

الأسمدة وخصوبة التربة النمو والعوامل التي تؤثر فيه

النمو وعلاقته بالزمن:

تختلف الترب من حيث قابليتها على الإنتاج وذلك بسبب اختلاف نوعيتها ومادة الأصل المكونة لها. هذه الإنتاجية للتربة قد تضعف نتيجة استعمال أو نفاذ جزء من العناصر الغذائية الموجودة فيها فيقل إنتاجها أو يضعف وفي هذه الحالة يمكن استعادة خصوبة الأرض وزيادة إنتاجيتها بإضافة الأسمدة إليها، وهنا يمكن تقسيم الترب من حيث قابليتها على الإنتاج إلى:

١. ترب ذات قابلية إنتاجية ذاتية.
٢. ترب ذات قابلية إنتاجية مضافة.
٣. ترب ذات قابلية إنتاجية ذاتية ومضافة.

إن الترب ذات القابلية الإنتاجية الذاتية تتصف بخصوبتها الطبيعية الناتجة عن غنى مادتها الأصلية المتكونة منها بالعناصر الغذائية الضرورية لنمو النبات، ومثل هذه الترب تسمى الترب الغنية بغذاء النبات وتكون مقدرتها الإنتاجية عالية إذا ما توفرت بقية الظروف والعوامل المتعلقة بنمو النبات بصورة ملائمة لنموه.

أما الترب ذات القابلية الإنتاجية المضافة فتكون ذات درجة خصوبة غير طبيعية ناتجة عن إضافة الأسمدة الكيميائية والعضوية إليها لسد حاجة النبات من العناصر الغذائية الضرورية، ومثل هذه الترب تسمى بالترب الفقيرة بمحتواها من الغذاء وذلك بسبب فقر مادة الأصل المكونة لها إلى العناصر الغذائية الضرورية لنمو النبات، ومقدرة هذه الترب على الإنتاج منخفضة في حالة عدم إضافة الأسمدة لها.

والترب ذات القابلية الإنتاجية الذاتية والمضافة تكون ذات درجة خصوبة متوسطة وهي ليست بالترب الغنية أو الفقيرة، وتحتاج إلى كمية قليلة من الأسمدة لإغناء محتواها من العناصر الغذائية الضرورية مقارنة بالترب الفقيرة، ومقدرة هذه النوعية من الترب على الإنتاج أقل من مقدرة الترب الغنية في حالة عدم إضافة الأسمدة لها.

إن الإنتاج النباتي هو محصلة لنمو المحاصيل وعليه فإن النمو يتناسب طردياً مع كمية الحاصل النهائي فإذا كان النمو جيداً فالحاصل يكون جيداً أيضاً من حيث الكمية، ويمكن تعريف **النمو** بكونه ظاهرة الكائن الحي نتيجة لتأثير عوامل النمو البيئية المحيطة والوراثية. ويمكن أن يعبر عن النمو بطرق متعددة ومقاييس مختلفة، إذ يمكن استعمال الوزن العام للمادة الجافة مثلاً دلالة على نمو النبات ودرجة تطوره، كما تستعمل طرق أخرى كالتطور والارتفاع والقطر للدلالة على نمو النبات بأكمله أو جزءاً منه. أما من حيث علاقة النمو بالزمن فإن هذه العلاقة طردية ثابتة تحت الظروف الطبيعية وأن سرعة النمو تكون صغيرة في الطور الأول لنمو النبات ثم تأخذ بالزيادة التدريجية بسرعة أكبر إلى أن يصل النمو إلى حالته النهائية فيأخذ بالبطء مرة أخرى ثم يتوقف وهذه المرحلة هي انتهاء لدورة حياة النبات.

لقد أشرنا سابقاً إلى أن نمو النبات هو محصلة لتفاعل عوامل مختلفة منها بيئية ومنها وراثية ومن أهم هذه العوامل محتوى التربة من العناصر الغذائية الجاهزة للامتصاص من لدن النبات والحرارة والضوء والرطوبة والعوامل الوراثية وغيرها، ويمكن التعبير عن نمو النبات وعلاقته بهذه العوامل بالمعادلة الآتية:

$$G: F (X_1, X_2, X_3, X_4 \dots \dots \dots X_a)$$

G (Growth) = النمو

إذ أن

F (Function) = دالة النمو

$X_1, X_2 \dots \dots X_a$ = عوامل النمو المختلفة

لقد حاول كثير من الباحثين توضيح وتبسيط العلاقة بين نمو النبات والعوامل المؤثرة ووضع هذه العلاقة بصورة معادلات رياضية. وكان العالم Liebig هو أول من بدأ البحث في هذا الموضوع وتوصل إلى قانون عُرف باسمه وهو قانون العامل المحدد للنمو. ويوضح هذا القانون أن العنصر الغذائي المتوفر في التربة بكمية قليلة لا يسد حاجة النبات لإكمال دورة حياته يُعدّ عاملاً محدداً للنمو، على الرغم من وجود العناصر الغذائية الأخرى كافة بكميات كافية.

وفي سنة ١٩٠٩ اختبر العالم الألماني متشرلش Mitscherlich هذه العلاقة ولاحظ بعد عدة تجارب انه إذا تم إمداد النبات بكميات كافية من العناصر الغذائية عدا عنصر واحد فان نمو هذا النبات يتناسب مع كمية هذا العنصر المحدد، وان النمو يزداد بإضافة هذا العنصر المحدد، ولكن هذه الزيادة بالنمو لا تتناسب مباشرة مع الكميات المضافة منه، وهذه الزيادة كانت تقل تدريجياً لكل إضافة جديدة. هذه العلاقة التي أوجدها متشرلش سميت بقانون تناقص الغلة **The Law of diminishing return** وعبر عنها بالمعادلة الرياضية التفاضلية الآتية:

$$\frac{dy}{dx} = (A - Y) C$$

إذ أن:

dy = الزيادة بالحاصل نتيجة الكمية المضافة عامل النمو x .

dy = كمية عامل النمو x .

A = أعلى حاصل يمكن الحصول عليه عند تجهيز عوامل النمو اللازمة كافة.

Y = الحاصل الناتج من الكمية المضافة من عامل النمو x .

C = عدد ثابت يعتمد على طبيعة عامل النمو.

X = عامل النمو.

لقد وجد أن قيمة C للعناصر الغذائية الرئيسية الثلاثة هي:

للنتروجين ٠,١٢٢ للفسفور (P_2O_5) ٠,٦٠٠ للبوتاسيوم (K_2O) ٠,٤٠٠

وهناك اعتراضات وانتقادات وجهت إلى معادلة متشرلش من العديد من الباحثين هي:

١. اعتمد متشرلش على C هي وحدة ثابتة لكل عامل من عوامل النمو (العناصر الغذائية) وأنها غير متغيرة بنوعية المحصول، التربة والعوامل البيئية والوراثية.

٢. لم يأخذ متشرلش بنظر الاعتبار عندما وضع معادلتها ما هو موجود في التربة من عناصر غذائية.

٣. وضح متشرلش بان $A = 100\%$ ولكن في الواقع لم تصل إلا إلى 90% .

بعدها وضع العالم سبلمان معادلة طور فيها آراء وأفكار متشرلش وكان ذلك سنة ١٩٢٤ وهذه المعادلة سميت باسمه **Spillman's Equation** وصيغتها الرياضية التي توضح العلاقة بين نمو النبات وعوامل النمو هي:

$$Y = M (1 - R^x)$$

إذ أن:

Y = كمية النمو الناتجة من عوامل نمو معينة (X).

X = كمية عامل النمو.

M = أعلى حاصل يمكن الحصول عليه عندما تكون جميع عوامل النمو مجهزة بالكمية اللازمة.

R = عدد ثابت.

ونفس الاعتراضات التي وجهت إلى معادلة متشرلش يمكن أن توجه إلى معادلة سبلمان، لذا طور سبلمان معادلتها ومعادلة متشرلش ووضعها بالصيغة الرياضية الآتية:

$$Y = A (1 - 10^{-cx})$$

إذ أن:

Y = الحاصل الناتج عن إضافة كمية من عامل النمو X .

X = كمية عامل النمو.

A = أعلى حاصل ممكن الحصول عليه.

C = عدد ثابت.

لم يكن من السهل استعمال هذه المعادلات لتوضيح العلاقة بين عوامل النمو المتعددة ونمو النبات، لذا تم وضع المعادلات السابقة بصورة أخرى أكثر سهولة بالاستعمال وأكثر وضوحاً وتعبيراً لعلاقة النمو بالعناصر الغذائية وصيغتها هي:

$$\text{Log} (A - Y) = \text{Log} A - 0.301 (X)$$

إذ أن:

A = أعلى حاصل يمكن الحصول عليه نتيجة تجهيز جميع عوامل النمو بالكمية اللازمة.

Y = الحاصل الناتج عن إضافة كمية معينة من عامل النمو X.

X = كمية عامل النمو.

ولشرح كيف تم الحصول على هذه المعادلة من معادلة متشرلش نوضحه بالآتي:

$$\frac{dy}{dx} = (A - Y) C \quad \text{معادلة متشرلش هي}$$

$$\frac{dy}{(A - Y)} = C dx \quad \text{وبعملية التكامل ينتج}$$

$$- (\text{Log} A - Y) = C_x + C_1$$

إذا كانت قيمة X = صفر فإن

$$- \text{Log} A = C_1$$

قيمة Y = صفر ومن هذا ينتج

$$- (\text{Log} A - Y) = C_x + (- \text{Log} A)$$

وبالتعويض عن قيمة C₁ بالمعادلة ينتج

$$\text{Log} (A - Y) = \text{Log} A - C_x$$

خلال الفترة التي ظهرت بها معادلات متشرلش وسيلمان، تمكن العالم الرياضي باول Baule بعد دراسته لآراء متشرلش من إيجاد ما يمكن التعبير به كمقياس كمي لتوضيح العلاقة بين النمو والعناصر الغذائية وسمي هذا المقياس وحدة باول Baul unit التي يمكن تعريفها: هي كمية عامل النمو اللازمة لإنتاج نصف أعلى حاصل ممكن. هذه الوحدة ذات أهمية، وذلك لأنه يمكن استعمالها في حالة وجود عدة عوامل نمو في وقت واحد. فإذا فرض أن جميع عوامل النمو ثابتة عدا عامل واحد فإن الكمية من هذا العامل التي نحتاجها لرفع الحاصل من صفر إلى ٥٠٪ من الحاصل الأعلى يعبر عنها بوحدة باول لهذا العامل. ومن المعروف أن النباتات تحتاج إلى كميات مختلفة من (النيتروجين والفسفور والبوتاسيوم)، واعتبر باول الكميات اللازمة من كل هذه العناصر لإنتاج زيادة قدرها ٥٠٪ من أعلى حاصل يمكن أن تكون وحدة قائمة بذاتها وعرفت هذه الوحدة بوحدة باول. واستناداً إلى هذه النظرية فإن وحدة باول واحدة لعامل نمو معين مكافئة لوحدة باول لأي عامل من عوامل النمو الأخرى المتعددة.

جدول يوضح قيمة وحدة باول للنيتروجين N والفسفور P₂O₅ والبوتاسيوم K₂O التي حسبت من معادلة متشرلش

السماذ	باوند/ ايكر	كغم/ هكتار
N	٢٢٣	٢٤٩,٨
P ₂ O ₅	٤٥	٥٠,٤
K ₂ O	٧٦	٨٥,١

وباستعمال وحدة باول فإن معادلة متشرلش وسيلمان المتطورة التي هي:

$$\text{Log } (A - Y) = \text{Log } A - C_x$$

يمكن أن تصبح بالصيغة الآتية:

$$\text{Log } (A - Y) = \text{Log } A - 0.301X$$

إن اختلاف هذه المعادلة عن المعادلة التي سبقتها يتجلى في أن قيمة $C = 0.301$ وأن حساب قيمة C هو كما يأتي اعتماداً على وحدة باول:

$$100 = A \text{ قيمة}$$

$$1 = X \text{ قيمة}$$

فقيمة Y هي 100 % من قيمة A وذلك اعتماداً على نظرية باول:

إذاً $Y = 50$ ، وذلك لكون $A = 100$ وبالتعويض في المعادلة:

$$\text{Log } (100 - 50) = \text{Log } 100 - C \quad (1)$$

$$1.69897 = 2 - C$$

$$C = 2 - 1.69897$$

$$C = 0.30103$$

وبالتعويض عن قيمة C في المعادلة:

$$\text{Log } (A - Y) = \text{Log } A - C_x$$

تصبح المعادلة بالصيغة الجديدة:

$$\text{Log } (A - Y) = \text{Log } A - 0.301X$$

ولغرض فهم كيفية استعمال هذه المعادلة لحساب الحاصل النسبي **Relative Yield** الناتج عن زيادة كمية عامل النمو، سنقوم بإجراء العمليات الحسابية لتطبيق المعادلة بتغيير كمية عامل النمو.

مثال (١):

إذا فرضنا أن كمية عامل النمو $X = \text{صفر}$ و $A = 100$ فتكون قيمة الحاصل $Y = \text{صفر}$ وذلك كمثل يلي:

$$\text{Log } (A - Y) = \text{Log } A - 0.301X$$

$$\text{Log } (100 - Y) = \text{Log } 100 - 0.301(0)$$

$$\text{Log } (100 - Y) = 2 - 0$$

$$\text{Log } (100 - Y) = 2$$

$$100 - Y = 10^2$$

$$100 - Y = 100$$

$$Y = 100 - 100$$

$$Y = 0$$

$$X = 1$$

مثال (٢):

$$\text{Log } (A - Y) = \text{Log } A - 0.301X$$

$$\text{Log } (100 - Y) = \text{Log } 100 - 0.301 \quad (1)$$

$$\text{Log } (100 - Y) = 2 - 0.301$$

$$\text{Log } (100 - Y) = 1.699$$

$$100 - Y = 10^{1.699}$$

$$100 - Y = 50$$

$$Y = 100 - 50$$

$$Y = 50$$

$$X = 2$$

مثال (٣):

$$\text{Log } (A - Y) = \text{Log } A - 0.301X$$

$$\text{Log } (100 - Y) = \text{Log } 100 - 0.301 (2)$$

$$\text{Log } (100 - Y) = 2 - 0.602$$

$$\text{Log } (100 - Y) = 1.398$$

$$100 - Y = 10^{1.398}$$

$$100 - Y = 25$$

$$Y = 100 - 25$$

$$Y = 50$$

$$X = 8$$

مثال (٤):

$$\text{Log } (A - Y) = \text{Log } A - 0.301X$$

$$\text{Log } (100 - Y) = \text{Log } 100 - 0.301 (8)$$

$$\text{Log } (100 - Y) = 2 - 2.408$$

$$\text{Log } (100 - Y) = -0.408$$

$$100 - Y = 10^{-0.408}$$

$$100 - Y = \frac{1}{10^{0.408}}$$

$$100 - Y = 0.390$$

$$Y = 100 - 0.390$$

$$Y = 99.61$$

جدول يوضح نتائج قيمة X إلى حد ١٠ وحدات

وحدات عامل النمو	الحاصل %	الزيادة بالحاصل %
صفر	٠,٠٠	
١	٥٠,٠٠	٥٠,٠
٢	٧٥,٠٠	٢٥,٠
٣	٨٧,٥٠	١٢,٥
٤	٩٣,٧٥	٦,٢٥
٥	٩٦,٨٨	٣,١٢٥
٦	٩٨,٤٤	١,٥٦٢
٧	٩٩,٢٢	٠,٧٨١
٨	٩٩,٦١	٠,٣٩٠
٩	٩٩,٨٠	٠,١٩٥
١٠	٩٩,٩٠	٠,٠٩٨

يلاحظ من الجدول أعلاه أن هناك زيادة بالحاصل ولكن نسبة الزيادة للحاصل تقل تدريجياً مع كل إضافة متزايدة من وحدات عامل النمو، أي أنه بزيادة عامل النمو يزيد الحاصل وهذه الزيادة تساوي ٥٠ ٪ من الزيادة الناتجة عن إضافة الوحدة السابقة حتى تصل إلى حالة تكون فيها الزيادة ليست ذات قيمة، وبعبارة أخرى أن النسبة في الزيادة في الحاصل إلى الزيادة التي قبلها ثابتة، أي أن

$$\frac{1}{2} = \frac{25}{50} \text{ و } \frac{1}{2} = \frac{12,5}{25} \text{ و } \frac{1}{2} = \frac{6,25}{12,5} \text{ وهكذا}$$

وتمثل نتائج الجدول قانون تناقص الغلة الذي جاء به العالم متشرلش، وما ذكر يوضح أنه إذا كانت جميع عوامل النمو متوفرة بصورة ملائمة لنمو النبات عدا عامل واحد وليكن الفسفور أو البوتاسيوم أو أي عامل آخر فإن إضافة وحدة باول واحدة من هذا العامل تؤدي إلى زيادة الحاصل إلى ٥٠ ٪ من الحاصل الأعظم الذي يمكن الحصول عليه تحت الظروف المتوفرة. ولكن في حالة عدم توفر عاملين بصورة ملائمة لنمو النبات فإن إضافة باول واحد من كل من العاملين تؤدي إلى رفع الحاصل إلى ٥٠ ٪ من الـ ٥٠ ٪ أي ٥٢ ٪ (٥٠ ٪ × ٥٠ ٪ = ٢٥ ٪) من الحاصل الأعظم. وعندما تتوفر ثلاثة عوامل للنمو بصورة ملائمة تكون إضافة باول واحدة من كل من العوامل الثلاثة يؤدي إلى رفع الحاصل إلى ١٢,٥ ٪ فقط من الحاصل الأعظم :

$$\% ١٢,٥ = \% ٥٠ \times \% ٥٠ \times \% ٥٠$$

$$١٢,٥ = ١٠٠ \times \frac{1}{8} = \frac{1}{2} \times \frac{1}{2} \times \frac{1}{2}$$

هذه العلاقة يمكن التعبير عنها بالمعادلة الآتية:

$$Y = A (1 - 10^{-0.301 X_1}) (1 - 10^{-0.301 X_2}) (1 - 10^{-0.301 X_3})$$

إذ أن:

A = أعلى حاصل ممكن الحصول عليه نتيجة تجهيز عوامل النمو كافة بالكمية اللازمة.

Y = الحاصل الناتج عن إضافة كمية معينة من عوامل النمو.

X₁ , X₂ , X₃ = كميات عوامل النمو.

في قانون تناقص الغلة نلاحظ أن هناك زيادة في الحاصل عند كل لاحقة مضافة من وحدات باول يقابل ذلك انخفاض في نسبة الزيادة بالحاصل. هنا التوقف عن إضافة السماد من الناحية الاقتصادية يحصل عندما يلاحظ بأن قيمة الزيادة بالحاصل كإنتاج نتيجة الإضافات المتزايدة من عامل النمو أو عوامل النمو تكون أقل من قيمة عامل النمو أو عوامل النمو المضافة (أقل من قيمة السماد المضاف) أي يجب التوقف عن إضافة الأسمدة عند الحد الذي تكون فيه قيمة الحاصل الزائد تساوي قيمة السماد حتى يمكن الحصول على أعلى ربح.

في سنة ١٩٣٧ أوجد الباحث O. W. Wilcox معادلة توضح العلاقة بين النمو وعوامل النمو بعد أن وظف معادلة

متشرلش لهذا الغرض والمعادلة هي:

$$Y = \frac{k}{n}$$

إذ أن:

Y = حاصل المادة الجافة للأجزاء العليا من النبات.

n = نسبة النتروجين في الحاصل.

k = عدد ثابت.

وأشار هذا الباحث إلى أنه عندما ينمو النبات نمواً طبيعياً تحت ظروف مناسبة من عوامل النمو من ضمنها النتروجين، فإن النبات يمتص ٣١٨ باوند/ايكر من الأرض (٣٥٦,١٦ كغم/هكتار) من النتروجين في دورة نمو واحدة وبذلك عدّ الرقم ٣١٨ عدداً ثابتاً (في المعادلة). ووضح في معادلته أن حاصل النبات يتناسب عكسياً مع نسبة النتروجين الموجودة في المادة الجافة للأجزاء العليا من النبات. إن معادلات متشرلش وباول وويلكوكس قد فشلت في توضيح العلاقة بين نمو النبات وعوامل النمو ولكنها برغم ذلك كانت المبادرة الأولى لتوضيح العلاقة.

وعليه يمكن أن نوجه الانتقادات الآتية لهذه المعادلات:

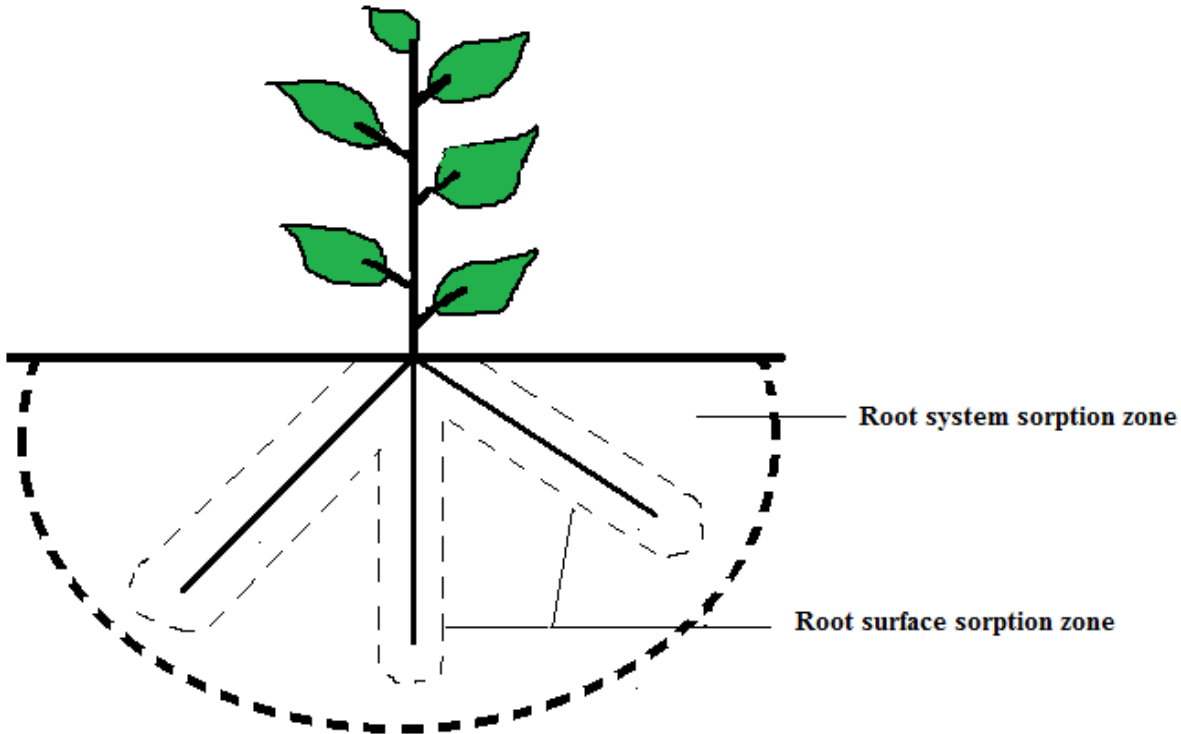
١. يمكن للنبات النامي تحت ظروف جيدة أن يعطي أعلى إنتاج.
٢. إن النبات الذي يعطي كمية كبيرة من المادة الجافة يحتوي على أقل كمية من النتروجين في أجزائه.
٣. إن الوحدة الثابتة (C) غير ثابتة لأن عوامل النمو المختلفة هي عوامل متداخلة وليست ذات تأثير منفرد وكذلك التفاعل المتداخل بين العناصر الغذائية يؤثر على C وكذلك الظروف المناخية وأنواع الترب.

في سنة ١٩٥٤ وضع العالم الأمريكي Roger Bray النقاط التي اختلف فيها العلماء لبيج ومتشرلش و باول وسبلمان ووضع نظرية جديدة لتوضيح النمو وعلاقته بالعناصر الغذائية. وتعتمد فكرة براي Bray على دراسة جاهزية العنصر الغذائي في التربة واثر خصوبة التربة على نمو النبات، واخذ بنظر الاعتبار طبيعة النبات ونوعيته وقسم براي العناصر الغذائية من حيث جاهزيتها على قسمين هما:

- العناصر المتحركة Mobile مثل النترات.
- العناصر غير المتحركة Immobile مثل الفسفور والبوتاسيوم (يكون جاهزاً عندما يكون قريباً من منطقة الجذور، وكلما ابتعد عن منطقة الجذور قلت جاهزيته).

وهذا الاختلاف بالجاهزية أدى بالباحث براي إلى وضع نظريته الخاصة التي عرفت بنظرية (حركة العناصر) والتي تبين بأنه كلما قلت حركة العنصر الغذائي داخل التربة فإن كمية هذا العنصر التي تحتاجها التربة لإعطاء أعلى حاصل تزداد. ووضح براي انه الاختلاف في الجاهزية أدى إلى وجود محورين لامتناس العناصر الغذائية وهما:

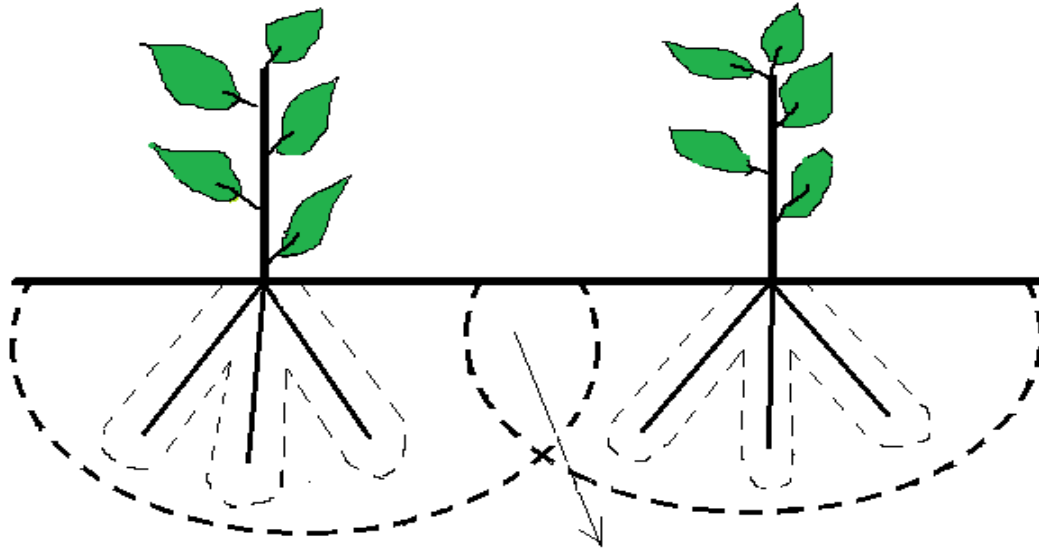
١. المحور الأول الذي يضم كل حجم التربة التي هي حول المنطقة القريبة من الجذور ويسمى هذا المحور Root system sorption zone ويمتص النبات من خلال هذا المحور العناصر الغذائية المتحركة.
٢. المحور الثاني الذي يضم الحجم الصغير من التربة القريب جداً من الجذور أو الشعيرات الجذرية ويسمى هذا المحور Root surface sorption zone ويمتص النبات من خلال هذا المحور العناصر الغذائية الصعبة الحركة. لاحظ الشكل أدناه.



شكل يوضح محاور امتصاص جذور النبات للعناصر الغذائية

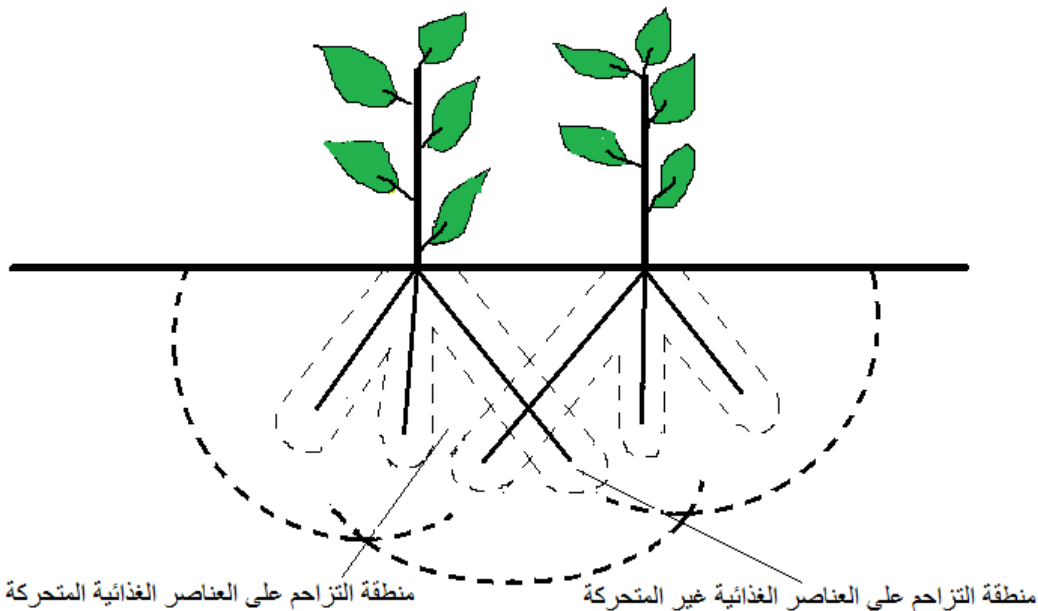
كذلك وضح العالم براي العلاقة بين عدد النباتات المزروعة في مساحة معينة من الأرض وحركة العناصر الغذائية وجاهزيتها للنبات. وأشار إلى أن زيادة عدد النباتات المزروعة في مساحة معينة من الأرض تؤدي إلى ضعف حاصل النبات نتيجة لتزاحم هذه النباتات على الكمية الموجودة من العنصر الغذائي. ووضح براي العلاقة بين تزاحم النباتات وحركة العنصر الغذائي بثلاثة مراحل وهي:

- (١) عندما تكون النباتات المزروعة بعيدة فيما بينها عند زراعتها، إذ أن جذورها (مجاور الامتصاص الجذري) لا تتداخل، فلا يؤدي ذلك إلى حصول أي عملية تزاحم على العناصر الغذائية والماء وعوامل النمو الأخرى.
- (٢) عندما تتداخل Root system sorption zone بعضها مع بعض فإن ذلك سوف يؤدي إلى حصول تزاحم وتنافس بين النباتات للحصول على العنصر الغذائي المتحرك. لاحظ الشكل أدناه الذي يوضح هذا التداخل.



شكل يوضح تداخل مجاور الامتصاص الجذري للعنصر الغذائي المتحرك

- (٣) عندما تتداخل Root surface sorption zone بعضها مع بعض فإن ذلك سوف يؤدي إلى حصول تزاحم وتنافس بين النباتات للحصول على العنصر الغذائي المتحرك وغير المتحرك. لاحظ الشكل أدناه الذي يوضح هذا التداخل.



شكل يوضح تداخل محاور الامتصاص الجذري للعنصر الغذائي المتحرك وغير المتحرك

لهذا يجب الاعتماد على ما جاء به براري في الزراعة الحديثة حيث يجب اعتماد النقاط الآتية عند الزراعة:

- طريقة الزراعة والمسافة بين نبات ونبات أو خط وخط آخر في الحقل.
- معدل البذار بوحد الأرض المزروعة، أي عدد النباتات في وحدة المسافة.

وتُعتمد هذه النقاط من أجل:

١. عدم حصول تزاخم بين النباتات على العناصر الغذائية.
 ٢. حصول النباتات على الكمية الكافية من العناصر الغذائية وعوامل نمو أخرى مثل الضوء وثاني اوكسيد الكربون والرطوبة وغيرها من العوامل.
 ٣. الحصول على حاصل وإنتاج جيد.
- ومن الأعمال الأخرى التي قام بها براري كما ذكرنا سابقاً هو وضع معادلة جديدة لتوضيح العلاقة بين النمو والعناصر الغذائية واعتمد في ذلك على معادلات متشرلش وباول والمعادلة التي وضعها هي:

$$\text{Log } (A - y) = \text{Log } A - (C_1b + C_x)$$

إذ أن:

A = أعلى حاصل ممكن الحصول عليه عند تجهيز النبات بجميع عوامل النمو اللازمة.

y = الحاصل الناتج نتيجة إضافة عامل النمو.

b = كمية العنصر الغذائي الموجود أصلاً في التربة.

x = كمية العنصر الغذائي المضافة كسماد (b و x نفس عامل النمو).

C_1 و C_x = معامل الضعف التدريجي في صورة العنصر الموجود في التربة أصلاً b وصورة السماد المضاف x .

يلاحظ من هذه المعادلة النقاط الآتية:

(١) اعتمد براري تحليل التربة وكمية العنصر الغذائي الموجود.

(٢) اعتمد براري بمعادلته صور العنصر الغذائي وتأثيرها على نمو النبات.

(٣) إضافة السماد تعتمد على حاجة النبات استناداً إلى تحليل التربة.

العوامل المؤثرة في نمو النبات:

التربة هي المهد الذي تعيش فيه النباتات الراقية، إذ تنمو جذور هذه النباتات وتتعمق وتتخلل المسافات البينية للتربة من أجل الحصول على الماء والعناصر الغذائية. أما سيقان هذه النباتات فإنها تنمو وتمتد بما تحمله من أوراق وأزهار وثمار في الهواء فوق سطح التربة. ومن هذا فان نمو النباتات الراقية يتأثر بمكونات وخواص هذا المهد وكذلك بالعوامل المناخية السائدة فوق سطح التربة. وأخيراً تتأثر بالعوامل الوراثية المتعلقة بطبيعة ونوع النبات. ومن الصعب تحديد جميع العوامل التي تؤثر في نمو النبات بصورة مباشرة أو غير مباشرة ولكن يمكن تحديد أهم العوامل المؤثرة وهي:

أولاً: العوامل الوراثية:

إن تحسين النباتات وإنتاج البذور المحسنة وإيجاد أصناف متفوقة في إنتاجها عن الأصناف السائدة، تُعد من أفضل الوسائل والطرق لرفع وزيادة الإنتاج الزراعي. لقد حصل كثير من التقدم في علم تربية وتحسين النباتات إذ استطاع مربو النبات من انتخاب نباتات جيدة في إنتاجها ومقاومة للأمراض والحشرات المنتشرة في المنطقة وملائمة للظروف البيئية. وهناك طرق عديدة لتربية النباتات منها:

- إدخال أصناف مستوردة من المحصول المراد تحسينه من خارج البلد وزراعتها لغرض مقارنتها مع الأصناف المحلية لمعرفة مدى صلاحيتها من حيث الإنتاج ومقاومة ظروف المنطقة.
- عزل النباتات الجيدة في الصنف الواحد وانتخاب أفضلها لغرض التكاثر والتوزيع.
- التهجين وهي نقل طائفة من الصفات الجيدة والمرغوب بها من صنف إلى صنف آخر تنقصه تلك الصفات.

ثانياً: العوامل البيئية:

وهي تضم معظم العوامل المؤثرة في نمو النبات وهي العوامل المتوفرة فوق سطح التربة وفي التربة ذاتها وأهم هذه العوامل:

١- رطوبة التربة:

الماء هو العامل الرئيسي لنمو النباتات وتوزيعها، ويعد من أهم العوامل المحددة لنجاح الزراعة في منطقة ما. وتختلف نسبة الماء في النباتات المختلفة، فهو يكون أكبر جزء من مكونات النبات، ويمكن أن تقدر نسبة الماء في النباتات بما معدله ٧٥ ٪ من وزن النبات الأخضر وتختلف هذه باختلاف:

(نوع النبات - وعمره - وموسمه - ومحتوى التربة الرطوبي - ودرجة الحرارة - وسرعة الرياح - ورطوبة الجو - والإشعاع الشمسي). ويؤثر محتوى التربة الرطوبي في كثير من العمليات والظواهر الفسيولوجية التي يقوم بها النبات، وأهم هذه التأثيرات:

محتوى التربة الرطوبي ونمو النبات:

إن نمو النبات يتناسب بصورة عامة مع كمية الماء الموجودة في التربة، إذ أن للماء دوراً كبيراً في معظم العمليات الحيوية التي يقوم بها النبات، فقد أشار الباحث (Hsaio 1973) إلى أن نقص الماء يؤدي إلى حصول تأثيرات فسيولوجية مختلفة في النبات، ووضع هذه التأثيرات أو التغيرات حسب التسلسل الآتي:

- يؤدي نقص الماء إلى تناقص النمو في أجزاء النبات العليا ونمو الورقة وهذا يتبعه تناقص في معدل تكون جدر الخلية والبروتين.

- ربما يقل معدل انقسام الخلايا ومستوى بعض الإنزيمات مثل إنزيم Nitrate reductase المسؤول عن اختزال النترات في النبات بعد امتصاصها من التربة.

- بتقدم نقص الماء يمكن أن تنغلق الثغور، ويزامن غلق الثغور حصول تناقص في معدل عملية النتج وتمثيل ثاني اوكسيد الكربون.

- وبعد هذه النقطة تبدأ تغيرات أخرى بالظهور مثل انخفاض معدل عملية التنفس وانتقال المواد الناتجة من عملية التركيب الضوئي.

- لوحظ أيضاً تجمع للسكريات والأحماض الامينية مثل البرولين. وهذه التغيرات الفسيولوجية ترتبط بتغيرات تشريحية في النبات مثل تجوف الخشب وهرم وتساقط الأوراق ثم موت النبات.

- تلعب الرطوبة دوراً كبيراً في نمو جذور النباتات وتغلغلها بعمق داخل التربة، ووجد أن تعمق الجذور يزداد بانخفاض المحتوى الرطوبي للتربة، ولكن نمو الجذور وتعمقها يتوقف عندما يكون محتوى التربة من الرطوبة قليلاً جداً أو عند حالة الجفاف وذلك لتوقف نمو الجذور نفسها.

- المحتوى الرطوبي العالي للتربة يحد من تغلغل الجذور بسبب انخفاض كمية الأوكسجين تحت مستويات الرطوبة العالية.

