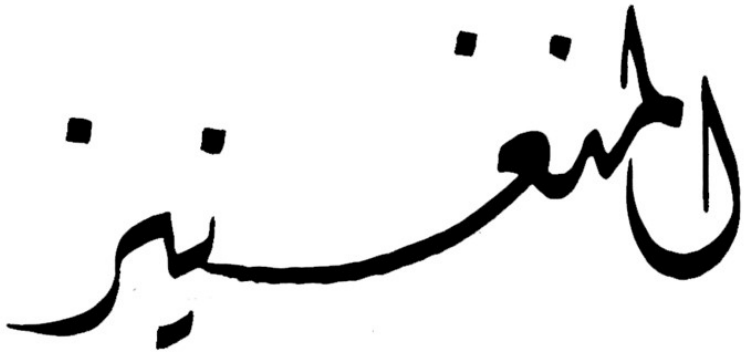
جامعة حماه
كلية الهندسة الزراعية – السلمية
السنة الثالثة

# المحاضرة النظرية التاسعة في خصوبة التربة وتغذية النبات




# The Manganese

إعداد: د. حيدر الحسن

10/6/2026

## ١- المنغنيز في التربة:

يتراوح تركيز المنغنيز الكلي في التربة بين ١٠٠-٥٠٠٠ مغ/كغ، ولا يشكّل الجزء القابل للإفادة أكثر من عدة مئات جزء بالمليون.

### ١-١ أشكال المنغنيز في التربة:

- **منغنيز فلزي**: تعتبر الفلزات الأولية مثل: هوربنلند، أوجيت، بيوتيت أهم مصادر المنغنيز في التربة، أما الفلزات الثانوية الأكثر احتواءً على المنغنيز فهي: $Mn_3O_4$، $Mn_2O_3$، MnO.

- **منغنيز متبادل**: وهو المنغنيز المتبادل على أسطح غرويات التربة المعدنية والعضوية.

- **منغنيز عضوي**: يعد المنغنيز من **أقل** العناصر الصغرى ارتباطاً بالمادة العضوية لذلك يلاحظ بأن أكثر مركباته العضوية يمكن أن تكون صالحة للامتصاص من قبل النبات عدا المركبات العضوية ذات الأوزان الجزيئية الكبيرة.

- **منغنيز ذائب**: ويتواجد على شكل $Mn^{+4}$، $Mn^{+3}$، $Mn^{+2}$ وكميته قليلة جداً في التربة وهو في حالة توازن مع بقية الأشكال الأخرى للمنغنيز.

## ٢-١- بعض العوامل المؤثرة في حركية عنصر المنغنيز في التربة:

- **pH التربة:**

هناك توازن بين شكلي المنغنيز الأكثر تواجداً في التربة وهما $Mn^{+2}$، $Mn^{+4}$ (على شكل $MnO_2$).
يلاحظ في الظروف الحامضية تحول المنغنيز الرباعي إلى ثنائي **وفق التفاعل التالي:**

$$MnO_2 + 4H^+ \rightleftharpoons Mn^{+2} + 2H_2O$$

وتؤدّي الظروف القلوية إلى تحول الشكل الثنائي إلى الرباعي.
ومن الملاحظ أنّ **ارتفاع pH** الوسط يقلّل من تركيز المنغنيز بمقدار مئة مرة.

- **كمون الأكسدة والإرجاع:**

يؤثر كمون الأكسدة والإرجاع تأثيراً كبيراً، فكلما كان تركيز الأشكال ذات رقم الأكسدة المرتفعة هي السائدة دلّ ذلك على ارتفاع كمون الأكسدة والإرجاع، ويترافق تأثيره مع درجة pH التربة، حيث يزداد كمون الأكسدة والإرجاع بانخفاض pH التربة.

- **ظروف التربة:**

تسود عمليات الإرجاع في ظروف التربة **الغدقة**، وتنشط الأحياء الدقيقة اللاهوائية، حيث تقوم بإرجاع $Mn^{+4}$ ($MnO_2$)، إلى الشاردة $Mn^{+2}$، وبزوال ظروف الغدق وتحولها إلى ظروف هوائية يتحول المنغنيز الثنائي إلى رباعي حسب التفاعل التالي:

$$Mn^{+2} + O_2 \rightleftharpoons MnO_2$$

وتؤدي ظروف **الغدق** لمدة طويلة إلى توفر الشاردة $Mn^{+2}$ بتركيز مرتفع يمكن أن يؤدي أحياناً إلى تسمّم النبات.

**٢- المنغنيز في النبات**

تمتص النباتات عادة من التربة الثنائي $Mn^{+2}$ سواء الموجود بحالة ذائبة أو متبادلة على أسطح الغرويات، ويمكن لبعض النباتات أن تمتص هذا العنصر من مركبات مثل $MnO_2$ حيث تتميز جذورها بقدرة عالية على إرجاع $MnO_2$ إلى $Mn^{+2}$، كما يمكن للنبات امتصاص المنغنيز العضوي من التربة.

تمتص النباتات المنغنيز أيضاً عبر مسطحها الورقي عن طريق التسميد الورقي بشكل معدني أو عضوي.

يتواجد المنغنيز في النبات بشكل ثنائي مرتبط مع مركبات عضوية، كما يتواجد جزءاً منه على شكل معدني $Mn^{+2}$، ولا يشكل المنغنيز ذو التكافؤات الأعلى إلا نسبة بسيطة تستخدم في تفاعلات التمثيل الضوئي.

يعتبر عنصر المنغنيز من العناصر قليلة الحركة في النبات، لذلك فإنّ أعراض نقصه أول ما تظهر على النموات الحديثة.

تتراوح نسبة المنغنيز في النبات من 10 مغ/كغ مادة جافة إلى عدة مئات وتعتبر النسبة الحدية لوجوده في النبات من 15-25 مغ/كغ مادة جافة، ويعد التركيز 20-30ppm في النبات كافياً بشكل عام بالنسبة لمعظم المحاصيل.

يزداد تركيز المنغنيز في الأوراق مقارنة مع البذور والدرنات والجذور.

**٢-١ دور المنغنيز في النبات:**

- يؤدي **المنغنيز دوراً هاماً في اصطناع اليخضور** باعتباره أحد مكونات الكلوروبلاست.

– يقوم بدور مؤكسد في تفاعلات التمثيل الضوئي (تفاعل هيل):

$$Mn^{+3} + H_2O \rightleftharpoons Mn^{+2} + \frac{1}{2}O_2 + 2H^+$$

- يعدّ أحد مكونات الأنزيمات التي ترجع النترات إلى نتريت، وكذلك الأنزيمات التي ترجع النتريت إلى الجذر ( $-NH_2$)، لكون هذا الجذر الأميني هو الأساس في اصطناع الأحماض الأمينية والبروتينات.

**٢-٢-٣ -نقص المنغنيز**

أ- **النباتات الحساسة لنقص المنغنيز**: البازلاء، الشوفان، البصل، المحاصيل الجذرية وخاصة الشوندر العلفي، القمح، الحمضيات، الكرمة.

ب- **الترب التي يظهر فيها نقص المنغنيز:**

- **الترب الرملية:** لأنها فقيرة وراثياً بهذا العنصر والعناصر الأخرى.
- **الترب الحمضية:** يتم ذلك عند استصلاحها بإضافة كميات كبيرة من الجير.
- **الترب الكلسية والقلوية:** يؤدّي ارتفاع pH هذه الترب إلى انخفاض الأشكال القابلة للإفادة من المنغنيز، ويؤدي وجود الكلس إلى أسباب أخرى أهمها منافسة $Ca^{+2}$ على الامتصاص.

## أعراض نقص المنغنيز:

تظهر أعراض النقص عند انخفاض تركيز المنغنيز عن **15-25ppm**
وتظهر الأعراض العامة كما يلي: (الشكل رقم (١)

**عند ثنائيات الفلقة:** تظهر على شكل اصفرار للمساحة الورقية للأوراق الحديثة بين العروق على شكل بقع بيضوية أو دائرية لا تلبث أن تتصل مع بعضها البعض مشكلةً مساحات صفراء مع بقاء العروق خضراء وجزء من موازي للعروق، وفي حال تقدّم الإصابة تصفر الأوراق جميعها، وتصل الإصابة إلى الأوراق الأقدم حتى تعم الإصابة كل أجزاء النبات.

- **عند أحاديات الفلقة:** تظهر الإصابة على الجزء القاعدي للأوراق الحديثة على شكل بقع غير متجانسة، وخطوط رمادية اللون حيث تصبح عندها الورقة ضعيفة تجاه التأثيرات الميكانيكية (رياح) مما يسبب انحناءها (الجزء القمي منها) ويعرف هذا العرض باسم التبقع الرمادي Grey Speck .

**الشكل رقم(١) : بعض أعراض نقص المنغنيز**

**أ- أعراض أخرى لنقص المنغنيز:**

- الفاصولياء: تظهر بثرات على السطح العلوي للورقة بلون بني.
- البطاطا: تظهر بثرات على السطح السفلي للورقة بلون بني.
- البندورة: تظهر بقع صفراء موازية للعروق لا تلبث أن تتصل مع بعضها البعض وتتحول إلى البني ثم تصفر باقي أجزاء الورقة.
- الجزر: يلاحظ وجود شعيرات جذرية على الجذر وانشطار الجذر إلى نصفين، علماً أن لهذه الظاهرة أكثر من مسبب. كما في الشكل رقم (٢).

