

## الفصل السابع

### العناصر المغذية الصغرى

#### Micronutrients Elements

Zinc	الزنك
Iron	الحديد
Manganese	المنجنيز
Copper	النحاس
Boron	البورون
Molybdenum	الموليبدينم
Chlorine	الكلورين
Chelating Compounds	المركبات الكيلاية



## 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 والتي يحتاجها النبات بكمية كبيرة، أما القسم الثانى فهو العناصر الصغرى، وهى العناصر التي 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 - التكتيف الزراعى وذلك بزراعة أكثر من محصول على نفس المساحة من الأراضى 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 والتي تعيد للتربة حيويتها وتعويض ما استنزف منها وتزيد من خصوبتها.

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

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

بالإضافة للنقاط السابقة يزداد نقص العناصر الصفرى فى الأراضى المصرية وبالتالي الطلب على استخدامها إلى :

أ - ارتفاع معدلات التسميد بالعناصر الكبرى والذى أدى إلى زيادة المحصول وبالتالي زيادة الكمية المستنزفه من العناصر الصفرى 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 الصفرى كشوائب وأدى هذا إلى ظهور أعراض نقص العناصر الصفرى .

ج - 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 الصفرى 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 الصفرى، 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 للموليبدينوم هى ١٠٥ مليجرام، وعلى الجانب الآخر فإن إضافة طن واحد على سبيل المثال من السماد البلدى للفدان تضيف كميات كبيرة إلى حد ما من العناصر

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

ولما كانت مساحات التوسع الأفقى تقع فى نطاق الأراضى الرملية والجيرية والتي تفتقر إلى كثير من العناصر المغذية، ومع توفر المعلومات عن أعراض نقص العناصر الصفري فإن الطلب على استخدام الأسمدة التى تحتوى على العناصر الصفري قد ازداد، ويجب مراعاة أن العناصر الصفري عند استعمالها كأسمدة للنباتات تعتبر سلاحاً ذا حدين، فنقصها يؤدي إلى فقد المحصول وزيادتها تؤدي 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 الصغرى بالجزء في المليون (ppm)

العنصر ⇐ ↓ السامد	نحاس	زنك	منجنيز	بورون	موليبدينم
الأسمدة النتروجينية: كبريتات الأمونيوم اليوريا نترات الكالسيوم والأمونيوم	أثار - ٠,٥	٠,٣٣	٧٠	٦,٠	٠,١
	٣,٦ - صفر	٠,٥	٠,٥	٠,٥	٠,٧
	أثار - ١٨,٠	٨,٠	٥٠ - ١٠	أثار	—
الأسمدة الفوسفاتية: السوبر فوسفات الأحادي السوبر فوسفات الثلاثي خبث المعادن القاعدي صخر الفوسفات	٢٦,٠	١٦٠ - ٦٠	٢٧٠ - ٧٠	١٠	٣,٠
	١٢ - ٢	١٠٠ - ٥٠	٢٤٠ - ١٦٠	٥٣٠	٩,٠
	٨٠ - ١٠	٣٠ - ٥	*	٣٣	١٠,٠
	١٠ - ٦	١٤٠ - ٢٥	١٣٠٠٠٠	١٥	٦,٠
أسمدة البوتاسيوم: كلوريد البوتاسيوم كبريتات البوتاسيوم	٣,٠	٣,٠	٨,٠	١٤,٠	٠,٢
	١٠ - ٥	٢,٠	١٣,٠ - ٢,٢	٤,٠	٠,٢
الأسمدة المركبة: فوسفات الأمونيوم	٤,٠ - ٣,٠	٨٠	٢٢٠ - ١٠٠	—	٢,٠
سامد الإسطبيل (سامد بلدى) Farmyard Manure	١٠	٢٥٠ - ٤٠	٢٠٠	١٧	٠,٢
أسمدة المخلفات النباتية Compost	٦٠٠ - ٣٠٠	١٣ - ٣	٦٠ - ٤٠	١٥	٢,٠

عن الـ FAO سنة ١٩٨٤.

\* قيم المنجنيز في الخبث ٢٨٠٠٠ - ٦٨٠٠٠ (ppm)

وهناك حدود معينة من تركيز هذه العناصر في التربة حتى تفي 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 الصغرى في الأرض تبعاً لطريقة الاستخلاص والتي يظهر عندها النقص مع ذكر بعض العوامل المؤثرة على 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 الامونيوم (pH4.8)	٢
		DTPA + Ca Cl <sub>2</sub> (pH7.3)	٢,٥ - ٤,٥
الزنك Zn	pH، النحاس، النيتروجين، الفوسفور، والكالسيوم.	٠.١ مول حمض هيدروكلوريك	١,٠ - ٧,٥
		Dithizone + خلالات الامونيوم	٠,٣ - ٢,٣
		EDTA + كربونات الامونيوم	١,٤ - ٣,٠
		DTPA + كلوريد كالسيوم pH7.3	٠,٥ - ١,٠
المنجنيز Mn	pH، المادة العضوية، البوتاسيوم، الموليبدنم، الفوسفور، الحديد، النحاس والزنك.	٠.٠٥ مول حمض هيدروكلوريك + ٠.٢٥ مول حمض كبريتيك	٥ - ٩
		٠.١ مول حمض فوسفوريك مع ٣ مول فوسفات أحادي الامونيوم	١٥ - ٢٠
		+ Hydroquinone	٢٥ - ٦٥
		خلات أمونيوم الماء	٢

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

(١٩٨٤)

العنصر	العوامل المؤثرة على تيسر العنصر	محلل الاستخلاص	التركيز (ppm)
النحاس Cu	النيتروجين، الحديد، الماغنسيوم، الموليبدنم، الفوسفور والزنك.	خلات الأمونيوم (pH4.8)	٠,٢
		٠,٥ 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	٠,٧ - ٠,١
الموليبدنم Mo	pH، الحديد، المنجنيز، الفوسفور، الكبريت والنحاس.	أوكسالات الأمونيوم (pH 3.3)	٠,٢ - ٠,٠٤

## الزنك Zinc

### الزنك فى الأرض Zinc in Soil

يوجد الزنك فى الأرض على عدة صور منها :

- داخل التركيب الكيمىائى 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<sub>3</sub>)، وسيليكات الزنك Willemite (ZnSiO<sub>3</sub>) and ZnSiO<sub>4</sub> .

- 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<sup>2+</sup> 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 كل من الصورة الذائبة والمتبادلة ذات درجة تيسر مرتفعة للنبات، وإن كان هناك جزء قليل من الزنك غير المتبادل والموجود داخل تركيب المعادن قد لا يفي بحاجة النبات حيث يتحرر بمعدل بطيء أثناء حدوث تجوية لهذه المعادن، وبصفة عامة وفي معظم الأراضي فإن تركيز الكمية الذائبة في المحلول الأرضي لا تتعدى أجزاء قليلة من المليون، وفي الغالب تكون أقل من واحد جزء في المليون، وهناك عدة عوامل تؤثر على سلوك ودرجة تيسر الزنك في الأرض وتشمل :

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

٢ - المادة العضوية : مع تحلل المادة العضوية بالتربة تنطلق المركبات العضوية والتي تعمل عمل المركبات المخلفية مما تزيد من تيسر الزنك، وأوضحت كثير من الدراسات بأن الأراضي الفقيرة في المادة العضوية تعاني من نقص في الزنك الميسر، وتزداد الكمية الميسرة في نفس الأرض مع إضافة المادة العضوية، وقد يختلف تأثير المادة العضوية على تيسر الزنك وذلك حسب نوع المركب الناتج من التحلل المرتبط مع الزنك، فالأحماض العضوية ذات الوزن الجزيئي المنخفض مثل حمض الفولفيك Fulvic acid تكون معقدات زنك ذائبة في الماء، بينما المركبات ذات الوزن الجزيئي المرتفع

مثل اللجنين والمركبات التي 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 بان 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، وبالتالي نقل الكمية الميسرة.

٤ - **تأثير قوام التربة**: الأراضى الخفيفة خشنة القوام قدرتها على الاحتفاظ 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**، وايضاً الطين المشبع بالماغنسيوم **Mg-Saturated Clay** تكون قدرتها على تثبيت الزنك مرتفعة بالمقارنة بمعادن المسكوفيت **Mus-covite**، البينتونايت **Bentonite**، الكاؤولينيت **Kaolinite**، البيروفيليت **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 يؤدي إلى تأثير عكسى على الزنك كعنصر مغذى للعديد من المحاصيل، ويكون التضاد Antagonistic متفاقماً في 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 يؤدي إلى انخفاض تركيز الزنك فى النبات وخاصة 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 تؤدي إلى نقص الزنك الميسر للنبات، وبالتالي 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، وبالتالي 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*، وبالتالي تتقيّد حركة الزنك داخل النبات وتظهر الأعراض على النموات الحديثة، وتجدر الإشارة أن الأسمدة النيتروجينية ذات التأثير الحامضي تزيد من تيسر الزنك وذلك نتيجة لخفض رقم الـ pH والعكس مع الأسمدة القاعدية التأثير.

### اختبارات التربة للزنك :

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

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

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

زمن الرج (دقيقة)	نسبة التربة (جم) إلى المستخلص (مل)	محلل الاستخلاص
٥	٢٠ : ٢	N ٠,١ من حمض الهيدروكلوريك
-	٧٥ : ١٥	٠,٠٥ مولر من EDTA pH 7-9
٦٠	٢٥ : ٢,٥ ٢٥ مل من كل مركب	0.01% dithizone in CCL <sub>4</sub> + N NH <sub>4</sub> OAc (pH 7.0)
٥	٢٠ : ٥	N ٠,٠٥ حمض هيدروكلوريك + N ٠,٠٢٥ حمض كبريتيك
١٢٠	٢٠ : ١٠	DTPA (0.005 M diethylen triamine penta acetic acid) + 0.1 M triethanolamine + 0.01 M CaCL <sub>2</sub>
٣٠	٢٠ : ١٠	٠,٠١ مولر EDTA + مولر كبرونات أمونيوم (pH 8.5).
٤٥	٥٠ : ١٠	N ٢,٠ كلوريد ماغنسيوم

بينما لا يكون هناك استجابة واضحة لإضافة الزنك إلى التربة إذا كان تركيز الزنك في هذا المستخلص هو ١,٠ جزء في المليون، بينما إذا كانت القيمة محصورة بين ٠,٥ - ١,٠ جزء في 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 والتي 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، وايضاً عدد من إنزيمات Dehydrogenases، ويمكن إيجاز أهم الوظائف الحيوية للزنك فى النبات كما يلى :

أ - ضرورى لتخليق الحمض الامينى 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 تعاني من نقص الزنك يكون تركيز الاكسين فى الجذور والبراعم قليل جداً.

ب - منشط لانزيمات - Alcohol dehydrogenase - Lactic acid dehydrogenase - Glutamic acid dehydrogenase - Carboxypeptidase.

ج - يلعب دوراً فى تخليق الاحماض النووية والبروتينات .

### تركيز الزنك فى النبات Zinc Concentration in Plant

هناك مدى واضح فى تركيز الزنك داخل النباتات والذى يتراوح من 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 المناسب.

