كذلك فإن المنجنيز فى صورته العضوية يعتبر غير ميسر لامتصاص النبات. ولبعض الكائنات الدقيقة القدرة على تثبيته وجعله غير ميسر للنبات.

ويعالج نقص المنجنيز باستعمال سماد كبريتات المنجنيز Manganese(ous)sulfate (يحوى ٢٤,٦٪ Mn فى صورة $MnSO_4.4H_2O$) بمعدل ٩ – ١٤ كجم/فدان للتربة، ويستعمل الحد الأعلى فى الأراضى القلوية التى يزيد فيها الـ pH عن ٧، أو رشا بتركيز ٠,٩– ١,٨ كجم/ ٤٠٠ لتر ماء.

البورون

دور البورون فى النبات

من المعتقد أن البورون يلعب دورًا فى تكوين الجد الخلوية، وفى انتقال السكريات فى النبات. وقد وُجد أن السكر ينتقل بسهولة خلال الأغشية الخلوية بعد اتحاده مع البورون.

كما أن البورون ضرورى لانقسام الخلايا، وتكوين اللحاء، وانتقال بعض الهرمونات، وإنبات حبوب اللقاح، وقد يكون له دور فى تمثيل الأحماض النووية.

ويمتص النبات البورون فى الصور التالية: $B_4O_7^{2-}$، و $H_2BO_3^-$، وHBO_3^{2-}، وBO_3^{3-}.

أعراض نقص البورون

يثبت البورون فى الأنسجة التى يصل إليها بعد امتصاصه، ولا يتحرك بعد ذلك، أى إنه عنصر غير متحرك؛ لذلك تظهر أعراض نقصه على الأوراق الحديثة أولاً.

تبدأ أعراض نقص البورون فى الظهور بانهيار خلايا الأنسجة الميرستيمية التى تحدث فيها انقسامات نشطة، وهى القمم النامية ومناطق الكامبيوم. وتتأثر الحزم الوعائية بالجذور والسيقان، ويتعطل انتقال الماء فيها؛ فيحدث الذبول الذى يكون غالبًا بداية لظهور أعراض نقص العنصر.

ويكون المحتوى الكربوهيدراتى لجذور وسيقان النباتات التى تعانى نقصًا فى البورون قليلاً؛ وذلك بسبب تعطل انتقال المواد الكربوهيدراتية، وزيادة تركيزها فى الأوراق. وفى حالات النقص الشديدة تموت القمم النامية، وتتشوه الأوراق الحديثة، وتظهر بقع بنية أو سوداء فلينية فى أعضاء التخزين من جذور ودرنات.

ونظرًا لأن حواف الأوراق يحدث بها انقسام أثناء زيادة الأوراق فى المساحة، فإن نقص البورون يؤدى أحيانًا إلى تلون حواف الأوراق باللون الأصفر أو البنى، ولكن الأعراض الأكثر شيوعًا هى التفاف حواف الأوراق الصغيرة، وظهور بقع متحللة بها. وقد يظهر لون أصفر باهت غير منتظم التوزيع على أوراق الخضر الجذرية.

وعمومًا .. يكون حجم النبات الذى يعانى نقص البورون أصغر من الحجم الطبيعى، كما تموت القمم النامية للجذور والسيقان، التى تكون قصيرة وصلبة.

هذا .. ويزداد ظهور أعراض نقص العنصر عند نقص الرطوبة الأرضية، وفى حالات الحرارة المرتفعة، والإضاءة العالية، وهى ظروف لا تشجع على انتقال البورون من الأوراق إلى الأعضاء الأخرى فى النبات.

ويؤدى نقص البورون إلى ظهور بقع بنية أو سوداء فلينية متناثرة على سطح الجذور، أو قريبًا من حلقات النمو فى البنجر. وفى اللفت السويدى تظهر مناطق كبيرة بنية مائية قرب مركز الجذر. وفى القنبيط تتلون الأقراص باللون البنى. وفى البروكولى تتلون البراعم الزهرية باللون البنى، كما تظهر على سيقان القنبيط والبروكولى والكرنب مناطق مائية تتطور فيما بعد إلى شقوق أفقية، وتتجوف السيقان. وتظهر على أعناق أوراق الكرفس من الخارج خطوط بنية متحللة، ومن الداخل تتحلل خلايا البشرة. وفى السلق تظهر أحيانًا خطوط قاتمة اللون، مع تشققات على الناحية الداخلية لأعناق الأوراق.

