

الفصل السادس

Potassium البوتاسيوم

Sulphur الكبريت

Calcium الكالسيوم

Magnesium الماغنسيوم

البوتاسيوم Potassium

يُعتبر البوتاسيوم عنصر من أكبر ثلاثة عناصر مغذية كبرى، حيث يمتص بواسطة النباتات بكمية تفوق باقي العناصر فيما عدا النيتروجين وفي بعض الاحيان الكالسيوم. وعلى عكس العناصر الكبرى الاخرى، فإنه لم يثبت حتى الآن دخول عنصر البوتاسيوم في بناء المركبات العضوية الضرورية واللازمة لا استمرار وجود النبات. وبالرغم من هذه الحقائق فإن البوتاسيوم عنصر لا غنى عنه، ولا يمكن لعنصر آخر مشابه له كالصوديوم أو الليثيوم أن يحل محله تماماً، إذ يوجد البوتاسيوم دائماً على هيئة مركبات غير عضوية ذائبة، ولو أنه يتحد أيضاً بالاحماض العضوية، ويتدخل هذا العنصر في تكوين الكربوهيدرات وما ينشأ منها من مركبات أخرى، ويعمل على تنظيم محتويات الخلية من الماء، ويساعد في عملية تكثيف المركبات البسيطة إلى مركبات معقدة كما أنه ينشط الإنزيمات. ويوجد هذا العنصر بكميات كبيرة في الاعضاء الحديثة السن النشيطة النمو، وخاصة البزاعم والاوراق الصغيرة وقمم الجذور وخصوصاً في سائل الخلية Cell sap والسيتوبلازم، في حين أنه قليل التركيز في البذور والانسجة الناضجة. وينتقل البوتاسيوم وبحرية تامة خلال الانسجة؛ ولذلك يستطيع النبات أن يُعيد استخدامه مرة أخرى بانتقاله من الانسجة القديمة إلى الانسجة النامية.

البوتاسيوم في الأرض Potassium in Soil

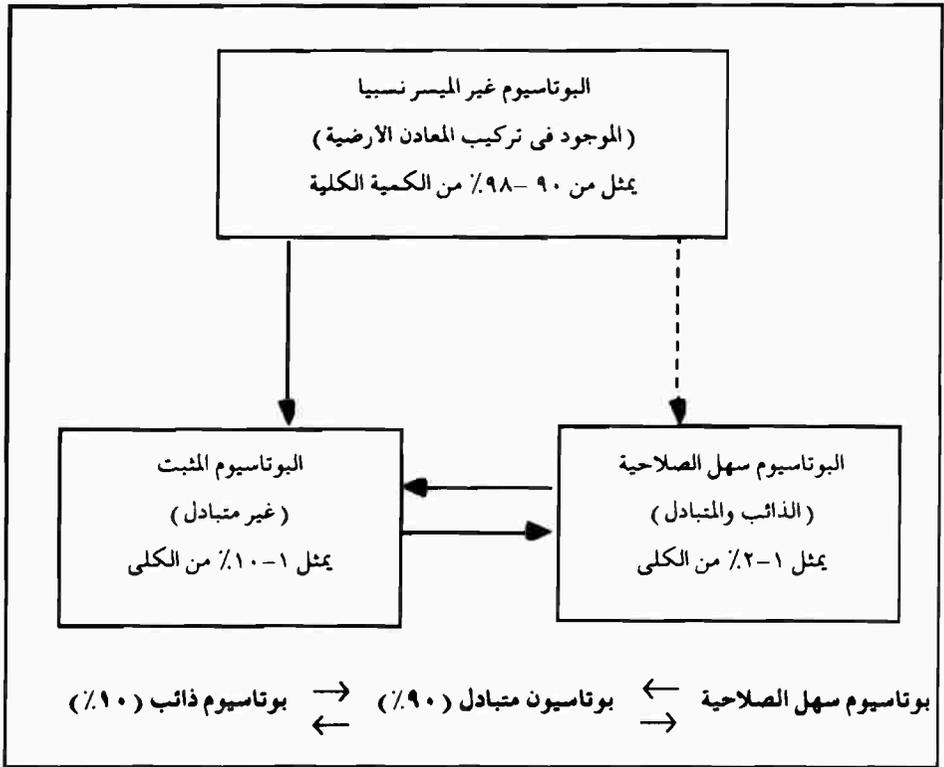
يُعتبر البوتاسيوم من أكبر العناصر شيوعاً بالقشرة الأرضية، حيث يُمثل ٠.٣-٢.٥٪ من المكونات المعدنية للقشرة الأرضية. ويدخل البوتاسيوم في تركيب بعض المعادن التي تُصبح غنية في محتواها من هذا العنصر، وعندما تتركز هذه المعادن في بعض الاماكن تُعتبر هذه المناطق مناجم تمد العالم بكميات كبيرة من أملاحه. ويوجد البوتاسيوم في المعادن الأولية Primary minerals والتي تعتبر المصدر الاساسي للبوتاسيوم مثل: الفلسبارات البوتاسية Potash feldspars ومنها: الأورثوكلاز والميكروكلين $KAlSi_3O_8$ Orthoclase and Microcline، وتُحوى من ٤-١٥٪ K_2O ، المسكوفاييت $KAl_3Si_3O_{10}(OH)_2$ Muscovitete، وتُحوى من ٧-١١٪ K_2O

والبيوتاييت $K(Mg,Fe)_2 Al_2 O_{10} (OH)_2$ ، كذلك يوجد البوتاسيوم فى كثير من المعادن الثانوية (الطين) وعلى هذا تكون الاراضى الغنية فى الطين ذات محتوى أكبر من البوتاسيوم بالمقارنة بالاراضى الرملية أو العضوية، وبالرغم من وجوده فى الاراضى الطينية بكمية أكبر إلا أن محلولها الأرضى لا يحتوى على كميات كبيرة منه بسبب إدمصاص هذا الكاتيون على أسطح حبيبات الطين، ولكن هناك توازن دائم بين هذه الكمية المدمصة والذائبة فى المحلول الأرضى. وتختلف قدرة كل من المركبات السابقة على إمداد المحلول الأرضى بالبوتاسيوم وذلك حسب مقاومة تلك المركبات لعوامل التجوية، ويمكن ترتيب هذه المركبات حسب سرعة تجويتها كما يلى:

الطين (الإيليت) < الميكا (المسكوفاييت والبيوتاييت) < الفلسبارات (الأورثوكلاز والميكروكلين)

يوجد البوتاسيوم فى التربة الزراعية بأشكال متعددة ويمكن تقسيمها إلى:

- أ - البوتاسيوم الموجود فى تركيب المعادن الأرضية.
 - ب - البوتاسيوم المثبت (غير قابل للتبادل).
 - ج - البوتاسيوم المتبادل (هذا الجزء يمكن استخلاصه بواسطة خلاص الامونيوم).
 - د - البوتاسيوم الذائب فى المحلول الأرضى (ذائب فى الماء).
- ويطلق على الصورتين الاخيرتين غالباً البوتاسيوم الميسر (available K)، حيث تعتبر من أسهل مصادر إمداد جذور النبات النامى بواسطة البوتاسيوم.



شكل (٦-١): العلاقة بين الصور المختلفة للبوتاسيوم في التربة الزراعية

من شكل (٦-١) نجد أن هناك اتزاناً بين الصور المختلفة للبوتاسيوم الموجودة بالأرض. ويمكن تقسيم صور البوتاسيوم الموجودة بالأرض على أساس درجة تيسير هذه الصور للنبات إلى ثلاثة أقسام رئيسية:

١- البوتاسيوم غير الميسر نسبياً *Relatively unavailable potassium* وتمثل هذه الصورة من ٩٠ إلى ٩٥٪ من البوتاسيوم الكلي.

٢- البوتاسيوم (المثبت) البطيء الصلاحية *Slowly available*.

٣- البوتاسيوم سريع الصلاحية *Readily available*. وتعتبر صورتان الأخيرتان ذات تأثير معنوي من وجهة نظر تغذية النبات وإنتاج المحاصيل. ويمكن تناول الصور المختلفة بشيء من التفصيل:

أولاً: البوتاسيوم غير المُيسر نسبياً **Relatively Unavailable Potassium**

الجزء الأكبر من البوتاسيوم الكلى والموجود فى الأرض يوجد فى هذه الصورة. ويتواجد البوتاسيوم والمُصنّف فى هذه الصورة فى تركيب المعادن الأولية، وأهم هذه المعادن الفلسبارات Feldspars والميكا Mica. ونظراً لأن هذه المعادن السليكاتية شديدة المقاومة لعمليات التجوية، فإن كمية البوتاسيوم المنطلقة والتي تُصبح مُيسرة للنبات تكون قليلة خلال موسم نمو المحصول. وعلى الرغم من ذلك تُعتبر هذه الصورة ذات أهمية كبيرة نظراً لمساهمتها فى الحفاظ على مستوى البوتاسيوم المُيسر على المدى الطويل، بتوافر ظروف التجوية الكيميائية وخاصة المذيبات مثل: الماء وحمض الكربونيك والأحماض العضوية ينطلق البوتاسيوم تدريجياً من هذه المعادن نتيجة لحدوث الإذابة والتحلل.

ثانياً: البوتاسيوم بطئ الصلاحية **Slowly Available**

البوتاسيوم بطئ الصلاحية يتكون من البوتاسيوم المُثبت بواسطة بعض معادن الطين مثل: الإيلليت Illite والفيرميكولايت Vermiculite والكلورايت Chlorite، حيث يكون البوتاسيوم مرتبطاً أو مُثبتاً بين طبقات السليكا والألومنيوم فى تلك المعادن. والبوتاسيوم المحجوز بهذه الطريقة لا يكون سهل التحرر أو الانطلاق إلى المحلول الأرضى، وبالتالي يكون بطئ الصلاحية للنباتات النامية. كما أن البوتاسيوم الموجود فى هذه الصورة غير قابل للتبادل مع الأيونات الأخرى المشابهة له فى الشحنة الكهربائية خلال عملية التبادل الأيونى المعروفة وبالتالي يُطلق عليه اسم البوتاسيوم غير القابل للتبادل Nonexchangeable أو المُثبت Fixed.

ثالثاً: البوتاسيوم سريع الصلاحية **Readily Available**

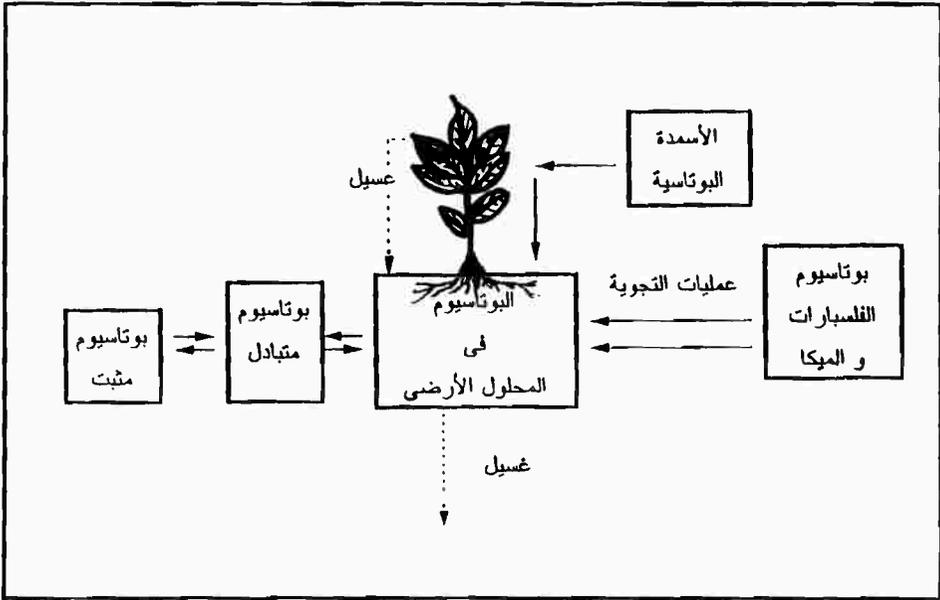
تمثل كمية البوتاسيوم سهلة الصلاحية من ١-٢٪ وهى نسبة ضئيلة من الكمية الكلية، وهى تشمل البوتاسيوم الذائب والذى يُمثل ١٠٪ من هذه الصورة والبوتاسيوم المتبادل على أسطح الغرويات الأرضية والذى يُمثل ٩٠٪. والبوتاسيوم المتبادل يكون فى حالة اتزان مع البوتاسيوم الذائب وهما يُمثلان المصدر الرئيسى للبوتاسيوم الممتص بواسطة النباتات النامية. ويعتبر البوتاسيوم الذائب فى المحلول الأرضى أكثر الصور تعرضاً

لعملية فقد الغسيل . ونتيجة لأن كلاً من البوتاسيوم الذائب والمتبادل يكونان في حالة اتزان ديناميكي باستمرار فيكون هذا مهم من الناحية العملية، لأنه بامتصاص النبات للبوتاسيوم الذائب يحدث خلل في هذا الاتزان نتيجة لانخفاض التركيز في المحلول الأرضي، وبالتالي يحدث انطلاق لأيونات البوتاسيوم المتبادلة على أسطح الغرويات الأرضية إلى المحلول الأرضي، والعكس تماماً يحدث بزيادة التركيز في المحلول الأرضي نتيجة إضافة أسمدة بوتاسية . وبصفة عامة يُعتبر بوتاسيوم المحلول الأرضي والبوتاسيوم المتبادل هما المصدران الأساسيان للبوتاسيوم المتصص بواسطة النبات .