### 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، وطبيعياً فإن حد «السمية» لا يحتاج إلى تفسير.

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

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

المحصول	مرحلة النمو	تركيز الزنك (جزء في المليون)		
		حد النقص	منخفض	حد الكفاية
الذرة (أوراق)	النمو الخضري	١٠-١١	٢٠-١١	٧٠-٢١
فول الصويا (أوراق)	النمو الخضري	١٠-١١	٢٠-١١	٧٠-٢١
القمح- الشعير	٣٠-٨ سم نمو	١٠-١١	٢٠-١١	٤٠-٢١
القطن	النمو الخضري	-	-	٣٠-٢٠
الأرز	النمو الخضري	١٠-١١	٢٠-١١	٥٠-٢١
بنجر السكر	النمو الخضري	١٠-١١	٢٠-١١	٧٠-٢١
البطاطس	-	-	١٦-١٦	٤٠-١٧
نيرسيم الحجازي	٨-٨	-	-	١٤-٩
الطماطم (الأوراق)	-	١٠-١١	٢٠-١١	١٢٠-٢١
الموالح	-	١٥-١٥	٢٥-١٦	٨٠-٢٦
التفاح (الأوراق)	-	١٥-١٥	٢٠-١٦	٥٠-٢١
العنب (السويقة)	-	-	٣٠-٣٠	٥٠-٣١

عن الـ FAO سنة ١٩٨٣.

## حساسية النبات للزنك

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

### أعراض نقص الزنك على النبات:

قد تظهر أعراض نقص الزنك على النبات إذا انخفض تركيز الزنك فيه عن ٢٠ جزءاً في المليون، وطبيعى يقل التركيز في النبات إذا افتقرت التربة النامية بها هذا النبات للكمية الصالحة من الزنك واللازمة لهذا النبات. ويمكن إيجاز العوامل المسببة لظهور أعراض نقص الزنك على النبات في انخفاض تركيز الزنك الميسر في التربة والمستخلص بمحلول DTPA عن ٠,٦ جزء في المليون، وفي الأراضى ذات الـ pH المرتفع، الأراضى ذات المحتوى المنخفض والمرتفع جدا من المادة العضوية، الأراضى الرملية، والأراضى الفقيرة في المناطق شديدة المطر، والأراضى الموجودة في المناطق الباردة، وفي 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 الحجازي، البرسيم، بنجر السكر، الذرة الرفيعة، القمح والشعير	البسلة، الأسبرجس الجذر، الحبوب الصغير الغلف والمردل

وفيما يلي الأعراض العامة لنقص عنصر الزنك والتي يمكن تمييزها ظاهراً على النبات والتي تظهر على الأوراق الحديثة أولاً نظراً لأن 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، وفي بعض المحاصيل يمكن ظهور بقع بنية تشبه الصدأ.

٢- اصفرار الأوراق وظهور بقع كبيرة وعامة الانتشار 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 ما يعرف بظاهرة التورد).

٤- ظهور النبات متقزماً نتيجة لصغر طول السلاميات بالساق.

٥- حدوث موت للانسجة المتأثرة بذلك يتبعها موت النبات، ويكون النبات غير مستوي في 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 والذي يمتد مساحته إلى جانبيها أيضاً. بينما يظهر اللون الأخضر الباهت في المساحات المتبقية بين العروق. ومن الصفات المميزة لنقص الزنك عدم تماثل مساحة نصفى الورقة. وأن الأوراق تكون أقل عرضاً وأيضاً تقل مساحة الأوراق الطرفية وتأخذ شكلاً رأسياً ويصبح طرف النصل مدبباً. وفي نفس الوقت يكون نمو الأفرع في شكل قائم، وتقل مساحة الأوراق، وتقصّر 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 في معظم مزارع الموالح في مصر، وتزداد في مزارع الأراضي الرملية أو الخفيفة.

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

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

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

**الذرة:** وتظهر الأعراض على البادرات النامية في الأراضي المنخفضة في محتواها من الزنك الميسر ابتداء من عمر أسبوعين. وتمثل الأعراض في ظهور شريط عريض من اللون الأبيض على جانبي العروق الوسطى للأوراق الحديثة، ابتداءً من القاعدة في اتجاه القمة للورقة، ويكون هذا في 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 رمادي تتخلل اللون الأخضر. ولوحظ ظهور هذه الأعراض في كثير من مزارع الذرة في مصر وخاصة الموجودة في مناطق الاستصلاح.

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

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

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

الطمائم: اصفرار مع وجود اللون البنى بالاوراق الطرفية مع تدلى الاوراق لاسفل والتفاف الوريقات لاعلى .

نماذج لأعراض نقص الزنك على بعض النباتات صفحة ٤٧٣، ٤٧٤

## الأسمدة المحتوية على الزنك

هناك العديد من المركبات المحتوية على الزنك والتي تستخدم كمصدر لتسميد النباتات النامية فى الاراضى التى تعاني 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 عجينة تحوى السماد.

ويجب الإشارة إلى أن خصائص التربة الزراعية تلعب دوراً هاماً فى اختيار نوع السماد وطريقة إضافته. ففي الاراضى 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 الارض القاعدية تكون الكمية المثبتة كبيرة. وعلى ذلك يفضل استخدام المركبات المخلفية فى الاراضى القاعدية والجيرية. أما بالنسبة للأراضى المنزرعة بالأرز يفضل استخدام سماء أكسيد الزنك ZnO على كبريتك 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

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

## الحديد 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 (والتي قد تصل إلى حوالى ٥%) بعد الأكسجين والسيليكون والألومنيوم.

### الحديد فى الأرض Iron in Soil

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

– فى تركيب المعادن السليكاتية والتي تعرف باسم الـ Ferromagnesian silicates مثل الأوليفين olivine ، والهورنبلند Hornblende ، والبيوتيت Biotite والتي تمثل المصدر الرئيسى للحديد . وأيضاً يوجد ضمن تركيب بعض المعادن الثانوية .

– فى بعض المركبات والتي يكون فيها بتركيز مرتفع كما فى الهيماتيت  $Fe_2O_3$  الماجنيتيت  $Fe_3O_4$  وهى أكاسيد حديد وكذلك يوجد فى صورة كربونات حديدوز كما هو الحال فى مركب السيدريت  $Fe_2(CO_3)_3$  وكربونات الحديدك  $Fe_2(CO_3)_3$  ، سلفيد كما فى البيريت  $FeS_2$  ، والليمونيت  $Fe_2O_3 \cdot 3H_2O$  والذى ربما يتكون كنتج من حدوث عمليتى التآدرت Hydration والأكسدة Oxidation لمركب السيدريت

– كمية قليلة من الحديد الكلى الموجود بالأرض توجد على صورة متبادلة .

– يوجد الحديد ضمن مكونات بعض المواد العضوية، على هيئة معقدات أو مركبات كيلاتيه وهى مركبات مهمة من ناحية تغذية النبات .

– الحديد الذائب فى المحلول الأرضى منخفض جداً ويشمل بجانب المركبات العضوية، أيون الحديدوز  $Fe^{+2}$ ، الحديدك  $Fe^{+3}$  وأيدروكسيد الحديدوز  $Fe(OH)_2$  علماً بأنه فى الأرضى 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 الكيمىائى 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 عن ١٪ 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 الأراضى 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 :

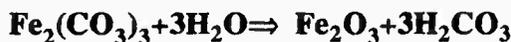
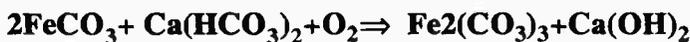
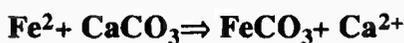
١- رقم الـ pH : تعتمد درجة ذوبان الحديد بدرجة كبيرة على الـ pH الوسط، لدرجة أنه يحدث انخفاض فى تركيز الحديد الذائب قدره ١٠٠٠ ضعف مع كل زيادة فى الـ pH قدرها وحدة واحدة. وبالتالي يكون من الواضح أن تيسر الحديد للنبات يقل بدرجة عنيفة مع ارتفاع رقم الـ pH. وعلى ذلك يكون نقص الحديد الميسر فى الأراضى الجيرية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

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

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

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

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



وعلى ذلك فوجود الكربونات بالأرض يشجع على نقص الحديد الميسر للنبات وبالتالي ظهور الاصفرار على النباتات النامية بها . وهناك تفسير آخر لظهور الاصفرار على النباتات النامية فى الأراضى الجيرية وهو أن السبب يرجع إلى عرقلة أيون البيكربونات  $\text{HCO}_3^-$  لامتناس أيون الحديد وانتقاله داخل النبات، ويعتبر أيون البيكربونات ناتج طبيعى من عملية التحلل المائى لكربونات الكالسيوم كما فى المعادلة التالية :



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

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

– يمكن الإقلال من تأثير أيون  $\text{OH}^-$  الناتج من التحلل المائى للكربونات بزيادة نسبة ثانى أكسيد الكربون  $\text{CO}_2$  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، وبالتالي 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 للحديد ويصبح فى صورة حديدوز ذائبة وصالحة للنبات وبالتالي لاتعانى معظم نباتات الأرز من نقص الحديد. وعلى ذلك فى الأراضى الجيرية يجب الحذر من ارتفاع المحتوى الرطوبى بها وذلك بتجنب الري الزائد حيث لوحظ ظهور الاصفرار 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 في التربة يقلل من امتصاص الحديد ( كما هو في حالة تأثير الفوسفور على الزنك ) ويعتقد بأن الفوسفات تساعد على ترسيب الحديد في وسط النمو وتجعله في صورة غير صالحة للامتصاص بواسطة النبات، وهنا رأى آخر يقول بأن 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 في وسط النمو حيث يحدث تداخل أو تضاد مع امتصاص الحديد بواسطة النبات، وبالتالي يمكن أن تظهر أعراض نقص الحديد تحت هذه الظروف . وقد أشارت بعض الأبحاث أن زيادة مستوى التسميد النيتروجيني وخاصة إذا كان في صورة نترات يؤدي إلى ظهور أعراض نقص الحديد، ويرتبط التداخل بين الحديد والنيتروجين بعدة آراء غالبيتها تؤكد أن إضافة الحديد مع التسميد النيتروجيني يزيد الإنتاج إذا أضيف النيتروجين في صورة الأمونيوم  $NH_4^+$  وذلك للتأثير الحامضي لهذا السماء والعكس مع إضافته في صورة نترات  $NO_3^-$  ذات التأثير القاعدي . وأن زيادة التسميد النيتروجيني بصفة عامة يزيد النمو الخضري وبالتالي المادة الجافة مما يسبب تخفيف تركيز الحديد في النبات .

٧- درجة الحرارة: بجانب العوامل السابق ذكرها على تيسر الحديد في 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 والتي تساهم بجزء أساسي من الحديد الميسر نتيجة لقلّة نشاط الكائنات الدقيقة تحت هذه الظروف وبالتالي يمكن ظهور الاصفرار الناتج من نقص الحديد الميسر.

### اختبارات التربة للحديد

تعتبر مستخلصات خلات الأمونيوم والمركب الكيلاتي DTPA من أكثر المحاليل انتشاراً والمستخدمة لاستخلاص الحديد الصالح للنبات من التربة . ووجد أنه في حالة احتواء التربة على ٢ جزء في المليون حديد مستخلص بخلات الأمونيوم تعاني النباتات النامية بتلك الأرض من نقص في هذا العنصر . في حين يمكن القول بأن المستوى الحرج للحديد في التربة يكون في مدى ٢,٥ - ٤,٥ جزء في المليون حديد في حالة

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

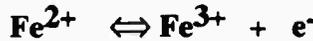
جدول (٧ - ٧): طرق تقدير الحديد في التربة

محلل الاستخلاص	نسبة التربة (جم) إلى المحلول (مل)	زمن الرج (دقيقة)
محلل خلاص الامونيوم قوته ١ عيارى	٥٠ : ٢,٥	٣٠
DTPA (0.005 M DTPA + 0.1 M TEA + 0.01 M CaCl <sub>2</sub> ) (pH 7.3)	٢٠ : ١٠	١٢٠

## الحديد في 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 التاكسد والاختزال داخل النبات، فيعتبر الحديد ذا تأثيرات فيسيولوجية مهمة.