وتظهر أعراض نقص العنصر عندما ينخفض تركيزه فى الأوراق عن ٣٠ جزءًا فى المليون على أساس الوزن الجاف.

إن ظهور بعض العيوب الفسيولوجية التى ترجع إلى نقص البورون (مثل القلب البنى فى جذور كلٍ من الروتاباجا واللفت والفجل، والساق المجوف فى كل من القنبيط والبروكولى) حتى مع توفر البورون فى التربة يفيد بأن لظهورها علاقة بتحرك البورون فى النبات؛ ذلك لأن توزيع البورون يعتمد على فقد الماء من الأعضاء الهوائية؛ بما يعنى أن العنصر يتحرك — أساسًا — فى نسيج الخشب، مع تحرك محدود فى اللحاء. وقد تبين بالبحث أن البورون يتواجد بتركيزات منخفضة فى اللحاء؛ ولهذا علاقة بسد حاجة أعضاء التخزين الأرضية التى لا تنتح (Shelp وآخرون ١٩٩٥).

أعراض التسمم بالبورون

تظهر أعراض التسمم بالبورون على النباتات الحساسة، ويحدث ذلك — غالبًا — فى المناطق القاحلة التى تكون تربتها غنية أصلاً بالعنصر بينما لا يحدث فيها غسيل بالمطر أو مياه الرى، وكذلك عند الرى بمياه يزيد فيها تركيز العنصر.

ومن أهم أعراض زيادة العنصر ظهور تحلل لقمة الورقة وحافتها، يكون متبوعًا بتحلل كلى للورقة وموتها، وسبب ذلك أن البورون يُحمل إلى الأوراق مع تيار الماء الذى يفقد بالنتح؛ حيث يتجمع فى نهاية الأمر بين العروق فى قمة الورقة وحوافّها.

وقد وجد Francios (١٩٨٩) أن زيادة تركيز البورون عن مستوى معين فى المحاليل المغذية يؤدى إلى انخفاض المحصول على النحو التالى:

محصول الخضر	التركيز المناسب للبورون (جزء فى المليون)	النقص فى المحصول (%) مع كل زيادة مقدارها جزء واحد فى المليون من البوروون
البروكولى	١,٠	١,٨
القنبيط	٤,٠	١,٩
الفجل	١,٠	١,٤
الفاصوليا (القرون)	١,٠	١٢,١
اللوبيا (البذور)	٢,٥	١١,٥

تقسيم محاصيل الخضر حسب تحملها لزيادة تركيز البورون، واحتياجاتها السمادية منه

تقسم الخضراوات حسب احتياجاتها من البورون إلى ثلاث مجموعات كالتالى:

١- خضراوات ذات احتياجات عالية من البورون؛ وهى التى تتحمل تركيزات عالية منه فى التربة وماء الرى، وتستفيد جيدًا من التسميد بالبورون، ويلزم معها أن يتوفر العنصر فى التربة بتركيز يزيد على ٠,٥ جزءًا فى المليون؛ وهى مرتبة تنازليًّا حسب احتياجاتها من العنصر كالتالى: البنجر — السلق- الخرشوف- الأسبرجس- اللفت- الكرنب- البروكولى- القنبيط - الفجل- كرنب بروكسل- الكرفس- الروتاباجا- فاصوليا الليما- الفلفل.

٢- خضراوات ذات احتياجات متوسطة من البورون ؛ وهى التى تتحمل تركيزات متوسطة منه فى التربة وماء الرى، ويجب معها أن يكون تركيز العنصر بين ٠,١ — ٠,٥ جزءًا فى المليون فى المحلول الأرضى، وهى مرتبة تنازليا حسب احتياجاتها للبورون كالتالى: الطماطم — الخس — البطاطا — الجزر — البصل.