محتوى التربة الرطوبي وامتصاص العناصر الغذائية:

يلعب محتوى التربة الرطوبي دوراً كبيراً في امتصاص النبات للعناصر الغذائية، وقد وُجِدَ أنه يزداد امتصاص العناصر الغذائية بزيادة المحتوى الرطوبي للتربة (Danielson and Russel 1957) والسبب يعود إلى زيادة سمك الأغشية المائية التي تتكون داخل التربة والتي بدورها تؤدي إلى زيادة انتشار العناصر الغذائية من خلالها. وأكد ذلك الباحث (Barber 1962) إذ وُجِدَ أن تناقص محتوى التربة الرطوبي أدى إلى صغر مساحة المقطع العرضي للأغشية المائية وإلى زيادة تعرج الجذور مسبباً تناقصاً في معدل انتشار الأيونات في الأغشية المائية مما يؤدي إلى انخفاض معدل الامتصاص الأيوني للعناصر الغذائية الموجودة في محلول التربة.

يتضح مما سلف أنه لا بد من إمداد النبات بكمية كافية من الماء ليحتفظ بنظارته وتظل خلاياه قائمة بوظائفها الحيوية بصورة جيدة وخاصة من حيث طلبها للعناصر الغذائية التي تزداد جاهزيتها وصلاحيتها للامتصاص من لدن النبات بتوفر الرطوبة الملائمة لنمو النبات في التربة وبالتالي تكون المحصلة زيادة الإنتاج.

ولا ننسى أن زيادة رطوبة التربة عن الحد المعقول لنمو النبات تكون ذات مردود سلبي إذ تؤدي إلى ضعف نمو الجذور بسبب نقص الأوكسجين اللازم، وهذا يؤدي إلى قلة امتصاص العناصر الغذائية اللازمة لنمو النبات وبالتالي قلة الحاصل أو انعدامه، وكذلك تؤدي زيادة الرطوبة إلى جعل النباتات أكثر عرضة للإصابة بالأمراض والحشرات.

٢ - الحرارة:

تُعَدُّ درجة الحرارة من أهم العوامل البيئية المؤثرة في نمو النبات وإنتاج المحاصيل، وتُعَدُّ أشعة الشمس المصدر الأساسي للطاقة الحرارية وأن ٢٥٪ فقط من الطاقة الشمسية الموجهة إلى الأرض تصل إلى سطح الأرض. إن درجات الحرارة الملائمة لمعظم المحاصيل الزراعية تقع بين (١٥) درجة مئوية إلى (٤٠) درجة مئوية، وأن انخفاض درجة الحرارة عن (١٥) درجة مئوية أو زيادة درجة الحرارة عن (٤٠) درجة مئوية يؤدي إلى حصول انخفاض في معدل النمو للنباتات. وتؤثر الحرارة بصورة مباشرة أو غير مباشرة في كثير من العمليات الحيوية في النبات، ومن تأثيرات درجة الحرارة ما يلي:

١. تؤثر درجة الحرارة تأثير مباشر في توزيع النباتات على سطح الكرة الأرضية، واستناداً لعلاقة النباتات بدرجة الحرارة قسمت إلى مجموعتين أساسيتين هما: **نباتات صيفية** تنجح زراعتها تحت ظروف الصيف مثل الذرة الصفراء والبيضاض وفول الصويا وكذلك الخضراوات الصيفية. و**نباتات شتوية** تكون زراعتها ناجحة تحت ظروف الشتاء مثل الحبوب والبقوليات ومحاصيل العلف الشتوية والخضراوات الشتوية.

٢. تؤثر درجة الحرارة في عملية إنبات بذور النباتات، إن معظم البذور يمكن أن تنبت بين درجات حرارة تتراوح من ٢١ م° - ٣٢ م°، وأن انخفاض أو ارتفاع درجة الحرارة عن هذا المعدل يؤثر بطريقة أو أخرى في الإنبات وبالتالي على النمو والإنتاج.

٣. تؤثر درجة الحرارة في عملية التركيب الضوئي، وهذا التأثير عملية معقدة وتختلف باختلاف نوعية النباتات وأصنافها وبمحتوى الجو من ثاني أكسيد الكربون وبشدة الضوء وفترته.

٤. تؤثر درجة الحرارة في عملية التنفس، إذ أن عملية التنفس تقل بانخفاض درجة الحرارة وتزداد بازديدها.

٥. تؤثر درجة الحرارة على فقدان الماء من النبات عن طريق النتح ومن فتحات الثغور الموجودة في أوراق النبات، إن ارتفاع درجة الحرارة يؤدي إلى زيادة عملية فقدان الماء من النبات (النتح)، وأن انخفاضها يقلل من فقدان الماء من النبات. في درجات الحرارة المرتفعة قد يكون معدل فقدان الماء من النبات أعلى من كمية الماء التي تمتصها جذور النبات وهذا يؤدي إلى ظهور حالة الذبول على النبات.

٦. يؤثر اختلاف درجات الحرارة على امتصاص الماء من قبل جذور النباتات، وبصورة عامة فإن ارتفاع درجة حرارة الوسط الجذري من صفر درجة مئوية إلى ٦٠ أو ٧٠ م° يؤدي إلى زيادة عملية الامتصاص إلا أن ارتفاع درجة الحرارة عن هذا الحد يؤدي إلى توقف عملية الامتصاص.

٧. انخفاض درجة حرارة التربة تؤثر سلبياً على نمو النبات وهذا يكون عن طريق تأثيرها على درجة امتصاص الماء من قبل الجذور إضافة إلى إحداث ضرر في النبات نتيجة فقدان أنسجة النبات للماء أو تمزق الأنسجة

النباتية نتيجة إنجماد الماء، وتكون بلورات مائية داخل الأنسجة عند الانخفاض الحاد لدرجات الحرارة أو عند فترات الصقيع.

٨. تؤثر درجة الحرارة على عملية امتصاص العناصر الغذائية التي تؤثر بدورها في نمو النبات، إذ ينخفض معدل امتصاص العناصر الغذائية بانخفاض درجة حرارة التربة وهذا ربما يعود إلى انخفاض العمليات الحيوية للنبات ومنها عملية التنفس أو إلى انخفاض درجة نفاذية الأغشية الخلوية.

٩. تؤثر درجة الحرارة على نشاط الكائنات الحية الدقيقة الموجودة في التربة، إذ أن معظم الكائنات الحية الدقيقة التي تعيش بالتربة تنمو وتنشط وتتكاثر في درجات حرارة من (٥٠ - ١٠٤ °ف). إن معظم الكائنات الحية الدقيقة ذاتية التغذية يزداد نشاطها بارتفاع درجة الحرارة.

١٠. تؤثر درجة الحرارة على درجة تفاعل التربة التي بدورها تؤثر في نمو النبات وذلك عن طريق تأثيرها على درجة جاهزية العناصر الغذائية وتركيزها داخل محلول التربة وامتصاص النبات لها. إذ ترتفع درجة تفاعل التربة في الشتاء وتنخفض في الصيف والسبب يعود إلى نشاط الكائنات الحية الدقيقة وعلاقتها بتحرير CO₂ الذي يتفاعل مع الماء ليكون حامض الكربونيك وحوامض أخرى.

١١. يتضح من كل ما ذكر بان درجة الحرارة تؤثر بصورة مباشرة أو غير مباشرة في نمو النبات وفي الحاصل وهذا التأثير إما أن يكون ذا مردود سلبي من الناحية الاقتصادية أو ذا مردود ايجابي يتمثل بزيادة الإنتاج.

٣- الضوء:

يُعدّ الضوء من العوامل المهمة والمؤثرة في نمو النبات، ويقصد بالضوء هنا شدة الضوء ومدته، إذ يؤثر الضوء في العمليات الحيوية التي يقوم بها النبات مثل عملية التركيب الضوئي، التي تزداد بازدياد شدة الضوء ويساعد كذلك في عملية استهلاك ثاني أكسيد الكربون وتحويله إلى سكريات في عملية التركيب الضوئي، إضافة إلى تأثيره في عملية إنبات البذور والتزهير، وكذلك يؤثر الضوء في عملية امتصاص العناصر الغذائية من قبل النبات.

ومن الناحية التطبيقية يجب أن يؤخذ عامل شدة الضوء بنظر الاعتبار عند الزراعة، فازدياد عدد النباتات في مساحة معينة من الأرض عن الحد المعقول يؤدي إلى حصول تراحم بين هذه النباتات على الماء والعناصر الغذائية والضوء مما يؤدي إلى انخفاض الحاصل. واستناداً إلى استجابة النباتات وتأقلمها لطول فترة الضوء فقد قسمت النباتات إلى ثلاثة أقسام هي:

• نباتات النهار الطويل Long day plant:

هذه النباتات تحتاج إلى أكثر من ١٤ ساعة ضوء و ١٠ ساعات ظلام أو أقل، وهذه النباتات لا تزهر في حالة تعرضها إلى أقل من هذه المدة المحددة للضوء. ومن هذه النباتات فول الصويا والذرة الصفراء والبيضاء والتبغ والدخن والرز.

• نباتات النهار القصير Short day plant:

هذه النباتات تحتاج إلى أقل من ١٠ ساعات ضوء وما يزيد عن ١٤ ساعة ظلام، ومن هذه النباتات المحاصيل الشتوية كالحنطة والشعير.

• نباتات النهار المعتدل Indeterminate plant:

هذه النباتات تحتاج إلى ١٠ - ١٤ ساعة ضوء ومن ١٠ - ١٤ ساعة ظلام من أجل الإزهار والنضج، ومن هذه النباتات والقطن.

٤- مكونات الهواء الجوي:

يحتوي الهواء الجوي على ٠,٠٣ ٪ من ثاني أكسيد الكربون جميعاً و ٢٠,٩٩ ٪ من الأوكسجين. إن ثاني أكسيد الكربون الجوي الناتج من عملية التنفس للنباتات والحيوانات، كذلك تُعدّ عملية تحلل المواد العضوية مصدراً مهماً لهذا

الغاز. إن لزيادة تركيز CO₂ في الجو إلى الحد المعقول يؤدي إلى زيادة كمية الحاصل وتحسين نوعيته لأنواع مختلفة من النباتات مثل الطماطا والبطاطا والخيار والفاصولياء والباقلاء ونباتات الأزهار.

كما أن غاز الأوكسجين مهم جداً للنبات ووجوده بالكميات الملائمة يساعد على زيادة نشاط العمليات الحيوية ومنها التنفس. بعض الغازات في حالة وجودها في الجو يكون تأثيرها سلبياً على نمو النبات وخاصةً في حالة التراكيز العالية منها HF (Hydroflouric) و CO (Carbon monoxide) و SO₂ (Sulfur dioxide).

٥- تهوية التربة

يُعدّ عامل تهوية التربة من أهم العوامل المؤثرة والضرورية لنمو النبات، فالتربة ذات التهوية الجيدة هي التربة التي تحتوي على الكميات اللازمة من الغازات المهمة وتكون هذه الغازات في حالة متجددة وسهلة الحركة خلال مسامات التربة. إن تركيب هواء التربة يختلف من حيث تركيز الغازات عن تركيب الهواء الجوي، إذ يوجد CO₂ بتركيز ٠,٢ - ١ ٪ بينما يوجد الأوكسجين بتركيز ٢٠,٣ ٪ وهذه النسبة أقل من تركيز الأوكسجين في الهواء الجوي. إن عملية تنفس جذور النبات تعتمد بصورة كبيرة على أوكسجين هواء التربة، وتجهيز جذور النبات بالكميات اللازمة من الأوكسجين يساعد على حصول عملية التنفس بصورة جيدة مما يؤدي إلى تكون الطاقة اللازمة لمختلف العمليات الحيوية التي تقوم بها الجذور ومنها امتصاص العناصر الغذائية اللازمة لسد احتياجات النبات لإكمال دورة حياته. إن تركيب هواء التربة ودرجة تهويتها من حيث ملاءمتها لنمو النبات أو العكس يعتمدان على تركيب ونسجة التربة وكذلك على درجة رطوبتها.

إن التربة تتكون بصورة عامة من جزء صلب وفراغات فاصلة بين الدقائق المختلفة ويطلق على هذه الفراغات بالمسامات Pore space ، وأن الوزن الكلي للتربة على الحجم الكلي بما في ذلك حجم المسامات يُعبّر عنه بالكثافة الظاهرية للتربة Bulk density، وهي تتأثر كثيراً بالعمليات الزراعية وباستعمال التربة، فالأثرية ذات التركيب الحبيبي تكون ذات كثافة ظاهرية منخفضة وذلك لكون وزنها إلى وحدة الحجم يكون منخفضاً أي ذات درجة مسامية جيدة، بينما الترب المضغوطة وذات التركيب الرديء على العكس من ذلك وهي أن كثافتها الظاهرية مرتفعة. ومن هذا نجد العلاقة الآتية: { كلما ارتفعت الكثافة الظاهرية انخفضت مساميتها والعكس صحيح } ومن هذا يتضح أن تركيب التربة ذو تأثير مباشر في كثافتها الظاهرية التي بدورها تؤثر في المسامية والتي تؤثر في درجة تهوية التربة واحتوائها على الماء. والوحدة التي تقدر بها الكثافة الظاهرية وكذلك الحقيقية هي (غم/سم^٣).

أما الكثافة الحقيقية للتربة Particle density فهي الوزن الحقيقي للجزء الصلب من التربة على الحجم بدون مسامات، وهي تبقى ثابتة لأي تربة ولا تتغير لأنها تعتمد على التركيب المعدني لدقائقها (تتراوح الكثافة الحقيقية للتربة بحدود ٢,٦٠ - ٢,٧٥ غم/سم^٣).

إن ارتفاع الكثافة الظاهرية للتربة أي قلة التهوية يؤدي إلى:

- قلة نمو النبات، ويكون التأثير كبيراً وواضحاً في مرحلة نمو البادرات.
- زيادة مقاومة التربة الميكانيكية لنمو الجذور وتعمقها.
- انخفاض معدل انتشار الأوكسجين في مسامات التربة وبذلك يتأثر معدل تنفس الجذور وتقل الطاقة المجهزة للنبات.
- انخفاض معدل أكسدة المادة العضوية للتربة نتيجة انخفاض معدل نشاط الكائنات الحية الدقيقة الهوائية.
- انخفاض معدل امتصاص العناصر الغذائية بقلة التهوية نتيجة لتأثر نمو الجذور وتعمقها.
- تحت الظروف غير الهوائية تتجمع مركبات تضم مواد سامة للنبات مثل الأثيلين وغاز الميثان وكبريتيد الهيدروجين والسيانيد والحمض الزبدى Butyric acid وغيرها نتيجة العمليات الحيوية للكائنات الحية الدقيقة غير الهوائية.
- إن قلة التهوية تؤدي إلى قلة تكون الهرمونات النباتية مثل السايوتوكاينين والجبرلين.

٦- درجة تفاعل التربة (pH)

يقصد بدرجة تفاعل التربة أو الرقم الهيدروجيني للتربة باللوغاريتم السالب لنشاط وتركيز ايون الهيدروجين فيها. تؤثر درجة تفاعل التربة في نمو النبات، إذ لها علاقة كبيرة بدرجة نوبان العناصر الغذائية المختلفة وزيادة جاهزيتها في محلول التربة، وكذلك فإن pH التربة تأثير كبير في نمو الكائنات الحية الدقيقة في التربة التي بدورها تلعب دوراً كبيراً في نمو النبات، كما لها علاقة في انتشار أو قلة انتشار الأمراض النباتية المختلفة.

٧- محتوى التربة من العناصر الغذائية

يُعَدُّ هذا العامل من أهم العوامل المؤثرة في نمو النبات، وهذا الموضوع يضم نقاط وتفرعات عديدة منها:

أنواع العناصر الغذائية ودرجة تيسرها للنبات – والعناصر الضرورية وغير الضرورية لنمو النبات – والعوامل المؤثرة في جاهزية العناصر الغذائية – والنبات وعلاقته بامتصاص العناصر الغذائية – محتوى التربة من كل عنصر من العناصر الغذائية ومصدر هذا العنصر وأشكاله والعوامل المؤثرة في جاهزيته – وتفاعلات هذا العنصر داخل التربة وعلاقة ذلك بنمو النبات – وكما يتطرق هذا الموضوع إلى التسميد وأنواع الأسمدة وطرق إضافتها ومواعيد الإضافة وكمياتها للتعرف على طرق زيادة محتوى التربة من العناصر الغذائية لسد احتياجات النبات.

٨- العوامل الحيوية

من العوامل الحيوية المهمة التي تلعب دوراً مهماً في نمو النبات وإنتاجية المحاصيل هي:

- العامل البشري (الإنسان): ويقصد بها دور الكادر البشري باختصاصاته الزراعية والصناعية والاقتصادية في تطوير العملية الزراعية وإدخال الحديث في الزراعة عن طريق القيام بالدراسات والبحوث المتعلقة بمجالات الزراعة كافة من أجل زيادة الإنتاج كماً ونوعاً واستغلال الأرض الاستغلال الأفضل.
- الآفات من حيوانات وحشرات: ويقصد بهذا العامل الحيوانات والحشرات المضرة والمتلفة لحقول المحاصيل ومنها الطيور، وجرذان الحقل، والخنازير البرية والأرانب، والحشرات الضارة بأنواعها كافة.
- الأمراض التي تصيب النباتات والتي تكثر في بيئة معينة وتحت ظروف خاصة.
- الكائنات الحية الدقيقة: منها الضارة ومنها النافع للنبات فهناك كائنات (نافعة) تقوم بتحليل المواد العضوية الموجودة في التربة وكائنات أخرى لها دور مباشر بزيادة جاهزية وامتصاص العناصر الغذائية الصعبة الحركة مثل المايكورايزا. وهناك كائنات مجهرية (ضارة) تؤدي إلى تلف المحاصيل ورداءة الإنتاج كماً ونوعاً وذلك عن طريق نشر الأمراض المختلفة في التربة أو على النباتات.
- الأدغال: ويقصد بها جميع النباتات البرية وغير البرية وغير المرغوب بوجودها في الحقل مع المحصول الاقتصادي. هذه النباتات تعمل على مزاحمة ومناقسة المحصول المزروع على الماء والعناصر الغذائية والضوء وغيرها من العوامل المهمة في نمو النبات.

المحاضرة الثانية

أسس ومفاهيم أولية في خصوبة التربة والتسميد

مكونات التربة:

التربة نظام يتكون من مواد غير متجانسة تشكل ثلاث أطوار مختلفة الصفات هي الطور الصلب والطور السائل والطور الغازي.

الطور الصلب:

يُعد الطور الصلب، المتكون من المواد الأولية للتربة حبيبة للعمليات الفيزيائية والكيميائية والحيوية، والمخزن الرئيس لمعظم العناصر الغذائية التي يحتاجها النبات لإكمال دورة حياته ويشمل هذا الطور جزأين رئيسيين هما:

- الجزء المعدني Inorganic portion

- الجزء العضوي Organic portion

الجزء المعدني: يتألف من حبيبات معدنية مختلفة الأقطار والأحجام وذلك لاختلاف أصل مكوناتها، بعضها خشن يمكن رؤيته بالعين المجردة وبعضها يصل إلى قطر دقيق جداً لا يمكن رؤيته حتى بالميكروسكوب العادي. وعليه فقد وجد نظام لتوزيع هذه الحبيبات حسب أحجامها وهو **النظام العالمي لجمعية علوم التربة** ويشمل:

رمل خشن قطر حبيباته ٢,٠ - ٠,٢ ملم

رمل ناعم قطر حبيباته ٠,٢ - ٠,٠٢ ملم

سلت (غرين) قطر حبيباته ٠,٠٢ - ٠,٠٠٢ ملم

طين قطر حبيباته أقل من ٠,٠٠٢ ملم

وهناك نظام آخر وهو **النظام الأمريكي** لتوزيع هذه الحبيبات ويشمل:

رمل خشن جداً قطر حبيباته ٢,٠ - ١,٠ ملم

رمل خشن قطر حبيباته ١,٠ - ٠,٥ ملم

رمل متوسط قطر حبيباته ٠,٥ - ٠,٢٥ ملم

رمل ناعم قطر حبيباته ٠,٢٥ - ٠,١٠ ملم

رمل ناعم جداً قطر حبيباته ٠,١٠ - ٠,٠٥ ملم

سلت (غرين) قطر حبيباته ٠,٠٥ - ٠,٠٠٢ ملم

طين قطر حبيباته أقل من ٠,٠٠٢ ملم

ويتكون الجزء المعدني للتربة من:

١. المعادن الأولية Primary minerals

هذه المعادن تكونت وتبلورت عندما بردت الكتلة الملتهبة والمنصهرة في باطن الأرض لتكون الصخور التي بدورها تعرضت إلى عوامل تعرية طبيعية لتكون المعادن الأولية للطور الصلب من التربة وهذه المعادن تضم في تركيبها مختلف العناصر التي تدخل في تغذية النبات وأهم هذه المعادن:

Hornblende	$\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{Mg}_2\text{Fe}_3,\text{Si}_6\text{O}_{22}(\text{OH})_2$
Quartz	SiO_2
Micas	
Muscovite	$\text{K Al}_3\text{Si}_3\text{O}_{10}(\text{OH})_2$
Biotite	$\text{K Al}(\text{Mg},\text{Fe})_3\text{Si}_3\text{O}_{10}$
Na Plagioclase	$\text{Na AlSi}_3\text{O}_8[\text{Feldspar}]$
Ca Plagioclase	$\text{Ca Al}_2\text{O}_8[\text{Feldspar}]$
Augite	$\text{Ca}(\text{Mg},\text{Fe},\text{Al})(\text{Si},\text{Al})_2\text{O}_6$

٢. المعادن الثانوية Secondary minerals:

تنشأ هذه المعادن الثانوية نتيجة عمليات التعرية وخاصة التعرية الكيميائية للمعادن الأولية التي تُعدّ الأصل في تكون المعادن الثانوية التي تجهز النبات بالعناصر الغذائية، وأهم هذه المعادن:

Calcite	CaCO_3
Dolomite	$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$
Gypsum	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
Apatite	$\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3 \cdot (\text{Cl},\text{F})$
Limonite	$\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$
Hematite	Fe_2O_3
Gibbsite	$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$
Clay minerals	Al Silicates

وتُعدّ معادن الطين من أهم المعادن الثانوية من حيث علاقتها الكبيرة بخصوبة التربة وتغذية النبات وذلك لكونها مخزناً للعناصر الغذائية بسبب خاصية الاحتفاظ وتبادل ايونات العناصر الغذائية، ويلعب الطين دوراً مهماً رئيسياً في كل التفاعلات الكيميائية والفيزيائية التي تحصل في التربة، وكذلك يؤثر الطين بصورة مباشرة وغير مباشرة على العمليات الحيوية للتربة، ولهذا فإن للطين تفسيراً لمواضيع أساسية من حيث العلاقة بخصوبة التربة ومن هذه المواضيع:

- التبادل الأيوني الذي يُعدّ صفة من صفات معادن الطين التي يكتسبها من دقة حبيباته ومع الماء يشكل نظاماً غروبياً.
- يفسر الطين باعتباره مخزناً للعناصر الغذائية وجود العناصر الغذائية في التربة وتأثيرها في نمو النبات.
- يؤثر الطين على الصفات الفيزيائية للتربة التي بدورها في نمو النبات. إن الطين ذو مساحة سطحية كبيرة جداً مقارنة بالمساحة السطحية للرمل والسلت. مثال ذلك أن المساحة السطحية لـ (٠,٤٥٤ كغم) من الطين من نوع المونت موريللونيت هي (٠,٣٥ كم^٢)، في حين أن المساحة السطحية لنفس الوزن السلست هي (٠,٠٠٢ كم^٢)، بينما المساحة السطحية لنفس الوزن من الرمل تقدر بـ (٤٠ قدم مربع) والمساحة السطحية للطين تعتمد على نوعية الطين الموجودة في التربة. ومن الصفات الفيزيائية التي تؤثر فيها المساحة السطحية للطين بصورة كبيرة مثل (مقدرة التربة على الاحتفاظ بالماء Water holding capacity - وثبوتية تجمع حبيبات التربة - تمدد وتقلص التربة - وتشرب التربة بالماء - ويؤثر الطين على مطاطية ومرونة التربة - وكذلك حركة الماء في التربة).
- يفسر الطين عمليات تثبيت العناصر الغذائية ومنها البوتاسيوم والنترجين (أمونيوم).

إن لمعادن الطين مجاميع رئيسية مختلفة ومن هذه المجاميع:

مطلوب دراستها
في الكتاب
وبشكل مفصل

أولاً: مجموعة الكاؤولينايت Kaolinitic group
ثانياً: مجموعة المونتموريللونايت Montmorillonite
ثالثاً: مجموعة الإلايت Illite
رابعاً: مجموعة الفيرميكولايت Vermiculite

الجزء العضوي: هو الجزء المكمل للطور الصلب للتربة، وهذا الجزء يمثل بالمادة العضوية للتربة التي هي بقايا ومخلفات النبات والحيوان المعرضة لعمليات التحلل داخل التربة بواسطة الكائنات الحية الدقيقة. تُعد بقايا النبات من أوراق وسيقان وجذور المصدر الرئيس لمادة التربة العضوية بعد تحللها، وكذلك تُعد الأسمدة الخضراء التي هي نباتات تُزرع وتُقلب في تربتها في مرحلة من مراحل نموها (البقوليات كالجت والبرسيم) مصدراً آخر للمادة العضوية، بالإضافة إلى ذلك الأسمدة العضوية المضافة إلى التربة مثل مخلفات حيوانات الحقل ومخلفات المجازر، والكائنات الحية الدقيقة والكبيرة كبقايا أو مخلفات أو نواتج، إذ تُعد أيضاً مصدراً مهماً للمادة العضوية.

الطور السائل:

يُعرف الطور السائل للعاملين في مجال خصوبة التربة بمحلول التربة الذي يحتوي على الماء ومحاليل الأملاح لايونات الكالسيوم، والبوتاسيوم، والصوديوم، والمغنيسيوم، والنترات، والكبريتات، والبيكربونات، والكلوريدات. وقد توجد كميات قليلة من ايونات أخرى وأيضاً مركبات عضوية ناتجة من تحلل مادة التربة العضوية. هذه العناصر الغذائية الموجودة في محلول التربة تكون جاهزة للامتصاص من قبل النبات لارتفاع درجة ذوبانيتها في محلول التربة. والنبات لا يكفي فقط بما هو موجود من عناصر غذائية في محلول التربة بل يمكنه أيضاً الاستفادة من العناصر الغذائية الموجودة في حالة تبادل على سطوح معادن الطين والمادة العضوية، وذلك لوجود حالة اتزان بين محلول التربة وسطوح التبادل لمعادن الطين والمادة العضوية للتربة، لذا يعتبر محلول التربة الوسط الذي تحدث فيه معظم التفاعلات الكيميائية للتربة.

إن حجم مكونات الطور السائل تختلف باختلاف المحتوى الرطوبي للتربة، إذ أنه في حالة ارتفاع المحتوى الرطوبي للتربة نتيجة سقوط الأمطار أو الري بكميات كبيرة من الماء تمتلئ كل أو معظم المسامات الهوائية للتربة بالماء وتكون التربة في هذه الحالة في حالة تشبع، وعندما تكون التربة غير جيدة الصرف يحصل التغدق وتكون تهوية التربة رديئة ويقل بذلك نمو النبات، وإذا كانت التربة جيدة الصرف تفقد بعض الماء من المسامات نتيجة التأثر بالجاذبية الأرضية ينساب إلى الماء الأرضي. وعند توقف الصرف ووصول التربة إلى حالة اتزان تكون قد وصلت إلى سعتها الحقلية وتكون عند ذلك تهويتها جيدة ومحتواها من الماء جيد أيضاً. وبذلك تكون ظروف التربة ملائمة لنمو النبات لملاءمتها لقيام التفاعلات الكيميائية والحيوية في التربة التي يكون من نتائجها تحول العناصر الغذائية من صورتها غير الجاهزة إلى صورة جاهزة متيسرة وسهلة الامتصاص من لدن النبات.

الطور الغازي:

يُعرف الطور الغازي للعاملين في مجال خصوبة التربة بهواء التربة. ويختلف هواء التربة عن الهواء الجوي من حيث محتواه من الغازات كما موضح في الآتي:

اسم الغاز	الهواء الجوي	هواء التربة
ثاني أكسيد الكربون	٠,٠٣ %	٠,٢ - ١ %
الأوكسجين	٢٠,٩٩ %	٢٠,٣ %
النتروجين	٧٨,٩٨ %	٧٨,٧ - ٧٩,٥ %

يلاحظ أن نسبة CO₂ في هواء التربة أعلى بكثير من نسبته في الهواء الجوي، وهذا يعود إلى تنفس الكائنات الحية التي تقوم باستهلاك الأوكسجين وتحرر CO₂، ومن هنا تتضح أهمية الأوكسجين للكائنات الحية الموجودة في التربة ومنها جذور النبات، إذ تعتمد في عملياتها الحيوية على عملية التنفس المعتمدة على الأوكسجين المجهز من هواء التربة، ومن

أهم هذه العمليات تجهيز النبات بالماء والعناصر الغذائية، وبذلك فإن غياب الأوكسجين أو قلة وجوده (رداءة تهوية التربة) يؤدي إلى حصول أضرار كثيرة بالنبات مما ينتج عن ذلك انخفاض الحاصل.

إن محتوى التربة من الهواء يعتمد على نسبة وحجم المسافات البينية Pore space وهذه يسيطر عليها الطور الصلب للتربة، وكذلك يتأثر هواء التربة بمدى امتلاء هذه المسافات البينية بالماء وهذا يسيطر عليه الطور السائل في التربة. في الأتربة جيدة الصرف بقاء الماء في المسافات الهوائية لفترة من الزمن لا يؤدي إلى حدوث أضرار في نمو النبات والحاصل، بينما في الأتربة رديئة الصرف فإن زيادة الماء تؤدي إلى حصول أضرار كبيرة في النباتات، وذلك لزيادة العمليات غير الهوائية التي ينتج عنها تكون مواد سامة تحت ظروف الاختزال ناتجة عن الكائنات الحية الدقيقة غير الهوائية وهذه المواد تضم الاثيلين وغاز الميثان والسيانيد وكبريتيد الهيدروجين. كما أن ظروف الاختزال نتيجة الصرف الرديء تؤدي إلى انخفاض جاهزية العناصر الغذائية وقلة امتصاص النبات لها وهذا بدوره يؤدي إلى ضعف نمو النبات وقلة الحاصل.

التبادل الأيوني:

هو عملية يقصد بها تبادل الكاتيونات والانيونات بين الطور الصلب للتربة والطور السائل، ويمكن أن يحصل التبادل بين طورين صليبين في حالة وجودهما بحالة اتصال، والتبادل الأيوني عملية عكسية. ومن هذا التعريف المبسط يتضح بأن التبادل الأيوني يضم نوعين من التبادل هما:

١- التبادل الكاتيوني.

٢- التبادل الأنيوني.

التبادل الكاتيوني:

ويقصد به إحلال أو تبادل كاتيون واحد أو أكثر محل كاتيون آخر أو أكثر على السطوح الغروية للتربة، ويعتبر التبادل الكاتيوني أكثر أهمية من التبادل الأنيوني في التربة.

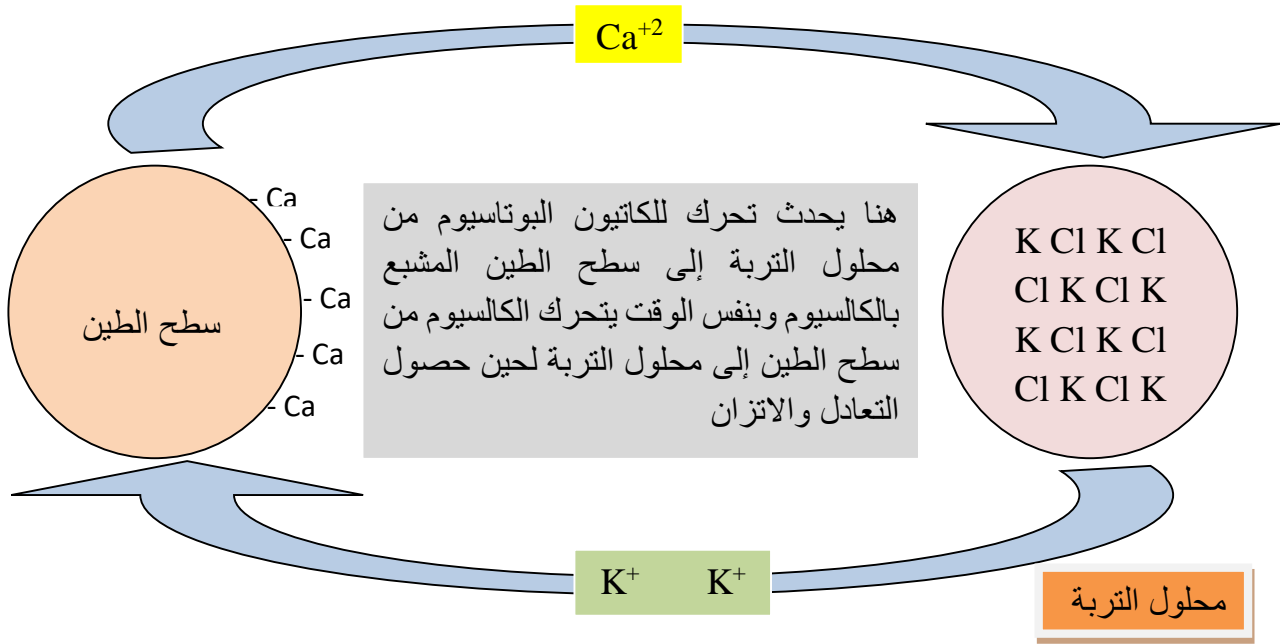
إن الطور الصلب للتربة يتكون من الجزء المعدني والجزء العضوي وهذان الجزءان يحتويان على معادن الطين (في الجزء المعدني) ومادة الدبال (في الجزء العضوي). ويُعرّف الدبال Humus بأنه خليط من مركبات متحللة عن المادة العضوية ومركبات صعبة التحلل، وهو بذلك مركب غير ثابت إذ أن عملية الانحلال مستمرة فيه ببطء طالما توفرت الظروف الملائمة لذلك. معادن الطين الثانوية ومادة الدبال هي وسط التبادل الكاتيوني وذلك لكون سطوح هذه المواد تحمل شحنات سالبة مهيأة لجذب الشحنات الموجبة (الكاتيونات) الموجودة في محلول التربة عن طريق التبادل إلى حين حصول حالة التعادل والاتزان. إن مصادر الشحنات السالبة على سطوح وحافات معادن الطين هي:

● **الإحلال المماثل Isomorphous substitution** ويعتقد بأنه المصدر الرئيسي للشحنات السالبة لمعادن الطين من نوع (٢:١). إن استبدال ايونات بايونات اقل منها في عدد الشحنات (التكافؤ) يؤدي إلى بقاء شحنات سالبة غير معادلة بشحنات موجبة على سطوح وحافات معادن الطين وهذه الشحنات تستغل لجذب الكاتيونات من محلول التربة.

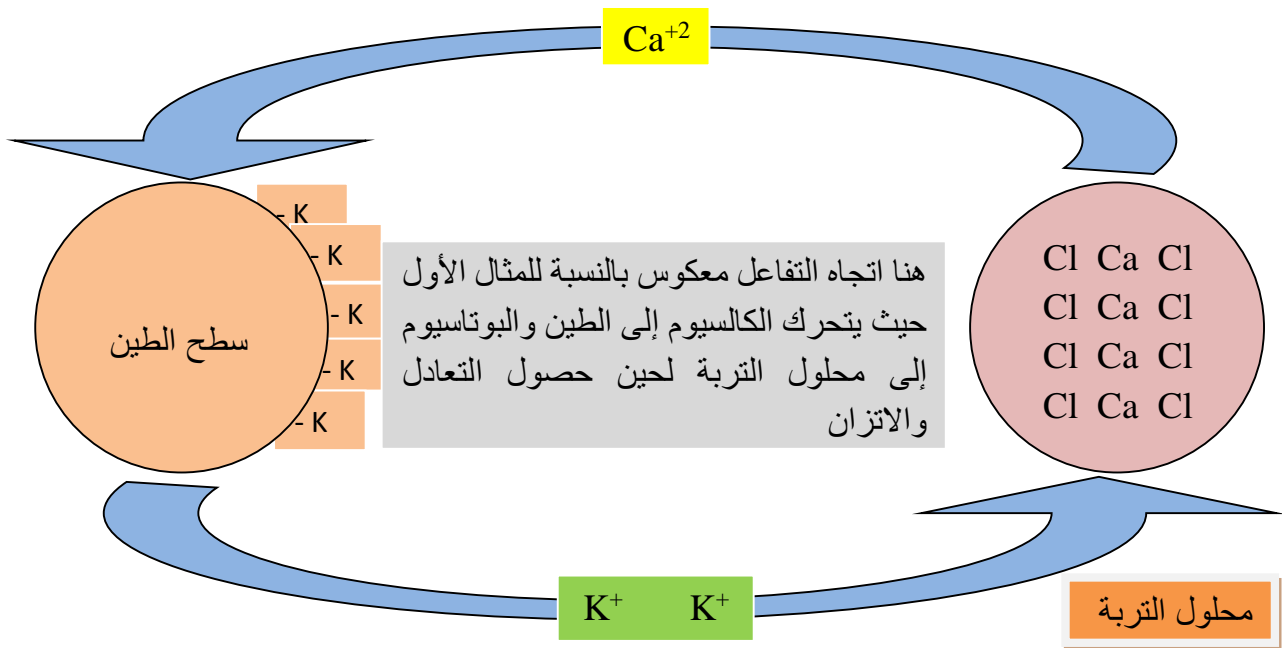
● **انحلال الهيدروجين في مجاميع الهيدروكسيل (OH)** الموجودة على سطوح وحافات البلورات لمعادن الطين يؤدي إلى توليد شحنات سالبة تابعة للأوكسجين (O^{2-}) قادرة على جذب الشحنات الموجبة (الكاتيونات) الموجودة في محلول التربة إلى سطوح معادن الطين. إن ارتفاع درجة تفاعل التربة (pH) يزيد من معدل انحلال الهيدروجين وتوليد الشحنات السالبة.

إن مصادر الشحنة السالبة على سطوح المادة العضوية تعود إلى انحلال الهيدروجين في مجاميع الكربوكسيل (COOH-) ومجاميع الفينول (OH-) ومجاميع الأمينات (NH_2-) ومن ذلك تظهر الشحنات السالبة على سطوح المادة العضوية وهذه بدورها تجذب شحنات موجبة (الكاتيونات) إلى هذه السطوح لإحلال التعادل أو الاتزان الكهربائي.

