الفصل التاسع

العناصر الغذائية وتأثيرها على نباتات الخضر

نتناول فى هذا الفصل دراسة تأثير العناصر الغذائية ، مع الاهتمام بكيفية تأثير هذه العناصر على محاصيل الخضر ، وشرح موجز للعناصر ذاتها وتغيراتها فى التربة .

العناصر الغذائية الضرورية للنبات

العناصر الغذائية الضرورية هى : الكربون ، والأيدروجين ، والأكسجين ، والنيتروجين ، والفوسفور ، والبوتاسيوم ، والكالسيوم ، والمغنسيوم ، والكبريت ، والحديد ، والزنك ، والمنجنيز ، والنحاس ، والبورون ، والموليبدنم ، والكلور .

ويحصل النبات على الكربون والأيدروجين والأكسجين من الماء وغاز ثانى أكسيد الكربون . وتشكل هذه العناصر الثلاثة مجتمعة أكثر من ٩٢ ٪ من البرتوبلازم الحى .

ويُمتص النيتروجين أكثر من أى من العناصر الأخرى ؛ حيث يُشكل ١ ـ ٢ ٪ من البروتوبلازم الحى . أما الفوسفور والبوتاسيوم والكالسيوم والمغنسيوم والكبريت ، فتمتص بكميات أقل بكثير من النيتروجين ، ويمتص النبات باقى العناصر بكميات قليلة جدا .

وبالإضافة إلى العناصر الضرورية ، فإن النبات يمتص أكثر من ٤٠ عنصراً آخر يكون لها تأثير مفيد ، رغم أنها ليست من العناصر الضرورية . فمثلا يؤدى امتصاص الكرفس للصوديوم إلى تحسن فى الطعم .

ويعتبر العنصر ضروريا إذا توفرت فيه الشروط التالية :

١ ـ يؤدى غياب العنصر من بيئة نمو النبات إلى حدوث نمو غير طبيعى ، ويفشل النبات فى إكمال دورة حياته ، ويموت مبكرًا .

٢ ـ يجب ألا يقوم عنصر آخر بعمله فى غيابه .

٣ ـ يجب أن يحدث تأثيره بصورة مباشرة على نمو وأيض النبات ، وليس عن طريق تأثير غير مباشر كإحداث تأثير مضاد لعنصر آخر مثلاً (Jones ١٩٨٢) .

امتصاص النبات للعناصر المغذية

كيفية وصول العناصر المغذية إلى الجذور

يمكن أن تصل العناصر المغذية إلى سطح الجذر بواحدة من ثلاث طرق ، كما يلى :

١ ـ نمو الجذور إليها واعتراضها لها Root Interception :

تعد هذه الوسيلة لوصول العناصر المغذية إلى سطح الجذور أقلها أهمية ؛ نظراً لأن كمية العناصر الميسرة التى تلامسها الجذور أثناء نموها تكون ضئيلة للغاية .

٢ ـ التدفق الإجمالى Mass Flow :

تلك هى عملية انتقال العناصر المغذية إلى سطح الجذر ، والتى تحدث عند تحرك المحلول الأرضى ليحل محل الجزء المستنفذ الذى امتصته الجذور . وتتوقف كمية العناصر المغذية التى تُزوَّد بها الجذور بهذه الوسيلة على تركيز العناصر فى المحلول الأرضى ، وسرعة امتصاص الجذور للماء . وتتوقف قدرة التربة على توفير العناصر بالتركيز المناسب عند سطح الجذور على كمية العناصر المُيسرة فى التربة ، ومدى استنفاذ المحصول لها .

٣ ـ الانتشار Diffusion :

يقصد بذلك انتشار العناصر من أجزاء التربة التى يزيد فيها التركيز إلى تلك التى يكون التركيز فيها منخفضًا . ولا يحدث الانتشار إلا عندما يكون محتوى التربة الرطوبى كافيًا لاستمرار وجود غشاء مائى بين الجذور وجزيئات التربة .

وتتحرك جميع العناصر المغذية بالانتشار فى ظروف النتح القليل . ولكن عندما يزداد امتصاص النبات للماء فإن حصول النبات على كل من الكالسيوم والنترات يكون

ـ أساساً ـ بطريقة التدفق الإجمالى . وإذا كان امتصاص العناصر أكثر من سرعة حصول الجذور عليها فإنه قد يستنفذ الفوسفور والبوتاسيوم من التربة بالقرب من سطح الجذور . ويعد استنفاد الفوسفور مشكلة هامة ؛ وذلك بسبب خاصية عدم تحركه فى التربة ؛ ولذا . . فإن حصول النبات على الفوسفور يعتمد ـ إلى حد كبير ـ على نمو الجذور إلى حيث يتوفر العنصر .

وبمجرد فقد التربة لجانب كبير من رطوبتها تَضْعُف خاصيتا التدفق الإجمالى والانتشار ، ويقل وصول العناصر إلى الجذور تبعًا لذلك . يحدث ذلك بسبب نقص مساحات تلامس الجذور مع الرطوبة الحرة بالتربة فى ظروف الجفاف ؛ وهو أمر يسبق بداية معاناة النباتات من نقص الرطوبة الأرضية (عن Archer ١٩٨٥) .

العوامل المؤثرة على تيسر العناصر وامتصاص النباتات لها

يمكن إجمال العوامل المؤثرة على تيسر العناصر المغذية وامتصاص النباتات لها فيما يلى :

١ ـ زيادة قلوية التربة ؛ الأمر الذى يؤدى إلى ترسيب العناصر الصغرى فى صور غير ذائبة ، وزيادة احتمالات فقد الأمونيا بالتطاير .

٢ ـ ارتفاع مستوى الكالسيوم الذائب فى المحلول الأرضى ؛ الأمر الذى يؤدى إلى ترسيب الفوسفور فى صورة غير ذائبة .

٣ ـ ارتفاع محتوى التربة من كربونات الكالسيوم ؛ الأمر الذى يؤدى إلى ترسيب الفوسفور فى صور غير ذائبة ، وتكوين القشرة السطحية التى تعوق إنبات البذور .

٤ ـ ارتفاع تركيز الأملاح ؛ الأمر الذى يقلل من امتصاص العناصر بسبب ارتفاع الضغط الآسموزى للمحلول الأرضى .

٥ ـ انخفاض نسبة الرطوبة فى التربة إلى أقل من ٢٥ ٪ ـ ٤٠ ٪ من المحتوى الرطوبى عند السعة الحقلية ؛ الأمر الذى يؤدى إلى ضعف حركة العناصر فى التربة بالانتشار ؛ فيقل وصولها إلى سطح الجذور تبعا لذلك .

٦ ـ استمرار زيادة الرطوبة لفترة طويلة ، وسوء التهوية ؛ الأمر الذى يؤدى إلى اختزال النترات إلى نتيروجين غازى يفقد فى الجو .

٧ ـ انخفاض درجة الحرارة ؛ الأمر الذى يبطئ كل الأنشطة الحيوية فى النبات ، وما يترتب على ذلك من ضعف امتصاص العناصر .

٨ ـ التضاد بين العناصر ؛ حيث تؤدى زيادة تركيز عنصر ما إلى خفض امتصاص عنصر ، أو عدة عناصر أخرى (عن حبيب وآخرين ١٩٩٣) .

كيفية امتصاص النبات للعناصر

تمتص النباتات العناصر المغذية من التربة بإحدى وسيلتين ، كما يلى :

١ ـ امتصاص سلبى Passive Nutrient Uptake :

يتم الامتصاص السلبى حسب خاصية الضغط الآسموزى ، ولا يتطلب بذل الطاقة من جانب النبات ، حيث تُمتص العناصر المغذية مباشرة من المحلول الأرضى ، أو بالتبادل الكاتيونى بين جدر خلايا الشعيرات الجذرية وغرويات التربة .

٢ ـ امتصاص نشط Active Nutrient Uptake :

يكون الامتصاص النشط ضد الضغط الآسموزى ، ويتطلب طاقة تأتى من تنفس الجذور ؛ فبعد أن تصل الأيونات إلى سطح خلايا الجذور ـ وهى عملية لا تتطلب طاقة ـ فإنها تتحد مع جزيئات حاملة لها carrier molecules ، وتنتقل خلال الأغشية الخلوية إلى داخل الخلايا ؛ حيث ينفصل الأيون عن حامله ؛ ليصل الأيون إلى الفجوة العصارية . ويلزم لانتقال حامل الأيون طاقة يحصل عليها من التنفس .

وكل حامل carrier يتخصص فى نقل أيونات معينة . ويسمح هذا التخصص بزيادة تركيز أيونات معينة دون غيرها ، فضلا على أن النظام يسمح بزيادة تركيز جميع الأيونات ـ بصورة عامة ـ فى خلايا الجذور عنها فى المحلول الأرضى (عن Millar وآخرين ١٩٦٥) .

الصور التى تمتص عليها العناصر ومحتوى التربة والنبات منها

يمتص النبات العناصر المغذية فى صورة أيونات . ويوضح جدول (٩ ـ ١) مختلف الصور الأيونية التى تمتص عليها هذه العناصر ، والتركيز الذى توجد عليه ـ عادة ـ فى كل من التربة والنبات (عن Fuller وآخرين ١٩٧٢ ، و Hale & Orcutt ١٩٨٧) .

جدول (٩ ـ ١) : الصور التى تُمتص عليها العناصر وتركيزها فى كل من التربة والنبات .

العنصر	الصور التى يُمتص عليها	تركيز العنصر (على أساس الوزن الجاف)	
		فى التربة	فى النبات
النيتروجين	NO_3^- و NH_4^+		٣,٠ ٪
الفوسفور	$H_2PO_4^-$ و HPO_4^{2-}	٠,٠٥ ٪	٠,٢ ٪
البوتاسيوم	K^+	٠,١٧ ٪	١,٠ ٪
الكالسيوم	Ca^{2+}	٠,٤٣ ٪	٠,٥ ٪
المغنيسيوم	Mg^{2+}	٠,٠٣ ٪	٠,٢ ٪
الكبريت	SO_4^-	٠,٠٤ ٪	١,٠ ٪
الحديد	Fe^{3+} و Fe^{2+}	٢٥٠٠٠ جزء فى المليون	١٠٠ جزء فى المليون
المنجنيز	Mn^{2+}	٢٥٠٠ جزء فى المليون	٥٠ جزءًا فى المليون
النحاس	Cu^+ و Cu^{2+}	٥٠ جزءاً فى المليون	٦ أجزاء فى المليون
الزنك	Zn^{2+}	١٠٠ جزء فى المليون	٢٠ جزءًا فى المليون
البورون	BO_3^{3-} و $HB_4O_7^-$	١٠٠ جزء فى المليون	٢٠ جزءًا فى المليون
الموليبدنم	MoO_4^-	جزآن فى المليون	٠,١ جزءًا فى المليون

كما يعطى جدول (٩ ـ ٢) بيانًا بمحتوى الأراضى الرملية والجيرية الحديثة الاستزراع ـ فى مصر ـ من العناصر الأولية ، وأربعة من العناصر الدقيقة ، مقارنة بمحتوى أراضى الوادى والدلتا (عن عبد الحميد ١٩٩١) .

جدول (٩ ـ ٢) : محتوى الأراضى الرملية والجيرية الحديثة الاستزراع ـ فى مصر ـ من العناصر الأولية ، وأربعة من العناصر الدقيقة ، مقارنة بمحتوى أراضى الوادى والدلتا (عن عبد الحميد ١٩٩١) .

العنصر	أراضٍ حديثة الاستزراع (صفر ـ ٦٠ سم)		أراضى الوادى والدلتا (صفر ـ ٦٠ سم)
	رملية	جيرية	
عناصر أولية (مجم/ ١٠٠ جم)			
النيتروجين	١٢ ـ ٤٥	١٨ ـ ٤٧	٧٥ ـ ١٧٠
الفوسفور	٠,٤ ـ ١,٢	٠,٣ ـ ٠,٥	٢,١ ـ ٤
البوتاسيوم	٥ ـ ١٠	١٧ ـ ٢٢	٣٨ ـ ٦٨
عناصر دقيقة (جزء فى المليون)			
حديد	٠,٥ ـ ٤,٥	١,٥ ـ ٦	٩,٥ ـ ٣٠
منجنيز	٢ ـ ٢,٥	٥ ـ ١٢	١٠ ـ ٤٠
زنك	٠,٥ ـ ٠,٧	٠,٨ ـ ١	١,٢ ـ ٢,٤
نحاس	٠,٤ ـ ١,٩	٠,٨ ـ ٠,٩	٢,٧ ـ ٤,٦

انتقال العناصر المغذية داخل النبات

يكون انتقال العناصر المغذية فى النبات فى ثلاثة اتجاهات ، كما يلى :

١ ـ من أسفل إلى أعلى عن طريق الخشب ، وبدرجة أقل عن طريق اللحاء .

٢ ـ من أعلى إلى أسفل عن طريق اللحاء .

٣ ـ جانبيا بين الخشب واللحاء .

وتنتقل بعض العناصر المغذية من الأوراق قبل موتها وسقوطها ؛ ومن أمثلتها : النيتروجين ، والفوسفور ، والبوتاسيوم ، والكبريت ، والكلور . كذلك ينتقل الحديد والمغنيسيوم فى بعض الظروف .

obeikandl.com

وفى حالة الفوسفور . . يكون انتقال العنصر من الأوراق السفلى إلى كل من الجذور والأوراق العليا .

لكن يبدو أن العناصر لا تنتقل أبدًا من الأوراق الحديثة التكوين النشطة فسيولوجيا إلى الأوراق الأكبر سنا . وتظهر أعراض نقص العناصر على الأوراق الكبيرة السن ـ غالباً ـ بسبب قدرة الأوراق الحديثة على سحب احتياجاتها من العناصر من الأوراق الكبيرة عند نفص تلك العناصر فى التربة . ولا تنطبق هذه القاعدة على العناصر غير المتحركة فى النبات (عن Devlin ١٩٧٥) .

الكربون والأيدروجين والأكسجين

تشكل عناصر الكربون والأيدروجين والأكسجين الهيكل الأساسى للمادة العضوية ، ويحصل عليها النبات من ماء الرى ، ومن غاز ثانى أكسيد الكربون من الجو .

الكربون

يعتبر ثانى أكسيد الكربون الجوى هو المصدر الوحيد لكل من الكربون والأكسجين للنباتات حسب معادلة البناء الضوئى المبسطة التى يستخدم فيها نظير الأكسجين($^{18}O_2$) فى غاز CO_2 ، بدلاً من الأكسجين العادى . وهذه المعادلة هى :

$$2\,H_2O + C\,^{18}O_2 \xrightarrow[\text{كلورفيل}]{\text{ضوء}} O_2 + CH_2\,^{18}O + H_2O$$

تبلغ نسبة CO_2 بالجو ٠,٠٣ ـ ٠,٠٤ ٪ . وبرغم هذه النسبة المنخفضة ، فإن كمية CO_2 الموجودة بالغلاف الجوى تقدر بنحو ٦٠٠ بليون طن ، تستعمل منها النباتات نحو ٧٠ بليون طن سنويا . وبرغم الكمية الكبيرة التى تستهلكها النباتات ، فإن نسبة CO_2 الجوى تظل ثابتة لانطلاق الغاز بصورة دائمة ، نتيجة تنفس الكائنات الحية ، نباتية كانت أم حيوانية ، وكذلك نتيجة احتراق المواد العضوية . وتعتبر الكائنات الدقيقة التى تعيش فى التربة هى المنتج الأساسى لغاز CO_2 .

هذا . . وتستفيد النباتات من زيادة نسبة CO_2 صناعيا فى جو الصوبات (البيوت الزجاجية والبلاستيكية) إلى أن يصبح عاملا آخر محددًا للنمو ؛ مثل شدة الإضاءة ، أو درجة الحرارة .

الأيدروجين

يحصل النبات على حاجته من الأيدروجين من ماء الرى . أما الأكسجين الموجود فى الماء ، فإنه ينطلق إلى الجو أثناء عملية البناء الضوئى .

الأكسجين

كما سبق الذكر . . فإن النبات يحصل على حاجته من الكربون والأكسجين من غاز ثانى أكسيد الكربون . وقد أوضحت الدراسات التى استخدم فيها الماء المحتوى على النظير $^{18}O_2$ ـ وهو ليس بنظير مشع ـ أن كل الأكسجين المنتج أثناء عملية البناء الضوئى يأتى من الماء ، وأن الأكسجين الذى يدخل فى بناء المواد العضوية يحصل عليه النبات من غاز CO_2 الجوى .

هذا . . وتحصل الجذور على حاجتها من الأكسجين اللازم للتنفس عن طريق العديسات lenticels التى توجد فيها .

النيتروجين

أهمية النيتروجين للنبات

يدخل النيتروجين فى تركيب البروتين الذى يعتبر المركب الأساسى فى البروتوبلازم ، كما يدخل فى تركيب الإنزيمات ، وكلوروفيل أ ، ب ، وبعض الأحماض فى النواة ، وبعض الهرمونات . ومن أهم المركبات التى يدخل النيتروجين فى تركيبها : البيورين purines، والبريمدين Pyrimidines ، وهما من المركبات الأساسية فى الأحماض النوويةDNA و RNA ، كما يدخل فى تركيب البورفرين Porphyrin الذى يوجد فى الكلوروفيل ، وفى إنزيمات السيتوكروم ، وهما ضروريان للبناء الضوئى والتنفس على التوالى . كما يدخل النيتروجين أيضًا فى تركيب مرافقات الإنزيمات الضرورية لعديد من الإنزيمات .

