأخرة من العمر.

البطاطس: تظهر النباتات أصغر حجماً من الطبيعى، الأوراق الحديثة تأخذ الشكل الفنجانى حيث تنثنى حوافها لأعلى وتأخذ وضعاً رأسياً وتكون مساحتها أصغر من الطبيعى، وتقصر السلاميات.

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

نماذج لأعراض نقص الزنك على بعض النباتات صفحة ٤٧٣، ٤٧٤

الأسمدة المحتوية على الزنك

هناك العديد من المركبات المحتوية على الزنك والتى تستخدم كمصدر لتسميد النباتات النامية فى الأراضى التى تعانى من نقص هذا العنصر. وجدول (٧-٦) يوضح أهم هذه المركبات مع المعدل الأمثل لكل طريقة إضافة، علماً بأن طريقة الإضافة ونوع السماد تتوقف على عوامل كثيرة أهمها نوع الأرض، وشدة النقص ووقت الإضافة... إلخ. وطرق الإضافة متعددة وهى: الإضافة الأرضية (نثر- تكبيش)، التسميد الورقى(الرش)، تعفير البذور بمسحوق السماد أو نقع البذور فى محلول السماد، عمل جروح فى سيقان الأشجار ووضع قطعة إسفنجية مبللة بمحلول أو عجينه تحوى السماد.

ويجب الإشارة إلى أن خصائص التربة الزراعية تلعب دوراً هاماً فى اختيار نوع السماد وطريقة إضافته. ففى الأراضى الرملية وأيضاً القاعدية يفضل إضافة أسمدة الزنك بطريقة الرش وذلك لتجنب فقد كمية كبيرة منه فى الأرض الرملية عن طريق الغسيل، خاصة عند استخدام كبريتات الزنك والمعروف بدرجة ذوبانه المرتفعة فى الماء، بينما فى الأرض القاعدية تكون الكمية المُثبتة كبيرة. وعلى ذلك يفضل استخدام المركبات المخلبية فى الأراضى القاعدية والجيرية. أما بالنسبة للأراضى المُنزرعة بالأرز يفضل استخدام سماد أكسيد الزنك ZnO على كبريتات الزنك $ZnSO_4$ بالرغم من أن درجة ذوبانه أقل وذلك لحدوث اختزال للكبريتات وينتج غاز كبريتيد الأيدروجين H_2S السام.

جدول (٧-٦): مصادر الأسمدة التي تحتوي علي الزنك والمعدلات المقترحة وطرق إضافتها

مصدر السماد والنسبة المئوية للزنك به	معدلات الإضافة المقترحة (كجم زنك / هكتار)		
	الإضافة نثراً	الإضافة بالتكبيش	تسميد خضرى
كبريتات الزنك $ZnSO_4 . 7H_2O$ (23%) $ZnSO_4.H_2O$ أكسيد الزنك (36%) ZnO(60-80%	٢٠-٥	٥ - ٣	كل هذه المركبات تستخدم بمعدل من ١٥ إلى ٢٥٠ جرام زنك مزابة فى ١٠٠ لتر ماء
زنك مخلبى Chelated Zn أ- مركبات صناعية Na_2-Zn EDTA (14%) ZnHEDTA(8%) Na-ZnNTA (13%)	٢٠-٥	٥ - ٣	
ب- مركبات صناعية Zn -Lignin Sulphonate (5%) Zn-polyflavonoid (10%)	-	١ - ٠,٥	
	-	٤- ٠,٥	

الحـــديد Iron

يصنف الحديد ضمن العناصر الضرورية الصغرى بالنسبة لاحتياجات النبات إليه ولكنه يعتبر من العناصر الكبرى جيوكيميائياً. حيث يوجد ضمن مكونات القشرة الأرضية بكمية كبيرة فهو يحتل المرتبة الرابعة فى نسبته بالقشرة الأرضية (والتى قد تصل إلى حوالى ٥٪) بعد الأكسيجين والسيليكون والألومنيوم.

الحديد فى الأرض Iron in Soil

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

- فى تركيب المعادن السليكاتية والتى تعرف باسم الـ Ferromagnesian silicatesمثل الأوليفين olivine ، والهورنبلندHornblende، والبيوتيت Biotite والتى تمثل المصدر الرئيسى للحديد . وأيضاً يوجد ضمن تركيب بعض المعادن الثانوية.
- فى بعض المركبات والتى يكون فيها بتركيز مرتفع كما فى الهيماتيتFe_2O_3 الماجنيتيت Fe_3O_4وهى أكاسيد حديد وكذلك يوجد فى صورة كربونات حديدوز كما هو الحال فى مركب السيدريت $Fe_2(CO_3)_3$ وكربونات الحديديك $Fe_2(CO_3)_3$، سلفيد كما فى البيريتFeS_2 ، والليمونيت$Fe_2O_3.3H_2O$ والذى ربما يتكون كناتج من حدوث عمليتى التأدرت Hydration والأكسدة Oxidation لمركب السيدريت
- كمية قللة من الحديد الكلى الموجود بالأرض توجد على صورة متبادلة.
- يوجد الحديد ضمن مكونات بعض المواد العضوية، على هيئة معقدات أو مركبات كيلاتيه وهى مركبات مهمة من ناحية تغذية النبات.
- الحديد الذائب فى المحلول الأرضى منخفض جداً ويشمل بجانب المركبات العضوية، أيون ألحديدوز Fe^{+2}، الحديديك Fe^{+3}وأيدروكسيد الحديدوز $Fe(OH)_2$ علماً بأنه فى الأراضى جيدة التهوية قد ينعدم أيون الحديدوز.

الحديد الكلى :

يختلف الحديد عن باقى العناصر الصغرى من حيث كميته بالأرض، حيث يوجد بكمية كبيرة فى معظم أنواع الأراضى لدخوله فى التركيب الكيميائى لكثير من المعادن المكونة للقشرة الأرضية. ومن الطبيعى أن تختلف كميته من أرض إلى أخرى حسب محتوى تلك الأراضى على المعادن الحاملة لهذا العنصر، وكمتوسط عام للأراضى المختلفة يكون الحديد موجود بنسبة ٥٪ على أساس الوزن. وفى الأراضى الغنية بالحديد Ferroginous soils يتواجد الحديد بها بنسبة تفوق ١٠٪ وفى الأراضى الرملية تكون الكمية الكلية قليلة حيث تصل النسبة إلى حوالى ١٪، وتنخفض النسبة عن١٪ فى الأراضى الرملية التى تتعرض للغسيل بواسطة مياه الأمطار. وليس معنى وجود الحديد الكلى بكمية كبيرة فى أرض ما بأن النباتات النامية بتلك الأرض قد لاتعانى من نقص الحديد لأن ذلك يتوقف على الكمية الميسرة من هذا العنصر للنبات.

الحديد الميسر :

تعتبر كمية الحديد الميسرة بالأرض الزراعية قليلة جداً بالمقارنة بكمية الحديد الكلية بنفس الأرض. ويوجد الحديد الميسر (الذائب) فى المحلول الأرضى إما على هيئة صورة معدنية مثل Fe^{+2}, Fe^{+3}, $Fe(OH)_2^{+}$, $FeOH^{+2}$ أو على صورة عضوية ذائبة مثل Fe-organic complexes معقدات الحديد العضوية. ويتوقف ظهور أعراض نقص للحديد على النباتات على الكمية الميسرة والتى تتحكم فيها عدة عوامل يمكن إيجازها فيما يلى :

١- **رقم الـ pH** : تعتمد درجة ذوبان الحديد بدرجة كبيرة على pH الوسط، لدرجة أنه يحدث انخفاض فى تركيز الحديد الذائب قدره ١٠٠٠ ضعف مع كل زيادة فى الـ pH قدرها وحدة واحدة. وبالتالى يكون من الواضح أن تيسر الحديد للنبات يقل بدرجة عنيفة مع ارتفاع رقم الـ pH . وعلى ذلك يكون نقص الحديد الميسر فى الأراضى الجيرية فى الغالب نتيجة ارتفاع رقم الـpH لها حيث يصبح أيون الحديديك هو السائد. ويمكن التقليل من شدة هذا النقص بخفض الـpH بإضافة المركبات ذات التأثير الحامضى مثل الكبريت المعدنى لمثل هذه الأراضى. وعلى ذلك

يمكن زيادة صلاحية الحديد للنبات فى الأراضى القاعدية بإضافة المواد العضوية لتلك الأراضى. وعكس ذلك فى الأراضى شديدة الحموضة يمكن أن يتواجد أيون الحديدوز بتركيز مرتفع قد يصل إلى حد السمية للنباتات النامية فى تلك الأراضى.

٢- **المادة العضوية**: يزداد الحديد الميسر للنبات بوجود المادة العضوية حيث يوجود فى صورة مركبات مخلبية ذائبة فى المحلول الأرضى حتى ولو كان pH التربة مرتفعاً. وعلى ذلك يمكن القول بإن الأراضى الفقيرة فى محتواها من المادة العضوية قد تعانى من نقص الحديد الصالح للنبات.

٣- **قوام التربة**: الأراضى خشنة القوام كما هو فى حالة الأراضى الرملية والتى تحتوى أصلاً على كمية قليلة من الحديد الكلى، نتوقع أن تكون كمية الحديد الميسرة بها قليلة، وبالتالى تعانى النباتات النامية بها من نقص فى الحديد.

٤- **تأثير كربونات الكالسيوم**: بجانب تأثير كربونات الكالسيوم على رفع رقم الـ pH والذى يؤثر سلبياً على تيسر الحديد الصالح للنبات فى مثل هذه الأراضى، تلعب كربونات الكالسيوم والماغنسيوم دوراً مهماً ومباشراً فى درجة ذوبان الحديد، حيث تؤدى زيادة كمية الكربونات إلى تحويل أيون الحديدوز الذائب إلى صورة غير ذائبة كأكسيد الحديديك أو هيدروكسيد الحديديك ويتضح ذلك من المعادلات الآتية:

$$Fe^{2+} + CaCO_3 \Rightarrow FeCO_3 + Ca^{2+}$$

$$2FeCO_3 + Ca(HCO_3)_2 + O_2 \Rightarrow Fe2(CO_3)_3 + Ca(OH)_2$$

$$Fe_2(CO_3)_3 + 3H_2O \Rightarrow Fe_2O_3 + 3H_2CO_3$$

وعلي ذلك فوجود الكربونات بالأرض يشجع على نقص الحديد الميسر للنبات وبالتالى ظهور الاصفرار على النباتات النامى بها. وهناك تفسير آخر لظهور الاصفرار على النباتات النامية فى الأراضى الجيرية وهو أن السبب يرجع إلى عرقلة أيون البيكربونات HCO_3^- لامتصاص أيون الحديد وانتقاله داخل النبات، ويعتبر أيون البيكربونات ناتج طبيعى من عملية التحلل المائى لكربونات الكالسيوم كما فى المعادلة التالية:

$$CaCO_3 + CO_2 + H_2O \Rightarrow Ca^{2+} 2HCO_3^-$$

وقد فسر Mengle and Kirkby سنة ١٩٨٧، تأثير أيون البيكربونات على امتصاص الحديد بواسطة النبات، بأن امتصاص هذا الأيون يؤدى إلى رفع pH خلايا الجذور (فى الفراغات الحرة Free space) وأنسجة الأوراق وهذا يؤدى إلى ترسيب الحديد داخل النبات (الجذور)، وبالتالى تقل حركته مما يؤدى إلى ظهور الاصفرار على النموات الحديثة. وهنا يجب الإشارة إلى أن الاصفرار ليس ناتجاً من نقص الحديد الميسر بالتربة، بل نتيجة تأثير الكربونات وهو مايعرف Lime induced iron chlorosis، ويمكن التقليل من ظاهرة الاصفرار الناتج عن نقص الحديد فى الأراضى الجيرية بمراعاة مايلى:

- عدم زيادة الرطوبة الأرضية أكثر من اللازم لحدوث عملية التحلل المائى للكربونات.

-يمكن الإقلال من تأثير أيون OH^- الناتج من التحلل المائى للكربونات بزيادة نسبة ثانى أكسيد الكربون CO_2 فى الهواء الأرضى.

- يمكن إضافة بعض المركبات ذات التأثير الحامضى إلى مثل هذه الأراضى مثل الكبريت المعدنى.

٥- **محتوى الأرض من الرطوبة**: مع ارتفاع رطوبة التربة الزراعية تقل بها التهوية، وبالتالى يتأثر نمو النبات حيث يصبح ضعيفاً ويكون أكثر قابلية للتعرض لنقص الحديد وخاصة فى الأراضى الجيرية. ويشذ عن ذلك الأراضى المنزرعة بالأرز والمغمورة بالماء باستمرار حيث يحدث اختزال للحديديك ويصبح فى صورة حديدوز ذائبة وصالحة للنبات وبالتالى لاتعانى معظم نباتات الأرز من نقص الحديد. وعلي ذلك فى الأراضى الجيرية يجب الحذر من ارتفاع المحتوى الرطوبى بها وذلك بتجنب الرى الزائد حيث لوحظ ظهور الأصفرار على النباتات النامية تحت هذه الظروف نتيجة حدوث التحلل المائى لكربونات الكالسيوم.

٦- **تأثير التضاد بين الأيونات Antagonistic ions**: من الأسباب التى تؤدى إلى ظهور الاصفرار الناتج عن نقص الحديد على النباتات هو وجود أو إضافة أسمدة عناصر

معينة، حيث وجد أن زيادة الفوسفور الذائب فى التربة يقلل من امتصاص الحديد (كما هو فى حالة تأثير الفوسفور على الزنك) ويعتقد بأن الفوسفات تساعد على ترسيب الحديد فى وسط النمو وتجعله فى صورة غير صالحة للامتصاص بواسطة النبات، وهنا رأى آخر يقول بإن تأثير زيادة الفوسفات على ظهور الاصفرار الناتج عن نقص الحديد يرجع إلى زيادة نسبة الفوسفور إلى الحديد (P/Fe) داخل النبات. أيضاً نفس التأثير وجد مع زيادة Cu,Mn,Mo and Zn فى وسط النمو حيث يحدث تداخل أو تضاد مع امتصاص الحديد بواسطة النبات، وبالتالى يمكن أن تظهر أعراض نقص الحديد تحت هذه الظروف. وقد أشارت بعض الأبحاث أن زيادة مستوى التسميد النيتروجينى وخاصة إذا كان فى صورة نترات يؤدى إلى ظهور أعراض نقص الحديد، ويرتبط التداخل بين الحديد والنيتروجين بعدة آراء غالبيتها تؤكد أن إضافة الحديد مع التسميد النيتروجينى يزيد الإنتاج إذا أضيف النيتروجين فى صورة الأمونيوم NH_4^+ وذلك للتأثير الحامضى لهذا السماد والعكس مع إضافته فى صورة نترات $NO3^-$ ذات التأثير القاعدى. وأن زيادة التسميد النيتروجينى بصفة عامة يزيد النمو الخضرى وبالتالى المادة الجافة مما يسبب تخفيف تركيز الحديد فى النبات.

٧- **درجة الحرارة**: بجانب العوامل السابق ذكرها على تيسر الحديد فى التربة، وجد أن درجة الحرارة تلعب دوراً أيضاً، حيث وجد أنه مع انخفاض درجة الحرارة ينخفض معدل نمو النبات، وأيضاً يقل معدل معدنة المادة العضوية والتى تساهم بجزء أساسى من الحديد الميسر نتيجة لقلة نشاط الكائنات الدقيقة تحت هذه الظروف وبالتالى يمكن ظهور الاصفرار الناتج من نقص الحديد الميسر.

اختبارات التربة للحديد

تعتبر مستخلصات خلات الأمونيوم والمركب الكيلاتى DTPA من أكثر المحاليل انتشارا والمستخدمة لاستخلاص الحديد الصالح للنبات من التربة. ووجد أنه فى حالة احتواء التربة على ٢ جزء فى المليون حديد مستخلص بخلات الأمونيوم تعانى النباتات النامية بتلك الأرض من نقص فى هذا العنصر. فى حين يمكن القول بإن المستوى الحرج للحديد فى التربة يكون فى مدى ٢,٥ – ٤,٥ جزء فى المليون حديد فى حالة

الاستخلاص بمركب DTPA ، حيث وجد أن معظم المحاصيل تستجيب لإضافة الحديد عندما يكون تركيز الحديد المستخلص بهذا المركب ٢,٥ جزء فى المليون، بينما المحاصيل الحساسة للحديد (المحاصيل ذات الاحتياجات المرتفعة) يكون من المفيد إضافة الحديد لهذه المحاصيل عندما يكون تركيز الحديد المستخلص من التربة فى مدى ٢,٥ – ٤,٥ جزء فى المليون. وجدول (٧ – ٧) يبين أهم المحاليل المستخدمة لاستخلاص الحديد من التربة.

جدول (٧ – ٧): طرق تقدير الحديد في التربة

محلول الاستخلاص	نسبة التربة (جم) إلى المحلول (مل)	زمن الرج (دقيقة)
محلول خلات الأمونيوم قوته ١ عيارى	٢,٥ : ٥٠	٣٠
DTPA (0.005 M DTPA + 0.1 M TEA + 0.01 M $CaCL_2$) (pH 7.3)	١٠ : ٢٠	١٢٠

الحديد فى النبات Iron in Plant

الوظائف الحيوية للحديد Iron Biological Functions

نتيجة لقدرة الحديد على الدخول فى صورة معقدات كيلاتية وكذلك إمكانية تغير تكافئه أى قدرته على التأكسد والاختزال داخل النبات، فيعتبر الحديد ذا تأثيرات فيسيولوجية مهمة.

$$Fe^{2+} \Leftrightarrow Fe^{3+} + e^{-}$$

– يلعب الحديد دوراً أساسيًا وضروريًا فى نظام العديد من الإنزيمات وخاصة الإنزيمات التى تدخل أو تساعد فى عملية التنفس Haem enzyme systems والتى منها Cytochrome oxidase, Catalase, Peroxidase. ويمثل اشتراك الحديد فى تكوين هذه المركبات أهمية خاصة فى عمليات الأكسدة وهو أحد الأدوار الهامة فى

عمليات الميتابوليزم بالخلية.