دورة البوتاسيوم في الأرض Potassium cycle in soil

يمكن توضيح دورة البوتاسيوم بالرسم الموضح في شكل (٦-٢) . الجزء الأعظم من البوتاسيوم موجود ضمن التركيب الكيميائي لبعض المعادن الأولية، وخلال عملية التجوية سواء الطبيعية والكيميائية والبيولوجية منها يحدث تفتيت وتكسير لتلك المعادن والتمثلة في مادة الأصل وينتج حبيبات معدنية مختلفة الحجم يتراوح من حجم حبيبات الطين إلى حجم حبيبات الرمل، ونتيجة لعملية التفتيت لتلك المعادن تنطلق بعض العناصر ومنها عنصر البوتاسيوم، وأيضاً يحدث تكوين لبعض معادن الطين الثانوية . ووجد أن هناك علاقة بين الكمية المنطلقة من البوتاسيوم وحجم الحبيبات الناتجة من عملية التفتت، حيث تتأثر عمليات تثبيت وانطلاق البوتاسيوم بنسبة كل من كمية الرمل والسلت أو الطين، وأيضاً بنوع معدن الطين . وفي الأراضي ذات القوام الرملى أو السلتي تكون حبيباتها من الكوارتز أو معادن أخرى مثل الفلسبار، ولكن لوجود هذه الحبيبات في هذا الحجم الكبير نسبياً تكون قابليتها للإذابة قليلة جداً، وأيضاً النشاط السطحي لها قليل وبالتالي تكون قدرتها على تثبيت البوتاسيوم قليلة جداً . ويمكن ترتيب قابلية المعادن الأولية والغنية في البوتاسيوم حسب درجة مقاومتها إلى عملية التجوية كما يلي :

الفلسبارات < الميكا < الإيليليت



شكل (٦-٢): دورة البوتاسيوم في الأرض

ومعظم البوتاسيوم الناتج من عملية التجوية يتحول إلى الصورة المتبادلة والذي يُعرف على أنه البوتاسيوم المدمص على أسطح غرويات التربة والتي تحمل شحنة سالبة. ويمكن استخلاص هذه الصورة ببعض المحاليل الخاصة بذلك مثل: خلات الامونيوم $Ammonium\ acetate$ ، وتتوقف هذه الكمية على التركيب المعدني للتربة -نسبة الرطوبة- ظروف التجوية- عمليات الغسيل- السعة التبادلية الكاتيونية للتربة- تركيز الأيونات الأخرى ومحتوى التربة من كبريتات وكربونات الكالسيوم (واللتان تعملان على تقليل مواقع التبادل، وبالتالي تنخفض السعة التبادلية الكاتيونية مما يقلل من محتوى التربة من البوتاسيوم المتبادل). ويعتبر البوتاسيوم المتبادل صورة ميسرة للنبات، حيث ترتبط هذه الصورة بحالة اتزان سريع مع الصورة الذائبة، وقد يصعب فصل الصورتين عن بعضهما حتى أثناء التقدير الكمي. والبوتاسيوم الناتج من عملية التجوية يتحول إلى الصورة غير المتبادلة والتي تُعرف على أنها الصورة البطيئة والمتوسطة التحرر. وهناك علاقة وثيقة بين الصورة المتبادلة وغير المتبادلة والتي تعتمد على حالة الاتزان الكيميائي بينهما، ولا يمكن النظر إلى الصورة غير المتبادلة على أنها غير ميسرة

للنبات، حيث ثبت أن النباتات يمكن تمتص جزء من هذه الصورة تحت ظروف معينة. وسرعان ما تتحول هذه الصور إلى الصورة الأيونية K^+ الذائبة في المحلول الأرضي. ومن مصادر البوتاسيوم الذائب في المحلول الأرضي البوتاسيوم المضاف في صورة أسمدة كيميائية. والنباتات تمتص البوتاسيوم كأيون K^+ بصورة أساسية من المحلول الأرضي وكمية قليلة من البوتاسيوم المتبادل على أسطح التبادل عن طريق التبادل بالتماس، وكمية أخرى من البوتاسيوم الذائب في المحلول الأرضي تدخل في تفاعلات التبادل الأيوني ويحدث لها إدمصاص على أسطح الغرويات المعدنية. وبصفة عامة هناك عدة عوامل تؤثر على الكمية الميسرة من البوتاسيوم في المحلول الأرضي سوف نتناولها بشيء من التفصيل.

العوامل المؤثرة على تثبيت البوتاسيوم في الأرض

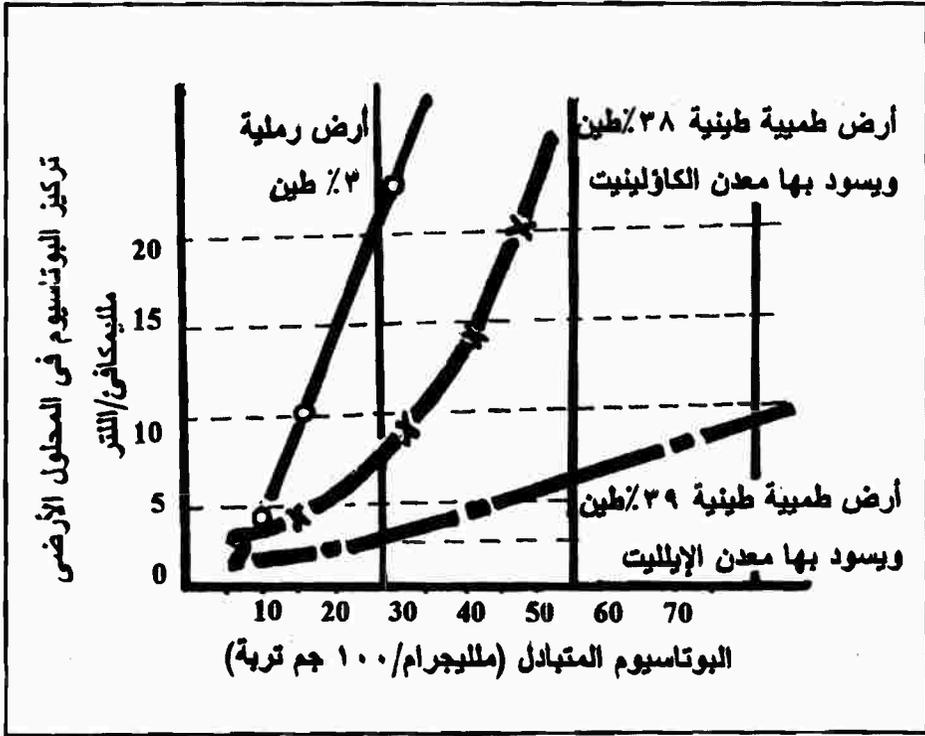
١ - كمية ونوع الطين:

عادة يتم تثبيت البوتاسيوم بواسطة معادن الطين داخل الفجوة السداسية في طبقة التتراهدرا السيليكا، وخاصة معادن الطين من نوع ٢:١ وذلك لتقارب نصف قطر أيون البوتاسيوم (١,٣٣ أنجستروم) مع نصف قطر هذه الفجوة (١,٣٥ أنجستروم). وتتم عملية التثبيت نتيجة انتقال الأيون من مواقع التبادل المشبعة إلى هذه الفجوات، وبالتالي فإن معادن الطين السائدة يكون لها تأثيرها الكبير في عملية التثبيت. ومن هنا تختلف قدرة معادن الطين فيما بينها على تثبيت البوتاسيوم. ويمكن توضيح ذلك بنتائج إحدى الدراسات في ألمانيا Nemeth and Hrrach سنة ١٩٧٤، حيث تم استخدام ثلاث عينات تربة مختلفة في محتواها من الطين الأولى بها ٣٪، الثانية بها ٣٨٪ ونوع معدن الطين السائد الكاؤولينيت، بينما العينة الثالثة تحوى ٣٩٪ طين لكن معدن الطين السائد هو الإيليت. وكانت النتائج كما يوضح الشكل (٦-٣).

أ - عند نفس المستوى من البوتاسيوم المتبادل، كان تركيز البوتاسيوم في المحلول الأرضي في الأراضي الطينية منخفض عنه في الأرض الرملية (٣٪ طين).

ب - عند نفس المحتوى من الطين (٣٨٪ و ٣٩٪ طين) يختلف تركيز البوتاسيوم في

المحلل الأرضى اعتماداً على نوع معدن الطين، حيث وجد أن العينة الغنية بمعدن الإيليت تدمص كمية أكبر من البوتاسيوم مما أدى إلى انخفاض التركيز في المحلول الأرضى بالمقارنة بالعينة الغنية بمعدن الكاؤولينيت.



شكل (٦-٣): تأثير كمية ونوع معادن الطين على كمية البوتاسيوم الذائبة في المحلول الأرضى

وعلى ذلك فعند إضافة كميات متساوية من أسمدة البوتاسيوم (مثلاً لرفع مستويات البوتاسيوم المتبادل من ٥ إلى ١٥ مليجرام/١٠٠ جم تربة) نجد أن تركيز البوتاسيوم في المحلول الأرضى للأرضى الرملية والتي تحوى كمية قليلة من الطين يرتفع بشدة، ويرجع ذلك لان الكمية القليلة من الطين يحدث تشبع لاسطح التبادل عليها بسرعة، بينما فى الاراضى الثقيلة والتي تحتوى على ٢٩٪ طين فإن تركيز البوتاسيوم فى المحلول الأرضى يكون قليل ويرجع ذلك لان محتوى تلك الأرض مرتفع من معدن الإيليت، والذي يقوم بإدمصاص البوتاسيوم المضاف بسرعة. فى حين نجد أن الأرض الغنية فى معدن