ويعمل النيتروجين الوفير على تشجيع النمو النشط ، وهى صفة مرغوبة فى الخضر الورقية .

أعراض نقص النيتروجين

تختلف أعراض نقص النيتروجين فى نباتات الفلقة الواحدة عنها فى نباتات الفلقتين ؛ حيث يتميز نقص النيتروجين فى ذوات الفلقة الواحدة باصفرار وسط نصل الورقة ، مع بقاء الحواف خضراء ، أما فى النباتات ذات الفلقتين ، فإن الورقة تصبح متجانسة بلون أخضر مصفر . وتظهر الأعراض فى كليهما على الأوراق السفلى أولا ؛ فتصبح الأوراق خضراء باهتة ، ثم يتحول لونها إلى الأصفر .

ويكون نمو النبات ـ الذى يعانى نقص النيتروجين ـ بطيئًا ومتقزمًا ، كما يكون حجم الأعضاء النباتية الأخرى أقل من الحجم الطبيعى ؛ ويصبح النبات متخشبًا (Lorenz & Maynard ١٩٨٠) .

ولا تظهر أعراض نقص النيتروجين على الأوراق الحديثة إلا بعد فترة من ظهور أعراض نقص العنصر على الأوراق المسنة ؛ لأن النتيروجين على درجة عالية من القدرة على الحركة بالنبات . فالأوراق الصغيرة تحتفظ بالنيتروجين الذى يصل إليها ، بالإضافة إلى أن جزءًا من النيتروجين ينتقل إليها من الأوراق المسنة . وفى حالات النقص الشديد تجف الأوراق السفلى وتسقط ، وتأخذ الأوراق العليا لونًا أصفر شاحبًا .

وقد يصاحب نقص النيتروجين فى بعض النباتات إنتاج النبات لصبغات أخرى غير الكلوروفيل ، ففى الطماطم مثلاً يصاحب نقص النيتروجين ظهور لون بنفسجى فى أعناق الأوراق وبالعروق ؛ نتيجة تكون صبغة الأنثوسيانين . ويظهر هذا اللون أحياناً كذلك على سيقان بعض النباتات عند نقص النيتروجين (Devlin ١٩٧٥) .

ويكون ظهور أعراض نقص النيتروجين مؤكدًا إذا انخفض محتوى الأوراق الكلى من الآزوت عن ١,٥ ٪ على أساس الوزن الجاف .

أعراض زيادة النيتروجين

عند زيادة النتيروجين عن الحد المناسب ، يصبح لون الأوراق أخضر داكنًا ، ويزداد محتواها من الكلوروفيل ، وتتبع ذلك زيادة فى معدل البناء الضوئى ، لكن نتيجة لتوفر الأزوت ، فإن الغذاء المجهز يستعمل فى بناء أنسجة جديدة ، ومن ثم يكون النمو سريعًا فى الجذور والسيقان والأوراق ، ويقل تخزين الغذاء وتكوين الألياف التى تدعم النبات ، كذلك يقل الإزهار والإثمار ؛ ومن ثم تكون السيقان رهيفة ، وجدرها رقيقة ، والمحصول قليلا ، سواء أكان ذلك محصول ثمار أم محصول بذور أم فى صورة أعضاء التخزين الخضرية .

ويصاحب زيادة النتيروجين تأخير النضج ، نتيجة تشجيعه للنمو الزائد ، ونقص صفات الجودة . كما قد تشجع زيادة النتيروجين عن الحد المناسب على زيادة الإصابة بالأمراض (Bukman & Brady ١٩٦٠) .

وفى حالة زيادة الأسمدة النشادرية ـ وهى الأسمدة التى يوجد فيها النيتروجين فى صورة أمونيا (NH_4^+) ـ فإنه قد تظهر أعراض التسمم النباتى بالأمونيا . وتختلف الأنواع النباتية فى درجة تحملها لزيادة تركيز أيون الأمونيوم . وفى معظم النباتات يؤدى التعرض للتركيزات العالية من الأمونيوم إلى حدوث اصفرار بالأوراق ، وتَوَقُّف بالنمو ، وظهور بقع متحللة فى الأوراق ، كما لم تنبت بذور الخيار فى التركيزات العالية من الأمونيوم . ومن النباتات الحساسة الأخرى : الفاصوليا ، والذرة السكرية ، والبسلة .

هذا . . وتوجد الأمونيا الحرة طبيعيا فى الخلايا النباتية تحت الظروف العادية ، ولكن مع زيادة كمية السماد الأمونيومى يتأثر أيض النبات ؛ حيث يستنفذ النبات مخزون المواد الكبروهيدراتية ليحول أيونات الأمونيا الحرة إلى صور غير سامة على حساب التحولات الأخرى (Mills & Jones ١٩٧٩) .

الصور التى يُمتص عليها النيتروجين

تمتص النباتات النيتروجين فى صورتيه : النتراتية والأمونيومية ، ويتوقف ذلك على درجة حموضة التربة ؛ ففى الأراضى الحامضية يكون الامتصاص فى الصورة النتراتية أساسا . وفى الأراضى المتعادلة والقلوية يكون الامتصاص فى الصورة الأمونيومية أساسا . ويتساوى الامتصاص بين الصورتين فى pH أقل قليلا من ٧ .

وبرغم أن معظم النباتات تمتص النيتروجين فى صورة نترات ، إلا أن النيتروجين الممتص على هذه الصورة لا يستعمل مباشرة ، بل لابد من اختزاله داخل النباتات إلى أمونيا قبل أن يدخل فى تركيب أى مركب عضوى . ويتطلب ذلك طاقة يتحصل عليها النبات من التنفس . ومن المعتقد أن التحول يتم على النحو التالى :

$$\underset{\text{nitrate}}{NO_3} \longrightarrow \underset{\text{nitrite}}{NO_2} \longrightarrow \underset{\text{hyponitrite}}{HNO} \longrightarrow \underset{\text{hydroxylamine}}{NH_2OH} \longrightarrow \underset{\text{ammonia}}{NH_4}$$

وعليه . . فإن استفادة النبات من الأمونيوم الممتص تكون أسرع من استفادته من النترات لضرورة تحول النترات إلى أمونيا قبل أن تدخل فى بناء المواد البروتينية .

هذا . . وتؤدى زيادة التسميد النتراتى إلى تراكم النترات بالنبات ، بينما تؤدى زيادة التسميد الأمونيومى إلى ظهور أعراض التسمم بهذا الكاتيون بعد زُيادته عن الحد المناسب .

كما يمكن لعدد كبير من النباتات استخدام النيتروجين العضوى كمصدر للنيتروجين . وأهم المركبات العضوية النيتروجينية التى يمتصها النبات هى : الأحماض الأمينية ، والأميدات ، واليوريا .

ويوجد معظم النيتروجين فى التربة مثبتًا فى صورة بروتين . ويؤدى تحلل البروتين إلى انطلاق الأحماض الأمينية . وهذه قد تؤكسد وتعطى نيتروجينًا فى صورة أمونيوم ، ثم تتأكسد هى الأخرى إلى نترات قبل أن يمتصها النبات ، أو قد تقوم النباتات بامتصاص الأحماض الأمينية مباشرة ، وتتعرض فى ذلك لمنافسة شديدة من جانب الكائنات الدقيقة التى تعيش فى التربة .

كما أن مد النبات باليوريا $NH_2 - \overset{O}{\overset{\|}{C}} - NH_2$ عن طريق رش الأوراق يعتبر طريقة فعالة لمعالجة نقص النيتروجين . وعند دخول اليوريا إلى النبات فإنها تتحلل مائيا بفعل الإنزيم يوريز إلى أمونيا وثانى أكسيد الكربون كما يلى :

$$NH_2 - \overset{O}{\overset{\|}{C}} - NH_2 \xrightarrow{\text{urease}} 2NH_3 + CO_2$$

ويعتقد البعض أن هذا التفاعل مشكوك فيه ، وأن النبات يستعمل اليوريا مباشرة (Devlin ١٩٧٥) .

تيسر النيتروجين من المادة العضوية

تحلل المادة العضوية فى التربة

لكى تستفيد النباتات من النيتروجين الموجود فى المادة العضوية ، فإنه يجب أن يتحول أولا إلى إحدى صورتيه النتراتية أو الأمونيومية ، ويتم ذلك بفعل مجموعتين من الكائنات الدقيقة .

تتضمن المجموعة الأولى بعض الفطريات والبكتيريا ، وتسمى ammonifiers ؛ لأنها تحدث ammonification للمادة العضوية ؛ حيث يتحول النيتروجين العضوى إلى أحماض أمينية ، ثم إلى أمونيا NH_4^+ وينطلق الأكسجين . وتتضمن المجموعة الثانية بعض أنواع البكتيريا فقط ، وتسمى nitrifiers ، وتقوم بعملية النترتة nitrification ؛ حيث تتحول الأمونيا إلى نيتريت NO_2^- ، وينطلق الأكسجين ، ثم إلى NO_3^- ، وتتم هذ العمليات كما يلى :

$$\underset{\text{أمونيا}}{NH_4^+} \xrightarrow[\text{نيتروزوموناس}]{\textit{Nitrasomonas}} \underset{\text{نيتريت}}{NO_2^-} \xrightarrow[\text{نيتروباكتر}]{\textit{Nitrobacter}} \underset{\text{نترات}}{NO_3^-}$$

وتحصل البكتيريا على الطاقة اللازمة لها من أكسدة الأمونيا أو النيتريت ، ولا تعتمد على كائنات أخرى لإمدادها بالطاقة ؛ أى إنها تعد من الكائنات الـ autotrophic .

وتوجد أعداد هائلة من هذه البكتيريا فى التربة ؛ حيث يقدر العلماء عددها بنحو ٤٦ بليون خلية بكتيرية فى كل جرام من المادة العضوية أثناء تحللها . أما تحت الظروف العادية ، فإن التربة الخصبة تحتوى على حوالى ٢/١ ـ ١ طن من هذه البكتيريا/ فدان ، أو حوالى ٢٢٠ ـ ٢٥٠ بليون خلية بكتيرية لكل كليو جرام من التربة . ويقدر العلماء أن كمية النيتروجين الميسر (النتراتى والأمونيومى) التى توفرها هذه البكتيريا تبلغ ٢٢,٥ ـ ١٣٥ كجم/ فدان سنويا (Edmond وآخرون ١٩٧٥) .

مثبطات النترتة

يمكن إبطاء عملية النترتة nitrification بخلط السماد الأمونيومى بمركبات مثبطة للنترتة nitrification inhibitors . ويعد النترابيرن nitrapyrin من أكثرها فاعلية ، وتركيبه 2-chloro-6-(Trichloromethyl) pyridne ، ويستخدم هذا المركب بتركيز ١٠ أجزاء فى المليون ، ويزداد التركيز الفعال مع زيادة قلوية التربة ، أو نسبة المادة العضوية فيها . ويتحلل النترابيرن فى التربة معطيا 6-chloropicolinic acid وكلاهما قليل السمية للثدييات ، ولكن ناتج التحلل أقل عدة مرات فى سميته من النترابيرن نفسه .

ويعتبر النترابيرن شديد الفاعلية ضد البكتيريا Nitrosomonas التى تعمل على أكسدة الأمونيا إلى نيتريت ؛ حيث يثبط نشاطها بشدة عند استخدامه بتركيز ١ ـ ٢ ٪ من النيتروجين المضاف ، بينما لا يؤثر النترابيرن على البكتيريا Nitrobacter والبكتيريا الأخرى والفطريات ، حتى لو وصل تركيزه إلى ١٠ ٪ من السماد المضاف .

وتختلف الأنواع النباتية فى حساسيتها للنترابيرن . وتعتبر البقوليات أكثرها حساسية . ولم تتأثر الفاصوليا والذرة السكرية ، والخيار ، والبسلة ، والقرع العسلى بالنترابيرن عندما أضيف إلى التربة بالتركيز الموصى به (Mills & Jones ١٩٧٩) . هذا . . ويوضح Maynard & Lorenz (١٩٧٩) بعض جوانب عملية تثبيط النترتة بشئ من التفصيل .

تثبيت آزوت الهواء الجوى فى التربة بواسطة الكائنات التى تعيش معيشة حرة

يشكل النيتروجين نحو ٧٩ ٪ من الغازات التى توجد بالغلاف الجوى . ويقدر العلماء كميته فى الجو بحوالى ٣٦٣٤٨ طنا / فدان من سطح الكرة الأرضية . ولكى يمكن للنبات استعماله ، فإنه يجب أن يتحول أولا إلى الصورة العضوية ، وهى عملية تتم باستمرار فى التربة تحت كل من الظروف الهوائية واللاهوائية ، ولكن تقوم بها مجموعتان مختلفتان من الكائنات الحية .

ففى الظروف الهوائية (التهوية الجيدة والصرف الجيد) يتم تثبيت أزوت الهواء الجوى فى التربة بواسطة بكتيريا تستخدم الطاقة اللازمة لنشاطها من المواد العضوية التى توجد بالتربة ، وهى : Azotobacter chroococcum و A. agile ، وغيرهما من نفس جنس البكتيريا ، وتثبت هذه البكتيريا نحو ١٨ ـ ٢٠ كجم من النيتروجين بكل فدان سنويا .

كما يثبت أزوت الهواء الجوى أيضا بواسطة كل من : الطحالب الخضراء المزرقة blue-green algae ، ومجموعة الفطريات الجذرية التى تسمى mycorrhiza .

وتكثر الطحالب الخضراء المزرقة فى الأماكن الدافئة الرطبة على سطح التربة ، أو على سطح البرك والبحيرات ، وبصفة خاصة فى حقول الأرز. وتقوم هذه الطحالب بتجهيز السكريات بنفسها ، كما تستخدم أزوت الهواء الجوى مباشرة فى بناء بروتوبلازم خلاياها .

أما فطريات الميكوريزا ، فإنها تعيش معيشة وثيقة مع جذور بعض النباتات ؛ كالتفاح ، والكمثرى ، والخوخ ، والبرقوق ، والبكان ، والموالح ، والكاكاو ، والبصل ، والفراولة ، والأزاليا ؛ حيث تحصل من جذور هذه النباتات على الطاقة والغذاء اللازمين لها . وهى لا تثبت أزوت الهواء الجوى مباشرة ، ولكنها تساعد بطريقة غير معروفة على زيادة محتوى التربة من النتيروجين . وتقوم الميكوريزا أيضا بجعل الفوسفور والكالسيوم والمغنسيوم أكثر وفرة وتيسرًا لاستعمال النبات . وتعتبر

المادة العضوية الناتجة بعد موت وتحلل هذه الفطريات بمثابة مادة مخلبية تعمل على توفير المنجنيز والحديد والنحاس للنباتات .

أما فى الظروف اللاهوائية ، فإن أزوت الهواء الجوى يثبت فى التربة بواسطة نوع آخر من البكتيريا هو : Clostridium pastorianum .

ومن أنواع البكتيريا ـ التى تعيش معيشة حرة فى التربة ـ وتقوم بتثبيت آزوت الهواء الجوى ما يلى (عن White ١٩٨٧) :

المجموعة البكتيرية	الأنواع
هوائية Aerobes	Azotobacter , Bejerinckia spp .
هوائية قليلا Microaerobic	Azospirillum brasilense
	Thiobacillus ferrooxidans
لا هوائية اختيارية Facultative anaerobes	Klebsiella spp . , Bacillus spp .
لا هوائية إجبارية Obligate anaerobes	Clostridium pasteuranium
	Rhodospirillum spp .
	Chlorobium spp .
	Desulphovibrio spp .

ومن الطحالب الخضراء المزرقة التى تقوم بتثبيت آزوت الهواء الجوى ـ وجميعها هوائية وتقوم بعملية البناء الضوئى ـ كل من : Nostoc ، و Anabena spp. ، و Gloecapsa spp. .

العوامل المؤثرة فى نشاط الكائنات الدقيقة ذات العلاقة بتحولات النيتروجين فى التربة

يتأثر نشاط الكائنات الدقيقة التى تقوم بعمليات تحول النيتروجين فى التربة بعديد من العوامل ، سواء أكان ذلك بالنسبة للكائنات التى تقوم بتثبيت أزوت الهواء الجوى ، أم تلك التى تقوم بعملية النشدرة ammonification ، أو بعملية النترتة nitrification . ومن هذه العوامل ما يلى :

١ ـ درجة حرارة التربة :

يقل نشاط هذه الكائنات بشدة فى درجات الحرارة الشديدة الانخفاض والشديدة الارتفاع . ويتراوح المجال الحرارى المناسب لها بين ١٥° م و ٣٠° م .

٢ ـ نسبة الرطوبة فى التربة :

يزداد نشاط هذه الكائنات عند توفر الرطوبة ؛ لأن الماء يساعد على تحلل المادة العضوية ، كما أنه الوسط الذى تذوب فيه العناصر اللازمة لهذه الكائنات الدقيقة أثناء تكاثرها .

٣ ـ الأكسجين :

يلزم الأكسجين لنشاط هذه الكائنات ؛ ولذا كان الصرف الجيد أمرًا ضروريا . وعند رداءة الصرف تنشط بكتيريا Pseudomonas denitrificans التى تعيش فى غياب الأكسجين الحر ، وتقوم بتحليل النيتروجين النتراتى إلى نيتروجين حر غازى ؛ مما يؤدى إلى فقر التربة فى النتيروجين تدريجيا .

٤ ـ pH التربة :

أفضل مجال pH لنمو هذه الكائنات يتراوح بين ٦ و ٧ ، ويكون نشاطها قليلا أو معدوما فى الأراضى الشديدة الحموضة والشديدة القلوية .