- بالرغم من عدم دخول الحديد فى تركيب جزئ الكلوروفيل، إلا إنه مهم فى تخليق والحفاظ على هذه المادة الخضراء داخل النبات وعلى ذلك فنقصه يؤدى إلى ظهور الشحوب الخضرى ويظهر الاصفرارعلى النبات.
- يلعب دوراً أساسيًا فى تمثيل الأحماض النووية، والكلوروبلاست.

تركيز الحديد فى النبات :

تختلف كمية الحديد فى النباتات المختلفة، وعادة يكون تركيز الحديد فى مدى يتراوح بين ٥٠ إلى ١٠٠ جزء فى المليون. وعمومًا، تكون النباتات البقولية غنية فى محتواها من الحديد بالمقارنة بالنباتات العشبية (المراعى). وأيضًا الأجزاء النباتية المسنة يكون محتواها من الحديد أكبر من الأجزاء حديثة النمو لنفس النبات ويرجع ذلك إلى عدم حركة هذا العنصر داخل النبات. وعلى ذلك يكون من المهم مراعاة هذا عند أخذ العينات النباتية للتحليل.

الحدود الحرجة للحديد فى النبات :

بصفة عامة، إذا كان تركيز الحديد داخل أنسجة النبات أقل من ٥٠ جزء فى المليون فهذا يعنى أن هذه النباتات تعانى من نقص فى الحديد ويتضح ذلك من جدول (٧ - ٨). لكن يجب القول بأنه فى بعض الحالات يكون مستوى الحديد الكلى داخل النبات مرتفعًا ومع ذلك يظهر عليه الاصفرار Chlorosis ، ويرجع ذلك لأن النبات يستفيد من الحديد فى صورة حديدوز أكثر منه فى صورة حديديك، ولذلك يعمل النبات على اختزال الحديديك بمجرد امتصاصه إلى حديدوز. ووجد أن النباتات تختلف فيما بينها فى قدرتها على اختزال الحديديك. حيث أثبتت الأبحاث أن محتوى الأوراق الخضراء من أيون الحديدوز Fe^{2+} يفوق بكثير محتوى الأوراق التى يظهر عليها الاصفرار لنفس النبات. وعلى ذلك يمكن القول بأنه فى داخل النبات يوجد حديد نشط Active iron (Fe^{2+}) وهو الحديد الذائب وله علاقة مباشرة بتكوين الكلوروفيل وباقى العمليات الحيوية التى تحتاج إلى الحديد فى عملها، بينما الحديد الغير نشط Inactive iron (Fe^{3+}) يكون مترسبًا وليس له علاقة بالعمليات الحيوية.

يلعب المنجنيز دوراً أساسيًا فى أكسدة الحديدوز (النشط) إلى حديديك (غير نشط)، وبالتالى فزيادة المنجنيز داخل النبات يسبب الاصفرار بالرغم من أن الحديد الكلى موجود بتركيز مرتفع ويعرف ذلك بما يسمى بنقص الحديد الناتج عن زيادة المنجنيز Mn-induced iron deficiency . وأيضًا يمكن تعليل سبب ظهور الاصفرار على الأوراق Iron chlorotic leaves بالرغم من ارتفاع محتواها من الحديد الكلى إلى أن الحديد يكون مرتبطًا بأصول كيميائية داخل النبات مثل أنيونات , OH^- , $H_2PO_4^-$ HCO_3^- أو مركبات مخلبية فى خلايا الورقة، وبالتالى لا يرتبط الحديد مع المركبات العضوية التى تستخدم الحديد فى العمليات الحيوية بالخلية .

أما بالنسبة للسمية الناتجة عن زيادة الحديد فهى قليلة الحدوث بالنسبة للمحاصيل المختلفة،والتركيز المسبب لحدوث السمية غير معروف . ويشذ عن هذا النبات الأرز فى بعض مزارعه وخاصة فى الأراضى شديدة الحموضة حيث تظهر أعراض السمية بظهور اللون البرونزى Bronzing على الأوراق، ويكون تركيز الحديد أكثر من ٣٠٠ جزء فى المليون فى هذه النباتات .

جدول (٧ – ٨) : الحدود الحرجة للحديد في بعض النباتات

المحصول	الجزء المأخوذ للتحليل	تركيز الحديد (جزء في المليون)	
		حدود النقص	الحدود الطبيعية
الذرة	الأوراق الناضجة حديثًا	٢٤ – ٥٦	٥٦ – ١٧٨
الأرز	الأوراق	< ٦٣	< ٨٠
فول الصويا	السيقان (فى عمر ٣٤ يوم)	٢٨ – ٣٨	٤٤ – ٦٠
عباد الشمس	الأوراق الناضجة حديثًا	٨٠	١١٣
البرسيم الحجازى	بطول ١٥ سم من القمة	< ٣٠	٣٠ – ٤٠٠
القطن	الأوراق الناضجة حديثًا	< ٥٠	٥٠ – ٣٥٠

عن الـ (FAO) سنة ١٩٨٣ .

أعراض نقص الحديد على النبات

قد تظهر أعراض نقص الحديد والناتج عن نقص الكمية الصالحة فى التربة عندما يقل تركيزه داخل النبات عن ٥٠ جزءاً فى المليون. ويمكن ذكر الظروف التى تشجع على ظهور الأصفرار Chlorosis وهو العرض الرئيسى على النبات فيما يلى: انخفاض محتوى التربة من الحديد الصالح (الحد الحرج للحديد والمستخلص بمحلول DTPA هو فى مدى ٢,٥ – ٤,٥ ppm) – ارتفاع نسبة الكربونات فى التربة – ارتفاع مستوى البيكربونات الذائبة فى التربة وفى مياه الرى – زيادة الفوسفات الذائبة – زيادة النترات – الرى الزائد وارتفاع نسبة الرطوبة بالأرض – زيادة تركيز المعادن الثقيلة بالتربة مثل Mn , Cu , Zn وغيرها – عدم الاتزان بين نسب الكاتيونات فى النبات – التهوية السيئة – انخفاض درجة حرارة التربة – زيادة الكثافة الضوئية – معدل إضافة المادة العضوية – الإصابة بالفيروسات – إصابة الجذور بالنيماتودا أو الكائنات الأرضية الأخرى وأخيراً العوامل الوراثية للنبات.

يعتبر الحديد من العناصر غير متحركة داخل النبات وبالتالى تظهر أعراض نقصه على الأوراق حديثة النمو. وأهم الأعراض الظاهرية مايلى:

١ – أهم الأعراض المعروفة هى ظهور أصفرار على الأوراق الحديثة النمو. ويبدأ الأصفرار بظهور لون أخضر باهت ثم يتبعه ظهور اللون الأصفر وفى مناطق متداخلة على الورقة، مع بقاء العروق خضراء.

٢ – فى العديد من الحالات، ومع شدة النقص يتحول اللون الأصفر إلى اللون الأبيض مع انعكاس الشمس على الورقة.

ومن الجدير بالذكر أنه قد يحدث تشابه بين أعراض نقص الحديد والماغنسيوم وذلك لتأثيرهما على تكوين جزىء الكلوروفيل فى النبات إلا أن عنصر الماغنسيوم من العناصر المتحركة فى داخل النبات وبالتالى تظهر الأعراض على الأوراق المسنة.

وفيما يلى أعراض نقص الحديد على نباتات بعض المحاصيل الاقتصادية فى مصر:

الموالح: تظهر الأعراض على الأوراق الحديثة على شكل شبكة دقيقة التحديد من العروق الصغيرة ذات اللون الأخضر ويتخللها أنسجة ذات لون أصفر، ويظهر التعريق

بوضوح على خلفية من اللون الأخضر الباهت لنصل الورقة، ومع نمو الورقة تصبح أقل سمكًا ونصف شفافة فى حين لا ينقص حجم الورقة كثيراً، ومع شدة النقص تخرج أوراق النموات الحديثة بلون أصفر ولا تصل إلى حجمها الطبيعى وتتساقط مبكراً، وفى الحالات الشديدة تكون الأوراق الحديثة بيضاء اللون، وتموت الأوراق والأفرع المعرضة للشمس. وفى مصر لوحظ ظهور أعراض نقص الحديد فى كثير من مزارع الموالح ويكون ذلك مرتبطًا بزيادة نسبة كربونات الكالسيوم فى التربة أو فى مياه الرى، وأيضًا لوحظ زيادة فى نقص الحديد وذلك فى حالة عدم ضبط الرى.

العنب: وهنا تظهر الأعراض مبكراً مع بداية موسم النمو وذلك بتحول لون الورقة إلى اللون الأصفر أو الأبيض المصفر مع بقاء اللون الأخضر فقط محدداً لشبكة العروق. ويزداد ظهور الأعراض فى الأراضى ذات المحتوى المرتفع من كربونات الكالسيوم.

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

الذرة: يبدأ على الأوراق الحديثة بشكل خطوط خضراء تميز العروق الأساسية بدقة وبينها مساحات صفراء تماما بطول الورقة كلها وتظهر على الأوراق الطرفية أولا ومع تقدم النقص يتحول لون الورقة إلى اللون الأبيض وتموت تماماً.

الفول البلدى والفول السودانى - البرسيم ومحاصيل الخضروات البقولية: شبكة دقيقة من العروق الخضراء تظهر على خلفية صفراء اللون تماما وذلك على الأوراق الطرفية صغيرة العمر.

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

البطاطس: تظهر الأعراض على الأوراق الحديثة، وتتميز بأن قمم وحواف الوريقات

تظل خضراء لفترة أطول من باقى الورقة والتى يصبح لونها أصفر شاحب. وقد يتحول إلى اللون الأبيض مع شدة النقص وتنثنى حواف النسيج الأصفر إلى أعلى. وقد لوحظت هذه الأعراض فى بعض زراعات البطاطس فى الأراضى الرملية.

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

نماذج لأعراض نقص الحديد على بعض النباتات صفحة ٤٧٥، ٤٧٦

الأسمدة المحتوية على الحديد.

هناك عدة مصادر لمركبات الحديد والتى تستخدم كأسمدة لمعالجة نقص الحديد الميسر بالتربة الزراعية يوضحها جدول (٧-٩). وتختلف طرق إضافة هذه الأسمدة حسب نوع الأرض ونوع السماد وأيضاً حسب المحصول. حيث اتضح أن كفاءة استخدام الأسمدة المخلبية أعلى من الأسمدة المعدنية وخاصة عند إضافتها للأراضى القاعدية أو الجيرية. ويرجع ذلك لأن قوة ارتباط الأيون بالمركب المخلبى كبيرة وبالتالى يفقد الأيون قدرته على التفاعل مع المكونات الأخرى للتربة وعلى ذلك يبقى العنصر فى صورة ذائبة فى المحلول الأرضى وميسرة للنبات حتى فى الوسط القاعدى. وقد يفسر تأثير المركبات المخلبية فى زيادة صلاحية الحديد للنبات على أساس أن جذور النبات تمتص الكاتيون الغذائى من المركب المخلبى عن طريق التبادل بالتماس بين الجذر والمركب المخلبى فينتقل الكاتيون إلى الجذر وينطلق بدلاً منه أيون الأيدروجين تاركًا الجزء العضوى فى محلول التربة، وبفقد الكاتيون من المركب المخلبى يتهدم البناء الحلقى ثم يتحد المركب مرة أخرى مع كاتيونات المحلول الأرضى ومنها أيون الحديد والذى يزداد تيسره نتيجة انخفاض الـ pH الناتج من انطلاق أيون الأيدروجين ويتكون المعقد المخلبى مرة أخرى.

جدول (٧ – ٩): الأسمدة المحتوية على الحديد ومعدل استخدامها في تغذية النبات

السماد ورمزه الكيميائى	النسبة المئوية للحديد	معدل وطريقة الإضافة
المركبات المعدنية		يفضل إضافتها رشًا بتركيز
كبريتات الحديدوز	٢٠,٥	٢٪ كبريتات حديدوز
$FeSO_4. 7 H_2O$		بمعدل ٨٠ – ١٢٠ لترًا
كبريتات الحديديك	٢٠,٠	للفدان
$Fe_2 (SO_4)_3. 4H_2O$		
كبريتات الأمونيوم		
الحديدز $(NH_4)_2SO_4, FeS O_4. 6H_2O$	١٤,٠	
المركبات المخلبية		
Fe - DTPA	١٠,٠	
Fe - EDTA	١٢,٠ – ٩,٠	الحديد المخلبى يضاف رشًا
Fe - EDDHA	٦,٠	وبمعدل ٠,٥ – اكجم حديد
Fe - HEDTA	٩,٠ – ٥,٠	مخلبى / ٤٠٠ لتر للفدان.

عن الـ FAO سنة ١٩٨٣ و أبو الروس وآخرون ١٩٩٢

وأوضحت الدراسات على سلوك المركبات المخلبية Fe - DTPA (ثنائى الإيثيلين ثلاثى الأمين خماسى حمض الخليك) Fe - EDTA (الإيثيلين ثنائى الأمين رباعى حمض الخليك) Fe - EDDHA و (إيثيلين ثنائى الأمين ثنائى الفينيل هيدروكسى حامض الخليك) بالأراضى الجيرية ودرجة صلاحيتها للنبات وجد أن أعلى كمية ممتصة من الحديد بواسطة النبات كانت باستخدام Fe - EDDHA، وإن حوالى ٦٥٪ من الحديد تظل فى صورة ذائبة بالمحلول الأرضى عند استخدام نفس المركب (Lindsay) سنة

١٩٧٤ . ويستنتج من هذه النتائج بأن مركب Fe - EDDHA يكون أكثر ثباتًا فى الأراضى الجيرية عن باقى المركبات المخلبية الأخرى والتى يحل الكالسيوم محل الحديد الموجود بها مع ارتفاع رقم الـpH .

obeikandl.com

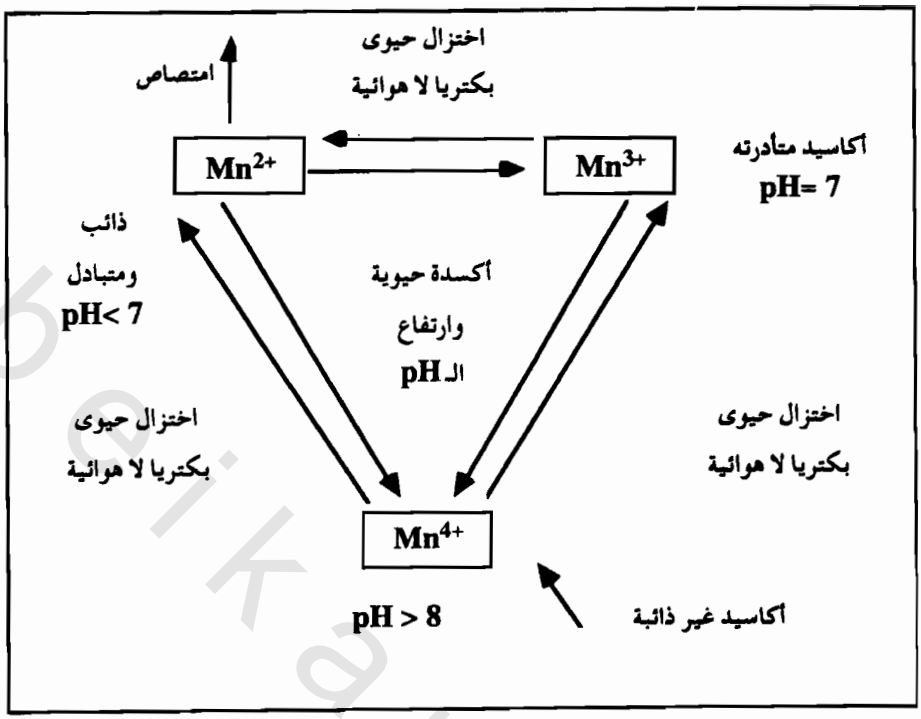
المنجنيز Manganese

المنجنيز فى الأرض Manganese in Soil

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

- مركبات ذو تركيزات مرتفعة من المنجنيز كما فى بعض المعادن الثانوية وأهم هذه المعادن البيرولوسيت (Pyrolusite (MnO_2)، المنجانيت Manganite (MnO (OH) والبرونيت Braunite (Mn_2O_3)، والهوسمنيت Hausmanite (Mn_3O_4).
- المنجنيز من العناصر متعددة التكافؤ حيث يكون ثنائيًا، رباعيًا، سداسيًا أو سباعيًا، وتعتبر الصورة الثنائية Mn^{2+} من أهم صور المنجنيز بالتربة الزراعية وذلك لكونها أفضل الصور الصالحة للامتصاص بواسطة النبات وهى تعرف بالصورة النشطة. وبحدوث الأكسدة لهذه الصورة تتحول إلى الصورة الثلاثية ثم الرباعية. وقد يوجد المنجنيز مرافق للمادة العضوية بالتربة.
- المنجنيز الثنائى التكافؤ قد يكون ذائبًا تمامًا فى المحلول الأرضى أو مدمصًا على أسطح الغرويات الأرضية سواء معدنية كما فى الأكاسيد السداسية أو عضوية.

ويوجد حالة من التوازن بين الصورة الثنائية التكافؤ والصور عالية التكافؤ، وهذا الاتزان والتغير فى التكافؤ يحكمه ظروف التأكسد والاختزال بالأرض. أيضًا يتوقف على رقم الـ pH، حيث يزداد المنجنيز الذائب Mn^{2+} بانخفاض الـ pH. بينما فى الأراضى القاعدية والأراضى جيدة التهوية يزداد وجود المنجنيز عالى التكافؤ، وشكل (٧-١) يوضح ذلك فيما يعرف بدورة المنجنيز فى التربة الزراعية.