- يلعب الحديد دوراً أساسياً وضرورياً فى نظام العديد من الإنزيمات وخاصة الإنزيمات التى تدخل أو تساعد فى عملية التنفس Haem enzyme systems والتي 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 جزئى الكلوروفيل، إلا إنه مهم فى تخليق والحفاظ على هذه المادة الخضراء داخل النبات وعلى ذلك فنقصه يؤدى إلى ظهور الشحوب الخضرى ويظهر الاصفرار على النبات .

– يلعب دوراً أساسياً 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 . وعموماً، تكون النباتات البقولية غنية فى محتواها من الحديد بالمقارنة بالنباتات العشبية (المراعى) . وأيضاً الأجزاء النباتية المسنة يكون محتواها من الحديد أكبر من الأجزاء حديثة النمو لنفس النبات ويرجع ذلك إلى عدم حركة هذا العنصر داخل النبات . وعلى ذلك يكون من المهم مراعاة هذا عند أخذ العينات النباتية للتحليل .

### الحدود الحرجة للحديد فى النبات :

بصفة عامة، إذا كان تركيز الحديد داخل أنسجة النبات أقل من 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 مرتفعاً ومع ذلك يظهر عليه الاصفرار Chlorosis ، ويرجع ذلك لأن النبات يستفيد من الحديد فى صورة حديدوز أكثر منه فى صورة حديدك، ولذلك يعمل النبات على اختزال الحديدك بمجرد امتصاصه إلى حديدوز . ووجد أن النباتات تختلف فيما بينها فى قدرتها على اختزال الحديدك . حيث أثبتت الأبحاث أن محتوى الأوراق الخضراء من أيون الحديدوز  $Fe^{2+}$  يفوق بكثير محتوى الأوراق التى يظهر عليها الاصفرار لنفس النبات . وعلى ذلك يمكن القول بأنه فى داخل النبات يوجد حديد نشط **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 مترسباً وليس له علاقة بالعمليات الحيوية .

يلعب المنجنيز دوراً أساسياً في أكسدة الحديدوز (النشط) إلى حديدك (غير نشط)، وبالتالي فزيادة المنجنيز داخل النبات يسبب الاصفرار بالرغم من أن الحديد الكلى موجود بتركيز مرتفع ويعرف ذلك بما يسمى بنقص الحديد الناتج عن زيادة المنجنيز Mn-induced iron deficiency. وأيضاً يمكن تعليل سبب ظهور الاصفرار على الأوراق Iron chlorotic leaves بالرغم من ارتفاع محتواها من الحديد الكلى إلى أن الحديد يكون مرتبطاً بأصول كيميائية داخل النبات مثل أنيونات  $\text{OH}^-$ ,  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$  أو مركبات مخلبية في خلايا الورقة، وبالتالي لا يرتبط الحديد مع المركبات العضوية التي تستخدم الحديد في العمليات الحيوية الخلية.

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

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

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

عن الـ (FAO) سنة ١٩٨٣.

## أعراض نقص الحديد على النبات

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

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

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

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

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

وفيما يلي أعراض نقص الحديد على نباتات بعض المحاصيل الاقتصادية في مصر :

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

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

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

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

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

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

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

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

تظل خضراء لفترة أطول من باقى الورقة والتي يصبح لونها أصفر شاحب . وقد يتحول إلى اللون الأبيض مع شدة النقص وتنثني 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 بالوريقة 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 والتي 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 المخلبي كبيرة وبالتالي 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 المخلبي عن طريق التبادل بالتماس بين الجذر والمركب المخلبي فينتقل الكاتيون إلى الجذر وينطلق بدلاً منه أيون الأيدروجين تاركاً الجزء العضوى فى محلول التربة، ويفقد الكاتيون من المركب المخلبي 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 المخلبي مرة أخرى .

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

معدل وطريقة الإضافة	النسبة المثوية للحديد	السماد ورمزه الكيميائي
يفضل إضافتها رشاً بتركيز ٢٪ كبريتات حديدوز بمعدل ٨٠ - ١٢٠ لترًا للفدان	٢٠,٥	المركبات المعدنية كبريتات الحديدوز $FeSO_4 \cdot 7 H_2O$
	٢٠,٠	كبريتات الحديديك $Fe_2 (SO_4)_3 \cdot 4H_2O$
	١٤,٠	كبريتات الامونيوم الحديدز $(NH_4)_2 SO_4, FeS O_4 \cdot 6H_2O$
	١٠,٠	المركبات المخلبية Fe - DTPA
الحديد المخلبي يضاف رشاً	١٢,٠ - ٩,٠	Fe - EDTA
وبمعدل ٠,٥ - ١ كجم حديد مخلبي / لتر للفدان .	٦,٠	Fe - EDDHA
	٩,٠ - ٥,٠	Fe - HEDTA

عن الـ FAO سنة ١٩٨٣ و أبو الروس وآخرون ١٩٩٢

وأوضحت الدراسات على سلوك المركبات المخلبية Fe - DTPA (ثنائي الإيثيلين ثلاثي الأمين خماسي حمض الخليك) Fe - EDTA (الإيثيلين ثنائي الأمين رباعي حمض الخليك) Fe - EDDHA و (إيثيلين ثنائي الأمين ثنائي الفينيل هيدروكسي حامض الخليك) بالأراضي الجيرية ودرجة صلاحيتها للنبات وجد أن أعلى كمية ممتصة من الحديد بواسطة النبات كانت باستخدام Fe - EDDHA، وإن حوالى ٦٥٪ من الحديد تظل في صورة ذائبة بالمحلول الأرضي عند استخدام نفس المركب (Lindsay) سنة

١٩٧٤ . ويستنتج من هذه النتائج بأن مركب Fe - EDDHA يكون أكثر ثباتاً في  
الأراضي الجيرية عن باقي المركبات المخلبية الأخرى والتي يحل الكالسيوم محل الحديد  
الموجود بها مع ارتفاع رقم الـ pH .

## المنجنيز Manganese

### المنجنيز في الأرض Manganese in Soil

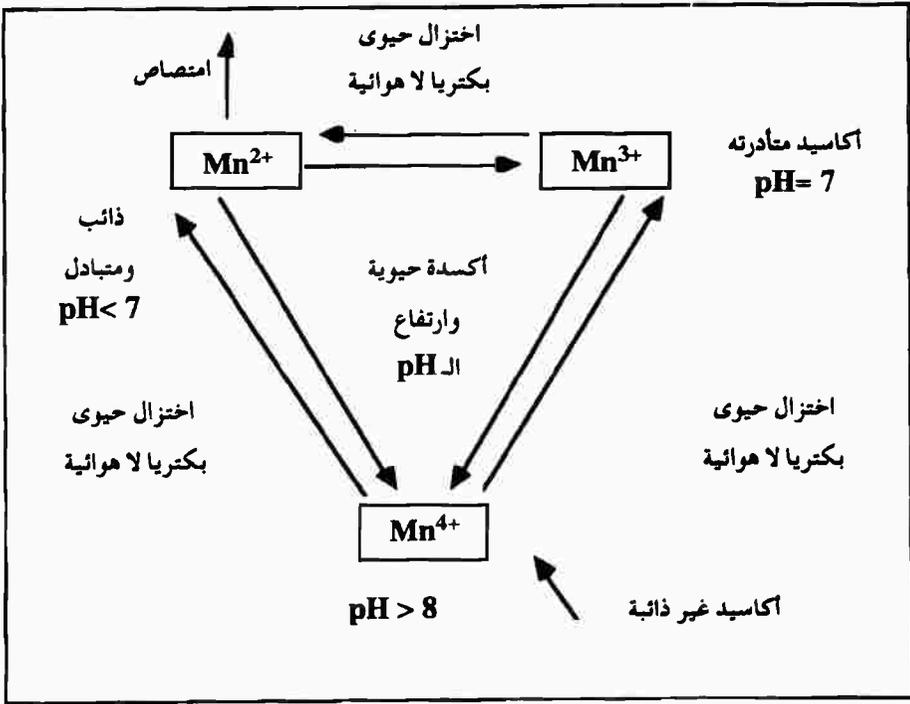
يتشابه المنجنيز مع الحديد في صفاته الكيميائية والتراكيب الجيولوجية بالأرض، ويحتل المركز الثاني بعد الحديد من ناحية كميته في مكونات القشرة الأرضية. ويوجد المنجنيز في الأرض على عدة صور أهمها:

– مركبات ذو تركيزات مرتفعة من المنجنيز كما في بعض المعادن الثانوية وأهم هذه المعادن البيرولوسيت (Pyrolusite ( $MnO_2$ ))، المنجانيت (Manganite ( $MnO(OH)$ )) والبرونيت (Braunite ( $Mn_2O_3$ ))، والهوسمنيت (Hausmanite ( $Mn_3O_4$ )).

– المنجنيز من العناصر متعددة التكافؤ حيث يكون ثنائياً، رباعياً، سداسياً أو سباعياً، وتعتبر الصورة الثنائية  $Mn^{2+}$  من أهم صور المنجنيز بالتربة الزراعية وذلك لكونها أفضل الصور الصالحة للامتصاص بواسطة النبات وهي تعرف بالصورة النشطة. ويحدث الأكسدة لهذه الصورة تتحول إلى الصورة الثلاثية ثم الرباعية. وقد يوجد المنجنيز مرافق للمادة العضوية بالتربة.

– المنجنيز الثنائي التكافؤ قد يكون ذائباً تماماً في المحلول الأرضي أو مدمصاً على أسطح الغرويات الأرضية سواء معدنية كما في الأكاسيد السداسية أو عضوية.

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



شكل (٧-١): دورة المنجنيز في التربة

### المنجنيز الكلي:

تختلف الاراضى فيما بينها اختلافاً فى محتواها من المنجنيز الكلى . فهناك اراضى يكون محتواها من المنجنيز الكلى قليلاً جداً قد يصل فى ندرته إلى آثار، بينما اراضى اخرى 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 اراضى البودزول الحامضية، وعلى هذا يقلل من محتوى الارض من المنجنيز الكلى . وهنا يجب التذكرة بان المنجنيز الكلى بالارض ليس دليل على خصوبتها من هذا العنصر بالنسبة للنبات لان 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 الـ **pH** التربة يؤدي 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 جلياً فى الأراضى الجيرية، حيث إن محتوى هذه الأراضى من المنجنيز الكلى كبير ولكن الكمية الميسرة منه قليلة جداً وذلك يرجع إلى ارتفاع الـ **pH** هذه الأراضى . وعلى ذلك فمن المفيد استخدام الأسمدة ذات التأثير الحامضى التى تزيد من المنجنيز الميسر نتيجة لخفضها الـ **pH** التربة . كذلك هناك تأثير آخر لـ **pH** التربة، حيث يؤثر على نشاط الكائنات الدقيقة التى 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 سائماً مما يسبب مشاكل للنباتات النامية بتلك الأراضى .