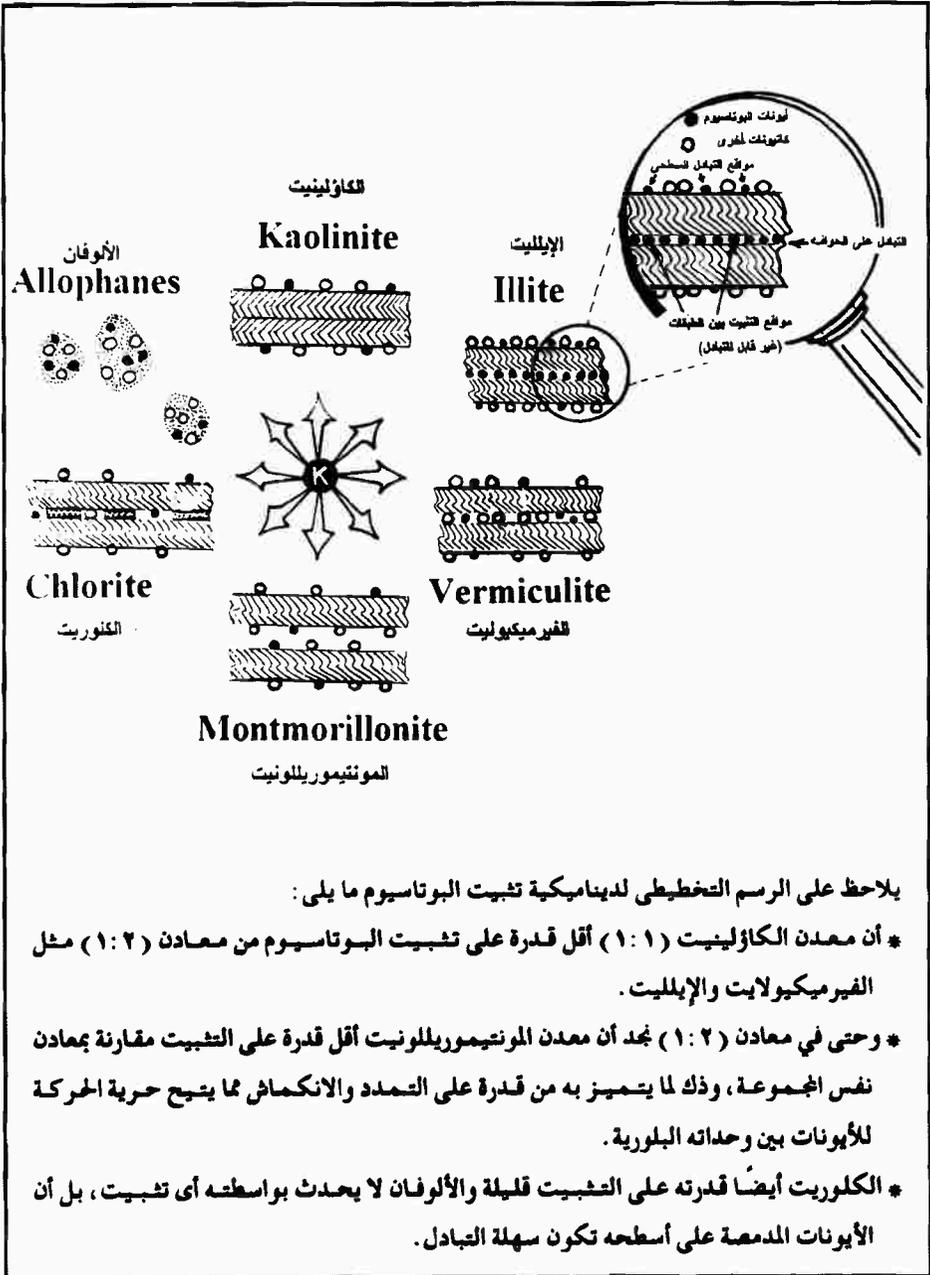
الكاؤولينيت تأخذ موقعاً متوسطاً، وعلى الرغم من أن هذه الأرض ثقيلة (بها ٣٨٪ طين) إلا أن تركيز البوتاسيوم في المحلول الأرضي يكون مرتفعاً كما في الأرض الرملية تقريباً. ويمكن تقسيم معادن الطين الموجودة في الأرض حسب درجة تثبيتها للبوتاسيوم إلى ثلاث مجموعات أساسية يمكن توضيح ديناميكية تثبيت كل منها للبوتاسيوم في شكل (٦-٤) وهذه المجموعات هي:

أولاً: معادن الكاؤولينيت

وهذه المعادن من نوع ١:١ وقدرتها على التثبيت قليلة نظراً لطبيعة تركيبها البلوري وقلّة كمية الشحنة السالبة على أسطحها، وعلى ذلك تكون الكمية المنطلقة من البوتاسيوم في الأراضي الغنية في الكاؤولينيت أقل منها من تلك التي تحتوى على نسبة عالية من المعادن من نوع ١:٢. ويرجع ذلك لأن الكاؤولينيت لا يثبت البوتاسيوم بين طبقاته، لكن يمسكه بقوة على أسطحه الخارجية عند الحواف لأن مصدر الشحنة هو طبقة التتراهيدرا (خارجية).

ثانياً: معادن الإيلليت والفيرمكولايت

هذه المعادن من نوع ١:٢ وتتميز بقدرتها العالية على تثبيت البوتاسيوم نظراً لطبيعة تركيبها البلوري، وعلى ذلك فهذه المعادن تدمص البوتاسيوم من المحلول الأرضي وتثبته بين الوحدات البلورية لها، والتثبيت يتم بطريقة طبيعية وذلك لتشابه حجم كل من أيون البوتاسيوم والمسافة البينية بين الوحدات البلورية، وأيضاً مما يزيد من عملية التثبيت عدم قابلية هذه المعادن على التمدد بالرطوبة. والبوتاسيوم المثبت لا يكون صالحاً للنبات في حينه لكن ينطلق ببطء مع انخفاض تركيز كل من البوتاسيوم المتبادل والبوتاسيوم الذائب.



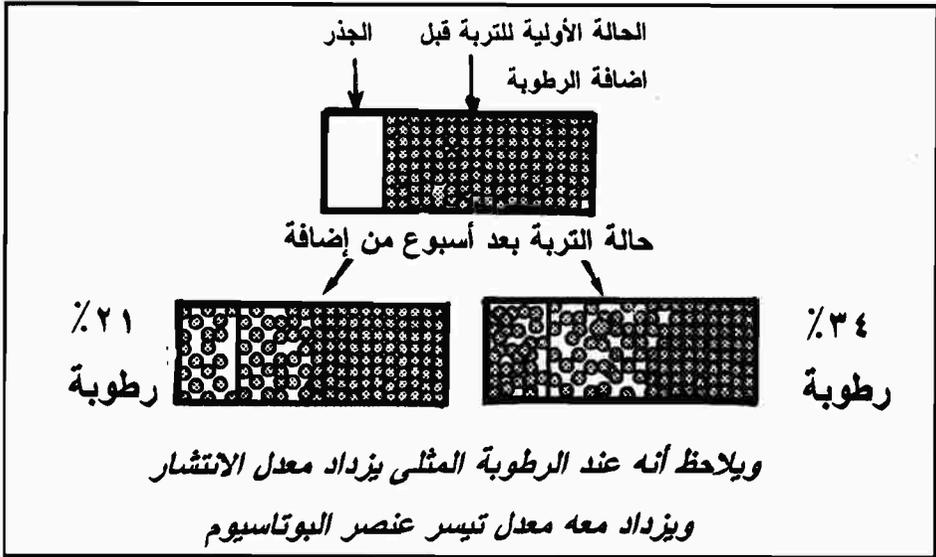
شكل (٦-٤): رسم تخطيطي يوضح ديناميكية تثبيت البوتاسيوم بمعادن الطين المختلفة

ثالثاً: معدن المونتيموريللونيت :

هذا المعدن أيضاً من نوع ٢ : ١، لكنه لا يثبت البوتاسيوم نظراً لأن قوة الربط بين المعدن وأيون البوتاسيوم منخفضة؛ لأن مصدر الشحنة يكون طبقة الأوكتايدرا البعيدة عن السطح الخارجى وذلك عكس معدن الكاؤولينيت . وأيضاً هذا المعدن له القدرة على التمدد والانكماش مما يساعد على حرية دخول وانطلاق أيون البوتاسيوم من مواقع التبادل الدمصة على الأسطح الداخلية بين الوحدات البلورية للمعدن . ونتيجة لأن السعة التبادلية الكاتيونية لهذا المعدن مرتفعة فمن المتوقع أن تكون كمية البوتاسيوم المتبادلة كبيرة وهى تعتبر صورة صالحة للنبات، وبالتالي يمكن القول بأن التثبيت بواسطة هذا المعدن لا يعتبر مشكلة، بل يعتبر البوتاسيوم المتبادل مخزون صالح للاستهلاك بواسطة النبات . علماً بأنه فى حالة الجفاف الشديد يمكن أن يحدث تثبيت لجزء من البوتاسيوم الموجود على الأسطح الداخلية وسرعان ما ينطلق للمحلول الأرضى مع ابتلال هذه المعادن .

٢ - محتوى الأرض من الرطوبة

غالبية البوتاسيوم الذى يمتصه النبات ينتقل إلى الجذور من المحلول الأرضى . ويتم الانتقال عن طريق التدفق الكتلى *Mass flow* ، وأيضاً عن طريق الانتشار نتيجة لحدوث تدرج فى التركيز الناتج من امتصاص الجذور للبوتاسيوم . وعلى ذلك فإن الكمية التى تصل إلى المجموع الجذرى تعتمد على تركيز البوتاسيوم فى المحلول الأرضى القريب والبعيد عن المجموع الجذرى . وكما هو معروف بأن الانتشار يتأثر بمحتوى الأرض من الرطوبة، حيث يزداد معدل الانتشار بزيادة محتوى الأرض من الرطوبة . ولقد أوضحت نتائج التجارب التى قام بها *Grimme* وآخرون سنة ١٩٧١ حول تأثير محتوى الأرض من الرطوبة على معدل انتشار وحركة أيون البوتاسيوم فى المحلول الأرضى تحت مستويات مختلفة من البوتاسيوم المتبادل لعينة أرض واحدة، أن معدل الانتشار كان أعلى وأيضاً مسافة انتقال أيون البوتاسيوم كانت أطول فى الأرض الرطبة عن الأرض الجافة، ويمكن توضيح هذه النتائج كما فى شكل (٦-٥) . ولهذا فإن الأراضى الجافة تحتاج إلى كمية أكبر من البوتاسيوم كى ينتشر أو ينقل بصورة أسرع ليعطى أعلى درجة من التيسر للنبات .



شكل (٦-٥) : يوضح تأثير نسبة الرطوبة بالأرض علي معدل انتشار البوتاسيوم

كما يؤثر المحتوى الرطوبي على تثبيت البوتاسيوم بواسطة معادن الطين، حيث وجد أن التجفيف يؤدي إلى زيادة التثبيت بسبب زيادة تجمع البوتاسيوم على أسطح معادن الطين، وتعاقب الري والتجفيف تؤدي إلى تحرر البوتاسيوم المثبت. كما لوحظ أن هناك بعض معادن الطين التي تثبت البوتاسيوم تحت ظروف الرطوبة أو الجفاف على حد سواء، ويرجع ذلك إلى عدم قدرة هذه المعادن على التمدد بالرطوبة.

٣ - إضافة الكالسيوم

وجد أن إضافة الكالسيوم إلى الأراضي الحامضية يؤدي إلى زيادة كمية البوتاسيوم المتبادل، حيث يقوم الكالسيوم بطرد الهيدروجين جزئياً من على أسطح التبادل، وبالتالي يسمح بدخول البوتاسيوم ويمنع فقده عن طريق الغسيل. أما في الأراضي المتعادلة والقاعدية فإن إضافة الكالسيوم تؤدي إلى زيادة البوتاسيوم الذائب.

٤ - تأثير أيون الأمونيوم

سبق وأن ذكرنا أن نصف قطر أيون البوتاسيوم K^+ (١,٣٣ أنجستروم) مقارب إلى نصف قطر الفجوة السداسية في طبقة التتراهيدرا (١,٣٥ أنجستروم)، وبالتالي يحدث

تثبيت للبتوتاسيوم فى هذا الموقع. أيضاً وجد أن أيون الامونيوم NH_4^+ (١,٣ انجستروم) مقارب لهذه الفجوة السداسية. ولهذا السبب فإن هناك تأثيراً متبادلاً لهذين الأيونين على تثبيت كل منهما للآخر. حيث أثبتت نتائج العديد من الأبحاث أن مواقع تثبيت البوتاسيوم والامونيوم متشابهة، وعند إضافة الامونيوم أولاً فإن مواقع التثبيت يتم شغلها بهذا الأيون مما يؤدي إلى جعل البوتاسيوم المضاف بعده فى صورة ميسرة، وتزداد كمية الامونيوم المثبتة بزيادة الكمية المضافة منه، ونتيجة لصغر حجمه تزداد قوة مسكه بين الطبقات. فى حين أن إضافة البوتاسيوم أولاً فإنه يعمل على تقليل الامونيوم المثبت. ووجد أن فى حالة إضافة كميات متساوية من الأيونين يتم تثبيت كمية أكبر من البوتاسيوم بالمقارنة بكمية الامونيوم المثبتة.

فى الاراضى العضوية والرملية يرتبط البوتاسيوم بمواقع سطحية والتي ترتبط بحالة اتزان سريع مع البوتاسيوم الذائب فى المحلول الأرضى، وإن عدد هذه المواقع فى مثل هذه الاراضى قليل جداً وكذلك الحال فى معادن الطين من نوع ١ : ١ والتي تمتاز بعدم قدرتها على تثبيت البوتاسيوم. وبالتالي فإن تركيز المحلول الأرضى من البوتاسيوم فى الاراضى الطينية والغنية فى معادن من نوع ٢ : ١ يكون منخفضاً بالمقارنة مع تركيز البوتاسيوم فى المحلول الأرضى للاراضى الرملية أو الاراضى الطينية الغنية بمعادن من نوع ١ : ١ مثل معادن الكاؤلينيت، وذلك لقلّة محتوى الاراضى الأخيرة على مواقع ادمصاص البوتاسيوم وانعدام مواقع التثبيت. وبالتالي يمكن التوقع بأن معدل انتشار البوتاسيوم فى الاراضى الرملية أو العضوية وحركته إلى الطبقات تحت السطحية فى القطاع الأرضى يكون أكبر عن ما هو فى الاراضى المعدنية الطينية والغنية بمعادن ٢ : ١ وذلك عند تساوى الرطوبة فى كليهما.