شكل (٧-١): دورة المنجنيز في التربة

المنجنيز الكلى:

تختلف الأراضى فيما بينها اختلافًا فى محتواها من المنجنيز الكلى. فهناك أراضى يكون محتواها من المنجنيز الكلى قليلاً جداً قد يصل فى ندرته إلى آثار، بينما أراضى أخرى قد يزيد محتواها من هذا العنصر عن ١٠٪. وفى الغالب يكون متوسط تركيز الكلى ما بين ٢٠٠ – ٣٠٠ جزء من المليون. ويعتبر المنجنيز الثنائى التكافؤ قابل للحركة مما يجعله يتعرض للغسيل وخاصة فى أراضى البودزول الحامضية، وعلى هذا يقلل من محتوى الأرض من المنجنيز الكلى. وهنا يجب التذكرة بأن المنجنيز الكلى بالأرض ليس دليل على خصوبتها من هذا العنصر بالنسبة للنبات لأن ذلك يتوقف على الكمية الصالحة والموجودة فى صورة ميسرة للنبات.

المنجنيز الميسر :

من دورة المنجنيز فى الأرض نلاحظ أن الصورة الثنائية من المنجنيز هى الصورة الأكثر أهمية وذلك لعلاقتها المباشرة بتغذية النبات. وعلى ذلك فإن حالة التوازن بين الصور الثلاثة تحدد الكمية النشطة والذائبة فى محلول التربة. ويوجد عدة عوامل تؤثر على كمية المنجنيز الميسرة (الذائبة) للنبات يمكن إيجازها كما يلى :

١- **درجة الـ pH** : ارتفاع pH التربة يؤدى إلى خفض الكمية الميسرة من المنجنيز إلى الدرجة التى لا تسمح بإمداد النباتات النامية فى هذه الأراضى بحاجتها من هذا العنصر، حيث يتأكسد المزيد من المنجنيز الثنائى تحت هذه الظروف. ويتضح ذلك جليًا فى الأراضى الجيرية، حيث إن محتوى هذه الأراضى من المنجنيز الكلى كبير ولكن الكمية الميسرة منه قليلة جداً وذلك يرجع إلى ارتفاع pH هذه الأراضى. وعلى ذلك فمن المفيد استخدام الأسمدة ذات التأثير الحامضى والتى تزيد من المنجنيز الميسر نتيجة لخفضها pH التربة. كذلك هناك تأثير آخر لـ pH التربة، حيث يؤثر على نشاط الكائنات الدقيقة والتى لها دور هام فى عمليتى الأكسدة والاختزال للمنجنيز، حيث وجد أن هذه الكائنات تقوم بعملية الأكسدة عند قيم من pH حول رقم ٧ ويتحول Mn^{2+} إلى صور Mn^{3+} , Mn^{4+} غير الميسرة للنبات. وعكس ذلك فى الأراضى الحامضية، حيث يزداد تيسر المنجنيز إلى الدرجة التى قد يصبح معها تركيزه فى المحلول الأراضى سامًا مما يسبب مشاكل للنباتات النامية بتلك الأراضى.

٢- **المادة العضوية** : كما هو معروف تعمل المادة العضوية على خفض الـpH للأراضى التى تضاف إليها وبالتالى يكون من المتوقع أن يكون الوسط الحامضى هذا ملائم لحدوث عملية الاختزال وبالتالى تيسر المنجنيز للنبات، وبجانب هذا ومع تحلل المادة العضوية تنطلق بعض الأحماض العضوية ذات الوزن الجزيئى المنخفض والتى تعمل كمركب مخلبى يرتبط مع المنجنيز ويجعله فى صورة صالحة للنبات. قد تعانى النباتات النامية فى الأراضى القاعدية وذات المحتوى المرتفع من المادة العضوية

من نقص المنجنيز وذلك لأن ارتفاع pH الأرض يساعد على تكوين معقدات ثابتة للمنجنيز مع المادة العضوية مما يقلل من صلاحية هذا العنصر.

٣- **قوام التربة**: عمومًا الأراضى الرملية يكون محتواها الكلى من المنجنيز قليل، وعلى ذلك يكون من المتوقع أن يكون المنجنيز الميسر بهذه الأراضى قليل.

٤- **محتوى الأرض من الرطوبة**: نظرًا لأن المنجنيز من العناصر متعددة التكافؤ مثله مثل الحديد، فنجد أن ظروف التهوية تلعب دورًا أساسيًا فى تحديد الكمية الصالحة من هذا العنصر (Mn^{2+}). وعلى ذلك نجد أنه تحت ظروف التهوية السيئة ونقص الأكسجين تزداد كمية Mn^{2+} نتيجة لحدوث عملية الاختزال للصور العالية التكافؤ من المنجنيز، وتلعب المادة العضوية سهلة التحلل دور مهم فى زيادة هذه الكمية وذلك لأن مع تحللها تنطلق الطاقة التى تستخدمها الكائنات الدقيقة المسئولة عن عملية الاختزال. وعلى ذلك فالنباتات المائية ومن أمثلتها الأرز قد لا تعانى من نقص المنجنيز لزيادة ذوبانه تحت هذه الظروف. كما أنه فى بعض لمناطق يحدث فى وقت واحد زيادة فى كل من الكمية الميسرة نتيجة لظروف الاختزال، والكمية المفقودة من هذه الصورة نتيجة لعملية الغسيل، كما فى المناطق الرطبة الممطرة.

٥- **تأثير الأيونات المغذية الأخرى**: وجد أن هناك بعض الأيونات التى تؤثر سلبيًا على المنجنيز الممتص بواسطة النبات أى هناك ما يعرف باسم ظاهرة التضاد Antagonism بين المنجنيز وهذه الأيونات. ومن الأمثلة الواضحة فى هذا المجال التضاد مع أيون الحديد، حيث إن المستوى المرتفع من الحديد الميسر بالتربة يؤدى إلى ظهور أعراض نقص المنجنيز على النبات. ولقد أثبتت الدراسات بأن أقصى درجة لنمو النبات تحدث عندما تكون نسبة الحديد : المنجنيز Fe: Mn ratio فى وسط النمو تنحصر بين ١,٥-٢,٥. ففى حالة ارتفاع النسبة عن ٢,٥ تؤدى إلى ظهور أعراض نقص المنجنيز على النبات، بينما بانخفاض هذه النسبة عن ١,٥ تظهر أعراض السمية لهذا العنصر. ومثل الحديد، فى هذه المستويات المرتفعة من النحاس والزنك، حيث يعرقل كل منهما امتصاص المنجنيز.

٦- **العوامل المناخية**: تظهر أعراض النقص لعنصر المنجنيز على النباتات النامية فى المناطق ذات المناخ البارد، وأيضًا فى المناخ الجاف قد تعانى نقصًا فى امتصاص المنجنيز. وعلى العكس من ذلك فإن زيادة شدة الضوء تزيد من المنجنيز الممتص.

اختبارات التربة للمنجنيز:

سبق وأن ذكرنا أن الصورة الميسرة للنبات من المنجنيز هى المنجنيز الثنائى التكافؤ Mn^{++}، بالإضافة إلى الصور السهلة الاختزال من المنجنيز، كل من الصورتين تسمى بالمنجنيز النشط "Active Mn". والطرق المستخدمة لتقدير المنجنيز الميسر للنبات تقوم باستخلاص جزء من هذه الصورة النشطة (جدول ٧-١٠). يمكن تقدير المنجنيز الذائب فى التربة عن طريق الاستخلاص بالماء، ولكن عادة يكون تركيز المنجنيز فى هذا المستخلص منخفضًا جداً. وقد تكون هذه الطريقة ملائمة لاستخلاص المنجنيز من الأراضى الحامضية. وتعتبر القيمة ٢ جزء فى المليون من المنجنيز المستخلص بالماء منخفضة بالنسبة للمحاصيل الحساسة للمنجنيز، فى حين القيمة ١ جزء فى المليون لنفس المستخلص هى الحد الحرج والذى عنده تظهر أعراض نقص المنجنيز على النباتات النامية فى هذه الأراضى. أما بالنسبة لمحلول خلات الأمونيوم العيارى والمتعادل تكون الأراضى ذات محتوى منخفض من المنجنيز وتعانى النباتات النامية بها من نقص هذا العنصر إذا كانت القيمة المستخلصة ٣,٥ جزء فى المليون ، وهذه الطريقة يمكن استخدامها بنجاح فى كثير من الأراضى. وتعتبر طريقة الاستخلاص بمركب DTPA من أكثر الطرق نجاحًا فى كثير من الأراضى ولكثير من المحاصيل وتعتبر القيمة ٢ جزء فى المليون فى هذا المستخلص هى البداية لعدم استجابة المحاصيل المختلفة لإضافة المنجنيز لهذه الأرض. والمستوى الحرج للمنجنيز المستخلص بمحلول الفوسفات هى فى مدى ١٥-٢٠ جزء فى المليون، وهذه الطريقة من أحسن الطرق المستخدمة للأراضى المعدنية.

جدول (٧-١٠): طريق استخلاص المنجنيز من التربة

محلول الاستخلاص	التربة (جم) إلى المستخلص (مل)	زمن الرج (دقيقة)
الماء	١٠٠:١٠	٣٠
١ N خلات أمونيوم (pH 7.0)	١٠٠:١٠	٣٠ + ١٨٠ رج متقطع
0.2% Hydroquinone + N NH_4 خلات أمونيوم OAc (pH 7.0)	١٠٠:١٠	٣٠ + ٨٠ رج متقطع
٠,١ N حمض H_3PO_4	١٠٠:١٠	٦٠
Double acid (0.05 N HCl + 0.025 N H_2SO_4)	٢٠:٥	٥
DTPA (0.005 M DTPA + 0.1 N TEA + 0.01 M $CaCL_2$ (pH 7.3)	٢٠:١٠	١٢٠

المنجنيز فى النبات Manganese in Plant

يحتاج النبات المنجنيز بكميات قليلة؛ لأن جميع مركبات هذا العنصر ذات سمية ملحوظة للنبات إلا إذا وجدت بتركيزات قليلة جداً. وعادة يوجد المنجنيز بكميات وفيرة داخل الأجزاء النشطة فسيولوجيًا من النبات وخاصة الأوراق، والمنجنيز من العناصر غير المتحركة داخل النبات، وبالتالى إعادة توزيع هذا العنصر بين الأجزاء المختلفة داخل النبات قليلة جداً. يساهم المنجنيز فى العديد من العمليات الحيوية داخل النبات والتى تؤدى إلى زيادة الإنتاج وتحسن من جودته فى كثير من المحاصيل الزراعية، حيث يقوم بدور العامل المساعد الأساسى أو الثانوى فى حياة النبات، وهو يلعب دوراً مباشراً فى عمليات التأكسد والاختزال وخاصة بالنسبة لمركبات الحديد، حيث يمثل المنجنيز أحد العوامل المسببة لظهور الأصفرار الناتج عن نقص الحديد، ويرجع ذلك لتحول الحديدوز إلى حديديك وهذه الصورة تعتبر خاملة من الوجهة الفسيولوجية.

وينشط المنجنيز كثير من الإنزيمات مثل الديهيدروجينيز والكربوكسيليز، وقد ينشط بعض إنزيمات الهيدروجينيز والكربوكسيليز والتى ينشطها الماغنسيوم ولكنه لا يقوم

بنفس العمل بالنسبة للإنزيمات التى ينشطها بعض الكاتيونات الأخرى. وللمنجنيز علاقة بتكوين الكلوروفيل، حيث تتأثر البلاستيدات الخضراء بنقص المنجنيز. كذلك وجد أن المنجنيز ضرورى لانشطار جزىء الماء أثناء عملية التمثيل الضوئى (Hill's reaction) كما فى المعادلة، حيث يقوم بأكسدة جزىء الماء فى وجود الضوء والكلوروفيل إلى أيونات الأيدروجين والأكسجين ثم تختزل أيونات المنجنيز باستقبالها لأيونات الأيدروجين. أيضًا يلعب المنجنيز دورًا هامًا فى تمثيل النيتروجين داخل النبات.

$$2H_2O + 4\ Mn^{4+} \Rightarrow 4H+ + O_2 + 4Mn^{3+}\ 4e$$

تركيز المنجنيز فى النبات:

يختلف المنجنيز عن باقى العناصر الصغرى من حيث اختلاف تركيزه بالنبات، حيث وجد أن هناك اختلافات كبيرة فى تركيز المنجنيز داخل النباتات المختلفة وليس هذا فقط، بل أيضًا بين النباتات داخل النوع الواحد. والتركيز العادى لهذا العنصر بالنباتات يكون فى مدى ٢٠ إلى ٥٠٠ جزء فى المليون فى المادة الجافة ويتضح ذلك من جدول (٧-١١). عادة يقل تركيز المنجنيز داخل النبات مع زيادة عمر هذا النبات، كذلك وجد أن تركيز المنجنيز بالنبات يرتبط برقم pH بالتربة النامى بها هذا النبات، حيث يقل التركيز مع ارتفاع الـ pH بالتربة. وعلى هذا نجد أن الحدود الحرجة لهذا العنصر تختلف من نبات إلى آخر كما فى جدول (٧-١١)، ومن هذا الجدول نجد أنه عند انخفاض التركيز عن ٢٠ جزءًا فى المليون فى كثير من النباتات تظهر أعراض نقص المنجنيز. بينما تظهر أعراض السمية على النبات إذا زاد التركيز عن ٥٠٠ جزء فى المليون، ويشذ عن ذلك نبات الأرز، حيث وجد أن هذا النبات شديد التحمل لزيادة المنجنيز فى وسط النمو حتى إذا وصل التركيز إلى ٢٥٠٠ جزء فى المليون، كما وجد أيضًا أن هناك علاقة بين كل من أعراض النقص والسمية بعنصر المنجنيز والتى تظهر على النبات بمحتوى هذا النبات من الحديد. فالتركيز المرتفع جدًا أو المنخفض جدًا من الحديد بالنبات مقارنة بتركيز المنجنيز يؤدى إلى ظهور أعراض النقص أو السمية بالمنجنيز على النبات بالترتيب.

جدول (٧-١١): الحدود الحرجة لتركيز المنجنيز في بعض المحاصيل

النبات	الجزء الثانى	نوع المزرعة النباتية	تركيز المنجنيز بالجزء فى المليون		
			حدود النقص	حدود الكفاية	حدود السمية
البرسيم الحجازى	القمة النباتية القمة النباتية	محلول مغذى مزرعة أرضية	< ١٠ –	– ٦٢–٢٤٠	– ٦٥١–١٩٧٠
التفاح	الأوراق	حقل	١٥	٣٠	–
الشعير	القمة النباتية	مزرعة أرضية	–	١٤–٧٦	–
فاصوليا الليما	القمة النامية	حقل	٣٢–٦٨	٢٠٧–١٣٤٠	–
الذرة	كيزان أوراق	الحقل	–	١٩–٨٤	–
القطن	القمة النامية	مزرعة أرضية	–	٢٧–٢١٦	١١٣٠–٢٩٢٠
الشوفان	القمة النامية	أرض حمضية	–	٣٠١–٣٧٠	–
البرتقال	الأوراق	الحقل	١٥	٢٥–٢٠٠	١٠٠٠
الأرز	القمة النامية	محلول مغذى	< ٢٠	–	> ٢٥٠٠
فول الصويا	القمة النامية	مزرعة أرضية	< ١٥	٣٥	–
بنجر السكر	الأوراق	الحقل	٥–٣٠	٧–١٧٠٠	١٢٥٠ – ٣٠٢٠
الطماطم	الأوراق	محلول مغذى	٥–٦	٧٠–٣٩٨	–
القمح	القمة النامية	محلول مغذى	–	١٨١–٦٢١	٣٩٥–٢٥٦١

عن الـ FAO ١٩٨٣

حساسية النباتات لنقص المنجنيز بالتربة:

تختلف النباتات فيما بينها فى درجة حساسيتها لنقص المنجنيز الميسر ويمكن تصنيفها كما يلى:

أ- نباتات عالية الحساسية لنقص المنجنيز وتشمل: الفول، الخيار، الخس، الشوفان، البسلة، الفجل، فول الصويا، الذرة الرفيعة، السبانخ، بنجر السكر، القمح، الموالح، التفاح، الخوخ، العنب والفراولة.

ب- نباتات متوسطة الحساسية لنقص المنجنيز وتشمل: البرسيم الحجازى، الشعير، الكرنب، القرنبيط، الطماطم، البطاطس، الأرز واللفت.

جـ- نباتات درجة حساسيتها منخفضة وتشمل: الإسبرجس والقطن.

أما بالنسبة لدرجة حساسية النبات لزيادة المنجنيز الذائب، يعتبر الأرز من أهم المحاصيل تحملاً، بينما البرسيم الحجازى والكرنب والقرنبيط والأناناس وبنجر السكر والطماطم ومحاصيل الحبوب والبرسيم تعتبر من المحاصيل الحساسة لزيادة المنجنيز وبالتالى تظهر عليها أعراض السمية.

أعراض نقص المنجنيز على النبات:

تبدأ ظهور الأعراض أولاً على الأوراق الحديثة النمو عند انخفاض تركيز المنجنيز فى النبات عن ٢٠ جزء فى المليون وانخفاض محتوى التربة من المنجنيز الميسر والمستخلص بمحلول DTPA عن ٢,٠ جزء فى المليون، وارتفاع محتوى الأرض من الكمية الميسرة لعناصر الحديد والنحاس والزنك.

وتكون هذه الأعراض باختصار كما يلى:

- ظهور اصفرار بين عروق الأوراق الحديثة، ثم تتميز بعد ذلك بظهور بقع بنية لانسجة ميتة منتشرة على الورقة مع بقاء عروق الورقة خضراء داكنة (أى تبدو الورقة مبقعة كلوحة الشطرنج).

- تظهر منطقة ذات لون رمادى عند قاعدة الأوراق الصغيرة ثم يتحول إلى لون مصفر وفى النهاية يتحول إلى اللون البرتقالى المصفر.

– وأعراض المنجنيز المنتشرة على نباتات الشوفان تعرف باسم البقع الرمادية Grey speck وعلى البسلة تعرف باسم نقط المستنقعات أو البقع السبخية Marsh spot وعلى قصب السكر تعرف باسم الأمراض الخطية أو الشريطية Streak disease.