**أ- حالات خاصة لظهور أعراض النقص:**

يؤدي ارتفاع تركيز الحديد في التربة إلى انخفاض امتصاص النبات لعنصر المنغنيز وتعتبر النسبة هي النسبة المناسبة. $\frac{1}{2} = \frac{Mn^{+2}}{Fe^{+2}}$

- ارتفاع تركيز **الفوسفور** يمكن أن يؤدي إلى ترسيب المنغنيز ضمن أنسجة النباتات.
- **يؤدي ارتفاع كل من النحاس والزنك إلى إعاقة امتصاص المنغنيز.**

**الشكل رقم (٢): أعرض نقص المنغنيز على بعض النباتات**

## طرائق معالجة نقص المنغنيز:

1. **التسميد الأرضي:** يعالج نقص المنغنيز بشكل عام في التسميد الأرضي باستخدام سلفات المنغنيز، وتستخدم بنجاح في الأراضي الحامضية، وتقل كفاءتها بارتفاع pH التربة. ويمكن أن يكون لإضافة الأسمدة الحامضية الأخرى (كبريت حر – سلفات الأمونيوم) أثراً إيجابياً في تحسين الامتصاص. أما استخدام شيلات المنغنيز كتسميد أرضي، لا يعطي الفائدة المرجوة منه بسبب إحلال الكالسيوم أو الزنك وأحياناً الحديد محله في الشيلات وتثبيته في التربة حيث لا يشكل المنغنيز مع الشيلات مركبات ثابتة.
2. **التسميد الورقي:** يمكن استخدام $MnSO_4.4H_2O$ بمعدّل 3غ/ل ويمكن استخدام مركبات الشيلات بمعدّل 0.5 غ/ل.

## ٢-٥- التسمّم بالمنغنيز:

يحدث التسمّم بالمنغنيز في الترب **شديدة الحموضة والترب الغدقة**، ويمكن أن يحدث عند استخدام كميات كبيرة منه وخاصة في الترب الحامضية.

يمكن أن يكون التسمم عن طريق تلوث التربة بمخلفات المصانع التي تطرح إلى الترب الزراعية.

تظهر أعراض التسمم على النبات عندما يرتفع تركيز المنغنيز إلى 400-500ppm حيث تظهر هذه الأعراض لى شكل بقع بنية على حواف الأوراق القديمة تحيط بها مساحات شاحبة، يشذ عن ذلك بعض النباتات التي تمتص عنصر المنغنيز بمقدار يتعدى ٥٠ ضعفاً مقارنة مع نباتات أخرى، ومن المعتقد تخزينه في هذه الحالة ضمن النبات بأشكال غير فعالة.

# أعراض التسمم بالمنغنيز على بعض النباتات

تظهر بقع بنية على حواف الأوراق القديمة تحيط بها مساحات شاحبة،
كأعراض نموذجية للتسمم بالمنغنيز

# الزّنك

# The Zinc

**١- الزنك في التربة:**

يتراوح تركيز الزنك الكلي في التربة من **10-300ppm** إلا **أن الشكل القابل للإفادة لا يتعدى 0.1 من الكمية الكلية.**

## ١٣-١-١- أشكاله في التربة:

- **زنك فلزي:** تعدّ المعادن الأولية مثل الاوجيت، البيوتيت، الهوربنلند، من أهم المعادن الأولية للزنك في التربة. أما المعادن الثانوية فأهمها ZnS، $ZnCO_3$ .
- **زنك متبادل:** يتم التبادل لشوارد الزنك $Zn(Cl)^+$، $Zn(OH)^+$، $Zn^{+2}$.
- **زنك عضوي:** ونميز بين الزنك العضوي سهل الامتصاص من قبل النبات والزنك المرتبط، ويشكل الزنك العضوي الذواب في التربة حوالي 50% من الزنك العضوي الكلي، ويعدّ الزنك من المركبات **الضعيفة الارتباط** بشكل قوي بالمادة العضوية بعد عنصر المنغنيز.
- **زنك ذواب:** ويتواجد بشكل $Zn(OH)^+$، $Zn^{+2}$، $Zn(Cl)^-$، وتكون كميته منخفضة جداً وهو في حالة توازن مع باقي أشكال الزنك في التربة.

## ١-٢ تأثير بعض العوامل في امتصاص النبات للزنك:

- **كربونات الكالسيوم:** يؤدي ارتفاع تركيزها وخاصة الكلس الفعال إلى رفع pH التربة من جهة، ومنافسه الزنك على الامتصاص من قبل الشوارد $Ca^{+2}$.
- **المادة العضوية:** يشكل الزنك العضوي مصدراً لا بأس به للتغذية بعنصر الزنك إلا أن ارتفاع pH الوسط يقلل من أشكال الزنك العضوي القابل للإفادة.
- **أكاسيد الحديد والألمنيوم:** يؤدي ارتفاعها إلى زيادة الادمصاص في التربة بشكل غير قابل للتبادل.
- **pH التربة:** يعتبر pH التربة أحد أهم العوامل التي تحدد قابلية عنصر الزنك لإفادة النبات، حيث يؤدي ارتفاع pH التربة إلى زيادة الادمصاص على غرويات التربة، ومن الملاحظ انخفاض الأشكال المتاحة عند ارتفاع pH يزيد عن 6.4.

إن انخفاض إتاحة عنصر الزنك تبعاً لـ pH التربة **تتم بطريقتين:**

أ- تثبيت بعض الزنك المدمص بأشكال غير قابلة للتبادل وتحصل هذه الحالة بشكل رئيسي عند توفر أكاسيد الحديد والمنغنيز، وعند وجود عنصر الزنك بتركيز منخفض نسبياً.

ب-ترسيب الزنك: وتبلغ هذه العملية ذروتها عند pH=9.5، وذلك عند وجود الزنك بتركيز كبير في التربة ويتم ذلك حسب التفاعل التالي:

$$Zn^{+2} + 2OH^{-} \rightarrow Zn(OH)_2$$

ويؤدّي ارتفاع pH الوسط عن 9.5 إلى انحلال الراسب السابق كما في التفاعل التالي:

$$Zn(OH)_2 + 2NaOH \rightleftharpoons Na_2ZnO_2 + 2H_2O$$

**الترب الحاوية على دولوميت:** يمكن أن يتبادل الزنك $Zn^{+2}$ مع المغنزيوم في الدولوميت $CaCO_3.MgCO_3$ وتتحول الشاردة $Zn^{+2}$ إلى مركب ضعيف الانحلال في الماء $CaCO_3.ZnCO_3$.

**٣ ١ – ٢ الزنك في النبات:**

يتراوح تركيز الزنك في النبات من 15-80 ppm. ويمتص النبات عنصر الزنك على شكل $Zn^{+2}$ في الظروف الحمضية والمتعادلة، وعلى شكل $ZnOH^+$ في الظروف القلوية.

تمتص النباتات الزنك من التربة بشكل معدني وكذلك الأشكال الذائبة من الزنك العضوي. كما وتستطيع الأجزاء الخضرية امتصاص كلا النوعين. ويعد عنصر الزنك من العناصر قليلة الحركة حيث تبدأ أعراض النقص بالظهور على الأوراق الفتية.

## ٢-١ دور الزنك في النبات:

- يدخل في تركيب العديد من الأنزيمات الخاصة وخاصة أنزيم RNA بوليميراز، ويؤدي دوراً مهماً في تحولات الحمض الريبي النووي.
- يؤدي دوراً كبيراً في بناء الكلوروبلاست.
- يؤدي دوراً مهماً في إدارة استخدام الفوسفور في النبات.
- يقوم بدور هام جداً في تشكيل التربتوفان الضروري لأوكسينات النمو.
- أحد أهم العناصر الضرورية لتمثيل الكربوهيدرات واصطناع البروتينات.

## ٢- نقص الزنك:

أ- **النباتات الحساسة لنقص الزنك:** الفاصولياء – الذرة الصفراء – الحمضيات – البندورة حيث تحتوي على حوالي **40-50ppm** من الزنك.

ب- **أعراض النقص الزنك:**

١. **عند أحاديات الفلقة:** تظهر الإصابة على شكل لون أصفر موازي للعروق يتحول إلى لون بني، كما وتظهر أعراض شبيهة بالحروق على حواف الأوراق.

٢-**عند ثنائيات الفلقة:** تتمثل الأعراض العامة بصغر حجم الأوراق وتطاولها والتفافها حيث تتلون باللون الأصفر، وبتقدم الإصابة تصفر الأجزاء الورقية المسنة.

أعراض نقص الزنك على النباتات
يؤثر نقص الزنك على إنتاج الأكسين، مما يسبب تقزم
تقزم النمو وتشوهات في الأوراق الجديدة.
اصفرار بين العروق
(interveinal chlorosis)
تجمع أوراق قزمية
(rosetting)
صغر حجم الأوراق
(small leaves)
تضيق السلاميات
(short internodes)
تشوه الأوراق
الجديدة
تبقع وتشوهات
عامة
توقف النمو
القمي
تبقع
الأوراق

**ويلاحظ وجود ظاهرتين عند نقص عنصر الزنك هما:**

- **ظاهرة التزهر (التورد) Rosetting:** وهي ظاهرة تقزّم الأفرع وقِصر السلاميات، وظهور أوراق قمية على الفرع بما يشبه الوردة مع تعري الأجزاء السفلى للفرع وتظهر هذه الظاهرة في التفاحيات.
- **ظاهرة الموت القمي التراجعي:** وهذه الظاهرة أكثر مصادفةً عند الحمضيات حيث تموت البراعم القمية للأفرع وتنشأ أفرع جديدة اعتباراً من براعم إبطية، وتدعى هذه الظاهرة **Die Back**.