٥ ـ العناصر :

أكثر العناصر تأثيرًا على نشاط البكتيريا هى : الموليبدنم ، والحديد ، والكالسيوم ، وتحتاج إليها بكتيريا تثبيت أزوت الهواء الجوى لزيادة نشاطها .

تأثير pH التربة على تيسر النيتروجين فيها

يكثر النيتروجين فى الطبقات العليا ، ويقل كلما تعمقنا فى التربة ؛ ذلك لأن المادة العضوية تكثر فى الطبقات العليا من التربة . ويتوفر النيتروجين فى pH ٦ ـ ٨ ، ويقل نسبيا فى pH ٥ ـ ٦ ، و ٨ ـ ٩ ، ويصبح النقص شديدًا فى pH أقل من ٥ ، أو أعلى من ٩ ، ويكثر ظهور أعراض نقص النيتروجين فى الأراضى الفقيرة فى محتواها من المادة العضوية .

فقد النيتروجين من التربة

يعتبر النيتروجين من أكثر العناصر الغذائية عرضة للفقد بالرشح من التربة ، وخاصة فى المناطق التى تكثر فيها الأمطار . ويفقد النيتروجين فى صورة نترات بسرعة كبيرة لذوبانها فى الماء وفقدها فى ماء الصرف . أما النيتروجين الأمونيومى ، فيدمص على سطح حبيبات الطين ، ويقاوم الفقد بالرشح ، ولكن مع مرور الوقت يتحول النيتروجين فى التربة من الصورة الأمونيومية إلى الصورة النتراتية بفعل الكائنات الحية الدقيقة ؛ ومن ثم يتعرض للفقد بالرشح ، وتزداد سرعة هذا التحول مع ارتفاع درجة الحرارة ، وتوفر الرطوبة الأرضية ، والتهوية المناسبة .

ومن المعتقد أن النباتات تستفيد من نحو ٥٠ ٪ من السماد الأزوتى المضاف تحت معظم الظروف ، وأن معظم الفقد يحدث بعد تحول الأزوت فى التربة من الصورة الأمونيومية إلى الصورة النتراتية .

وفى الظروف اللاهوائية تنشط بعض أنواع من البكتيريا مثل : Pseudomonas denitrificans ؛ حيث تقوم بتحويل النترات NO_3^- إلى أكسيد نيتريت nitrous oxide وغاز نيتروجين ؛ وبذا يُفْقَدُ النيتروجين من التربة ، فيما يعرف بعملية نزع النيتروجين denitrification .

ماء المطر كمصدر للنيتروجين

يعتبر المطر أحد مصادر النيتروجين فى التربة ؛ حيث يؤدى البرق وما به من شحنات كهربائية إلى تكوين أكسيد النتروز nitrous oxide الذى يسقط مع ماء المطر إلى التربة . ويصل إلى التربة بهذه الطريقة نحو ٢ كجم نيتروجين أمونيومى ، ونحو ٣/٤ كجم نيتروجينًا نتراتيا/ فدان سنويا . فإذا أخذنا الفقد بالرشح فى الحسبان ، يكون المتوسط نحو ٢ ١/٤ كجم نيتروجين/ فدان سنويا . ويزيد المتوسط عن ذلك قليلا فى المناطق الاستوائية ، ويقل قليلا فى المناطق شبه الجافة (Buckman & Brady ١٩٦٠) .

تثبيت أزوت الهواء الجوى فى جذور البقوليات بواسطة بكتيريا العقد الجذرية

أنواع بكتيريا الرايزوبيم وتخصصها على مختلف البقوليات

تعيش بكتيريا تثبيت أزوت الهواء الجوى فى العقد الجذرية للبقوليات ، وهى تتبع الجنس ريزوبيم Rhizobium الذى يوجد منه نحو ١٨ نوعًا تتخصص على البقوليات المختلفة . وقد يتعايش أكثر من نوع من هذه البكتيريا مع محصول بقولى واحد ، ونجد فى هذه الحالة اختلافًا فيما بينهم فى درجة كفاءة تثبيت أزوت الهواء الجوى .

وتقسم أنواع بكتيريا الجنس Rhizobium إلى عدة مجموعات تعرف باسم cross inoculation groups ، لا يمكن لأية مجموعة منها أن تصيب نباتات من غير مجموعتها ؛ وهى كما يلى :

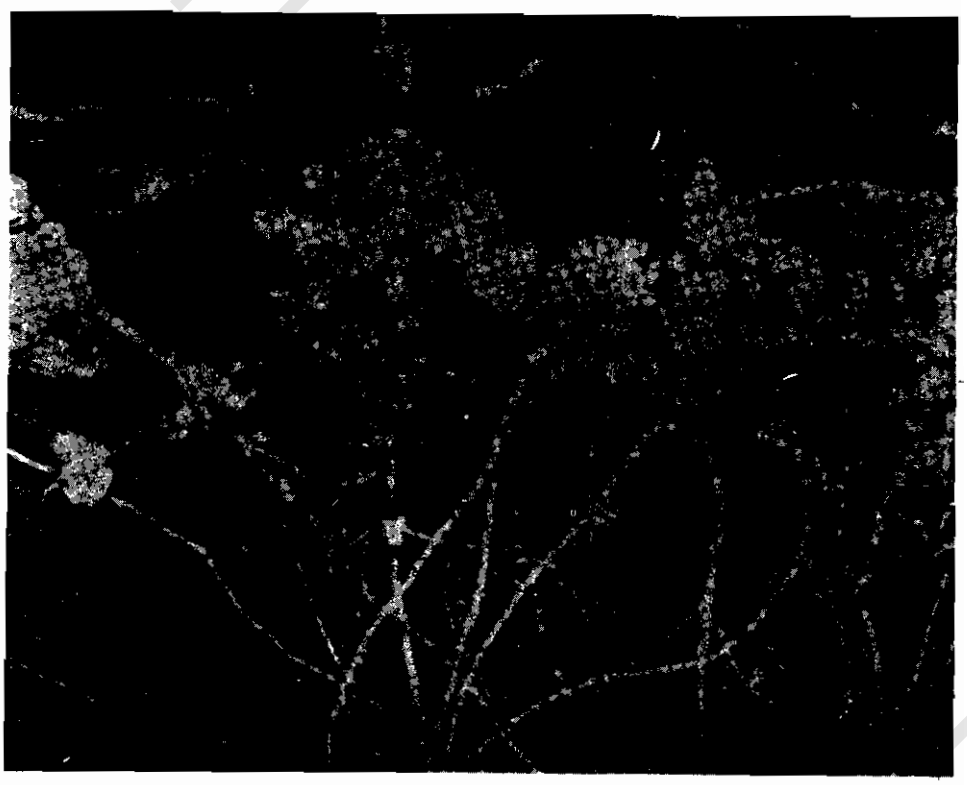
المجموعة	المحاصيل التى تصيبها
البرسيم الحجازى	البرسيم الحجازى ، والبرسيم الحلو الأصفر والأبيض
البرسيم	البرسيم الأحمر والأبيض والقرمزى
البسلة	البسلة ، وبسلة الزهور ، والفول الرومى
الفاصوليا	الفاصوليا
الترمس	الترمس
فول الصويا	فول الصويا
اللوبيا	اللوبيا ، وفاصوليا الليما ، والفول السودانى .

وفيما يلى أنواع البكتيريا المتخصصة على محاصيل الخضر البقولية (عن Tisdale & Nelson ١٩٧٥) :

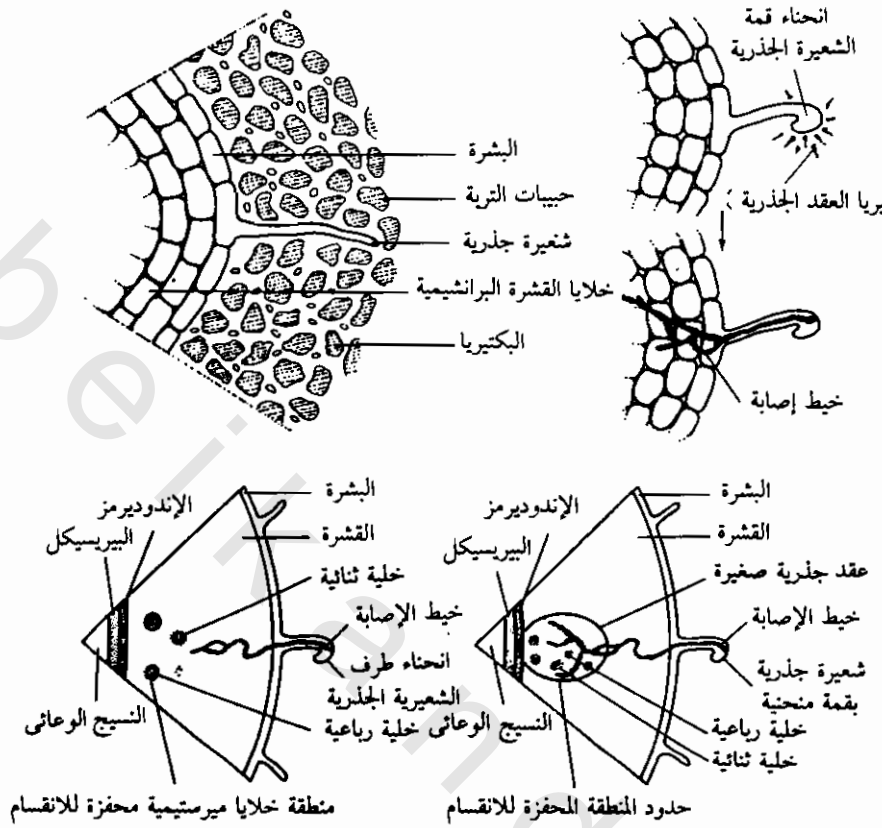
البكتيريا	البقوليات التى تتخصص عليها
Rhizobium leguminosarum	البسلة
R . phaseoli	الفاصوليا العادية
R . japonicum	فول الصويا
نوع لم يحدد اسمه	اللوبيا وفاصوليا الليما

العقد الجذرية

يختلف عدد العقد بالنبات الواحد من عدد قليل إلى ألف عقدة أو أكثر ، كما تختلف فى توزيعها على المجموع الجذرى وفى حجمها حسب النوع النباتى (شكل ٩ ـ ١) . وتستطيع بكتيريا العقد الجذرية أن تعيش فى التربة فى غياب العائل مدة ١٠ ـ ٢٠ سنة ، ولكن زراعة العائل من آن لآخر تعمل على زيادة نشاطها . وتتراكم هذه البكتيريا قريباً من جذور النباتات البقولية ، وغالبًا ما يرجع ذلك إلى إفرازات خاصة من الجذور . هذا . . ويزداد تكون العقد تحت الظروف المناسبة للنمو الجيد للعائل . ويوضح شكل (٩ ـ ٢) طريقة اختراق البكتيريا للشعيرات الجذرية بالبقوليات . ويلاحظ بالشكل أن الشعيرة الجذرية التى تخترقها البكتيريا تنحنى عند القمة ، ويعقب ذلك تكون خيط إصابة infection thread ، ثم تظهر العقدة فى النهاية .



شكل (٩ ـ ١) : العقد الجذرية المحتوية على بكتيريا تثبيت آزوت الهواء الجوى من جنس Rhizobium بجذور نبات فول الصويا (عن Galston ١٩٦٤) .



شكل (٩ ـ ٢) :طريقة اختراق بكتيريا الجنس Rhizobium للشعيرات الجذرية بالبقوليات ، ثم تكوين العقد الجذرية root nodules (عن Devlin ١٩٧٥) .

طريقة تكوين العقد الجذرية

عندما تلامس بكتيريا العقد الجذرية جذر نبات بقولى ، فإن بعض البكتيريا تخترق الشعيرات الجذرية مكونة خيط إصابة infection thread يتجه نحو قاعدة الشعيرة الجذرية ، حتى يصل إلى الإندوديرمز والبيريسيكل ؛ حيث تبدأ خلايا هذه المنطقة فى الانقسام النشط كرد فعل من جانب النبات ؛ فيتكون نمو متدرن tuberous gorwth ، أو ما يسمى بالعقدة nodule . وعليه . . فإن العقدة ما هى إلا كتلة من أنسجة الجذر تعيش فيها البكتيريا .

ومن المعروف أن هذه البكتيريا قادرة على إنتاج منظم النمو إندول حامض الخليك (IAA) . وربما يكون ذلك هو المحفز على انقسام خلايا الجذر لتكوين العقدة ، لكن من المعروف أنه يوجد عديد من البكتيريا الأخرى القادرة على إنتاج نفس منظم النمو ، ولكنها لا تحدث عقداً جذرية شبيهة بتلك التى تحدثها هذه البكتيريا .

وتبدأ أولى خطوات تكوين العقدة الجذرية سريعا بعد إنبات البذور ، ومع استمرار النمو السريع للجذور ؛ حيث تكون الظروف بالمنطقة المحيطة بالجذور (rhizosphere) مناسبة لنمو هذه البكتيريا ؛ فتخترق الشعيرات الجذرية وتتكاثر بسرعة نتيجة لتوفر الغذاء . ويتكون من هذه البكتيريا خيط العدوى الذى يحاط بإفرازات من السيليليوز ، والهيميسيليوز ، والبكتيريا يفرزها العائل . ولا تخرج البكتيريا من هذا الغشاء المحيط بها إلا بعد وصولها إلى الخلايا الداخلية بالقشرة ؛ حيث تبدأ الخلايا فى الانقسام ، والعقدة فى الظهور (شكل ٩ ـ ٢) . وتتصل العقد بالحزم الوعائية للجذور ، وينتقل إليها الغذاء . وقد تحتوى العقدة الواحدة على ملايين البكتيريا (شكل ٩ ـ ٣) .

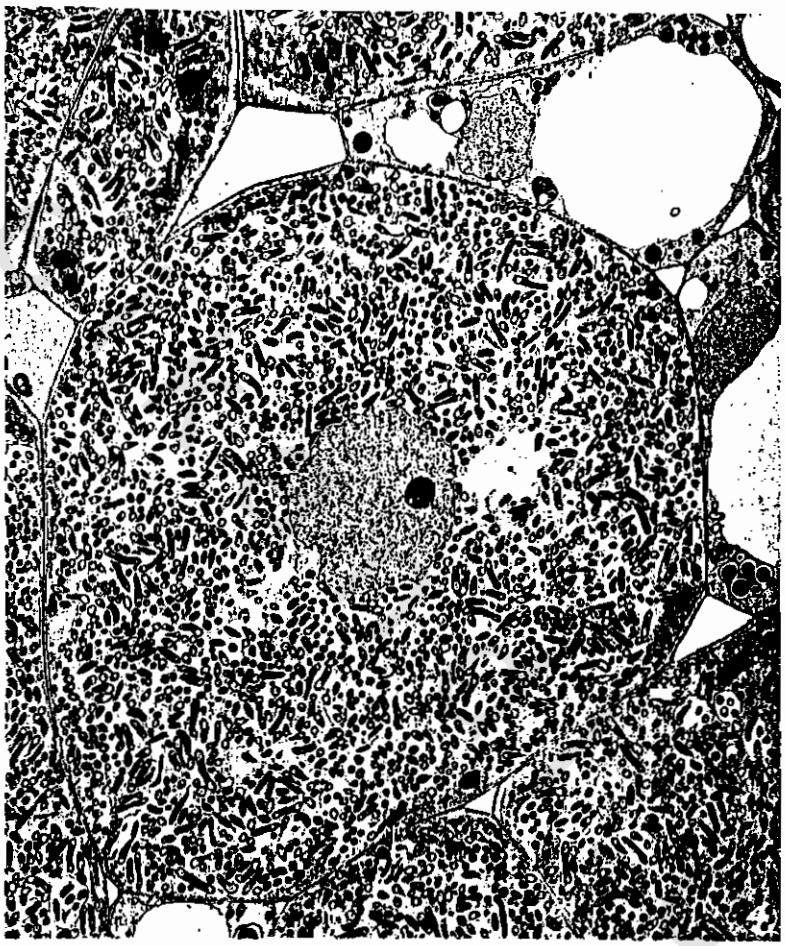
هذا . . وتحتوى خلايا العقد على ضعف العدد الطبيعى من الكروموسومات . وهذا التضاعف لا يحدث كرد فعل لدخول البكتيريا ، ولكن البكتيريا ذاتها لا تكون قادرة على إحداث الانقسام النشط وتكوين العقد إلا إذا وصل خيط العدوى إلى خلية متضاعفة من خلايا الجذر .

طريقة تثبيت النيتروجين فى العقد الجذرية

يمكن عند فحص خلايا العقدة الجذرية ملاحظة وجود صبغة حمراء شبيهة إلى حد كبير بالهيموجلوبين الذى يوجد فى خلايا الدم الحمراء ؛ ولهذا سميت باسم « لجهيموجلوبين leghemoglobin » ، ويبدو أنها ناتج من نواتج تفاعل الجذر البقولى مع البكتيريا ؛ لأن أيا منهما بمفرده لا يكون قادرا على إنتاج هذه الصبغة .

وتدل نتائج عديد من الدراسات أن لهذه الصبغة علاقة أكيدة بتثبيت أزوت الهواء الجوى ؛ لأن التثبيت لا يحدث إلا فى العقد المحتوية على هذه الصبغة ، كما أن المقدرة على تثبيت أزوت الهواء الجوى تتناسب طرديا مع تركيز الصبغة . ولا يعرف

على وجه التحديد كيف تساعد الصبغة فى عملية تثبيت أزوت الهواء الجوى ، لكن ربما يكون ذلك من خلال توفيرها للأكسجين اللازم لهذه العملية ؛ نظرًا لأنها ذات مقدرة عالية على اجتذاب الأكسجين ؛ مما يؤدى إلى وصوله إلى البكتيريا فى الجذور ، حتى لو كان تركيزه منخفضاً فى التربة .