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

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

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

٤- محتوى الأرض من الرطوبة: نظراً لان المنجنيز من العناصر متعددة التكافؤ مثله مثل الحديد، فنجد أن ظروف التهوية تلعب دوراً أساسياً فى تحديد الكمية الصالحة من هذا العنصر ( $Mn^{2+}$ ). وعلى ذلك نجد أنه تحت ظروف التهوية السيئة ونقص الاكسجين 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 لان مع تحللها تنطلق الطاقة التى تستخدمها الكائنات الدقيقة المسؤولة عن عملية الاختزال. وعلى ذلك فالنباتات المائية ومن أمثلتها الارز قد لا تعاني من نقص المنجنيز لزيادة ذوبانه تحت هذه الظروف. كما أنه فى بعض مناطق 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 الايونات التى تؤثر سلبياً على المنجنيز المتصص بواسطة النبات أى هناك ما يعرف باسم ظاهرة التضاد Antagonism بين المنجنيز وهذه الايونات. ومن الامثلة 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. وفى 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 في المناطق ذات المناخ البارد، وأيضاً في المناخ الجاف قد تعاني نقصاً في امتصاص المنجنيز. وعلى العكس من ذلك فإن زيادة شدة الضوء تزيد من المنجنيز المتص.

### اختبارات التربة للمنجنيز:

سبق وأن ذكرنا أن الصورة الميسرة للنبات من المنجنيز هي المنجنيز الثنائي 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 في التربة عن طريق الاستخلاص بالماء، ولكن عادة يكون تركيز المنجنيز في هذا المستخلص منخفضاً جداً. وقد تكون هذه الطريقة ملائمة لاستخلاص المنجنيز من الأراضى الحامضية. وتعتبر القيمة ٢ جزء في المليون من المنجنيز المستخلص بالماء منخفضة بالنسبة للمحاصيل الحساسة للمنجنيز، في حين القيمة ١ جزء في المليون لنفس المستخلص هي الحد الحرج والذي عنده تظهر أعراض نقص المنجنيز على النباتات النامية في هذه الأراضى. أما بالنسبة لمحلول خلات الأمونيوم العيارى والمتعادل تكون الأراضى ذات محتوى منخفض من المنجنيز وتعاني النباتات النامية بها من نقص هذا العنصر إذا كانت القيمة المستخلصة ٣,٥ جزء في المليون، وهذه الطريقة يمكن استخدامها بنجاح في كثير من الأراضى. وتعتبر طريقة الاستخلاص بمركب DTPA من أكثر الطرق نجاحاً في كثير من الأراضى وكثير من المحاصيل وتعتبر القيمة ٢ جزء في المليون في هذا المستخلص هي البداية لعدم استجابة المحاصيل المختلفة لإضافة المنجنيز لهذه الأراضى. والمستوى الحرج للمنجنيز المستخلص بمحلول الفوسفات هي في مدى ١٥-٢٠ جزء في المليون، وهذه الطريقة من أحسن الطرق المستخدمة للأراضى المعدنية.

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

محلل الاستخلاص	التربة (جم) إلى المستخلص (مل)	زمن الرج (دقيقة)
الماء	١٠٠:١٠	٣٠
١ N خلات أمونيوم (pH 7.0)	١٠٠:١٠	١٨٠ + ٣٠ رج متقطع
0.2% Hydroquinone + ١ N NH <sub>4</sub> OAc (pH 7.0) خلات أمونيوم	١٠٠:١٠	٨٠ + ٣٠ رج متقطع
١, ٠ N حمض H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	١٠٠:١٠	٦٠
Double acid (0.05 N HCl + 0.025 N H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )	٢٠:٥	٥
DTPA (0.005 M DTPA + 0.1 N TEA + 0.01 M CaCl <sub>2</sub> (pH 7.3)	٢٠:١٠	١٢٠

### المنجنيز في 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 الاجزاء النشطة فسيولوجياً من النبات وخاصة الاوراق، والمنجنيز من العناصر غير المتحركة داخل النبات، وبالتالي إعادة توزيع هذا العنصر بين الأجزاء المختلفة داخل النبات قليلة جداً. يساهم المنجنيز في العديد من العمليات الحيوية داخل النبات والتي تؤدي إلى زيادة الإنتاج وتحسن من جودته في كثير من المحاصيل الزراعية، حيث يقوم بدور العامل المساعد الأساسي أو الثانوي في حياة النبات، وهو يلعب دوراً مباشراً في عمليات التأكسد والاختزال وخاصة بالنسبة لمركبات الحديد، حيث يمثل المنجنيز أحد العوامل المسببة لظهور الاصفرار الناتج عن نقص الحديد، ويرجع ذلك لتحويل الحديدوز إلى حديدك وهذه الصورة تعتبر خاملة من الوجهة الفسيولوجية.

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

بنفس العمل بالنسبة للإنزيمات التي ينشطها بعض الكاتيونات الأخرى. وللمنجنيز علاقة بتكوين الكلوروفيل، حيث تتأثر البلاستيدات الخضراء بنقص المنجنيز. كذلك وجد أن المنجنيز ضروري لانشطار جزيء الماء أثناء عملية التمثيل الضوئي (Hill's re-action) كما في المعادلة، حيث يقوم بأكسدة جزيء الماء في وجود الضوء والكلوروفيل إلى أيونات الأيدروجين والأكسجين ثم تختزل أيونات المنجنيز باستقبالها لأيونات الأيدروجين. أيضاً يلعب المنجنيز دوراً هاماً في تمثيل النيتروجين داخل النبات.



### تركيز المنجنيز في النبات :

يختلف المنجنيز عن باقى العناصر الصغرى من حيث اختلاف تركيزه بالنبات، حيث وجد أن هناك اختلافات كبيرة في تركيز المنجنيز داخل النباتات المختلفة وليس هذا فقط، بل أيضاً بين النباتات داخل النوع الواحد. والتركيز العادى لهذا العنصر بالنباتات يكون في مدى ٢٠ إلى ٥٠٠ جزء في المليون في 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 في جدول (٧-١١)، ومن هذا الجدول نجد أنه عند انخفاض التركيز عن ٢٠ جزءاً في المليون في كثير من النباتات تظهر أعراض نقص المنجنيز. بينما تظهر أعراض السمية على النبات إذا زاد التركيز عن ٥٠٠ جزء في المليون، ويشذ عن ذلك نبات الأرز، حيث وجد أن هذا النبات شديد التحمل لزيادة المنجنيز في وسط النمو حتى إذا وصل التركيز إلى ٢٥٠٠ جزء في المليون، كما وجد أيضاً أن هناك علاقة بين كل من أعراض النقص والسمية بعنصر المنجنيز والتي تظهر على النبات بمحتوى هذا النبات من الحديد. فالتركيز المرتفع جداً أو المنخفض جداً من الحديد بالنبات مقارنة بتركيز المنجنيز يؤدي إلى ظهور أعراض النقص أو السمية بالمنجنيز على النبات بالترتيب.

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

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

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، الارز واللفت.

ج- 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 والأناس وبنجر السكر والطماطم ومحاصيل الحبوب والبرسيم تعتبر من المحاصيل الحساسة لزيادة المنجنيز وبالتالي تظهر عليها أعراض السمية.

### أعراض نقص المنجنيز على النبات :

تبدأ ظهور الأعراض أولاً على الأوراق الحديثة النمو 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 مينة منتشرة على الورقة مع بقاء عروق الورقة خضراء داكنة (أى تبدو الورقة مبقةة 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 يلي أعراض نقص المنجنيز على أهم المحاصيل الاقتصادية:

**الموالح:** تظهر الأعراض أولاً على الأوراق الحديثة في شكل مناطق ذات لون أخضر داكن على طول العرق الوسطى والعروق الجانبية الرئيسية مع ظهور لون أخضر باهت على المساحات الموجودة بينها على نصل الورقة. وقد تمتد هذه الأعراض بسرعة إلى الأوراق الأكبر عمراً. وفي المراحل المبكرة تظهر الأعراض بشكل بقع أو نقط خضراء فاتحة غير منتظمة على حواف الورقة، ومعظم هذه البقع تأخذ شكل حدوة تتجه فتحته 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 في عدة نقاط وهي:

- حجم الورقة لا يصغر، وشكل الفرع لا يتغير.
- نصفا الورقة يكونان متماثلان في المساحة.
- لا يحدث قصر في 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 في 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 القمي أخضر لبعض الوقت، ومع استمرار النقص تظهر الأعراض على الأوراق الأكبر سناً على شكل نقط بنية مخروطية الشكل تظهر مبعثرة على الربع القاعدي من الورقة .

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

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

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

الطماطم: يبدأ باصفرار الأوراق العليا ويكون الاصفرار أيضاً بالعرق الرئيسي للوريقة، ويكون على هيئة بقع تظهر بقاعدة الوريقات أكثر من قمته، ثم باشتداد النقص يتحول اللون إلى اللون البني في 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 التي تحتوي على المنجنيز سواء عن طريق التربة أو عن طريق الرش وخاصة في حالة الرغبة في 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 أساسياً في تحديد طريقة الإضافة. وعلى ذلك ففي الأراضي الجيرية يفضل استخدام الأسمدة الخلبية عن الأسمدة المعدنية وذلك لقابلية المنجنيز في الصورة الأخيرة للتأكسد وبالتالي يصبح أقل تيسراً للنبات، وفي حالة عدم توفر المركبات الخلبية يمكن استخدام المركبات المعدنية تكبيشاً بجوار النبات أو الأفضل استخدامها رشاً على المجموع الخضري للنبات.

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

المعدلات المقترحة للاستخدام كجم منجنيز / هكتار			%	الرمز الكيميائي	اسم السماد
رش	تكبيش	نثر			
٢,٠-٠,٥	١١-٦	١٣٠-٢٢	٢٨-٢٦	MnSO <sub>4</sub> · 3H <sub>2</sub> O	كبريتات منجنيز
٦-٤	١١	٨٤	٦٨-٤١	MnO	أكسيد منجنيز
٠,٥-٠,١	-	-	١٢	Mn-EDTA	منجنيز مخلبي

عن الـ FAO سنة ١٩٨٣

## النحاس 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 الكيمىائى 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 Malchite ( $Cu_2O$ ) Cuprite ( $CuCO_3$ ). 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 متبادلاً 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 المجموع الكربوكسيلية والفينولية أو البيهدروكسيلية 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 لا يتعدى تركيزها فى المحلول الأرضى غالباً عن ٠,٠٠١ جزء

فى المليون، ويرجع ذلك لأن معظم النحاس الذائب فى المحلول الأرضى يرتبط مع المادة العضوية ويكون مركبات ثابتة. وتعتبر الصورة الأيونية  $Cu^{2+}$  هى الأكثر سيادة عند pH الأقل من ٧، بينما تكون السيادة للصورة  $Cu(OH)^+$  فى محلول التربة 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 يزداد 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 في 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 في 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 لا يقتصر على زيادة المادة العضوية فقط، ففي 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 تعاني من نقص النحاس وذلك لقلة الكمية الميسرة حيث ترتبط الكمية الذائبة من هذا العنصر بقوام التربة، وبالتالي 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 يؤدي إلى ظهور نقص النحاس.

٦ - كربونات الكالسيوم: كما هو معروف بأن زيادة كربونات الكالسيوم فى التربة ترفع من قيمة pH التربة وبالتالي 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

$\text{CaCO}_3$ ,  $\text{Cu(OH)}_2$  غير الذائبة وبالتالي تقلل من صلاحية هذا العنصر.