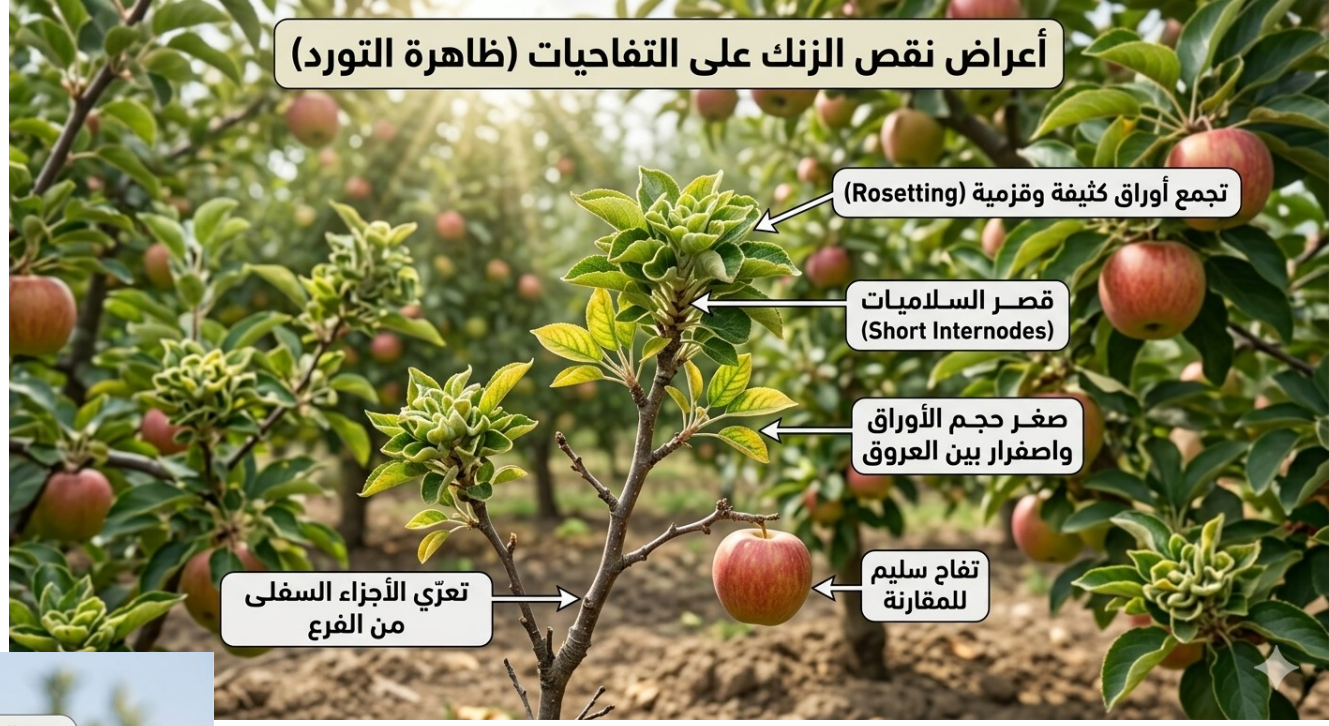
**حالات أخرى لأعراض النقص:**

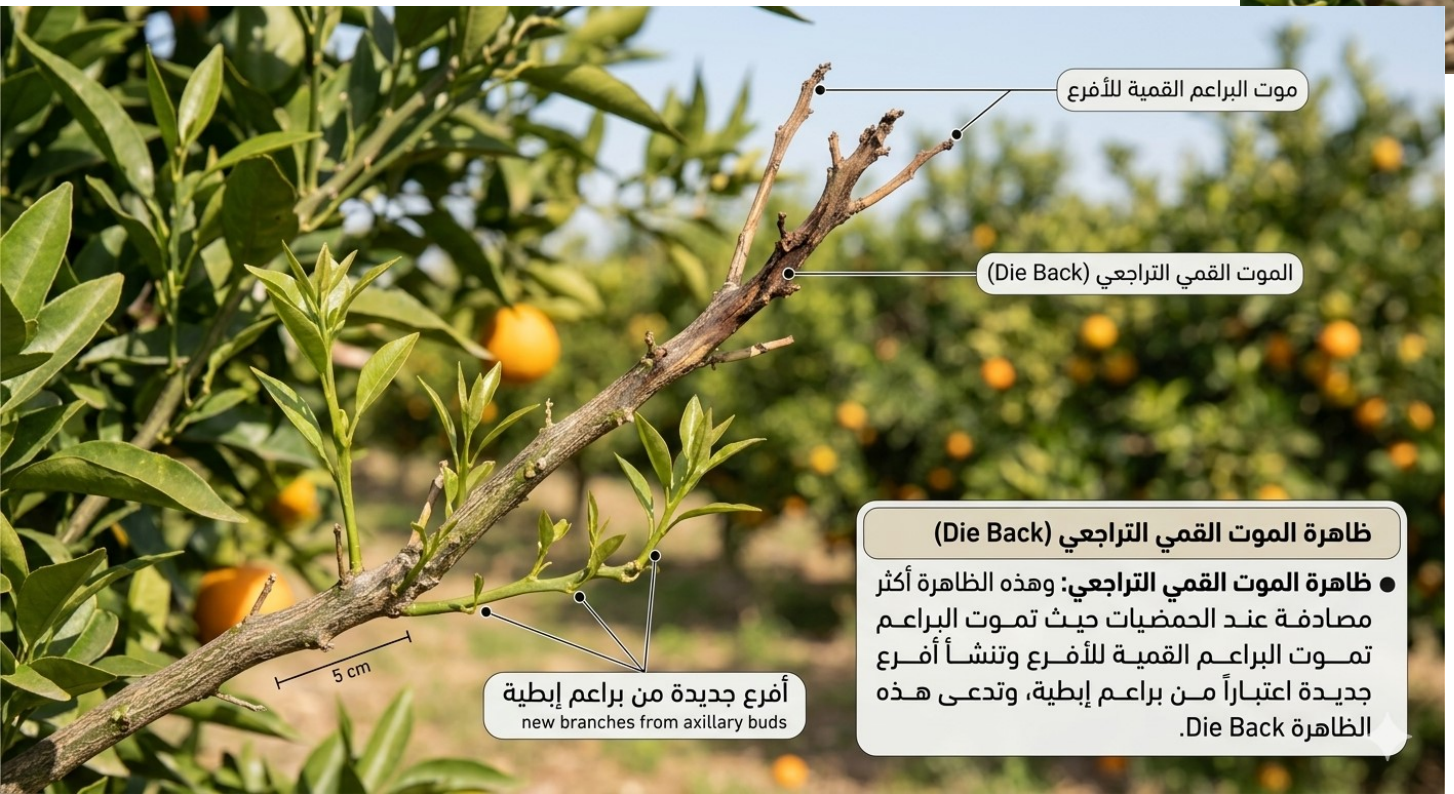
- ظاهرة الورقة الفنجانية أو الورقة الصغيرة **little leaf or cupped leaf** حيث تظهر على أوراق البطاطا على شكل فنجان (تقعر حواف التربة باتجاه الأعلى).
- عند الكرمة تزداد الزاوية بين الورقة والغصن المثبتة عليه.

**حالات ظهور أعراض النقص في الترب:**

- الترب الرملية.
- الترب الحامضية المستصلحة بإضافة الجير.
- الترب الكلسية بسبب المنافسة مع $Ca^{+2}$ من جهة، ورفع pH محلول التربة من جهة أخرى.

## ظاهرة التزهر (التورد) Rosetting:




## ظاهرة الموت القمي التراجعي

## حالات أخرى لظهور أعراض النقص:

**الزنك والفوسفور:** يؤدي ارتفاع تركيز **الفوسفور** في التربة إلى ظهور أعراض نقص الزنك على النباتات ويمكن أن يُعزى ذلك إلى **عامل أو أكثر من العوامل التالية:**

- **معامل التمديد Dilution Factor:** يؤدي ارتفاع تركيز الفوسفور في محلول التربة إلى ازدياد الامتصاص الذي يؤدي إلى زيادة حجم المسطح الورقي، وبالتالي فإن الزنك الممتص يكون قليلاً نسبة إلى المجموع الورقي.
- وجود الفوسفور بكمية كبيرة يمكن أن تحفز ادمصاص الزنك على أكاسيد الحديد والألمنيوم.
- ظاهرة التضاد بين الزنك والفوسفور.
- ترسيب الزنك على شكل فوسفات زنك في الأراضي القلوية.
- المنافسة للكالسيوم المرافق للأسمدة الفوسفاتية مع الزنك.
- ترسيب الفوسفور للزنك ضمن النبات نفسه وخاصة الجذور.

**الزنك والآزوت:** تظهر أعراض نقص الزنك عند وجود الآزوت بكمية زائدة لسببين:

- عامل التمديد.
- تشجيع الآزوت لتشكيل بروتينات محتوية على الزنك حيث تتجمع ضمن الجذور ولا تنتقل ضمن النبات.

**الزنك والنحاس، الزنك والحديد:** حيث يؤدي ارتفاع تركيز النحاس أو الحديد إلى انخفاض امتصاص النبات لعنصر الزنك.

## ٣- التسميد بالزنك:

### أ- التسميد الأرضي:

1. **الترب الحامضية:** إنّ استخدام $ZnSO_4$ يمكن أن يؤدي إلى انغسالها من مقطع التربة لأن المركب ذواب وخاصة في الترب **الحامضية**، لذلك يفضل استخدام **الجير** عند استخدام هذا السماد أو إضافة الشيلات.
2. **الترب الكلسية:** يُعدّ استخدام كبريتات الزنك من المركبات المفضل استخدامها بسبب تأثيرها الحمضي، ومن المفيد استخدام أسمدة أخرى ذات أثر حمضي كسلفات النشادر.

### ب- التسميد الورقي:

يتم بمعدل 3غ/ل باستخدام سلفات الزنك أو بمعدل 0.5غ/ل من مركبات الشيلاّت. ويمكن استخدام محلول ٣٠-٥٠غ/ل كمحلول من كبريتات الزنك برشه على الأفرع قبل تفتح البراعم.