شكل (٩ ـ ٣) : بكتيريا الرايزوبيم داخل خلايا العقدة الجذرية .

ويستدل من الدراسات التى أجريت فى هذا الشأن على أن تثبيت أزوت الهواء الجوى فى النباتات البقولية يتم بواسطة جذور النباتات نفسها ، ولكن لأسباب ما زالت مجهولة لا تستطيع النباتات القيام بهذه المهمة فى غياب بكتيريا العقد الجذرية التى تتبع

الجنس Rhizobium . والتوازن دقيق بين بكتيريا العقد الجذرية والعائل البقولى ، فلو انخفض مقدار المواد الكربوهيدراتية التى تصل إلى هذه البكتيريا لتحولت إلى بكتيريا مرضية Pathogenic تستهلك نيتروجيناً من النبات ، بدلا من تثبيته من الجو .

هذا . . وتكون الأمونيا هى أول منتج لعملية تثبيت آزوت الهواء الجوى ، وهى التى قد يستفيد منها النبات مباشرة .

كيفية استفادة النبات البقولى من النيتروجين المثبت فى جذوره

تبدأ العقد فى مد النبات بالنيتروجين ابتداء من اليوم الخامس عشر ، برغم أنه يمكن رؤيتها ابتداء من اليوم التاسع للإصابة بالبكتيريا . وربما لا تتجاوز الفترة النشطة من حياة العقدة أكثر من أربعة أسابيع ، ولكن تكوين العقد ربما يستمر حتى المراحل المتأخرة من نضج البذور .

ويستفيد النبات من جزء من النيتروجين المثبت مباشرة عندما يكون التثبيت بسرعة أكبر من حاجة البكتيريا بالعقد ، أو قد يتسرب النيتروجين الزائد إلى التربة ، ثم يمتصه النبات . وفى هذه الحالة فإن النيتروجين المتسرب يكون فى صورة بيتا آلانين B-alanine أو حامض أسباريتك aspartic acid . وقد يحصل النبات على النيتروجين بعد موت الخلايا البكتيرية فى الجذور ، أو أن البكتيريا تفرز مواد أزوتية ذائبة فى سيتوبلازم خلايا الجذر . وطبيعى أن حرث النبات نفسه فى التربة وتحلل العقد والنبات بما فيه من أزوت يعمل على توفير هذا العنصر للمحاصيل التالية فى الزراعة (Millar وآخرون ١٩٦٥ ، و Devlin ١٩٧٥ ، و Cobley وآخرون ١٩٧٦ ، Smartt ١٩٧٦) .

العوامل المؤثرة علي عملية تثبيت أزوت الهواء الجوي فى جذور البقوليات

١ ـ يتأثر تثبيت أزوت الهواء الجوى فى العقد الجذرية بكل من : الحديد ، والكوبالت ، والموليبدنم ، والكالسيوم ، والبورون ، والفوسفور . فالحديد يدخل فى تركيب صبغة اللجهيموجلوبين . والكوبالت جزء أساسى من فيتامين B_{12} ، وهو مركب ربما يكون له دور فى تكوين الصبغة . والموليبدنم عبارة عن مرافق إنزيمى يعمل

كمستقبل ومعط للإليكترونات أثناء اختزال النيتروجين إلى أمونيا . أما الكالسيوم ، فيؤدى نقصه إلى نقص تثبيت أزوت الهواء الجوى ، وربما يرجع ذلك إلى التأثير السلبى لنقص الكالسيوم على اختزال النيتروجين فى العقدة .

ويتبين من دراسات Bolaños وآخرين (١٩٩٤) أن غياب البورون فى البسلة أدى إلى نقص عدد العقد الجذرية ، وحجمها ، ووزنها ، وتثبيط نشاط إنزيم nitrogenase . وبفحص العقد الجذرية فى هذه النباتات وجدت بها تغيرات كبيرة فى تركيب الجدر الخلوية وفى أغشية خيوط الإصابة infection thread nembranes .

كما توصل Adu-Gyamfi وآخرون (١٩٨٩) من دراساتهم على بسلة بيجون (Cajanus cajan) إلى أن زيادة التسميد الفوسفاتى أحدثت زيادة جوهرية فى تثبيت آزوت الهواء الجوى ، وأن هذه العملية تأثرت ـ بشدة ـ بقدرة النبات على امتصاص الفوسفور . كما احتوت العقد الجذرية على تركيزات عالية من الفوسفور ـ حتى تحت ظروف نقص العنصر ـ مما يعنى قدرة العقد الجذرية على الاحتفاظ بالفوسفور بدرجة أكبر عن قدرة بقية الأعضاء والأنسجة النباتية . هذا . . إلا أن العقد الجذرية لعبت دورًا ـ كذلك ـ فى نقل جزء من الفوسفور الممتص إلى الأوراق .

ويستدل من دراسات Mahmoud & Abd-Allah (١٩٩٤) على أن تواجد التوكسينات الفطرية Mycotoxins فى التربة بتركيز ١٠٠ ـ ٢٠٠ ميكروجرام/كجم من التربة قلل عدد العقد الجذرية ووزنها الطازج ونشاط إنزيم النيتروجينيز Nitrogenase فى جذور الفول الملقحة بالبكتيريا Rhizobium leguminosarum ، كما ثبطت الميكوتوكسينات تمثيل صبغة اللجهيموجلوبين leghaemoglobin ، والمواد الكربوهيدراتية ، والبروتين فى العقد الجذرية .

٢ ـ ويستدل من عديد من الدراسات على أن الإفراط فى التسميد الآزوتى للبقوليات يقلل من نشاط الرايزوبيم فى تثبيت آزوت الهواء الجوى . ولكن إضافة النيتروجين بكميات معتدلة فى بداية حياة النبات تكون ضرورية لتشجيع نمو البادرات . كذلك تحتاج النباتات إلى كميات أخرى معتدلة من العنصر فى مراحل النمو التالية ؛ ذلك لأن عملية تثبيت آزوت الهواء الجوى لا تكون ـ أبدًا ـ بالقدر الذى يكفى لإعطاء

أفضل نمو وأعلى محصول . فأقصى ما يمكن أن تقوم البكتيريا بتثبيته ـ تحت أفضل الظروف لذلك ـ لا يزيد على ٥٠ ـ ٧٥ ٪ من حاجة النبات الفعلية .

٣ ـ ويمكن أن تنخفض أعداد البكتيريا كثيراً إذا تُركت البذور الملقحة فترة كبيرة فى تربة جافة دون ريّ ؛ فالتربة يجب أن تروى مباشرة عقب الزراعة ، أو أن تكون رطبة أصلا عند زراعة البذور فيها . كما أن نقص الرطوبة الأرضية أثناء نمو النباتات يقلل من عملية تثبيت الآزوت .

٤ ـ ويقل تثبيت الآزوت عند انخفاض pH التربة ؛ بسبب نقص تيسر عنصر الموليبدنم الضرورى لهذه العملية (عن Stoskopf ١٩٨١) .

كمية النيتروجين التى تثبت فى العقد الجذرية

قُدرت كمية النيتروجين التى تثبت بواسطة بكتيريا العقد الجذرية ، ونسبة ما يستفيد منه المحصول المزروع من النيتروجين المثبت كما يلى (عن White ١٩٨٧ ، وHerridge وآخرين ١٩٩٤) .

المحصول	كمية النيتروجين المثبت (كجم/فدان)	نسبة النيتروجين التى يستفيد منها المحصول (٪)
الحمص	١,٢٥ ـ ٥٨,٧٥	٨ ـ ٨٢
العدس	٤,٢٠ ـ ٨٠,٠٠	٣٩ ـ ٨٧
البسلة	٧,١٠ ـ ١٠١,٧٠	٢٣ ـ ٨٣
الفول	٣٢,٥٠ ـ ١٣٧,٥٠	٥٩ ـ ٩٢
فول الصويا	٣٧,٥٠ ـ ٨٣,٣٠	ـ
الفاصوليا	٢٦,٧	ـ
بسلة بيجون	٤٠,٤٠ ـ ٦٣,٣	ـ

وتعد هذه التقديرات ـ بالرغم من تباينها الشديد ـ مجرد مؤشرات ؛ لأن عملية تثبت الآزوت بواسطة بكتيريا العقد الجذرية تتأثر بعديد من العوامل .

وليس لحجم العقدة الواحدة أهمية كبيرة فى مقدار النيتروجين المثبت ، وإنما العامل المؤثر هو الحجم أو الوزن الكلى لجميع العقد الجذرية بالنبات . ويعد وجود ٢٠ عقدة جذرية فى نبات فول الصويا بعد شهر من الزراعة دليلا على أن عملية التعقد الجذرى تتم بصورة جيدة .

معاملة بذور البقوليات ببكتيريا العقد الجذرية

يجرى التلقيح ببكتيريا العقد الجذرية فى الحقول التى لم تسبق زراعتها بالمحصول البقولى ، وتلك التى لم تزرع بنفس المحصول لمدة أربع سنوات خلت .

يتم التلقيح ببكتيريا العقد الجذرية من النوع المناسب للمحصول قبل الزراعة مباشرة ، ويجرى ذلك بأحد التحضيرات التجارية من البكتيريا المناسبة للنوع المحصولى كما يلى :

١ ـ تحضيرات بكتيرية فى البيت موس :

يضاف التحضير ـ عادة ـ مباشرة إلى البذور الجافة ويخلط معها ، ولكن يبلل البيت موس بقليل من الماء قبل خلطه بالبكتيريا . تزرع البذور المعاملة مباشرة ، ولا تعرض لأشعة الشمس المباشرة .

٢ ـ التحضيرات البكتيرية السائلة :

تضاف هذه التحضيرات ـ عادة ـ إلى التربة قريباً من البذور .

٣ ـ تحضيرات محببة (سبرغلة) :

تتميز هذه التحضيرات بأنها يمكن أن تُزيد كثيراً من أعداد البكتيريا حول البذور ؛ الأمر الذى يكون له أهمية فى الحقول التى لم تسبق زراعتها بالمحصول . تضاف التحضيرات المحببة إلى التربة ـ مع البذور ـ عند الزراعة . وتزيد التحضيرات المحببة فرصة بقاء البكتيريا فى التربة الجافة .

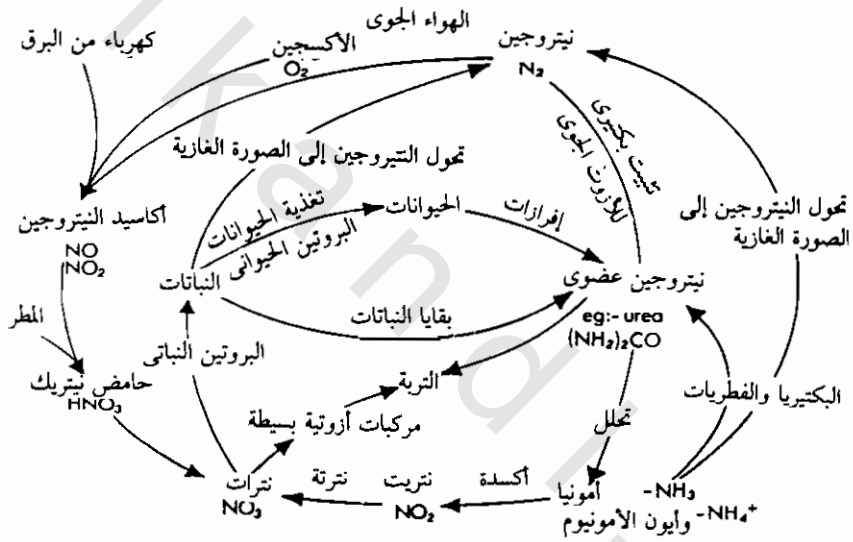
وفى جميع الحالات . . يجب أن تحتوى التربة على نسبة معتدلة من الرطوبة قبل الزراعة .

obeikandi.com

هذا . . ولا تلزم إعادة عملية التلقيح سنويا إذا استمرت زراعة المحصول سنويا ـ أو على فترات متقاربة ـ فى نفس الحقل . كما أن التلقيح بسلالات بكتيرية عالية الكفاءة لا يفيد فى زيادة معدلات عملية التثبيت ؛ لأن السلالات التى استوطنت الحقل تكون أكثر قدرة على المنافسة من السلالة الجديدة المضافة ، إلا أن التحضيرات المحببة قد تفيد فى إعطاء السلالة الجديدة فرصة أكبر على المنافسة (عن Stoskopf ١٩٨١) .

دورة النيتروجين فى الطبيعة

يبين شكل (٩ ـ ٤) دورة النيتروجين فى الطبيعة بين التربة والهواء ، وبين النبات والحيوان (عن Fordham & Biggs ١٩٨٥) .



شكل (٩ ـ ٤) : دورة النيتروجين فى الطبيعة .

الفوسفور

اهمية الفوسفور للنبات

يدخل الفوسفور فى تركيب الأحماض النووية ، ويلعب دوراً كبيراً فى كثير من التفاعلات الإنزيمية . فهو يدخل فى تركيب كل الأحماض النووية ؛ مثل :

(الـ DNA ، والـ RNA ، والـ tRNA ، والـ ribosomal RNA) ، بالإضافة إلى دخوله فى تركيب الإنزيمات اللازمة لتفاعلات الطاقة المختلفة فى عمليات التنفس والبناء الضوئى ، وكذلك يدخل فى تركيب المركبات الفوسفورية ذات الروابط الغنية بالطاقة (الـ ADP ، والـ ATP) وفى مرافقات الإنزيمات NADP , NAD ، وفى تركيب بعض الدهون (الـ phospholipids) .

ومن ثم ، فإن الفوسفور عنصر أساسى فى النبات ، فهو يدخل فى تركيب الأحماض النووية ، وهى أحماض مهمة بالنسبة للكائن الحى . وأهمية الـ ADP والـ ATP فى نقل الطاقة غنية عن البيان . أما مرافقات الإنزيمات NADP , NAD ، فلها دورها الهام فى تفاعلات الأكسدة والاختزال ، ويُعتمد عليها فى التفاعلات الحيوية الهامة فى البناء الضوئى ، والتنفس ، والـ glycolysis ، وفى تمثيل الأحماض الدهنية وغيرها . أما الـ phospholipids ، فمن المعتقد أنها تشكل مع البروتين جزءًا هاما من الأغشية الخلوية .

ويوجد الفوسفور بتركيزات عالية فى المناطق المرستيمية التى يكون فيها النمو نشيطاً ؛ حيث يشترك الفوسفور فى تمثيل البروتينات النووية .

ويعمل الفوسفور على تقليل الأثر الضار لزيادة الآزوت فى التربة ؛ لأن وفرة الفوسفور تقلل من امتصاص النيتروجين غير العضوى ، وهو يبكر فى النضج ، وبذلك فهو يضاد التأثير الضار لزيادة عنصر الآزوت الذى يؤدى إلى اتجاه النبات نحو النمو الخضرى .

هذا . . ويشجع الفوسفور على نمو الجذور ، وخاصة الجذور العرضية والليفية . ويتراكم جزء كبير من الفوسفور الذى يمتصه النبات فى البذور والثمار (Meyer وآخرون ١٩٦٠) .

أعراض نقص الفوسفور

تبدأ أعراض نقص الفوسفور بشحوب لون الأوراق لتصبح خضراء باهتة . ومع توقف النمو تتراكم المواد الكربوهيدراتية فى النموات الخضرية ؛ الأمر الذى يؤدى ـ

سريعاً ـ إلى تراكم صبغة الأنثوسيانين الأرجوانية اللون ، وهى التى تكسب أوراق النباتات ـ التى تعانى نقص العنصر ـ لوناً أرجوانيا .

وتختلف أعراض نقص الفوسفور فى النباتات ذات الفلقة الواحدة عنها فى النباتات ذات الفلقتين . ففى نباتات الفلقة الواحدة يؤدى نقص العنصر إلى ظهور اللون الأحمر أو الأرجوانى فى مناطق مختلفة من الورقة فى مرحلة النمو الخضرى . أما فى ذوات الفلقتين ، فإن العروق الرئيسية للأوراق هى التى تأخذ اللون الأرجوانى ، بينما تبقى الأوراق الحديثة بلون أخضر داكن أو أخضر رمادى . ويزداد اللون الأرجوانى على عروق الأوراق وعلى السيقان ، وبخاصة على الناحية السفلية للأوراق .

ونظراً لأن الفوسفور يتحرك بسهولة فى النبات ، فإن الأعراض تظهر على الأوراق السفلية المسنة أولا ؛ لأن الأوراق الحديثة تسحب احتياجاتها من الفوسفور ، حتى لو تطلب الأمر تحرك العنصر من الأوراق المسنة إلى الأوراق الحديثة . ويكون تحرك العنصر فى صورة أيون الفوسفات .

ويَضْعُف تكوينُ الجذور الليفية ونموها فى النباتات التى تعانى نقص الفوسفور .

وبصفة عامة . . يكون نمو النباتات التى تعانى نقص الفوسفور بطيئاً ، وسيقانها رفيعة ومتليفة ، وتتأخر فى النضج . وقد تسقط البراعم الزهرية والأزهار ، وتكون الثمار صغيرة الحجم .

وتزداد حاجة النباتات إلى عنصر الفوسفور خلال مرحلتين من مراحل نموها ؛ هما : مرحلة نمو البادرة ، ومرحلة تكوين ونمو الثمار والبذور (عن Purvis & Carolus ١٩٦٤) .