إن عملية التبادل الكاتيوني بين الكاتيونات المتصلة أو المدمصة أو المنجذبة إلى الشحنت السالبة لمعادن الطين أو مادة الدبال وبين الكاتيونات في محلول التربة يمكن أن توضح بالأمثلة الآتية:



الشحنت السالبة الموجودة على سطوح الطين تكون جزءاً منه ومثبتة بجزيئات الطين لا تستطيع الحركة إلى محلول التربة. كل شحنة سالبة موجودة على الطين أو في محلول التربة يجب أن يرافقها شحنة موجبة معادلة لها. وبالمثال السابق يلاحظ حصول حركة من محلول التربة إلى سطوح الطين وبنفس الوقت حركة معاكسة من سطوح الطين إلى محلول التربة، وذلك من اجل حصول تعادل كهربائي في كلا الجسمين ومرافقة كل أنيون كاتيون لمعادلة الشحنة. بما أن الكالسيوم ثنائي التكافؤ (شحنتان موجبة Ca²⁺) فإن هناك حاجة إلى أيونين من البوتاسيوم (أحادي التكافؤ شحنة موجبة واحدة K⁺) لكل أيون كالسيوم تحرر من سطوح الطين من اجل حصول التعادل. ومثال آخر يوضح التبادل الكاتيوني:



إن قوة أو شدة ارتباط الكاتيونات بشحنات الطين السالبة تتأثر بعدة عوامل منها:

- **نوعية الطين:** إذ أن معدن المونتموريللونيت له سعة تبادلية كبيرة تؤدي إلى زيادة ادمصاص أي جذب كاتيونات الكالسيوم والمغنيسيوم والى قلة ادمصاص البوتاسيوم مقارنةً بمعادن الطين الأخرى مثل الكاؤولينايت.
- **الماء:** إذ يلعب الماء دوراً كبيراً في قوة الارتباط، فالايون المتحد بالماء يكون عادةً أكبر من نفس الايون غير المتحد بالماء وهذا يؤدي إلى جعل قوة ارتباط الايون المتحد بالماء بسطوح الطين اقل من قوة ارتباط الايون غير المتحد بالماء، وهذا يعود إلى أن الكاتيونات التي تتحد بالماء بصورة كبيرة مثل الصوديوم Na^+ تكون المسافة بينها وبين سطوح الطين كبيرة، ولهذا فإن جزءاً فقط من الشحنات السالبة يكون مرتبطاً بالايون وليس كل الشحنات وهذا يقلل من قوة الارتباط.
- **عدد الشحنات الكهربائية الموجبة للكاتيون:** إذ تزداد قوة ارتباط الكاتيون بسطوح الطين بزيادة عدد شحناته الكهربائية الموجبة، ومثال ذلك أن الألمنيوم (Al^{+++}) يكون أقوى ارتباطاً من الكالسيوم (Ca^{++}) والمغنيسيوم (Mg^{++}) وهذا بدوره أقوى من البوتاسيوم (K^+). ومما سلف يمكن أن نضع تسلسلاً للكاتيونات من حيث سهولة تبادلها: ((الصوديوم أسهل الأيونات للتبادل يتبعه البوتاسيوم فالمغنيسيوم ثم الكالسيوم)).

إن سرعة التبادل الكاتيوني بين محلول التربة وسطوح الطين والمادة العضوية تعتمد على عدة عوامل مؤثرة منها:

أولاً: درجة الحرارة:

من المعروف أن الحرارة تعمل على زيادة نشاط التبادل الأيوني، باعتبار أن عملية التبادل الأيوني عبارة عن تفاعلات كيميائية.

التربة

المحلول

ثانياً: الرطوبة أي نسبة

إن زيادة نسبة الرطوبة يؤدي إلى زيادة عملية التبادل الكاتيوني والرطوبة هنا تؤثر في النسبة بين التربة والمحلول إذ كلما زادت نسبة المحلول ازداد التبادل.

المحلول	الكالسيوم المتبادل مليمكافي/ع / ١٠٠ غرام تربة
١ : ١٠٠	٣٣,٠
١ : ٥٠	٣١,٥
١ : ٢٥	٢٩,٥
١ : ١٠	٢٥,٥
١ : ٥	٢٣,٣

ثالثاً: التركيز:

كلما ازداد تركيز الكاتيون في محلول التربة ازدادت مقدرته على التبادل والإحلال محل كاتيونات أخرى على سطوح الطين والمادة العضوية، أي أن زيادة تركيز الكاتيون في محلول التربة يزيد من عملية التبادل الكاتيوني.

الكاتيونات المتبادلة		كلوريد الصوديوم
المغنيسيوم	الكالسيوم	
٠,١٢	٠,١٥	٠,٠٠١
٠,٥٠	١,١٢	٠,٠١
١,١١	٢,٨٥	٠,٠٤
١,٥٦	٨,٣٢	٠,٢

رابعاً: التكافؤ:

يزداد تبادل الكاتيونات بازدياد تكافئها وهذا يحصل في حالة تساوي التراكيز فالكاتيون الثنائي أكثر تبادلاً من الكاتيون الأحادي على سطوح الطين والمادة العضوية.

السعة التبادلية الكاتيونية (CEC) Cation exchange capacity:

هي مقدرة التربة على ادمصاص وتبادل الكاتيونات والتي يمكن تعريفها بمقدار الكاتيونات بالمليمكافىء التي تشبع ١٠٠ غرام من التربة الجافة. وهناك تعريف آخر هو أن السعة التبادلية الكاتيونية هي مقياس لكل الشحنات السالبة للتربة مقدرة بالمكافىء أو بالمليمكافىء لكل ١٠٠ غرام تربة.

والمكافىء هو الوزن الذري لغرام واحد من الهيدروجين أو كمية عنصر آخر يتحد بالهيدروجين أو يحل محله. **والمليمكافىء** هو مليغرام واحد من الهيدروجين أو كمية عنصر آخر يتحد بالهيدروجين أو يحل محله. وعلى هذا فإن مليمكافىء البوتاسيوم (K^+) هو ٣٩ ملغرام وذلك لكون الوزن الذري للبوتاسيوم هو ٣٩ وتكافؤه واحد، وهذا يوضح أن الوزن المكافىء للكاتيون أحادي التكافؤ (K^+ ، NH_4^+ ، Na^+) والوزن الذري له متساويان، وتستطيع أن تحل محل H^+ واحد. أما بالنسبة للكالسيوم Ca^{+2} (وزنه الذري ٤٠) فهو ثنائي التكافؤ وعليه فالمليمكافىء له هو ٢٠ ملغرام وهذا ناتج عن قسمة الوزن الذري للكالسيوم (٤٠) على تكافؤه (٢)، وهذا يوضح أن هناك حاجة لجزيئين من الهيدروجين ($2H^+$) لتحل محل جزيئه كالسيوم واحدة. فالكاتيونات ثنائية التكافؤ (Ca^{+2} و Mg^{+2}) تستطيع أن تحل محل أيونين من الهيدروجين أو تزيحهما ولهذا فإن الوزن المكافىء لها هو الوزن الذري لها مقسوماً على التكافؤ (٢).

وتقسم الكاتيونات المتبادلة اعتماداً على القاعدية والحامضية إلى قسمين:

- الكاتيونات القاعدية وتضم الصوديوم (Na^+)، البوتاسيوم (K^+)، المغنيسيوم (Mg^{+2})، والكالسيوم (Ca^{+2}).
- الكاتيونات الحامضية وتضم الهيدروجين (H^+) والألمنيوم (Al^{+3}).

إن زيادة محتوى التربة من الطين يؤدي إلى زيادة المساحة السطحية لحبيبات التربة، وهذه الترب (الغنية بمعادن الطين) ذات سعة تبادلية كاتيونية ومقدرة على الاحتفاظ بالماء أعلى بالمقارنة مع الترب الفقيرة بالطين. لقد أعطى الباحث (Brady ١٩٧٤) قيماً مختلفة للسعة التبادلية الكاتيونية (CEC) باختلاف نوعية التربة وهذا يعود إلى محتواها

السعة التبادلية الكاتيونية مليمكافىء / ١٠٠ غرام تربة	نوعية التربة
٣,٥ – ٢	رملية
١٧,١ – ٢,٣	مزيجية رملية
١٥,٩ – ٧,٥	مزيجية
٢٦,٣ – ٩,٤	مزيجية سلتية (غرينية)
٥٧,٥ – ٤,٠	طينية، مزيجية طينية

من معادن الطين والمادة العضوية، أي أن زيادة محتوى التربة من الطين والمادة العضوية يؤدي إلى زيادة سعتها التبادلية الكاتيونية. وتوضح الأمثلة الآتية بصورة تقريبية تأثير نوعية الطين ومحتوى التربة من المادة العضوية على السعة التبادلية الكاتيونية، وسوف نستند إلى الجدول الآتي في حساب السعة التبادلية الكاتيونية للترب بشكل تقريبي

المعدل الاعتيادي	السعة التبادلية الكاتيونية مليمكافي/ع ١٠٠ غرام تربة المستعملة في الحساب	نوعية الطين والديبال
٣٠٠ - ١٠٠	٢٠٠	الديبال
٢٠٠ - ١٠٠	١٥٠	الفيرمكيبولايت
٢٠٠ - ٥٠	١٠٠	الألوفين
١٠٠ - ٦٠	٨٠	المونتموريللونايت
٤٠ - ٢٠	٣٠	الإلايت
٤٠ - ٢٠	٣٠	الكلورايت
١٥ - ٣	٨	الكاؤولينايت

مثال رقم (١): لديك تربة سوداء اللون مزيجية تحتوي على : ٤٠٪ مادة عضوية، ٢٠٪ طين (٥٠٪ مونتموريللونايت، ٥٠٪ إلايت). ما السعة التبادلية الكاتيونية للتربة.

$$\begin{aligned}
 ٤٠\% \text{ مادة عضوية وهذا يعني} & ٢٠٠ \times ٠,٠٤ = ٨ \text{ مليمكافي} \\
 ١٠\% \text{ مونتموريللونايت} & ٨٠ \times ٠,١٠ = ٨ \text{ مليمكافي} \\
 ١٠\% \text{ إلايت} & ٣٠ \times ٠,١٠ = ٣ \text{ مليمكافي} \\
 \text{السعة التبادلية الكاتيونية للتربة هي} & ٨ + ٨ + ٣ = ١٩ \text{ مليمكافي/ع ١٠٠ غرام تربة.}
 \end{aligned}$$

مثال رقم (٢): لديك تربة ذات الصفات الآتية: ٢٪ مادة عضوية، ٥٪ مونتموريللونايت، ١٢٪ كاؤولينايت، جد السعة التبادلية الكاتيونية لهذه التربة.

$$\begin{aligned}
 ٢\% \text{ مادة عضوية} & ٢٠٠ \times ٠,٠٢ = ٤ \text{ مليمكافي} \\
 ٥\% \text{ مونتموريللونايت} & ٨٠ \times ٠,٠٥ = ٤ \text{ مليمكافي} \\
 ١٢\% \text{ كاؤولينايت} & ٨ \times ٠,١٢ = ١ \text{ مليمكافي} \\
 \text{السعة التبادلية الكاتيونية للتربة هي} & ٤ + ٤ + ١ = ٩ \text{ مليمكافي/ع ١٠٠ غرام تربة.}
 \end{aligned}$$

مثال رقم (٣): لديك تربة رطبة ذات محتوى عالٍ من الطين والمادة العضوية وذات الصفات الآتية: ١٥٪ مادة عضوية، ٣٠٪ مونتموريللونايت، ١٠٪ إلايت. فالسعة التبادلية الكاتيونية لهذه التربة هي:

$$\begin{aligned}
 ٣٠\% \text{ مونتموريللونايت} & ٢٠٠ \times ٠,١٥ = ٣٠ \text{ مليمكافي} \\
 ١٠\% \text{ إلايت} & ٨٠ \times ٠,٣٠ = ٢٤ \text{ مليمكافي} \\
 ١٥\% \text{ مادة عضوية} & ٣٠ \times ٠,١٠ = ٣ \text{ مليمكافي} \\
 \text{السعة التبادلية الكاتيونية للتربة هي} & ٣٠ + ٢٤ + ٣ = ٥٧ \text{ مليمكافي/ع ١٠٠ غرام تربة التبادلية الكاتيونية.}
 \end{aligned}$$

إن التبادل الكاتيوني في التربة مهم جداً من الناحية التطبيقية ومما سلف اتضح بأن الكاتيونات المتبادلة على سطوح التبادل لمعادن الطين والمادة العضوية في حالة توازن مع الكاتيونات الموجودة في محلول التربة، وهذا يدل على أن الكاتيونات على أسطح التبادل هي خزين للعناصر الغذائية تقوم بتزويد محلول التربة بالكاتيونات في حالة انخفاض تركيزها في محلول التربة وذلك عند استهلاك النبات لهذه الكاتيونات أو تعرضها لعوامل الفقد من محلول التربة.

كما أن العناصر الموجودة في حالة تبادل تكون أقل عرضة لعمليات الفقد بالغسل من التربة، وكذلك يمكن الاستفادة من السعة التبادلية الكاتيونية للتربة عند عمليات التسميد ومعرفة مدى احتياج النبات للعناصر الغذائية نتيجة التعرف على قابلية التربة على التبادل.

التشبع بالقواعد ونسبة التشبع:

التشبع بالقواعد صفة من صفات التربة المهمة من حيث علاقتها بخصوبة التربة وإمداد النبات بالعناصر الغذائية، ويعتبر أيضاً مقياس جيد لما تضمه السعة التبادلية الكاتيونية للتربة من عناصر غذائية للنبات.

ونسبة التشبع بالقواعد (% Base saturation) هي تلك النسبة من السعة التبادلية الكاتيونية المشغولة بالكاتيونات القاعدية مثل Ca^{+2} و Mg^{+2} و K^{+} و Na^{+} .

$$\text{نسبة التشبع بالقواعد} = \frac{\text{مجموع الكاتيونات القاعدية (مليمكافي/ع/ ١٠٠ غرام تربة)}}{\text{السعة التبادلية الكاتيونية}} \times ١٠٠$$

مثال رقم (١): بعد تحليل التربة وجد أن تركيز الكاتيونات القاعدية والسعة التبادلية الكاتيونية للتربة بالمليمكافي/ع /

$$١٠٠ \text{ غرام تربة هي: } Ca = ١٠ \quad Mg = ٥ \quad K = ١٠ \quad Na = ٥ \quad CEC = ٥٠$$

$$\text{نسبة التشبع بالقواعد} = \frac{٥ + ١٠ + ٥ + ١٠}{٥٠} \times ١٠٠ = ٦٠\%$$

مثال رقم (٢): غسل ٢٠ غرام من التربة بخلات الامونيوم ووجد فيها الكميات التالية للكاتيونات القاعدية، علماً أن السعة التبادلية الكاتيونية للتربة هي ١٥ مليمكافي/ع/ ١٠٠ غرام تربة

$$Ca = ٠,٠٢ \text{ غرام} \quad Mg = ٠,٠٠٦ \quad K = ٠,٠١٩٥ \quad Na = ٠,٠١١٥$$

$$\text{وكانت أوزان المليمكافئات} \quad Ca = ٠,٠٢ \quad Mg = ٠,٠١٢ \quad K = ٠,٠٣٩ \quad Na = ٠,٠٢٣$$

إن المليمكافيء لكل من هذه الكاتيونات القاعدية هو

$$Ca = \frac{٠,٠٢}{٠,٠٢} = ١ \text{ مليمكافيء}$$

$$Mg = \frac{٠,٠٠٦}{٠,٠١٢} = ٠,٥ \text{ مليمكافيء}$$

$$Na = \frac{٠,٠١١٥}{٠,٠٢٣} = ٠,٥ \text{ مليمكافيء}$$

$$K = \frac{٠,٠١٩٥}{٠,٠٣٩} = ٠,٥ \text{ مليمكافيء}$$

$٢,٥ = ٠,٥ + ٠,٥ + ٠,٥ + ١$ مليمكافيء الكاتيونات القاعدية في ٢٠ غراماً من التربة.
 $١٢,٥ = ٥ \times ٢,٥$ مليمكافيء الكاتيونات القاعدية في ١٠٠ غرام من التربة.

$$\% \text{ للتشبع بالقواعد} = \frac{١٢,٥}{١٥} \times ١٠٠ = ٨٣,٣\%$$

- تُعد نسبة التشبع بالقواعد مؤشر لخصوبة التربة، لذا تعتبر التربة
- خصبة جداً عندما تكون نسبة التشبع بالقواعد فيها ٨٠٪ أو أكبر من ذلك.
- متوسطة الخصوبة عندما تكون نسبة التشبع بالقواعد فيها بين ٥٠ - ٨٠٪.
- غير خصبة عندما تكون نسبة التشبع بالقواعد فيها هي ٥٠٪ أو أقل.

تتحرر الكاتيونات القاعدية المتبادلة من التربة التي تكون فيها نسبة التشبع بالقواعد ٨٠٪ بشكل أسهل مقارنة بنفس التربة عندما تكون نسبة التشبع بالقواعد فيها ٥٠٪. فنسبة التشبع بالقواعد لها علاقة كبيرة بدرجة تفاعل التربة (pH) وهي علاقة موجبة، إذ تكون درجة تفاعل التربة عالية عندما تكون نسبة التشبع بالقواعد عالية. إن الترب في المناطق الجافة وشبه الجافة ذات نسب تشبع بالقواعد أعلى من نسب التشبع بالقواعد لأتربة المناطق الرطبة. ويعود انخفاض نسب التشبع بالقواعد لأتربة المناطق الرطبة إلى زيادة تركيز ايونات الهيدروجين بين الكاتيونات الأخرى.

التبادل الأنيوني:

إن تداخل وتفاعل الأنيونات مع سطوح الطور الصلب للتربة يحصل ولكن بنسبة أقل بكثير من تداخل وتفاعل الكاتيونات مع سطوح الطور الصلب للتربة. إن حبيبات التربة تسودها الشحنات السالبة، ولكنها ربما تحمل قليل من الشحنات الموجبة التي تكون بدورها معدة للتبادل الأنيوني. إن كلاً من سطوح الأكاسيد (أكاسيد وهيدروكسيدات الحديد والألمنيوم) وحافات معادن الطين تحمل شحنات موجبة عندما تكون درجة تفاعل التربة أقل من (٧)، وعلى هذه السطوح والحافات يحصل ادمصاص للأنيونات من محلول التربة.

إن السعة التبادلية الأنيونية للتربة (Anion exchange capacity) (AEC) في أكثر الحالات أقل بكثير من السعة التبادلية الكاتيونية (CEC)، إن تسلسل الأنيونات من حيث قوة ادمصاصها هو:



وهذا التسلسل يوضح أن شدة ادمصاص كل من SiO_4^{-4} و PO_4^{-3} هي أقوى من الأنيونات الأخرى، بينما SO_4^{-2} و NO_3^{-} يحصل لها ادمصاص بتراكيز قليلة جداً وفي أكثر الأحيان لا يحصل لها ادمصاص. ويعتمد التبادل الأنيوني على درجة تفاعل التربة، إذ تزداد الشحنات الموجبة بانخفاض درجة تفاعل التربة فيزداد بذلك التبادل الأنيوني.

المحاضرة الثالثة

درجة تفاعل التربة : Soil pH

تعتبر درجة تفاعل التربة من العوامل المهمة والمؤثرة في خصوبة التربة وتغذية النبات، وذلك لعلاقتها الكبيرة في مقدرة التربة على تجهيز النسبة الصحيحة من العناصر الغذائية التي يحتاجها النبات النامي، وكذلك تُعد من المؤشرات المهمة لحاجة التربة من العناصر الغذائية خلال عمليات التسميد لاستصلاح خصوبة التربة وتحسينها لتلبية حاجة النبات من العناصر الغذائية.

وتُعرّف درجة تفاعل التربة بأنها: اللوغاريتم السالب لنشاط وفعالية أيون الهيدروجين في التربة.

$$\text{pH} = -\text{Log} (\text{H}^+)$$

وهذه المعادلة الموضحة لتعريف درجة تفاعل التربة اشتقت من

$$\text{pH} = \frac{1}{\text{H}^+}$$

$$\text{pH} = \text{Log} (1) - \text{Log} (\text{H}^+)$$

وبما أن $\text{Log} 1 = \text{صفر}$

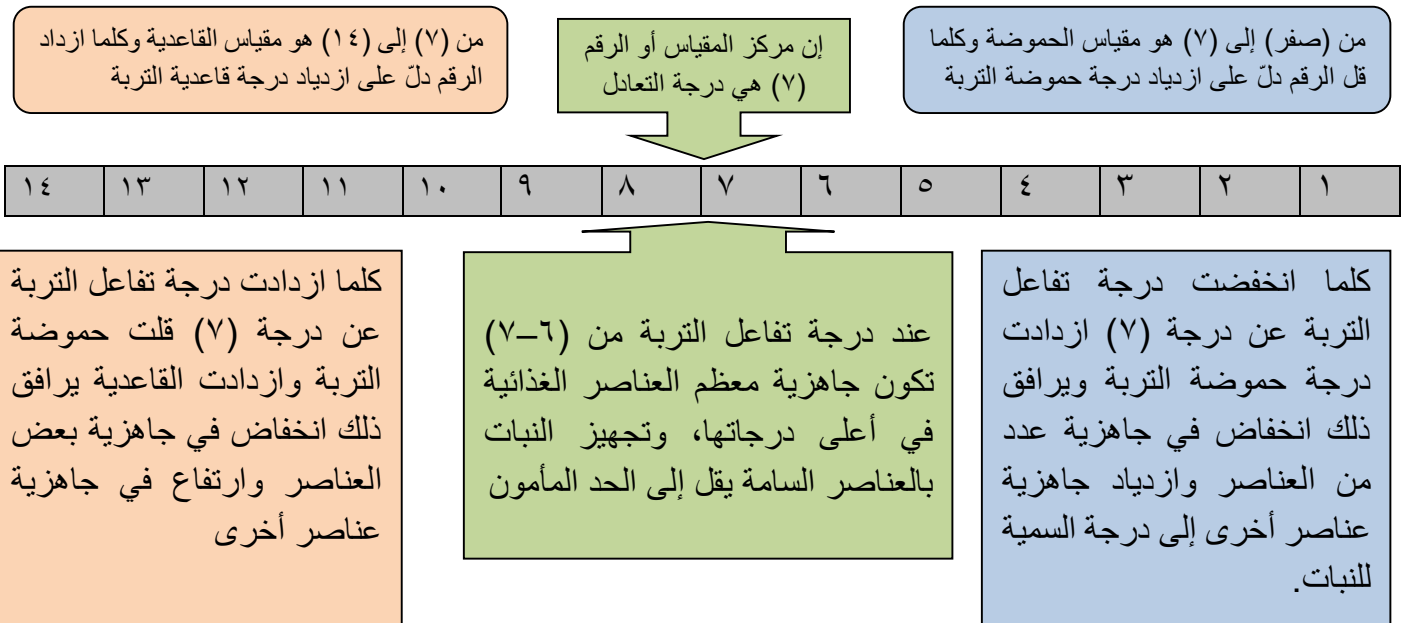
$$\text{pH} = 0 - \text{Log} (\text{H}^+)$$

$$\text{pH} = -\text{Log} (\text{H}^+)$$

إن نشاط وتركيز أيون الهيدروجين هو التركيز بالمولر لغرام واحد من أيون الهيدروجين في لتر واحد (mole/L). وهناك نوعان من درجة تفاعل التربة وهما:

- درجة التفاعل الفعلية (Actual soil pH): وهي تركيز أيون الهيدروجين في محلول التربة فقط.
- درجة التفاعل الكامنة (Potential soil pH): وهي تركيز أيون الهيدروجين في محلول التربة مضافاً إليه أيونات الهيدروجين المدمصة إلى غرويات التربة.

تُقَدَّر درجة التفاعل الفعلية للتربة باستعمال الماء، بينما تقدر درجة التفاعل الكامنة للتربة باستعمال كلوريد البوتاسيوم أو كلوريد الكالسيوم كمستخلص حيث يستعمل كل من البوتاسيوم والكالسيوم في استبدال أيونات الهيدروجين المدمصة على سطوح المادة الغروية للتربة وتحررها إلى محلول التربة. إن درجة التفاعل الفعلية للتربة أكبر (رقماً) من درجة التفاعل الكامنة للتربة وذلك لزيادة تركيز أيونات الهيدروجين (H^+) في الكامنة عنه في الفعلية.



• التربة المتعادلة والقاعدية:

تختلف هذه التربة عن التربة القوية والمتوسطة الحامضية من حيث سيادة الأيونات فيها. إذ لا يكون الهيدروجين والألمنيوم هما الأيونان السائدان في هذه التربة، بل يستبدلان بالقواعد القابلة للتبادل مثل الكالسيوم والمغنيسيوم وغيرها على سطوح الطين والمادة العضوية. وإذا حلت القواعد محل الهيدروجين والألمنيوم أو كليهما فإن تركيزها في محلول التربة يقل ويزداد تركيز الـ (OH) المولد للقاعدية. ودرجة تفاعل هذه التربة هي (٧) فأكثر.

إن مقاومة أي تغيير سريع بدرجة تفاعل محلول التربة من قبل التربة نفسها يسمى بالقدرة التنظيمية للتربة لدرجة تفاعلها. إن إزالة أيون الهيدروجين من محلول التربة يُقاومُ وذلك عن طريق التعويض بالهيدروجين الخزين الذي هو الهيدروجين المدمص، وكما موضح بالمعادلة:

Adsorbed H (and Al) ions → Soil solution H (and Al) ions

أيونات الهيدروجين (والألمنيوم)
المدمص
" الحموضة الخزين "

أيونات الهيدروجين (والألمنيوم)
في محلول التربة
" الحموضة النشطة "

ولتوضيح عملية التنظيم لدرجة تفاعل التربة من قبل التربة نفسها، نقول أنه لو أضيفت كمية من CaCO_3 أو $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ لمعادلة درجة تفاعل التربة فإن المعادلة المذكورة في أعلاه سوف يتجه تفاعلها إلى اليمين لإدخال كمية أكثر من أيونات الهيدروجين إلى محلول التربة لغرض مقاومة ومعادلة ما أضيف للتربة من مواد مولدة للقاعدية (OH). أما إذا أضيف إلى محلول التربة مواد مولدة للهيدروجين فإن تركيزه في محلول التربة يزداد وفي هذه الحالة ستتجه المعادلة إلى اليسار لغرض إحداث حالة التعادل لمقاومة هذا التغيير بتركيز أيونات الهيدروجين، ويكون ذلك عن طريق ازدياد كمية الهيدروجين الذي يدمص من قبل سطوح التبادل لإحلال حالة الاتزان.

تختلف التربة فيما بينها من حيث قابليتها على تنظيم درجة تفاعلها، وأن التربة ذات السعة التبادلية الكاتيونية العالية تضم سعة تنظيمية عالية أيضاً عند تساوي تأثير العوامل الأخرى. هناك عوامل عديدة تؤثر في درجة تفاعل التربة، من أهمها:

أولاً: الماء:

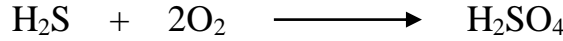
ويقصد بالماء هنا الأمطار المتساقطة أو الري الكثيف، إذ تؤثر تأثيراً كبيراً في درجة تفاعل التربة، وعليه يمكن تقسيم التربة حسب كميات الأمطار المتساقطة إلى:

• **تربة المناطق الرطبة:** في هذه المناطق يكثر تساقط الأمطار فيزداد نفوذ الماء خلال مقد التربة مما يؤدي إلى حصول عمليات غسيل للكاتيونات الذائبة تاركاً المجال لأيونات الهيدروجين للحلول محل هذه الكاتيونات على سطوح معادن الطين. وتحت مثل هذه الظروف تتكون عادةً التربة الحامضية وهي التربة التي تقل فيها درجة التفاعل عن (٧)، وتزداد حامضية التربة بصورة طردية بزيادة إحلال الهيدروجين محل الكاتيونات على سطوح التبادل.

• **تربة المناطق الجافة وشبه الجافة:** في هذه المناطق تقل كمية الأمطار المتساقطة فتقل بذلك عمليات الغسيل للكاتيونات القاعدية السائدة على سطوح التبادل للتربة وإحلال الهيدروجين محلها. وتكون درجة تفاعل تربة هذه المناطق بصورة عامة أعلى من (٧) وتكون تربة قاعدية لزيادة تركيز الكاتيونات القاعدية فيها.

هناك تربة غدقة نتيجة زيادة كمية الرطوبة فيها ومثل هذه التربة تكون درجة تهويتها رديئة جداً ولهذا تكون مثل هذه التربة بصورة عامة متعادلة أو مائلة للقاعدية. قد تحتوي مثل هذه التربة على كبريتيد الهيدروجين (H_2S)، وعند إجراء عمليات الاستصلاح لهذه الأتربة عن طريق تحسين الصرف للتخلص من المياه الزائدة تحسن تهوية هذه الأتربة فتزداد

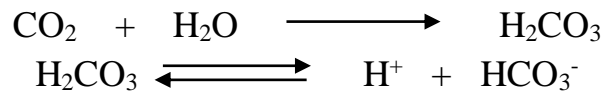
كمية الأوكسجين الذي يقوم بدوره بأكسدة كبريتيد الهيدروجين فيتكون نتيجة هذه الأكسدة حامض الكبريتيك كما في المعادلة الآتية:



يُعد حامض الكبريتيك الناتج مصدراً للحموضة فتزداد بذلك تراكيز ايون الهيدروجين فتزداد الحامضية وتنخفض درجة حموضة التربة. وإذا كانت التربة الغدقة تحتوي على كميات من القواعد، فإن حامض الكبريتيك المتكون يتفاعل مع هذه القواعد مكوناً كبريتات هذه القواعد وبذلك يكون مقدار انخفاض درجة تفاعل مثل هذه الأتربة اقل مما لو كانت الأتربة الغدقة غير غنية بالقواعد.

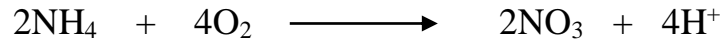
ثانياً: ثاني اوكسيد الكربون:

تؤدي زيادة تركيز ثاني اوكسيد الكربون في التربة إلى انخفاض درجة تفاعل التربة أي زيادة الحامضية نتيجة تفاعله مع الماء مكوناً حامض الكربونيك المولد للحموضة، كما في المعادلة الآتية:

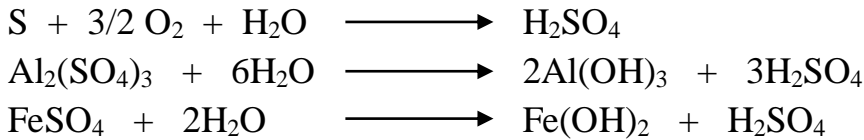


ثالثاً: الأسمدة ومواد الاستصلاح المضافة إلى التربة:

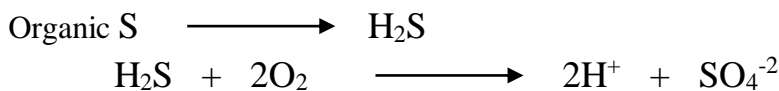
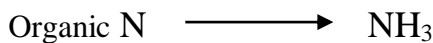
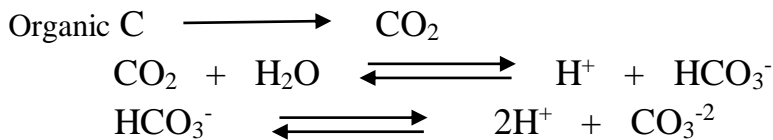
تؤثر هذه المركبات في درجة تفاعل التربة، والأمثلة على ذلك كثيرة منها أن إضافة الأسمدة النتروجينية الحاوية على الامونيوم تؤدي إلى زيادة حموضة التربة نتيجة تحرر ايونات الهيدروجين عند أكسدة الأسمدة النتروجينية بعملية التآرت:



كذلك كل الأسمدة الكبريتية هي أسمدة مولدة للحموضة، مثال ذلك الكبريت وحامض الكبريتيك، وكبريتات الامونيوم وكذلك كبريتات الحديد والألمنيوم وغيرها من الأسمدة الكبريتية. هذه الأسمدة تُكوّن حامض الكبريتيك بتفاعلاتها داخل التربة الذي بدوره يقوم بتحرير ايونات الهيدروجين المولدة للحموضة.

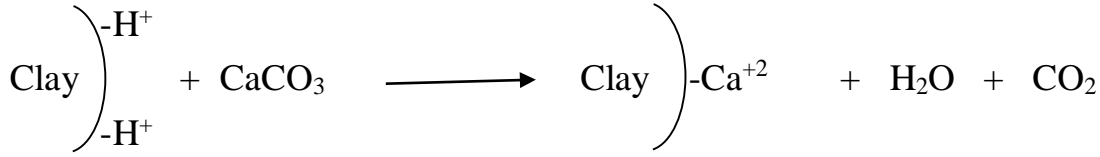


إن الأسمدة العضوية المضافة إلى التربة أو المادة العضوية الناتجة عن بقايا ومخلفات النبات بعد عمليات الحصاد تُعدّ مواد مولدة للحموضة، إذ أن الكربون العضوي والنتروجين العضوي والكبريت العضوي تُعدّ أهم مكونات المادة العضوية المولدة للحموضة كما في المعادلات الآتية:



رابعاً: كربونات الكالسيوم:

تؤدي إضافة مثل هذه المركبات إلى التربة إلى زيادة درجة تفاعل التربة أي زيادة قاعدتها، إذ تؤدي هذه الإضافة إلى زيادة نسبة ادمصاص الكالسيوم من قبل معادن الطين مما يؤدي إلى استبدالها مع ايونات الهيدروجين فيقل تركيز ايونات الهيدروجين في التربة، ويحصل هذا أيضا مع المغنيسيوم وغيره من القواعد:



درجة تفاعل التربة وجاهزية العناصر الغذائية:

تلعب درجة تفاعل التربة دوراً كبيراً في جاهزية العناصر الغذائية بشكل مباشر عن طريق ايون الهيدروجين أو غير مباشر يكون عن طريق تأثيرها في عوامل ذات علاقة كبيرة بجاهزية العناصر الغذائية، إن العلاقة بين أعلى إنتاج للنبات ودرجة تفاعل التربة ليست علاقة متشابهة وثابتة لكل النباتات بل تختلف من نبات إلى آخر وتختلف باختلاف أصناف النبات الواحد إضافة إلى تأثير عوامل أخرى في هذه العلاقة كنوعية التربة والظروف المناخية وعوامل ثانوية أخرى. ومن هذا يمكن القول إن النباتات تستطيع مقاومة المشاكل الناتجة عن اختلاف تراكيز ايونات الهيدروجين في محلول التربة والتأثيرات التي يحدثها هذا الاختلاف بدرجات مختلفة.

العناصر الضرورية لتغذية النبات:

العنصر الغذائي: هو ذلك العنصر الذي يحتاجه النبات لإكمال دورة نموه وعملياته الحيوية وأن وظائف هذا العنصر لا يمكن أن تُعوّض أو تُستبدل بإضافة عنصر آخر إلى التربة.

من هذا التعريف يتضح بأن هناك عناصر غذائية ضرورية لنمو النبات وعناصر غير ضرورية، ولكي نحكم على ضرورة أي عنصر لنمو النبات يجب أن يتصف هذا العنصر بصفات خاصة، أهمها:

1. غياب العنصر يجعل استكمال النبات لنموه متعزراً.
2. لا يمكن استبدال العنصر الضروري بعنصر آخر يقوم بالعمليات الحيوية للعنصر الأول.
3. إن مظاهر نقص العنصر الغذائي الضروري يمكن علاجها بتزويد النبات بالعنصر المفقود وليس بعنصر آخر.
4. للعنصر الغذائي الضروري دور مباشر بتغذية النبات، كأن يدخل العنصر في تركيب مادة نباتية معينة لعدد كبير من النباتات، لا أن يكون له دور غير مباشر كالتأثير على الأحياء الدقيقة في التربة أو الظروف الكيميائية للوسط الذي يعيش فيه النبات.
5. أن يكون العنصر ضرورياً لمعظم النباتات الراقية.

والعناصر التي يمكن عدها عناصر غذائية ضرورية هي:

العنصر	رمزه	العنصر	رمزه	العنصر	رمزه
الكربون	C	الكالسيوم	Ca	البورون	B
الهيدروجين	H	المغنيسيوم	Mg	الكلور	Cl
الأوكسجين	O	الحديد	Fe	الصوديوم	(Na)
النتروجين	N	المنغنيز	Mn	السيلكون	(Si)
الفسفور	P	النحاس	Cu	الكوبالت	(CO)
الكبريت	S	الزنك	Zn		
البوتاسيوم	K	الموليبدينوم	Mo		

إن عناصر (الصوديوم والسيلكون والكوبالت) لم يثبت لحد الآن ضرورتها للنباتات الراقية كافة، بل هي ضرورية لطائفة منها ، فالصوديوم ضروري للنباتات التي تعيش في وسط ملحي، والسيلكون ضروري لنبات الرز. إن مصادر العناصر الغذائية الضرورية للنبات هي الهواء الجوي والماء والتربة، لذا يمكن تقسيم العناصر حسب مصادرها على الوجه الآتي:

العناصر الغذائية الضرورية لنمو النبات

عناصر مصادرها التربة		عناصر مصادرها الهواء الجوي والماء	
النحاس	.٨	النتروجين	.١
المنغنيز	.٩	الفسفور	.٢
الزنك	.١٠	البوتاسيوم	.٣
البورون	.١١	الكالسيوم	.٤
الموليبدينوم	.١٢	المغنيسيوم	.٥
الكلور	.١٣	الكبريت	.٦
الصوديوم والسيلكون	.١٤	الحديد	.٧
		الكربون	.١
		الأوكسجين	.٢
		الهيدروجين	.٣
		النتروجين (النباتات البقولية فقط)	.٤

كما يمكن تقسيم العناصر الغذائية الضرورية حسب احتياج النبات لها دون الأخذ بنظر الاعتبار كمية وجودها في التربة أو الأوساط الغذائية الأخرى، والتقسيم هو:

- **(Macronutrients) العناصر الغذائية** التي يحتاجها النبات بكميات كبيرة نسبياً مقارنةً بالعناصر الغذائية الأخرى، وهذه العناصر هي: (الكربون والهيدروجين والأوكسجين والنتروجين والفسفور والكبريت والبوتاسيوم والكالسيوم والمغنيسيوم).
- **(Micronutrients) العناصر الغذائية** التي يحتاجها النبات بكميات قليلة، وهذه العناصر هي: (الحديد المنغنيز والنحاس والزنك والموليبدينوم والبورون والكلور).