## ٤- التسمم بالزنك:

تظهر أعراض التسمم بالزنك في الترب الحامضية بشكل عام أو كنتيجة لإضافة كبيرة من هذا العنصر، ويمكن تلافي أعراض **التسمّم** في التربة عن طريق إضافة **الجير** الذي يقلل من امتصاص النبات لهذا العنصر، ويُعد الحد الأعلى لوجود هذا العنصر في النبات هو **400ppm**، وبالرغم من ذلك فإن بعض النباتات قادرة على امتصاص كميات كبيرة من الزنك دون أن تظهر عليه **أعراض التسمم**، ويُفسر ذلك بقدرة بعض النباتات على تخزين الزنك في أنسجتها بأشكال لا تستخدم من قبل النبات. وتظهر أعراض التسمّم على شكل اصفرار ناجم عن نقص عنصر الحديد وكذلك انخفاض في عملية التمثيل الضوئي وتدني المحصول.

# النحاس

# The copper

**مقدمة:**

يعدّ عنصر النحاس أحد العناصر الصغرى التي تتميز بأهمية كبيرة ليس فقط لنمو وتطور النبات، وإنما لكونه من العناصر الهامة والضرورية في حياة الحيوان أيضاً، ويستخدم النحاس في الزراعة كسماد لتزويد النبات بهذا العنصر، كما ويستخدم كأحد مكونات بعض المبيدات الفطرية المستخدمة في المكافحة.

## ١ -النحاس في التربة:

تحتوي القشرة الأرضية على عنصر النحاس بتركيز يقدر بحوالي ٠,٠١% ، ويتراوح التركيز الكلي للنحاس في التربة بين ٤-١٠٠ مغ/كغ تربة، وتؤثر الصخور الأم التي نشأت عنها التربة تأثيراً كبيراً في محتوى التربة من عنصر النحاس.

فالترب الناتجة عن صخور اندفاعية **كالبازلت** مثلاً تحتوي كميات كبيرة من النحاس، بينما تحوي الترب الرملية والتورب على كميات منخفضة جداً وأكثر الترب احتواءً على عنصر النحاس كتركيز كلي هي الترب العضوية التي نشأت في ظروف **مستنقعية**. وبشكل عام يزداد تراكم النحاس في الطبقات السطحية مقارنة مع الطبقات تحت السطحية.

### ١-١ -أشكال النحاس في التربة:

**أ- النحاس الفلزي:**

يعدّ معدن الكالكوبيريت (Calcopyrite) $CuFeS_2$، من أهم الفلزات التي تشكل مصدراً أساسياً للنحاس في التربة، بالإضافة إلى بعض الفلزات الأخرى مثل كالكوسيت (Calcocite) $Cu_2S$، مالاكيت (Malachite) $CuCO_3.Cu(OH)_2$، كوبريت (Coprite) $Cu_2O$.

**ب- النحاس المتبادل:**

يتم ادمصاص النحاس في التربة بطريقتين: ادمصاص غير نوعي ( Non specific adsorption) وبطريقة الادمصاص النوعي (specific adsorption)،

ويحصل **الادمصاص غير النوعي أو ما يسمى بالتبادل الكاتيوني Cation Exchange**، نتيجة انجذاب شوارد النحاس الثنائي إلى غرويات التربة (معادن الطين – المركبات العضوية)، ويعد النحاس المدمص بهذه الآلية مصدراً مباشراً لتغذية النبات بعنصر النحاس، لأنه يزود محلول التربة مباشرة بالنحاس. وعموماً ينخفض تركيز الشكل المتبادل في **الترب الكلسية والقلوية** بسبب ارتفاع تركيزها من الصوديوم (الترب القلوية)، والكالسيوم والمغنيزيوم(الترب الكلسية).

أمّا النوع الآخر من **الادمصاص (الادمصاص النوعي)، والذي يسمى بالادمصاص الكيميائي ( Chemical adsorption)** فيتم على أسطح غرويات التربة كمعادن الطين والمركبات العضوية وأكاسيد الحديد والمنغنيز والألمنيوم وكربونات الكالسيوم. ويتم هذا الادمصاص من خلال التفاعل مع المجموعات الوظيفية حيث تتشكل روابط مثل: Cu – O – Fe، Cu – O – Al. وتزداد عملية الادمصاص الكيميائي بارتفاع pH الوسط. وبشكل عام يعدّ النحاس **من أقوى** العناصر الصغرى في قوة ارتباطه مع المكونات المعدنية في التربة.

**ج- النحاس العضوي:**

يشكل النحاس العضوي احتياطياً كبيراً لعنصر النحاس في التربة، إذ انه يشكل حوالي ٢٠-٥٠% من النحاس الكلي في التربة.

تختلف المركبات العضوية في التربة اختلافاً كبيراً من حيث أوزانها الجزيئية وادمصاصها لعنصر النحاس وقدرتها على إتاحته للنبات.

فالمركبات العضوية البسيطة (ذات الأوزان الجزيئية المنخفضة)، كالأحماض العضوية والأحماض الأمينية والفينولات، تكون بحالة ذائبة، وتساهم بشكل كبير في زيادة تركيز النحاس الذواب في التربة وتشكل مصدراً هاماً لتغذية النبات بعنصر النحاس، وهذا يمكن أن يكون له تأثيراً مباشراً على تغذية النبات بهذا العنصر وخاصة في الحالات التي يرتفع فيها pH التربة. ويتم الارتباط للنحاس مع المجموعات الوظيفية للمركبات العضوية مثل (الوظيفة الكربوكسيلية، الوظيفة الكربونيلية، الوظيفة الفينولية).

أما ارتباط النحاس مع المركبات ذات الأوزان الجزيئية الكبيرة **كالأحماض الهيومية والأحماض الفولفية**، فيتم من خلال مجموعات الكربوكسيل، **ويكون النحاس المرتبط معها غير متاحاً أو أقل إتاحة للامتصاص من قبل النبات.**

يمكن للمركبات العضوية في التربة أن تشكّل مع النحاس ومعادن الطين، معقدات عضوية – معدنية – طينية عندما تنخفض نسبة المادة العضوية في التربة عن ٨%، ويتعلّق ذلك بنوع معدن الطين، ويعدّ معدن الطين من نوع **مونتموريللونيت**، من أكثر معادن الطين قدرةً على تشكيل هذه المعقدات، بينما يقلّ تشكّلها بوجود **الكاؤلينيت.**

أمّا في الترب العضوية التي ترتفع فيها نسبة المادة العضوية عن ٨%، فإنّ الشكل السائد لادمصاص للنحاس يتم **مع المركبات العضوية.**

## د- النحاس الذوّاب:

يتكون النحاس الذواب في التربة من الأشكال الذوابة للنحاس العضوي وكذلك من الأشكال المعدنية الذوابة.

ويظهر الشكل المعدني للنحاس في الأوساط الحامضية على شكل شاردة نحاس ثنائي $Cu^{+2}$ عند درجة تفاعل تربة أقل من ٧، ومن المعتقد أنه يظهر على شكل $Cu(OH)^{+}$ في الأوساط المتعادلة، وعلى شكل $Cu(OH)_2$ في الأوساط القلوية ($pH > 7$).

ويبلغ تركيز الشكل الشاردي للنحاس في التربة وسطياً **بحدود ٠,٠١ مغ/كغ تربة**، وتؤثر درجة تفاعل التربة تأثيراً كبيراً في تركيز النحاس الذواب في التربة من خلال تأثيرها على ذوبان بعض المركبات ضعيفة الانحلال المحتوية على النحاس مثل $CuSO_4$، $CuCO_3$، حيث يزداد الشكل الذواب للنحاس حوالي ١٠٠ مرة لكل انخفاض درجة واحدة في pH التربة.

## ١-٢ النحاس القابل للإفادة:

**لا يشكّل النحاس القابل للإفادة أكثر من ١٠% من التركيز الكلي للنحاس في التربة**، وهذا يتعلق بعوامل عديدة:

## بعض العوامل المؤثرة في إتاحة عنصر النحاس في التربة:

- **pH التربة:** يعد مجال pH التربة بين ٥-٦ من أنسب درجات حموضة التربة لإتاحة عنصر النحاس للامتصاص من قبل النبات، ففي الأوساط الحامضية الشديدة (pH أقل من ٤,٥)، ينخفض تركيز النحاس المتاح للامتصاص من قبل النبات، ويمكن أن يكون ذلك عن طريق تثبيته في الشبكة البلورية للمعادن السيليكاتية أو ترسيبية (عند ارتفاع تركيز بعض الأيونات في التربة كشوارد الفوسفات)، بشكل مركبات ضعيفة الانحلال كفوسفات النحاس.

أمّا في الأوساط القلوية فتقل **إتاحة عنصر النحاس** في التربة نتيجة لتشكيله مركبات ضعيفة الانحلال في الماء وكذلك زيادة ادمصاصه.

- **المادة العضوية:** يرتبط عنصر النحاس بالمادة العضوية، وهو من أكثر العناصر الصغرى ارتباطاً بها، وهذا يتعلق بطبيعة وشكل هذه المركبات. وبشكل عام تلاحظ أعراض نقص عنصر النحاس في **الترب العضوية** رغم ارتفاع محتواها الكلي من عنصر النحاس، حيث لوحظت أعراض نقص هذا العنصر في ترب عضوية كان محتواها الكلي عالياً جداً من النحاس (حوالي ١٠٠٠ مغ/كغ تربة)، إلا أن الشكل القابل للامتصاص من قبل النبات كان منخفضاً جداً.

- **كربونات الكالسيوم:** تؤثّر كربونات الكالسيوم على إتاحة عنصر النبات في التربة بشكل مباشر وغير مباشر، ويتجلى تأثيرها **غير المباشر** في قدرتها رفع درجة تفاعل التربة، وبالتالي خفض تركيز الأشكال المتاحة للامتصاص من قبل النبات. أمّا تأثيرها **المباشر** فيتجلى بادمصاصها لعنصر النحاس وتشكيل مركبات ضعيفة الانحلال في الماء تكون على شكل كربونات وهيدروكسيلات ... . ويلاحظ أيضاً أن إضافة كربونات الكالسيوم إلى الترب الحامضية بهدف استصلاحها، يُخفض آنياً تركيز الأشكال المتاحة للنحاس في التربة.