٣- خضراوات ذات احتياجات منخفضة من البورون؛ وهى الحساسة لزيادة البورون فى التربة وماء الرى، ويجب معها ألا يزيد تركيز البورون فى المحلول الأرضى على ٠,١ جزءًا فى المليون ؛ وهى مرتبة تصاعديًا حسب حساسيتها للبورون كالتالى: الذرة السكرية — البسلة — الفاصوليا — فاصوليا الليما — البطاطس — الطرطوفة — اللوبيا.

ولمزيد من التفاصيل يراجع Purvis & Hanna (١٩٤٠) ، وEaton (١٩٤٤).

تيسر البورون فى التربة

يتوفر البورون فى الأراضى التى يقل الـ pH فيها عن ٧، ويقل البورون نسبيًا فى pH ٧- ٧,٥، ويصبح النقص شديدًا فى pH ٧,٥- ٨,٥، إلا أن البورون الميسر يزداد مرة أخرى فى الأراضى التى يزيد الـ pH فيها على ٨,٥.

تظهر أعراض نقص العنصر بصفة خاصة فى الأراضى الرملية التى تزرع سنويًا، وكذلك فى الأراضى القلوية والعضوية.

ويعتبر تركيز البورون فى المحلول الأرضى منخفضًا جدًا، ويقل بدرجة أكبر فى الأراضى القلوية. وأفضل تركيز للبورون فى محلول التربة هو ٠,١ – ١,٠ جزء فى المليون، وتظهر غالبًا أعراض التسمم بالعنصر إذا زاد تركيزه عن ذلك المستوى، كما تؤدى زيادة التسميد بالبورون إلى ظهور أعراض التسمم، ويحدث ذلك غالبًا فى الأراضى الحامضية الرملية الفقيرة فى محتواها من المادة العضوية، عنه فى الأراضى المتعادلة، أو الصفراء، أو الطينية، أو الغنية بالمادة العضوية (Thompson & Kelly ١٩٥٧، وEdmond وآخرون ١٩٧٥، وDevlin ١٩٧٥ وLorenez & Maynard ١٩٨٠).

ويتوقف امتصاص النباتات للبورون على مستوى البورون فى محلول التربة، وليس على المحتوى الكلى للبورون فى التربة. ويمكن لقدرة المادة العضوية على جذب البورون إليها أن تقلل من امتصاص النباتات للعنصر، بسبب ما تحدثه المادة العضوية من خفض للبورون فى المحلول الأرضى (Yermiyahu وآخرون ٢٠٠١).

علاج نقص البورون

يعالج نقص البورون بالتسميد بأحد المركبات الآتية:

١– البوراكس Borax ($Na_2B_4O_7.10H_2O$) يحوى ١٠,٦٪ بورون؛ يستعمل بمعدل ٥ — ١٢ كجم/فدان للتربة، أو رشا بتركيز ٠,٩ — ٢,٢٥ كجم/٤٠٠ لتر ماء. وفى حالة البنجر المزروع فى الأراضى الرملية القلوية تزداد الكمية المضافة للتربة إلى ٢٢ كجم/فدان.

٢– السوليوبور Solubor ($Na_2B_{10}O_{16}.10\ H_2O$، و $Na_2B_4O_7.5H_2O$) يحوى ٢٠,٥٪ بورون، ويستعمل بمعدل ٢,٥– ٥ كجم/فدان للتربة، أو رشا بتركيز ٠,٤٥ — ٠,٧ كجم/٤٠٠ لتر ماء.

٣- خامس بورات الصوديوم Sodium pentaborate ($Na_2B_{10}O_{16}.10H_2O$) يحوى ١٨,١٪ بورون، ويستعمل بمعدل ٢,٥- ٧,٥ كجم/فدان للتربة، أو رشا بمعدل ٠,٤٥- ١,٣٥ كجم/٤٠٠ لتر ماء.

