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

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

احتياجات محاصيل الخضر من البوتاسيوم

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

ومعظم الخضراوات ذات احتياجات عالية من البوتاسيوم. وتزداد الكمية المستنفذة من العنصر بالتربة فى حالة الخضراوات 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 ٤٥-٧٠ كجم/فدان (Wilcox ١٩٦٩).

الكالسيوم

أهمية الكالسيوم للنبات

يلعب الكالسيوم دورًا كبيرًا 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 المغنيسيوم على لصق سلاسل السليلوز بعضها ببعض 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 الكروموسومات؛ لأن لنقص الكالسيوم علاقة بظهور بعض التراكيب الكروموسومية غير الطبيعية Chromosomal abnormalities.

وللكالسيوم دور منشط لبعض الإنزيمات؛ مثل: phospholipase و arginine 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 أولاً.

وأعراض نقص العنصر هى ظهور لون أخضر مصفر على الأوراق الحديثة، بينما تبقى الأوراق المسنة بلون أخضر عادى، إلا أن حوافها تكون — عادة — 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 نـذكر منهـا – فى محاصيل الخضر – ما يلى:

١- القلب الأسود Blackheart فى الكرفس.

٢- القلب البنى Browheart فى الهندباء.

٣- احتراق حواف الأوراق Tipburn فى الخس.

٤- احتراق حواف الأوراق الداخلية Internal Tiprburn فى الكرنب.

٥- التلون البنى الداخلى Internal Browning فى كرنب بروكسل.

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

٧- البقـع الكهفيـة Cavity Spot فـى الجـزر والجـزر الأبـيض (عـنMaynard ١٩٧٩).

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

وتظهر مشاكل نقص الكالسيوم – عادة – عندما يـنخفض تركيـزه فـى الأوراق عـن ٠,٨٪ على أساس الوزن الجاف.

يتراوح التركيز الطبيعـى للكالـسيوم فـى النبـات بـين ٠,٥٪، و٢,٠٪ علـى أسـاس الوزن الجاف. وعلى الرغم من أن احتياجات النبـات الفعليـة مـن الكالـسيوم لا تتجـاوز ٠,٠٨٪ على أساس الـوزن الجـاف، فـإن الكميـات الكـبيرة التـى يمتـصها النبـات مـن العنصر ضرورية للتخلص من التأثيرات الـسامة للكاتينونـات الأخـرى، وخاصـة المعـادن الثقيلة مثل المنجنيز والنحاس والزنك (Jones ١٩٩٧).

ولقد أحدث النقص الشديد للكالسيوم فى المحلول المغذى لنباتات الطماطم لـمدة خمـسة أيام – وليس لفترة أقل – نقصًا جوهريًّا فى النمو النبـاتى وصـل إلى ٧٠٪ مـع ظهـور بعـض

أعراض النقص بالأوراق، ثم موت النبات بعد اثنى عشر يومًا من ذلك (أى من فترة نقص العنصر لمدة خمسة أيام) حتى ولو تم تصحيح النقص بعد يومين اثنين آخرين. وأظهرت جميع أوراق النبات نقصًا فى العنصر بسبب تحركه نحو القمة النامية؛ بما يعنى أن العنصر يُعد متحركًا جزئيًا. كذلك صاحب نقص الكالسيوم تكوين النبات لثلاث أنواع من البروتينات الدفاعية لم يكن قد سبق عزلها إلاّ فى حالات الدفاع ضد الإصابات المرضية، وهى الـ pothogensis related proteins (أو PRP) أرقام ١، و٣، و٧ (Baboulène وآخرون ٢٠٠٧).

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 رشًّا، أو مع ماء الرى بأحد المركبين التاليين:

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

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

انتقال الكالسيوم فى النبات

يكون انتقال الكالسيوم فى معظم الأنواع المحصولية — فى صورته الأيونية Ca^{2+}- من خلال الجدر الخلوية apoplast، حيث يسلك الجزء الأكبر منه هذا المسار فى الانتقال من نسيج لآخر، على الرغم من أن تلك النظرية أصبحت تواجَه بتحديات متزايدة. ومن المسلم به أن الانتقال خلال الجدر الخلوية يرتبط ارتباطًا قويًا بمعدل النتح. وما أن يصل الكالسيوم إلى الفجوات العصارية، فإنه نادرًا ما يُعاد توزيعه؛ مما يؤدى إلى تزايد تركيز العنصر فى الأعضاء كثيرة النتح. هذا .. إلا أن تدفق الماء ذاته يُنظَّم فى النبات بأيون الكالسيوم فى كل من: الجدر الخلوية من خلال تأثيره على

بنائها وانفتاح الثغور، وداخل السيتوبلازم symplast من خلال تنظيم الكالسيوم لفتح الممرات المائية aquaporins، وهى التى تنظِّم التدفق من خلال الأغشية (عن Gilliham وآخرين ٢٠١١).

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 (عن Palzkill & Tibbitts ١٩٧٧). كما يثبت العنصر فى صورة 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.

وقد انتقل أكثر من ٩٥٪ من الماء الممتص فى الطماطم إلى النموات الخضرية خلال فترة النهار التى امتدت لاثنتى عشرة ساعة، بينما لم تنتقل سوى كميات ضئيلة خلال الليل. وقد ساعدت زيادة الرطوبة النسبية ليلاً فى زيادة تدفق الماء الممتص أثناء الليل كثيرًا؛ الأمر الذى يُفترض أنه حدث بسبب زيادة الضغط الجذرى فى تلك الظروف. هذا .. إلاّ أن الرطوبة النسبية العالية ليلاً قللت من توزيع الكالسيوم، مقارنة بتوزيعه عندما كانت الرطوبة النسبية منخفضة ليلاً (Choi وآخرون ١٩٩٩).

تيسر الكالسيوم فى التربة

يتوفر الكالسيوم فى التربة فى pH أعلى من ٧، ويقل نسبيًا فى pH من ٥,٥ – ٧، ويصبح النقص شديدًا فى pH أقل من ٥,٥.

والكالسيوم هو الكاتيون السائد فى معظم الأراضى، ويشكل – عادة – أكبر نسبة من الكاتيونات المتبادلة، ولكنه يفقد – بسهولة – 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 متحدًا كيميائيًّا مع عناصر أخرى فى تركيب بعض المعادن كالأنورثيت anorthite ($CaAl_2Si_2O_8$) وفى الكالسيت Calcite ($CaCO_3$) فى المناطق القاحلة وشبه القاحلة. ويكثر فوسفات الكالسيوم الثلاثى – غير القابل للذوبان – فى الأراضى القلوية.

المغنيسيوم

دور المغنيسيوم فى النبات

يعد المغنيسيوم عنصرًا ضروريًّا لتكوين جزئ الكلوروفيل؛ حيث يدخل فى تركيب كل من كلوروفيل أ، ب؛ لذلك فهو أساسى لعملية البناء الضوئى. كما أن بكتات المغنيسيوم 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^{++}.

أعراض نقص المغنيسيوم

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

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 مظهرًا براقًا.