وفيما يلى أعراض نقص المنجنيز على أهم المحاصيل الاقتصادية:

الموالح: تظهر الأعراض أولاً على الأوراق الحديثة فى شكل مناطق ذات لون أخضر داكن على طول العرق الوسطى والعروق الجانبية الرئيسية مع ظهور لون أخضر باهت على المساحات الموجودة بينها على نصل الورقة. وقد تمتد هذه الأعراض بسرعة إلى الأوراق الأكبر عمراً. وفى المراحل المبكرة تظهر الأعراض بشكل بقع أو نقط خضراء فاتحة غير منتظمة على حواف الورقة، ومعظم هذه البقع تأخذ شكل حدوة تتجه فتحتها نحو العرق الوسطى. ومع تطور حالة النقص يزيد عدد البقع وتأخذ لونا يتدرج من الأخضر الباهت إلى الأبيض، وتختلف أعراض نقص المنجنيز مع أعراض نقص الزنك فى عدة نقاط وهى:

– حجم الورقة لا يصغر، وشكل الفرع لا يتغير.

– نصفا الورقة يكونان متماثلان فى المساحة.

– لا يحدث قصر فى طول السلاميات.

– تظهر الأعراض المبكرة على أجزاء الشجرة المعرضة أكثر للظل.

– لا يحدث تساقط غير عادى للأوراق.

– لا يتأثر الثمرة ولا لونها وكذلك حجمها.

العنب: تظهر الأعراض أولاً على الأوراق الحديثة ولكن فى وقت متأخر عن ظهور أعراض نقص الحديد، وذلك بلون أخضر داكن حول العروق الرئيسية، بينما يكون لون باقى الورقة أخضر باهت، ولا يصحب تغير لون الأوراق أى نقص فى حجمها إلا إذا كان النقص شديداً.

القمح والشعير والأرز: يظهر فى البداية فى شكل بقع بنية، رمادى اللون على النصف القاعدى من الورقة الثالثة من أعلى. وتستطيل البقع لتتطور إلى خطوط موازية

للعروق، بينما يبقى لون طرف الورقة القمى أخضر لبعض الوقت، ومع استمرار النقص تظهر الأعراض على الأوراق الأكبر سنًا على شكل نقط بنية مخروطية الشكل تظهر مبعثرة على الربع القاعدى من الورقة.

الذرة: تظهر أعراض النقص على الأوراق فى شكل خطوط بيضاء مع بقاء التعريق أخضر، وفى حالة النقص الشديد قد تتحول هذه الخطوط إلى اللون البنى وتسقط الأوراق.

الفول البلدى والفول السودانى، البرسيم ومحاصيل الخضر البقولية: يظهر على الأوراق الصغيرة فى العمر مثل الحديد، وذلك على شكل نقط بنية - رمادية اللون ومبعثرة على خلفية ذات لون أخضر فاتح ويظل لون العروق الرئيسية أخضر، ما عدا فى حالة الفول السودانى، حيث تصفر هذه العروق.

البطاطس: تظهر الأعراض على الأوراق الحديثة فى شكل مناطق خضراء باهتة بين العروق ثم تتحول إلى اللون البنى، وتزيد منطقة اللون البنى بطول العروق مع زيادة النقص.

الطماطم: يبدأ باصفرار الأوراق العليا ويكون الاصفرار أيضًا بالعرق الرئيسى للوريقة، ويكون على هيئة بقع تظهر بقاعدة الوريقات أكثر من قمتها، ثم باشتداد النقص يتحول اللون إلى اللون البنى فى مكان الأصفرار حتى يعم الورقة كلها فتسقط أو تجف.

نماذج لأعراض نقص المنجنيز على بعض النباتات صفحة ٤٧٧ ، ٤٧٨

الأسمدة المحتوية على المنجنيز:

يتم علاج أعراض نقص المنجنيز على النباتات بإضافة أحد الأسمدة التى تحتوى على المنجنيز سواء عن طريق التربة أو عن طريق الرش وخاصة فى حالة الرغبة فى المعالجة السريعة للأعراض الظاهرة. وجدول (٧-١٢) يشير إلى أهم هذه الأسمدة المستخدمة ومعدلات استخدامها بالطرق المختلفة.

ومن الجدير بالذكر بأن الصفات الطبيعية والكيميائية للتربة ونوع السماد يلعبان دوراً أساسيًا فى تحديد طريقة الإضافة. وعلى ذلك ففى الأراضى الجيرية يفضل استخدام الأسمدة المخلبية عن الأسمدة المعدنية وذلك لقابلية المنجنيز فى الصورة الأخيرة للتأكسد وبالتالى يصبح أقل تيسراً للنبات، وفى حالة عدم توفر المركبات المخلبية يمكن استخدام المركبات المعدنية تكبيشًا بجوار النبات أو الأفضل استخدامها رشًا على المجموع الخضرى للنبات.

جدول (٧-١٢): أسمدة المنجنيز والمعدلات المقترحة حسب طريقة الإضافة

اسم السماد	الرمز الكيميائى	٪ للمنجنيز	المعدلات المقترحة للاستخدام كجم منجنيز / هكتار		
			نثر	تكبيش	رش
كبريتات منجنيز	$MnSO_4 . 3H_2O$	٢٦-٢٨	٢٢-١٣٠	٦-١١	٠,٥-٢,٠
أكسيد منجنيز	MnO	٤١-٦٨	٨٤	١١	٤-٦
منجنيز مخلبى	Mn-EDTA	١٢	-	-	٠,١-٠,٥

عن الـ FAO سنة ١٩٨٣

النحـــاس Copper

النحاس فى الأرض Copper in Soil

تختلف الأراضى فيما بينها فى محتواها من النحاس الكلى تبعاً لمادة الأصل الناشئة منها هذه الأرض نظراً لدخول هذا العنصر فى التركيب الكيميائى لبعض الصخور. ويوجد النحاس فى التربة على عدة صور:

١ – معادن كبريتيدية Sulphides وأهم هذه المعادن هو Chalcopyrite ($CuFeS_2$) حيث يعتبر المصدر الأساسى للنحاس.

٢ – معادن الأكاسيد والكربونات النحاسية ومنها Cuprite (Cu_2O) Malchite ($CuCO_3$). وهذه الصورة مع السابقة لها من الصور التى لا يمكن استخلاصها بالمستخلصات العادية ويطلق عليها النحاس غير المتحرك فى التربة (ويصنف بالنحاس فى المستودع المستقر (Cu- forms in the Lable pool) علماً بأن الجزء الأكبر من النحاس الكلى يوجد فى التركيب البلورى لمعادن التربة الأولية منها أو الثانوية.

٣ – يوجد النحاس أيضاً متبادل على أسطح الغرويات المعدنية، والصورة الأيونية المتبادلة هى Cu^{++} أو $CuOH^{+}$ ويعتبر هذا الجزء ميسر للنبات نسبياً.

٤ – يوجد النحاس فى التربة مرتبطاً مع المادة العضوية من خلال المجاميع الكربوكسيلية والفينولية أو اليهدروكسيلية مكوناً معقدات ثابتة Copper organic matter complexe وأشارت بعض الأبحاث بأن ارتباط النحاس مع حمض الفولفيك يكون مركبات سهلة الذوبان والعكس عند ارتباط هذا العنصر مع حمض الدباليك Hu-mic acid حيث تتكون مركبات غير دائبة. وعلى ذلك فمن المتوقع بأن النباتات النامية فى الأراضى العضوية سوف تعانى من نقص النحاس.

٥ – كمية قليلة جداً من النحاس الكلى الموجود فى التربة توجد فى الصورة الذائبة فى المحلول الأرضى والتى لايتعدى تركيزها فى المحلول الأرضى غالباً عن ٠,٠٠١ جزء

فى المليـون، ويرجع ذلك لأن معظم النحـاس الذائب فى المحلول الأرضى يرتبط مع المادة العضوية ويكون مركبات ثابتة. وتعتبر الصورة الأيونية Cu^{2+} هى الأكثر سيادة عند pH الأقل من ٧، بينمـا تكون السيـادة للصـورة $Cu(OH)^{+}$ فى مـحلول التـربة القاعدية.

النحاس الكلى:

سبق ذكر بأن الأراضى تختلف فيما بينها فى محتواها من النحاس الكلى، حيث تتراوح من ١٠ إلى ٢٠٠ جزء فى المليون وكمتوسط عام يكون حوالى ٥٥ جزءاً فى المليون. وتعتبر الأراضى الناشئة من الصخور النارية مثل البازلت وهى صخور قاعدية التأثير وغنية فى النحاس (تحتوى على ١٠٠ جزء فى المليون نحاس) فى حين أن الأراضى الناشئة من الصخور الحامضية التأثير مثل الجرانيت (تحتوى على ١٠ جزء فى المليون نحاس). وبصفة عامة يتأثر محتوى الأرض الكلى من النحاس بقوام الأرض، حيث وجد أن المحتوى الكلى يزداد مع زيادة كمية الحبيبات صغيرة الحجم، أى يزداد فى الأراضى ناعمة القوام. وفى الأراضى المصرية وجد أن المحتوى الكلى من هذا العنصر فى الأراضى الرسوبية يتراوح من ٢٠ إلى ٦٢ جزءاً فى المليون وفى الأراضى الجيرية كانت هذه القيمة بين ١٠-٥٠، بينما كانت فى الأراضى الرملية من ٦ إلى ١٨ جزءاً فى المليون (أبو الروس وآخرون سنة ١٩٩٢).

النحاس الميسر:

تتوقف كمية النحاس الميسر للنبات بالأرض على عدة عوامل وهى:

١ - **المخزون الكلى:** هناك ارتباط بين المحتوى الكلى من النحاس فى الأرض والكمية الميسرة للنبات. أى أنه من المتوقع زيادة هذه الكمية مع زيادة المحتوى الكلى للأرض من النحاس.

٢ - **الـ pH:** تتأثر درجة صلاحية النحاس للنبات عند الدرجات المختلفة من الـ pH، بصفة عامة تقل كمية النحاس الميسرة للنبات بارتفاع رقم الـ pH عن ٧، بينما مع انخفاض الـ pH عن ٦,٠ يزاد تيسر النحاس، وفى الأراضى شديدة الحموضة (pH أقل من ٤,٥) نجد أن الكمية الميسرة للنبات تقل مرة أخرى ويرجع ذلك إلى:

أ – يمكن أن يتحد النحاس الذائب (الميسر) مع سيليكات الألومنيوم، الفوسفات أو أيونات أخرى ذائبة.

ب – زيادة الكمية الممتصة من الأيونات الأخرى فى الأراضى الحامضية يقلل أو يعوق امتصاص النحاس.

٣ – **المادة العضوية**: فيما يتعلق بكاتيونات العناصر الصغرى Cu, Zn, Mn, Fe يعتبر النحاس أكثرهم ارتباطاً مع المادة العضوية. وهذا يفسر سبب زيادة ظهور أعراض نقص عنصر النحاس على النباتات النامية فى الأراضى العضوية كما فى أراضى البيت والملك Peat and muck soils ويرجع ذلك لقوة ارتباط النحاس مع المادة العضوية. وعادةً تكون معقدات النحاس مع المادة العضوية ذات الوزن الجزيئى المرتفع (أكثر من ٥٠٠) قليلة الذوبان بالمقارنة بمعقدات النحاس العضوية ذات الوزن الجزيئى المنخفض (أقل من ١٠٠). ونقص النحاس على النبات لايقتصر على زيادة المادة العضوية فقط، ففى المناطق الجافة يكون هناك نقص شديد فى النحاس على النبات بالرغم من أن محتوى الأرض من المادة العضوية فى هذه الحالة يكون قليل.

٤ – **قوام الأرض**: النباتات النامية فى الأراضى الرملية تعانى من نقص النحاس وذلك لقلة الكمية الميسرة حيث ترتبط الكمية الذائبة من هذا العنصر بقوام التربة، وبالتالى السعة التبادلية الكاتيونية حيث تزداد الكمية الميسرة بنعومة القوام لاحتوائها على كمية أكبر من النحاس الكلى.

٥ – **التضاد الأيونى Antagonistic**: وجد أن المستويات المرتفعة من النيتروجين أو الفوسفور تؤثر عكسياً على التغذية بعنصر النحاس، حيث تظهر أعراض نقص النحاس على النباتات النامية تحت هذه الظروف. كما أن الزيادة من عنصر الزنك الذائب فى وسط النمو يؤدى إلى ظهور نقص النحاس.

٦ – **كربونات الكالسيوم**: كما هو معروف بأن زيادة كربونات الكالسيوم فى التربة ترفع من قيمة pH التربة وبالتالى يكون لها تأثيرها غير المباشر على نقص الكمية الميسرة من النحاس، حيث يكون رقم الـ pH فى حدود ٨ وعند هذا الـ pH يحدث تفاعل كيميائى بين النحاس وكربونات الكالسيوم وتتكون كربونات النحاس القاعدة

$CaCO_3.Cu(OH)_2$ غير الذائبة وبالتالى تقلل من صلاحية هذا العنصر.

اختبارات التربة للنحاس:

يوجد العديد من الطرق المستخدمة فى تقدير مستوى النحاس الميسر فى التربة والتى يستخدم فيها محاليل استخلاص مختلفة، وسوف نتعرض لبعض هذه الطرق علما بأن نتائجها موثوق فيها للتنبؤ بمستوى النحاس الميسر فى بعض الأراضى وليست كلها. وكمية النحاس الميسر فى التربة تتأثر بعوامل كثيرة وأهمها المادة العضوية وبعض العناصر المعدنية مثل الألومنيوم والحديد، وهذا يمكن أن يفسر اختلاف نتائج الطريقة الواحدة من أرض إلى أخرى.

وتشترك كل طرق تقدير النحاس الميسر فى التربة فى أن تركيز العنصر فى المستخلص يكون منخفضاً جداً. وجدول (٧-١٣) يبين أهم الطرق المستخدمة فى هذا المجال.

جدول (٧ - ١٣) طرق استخلاص النحاس من التربة

محلول الاستخلاص	التربة (جم) إلى المحلول (مل)	زمن الرج (دقيقة)	الحد الحرج (ppm)
Citrate + EDTA*	٥ : ٥٠	٦٠	–
N NH_4 OAc (pH 4.8)	٥٠ : ١٠٠	٦٠	٠,٢
DTPA	١٠ : ٢٠	١٢٠	٠,٢
0.05 N HCl + 0.025 N H_2SO_4	٥ : ٢٠	٥	٠,٤

* لتحضير واحد لتر من المحلول يذاب ٢٠٠ جم سترات أمونيوم + ٥٠ جم Na_2-EDTA فى لتر ماء مقطر وتكون قيمة الـpH للمحلول هى ٨,٥.

النحاس فى النبات Copper in Plant .

الوظائف الحيوية للنحاس Cupper Biological Functions

يعتبر النحاس أحد مكونات بعض إنزيمات الأكسدة والاختزال ومن العناصر اللازمة للعديد من البروتينات، ودوره الأساسى يكون واضحاً فى عمل إنزيم السيتوكروم

أوكسيديز Cytochrome oxidase حيث يعتبر مكملاً لهذا الإنزيم، والإنزيم المؤكسد لحمض الإسكوربيك Ascorbic acid-oxidase وبعض الإنزيمات الأخرى مثل الفينوليز Phenolase وإنزيم الاكتيز Lactase. كذلك وجد أن أكثر من ٧٠٪ من النحاس الموجود فى النبات يتركز فى الكلوروفيل Chlorophyll مما يوضح مدى أهمية هذا العنصر فى تخليق الكلوروفيل وأيضاً يُعزز النحاس من تكوين فيتامين أ (Vitamin A) فى النبات. كذلك وجد أن النحاس يؤثر على تبادل الكربوهيدرات والبروتينات ويزيد من مقاومة النبات ضد الأمراض الفطرية.

تركيز النحاس فى النبات:

يتراوح تركيز النحاس فى النباتات المختلفة من ٥ إلى ٢٠ جزءاً فى المليون جدول (٧-١٤)، وتكون النباتات الصغيرة ذات تركيز مرتفع من النحاس ويقل التركيز مع تقدم هذه النباتات فى العمر والوصول إلى مرحلة النضج. يتوقف توزيع النحاس داخل النموات الحديثة على مدى توافر هذا العنصر فى وسط النمو، حيث يسلك النحاس مسلك العناصر المتحركة داخل النبات فى حالة الإمداد الكافى ويشابه العناصر غير المتحركة فى حالة النقص. حيث يزداد تركيز النحاس فى النموات الحديثة بالمقارنة بالنموات المسنة فى حالة توافر العنصر فى وسط النمو، بينما فى حالة النقص تحتوى هذه النموات على تركيز أقل منه فى النموات المسنة.

الحدود الحرجة للنحاس فى النبات:

الحدود الحرجة لتركيز النحاس فى النبات يوضحها جدول (٧-١٤). ومن الجدول نجد أنه بانخفاض التركيز داخل النبات عن ٤ جزء فى المليون يكون من المتوقع ظهور أعراض نقص النحاس على هذه النباتات. أما من حيث التركيز الذى يؤدى إلى ظهور أعراض السمية للنحاس على النبات فيمكن القول بأن زيادة التركيز على ٢٠ جزءاً فى المليون ربما يؤذى النبات.

حساسية النباتات المختلفة لنقص النحاس فى التربة:

تختلف النباتات فيما بينها فى درجة حساسيتها لنقص النحاس فى التربة ويمكن وصف ذلك كما يلى:

أ – نباتات حساسة لنقص النحاس: وتشمل البرسيم الحجازى، الشعير، الجزر، الخس، السبانخ، الشوفان، حشيشة السودان، بنجر المائدة، القمح والموالح.

ب – نباتات متوسطة الحساسية لنقص النحاس وتشمل الكرنب، القرنبيط، البرسيم، الخيار، الذرة، القطن، الفجل، بنجر السكر، الطماطم، الذرة السكرية، اللفت، التفاح، الخوخ، الكمثرى والفراولة.

جـ – نباتات قليلة الحساسية لنقص النحاس وتشمل الأسبرجس، الفول، البسلة، البطاطس، فول الصويا والأرز.