### اختبارات التربة للنحاس :

يوجد العديد من الطرق المستخدمة في تقدير مستوى النحاس الميسر في التربة والتي يستخدم فيها محاليل استخلاص مختلفة، وسوف نتعرض لبعض هذه الطرق علماً بأن نتائجها موثوق فيها للتنبؤ بمستوى النحاس الميسر في بعض الأراضي وليست كلها. وكمية النحاس الميسر في 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.

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

### جدول (٧-١٣) طرق استخلاص النحاس من التربة

الحد المخرج (ppm)	زمن الرج (دقيقة)	التربة (جم) إلى المحلول (مل)	محلول الاستخلاص
-	٦٠	٥٠ : ٥	Citrate + EDTA*
٠,٢	٦٠	١٠٠ : ٥٠	N NH <sub>4</sub> OAc (pH 4.8)
٠,٢	١٢٠	٢٠ : ١٠	DTPA
٠,٤	٥	٢٠ : ٥	0.05 N HCl + 0.025 N H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>

\* لتحضير واحد لتر من المحلول يذاب ٢٠٠ جم سترات أمونيوم + ٥٠ جم  $\text{Na}_2\text{-EDTA}$  في لتر ماء مقطر وتكون قيمة الـ pH للمحلول هي ٨,٥.

### النحاس في النبات Copper in Plant

#### الوظائف الحيوية للنحاس Copper Biological Functions

يعتبر النحاس أحد مكونات بعض إنزيمات الأكسدة والاختزال ومن العناصر اللازمة للعديد من البروتينات، ودوره الأساسي يكون واضحاً في عمل إنزيم السيستوكروم

أو أكسيديز 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 في النبات يتركز في الكلوروفيل Chlorophyll مما يوضح مدى أهمية هذا العنصر في تخليق الكلوروفيل وأيضاً يُعزز النحاس من تكوين فيتامين أ (Vitamin A) في النبات. كذلك وجد أن النحاس يؤثر على تبادل الكربوهيدرات والبروتينات ويزيد من مقاومة النبات ضد الأمراض الفطرية.

### تركيز النحاس في النبات :

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

### الحدود الحرجة للنحاس في النبات :

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

### حساسية النباتات المختلفة لنقص النحاس في التربة :

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

أ - نباتات حساسة لنقص النحاس: 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.

ج - نباتات قليلة الحساسية لنقص النحاس وتشمل الأسبرجس، الفول، البسلة، البطاطس، فول الصويا والأرز.

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

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

#### أعراض نقص النحاس على النبات :

عادة تظهر أعراض نقص النحاس على النباتات النامية فى تربة تعاني 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 في المليون . وعلى هذا يزداد ظهور أعراض النقص في الأراضي العضوية عنها في الأراضي المعدنية، كما تعاني الأراضي القاعدية وخاصة الجيرية منها والأراضي الرملية الحامضية من نقص النحاس . هذا وتؤدي الإضافة الزائدة لكل من النيتروجين، الفوسفور والزنك إلى ظهور أعراض النحاس على النبات .

والنحاس قد يسلك كل من العناصر المتحركة وغير المتحركة داخل النبات، ويتوقف ذلك على مدى توفر هذا العنصر في وسط النمو . وبصفة عامة فإن أعراض نقص النحاس عبارة عن تحول لون الورقة إلى اللون الأبيض مع صفر حجم الورقة وقصر المسافات بين العقد وبالتالي تقزم والتفاف النبات وتساقط الأزهار . وفي محاصيل الحبوب مثل القمح والشعير والأرز، تظهر الأعراض على شكل جفاف وموت قمة الأوراق أو أجزاء من الورقة . وتلتف الأجزاء الجافة على شكل لولب، وقد تجف الأوراق دون تغير في لونها . وتظهر الأعراض على السنابل حيث يكون السفا غير قائم والسنابل غير ممتلئة ومشوهة . وتظهر هذه الأعراض أكثر ما يكون على النباتات النامية في الأراضي الرملية حديثة الاستصلاح أما بالنسبة للمواالح 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 في القشرة، وفي 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 في تركيب كثير من المبيدات الحشرية والفطرية والتي تستخدم بكثرة حالياً في الزراعة .

أما من حيث أعراض السمية والتي قد تحدث بكثرة مع الاستخدام الزائد للأسمدة التي تحوى النحاس أن من استخدام المبيدات الفطرية أو الحشرية فتكون عبارة عن إصفرار Cholorsis والذي 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 الأراضي الرملية - الجيرية والعضوية من أكثر الأراضي تعرضاً لظهور أعراض نقص النحاس على النباتات النامية بها، ويتم علاج النقص بعد تقدير الكمية المسيرة منه بالأرض وتحديد الكمية اللازمة والتي يحتاجها النبات وذلك تجنباً لإضافة أى زيادة من النحاس والتي تسبب سمية وضرر للنبات .

ويجب ذكر أن صفات كل من التربة والسماذ لهما دوراً هاماً فى تحديد الكمية وطريقة الإضافة للسماذ ( جدول ٧-١٥ ) . فمثلاً يفضل إضافة المركبات الخيلية للنباتات المنزرعة فى الأراضي الجيرية وذلك لقدرة تلك المركبات على الحفاظ على النحاس فى صورته الصالحة للنبات . وفى كثير من الأحيان يفضل استخدام كبريتات النحاس المائية  $CuSO_4 \cdot 5H_2O$  لإضافتها بالرش وذلك لقدرتها العالية على الذوبان .

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

السماذ	الرمز الكيميائى	% للنحاس	معدل الإضافة المقترح كجم نحاس / هكتار	
			نثر	تكميش رش
كبريتات النحاس	$CuSO_4 \cdot 5H_2O$	٢٥	٦,٠ - ٣,٠	٤,٥ - ١,٤ / ٠,١ كجم
النحاس الخيلى	$CuSO_4 \cdot H_2O$	٣٥	٦,٠ - ٣,٠	٤,٥ - ١,٤ / ١٠٠ لتر ماء
النحاس الخيلى	$Na_2CuEDTA$	١٣	٢,٤ - ٠,٨	٠,٨ - ٠,٢ / ٣٠ جم
	$Na-CuEDTA$	٩	٢,٤ - ٠,٨	٠,٨ - ٠,٢ / ١٠٠ لتر ماء

عن الـ FAO سنة ١٩٨٣

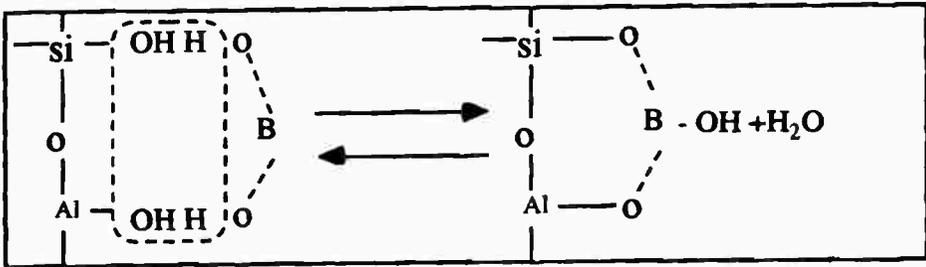
## البورون Boron

### البورون في الأرض Boron in Soils

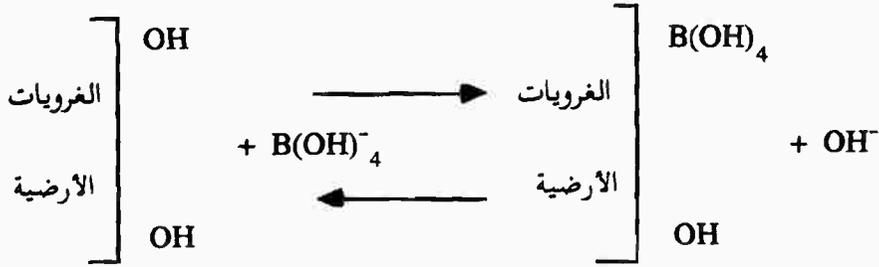
يوجد البورون في الأرض في عدة صور كما يلي:

١ - المعادن الأرضية: يدخل البورون في تركيب كثير من المعادن الأرضية وبالتالي فهو ينتشر في كثير من الأراضي. وأكثر المعادن السيليكاتية شيوعاً والتي تحتوي على البورون هو معدن التورمالين *Florin borosilicate tourmaline* ونسبة البورون به من ٣ - ٤٪، وهذا المعدن مقاوم لعمليات التجوية وبالتالي تعتبر صور البورون في المركبات المعدنية غير ميسرة للامتصاص بواسطة النبات مباشرة ما لم يتحرر ويصبح ذائباً في المحلول الأرضي.

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



في الأراضي القاعدية يصبح البورون على صورة أيون البورات  $B(OH)_4^-$  المتعادلة في المحلول الأرضي وبالتالي يحدث لهذه الأنيونات امتصاص على أسطح الغرويات الأرضية عن طريق تبادله مع أنيون الأيدروكسيل:



يزداد ادمصاص البورون في الأراضي القاعدية والجيرية بهذه الطريقة نظراً لزيادة تكوين أنيون البورات في مثل هذه الأراضي، وهذا يقلل من فقد البورون عن طريق الغسيل. وعموماً يعتبر البورون المدمص مخزوناً أساسياً للبورون في الأرض نظراً لوجود حالة من الاتزان بينه وبين البورون الذائب في المحلول الأرضي حيث يمكن تبادله مع أنيونات الأيدروكسيل الذائبة في المحلول الأرضي وبالتالي يمكن أن يعوض انخفاض تركيز البورون في المحلول الأرضي نتيجة امتصاص النبات له.

٣ - البورون المرتبط مع المادة العضوية: يوجد البورون بكميات محسوسة مرتبطاً مع المادة العضوية. وقد يرتبط البورون مع المجموع الفعالة للمواد الدبالية مثل مجموعات الكربوكسيل، والهيدروكسيل مكوناً معقدات مختلفة في درجة ذوبانها. ويمكن أن يحدث انطلاق للبورون من هذه المعقدات بعد عملية التحلل بفعل الكائنات الدقيقة.

٤ - البورون الذائب في المحلول الأرضي: وتعتبر هذه الصورة من أهم الصور من حيث درجة صلاحيتها للنبات. ويوجد البورون أساساً على صورة حمض البوريك  $\text{H}_3\text{BO}_3$  وهذا الحمض غير قابل للتأين في ظروف الـ pH العادية للأراضي الزراعية؛ ولذلك يكون عرضة للفقْد من الأرض عن طريق عملية الغسيل. بينما تحت ظروف الأراضي القاعدية ومع ارتفاع الـ pH يتحد حمض البوريك مع الماء ويتكون أنيون البورات المتأثرة  $\text{B(OH)}_4^-$  التي يحدث لها ادمصاص في المواقع الموجبة الشحنة أو بالتبادل مع مجموعة  $\text{OH}^-$  على أسطح الغرويات الأرضية.