اختبارات التربة للبوتاسيوم:

تعتبر كمية البوتاسيوم المتبادلة فى تربة معينة هى المحددة لمدى استجابة النباتات النامية بها لإضافة البوتاسيوم من عدمه. ومن أهم الطرق المستخدمة فى هذا المجال هى طريقة الاستخلاص بمحلول خلات الامونيوم قوته واحد أساسى، وعلى الرغم من وجود طرق عديدة ومنها طريقة محلول حمضى مخفف، إلا أنها أقل كفاءة من طريقة خلات الامونيوم. وجدول (٦-١) يوضح قيم المستويات الحرجة للبوتاسيوم فى الاراضى

المختلفة القوام والمستخلصة بمحلول خلاات الأمونيوم .

البوتاسيوم فى النبات

عادةً يوجد البوتاسيوم فى صورة ذائبة داخل العصير الخلوى وسوائل الأنسجة النباتية . ويوجد مرتبطاً بروابط ضعيفة وليس مثبتاً داخل المركبات العضوية فى النبات . وعلى ذلك يكون البوتاسيوم سريع الحركة والانتقال داخل النبات، وبالتالى فهو ينتقل من الأجزاء المسنة إلى النموات الحديثة فى الجذور والسيقان .

جدول (٦-١) : المستويات الحرجة للبوتاسيوم فى التربة

مستوى البوتاسيوم الصالح (ppm)			نوع الأرض
مرتفع	متوسط	المنخفض	
١٧٠ <	١٧٠ - ٨٥	٨٥ >	رملية
٢٥٠ <	٢٥٠ - ١٢٥	١٢٥ >	رملية طميية طينية
٣٥٠ <	٣٥٠ - ١٧٥	١٧٥ >	أرض جيرية

عن أبو الروس وآخرون سنة ١٩٩٢ .

والبوتاسيوم يمتص مبكراً عن كل من النيتروجين والفوسفور ووجد أن معدل زيادة الكمية الممتصة من هذا العنصر أسرع من معدل انتاج المادة الجافة للنبات . وهذا يعنى أن البوتاسيوم يتراكم داخل النبات أثناء فترة النمو الأولى، ثم يحدث له انتقال داخل أجزاء النبات . حيث وجد أنه عند مرحلة النضج فإن البوتاسيوم الموجود بمحصول الحبوب لنبات الذرة لا تزيد كميته عن ثلث الكمية الموجودة فى الأجزاء الأخرى من النبات . ويمكن إيجاز الوظائف الحيوية للبوتاسيوم فى النبات فيما يلى :

١ - يعتبر منشط لعمل كثير من الإنزيمات المرتبطة بعمليات التمثيل الضوئى وتمثيل كل من البروتينات والكربوهيدرات فى النبات .

٢ - يساعد فى انتقال الكربوهيدرات من مناطق تخليقها إلى الأجزاء الأخرى من النبات، المحافظة على بناء البروتينات، نفاذية الأغشية والتحكم فى pH الخلية، ويساعد على الاستفادة من الماء عن طريق تنظيم فتح الثغور .

٣ - يحسن من الاستفادة من الضوء خلال فترات الطقس الباردة ووجود الغيوم؛ وبذلك يزيد من قدرة النبات على تحمل البرودة وذلك لتأثيره على تنشيط الإنزيمات الناقلة للكربوهيدرات التي تفقد نشاطها في ظل ظروف البرودة.

٤ - يزيد من قدرة النبات على مقاومة الأمراض.

٥ - يزيد من حجم الحبوب والبذور ويحسن من جودة ثمار الفواكه والخضراوات.

٦ - يؤثر البوتاسيوم على امتصاص النبات للماء، حيث يساعد على زيادة الضغط الإسموزي للخلية، وبالتالي يتحرك الماء إلى داخل الخلية مما يؤدي إلى زيادة ضغط الامتلاء أو الانتفاخ Turgor pressure للخلية، وهذا الضغط ضروري لتمدد الخلية. كذلك يساعد على توليد ضغط داخلي للخلية على الجدران الداخلية للخلية مما يعمل على فتح ثغور، وبالتالي زيادة عملية النتج Transpiration ودخول ثاني أكسيد الكربون الجوى إلى داخل الورقة مما يساعد في عملية البناء الضوئي، كذلك يزيد من عدد الثغور في الأوراق. ونتيجة للتأثير الإسموزي للبوتاسيوم المتصص يتم تعويض نقص الماء المفقود بالنتج عن طريق امتصاص مزيد من الماء.

ومن خلال دور البوتاسيوم في زيادة كفاءة ومعدل عملية التمثيل الضوئي ومحتوى النبات والكربوهيدرات، فإنه يساعد على زيادة مساحة الأوراق في النبات. وبمساهمة هذا العنصر في تنشيط الإنزيمات في جميع مراحل النمو يساعد في الحفاظ على أكبر عدد ممكن من الأوراق النباتية بحالة نشطة حتى نهاية موسم النمو مما يؤثر على زيادة الإنتاج وتحسين نوعيته ومحتواه من الكربوهيدرات.

أعراض نقص البوتاسيوم

لأن البوتاسيوم من العناصر المتحركة داخل النبات لوجوده في صورة ذائبة، فإن أعراض النقص لهذا العنصر تظهر أولاً على النموات المسنة. ويمكن تلخيص أهم أعراض النقص الظاهرية على النبات فيما يلي:

١ - ظهور اصفرار على حواف الأوراق المسنة، ثم يحدث لها ما يشبه الاحتراق ويتحول اللون إلى البني، ثم ينتشر اللون تدريجياً إلى داخل الورقة. أى تظهر بقع لانسجة

ميثة صغيرة، وتكون عادة على الأطراف العليا للأوراق، ثم يمتد انتشارها إلى أسفل بطول الحواف وإلى الداخل فيما بين العروق ولكنها تكون واضحة ومميزة على الحواف.

٢ - بطء النمو وتقزم النبات.

٣ - ضعف الساق للنبات وبالتالي ضعف قدرته على مقاومة الرقاد.

٤ - ذبول البذور والشمار وعدم اكتمال نموها.

بجانب هذه الاعراض الظاهرية فإن نقص البوتاسيوم يؤدي إلى رداءة ونوعية الشمار، وانخفاض محتوى النبات من الكربوهيدرات، كما يؤدي إلى ظهور التجمعات والذبول داخل بعض الشمار خصوصاً الطماطم والبطاطا، ويعمل على غياب اللون في بعض الشمار مثل: التفاح وفي الطماطم يؤخر من تطور اللون. كذلك يعمل على تكوين حبوب فارغة في محاصيل الحبوب وقرون البقوليات، كما يسبب انخفاض حموضة الموالم وانخفاض محتوى الدهون في حبوب المحاصيل الزيتية. وسوف نتناول أعراض البوتاسيوم على نباتات بعض المحاصيل الاقتصادية:

الموالم: تظهر الأعراض باصفرار حواف الأوراق والأجزاء القريبة من التعريق ويتحول هذا اللون إلى البنى، ثم يحدث جفاف للأوراق وتسقط مبكراً قبل مواعيدها مع ظهور بقع بنية اللون على الأوراق الحديثة أحياناً. وتظهر الفريعات الحديثة رفيعة وطويلة، ثم تجف أطرافها وتموت في أواخر فصل الصيف. أما الشمار فتكون صغيرة الحجم ذات قشرة رقيقة.

العنب: تصبح أطراف الورقة ذات لون غير طبيعي عند الحواف حيث يصبح اللون أخضر باهت أو برونزي يميل إلى البنى. ويحدث ذلك غالباً في الأوراق الوسطى على أفرع القصببات الرئيسية قبل حدوثه على الأوراق السفلى. بينما يظهر اصفرار على الأوراق الطرفية الموجودة على الأفرع الثانوية، ويحذف هذا اللون حتى أنه يمكن رؤيته من السطح السفلى من الورقة.

القمح، الشعير والأرز: يظهر باصفرار يتحول إلى اللون البنى على حواف النصل في الأوراق القاعدية تتجه إلى الداخل، مع اصفرار المناطق المجاورة من نصل الورقة. وتظهر

أعراض نقص البوتاسيوم فى الأراضى الثقيلة نظرا لعدم الاهتمام بالتسميد البوتاسى لهذه المحاصيل فى مثل هذه الأراضى .

الذرة: أول أعراض النقص هى قصر السلالميات، وبالتالي تقزم النباتات، ويميل لون حواف الأوراق السفلى إلى اللون البرونزى أو الأصفر، ويكون هذا التحول مستمرا من قمة الورقة إلى قاعدتها، ثم تجف وتموت هذه الحواف . ويظهر نقص البوتاسيوم على الكيزان فى صورة ضمور الحبوب فى الصفوف العليا من الكوز . كما لوحظ أعراض نقص البوتاسيوم على أصناف الهجن عالية الإنتاج فى مناطق كثيرة من مصر وذلك لعدم قدرة التربة على توفير الاحتياجات العالية لهذه الأصناف فى الوقت المناسب .

القول البلدى، القول السودانى، البرسيم ومحاصيل الخضر البقولية: اصفرار فى حواف الأوراق السفلية، يتحول اللون الأصفر إلى اللون البنى وبعدها تتساقط هذه الأوراق، وتظهر فى المراحل الأولى للنمو فى شكل بقع غير منتظمة باللون البنى . وتكون الأوراق غير مثبتة جيدا على الساق . وتكون البذور مجمدة وغير منتظمة، كما يتأخر النضج، ويلاحظ أعراض نقص البوتاسيوم على المحاصيل البقولية فى المناطق ذات الإنتاج المرتفع، حيث إن احتياجات النبات منه عالية وهذا لايتوفر فى التربة .

القطن: تظهر الأعراض الأولية فى شكل ما يسمى «صدأ القطن» على صورة تبقع أبيض مصفر بين العروق على الأوراق السفلى، وتموت الأنسجة المصابة بالبقع عند مراكز البقع، وفى نفس الوقت تظهر حروق عند قمم الأوراق وحول الحواف وبين العروق، وتنكسر القمم والحواف، وتنشئ لأسفل، ومع تقدم حالة النقص يتحول لون الورقة إلى البنى المصفر، ثم يسود وتمزق وتسقط . كما يتوقف نمو الساق والافرع الجانبية وتنكسر وتسقط، كذلك يتوقف نمو اللوز وتفتحها وتنخفض قيمة التيلة .

البطاطس: تظهر النموات الخضرية بلون باهت، ويبدأ ظهور الأعراض على الأوراق السفلية، ويتغير لون الورقة ابتداء من قمة الورقة وحواها فى اتجاه العرق الوسطى، ثم تصفر أجزاء الورقة بين العروق وتمتلئ بمساحات ذات لون بنى دلالة على موت الأنسجة، ثم تزحف الأعراض حتى تشمل الورقة كلها .

الأسمدة المحتوية على البوتاسيوم

الأسمدة البوتاسية المعروفة والمستخدمة هي:

١ - كلوريد البوتاسيوم: يُعتبر من أرخص الأسمدة البوتاسية، ويرجع ذلك لقلة تكاليف إنتاجه، ويحتوى ٦٠٪ أو أكسيد بوتاسيوم K_2O ، ٤٧,٥٪ كلوريد ومن ٢,٨ - ٢,٩٪ كلوريد صوديوم. والملح في صورته النقية يكون على صورة بلورات بيضاء، ولكن عادةً يكون لون السماد بين الأبيض والأحمر حسب الخام المصنوع منه السماد، علماً بأن اللون ليس له تأثير على السماد. وهذا السماد كامل الإذابة في الماء، وعند إضافة السماد للتربة يحدث إدمصاص لأيون البوتاسيوم على أسطح الغرويات الأرضية، وبالتالي يحفظ من عملية الغسيل، ويُمتص في صورة أيون بواسطة الجذور. ويعتبر هذا السماد متعادل في تأثيره في التربة حيث لا يسبب أى حموضة أو قاعدية لها. وهذا السماد ملاءم لمعظم المحاصيل وخاصة بنجر السكر، وأيضاً لمعظم الأراضي عدا الأراضي المتأثرة بالأملاح بسبب ارتفاع محتواه من الكلوريد، لكن هناك بعض المحاصيل مثل: التبغ والبطاطا يتأثر جودة محصولها بزيادة الكلوريد، ولذا يفضل استخدام كبريتات البوتاسيوم في تسميدها.