جدول (٧ –١٤): الحدود الحرجة لتركيز النحاس في بعض النباتات

المحصول	الجزء المأخوذ للتحليل (العينة)	تركيز النحاس بالجزء فى المليون		
		حد النقص	حد الكفاية	حد السمية
البرسيم الحجازى	قمة النبات (١٥سم)	< ١٠	١٠ – ٣٠	< ٣٠
الذرة	ورق الكوز	< ٥	٥ – ٣٠	< ٣٠
القطن	الأوراق الناضجة حديثاً	< ٨	٨ – ٢٠	< ٢٠
فول الصويا	الأوراق الناضجة حديثاً	١٠	١٠ – ٣٠	< ٣٠
الشعير	الحبوب	–	٦ – ١٢	–
الشوفان	أوراق (عمر ٦–٩ إسبوع)	< ٣	٧ – ١٢	–
القمح	السيقان	٨	٩ – ١٨	–
التفاح	الأوراق العلوية	١ – ٤	٣ – ١٢	–
البرتقال	الأوراق (عمر ٤–٦ إسبوع)	٤ – ٦	٦ – ١٦	١٧ – ٢٢
العنب	الأوراق الصغيرة	٢ – ٥	٨ – ١٠	–

أعراض نقص النحاس على النبات:

عادة تظهر أعراض نقص النحاس على النباتات النامية فى تربة تعانى من نقص النحاس الميسر بها ومن خصائص هذه التربة: أنها ذات محتوى كلى منخفض من النحاس ويكون الحد الحرج من النحاس الكلى فى الأراضى المعدنية هو أقل من ٦ جزء فى المليون، بينما ترتفع هذه القيمة كثيراً بالنسبة للأراضى العضوية حيث تصل إلى ٣٠

جزءاً فى المليون. وعلى هذا يزداد ظهور أعراض النقص فى الأراضى العضوية عنها فى الأراضى المعدنية، كما تعانى الأراضى القاعدية وخاصة الجيرية منها والأراضى الرملية الحامضية من نقص النحاس. هذا وتؤدى الإضافة الزائدة لكلٍ من النيتروجين، الفوسفور والزنك إلى ظهور أعراض النحاس على النبات.

والنحاس قد يسلك كلٍ من العناصر المتحركة وغير المتحركة داخل النبات، ويتوقف ذلك على مدى توفر هذا العنصر فى وسط النمو. وبصفة عامة فإن أعراض نقص النحاس عبارة عن تحول لون الورقة إلى اللون الأبيض مع صغر حجم الورقة وقصر المسافات بين العقد وبالتالى تقزم والتفاف النبات وتساقط الأزهار. وفى محاصيل الحبوب مثل القمح والشعير والأرز، تظهر الأعراض على شكل جفاف وموت قمة الأوراق أو أجزاء من الورقة. وتلتف الأجزاء الجافة على شكل لولب، وقد تجف الأوراق دون تغير فى لونها. وتظهر الأعراض على السنابل حيث يكون السفا غير قائم والسنابل غير ممتلئة ومشوهة. وتظهر هذه الأعراض أكثر ما يكون على النباتات النامية فى الأراضى الرملية حديثة الاستصلاح أما بالنسبة للموالح فيحدث تأخر وموت للنموات الحديثة وتظهر بثرات صمغية بين اللحاء والخشب، وإفرازات بنية اللون مائلة للاحمرار وموزعة بدون انتظام على الثمار ويتحول لونها إلى البنى القاتم عند نضج الثمار. وقد توجد جيوب صمغية فى القشرة، وفى وسط الثمار عند زوايا الفصوص كما تكون الثمار معرضة للتشقق. وعموماً فإن أعراض نقص النحاس على النبات أقل انتشاراً من بعض العناصر الصغرى الأخرى مثل الزنك، ويرجع ذلك إلى أن النحاس يدخل فى تركيب كثير من المبيدات الحشرية والفطرية والتى تستخدم بكثرة حالياً فى الزراعة.

أما من حيث أعراض السمية والتى قد تحدث بكثرة مع الاستخدام الزائد للأسمدة التى تحوى النحاس أن من استخدام المبيدات الفطرية أو الحشرية فتكون عبارة عن إصفرار Cholorsis والذى يكون مشابهة لنقص الحديد ظاهرياً. ويمكن علاج السمية بإضافة مركبات الحديد المخلبية إلى التربة أو رشاً على الأشجار.

نماذج لأعراض نقص النحاس على بعض النباتات صفحة ٤٧٩ ، ٤٨٠

الأسمدة المحتوية على النحاس :

تعتبر كل من الأراضى الرملية – الجيرية والعضوية من أكثر الأراضى تعرضا لظهور أعراض نقص النحاس على النباتات النامية بها، ويتم علاج النقص بعد تقدير الكمية الميسرة منه بالأرض وتحديد الكمية اللازمة والتى يحتاجها النبات وذلك تجنباً لإضافة أى زيادة من النحاس والتى تسبب سمية وضرر للنبات.

ويجب ذكر أن صفات كلٍ من التربة والسماد لهما دوراً هاماً فى تحديد الكمية وطريقة الإضافة للسماد (جدول ٧–١٥) . فمثلاً يفضل إضافة المركبات المخلبية للنباتات المنزرعة فى الأراضى الجيرية وذلك لقدرة تلك المركبات على الحفاظ على النحاس فى صورته الصالحة للنبات. وفى كثير من الأحيان يفضل استخدام كبريتات النحاس المائية $CuSO_4.5H_2O$ لإضافتها بالرش وذلك لقدرتها العالية على الذوبان.

جدول (٧–١٥): يبين أهم الأسمدة التي تحتوى على النحاس ومعدل إضافتها تبعاً لطريقة الإضافة

السماد	الرمز الكيميائى	٪ للنحاس	معدل الإضافة المقترح كجم نحاس / هكتار		
			نثر	تكبيش	رش
كبريتات النحاس	$CuSO_4.5H_2O$	٢٥	٦,٠ – ٣,٠	٤,٥ – ١,٤	٠,١ كجم/ ١٠٠ لتر ماء
	$CuSO_4.H_2O$	٣٥	٦,٠ – ٣,٠	٤,٥ – ١,٤	
النحاس المخلبى	$Na_2CuEDTA$	١٣	٢,٤ – ٠,٨	٠,٨ – ٠,٢	٣٠ جم/ ١٠٠ لتر ماء
	Na-CuEDTA	٩	٢,٤ – ٠,٨	٠,٨ – ٠,٢	

عن الـ FAO سنة ١٩٨٣

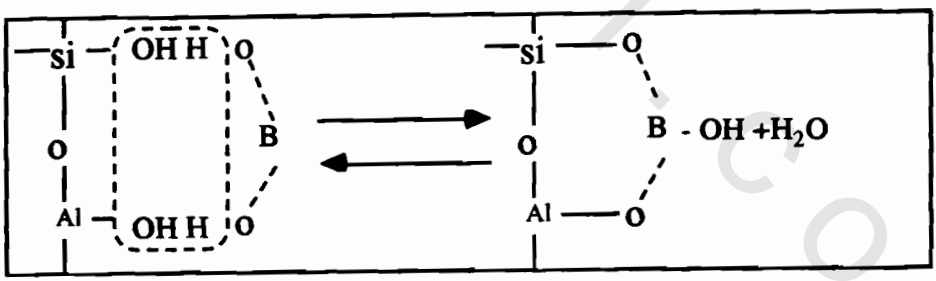
البـــورون Boron

البورون فى الأرض Boron in Soils

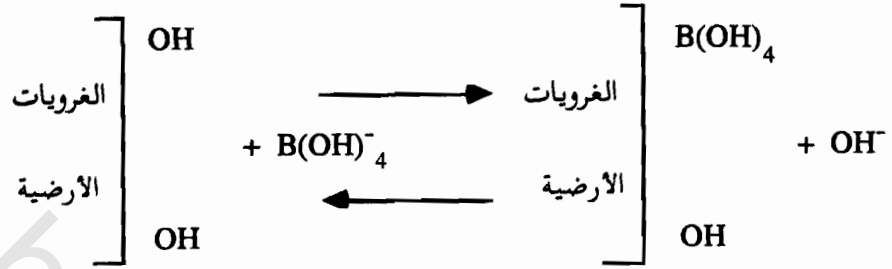
يوجد البورون فى الأرض فى عدة صور كما يلى:

١ – **المعادن الأرضية**: يدخل البورون فى تركيب كثير من المعادن الأرضية وبالتالى فهو ينتشر فى كثير من الأراضى. وأكثر المعادن السيليكاتية شيوعًا والتى تحتوى على البورون هو معدن التورمالين Florin borosilicate tourmaline ونسبة البورون به من ٣ – ٤٪، وهذا المعدن مقاوم لعمليات التجوية وبالتالى تعتبر صور البورون فى المركبات المعدنية غير ميسرة للامتصاص بواسطة النبات مباشرة ما لم يتحرر ويصبح ذائبًا فى المحلول الأرضى.

٢ – **البورون المدمص**: يُدمص البورون على أسطح الغرويات الأرضية التى تحمل شحنة موجبة سواء كان على صورة أيون بورات $B(OH)_4^-$ أو على هيئة حمض البوريك H_3BO_3 ويحدث الادمصاص على الحواف المكسورة لمعادن سيليكات الألومنيوم أو على الأكاسيد السداسية الحرة مثل هيدروكسيدات الألومنيوم والحديد. ويحدث الادمصاص لحمض البوريك كما اقترحه Sims and Bingham سنة ١٩٦٢:



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



يزداد ادمصاص البورون فى الأراضى القاعدية والجيرية بهذه الطريقة نظرًا لزيادة تكوين أنيون البورات فى مثل هذه الأراضى، وهذا يقلل من فقد البورون عن طريق الغسيل. وعمومًا يعتبر البورون المدمص مخزونًا أساسيًا للبورون فى الأرض نظرًا لوجود حالة من الاتزان بينه وبين البورون الذائب فى المحلول الأرضى حيث يمكن تبادله مع أنيونات الأيدروكسيل الذائبة فى المحلول الأرضى وبالتالى يمكن أن يعوض انخفاض تركيز البورون فى المحلول الأرضى نتيجة امتصاص النبات له.

٣ – **البورون المرتبط مع المادة العضوية:** يوجد البورون بكميات محسوسة مرتبطًا مع المادة العضوية. وقد يرتبط البورون مع المجاميع الفعالة للمواد الدبالية مثل مجموعات الكربوكسيل، والهيدروكسيل مكونًا معقدات مختلفة فى درجة ذوبانها. ويمكن أن يحدث انطلاق للبورون من هذه المعقدات بعد عملية التحلل بفعل الكائنات الدقيقة.

٤ – **البورون الذائب فى المحلول الأرضى:** وتعتبر هذه الصورة من أهم الصور من حيث درجة صلاحيتها للنبات. ويوجد البورون أساسًا على صورة حمض البوريك H_3BO_3 وهذ الحمض غير قابل للتأين فى ظروف الـ pH العادية للأراضى الزراعية؛ ولذلك يكون عرضة للفقد من الأرض عن طريق عملية الغسيل. بينما تحت ظروف الأراضى القاعدية ومع ارتفاع الـ pH يتحد حمض البوريك مع الماء ويتكون أنيون البورات المتأدرتة $B(OH)_4^-$ التى يحدث لها ادمصاص فى المواقع الموجبة الشحنة أو بالتبادل مع مجموعة OH^- على أسطح الغرويات الأرضية.

ومن الجدير بالذكر بأن هناك حالة من الاتزان بين الصور السابق ذكرها، ويعتبر توزيع البورون بين الصورة الذائبة وباقى الصور غير الذائبة ذات أهمية كبرى لأن التركيز

المنخفض يؤدى إلى ظهور أعراض النقص، بينما الزيادة النسبية منه تؤدى إلى حدوث السمية للنبات، وأن المدى ما بين حدود النقص والسمية ضيق جداً.

البورون الكلى:

يتراوح تركيز البورون فى الأراضى المختلفة بصفة عامة بين ٢ إلى ١٠٠ جزء فى المليون، بمتوسط عام ٣٠ جزءاً فى المليون. وتعتبر الأراضى الناشئة من مادة أصل حامضية (صخور حامضية التأثير) – الأراضى المتكونة بفعل ترسيبى عن مياه عذبة، وأيضاً الأراضى خشنة القوام وكذلك الأراضى الفقيرة فى المادة العضوية تكون كلها فقيرة فى محتواها من البورون الكلى. والعكس فى الأراضى الغنية بالطين الصفائحى والأراضى الرسوبية الناعمة القوام تكون ذات محتوى مرتفع من البورون الكلى. وأيضاً تكون الأراضى الجيرية والأراضى المتأثرة بالأملاح والأراضى المتاخمة للبحار (تركيز البورون فى مياه البحار ٤,٧ جزء فى المليون) ذات محتوى مرتفع من البورون. وعنصر البورون عرضة للغسيل بسهولة، وبالتالى يمكن القول بأن الأراضى الواقعة فى المناطق الجافة وشبه الجافة تكون ذات محتوى مرتفع من البورون بالمقارنة بالأراضى الواقعة فى المناطق الرطبة. وعموماً لا يعتبر البورون الكلى فى الأرض دليلاً جيداً على كمية البورون الميسر للنبات. وذلك لوجود العديد من العوامل المؤثرة على تيسر البورون.

البورون الميسر:

يعتبرالبورون المستخلص من التربة بالماء الساخن معبراً تماماً عن البورون الميسر للنبات ويتراوح تركيزه بين ٠,١ و ٣,٠ جزء فى المليون وتعتبر الأراضى الجافة ذات القيم الأعلى من هذا المحتوى. ويوجد العديد من العوامل المؤثرة على تيسر البورون ومن أهمها:

١ – **رقم الـ pH** : يوجد ارتباط بين تيسر البورون فى التربة الزراعية ورقم الـ pH لهذه التربة، حيث وجد أن البورون الذائب يزداد مع ارتفاع رقم الـ pH من ٤,٧ إلى ٦,٧ بينما تقل الكمية الميسرة بارتفاع الرقم عن ذلك فيما عدا الأراضى الصودية الملحية، وفى الأراضى الجيرية يكون تأثير الـ pH المرتفع هو المؤثر على ظهور نقص البورون على النبات النامية بها.

٢ – **المادة العضوية**: هناك ارتباط موجب بين محتوى الأرض من المادة العضوية وبين البورون الميسر للنبات، حيث يرتبط البورون بالمادة العضوية عن طريق المجاميع الفعالة مثل المجاميع الكربوكسيلية والهيدروكسيلية مكونًا معقدات عضوية مختلفة فى درجة ذوبانها، ولكن يمكن القول بأن مع تحلل هذه المواد بفعل الكائنات الأرضية الدقيقة ينطلق البورون الذائب. ويزداد تأثير المادة العضوية على تيسر البورون فى الأراضى الحامضية حيث تتكون معقدات ذائبة من البورون والمادة العضوية.

٣ – **قوام التربة**: بصفة عامة تقل كمية البورون الميسر للنبات فى الأراضى خشنة القوام سريعة النفاذية، بالمقارنة بالأراضى ناعمة القوام. ونتيجة لقلة السعة التبادلية الأيونية للأراضى الرملية وبالتالى قلة أسطح الأدمصاص للبورون فإنه يحدث فقد لهذا العنصر عن طريق الغسيل وخاصة فى الأراضى الرطبة. وفى الأراضى الطينية يلعب نوع الطين السائد دوراً مهمًا فى ادمصاص البورون، حيث وجد أن معدن الإيليت ذو قدرة مرتفعة على ادمصاص البورون يليه معدن المونتيموريللونيت وأقل هذه المعادن هو معدن الكاؤولينيت. وعمومًا يعتبر القوام ذا تأثير أقل على تيسر البورون بالمقارنة بتأثير المادة العضوية أو الـpH.

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

٥ – **تأثير العناصر الأخرى**: وجد أن هناك تضاداً Antagonises بين الكالسيوم والبورون، وعلى ذلك يقل درجة تيسر البورون فى الأراضى القاعدية، يمكن تقليل السمية بالنسبة للبورون بإضافة الكالسيوم للأراضى الغنية بالبورون الذائب.

اختبارات التربة للبورون

تعتبر طريقة تقدير البورون الميسر بالتربة بواسطة الاستخلاص بالماء المغلى أكثر الطرق انتشارا، وفيها يتم الاستلخاص بماء مغلى مع الرج لمدة ٥ دقائق وتكون نسبة التربة:

المستخلص هى ١ : ٢ . وتعتبر الأراضى المحتوية على ٠,١ – ٠,٥ جزء فى المليون بورون ذائب فى الماء الساخن ذات إمداد ملائم وكاف لنمو معظم النباتات العادية . وعند إجراء اختبارات التربة للبورون يجب مراعاة : قوام التربة حيث تحتاج النباتات فى الأراضى الطينية الثقيلة إلى كمية ميسرة من البورون أكثر منها فى الأراض الرملية الخفيفة وعلى هذا يكون الحد الحرج من البورون فى مستخلص الأراضى الطينية ذات قيمة أعلى منها بالنسبة للأراضى الرملية . أيضًا بالنسبة لرقم pH التربة فإن هناك زيادة فى امتصاص النباتات للبورون بزيادة حموضة التربة وخاصة بالقرب من المدى القاعدى علما بأن هذه الزيادة ليست متوازية مع الزيادة فى تركيز البورون المستخلص بالماء الساخن لهذه الأرض . وعلى هذا يمكن القول أنه حتى عند المستوى المنخفض من البورون المستخلص بالماء الساخن فى الأراضى الحامضية قد لا تعانى النباتات النامية بهذه الأرض من نقص البورون، فى حين أنه عند نفس القيمة من البورون الميسر فى الأراضى القاعدية وجد أن النباتات النامية بها تعانى من شدة النقص . وأخيرا تعانى النباتات من السمية نتيجة زيادة لبورون فى حالة زيادة التركيز فى مستخلص الماء الساخن عن ٥ جزء فى المليون .