٤- تترابورات – بنتاهيدرات الصوديوم Sodium tetraborate pentahydrate- ($Na_2B_4O_7.5H_2O$) يحوى ١٣,٧٪ بورون، ويستعمل بمعدل ٣,٥ – ٩ كجم/فدان للتربة، أو رشا بتركيز ٠,٤٥- ١,٨ كجم/٤٠٠ لتر ماء.

٥- ونظرًا لأن أملاح البورون الصودية تعتبر شديدة القابلية للذوبان فى الماء، وعرضة للفقد بالرشح بسرعة؛ لذلك يفضل استعمال مادة الكوليمانايت ($Ca_2B_6O_{11}.5H_2O$).

وبمقارنة تيسر البورون من تسعة مصادر للعنصر فى تربة رملية، وجد ما يلى:

١- تسرَّب البورون من سوليوبور solubor كلية – تقريبًا – فى خلال خمسة أسابيع.

٢- أطلق أكسيد البوريك معظم محتواه من البورون فى خلال سبعة أسابيع.

٣- استمر تيسر البورون من ديبور Dehybor لمدة ١٣ أسبوعًا.

٤- كان تيسر البورون من جرانوبور Granubor خطيًّا واستمر لمدة حوالى ١٢ أسبوع.

٥- تيسر البورون من خمسة مركبات أخرى تحتوى على بورات الكالسيوم أو بورات الصوديوم والكالسيوم ببطء كبير، وكانت الأسرع الـ probertite والـ ulexita، ثم B32G، وcolemanite، وB38G. وخلال فترة الدراسة التى دامت سنتين (١٠٤ أسابيع) لم يُطلق B38G سوى نحو ٤٠٪ من محتواه من البورون.

وتجدر الإشارة إلى أن سرعة تيسر البورون من مركبات مثل سوليوبور قد يترتب عليها حدوث سمية للنباتات (Broschat ٢٠٠٨).

ولمزيد من التفاصيل عن البورون ودوره فى النبات، وأعراض نقصه والتسميد بالبورون .. يراجع كل من Gauch & Dugger (١٩٥٤) و Gupta (١٩٧٩).

ولمزيد من التفاصيل الخاصة بنقص البورون فى النباتات وتصحيح هذا النقص .. يُراجع Shorrocks (١٩٩٧).

الموليبدنم

دور الموليبدنم فى النبات

يدخل الموليبدنم فى تركيب أحد الإنزيمات التى تعمل على اختزال النترات فى النبات إلى أمونيا، كما يعد — كذلك — جزءًا من التركيب الجزيئى لإنزيم ريبوبروتينيز riboproteinase الضرورى لاختزال نيتروجين الهواء الجوى فى كل من البكتيريا *Azotobacter* و *Rhizobium* (Edmond وآخرون ١٩٧٥).

وقد لوحظ أن نقص الموليبدنم يتبعه دائمًا نقص فى تركيز حامض الأسكوربيك فى النبات، وهو الذى يحمى الكلوربلاستيدات من أى تغير فى تركيبها.

ويبدو أن للموليبدنم دورًا فى ميتابولزم الفوسفور فى النبات.

هذا .. وتعتمد أربعة إنزيمات نباتية على الموليبدنم فى فعلها، وهى: nitrate reductase، و aldehyde oxidase، و sulphite oxidase، و xanthine dehydrogenase. هذا .. إلا أن الموليبدنم لا يكتسب نشاطًا بيولوجيًّا ويصبح مؤثرًا فى تلك الإنزيمات إلاّ بعد تكوينه لمعقد مع مركب pterin؛ ليتكون الموليبدنم المرافق الإنزيمى (Mendel ٢٠٠٧).

أعراض نقص الموليبدنم

تتميز أعراض نقص الموليبدنم — بصورة عامة — بظهور بقع مصفرة غير منتظمة الشكل والتوزيع بين العروق، وتشوه الأوراق الحديثة، وموت البرعم الطرفى، ولا ينمو نصل الورقة بمعدله الطبيعى، وربما لا ينمو كلية، ويبقى العرق الوسطى فقط، كما يكون النمو بطيئًا، والنباتات متقزمة، ويصاحب ذلك نقص فى كمية ونوعية المحصول.