وتزيد احتمالات ظهور أعراض نقص الفوسفور عندما ينخفض محتوى الأوراق من العنصر عن ٠,٢ ٪ على أساس الوزن الجاف (عن Maynard ١٩٧٩) .

أعراض زيادة الفوسفور

تؤدى زيادة الفوسفور فى التربة إلى زيادة امتصاصه على حساب عنصرى الزنك

والحديد ؛ الأمر الذى يؤدى إلى ظهور أعراض نقصهما على النباتات . ويحدث ذلك بصورة واضحة فى كل من الفاصوليا ، والذرة السكرية (Wittwer ١٩٦٩) .

كما أن زيادة الفوسفور فى الأوقات التى تسودها درجات الحرارة المرتفعة قد تؤدى إلى نقص كمية المحصول ، ويعزى ذلك إلى أن ارتفاع درجة الحرارة وازدياد الفوسفور يسرعان من نضج النبات ، مما ينشأ عنه نقص فى النمو الخضرى الضرورى لإنتاج محصول وافر . وتلاحظ هذه الظاهرة أحياناً فى الأراضى الرملية (مرسى وآخرون ١٩٥٩) .

الصور التى يُمتص عليها الفوسفور

يمتص النبات عنصر الفوسفور فى صورة أيونات الفوسفات فقط ، وهى تكون فى إحدى الصور التالية :

$H_2PO_4^-$ (dihydrogen phosphate)

HPO_4^{--} (monohydrogen phosphate)

PO_4^{---} (phosphate)

والصورة الأولى($H_2PO_4^-$) هى أكثر الصور امتصاصًا ؛ لأنها أكثرها ذوبانًا ، ولكن يتوقف مدى توفر هذه أو تلك على pH التربة . ويتوفر الفوسفور فى صورة $H_2PO_4^-$ ، خاصة فى pH من ٥,٥ ـ ٦,٥ .

تيسر الفوسفور فى التربة

تأثير pH التربة

يتوفر الفوسفور فى التربة فى pH ٦,٥ ـ ٧,٥ ، ويقل نسبيا فى pH ٦ ـ ٦,٥ ، و ٧,٥ ـ ٨ ويصبح النقص خطيراً فى الأراضى التى يقل فيها الـ pH عن ٦ ، ولكنه يتوفر مرة أخرى فى الأراضى التى يزيد فيها الـ pH عن ٨,٥ .

ويرجع نقص الفوسفور فى الأراضى الحامضية إلى تكوين فوسفات الألمونيوم ، وفوسفات الحديد ، وكلاهما غير قابل للذوبان . أما فى الأراضى القلوية ، فيتكون

فوسفات الكالسيوم الثلاثى ، وهو أيضاً غير قابل للذوبان . ولا تتجاوز نسبة الفوسفور الميسر لامتصاص النبات ١ ٪ من الفوسفور الكلى فى الأراضى القلوية والجيرية .

ويتوفر الفوسفور فى الأراضى التى تكون قد سمدت لعدة سنوات سابقة ـ بغزارة ـ بالأسمدة الفوسفورية ؛ إذ إن الفوسفور يثبت فى التربة بسهولة ، ولكن بعد فترة من التسميد الغزير تقل مقدرة التربة على تثبيته . وعمومًا . . فإن كمية الفوسفور المستخدمة فى التسميد تزيد كثيرًا عن حاجة النبات الفعلية من هذا العنصر ؛ لأن جانبًا كبيرًا من الفوسفور المضاف يثبت قبل أن يستعمله النبات .

الفوسفور العضوى

يوجد الفوسفور فى التربة فى صورتيه العضوية وغير العضوية . ومن الصور العضوية : الأحماض النووية ، والفوسفوليبدات ، والـ inositol phosphates . ويعتبر الفوسفور العضوى غير ميسر للنبات ؛ لأنه غير قابل للامتصاص ، ولكنه يتحلل فى النهاية إلى الصورة غير العضوية .

العوامل التى تزيد من تيسر الفوسفور للنبات

من العوامل التى تزيد من تيسر الفوسفور وتقلل تثبيته فى التربة ما يلى :

١ ـ تركيز الأسمدة الفوسفاتية قريبًا من النبات فى شريط ضيق ؛ فتزداد بذلك نسبة الفوسفور السمادى الذى يظل غير مثبت ، ويبقى ميسرًاللنبات .

٢ ـ استخدام الأسمدة الفوسفاتية المحببة granular ، بدلا من المسحوقية ؛ نظرًا لصغر المساحة التى يتلامس فيها السماد مع حبيبات التربة فى الحالة الأولى ؛ فتقل فرصة تثبيت الفوسفور .

٣ ـ خلط الفوسفور غير العضوى مع الأسمدة العضوية ؛ فتقل بذلك فرصة تثبيته ؛ إذ إن الأحماض العضوية الموجودة بالأسمدة العضوية تعمل على تحويل الفوسفات من صورته الثلاثية إلى صورتيه الثنائية والأحادية ؛ وبذلك يزيد التسميد العضوى من تيسر الفوسفور فى الأراضى القلوية .

٤ ـ يتصاعد غاز CO_2 من جذور النباتات أثناء تنفسها ، وكذلك نتيجة لتنفس الكائنات الدقيقة فى التربة ، ويتكون منه حامض الكربونيك الذى يعمل على تحويل الفوسفات الثلاثى إلى فوسفات ثنائى كما يلى :

$$Ca_3(PO_4)_2 + HCO_3 \longrightarrow Ca_3(H_2PO_4)_2 + CaCO_3$$

٥ ـ بالمحافظة على pH التربة بين ٦ ـ ٧ يمكن تقليل تثبيت الفوسفور إلى الحد الأدنى .

هذا . . وتجدر ملاحظة أن الفوسفور المثبت يظل مخزونًا فى التربة ، وقد يصبح ميسرًا تحت ظروف أخرى .

وبعد أن ينتشر النمو الجذرى للنباتات بصورة جيدة فى التربة فإنها تصبح أكثر قدرة على الحصول على حاجتها من الفوسفور عما كانت عليه فى طور البادرة ؛ لأن تشعب المجموع الجذرى يسمح بوصول الجذور إلى حيث يوجد الفوسفور ؛ حيث إنه عنصر غير متحرك فى التربة .

مشاكل تثبيت الفوسفور فى التربة

يتأثر تثبيت الفوسفور فى التربة بالعوامل التالية :

١ ـ pH المحلول الأرضى :

يوجد أيون الفوسفات فى ثلاث صور حسب المحلول الأرضى . فتحت الظروف الشديدة الحموضة يسود أيون $H_2PO_4^-$ ، وفى مدى الـ pH المتوسط يسود أيون HPO_4^{--} ، بينما يسود الأيون PO_4^{---} فى الأراضى القلوية . وعندما يكون الـ pH وسطًا بين حالتى تأين ، فإنه قد توجد صورتا الأيون . فمثلا . . فى pH ٦ قد يوجد الفوسفور فى المحلول الأرضى فى صورتى $H_2PO_4^-$ ، و HPO_4^{--} .

ويرجع هذا التأثير للـ pH إلى علاقته بتوفر أيونات الألومنيوم والحديد فى الأراضى الحامضية ، وأيون الكالسيوم فى الأراضى القلوية ؛ ومن ثم تكوين الفوسفور لأملاح غير ذائبة مع هذه الأيونات .

ففى الأراضى الشديدة الحموضة تتوفر كميات من الحديد والألومنيوم تكفى لترسيب الفوسفات فى صورة فوسفات الحديد والألومنيوم ، وكلاهما غير قابل للذوبان ، وغير ميسر للنبات . ويتم التفاعل كالتالى :

$$Al(OH)_3 + H_2PO_4^- \longrightarrow Al(OH)_2H_2PO_4$$

$$Fe(OH)_3 + H_2PO_4^- \longrightarrow Fe(OH)_2H_2PO_4$$

ويحدث نفس التفاعل أيضا مع أيون المنجنيز الذى يتوفر بكثرة فى الأراضى الحامضية ، ويتكون فوسفات المنجنيز غير القابل للذوبان .

وفى الأراضى القلوية يتوفر أيون الكالسيوم الذى يمكنه أن يتفاعل مع صور الفوسفات الثلاث ليكون فوسفات أحادى الكالسيوم $Ca(H_2PO_4)_2$ ، وفوسفات ثنائى الكالسيوم $CaHPO_4$ ، وفوسفات ثلاثى الكالسيوم $Ca_3(H_2PO_4)_2$ ، والأخير هو أكثر الصور تكونًا فى الأراضى القلوية ، ويعتبر ـ تقريبًا ـ غير قابل للذوبان فى الماء ، وغير ميسر للنبات . أما فوسفات أحادى الكالسيوم ، فهو قابل للذوبان فى الماء وصالح للامتصاص . ويعتبر فوسفات ثنائى الكالسيوم قابل للذوبان ، ويوفر الفوسفور للنبات بصورة تدريجية .

وعليه . . فإنه عند تسميد الأراضى القلوية الغنية بكربونات الكالسيوم (الكالسيت $CaCO_3$) بالسوبر فوسفات فإنه تتكون فوسفات ثلاثى الكالسيوم غير القابلة للذوبان ؛ وبذلك لا تستفيد النباتات من الفوسفور المضاف . وتجدر ملاحظة أن الفوسفات تتفاعل مع أيون المغنيسيوم بنفس طريقة تفاعلها مع الكالسيوم ، وتكون فوسفات أحادى وثنائى وثلاثى المغنيسيوم .

٢ ـ التبادل الأنيونى Anion Exchange :

قد يحدث تبادل بين أنيون الفوسفات الموجود فى المحلول الأرضى والأنيونات الأخرى على سطح حبيبات التربة . ويتم معظم التبادل فى الظروف التى تميل قليلا نحو الحموضة بين أنيون $H_2PO_4^-$ ، وأنيون OH^- كالتالى :

$$\text{حبيبة طين} - OH + H_2PO_4^- \longrightarrow \text{حبيبة طين} - PO_4H_2 + OH^-$$

ويعتبر أيون الفوسفات المدمص بهذه الطريقة مثبتًا ؛ لأنه يدمص بشدة ، ولا يستطيع النبات امتصاصه .

وتؤدى إضافة كربونات الكالسيوم للتربة إلى انطلاق أنيون الهيدروكسيل OH^- ؛ مما يؤدى إلى عكس التفاعل السابق ؛ حيث تحل أيونات الهيدروكسيل المنطلقة محل أيونات الفوسفات على سطح حبيبات التربة ، وتصبح بذلك ميسرة للنبات . وتعمل كربونات الكالسيوم المضافة أيضا على رفع الـ pH ؛ مما يؤدى إلى انطلاق أيون الفوسفات من صورته المترسبة مع الألومنيوم والحديد ، إلا أن زيادة إضافة كربونات الكالسيوم بالدرجة التى تؤدى إلى رفع الـ pH عن ٧ قد تؤدى إلى تثبيت الفوسفات ثانيةً فى صورة فوسفات الكالسيوم غير القابلة للذوبان .

٣ ـ النشاط الحيوى بالتربة :

قد يثبت جزء كبير من الفوسفور الموجود فى التربة بيولوجيا فى الكائنات الدقيقة التى تعيش فيها ، لكن الفوسفور المثبت بهذه الطريقة سرعان ما يعود إلى التربة ثانية عند تحلل هذه الكائنات (Devlin ١٩٧٥) .

البوتاسيوم

دور البوتاسيوم فى النبات

يمتص النبات البوتاسيوم بكميات أكبر مما يمتص أى عنصر آخر . ويعتبر هو الكاتيون السائد فى النبات . ومعظم النباتات تمتص كميات من البوتاسيوم أكثر من حاجتها الفعلية إلى النمو وإعطاء محصول جيد . ويسمى الامتصاص الزائد للبوتاسيوم باسم الاستهلاك الترفى . ولا يدخل البوتاميوم فى التركيب الكيميائى للنبات كالعناصر الأخرى ؛ فهو يتواجد كملح غير عضوى ، إلا أنه يتواجد أيضًا كملح بوتاسيوم للأحماض العضوية .

ويبدو أن للبوتاسيوم علاقة بتمثيل الأحماض النووية فى النبات ، كما أن له أهمية كبيرة فى عملية انقسام الخلايا ، وتنظيم نفاذية الأغشية فى النبات . وقد وجد أن نقص البوتاسيوم يؤدى إلى تراكم مركبات النيتروجين الذائبة ، بينما يقل محتوى

النباتات من النيتروجين ؛ ويعنى ذلك أن البوتاسيوم مرتبط بطريقٍ ما بتمثيل البروتين من الأحماض الأمينية . كما وجد أن نقص البوتاسيوم يؤدى أيضاً إلى بطء عملية البناء الضوئى ، وزيادة التنفس . وينظم البوتاسيوم تمثيل الكربون فى النبات .

ويلعب البوتاسيوم دوراً هاما فى انتقال السكريات والبروتين فى النبات ؛ ومن ثم فإنه يؤثر على اختزان المواد الكربوهيدراتية فى أعضاء التخزين (Bukman & Brady ١٩٦٠) .

هذا . . ولا يمكن الاستغناء عن البوتاسيوم ، أو إحلاله نهائيا بعنصر شبيه له بدرجة كبيرة ، كالصوديوم أو الليثيوم . ويمتص العنصر فى صورة أيون البوتاسيوم K^+ .

ويزداد تركيز البوتاسيوم فى المناطق الحديثة النشطة ، وخاصة البراعم والأوراق الصغيرة والقمم النامية للجذور ، بينما يقل وجوده فى البذور والثمار الناضجة .

ينظم البوتاسيوم سمك الجدر الخلوية ؛ ومن ثم يؤثر فى صفات النبات المرتبطة بذلك كالرقاد وخلافه . وعند نقص البوتاسيوم تكون الأنسجة الوعائية ضعيفة .

أعراض نقص البوتاسيوم

عند نقص البوتاسيوم فى التربة ينتقل العنصر من الأوراق المسنة إلى الأوراق الحديثة ؛ لأنه يوجد بحالة ذائبة فى النبات ؛ وعليه . . تظهر أعراض نقصه فى الأوراق المسنة أولا ، ويكون ذلك فى البداية فى صورة اصفرار خفيف على حواف الأوراق ، يتبعه تقدم الاصفرار على امتداد العروق ، ويتغير لون الحواف إلى اللون البنى الداكن . وتسمى هذه الحالة باسم انسفاع أو احتراق Scorching . وقد تأخذ حواف الأوراق لونًا برونزيا وتجف ، وتظهر بقع بنية متناثرة على حواف الورقة .

وفى الخيار تصبح حواف الأوراق المسنة صفراء ، ولكن يبقى العرق الوسطى والعروق الأخرى بالورقة خضراء اللون . وفى الطماطم والبطاطا تصبح الأوراق خشنة الملمس ومجعدة puckered ، وتلتف حوافها لأسفل ، وتصفر ، وفى النهاية تتحول إلى اللون البنى .

وفى نباتات الفلقة الواحدة يبدأ الاصفرار من قمة الأوراق ، ويمتد لأسفل نحو الحواف ، ويظل مركز الأوراق أخضر اللون .

وعمومًا . . فإن نمو النبات الذى ينقصه البوتاسيوم يكون بطيئًا ، ولا تكون الثمرة الواحدة متجانسة فى نضجها ، كما فى حالة النضج المتبقع Blotchy Ripening فى الطماطم .

ومن أهم أعراض نقص البوتاسيوم نقص التغليظ الثانوى فى الجذور والدرنات ؛ مما ينتج عنه تكوين أعضاء تخزين (جذور أو درنات) رفيعة .

ويؤدى نقص البوتاسيوم إلى نقص المقدرة على التخزين ، وإلى النضج المتبقع فى الطماطم ، كما تقل نوعية البطاطس (Humbert ١٩٦٩) ، وتزيد القابلية للإصابة بالأمراض .

تزيد احتمالات ظهور أعراض نقص البوتاسيوم عندما ينخفض محتوى الأوراق من العنصر عن ١,٥ ٪ على أساس الوزن الجاف .

تيسر البوتاسيوم فى التربة

يتوفر البوتاسيوم فى التربة فى pH أكثر من ٦ ، ويقل نسبيا فى pH ٥ ـ ٦ ، ويصبح النقص شديدًا فى pH أقل من ٥ .

تظهر أعراض نقص البوتاسيوم غالبًا فى الأراضى الخفيفة الرملية ، وفى أغلب الأراضى العضوية . ومعظم الأراضى تحتوى على كميات كبيرة من البوتاسيوم ، لكنه يوجد فى صورة غير قابلة للذوبان . وترتبط كمية البوتاسيوم الذائبة ارتباطًا قويا بكمية الطين فى التربة ؛ حيث تحتوى الأراضى الغنية بالطين على كميات عالية من البوتاسيوم الذائب . ويرجع غنى بعض الأراضى بالبوتاسيوم إلى غنى المعدن الذى تكونت منه التربة بهذا العنصر ، وإلى عدم تسربه من التربة بالرشح فى المناطق شبه الجافة .

ويتوفر البوتاسيوم فى التربة على ثلاث صور متبادلة كالتالى :

بوتاسيوم غير متبادل ⇌ بوتاسيوم متبادل ⇌ بوتاسيوم فى المحلول الأرضى .

ومع امتصاص النبات للبوتاسيوم يزداد التبادل نحو الجهة اليسرى .

ويوجد أكثر من ٩٥ ٪ من البوتاسيوم فى صورة معادن حاملة للعنصر . وهذا البوتاسيوم بطئ التيسر للنبات . ولا تتعدى نسبة البوتاسيوم الذائب والبوتاسيوم المتبادل ١ ٪ ـ ٢ ٪ من الكمية الكلية للعنصر فى التربة .