البورون فى النبات Boron in Plant

على الرغم من أن احتياجات النباتات المختلفة من البورون قليلة جدًا إلا أن هناك مدى واسع بين النباتات فى الكميات المطلوبة من هذا لعنصر لها، فقد دلت بعض نتائج المزارع المائية والمزارع الرملية بأن نباتات الطماطم والجزر يمكن أن تنمو بصورة طبيعية جدًا فى وجود البورون بتركيز منخفض جدًا يصل إلى أقل من واحد جزء فى المليون . بينما قد يصل تركيز هذا العنصر فى هذه المزارع من ١٠ إلى ١٥ جزءًا فى المليون لكى تنمو نباتات أخرى مثل بنجر السكر نموًا طبيعيًا .

ويعتبر البورون مهمًا فى تغذية النبات لمساهمته فى كثير من العمليات الفسيولوجية والتى من أهمها :

أ – يساهم فى زيادة نشاط العديد من الإنزيمات، وضرورى لانقسام الخلايا .

ب – يزيد من مسامية الجدر وبالتالى يزيد من انتقال الكربوهيدرات، وعلى ذلك يحدث أقصى تراكم للنشا والسكر فى النباتات التى تحتوى على كمية غير كافية

من البورون.

جـ – يلزم فى تمثيل اللجنين وبعض التفاعلات الحيوية.

د – مهم فى تمثيل البروتين والأحماض النووية وبالتالى فإن نقص البورون الممتص يؤدى إلى تراكم النترات فى النبات.

هـ – ينظم النسبة بين الكالسيوم والبوتاسيوم فى النبات.

تركيز البورون فى النبات:

تختلف النباتات فيما بينها فى محتواها من البورون اختلافًا كبيراً. ووجد أن النباتات ذات الفلقة الواحدة يقل محتواها من البورون بالمقارنة بالنباتات ذات الفلقتين، حيث وجد أن البسلة – الكرنب – القرنبيط والخردل تكون ذات محتوى عال جزئيًا من البورون. وتختلف أجزاء النبات الواحد فيما بينها فى محتواها من البورون فتركيز البورون فى الأوراق يكون مرتفعًا عنه فى السيقان، ويكون أعلى تركيز داخل أجزاء الورقة نفسها فى حوافها. وعمومًا يقل تركيز البورون داخل النبات ككل فى مراحل نموه الأولى، بينما يظل التركيز ثابتًا تقريبًا فى معظم مراحل النمو.

الحدود الحرجة داخل النبات:

تعتبر النباتات ذات محتوى من البورون أقل من ١٥ جزءاً فى المليون فى حدود النباتات التى تعانى من نقص البورون ويقل عن ذلك الرقم النباتات أحادية الفلقة جدول (٧–١٦). ويعتبر التركيز من ١٥ إلى ١٠٠ جزء فى المليون بورون هو التركيز الملائم والكافى لنمو النبات نمواً طبيعيًا دون مشاكل خاصة بالبورون، بينما بزيادة التركيز عن ٢٠٠ جزء فى المليون فإن النباتات تعانى من السمية.

جدول (٧-١٦): الحدود الحرجة لتركيز البورون في النباتات المختلفة بالجزء في المليون

المحصول	الجزء المأخوذ للتحليل	حدود النقص	حدود الكفاية	حدود السمية
أحادية الفلقة				
الذرة	القمة النامية (٢٥) يوم	١ - ٢	٥ - ١٠	٢٥
القمح	القمة	< ٤	٥	--
الشعير	القمة	< ٨	٨ - ١٠	--
ذات الفلقتين				
البنجر	الأوراق	١٥ - ١٦	٢٧ - ٨٣	--
القطن	الأوراق	١٦	٣٠ - ٥٠	٥٥٢ -
الخس	الأوراق	--	٢٧ - ٤٣	١٦٢٥
فول سودانى	الأوراق	< ٢٥	--	٧٠ - ٨١٧
بنجر السكر	الأوراق	٤ - ٢٨	٢٥ - ٥٢	--
				--

عن FAO الـ ١٩٨٣.

أعراض نقص البورون على النبات

بصفة عامة يمكن التوقع بظهور أعراض نقص البورون على النباتات فى التربة التى تتوافر بها الخصائص التالية: إنخفاض محتواها من البورون الكلى، الأراضى الناشئة من صخور ذات أصل حامضى، الأراضى الرملية الحامضية، الأراضى ذات المحتوى المنخفض من المادة العضوية، الأراضى القاعدية والجيرية والأراضى الواقعة فى المناطق المتوسطة والغزيرة الأمطار. ومن العمليات الزراعية، الرى بالماء ذو المحتوى المرتفع من الكالسيوم وأخيراً التكثيف الزراعى.

يعتبر البورون من العناصر غير المتحركة داخل النبات، وعلى ذلك تظهر الأعراض أولاً على النموات الحديثة. وقد يتسبب نقص البورون فى ظهور عدد من الأمراض

الفسيولوجية التى تصيب النبات ومنها تعفن اللب فى بنجر السكر، التفاف الأوراق فى البطاطس، واللب البنى فى اللفت، والاسمرار فى القرنبيط. كذلك نتيجة لتأثير البورون على تمثيل البروتين فإن نقص البورون يؤدى إلى عدم تكوين البروتين وبالتالى عدم تكوين الأزهار وتأخر النضج، كذلك يعرقل تكوين السنابل وتتلون الأوراق الحديثة بلون أخضر مزرق داكن وتمتاز بزيادة سمكها وعدم انتظامها. كما يتأثر أيضًا نمو وتطور الجذور حيث تبدو سميكة – غير نظيفة ويوجد تبرقش فى قمتها.

وتختلف قدرة المحاصيل المختلفة على درجة تحمل نقص البورون فى الأرض. وأمكن تصنيف النباتات المختلفة تبعًا لقدرتها على تحمل التركيزات المنخفضة فى البورون فى الأرض إلى ثلاث مجموعات كما فى جدول (٧ – ١٧).

جدول (٧–١٧): حساسية بعض المحاصيل لنقص البورون في الأرض

نباتات حساسة	نباتات متوسطة الحساسية	نباتات عالية الحساسية
الفول، الشعير، الذرة الشوفان، البسلة، فول الصويا، البطاطس، الذرة الرفيعة، الأرز، القمح، الجريب فروت (موالح).	الكرنب، الجذر، القطن، الخس، الفجل، السبانخ، الخوخ، الكمثرى، والعنب.	البرسيم الحجازى، القرنبيط الكرفس، بنجر السكر، بنجر المائدة، اللفت، التفاح والورد.

عن الـ FAO سنة ١٩٨٣.

نماذج لأعراض نقص البورون على بعض النباتات صفحة ٤٨١ ، ٤٨٢

سمية البورون:

تعتبر الحدود الفاصلة بين التركيزات الملائمة والتركيزات التى تؤدى إلى السمية بالبورون قريبة جداً، وإن الزيادة فى تركيز البورون تؤدى إلى إعاقة النمو الطبيعى للنبات. وبزيادة تركيز البورون فى التربة يزداد امتصاصه وبالتالى ظهور أعراض السمية والتى تتمثل فى احتراق قمم الأوراق وظهور اللون الأصفر الباهت والذى ينتشر بين العروق

الجانبية متجهًا إلى العروق الوسطى. وتعتبر سمية البورون مشكلة فى الأراضى الموجودة فى المناطق الجافة وخاصة فى الأراضى الملحية الصودية والأراضى الناشئة من الترسيبات البحرية والأراضى التى يتم ريها بماء ذات محتوى مرتفع من البورون والأراضى الناشئة من مادة أصل غنية فى البورون وأخيرًا الاستهلاك الزائد من الأسمدة الحاملة للبورون. ويمكن معالجة نقص البورون فى الأرض عن طريق إضافة الأسمدة المحتوية على العنصر (جدول ٧ – ١٨).

جدول (٧–١٨): أسمدة البورون ونسبة البورون بها

المصدر	التركيب الكيميائى	النسبة المئوية للبورون
البوراكس	$N_2B_4O_7.10H_2O$	١١
تترابورات الصوديوم	Sodium tetraborate	
أ – سماد بورات ٤٦	$N_2B_4O_7.5H_2O$	١٤
ب – سماد بورات ٦٥	$N_2B_4O_7$	٢٠
حامض البوريك	H_3PO_3	١٧

وتعتبر طريقة الإضافة بالرش من أفضل الطرق لعلاج نقص البورون مع مراعاة التركيز الملائم فى محلول الرش. وقد يضاف البورون إلى الأرض وهنا يفضل أن يضاف تكبيشًا بجوار النبات عن الإضافة نثرًا. وتختلف كيمة السماد المستخدمة تبعًا لطريقة الإضافة.

أما من ناحية معالجة الزيادة من تركيز البورون فى الأرض، فإنه إذا كان مصدر هذه الزيادة هو ماء الرى فيجب استخدام مياه ذات محتوى أقل من البورون أو تخفيف المياه المرتفعة فى محتواها من هذا العنصر. كذلك يمكن زراعة بعض المحاصيل ذات درجات تحمل مرتفعة للبورون، ويمكن معالجة زيادة تركيز البورون أيضًا باستخدام الأسمدة النيتروجينية وبصفة خاصة نترات الكالسيوم حيث ثبت كفاءة هذا السماد فى معالجة سمية البورون، كذلك إضافة الجير بكمية معتدلة يساعد فى علاج آثار السمية.

المـوليبدنم Molybdenum

المـوليبدنم فى الأرض Molybdenum in Soil

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

- **المعـادن الأرضـيـة**: ومنهـا الموليـبـدنايت Powellite, Molybdenite (MoS_2) ($CoMoO_4$)، والفيروموليبدايت Ferromolybdite ($Fe(MoO_4)_3 . 8H_2O$). وأيضاً يوجد هذا العنصر فى تركيب بعض المعادن السيليكاتية ومنها الفلسبارات والميكا نتيجة حدوث عملية الإحلال المتماثل بين Mo^{4+} وAl^{3+} فى صفيحة الأوكتاهيدرا لهذه المعـادن. والموليـبـدنم الموجـود فى هذه الصـورة درجـة ذوبانه قليلة جـداً. وفى بعض الأراضى وخاصة الحمضية منها يوجد الموليبدنم مرتبط مع الأكاسيد السداسية وهذه الروابط تكون ثابتة وعلى هذا يكون الموليـبـدنم الموجود فى هذه الصورة أيضاً درجة صلاحيته للنبات قليلة جداً.

- **الموليبدنم الموجود فى صورة أنيون MoO_4^{2-}**: والموجود على أسطح حبيبات التربة (ذات الشـحنة الموجبـة)، والـMo يكون ممسوكـاً بروابط ثابتة وبالتالى تكون درجة تيسره للنبات قليلة.

- **الموليـبـدنم الموجود فى تركيب المادة العضوية**: يُصنف على أنه ذو أهمـيـة من ناحـيـة تغذية النبات.

- **الموليبدنم الذائب فى المحلول الأرضى**: كميته قليلة جداً وتتوقف على رقم الـpH للتربة حيث يزداد ذوبان هذا العنصر فى الأراضى القاعدية.

الموليبدنم الكلى :

يوجد الموليبدنم الكلى فى الأرضى فى مدى يتراوح من ٠,٦ إلى ٣,٥ جزء فى المليون وبمتوسط عام ٢,٠ جزء فى المليون. ويرجع اختلاف الأراضى فى محتواها الكلى من هذا العنصر إلى مادة الأصل التى نشأت منها هذه الأرض.

الموليبدنم الميسر :

تتأثر الكمية الميسرة من الموليبدنم بعدة عوامل وهى :

١ - **رقم pH الأرض** : بعكس باقى العناصر المغذية الأخرى يزداد تيسر الموليبدنم مع زيادة رقم الـ pH للتربة، وبالتالى يزداد تيسره فى الأراضى القاعدية عنه فى الأراضى الحامضية. ويمكن تفسير ذلك بأنه يمكن أن يحدث تبادل أنيونى فى الأرض القاعدية بين أنيون الموليبدات المدمص وأنيون الهيدروكسيل الذائب فى المحلول الأرضى لهذه الأرض كما يمثلها الرسم التالى :

$$\begin{bmatrix} MoO_4 \\ clay \\ MoO_4 \end{bmatrix} + 2\,OH \rightleftharpoons \begin{bmatrix} OH \\ OH \\ clay \\ MoO_4 \end{bmatrix} + MoO_4^{2-}$$

بينما فى الأراضى الحامضية يحدث إدمصاص له على أسطح الغرويات الأرضية وخاصة الأكاسيد السداسية للحديد والألومنيوم والتى يكون قوة الربط بها شديدة، وعلى هذا يُعتبر الإدمصاص فى هذه الحالة عملية تثبيت للموليبدنيم وإعاقة لتيسره للنبات.

٢ - **المادة العضوية** : وجدَّ أن للمادة العضوية القدرة على تكوين مركبات معقدة مع الموليبدنم Mo-OM complexes قد تحمى الموليبدنم من التثبيت والتحول إلى صورة غير ميسرة للنبات، فبحدوث عملية المعدنة للمادة العضوية يتحول الموليبدنم إلى صورة صالحة للنبات. أيضاً إضافة المادة العضوية للأرض يعزز من تيسر الموليبدنم الموجود أصلاً بالأرض Native Mo.

٣ - **قوام الأرض**: يلعب قوام التربة دوراً مهماً فى كمية الموليبدنم الميسرة للنبات، حيث وجد أن الأرض الرملية تعانى من نقص الموليبدنم وذلك لسهولة فقده من محلول التربة وذلك لعدم وجود أسطح إدمصاص لهذه الأرض. والعكس فى الأراضى ثقيلة القوام حيث يحدث إدمصاص للموليبدنيم على أسطح غرويات التربة وتختلف قدرة الأرض الطينية على إدمصاص الموليبدنم حسب نوع معادن الطين السائدة بها.

٤ - **كربونات الكالسيوم**: وجد أن كربونات الكالسيوم تلعب دوراً مهماً فى تيسر الموليبدنم للنبات وخاصة فى الأراضى الحامضية، ويفسر ذلك بتأثير كربونات الكالسيوم على رفع رقم الـpH للتربة مما يزيد من انطلاق الموليبدنم المدمص على أسطح الغرويات الأرضية إلى المحلول الأرضى.

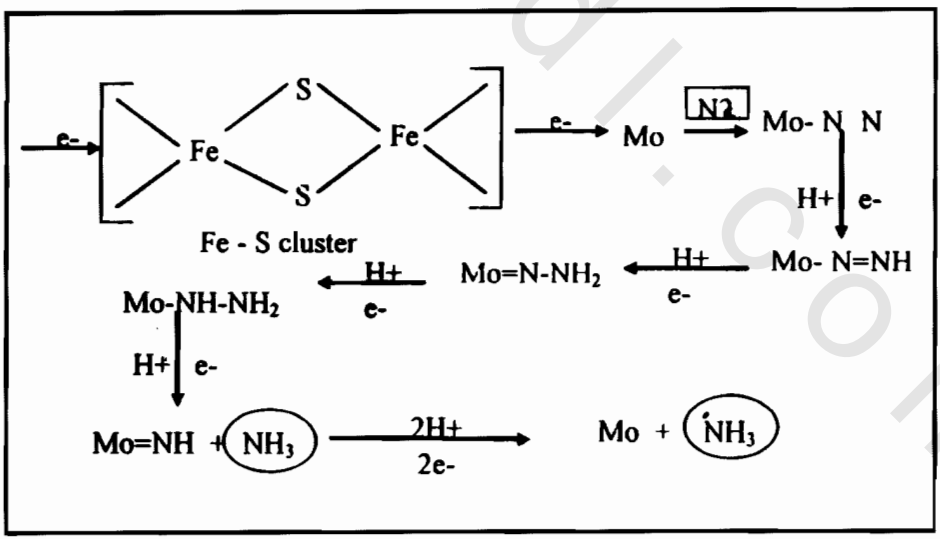
٥ - **التداخل مع الأيونات المغذية الأخرى**: يعتبر وجود الفوسفات الذائبة فى المحلول الأرضى عامل مشجع على زوبان الموليبدات وامتصاصها بواسطة النبات، وفى بعض الأحيان ترتبط سمية الموليبدنم للنبات بزيادة كميات الفوسفات الذائبة فى المحلول الأرضى. والعكس فى حالة زيادة الكبريتات الذائبة فى المحلول الأرضى حيث يحدث إعاقة لامتصاص الموليبدات بواسطة النبات ويُفسر ذلك بحدوث تنافس بين أنيون الكبريتات SO_4^{2-} وأنيون الموليبدات MoO_4^{2-} على مواقع الإدمصاص على أسطح الجذور خلال عملية الامتصاص. وهناك أيضا ظاهرة التضاد Antagonism بين الموليبدنم والنحاس، حيث إن الزيادة من النحاس الميسر يؤدى إلى خفض الكمية الممتصة من الموليبدنم بواسطة النبات، وأمكن معالجة السمية الناشئة عن الموليبدنم بإضافة النحاس إلى التربة. وأخيراً فإن الزيادة من أكسيد الحديديك Fe_2O_3 تسبب نقصاً فى الموليبدنم الميسر للنبات.

٦ - **رطوبة التربة**: يزداد الموليبدنم الميسر للنبات فى التربة بزيادة رطوبة تلك الأرض.