٢ - كبريتات البوتاسيوم: ملح هذا السماد عبارة عن بلورات بيضاء ويحتوى من ٤٨٪ إلى ٥٢٪ K_2O ، ١٨٪ كبريت، أيضاً هذا السماد كامل الذوبان في الماء ويعتبر سماد ممتاز من ناحية ملاءمته لكل أنواع الأراضي والمحاصيل، ويعتبر هذا السماد مصدراً لعنصر الكبريت. ويستخدم للمحاصيل الحساسة للكلوريد مثل: التبغ والبطاطا والفواكه والخضروات. وأيضاً يستخدم في تسميد المحاصيل المنزرعة في الأراضي المتأثرة بالأملاح أو الزراعات المحمية حيث إن تراكم الكلوريد في هذه الأراضي يزيد من مشاكلها.

٣ - نترات البوتاسيوم: سماد أبيض يميل إلى اللون الأسمر ويعتبر من الأسمدة المركبة الجيدة لكونه بجانب احتوائه على ٤٦٪ K_2O فهو يحتوى أيضاً على ١٣ - ١٤٪ نيتروجين.

٤ - كبريتات البوتاسيوم والماغنسيوم: توجد العديد من الأسمدة التي تحتوى على كل من البوتاسيوم والماغنسيوم فى صورة كبريتات. وتنتج هذه الأسمدة بكميات تجارية فى أوروبا والولايات المتحدة الأمريكية، وتحتوى هذه الأسمدة على حوالى ٢٢ - ٣٠% K_2O ، ١٠ - ١٩% MgO ، ١٦ - ٢٣% كبريت. وهذه الأسمدة يوصى باستخدامها خاصة فى الأراضى الحامضية والتي تعانى من نقص فى الماغنسيوم، وأيضاً للمحاصيل التي تحتاج البوتاسيوم بكمية كبيرة مثل: البطاطس، الفواكه، الخضراوات، وأشجار الغابات.

طريقة وميعاد إضافة السماد:

كما سبق ذكره فإن هذه الأسمدة ذائبة فى الماء إلا إنها أبطأ فى حركتها من الأسمدة النتراتية خاصة فى الأراضى الثقيلة، حيث يحدث لها إدمصاص على أسطح الغرويات الأرضية وأحياناً تثبيت. وبناء على قابلية هذه الأسمدة للذوبان فيجب مراعاة إضافتها بعيداً عن البذور وخاصة عند استعمال كمية كبيرة منها. ونتيجة لعدم حساسية البادرات للبوتاسيوم كما هو الحال بالنسبة للنيتروجين والفوسفات فإن طريقة إضافتها سواء كانت نثراً أو بطريقة التلقيم أو التكبش أو الخطوط تعطى نفس النتيجة تقريباً إلا فى الأراضى الفقيرة فيفضل طريقة النثر لرفع درجة الخصوبة. ومن ناحية ميعاد الإضافة، تمتاز هذه الأسمدة بإمكان استعمالها قبل وأثناء الزراعة، وذلك لعدم تعرضها للفقد كثيراً، أو التثبيت كالأسمدة النيتروجينية وخاصة فى الأراضى الثقيلة، ووجد أن نثر هذه الأسمدة مبكراً قد يفيد بعض المحاصيل مثل: الفول السودانى وذلك نتيجة حركتها الجزئية لأسفل مما يعطى فرصة أكبر لامتصاصها بواسطة جذور النبات.

الكبريت Sulphur

الكبريت فى الأرض Sulphur in Soil

يوجد الكبريت فى التربة الزراعية فى الصورة المعدنية والصورة العضوية، حيث يصل الكبريت إلى التربة، إما فى صورة مخلفات زراعية، أسمدة معدنية، مع مياه الأمطار، أو مع المكونات المعدنية للتربة والناجمة من عمليات التجوية للصخور الغنية فى الكبريت والناجمة من النشاط البركانى . ويمكن توضيح هذه المصادر بشيء من التفصيل :

الكبريت المعدنى فى التربة :

يوجد فى تركيب بعض المعادن الأرضية ومنها البيريت Pyrite FeS_2 - الكالكوبيريت $\text{Chalcopyrite (Cu FeS}_2)$ خاصة فى الأراضى الغدقة، فى حين يوجد الجبس أو كبريتات الكالسيوم CaSO_4 فى المناطق الجافة، ويزداد تراكم الكبريت مع بعض مركبات الكبريتات لعناصر الماغنسيوم والصدوديوم .

الكبريت العضوى :

يعتبر الكبريت العضوى هو الصورة الأكثر وجوداً فى الطبقة السطحية من الأرض الزراعية، حيث تُعتبر المادة العضوية مصدراً رئيسياً للكبريت فى الأرض الزراعية وخاصة فى المناطق الرطبة، ويوجد الكبريت فى تركيب الأحماض الأمينية مثل : السيستين – السستمين والمثيونين، وهذه المكونات تتحلل بفعل الكائنات الأرضية وينطلق منها الكبريت المعدنى فى عملية تُعرف بعملية المعدنة **Mineralization** للكبريت .

الكبريت المضاف للتربة مع مياه الأمطار والأنهار :

كنتيجة لاحتراق المركبات الكبريتية كالفحم والمواد البترولية، وأيضاً مع الأبخرة الناتجة من النشاط البركانى تنطلق بعض الأكاسيد الكبريتية مثل : أكسيد الكبريت SO_2 إلى الهواء الجوى . وهذه الغازات تصل إلى الأرض مرة أخرى عن طريق مياه الأمطار أو مياه الأنهار، كذلك يمكن للنبات امتصاص الكبريت على هذه الصورة (SO_2) . علماً

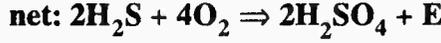
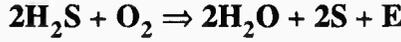
بأنه إذا زاد تركيز هذه الغازات فى الهواء الجوى عن حد معين قد يؤدى إلى أضرار كبيرة بالنباتات النامية بهذه المناطق خاصة إذا كانت هذه المناطق ممطرة: حيث تكون الأمطار حامضية التأثير مما يُضرب بالنباتات، وخير مثال على ذلك تلف مساحات واسعة من الغابات المتاخمة للمناطق الصناعية فى أوروبا نتيجة لهذه الأمطار الحامضية.

دورة الكبريت فى الطبيعة:

يمثل شكل (٦-٦) التحولات المختلفة للكبريت فى الأرض، وهذه التحولات ناتجة من العديد من العمليات المختلفة والتي تشمل:

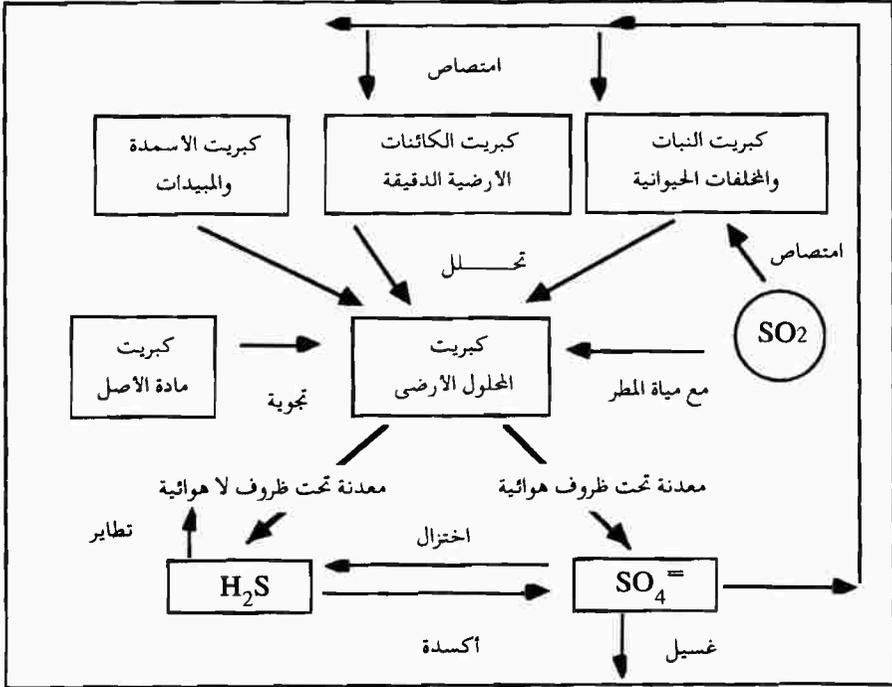
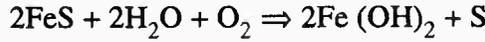
١ - معدنة الكبريت العضوى:

يُعتبر الكبريت العضوى فى حينه صورة غير ميسرة للنبات. ويتحلل المادة العضوية وحدث عملية المعدنة للكبريت يتحول إلى كبريتيد الهيدروجين، ثم إلى كبريتات. ومن ثم يصبح فى صورة صالحة للنبات. وعملية معدنة الكبريت مثلها مثل عملية معدنة النيتروجين تتوقف على نسبة الكربون إلى الكبريت C/S ratio فى المادة العضوية بالأرض، حيث وجد أن عملية المعدنة تسود إذا كانت هذه النسبة أقل من ٢٠٠، بينما إذا زادت عن ٤٠٠ يحدث تمثيل *Immobilization* للكبريت الذائب فى المحلول الأرضى داخل أجسام الكائنات الأرضية الدقيقة والقائمة بعملية التحلل، فى حين تتساوى عملية المعدنة للكبريت مع عملية التمثيل لنفس العنصر إذا انحصرت نسبة الكربون إلى الكبريت ما بين ٢٠٠ و ٤٠٠. ويمكن توضيح عملية المعدنة هذه بأن الكبريت يوجد فى المركبات العضوية فى صورة مجموعة السلفاهيدريل $-SH$ ، وبعملية المعدنة ينفرد الكبريت فى صورة H_2S ، وتحت الظروف الهوائية سرعان ما يتأكسد إلى الكبريتات SO_4^{2-} ، بينما تحت الظروف اللاهوتية يتأكسد H_2S إلى الكبريت العنصرى (S) بواسطة بكتريا ذاتية التغذية الكيماوية *Chemotrophic sulphur bacteria* مثل *Biggiatoa*، و *Thiothrix* وتحت الظروف الهوائية تقوم نفس البكتريا بإكسدة الكبريت العنصرى (S) إلى حمض الكبريتيك H_2SO_4 ، كما يمكن أيضاً للكبريت العنصرى (S) أن يتأكسد بواسطة البكتريا الذاتية التغذية الكيماوية مثل *Thiobacillus* ويمكن تمثيل تلك العملية بالمعادلة التالية:



وهنا يجب ملاحظة أن ناتج عملية الأكسدة للكبريت هو تكوين حمض الكبريتيك الذى يؤدي إلى زيادة حموضة الأرض، وهذه العملية تحدث أيضاً عند إضافة الكبريت للأراضي القاعدة بغرض خفض رقم الـ pH لها.

أيضاً فى الأراضي الغدقة والتي تحتوى على كبريتور الحديد FeS وعند توافر ظروف التهوية الجيدة يحدث أكسدة لهذه المركب، ويتكون الكبريت العنصرى والذى سرعان ما يتأكسد إلى الكبريتات، ويتم هذا التأكسد كيميائياً أو بواسطة الكائنات الدقيقة حسب المعادلة التالية:



شكل (٦-٦): دورة الكبريت في الطبيعة

ويؤدى غمر الارض بالماء إلى نشوء ظروف التهوية السيئة، وبالتالي تسود ظروف الاختزال، ويتم اختزال الكبريتات بواسطة بكتريا من جنس *Desulfovibrio* إلى كبريتور الأيدروجين H_2S ويتحد جزء منه مع الحديد ويتكون كبريتور الحديد والجزء الآخر يمكن أن يحدث له فقد إلى الغلاف الجوى.

٢ - أكسدة الكبريت :

من دورة الكبريت نجد أنه بعد حدوث عملية المعدنة للكبريت يتحول إلى H_2S تحت الظروف اللاهوائية، ويمكن أن يُفقد جزء من الكبريت الأرضى على هذه الصورة للغلاف الجوى. بينما تحت الظروف الهوائية يتكون أنيون الكبريتات SO_4^{2-} ، وهذا الأنيون متحرك فى التربة لزيادة قابلية ذوبان أملاحه فى التربة، وعلى ذلك من المتوقع حدوث فقد للكبريت من التربة على هذه الصورة عن طريق غسيل هذا الأنيون مع مياه الصرف. وتعتبر الكبريتات هى الصورة التى يمتص الكبريت عليها، وبعد امتصاص النبات للكبريتات يحدث اختزال لها وتدخل فى تكوين المركبات العضوية التى يدخل الكبريت فى تكوينها. أيضاً يمكن أن يحدث تمثيل للكبريت داخل أجسام الكائنات الدقيقة الموجودة بالأرض، ثم يعود الكبريت العضوى مرة أخرى للأرض مع المخلفات النباتية والحيوانية وتعاد الدورة مرة أخرى.