ونظراً لأن البوتاسيوم يمكن أن يفقد بسهولة مع الرشح فى الأراضى الرملية ؛ لذا . . يجب أن تكون إضافته فى هذه الأراضى على دفعات صغيرة .

احتياجات محاصيل الخضر من البوتاسيوم

ينخفض محصول الخضروات عندما يقل محتوى التربة من البوتاسيوم عن ٩٠ كجم/ فدان . وتظهر أعراض نقص البوتاسيوم عندما تكون كمية البوتاسيوم المتبادل فى التربة من ٤٥ ـ ٧٠ كجم/ فدان .

ومعظم الخضروات ذات احتياجات عالية من البوتاسيوم . وتزداد الكمية المستنفذة من العنصر بالتربة فى حالة الخضروات الورقية ، كالكرفس ، والخس ، بينما تكون الكمية المستنفذة أقل ما يمكن فى حالة المحاصيل البذرية ، كالبسلة ، والفاصوليا . وتتراوح الكمية المُزالة من التربة من ٣٥ كجم/ فدان فى حالة البسلة إلى ١٦٠ كجم/ فدان فى حالة الكرفس ، ويبلغ المتوسط حوالى ٤٥ ـ ٧٠ كجم/ فدان (Wilcox ١٩٦٩) .

الكالسيوم

اهمية الكالسيوم للنبات

يلعب الكالسيوم دوراً كبيراً فى تكوين الجدر الخلوية ، وخاصة فى تكوين الصفيحة الوسطى middle lamella ؛ حيث يتفاعل حمض البكتيك pectic acid مع الكالسيوم ، مكونًا بكتات الكالسيوم غير القابلة للذوبان . وتعمل بكتات الكالسيوم مع بكتات المغنسيوم على لصق سلاسل السليلوز بعضها ببعضٍ أثناء عمل الجدر الخلوية ؛ ولذلك . . فوجود الكالسيوم مهم فى الأنسجة السريعة النمو ، كمرستيم الساق ، والجذر ، والكامبيوم .

ويعتقد أن للكالسيوم دورًا فى تكوين الأغشية الخلوية أيضًا ؛ إذ إن ملح الكالسيوم للمادة الدهنية lecithin يدخل فى تركيب الغشاء الخلوى .

كذلك يعتقد أن للكالسيوم دورًا فى الانقسام الخلوى الميتوزى ، وأنه قد يكون له دور فى تكوين المغزل ، وفى تركيب وثبات الكروموسوم ؛ لأن لنقص الكالسيوم علاقة بظهور بعض التراكيب الكروموسومية غير الطبيعية Chromosomal abnormalities .

وللكالسيوم دور منشط لبعض الإنزيمات ؛ مثل : phospholipase ، وarginine kinase ، و adenosine triphosphatase وغيرها .

ويبدو أن الكالسيوم ضرورى لامتصاص النيتروجين النتراتى ؛ حيث تتراكم السكريات والنشويات فى النباتات النامية فى بيئة فقيرة فى محتواها من الكالسيوم ، وتكون غير قادرة على امتصاص النيتروجين النتراتى ، لكن هذا الوضع يتغير بسرعة ، وتظهر النترات فى وقت قصير عند التسميد بالكالسيوم .

ويتراكم معظم الكالسيوم فى النبات بالأوراق ، ويمتصه النبات فى صورة أيون الكالسيوم Ca^{++} .

أعراض نقص الكالسيوم

يعد الكالسيوم من العناصر غير الذائبة فى النبات ؛ لذلك فإنه لا ينتقل من الأوراق المسنة إلى الأوراق الحديثة عند نقصه فى التربة ، وتظهر أعراض النقص فى الأوراق الحديثة والأنسجة الميرستيمية أولا .

وأعراض نقص العنصر هى : ظهور لون أخضر مصفر على الأوراق الحديثة ، بينما تبقى الأوراق المسنة بلون أخضر عادى ، إلا أن حوافها تكون ـ عادة ـ أقل اخضرارًا من مركز الورقة .

ومع استمرار نقص العنصر تظهر بقع متحللة فى الأوراق الحديثة وتلتف أطرافها لأسفل ، وأحيانًا تكون حوافها متموجة وغير منتظمة النمو ، كما يكون النبات متخشبًا ، والنمو متقزمًا ، والجذور قصيرة وسميكة ؛ وذلك لارتباط الكالسيوم

بالانقسام الميتوزى فى النبات . ولنفس السبب تموت القمم النامية بالسيقان والأوراق والجذور ، ويتوقف النمو (Meyer وآخرون ١٩٦٠) .

ويؤدى نقص الكالسيوم إلى ظهور عديد من العيوب الفسيولوجية نذكر منها ـ فى محاصيل الخضر ـ ما يلى :

١ ـ القلب الأسود Blackhurt فى الكرفس .

٢ ـ القلب البنى Browheart فى الهندباء .

٣ ـ احتراق حواف الأوراق Tipburn فى الخس .

٤ ـ احتراق حواف الأوراق الداخلية Internal Tiprburn فى الكرنب .

٥ ـ التلون البنى الداخلى Internal Browning فى كرنب بروكسل .

٦ ـ عفن الطرف الزهرى Blossom End Rot فى الطماطم ، والفلفل ، والبطيخ .

٧ ـ البقع الكهفية Cavity Spot فى الجزر والجزر الأبيض (عن Maynard ١٩٧٩) .

٨ ـ الثمار الإسفنجية Pillowy Fruit فى الخيار (عن Thomas & Staub ١٩٩٢) .

وتظهر مشاكل نقص الكالسيوم ـ عادة ـ عندما ينخفض تركيزه فى الأوراق عن ٠,٨ ٪ على أساس الوزن الجاف .

ولا يكون توزيع الكالسيوم متجانسًا فى النبات ؛ لأنه ينتقل مع مسار الماء الذى يفقد فى عملية النتح ؛ وبذا . . يزداد تركيزه فى الأوراق النشطة فى عملية النتح (Palzkill & Tibbitts عن ١٩٧٧) . كما يثبت العنصر فى صورة غير ذائبة بمجرد وصوله إلى الأوراق التى ينتهى مساره إليها ؛ ولذا . . يكثر ظهور أعراض نقص العنصر فى القمم النامية ، والأوراق المغطاة بأوراق غيرها ، وفى الثمار وأعضاء التخزين .

ويعالج نقص الكالسيوم بإضافة العنصر إلى التربة ، أو عن طريق الأوراق . . فيضاف الكالسيوم إلى التربة عند استخدام الجير فى رفع pH التربة ، أو عند استخدام نترات الكالسيوم أو السوبرفوسفات كأسمدة ، ولكن يمكن أيضًا إضافة الكالسيوم رشا ، أو مع ماء الرى بأحد المركبين التاليين :

١ ـ كلوريد الكالسيوم (٣٦,١ ٪ Ca) بتركيز ٢,٥ ـ ٥ كجم/ ٤٠٠ لتر ماء للفدان .

٢ ـ نترات الكالسيوم (٢٠ ٪ Ca) بتركيز ٢,٥ ـ ٨ كجم/ ٤٠٠ لتر ماء للفدان .

تيسر الكالسيوم فى التربة

يتوفر الكالسيوم فى التربة فى pH أعلى من ٧ ، ويقل نسبيا فى pH من ٥,٥ ـ ٧ ، ويصبح النقص شديداً فى pH أقل من ٥,٥ .

والكالسيوم هو الكاتيون السائد فى معظم الأراضى ، ويشكل ـ عادة ـ أكبر نسبة من الكاتيونات المتبادلة ، ولكنه يفقد ـ بسهولة ـ بالرشح ؛ حيث يحل الأيدروجين محله فى غرويات التربة ، ويؤدى ذلك إلى زيادة حموضة التربة .

والجزء الأكبر من الكالسيوم الموجود فى التربة يوجد فى صورة غير متبادلة ؛ فيوجد متحدا كيميائيا مع عناصر أخرى فى تركيب بعض المعادن كالأنورثيت anorthite ($Ca\ Al_2\ Si_2\ O_8$) وفى الكالسيت Calcite ($Ca\ Co_3$) فى المناطق الجافة وشبه الجافة . ويكثر فوسفات الكالسيوم الثلاثى غير القابل للذوبان فى الأراضى القلوية .

المغنيسيوم

دور المغنيسيوم فى النبات

يعد المغنيسيوم عنصرًا ضروريا لتكوين جزئ الكلوروفيل ؛ حيث يدخل فى تركيب كل من كلوروفيل أ ، ب ؛ لذلك فهو أساسى لعملية البناء الضوئى . كما أن بكتات المغنسيوم تشترك مع بكتات الكالسيوم فى لصق ألياف السليلوز عند بناء جدر الخلايا ؛ لذلك فهو ضرورى لعملية انقسام الخلايا .

ويعمل المغنيسيوم كعامل منشط لعديد من الإنزيمات الهامة فى تحولات التمثيل الغذائى للمواد الكربوهيدراتية . كما يعمل كمنشط للإنزيمات التى تشترك فى تمثيل الأحماض النووية DNA و RNA . ويبدو أنه يقوم بدور هام كعامل لاصق للميكروسومات microsomes التى يتم عليها تمثيل البروتين . ويُمتص العنصر فى صورة أيون المغنيسيوم Mg^{++} .

اعراض نقص المغنيسيوم

عند نقص المغنيسيوم فى التربة نجد أن العنصر ينتقل من الأوراق المسنة إلى الأوراق الحديثة ؛ لذا تظهر أعراض نقصه على الأوراق المسنة أولا . وفى الحالات الشديدة تظهر الأعراض على الأوراق الحديثة أيضاً .

وتكون الأعراض فى شكل تبقعات صفرات مبرقشة تنتشر فى الورقة ، وخاصة فى الأوراق المسنة ، كما تظهر بقع بنية على حواف وقمم الأوراق . وفى الصليبيات تأخذ الأوراق مظهراً براقًا .

وفى معظم النباتات يظهر اصفرار بين العروق فى الأوراق المسنة ، ثم يتغير لونها تدريجيا من الأخضر الداكن إلى الأخضر المصفر ، فالأصفر ، بينما تبقى العروق خضراء اللون . وتبدأ هذه الأعراض من حواف الورقة ، ثم تتجه تدريجيا نحو مركزها . ومع ازدياد نقص العنصر تتحول الأجزاء الصفراء إلى اللون البنى ، ثم تموت هذه الأنسجة .

وتقسم الخضروات حسب مقدرتها على تحمل نقص المغنيسيوم فى التربة إلى مجموعتين كالتالى :

١ ـ خضروات تتحمل نقص المغنيسيوم فى التربة ؛ ومنها : الفاصوليا ، والبنجر ، والسلق ، والخس ، والبسلة ، والفجل ، والبطاطا ، وفول الصويا .

٢ ـ خضروات لا تتحمل نقص المغنيسيوم فى التربة ؛ ومنها : الكرنب ، والذرة السكرية ، والخيار ، والباذنجان ، والقاوون ، والفلفل ، والبطاطس ، والقرع العسلى ، والروتاباجا ، والطماطم ، والبطيخ .

وتظهر أعراض نقص المغنيسيوم ـ غالبًا ـ عندما ينخفض تركيزه فى الأوراق عن ٠,٢ ٪ على أساس الوزن الجاف ، علمًا بأن المدى الطبيعى لتركيز العنصر ـ على أساس الوزن الجاف ـ يتراوح بين ٠,٣ ٪ و ٠,٨ ٪ .

تيسر المغنيسيوم فى التربة

يتوفر المغنيسيوم فى مدى pH من ٧ ـ ٨,٥ ، ويقل قليلاً فى الأراضى الأكثر قلوية من ذلك ، كما يقل نسبيا فى مدى pH من ٥,٥ ـ ٧ ، ويصبح النقص شديداً فى الأراضى التى يقل فيها الـ pH عن ٥,٥ .

وأفقر الأراضى فى المغنيسيوم هى الرملية الخفيفة ، ولكن أعراض نقص العنصر تظهر أيضًا فى الأراضى الشديدة الحموضة ، بغض النظر عن قوامها .

يوجد المغنيسيوم فى التربة فى صورة مثبتة ، وفى صورة ذائبة فى الماء ، وفى صورة متبادلة . وتقل كميته فى التربة كثيرًا عن الكالسيوم ، سواء بالنسبة للصور المثبتة ، أم الذائبة ، أم المتبادلة .

ويؤدى التسميد البوتاسى الغزير إلى نقص امتصاص النبات للمغنيسيوم ، وتظهر أعراض نقصه ، ولكن إضافة الجير إلى الأراضى الحامضية تؤدى غالبًا إلى زيادة المغنيسيوم الميسر للامتصاص بها . كذلك فإن زيادة الكالسيوم فى المزارع المائية تؤدى إلى ظهور أعراض نقص المغنيسيوم .

ويعالج نقص المغنيسيوم فى التربة بالتسميد بإحدى الطرق التالية :

١ ـ إضافة الحجر الجيرى الدولوميتى (كربونات الكالسيوم والمغنيسيوم) dolomitic limestone (فى الأراضى الحامضية) بمعدل ١٠ ـ ١٥ كجم من المغنيسيوم (Mg) أو ١٨ ـ ٢٥ كجم من أكسيد المغنيسيوم (MgO) للفدان .

٢ ـ إضافة كبريتات المغنيسيوم Epson Salt ($MgSO_4 . 7H_2O$) المحتوية على ٩,٨ ٪ مغنيسيوم ، بمعدل ٧٠ ـ ٩٠ كجم للفدان .

٣ ـ الرش بكبريتات المغنيسيوم بمعدل ٥ ـ ٧ كجم/ ٤٠٠ لتر ماء للفدان .

٤ ـ الرش بنترات المغنيسيوم .

الكبريت

دور الكبريت فى النبات

يدخل الكبريت فى تركيب ثلاثة أحماض أمينية أساسية ؛ هى : السيستين cysteine ، والسيستاين Cystine ، والميثايونين methionine ، كما يدخل فى تركيب الثيامين thiamin (فيتامين ب١) ، وهو مرافق إنزيمى ضرورى فى عملية التنفس . ويوجد الكبريت أيضًا فى تركيب الفيتامين بيوتين biotin ، وفى المرافق الإنزيمى Coenzyme A .

والكبريت عنصر أساسى فى تركيب بعض المواد الطيارة التى تعطى الطعم والنكهة المميزَيْن لبعض الخضروات ؛ مثل : البصل ، والثوم ، والصليبيات .

هذا . . ويمتص الكبريت فى صورة أيون الكبريتات SO_4^{--} فقط .

أعراض نقص الكبريت

نادرًا ما تظهر أعراض نقص الكبريت لتوفره فى الأسمدة المختلفة ، فضلا على أن العنصر نفسه يستعمل فى مكافحة كثير من الأمراض الفطرية . وتتشابه أعراض نقص الكبريت مع أعراض نقص الأزوت ، إلا أن الأعراض تظهر على الأوراق الحديثة أولا . أما الأزوت ، فتظهر أعراض نقصه على الأوراق الكبيرة أولا ؛ ويرجع ذلك إلى أن الكبريت لا ينتقل فى النبات بسرعة .

وتتميز أعراض نقص الكبريت باصفرار الأوراق الحديثة . ويكون الاصفرار أكثر وضوحًا فى العروق منه بين العروق ، وذلك عكس الحالة فى كل من أعراض نقص المغنيسيوم ، والمنجنيز ، والحديد .

تيسر الكبريت فى التربة

يتيسر الكبريت فى الأراضى التى يزيد فيها الـ pH عن ٦ ، ويقل نسبياً فى pH ٥ ـ ٦ ، ويصبح النقص شديدًا فى pH أقل من ٥ . فأيون الكبريتات ـ مثله مثل أيون الفوسفات ـ يدمص بقلة على غرويات التربة . ويزداد ادمصاصه مع انخفاض pH التربة .

ومن المعتقد أنه يحل محل أيون الأيدروكسيل على حبيبات الطين . وتسمى تلك الظاهرة بـ «ظاهرة التبادل الأنيونى anion exchange » ؛ وعليه . . فإن عملية إضافة الجير التى تزيد من قلوية التربة تقلل من ادمصاص هذا العنصر .

وأهم مصادر الكبريت للنبات هو ما يوجد فى المادة العضوية ، وفى الهواء الجوى (حيث يسقط مع ماء المطر) ، بالإضافة إلى ما يوجد فى الأسمدة الكيميائية المضافة .

ويوجد الكبريت فى المادة العضوية فى صورة مواد بروتينية . ولكى يستطيع النبات استعماله يجب أن يتحول إلى أيون كبريتات أولا . وتقوم الكائنات الدقيقة فى التربة بذلك ؛ حيث تحول المادة العضوية المحتوية على الكبريت إلى مركبات عديدة ؛ منها الـ hydrogen sulfide (H_2S) الذى يتأكسد ، معطيًا حامض الكبريتيك الذى يتفاعل بدوره مع معادن التربة فى المحلول الأرضى ، مكونًا أملاح الكبريتات .

أما الكبريت الموجود فى الهواء ، فإنه ينتج من احتراق الفحم ، كما يوجد فى الأبخرة المتصاعدة فى عديد من المصانع ، ويصل إلى الأرض بعد ذوبانه فى ماء المطر ، ثم يتأكسد إلى SO_4 ، ثم إلى SO_3 الذى يتفاعل مع الماء ، معطيًا حامض الكبريتيك الذى يتفاعل بدوره مع معادن التربة ، مكونًا أملاح الكبريتات . وفى المناطق الصناعية تصل إلى التربة كميات كبيرة من الكبريت بهذه الطريقة .