الموليبدنم فى النبات Molybdenum In Plant

ويوجد هذا العنصر بكميات قليلة جداً فى النبات بالمقارنة بالعناصر المغذية الأخرى، وهذا يدل على أن احتياجات النبات من الموليبدنم تكون قليلة وهذا لا ينفى ضروريته للنبات. حيث يلعب هذا العنصر دوراً مهماً فى تمثيل النيتروجين فى النبات ويرجع ذلك لأن نيتروجين النترات موجود فى درجة عالية من التأكسد NO_3^-، فى حين أن الأحماض

الأمينية والمركبات العضوية الأخرى تحتوى على النيتروجين فى درجة عالية من الاختزال. وبالتالى فاختزال النيتروجين هو إحدى خطوات تخليق الأحماض الأمينية والمركبات النيتروجينية الأخرى فى حالة ما إذا كانت النترات هى مصدر النيتروجين. ويتمثل دور الموليبدنم فى اختزال النترات بواسطة إنزيم النيتروجينيز Nitrogenase وإنزيم Nitrate reductase فى إنه يعمل كعامل مساعد لهذه الإنزيمات، حيث يحتوى كل جزىء من إنزيم النيتروجينيز على ذرتين موليبدنيم والتى تكون مرافقة للحديد (من ٢٤ – ٣٦ ذرة حديد لكل جزىء إنزيم)، وبعض هذه الإنزيمات تكون عناقيد من الحديد والكبريت 4Fe - 4S cluster كما فى الفيرودوكسين Ferredoxin، كما يوضحها شكل (٧-٢) عن (Marschner) سنة ١٩٩٥. ويدخل الموليبدنم فى عملية الاختزال للنيتروجين مباشرة، فى حين يكون الحديد ناقل للإلكترونات. وعلى ذلك يعتبر هذا العنصر عامل مساعد فى تثبيت النيتروجين N_2 إلى NH_3 ومن هنا يكون الموليبدنم عنصراً مهما للنباتات البقولية والبكتريا المثبتة للنيتروجين. وبالتالى يمكن القول بأن احتياج النبات للموليبدنيم يزداد فى حالة زيادة التسميد النتراتى، كذلك وجد أن الموليبدنم يلعب دوراً فى تكوين حمض الأسكوربيك.



شكل (٧-٢): دور للموليبدنم في اختزال النيتروجين إلي أمونيا

ويلاحظ من التخطيط أن الموليبدنم يرتبط بالنيتروجين العنصرى ثم يتم اختزاله على عدة مراحل مع التغذية المستمرة بالإلكترونات، وفى النهاية يتكون جزىء الأمونيا.

تركيز الموليبدنم فى النبات:

يختلف تركيز الموليبدنم اختلافاً كبيراً بين النباتات المختلفة. فهناك بعض النباتات يكون تركيز هذا العنصر فى الأجزاء الخضرية بها أقل من واحد جزء فى المليون ومنها البرسيم الحجازى (٠,٣٤)، الشعير (<٠,٠٣)، الفول (٠,٤) والطماطم (٠,٧٨). وهناك نباتات يكون تركيز الموليبدنم مرتفعاً فى أوراقها ومنها القطن (١١٣ جزءاً فى المليون)، وبصفة عامة يكون التركيز فى معظم النباتات منحصر بين ٠,١ و٢,٠ جزء فى المليون. ويجب التذكر بأن الجزء النباتى المأخوذ كعينة نباتية لتقدير الموليبدنم يكون ذات أهمية كبرى نتيجة لاختلاف تركيز هذا العنصر فى الأجزاء المختلفة لنفس النبات، فمثلاً وجد أن أوراق النبات تحتوى على كمية أكبر من الموليبدنم بالمقارنة بالسيقان لنفس النبات، وأكثر من ذلك نجد أن منتصف الورقة حول العرق الأوسط (منطقة دعامة الورقة) كذلك حواف الورقة تحتوى على كميات أكبر من الموليبدنم بالمقارنة بباقى أجزاء نفس الورقة.

الحدود الحرجة للموليبدنيم فى النبات:

على الرغم من اختلاف تركيز الموليبدنم فى الأنواع المختلفة من النباتات، لكن يمكن القول فإن هذه النباتات تستجيب للمعاملة بهذا العنصر إذا كان تركيزه داخل النبات أقل من ٠,١ جزء فى المليون (وهو حدود النقص داخل النبات). ويمكن للنباتات أن تتحمل التركيز المرتفع من هذا العنصر، ولكن زيادة التركيز فى نباتات العلف عن ١٥ جزءاً فى المليون يؤدى إلى حدوث مشاكل صحية مع الحيوانات التى تتغذى على تلك الأعلاف ويسبب ظهور مرض يسمى "Molybdenosis" أو Teat disease.

أعراض نقص الموليبدنم على النباتات:

بما أن الموليبدنم يدخل فى صميم عمليات ميتابوليزم النيتروجين N- metabolism داخل النبات، فعلى ذلك تكون أعراض نقص هذا العنصر مشابهة لأعراض نقص النيتروجين، وهذا التشابه مع أعراض نقص النيتروجين يكون واضحاً فى النباتات

البقولية، فبنقص الموليبدنم من وسط نمو تلك النباتات يؤثر على كمية النيتروجين المثبتة بواسطة البكتريا الموجودة فى العقد الجذرية بجانب تأثيره على عملية اختزال النترات داخل النبات. ونقص الموليبدنم يؤدى إلى إعاقة النمو الطبيعى للنبات، والأوراق تصبح شاحبة اللون وفى النهاية يحدث الذبول لتلك الأوراق. كذلك يسبب نقص هذا العنصر مرض البقع الصفراء "Yellow spot" فى الموالح ومرض الذيل السوطى "Whip tail" فى العائلة الصليبية، وتظهر الأعراض بوضوح على نبات القرنبيط فى التواء الأوراق ضد عقرب الساعة Counter clockwiss ونمو غير طبيعى لعروق الأوراق ويعجز النبات عن تكوين رؤوس القرنبيط.

نماذج لأعراض نقص الموليبدنم على بعض النباتات صفحة ٤٨٣، ٤٨٤

حساسية النباتات لنقص الموليبدنم فى الأرض:

تختلف نباتات فيما بينها فى درجة حساسيتها لنقص هذا العنصر فى الأرض، حيث تعتبر نباتات العائلة الصليبية والبقولية من أكثر النباتات احتياجاً للموليبدنيم حيث تتأثر بنقص الموليبدنم فى التربة. بينما نباتات الحبوب تنمو نمواً طبيعياً تحت هذه الظروف من نقص هذا العنصر. وجدول (٧-١٩) يبين مدى اختلاف النباتات فى درجة الحساسية لنقص الموليبدنم فى الأرض.

جدول (٧-١٩): حساسية بعض المحاصيل لنقص الموليبدنم

درجة الحساسية	المحصول
منخفضة	الشعير- الفول- الجذر- الكرفس- الذرة- القطن- البطاطس- الذرة الرفيعة- الأرز- القمح- التفاح- الخوخ والعنب
متوسطة	البرسيم الحجازى- الكرنب- الشوفان- فول الصويا- الفجل- بنجر السكر- بنجر المائدة- الطماطم- اللفت والموالح
عالية	القرنبيط- البرسيم- الخس والسبانخ

ولعلاج نقص الموليبدنم فى التربة هناك العديد من المركبات المستخدمة كمصدر للموليبدنيم يبينها جدول (٧-٢٠).

جدول (٧-٢٠): أهم المركبات السمادية المستخدمة كمصدر للموليبدنم

المصدر	التركيب الكيميائى	٪ للموليبدنم
موليبدات الصوديوم	$Na\ MoO_4.2H_2O$	٣٩
موليبدات الامونيوم	$(NH4)_6\ Mo_7O_{24}.4H_2O$	٥٤
ثالث اكسيد الموليبدنم	MoO_3	٦٦

ومن ناحية طريقة ومعدل إضافة الأسمدة التى تحوى على الموليبدنم فهى تختلف حسب نوع التربة وقدرتها على تثبيت هذا العنصر كذلك على نوع المحصول نفسه. والطرق المستخدمة هى الإضافة الأرضية وفيها يضاف الموليبدنم بمعدل ٧٠ إلى ٢٠٠ جرام موليبدنم/ هكتار، وهذا المعدل كاف لمحاصيل العلف والبقوليات والعديد من محاصيل الحقل، بينما هناك بعض محاصيل الخضر ومنها القرنبيط يحتاج إلى زيادة هذا المعدل إلى ٤٠٠ جرام/ هكتار. وتعتبر الإضافة بالرش من الطرق الفعالة وخاصة فى حالة الأراضى ذات القدرة العالية على تثبيت الموليبدنم، وفى هذه الطريقة يتم عمل محلول من الملح المحتوى على الموليبدنم بتركيز من ٠,١ - ٠,٣٪. ومن الطرق الفعالة فى إضافة الموليبدنم طريقة معاملة البذور بكمية من العنصر المحدد إضافتها لوحدة المساحة والتى عادة تكون بمعدل ٥٠ - ١٠٠ جرام/ هكتار، حيث يتم توزيع هذه الكمية الصغيرة والمجهزة فى صورة سائل أو عجينة خفيفة بطريقة متجانسة على كل البذور التى سوف تُستخدم كتقاوى.

الكلـورين Chlorine

الكلورين فى الأرض Chlorine in Soil

لا يرتبط وجود الكلورين فى الأرض بوجود الغرويات الأرضية وصور تواجده فى التربة هى :

- الغالبية العظمى منه توجد فى صورة أيونية Cl^- ولذلك يكون على درجة عالية من الذوبان وبالتالى يكون عرضة للفقد بالغسيل بدرجة كبيرة.
- يتواجد الكلورين داخل بعض المركبات العضوية فى الأرض.

محتوى الأرض من الكلورين

عادة تتراوح كمية الكلورين Cl^- الذائبة فى الماء ١٠٠ - ١٠٠٠ كجم/ هكتار. ويحدث تراكم للكلوريد فى الأراضى المتأثرة بدورة مياه البحار. أى أنه من المتوقع أن تكون الأراضى المتاخمة للبحار ذات محتوى مرتفع من الكلوريد بالمقارنة بالأراضى البعيدة عن البحار. كما تؤثر أيضاً نوعية مياه الرى وحالة الصرف على كمية الكلوريد بالأرض. والأراضى التى تحتوى على الكلورين بتركيز أقل من ٢ جزء فى المليون ربما تعانى النباتات النامية بها من نقص الكلورين.

الكلورين فى النبات Chlorine in Plants

الوظائف الحيوية للكلورين :

يحتاجه النبات بتركيز منخفض يصل إلى ٠,٠٥ جزء فى المليون، وتمكن الوظيفة الأساسية للكلورين فى كونه عامل أساسى لإتمام عملية الأكسدة الضوئية للماء أثناء عملية التمثيل الضوئى وانطلاق الأكسجين. ويقوم ببعض الوظائف الأخرى غير المتخصصة أى كعامل مساعد فى اختزال بعض المركبات الغنية فى الطاقة وإنتاج بعض المركبات أثناء التمثيل الضوئى. أيضاً يساعد فى رفع الضغط الإسموزى للخلايا ويزيد من تأدرت الأنسجة النباتية.

obeikandl.com

محتوى النباتات من الكلورين

تختلف النباتات كثيراً فى محتواها من الكلورين حيث يتراوح هذا المدى من ٠,٠١٥ – ٥,٥ ٪ من المادة الجافة. والكلورين غير متحرك نسبياً داخل النبات حيث وجد أن تركيز هذا العنصر مرتفع فى الأوراق المسنة السفلية عنه فى الأوراق الحديثة. ومن المعلومات القليلة الميسرة عن هذا العنصر، يتضح أن النباتات تلجأ إلى تجميع الكلورين فى أنسجتها مع تقدم عمرها. ومع ذلك فالنباتات التى تحتوى أنسجتها على الكلورين بتركيز أقل من ١٠٠ جزء فى المليون قد تعانى من نقص هذا العنصر.

أعراض نقص الكلورين على النبات

تحت الظروف الطبيعية نادراً ما يظهر على النباتات أعراض نقص لعنصر الكلورين. حيث يكون من الصعب ظهور أعراض نقص حتى تحت ظروف المعمل ويرجع ذلك لحدوث التلوث بهذا العنصر من الغلاف المحيط بالنبات. وعموماً إذا حدث وظهرت على النبات أعراض نقص للكلورين تتمثل هذه الأعراض فى ظهور إصفرار على الأوراق الحديثة وذبول هذه الأوراق.

السمية الناتجة عن زيادة الكلورين فى المحلول الأرضى عادة ما تظهر على النباتات النامية فى الأراضى المتأثرة بالأملاح أو فى المناطق الساحلية. وتتمثل الأعراض الناتجة عن السمية فى احتراق حواف الأوراق، ظهور اللون البرونزى Bronzing colour، نضج مبكر للأوراق وإصفرارها ويحدث لها تساقط مفاجىء. وتختلف المحاصيل فى درجة حساسيتها وبالتالى درجة تحملها للكلورين فى التربة كما يلى:

– محاصيل عالية فى درجة تحملها مثل: بنجر السكر– الشعير– الذرة– السبانخ والطماطم.

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

الأسمدة المحتوية على الكلورين

يوجد العديد من الأسمدة التى تحتوى على الكلورين منها الأسمدة المعدنية مثل (كلوريد البوتاسيوم– كلوريد الأمونيوم) والأسمدة العضوية. ويصل الكلورين إلى

الأرض مع مياه الرى الغنية بالكلورين كما يصل هذا العنصر إلى الأرض فى المناطق الساحلية مع الرذاذ الناتج من مياه البحر. ومما لا شك فيه أن نقص الكلورين يؤثر على إنتاجية بعض المحاصيل، حيث وجد أن نباتات نخيل الزيوت وجوز الهند تستجيب لإضافة الكلورين فى الأراضى الفقيرة فى هذا العنصر.

العلاقة المتبادلة بين العناصر المغذية

Interaction Effects Between Nutrieuts

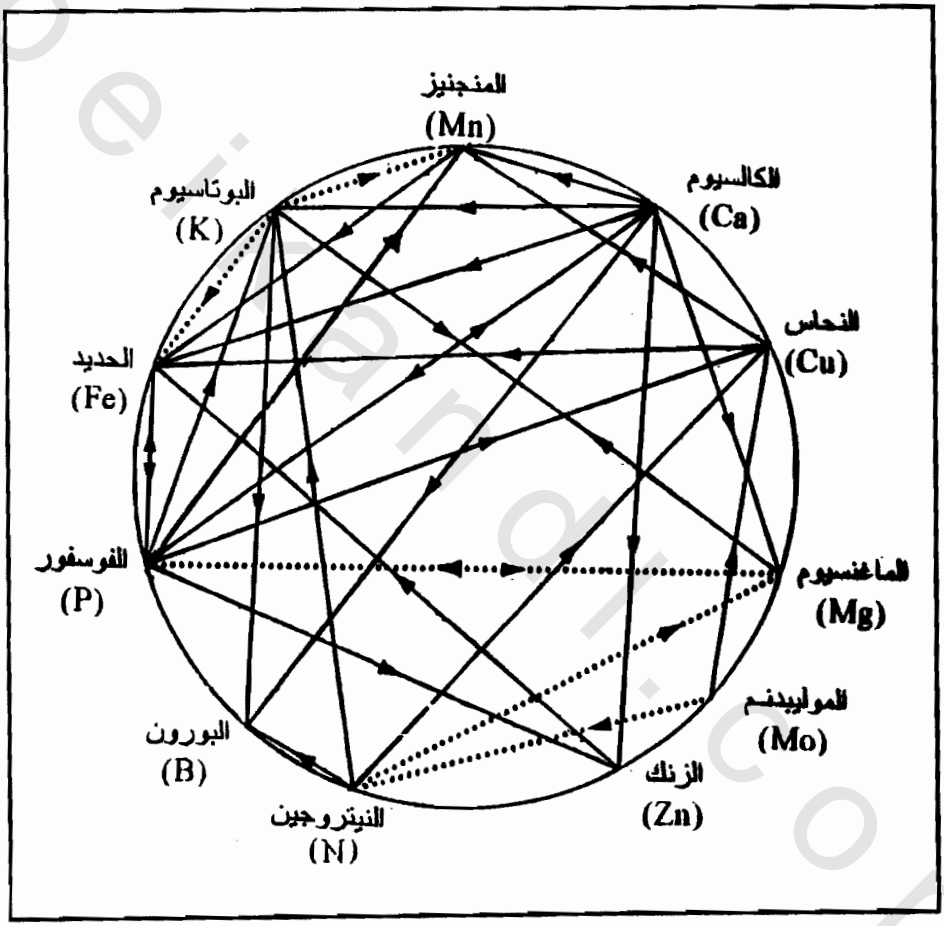
هنا يجب ذكر أن هناك اختلافاً فى درجة استجابة النباتات لإضافة كمية معينة من عنصر معين عند المستويات المختلفة من العناصر الغذائية الأخرى، ويرجع ذلك لأن كفاءة العنصر الغذائى تتحدد بكمية العناصر الأخرى والميسرة للنباتات، وهذا ما يعرف بالتأثيرات المتبادلة بين العناصر Interaction effects between elements. ويختلف مدى التفاعل تبعاً لنوع العنصر ونوع النبات، حيث يوجد تنافس بين بعض الأيونات مع بعضها الآخر عند امتصاصها بواسطة جذور النبات، وقد تؤدى زيادة تركيز أحد الأيونات فى وسط النمو إلى تقليل امتصاص أيون أو أيونات أخرى من وسط النمو ويسمى هذا بالتضاد Antagonism. فى حين قد تؤدى زيادة تركيز الأيون إلى زيادة امتصاص أيونات أخرى ويسمى هذا بالتنشيط Synergism، وتختلف الآراء فى تفسير سبب هذا التنافس، ففى حين يعتقد البعض أن هذا التنافس غير متخصص Nonspecific بمعنى أن زيادة تركيز كاتيون أو أنيون معين فى وسط النمو يؤدى إلى تقليل امتصاص كل الكاتيونات أو الأنيونات، نجد أن البعض الآخر يعتقد عكس ذلك من حيث أن هذا التنافس متخصص Specific بمعنى أن زيادة تركيز كاتيون أو أنيون معين يؤدى إلى تقليل معدل امتصاص كاتيون أو أنيون آخر وليس باقى الكاتيونات أو الأنيونات.

ومن السابق يلاحظ أنه لم يعد كافياً دراسة أو إجراء تجارب فى مجال تغذية النبات لكل عنصر على حده، ولكن لابد من إدخال كل العناصر فى الاعتبار، وأكثر من ذلك يجب حساب النسب بين العناصر بعضها إلى البعض الآخر، حيث إن ذلك يكون مُفضل عن استعمال درجة التركيز لعنصر واحد، وذلك عند دراسة التأثير المتبادل بين العناصر الغذائية فى الأرض للوقوف على مدى خصوبة الأرض.

ومن الشكل (٧-٣) والذى يوضح هذه العلاقات بين العناصر يلاحظ أن :

- أن النيتروجين(N) ينشط أو يحفز Stimulate امتصاص الماغنسيوم ولكن يثبط أو يضاد Antagonist النحاس، والبوتاسيوم والبورون.