٣ - كبريت الغلاف الجوى :

كذلك توضح الدورة أن من مصادر الكبريت الأرضى الكبريت الموجود فى الهواء الجوى على صورة أكاسيد كبريتية والتى تصل إلى الأرض إما بطريقة مباشرة مع مياه الأمطار أو الأنهار، أو بطريقة غير مباشرة حيث يستطيع النبات الاستفادة من هذه الصورة مباشرة بامتصاص SO_2 عن طريق الأوراق، وبعد ذلك يصل الكبريت للأرض مع المخلفات النباتية.

أيضاً يجب ذكر أن من المصادر الأخرى للكبريت بالأرض الأسمدة التى تحوى عنصر الكبريت مثل الأسمدة النتروجينية والفوسفاتية وأسمدة أخرى، كذلك يضاف للأرض فى صورة مبيدات فطرية وخلافه.

تفاعلات الكبريت في التربة :

كما سبق نجد أن الصورة المعدنية للكبريت سواء الناتج من عمليات التجوية لمادة الأصل أو من عملية معدنة الكبريت العضوى أو من إضافة الأسمدة هي الكبريتات SO_4^{2-} . وهذه الصورة تتعرض لتفاعلات مختلفة بالتربة، وبالتالي قد تؤثر هذه التفاعلات سلباً على الكمية الميسرة من هذا العنصر للنبات وأهم هذه التفاعلات ما يلي :

أ - تفاعلات الادمصاص :

تتعرض أيونات الكبريتات إلى تفاعلات التبادل الأيونى ومنها الادمصاص ويتوقف ذلك على توافر المعادن الأرضية أو الغرويات التى تحمل شحنة موجبة، مثل معادن من نوع ١ : ١ ومنها الكاؤولينيت، كذلك يحدث ذلك على أسطح الأكاسيد السداسية للحديد والألومنيوم. وبصفة عامة تزداد عملية الادمصاص هذه فى الأراضى الحامضية، وذلك لأن مع انخفاض رقم الـ pH للأرض تكتسب الغرويات الأرضية ومنها الأكاسيد السداسية شحنة موجبة وهى شحنة مخالفة للكبريتات، وبالتالي يحدث الادمصاص. كذلك وجد أن هناك تنافساً بين أنيونات الفوسفات والكبريتات على مواقع الادمصاص على الغرويات الأرضية، وبالتالي يمكن القول بأن الاستخدام الزائد من الفوسفات يؤدي إلى حدوث فقد فى الكبريت من الأرض عن طريق الغسيل فى صورة كبريتات.

ب - ترسيب الكبريتات :

فى الأراضى الجافة وشبه الجافة يتعرض الكبريت للترسيب على هيئة أملاح الكبريتات لا يونات موجبة الشحنة مثل : الكالسيوم والمغنسيوم والصدوديوم والبوتاسيوم وذلك حسب سيادة الكاتيون فى الوسط، وبغض النظر عن درجة ذوبان هذه الأملاح إلا إنها تُعتبر مصدراً جيداً للكبريت بالنسبة للنبات. بينما تحت الظروف سيئة التهوية يحدث الترسيب فى صورة كبريتور، مثل كبريتور الحديد (FeS).

الكبريت فى النبات Sulphur in Plant

يتوزع الكبريت توزيعاً منتظماً بين الأعضاء والأنسجة المختلفة للنبات، فهو أحد مكونات بعض الأحماض الأمينية مثل السيستين والسستينين، وهى أحماض أمينية أساسية فى تركيب البروتينات والثيامين (Thiamine (vitamin B1، والبيوتين Biotin

وهما هرمونان مهمان للنبات . كذلك يدخل الكبريت فى تكوين الجليكوسيدات مثل: السنجرين الذى يعطى الرائحة والطعم الخاصين لبعض الأنواع النباتية كالخردل والبصل والشوم . والجزء الأعظم من الكبريت يوجد فى بروتين الكلوروبلاست **Chloroplasts** والذى يحتوى على الكلوروفيل، وعند نقص الكبريت يتأثر تكوين الكلوروبلاست، وبالتالي تظهر الأوراق شاحبة اللون . ويتراوح المحتوى الكلى من الكبريت فى أنسجة النبات ما بين ٠,٢٪ إلى ٠,٥٪ كبريت .

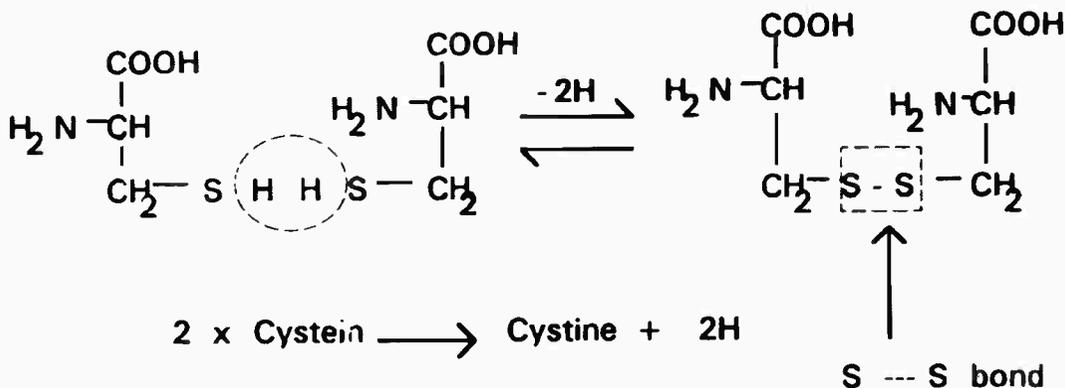
يمتص النبات الكبريت بواسطة الجذور على صورة كبريتات وبواسطة الأوراق على صورة ثانى أكسيد الكبريت SO_2 سرعان ما تُختزل إلى مجموعة السلفاهيدريل $-SH$ لتكوين المركبات العضوية المختلفة وأهمها الأحماض الأمينية، وبالتالي البروتينات . ويمكن إيجاز خطوات اختزال الكبريتات وتكوين الأحماض الأمينية كما يلي :

أولاً: تختزل الكبريتات ويتكون الحمض الأميني السيستين **Cysteine** كما فى المعادلة:



ومن المعادلة نجد أن عملية اختزال الكبريتات يلزمها طاقة، وهذه الطاقة يكون مصدرها مركبات الفوسفور الحاملة للطاقة مثل: أدينوزين تراكى فوسفات ATP ، والهيدروجين كمختزل .

ثانياً: يتحد ٢ جزئ من السيستين ويتكون السيستين **Cystine** كما فى المعادلة:



أعراض نقص الكبريت :

تتشابه أعراض نقص الكبريت إلى حد كبير مع أعراض نقص النيتروجين، إذ تتراكم الأحماض الأمينية والمركبات الأزوتية الأخرى داخل النباتات التي تعاني نقصاً من الكبريت، ويعزى ذلك إلى احتمال بطء معدل تخليق البروتينات في هذه النباتات بالمقارنة بالنباتات التي يتوفر لها كفايتها من الكبريت. وتتلخص أعراض نقص الكبريت بإصفرار عام للنموات الخضرية وخاصة الأوراق والعروق، فالأوراق يكون لونها أفتح من باقى أنسجة الورقة وتظل الورقة غضة ولا تجف حتى يتقدم العمر، وتصبح السيقان ضعيفة وقصيرة ومتقزمة. ويمكن التمييز بين أعراض نقص الكبريت وأعراض نقص النيتروجين من موضع ظهور الأعراض على الأوراق، حيث تظهر أعراض نقص الكبريت على الأوراق الحديثة أولاً؛ وذلك لأنه عنصر غير متحرك داخل النبات، في حين تظهر أعراض نقص النيتروجين على الأوراق المسنة حيث أنه من العناصر المتحركة في النبات.

نماذج لأعراض نقص الكبريت على بعض النباتات صفحة ٤٦٧-٤٦٨

الأسمدة المحتوية على الكبريت

ونادراً ما تظهر حالات نقص الكبريت على النباتات نتيجة لوصول الكبريت إلى الأرض بطريقة غير مباشرة مع كثير من الأسمدة مثل: السوبر فوسفات، وكبريتات الأمونيوم وكبريتات البوتاسيوم، كذلك في صورة بعض المبيدات الفطرية وخلافه، بالإضافة إلى إضافته لعلاج مشاكل القلوية في بعض الأراضي على صورة جبس زراعى. وفي حالة ظهورها تكون في الأراضي البعيدة عن البحار أو المناطق الصناعية أو في بعض المناطق الرطبة غزيرة المطر. وجدول (٦-٢) يبين أهم الأسمدة التي تحتوى على الكبريت والتي يمكن استخدامها لتعويض النقص منه في الأرض.

جدول (٦-٢): يبين أهم الأسمدة المستخدمة والتي تحتوي علي الكبريت

السماذ	% للكبريت (S)	% للعناصر الرئيسية الأخرى
كبريتات الماغنسيوم اللامائية (MgSO ₄)	٢٦,٥	MgO % ٣٣,٠
كبريتات الأمونيوم (NH ₄) ₂ SO ₄	٢٤,٠	N ٢١,٠
كبريتات البوتاسيوم والماغنسيوم (K ₂ SO ₄ .MgSO ₄)	٢٢,٠ - ١٦,٠	K ₂ O % ٣٠,٠ - ٢٦,٠
كبريتات البوتاسيوم K ₂ SO ₄	١٨,٠	K ₂ O % ٥٠,٠
الجبس 2H ₂ O, CaSO ₄	١٨,٠	CaO % ٣٢,٠
السوبر فوسفات 2CaSO ₄ .Ca(H ₂ PO ₄) ₂	١٦,٠	CaO % ٢٠, P ₂ O ₅ % ١٨,٠
كبريتات الأمونيوم والنترات (NH ₄)SO ₄ .2NH ₄ NO ₃	١٥,٠	N % ٢٦,٠

الكالسيوم Calcium

الكالسيوم فى الأرض Calcium in Soil

يوجد الكالسيوم بتركيز مرتفع فى القشرة الأرضية بالمقارنة بباقي العناصر المغذية الأخرى باستثناء الأكسجين والحديد حيث تكون نسبته حوالى ٦٤ ٪، بينما تكون نسبته فى التربة الزراعية حوالى ١,٥ ٪ ويتواجد الكالسيوم فى التربة فى عدة صور تختلف درجة صلاحيتها بالنسبة للنبات وهذه الصور هى :

أ - معادن حاملة للكالسيوم:

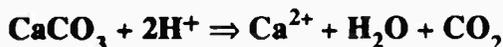
يدخل الكالسيوم فى تركيب العديد من المعادن السيليكاتية مثل : الفلسبارات Feldspars و Amphiboles ومركبات الفوسفات مثل : مجموعة الأباتيت، وكربونات الكالسيوم المختلفة مثل : الكالسيت $CaCO_3$ والدولوميت $MgCO_3 \cdot CaCO_3$ ، وتعتبر المركبات الأخيرة ذات تأثير كبير فى الأراضى الجيرية، حيث يرتفع تركيز الكالسيوم فى هذه الأراضى إلى نسبة تتراوح بين ١٠ - ٧٠ ٪ كالسيوم.