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

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

### البورون الكلى:

يتراوح تركيز البورون في الاراضى المختلفة بصفة عامة بين ٢ إلى ١٠٠ جزء في المليون، بمتوسط عام ٣٠ جزءاً في المليون. وتعتبر الاراضى الناشئة من مادة أصل حامضية (صخور حامضية التأثير) - الاراضى المتكونة بفعل ترسيبى عن مياه عذبة، وأيضاً الاراضى خشنة القوام وكذلك الاراضى الفقيرة فى المادة العضوية تكون كلها فقيرة فى محتواها من البورون الكلى. والعكس فى الاراضى الغنية بالطين الصفائحي والاراضى الرسوبية الناعمة القوام تكون ذات محتوى مرتفع من البورون الكلى. وأيضاً تكون الاراضى الجيرية والاراضى المتأثرة بالأملاح والاراضى المتاخمة للبحار (تركيز البورون فى مياه البحار ٧,٤ جزء فى المليون) ذات محتوى مرتفع من البورون. وعنصر البورون عرضة للغسيل بسهولة، وبالتالي يمكن القول بأن الاراضى الواقعة فى المناطق الجافة وشبه الجافة تكون ذات محتوى مرتفع من البورون بالمقارنة بالاراضى 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:

يعتبر البورون المستخلص من التربة بالماء الساخن معياراً تماماً عن البورون الميسر للنبات ويتراوح تركيزه بين ٠,١ و ٣,٠ جزء فى المليون وتعتبر الاراضى الجافة ذات القيم الاعلى 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 الاراضى الصودية الملحية، وفى الاراضى 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 المجماميع الفعالة مثل المجماميع الكربوكسيلية والهيدروكسيلية مكوناً معقدات عضوية مختلفة في درجة ذوبانها، ولكن يمكن القول بأن مع تحلل هذه المواد بفعل الكائنات الأرضية الدقيقة ينطلق البورون الذائب. ويزداد تأثير المادة العضوية على تيسر البورون في الأراضي الحامضية حيث تتكون معقدات ذائبة من البورون والمادة العضوية.

٣ - **قوام التربة**: بصفة عامة تقل كمية البورون الميسر للنبات في الأراضي خشنة القوام سريعة النفاذية، بالمقارنة بالأراضي ناعمة القوام. ونتيجة لقلة السعة التبادلية الأيونية للأراضي الرملية وبالتالي قلة أسطح الأدمصاص للبورون فإنه يحدث فقد لهذا العنصر عن طريق الغسيل وخاصة في الأراضي الرطبة. وفي الأراضي الطينية يلعب نوع الطين السائد دوراً مهماً في ادمصاص البورون، حيث وجد أن معدن الإيليت ذو قدرة مرتفعة على ادمصاص البورون يليه معدن المونتيموريللونيت وأقل هذه المعادن هو معدن الكاؤولينيت. وعموماً يعتبر القوام ذا تأثير أقل على تيسر البورون بالمقارنة بتأثير المادة العضوية أو الpH.

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، وبالتالي تظهر حالة أعراض النقص على النبات. ومع زيادة الرطوبة يزداد معدل حركة البورون الذائب إلى سطح الجذور وبالتالي يزداد تيسره وانتشاره.

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

### اختبارات التربة للبورون

تعتبر طريقة تقدير البورون الميسر بالتربة بواسطة الاستخلاص بالماء المغلي أكثر الطرق انتشاراً، وفيها يتم الاستخلاص بماء مغلي مع الرج لمدة ٥ دقائق وتكون نسبة التربة:

المستخلص هي ١ : ٢ . وتعتبر الأراضى المحتوية على ٠,١ - ٠,٥ جزء في المليون بورون ذائب فى الماء الساخن ذات إمداد ملائم وكاف لنمو معظم النباتات العادية . وعند إجراء اختبارات التربة للبورون يجب مراعاة : قوام التربة حيث تحتاج النباتات فى الأراضى الطينية الثقيلة إلى كمية ميسرة من البورون أكثر منها فى الأراضى الرملية الخفيفة وعلى هذا يكون الحد الحرج من البورون فى مستخلص الأراضى الطينية ذات قيمة أعلى منها بالنسبة للأراضى الرملية . أيضاً بالنسبة لرقم 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 تعاني النباتات النامية بهذه الأرض من نقص البورون ، فى حين أنه عند نفس القيمة من البورون الميسر فى الأراضى القاعدية وجد أن النباتات النامية بها تعاني من شدة النقص . وأخيراً تعاني النباتات من السمية نتيجة زيادة لبورون فى حالة زيادة التركيز فى مستخلص الماء الساخن عن ٥ جزء فى المليون .

### البورون فى النبات Boron in Plant

على الرغم من أن احتياجات النباتات المختلفة من البورون قليلة جداً 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 جداً فى وجود البورون بتركيز منخفض جداً يصل إلى أقل من واحد جزء فى المليون . بينما قد يصل تركيز هذا العنصر فى هذه المزارع من ١٠ إلى ١٥ جزءاً فى المليون لكى تنمو نباتات أخرى مثل بنجر السكر نمواً طبيعياً .

ويعتبر البورون مهماً فى تغذية النبات لمساهمته فى كثير من العمليات الفسيولوجية والتي من أهمها :

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

من البورون .

ج- يلزم فى تمثيل اللجنين وبعض التفاعلات الحيوية .

د - مهم فى تمثيل البروتين والأحماض النووية وبالتالي 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 اختلافاً 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 جزئياً من البورون . وتختلف أجزاء النبات الواحد فيما بينها فى محتواها من البورون فتركيز البورون فى الأوراق يكون مرتفعاً عنه فى السيقان، ويكون أعلى تركيز داخل أجزاء الورقة نفسها فى حوافها . وعموماً يقل تركيز البورون داخل النبات ككل فى مراحل نموه الأولى، بينما يظل التركيز ثابتاً تقريباً فى معظم مراحل النمو .

### الحدود المخرجة 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 طبيعياً 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	٢ - ١	١٠ - ٥	٢٥
القمح	القمة	٤ >	٥	---
الشعير	القمة	٨ >	١٠ - ٨	---
ذات الفلقتين				
البنجر	الأوراق	١٦ - ١٥	٨٣ - ٢٧	---
القطن	الأوراق	١٦	٥٠ - ٣٠	- ٥٥٢
الحس	الأوراق	---	٤٣ - ٢٧	١٦٢٥
فول سودانى	الأوراق	٢٥ >	---	٨١٧ - ٧٠
بنجر السكر	الأوراق	٢٨ - ٤	٥٢ - ٢٥	---
				---

عن FAO - 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

الفسيزيولوجية التي تصيب النبات ومنها تعفن اللب في بنجر السكر، التفاف الأوراق في البطاطس، واللب البنى فى اللفت، والأسمرار فى القرنبيط. كذلك نتيجة لتأثير البورون على تمثيل البروتين فإن نقص البورون يؤدي إلى عدم تكوين البروتين وبالتالي عدم تكوين الأزهار وتأخر النضج، كذلك يعرقل تكوين السنابل وتتلون الأوراق الحديثة بلون أخضر مزرق داكن وتمتاز بزيادة سمكها وعدم انتظامها. كما يتأثر أيضاً نمو وتطور الجذور حيث تبدو سميكة - غير نظيفة ويوجد تبرقش فى قمته.

وتختلف قدرة المحاصيل المختلفة على درجة تحمل نقص البورون فى الأرض. وأمكن تصنيف النباتات المختلفة تبعاً 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 فى الأرض

نباتات حساسة	نباتات متوسطة الحساسية	نباتات عالية الحساسية
الفاول، الشعير، الذرة الشوفان، البسلة، فول الصويا، البطاطس، الذرة الرفيعة، الأرز، القمح، الجريب فروت (موالح).	الكرب، الجذر، القطن، الخس، الفجل، السبانخ، الخوخ، الكشمري، والعنب.	البرسيم الحجازي، 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 التي تؤدي إلى السمية بالبورون قريبة جداً، وإن الزيادة فى تركيز البورون تؤدي إلى إعاقة النمو الطبيعي للنبات. وبتزايد تركيز البورون فى التربة يزداد امتصاصه وبالتالي ظهور أعراض السمية والتي تتمثل فى احتراق قمم الأوراق وظهور اللون الأصفر الباهت والذي ينتشر بين العروق

الجانبية متجهاً إلى العروق الوسطى . وتعتبر سمية البورون مشكلة في الأراضي الموجودة في المناطق الجافة وخاصة في الأراضي الملحية الصودية والأراضي الناشئة من الترسيبات البحرية والأراضي التي يتم ربيها بماء ذات محتوى مرتفع من البورون والأراضي الناشئة من مادة أصل غنية في البورون وأخيراً الاستهلاك الزائد من الأسمدة الحاملة للبورون . ويمكن معالجة نقص البورون في الأرض عن طريق إضافة الأسمدة المحتوية على العنصر (جدول ٧ - ١٨) .

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

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

وتعتبر طريقة الإضافة بالرش من أفضل الطرق لعلاج نقص البورون مع مراعاة التركيز الملائم في محلول الرش . وقد يضاف البورون إلى الأرض وهنا يفضل أن يضاف تكبيشاً بجوار النبات عن الإضافة نثراً . وتختلف كمية السماد المستخدمة تبعاً لطريقة الإضافة .

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

## الموليبدينم Molybdenum

### الموليبدينم فى الأرض Molybdenum in Soil

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

- المعادن الأرضية: ومنها الموليبدينايت ( $\text{MoS}_2$ ) Powellite, Molybdenite، والفيروموليبدايت ( $\text{Fe}(\text{MoO}_4)_3 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ ) Ferromolybdate. وأيضاً يوجد هذا العنصر فى تركيب بعض المعادن السيليكاتية ومنها الفلسبارات والميكا نتيجة حدوث عملية الإحلال المتماثل بين  $\text{Mo}^{4+}$  و  $\text{Al}^{3+}$  فى صفيحة الأركتاهيدرا لهذه المعادن. والموليبدينم الموجود فى هذه الصورة درجة ذوبانه قليلة جداً. وفى بعض الأراضى وخاصة الحمضية منها يوجد الموليبدينم مرتبط مع الأكاسيد السداسية وهذه الروابط تكون ثابتة وعلى هذا يكون الموليبدينم الموجود فى هذه الصورة أيضاً درجة صلاحيته للنبات قليلة جداً.

- الموليبدينم الموجود فى صورة أنيون  $\text{MoO}_4^{2-}$ : والموجود على أسطح حبيبات التربة ( ذات الشحنة الموجبة )، والـ  $\text{Mo}$  يكون ممسوكاً بروابط ثابتة وبالتالي تكون درجة تيسره للنبات قليلة.

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

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

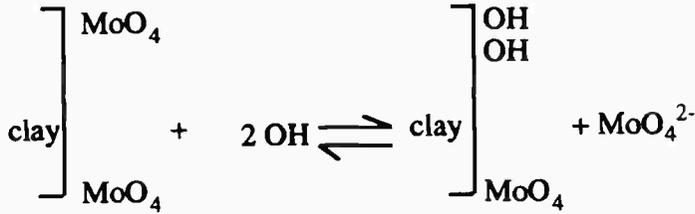
## الموليبدينم الكلى:

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

## الموليبدينم الميسر:

تتأثر الكمية الميسرة من الموليبدينم بعدة عوامل وهى:

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



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

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

٣ - قوام الأرض: يلعب قوام التربة دوراً مهماً فى كمية الموليبدنم الميسرة للنبات، حيث وجد أن الأرض الرملية تعاني من نقص الموليبدنم وذلك لسهولة فقده من محلول التربة وذلك لعدم وجود أسطح إدمصاص لهذه الأرض. والعكس فى الاراضى ثقيلة القوام حيث يحدث إدمصاص للموليبدنم 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 الاراضى الحامضية، ويفسر ذلك بتأثير كربونات الكالسيوم على رفع رقم الـ pH للتربة مما يزيد من انطلاق الموليبدنم المدمص على أسطح الغرويات الارضية إلى المحلول الأرضى.