- الفوسفور (P) ينشط امتصاص الماغنسيوم ولكن يضاد الكالسيوم، والبوتاسيوم، والزنك، والنحاس، والمنجنيز.



علاقة تنشيط فى اتجاه السهم

علاقة تثبيط (تضاد) فى اتجاه السهم

شكل (٧-٣) : العلاقة بين العناصر المغذية المختلفة

- البوتاسيوم (K) ينشط المنجنيز والحديد ولكن يثبط الماغنسيوم والبورون.
- الكالسيوم (Ca) لا يُحفز شيئاً ولكن يضاد الكثير من العناصر مثل: الماغنسيوم والبوتاسيوم والمنجنيز والحديد والبورون والزنك.
- الزنك (Zn) يضاد الحديد.
- الحديد (Fe) يضاد الفوسفور.
- المنجنيز (Mn) يضاد الحديد.
- البورون (B) مسالم لا يضاد أى عنصر، ولكن لا يسلم من تضاد بعض العناصر الكبرى له مثل: النيتروجين والبوتاسيوم والكالسيوم.
- النحاس (Cu) يضاد الحديد والمنجنيز.
- الموليبدنم (Mo) يحفز النيتروجين ويضاد النحاس.

obeikandl.com

المركبات المخلبية (الكيلاتية) الصناعية

Synthetic Chelates Compounds

من استعراضنا لنوعية الأسمدة المستخدمة كمصادر للعناصر المغذية الصغرى نجد أن معظم هذه العناصر يُفضل إضافتها على صورة مركبات مخلبية، وخاصة فى الأراضى القاعدية والجيرية. وعلى ذلك أصبح وجوبًا علينا التعرف على هذه المركبات ولو بشىء من الإيجاز.

إن اصطلاح كلمة Chelates أو « مخلبيات » يُنسب إلى الكلمة اليونانية Claw والتى تعنى المخلب أو « الكيلاتى ». وعلى هذا فالمركبات المخلبية هى مركبات لها القدرة على خلب أو مسك بعض المعادن وحفظها بداخلها، ووسيلة الخلب هنا هى الشحنات الكهربائية. والمركبات المخلبية المستخدمة فى المجال الزراعى وخاصة فى تغذية النبات هى مركبات عضوية تتحد مع بعض الأيونات المعدنية مثل الحديد، النحاس، المنجنيز أو الزنك وتكون مركب كيلاتى للمعدن Metal Chelates، وهو مركب ذا بناء حلقى مع أحد هذه الكاتيونات، ويؤدى ذلك إلى فقد هذا الأيون (العنصر) المرتبط لخواصه الأيونية، وعلى ذلك ينعدم نشاطه وبالتالى لا يتفاعل هذا العنصر مع أى أيونات أخرى موجودة فى التربة والشكل (٧ – ٤) يوضح هذه الفكرة.

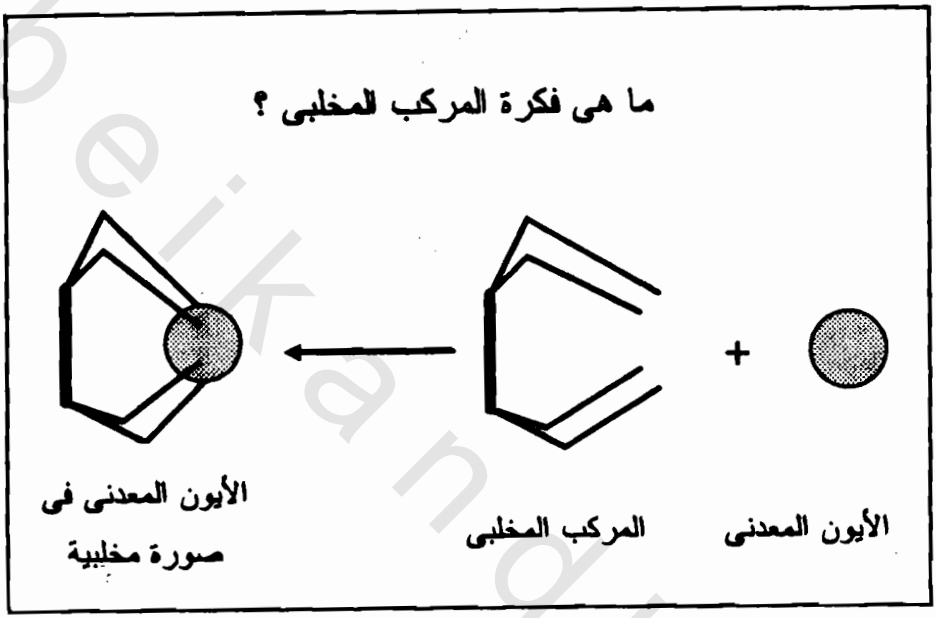
وعلى هذا يمكن إضافة العنصر المغذى فى صورة كيلاتية لتغذية النباتات النامية فى أرض ذات مشاكل تعمل على تثبيت هذا العنصر دون الخوف من دخول هذا العنصر فى تفاعلات كيميائية أو حدوث تبادل أيونى له، حيث تحافظ هذه المركبات على العنصر فى صورة قابلة للامتصاص بواسطة النبات. ولتوضيح ذلك نسوق المثال التالى: عند إضافة الحديد إلى التربة فى صورة أملاح معدنية وليكن كبريتات الحديديك فنجد أن هناك احتمال حدوث تفاعل أو أكثر من التفاعلات الآتية:

$$Fe^{3+} + 3\ OH^{-} \Rightarrow Fe(OH)_3 \downarrow$$

$$Fe^{3+} + PO_4^{3-} \Rightarrow Fe\,PO_4 \downarrow$$

$$Fe^{3+} + 3\,CO_3^{2-} \Rightarrow Fe_2(CO_3)_3 \downarrow$$

ويرجع ذلك لاحتمال وجود أيونات الأيدروكسيل، الفوسفات أو الكربونات فى المحلول الأرضى. وعلى هذا يحدث ترسيب للحديد فى صورة أيدروكسد حديديك أو فوسفات حديديك أو كربونات حديديك ويصبح فى صورة غير ميسرة للنبات.



شكل (٧ – ٤): رسم تخطيطي يوضح فكرة تكوين المركب المخلبي للعناصر المعدنية

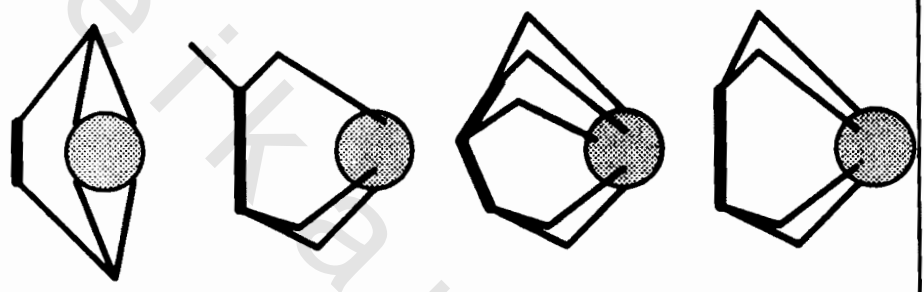
بينما فى حالة إضافة هذا العنصر فى صورة مخلبية فيمكن حمايته من الترسيب، وهناك العديد من هذه المركبات يوضحها شكل (٧ – ٥).

EDTA: Ethyline diamine tetra acetic acid.

DTPA: Diethyline triamine penta acetic acid.

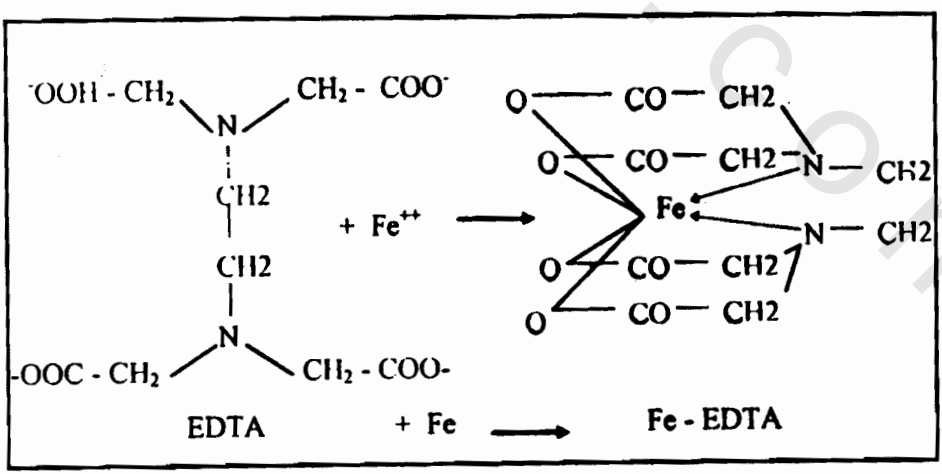
HEDTA: Hydroxyle Ethyline diamine tri acetic acid.

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



شكل (٧ – ٥): رسم تخطيطي لبعض المركبات المخلبية

ويمكن توضيح التركيب البنائى لمركب Fe - EDTA كما يلى:



واستعمال هذه المركبات كمصدر لإمداد النبات بالحديد عملية واسعة الانتشار وناجحة طالما يتم اختيار المركب المناسب تبعا لصفات الأرض، وخاصة رقم الـpH ويمكن توضيح ذلك كما يلى:

pH < 6 : Fe - EDTA

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

pH > 7 : Fe - EDDHA

وترتيب مركبات الحديد المخلبية من حيث درجة ثباتها فى الأرض كما يلى:

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

وتعتبر معادن المركبات المخلبية ذائبة فى الماء، وحيث إن ثوابت تاين هذه المركبات منخفضة فإن التربة لا تستطيع تثبيت عناصرها. وتوجد المركبات المخلبية فى حالة عدم وجود العناصر المعدنية مثل الحديد والنحاس والزنك أو المنجنيز على صورة أملاح صوديوم أو أحماض عضوية وعند إضافتها إلى الأرض يكون لها القدرة على جذب العناصر المعدنية الثقيلة من صورها الغير ذائبة فى الأرض. حيث وجد أنه من الممكن معالجة نقص الحديد بواسطة إضافة مركبات الصوديوم المخلبية مباشرة إلى الأرض فى منطقة نمو الجذور.

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

ويمكن إيجاز أهم مميزات المركبات المخلبية فى النقاط التالية:

١ – يمكن استخدام معظم العناصر الصغرى على هذه الصورة المخلبية.

٢ – لا يحدث ترسيب للعناصر المرتبطة معها فى المدى الملائم pH من المحلول لهذه المركبات.

٣ – تكون العناصر الصغرى فى صورة صالحة للنبات حتى فى الأراضى القاعدية أو الجيرية.

٤ – يمكن إضافتها مع العناصر الكبرى مثل NPK أو مع المبيدات الحشرية.

٥ – لها القدرة على مقاومة التحلل بالكائنات الأرضية الدقيقة.

طرق إضافة المركبات المخلبية

أولا: الإضافة إلى التربة Soil Application

يمكن إضافة المركبات المخلبية عن طريق التربة سواء كانت هذه المركبات فى صورة سائلة أو صلبة، وذلك كمصدر للعناصر الصغرى لإمداد النبات بها أو لعلاج أعراض نقصها. ويتم إضافة الصورة السائلة بعدة طرق مختلفة وهى: مع مياه الرى بالتنقيط، أو الحقن، أو بالرش على سطح التربة. فى حين تضاف الصورة الصلبة على هيئة مسحوق أو حبيبات أو مغلفة لحبيبات بعض أسمدة العناصر الكبرى. وبصفة عامة تتوقف الصورة التى يضاف عليها المركب على نوع المحصول، ونوع التربة، والظروف البيئية المحيطة حتى يتم الاستفادة القصوى من إضافة هذه المركبات. ومن الضرورى إجراء التحليل الكيميائى لتقدير كمية العناصر بالتربة لتحديد الكمية الواجب إضافتها من هذه العناصر. ويعتبر مركب EDTA هو الأكثر استخدامًا للعناصر الصغرى، وعن طريق التربة، فيما عدا الحديد خاصة فى الأراضى القاعدية والجيرية، حيث وجد أن قوة انجذاب أيون الكالسيوم لمركب EDTA تفوق قوة انجذاب الحديد لهذا المركب. ويحدث العكس مع مركب EDDHA، حيث يكون الحديد أكثر ثباتًا تحت هذه الظروف.

ثانيًا: الإضافة بالرش Foliar Application

ولإيضاح مدى أهمية استخدام المركبات المخلبية فى علاج حالات النقص بالعناصر الصغرى مقارنة بالمركبات المعدنية، ويمكن القول بأن كفاءة الاستخدام لأى مركب سمادى تعتمد على قابلية هذا المركب للذوبان فى الماء، ومعنى ذوبان الملح فى الماء هو حدوث تأين مكونات هذا الملح إلى شقين هما الأنيون والكاتيون، وعلى هذا يكون العنصر المراد إضافته لعلاج النقص يكون فى حالة أيونية، أى يحمل شحنة كهربائية سواء كانت سالبة أو موجبة. وفى حالة العناصر الصغرى تكن الغالبية منها فى صورة

كاتيون. على ذلك عند استخدام الأسمدة المعدنية فى علاج حالات النقص عن طريق الرش أو التسميد الورقى فإن العنصر ذو الشحنة الموجبة يقابله شحنة سالبة على سطح بشرة الأوراق، وبالتالى يحدث تجاذب بين الشحنتين، وفى النهاية يكون مرور العنصر إلى الداخل بطيء أو يلاقى صعوبة فى المرور إلى داخل الورقة. بينما فى حالة استخدام المركبات المخلبية كمصدر لنفس العنصر نجد أن المركب المخلبى يعادل شحنة العنصر، فى النهاية يكون صافى الشحنة للمركب والعنصر معا متعادلة، أى ينعدم نشاط شحنة هذا العنصر، وبالتالى يكون من السهل امتصاصه ومروره خلال بشرة الورقة. وعلى ذلك نجد أن فاعلية إضافة العناصر المعدنية فى صورة مركبات مخلبية يكون أكبر بالمقارنة بإضافة نفس العنصر فى صورة معدنية.

لا تتوقف فائدة المركبات المخلبية عند إضافتها بالرش على المحافظة على العناصر فى صورة ميسرة للنبات فقط، بل أكثر من ذلك فهى تسهل من انتقال هذه العناصر من الورقة إلى باقى أجزاء النبات، ربما يكون ذلك هو السبب فى جعل تأثير إضافة العناصر على الصورة المخلبية أكثر فاعلية منها على الصورة المعدنية فى حالة علاج نقص هذه العناصر على النبات. ويعتبر مركب EDTA هو الأكثر استخداماً لكل العناصر الصغرى (جدول ٧ – ٢١). هذا ويعتبر ثمن المركبات المخلبية أغلى منه بالنسبة للمركبات المعدنية وهذا طبيعى نتيجة عمليات التصنيع، لكن نظراً لأن فاعلية المركبات المخلبية أكبر فإنه يستخدم كمية أسمدة أقل وبالتالى يمكن التغلب على فرق الأسعار.

ثالثاً: الإضافة للمزارع اللاأرضية Application in Soilless Culture

فى الآونة الأخيرة وعلى مستوى بلاد عديدة من العالم ازداد استخدام المزارع اللاأرضية فى أنتاج كثير من المحاصيل، وخاصة محاصيل الخضر والزهور وذلك داخل الصوب الزجاجية للتغلب على الظروف البيئية غير الملائمة، ويتم تنمية هذه المحاصيل فى بيئات خاصة بذلك سوف نتعرض لها لاحقاً إن شاء الله، أو فى مزارع محاليل مغذية كما هو الحال فى مزارع الأغشية المغذية Nutriemt Film Technique (NFT)، وذلك بدلاً من التربة، ويتم التغذية فى مثل هذه المزارع بالمحاليل المغذية، وعلى هذا يكون من الضرورى الحفاظ على العناصر الموجودة به فى صورة ذائبة دون حدوث ترسيب لها، وتعتبر المركبات المخلبية للعناصر الصغرى ذات أهمية فى هذا المجال، ويوجد حالياً بعض

مركبات العناصر الصغرى المخلبية والتى تحتوى أيضاً على بعض أيونات العناصر الكبرى مثل K^+, NH_4^+ بدلاً من أيون الصوديوم وتستخدم بنجاح فى مثل هذه المزارع.

جدول (٧ – ٢١): خصائص المركبات الكيلاتية للعناصر الصغري وطرق إضافتها

المركب	الصورة الموجود عليها	نسبة العنصر (٪)	درجة الذوبان جم/لتر	طرق الإضافة
مركبات الحديد				
EDTA - FeK	سائل	٦		رش، تربة
EDTA - Fe Na. $3H_2O$	مسحوق	١٣	٩٠	رش، تربة
EDTA $FeNH_4$. NH_4OH	سائل	٧		رش، تربة
EDTA- $FeNH_4$. NH_4OH	مسحوق	١٣	١٠٠٠	رش، تربة
DTPA - $Fe(NH_4)_2$	سائل	٦		لا أرضية، تربة
DTPA - FeHNa	مسحوق	١١	١١٠	لا أرضية، تربة
HEDTA - Fe	محبب	١٣	٧٠٠	لا أرضية، تربة
EDDHA - Fe Na	محبب	٦	١٣٠	تربة، لا أرضية
EDDHA - Fe Na	محبب	٧	١٠٠	تربة
مركبات الزنك				
EDTA - Zn $(NH_4)_2$	سائل	١٠		رش، تربة، لا أرضية
EDTA - Zn Na_2	مسحوق	١٥	١٠٠٠	رش، تربة
مركبات المنجنيز				
EDTA - Mn K	سائل	٦		رش، تربة، لا أرضية
EDTA - Mn Na_2	مسحوق	١٣	٨٠٠	رش، تربة
مركبات النحاس				
EDTA - Cu $(NH_4)_2$	سائل	٩		رش، لا أرضية، تربة
EDTA - Cu Na_2	مسحوق	١٥	١٢٠٠	رش، تربة