وتختلف الأراضى فيما بينها اختلافاً كبيراً فى محتواها من الكالسيوم، ويرجع ذلك إلى مادة الأصل الناشئة منها هذه الأرض كذلك على قابلية المعادن الحاوية للكالسيوم على التجوية والذوبان ومدى تعرض هذه الأراضى للأمطار. وتعتبر الأراضى الموجودة فى المناطق الجافة وشبه الجافة غنية فى الكالسيوم وذلك لوفرة المركبات المعدنية المترسبة التى يدخل فى تركيبها الكالسيوم مثل الكالسيت، والدولوميت، والجبس، والأباتيت وغيرها من المعادن الأولية والثانوية، مع ملاحظة أن معدل تحرر الكالسيوم من هذه المركبات بطيء جداً لارتفاع رقم الـ pH فى هذه المناطق، وتعتبر الأراضى المصرية غنية فى الكالسيوم نظراً لزيادة محتواها من المعادن الحاملة له حيث تتراوح نسبة كربونات الكالسيوم فى أراضى الوادى والدلتا ما بين ٢-٣ ٪، بينما الأراضى الجيرية التى توجد بمساحات واسعة فى الساحل الشمالى الغربى وبعض المناطق فى سيناء وأراضى الهضبة الشرقية المتاخمة لوادى النيل وأيضاً فى بعض مناطق الاستصلاح فى غرب النيل تكون

نسبة كربونات الكالسيوم بها من ١٠ - ٦٠٪. في حين نجد في المناطق الرطبة والأراضي الحامضية يكون محتواها من الكالسيوم منخفض جداً بالمقارنة بأراضي المناطق الجافة وذلك لتعرض الأراضي في الحالة الأولى للأمطار مما يؤدي إلى غسيل الكالسيوم من على أسطح التبادل للغرويات الأرضية ويحل محله أيون الأيدروجين مما يؤدي إلى زيادة حموضة هذه الأراضي. وتعتبر درجة ذوبان المركبات الحاوية للكالسيوم ومنها الكالسييت ذات أهمية من حيث تغذية النبات أو من حيث حموضة وقاعدية الأرض. فالكالسييت من المركبات القليلة الذوبان حيث إن درجة ذوبانه في الماء قليلة (١٠ - ١٥ جزء في المليون). لكن بانخفاض رقم الـ pH سواء بزيادة وجود غاز ثاني أكسيد الكربون CO₂ أو إضافة الأسمدة ذات التأثير الحامضي مثل كبريتات الأمونيوم (ينتج من عملية التازوت للامونيوم أيونات الأيدروجين) كذلك إضافة المادة العضوية، كل ذلك يساعد في ذوبان الكالسييت كما في المعادلة التالية:



بينما يكون تأثير أيون الأيدروجين كما يلي:



وبالتالي يمكن أن يتحرر أيون الكالسيوم نتيجة تأين البيكربونات، أيضاً يمكن أن تتكون البيكربونات الناتجة من تأين حمض الكربونيك الناتج من العمليات الحيوية بالتربة مثل تنفس الجذور والكائنات الأرضية وأيضاً الناتج من تحلل المادة العضوية.

ب - الكالسيوم المدمص (المتبادل):

يوجد الكالسيوم مدمصاً على أسطح الغرويات الأرضية سواء المعدنية منها أو العضوية، ويعتبر الكالسيوم المدمص ذو أهمية كبيرة في المحافظة على بناء جيد للتربة حيث يشجع أيون الكالسيوم على تكوين التجمعات الأرضية مما يزيد من المسافات البينية بين الحبيبات خاصة في الأراضي الطينية وبالتالي تزداد عمليات التهوية مما يؤثر إيجابياً على كفاءة امتصاص الجذور للأيونات. وتختلف كمية الكالسيوم المتبادل في الأرض حسب نوع معادن الطين السائدة في هذه الأرض، فمثلاً نجد أن الأراضي الغنية في معادن من نوع ٢:١ يمثل الكالسيوم المتبادل منها حوالي ٨٠٪ من السعة التبادلية

الكاتيونية لهذه الأرض. فى حين نجد أن هذا الرقم ينخفض إلى ٢٠٪ فى الأراضى الغنية بمعدن الكاؤولينيت وهو من المعادن من نوع ١: ١. ويعتبر الكالسيوم المتبادل رصيذاً للكالسيوم الذائب فى المحلول الأرضى لوجود حالة من الاتزان بينهما علماً بأنه لا يمكن القول بأن كل الكالسيوم المتبادل ميسر للنبات وذلك لأن قوة ربط أيون الكالسيوم على سطح الغروى هى التى تحدد ذلك.

ج - الكالسيوم الذائب :

معظم الأراضى المعدنية يحتوى محلولها الأرضى على كمية كافية من الكالسيوم لسد حاجة المحاصيل المختلفة والنامية فيها. بينما قد تعاني الأراضى العضوية من نقصه نتيجة لادمصاص الكالسيوم على الدبال وتكوين معقدات عضوية للكالسيوم غير ذائبة. وفى الأراضى الحامضية نتيجة لإحلال الأيدروجين محل الكالسيوم على مواقع التبادل فإنه يحدث للكالسيوم غسيل من المحلول الأرضى. وتتأثر الكمية الذائبة فى المحلول الأرضى بعوامل مختلفة من أهمها: رقم الـ pH حيث يحدث ترسيب للكالسيوم فى صورة مركبات عديدة بارتفاع هذا الرقم وعلى الرغم من ذلك تحتوى هذه الأراضى على كمية كافية من الكالسيوم صالحة لتغذية النبات. بينما فى الأراضى الحامضية يقل الكالسيوم الذائب وسبق تفسير سبب ذلك. أيضاً نوع معدن الطين وكمية المادة العضوية تأثير كبير على الكمية الذائبة.

الكالسيوم فى النبات Calcium in Plant

يوجد الكالسيوم فى معظم النباتات بكميات كبيرة وخاصة فى الأوراق. وتحتوى الأوراق المسنة على الكمية العظمى من الكالسيوم عكس الفوسفور والبوتاسيوم اللذين يوجد معظمهما فى الأوراق الحديثة، ويثبت معظم الكالسيوم فى جدر الخلايا على صورة بكتات الكالسيوم Calcium pactate والتى تكون الصفيحة الوسطى وهذا ضرورى فى الانقسام الميتوزى للخلية، كما يعمل الكالسيوم على المساعدة فى ثبات الجدر الخلوية وكذلك فى الحفاظ على تركيب الكروموسومات. وفى كثير من الأنواع النباتية يوجد الكالسيوم على هيئة بلورات غير ذائبة من أكسالات الكالسيوم. وقد يكون الكالسيوم أملاحاً مع الأحماض العضوية الأخرى كما يحتمل دخوله فى التفاعلات الكيميائية مع جزيئات البروتين. ويمثل أيون الكالسيوم أحد المكونات العامة

للعصير الخلوي، وأيضاً يعتبر هذا العنصر ضروري لاستكمال واستمرار القمة المرستيمية، حيث وجد أنه بغياب الكالسيوم يقل نشاط الانقسام المباشر وقد يقف تماماً. كذلك يساعد الكالسيوم في نشاط كثير من الإنزيمات مثل **Phospholipase**, **Argin, Kinase, Adenosine Triphosphates** كما وجد أنه يعمل على معادلة الاحماض العضوية بالخلايا مما يقلل من سميتها.

أعراض نقص الكالسيوم على النبات :

يعتبر الكالسيوم من العناصر غير المتحركة داخل النبات حيث قليلاً ما يعاد توزيعه داخل الخلايا النبات إذا ما قل تركيزه أو انعدم وجوده حول الجذور. فقد تحتوي الأوراق المسنة لنبات ما على كميات كبيرة من الكالسيوم المخزون، في حين تعاني الأوراق الحديثة لنفس النبات نقصاً في هذا العنصر. وعموماً قلما تظهر أعراض نقص الكالسيوم على النباتات النامية في الحقل وخاصة في أراضي المناطق الجافة وشبه الجافة ومنها الأراضي المصرية، بينما العكس يمكن حدوثه بظهور أعراض النقص على النباتات النامية في الأراضي الحامضية. ويمكن إيجاز أهم الأعراض كما يلي :

١ - تبدأ ظهور الأعراض على الأوراق الحديثة، حيث تكون هذه الأوراق مشوهة وصغيرة ولونها الأخضر الداكن غير عادي.

٢ - الأوراق تصبح مجمدة ويحدث لها التفاف إلى أسفل وتظهر الحواف متموجة وغير منتظمة، ويحدث أن تصبح الأوراق طرية نتيجة إحلال جدر الخلايا ويقف نمو البرعم الطرفي، مع حدوث تكسير في السويقات الصغيرة.

٣ - يحدث ضعف أو تلف ملحوظ في الجذور، ويمكن أن يحدث تعفن لها، كذلك يحدث ضعف عام للسيقان.

٤ - تظهر نقط جافة على البراعم الطرفية ويحدث تساقط للأزهار.

٥ - يسبب نقص الكالسيوم ظهور مرض يسمى **Btter pit** على ثمار التفاح والذي يتميز بظهور بقع بنية صغيرة غائرة ومنتشرة على كافة سطح الثمرة. أما ثمار الطماطم فتصاب بمرض يسمى بعض الطرف الزهري للثمرة **Blossom-end rot** حيث تهدم الخلايا وتعفن في الجهة السائبة من الثمرة.

نماذج لأعراض نقص الكالسيوم على بعض النباتات صفحة ٤٦٩-٤٧٠

الأسمدة المحتوية على الكالسيوم:

يدخل الكالسيوم فى تركيب كثير من الأسمدة كما هو موضح فى جدول (٣-٦).

جدول (٣-٦): الأسمدة المحتوية على الكالسيوم

الرمز الكيميائى	السماذ
Ca (H ₂ PO ₄) ₂ · CaCO ₃	سوبر فوسفات عادى
Ca (H ₂ PO ₄) ₂	سوبر فوسفات ثلاثى
NH ₄ NO ₃ · CaCO ₃	نترات النشادر الجبرى
Ca (NO ₃) ₂	نترات الكالسيوم
Ca (NO ₃) ₂	نترات الجبر المصرى

المغنسيوم Magnesium

المغنسيوم فى الأرض Magnesium in Soil

يوجد المغنسيوم فى الاراضى بكميات مختلفة، وذلك حسب مادة الاصل الناشئة منها وكمية ونوع الطين السائد فى هذه الاراضى . والمغنسيوم يوجد فى الاراضى الرملية بتركيز حوالى ٠,٠٥٪ بينما يرتفع هذا الرقم فى الاراضى الطينية ح إلى ٠,٥٪. ويرجع ارتفاع كمية المغنسيوم فى الاراضى الطينية لسهولة تجوية معادن الـ Ferromagnesian، مثل البيوتيت Biotite، السيرپينيت Serpenite، الهورنبلند Hornblende والاوليفين Olivine. كذلك لدخوله فى تركيب بعض المعادن الثانوية ومنها الكلوريت Chlorite، الفيرميكيولايت Vermiculite، الإيليت Illite والمونتي موريللونيت Montmorillonite. ويوجد المغنسيوم فى بعض الاراضى فى صورة كربونات ماغنسيوم $MgCO_3$ ، والدولوميت $CaCO_3$. $MgCO_3$) وفى الاراضى الجافة وشبه الجافة يوجد المغنسيوم بكمية كبيرة فى صورة كبريتات ماغنسيوم $MgSO_4$. ويتشابه المغنسيوم مع البوتاسيوم من حيث توزيعه فى التربة ويمكن تقسيم الصور التى يوجد عليها المغنسيوم فى الأرض كما يلى:

١ - المغنسيوم غير المتبادل:

ويشمل كل المغنسيوم الموجود بالمعادن الأولية ومعظم المغنسيوم الموجود بالمعادن الثانوية. وبصفة عامة فإن هذه الصورة ليست ذات أهمية من حيث انطلاق المغنسيوم للنبات. لكن فى حالة وجود المعادن ذات القدرة العالية على التمدد فى الأرض بكميات كبيرة، فإن هذه الصورة تعتبر ذات أهمية بالنسبة للنبات لسهولة تحرر المغنسيوم من الطبقات الداخلية بجانب الخارجية، علماً بأن معدل انطلاق المغنسيوم يكون قليل بالمقارنة باحتياجات النبات من هذا العنصر.

٢ - المغنسيوم المتبادل:

يوجد المغنسيوم متبادلاً على أسطح الغرويات الأرضية سواء كانت معدنية أو عضوية، ويمثل المغنسيوم المتبادل حوالى ٥٪ من المغنسيوم الكلى فى الأرض، ويشغل

من ٤-٢٠٪ من السعة التبادلية الكاتيونية أى يكون أقل من الكالسيوم والذى يمثل ٨٠٪، وأكثر من البوتاسيوم والذى يمثل حوالى ٤٪ فقط من السعة التبادلية الكاتيونية (Mengel and Kirkby سنة ١٩٨٧). وتزداد كمية الماغنسيوم المتبادل فى الاراضى الملحية والقلوية والاراضى الغنية فى كربونات الماغنسيوم، فى حين تكون كمية الماغنسيوم المتبادل فى العديد من الاراضى الزراعية منخفضة وخاصة الواقعة فى المناطق الاستوائية حيث زيادة معدل سقوط الأمطار وانخفاض الـ pH وقلة السعة التبادلية يؤدى إلى زيادة ذوبان الماغنسيوم وبالتالي فقدته مع مياه الصرف. وتعتبر هذه الصورة ذات أهمية كبيرة بالنسبة للنبات حيث بانخفاض تركيز الماغنسيوم فى المحلول الأرضى يحدث انطلاق للماغنسيوم المتبادل لرفع التركيز مرة أخرى وبالتالي تعتبر هذه الصورة بجانب الصورة الذائبة ذات درجة صلاحية عالية للنبات. وتعتبر الاراضى فقيرة فى محتواها من الماغنسيوم الصالح إذا قلت كمية الماغنسيوم المتبادل عن ٣-٤ مجم / ١٠٠ جم تربة، علماً بأن الحد الحرج هذا يختلف باختلاف قوام التربة حيث يكون مرتفعاً فى الاراضى الغنية بالطين خاصة من نوع ٢: ١ والمادة العضوية.