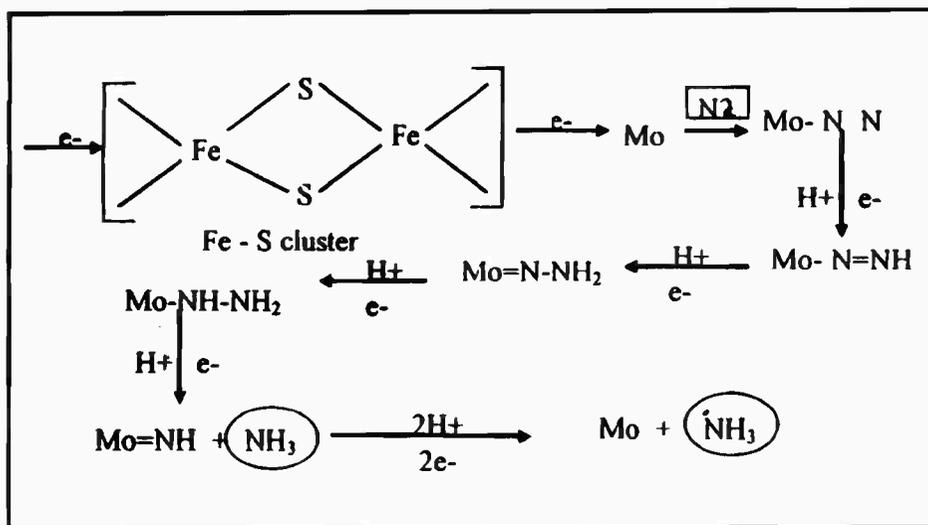
٥ - التداخل مع الأيونات المغذية الأخرى: يعتبر وجود الفوسفات الذائبة فى المحلول الأرضى عامل مشجع على زوبان الموليبدات وامتصاصها بواسطة النبات، وفى بعض الاحيان ترتبط سمية الموليبدنم للنبات بزيادة كميات الفوسفات الذائبة فى المحلول الأرضى. والعكس فى حالة زيادة الكبريتات الذائبة فى المحلول الأرضى حيث يحدث إعاقة لامتصاص الموليبدات بواسطة النبات ويُفسر ذلك بحدوث تنافس بين أيون الكبريتات  $SO_4^{2-}$  وأنيون الموليبدات  $MoO_4^{2-}$  على مواقع الإدمصاص على أسطح الجذور خلال عملية الامتصاص. وهناك أيضاً ظاهرة التضاد **Antagonism** بين الموليبدنم والنحاس، حيث إن الزيادة من النحاس الميسر يؤدي إلى خفض الكمية الممتصة من الموليبدنم بواسطة النبات، وأمكن معالجة السمية الناشئة عن الموليبدنم بإضافة النحاس إلى التربة. وأخيراً فإن الزيادة من أكسيد الحديدك  $Fe_2O_3$  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 التاكسد  $NO_3^-$ ، فى حين أن الاحماض

الامينية والمركبات العضوية الأخرى تحتوى على النيتروجين فى درجة عالية من الاختزال . وبالتالي فاختزال النيتروجين هو إحدى خطوات تخليق الأحماض الامينية 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 والتي 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<sub>2</sub> إلى NH<sub>3</sub> ومن هنا يكون الموليبدنم عنصراً مهماً للنباتات البقولية والبكتريا المثبتة للنيتروجين . وبالتالي يمكن القول بأن احتياج النبات للموليبدنيم يزداد فى حالة زيادة التسميد النتراتى، كذلك وجد أن الموليبدنم يلعب دوراً فى تكوين حمض الاسكوربيك .



شكل (٧-٢): دور الموليبدنم فى اختزال النيتروجين إلى أمونيا

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

### 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 (٠,٠٣٦)، 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 و ٢,٠ جزء فى المليون. ويجب التذكار 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 بباقي أجزاء نفس الورقة.

### الحدود المخرجة 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 يؤدي إلى حدوث مشاكل صحية مع الحيوانات التى تتغذى على تلك الاعلاف 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 يؤدي إلى إعاقه النمو الطبيعي 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 طبيعي 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 للموليبدنم 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

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

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

جدول (٧-٢٠): أهم المركبات السماوية المستخدمة كمصدر للموليبدينم

المصدر	التركيب الكيميائي	% للموليبدينم
مولبيدات الصوديوم	$\text{Na MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	٣٩
مولبيدات الامونيوم	$(\text{NH}_4)_6 \text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	٥٤
ثالث اكسيد الموليبدينم	$\text{MoO}_3$	٦٦

ومن ناحية طريقة ومعدل إضافة الأسمدة التي تحوى على الموليبدينم فهى تختلف حسب نوع التربة وقدرتها على تثبيت هذا العنصر كذلك على نوع المحصول نفسه. والطرق المستخدمة هى الإضافة الأرضية وفيها يضاف الموليبدينم بمعدل ٧٠ إلى ٢٠٠ جرام موليبدينم / هكتار، وهذا المعدل كاف لمحاصيل العلف والبقوليات والعديد من محاصيل الحقل، بينما هناك بعض محاصيل الخضار ومنها القرنبيط يحتاج إلى زيادة هذا المعدل إلى ٤٠٠ جرام / هكتار. وتعتبر الإضافة بالرش من الطرق الفعالة وخاصة فى حالة الاراضى ذات القدرة العالية على تثبيت الموليبدينم، وفى هذه الطريقة يتم عمل محلول من الملح المحتوى على الموليبدينم بتركيز من ٠,١ - ٠,٣ ٪. ومن الطرق الفعالة فى إضافة الموليبدينم طريقة معاملة البذور بكمية من العنصر المحدد إضافتها لوحدة المساحة والتي 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 كتناوى.

## الكلورين 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 وبالتالي 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 الري وحالة الصرف على كمية الكلوريد بالأرض. والأراضى التى تحتوى على الكلورين بتركيز أقل من ٢ جزء فى المليون ربما تعاني 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.

## محتوى النباتات من الكلورين

تختلف النباتات كثيراً في محتواها من الكلورين حيث يتراوح هذا المدى من ٠,١٥ - ٥,٥ ٪ من المادة الجافة. والكلورين غير متحرك نسبياً داخل النبات حيث وجد أن تركيز هذا العنصر مرتفع في الأوراق المسنة السفلية عنه في الأوراق الحديثة. ومن المعلومات القليلة الميسرة عن هذا العنصر، يتضح أن النباتات تلجأ إلى تجميع الكلورين في أنسجتها مع تقدم عمرها. ومع ذلك فالنباتات التي تحتوى أنسجتها على الكلورين بتركيز أقل من ١٠٠ جزء في المليون قد تعاني من نقص هذا العنصر.

## أعراض نقص الكلورين على النبات

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

السمية الناتجة عن زيادة الكلورين في المحلول الأرضي عادة ما تظهر على النباتات النامية في الأراضي المتأثرة بالأملاح أو في المناطق الساحلية. وتتمثل الأعراض الناتجة عن السمية في احتراق حواف الأوراق، ظهور اللون البرونزي **Bronzing colour**، نضج مبكر للأوراق وإصفرارها ويحدث لها تساقط مفاجيء. وتختلف المحاصيل في درجة حساسيتها وبالتالي درجة تحملها للكلورين في التربة كما يلي:

– محاصيل عالية في 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 التي تحتوى على الكلورين منها الأسمدة المعدنية مثل (كلوريد البوتاسيوم – كلوريد الأمونيوم) والأسمدة العضوية. ويصل الكلورين إلى

الأرض مع مياه الري الغنية بالكالورين كما يصل هذا العنصر إلى الأرض في المناطق الساحلية مع الرذاذ الناتج من مياه البحر. وبما لا شك فيه أن نقص الكلورين يؤثر على إنتاجية بعض المحاصيل، حيث وجد أن نباتات نخيل الزيت وجوز الهند تستجيب لإضافة الكلورين في الأراضي الفقيرة في هذا العنصر.

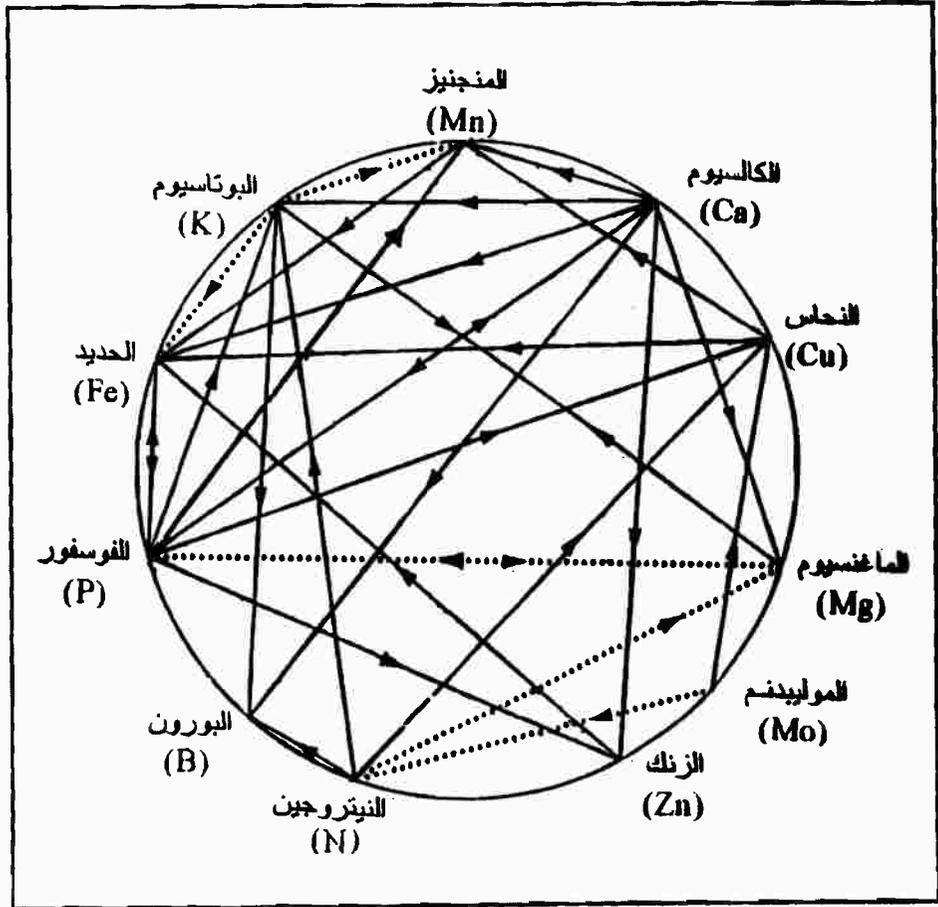
## العلاقة المتبادلة بين العناصر المغذية

### Interaction Effects Between Nutrients

هنا يجب ذكر أن هناك اختلافاً في درجة استجابة النباتات لإضافة كمية معينة من عنصر معين عند المستويات المختلفة من العناصر الغذائية الأخرى، ويرجع ذلك لأن كفاءة العنصر الغذائي 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 تؤدي زيادة تركيز أحد الأيونات في وسط النمو إلى تقليل امتصاص أيون أو أيونات أخرى من وسط النمو ويسمى هذا بالتضاد Antagonism. في حين قد تؤدي زيادة تركيز الأيون إلى زيادة امتصاص أيونات أخرى ويسمى هذا بالتنشيط Synergism، وتختلف الآراء في تفسير سبب هذا التنافس، ففي حين يعتقد البعض أن هذا التنافس غير متخصص Nonspecific بمعنى أن زيادة تركيز كاتيون أو أنيون معين في وسط النمو يؤدي 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 يؤدي إلى تقليل معدل امتصاص كاتيون أو أنيون آخر وليس باقى الكاتيونات أو الأنيونات.