- **قوام التربة:** تعد الترب **الرملية** من أفقر أنواع الترب بعنصر النحاس، ويزداد محتوى الترب من هذا العنصر بزيادة نعومة قوامها، وبالتالي تكون الترب **الطينية** أكثر غنى بعنصر النحاس من الترب الرملية.

## ٢- النحاس في النبات:

### ١- تركيز عنصر النحاس في النبات:

يتراوح تركيز عنصر النحاس في النبات **من ٢-٢٥ مغ/كغ مادة جافة**، وتختلف النباتات عن بعضها في محتواها من عنصر النحاس وعادة فإن تراكيز **بين ٦-٨ مغ/كغ مادة جافة** في أنسجة الأوراق تكون كافية لمعظم المحاصيل.

إن أكبر تركيز لعنصر **النحاس** يمكن ملاحظته عند بعض الخضروات وخاصة **السبانخ والخس** وبعض أنواع العائلة البقولية **كالفصة، بينما يقل محتوى محاصيل الحبوب من عنصر النحاس. ويعد نبات الشوفان من أكثر النجيليات احتواءً على النحاس.**

يتراكم النحاس بشكل عام **في الجذور** أكثر من الأجزاء الأخرى للنبات، ويوضح الجدول ( ١٤-١) محتوى بعض النباتات من عنصر النحاس.

**جدول رقم (١٤-١ ): تركيز النحاس في بعض النباتات**

| اسم النبات | الجزء النباتي | تركيز النحاس مغ/كغ مادة جافة |
|---|---|---|
| محاصيل الحبوب | كامل النبات | 10 |
| محاصيل جذرية | | |
| شوندر سكري | أوراق | 20 |
| شوندر سكري | جذور | 7 |
| بطاطا | ساق وأوراق | 20 |
| بطاطا | درنات | 7 |
| فصة | مسطح ورقي | 40 |
| خضار | | |
| سبانخ | أوراق | 70 |
| خس | أوراق | 40 |
| بندورة | ثمار | 25 |
| جزر | جذور | 12 |
| ملفوف | أوراق | 12 |

## ٢-٢ امتصاص النحاس وانتقاله ضمن النبات:

تمتص النباتات عنصر النحاس عن كطريق المجموع الجذري على شكل $Cu^{+2}$، ويزداد الامتصاص بزيادة تركيزه في التربة من جهة والمتطلبات الفيزيولوجية للنبات من جهة أخرى، وتساعد مركبات Phytosiderophores في تزويد النبات بعنصر النحاس.

ويمكن للنبات أن يمتص النحاس من المجموع الخضري سواء بشكل معدني أو عضوي في أثناء عملية الرش بهذا العنصر.

إنّ احتياجات النباتات من عنصر النحاس ليست كبيرة، حيث يمتص النبات حوالي ٣٠-١٢٠ غ نحاس/هـ، وهذا يتعلق بمتطلبات كل محصول والنوع والصنف.

يتواجد معظم النحاس في النباتات (حوالي ٧٠% منه) في الكلوروبلاست، حيث يقوم النحاس بدور منظم للكلوروفيل.

ويتأثر النحاس ببعض الشوارد، حيث يلاحظ أن زيادة تركيز الشاردة $NH_4^+$ في النبات يقلل من فعالية النحاس، كما أن زيادة تركيز **الفوسفور والزنك** في محلول التربة يقلل من امتصاص النبات لعنصر النحاس أيضاً.

## ٢-٣ الدور الفيزيولوجي للنحاس في النبات:

- يدخل في تركيب ثلاث أنزيمات هي: بولي فينول أوكسيداز(Polyphenol)، لاكاز(Laccase)، أسكوربيك أسيد أوكسيداز (Ascorbic acid oxidase)..
- يؤدي دوراً هاماً في **زيادة صلابة جدر الخلايا النباتية** ويساهم في الاصطناع الخلوي لليغنين.
- يقوم بدور هام في تمثيل الكربوهيدرات واصطناع السكريات.
- له دور هام في تثبيت الآزوت الجوي في العقد الآزوتية.
- يساهم بشكل كبير في مرحلة الإزهار والعقد وتشكل الثمار.

## ٢-٤ -أعراض نقص النحاس:

تظهر أعراض نقص عنصر النحاس على النباتات عندما ينخفض تركيزه في الأوراق **عن ٢-٤ مغ/كغ مادة جافة (أقل من ٠,٢ مغ/كغ تربة).** وتظهر أعراض النقص **على النموات الحديثة**، وتختلف أعراض النقص بحسب النوع النباتي وشدة النقص.

**محاصيل الحبوب:** تظهر أعراض النقص على شكل جفاف وموت قمة الأوراق أو أجزاء من الورقة، وتلتف الأجزاء الجافة على شكل لولب، وقد تجف الأوراق دون تغير في لونها، ويتأثر طرد السنابل حيث تبقى تحت إبط آخر ورقة. **وفي حالات النقص البسيط تكون الحبوب المتكونة صغيرة، وفي حالات النقص الشديد تكون السنابل فارغة والسفا جافة ومشوهة.** وتتميز حقول القمح التي تعاني من نقص النحاس بأن يكون لونها مائلاً للون الأبيض. ويظهر نقص النحاس عادةً في الترب الرملية والعضوية.

**من أعراض نقص النحاس**

**أشجار الفاكهة:** تظهر على الأشجار المثمرة ظاهرة **الموت القمي التراجعي (Die back)**، حيث تموت القمة النامية للفرع وتصفر الأوراق ثم تتساقط، وتظهر أعراض النقص على أشجار **الحمضيات** والتي تعدّ من أكثر أشجار الفاكهة حساسية لهذا العنصر حيث يبدأ ظهور أعراض النقص على النموات الحديثة على شكل جيوب صمغية على الأفرع وتكون الأفرع ضعيفة،

أمّا على **الثمار** فيمكن ملاحظة بقع صمغية ضمن طبقة الألبيدو، وظهور تفلن في قلب الثمرة ، ويمكن أن تتشقق الثمرة حيث تلاحظ الإفرازات الصمغية مكان التشقق.

**حساسية الأنواع النباتية لنقص النحاس:**

**تعدّ محاصيل الحبوب وخاصة الشوفان** من المحاصيل الحسّاسة لنقص عنصر النحاس (بالرغم من الانخفاض النسبي لمحتوى النحاس في النبات مقارنة مع المحاصيل الأخرى).

ومن المحاصيل الحساسة لنقص هذا العنصر أيضاً: الفصة، البرسيم، عباد الشمس، الجزر، البصل، والسبانخ، أشجار الحمضيات.

ومن النباتات متوسطة الحساسية لنقص النحاس: البطاطا، القطن، الشوندر السكري، أشجار الفاكهة.

وتعد العائلة البقولية بشكل عام (عدا الفصة، البرسيم)، من أقل العائلات النباتية حساسية لنقص عنصر النحاس.

## ٢- 5-التسميد بالنحاس:

يتم اللجوء إلى التسميد بعنصر النحاس عند انخفاض تركيزه في التربة **عن ٠,٢ مغ/كغ تربة في مستخلص DTPA** (إذا لم تتوفر إمكانية تقديره في النبات)، ولا يتم التسميد بعنصر النحاس في الحالات التي تستخدم فيها مبيدات فطرية محتوية على النحاس، لأنها تزود النبات بحاجته من هذا العنصر. **ويمكن استخدام عدة أساليب لإضافة الأسمدة النحاسية مثل:**

**التسميد الورقي:** تعد هذه الطريقة فعالة وسريعة جداً لتصحيح أعراض نقص النحاس التي تظهر على النبات، وتستخدم مركبات النحاس المعدنية والعضوية لهذا الغرض، أمّا المركبات العضوية للنحاس مثل شيلات النحاس فتستخدم بمعدل ٠,٣-٠,٥ غ/ل. ويتم استخدام سلفات النحاس المائية بتركيز حتى ٣غ/ل كحد أقصى، وبمعدل ٢ كغ/هـ من سلفات النحاس، ومن الضروري مزج الكمية بكمية مكافئة من أوكسيد الكالسيوم CaO تجنباً لاحتراق الأوراق، وكذلك إجراء عملية الرش على فترات متباعدة.

**التسميد الأرضي:** يتم باستخدام مركبات النحاس المعدنية مثل سلفات النحاس بمعدل ٤-٦ كغ/هـ.

## تعفير ونقع البذور:

إن تعفير البذور بمعدل ٠,٣غ لكل كغ من البذور، أو نقع البذور بمحلول ١% من كبريتات النحاس قبل الزراعة، يحسن من إتاحة عنصر النحاس في التربة، ويمكن أن يكون بديلاً عن الطرائق الأخرى للتسميد بعنصر النحاس. **ويبين الجدول التالي أهم أنواع الأسمدة المحتوية على النحاس.**

جدول (١٤-٢ ): أهم الأسمدة المحتوية على النحاس

| اسم السماد | التركيب الكيميائي | النحاس % |
|---|---|---|
| سلفات النحاس | $CuSO_4.5H_2O$ | 25 |
| سلفات النحاس | $CuSO_4.H_2O$ | 35 |
| كلوريد النحاس | $CuCl_2.nH_2O$ | حتى 41 |
| سلفات النحاس القاعدية | $CuSO_4.Cu(OH)_2$ | 53 |
| شيلات نحاس | $Na_2$-Cu- EDTA | 12 |
| شيلات نحاس | NaH-Cu- EDTA | 9 |

## ٢- 6- التسمم بالنحاس:

يزداد تركيز عنصر النحاس في التربة والنباتات، نتيجة الإفراط في إضافة الأسمدة النحاسية، أو قد يكون ذلك ناجماً عن مصانع تنفث دخانها وأغبرتها إلى الأراضي الزراعية المجاورة (كمصانع تعدين النحاس وغيرها).

تختلف المحاصيل فيما بينها في حساسيتها لظهور أعراض التسمم بعنصر النحاس.