٣ - الماغنسيوم الذائب :

يوجد الماغنسيوم ذائباً فى المحلول الأرضى بتركيز يتراوح بين ٢-٥ ملليمول، ويمكن أن يختلف هذا المدى اختلافاً كبيراً ويكون غالباً بين ٢,٠ - ١٥٠ ملليمول، وبصفة عامة يكون التركيز فى المحلول الأرضى للأرضى الحامضية منخفض (١,٩ ملليمول) بينما فى الاراضى الجيرية يرتفع هذا التركيز إلى ٧ ملليمول (Mngel and Kirkby سنة ١٩٨٧). وفى الاراضى الرملية وكذلك أراضى المناطق الرطبة تكون كمية الماغنسيوم الذائبة فى المحلول الأرضى منخفضة وذلك لقلة كمية الماغنسيوم المتبادل بهذه الاراضى. ويؤدى إضافة كميات كبيرة من الأسمدة غير الحاوية على الماغنسيوم إلى زيادة انخفاض كمية الماغنسيوم الذائب، حيث يتحرر الماغنسيوم المتبادل عن طريق التبادل الأيونى بينه وبين الكاتيون المضاف مما يؤدى إلى سهولة فقد الماغنسيوم بالغسيل خاصة وأن أملاحه لايونات الكبريتات، والنترات، والفوسفات والكلوريد تكون سهلة الذوبان.

وتتأثر درجة صلاحية الماغنسيوم للامتصاص بواسطة النبات على محتوى المحلول الأرضى من الكاتيونات الأخرى مثل الكالسيوم والبوتاسيوم بالإضافة إلى درجة حموضة

التربة، حيث وجد أن أعراض نقص الماغنسيوم تكون قليلة الظهور على النباتات التي تنمو في وسط رقم حموضته أعلى من ٥,٠ وهذا يعنى أن هذا المدى هو الأمثل لصلاحية الماغنسيوم. وعند انخفاض رقم الـ pH تقل كمية الماغنسيوم المتصلة نتيجة لزيادة تركيز أيونات الأيدروجين والألومنيوم. وفي الأراضي شديدة الحموضة يتحد الماغنسيوم مع أكاسيد الحديد والألومنيوم، وعلى هذا يمكن إضافة أسمدة الماغنسيوم للتقليل من سمية الألومنيوم في هذه الأراضي. وفي الأراضي ذات رقم الـ pH المرتفع يحدث تنافس في امتصاص أيون الكالسيوم مع أيون الماغنسيوم مما يقلل من معدل امتصاص الماغنسيوم. كذلك يؤدي التسميد الزائد بالأسمدة الأمونيومية مثل كبريتات الأمونيوم ونترات الأمونيوم والأسمدة البوتاسية مثل كلوريد البوتاسيوم تزيد من ظهور أعراض نقص الماغنسيوم.

وهناك علاقة بين كمية الماغنسيوم الممتص ووجود البوتاسيوم في التربة. حيث وجد أن النباتات تمتص كمية من الماغنسيوم أقل من البوتاسيوم وذلك على الرغم من وجود الماغنسيوم المتبادل والذائب بالتربة بكمية أكبر من البوتاسيوم. يوجد حالة من التضاد بين البوتاسيوم والماغنسيوم ولكن في مدى محدد من العنصر الميسر والذي يظهر عنده أعراض نقص هذا العنصر. وتحت هذه الظروف فإن زيادة الكمية المضافة من أحد العنصرين يؤدي إلى ظهور أعراض نقص العنصر الآخر. وعادةً يكون محتوى النبات من الماغنسيوم مرتفعاً عند نقص البوتاسيوم حيث تحاول النباتات المحافظة على أن يكون مجموع الكاتيونات K, Ca, Mg, Na موجوداً بكمية ملائمة وثابتة. كما وجد أيضاً أن إضافة الأسمدة البوتاسية لتصحيح نقصه في النبات يؤدي إلى نقص تدريجي في محتوى النبات من الماغنسيوم. وعلى ذلك يجب ملاحظة أنه في حالة ظهور أعراض نقص كلٍ من الماغنسيوم والبوتاسيوم، فمن المستحسن أن تضاف أسمدة الماغنسيوم أولاً لعلاج نقص الماغنسيوم في النبات ثم تضاف الأسمدة البوتاسية.

اختبارات التربة للماغنسيوم

تعتبر طريقة تقدير الماغنسيوم المتبادل بواسطة محلول خلاص الامونيوم المتعادل أو محلول كلوريد البوتاسيوم من أهم الطرق لتحديد خصوبة التربة من هذا العنصر.

وطبيعى أن تختلف القيم المحددة لمستويات الخصوبة تبعاً لقوام التربة كما يتضح من جدول (٤-٦).

جدول (٤-٦): الحدود الحرجة للمغنسيوم في التربة

تركيز المغنسيوم (ppm)			نوع الأرض
مرتفع	متوسط	منخفض	
٥٠ <	٥٠ - ٢٦	حتى ٢٥	رملية ورملية طميية
٧٠ <	٧٠ - ٣٧	حتى ٣٦	طميية رملية
١٢٠ <	١٢٠ - ٦٠	حتى ٦٠	طميية وطينية

الاستخلاص بواسطة ٠,٠٢٥ ع كلوريد الكالسيوم
عن Saalbach وآخرون سنة ١٩٧٠.

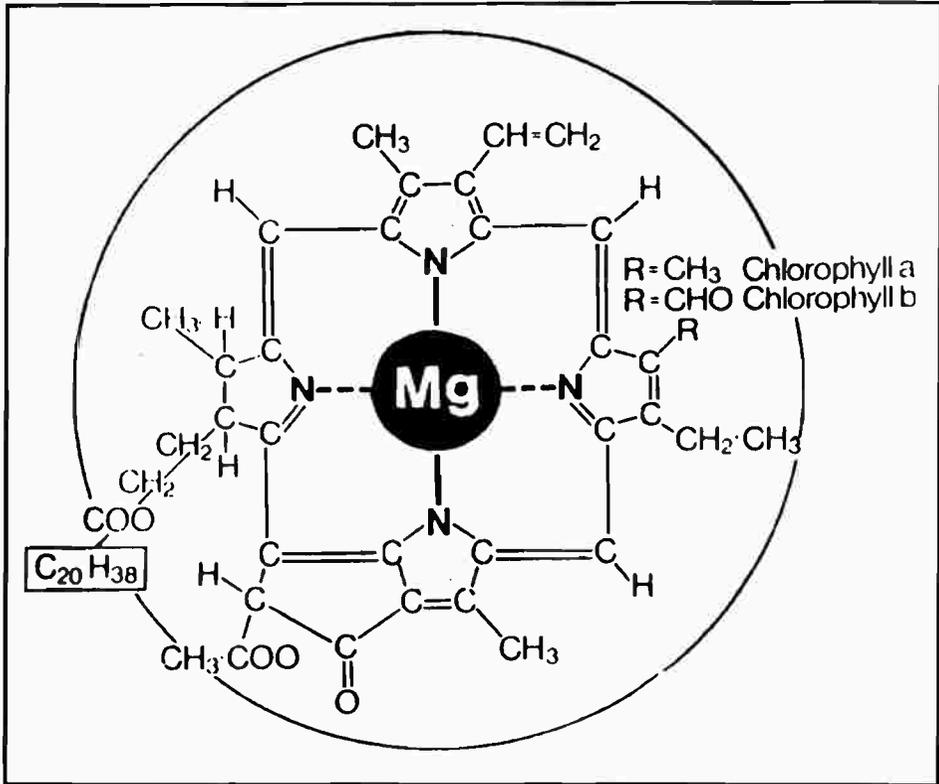
المغنسيوم في النبات Magnesium in Plant

يحتل المغنسيوم مركز جزئ الكلوروفيل في النبات شكل (٦-٧). وهى الصبغة الخضراء التى تمكن النبات من استخدام الطاقة الشمسية فى إنتاج المادة العضوية بالنبات حيث يدخل حوالى ١٥ - ٢٠٪ من المغنسيوم الكلى فى النبات فى تركيب الكلوروفيل. وعلى ذلك يعتبر المغنسيوم مهماً لإتمام عملية التمثيل الضوئى، ويعتبر منشطاً للعديد من الأنظمة الإنزيمية الخاصة بميتابوليزم الكربوهيدرات، وتمثيل الأحماض النووية، كما يعمل المغنسيوم على تعزيز امتصاص وانتقال الفوسفات ويساعد فى حركة السكريات داخل النبات. كذلك وجد أنه فى حالة نقص المغنسيوم يقل تمثيل البروتينات مما يعوق النمو فى النبات.

أعراض نقص المغنسيوم على النبات :

لا يقتصر ظهور أعراض نقص المغنسيوم على النباتات النامية فى الاراضى الفقيرة فى المغنسيوم فقط بل يمكن ظهورها على النباتات التى تنمو فى الاراضى العادية. وذلك

في حالة زراعة المحاصيل عالية الإنتاج ومع التخصيف الزراعي فإن النباتات تمتص كمية كبيرة من الماغنسيوم مما يؤدي إلى استنزافه من هذه الأراضي وظهور أعراض النقص. وتختلف أعراض نقص الماغنسيوم باختلاف النبات، ويتميز هذا العنصر بحركته العالية



شكل (٦-٧): نموذج لجزيء الكلوروفيل

داخل النبات وإمكانية استخدامه من قبل النباتات عدة مرات. وعلى ذلك تبدأ ظهور الأعراض على الأوراق المسنة أولاً ويمكن إيجاز أهم الأعراض فيما يلي:

١ - ظهور اصفرار متداخل مع اللون الأخضر للورقة على هيئة شريط، ويكون ذلك على الأوراق المسنة، ومع تقدم الإصابة يحدث أن تجف الأنسجة وتموت. وأهم ما يميز هذه الأعراض ظهورها أولاً على طرف (قمة) الورقة ثم تنتشر على حواف وبين عروق الأوراق.

٢ - قد يحدث التواء لحواف الأوراق إلى أعلى، وعند استمرار النقص تتحول البقع إلى

اللون الرمادى ثم إلى اللون البنى وتسقط الأوراق قبل موعدها.

٣ - فى بعض نباتات الخضر تظهر الأعراض على عدة صور منها الاصفرار على هيئة بقع بين العروق وظهور لون رخامى مع لون برتقالى خفيف وأيضاً فى صورة لون أحمر أرجوانى .

٤ - الأغصان تبدو ضعيفة وتكون عرضة للإصابة بالفطريات، وينخفض النضج الطبيعى للأوراق .

نماذج لأعراض نقص الماغنسيوم على بعض النباتات صفحة ٤٧١-٤٧٢

الأسمدة المحتوية على الماغنسيوم

بصفة عامة تحتوى معظم الأراضى الطينية على كمية كافية من الماغنسيوم ومنها أراضى الوادى والدلتا فى مصر، لكن فى ظل التكثيف الزراعى وإضافة كميات كبيرة من الأسمدة البوتاسية وأسمدة الأمونيوم يمكن أن تظهر أعراض نقص الماغنسيوم على النباتات النامية فى تلك الأراضى . هذا بالإضافة إلى أن أراضى مناطق الاستصلاح ومعظمها أراضى رملية نجد أنها تعاني من نقص الماغنسيوم . ويمكن علاج نقص الماغنسيوم على النباتات بإضافة أحد الأسمدة المحتوية على الماغنسيوم الموضحة بجدول (٥-٦) .

جدول (٥-٦) : الأسمدة المعدنية المحتوية على الماغنسيوم

السما	MgO %	% للعناصر الأخرى
كبريتات الماغنسيوم Mg SO ₄	٣٣	٢٦,٥ % كبريت
7H ₂ O. MgSO ₄	٢٧	٢٢ % كبريت
H ₂ O. Mg SO ₄	١٦	١٣ % كبريت
النيتروماغنسيوم Nitromagnesia	٧٠	٢٠ % نيتروجين + ١٥ % كبريت
كبريتات الماغنسيوم والبوتاسيوم (K ₂ SO ₄ , MgSO ₄)	١٨-١٠	١٦-٢٢ % كبريت