وهناك تقسيم آخر للعناصر الغذائية حسب نشاطها الفسيولوجي والكيميائي الحيوي لكونه أكثر ملاءمة ولا يقتصر التقسيم فقط حسب احتياج النبات ومحتوى النبات منها، وهذا التقسيم الفسيولوجي والكيميائي الحيوي يقسم العناصر الغذائية الضرورية لنمو النبات إلى أربعة مجاميع هي:

المجموعة الأولى: (الكربون والهيدروجين والأوكسجين والنتروجين والكبريت) – تعتبر عناصر هذه المجموعة مكونات أساسية للمادة العضوية، تدخل في العمليات الإنزيمية وعمليات التمثيل بالأكسدة والاختزال.

المجموعة الثانية: (الفسفور والبورون والسيلكون) – تعتبر عناصر هذه المجموعة عناصر مهمة في عمليات الأسترة مع مجاميع الكحول في النبات وتشارك في نقل الطاقة للعمليات الحيوية للنبات.

المجموعة الثالثة: (البوتاسيوم والصوديوم والكالسيوم والمغنيسيوم والكلور) - تعتبر عناصر هذه المجموعة عناصر مهمة لتنشيط العمل الإنزيمي، وموازنة الأنيونات داخل النبات، والسيطرة على نفاذية الأغشية الحيوية والجهد الكهربائي للنبات، كما تشارك هذه العناصر في تنظيم الجهد الأزموزي للنبات على الرغم من كونها وظيفة غير متخصصة.

المجموعة الرابعة: (الحديد والنحاس والزنك والمولبيديوم) تعتبر عناصر هذه المجموعة عناصر مهمة في انتقال الالكترونات والتداخل مع مواد مكملة في العمليات الحيوية للنبات.

إن العنصر الغذائي يوجد في التربة بأجزاء مختلفة من حيث حالتها الكيميائية وجاهزيتها للامتصاص من قبل النبات، وهذه تتضمن:

- جزء العنصر الغذائي في محلول التربة وهو الجزء الذائب.
- الجزء المتبادل الذي يضم الايونات المدمصة على سطوح معادن الطين.
- الجزء المثبت داخل تركيب معادن التربة.
- الجزء العضوي ويقصد به جزء العنصر الموجود في مادة التربة العضوية.

إن الأجزاء الثلاثة الأولى للعنصر الغذائي هي أجزاء كيميائية تكون باستمرار في حالة توازن وهي المخزن الرئيسي للعنصر الغذائي الذي يمد النبات لإكمال دورة حياته. أن محلول التربة يحتوي على الايونات (الكاتيونات والانيونات) أي العناصر الغذائية بصورة دائبة سهلة الامتصاص من لدن النبات، وصور امتصاص العناصر الغذائية من محلول التربة هي:

العنصر	الرمز الكيميائي	صور الامتصاص من قبل النبات
العناصر الغذائية الكبرى		
الكربون	C	CO ₂
الهيدروجين	H	H ₂ O
الأوكسجين	O	H ₂ O
النتروجين	N	NH ₄ ⁺ , NO ₃ ⁻
الفسفور	P	H ₂ PO ₄ ⁻ , HPO ₄ ⁻²
البوتاسيوم	K	K ⁺
الكالسيوم	Ca	Ca ⁺²
المغنيسيوم	Mg	Mg ⁺²
الكبريت	S	SO ₄ ⁻² , SO ₃ ⁻² , SO ₂
الصوديوم	Na	Na ⁺
العناصر الغذائية الصغرى		
الحديد	Fe	Fe ⁺² , Fe ⁺³
المنغنيز	Mn	Mn ⁺² , Mn ⁺³
النحاس	Cu	Cu ⁺ , Cu ⁺²
الزنك	Zn	Zn ⁺² , Zn(OH) ₂
المولبيديوم	Mn	MoO ₄ ⁻²
البورون	B	BO ₃ ⁻³ , B(OH) ₃
الكلور	Cl	Cl ⁻
السيلكون	Si	Si(OH) ₄
الكوبلت	Co	Co ⁺²

المحاضرة الرابعة

النتروجين (N):

هو أحد العناصر الضرورية الرئيسة لنمو النبات، إذ يحتاجه النبات بكميات كبيرة وله تأثير كبير على زيادة الإنتاج لمختلف المحاصيل الزراعية. إن نقص عنصر النتروجين في التربة يؤدي إلى حصول نقص في الحاصل بالإضافة إلى رداءة نوعية المحصول. تختلف كميات النتروجين الموجودة في التربة باختلاف نوعية التربة وطبيعة تكوينها ودرجة خصوبتها، إذ تصل نسبة النتروجين الكلي في التربة إلى 1٪ أو أكثر في بعض الأتربة الغنية بالمادة العضوية، في حين تنخفض كثيراً فتكون حوالي 0,05٪ أو أقل في بعض الأتربة الفقيرة غير الخصبة مثل الأتربة الصحراوية. وبصورة عامة يتراوح متوسط كمية النتروجين الكلي في التربة ما بين 0,03٪ إلى 0,1٪ في الظروف الطبيعية الاعتيادية.

مصادر النتروجين في التربة:

يُعدّ الهواء الجوي المصدر الطبيعي الوحيد للنتروجين، إذ لا تحتوي صخور ومعادن التربة الزراعية على عنصر النتروجين بأي صورة من الصور. النتروجين الجزيئي (N_2) الذي يشكل 78٪ من الهواء الجوي غير صالح للاستعمال من لدن النبات بصورته الجزيئية بل يجب أن يتحول إلى صور أخرى حتى تستطيع النباتات الاستفادة منه. والطرق الرئيسة التي يتحول بها النتروجين الجزيئي إلى نتروجين صالح للاستعمال من لدن النبات وسهل الامتصاص هي:

أولاً: التثبيت البيولوجي للنتروجين:

هناك أنواع مختلفة من الكائنات الحية الدقيقة تكون قادرة على اختزال النتروجين الجوي إلى أمونيا في ظروف الحرارة والضغط للتربة، وهذه الكائنات الحية الدقيقة تلعب دوراً مهماً في دورة النتروجين في الطبيعة، وذلك عن طريق تحويل النتروجين الجزيئي إلى نتروجين عضوي وبهذا يصبح النتروجين الجوي جاهزاً لكائنات حية أخرى. وتسمى هذه العملية بـ (تثبيت النتروجين بيولوجياً). إن كمية النتروجين المثبتة بيولوجياً كبيرة بمقياس العالم ككل إذ تقرب من $10 \times 17,2$ طن في الحول الواحد. والكائنات الحية الدقيقة القادرة على تثبيت النتروجين بيولوجياً يمكن تقسيمها إلى:

- الكائنات ذات المعيشة الحرة في التربة (غير تكافلية) **Non symbiotic** : هذه الكائنات تشمل عدداً من أنواع البكتريا ومن أهمها *Azotobacter* ، *Beijernkia* ، بعض سلالات *Clostridium* وأنواع أخرى من البكتريا مثل *Pseudomonas* . وكذلك تقوم طائفة من فطريات التربة والطحالب الخضر المزرقة بتثبيت النتروجين أيضاً. وتحتاج البكتريا ذات المعيشة الحرة إلى الكربون في عملياتها الحيوية، ولهذا فإن هذه الكائنات تعتمد في نشاطها على الكربون العضوي المولد للطاقة. وهذه الكائنات تبقى على قيد الحياة فقط بوجود الكربوهيدرات التي تتحول بصورة سهلة إلى سكريات.

- الكائنات ذات المعيشة التكافلية **Symbiotic** : أصناف من الكائنات الحية الدقيقة ذات حياة تعايشية مع النباتات الراقية، ومن خلال هذه العلاقة التعايشية تقوم هذه الكائنات بتجهيز النتروجين المثبت بوساطتها إلى النبات الذي بدوره يجهز الكربوهيدرات لها، ومنها أصناف الـ *Rhizobium* وهي بكتريا ذات معيشة تكافلية مع النباتات البقولية مثل الجب والبرسيم تستطيع أن تثبت بين 40 - 100 كغم نتروجين/ هكتار/ السنة. وكذلك منها أصناف الـ *Actinomyces* مثل *Actinomyces alni* التي تستطيع أن تثبت ما يقارب من 150 كغم نتروجين/ هكتار/ السنة تحت الظروف الملائمة. إن كمية النتروجين المثبت بوساطة الكائنات الحية الدقيقة ذات المعيشة التكافلية أعلى بكثير من كمية النتروجين المثبت بوساطة الكائنات ذات المعيشة الحرة. إن ماهية التعايش تكون عادة عن طريق وجود هذه البكتريا داخل عقد (*nodules*) موجودة على جذور النباتات البقولية. ونموها وتطورها داخل هذه العقد يؤدي إلى تثبيت النتروجين الجوي وتحويله داخل أجسامها إلى صورة أخرى متيسرة وسهلة الامتصاص من قبل النبات.

إن معدل تثبيت المحاصيل البقولية للنتروجين يبلغ أقصاه عندما يكون محتوى التربة منه واطناً أو أقل ما يكون عليه وهذا لا يعني عدم نصح الفلاح بإضافة كمية قليلة من الأسمدة النتروجينية عند زراعة المحاصيل البقولية وذلك لان وجود كمية

كافية من النتروجين لسد احتياجات البادرات الصغيرة يؤدي إلى اكتمال نمو وتكوين وزيادة نشاط العقد الجذرية التي تبدأ بعد ذلك بتثبيت النتروجين الجوي. وتسمى هذه الكمية الصغيرة من النتروجين التي تضاف للمحاصيل البقولية عند الزراعة بالكمية المشجعة أو الدافعة للنمو.

ثانياً: النتروجين الجوي المثبت بواسطة تفرغ الشحنات الكهربائية في الجو (البرق):

إن تفرغ الشحنات الكهربائية يؤدي إلى أكسدة النتروجين الجزيئي الجوي إلى نترات تصل إلى التربة مع ماء المطر، وتكون الكمية المثبتة من النتروجين بهذه الطريقة في التربة قليلة جداً وتقدر ببضع كيلوغرامات على شكل نترات في الهكتار الواحد في السنة الواحدة وتحت الظروف المناخية المعتدلة. وفي الظروف الاستوائية لا تزيد الكمية المثبتة على (١٠) كيلوغرامات من النتروجين بالهكتار الواحد في السنة الواحدة، ولكنها أكبر من الكمية المثبتة تحت الظروف المناخية المعتدلة.

ثالثاً: النتروجين الجوي المثبت بالصناعة الكيميائية:

إن صناعة الأسمدة الكيميائية تعتمد بصورة كبيرة على استغلال النتروجين الموجود في الجو وتحويله إلى صورة مركبات كيميائية عن طريق التثبيت الصناعي ويمكن بعد ذلك للنبات أن يستفيد منه على شكل سماد يضاف إلى التربة. ويُعدّ تثبيت غاز النتروجين الموجود في الجو صناعياً إلى غاز الامونيا مفتاحاً لصناعة الأسمدة الكيميائية.

الأقسام الرئيسية للنتروجين في التربة:

• **النتروجين العضوي:** تُقدّر نسبته من النتروجين الكلي للتربة بـ ٩٥٪ وأن ٥٠٪ من هذا النتروجين موجودة على شكل مركبات معروفة التركيب مثل البروتينات والأحماض الامينية والبروتينات النووية، أما الـ ٥٠٪ الباقية من النتروجين العضوي فتكون على شكل مركبات غير معروفة التركيب يُعتقد أنها ناتجة من تفاعل الامونيا مع مواد معينة، والأحماض الامينية مع مركبات الكينون وتفاعل السكريات مع الأمينات.

• **النتروجين المعدني:** وتُقدّر نسبة هذا القسم من النتروجين بـ ٥٠٪ أو أقل من النتروجين الكلي للتربة، ويكون على صورة امونيوم، ونترات ونترت واكاسيد النترت (Nitrous oxides) والنتروجين الجزيئي (N_2). إن أكثر هذه الصور أهمية للنبات هو الامونيوم والنترات التي توجد في التربة عن طريق تحلل النتروجين العضوي أو عن طريق إضافتها إلى التربة على شكل أسمدة كيميائية.

معدنة النتروجين العضوي:

النتروجين عنصر متحرك وله دورة سريعة بين الغلاف الجوي والتربة والكائنات الحية الدقيقة، وتتضمن هذه الدورة عوامل وعمليات متعددة. وأن مصادر النتروجين العضوي الموجود في التربة فهي:

- التثبيت البيولوجي للنتروجين الجوي بواسطة الكائنات الحية الدقيقة.
- النتروجين المثبت بواسطة تفرغ الشحنات الكهربائية في الجو.
- النتروجين الجوي المثبت بالصناعة الكيميائية.
- كذلك تُعدّ فضلات الحيوان والإنسان التي تضاف إلى التربة مصادر للنتروجين العضوي.
- كذلك الأوراق المتساقطة من النباتات وبقاياها بعد فترة الحصاد تُعدّ مصدراً للنتروجين العضوي في التربة.

يمر النتروجين العضوي للمادة العضوية بعمليات تعدين عديدة يتحول بعدها إلى صورة متيسرة وجاهزة للامتصاص من قبل النبات وهذه العمليات هي:

١. تكون النتروجين الاميني Aminization :

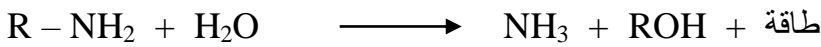
تُعد عملية تكوين النتروجين الاميني (الأمينات والأحماض الامينية) من بروتينات المادة العضوية العملية الأولى في عمليات تعدين النتروجين العضوي وتسمى هذه العملية (Proteolysis) وفيها يتم تكسير وتحويل المركبات العضوية المتعددة إلى مركبات ابسط حسب المعادلة الآتية:



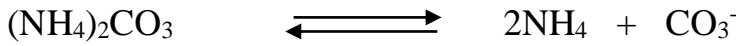
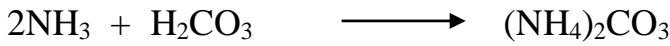
تحتاج هذه العملية إلى الماء والحرارة وبعض أنواع البكتريا والفطريات غير ذاتية التغذية، والطاقة الناتجة من هذه العملية تستغلها الكائنات الحية الدقيقة الموجودة في التربة التي تحتاج إلى الكربون مصدراً للطاقة في عملياتها الحيوية.

٢. تكوين الامونيا أو النشطرة Ammonification:

هي عملية اختزال تتحول فيها الأمينات والأحماض الامينية الناتجة من الخطوة الأولى لتعدين النتروجين العضوي إلى أمونيا بوجود الماء والكائنات الحية غير ذاتية التغذية وحسب المعادلة الآتية:



والامونيا الناتجة تكون الامونيوم وحسب المعادلات الآتية:



إن الامونيوم المتكونة يمكن أن تطرأ عليها التغيرات والتحولات الآتية:

- تتحول الامونيوم إلى نترت (NO_2) ومن ثم إلى نترات (NO_3) بعملية التآزت.
- يمكن أن يمتصها النبات مباشرةً.
- يمكن أن تستخدم بواسطة الكائنات الحية الدقيقة (Heterotrophic) في عمليات تحلل المادة العضوية الأخرى.
- يمكن أن تثبت بين طبقات بعض معادن الطين القابلة للتمدد وتصبح غير جاهزة أو صالحة للامتصاص من النبات.
- يمكن أن تتحول إلى صورة متبادلة على سطوح غرويات التربة وهي صورة جاهزة لأن يمتصها النبات.

العوامل المؤثرة على تكوين الأمونيا:

• **نسبة الكربون إلى النتروجين في المادة العضوية (C/N):** بصورة عامة عندما تكون نسبة الكربون إلى النتروجين (C/N) في المادة العضوية المضافة إلى التربة اكبر من (٣٠) فإنه لا يحصل معدنة للنتروجين العضوي نظراً لاستهلاك نتروجين المادة العضوية من قبل الكائنات الحية الدقيقة من أجل بناء أنسجتها، وتحت هذه الظروف يتحول النتروجين المعدني إلى نتروجين عضوي. وعندما تكون النسبة بين (٢٠ و ٣٠) لا يحصل تحرر للنتروجين على صورة أمونيا ولا يتحول النتروجين المعدني إلى نتروجين عضوي، ولكن عندما تكون نسبة (C/N) اقل من (٢٠)، يحصل تحرر للنتروجين على شكل أمونيا في مراحل تحلل المادة العضوية الأولى.

• **درجة الحرارة والرطوبة:** يزداد معدل تحلل المادة العضوية وتكوّن الامونيا في درجات الحرارة (٣٥ - ٤٠) م°، وتحلل المادة العضوية يزداد أيضاً تحت ظروف الرطوبة والتهوية الجيدة. ويؤدي جفاف التربة وتغذقها إلى خفض معدل تحلل المادة العضوية.

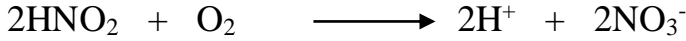
٣. التآزت Nitrification :

هي عملية أكسدة بيولوجية للامونيوم إلى نترات وتتم هذه العملية على خطوتين:

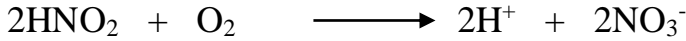
الأولى: أكسدة الامونيوم إلى نترت (NO_2) بكتريا ذاتية التغذية (Autotrophic) متخصصة وهي بكتريا الـ (Nitrosomonas) وحسب المعادلة الآتية:



والثانية: أكسدة النترت إلى نترات (NO_3) وتتم هذه العملية بكتريا ذاتية التغذية متخصصة هي (Nitrobacter) وحسب المعادلة الآتية:



إن محصلة الخطوات التي تضمنتها عملية التآزت يمكن وضعها بالمعادلات الآتية:



في عملية التآزت هناك نقاط مهمة يجب ملاحظتها لأهميتها التطبيقية ومن أهم هذه النقاط هي:

- عملية التآزت تحتاج إلى أوكسجين وهذا معناه أن العملية تحدث بصورة جيدة في الأتربة ذات التهوية الجيدة، وذلك لكون البكتريا المتخصصة لهذه العملية بكتريا هوائية أي أنها تستطيع العيش فقط في الوسط الذي يكون فيه الأوكسجين جاهزاً ومتوفراً. ومن هذا يمكن أن نستنتج بأن الترب المغمورة بالماء لا تحصل بها عملية التآزت بصورة جيدة وتعاق عملية أكسدة الأمونيا إلى نترات.

- في عملية التآزت يتحرر الهيدروجين، وهنا يمكن القول بأن عملية التآزت هي عملية مولدة للحموضة، إذ أن تحرر الهيدروجين يؤدي إلى زيادة حموضة التربة (Acidification) أي انخفاض درجة تفاعل التربة نتيجة لزيادة تركيز ايون الهيدروجين.

- نظراً لاشتراك الكائنات الحية الدقيقة المهمة في هذه العملية فإن نشاط هذه الكائنات يتأثر بعوامل متعددة منها تهوية التربة – ورطوبة التربة – ودرجة حرارة التربة وعوامل أخرى مؤثرة.

في الأتربة ذات الصرف الجيد وذات درجة التفاعل المتعادل يكون معدل أكسدة النترت إلى نترات أعلى من معدل أكسدة الامونيوم إلى نترت، وفي نفس الوقت يكون معدل تكوّن النترت مساوياً لمعدل تكوّن الامونيوم أو أعلى منه، وعلى هذا فإن النترات هي الصورة الأكثر وجوداً في التربة. وبهذا فإن معظم ما يمتصه النبات من النتروجين يكون على شكل نترات.

العوامل المؤثرة في عملية التآزت:

■ **الأمونيوم:** إن التجهيز بالأمونيوم هو من أول الاحتياجات الضرورية لعملية التآزت وذلك لكون الأمونيوم هو المادة الخام الخاضعة لعملية التآزت، ولهذا فإن انخفاض محتوى التربة من الأمونيوم أو عدم توفرها في التربة يؤدي إلى انخفاض معدل عملية التآزت أو توقفها.

■ **بكتريا التآزت:** تختلف الأتربة من حيث مقدرتها على أكسدة الامونيوم إلى نترات حتى تحت الظروف المتشابهة من حرارة وتهوية ورطوبة وكمية الأمونيوم الموجودة في التربة، وذلك لاختلاف محتوى هذه الترب من البكتريا المتخصصة في عملية التآزت.

■ **تهوية التربة:** بما أن عملية التآزت هي عملية تأكسد لذا فإن تحسين تهوية التربة يؤدي إلى زيادة نشاط الكائنات الحية الدقيقة المسؤولة عن عملية أكسدة الأمونيوم وذلك لكونها من نوع (Autotrophic) التي تحتاج إلى مصدر

مستمر من الأوكسجين ويقل نشاطها في ظروف التهوية الرديئة. إن حرارة التربة وقلبها يؤديان إلى زيادة معدل عملية التآزت في حالة توفر الأمونيوم والعوامل الأخرى بسبب زيادة نسبة الأوكسجين بالتربة عند حراستها. وأعلى معدل لنشاط بكتريا التآزت يكون عندما تكون نسبة الأوكسجين في التربة (٢٠٪)، وهي النسبة المقاربة لتركيز الأوكسجين في الهواء الجوي، ويمكن الوصول إلى هذه النسبة من الأوكسجين بالتربة عند تقديم الخدمة الجيدة لها.

■ **درجة حرارة التربة:** لها دور مؤثر في عملية التآزت إذ وجد أن أفضل درجة حرارة للحصول على أفضل معدل لعملية التآزت تتراوح بين (٢٧ - ٣٢ م) ويقل معدل عملية التآزت بانخفاض درجة الحرارة عن هذا الحد وتتوقف عند درجة الانجماد. إن انخفاض درجة الحرارة عن الدرجة المثلى يؤدي إلى انخفاض نشاط الكائنات الحية الدقيقة المسؤولة عن عملية التآزت.

■ **المحتوى الرطوبي في التربة:** إن تَكَوّن النترات بعملية التآزت يتأثر بالمحتوى الرطوبي الواطئ والمرتفع للتربة. إذ أن زيادة محتوى التربة الرطوبي عن الحد الملائم لنمو النبات يؤدي إلى انخفاض محتوى التربة من الأوكسجين وهذا بدوره يؤدي إلى انخفاض معدل عملية التآزت. إن أعلى معدل لعملية التآزت يكون عندما يكون محتوى التربة الرطوبي من (نصف إلى ثلثي) مقدرة التربة على الاحتفاظ بالماء. كذلك يجب الإشارة إلى أن النترات لا تتكون في التربة الجافة ولا في المستويات الواطئة لرطوبة التربة.

■ **درجة تفاعل التربة:** إن درجة تفاعل التربة التي عندها يمكن أن تحصل عملية التآزت هي بين (٥,٥ - ١٠). وأعلى معدل للعملية يكون عند درجة تفاعل (٨,٥). إن أعلى نشاط لبكتريا الـ (Nitrosomonas) هو عند درجات تفاعل التربة من (٧ - ٩). وأن أعلى نشاط لبكتريا الـ (Nitrobacter) هو عند درجات تفاعل التربة المتعادلة والمائلة إلى القاعدية.

■ **العناصر الغذائية:** إن البكتريا المسؤولة عن عملية التآزت تحتاج إلى تجهيز بالعناصر الغذائية اللازمة لاستمرار نشاطها وفعاليتها الحيوية. ومن هذا نستنتج أنه في الترب الفقيرة بالعناصر الغذائية يقل نشاط الكائنات الحية الدقيقة ويقل تكاثرها مما يؤثر سلباً على عملية التآزت.

■ **فصول السنة:** إن تأثيرها على عملية التآزت هو تأثير غير مباشر، إذ تؤثر فصول السنة على محتوى التربة من الرطوبة، ودرجة حرارة التربة، وهواء التربة وكذلك جاهزية العناصر الغذائية، وهذه العوامل تؤثر بشكل مباشر في عملية التآزت. لذا يمكن القول بأن أعلى معدل لهذه العملية يحدث في الربيع وبداية الصيف لزيادة أعداد ونشاط الكائنات الحية الدقيقة المسؤولة عن عملية التآزت. وعكس ذلك يحدث في الشتاء وفترة الجفاف، إذ يقل نشاط وتكاثر بكتريا التآزت فيقل بذلك معدل أكسدة الأمونيوم.

فقد النتروجين من التربة:

يتعرض النتروجين المضاف للتربة بشكل سماد نتروجيني إلى عدة عمليات فقد، ومن أهم العمليات التي يفقد بها النتروجين من التربة هي:

أولاً: الاستهلاك النباتي للنتروجين:

تُعد عملية امتصاص النبات للنتروجين من العمليات المهمة التي تؤدي إلى خفض محتوى التربة من النتروجين، وتختلف النباتات باختلاف أنواعها من حيث كميات النتروجين التي تمتصها خلال مراحل نموها. والجدول أدناه يوضح معدل كميات النتروجين التي تستهلكها محاصيل مختلفة خلال دورة حياة واحدة. إن كمية قليلة جداً من النتروجين المستنفذ من التربة بواسطة النبات يعود إلى التربة عن طريق تحلل بقايا النبات في التربة.

المحصول	جزء النبات	الحاصل طن/هكتار	نسبة النتروجين	الكمية المستهلكة من النتروجين كغم/هكتار
الجت	الأجزاء الخضرية	٩	٢,٤	٢١٦
الشعير	الحبوب	٣	١,٩	٥٧
الذرة الصفراء	الحبوب	٧	١,٤	٩٨
القطن	البذور	١	٣,٧	٣٧
فول الصويا	الحبوب	٢,٥	٦,٠	١٥٠
الطماطا	الثمار	٢٥	٠,٣	٧٥
البطاطا الحلوة	الجزور	٢٠	٠,٣	٦٠
البنجر السكري	الجزور	٤٠	١,٨	٧٢
	الأجزاء العليا للنبات	--	--	٨٠
الحنطة	الحبوب	٣	٢,١	٦٣
	التبن	٣	٠,٦	١٨
الشوفان	الحبوب	٣	١,٨	٥٤
	التبن أو القش	٣	٠,٦	١٨
البطاطا	الدرنات	٢٠	٠,٤	٨٠
	الأجزاء العليا للنبات	--	--	٧٠

ثانياً: الفقد بعملية التعرية:

إن انجراف التربة بواسطة التعرية المائية أو بواسطة التعرية الريحية من الحقل يؤدي إلى حصول خسارة أو فقدان للنتروجين محمولاً مع التربة المنجرفة. فمثلاً لو كان هناك فقد (بطن واحد) من تربة الحقل عن طريق التعرية، وكان محتوى المادة العضوية لهذه التربة هو (٤٪)، فإن محتوى هذا الطن المفقود من التربة هو (٤٠ كغم) مادة عضوية وهذه بدورها تحتوي على (٢ كغم) نتروجين (٢٠٪ من المادة العضوية). ولو فرضنا أن مقدار التربة المفقودة بالتعرية هو (١٠ طن) فإن ذلك يدل على حصول فقدان (٢٠ كغم) من النتروجين وهذه كمية كبيرة تستنزف من التربة عن طريق التعرية.

ثالثاً: الفقد بعمليات الغسل:

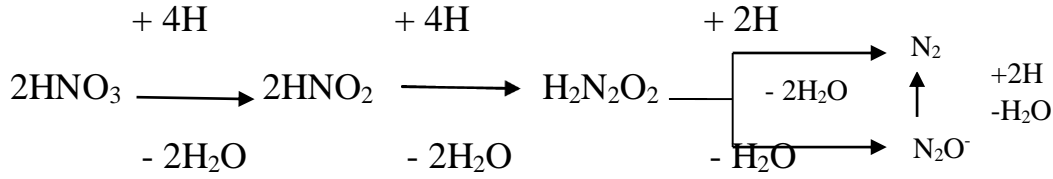
إن النتروجين على صورة نترات (NO_3^-) يكون سهل الفقد بعملية الغسل من للتربة ذات النفاذية الجيدة. ولقد وجد أن كمية مطر قليلة تؤدي إلى غسل النترات من التربة السطحية إلى عمق (٦٠ سم) من مقد التربة خلال فترة زمنية قدرها (٢٤ ساعة)، وإذا حصلت أمطار إضافية أخرى فإنها تغسل النترات إلى أعماق بعيدة عن متناول جذور النبات. ويمكن التقليل من فقدان النتروجين بعملية الغسل عن طريق صيانة الغطاء النباتي للتربة والمحافظة عليه وتحديد الموعد الجيد لإضافة الأسمدة النتروجينية.

رابعاً: فقدان نتروجين التربة على شكل غازات:

يمكن أن يفقد نتروجين التربة على شكل غاز من التربة بإحدى الصور الآتية:

أ- عملية الـ (**Denitrification**): هذه العملية عبارة عن عملية اختزال بيولوجي للنترات والنترت إلى غازات متطايرة. وتقوم بهذه العملية الكائنات الحية الدقيقة الموجودة في التربة تحت الظروف اللاهوائية، إذ تستعمل هذه الكائنات النترات والنترت مصدراً للأوكسجين ومحولاً إياها إلى اوكسيد النيتروز أو غاز النتروجين، ومن الكائنات الحية الدقيقة المسؤولة عن هذه العملية أنواع تتبع الفصائل الآتية: *Bacillus* و *Micrococcus* و *Pseudomonas* وهناك أنواع

من بكتريا ذاتية التغذية لها القدرة على القيام بهذه العملية منها Thiobacillus denitrificans وتوضح المعادلة الآتية فقدان النتروجين على شكل غازات عن طريق عملية الـ (Denitrification):



أما العوامل التي تساعد على فقدان النتروجين على شكل غازات بهذه العملية فهي:

• **محتوى التربة الرطوبي:** في الأتربة الغدقة يكون معدل فقدان النتروجين على شكل غازات عالياً، وذلك لقلّة تركيز الأوكسجين في هذه التربة مما ينشط فعالية الكائنات الحية الدقيقة على استهلاك أوكسجين النترات والنتريت. أما في الأتربة جيدة الصرف فيكون معدل فقدان النتروجين بهذه الطريقة واطناً.

• **المادة العضوية:** إن زيادة محتوى التربة من المادة العضوية يؤدي إلى زيادة معدل عملية الـ (Denitrification) وذلك لكون المادة العضوية تقوم بتجهيز الطاقة لنمو بكتريا هذه العملية وكذلك تُجَهِّز ايونات الهيدروجين لعملية الاختزال هذه. إن زيادة محتوى التربة من مكونات المادة العضوية سهلة التحلل مثل الكلوكوز والمانتول والسكرورز وسترات الصوديوم يحفز عملية الـ (Denitrification) ويزداد معدل حصولها بالتربة، ولكن هذا المعدل يقل بزيادة محتوى التربة من مادة اللكتين صعبة التحلل.

• **درجة تفاعل التربة:** تتأثر عملية الـ (Denitrification) بدرجة تفاعل التربة، إذ يزداد معدل هذه العملية في الأتربة ذات درجة التفاعل المرتفعة ويكون معدلها واطناً في الأتربة الحامضية. يفقد النتروجين على شكل (N₂O) بين درجة تفاعل (٤,٩ إلى ما يقارب من ٥,٦) في حين يفقد على شكل (N₂) عند درجة تفاعل (٧,٣ - ٧,٩).

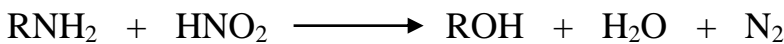
• **درجة الحرارة:** أعلى معدل لعملية الـ (Denitrification) يكون عند درجة حرارة هي (٦٠ - ٦٥ م°)، ويسود فقدان النتروجين على شكل (N₂O) في الدرجات الواطئة وعلى شكل (N₂) في الدرجات العالية.

ب- يمكن أن يُفقد النتروجين من التربة على شكل غازات عن طريق تفاعلات كيميائية، ويحصل هذا بشكل خاص في التربة الحامضية جيدة التهوية، ومن هذه التفاعلات:



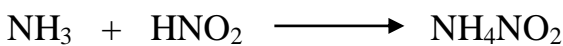
هذا التفاعل يحصل في الأتربة التي درجة تفاعلها (٥)، ويزداد حصول مثل هذا التفاعل عند انخفاض درجة تفاعل التربة إلى اقل من (٥). وبما أن (NO) تتطاير فلها تفقد من التربة إلى الجو على شكل غازات وتقل بذلك محتوى التربة النتروجيني. وفي الأتربة المتعادلة أو القاعدية يكون تكوّن (NO) قليلاً.

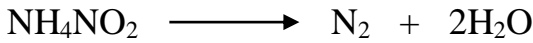
أما التفاعل الآخر الذي يمكن عن طريقه أن يفقد النتروجين على شكل غازات تحت الظروف الملائمة فهو تفاعل (HNO₂) مع الأحماض الامينية ليكوّن (N₂) كما في المعادلة الآتية:



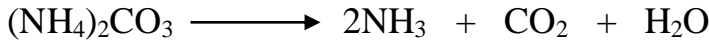
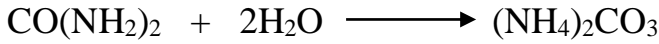
هذا التفاعل يُعرّف بتفاعل (Van slyke)، ويحصل عند درجة تفاعل للتربة مقداره (٥ أو اقل).

التفاعل الآخر هو تفاعل الأمونيا أو (الأمونيا الناتجة من اليوريا) مع (HNO₂) وينتج عن هذا التفاعل غاز النتروجين الذي يفقد من التربة كما في المعادلات الآتية:

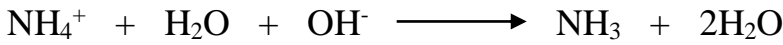




أو



ت- **تطاير الأمونيا:** يمكن أن يُفقد النتروجين من التربة على شكل أمونيا وذلك عندما تضاف الأسمدة النتروجينية الحاوية على الأمونيوم على سطح الأتربة القاعدية كما في المعادلة الآتية:



إن معدل فقدان النتروجين على شكل غاز الأمونيا يكون واطناً تحت الظروف الآتية للتربة، وذلك عندما يضاف النتروجين على شكل أمونيوم:

- التربة ذات السعة التبادلية الكاتيونية العالية.
- التربة ذات المحتوى العالي من الرطوبة.
- التربة ذات درجة التفاعل الواطئة، إذ وُجِدَ أن كمية الفقد تكون (٥٪) عندما تكون درجة تفاعل التربة (٥)، وتكون كمية الفقد (٥٠٪) عندما تكون درجة تفاعل التربة (٨).
- درجات الحرارة المنخفضة.
- عند وضع الأسمدة تحت سطح الأرض.

رابعاً: تثبيت الأمونيوم في التربة:

إن نتروجين التربة على صورة (NH_4^+) يتعرض إلى حالة احتفاظ التربة به، وهذا يحصل على سطوح معادن الطين عن طريق ادمصاص الأمونيوم ذي الشحنة الموجبة من لدن الشحنات السالبة لمعادن الطين، وبذلك يكون النتروجين بصورة الأمونيوم أقل تعرضاً لعمليات الغسل من صورة النتروجين الأخرى وهي النترات (NO_3^-) التي تكون حرة في محلول التربة معرضة للفقد بالغسل نظراً لكون حبيبات التربة غير قادرة على امتصاص النترات ذات الشحنة السالبة.

إن الأمونيوم المدمصة تكون جاهزة للنبات إذ لها القابلية على التبادل مع كاتيونات أخرى موجودة في محلول التربة في ظروف معينة، إضافة إلى أنها في حالة اتزان مع الأمونيوم الموجودة في محلول التربة وهي بذلك تُعدّ مخزناً للأمونيوم محلول التربة.

إن الأمونيوم في محلول التربة يمكن تتعرض إلى عملية أخرى غير عملية ادمصاص التي تُعدّ عملية فقد لنتروجين محلول التربة، وهذه العملية هي تثبيت الأمونيوم في معادن الطين والمادة العضوية. إن معادن الطين (٢ : ١) لها القدرة على تثبيت الأمونيوم ويُعدّ معدن الفيرمكيولايت الأكثر قدرة وقابلية على التثبيت ثم يتبعه الالاييت وبعده المونتوريللونايت. إن ميكانيكية التثبيت يمكن توضيحها بصورة مبسطة، وهي أن ايونات الأمونيوم تدخل بين صفائح وحدات معادن الطين في فتحات مشابهة لحجمها، وبذلك تصبح هذه الايونات جزءاً من صفيحة المعدن مثبتة فيه غير قادرة على الحركة. وذلك لان دخول ايونات الامونيوم بين صفائح معادن الطين يجعل هذه المعادن تفقد قدرتها على الانفراج والتمدد لحلول ايون الأمونيوم بين ذرات الأوكسجين وربطه للصفائح معاً، فيفقد بذلك الطين مقدرته على التمدد ويصبح بعدها غير قابل للتبادل ويحرر جزءاً يسيراً منه للنبات. إن تثبيت الأمونيوم في بعض الحالات يُعدّ احد الطرق للمحافظة على نتروجين التربة وذلك لان معدل تحرره واطناً وهو بذلك يُعدّ مخزناً للنتروجين المتبادل والموجود في محلول التربة لكون هذه الأجزاء الثلاثة للنتروجين (المثبت والمتبادل والذائب في محلول التربة) في حالة اتزان كما في المعادلة الآتية:



في محلول التربة

متبادل

مثبت

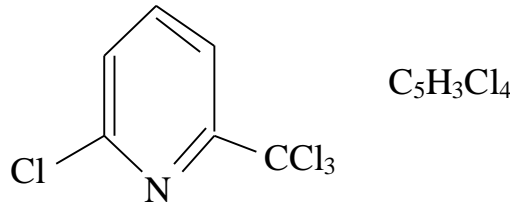
إن مادة التربة العضوية يمكن أن تثبت الأمونيوم، وذلك عن طريق تفاعل الأسمدة النتروجينية الحاوية على الأمونيوم أو التي تولد الأمونيوم بعد سلسلة تفاعلات داخل التربة مع المادة العضوية للتربة مكونة مركبات مقاومة للتحلل. أما الظروف الملائمة لهذا التثبيت فهي وجود الأوكسجين ودرجات تفاعل التربة العالية. إن الأمونيوم المثبتة بالمادة العضوية أسهل تحرراً من الأمونيوم المثبتة بمعادن الطين وذلك عن طريق عملية التعدين.