وبشكل عام يسبب **تركيز ٢٥-٥٠ مغ/كغ مادة جافة**، انخفاض نمو النبات دون ظهور أعراض تسمم واضحة، إلا أن ارتفاع التركيزإلى١٠٠ مغ/كغ مادة جافة، يؤدي إلى ظهور أعراض سمية النحاس على النبات، علماً بأن بعض النباتات(كنبات حشيشة الدينار)، لم تظهر عليها أعراض التسمم رغم ارتفاع محتواها من عنصر النحاس(حوالي ١٠٠٠ مغ/كغ مادة جافة).

ومن المعتقد أن **أعراض السمية** تظهر على النبات عند ارتفاع تركيز الشكل الكلي للنحاس **عن ١٥٠-٣٠٠ مغ/كغ تربة**، مع الأخذ بالحسبان، أنّ التركيز المرتفع للنحاس يكون تأثيره كبيراً في الترب الرملية وكذلك عند انخفاض pH التربة، بينما لا يكون له الأثر ذاته في الترب **الثقيلة وذات درجة تفاعل قلوي**.

تظهر **أعراض التسمّم بعنصر النحاس مشابهة لأعراض نقص الحديد** حيث تصفر الأوراق، ويضعف نمو النبات، وتتقزم الجذور، وتقل قدرتها الحيوية.

**ومن الممكن تقليل الأثر السمي للنحاس في التربة** عن طريق إضافة كربونات الكالسيوم أو الأسمدة المحتوية على الكالسيوم.

**بعض أعراض التسمّم بعنصر النحاس**

## ٢-7 النحاس وصحة الإنسان والحيوان:

يعد النحاس عنصراً ضرورياً للإنسان والحيوان كما هو الحال بالنسبة للنبات، وبغض النظر عن ظهور أعراض نقص النحاس على النباتات(عند انخفاض تركيزه) أو عدم ظهورها (في التراكيز المناسبة)، فإنه من الضروري احتواء العلائق الحيوانية على تركيز لعنصر النحاس يتراوح بين ٨-١٤ مغ/كغ مادة جافة، حيث أن انخفاض النحاس عن التركيز السابق يسبب فقر دم وانخفاض الشهية عند الحيوانات بسبب دوره الهام كأحد مكونات أنزيمات الأكسدة، ودوره أيضاً في تصنيع الهيموغلوبين، ووظائفه الحيوية الكثيرة.

لذلك يمكن تصحيح النقص في العلائق الحيوانية عن طريق إضافة أملاح النحاس إليها في حال انخفاضه عن القيمة الحدية له.

ومن ناحية أخرى فإن ارتفاع تركيز النحاس في الأغذية والنباتات بشكل كبير يؤثر سلباً على صحة الإنسان والحيوان.

ويقدر الحد المسموح به من النحاس بحوالي ٣٠ مغ/كغ مادة جافة في النباتات المعدة لتغذية الإنسان، وأكثر من ذلك(٥٠ مغ/كغ مادة جافة) في علائق الحيوانات.

# البورون

## THE BORON

**مقدمة:**

تم اكتشاف البورون كعنصر كيميائي عام ١٨٠٨، وتم إثبات أساسية هذا العنصر لنمو وتطور النبات في عام ١٩٢٣، حيث ظهرت أعراض نقص البورون، والتي تمت ملاحظتها على العديد من المحاصيل كالشوندر السكري والتفاح وغيرها حيث أدت إلى انخفاض المحصول كماً ونوعاً.

ينتمي البورون إلى العناصر الصغرى الأيونية، ويختلف محتوى التربة من البورون اختلافاً كبيراً حسب نوع الصخرة الأم الناتجة عنها. وبشكل عام تحتوي الترب الناشئة عن **صخور اندفاعية** تركيزات **أقل** من عنصر البورون مقارنة مع الصخور الرسوبية.

تختلف النباتات اختلافاً واضحاً لمتطلباتها لعنصر البورون وحساسيتها لارتفاع تركيزه في التربة، ويتراوح تركيزه في النبات على مجال واسع (من أقل من ١ إلى أكثر من ٣٠ مغ/كغ مادة جافة).

## ١- البورون في التربة:

تحتوي التربة ذات المنشأ الرسوبي (صخر الشيل) على تركيزات من البورون (٤-١٠٠ مغ/كغ تربة)، وتعد الترب الفتية الناشئة على صخر الشيل من **أغنى** الترب بعنصر البورون.

تتميز مياه البحار والمحيطات باحتوائها على تراكيز محسوسة من عنصر البورون، لذلك يرتفع تركيز هذا العنصر في الترب المجاورة لها حيث يصل إليها عنصر البورون عن طريق الرياح.

تؤدّي عمليات التجوية للصخور والفلزات المحتوية على عنصر البورون، إتاحة هذا العنصر والذي يمتص من قبل النبات، أو يغسل من التربة، أو يمكن أن يتم تثبيته بأشكال غير متاحة للامتصاص من قبل النبات على مكونات التربة المعدنية والعضوية.

## ١-١ أشكال البورون في التربة:

### أ- البورون الفلزي:

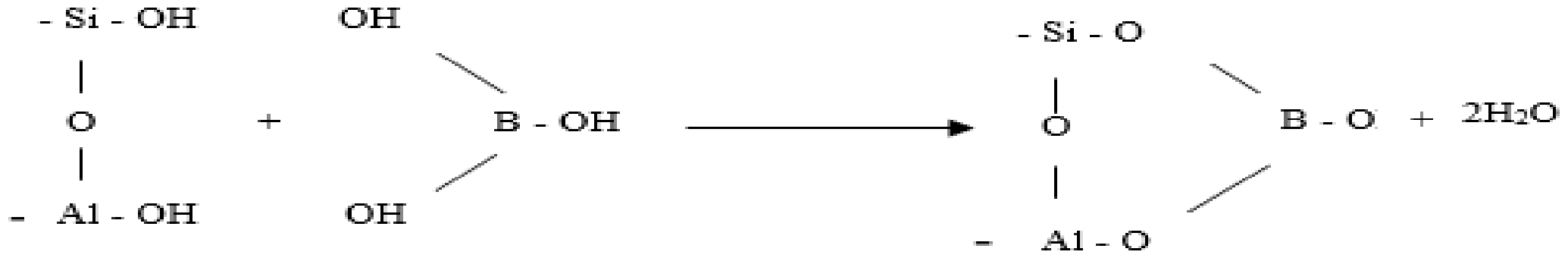
تعد المعادن السيليكاتية والسيليكاتية -الألومينية (التورمالين، البوراسيت، الهيدروبوراسيت)، مصدراً هاماً للبورون في التربة، ولعل معدن التورمالين ذو الصيغة $M_2OB_2SiO_4O_2$ (حيث M: ذرة Al، Fe، Mn، Ca، Mg، Na...)، من أهم الفلزات شهرةً، ويحتوي التورمالين على البورون بتركيز (٣-٤% B).

## ب- البورون المدمص:

يتم ادمصاص الأشكال الذائبة من للبورون في التربة [$H_3BO_3 = B(OH)_3$ أو $B(OH)^-_4$]، على أسطح معادن الطين والمادة العضوية والأكاسيد المائية للحديد والألمنيوم وكربونات الكالسيوم.

يحصل ادمصاص البورون بآلية الانجذاب على أسطح غرويات التربة التي تنشأ عليها شحنة موجبة، ويمكن أيضاً أن يتم الادمصاص بآلية التبادل مع المجموعات الفعالة وخاصة جذور الهيدروكسيل لمكونات التربة المعدنية والعضوية.

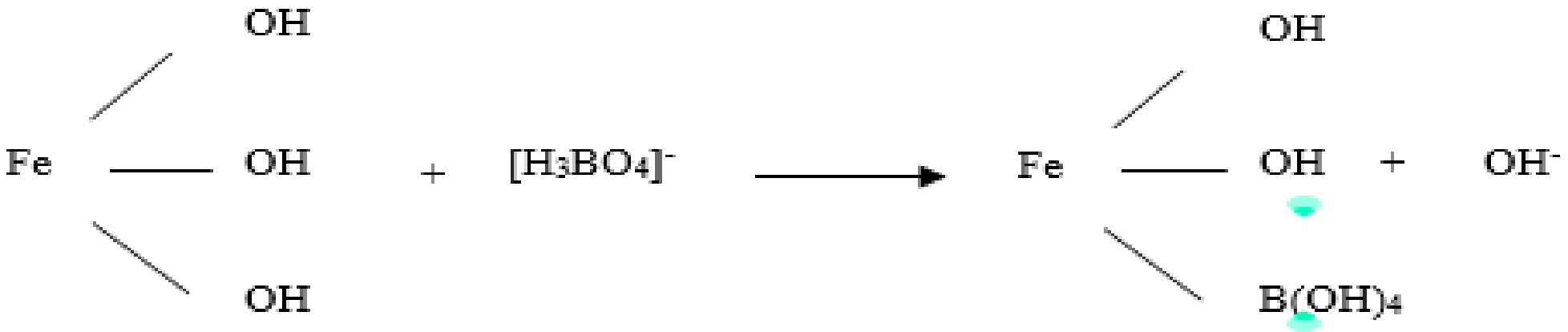
ويمكن تمثيل تفاعل الادمصاص على الجذور الحرة لمعادن الطين كما يلي (شكل رقم 15−1).




شكل رقم (15−1): ادمصاص البورون $(B(OH)_3)$، على الجذور الحرة لمعادن الطين

ويمكن أن يتم تفاعل تبادل بين البورون والأكاسيد المعدنية أو معادن الطين للأشكال الذائبة $B(OH)_3$, $B(OH)^-_4$ ويمكن التعبير عن هذا التفاعل للشكل

ويمكن أن يتم تفاعل تبادل بين البورون والأكاسيد المعدنية أو معادن الطين للأشكال الذائبة $B(OH)_3$, $B(OH)^-_4$ ويمكن التعبير عن هذا التفاعل للشكل $B(OH)^-_4$ على أكاسيد الحديد كما يلي:




**يتعلق ادمصاص البورون بعوامل عديدة لعل من أهمها:** نوع معدن الطين، وجود الحديد والألمنيوم، pH التربة، المادة العضوية. **ويعد معدن الايليت** من أكثر معادن الطين التي تدمص عنصر البورون، يليه معدن الفيرميكوليت، بينما يكون معدن المونتموريللونيت أقلها قدرة على امتصاص البورون.