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

ومن الشكل (٣-٧) والذي يوضح هذه العلاقات بين العناصر يلاحظ أن :  
 - أن النيتروجين (N) ينشط أو يحفز Stimulate امتصاص الماغنسيوم ولكن يثبط أو يصاد Antagonist النحاس، والبوتاسيوم والبورون .  
 - الفوسفور (P) ينشط امتصاص الماغنسيوم ولكن يصاد الكالسيوم، والبوتاسيوم، والزنك، والنحاس، والمنجنيز.



-----> علاقة تنشيط في اتجاه السهم

-----> علاقة تثبيط (تصاد) في اتجاه السهم

شكل (٣-٧): 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 واليوتاسيوم 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 .

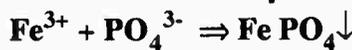
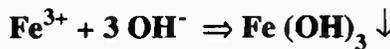
## المركبات المخلبية (الكيلاتية) الصناعية

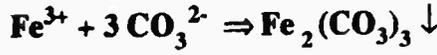
### Synthetic Chelates Compounds

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

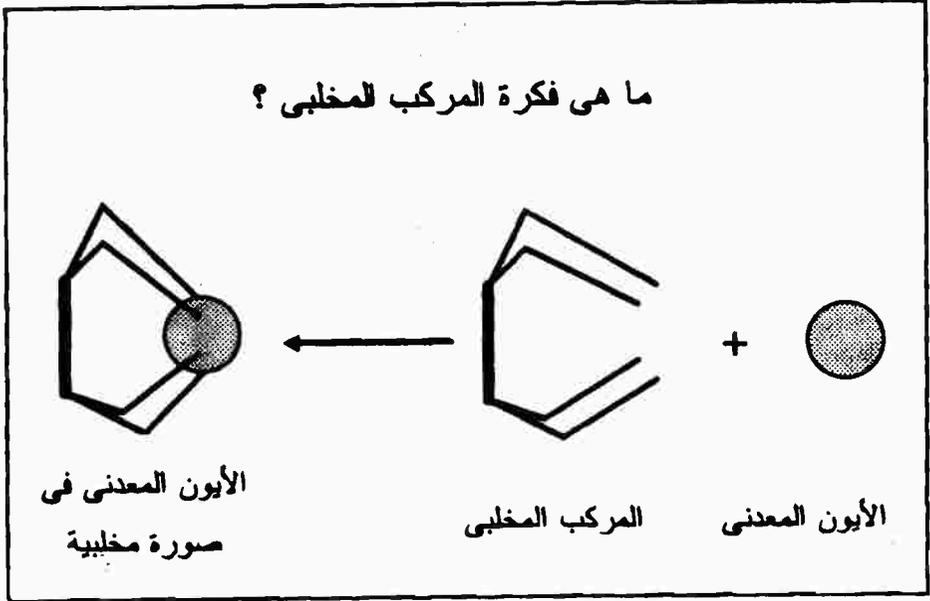
إن اصطلاح كلمة Chelates أو «مخلبيات» يُنسب إلى الكلمة اليونانية Claw والتي تعنى المخلب أو «الكيلاتى». وعلى هذا فالمركبات المخلبية هي مركبات لها القدرة على خلب أو مسك بعض المعادن وحفظها بداخلها، ووسيلة الخلب هنا هي الشحنات الكهربائية. والمركبات المخلبية المستخدمة في المجال الزراعي وخاصة في تغذية النبات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

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





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



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

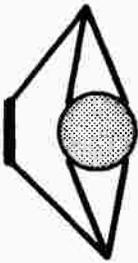
بينما في حالة إضافة هذا العنصر في صورة مخلبية فيمكن حمايته من الترسيب، وهناك العديد من هذه المركبات يوضحها شكل (٧ - ٥).

**EDTA: Ethylene diamine tetra acetic acid.**

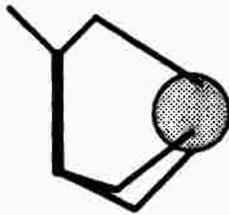
**DTPA: Diethylene triamine penta acetic acid.**

**HEDTA: Hydroxyle Ethylene diamine tri acetic acid.**

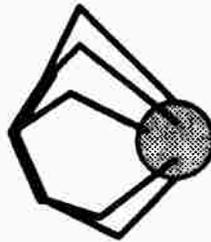
**EDDHA: Ethylene diamine di-o-hydroxyphenyl acetic acid.**



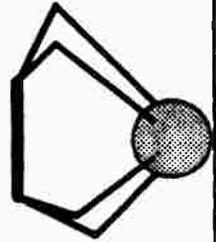
**EDDHA**



**HEDTA**



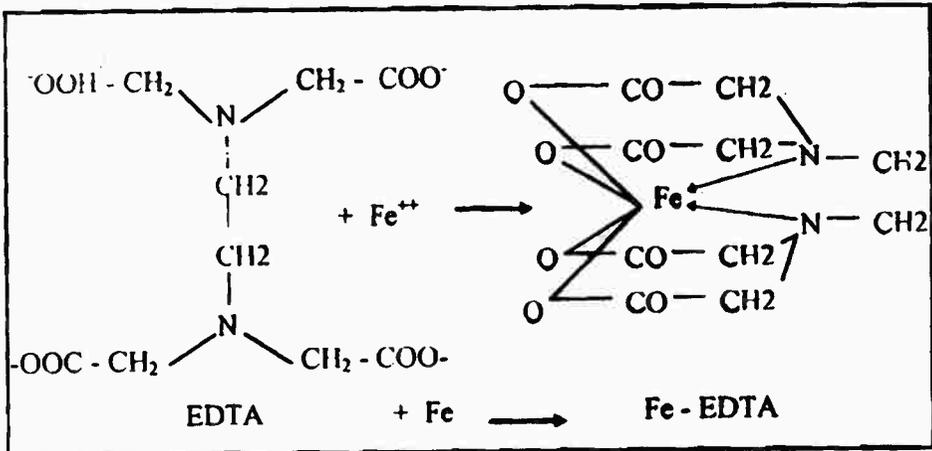
**DTPA**



**EDTA**

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

ويمكن توضيح التركيب البنائي لمركب Fe - EDTA كما يلي :



واستعمال هذه المركبات كمصدر لإمداد النبات بالحديد عملية واسعة الانتشار وناجحة طالما يتم اختيار المركب المناسب تبعاً لصفات الأرض، وخاصة رقم الـ pH ويمكن توضيح ذلك كما يلي:

**pH < 6 : Fe - EDTA**

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

**pH > 7 : Fe - EDDHA**

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

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

وتعتبر معادن المركبات المخلبية ذائبة في الماء، وحيث إن ثوابت تآين هذه المركبات منخفضة فإن التربة لا تستطيع تثبيت عناصرها. وتوجد المركبات المخلبية في حالة عدم وجود العناصر المعدنية مثل الحديد والنيحاس 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 في الأرض. حيث وجد أنه من الممكن معالجة نقص الحديد بواسطة إضافة مركبات الصوديوم المخلبية مباشرة إلى الأرض في منطقة نمو الجذور.

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

ويمكن إيجاز أهم مميزات المركبات المخلبية في النقاط التالية:

- ١ - يمكن استخدام معظم العناصر الصغرى على هذه الصورة المخلبية.
- ٢ - لا يحدث ترسيب للعناصر المرتبطة معها في المدى الملائم pH من المحلول لهذه المركبات.

٣ - تكون العناصر الصغرى فى صورة صالحة للنبات حتى فى الاراضى القاعدية أو الجيرية .

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

٥ - لها القدرة على مقاومة التحلل بالكائنات الارضية الدقيقة .

### طرق إضافة المركبات الخلبية

#### أولاً : الإضافة إلى التربة Soil Application

يمكن إضافة المركبات الخلبية 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 الري 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 استخداماً للعناصر الصغرى، وعن طريق التربة، فيما عدا الحديد خاصة فى الاراضى 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 ثباتاً تحت هذه الظروف .

#### ثانياً : الإضافة بالرش Foliar Application

ولإيضاح مدى أهمية استخدام المركبات الخلبية فى علاج حالات النقص بالعناصر الصغرى مقارنة بالمركبات المعدنية، ويمكن القول بأن كفاءة الاستخدام لاي مركب سمدى 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 في علاج حالات النقص عن طريق الرش أو التسميد الورقى فإن العنصر ذو الشحنة الموجبة يقابله شحنة سالبة على سطح بشرة الأوراق، وبالتالي يحدث تجاذب بين الشحنتين، وفي النهاية يكون مرور العنصر إلى الداخل بطيء أو يلقى صعوبة في المرور إلى داخل الورقة . بينما في حالة استخدام المركبات المخلبية كمصدر لنفس العنصر نجد أن المركب المخلبي يعادل شحنة العنصر، في النهاية يكون صافي الشحنة للمركب والعنصر معا متعادلة، أى ينعدم نشاط شحنة هذا العنصر، وبالتالي 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 أعلى منه بالنسبة للمركبات المعدنية وهذا طبيعى نتيجة عمليات التصنيع، لكن نظراً لأن فاعلية المركبات المخلبية أكبر فإنه يستخدم كمية أسمدة أقل وبالتالي 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 إنتاج 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 (Nutrient 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 المخملبية والتي 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 الكيلاية للعناصر الصغرى وطرق إضافتها

المركب	الصورة الموجود عليها	نسبة العنصر (%)	درجة الذوبان جم/لتر	طرق الإضافة
<b>مركبات الحديد</b>				
EDTA - FeK	سائل	٦		رش، تربة
EDTA - Fe Na. 3H <sub>2</sub> O	مسحوق	١٣	٩٠	رش، تربة
EDTA FeNH <sub>4</sub> . NH <sub>4</sub> OH	سائل	٧		رش، تربة
EDTA- FeNH <sub>4</sub> . NH <sub>4</sub> OH	مسحوق	١٣	١٠٠٠	رش، تربة
DTPA - Fe(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	سائل	٦		لا أرضية، تربة
DTPA - FeHNa	مسحوق	١١	١١٠	لا أرضية، تربة
HEDTA - Fe	محب	١٣	٧٠٠	لا أرضية، تربة
EDDHA - Fe Na	محب	٦	١٣٠	تربة، لا أرضية
EDDHA - Fe Na	محب	٧	١٠٠	تربة
<b>مركبات الزنك</b>				
EDTA - Zn (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	سائل	١٠		رش، تربة، لا أرضية
EDTA - Zn Na <sub>2</sub>	مسحوق	١٥	١٠٠٠	رش، تربة
<b>مركبات المنجنيز</b>				
EDTA - Mn K	سائل	٦		رش، تربة، لا أرضية
EDTA - Mn Na <sub>2</sub>	مسحوق	١٣	٨٠٠	رش، تربة
<b>مركبات النحاس</b>				
EDTA - Cu (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	سائل	٩		رش، لا أرضية، تربة
EDTA - Cu Na <sub>2</sub>	مسحوق	١٥	١٢٠٠	رش، تربة