والسؤال المهم في موضوع فقدان النتروجين من التربة هو : (هل يمكن تقليل فقد النتروجين من التربة بعملية الغسيل وعملية أـ (Denitrification). من أجل تجنب الفقد الكبير للنتروجين على شكل نترات نتيجة لعمليات غسيل التربة أو عن طريق تحول هذه النترات إلى غازات تفقد من التربة بوساطة عملية أـ (Denitrification) فإنه تم التوصل إلى إضافة مواد كيميائية مانعة لعملية التآزت أي تحوّل الأمونيوم إلى نترات، ومن أهم هذه المواد هي:

- 1- Nitrapyrin (2- chloro -6- [trichloromethyl] pyridine = N-serve
- 2- ST (2- sulphanilamide thiazol)
- 3- Terrazole (5- ethoxy -3- trichloromethyl – 1,2,4, thiadizole)
- 4- KN₃ (Potassium azide)
- 5- CS₂ (Carbon disulphide)
- 6- Dicyandiamide (H₂N – C – NH – C ≡ N)



ومن أهم هذه المثبطات لعملية التآزت هي مادة الـ (N – serve) المصنعة في أمريكا والتركيب الكيميائي لهذه المادة هو:



هذه المادة تعمل على إيقاف عملية أكسدة الأمونيوم إلى نترات عن طريق بكتريا نوع (Nitrosomonas)، بينما لا تعمل هذه المادة ضد نشاط البكتريا من نوع (Nitrobacter) التي تقوم بأكسدة النترات إلى نترات في التربة، وهذه المادة أيضا غير مضرّة بالكائنات الحية الدقيقة الأخرى. لهذا فإن هذه المادة تعمل على تقليل أو إيقاف فقد النتروجين بعملية الغسل أو على شكل غازات بوساطة عملية الـ (Denitrification)، وذلك عن طريق إبقاء نتروجين التربة المضاف (الأسمدة النتروجينية الحاوية على الأمونيوم وسماد اليوريا) بصورة امونيوم (NH₄⁺). إن بقاء النتروجين في التربة بصورة امونيوم له بعض الايجابيات ومن أهمها:

- تقليل فقد النتروجين بعملية الغسل والـ (Denitrification) الذي قد يصل في بعض الحالات إلى (٥٠٪) من النتروجين المضاف.
- تقليل عدد دفعات النتروجين المضاف، إذ أن إضافة النتروجين بدفعة واحدة مع (N - Serve)، ربما يجهز الكمية المناسبة من النتروجين للمحاصيل التي تحتاج للنتروجين على دفعات.
- نمو معظم النباتات يكون أفضل عندما تتغذى بالنتروجين على شكل (امونيوم + نترات) وليس على شكل امونيوم أو نترات لوحدها.

تأثير إضافة (N-Serve) على حاصل نبات الذرة الصفراء (Christy، ١٩٧٦)

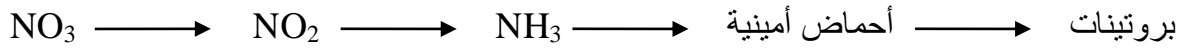
حاصل الذرة الصفراء بوشل / أكر		مستويات النتروجين المضاف
مع (N-Serve)	بدون (N-Serve)	باوند / أكر
١٤٠,٥	١٠٠,٣	١٢٠
١٥٧,٣	١٢٦,١	٢٠٠

- امتصاص النبات من التربة يزداد عند تغذية النبات على الامونيوم.
- امتصاص النبات للنتروجين على صورة امونيوم يقلل من تركيز النترات في نباتات الاسبيناغ والطماطا والخس والفجل والبنجر السكري.
- امتصاص النبات للنتروجين على صورة امونيوم يؤدي إلى زيادة تركيز الأحماض الامينية والبروتينات لعدد من النباتات مثل الذرة الصفراء والحنطة.
- تغذية النبات بالنتروجين على صورة امونيوم يقلل من إصابة عدد من النباتات بالأمراض.

دور النتروجين في تغذية ونمو النبات:

يتمصص النبات النتروجين على صورة نترات أو امونيوم بشكلها المعدني وتُحتزل هذه بدورها داخل النبات وتتحول إلى الشكل العضوي المهم في بناء الخلية النباتية؛ إن عنصر النتروجين هو جزء تركيبى لكثير من المواد والمركبات النباتية، وهذه تضم الأحماض الامينية والبروتينات.

إن النترات التي يتمصصها النبات تُحتزل داخل أنسجته إلى أمونيا، والأمونيا بدورها تتحد مع المواد الكربوهيدراتية الذائبة لتكوّن الأحماض الأمينية وهذه ترتبط بعضها ببعض بروابط أمينية لتكون البروتينات التي تعتبر أهم مكونات الخلية النباتية.



يدخل النتروجين في بناء الكلوروفيل النباتي، ولذلك فإن عنصر النتروجين يزيد من خضرة النبات ويشجع النمو الخضري بشكل كبير. وبما أن النتروجين هو أحد مكونات البروتينات والأنزيمات والكلوروفيل فإنه يدخل في كل العمليات والتفاعلات المرتبطة بالبروتوبلازم والتفاعلات الأنزيمية وعملية التركيب الضوئي.

تأثير التسميد النتروجيني على حاصل نبات الحنطة

حاصل الحبوب طن/ هكتار			المعاملة
سنة ١٩٧٧ - ١٩٧٦	سنة ١٩٧٦ - ١٩٧٥	سنة ١٩٧٥ - ١٩٧٤	كغم نتروجين/ هكتار
٣,٩	٤,١	٣,٤	٦٠
٤,٦	٤,٣	٣,٨	٨٠
٤,٦	٤,٥	٣,٩	١٠٠
٤,٧	٤,٦	٣,٩	١٢٠

يوضح الجدول وجود علاقة ايجابية بين الأسمدة النتروجينية المضافة إلى الأتربة التي تعاني من نقص النتروجين وحاصل معظم المحاصيل النباتية النامية فيها.

صور النتروجين وعلاقتها بامتصاص العناصر الغذائية ودرجة تفاعل التربة:

صور النتروجين وامتصاص العناصر الغذائية:

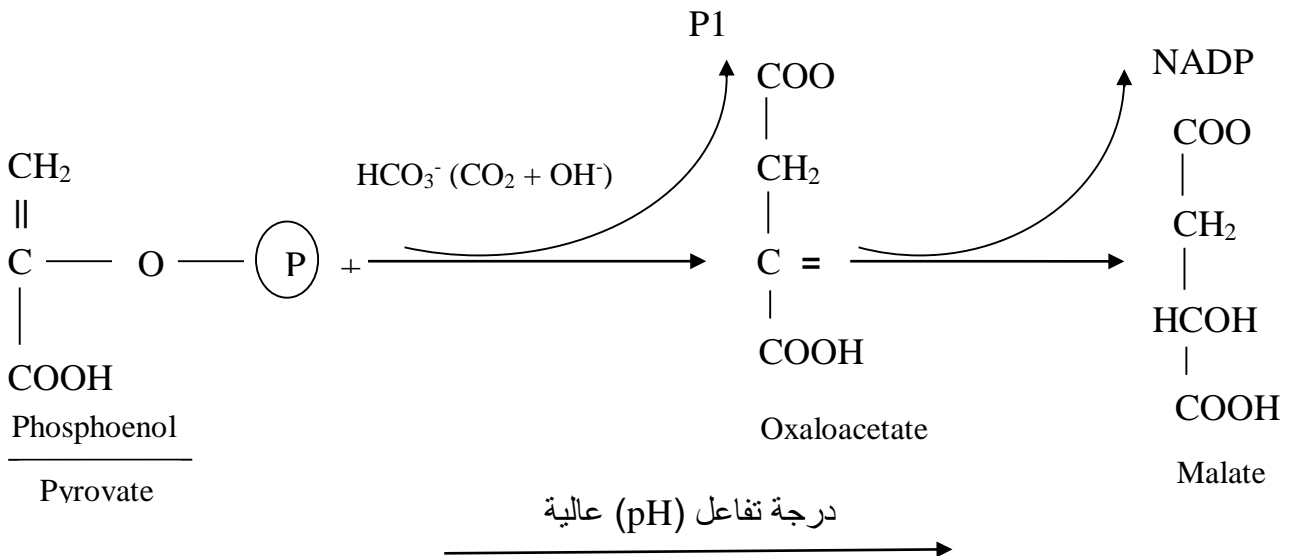
إن معدل امتصاص كل ايون (كاتيون أو أنيون) يتأثر بتركيز الأيونات الأخرى في وسط النمو، فتزاحم أيونين أو أكثر على عملية الامتصاص سوف يؤثر في معدل امتصاص النبات لها. فزيادة معدل امتصاص كاتيون معين يؤدي إلى قلة معدل امتصاص كاتيون أو كاتيونات أخرى ولكن بالمقابل يؤدي إلى زيادة معدل امتصاص أنيون أو أكثر. وأشار (Bear 1950) إلى أن زيادة امتصاص أي كاتيون أو أنيون يكون على حساب الكاتيونات أو الأنيونات الأخرى. وافترض المعادلة الآتية التي توضح وتبين العلاقة بين الكاتيونات والانيونات في عملية الامتصاص أي التوازن الأنيوني- الكاتيوني داخل النبات:

$$\frac{K + Ca + Mg + Na}{N + P + S + Cl + Si} = \text{Constant}$$

وأثبتت الدراسات الحديثة أن المعادلة الآتية هي التي تسود في عملية التوازن الأنيوني- الكاتيوني وهي بدورها تعتمد بدرجة كبيرة على معادلة Bear :

$$\text{الكاتيونات المعدنية الممتصة} = \text{الأنيونات المعدنية الممتصة} + \text{الأنيونات العضوية المتولدة داخل النبات}$$

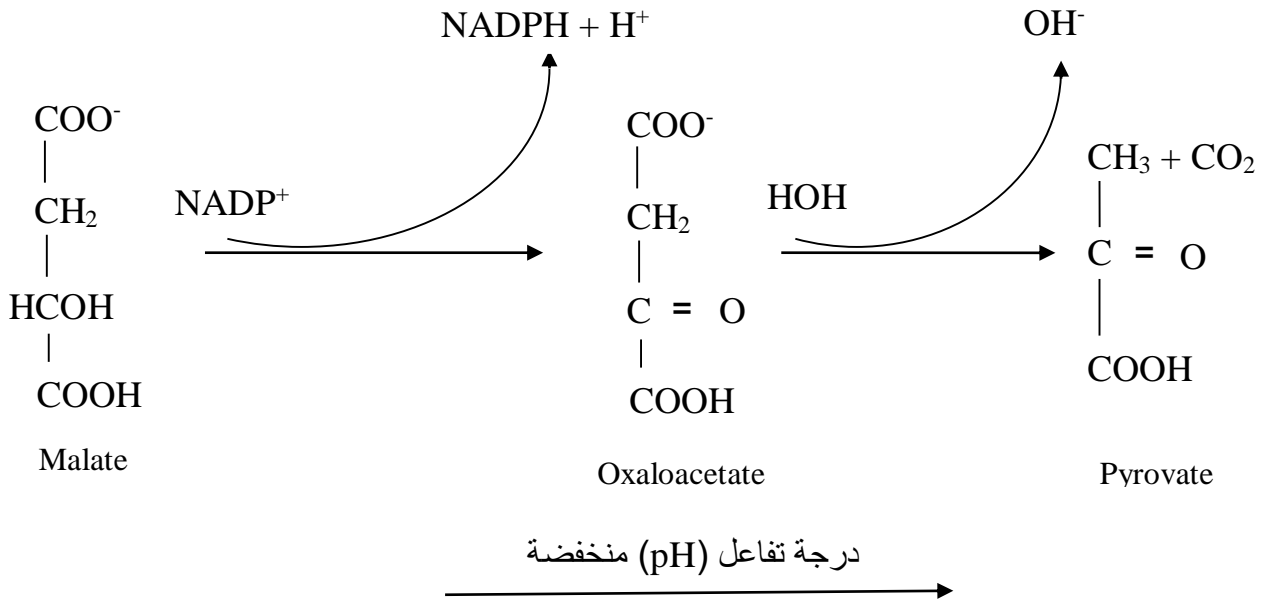
ولتوضيح هذه المعادلة الأخيرة، يمكن القول بأن النباتات تمتص عادةً الكاتيونات والأنيونات بكميات غير متساوية من الوسط الغذائي، وهذا الاختلاف يؤدي إلى عدم التوازن في الامتصاص الكاتيوني – الأنيوني داخل النبات، وعدم التوازن هذا يُعادل أو يُعوّض في النبات بتجمع أو تحلل الأنيونات العضوية وخاصة الأنيون العضوي المألوف. ويحافظ على التوازن الأيوني في الوسط الغذائي والنبات بالتوازن الكهربائي (الشحنات الموجبة أو الشحنات السالبة) ولتوضيح هذا بصورة مبسطة نقول لو كان الامتصاص الكاتيوني (الشحنات الموجبة) من لدن النبات اكبر من الامتصاص الأنيوني (الشحنات السالبة) من الوسط الغذائي فإن النبات يقوم بالمحافظة على التوازن الأيوني للوسط الغذائي وذلك عن طريق فرز ايونات الهيدروجين (شحنات موجبة) إلى الوسط الغذائي، أما التوازن الأيوني داخل النبات فيعادل في هذه الحالة (زيادة امتصاص الكاتيونات وقلة امتصاص الأنيونات)، أي حالة زيادة محتوى النبات من الكاتيونات عن احتوائه للأنيونات بتشجيع تجميع الأنيونات العضوية عن طريق زيادة تمثيل ثاني اوكسيد الكربون.



شكل يوضح تكون الأنيون العضوي عند زيادة درجة تفاعل الخلية النباتية

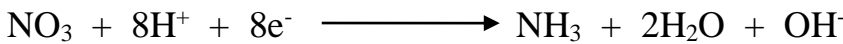
إن الامتصاص الكاتيوني هنا يشجع تكوّن الأنيون العضوي المألئ، وذلك عن طريق توفير الطرف المألئ لتكوينه، وهو رفع درجة تفاعل الخلية (فرز النبات للهيدروجين مقابل امتصاص الكاتيونات) بسبب انخفاض تركيز ايون الهيدروجين للخلية النباتية (الشكل أعلاه).

أما في حالة كون الامتصاص الأنيوني اكبر من الامتصاص الكاتيوني من الوسط الغذائي فإن النبات في هذه الحالة يقوم بالمحافظة على التوازن الأيوني للوسط الغذائي عن طريق فرز OH^- (HCO_3^-) إلى الوسط الغذائي. أما التوازن الأيوني داخل النبات فيعادل في هذه الحالة (زيادة امتصاص الأنيونات وقلّة امتصاص الكاتيونات) بتقليل معدل تجمع الأنيونات العضوية عن طريق خفض معدل تمثيل ثاني اوكسيد الكربون فيقلّ تكون الأنيون العضوي المألئ. والامتصاص الأنيوني هنا يزيد من تحلل المألئ عن طريق توفير الطرف المألئ لتحلله، وهو خفض درجة تفاعل الخلية بسبب زيادة تركيز ايون الهيدروجين (فرز OH^- إلى الوسط الغذائي) فيها (الشكل أدناه).



شكل يوضح تحلل الأنيون العضوي عند انخفاض درجة تفاعل الخلية النباتية

ولدراسة تأثير العلاقة بين صور النتروجين التي يمتصها النبات (النترات والأمونيوم) والتوازن الأنيوني - الكاتيوني أي تأثير صور النتروجين على امتصاص العناصر الغذائية من لدن النبات فإن لصور النتروجين تأثيراً ملحوظاً على التوازن الأيوني. ففي حالة تغذية النبات بالنتروجين على صورة نترات يزداد امتصاص النبات للنترات والكاتيونات، ولكن النترات الممتصة تُختزل داخل النبات مولدةً OH^- كما في المعادلة الآتية:



إن جزء من الـ OH^- يفرز من الجذر إلى الوسط الغذائي تعويضاً عن الشحنات السالبة التي دخلت النبات كأيونات نترات والجزء الآخر يؤدي إلى رفع درجة تفاعل الخلية التي تُكوّن طرفاً مألئاً لتكوّن الأنيونات العضوية (المألئ) لموازنة الكاتيونات الممتصة عند تغذية النبات بالنترات. ومن هذا يتضح بأن تغذية النبات بالنترات يؤدي إلى زيادة امتصاص الكاتيونات وتجمع الأنيونات العضوية داخل النبات.

أما تغذية النبات بالنتروجين على صورة أمونيوم فإن ذلك يؤدي إلى زيادة تركيز الأمونيوم والأنيونات المعدنية مثل (S, P, Cl) داخل النبات والى قلّة تركيز الكاتيونات (Ca, Mg, K) والأنيونات العضوية. وتعود قلّة تكوّن (المألئ) إلى زيادة امتصاص الأنيونات المعدنية. والجدول أدناه يثبت أن زيادة امتصاص النبات للأمونيوم يقلل من معدل امتصاص النبات للكاتيونات، في حين زيادة امتصاص النبات للنترات يزيد من امتصاص النبات للكاتيونات.

جدول يوضح تأثير النتروجين على امتصاص نبات الخردل الكاتيونات

مليمكافي ء / ١٠٠ غرام مادة جافة			صور النتروجين
البوتاسيوم	المغنيسيوم	الكالسيوم	
٨١	٢٨	١٠٧	النترات
٤٠	٢٢	٧٢	الأمونيوم

والجدول التالي يوضح تأثير تغذية نبات الحنطة بالأمونيوم (يوربا + N-serve) قللت من تركيز الكاتيونات داخل النبات، على حين أدت تغذية النبات بالنترات (نترات الكالسيوم) إلى زيادة تركيز الكاتيونات.

جدول يوضح تأثير تغذية نبات الحنطة بالأمونيوم والنترات على الأمتصاص الكاتيوني

المعاملة	الكالسيوم %	المغنيسيوم %	البوتاسيوم %
أمونيوم (يوربا + N-serve) ٢٠ جزء بالمليون نتروجين	٠,٥٧	٠,٠٦٢	٢,٢٣
أمونيوم (يوربا + N-serve) ٤٠ جزء بالمليون نتروجين	٠,٥٦	٠,٠٦٠	٢,٠٧
نترات (نترات الكالسيوم) ٢٠ جزء بالمليون نتروجين	٠,٧١	٠,٠٧٤	٢,٤٢
نترات (نترات الكالسيوم) ٤٠ جزء بالمليون نتروجين	٠,٦٣	٠,٠٧١	٢,٢٣

صور النتروجين ودرجة تفاعل التربة:

تلعب صور النتروجين (النترات والأمونيوم) دوراً مهماً في درجة تفاعل التربة، فعندما يكون الأمونيوم هو المصدر الرئيس للنتروجين في تغذية النبات فإن كميات عالية منه يمتصها النبات وفي هذه الحالة يُحافظ على التوازن الكهربائي الكيميائي في الوسط الغذائي عن طريق فرز النبات لأيونات الهيدروجين بصورة شحنات موجبة بدلاً من الشحنات الموجبة الممتصة كأمونيوم إلى الوسط الغذائي وهذا يؤدي إلى خفض درجة تفاعل الوسط الغذائي أي زيادة الحمضية.

أما عندما تكون النترات هي المصدر الرئيس للنتروجين في تغذية النبات فإن الكميات العالية التي يمتصها النبات منه تجعل النبات يقوم بفرز OH^- (HCO_3^-) للمحافظة على التوازن الكهربائي للوسط الغذائي، وهذا يؤدي إلى زيادة درجة تفاعل التربة أي زيادة قاعدية الوسط الغذائي.

أعراض نقص النتروجين:

إن نقص عنصر النتروجين يتصف بمعدل نمو ضعيف، إذ أن النباتات تبقى صغيرة، والسيقان طويلة ورفيعة والأوراق صغيرة، والقديمة منها تتساقط قبل اكتمال نضجها في معظم الأحيان. كذلك يتأثر نمو الجذور إذ تحصل إعاقة في نمو التفرعات الجذرية وأن نسبة الجذور إلى أجزاء النبات العليا تزداد. كذلك يظهر على الأوراق الاصفرار ويكون توزيع هذا الاصفرار منتظماً على كل الورقة، وفي المرحلة الأخيرة من النقص يظهر موت موضعي لأنسجة الورقة. تبدأ أعراض النقص على الأوراق القديمة (الأوراق السفلى) أولاً حيث يبدأ الاصفرار برأس الورقة ثم العرق الوسطي وبعد ذلك يغطي معظم الورقة.

الأسمدة النتروجينية:

يمكن تقسيم الأسمدة النتروجينية إلى أسمدة نتروجينية صناعية وغير صناعية، وتقسم الأسمدة النتروجينية غير الصناعية بدورها إلى:

١. الأسمدة النتروجينية الطبيعية : وهذه تضم مجموعة أملاح النتروجين المترسبة في مناطق مختلفة من العالم، مثل نترات الصوديوم، ونترات الكالسيوم والبوتاسيوم وكذلك الأمونيا التي يمكن استخراجها من مناجم الفحم الحجري.

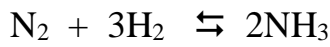
٢. الأسمدة النتروجينية العضوية : وهي تضم

- النواتج العرضية للحيوانات ومخلفات المجازر ومصانع الزيوت.
- بقايا النباتات في الحقل.
- الأسمدة الخُضْر.

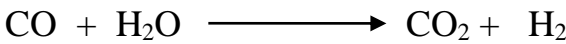
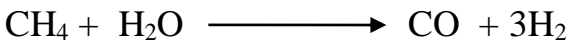
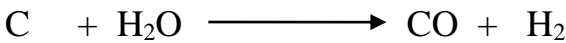
أما الأسمدة النتروجينية الصناعية فتضم أنواعاً مختلفة من الأسمدة من أهمها:

أولاً: الأمونيا:

إن عملية تصنيع الأمونيا (NH_3) عملية بسيطة حيث تعتمد على طريقة Haber – Bosch المكتشفة سنة ١٩١٣ في ألمانيا، التي تستند على تفاعل النتروجين وغاز الهيدروجين لتكوين غاز الأمونيا كما في المعادلة الآتية:



إن مصادر الهيدروجين لهذه العملية كثيرة منها الماء والغاز الطبيعي CH_4 والفحم والدهون، أما مصادر النتروجين فهي الهواء. والمعادلات الآتية توضح الحصول على الهيدروجين:



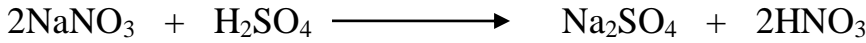
عند تعريض خليط الهيدروجين والنتروجين (أو غاز الأمونيا) لضغط عالٍ وتحت درجة حرارة (500°C) وبوجود الحديد عاملاً مساعداً يتحول غاز الأمونيا إلى السيويلة ويتكون سماد (Anhydrous ammonia) الذي يحتوي على أعلى نسبة من النتروجين بين الأسمدة النتروجينية وهي (٨٢٪) وهو أكثر الأسمدة النتروجينية استعمالاً في الوقت الحاضر في الأسواق العالمية وذلك لمحتواه العالي من النتروجين ولرخص ثمنه.

إن ذوبان هذا السماد بالماء يؤدي إلى تكوين سماد نتروجيني آخر يعرف بسماد (Aqua ammonia) الذي يحتوي (٢٤٪) نتروجين. إن السمادين (Anhydrous ammonia و Aqua ammonia) هي أسمدة ذات تأثير قاعدي في بداية إضافتها للتربة حيث ترفع درجة تفاعل التربة في محيط الإضافة فقط إلى أكثر من (٩)، ولكن بعد بضعة أيام من الإضافة وتحت ظروف التربة الدافئة ذات التهوية الجيدة فإن الكائنات الحية الدقيقة (البكتريا) تقوم بتحويل الأمونيا إلى أمونيوم ومن ثم إلى نترات التي تقوم بسحب الكاتيونات مثل الكالسيوم والمغنيسيوم والبوتاسيوم إلى المحيط الجذري أو إلى خارج محور الجذور، فهذا يقل محتوى محلول التربة من الكاتيونات القاعدية فتقل قاعدية التربة وتزداد الحامضية إضافة إلى أن تحول الأمونيا إلى نترات هو مصدر لأيونات الهيدروجين كما ذكرنا في عملية التأزت. ومن هذا يتضح بأن التأثير النهائي لهذه الأسمدة بعد تفاعلها بالتربة حامضي.

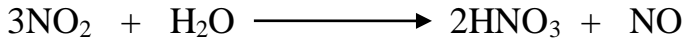
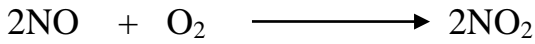
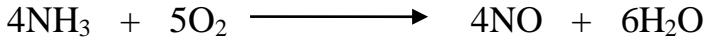
إن السماد (Anhydrous ammonia) يجب أن لا يضاف على سطح التربة مباشرة خوفاً من فقدان النتروجين بالتطاير، ولهذا يجب وضعه تحت سطح التربة وبعمق عدة سنتمترات لتقليل الفقد بالتطاير. وأخيراً يُعد هذا السماد المادة الخام أو مفتاح لتصنيع معظم الأسمدة النتروجينية.

ثانياً: حامض النتريك:

قبل انتشار تصنيع الأمونيا كان حامض النتريك (HNO_3) يصنع عن طريق تفاعل نترات الصوديوم مع حامض الكبريتيك كما في المعادلة الآتية:



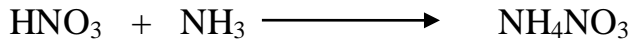
لكن في الوقت الحاضر يصنع حامض النتريك عن طريق أكسدة الأمونيا بالهواء بوجود العامل المساعد البلاطينيوم بدرجة حرارة تقرب من (٩٠٥ م°)، كما في المعادلات الآتية:



إن الحامض سريع الذوبان ويتفاعل مع معظم المعادن وهو عامل مؤكسد قوي وحامض قوي.

ثالثاً: نترات الأمونيوم:

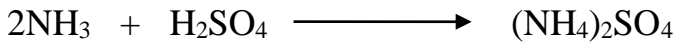
هو بلورات صلبة بيضاء اللون يحتوي السماد النقي منه على (٣٥ %) ولكن السماد التجاري منه يحتوي على (٣٢ %) إلى (٣٣,٥ %) نتروجين، ونصف نتروجين هذا السماد على شكل أمونيوم، والنصف الثاني على شكل نترات. يصنع هذا السماد من تفاعل حامض النتريك مع الأمونيا كما في المعادلة الآتية:



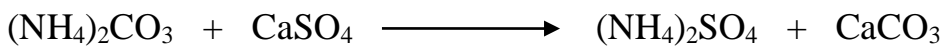
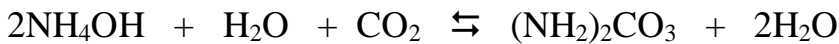
إن هذا السماد سريع الذوبان بالماء وذو تأثير حامضي وجاهزية عالية للنبات وهو ملائم لمعظم المحاصيل الحقلية والخضراوات. ويُعد هذا السماد من أكثر الأسمدة النتروجينية الصلبة انتشاراً في الأسواق وهو كثير الاستعمال في الحقول الزراعية. ومن الملاحظات المهمة حوله هو أنه لا يترك في أكياس مكشوفة وخاصة في المناطق الرطبة، وذلك لامتناعه للرطوبة.

رابعاً: كبريتات الأمونيوم:

من سماد كبريتات الأمونيوم $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ بلورات بيضاء اللون صلبة، يحتوي السماد النقي على (٢١,٢ %) نتروجين و (٢٤,٢ %) كبريت، ولكن السماد التجاري منه يحتوي على (٢٠ - ٢١ %) نتروجين و (٢٤ %) كبريت. هذا السماد مولد للحموضة وينصح استعماله في الأتربة ذات درجة تفاعل قاعدية خفيفة أو متعادلة ولا ينصح باستعماله في الأتربة الحامضية دون استعمال مادة الجير معه. إن درجة غسله من التربة اقل مما هي عليه في سماد نترات الأمونيوم، وهو أكثر توليداً للحموضة من سماد نترات الأمونيوم بسبب احتوائه على الكبريتات والأمونيوم معاً. يصنع هذا السماد من تفاعل الأمونيا مع حامض الكبريتيك كما في المعادلة الآتية:



كما يمكن تصنيع هذا السماد بطريقة أخرى كما هو حاصل في ألمانيا، وذلك من تفاعل الأمونيا مع الجبس وثاني اوكسيد الكربون كما في المعادلات الآتية:



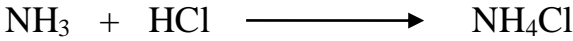
ويكثر من الناحية التطبيقية استعمال هذا السماد في المناطق الجافة وشبه الجافة، وكذلك يكثر استعماله في حقول الرز أما في حقول البطاطا ذات درجة تفاعل متعادلة أو قاعدية خفيفة فيكثر استعماله للمساعدة في تقليل الإصابة بالـ Scab الذي تسببه البكتريا، وهذا السماد يُعد مصدراً لعنصرين ضروريين للنبات هما النتروجين والكبريت.

خامساً: كبريتات - نترات الأمونيوم:

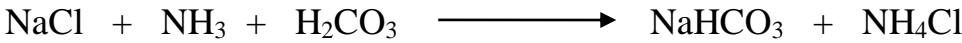
إن هذا السماد $[(NH_4)_2SO_4 \cdot NH_4NO_3]$ حبيبي يحتوي على ٣٠٪ نتروجين (١٧٪ أمونيوم و ١٣٪ نترات) و ٥٪ كبريت، ويصنع بتفاعل الأمونيا مع حامض النتريك وحامض الكبريتيك. ويمكن أن يستعمل بدلاً من سماد نترات الأمونيوم للأتربة التي تعاني من نقص الكبريت. إن استجابة المحاصيل له قد تساوي استجابة المحاصيل لسماد نترات الأمونيوم.

سادساً: كلوريد الأمونيوم:

إن سماد كلوريد الأمونيوم (NH_4Cl) بلورات بيضاء اللون يحتوي على (٢٦٪ نتروجين)، يصنع هذا السماد من تفاعل الأمونيا مع حامض الهيدروكلوريك وحسب المعادلة الآتية:



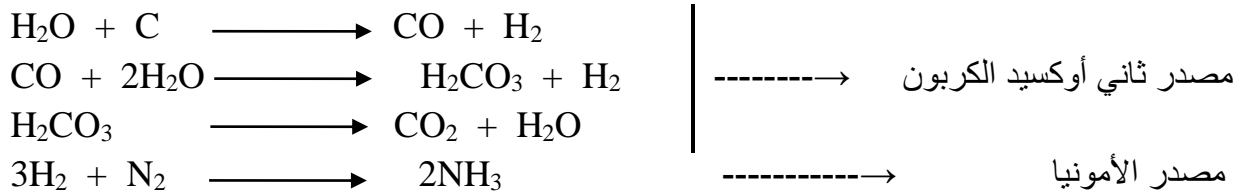
كما يمكن تصنيعه بطريقة أخرى من كلوريد الصوديوم والأمونيا بوجود حامض الكربونيك كما في المعادلة الآتية:



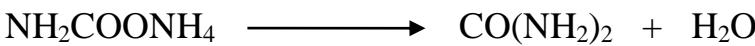
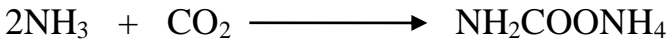
من الناحية التطبيقية وُجِدَ بأنه يمكن استعماله لمحاصيل القطن والبطاطا والشعير، وكذلك وُجِدَ بأن هناك استجابة كبيرة لمحصول الرز لهذا السماد. إن استعماله قليل مقارنةً بالأسمدة النتروجينية الأخرى ولكنه يُعد من الأسمدة الرخيصة في الأسواق التجارية.

سابعاً: اليوريا:

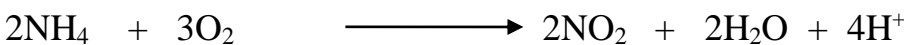
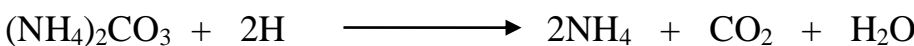
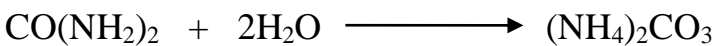
إن سماد اليوريا $CO(NH_2)_2$ بلوري أبيض اللون ذو تركيب عضوي، يحتوي على (٤٥ - ٤٦٪ نتروجين). يصنع هذا السماد من تفاعل الأمونيا وثاني أكسيد الكربون وحسب المعادلات الآتية:



تتفاعل الأمونيا وثاني أكسيد الكربون تحت درجة حرارة وضغط مناسبين وتكون اليوريا وكما في المعادلات الآتية:



إن اليوريا سريعة الذوبان في الماء وهي من الأسمدة المولدة للحموضة لكونها عند التفاعل بالتربة تحت ظروف تهوية ورطوبة جيدة تتحول إلى أمونيوم الذي تحرر كل جزيئه منه جزيئتين من الهيدروجين وحسب المعادلات الآتية:



وينصح من الناحية التطبيقية بعدم إضافة اليوريا إلى سطح التربة لأن ذلك يؤدي إلى فقدان النتروجين بالتطاير على شكل أمونيا وذلك لتحللها السريع إلى كربونات الأمونيوم، ولهذا يجب أن تُمزج على عمق معين في التربة لتقليل الفقد بالتطاير.

كما ويمكن تقليل هذا الفقد باستعمال مواد كيميائية تُعطل عل إنزيم اليوريز المسؤول عن تحول الأمونيا إلى يوريا، ومن هذه المواد مادة (2,5 – dimethyl – P – benzoquinone).

يُعد سماد اليوريا من أكثر الأسمدة النتروجينية استعمالاً وانتشاراً بين المزارعين وذلك لكونه يحتوي على أعلى نسبة من النتروجين بين الأسمدة الصلبة ولثبوت استجابة معظم المحاصيل والنباتات لإضافته وفي مختلف الأتربة. إن سماد اليوريا يمكن أن يضاف بطريقة الرش على أوراق النباتات وخاصة الحمضيات، حيث يمكن أن يُمتص عن طريق الأوراق. ولتقليل كمية النتروجين التي تُفقد من اليوريا المضافة تم صناعة أسمدة نتروجينية من اليوريا يتحرر النتروجين منه ببطء، وبذلك تقل كمية النتروجين الموجودة في محلول التربة المتعرضة لعمليات الغسل والتطاير والتثبيت بوساطة معادن الطين على شكل أمونيوم. ومن هذه الأسمدة التي يتحرر منها النتروجين على فترة زمنية طويلة هي:

• اليوريا المغلفة بالكبريت:

يُصنَع هذا السماد عن طريق تغليف اليوريا بالكبريت وبمادة شمعية لتقليل نشاط الكائنات الحية الدقيقة في تحليل السماد مما يؤدي إلى تحرر النتروجين ببطء. هذا السماد يحتوي على (٣٥ ٪ نتروجين) ويتكون هذا السماد تصنيعياً من {[[[(٧٦ ٪ يوريا) و (١٩ ٪ كبريت) و (٣ ٪ شمع) و (٠,٥ ٪ مادة قيرية فحمية) و (١,٥ ٪ طين)]]]، وهذا السماد يعتبر من الأسمدة الجيدة التي تحرر النتروجين ببطء ما أدى إلى انخفاض نسبة النتروجين التي تُفقد بالغسل عند استعمال هذا السماد بدلاً من اليوريا أو الأسمدة النتروجينية الأخرى.

إن ارتفاع درجة الحرارة وزيادة محتوى التربة من مركبات الكالسيوم وارتفاع درجة تفاعل التربة في مناخ وترب العراق، كل هذا سيؤدي إلى حصول زيادة في فقد الأمونيا بالتطاير من سماد اليوريا المضاف إلى التربة وبصورة عامة فقدان النتروجين من سطح التربة على شكل غازات. كما أن زيادة الماء عن السعة الحقلية للتربة تؤدي إلى زيادة مقدار الفقد في مركبات النتروجين الذائبة والقابلة للحركة مع الماء إلى باطن الأرض أو المصارف بعيداً عن منطقة الجذور وذلك لأن اليوريا من الأسمدة النتروجينية سريعة الذوبان بالماء. لاحظ بعض الباحثين تفوق اليوريا المغلفة بالكبريت على اليوريا وكبريتات الأمونيوم في إمداد نباتات الشعير بالنتروجين حتى فترة (٩ أسابيع) من النمو وظهر ذلك من نتائج الوزن الجاف للنباتات ومحتوى النتروجين بها (الجدول أدناه تحت ظروف ترب وسط العراق).

جدول يوضح تأثير مصادر النتروجين على حاصل الحبوب لنبات الشعير (غرام/ سندانة)

مستويات النتروجين المضاف (ملغم/ سندانة)				مصادر النتروجين
٦٠٠	٤٠٠	٢٠٠	صفر	
١٤,٨١	١٣,٧٤	١٠,٠٥	٥,٢٩	كبريتات الأمونيوم (٢١ ٪ نتروجين)
١٤,٩٣	١٣,٤٨	١٠,٥٦	—	اليوريا غير المغلفة (٤٦ ٪ نتروجين)
١٥,٣٢	١٤,١٥	١١,٤٠	—	اليوريا المغلفة بالكبريت (٣٥,٥ ٪ نتروجين)
١٥,٨٩	١٤,٣٨	١٢,٠٤	—	اليوريا المغلفة بالكبريت (٣٢,٩ ٪ نتروجين)

• يوريا – فورمالديهايد:

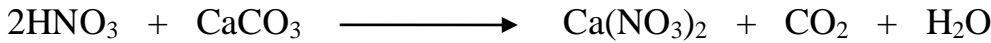
يُصنع هذا السماد من تفاعل اليوريا مع مادة الفورمالديهايد، وهو بطيء الذوبان بالماء، مما يؤدي إلى تقليل نسبة النتروجين التي تتعرض للفقد بعملية الغسل. هذا السماد بطيء الجاهزية للنبات ويحتوي على (٣٨ ٪ نتروجين) وهو من الأسمدة المولدة للحموضة. وهو لا يستعمل في عملية تسميد محاصيل الحقل في الوقت الحاضر بل يستعمل لساحات الكولف وغيرها من المسطحات الخضراء.