أما الأسمدة المحتوية على الكبريت ، فهى عديدة ، ومنها : الكبريت الخام ، وكبريتات الأمونيوم ، وكبريتات البوتاسيوم ، والجبس ، والسوبر فوسفات الذى يحتوى على كبريتات الكالسيوم . هذا . . ويتأكسد الكبريت المعدنى إلى كبريتات قبل أن يستطيع النبات استعماله .

الحديد

دور الحديد فى النبات

يعتبر الحديد عنصرًا أساسيا لتكوين جزئ الكلوروفيل ، برغم أنه لا يدخل فى تركيبه ، ولكن يبدو أن الحديد يلعب دورًا هاما فى تكوين الإنزيمات المسئولة عن تمثيل الكلوروفيل . كما أن الحديد يدخل فى تركيب عديد من الإنزيمات اللازمة فى عملية التنفس ؛ ومن أمثلتها : الكاتاليز ، والبيروكسيديز ، وأكسيديز السيتوكروم ،

والستيروكروم ، بالإضافة إلى دخول الحديد فى تركيب جزئ صبغة الهيم heme ، وهى الصبغة الضرورية فى المراحل الأخيرة من التنفس .

ويمتص النبات الحديد فى صورة أيون الحديديك غالبًا ، ولكن الصورة النشطة بيولوجيا فى النبات هى صورة أيون الحديدوز ؛ وعليه . . فإنه بعد امتصاصه يتحول أولا إلى حديدوز قبل أن يستفيد منه النبات .

أعراض نقص الحديد

يعتبر الحديد من أقل العناصر قدرة على التحرك داخل النبات ؛ لذلك تظهر أعراض نقصه على الأوراق الحديثة ، بينما تظل الأوراق المسنة خضراء وذات محتوى عالٍ من الحديد .

ويتميز نقص العنصر بظهور لون أصفر بين العروق فى أوراق النموات الحديثة . ونادرًا ما تصبح الأوراق الحديثة كلها صفراء ، ولكن قد يحدث ذلك فى الأوراق الصغيرة جدا فى حالات النقص الشديدة . ومع استمرار نقص العنصر يتحول لون الأنسجة بين العروق إلى اللون الأبيض العاجى ، بينما تظل العروق خضراء اللون .

ويبلغ التركيز الطبيعى للحديد فى أنسجة الورقة حوالى ١٠٠ جزء فى المليون على أساس الوزن الجاف ، ولكن المدى الطبيعى لتركيز الحديد يتباين كثيراً من محصول لآخر .

تيسر الحديد فى التربة

يتوفر الحديد فى الأراضى التى يقل فيها الـ pH عن ٦ ، ويقل نسبيا فى pH ٦ ـ ٧ ، ولكن يصبح النقص شديدًا عند زيادة الـ pH عن ٧ . ويزداد الحديد فى الأراضى الحامضية إلى درجة أن تركيزه يصبح ساما للنبات فى الأراضى الشديدة الحموضة . وأفضل pH يتوفر فيه الحديد بتركيزات مناسبة هو من ٥,٥ ـ ٦,٢ . ويزداد تيسر الحديد ـ بالاختزال ـ عند سوء الصرف بالتربة ، ولكن ذلك لا يناسب النمو النباتى .

وتجدر ملاحظة أن التسميد بكميات كبيرة من الفوسفات الذائبة يؤدى إلى تحول الحديد الذائب إلى صورة غير قابلة للذوبان بسبب اتحاد الحديد مع أيون الفوسفات ، مكونًا فوسفات الحديد .

وتزداد هذه الظاهرة فى الأراضى الرملية عنها فى الأراضى الطينية ؛ لأن الأراضى الرملية أقل قدرة على تثبيت الفوسفات من الأراضى الطينية . كذلك تظهر أعراض نقص الحديد عند زيادة التسميد بالنحاس والمنجنيز .

والحديد من العناصر التى تتوفر فى التربة بكميات كبيرة ، إلا أن ذلك يكون فى الصور غير القابلة للذوبان ، ونسبة الذائب أو المتبادل منخفضة جدا فى التربة ، خاصة فى الأراضى المتعادلة والقلوية التى يقل فيها ذوبان الحديد بمقدار ١٠٠ مرة مع كل ارتفاع قدره وحدة واحدة فى pH التربة .

ونادرًا ما يعطى التسميد بالحديد ـ عن طريق التربة ـ نتائج ملموسة ، لكن رش الأوراق يعطى نتائج إيجابية مؤقتة ؛ حيث تزول أعراض نقص العنصر . ويعالج نقص الحديد بأحد الأسمدة التالية :

١ ـ كبريتات الحديدوز Ferrus sulfate (٢٠ ٪ حديد $Fe\ SO_4 . 7\ H_2O$) ، بمعدل ٥ ـ ١٠ كجم/ فدان للتربة ، أو رشاً بتركيز ١ ـ ١,٥ كجم / ٤٠٠ لتر ماء للفدان .

٢ ـ الحديد المخلبى (مشتقات ethylenediamine tetraacetic acid ، وتحوى حديدًا بنسبة ٩ ـ ١٢ ٪) ، بمعدل ٨ ـ ١٦ كجم/ فدان للتربة ، ورشا بتركيز ٣٥٠ ـ ٤٥٠ جم/ ٤٠٠ لتر ماء . ويجب ألا تتعدى الكمية التى تستعمل للفدان من هذه المادة أكثر من ٤٠٠ لتر من محلول الرش ، ويرمز لتلك المادة بالرمز EDTA .

ومن الصور المخلبية أيضًا : diethylenetriaminepentaacetic acid (DTPA) . وهذه المركبات المخلبية تحفظ الحديد فى صورة ميسرة لامتصاص النبات ، وتسهل امتصاصه وانتقاله فى النبات ، كما أنها لا تتحلل فى التربة .

النحاس

دور النحاس فى النبات

يدخل النحاس فى تكوين بعض الإنزيمات التى تلعب دوراً هاماً فى تفاعلات الأكسدة والاختزال فى النبات . فهو يدخل فى تركيب إنزيمات الفينوليز phenolases

واللاكّيز laccase . ويعتبر النحاس عنصراً ضروريا لتكوين الكلوروفيل فى النبات ، وربما يكون له دور فى عملية البناء الضوئى .

كما يدخل النحاس فى تركيب إنزيم التيروزينيز tyrosinase ، وهو المسئول عن تلون لب درنات البطاطس باللون الداكن فى وجود الأكسجين ، وفى تركيب إنزيم أكسيديز حامض الأسكوربيك ascorbic acid oxidase ، وهو المسئول عن أكسدة حامض الأسكوربيك .

ويمتص النبات العنصر فى صورته الأيونية .

أعراض نقص النحاس

يصاحب نقص عنصر النحاس ظهور لون أصفر شاحب وباهت بالأوراق ، يعقبه فقدان اللون الأخضر كلية فى قمة الأوراق . وتظهر الأعراض ـ كاحتراق واسمرار (انسفاع) Scalding ـ خاصة فى الأيام الحارة . هذا . . وتكون الأوراق مرتخية ، ويكون النمو بطيئاً .

وفى البصل يصاحب نقص العنصر بهتان لون الحراشيف الخارجية للأبصال ونقص سمكها ، وسهولة انفصالها .

وأكثر الخضر حساسية لنقص النحاس هى : البنجر ، والجزر ، والخس ، والبصل ، والسبانخ ، وهى الخضر التى تستجيب بدرجة عالية للتسميد بالنحاس .

تحتوى الأوراق الطبيعية على ما لا يقل عن ٦ أجزاء فى المليون من النحاس على أساس الوزن الجاف .

تيسر النحاس فى التربة

يتوفر النحاس فى الأراضى التى يقل فيها الـ pH عن ٧ ، ويقل نسبيا فى pH ٧ ـ ٨ ، ويصبح النقص شديداً فى pH أعلى من ٨ .

وتظهر أعراض نقص العنصر غالبًا فى الأراضى الغنية بالمادة العضوية . ومن المعتقد أن النحاس يتحول بفعل المادة العضوية إلى صورة غير قابلة للذوبان ؛ إذ إنه يثبت فى الأراضى العضوية بواسطة بعض كائنات التربة الدقيقة . كذلك تظهر أعراض نقص العنصر فى الأراضى الحامضة (pH أقل من ٥,٥) والرملية .

ويوجد النحاس بكميات كبيرة مثبتًا فى صخور التربة ، ولا يوجد منه سوى القليل جدا ذائباً فى المحلول الأرضى . ويقدر تركيزه فى الأراضى العادية بـ ٠,٠١ جزءًا فى المليون بالمحلول الأرضى . ويدمص أيون النحاس (Cu^{++}) بشدة على غرويات التربة ، كما قد تدمص أيضاً الكاتيونات ذات الشحنة الواحدة ، مثل : $CuOH^{+}$ ، و $CuCl^{+}$.

وبالإضافة إلى ذلك . . يوجد النحاس فى المادة العضوية فى التربة ، كما قد يتحد معها ، مكونًا مركبات معقدة غير متبادلة .

ويعالج نقص النحاس فى التربة بإحدى المعاملتين التاليتين :

١ ـ كبريتات النحاس ($CuSO_4.5H_2O$ - Cu ٪ ٢٥,٥) ، بمعدل ١١ ـ ٢٢ كجم/ فدان للتربة ، أو رشا بتركيز ٠,٩ ـ ٢,٢٥ كجم/ ٤٠٠ لتر ماء .

٢ ـ أكسيد نحاس (يحوى CuO - Cu ٪ ٧٩,٦) ، بمعدل ٣,٥ ـ ٧ كجم/ فدان للتربة ، ولا يستعمل رشا لقلة مقدرته على الذوبان .

وغالباً ما يكفى التسميد به مرة واحدة لسد النقص فى التربة لعدة سنوات .

الزنك

دور الزنك فى النبات

يعد الزنك عنصراً ضروريا لتكوين التربتوفان tryptophane ، وهو الحامض الأمينى الذى يتكون منه إندول حامض الخليك IAA ، كما يدخل الزنك فى تركيب كل من : glyco-glycine dipetidases الضرورية فى تمثيل البروتينات ، والـ dehydrogenases الضرورية للـ glycolysis فى المراحل النهائية من التنفس ، كما أن الزنك ضرورى لتكوين جزئ الكلوروفيل .

ويمتص النبات الزنك فى صورة أيون العنصر .

أعراض نقص الزنك

تظهر أعراض نقص الزنك على الأوراق الحديثة أولا ؛ حيث يؤدى نقصه إلى ظهور تبرقش أصفر بين العروق فى الورقة ، وتظل العروق خضراء ، وتكون الأوراق صغيرة ، وضيقة ، ومبرقشة ، ومشوهة ، وغير منتظمة الشكل ، وملتوية ، ومتزاحمة على أفرع قصيرة ؛ فتأخذ شكلا متوردًا rosette .

كذلك تصبح السلاميات قصيرة ، ويبدو النبات متقزمًا فى حالات النقص الشديدة ، ولذلك علاقةٌ بتمثيل الأوكسين IAA .

وعمومًا . . تختلف أعراض نقص الزنك من محصول لآخر . ففى النباتات المعمرة تموت الأفرع التى تظهر بها أعراض النقص من القمة نحو القاعدة dieback ، ويقل محصول البذور ، ولذلك أهمية كبيرة فى البقوليات ، كما تظهر بقع بنية ضاربة إلى الحمرة على الأوراق الفلقية فى الفاصوليا . وفى البنجر يظهر لون أصفر بين العروق ، وتحترق حواف الأوراق . وفى الذرة السكرية تظهر خطوط خضراء وصفراء عريضة عند قواعد الأوراق ، وتتأخر الحريرة فى الظهور ، ويصاحب ذلك عدم امتلاء الكيزان جيدًا .

وأكثر الخضروات استجابة للتسميد بالزنك هى : الذرة السكرية ، والفاصوليا ، وفاصوليا الليما ، بينما تعد الطماطم ، والبطاطس ، والبصل متوسطة الحساسية . وبالمقارنة . . تعد البسلة ، والهليون ، والجزر قليلة الحساسية لنقص العنصر .

وتحتوى الأوراق الطبيعية على الزنك بتركيز ٢٠ جزءًا فى المليون على أساس الوزن الجاف .

تيسر الزنك فى التربة

يتوفر الزنك فى الأراضى التى يقل فيها الـ pH عن ٧ ، ويقل نسبيا فى pH من ٧ ـ ٨ ، ويكون النقص شديدًا عند زيادة pH التربة عن ٨ .

هذا . . ويثبت الزنك بسهولة بواسطة غرويات التربة . وتركيز العنصر فى المحلول الأرضى منخفض جدا . ويقل التركيز بزيادة pH التربة . والمدى المناسب لتركيز الزنك فى المحلول الأرضى هو ١ ـ ١٠ أجزاء فى المليون ، وأفضل تركيز ٥ أجزاء فى المليون .

وقد يثبت الزنك بواسطة بعض الكائنات الحية الدقيقة فى التربة .

كما تظهر أعراض نقص الزنك فى حالات التسميد الغزير بالفوسفور .

ويعالج نقص الزنك بالتسميد بأحد المركبات التالية :

١ ـ كبريتات الزنك Zinc sulphate (تحتوى على ٧ ٪ زنكًا ، وتركيبها $ZnSO_4 . 7H_2O$) ، بمعدل ٤,٥ ـ ١٨ كجم/ فدان للتربة ، أو رشا بتركيز ٠,٩ ـ ١,٨ كجم/ ٤٠٠ لتر ماء .

٢ ـ الزنك المخلبى (مشتقات ethylenediamine tetraacetic acid) ، بمعدل ٧ ـ ١٨ كجم/ فدان للتربة ، أو رشا بتركيز ٣٥٠ ـ ٤٥٠ جم/ ٤٠٠ لتر ماء .

المنجنيز

دور المنجنيز

يعد المنجنيز عنصرًا ضروريا لتكوين الكلوروفيل برغم أنه لا يدخل فى تركيب جزئ الكلوروفيل ، ويدخل ـ مثل الحديد ـ فى تركيب عديد من الإنزيمات الهامة التى تدخل فى تفاعلات الأكسدة والاختزال . فهو يعمل كمنشط إنزيمى فى عمليات التنفس وتمثيل البروتين ، ومع ذلك . . ففى كثير من التفاعلات ـ خاصة تفاعلات التنفس ـ يمكن أن تحل الكاتيونات الثنائية الشحنة الأخرى ؛ مثل : Mg^{++} ، وCa^{++} ، وZn^{++} ، و Fe^{++} محل كاتيون المنجنيز ، خاصة المغنيسيوم الذى يحل غالبًا محل المنجنيز .

ويعد المنجنيز ضروريا وأساسيا لعمل إنزيمات أخرى كثيرة ؛ مثل : إنزيمات malic dehydrogenase ، و oxalsuccinic dehydrogenase ، وكلاهما من إنزيمات دورة كربس Krebs cycle . ويمكن أن يحل الكوبالت جزئيا محل المنجنيز بالنسبة لهذين الإنزيمين .

ويعمل المنجنيز كمنشط لإنزيمات تمثيل البروتين nitrate reductase ، و hydroxylamine reductase ، كما أنه يلعب دورًا فى أكسدة إندول حمض الخليك IAA فى النبات .

ويعد المنجنيز منشطًا لواحد أو أكثر من الإنزيمات المسئولة عن تمثيل الدهون ، والإنزيمات التى تدخل فى تكوين الحامضين النووين DNA ، و RNA (عن Resh ١٩٨٥) .

ويمتص المنجنيز فى صورة أيون العنصر .

أعراض نقص المنجنيز

يعتبر المنجنيز من العناصر القليلة التحرك نسبيا فى النبات ؛ لذلك تظهر أعراض نقصه على الأوراق الحديثة أولا . وتتشابه أعراض نقص المنجنيز مع أعراض نقص المغنيسيوم ، عدا أن الاصفرار يحدث على الأوراق الحديثة أولا فى حالة نقص المنجنيز ، بينما يظهر على الأوراق المسنة أولا فى حالة نقص المغنيسيوم .

وتتميز الأعراض باصفرار الأنسجة بين العروق فى الورقة على صورة تبرقش خفيف فى البداية ، ثم يأخذ نصل الورقة لونًا باهتًا مع استمرار نقص العنصر ، وتظهر بقع ميتة متحللة صغيرة عى امتداد وسط الورقة ، وتظل العروق خضراء . وفى حالات النقص الشديدة تمتد الأعراض إلى الأوراق المسنة أيضًا .

ومن أعراض نقص العنصر أيضًا : ظهور بقع متحللة بنية فى الأوراق الفلقية للبسلة والفاصوليا . وفى الذرة السكرية والبصل تظهر خطوط مصفرة على الأوراق . وفى البنجر يكتسب النمو الخضرى لونًا أحمر داكنًا .

وأكثر الخضروات احتياجاً إلى التسميد بالمنجنيز هى : الفاصوليا ، والخس ، والبصل ، والبسلة ، والبطاطس ، والفجل ، والسبانخ ، والطماطم ، والبنجر . وتحت الظروف المصرية تظهر أعراض نقص العنصر بوضوح على الفاصوليا .

وتظهر أعراض نقص المنجينز عندما ينخفض تركيزه فى أنسجة الأوراق عن ٥٠ جزءًا فى المليون على أساس الوزن الجاف ، ولكن مدى التركيز الطبيعى يتباين - كثيرًا - من محصول لآخر .