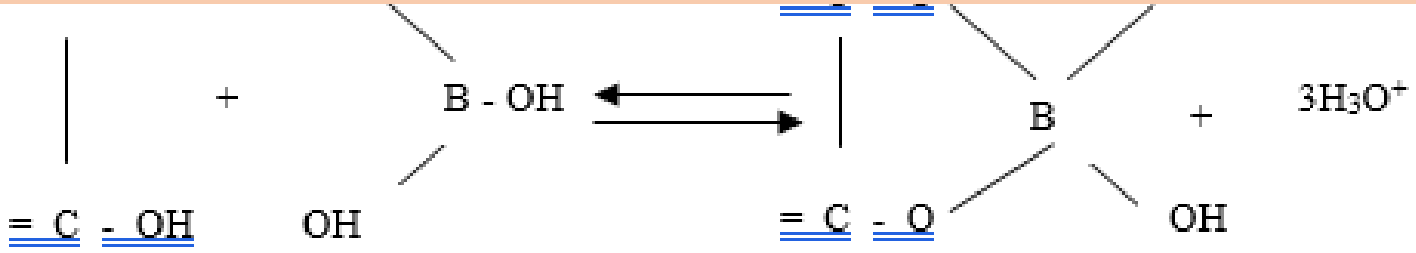
أما أكاسيد الحديد والألمنيوم، فيعود إليها الدور الأهم في عملية الادمصاص مقارنة مع معادن الطين، حيث تفوق قدرتها على ادمصاص البورون عدة أضعاف مقدرة معادن الطين. ويحصل الادمصاص الأعظمي للبورون على الأكاسيد المعدنية للألمنيوم عند (pH = 5-7)، بينما يلاحظ أن الادمصاص الأعظمي للبورون، بواسطة الأكاسيد المائية للحديد يتم عند (pH = 8-8.5).

تؤثر درجة تفاعل التربة تأثيراً واضحاً في عمليات الادمصاص، ويلاحظ زيادة الادمصاص لعنصر البورون مع ارتفاع pH التربة من ٥-٩، ثم يبدأ بالتناقص في الأوساط القلوية الشديدة (pH > 9).

يُنظر إلى كمية البورون المدمصة في التربة على أنّها الاحتياطي الذي يزود محلول التربة بالبورون حيث يتوازن الشكل المدمص مع الأشكال الذائبة ويحد من انغسالها من التربة وخاصة في الترب المعرضة للغسيل.

**ج- البورون العضوي:**

يُدمص البورون على مكونات المادة العضوية للتربة ادمصاصاً قوياً على المجموعات الفعالة للمركبات العضوية (جذور الكربوكسيل، جذور الهيدروكسيل)، ويمكن تمثيل تفاعل التبادل مع حمض البوريك **والذي يؤدي إلى تشكيل مركبات استيرية كما يلي:**




إن تشكيل مركبات استيرية تحتوي على البورون، لا تعد متاحة للامتصاص من قبل النبات إلا بعد معدنتها في التربة، ويزداد تركيز البورون المتاح للامتصاص من قبل النبات بزيادة محتوى التربة من المادة العضوية، لذلك يلاحظ انخفاض الشكل العضوي لمركبات البورون في الآفاق تحت السطحية لانخفاض محتواها من المادة العضوية.

يؤثر pH التربة تأثيراً كبيراً على درجة ادمصاص البورون على مكونات المادة العضوية حيث يزداد الادمصاص بشكل كبير في الأوساط القلوية.

**د- البورون الذواب:**

يتواجد البورون الذواب في التربة بشكلين هما: $H_3BO_3 = B(OH)_3$ أو $B(OH)^-_4$. وبشكل عام يسود الشكل $H_3BO_3$ في الأوساط الحامضية للتربة، وبارتفاع pH التربة في الأوساط القلوية يبدأ ظهور الشكل $B(OH)^-_4$.

وبارتفاع pH التربة في الأوساط القلوية يبدأ ظهور الشكل $B(OH)^-_4$.

يشكّل البورون الذواب الجزء القابل للإفادة مباشرة من قبل النبات، ويلاحظ ارتفاع تركيز هذا الشكل في أوساط التربة الحامضية، وقد يُغسل إلى الآفاق تحت السطحية مما يقلل من تركيزه في التربة، وفي الأوساط القلوية (pH: 7.8-8.5)، يتم تثبيته بأشكال غير متاحة للامتصاص من قبل النبات، إلا أن الشكل الذواب للبورون يرتفع بعد ذلك بارتفاع pH التربة عن ٨,٥-٩.

**٢-١- البورون القابل لإفادة النبات:**

إن تركيز البورون القابل لإفادة النبات لا يتعدى ٥% من التركيز الكلي للبورون، ومن الطرائق المستخدمة لتحديد الشكل القابل للإفادة من قبل النبات هي طريقة تسخين معلق التربة مع الماء لمدة خمس دقائق، ويكون التركيز ١ مغ/كغ تربة تركيزاً مناسباً لمعظم المحاصيل.

## ١-٢-١ بعض العوامل المؤثرة فى تثبيت عنصر البورون فى التربة:

**pH التربة:** يؤدي ارتفاع pH التربة إلى انخفاض الأشكال المتاحة للامتصاص من قبل النبات حتى (8.5-9)، وهذا الارتفاع يزيد ادمصاص البورون على أكاسيد الحديد والألمنيوم وكذلك معادن الطين والمكونات العضوية في التربة.

**أكاسيد الحديد والألمنيوم ومعادن الطين:** يزداد تثبيت عنصر البورون في التربة التي يرتفع فيها تركيز هذه الأكاسيد والمعادن.

**المادة العضوية:** إن تثبيت أو إتاحة البورون المرتبط بالمادة العضوية يرتبط ارتباطاً وثيقاً بدرجة تحللها، فالمركبات العضوية غير المتحللة تدمص بقوة عنصر البورون ولا يكون متاحاً إلا بعد تحللها.

**قوام (نسيج) التربة:** يزداد ادمصاص التربة لعنصر البورون بزيادة محتواها من الطين، وبذلك يلاحظ انخفاض ادمصاص البورون في الترب الرملية مقارنة مع الترب الطينية.

**تشبّع معقد ادمصاص التربة بالصوديوم:** تؤدي زيادة الصوديوم في معقد ادمصاص التربة إلى تفرقة حبيباتها الأمر الذي يزيد من سطوح التلامس بين المجموعات الفعّالة لسطوح الادمصاص مع البورون في التربة وزيادة ادمصاصه.

**جفاف التربة ورطوبتها:** يشكل البورون العضوي نسبة لا بأس بها من البورون الكلّي في التربة، وتؤدي مواسم الجفاف أو عدم الري في الترب التي يكون فيها تركيز البورون عند حده الأدنى، انخفاض تركيز الأشكال المتاحة من البورون، وربما يرجع السبب إلى انخفاض النشاط الحيوي في التربة الذي ينجم عنه بطء تزويد محلول التربة بعنصر البورون.

## ٢- البورون في النبات:

### ٢-١ تركيز عنصر البورون في النبات:

يتراوح تركيزه في النبات من ٠,١-٣٠ مع/كغ مادة جافة، وتختلف المحاصيل اختلافاً كبيراً في متطلباتها من عنصر البورون، ففي حين ينخفض محتوى النباتات النجيلية من هذا العنصر، نجد أن محاصيل العائلة البقولية والصليبية والسرمقية تحتوي على تراكيز مرتفعة من عنصر البورون، وعموماً يكون تركيز البورون في المجموع الخضري وقس المحاصيل أعلى نسبياً من الحبوب والبذور والدرنات والجذور، ويعد الشوندر السكري والفصة والقطن من النباتات ذات المتطلبات العالية من عنصر البورون.

ويبين الجدول رقم(١٥-١) محتوى بعض الأنواع النباتية من عنصر البورون.

### ٢-٢ امتصاص البورون من قبل النبات:

يعد عنصر البورون عنصراً قليل الحركة في النبات، لذلك ينخفض تركيزه في الأوراق الحديثة مقارنة مع الأوراق المسنة.

تمتص النباتات عنصر البورون عن طريق جذورها على شكل $B(OH)_3$ ، $B(OH)^-_4$، ويتم هذا الامتصاص وفق آلية الانتقال السلبي في التراكيز المرتفعة للبورون، بينما تكون آلية الامتصاص الفعال هي السائدة في التراكيز المنخفضة حيث أن عمل كلا الآليتين يتم بشكل مستقل(بوعيسى وزيدان، ٢٠٠٦).

جدول رقم (١٥-١) محتوى بعض النباتات من عنصر البورون

| اسم النبات | الجزء النباتي | تركيز البورون (مغ/كغ مادة جافة) |
|---|---|---|
| شيلم | حبوب | 1.11 |
| | قش | 1.76 |
| قمح | حبوب | 1.46 |
| | قش | 2.80 |
| شعير | حبوب | 1.18 |
| | قش | 4.82 |
| شوفان | حبوب | 0.95 |
| | قش | 3.99 |
| شوندر سكري | جذور | 12.88 |
| | أوراق | 34.45 |
| لفت زيتي | حبوب | 9.76 |
| | قش | 17.83 |
| بطاطا | درنات | 5.85 |
| فصة | مجموع خضري | 25.68 |

يتم امتصاص عنصر البورون أيضاً عن طريق المسطح الورقي للنباتات في أثناء عملية التسميد الورقي. وبالرغم من أن الامتصاص عن طريق جذور النباتات يتم بشكل بورون معدني، إلا أن البورون يرتبط في النسغ الناقص والكامل للنبات على شكل مركبات عضوية للبورون.