• يوريا - فوسفات Urea - Phosphate:

وهذا السماد يحتوي على (٢٩ ٪ نتروجين) و (١٢,٧ ٪ فسفور)، و Urea - Calcium nitrate الذي يحتوي على (٣٤ ٪ نتروجين) و (١٠ ٪ كالسيوم) وهناك أسمدة أخرى تسلك سلوك الأسمدة النتروجينية التي تحرر النتروجين ببطء ومنها Thiourea.

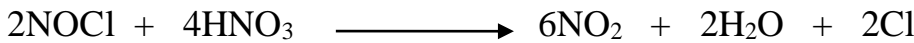
ثامناً: نترات الكالسيوم:

إن سماد نترات الكالسيوم $Ca(NO_3)_2$ بلوري ابيض اللون، يحتوي على (١٥ ٪ نتروجين) و (٢١ ٪ كالسيوم). ويُعد هذا السماد من أهم مصادر النتروجين في أوروبا ولكنه لا يستعمل في أمريكا. يصنع هذا السماد من تفاعل حامض النتريك مع مسحوق كربونات الكالسيوم كما في المعادلة الآتية:



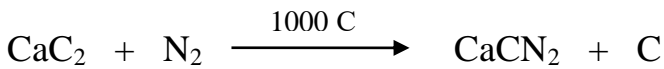
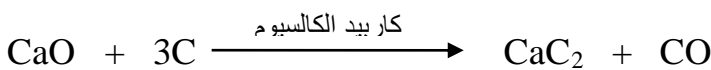
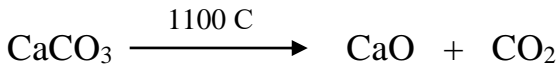
تاسعاً: نترات الصوديوم:

إن سماد نترات الصوديوم $NaNO_3$ يوجد بشكل طبيعي بشكل ترسبات في شيلي، والسماد بشكله الطبيعي يحتوي على (١٦ ٪ نتروجين) وعلى عدد من العناصر وخاصة البورون. ويمكن تصنيعه عن طريق تفاعل حامض النتريك مع كلوريد الصوديوم أو كربونات الصوديوم، وهذا أيضا يحتوي على (١٦ ٪ نتروجين) ولا يحتوي على عناصر صغرى بل هو ملح نقي:

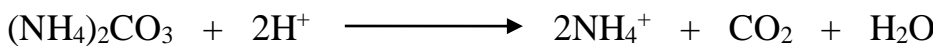
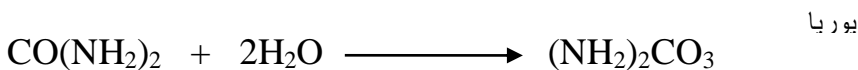
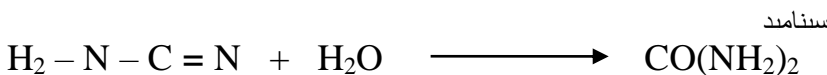
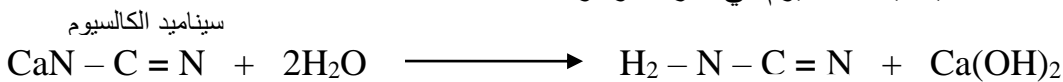


عاشراً: سيناميد الكالسيوم:

إن سماد سيناميد الكالسيوم $CaCN_2$ حبيبي داكن اللون بسبب احتوائه على مادة كاربيد الكالسيوم. هذا السماد يحتوي على (٢٠ - ٢١ ٪ نتروجين)، ويمكن توضيح عملية تصنيع هذا السماد بالمعادلات الآتية:



هذا السماد سهل الذوبان بالماء، وعند إضافته إلى التربة وبوجود الماء يتحول إلى يوريا وبدورها تتحول إلى أمونيوم، والمعادلات الآتية توضح تفاعل سماد سيناميد الكالسيوم في التربة بوجود الماء:



إن هذا التفاعل كما هو واضح من المعادلات يحتاج إلى الماء، ولهذا تكون استجابة النباتات لهذا السماد في ظروف التربة الجافة قليلة. وأن استعمال هذا السماد في الزراعة قليل بسبب ظهور الأسمدة النتروجينية ذات الأسعار المنخفضة.

إحدى عشر: الأسمدة النتروجينية السائلة:

من أهم مجاميع هذه الأسمدة السائلة

١. أمونيا - نترات الأمونيوم
٢. أمونيا - يوريا
٣. أمونيا - يوريا - نترات الأمونيوم
٤. نترات الأمونيوم
٥. نترات الأمونيوم - يوريا

إن أسمدة نترات الأمونيوم السائلة تحتوي على (١٩ - ٢١ ٪ نتروجين)، أما نترات الأمونيوم مع اليوريا فتكوّن سماداً سائلاً يحتوي على (٣٠ - ٣٢ ٪ نتروجين). وفي سنة ١٩٥٨ تم وضع تفاصيل واضحة وثابتة للأسمدة النتروجينية السائلة، فمثلاً لو قلنا ماذا تعني الأرقام الآتية: (0 - 67 - 17) 370 ، لكان الجواب هذه الأرقام تفسر ما يأتي:

370 : ٣٧ ٪ نتروجين في السماد السائل
17 : ١٧ ٪ أمونيا حرة
67 : ٦٧ ٪ نترات الأمونيوم
0 : (صفر) نسبة اليوريا

هذه الأسمدة السائلة تضاف إلى التربة بطريقة الرش بآلات بسيطة، وفي حالة المساحات الكبيرة يمكن استعمال الطائرات لرش هذا السماد إلى الأتربة الخالية من النباتات، كما يمكن إضافة هذه الأسمدة إلى مياه الري.

أثني عشر: أسمدة نتروجينية سائلة مخلوطة بالمبيدات:

إذ توفر للنبات النتروجين إضافة إلى ذلك المبيدات التي تقضي على الأدغال، ومن أهم هذه الأسمدة المخلوطة بالمبيدات هي:

١. الأسمدة النتروجينية السائلة + مادة Fluometuron لنبات القطن.
٢. الأسمدة النتروجينية السائلة + مادة Atrazine أو مادة Simazine لنبات الذرة الصفراء.
٣. الأسمدة النتروجينية السائلة + مادة 2,4 - D لمحاصيل الحبوب.
٤. الأسمدة النتروجينية السائلة + مادة 2,4 - D للحشائش.
٥. الأسمدة النتروجينية السائلة + مادة 2,4 - D للذرة البيضاء.
٦. الأسمدة النتروجينية السائلة + مادة Trifluralin لنبات القطن.

المحاضرة الخامسة

الفسفور (P):

يُعدّ الفسفور من العناصر الغذائية الأساس الضرورية للنبات. ويطلق عليه مفتاح الحياة (The key to life) وذلك لدوره المباشر في معظم العمليات إذ لا يمكن لهذه العمليات داخل الخلايا النباتية أن تجري بدونه. يوجد الفسفور بالتربة بكميات أقل بكثير من كمية النتروجين وكذلك كمية البوتاسيوم. يوجد الفسفور في القشرة الأرضية بنسبة (٠,١١ %). وتتراوح نسبته الكلية في الأتربة بين (٠,٠٢ إلى ٠,١٥ %) والكمية الأساس من هذه النسبة تكون مرتبطة بمادة التربة العضوية. في الترب المعدنية تكون كمية الفسفور الكلي قليلة نسبياً، بينما يكون محتوى الأتربة ذات أنسجه الخشنة من الفسفور الكلي أقل من محتوى الأتربة ذات أنسجه الناعمة الموجودة في نفس الظروف الجوية (الجدول أدناه).

جدول يوضح تأثير نسجة التربة على محتوى التربة من الفسفور الكلي

الأنسجة	% للفسفور
تربة رملية	٠,٠٤٠
تربة مزيجية رملية	٠,٠٤٣
تربة مزيجية	٠,٠٥٧
تربة مزيجية سلتية	٠,٠٦٤

أما الأتربة العضوية فإن محتواها من الفسفور الكلي أعلى من محتوى الأتربة المعدنية وتزداد نسبته في الطبقة السطحية للتربة بسبب ارتفاع معدل تحلل المادة العضوية فيه، كذلك فإن أتربة المناطق الجافة وشبه الجافة يكون محتواها من الفسفور الكلي أعلى من محتوى الأتربة في المناطق الرطبة المتشابهة بالأنسجه.

أشكال فسفور التربة ومصادره:

يوجد فسفور التربة بشكليين أساسيين هما الفسفور المعدني والفسفور العضوي.

أولاً: الفسفور المعدني:

إن مركبات الفسفور المعدنية المترسبة في التربة يمكن تقسيمها إلى ثلاثة أقسام هي:

١. فوسفات الحديد والألمنيوم **Fe – Al Phosphate** : ومن المركبات التابعة لهذا القسم هي :

Wavellite $Al_3(PO_4)_2(OH)_3 \cdot 5H_2O$

Variscite $AlPO_4 \cdot 2H_2O$

Strengite $FePO_4 \cdot 2H_2O$

إن ترسبات هذه المركبات تكثُر في السنغال والبرازيل والولايات المتحدة الأمريكية، وتكون هذه المعادن ثابتة في الأتربة الحامضية وهي غير قابلة للذوبان.

٢. فوسفات الحديد – الألمنيوم – الكالسيوم **Ca – Fe – Al Phosphate** : ومن أهم معادن هذا القسم هي :

Crandallite $Ca Al_3(PO_4)_2(OH)_5 \cdot H_2O$

Millisite $(Na, K) Ca Al_6(PO_4)_4(OH)_9 \cdot 3H_2O$

إن هذه المعادن تكون عادةً متحدة بعضها ببعض بمركبات أقسام الفسفور الأخرى.

٣. فوسفات الكالسيوم Ca – Phosphate : من أهم مركبات فوسفات الكالسيوم الموجودة في التربة هي:

Fluor apatite	$Ca_{10} (PO_4)_6 F_2$	-١
Carbonate apatite	$3Ca_3 (PO_4)_2 . CaCO_3$	-٢
Hydroxy apatite	$3Ca_3 (PO_4)_2 . Ca(OH)_2$	-٣
Oxy apatite	$3Ca_3 (PO_4)_2 . CaO$	-٤
Tricalcium phosphate	$Ca_3 (PO_4)_2$	-٥
Dicalcium phosphate	$CaHPO_4$	-٦
Monocalcium phosphate	$Ca (H_2PO_4)_2$	-٧

تُعد فوسفات الكالسيوم الأحادية والثنائية (٦ و ٧) أكثر جاهزية للنبات ثم يتبعها من حيث معدل الذوبان فوسفات الكالسيوم الثلاثية و Oxy apatite و Hydroxy apatite و Carbonate apatite، ثم Fluor apatite التي تُعد أقل فوسفات الكالسيوم ذوباناً في التربة وهي غير جاهزة للنبات.

ثانياً: الفسفور العضوي:

يُكوّن الفسفور العضوي في التربة أكثر من نصف الفسفور الكلي وقد يصل إلى (٧٥ %) من الفسفور الكلي في بعض الأتربة. وتوجد الكميات الكبيرة منه عادةً في الأتربة العضوية. ومن أهم مركبات الفسفور العضوي الموجودة في التربة هي:

• **Inositol phosphates** : وهي بصورة عامة جزيئات سكرية مع مجموعة أو أكثر من الفوسفات التي تحل محل ايونات الهيدروجين، ومن أهم مركبات هذا الجزء من الفسفور العضوي هو مركب الفاييتين (Phytin). إن معظم الفسفور الذي يوجد داخل البذور يكون بصورة فاييتين وقد تصل نسبته إلى أكثر من (٧٥ %) من فسفور البذور. لقد وجد من الدراسات بأن هذا الجزء من الفسفور العضوي يشكل كمعدل ما بين (٢٦ – ٣٣ %) من فسفور التربة العضوي.

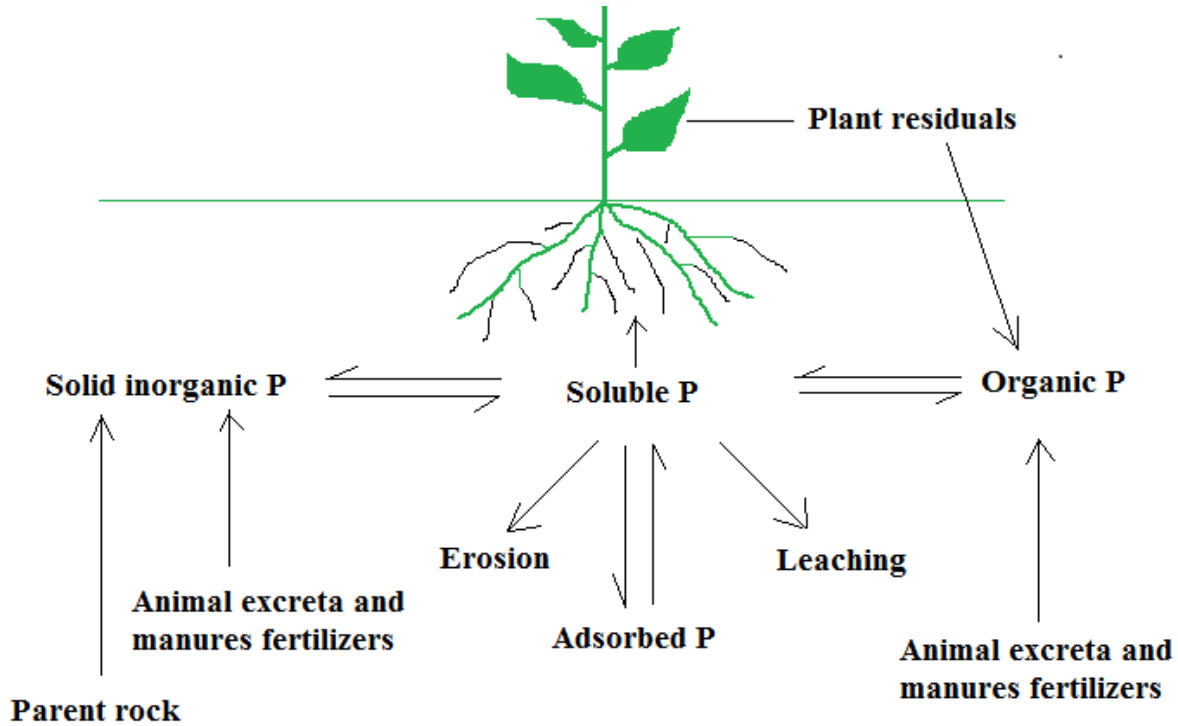
• **Nucleic acid** : إن الأحماض النووية للنبات والحيوان والكائنات الحية الدقيقة عند تحليلها داخل التربة تشكل ما يقرب من (١٠ %) من فسفور التربة العضوي.

• **Phospholipids** : الفوسفوليبيدات هي المجموعة الثالثة لمركبات الفسفور العضوية، وهذه المركبات ناتجة عن اتحاد الفسفور بمركبات دهنية. وتصل نسبة هذا الجزء من الفسفور العضوي بما معدله (٥ – ١٤ %).

معدنة الفسفور العضوي (دورة الفسفور):

إن دورة الفسفور تُعد أبسط من دورة النتروجين في الطبيعة، وذلك لعدم احتواء الفسفور على تبادل غازي بين التربة والجو. إن تحلل المادة العضوية الحاوية على الفسفور يؤدي إلى تحول الفسفور العضوي إلى فسفور معدني متحرر إلى محلول التربة، وهو الصورة التي يمكن للنبات أن يمتصها بسهولة. ولكن على الرغم من تحول الفسفور من صورة عضوية أقل جاهزية للنبات إلى صورة معدنية أكثر جاهزية للامتصاص من قبل النبات، إلا أنه لا يخلو من أمر غير مرغوب فيه بعملية المعدنة هذه، على عكس ما هو موجود في دورة النتروجين. والسبب في هذا الأمر غير المرغوب فيه هو أن التحلل المعدني للفسفور قصير المدى إذ أنه بمجرد تحرر الفسفور من المادة العضوية إلى محلول التربة يتفاعل مع كاتيونات

مختلفة موجودة في محلول التربة مما يؤدي إلى تكون مركبات غير ذائبة أو قليلة الذوبان، فيؤدي ذلك إلى خفض جاهزية الفسفور وتقليل كمية المتيسر منه للنبات.



شكل يوضح دورة الفسفور بالطبيعة

من العمليات التي يتعرض لها فوسفور محلول التربة إضافة إلى:

- تفاعلاته الكيميائية بكاتيونات محلول التربة.
- الامتصاص من قبل النبات.
- الفقد عن طريق الغسل من محلول التربة إلى خارج محور الامتصاص لجذور النبات عند ازدياد كمية الأمطار المتساقطة وخاصة في الأتربة الرملية ذات القابلية المنخفضة للتفاعل مع الفسفور.
- الفقد عن طريق التعرية المائية بسبب انجراف التربة السطحية الحاوية على الفسفور.
- كذلك يتعرض فوسفور محلول التربة إلى عملية ادمصاص، إذ تُحمل ايونات الفسفور بقوة بوساطة الشحنات الموجبة على سطوح التبادل، وهذا الفسفور المدمص يكون أكثر جاهزية للنبات من الفسفور الموجود في المعادن الأولية مثل الاباتايت وغيرها من المعادن.

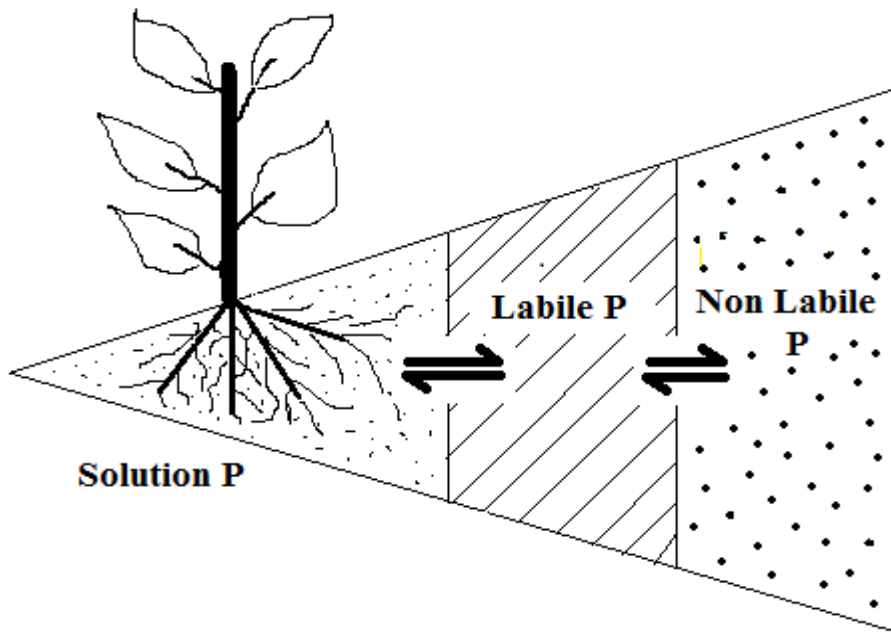
إن الفسفور الذي في التربة يمكن أن يُقسّم إلى ثلاثة أقسام من حيث جاهزيته وتيسره للنبات :

القسم الأول: هو الفسفور في محلول التربة وهو الفسفور الذائب الذي تكون كميته قليلة جداً مقارنةً بالأقسام الأخرى للفسفور إذ تتراوح بين (٠,٣ إلى ٣ أجزاء بالمليون) ومن النادر أن تتعدى (١٠ أجزاء بالمليون). يمتص النبات الفسفور المعدني الذائب وقد يمتص قليلاً من الفسفور العضوي، لذلك فالمحافظة على تركيز الفسفور الذائب في محلول التربة ذات أهمية كبيرة لنمو النبات والمحافظة على تركيز الفسفور الذائب يكون عن طريق تعويض ما يُفقد منه بالامتصاص وخاصة في محور نمو الجذور. إن عنصر الفسفور صعب الحركة داخل التربة، ويؤدي نمو النبات إلى اندفاع جذوره إلى أعماق التربة وبذلك يصبح النبات على اتصال بالفسفور الذائب أو فسفور محلول التربة، وبذلك يمكن أن تساعد عمليتا الانتشار والجريان الكتلي ولو بكمية قليلة من الفسفور بالتعويض عن الفسفور الذي استنزفه النبات في منطقة نمو الجذور.

إن الصور التي يوجد فيها الفسفور في محلول التربة هي ($H_2PO_4^-$ و HPO_4^{2-} و PO_4^{3-}) وأن سيادة احد هذه الصور في محلول التربة تعتمد اعتماداً كبيراً على درجة تفاعل التربة أي على تركيز ايونات الهيدروجين في محلول التربة. وتُعد

الصورة ($H_2PO_4^-$) هي السائدة في الأتربة الحامضية، إذ يكون تركيزها عالياً في الأتربة التي تكون درجة تفاعلها اقل من (٧)، ويزداد تركيزها بانخفاض درجة تفاعل التربة، أما الصورة (HPO_4^{2-}) فيزداد تركيزها في درجات تفاعل التربة العالية، إذ تصبح الصورة السائدة عند درجة تفاعل التربة (٧,٢) أو أعلى، وينعدم تقريباً وجود (HPO_4^{2-}) عند درجة تفاعل للتربة (٥)، في حين عند درجة تفاعل التربة (٧) توجد كل من هاتين الصورتين للفسفور ($H_2PO_4^-$ و HPO_4^-) بكمية تقريباً متساوية. إن صورة الفسفور (PO_4^{3-}) توجد فقط عند درجات تفاعل التربة العالية جداً، تلك التي ليس لها أي تأثير ايجابي على نمو النبات. كذلك يوجد الفسفور بصورة أخرى في محلول التربة وهي حامض الفسفوريك (H_3PO_4) ولكنها ليست ذات أهمية في عملية امتصاص النبات للفسفور وذلك لوجود هذا الحامض عند درجة تفاعل التربة الواطئة جداً.

ومما ذكر آنفاً يتضح أن أهم صورة يمتص النبات الفسفور عليها في الأتربة الحامضية هي ($H_2PO_4^-$) وفي الأتربة القاعدية على صورة (HPO_4^{2-})، ولكن هذه الصور لا تكون حرة داخل محلول التربة بل تتفاعل مع ايونات الحديد والألمنيوم في الأتربة الحامضية ومع الكالسيوم والمغنيسيوم في الأتربة القاعدية وتكوّن مركبات غير ذائبة.



شكل يوضح اقسام فسفور التربة المهمة في خصوبة التربة وتغذية النبات

القسم الثاني: هو الفسفور الصلب المحمول على سطوح حبيبات التربة والمسمى (Phosphate in labile pool)، هذا القسم يكون في حالة توازن مع فسفور محلول التربة، ويُعد بذلك مخزناً للفسفور في محلول التربة ويقوم بالتعويض عند استنزاف الفسفور الذائب من قبل النبات، هذا القسم يمكن تقديره باستعمال النظائر المشعة المتتبعة للعنصر داخل التربة.

القسم الثالث: هو الفسفور غير الذائب أي غير الجاهز للنبات ويسمى (Phosphate of the non – labile pool)، وهذا الجزء من الفسفور يتحرر ببطء عند تحوله إلى الفسفور الصلب ومصادره هي (معدن الاباتايت وفوسفات الحديد والألمنيوم وكذلك الفسفور العضوي داخل التربة)

احتفاظ التربة بالفسفور:

إن بداية دراسة موضوع احتفاظ التربة بالفسفور كانت في سنة ١٨٥٠ على يد الباحث (Thomas way)، وبعد ذلك أظهرت الدراسات أن حفظ الفسفور يحدث في معظم الأتربة تقريباً وتحت مختلف درجات تفاعل التربة، ففي الترب المتعادلة والترب القاعدية تكون الكاتيونات السائدة (الكالسيوم والمغنيسيوم ومعادن الطين) هي المسؤولة عن حفظ التربة

معادن الطين من نوع (٢ : ١) لزيادة سعتها التبادلية الذي يؤدي إلى زيادة ارتباط الكاتيونات بالشحنات السالبة على سطوح معادن الطين.

ثانياً: احتفاظ وترسيب الترب القاعدية للفسفور:

إن تفاعلات الفسفور الموجود في محلول التربة القاعدية التي تؤدي إلى انخفاض جاهزية الفسفور ودرجة تيسره للنبات هي كما يأتي:

١. الترسيب على شكل فوسفات الكالسيوم الثنائية:

في الترب القاعدية يزداد نشاط وتركيز ايونات الكالسيوم التي تؤدي إلى تقليل جاهزية الفسفور وذلك عن طريق تحويله من صورة ذائبة إلى صورة غير ذائبة نسبياً، وهذا يكون عن طريق تفاعل ايونات الكالسيوم الموجودة في محلول التربة مع الفسفور الموجود بصورة (HPO_4^-) وترسيبه على شكل فوسفات الكالسيوم الثنائية أو فوسفات الكالسيوم الثلاثية وبهذا تقل درجة ذوبان وجاهزية الفسفور في التربة. وهنا تجدر الإشارة إلى أن قابلية الذوبان لمركبات اورثوفوسفات الكالسيوم تكون كما يأتي:

إن درجة ذوبان فوسفات الكالسيوم الأحادية اكبر من درجة ذوبان فوسفات الكالسيوم الثنائية والتي بدورها تكون درجة ذوبانها اكبر من فوسفات الكالسيوم الثلاثية، كذلك يمكن يحصل الترسيب على شكل فوسفات كالسيوم قاعدية أخرى مثل (Carbonate apatite و Hydroxy apatite).

٢. الترسيب على سطح حبيبات كربونات الكالسيوم:

في الترب القاعدية التي تحتوي على كربونات الكالسيوم بصورة حرة تقل جاهزية الفسفور وذلك بسبب ترسب ايونات الفسفور التي تكون بحالة اتصال أو قريبة من حبيبات كربونات الكالسيوم الحرة على سطوح هذه الحبيبات وهذا الترسيب يزداد بازدياد مساحة سطوح حبيبات كربونات الكالسيوم وتركيز الفسفور الذائب في محلول التربة.

٣. احتفاظ معادن الطين بالفسفور:

في الترب القاعدية والمشبعة بمعادنها الطينية بالكالسيوم قد يحصل احتفاظ للفسفور الذائب في محلول التربة على سطوح معادن الطين هذه عن طريق تكوين رابطة من (الطين - الكالسيوم - الفسفور) كما يحصل في الأتربة الحامضية وبذلك يقل تركيز الفسفور الذائب في التربة. إن مثل هذا التفاعل يكون معدله واطناً في الترب القاعدية التي تكون درجة تفاعلها أعلى من (٧)، وذلك لكون عملية الترسيب على شكل فوسفات الكالسيوم الثنائية يكون معدلها عالياً وسريعاً، ولكن مثل هذا التفاعل قد يحصل في الترب التي تكون درجة تفاعلها اقل من (٦,٥) بقليل.

في الترب القاعدية والترب الكلسية يكون علاج انخفاض تركيز الفسفور الذائب في محلول هذه الترب، بسبب التفاعلات التي دُكرت، عن طريق إضافة كميات كبيرة من الأسمدة الفوسفاتية أكثر من حاجة النبات لهذه الترب من أجل المحافظة على مستوى نشاط جيد وملئم، لنمو النبات، للفسفور في التربة.

العوامل التي تؤثر في حفظ فسفور التربة:

نظراً لأهمية عملية حفظ الفسفور من حيث علاقتها بجاهزية عنصر الفسفور في التربة وتأثير ذلك على خصوبة التربة وتغذية النبات من ناحية وضع الخطط التسميدية، فإن من المهم جداً التعرف على العوامل التي تؤثر في حفظ الفسفور في التربة، ومن أهم هذه العوامل هي:

(١) كمية الطين ونوعيته: تؤدي ازدياد نسبة الطين في نسجة التربة إلى زيادة مساحة سطوح الطين التي تؤدي إلى زيادة درجة الاتصال والارتباط بين فسفور محلول التربة ومعادن الطين، وهذه الزيادة لكمية الطين تؤدي إلى

زيادة درجة احتفاظ التربة بالفسفور. أما من ناحية تأثير نوعية الطين السائد في مقد التربة على الاحتفاظ بالفسفور، فانه في الأتربة التي يسود فيها معادن الطين (١:١) تزداد كمية الفسفور التي يحتفظ بها عما هي عليه في الترب التي يسود مقدها معادن الطين (١:٢). ويعتقد بان السبب الذي تعود إليه زيادة احتفاظ معادن الطين (١:١) بالفسفور هو زيادة نسبة اكاسيد الحديد والألمنيوم فيها، وكذلك زيادة الاكاسيد المائية للحديد والألمنيوم.

٢) زمن التفاعل بين الفسفور والتربة: إن تعرض الفسفور المضاف للتربة لفترة زمنية طويلة يؤدي إلى زيادة درجة احتفاظ التربة بالفسفور وبذلك تزداد الكمية المحتفظ بها من الفسفور ويمكن من الناحية التطبيقية الاستفادة من هذه النقطة وهي انه لا ينصح بان يضاف الفسفور إلى التربة بدفعة واحدة قبل أن تكون الجذور قادرة على امتصاص ما يحتاج إليه النبات النامي من هذا العنصر،

وكذلك يمكن أن تساعدنا هذه النقطة في طريقة إضافة السماد، إن إضافة السماد الفوسفاتي بطريقة النثر يعرض الفسفور للاتصال بمساحة سطحية كبيرة لحبيبات التربة وهذا يؤدي إلى زيادة الاحتفاظ والتثبيت للفسفور، لذا ينصح بإضافة الفسفور قرب النبات لتقليل سطوح الاتصال بين التربة والفسفور التي بدورها تقلل من درجة احتفاظ التربة بالفسفور وخاصة في الترب التي هي ذات سعة احتفاظ أو تثبيت عالية،

٣) درجة التفاعل: تعد درجة تفاعل التربة التي هي ما بين (٥,٥ - ٧) أفضل درجة تفاعل لتيسر فسفور التربة للنبات وتقلل الجاهزية في حالة انخفاض أو ارتفاع درجة تفاعل التربة عن هذا الحد، ولقد تم التعرض لذلك عندما تم توضيح المشاكل التي يعانيتها الفسفور في الترب الحامضية والترب القاعدية،

٤) من المعروف أن ارتفاع درجة الحرارة يشجع التفاعلات الكيميائية: ويزيد من معدلها وبما أن عملية احتفاظ وتثبيت التربة للفسفور هي تفاعل كيميائي لذلك فان درجة الاحتفاظ بالفسفور من قبل التربة يزداد في أتربة المناطق الحارة أو الدافئة عما هو عليه في أتربة المناطق الباردة لزيادة نشاط التفاعل الكيميائي هذا، وكذلك لارتفاع نسبة اكاسيد الحديد والألمنيوم في أتربة المناطق الحارة والدافئة،

٥) المادة العضوية: لقد أثبتت الدراسات بان زيادة محتوى التربة من المادة العضوية عن طريق إضافتها إليها يؤدي إلى زيادة جاهزية عنصر الفسفور في التربة وذلك عن طريق إحدى العمليتين الآتيتين:

❖ تقليل تعرض الفسفور للعوامل التي تساعد على حفظه وترسيبه،

❖ إزاحة الفسفور المحتفظ به،

وتحصل هاتان العمليتان بالصورة الآتية:

١. إن تحلل المادة العضوية بواسطة الكائنات الحية الدقيقة يؤدي إلى تحرر ثاني اوكسيد الكربون الذي يتفاعل بدوره مع الماء ليكون حامض الكاربونيك الذي يعمل على إذابة عدد من المركبات الفوسفاتية غير الذائبة، وبذلك يزداد تركيز الفسفور الذائب في محلول التربة



٢. إن مادة الدبال الناتجة عن تحلل المادة العضوية تزيد من جاهزية الفسفور للنبات وذلك عن طريق:

- تفاعل الدبال مع الفسفور مكوناً معقدات الدبال والفوسفات Phosphohumic التي تكون أكثر جاهزية للنبات من المركبات الأخرى غير الجاهزة أو غير الذائبة وخاصة في الترب الكلسية،
- يعمل الدبال على تغليف الفسفور مما يقلل من عملية تعرض الفسفور لأيونات الحديد والألمنيوم في الترب الحامضية والكالسيوم في الترب القاعدية، وبذلك يقلل من عملية احتفاظ الترب للفسفور أو ترسيبه من محلول التربة،
- إحلال أنيون الدبال محل ايونات الفسفور المثبتة أو المحتفظ بها على سطوح حبيبات الطين أو كربونات الكالسيوم وبذلك يتحرر الفسفور إلى محلول التربة ويزداد بذلك تركيز الفسفور الذائب،

- التربة السطحية معرضة لعملية انجراف نتيجة التعرية المائية، وهذا يؤدي إلى فقدان كميات كبيرة من الفسفور مع التربة المفقودة وبذلك يقل محتوى التربة من عنصر الفسفور، ولمعالجة هذه الأمور يجب مراعاة ما يأتي :
 - (1) إضافة الفسفور بكمية أكبر من احتياج النبات،
 - (2) إضافة الفسفور مباشرة تحت سطح التربة،
 - (3) إضافة مركبات الفسفور التي لا تتفاعل بقوة مع التربة، وكذلك يمكن أن تتحرك إلى أعماق مقد التربة مع ماء المطر أو الري،
 - (4) المحافظة على التربة السطحية وصيانتها من التعرية المائية والتعرية الريحية،

ثالثاً: الجذور وتعمقها داخل مقد التربة :

تلعب جذور النبات دوراً كبيراً بتهيئة وزيادة جاهزية العناصر للنبات ومنها عنصر الفسفور، وهذا يكون إما عن طريق تحريها لعنصر الفسفور وهنا كلما كان للجذر نمو كثيف وتعمق جيد كانت كمية الفسفور التي تصل إلى النبات كبيرة، في حين انخفاض معدل تعمق الجذور يقلل من الكمية الممتصة من هذا العنصر، أما الطريق الآخر فهو أن العمليات الحيوية للجذور تزيد من طلب النبات لعنصر الفسفور، من هذا يتضح بأن الجذور ذات التمدد الجيد والكثافة الكبيرة تشارك في تجهيز عنصر الفسفور، في الترب ذات المحتوى الواطئ للفسفور يمكن تسهيل عملية امتصاص الفسفور في الوقت الحاضر عن طريق زيادة التمدد الجذري بوساطة الكائنات الحية الدقيقة (الفطريات من نوع mycorrhizae) حيث تعمل على تغطية الجذور بالهايفات التي تعمل عمل الجذور من حيث امتصاص الماء والعناصر الغذائية وخاصة الفسفور وبذلك يزداد تمدد وتعمق الجذور وكذلك مساحة الاتصال بين التربة والجذور فتزداد بذلك كمية وسرعة امتصاص النبات للفسفور، كذلك يمكن أن تعمل هايفات الفطريات هذه على تجمع الفسفور في أجسامها وتجهيز النبات به بالفترات التي تكون بها جاهزية فسفور التربة واطئة، ويمكن لهذه الفطريات أن تمتص الفسفور الموجود في محلول الترب والفسفور الصلب المحمول على سطوح حبيبات التربة وظهر أيضاً بأن لهذه الفطريات قابلية قليلة على استهلاك الفسفور غير الجاهز مثل فسفور الصخور الفوسفاتية، ومن هذا يتضح بأن تلوين التربة والنبات بهذه الفطريات يساعد على زيادة معدل امتصاص الفسفور حتى في الترب الفقيرة بهذا العنصر والترب ذات القابلية العالية على تثبيت الفسفور.

الفسفور في النبات :

الوظائف الحيوية للفسفور :

يوزع الفسفور الذي يمتصه النبات على كل خلية حية داخل النبات للمشاركة في العمليات الحيوية للنبات ومن أهم العمليات التي يشارك فيها الفسفور هي تحليل الكربوهيدرات والمواد الناتجة عن عملية التركيب الضوئي لتحرير الطاقة اللازمة للعمليات الحيوية للنبات وفي غياب الفسفور يقل معدل تكوين الكربوهيدرات كالكسكريات والنشاء والسليولوز. يساعد الفسفور أيضاً في عملية تكوين وانقسام الخلايا ، ذلك ان غياب هذا يؤدي إلى تحديد تكون الأحماض الامينية والبروتينات التي هي أساس بناء الخلايا النباتية ، وكذلك يعمل على المشاركة الفعالة في نقل الصفات الوراثية عن طريق الـ DNA (Deoxyribonucleic acid) وهذا يكون عن طريق مشاركة الفسفور في تركيب العديد من المركبات التي تشارك في تكوين الـ RNA (Ribonucleic acid) لتكوين الـ DNA ومن هذه المركبات

- UTP (Uridine triphosphate) يحتاج إلى هذا المركب في تكوين السكروز والكالوز.

- CTP (Cytidine triphosphate) يحتاج إليه في تكوين الفوسفوليبيدات.

- ATP (Adenosine triphosphate) يحتاج إليه في توليد الطاقة وتكوين مركبات عضوية.

وهناك مادة أخرى تشارك في تكوين الـ RNA يشترك الفسفور في تركيبها وهي GTP (Guanosine triphosphate) كذلك يشارك الفسفور في تحفيز نمو وتطور الجذور، ونضج النبات وتكوين البذور والثمار.

نظراً للوظائف العديدة والمختلفة التي يقوم بها الفسفور في عمليات البناء الحيوية فان نقص الفسفور بالتربة أو التجهيز بالكمية غير المناسبة لنمو النبات يؤثر سلبياً في نمو وتطور النبات، لذا يجب ان تكون في التربة كمية جيدة من الفسفور الجاهز لسد احتياجاته من النبات لذا يجب ان تكون في التربة كمية جيدة من الفسفور الجاهز لسد احتياجاته من هذا العنصر.

أعراض نقص الفسفور

بصورة عامة تظهر أعراض نقص الفسفور على الأوراق القديمة التي تكون في أكثر الأحيان ذات لون اخضر داكن، بعض النباتات الحولية تتصف سيقانها بلون محمر ناتج عن تكوين مادة الانثوسيانين، اللون البني يشوب أوراق أشجار الفاكهة ومثل هذه الأوراق تسقط قبل اكتمال نضجها، وكذلك تظهر أشجار الفاكهة تناقصاً في معدلات نمو الأغصان الحديثة وفي أكثر الأحيان يكون تطور وتفتح البراعم غير جيد، وتكون نوعية الثمار والبذور غير الجيدة في النباتات التي تعاني من نقص الفسفور، النباتات بصورة عامة تتصف بنمو بطيء وتكون صغيرة وذات نمو جذري محدود وسيقان رقيقة.