تيسر المنجنيز فى التربة

يتوفر المنجنيز فى الأراضى التى يقل فيها الـ pH عن ٦,٥ ، ويقل نسبيا فى pH ٦,٥ - ٧ ، ويصبح النقص شديدًا عند زيادة الـ pH عن ٧ . وأفضل pH يتوفر فيه العنصر بكميات مناسبة هو من ٥,٥ - ٦,٢ .

يوجد المنجنيز فى التربة فى الصور الأيونية الثنائية ، والثلاثية ، والرباعية الشحنة . والصورة الثنائية الشحنة توجد ذائبة فى المحلول الأرضى ، أو فى صورة كاتيون

مدمص على سطح حبيبات التربة ، وكلاهما ميسر لامتصاص النبات . والصورة المتبادلة مهمة جدا فى تغذية النبات ؛ لأن تركيز العنصر فى المحلول الأرضى منخفض للغاية . وبالإضافة إلى ذلك . . فإن المنجنيز يوجد بحالة مثبتة فى التربة فى الصورتين الثلاثية الشحنة والرباعية الشحنة ، وبدرجة قليلة نسبيا فى صورته الثنائية الشحنة . ومعظم المنجنيز المثبت يوجد فى الصور الثلاثية والرباعية لأكسيد المنجنيز .

وحيث إن الصورة المختزلة (Mn^{++}) هى الصالحة لامتصاص النبات ؛ لذا نجد أن المنجنيز الميسر يكثر فى الأراضى الرديئة الصرف والحامضية ؛ حيث تختزل الصور الأخرى إلى هذه الصورة تحت هذه الظروف . وبالعكس . . فإن الأراضى القلوية الجيدة التهوية تشجع أكسدة المنجنيز ويصبح غير ميسر للامتصاص ؛ حيث يتكون MnO ، و Mn_2O_3 .

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 $MnSO_4 . 4H_2O$) بمعدل ٩ ـ ١٤ كجم/ فدان للتربة ، ويستعمل الحد الأعلى فى الأراضى القلوية التى يزيد فيها الـ pH عن ٧ ، أو رشا بتركيز ٠,٩ ـ ١,٨ كجم / ٤٠٠ لتر ماء .

البورون

دور البورون فى النبات

من المعتقد أن البورون يلعب دورًا فى تكوين الجدر 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 $H_2BO_3^-$ ، و HBO_3^{2-} ، و BO_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 أولا .

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 غالباً بداية لظهور أعراض نقص العنصر .

ويكون المحتوى الكربوهيدراتى لجذور وسيقان النباتات التى تعانى نقصًا فى البورون قليلا ؛ 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 أحياناً خطوط قاتمة اللون ، مع تشققات على الناحية الداخلية لأعناق الأوراق .

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

أعراض التسمم بالبورون

تظهر أعراض التسمم بالبورون على النباتات الحساسة ، ويحدث ذلك ـ غالبًا ـ فى المناطق القاحلة التى تكون تربتها غنية أصلا 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 بقمة 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 (١٩٨٦ ، و 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 البورون
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 الخضروات حسب احتياجاتها من البورون إلى ثلاث مجموعات كالتالى :

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

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

٣ ـ خضروات 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 تصاعدياً حسب حساسيتها للبورون كالتالى : الذرة السكرية ـ البسلة ـ الفاصوليا ـ فاصوليا الليما ـ البطاطس ـ الطرطوفة ـ اللوبيا .

ولمزيدٍ من التفاصيل يراجع Purvis & Hanna (١٩٤٠) ، و Eaton (١٩٤٤) .

تيسر البورون فى التربة

يتوفر البورون فى الأراضى التى يقل الـ pH فيها عن ٧ ، ويقل البورون نسبيا فى pH ٧ ـ ٧,٥ ، ويصبح النقص شديدًا فىpH ٧,٥ ـ 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 سنويا ، وكذلك فى الأراضى القلوية والعضوية .

ويعتبر تركيز البورون فى المحلول الأرضى منخفضًا جدا ، ويقل بدرجة أكبر فى الأراضى القلوية . وأفضل تركيز للبورون فى محلول التربة هو ٠,١ ـ ١,٠ جزء فى المليون ، وتظهر غالباً أعراض التسمم بالعنصر إذا زاد تركيزه عن ذلك المستوى ، كما تؤدى زيادة التسميد بالبورون إلى ظهور أعراض التسمم ، ويحدث ذلك غالباً 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 ، و Edmond وآخرون ١٩٧٥ ، و Devlin ١٩٧٥ و& Lorenez Maynard ١٩٨٠) .

علاج نقص البورون

يعالج نقص البورون بالتسميد بأحد المركبات الآتية :

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

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

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

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

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

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

الموليبدنم

دور الموليبدنم فى النبات

يدخل الموليبدنم فى تركيب أحد الإنزيمات التى تعمل على اختزال النترات فى النبات إلى أمونيا ، كما يعد ـ كذلك ـ 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 الكلوروبلاستيدات من أى تغير فى تركيبها .

ويبدو أن للموليبدنم دورًا فى ميتابولزم الفوسفور فى النبات .

أعراض نقص الموليبدنم

تتميز أعراض نقص الموليبدنم ـ بصورة عامة ـ بظهور بقع مصفرة غير منتظمة الشكل والتوزيع بين العروق ، وتشوه الأوراق الحديثة ، وموت البرعم الطرفى ، ولاينمو 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 .

ومن أعراض نقص الموليبدنم فى الطماطم والخيار والفاصوليا : التفاف حواف الأوراق ، وتلونها باللون الأصفر أو البنى ، وفى القنبيط : يكون القرص صغيرًا

ومفككًا ، والأوراق ضيقة ، وحواف النصل متآكلة ، وتسمى هذه الحالة بمرض طرف السوط whiptail . وفى البروكولى تأخذ الأوراق شكلا ملعقيا .

وأكثر الخضروات احتياجاً إلى التسميد بالموليبدنم هى : الخس ، والفاصوليا ، والقنبيط ، والبروكولى ، والطماطم ، والخيار ، والبصل ، والسبانخ .

وتظهر أعراض نقص الموليبدنم فى القنبيط والبروكولى فى شكلى (٩ ـ ٥) ، و (٩ ـ ٦) . (عن Climax Molybdenum Comopany ١٩٥٦) .

شكل (٩ ـ ٥) : أعراض نقص الموليبدنم فى القنبيط . يلاحظ صغر الأوراق الداخلية وتآكل حواف النصل ، وهى الظاهرة المعروفة باسم طرف السوط whiptail .

تظهر ـ غالبا ـ أعراض نقص الموليبدنم عندما ينخفض تركيزه فى الأوراق عن ٠,٢ جزءًا فى المليون على أساس الوزن الجاف ، إلا أن مستوى النقص ومستوى الكفاية يتباينان كثيرًا ـ من محصول لآخر ـ من أقل من ٠,١ جزءًا فى المليون إلى أكثر من ٠,٥ جزءًا فى المليون (عن Gupta & Lipsett ١٩٨١) .

شكل (٩ ـ ٦) : أعراض نقص الموليبدنم فى البروكولى يلاحظ أن الأوراق تأخذ شكلا ملعقيا ، وهى أعراض تسبق ظهور حالة « طرف السوط » فى حالات النقص الشديدة .

تيسر الموليبدنم فى التربة

يتوفر الموليبدنم فى الأراضى التى يزيد فيها الـ pH عن ٧ ، ويقل نسبياً فى pH من ٥,٥ ـ ٧ ، ويصبح النقص شديداً عند انخفاض الـ pH عن ٥,٥ ، وذلك بعكس كل العناصر الدقيقة الأخرى .

وتظهر أعراض نقص الموليبدنم فى الأراضى الجيرية بعد استصلاحها وغسيلها ؛ حيث يُفْقَد ما قد يوجد فيها من موليبدنم عند غسيلها .

ويوجد الموليبدنم فى التربة فى صوره الثلاث : المثبتة كجزء من معادن التربة ومن المادة العضوية ، والمدمصة على سطح غرويات الطين ، والذائبة فى محلول التربة ، كأيون موليبدات MoO_4^{--} ، أو $HMoO_4^-$. ويتراوح تركيز الموليبدات الذائبة فى التربة من ٠,٣ و ٣,٩ جزءًا فى المليون من التربة الجافة . ويدمص أيون الموليبدنم بطريقة التبادل الأنيونى ، كما فى حالة أنيونات الكبريتات والفوسفات .

هذا . . ويكفى نحو ٠,٠١ جزءًا فى المليون للتغلب على نقص العنصر فى المحاليل المغذية .

ويعالج نقص الموليبدنم فى التربة باستعمال أحد السمادين التاليين :

١ ـ موليبدات الأمونيوم Ammonium molybdate ، وتحوى ٤٨,٩ ٪ موليبدنم ، وتركيبها : $(NH_4)_2MoO_4$ ، وتستعمل بمعدل ١,٨ كجم/ فدان للتربة سرا فى خنادق ، أو ٣,٦ كجم/ للفدان عند إضفاتها نثرًا .

٢ ـ موليبدات الصوديوم Sodium molybdate ، وتحوى (٣٩,٧ ٪ موليبدنم ، وتركيبها : $Na_2Mo_4 . 2H_2O$ وتستعمل بمعدل ٢٢٥ ـ ٤٥٠ جم/ للفدان للتربة ، أو رشا بتركيز ١١٠ ـ ٤٥٠ جم/ ٤٠٠ لتر ماء .

العناصر الأخرى

ثبتت ضرورة عدد من العناصر الأخرى للنمو الطبيعى فى بعض النباتات ، لكن لا يوجد دليل على ضرورتها لكل النباتات . وهذه العناصر هى : الصوديوم ، والكلور ، والكوبالت ، والسيليكون ، والجاليم ، والألومنيوم ، واليود ، والفاناديوم ، والسيلينيوم .

الصوديوم

أهمية الصوديوم ومدى ضرورته

ثبتت ضرورة الصوديوم لنمو وحياة بعض الطحالب ، لكن لم يثبت ذلك أبدًا بالنسبة للنباتات الراقية . ومع ذلك . . فمن المعروف أن الصوديوم يفيد فى تحسين نمو بعض النباتات . وفى غالبية هذه الحالات حدث التأثير المفيد للصوديوم عندما نقص عنصر البوتاسيوم ؛ الأمر الذى أدى إلى الاعتقاد بأن الصوديوم يقوم ببعض المهام التى يقوم بها البوتاسيوم .

هذا . . ويوجد توازن بين امتصاص الصوديوم وامتصاص الكاتيونات الأخرى ؛ كالكالسيوم والمغنيسيوم . ففى البنجر أدت زيادة الصوديوم إلى زيادة امتصاصه على حساب الكاتيونات الأخرى . ويشذ البوتاسيوم عن هذه القاعدة . . فليس من الضرورى أن تؤدى زيادة الصوديوم إلى نقص امتصاص البوتاسيوم ، ولكن زيادة الصوديوم أو البوتاسيوم ـ بوجهٍ عامٍّ ـ تؤدى إلى نقص امتصاص النبات للكالسيوم

والمغنيسيوم . ويبدو أن الخضروات التى تمتص أكبر قدر من الصوديوم ـ دون أن يتأثر امتصاصها من البوتاسيوم ـ هى أكثر الخضروات استجابة للتسميد بالصوديوم (Larson & Pierre ١٩٥٣) .

ولا يعرف على وجه الدقة الدور الذى يلعبه الصوديوم فى النباتات التى تستجيب للتسميد بهذا العنصر ، ولكن من المعروف أنه يزيد نسبة الرطوبة فى الأنسجة النباتية ، كما أنه يؤدى إلى زيادة مساحة الأوراق فى بنجر السكر . وربما يفيد الصوديوم فى منع تراكم كاتيونات أخرى بالنبات قد تكون ضارة له (Russell ١٩٧٣) .

استجابة محاصيل الخضر للصوديوم

أكثر الخضروات استجابة للتسميد بالصوديوم هى : البنجر ، والسلق السويسرى ، والكرفس ، واللفت . وبرغم أن السبانخ تشترك مع البنجر فى أنهما من أكثر الخضروات تحملا لملوحة التربة ، إلا أن السبانخ لا تستجيب للتسميد بالصوديوم ، فى حين يستجيب البنجر بشدة لذلك . كذلك يعتبر الكرفس من أقل الخضروات تحملا لملوحة التربة ، ومع ذلك . . فهو من أكثر الخضروات استجابة للتسميد بالصوديوم ؛ وعليه . . فلا توجد علاقة بين درجة تحمل المحصول للملوحة ، وبين احتياجه إلى التسميد بالصوديوم .

وتقسم الخضر حسب درجة استفادتها من التسميد بالصوديوم (عند نقص البوتاسيوم أو توفره فى التربة) إلى المجموعات التالية :

أولا : فى حالة نقص عنصر البوتاسيوم :

١ ـ خضر الاستفادة فيها قليلة جدا : الخس ـ البطاطس ـ فول الصويا ـ السبانخ ـ الفراولة ـ الفاصوليا .

٢ ـ خضر الاستفادة فيها قليلة إلى متوسطة : البروكولى ـ كرنب بروكسل ـ الجزر ـ البسلة ـ الطماطم .

ثانيًا : فى حالة توفر عنصر البوتاسيوم :

١ ـ خضر الاستفادة فيها قليلة إلى متوسطة : الكرنب ـ الكيل ـ كرنب أبو ركبة ـ المسترد ـ الفجل .

٢ ـ خضر الاستفادة فيها كبيرة : الكرفس ـ بنجر السكر ـ السلق السويسرى ـ بنجر المائدة ـ اللفت .

الكلور

ثبت بالتجربة أن عنصر الكلور ضرورى للطماطم فى المزارع المائية ، ولكن لم يثبت أبدًا نقص الكلور تحت ظروف الحقل ؛ وذلك لتوفره كشوائب فى كل الأسمدة ، كما ثبتت ضرورة الكلور لنمو نحو ٤٠ نوعًا نباتيا . والحد الأدنى للعنصر فى النبات هو ١٠٠ جزء فى المليون من الوزن الجاف .

ويعتبر أيون الكلور ضروريا فى عملية النباء الضوئى ؛ لأنه يسهم فى عملية أكسدة الماء . كما يلعب العنصر دورًا فى تطور النمو الجذرى .

ويعتبر ماء المطر هو المصدر الأساسى للكلور ، وخاصة فى المناطق القريبة من البحار والمحيطات . وأيون الكلور ـ مثل النترات والبورات ـ لا يثبت فى التربة ، ويكون عرضة للفقد بالرشح .

هذا . . ويحل أيون البروم محل الكلور ، وكلاهما ضرورى لنمو البنجر (Edmond وآخرون ١٩٧٥ ، و Devlin ١٩٧٥) .

من أهم أعراض نقص الكلور ذبول الأوراق ، وظهور اصفرار وتحلل ومناطق برونزية اللون بنصل الورقة الذى يتوقف عن النمو .

ولا تظهر أعراض نقص العنصر ـ عادة ـ إذا زاد تركيزه على ١٠٠ جزء فى المليون على أساس الوزن الجاف .

السيليكون

ثبتت ضرورة السيليكون للأرز ولعديد من الطحالب ، كما وجد أنه يحسن نمو الشعير وعباد الشمس . ويشكل السيليكون جزءًا كبيرًا من الرماد فى النباتات بوجه عام .

وفى الخيار . . أدى التسميد بالسيليكون فى المزارع المائية بتركيز ٠,٧٥ مللى مولار (باستخدام ميتاسيليكات البوتاسيوم Potassium metasilicate) إلى زيادة

المحصول بنسبة حوالى ٣,٥ ٪ ، وإلى انخفاض معدل الإصابة بالفطر Fulvia fulva (Tanis ١٩٩١) .

ومن أكثر محاصيل الخضر تحملاً لزيادة الكلور : البنجر ، والسبانخ ، والهليون ، ومن أكثرها حساسية لزيادته : الخس ، والفاصوليا ، والبطاطس .

الكوبالت

لم تثبت ضرورة الكوبالت إلا لبعض الطحالب الخضراء المزرقة .

الجاليم

لم تثبت ضرورة الجاليم gallium إلا لنبات حشيشة البط duck weed (Lemma minor) ، و لفطر Aspergillus niger .

الالومنيوم

يُحَسِّن الألومنيوم من نمو عديد من النباتات .

الفاناديم

لم تثبت ضرورة الفاناديم Vanadium إلا بالنسبة لبعض الطحالب الخضراء .

السيلينيوم

يعتبر السيلينيوم Selenium ضروريا لعدد قليل من النباتات .

مصادر إضافية للعناصر المغذية واعراض نقصها

يعد مرجع Wallace (١٩٦١) من أشمل المصادر فيما يتعلق بأعراض نقص العناصر المغذية فى النباتات . ويضم المرجع أكثر من ٣٠٠ صورة ملونة لأعراض نقص العناصر فى مختلف النباتات ، كما أصدرت وزارة الزراعة البريطانية سلسلة من الكتب لمعرفة أعراض نقص العناصر فى النباتات ، وتعتبر بديلة للمرجع السابق ، ويهم منتج الخضر منها المجلد الأول (Bould وآخرون ١٩٨٣) ، وهو عبارة عن الأساسيات ، والمجلد الثانى (Scaife & Turner ١٩٨٣) ، وهو خاص بأعراض

نقص العناصر فى محاصيل الخضر . وكذلك يعتبر Van Eysinga وآخرون (١٩٨١) مرجعًا شاملا بالصور الملونة لأعراض نقص العناصر وزيادتها فى ثلاثة من أهم محاصيل الصوبات ؛ وهى : الطماطم ، والخيار ، والخس .

obeikandl.com