## ٢-٣ العلاقة بين الكالسيوم والبورون:

تختلف النباتات فيما بينها في محتواها النسبي من عنصر الكالسيوم، نسبة إلى البورون (أي النسبة Ca/B). ولكل نبات نسبة مثالية من Ca/B، ينمو النبات عندها نمواً مثالياً، وتكون هذه النسبة للتبغ مساوية حوالي 1200/1، ولفول الصويا 500/1، وللبندورة 250/1 وللشوندر السكري 100/1، ويسبب الاختلال الكبير في النسب السابقة عدم التغذية المتوازنة من عنصري الكالسيوم والبورون بشكل خاص.

يمكن من خلال نسب Ca/B الخاصة بكل نبات، تحديد الحالة الغذائية للنبات من عنصر البورون، والكالسيوم، فارتفاع النسب السابقة الخاصة بكل نبات تؤدي إلى ظهور أعراض نقص عنصر البورون على النبات.

وتعكس النسب السابقة إلى حد كبير قدرة النباتات على تحمل تراكيز البورون في التربة. فكلما كانت النسبة Ca/B صغيرة كلما زادت قدرة النبات على تحمل تراكيز مرتفعة من البورون في التربة(كالشوندر السكري مثلاً). كما ويمكن الاستفادة من النسب الخاصة بكل نبات من تلافي أعراض التسمم بالبورون بإضافة الكلس مثلاً.

**٢-٤ الدور الفيزيولوجي للبورون في النبات:**

يمكن تلخيص أهم الأدوار الفيزيولوجية للبورون في النبات:

- يؤدي دوراً هاماً في انتقال السكريات من الأوراق إلى أماكن التخزين (جذور – درنات – ثمار ...).
- يقوم بدور هام في زيادة صلابة الجدر الخلوية من خلال دورة في اصطناع الليغنين والمواد البكتينية.
- يساهم البورون في تنظيم حركة الماء والأملاح المعدنية في الخلية.
- يقوم بدور هام بالإشراف على تصنيع الحمض الأميني (اليوراسيل) الضروري لتشكيل RNA.
- يؤدي دوراً هاماً في الانقسام والتمايز الخلوي وفي مرحلة العقد والإزهار وتشكل الثمار في النبات.

**٢-٥ أعراض نقص البورون:**

تظهر أعراض نقص البورون على النباتات وخاصة تلك المزروعة في ترب رملية وترب ناتجة عن صخور فقيرة بعنصر البورون، وفي الترب الحامضية المعرضة لنظام غسل دائم، وكذلك عند ارتفاع نسبة كربونات الكالسيوم فيها وارتفاع رقم حموضتها.

تظهر أعراض النقص على النباتات عند انخفاض تركيز البورون المستخلص بالماء الساخن عن 0.36 في الترب الرملية، 0.60 في الترب الطينية، 0.80 مغ/كغ تربة في الترب الكلسية، أما الحد الحرج لتركيز البورون في النباتات فيختلف بحسب عوامل عديدة أهمها النوع النباتي والصنف والجزء النباتي وعمره. وبشكل عام يكون الحد الحرج لمستوى عنصر البورون في الأوراق الفتية لمعظم المحاصيل حوالي ١٠مغ/كغ مادة جافة.

تبدو أعراض النقص على النباتات بشكل عام بظهور تغيرات فيزيولوجية مثل انخفاض النمو وسمك الأوراق وموت الأنسجة الميرستيمية القمية وتساقط الأزهار وانخفاض نسبة العقد وتساقط الثمار وتشوهها.

**ويمكن أن تظهر بعض أعراض النقص على النباتات كما يلي:**

**الشوندر السكري:** يظهر داخل جذر الشوندر السكري ظاهرة ما يسمى بالقلب الأجوف Heart Rot أو القلب الأسود، وتبدو الإصابة على شكل انحلال للأنسجة داخل الجذر من ناحية قمته وباتجاه الأسفل، حيث تتلون باللون البني ثم الأسود وتتشكل بعدها فجوة ضمن الجذر، أما على المجموع الخضري فتكون قاعدة نصل الأوراق الحديثة غير كاملة النمو (قصيرة). وتظهر بقع صفراء على الأوراق تؤدي إلى موتها، وعلى أنصال الأوراق تتكون بقع رمادية بنية يخرج منها عصير لزج أسود اللون. تتجمع الأوراق الحديثة على قمة الجذر بشكل وردة Rosetting.

**التفاح**: تظهر على ثمار التفاح بقع بنية في الجزء اللحمي من الثمرة تتحول لاحقاً إلى بقع فلينية Internal Corck، ويمكن أن يحدث تشوه لثمار التفاح، أما الأوراق فتزداد ثخانة وتموت البراعم القمية(الموت القمي Die Back)، وتنمو براعم جانبية وتنشأ أوراق صغيرة متوضعة على أغصان ذات سلاميات متقاربة، على شكل وردة (Rosetting) .

**العنب:** تظهر على العنقود حبات عنب صغيرة مجاورة لحبات عنب كبيرة بسبب تأثير البورون على الإزهار والعقد وتشكل الثمار. ويعرف هذا العرض **بما يسمى Hen and Chicken (القرقة والصيصان).**

**الملفوف – القرنبيط:** تظهر الأعراض على شكل فجوة طولانية داخل الساق تبدو بلون بني يسمى **بالقلب البني(Heart Brown)**، ويمكن ملاحظة تلون القرص الزهري للقرنبيط باللون البني.

## من أعراض نقص البورون

## ٢-٦ التسميد بالبورون:

يتم تسميد النباتات بعنصر البورون، باستخدام التسميد الأرضي أو التسميد الورقي، ويمكن أيضاً إضافة البورون مع مياه الري، ويتم التسميد إذا انخفض تركيز عنصر البورون عن 0.8 مغ/كغ تربة.

**التسميد الأرضي**: يتم تسميد المحاصيل وأشجار الفاكهة بمعدل ١-٣كغ/هـ وذلك حسب متطلبات النبات لعنصر البورون ومحتوى التربة أيضاً. وبسبب انخفاض وزن الكمية المضافة من البورون فيتم توزيع السماد وإضافته إلى التربة كما يلي:

تذاب الكمية الكلية من السماد وثم ترش على كامل المساحة، أو يتم خلط الكمية مع الرمل الناعم وتوزيعها في الحقل بشكل متجانس. ويتم حالياً في بعض البلدان، تصنيع أسمدة فوسفاتية (سوبر فوسفات ثلاثي)، تحوي على البورون بنسبة ٠,٥%، حيث يضاف في هذه الحالة البورون بشكل غير مباشر قبل الزراعة وفي أثناء تحضير التربة، مع الأسمدة الفوسفاتية.

- **التسميد الورقي**: يتم التسميد الورقي بمعدل ٠,٢-١ غ/ل B.

**التسميد مع مياه الري**: من الضروري توخي الحذر عند استخدام البورون كسماد مع مياه الري،حيث أن التركيز ٠,٥-٠,٧٥ يكون مناسباً لجميع المحاصيل حتى شديدة الحساسية منها لزيادة تركيز البورون. حيث تتحمل المحاصيل الحساسة لزيادة البورون في مياه الري حتى ٠,٧٥ مغ/ل بورون، والمتوسطة حتى ٢ مغ/ل، والمتحملة حتى ٤ مغ/ل بورون

ويوضح الجدول التالي أهم الأسمدة المحتوية على البورون.

**جدول (١٥-٢) أهم أسمدة البورون**

| اسم السماد | التركيب الكيميائي | البورون(%) |
|---|---|---|
| بوراكس | $Na_2B_4O_7.10H_2O$ | 11 |
| تترابورات الصوديوم | $Na_2B_4O_7$ | ٢٠ |
| حمض البوريك | $H_3BO_3$ | 17 |
| سولوبور | $Na_2B_4O_7.5H_2O$ + $Na_2B_{10}O_{16}.10H_2O$ | ٢٠-٢١ |

## ٢-٧- التسمم بالبورون:

تختلف النباتات فيما بينها في قدرتها على تحمل تراكيز مرتفعة من البورون.

ويبين الجدول التالي حساسية بعض النباتات لسمية البورون:

| نباتات حساسة جداً | نبتات متوسطة الحساسية | مقاومة | مقاومة جداً |
|---|---|---|---|
| معظم أشجار الفاكهة | فليفلة | شوندر أحمر | قطن |
| لوبياء | شعير | شوندر سكري | هيليون |
| بصل | تبغ | كرسنة | |
| شعير | كوسا | فصة | |
| بازلاء | خيار | ذرة بيضاء | |

تنشأ زيادة تركيز البورون في التربة نتيجة للإفراط في استخدام أسمدة البورون، وكذلك عند استخدام مياه ري يرتفع فيها تركيز البورون عن ٢ مغ/ل( وخاصة للنباتات الحساسة لزيادة البورون)، وعن ارتفاع التركيز في الأوراق عن ١٠٠ مغ/كغ مادة جافة، وفي التربة عن ٥ مغ/كغ تربة .

ويقع الحد الملائم من البورون القابل للإفادة بين ٠,٥-٢ مغ/كغ تربة بالنسبة لمعظم المحاصيل.

تظهر أعراض السمية على الأوراق على شكل احتراق يمتد من نهاية الأوراق، يتبعه ظهور بقع ميتة بين العروق لا تلبث أن تتصل مع بعضها، ثم تتساقط لاحقاً.

**المرجع:**

**- المعلومات العلمية من: عودة، محمود وشمشم، سمير (٢٠١١): كتاب خصوبة التربة وتغذية النبات (الجزء النظري)، منشورات جامعة حمص.**

**- الصور: بالاعتماد على الذكاء الصنعي ٢٠٢٦.**