يشير (Bennett 1993) بان التراكيز الملائمة لعنصر الفسفور في ورقة عرنوص الذرة الصفراء عند تكوينه لإعطاء نمو جيد هي ٠,٢٪ - ٠,٤٪ اما عند مرحلة تكوين الورقة الثالثة أو الرابعة للنبات فان التراكيز الملائمة من هذا العنصر في النبات ككل لغرض التحليل النباتي هي ٠,٤٪ - ٠,٨٪ ، أما في نبات الذرة البيضاء (Sorghum) فان التراكيز الخاصة بعنصر الفسفور التي تشير إلى حالة النقص أو الحد الحرج عند تحليل الأنسجة النباتية للأوراق والنبات ككل عند مرحلة البادرات كمرحلة نمو للنبات هي ٠,١٠٪ - ٠,٢٥٪ أما عند مرحلة النمو الخضري ولكل من الأوراق والنبات ككل أيضا فهي ٠,٠٧٪ - ٠,١٧٪ ، أما التراكيز والتي هي فوق حاجة النبات فهي أعلى من ٠,٥٪ وذلك عند تحليل كل من الأوراق والنبات ككل .

والتراكيز الحرجة والاعتيادية لعنصر الفسفور في نبات قصب السكر عند تحليل نصل أعلى ورقة من النبات هي على التوالي ٠,١٩٪ و ٠,٢٢٪ - ٠,٣٠٪ بالنسبة لنبات البنجر السكري فان التراكيز الحرجة والتراكيز التي تشي إلى حالة النقص والملائمة لعنصر الفسفور الكلي في نصل الأوراق هي على التوالي ١,٨٪ - ١,٧٥٪ و ٢,٥٪ - ١٢,٥٪ وفي نبات فستق الحقل فان الحد الحرج من عنصر الفسفور في الأوراق ٠,٢٥٪ .

أما بالنسبة لنباتي الخيار والرقي فان المستوى الملائم من عنصر الفسفور في أوراق النبات الكامل النضج هو ٠,٢٪ - ٠,٦٪ ، وفي نبات البصل فان المستوى الملائم من عنصر الفسفور هو ٠,٢٠٪ .

وعند تحليل أوراق الطماطة عند مرحلة تكوين الثمار فان التراكيز الملائمة وتراكيز حالة النقص لعنصر الفسفور هي على التوالي أعلى من ٠,٢٪ و اقل من ٠,١٢٪ ، وفي نبات الفاصوليا فان التراكيز الملائمة لعنصر الفسفور عن تحليل الورقة كاملة النضج قبل تكوين الأزهار هي ٠,٢٥٪ - ٠,٦٠٪ ، وفي نبات البطاطا فان تراكيز حالة الحد الحرج وحالة النقص لعنصر الفسفور الكلي في نصل أوراق النبات هي على التوالي ١,٨٠٠ جزء بالمليون و ١,٠٠٠ - ١,٧٥٠ جزء بالمليون، أما بالنسبة للمحاصيل البستانية المثمرة فان التراكيز الاعتيادية وتراكيز حالة النقص لعنصر الفسفور في أوراق أشجار التفاح هي على التوالي ٠,١٥٪ - ٠,٣٠٪ و اقل من ٠,١٣٪ وفي أوراق أشجار الكمثري هي على التوالي ٠,١٢٪ - ٠,٢٥٪ و اقل من ٠,١١٪ .

وفي أشجار الحمضيات فان تراكيز حالة النقص والتراكيز الملائمة لعنصر الفسفور في أوراق هذه الأشجار هي على التوالي اقل من ٠,١٠٪ و ٠,١ - ٠,١٧٪ ، وفي أوراق أشجار الخوخ والنكتارين ، فان التراكيز الملائمة لعنصر الفسفور هي ٠,١ - ٠,٣٪ ، أما تراكيز حالة النقص الشديد والنقص الخفيف والتراكيز الملائمة وتراكيز الزيادة الخفيفة والزيادة الشديدة في نبات العنب عند تحليل نصل الأوراق للتحري عن عنصر الفسفور هي على التوالي اقل من ٠,١٥٪ - ٠,٢٠٪ و ٠,٢١٪ - ٠,٢٤٪ و ٠,٢٥٪ - ٠,٢٦٪ وأعلى من ٠,٢٦٪ .

الأسمدة الفوسفاتية

يرجع تاريخ وجود الأسمدة الفوسفاتية إلى منتصف القرن التاسع عشر عندما أشار Van Liebig سنة ١٨٤٠ إلى أن قيمة العظام السمادية تزداد بعد معاملتها بالحامض، ومن المعروف أن العظام تحتوي على نسبة لا بأس بها من الفسفور، وكذلك وجد John Blower سنة ١٨٤٣ طريقة لتحضير سماد السوبر فوسفات تجارياً وذلك عن طريق معاملة الصخور الفوسفاتية بحامض الكبريتيك ومن ذلك الحين يعد سماد السوبر فوسفات أكثر الأسمدة الفوسفاتية انتشاراً.

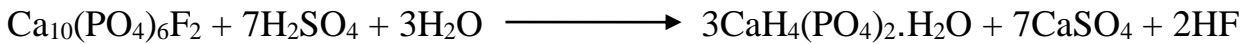
إن الأساس في صناعة الأسمدة الفوسفاتية يعود إلى الترسبات الطبيعية للصخور الفوسفاتية وأهم المناطق التي توجد فيها هذه الصخور هي تونس والمغرب واندكترا، وفرنسا وبلجيكا والنرويج والسويد وروسيا والصين وكندا والمكسيك وشيلي، وكذلك توجد في العراق في منطقة قرب الرطبة في محافظة الأنبار وهذه المنطقة تمتد إلى الأراضي السورية والأردنية وتقدر كمية خامات الفوسفات بملايين الأطنان.

في مجال الصخور الفوسفاتية تجدر الإشارة إلى أن هذه الصخور قد استعملت مباشرة في عدد من الدول كأسمدة فوسفاتية وأدى استعمالها إلى استجابة العديد من النباتات لها مثل الذرة الصفراء، والقطن والشوفان وبعض الحشائش وكانت نتيجة هذه الاستجابة زيادة الحاصل، وبصورة عامة إن إضافة الفسفور على شكل صخور فوسفاتية يحتاج إلى كميات كبيرة من هذه الصخور مقارنة بالكميات التي تضاف من الأسمدة الفوسفاتية الأخرى، ولقد وجد من البحوث والدراسات بان إضافة ٧١٧ كغم/هكتار من P_2O_5 على شكل صخور فوسفاتية تعطي تأثيراً مشابهاً لإضافة ١٥٧ كغم/هكتار من P_2O_5 على شكل سوبر فوسفات.

في هذا الباب سوف نتطرق إلى أهم الأسمدة الفوسفاتية التجارية الشائعة الاستعمال ومن هذه الأسمدة:

(١) السوبر فوسفات الاعتيادي :

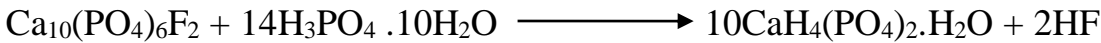
إن سماد سوبر فوسفات الاعتيادي $(CaH_4(PO_4)_2.H_2O)$ سماد فوسفاتي ذو لون بني - ابيض يسوق على شكل حبيبي أو مسحوق، يحتوي هذا السماد على ٢٠٪ P_2O_5 أي ٩٪ P ، و ١٩ - ٢٢٪ كالسيوم و ١٠ - ١٢٪ كبريت، كذلك يضم السماد نسبة قليلة من المغنيسيوم، الحديد، النحاس، المنغنيز، الزنك والكلوريد، أما من حيث درجة ذوبانه بالماء فان ٨٥٪ من كمية الفسفور التي يحتويها تكون ذائبة بالماء، يصنع هذا السماد من تفاعل حامض الكبريتيك (٩٣ - ٩٨٪ حامض) مع الصخور الفوسفاتية المطحونة كما في المعادلة الآتية:



إن ما يقارب ٨٥٪ من فسفور هذا السماد يكون على صورة H_2PO_4 القابل للذوبان بالماء وتكون البقية إما على صورة HPO_4 أو PO_4 غير الذائبة بالماء، لذا يعد من الأسمدة المهمة للنبات، إلا أن استعماله قل في الوقت الحاضر بسبب انخفاض نسبة الفسفور التي يحتويها من محتوى بقية الأسمدة الفوسفاتية كذلك هناك عدد من المشاكل في تخزين هذا السماد نتيجة الحموضة الزائدة، إضافة إلى أن من عيوب هذا السماد هو التجمع على شكل كتل.

(٢) السوبر فوسفات الثلاثي :

إن سماد السوبر الفوسفات الثلاثي $CaH_4(PO_4)_2.H_2O$ سماد فوسفاتي ذو لون بني - ابيض يكون على شكل حبيبات كروية أو على شكل مسحوق، يحتوي هذا السماد على ٤٥-٥٠٪ P_2O_5 أي (٢٠-٢٢٪ P) ، ١٢-١٦٪ كالسيوم و ١-٢٪ كبريت، ومعظم الفسفور الذي فيه قابل للذوبان بالماء، يصنع هذا السماد من تفاعل حامض الفسفوريك مع مسحوق الصخور الفوسفاتية كما في المعادلة الآتية :



يعد هذا السماد من الأسمدة الفوسفاتية الواسعة الانتشار في الأسواق التجارية لاعتباره من الأسمدة الجيدة التي أثبتت التجارب استجابة النباتات المختلفة له عند إضافته لمختلف الترب، إن الفرق بين هذا السماد وسماد السوبر فوسفات

الاعتيادي إضافة إلى اختلاف المواد الداخلة في التصنيع هو احتواء هذا السماد على نسبة أعلى من الفسفور على الرغم من تشابه الصيغة الكيميائية لكلا السامدين.

٣) السوبر فوسفات المركز :

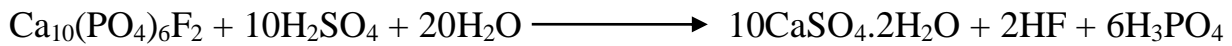
هذا السماد يحتوي على ٥٤٪ P_2O_5 أي (٢٤٪ P) ومعظم الفسفور الموجود فيه يكون على صورة $Ca(H_2PO_4)_2$ في حين يكون فسفور السوبر فوسفات الثلاثي على صورة $Ca(H_2PO_4)_2 \cdot H_2O$ ، إن فقدان جزيئه الماء من السوبر فوسفات الثلاثي مع جزء من غاز الفلورين ومواد متطايرة أخرى يؤدي إلى تكون السوبر فوسفات المركز، يصنع هذا السماد من تفاعل حامض الفسفوريك مع مسحوق الصخور الفوسفاتية، إن ٨٠ - ٩٠٪ من P_2O_5 الجاهز لهذا السماد قابل للذوبان بالماء، وإن استجابة النباتات لهذا السماد تشابه استجابتها لسماد السوبر فوسفات الثلاثي.

٤) حامض الفسفوريك :

إن حامض الفسفوريك H_3PO_4 له دور كبير في صناعة الأسمدة الفوسفاتية ولذا يعد مادة خام في صناعة الأسمدة ولكن قد يضاف هذا الحامض بنسب قليلة - مقارنةً بالنسبة المستعملة في الصناعة - إلى التربة مع مياه الري كسماد فوسفاتي خاصة في الترب القاعدية ولا يضاف للتربة الحامضية. هناك طريقتان أساسيتان في تصنيع حامض الفسفوريك:

الأولى الطريقة الرطبة :

يصنع حامض الفسفوريك بهذه الطريقة الكيميائية عن طريق تفاعل حامض الكبريتيك مع الصخور الفوسفاتية المطحونة كما في المعادلة الآتية:



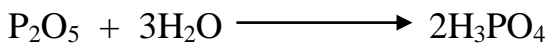
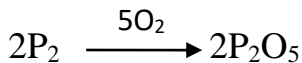
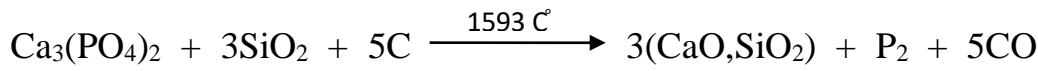
هذه العملية تعتمد على ثلاث خطوات أساسية هي :

- ❖ تفاعل حامض الكبريتيك مع الصخور الفوسفاتية لتكوين الحامض مع الجبس
- ❖ فصل وغسل الحامض من الكبريتات (الجبس) بالماء
- ❖ تركيز الحامض أي زيادة نسبة الفسفور بالتبخير

إن الحامض الذي يصنع بهذه الطريقة يحتوي على ٢٨-٣٠٪ H_3PO_4 ، وهذه الطريقة تعد من أرخص الطرق لتصنيع حامض الفسفوريك، ولا يضاف هذا الحامض عموماً إلى التربة بصورة مباشرة بسبب عدم نقاوته لاحتوائه على مركبات الحديد، والألمنيوم والكالسيوم والفلورين والكبريت التي تجعله صعب النقل والاستعمال.

الثانية طريقة الحرارة :

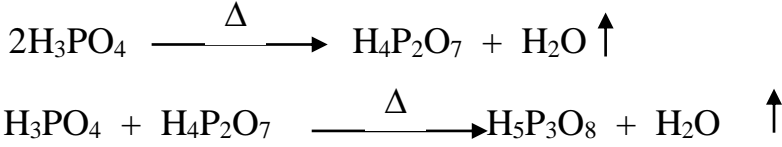
يصنع حامض الفسفوريك بهذه الطريقة تبعاً للخطوات الآتية :



إن تركيز هذا الحامض هو ٨٠ - ٨٥٪ H_3PO_4 ويحتوي على ٥٢ - ٦٠٪ P_2O_5 أي (٢٤ - ٢٦٪ P)، ولقد أثبتت التجارب نجاح استعماله مع ماء الري مصدراً للفسفور الذي يزود به النبات، هذا الحامض يكون سهل النقل والاستعمال مقارنةً بالحامض غير النقي المصنع بالطريقة الكيميائية ولكن هذه الطريقة أغلى من الطريقة الكيميائية إذ أن سعر وحدة واحدة من P_2O_5 (٩,٠٩ كغم) بطريقة الحرارة يبلغ ضعف سعر الوحدة الواحدة من P_2O_5 بالطريقة الكيميائية.

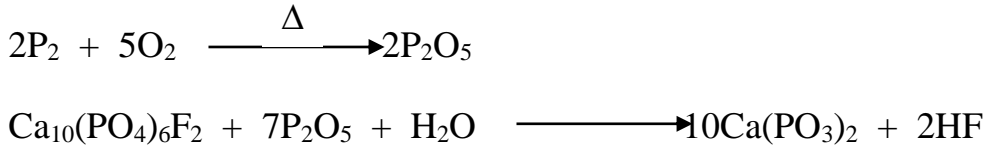
٥) حامض الفسفوريك الممتاز (السوبر)

يحتوي هذا السماد على ٧٦٪ P_2O_5 أي (٣٩٪ P)، وهذا الحامض يصنع من الحامض المصنع بالطريقة الكيميائية بعد أن تقلل كمية الماء المستعملة ويزداد بذلك تركيز الفسفور، وهذا الحامض مزيج من orthophosphoric acid و polyphosphoric acid ويمكن أن يستعمل في الأسمدة السائلة الخليطة ولكن أثبتت أيضا نتائج الفحوصات والتجارب في الحقول والبيوت الزجاجية، بان هذا الحامض يشابه السوبر فوسفات المركز من حيث استجابة النبات لهذين السمادين:



٦) ميتافوسفات الكالسيوم

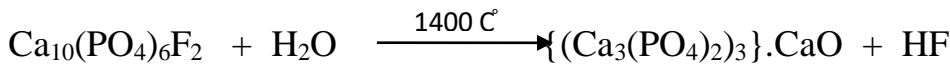
إن سماد ميتافوسفات الكالسيوم $(Ca_3(PO_3)_2)$ سماد ابيض مشوب باللون الرمادي، ويشابه بالمظهر الرمل الناعم ويحتوي ٦٥٪ P_2O_5 أي (٢٨٪ P)، ١٧٪ من الكالسيوم، ٢٪ سليكون، ٣٪ حديد وألمنيوم و ٠,٠٢٪ فلورين ويصنع من حرق عنصر الفسفور مع الهواء وامتصاص P_2O_5 الناتج من لدن الصخور الفوسفاتية كما في المعادلات الآتية:



إن ميتافوسفات الكالسيوم الناتجة عن هذا التفاعل تكون سائلة، وبعد ذلك تصلب بالتبريد إلى مادة شبيهة بالزجاج من حيث المظهر تنفتت بعد ذلك قطعاً صغيرة ثم تطحن للحصول على حبيبات صغيرة جداً، إن استجابة النباتات عدا الخضراوات لهذا السماد أفضل من استجابتها للسوبر فوسفات المركز في الترب الحامضية، أما استجابة النباتات لهذا السماد في الأتربة القاعدية فهو مختلف، ففي المناطق الرطبة يشابه من حيث التأثير على النباتات سماد السوبر فوسفات المركز ولكن سماد السوبر فوسفات المركز يتفوق عليه بنسبة قليلة بسبب أن درجة ذوبان سماد الميتافوسفات الكالسيوم اقل من درجة ذوبانه، ويعد هذا السماد من الأسمدة الاقتصادية من حيث التصنيع بالطريقة التي ذكرت.

٧) فوسفات الكالسيوم الثلاثية المنصهرة

إن سماد فوسفات الكالسيوم الثلاثية المنصهرة $(Ca_3(PO_4)_2)_3CaO$ سماد ذو لون مائل للأسوداد يشابه الرمل المغلف بالفحم، يحتوي هذا السماد على ٢٨ - ٣٥٪ P_2O_5 أي (٤، ١٢ - ٢، ١٥ P) ٥٠٪ كالسيوم مع ٤٪ أو اقل فلورين، يصنع هذا السماد من الصخور الفوسفاتية بعد إزالة الفلورين منها الحرارة كما في المعادلة الآتية:



وهو يعد من المصادر الفوسفاتية المهمة لأتربة المناطق الرطبة وتقدر كفاءته بـ ٧٥-٨٠٪ من كفاءة السوبر فوسفات المعتادة من حيث استجابة المحاصيل الزراعية له،

٨) سماد Basic slag

هذا السماد الفوسفاتي $[(CaO)_5 P_2O_5 SiO_2]$ مسحوق ذو لون قهوائي غامق يحتوي على ٨ - ١٢٪ P_2O_5 ، ٣ - ٥٪ من الكالسيوم و ٦ - ٨٪ $CaSiO_3$ ، وهذا السماد ناتج ثانوي في صناعة الحديد والصلب ويستخلص عن طريق الأكسدة

في درجات الحرارة العالية بوجود مواد قاعدية لتكوين P_2O_5 ، هنا لا بد من أكسدة السيليكا والكربون والمنغنيز في المعادن الخام ثم تزال هذه الشوائب من المادة المنصهرة قبل حرق الفسفور للحصول على السماد، ويعد هذا السماد مصدراً مهماً للفسفور والكالسيوم، بالإضافة إلى أنه يحتوي على المغنيسيوم والحديد والمنغنيز وقليل من البورون، ويعد مهماً لمراعي التربة الرملية،

(٩) فوسفات العظام :

هو مادة بيضاء اللون مائلة إلى الرمادية تصنع من غلي وتبخير مادة العظام تحت ضغط عالي لإزالة الشحوم وبعد ذلك تطحن من أجل سهولة استعمالها وتوزيعها. يحتوي سماد فوسفات العظام على ١ - ٢٪ نيتروجين و ٢٢ - ٣٠٪ P_2O_5 أي (١٠ - ١٣٪ P). يعد هذا السماد أفضل من الصخور الفوسفاتية كمصدر للفسفور الجاهز، ويمكن استعماله في الحدائق المنزلية لنباتات الأزهار.

(١٠) فوسفات الامونيوم:

إن سماد فوسفات الامونيوم ذو لون ابيض مائل إلى الرمادي داكن وهو على شكل حبيبات كروية. يُصنَّع هذا السماد من تفاعل الامونيا مع حامض الفسفوريك للحصول على سماد فوسفات الامونيوم الأحادية الذي يحتوي على ١٢٪ نيتروجين و ٢١٪ P (أي ٤٨٪ P_2O_5) وكذلك فوسفات الامونيوم الثنائية الذي يحتوي على ١٦ - ٢١٪ نيتروجين و ٢٠ - ٢٦٪ P (أي ٤٦ - ٥٣٪ P_2O_5) كما في المعادلة الآتية :



هذه الأسمدة قابلة للذوبان بالماء بسبب صناعتها من أسمدة سائلة وأملاح قابلة للذوبان بالماء، ولهذا يُنصح باستعمالها للنباتات ذات النمو السريع مثل محاصيل الحبوب والنباتات العلفية. ويمكن استعمالها مع محاصيل الذرة الصفراء والقطن والتبغ والنباتات الخضرية وأشجار الفاكهة، وينصح بعدم وضعها بالقرب من موضع البذور أو البادرات عند إضافتها للتربة.

(١١) نترات - فوسفات الامونيوم

هو سماد حبيبي يحتوي على ٣٠٪ نيتروجين و ٤,٤٪ P (أي ١٠٪ P_2O_5). يُصنَّع هذا السماد من نترات الامونيوم الصلبة، والامونيا اللامائية وحامض الفسفوريك. ويضاف مباشرة إلى التربة ويجب أن يضاف مع البوتاسيوم للتربة الفقيرة إلى عنصر البوتاسيوم. إذا كانت الكمية المقدرة من هذا السماد لا تتجاوز ١١٢ كغم/ هكتار فيمكن إضافتها على جانب مروز أو خطوط الحقل خاصة بالنسبة لنباتات الذرة الصفراء والحنطة، أما إذا كانت الكمية المراد إضافتها أعلى من ١١٢ كغم/ هكتار فينصح بإضافتها بطريقة النثر أو خطوط جانبية تحت مهد البذور.

(١٢) فوسفات الامونيوم - يوريا :

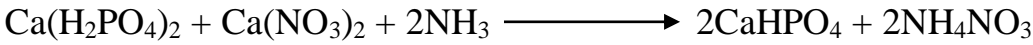
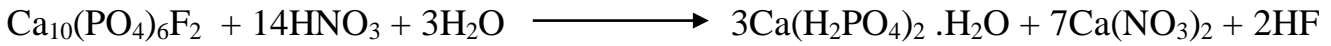
يكون هذا السماد على شكل حبيبي ذا لون رمادي وتكون نسبة النيتروجين إلى P_2O_5 إما ١ - ٢ أو ٢ - ١. إن ٤٠٪ من نيتروجين هذا السماد موجود على شكل فوسفات الامونيوم و ٦٠٪ على شكل يوريا. هذا السماد يجب أن لا يوضع قرب البذور لتأثيره عليها، وكذلك يجب أن لا يضاف على سطح التربة مباشرة خوفاً من فقدان النيتروجين على شكل نترات بل يجب أن يخلط بالتربة عند الإضافة.

١٣) سوبر فوسفات الامونيوم:

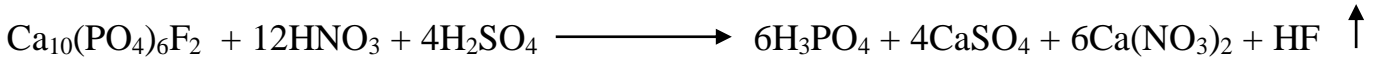
شكل السماد حبيبي رمادي اللون، يُصنَع من تفاعل الامونيا اللامائية مع السوبر فوسفات الاعتيادي. يحتوي السماد الناتج على ٤٪ نيتروجين و ١٦٪ P₂O₅ (أي ٧٪ P) وكذلك يصنع هذا السماد من تفاعل الامونيا اللامائية مع السوبر فوسفات المركز والسماد الناتج يحتوي على ٨٪ نيتروجين و ٣٢٪ P₂O₅ (أي ١٤٪ P) وهذا السماد ذو تأثير حامضي على محلول التربة.

١٤) فوسفات النتريك :

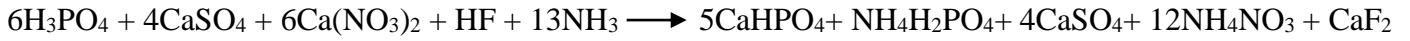
هذا السماد حبيبي ذو لون رمادي مائل إلى الأبيض. يحتوي هذا السماد على ١٢ - ١٧٪ نيتروجين و ٢٢ - ٣٥٪ P₂O₅ (أي ١٠ - ١٥٪ P). يُصنَع هذا السماد من تفاعل الصخور الفوسفاتية مع حامض النتريك وبعد ذلك يضاف إلى الناتج الامونيا كما في المعادلات الآتية:



ويمكن أن يضاف خليط من حامض النتريك والكبريتيك إلى الصخور الفوسفاتية للحصول على سماد يحتوي على الكبريت لتغطية سلبية سماد فوسفات النتريك في الترب التي تعاني من نقص الكبريت كما في المعادلة الآتية :



وناتج هذا التفاعل يضاف إليه الامونيا كما في المعادلة الآتية :



لقد وجد من الدراسات بأن سماد فوسفات النتريك المصنوع من حامض النتريك والكبريتيك احدث استجابة لدى نباتات القطن وتأثير هذا السماد يشابه تأثير فوسفات الامونيوم أو سماد سوبر فوسفات الامونيوم ذات النسبة المتساوية من النتروجين والفسفور.

ملاحظات عامة حول التسميد الفوسفاتي

١. يفضل إضافة الأسمدة الفوسفاتية بطريقة الخطوط قرب النباتات بدلاً من نثرها على سطح التربة وذلك لكون طريقة النثر تعرض حبيبات السماد إلى مساحة اكبر من سطوح حبيبات التربة و كربونات الكالسيوم مما يعطي فرصة اكبر لحفظ وتثبيت كمية كبيرة من الفسفور المضاف، وبذلك تقل كمية الفسفور الذائب في محلول التربة لسد احتياجات النبات، في حين تقل بطريقة الخطوط والسطور (Banding) سطوح التلامس بين السماد وحبيبات التربة، ولهذا أهمية كبيرة في الترب ذات القدرة العالية على تثبيت الفسفور.

٢. لا يفضل استعمال الأسمدة الناعمة على شكل مسحوق في الترب الحامضية والمتعادلة بل ينصح باستعمال الأسمدة على شكل حبيبي في حالة احتوائها على نفس الكمية من الفسفور الجاهز والقابل للذوبان بالماء.

٣. يفضل استعمال الأسمدة الفوسفاتية الحبيبية ذات درجة الذوبان العالية في الترب الكلسية. كذلك لا ينصح باستعمال الأسمدة الفوسفاتية النتروجينية الحبيبية ذات درجة ذوبان اقل من ٥٠٪ في الترب الكلسية.

٤. تقل فعالية الأسمدة الفوسفاتية ذات درجة الذوبان الواطئة بالماء كلما ازداد حجم حبيباتها.

٥. لا يمكن الحصول على استجابة واضحة وكبيرة بالنمو والإنتاج في حالة إضافة الأسمدة الفوسفاتية إذا كانت التربة تعاني من نقص العناصر الغذائية الأخرى وخاصة النروجين والبوتاسيوم.
٦. يجب أن لا يضاف سماد فوسفات الامونيوم الثنائية بالقرب من البذور النامية والبادرات أو بالاتصال بها، ابتعاداً من حصول أضرار لها كالاحتراق وخاصة نباتات الذرة الصفراء والبيضاء وفول الصويا.
٧. إن أكثر الأسمدة الفوسفاتية استعمالاً في الزراعة العراقية هو سماد السوبر فوسفات الثلاثي وذلك لاعتباره من الأسمدة الكفوءة والتي أثبتت التجارب استجابة معظم المحاصيل الزراعية لإضافته ولمختلف الترب. يضاف إلى هذا السماد هو السماد المركب NPK الذي يعتبر أيضاً من الأسمدة الواسعة الانتشار.

المحاضرة السادسة

البوتاسيوم K:

إن عنصر البوتاسيوم كثير الانتشار في قشرة الأرض وأن معدل احتوائها له يقدر بـ ٢,٣٪ - ٢,٦٪ وزناً. ومحتوى الترب المعدنية من البوتاسيوم - في المعتاد - أكبر بكثير من محتواها من النتروجين أو الفسفور. وأن محتوى الترب الناعمة من البوتاسيوم أعلى من محتوى الترب خشنة النسجه، وذلك بسبب زيادة محتوى الترب الناعمة من مادة الطين. إن نسبة البوتاسيوم بالترب لا تتغير بسرعة ولفتره زمنية طويلة وأن آفاق الترب A و B و C تحتوي تقريباً على نفس النسبة من البوتاسيوم الكلي والتي تتراوح ما بين ٠,١٪ - ٤٪ وزناً في مختلف الترب وأن معدل محتوى الترب يقرب من ١,٥٪

محتوى آفاق الترب المختلفة ألنسجه من البوتاسيوم الكلي

% K			الرتبة	نسجة التربة
أفق C	أفق B	أفق A		
١,٩	١,٩	١,٧	Alfisol	مزيجية سلتية
١,٨	١,٥	٢,٣	Aridisol	مزيجية
٢,٤	١,٨	٢,١	Inceptisol	مزيجية طينية
٠,١	٠,١	٠,١	Oxisol	طينية
٠,٢	٠,٣	٠,٣	Altisol	مزيجية رملية

أشكال بوتاسيوم التربة ومصادره :

إن مصادر البوتاسيوم هي الصخور الحاوية على معادن البوتاسيوم الأولية التي ينتج عند تحللها المعادن الأولية الحاوية على البوتاسيوم ومن أهم المعادن الأولية هذه:

KAISi ₃ O ₈	Feldspar	الفلدسبار
KAl ₃ Si ₃ O ₁₀ (OH) ₂	Moscovite	المسكوفاييت
KAl(Mg,Fe) ₃	Biotite	البيوتايت

إن بوتاسيوم البيوتايت أكثر جاهزية من بوتاسيوم المسكوفاييت وهذا بدوره أكثر جاهزية من بوتاسيوم الفلدسبار.

عند تعرض هذه المعادن الأولية إلى عمليات تجوية كيميائية أو لضغط وحرارة عاليين ينشأ عنها المعادن الثانوية التي تجهز محلول التربة بعنصر البوتاسيوم. ومن أهم هذه المعادن الثانوية الحاوية على البوتاسيوم في تركيبها هي معادن الطين ومن أهم معادن الطين الحاوية على البوتاسيوم هي الالاييت بالدرجة الأولى وكذلك معادن الفيرميكولايت والكلورايت. يضاف إلى هذه المصادر الأسمدة الكيميائية التي تضاف إلى التربة إذ تُعد مصدراً مهماً لبوتاسيوم التربة.

يوجد ثلاث أشكال أو صور لبوتاسيوم التربة استناداً إلى درجة الجاهزية:

أولاً: البوتاسيوم الصعب الجاهزية:

إن هذا الشكل لبوتاسيوم التربة يُكوّن ٩٠ - ٩٨٪ من البوتاسيوم الكلي للتربة. يوجد هذا البوتاسيوم في التركيب البلوري للمعادن الأولية، وهذه عند تعرضها لعمليات التجوية يتحرر البوتاسيوم منها خلال فترة زمنية جيولوجية. وهذا البوتاسيوم المتحرر قد يحدث له:

- فقدان مع ماء الصرف.

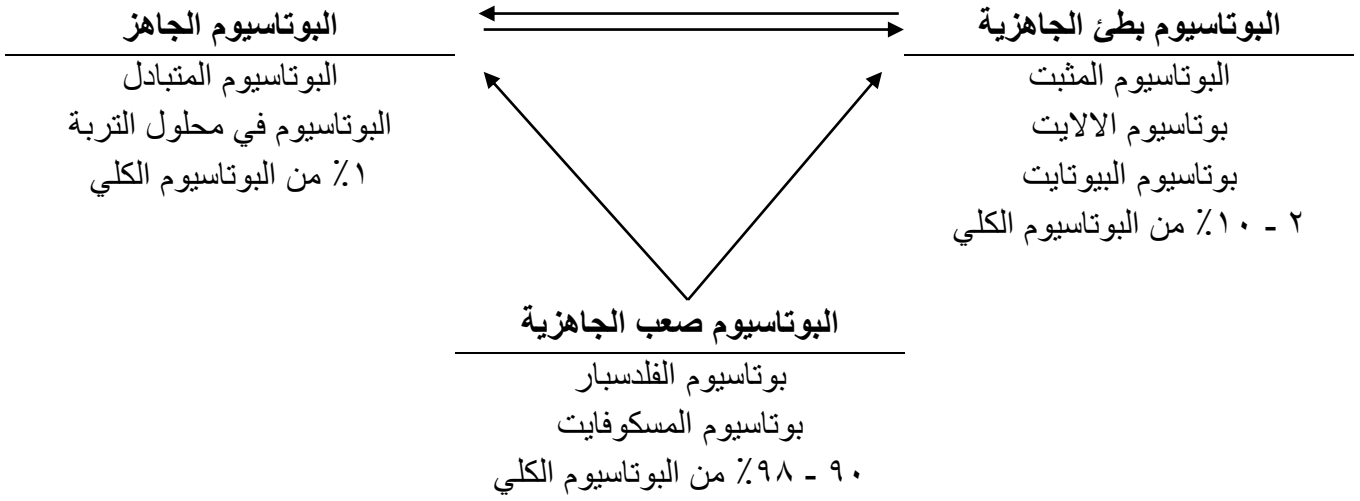
- استخدام الكائنات الحية له.

- حمله على شكل ايون متبادل على حبيبات الطين.

- تحوله إلى بوتاسيوم بطئ الجاهزية.

البوتاسيوم صعب الجاهزية يشارك بجزء قليل لسد احتياجات النبات خلال موسم النمو.

(شكل يوضح أشكال بوتاسيوم التربة)



ثانياً: البوتاسيوم بطئ الجاهزية:

يُكوّن البوتاسيوم بهذا الشكل ما يقرب من ٢ - ١٠٪ من البوتاسيوم الكلي ويعد بوتاسيوم الالايث وبوتاسيوم البيوتايث مصدرين لهذا الشكل من البوتاسيوم. إن تغير جاهزية هذا الشكل تحتاج إلى فترة زمنية طويلة ولكنه أكثر جاهزية من الشكل الأول للبوتاسيوم. هذا الشكل من البوتاسيوم يكون في حالة توازن مع الشكل الجاهز من البوتاسيوم ولذلك يعد مخزناً ومجهزاً لمحلول التربة بالبوتاسيوم الجاهز.

ثالثاً: البوتاسيوم الجاهز:

بوتاسيوم هذا الشكل يشكل ما يقرب من ١٪ من البوتاسيوم الكلي للتربة، وهذا البوتاسيوم الجاهز ٩٠٪ منه يمثل البوتاسيوم المتبادل على سطوح معادن الطين والمادة العضوية و ١٠٪ تمثل البوتاسيوم الذائب في محلول التربة، والبوتاسيوم الجاهز هي الصورة الجاهزة والمتيسرة للامتصاص من قبل النبات.

البوتاسيوم غير المتبادل (البوتاسيوم بطئ الجاهزية أو المثبت) يكون في حالة توازن مع البوتاسيوم الجاهز (البوتاسيوم المتبادل والبوتاسيوم الذائب) كما هو واضح في الشكل أعلاه، إذ يعد البوتاسيوم غير المتبادل مجهزاً للبوتاسيوم الجاهز عند استنزافه من التربة، وكذلك يتحول جزء من البوتاسيوم الجاهز إلى بوتاسيوم بطئ الجاهزية عند زيادة تركيز الأول في محلول التربة نتيجة إضافة البوتاسيوم للتربة عن طريق الأسمدة الكيميائية. البوتاسيوم المثبت لا يعتبر جاهزاً للنبات بشكل مباشر.

تثبيت البوتاسيوم:

إن عملية تثبيت البوتاسيوم هي عملية كيميائية بين بلورات حبيبات التربة، وهي عملية تحول البوتاسيوم من الصورة الجاهزة (الذائبة في محلول التربة أو المتبادلة على سطوح التبادل للتربة) إلى صورة يكون فيها بطيء الجاهزية، ولكنه أكثر تحراً لمحلول التربة من البوتاسيوم صعب الجاهزية، الذي يعد جزء من التركيب البلوري لمعادن التربة.

إن ميكانيكية تثبيت البوتاسيوم تشابه عملية تثبيت الامونيوم، إذ تدخل ايونات البوتاسيوم الجهات البينية للمعادن نتيجة استنزاف بوتاسيوم الطبقات البينية، وان دخول البوتاسيوم هذا يكون في فتحات شبكة الأوكسجين العائدة لطبقة السيليكا التي تكون أنصاف أقطارها مشابهة لأنصاف أقطار ايونات البوتاسيوم. وبذلك ترتبط هذه الايونات بقوة وتصبح جزءاً من صفيحة المعدن فتكون لذلك عملية تمدد وانفراج معادن الطين صعبة جداً.

ونظراً لأهمية عملية تثبيت البوتاسيوم من الناحية التطبيقية في الزراعة من حيث تحول السماد المضاف بصورة جاهزة إلى صورة غير جاهزة وأهمية ذلك في وضع الخطط التسميدية للتربة، فقد وجب التعرف على العوامل التي تؤثر في تثبيت البوتاسيوم في التربة ومن أهم هذه العوامل هي:

١. **نوعية معادن الطين:** إن معادن الطين ١:٢ تثبت البوتاسيوم بكميات كبيرة ويمكن أن يحصل تثبيت للبوتاسيوم في معادن الطين ١:١ مثل الكاؤولينايت ولكن بكميات قليلة جداً ومن هنا يمكن القول إن تثبيت البوتاسيوم حالة متخصصة لمعادن ١:٢. إذ أنه كلما ازداد استنزاف البوتاسيوم من هذه المعادن ازداد الجهد التثبيتي للبوتاسيوم، إن القدرة التثبيتية لمعادن الطين ١:٢ مختلفة ويعد معدن الفيرمكيولايت أكثر المعادن قابلية على التثبيت يتبعه الالاييت ثم المونتموريللونايت. إن عملية التمدد والانفراج العالية لمعادن الطين ١:٢ وكثافة شحناتها تساعد على تثبيت البوتاسيوم. ويعد معدن الفيرمكيولايت أكثر تثبيناً من غيره من معادن الطين ١:٢ وذلك لكثافة الشحنات السالبة في طبقة السليكا العائدة له.

٢. **درجة الحرارة:** إن زيادة درجة الحرارة يؤدي إلى زيادة عملية التبادل الكاتيوني أي زيادة كمية البوتاسيوم المتبادل عندما يكون تركيزه عالياً في محلول التربة، وهذه الحالة ربما تساعد على زيادة الكمية المثبتة من البوتاسيوم. إن انخفاض درجة حرارة التربة (الانجماد) يتبعه ارتفاع درجة حرارتها أي حصول عملية الانجماد ودفء التربة بالتتابع يؤدي إلى زيادة معدل تحرر البوتاسيوم المثبت.

٣. **رطوبة التربة:** إن جفاف التربة الرطبة ذات المحتوى العالي من البوتاسيوم يؤدي إلى قلة البوتاسيوم المتبادل، ولكن عندما يكون محتوى التربة واطناً أو متوسطاً من البوتاسيوم فإن جفاف التربة الرطبة هذه يؤدي إلى زيادة البوتاسيوم المتبادل. إن تأثير حصول عملية زيادة رطوبة التربة وجفافها بالتتابع على بوتاسيوم التربة غير واضح، برغم أهميتها للزراعة التطبيقية. إن تجفيف عينات التربة الرطبة قبل تقدير البوتاسيوم فيها يؤدي إلى إعطاء قيمة عالية للبوتاسيوم وهذا بدوره يؤثر في وضع الخطة السمادية لعدد من الترب.

٤. **كربونات الكالسيوم:** إن إضافة كربونات الكالسيوم للترب الحامضية يؤدي إلى زيادة مقدرة التربة على تثبيت البوتاسيوم. ولهذا أهمية كبيرة في الزراعة التطبيقية، إذ أنه يؤدي إلى التقليل من كمية البوتاسيوم التي تفقد بعمليات الغسل في أترية المناطق الرطبة. هذه النقطة مهمة على من كونها تقلل من كمية البوتاسيوم الجاهز.

فقدان بوتاسيوم التربة:

إن المحافظة على محتوى جيد من البوتاسيوم في التربة لسد احتياجات النبات خلال دورة حياته من هذا العنصر عملية مهمة وذات تأثير كبير على نمو النبات والإنتاج. ويفقد البوتاسيوم من التربة عن طريق:

(١) **امتصاص النبات:** إن الكمية التي يمتصها النبات من بوتاسيوم التربة أكبر من الكميات التي يمتصها من العناصر الأخرى عدا النتروجين.

(٢) **الفقد بواسطة الغسل:** تفقد كميات لا بأس بها من البوتاسيوم بعمليات الغسيل وخاصة في المناطق الرطبة ذات الأمطار الغزيرة ولكن الكمية التي تفقد بالغسل أقل من الكمية التي يستهلكها النبات. يزداد فقدان البوتاسيوم بعمليات الغسل في الترب الحامضية لزيادة تركيز البوتاسيوم الذائب في محلول التربة، وكذلك يزداد الفقد بالترب. بالإضافة إلى ما ذكر فإن البوتاسيوم يمكن أن يفقد من الترب المتأثرة بالملوحة أثناء عملية غسلها.

(٣) **الفقد بالتعرية والانجراف:** يمكن أن يفقد البوتاسيوم في التربة السطحية عن طريق انجراف التربة بمياه وسيول الأمطار.

(٤) **فقد بوتاسيوم التربة الجاهز بعملية تثبيت البوتاسيوم التي تم توضيحها سابقاً.** إن هذا الفقد للبوتاسيوم يجب أن يعوّض والتعويض لبوتاسيوم التربة الجاهز يكون عن طريق إضافة الأسمدة الكيميائية أو عن طريق تحول بوتاسيوم بقايا النبات ومخلفات الحيوان وكذلك البوتاسيوم المثبت إلى بوتاسيوم جاهز. إن وجود توازن بين البوتاسيوم المفقود والبوتاسيوم المضاف يؤدي إلى زيادة الإنتاج في حالة توفر عوامل النمو والإنتاج الأخرى.

أهمية البوتاسيوم للنبات:

يعد البوتاسيوم من العناصر الغذائية المهمة لنمو النبات لأهميته الكبيرة في فسلة النبات ويعد الكاتيون (K^+) أكثر أهمية في فسلة النبات وذلك لوظائفه الفسلية والكيميائية والحيوية. ومن أهم هذه الوظائف هي:

١. انقسام الخلايا الحية للنبات - تشجيع نمو الأنسجة النباتية.
٢. عملية التركيب الضوئي - تكوين الكربوهيدرات وانتقال المواد الناتجة من هذه العملية.
٣. تنشيط الأنظمة الإنزيمية مثل إنزيم Starch synthetase وكذلك تنشيط إنزيمات Kinases التي تحفز تكوين البروتينات والأحماض النووية وهناك إنزيمات أخرى مثل Dehydrogenases.
٤. اختزال النترات وتكوين البروتينات.
٥. وجود البوتاسيوم بكميات جيدة وملائمة لنمو النبات يساعد في عدم تكوين الأمينات السامة مثل Putrescine و Agmatine فيتضح مما ذكر ما للبوتاسيوم من أهمية كبيرة لمظاهر النمو والعمليات الحيوية للنبات فنقص هذا العنصر سوف يؤدي إلى انخفاض معدل ونشاط هذه العمليات أو بعضها وبالتالي عدم انتظام نمو النبات.

إن لإضافة السماد البوتاسي دوراً كبيراً في تحسين نمو النبات وزيادة إنتاجية المحاصيل، إذ يؤدي إلى زيادة الحاصل وكذلك يمنع حصول الاضطجاع في محاصيل الحبوب، وأيضا يؤدي إلى زيادة مقاومة الأمراض والسبب يعود إلى أن البوتاسيوم يحفز تكوين جدران خارجية سميكة في خلايا البشرة مما يمنع مهاجمة الأمراض للنبات.

إن احتياجات النبات للبوتاسيوم تختلف باختلاف مراحل نمو النبات، إذ يزداد الطلب على البوتاسيوم في مرحلة النمو الخضري مقارنة بمراحل النمو الأخرى للنبات. كذلك تختلف النباتات من حيث احتياجاتها واستجابتها للأسمدة البوتاسية فمحاصيل البنجر السكري والقصب السكري، البطاطا والطماطا، والكرفس لها طلب كبير على البوتاسيوم، بينما يمتص القطن والحنطة اقل بكثير من البوتاسيوم. كذلك هناك عوامل أخرى تؤثر في احتياج النبات لعنصر البوتاسيوم (أو أي عنصر آخر) وهي نوعية المحصول - وحالة التربة الخصوبية - والعوامل المناخية - والعوامل الوراثية - ومسافات الزراعة - وعدد النباتات المزروعة في الدونم الواحد من الأرض.

إن معدل امتصاص النبات للبوتاسيوم يؤثر في عملية امتصاص العناصر الغذائية الأخرى، فزيادة امتصاص البوتاسيوم بسبب زيادة تركيزه في محلول التربة (نتيجة لإضافة الأسمدة) يؤدي إلى انخفاض معدل امتصاص كل من الكالسيوم والصوديوم والمغنيسيوم والزنك، بينما على العكس من ذلك فإن إضافة الأسمدة البوتاسية يؤدي إلى زيادة معدل امتصاص الفسفور، ولكن عند إضافة البوتاسيوم على شكل كلوريد البوتاسيوم يحدث انخفاض كبير في امتصاص النبات للفسفور والنترات.

أعراض نقص البوتاسيوم:

لا تظهر أعراض نقص البوتاسيوم بصورة سريعة، إذ يظهر أولاً نقص في معدل نمو النبات، وبعد ذلك يظهر ومن ثم الموت الموضعي للأنسجة النباتية. فالاصفرار يبتدئ بالظهور عند حافة الأوراق ويمتد إلى الوسط ثم يصبح لون الحافات بنياً. وتظهر أعراض نقص البوتاسيوم بصورة عامة على الأوراق القديمة للنبات أولاً ومن ثم تنتقل إلى أجزاء النبات الأخرى.

الأسمدة البوتاسية:

أهم الأسمدة البوتاسية التي تستعمل في تسميد الأراضي الزراعية هي:

(١) كلوريد البوتاسيوم:

يصنع سماد كلوريد البوتاسيوم (KCl) على صورة حبيبات أو مسحوق ناعم ذو لون بيدي بين اللون الأبيض والأحمر الخفيف. ويحتوي على ٤٨ - ٦٢,٥% K_2O (٣٩ - ٥١% K) وما يقارب ٤٧% كلوريد. وهو يصنع في المعتاد ذا محتوى قدره ٦٠% K_2O .

يصنع هذا السماد من الرواسب الطبيعية بعد التنقية والتصفية من كلوريد الصوديوم وذلك إما عن طريق الطفو Flotation أو بوساطة عملية البلورة Crystallization. في طريقة الطفو Flotation تضاف مواد الطفو بكميات قليلة إلى خليط كلوريد البوتاسيوم وكلوريد الصوديوم لتتحد بكلوريد البوتاسيوم وتغلفه وتطفو به إلى السطح. أما في طريقة البلورة Crystallization process فيفصل كلوريد الصوديوم عن كلوريد البوتاسيوم، وذلك بإضافة ماء حار إلى المخلوط ثم التبريد فيفصل كلوريد البوتاسيوم على شكل بلورات مترسبة ويبقى كلوريد الصوديوم في المحلول وبعد ذلك يسحب الراسب وينقى.

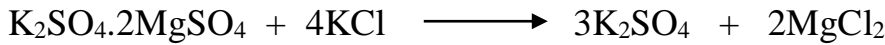
إن سماد كلوريد البوتاسيوم أكثر الأسمدة البوتاسية انتشاراً واستعمالاً في الزراعة وقد قدرت نسبة كلوريد البوتاسيوم بين الأسمدة البوتاسية المباعة في الأسواق التجارية بـ ٧٨٪ وأثبتت التجارب والدراسات استجابة معظم المحاصيل الزراعية لهذا السماد وفي مختلف الترب.

٢) كبريتات البوتاسيوم

سماد كبريتات البوتاسيوم (K_2SO_4) ملح ابيض اللون يحتوي على ٥٢٪ K_2O (٤٣٪ K) و ١٦٪ كبريت وليس أكثر من ٢,٥٪ كلوريد. ويحتوي هذا السماد على كميات قليلة جداً من الصوديوم، والكالسيوم، والمغنيسيوم، والكلوريد والبرومين. ويصنع هذا السماد بعدة طرق منها:

❖ طريقة Langbeinite :

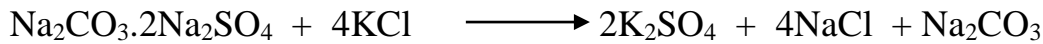
في هذه الطريقة تتم إذابة مادة Langbeinite ($K_2SO_4 \cdot 2MgSO_4$) بالماء مع إضافة محلول مركز من كلوريد البوتاسيوم كما في المعادلة التالية:



وتترسب كبريتات البوتاسيوم، وبعد ذلك تفصل بالطرد المركزي.

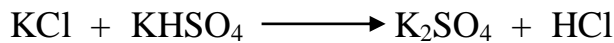
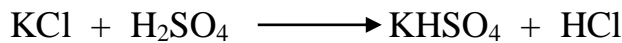
❖ طريقة Trona :

في هذه الطريقة يتفاعل كلوريد البوتاسيوم مع مادة الـ Burkeite ($Na_2CO_3 \cdot 2Na_2SO_4$) وتتكون نتيجة هذا التفاعل مادة Glaserite cake ($Na_2SO_4 \cdot 3K_2SO_4$) التي تتفاعل (بعد فصلها) مع كلوريد البوتاسيوم ذي درجة النقاوة العالية لينتج عن هذا التفاعل كبريتات البوتاسيوم التي ترشح عن كلوريد الصوديوم والمعادلة الآتية تفسر ذلك:



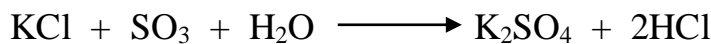
❖ طريقة Mannheim :

المعادلات الآتية تفسر هذه الطريقة التي تعتمد على كلوريد البوتاسيوم وحامض الكبريتيك لتصنيع كبريتات البوتاسيوم



❖ طريقة Hargreaves :

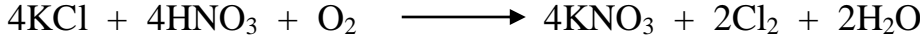
في هذه الطريقة يتم تفاعل كلوريد البوتاسيوم مع الكبريت كما في المعادلة الآتية :



إن درجة استجابة المحاصيل الزراعية لسماد كبريتات البوتاسيوم تشابه درجة استجابتها لسماد كلوريد البوتاسيوم. يستعمل هذا السماد في تسميد محاصيل التبغ والبطاطا والبنجر السكري والذرة الصفراء بدلاً من كلوريد البوتاسيوم وذلك لحساسية هذه المحاصيل للكلوريد وخاصة الكميات الكبيرة منه.

٣) نترات البوتاسيوم:

يصنع سماد نترات البوتاسيوم (KNO_3) على شكل مسحوق ابيض اللون ويعرف بملح بيتر (Peter salt) حيث يحتوي على ١٣٪ نيتروجين و ٤٤٪ K_2O (٣٦٪ K) وهو يصنع من تفاعل كلوريد البوتاسيوم مع حامض النتريك كما في المعادلة الآتية :



إن درجة ذوبان هذا السماد تختلف عن درجة ذوبان الأسمدة البوتاسية الأخرى. فدرجة ذوبان سماد نترات البوتاسيوم في الماء البارد اقل من درجة ذوبان سماد كلوريد البوتاسيوم ولكنه أكثر ذوبان من كبريتات البوتاسيوم. أما درجة ذوبانه في الماء الذي درجة حرارته تقارب درجة حرارة الغرفة فتكون مشابهة لدرجة ذوبان كلوريد البوتاسيوم، ولكنها أعلى من درجة ذوبان كبريتات البوتاسيوم.

ينصح باستعمال هذا السماد مع نبات التبغ وذلك لحساسية نوعية التبغ لكل من الكلوريد والكبريتات. كذلك يفضل استعمال النتروجين على صورة نترات وليس على صورة امونيوم عند تسميد نبات التبغ، كذلك يمكن استعمال هذا السماد بنجاح مع المحاصيل مثل البطاطا والطماطا والذرة الصفراء وأشجار الحمضيات.

٤) هناك أسمدة بوتاسية أخرى مثل:

أ - **ميتافوسفات البوتاسيوم $K_6(PO_3)_6 \cdot H_2O$** : الذي يصنع من تفاعل KCl مع P_2O_5 تحت درجة حرارة عالية. هذا السماد يحتوي على ٤٠٪ K_2O (٣٣٪ K) و ٦٠٪ P_2O_5 .

ب - **سماد كبريتات المغنيسيوم - البوتاسيوم $K_2SO_4 \cdot 2MgSO_4$** : إن محتوى هذا السماد من البوتاسيوم لا يقل عن ٢١٪ K_2O (١٨٪ K)، ١٨٪ MgO (١١٪ Mg) ويحتوي كذلك على ٢٣٪ كبريت.

ج - **سماد $K - Polyphosphate$ (KPO_3)** : هذا السماد يكون على شكل سائل وصلب، يحتوي السائل منه ٢٤٪ K_2O و ٥٦٪ P_2O_5 . أما السماد الصلب فيحتوي على ٤٨٪ K_2O .

د - **هناك أسمدة أخرى** هي كربونات البوتاسيوم (K_2CO_3) وبيكربونات البوتاسيوم ($KHCO_3$) وهذه الأسمدة قليلة الاستعمال في المجال التطبيقي الزراعي مقارنة بالأسمدة البوتاسية الأخرى.

عدد من الملاحظات المهمة حول الأسمدة البوتاسية:

١. الأسمدة البوتاسية تكون متشابهة من حيث جاهزيتها للنبات ولكن تكون مختلفة بالانيون المرافق للبوتاسيوم.
٢. يفضل إضافة كبريتات البوتاسيوم إلى محاصيل التبغ والقطن والقصب السكري والبطاطا والطماطا والخيار والفريز وأشجار الفاكهة وذلك لحساسية هذه المحاصيل للكلوريد.
٣. تستعمل نترات البوتاسيوم بصورة رئيسة في أشجار الفاكهة والمحاصيل البستانية وذلك برشها على الأشجار.
٤. في الترب الرملية والعضوية ينصح بإضافة السماد البوتاسي قبل زراعة المحصول فيها وذلك من أجل تجنب فقد البوتاسيوم بعملية الغسل في فترات المطر.

المحاضرة السابعة

الكالسيوم + المغنيسيوم

الكالسيوم Ca:

كالسيوم التربة ومصادره: الكالسيوم احد العناصر الضرورية للنبات ومحتوى قشرة الأرض من هذا العنصر عال يقترب من ٣,٦٤٪ وهذه النسبة تعد أعلى من نسب معظم العناصر الغذائية، إذ يأتي بعد الأوكسجين (٤٦,٤٦٪ وزن) ، والسليكون (٢٧,٦١٪)، والألمنيوم (٨,٠٧٪) والحديد (٥,٠٦٪) كنسبة وزنيه من قشرة الأرض. إن محتوى الترب من عنصر الكالسيوم مختلف باختلاف نوعية التربة ومادة الأصل والظروف المناخية السائدة. إن مصادر كالسيوم التربة هي الصخور والمعادن الأولية والثانوية الحاوية على الكالسيوم، يضاف إلى هذه المصادر الكالسيوم المضاف إلى التربة سماداً.

المعادن الأولية: إن المعادن الأولية تعد مصدراً مهماً لكالسيوم التربة هي:

Calcium Feldspar	$CaAl_2Si_2O_8$
Tremolite amphibole	$Ca_2Mg_5Si_8O_{22}(OH)_2$
Actinolite	$Ca_2Fe_5Si_8O_{22}(OH)_2$
Epidote	$Ca_2(Al,Fe)_3Si_3O_{12}(OH)$

المعادن الثانوية: أهم المعادن الثانوية التي يوجد الكالسيوم فيها هي:

Dolomite	$CaCO_3, MgCO_3$
Calcite	$CaCO_3$
Gypsum	$CaSO_4 \cdot 2H_2O$
Apatite	$Ca_3(PO_4)_3 \cdot (Cl, F)$

كذلك يوجد الكالسيوم في معادن الطين الثانوية وخاصة في المعدن الطيني المونتموريللونائيت. عند تعرض هذه المعادن إلى عمليات التجوية يتحرر الكالسيوم منها إلى محلول التربة. والكالسيوم الموجود في محلول التربة في صورة ايون الكالسيوم تجري عليه العمليات الآتية: -

١- الفقد بماء الري أو الأمطار نتيجة عمليات الغسل وخاصة في أتربة المناطق الرطبة.

٢- يمتصه النبات وجزء منه تستهلكه الكائنات الحية الدقيقة.

٣- يدمص أو يكون بصورة متبادلة على سطوح معادن الطين.

٤- يترسب من محلول التربة على شكل كربونات الكالسيوم وفوسفات الكالسيوم.

إن كالسيوم التربة يوجد بعدة أشكال تختلف بصفاتهما وجاهزيتها للنبات وهذه الأشكال هي:

(١) الكالسيوم غير الجاهز للامتصاص من لدن النبات وهو الكالسيوم الذي يوجد في المعادن الأولية، ويعد مخزناً للكالسيوم المتيسر للنبات بعد تحرره من هذه المعادن بفعل عمليات التجوية.

(٢) الكالسيوم المتبادل وهو الكالسيوم المدمص إلى غرويات التربة العضوية وغير العضوية. ويلعب هذا الجزء من الكالسيوم دوراً مهماً في تركيب وبناء التربة. إن وجود نسبة عالية من الكالسيوم على سطوح التبادل للتربة يؤدي إلى حدوث **تجميع flocculation** لحبيبات التربة. وهذا التجمع لحبيبات التربة يؤدي إلى جعلها محببة ومسامية، وهذا يؤدي إلى حصول تهوية جيدة، وتحسين قابلية التربة على الاحتفاظ بالماء. يضاف إلى ذلك زيادة معدل نشاط الكائنات الحية الدقيقة المسؤولة عن كثير من العمليات الحيوية داخل التربة وبالتالي زيادة نمو النبات والحاصل.

إن الكالسيوم المتبادل أو المدمص على حبيبات التربة يكون صورة جاهزة للامتصاص من لدن النبات ويعد بذلك مخزناً للكالسيوم محلول التربة في حالة استنزاف ما يحتويه محلولها من الكالسيوم.

٣) كالسيوم محلول التربة وهو الكالسيوم الذائب والجاهز للامتصاص من لدن النبات، هذا الشكل للكالسيوم يكون في حالة توازن مع الكالسيوم المتبادل.

العوامل التي تؤثر في جاهزية الكالسيوم

من العوامل المهمة التي تؤثر على جاهزية الكالسيوم وتوفر الكمية الملائمة من هذا العنصر في محلول التربة بصورة دائمة لتزويد النبات بالكمية التي يحتاجها في دورة حياته هي:

١- **الكالسيوم المتبادل:** تلعب السعة التبادلية الكاتيونية للتربة دوراً كبيراً في توفير الكالسيوم الذائب، إذ أن التربة ذات السعة التبادلية الكاتيونية الواطئة والمحتوية على كمية قليلة من الكالسيوم تزود النبات بكمية جيدة من الكالسيوم. ولكن عندما تكون كمية الكالسيوم في التربة أكبر من الحالة الأولى ولكن في تربة ذات سعة تبادلية كاتيونية عالية فإن هذه التربة تزود النبات بكمية أقل من الكالسيوم مقارنة بالتربة الأولى وذلك لاحتياج التربة ذات السعة التبادلية الكاتيونية العالية إلى كمية أكبر من الكالسيوم لإشباعها.

٢- **نوعية الطين:** إن معادن الطين من نوع ١:٢ تحتاج إلى كمية كبيرة من الكالسيوم حتى تصل إلى درجة التشبع مثل معدن المونتوريللونيت الذي يحتاج إلى ٧٠٪ نسبة التشبع بعنصر الكالسيوم حتى يمكن أن يزود النبات بالكالسيوم أما معادن الطين من نوع ١:١ فتحتاج إلى نسبة تشبع ٤٠ - ٥٠٪ من الكالسيوم حتى تبدأ التربة بتجهيز النبات بالكالسيوم. ومن هذا يتضح بان الترب التي تسود بها معادن الطين من نوع ١:١ تكون قابليتها التجهيزية بالكالسيوم أكبر من قابلية الترب التي يسود بها معادن الطين من نوع ١:٢.

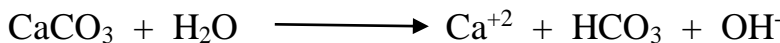
٣- **رطوبة التربة:** تزداد جاهزية الكالسيوم في التربة بوجود محتوى جيد من الرطوبة في التربة. في الترب الرطبة تقل نسبة الكالسيوم لازدياد عمليات فقد هذا العنصر بالغسيل، ويحل الألمنيوم والهيدروجين محل الكالسيوم على سطوح حبيبات التربة، وبذلك تقل كمية الكالسيوم الجاهز للنبات، وتعالج هذه الحالة بإضافة مادة الجير والجبس لمثل هذه الترب لسد النقص بعنصر الكالسيوم الذي يحتاجه النبات لإكمال دورة نموه وفعالياته الحيوية. في الترب الجافة وشبه الجافة توجد نسب عالية من الكالسيوم وذلك لقلّة الأمطار وقلّة الفقد عن طريق عملية غسل التربة.

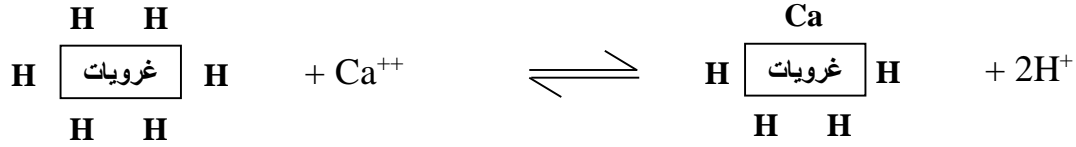
الكالسيوم واستصلاح التربة

بالنظر إلى الدور الذي يؤديه الكالسيوم في تكوين بناء التربة وتحسين صفاتها من حيث التهوية وتجمع الحبيبات وقابلية التربة على الاحتفاظ بالماء، ودرجة تفاعلها والدور الذي تؤديه في جاهزية العناصر الغذائية، فإن الكالسيوم يستعمل في استصلاح الترب الحامضية والأترية القلوية ذات المحتوى العالي من ايون الصوديوم. إن الترب الحامضية تعاني من نقص عنصر الكالسيوم بسبب زيادة معدل عملية غسل مقد التربة نتيجة سقوط الأمطار بكميات كبيرة. وان سقوط الأمطار بكميات كبيرة يؤدي إلى غسل مقد التربة من الكاتيونات القاعدية التي من ضمنها الكالسيوم بإبعاده إلى خارج محور الامتصاص لجذور النبات. وهذا يؤدي إلى انخفاض درجة تفاعل التربة نتيجة زيادة ايونات الهيدروجين والألمنيوم على سطوح التبادل للتربة وسيؤدي ايون الهيدروجين في محلول هذه الأترية الحامضية لذلك فإن الكالسيوم يضاف إلى الترب الحامضية في صورة كربونات الكالسيوم أو دولومايت من أجل:

١- سد نقص التربة بعنصر الكالسيوم أو المغنيسيوم لتجهيز النبات بالكمية التي يحتاجها من هذه العناصر لإكمال دورة حياته.

٢- رفع درجة تفاعل التربة وتقليل درجة الحامضية وذلك باستبدال ايونات الهيدروجين والألمنيوم السائد في محلول التربة وسطوح التبادل بعنصر الكالسيوم كما في المعادلات الآتية:





٣- تقليل جاهزية عدد من العناصر السامة للنبات بسبب زيادة تركيزها مثل الألمنيوم.

٤- تحسين تركيب وبناء التربة.

٥- زيادة نشاط طائفة من الكائنات الحية الدقيقة.

لهذا فان مادة كربونات الكالسيوم CaCO_3 (الجير) (lime) تضاف بكميات كبيرة إلى ترب المناطق الرطبة (الترب الحامضية) من اجل استصلاحها للحصول على تربة جيدة ملائمة لنمو النبات لزيادة الإنتاج الزراعي. في الترب القلوية التي يسود فيها ايون الصوديوم يضاف الكالسيوم بصورة كبريتات الكالسيوم CaSO_4 (الجبس) من اجل خفض درجة تفاعل هذه الترب، وذلك لكون درجة تفاعلها أعلى من ٨,٥ حيث تؤثر تأثيراً سلبياً في جاهزية العناصر الغذائية. الترب القلوية تعاني من رداءة بنائها وتركيبها حيث يعمل الصوديوم على تفريق حبيبات التربة وجعلها ذات بناء صلد ذات مسامية قليلة فتقل بذلك تهوية التربة ويقل معدل احتفاظها بالماء وينخفض نشاط الكائنات الحية الدقيقة فيها ويضعف نمو النبات النامي فيها، لذلك فان إضافة كبريتات الكالسيوم إلى مثل هذه الترب يؤدي إلى إحلال الكالسيوم محل الصوديوم السائد على سطوح التبادل وفي محلول التربة ويسبب ذلك خفض PH التربة وتحسين الصفات الكيماوية والفيزيائية.

المغنيسيوم

مغنيسيوم التربة ومصادره

يعد عنصر المغنيسيوم من العناصر الغذائية الضرورية والأساس في خصوبة التربة وتغذية النبات، وان محتوى قشرة الأرض من هذا العنصر تقدر بحوالي ١,٩٣٪ وكما هي الحال بالنسبة للكالسيوم فإنه يوجد تباين بين محتوى الأتربة من هذا العنصر، إذ يقدر محتوى الترب الرملية من هذا العنصر بما يقارب ٠,٠٥٪ في حين يقدر محتوى الأتربة الطينية بما يقارب ٠,٥٪ وقد يصل بترب أخرى إلى ١,١٪. إن محتوى الصخور القاعدية من المغنيسيوم عال، في حين يكون محتوى الصخور النارية الحامضية والصخور الرسوبية واطناً. إن مصادر مغنيسيوم التربة يمكن تقسيمها إلى:

١- المعادن الأولية: من أهم المعادن الأولية الحاوية على المغنيسيوم هي البيوتايت، الهورنبلند والأولفين

[(Mg, Fe)₂SiO₄] ومعدن الـ Serpentine.

٢- المعادن الثانوية: من أهم المعادن الثانوية التي تحتوي على المغنيسيوم وتعد مصادراً لها هي معادن الطين الكلورايت، والفورميكوليت والاليت والمونتموريللوناييت إضافة إلى هذه المصادر يوجد المغنيسيوم في الترب على صورة كبريتات وكربونات المغنيسيوم، والمصدر الآخر للمغنيسيوم هو المغنيسيوم الذي يضاف إلى التربة مع الأسمدة الكيميائية.

ويحدث للمغنيسيوم المتحرر من هذه المعادن نتيجة عمليات التجوية وعمليات كيميائية أخرى داخل التربة إلى محلول التربة، ما يأتي:

١- يفقد من التربة بعمليات غسل التربة نتيجة سقوط الأمطار الغزيرة.

٢- يمتصه النبات والكائنات الحية الأخرى.

٣- يدمص على سطوح حبيبات معادن الطين.

٤- يترسب من محلول التربة على شكل معادن ثانوية.

إن مغنيسيوم التربة يوجد على ثلاثة أشكال بصورة متوازية وهذه الأشكال: الذائب في محلول التربة، والمتبادل على سطوح معادن الطين والمادة العضوية والشكل الثالث هو المغنيسيوم المثبت. إن كلا من المغنيسيوم الذائب والمتبادل تكون جاهزة ومتيسرة لامتصاص النبات والجزء الأكبر من مغنيسيوم التربة يوجد بشكل غير متبادل (مثبت) في المعادن الأولية والثانوية، والمغنيسيوم المتبادل يشكل تقريبا ٥٪ من المغنيسيوم الكلي للتربة والذائب يكون أقل من هذا بكثير.

العوامل التي تؤثر على محتوى التربة من المغنيسيوم

إن العوامل التي تؤثر في محتوى التربة من المغنيسيوم الكلي تؤثر بدورها في محتوى التربة من المغنيسيوم الجاهز لامتصاص النبات له، ومن أهم هذه العوامل:

١- نوعية التربة:

إن لنوعية التربة دوراً كبيراً في محتواها من المغنيسيوم حيث وجد بان محتوى الأتربة ذات النسجة الخشنة في المناطق الرطبة من المغنيسيوم عادة قليل ويقدر المغنيسيوم الكلي فيها ١٪ بينما محتوى الأتربة ذات النسجة الناعمة في نفس المناطق من المغنيسيوم الكلي أكثر من ١٪. لقد أثبتت الدراسات بان الترب المشتقة من الصخور الرسوبية الرملية تكون فقيرة من حيث محتواها من المغنيسيوم الكلي. بصورة عامة اتضح بان المغنيسيوم الجاهز أي الذائب والمتبادل في الترب يزداد بزيادة نسبة الطين أو الطين مضافاً إلى الغرين، إذ وجد بان محتوى الترب الرملية من المغنيسيوم أقل من محتوى الترب المزيجية التي بدورها يكون محتواها أقل من الترب الطينية وهذا يعود إلى اختلاف مادة الأصل من حيث محتواها من المغنيسيوم ومقدره التربة على الاحتفاظ بالعناصر الغذائية الكاتيونية أي السعة التبادلية الكاتيونية.

٢- المادة العضوية:

إن محتوى التربة ذات المحتوى العالي من المادة العضوية من المغنيسيوم الكلي أعلى من التربة المحتوية على نسبة منخفضة من المادة العضوية وهذا يعود إلى أن تجمع المادة العضوية على سطح التربة يزيد من حفظ التربة للمغنيسيوم في الطبقة السطحية مما يزيد من كمية المغنيسيوم الجاهز للنبات. إن قابلية الأتربة المحتوية على كميات عالية من المادة المتحللة جزئياً وغير المتحللة على تثبيت المغنيسيوم أقل من قابلية الترب الفقيرة بالمادة العضوية.

٣- درجة تفاعل التربة:

إن الأتربة الحامضية تسود في المناطق الرطبة ذات الأمطار الغزيرة ومن هذا وجد بان لدرجة تفاعل التربة دوراً كبيراً في مقدار ما تحتويه الترب من المغنيسيوم ومدى جاهزيته إذ وجد من البحوث والدراسات بان الترب الحامضية والرملية في المناطق التي تكون فيها كمية الأمطار متوسطة إلى عالية تعاني من نقص المغنيسيوم بسبب عمليات فقد الترب للمغنيسيوم من مقد التربة بوساطه عمليات الغسل بالأمطار الغزيرة.

٤- تركيز الكاتيونات:

إن جاهزية المغنيسيوم لامتصاص النبات له تتأثر بتركيز الكاتيونات الأخرى في محلول التربة فمثلاً زيادة تركيز البوتاسيوم والكالسيوم في محلول التربة يقلل من عملية امتصاص المغنيسيوم لحصول عملية التضاد والتزاحم على جهات الامتصاص. والترب ذات السعة التبادلية الكاتيونية الواطئة ربما تتعرض إلى مشاكل ترتبط بالتضاد الذي يحصل بين البوتاسيوم والمغنيسيوم في ظروف المستويات العالية من البوتاسيوم فالسعة التنظيمية الواطئة لمثل هذه الترب ربما ينتج عنها وجود جزء كبير من العناصر الغذائية في محلول التربة.

أسمدة المغنيسيوم

من أسمدة المغنيسيوم المهمة والواسعة الانتشار لمعالجة نقص المغنيسيوم في التربة إضافة إلى معالجة نقص الكالسيوم ودرجة تفاعل التربة هو سماد الدولومايت الذي يعد أكثر الأسمدة استعمالاً وأرخصها ثمناً وفيما يأتي أهم أسمدة المغنيسيوم:

الدلومايت $\text{CaCO}_3\text{MgCO}_3$ نسبة المغنيسيوم فيه ١٢٪

أوكسيد المغنيسيوم MgO نسبة المغنيسيوم فيه ٤٥٪

فوسفات الامونيوم - المغنيسيوم $\text{MgNH}_4\text{PO}_4\text{H}_2\text{O}$ نسبة المغنيسيوم فيه ١٤,٨٪

الكيسيرايت $\text{MgSO}_4\cdot\text{H}_2\text{O}$ نسبة المغنيسيوم فيه ١٨,٢٪

كبريتات المغنيسيوم $\text{MgSO}_4\cdot 7\text{H}_2\text{O}$ نسبة المغنيسيوم فيه ١٠,٥٪

$\text{K}_2\text{SO}_4\cdot 2\text{MgSO}_4$ Langbeinite نسبة المغنيسيوم فيه ١١,٢٪

كربونات المغنيسيوم MgCO_3 نسبة المغنيسيوم فيه ٢٧٪

هناك عدد من الملاحظات المهمة عن أسمدة المغنيسيوم يجب ملاحظتها والعمل بها وهي:

١- تعد أسمدة المغنيسيوم الحاوية على الكبريتات أسرع من أسمدة المغنيسيوم الحاوية على الكربونات ولكنها أعلى سعراً.

٢- في الترب الحامضية ينصح بإضافة الدولومايت، في حين في الترب المتعادلة ينصح بإضافة كبريتات المغنيسيوم.

٣- فوسفات الامونيوم - المغنيسيوم ينصح باستعمالها لنباتات البستنة وخاصة النباتات صغيرة العمر والحساسة لأشكال المغنيسيوم الأخرى.

المحاضرة الثامنة

الحديد

حديد التربة ومصادره:

يكون حديد التربة ما يقرب من ٢,٤٪ من وزن قشرة الارض بالصيغة الوزنية (Burlson and Gunningham 1963) في حين يؤكد الباحثان (مينكل وكيربي، ١٩٨٧). ان الحديد يكون ما يقرب من ٥٪ وزن قشرة الارض والجزء الاكبر منه يوجد في الصفائح البلورية لمختلف المعادن. ويشير (Bowen, 1979) الى ان متوسط المحتوى الطبيعي للحديد في مناطق العالم المختلفة هو (٤٠٠٠٠) ملغم/ كغم ويشير (أبو ضاحي واليونس، ١٩٨٨) الى ان الحديد يوجد في الترب بحدود ٢٠٠٠٠ ملغم/ كغم. ومن اهم المعادن الاولية التي تحتوي عل الحديد في صفائحها البلورية هي:

١. الاكاسيد وهي تضم المعادن الاتية:

Hematite Fe₂O₃

Goethite FeOOH Fe₂O₃. H₂O

٢. الكبريتيدات – وهذه تضم المعادن الاتية:

Pyrid FeS

Pyrrhotie Fe_{1-x}S

٣. الكربونات وتضم المعدن Siderite (FeCO₃).

٤. الكبريتات وتضم المعادن Jarosite [KFe₃(OH)₆(SO₄)₄].

٥. السليكات - وهذه تضم المعادن Chamosite glauconite ومعدن الاولفين [(Mg,Fe)₂SiO₄].

٦. الحديد ربما يوجد ايضا في صفائح المعادن الثانوية مثلا الاليت والكولنيت.

ان محتوى المعادن الثانوية من الحديد يعود الى عمليات التجوية التي تحدث على المعادن الاولية.

ان الحديد الذائب في محلول التربة الناتج عن عمليات التجوية للمعادن الاولية والثانوية قليل جداً مقارنة بالحديد الكلي للتربة. والسبب في هذا الانخفاض لحديد محلول التربة الجاهز للامتصاص من لدن النبات هو ان معظم مركبات الحديد السائدة في التربة غير قابلة للذوبان في الماء. وجد الباحثان (Jadhav and Malewlewer 1980) عند دراستهما لترب مختلفة النسجة وذات محتوى عال من كربونات الكالسيوم بان الحديد الكلي يتراوح بين ٥١٢٠٠ - ٧٧٨٠٠ ميكروغرام/ غم تربة في حين ان الحديد الجاهز في هذه الترب قد بلغ ٥,٦ - ٤,١ ميكروغرام/ غم تربة. ويضم الحديد المعدني الذائب في محلول التربة الاشكال الاتية:



العوامل التي تشارك في انخفاض جاهزية الحديد وظهور اعراض النقص على النبات:

ان من اهم العوامل التي تؤدي الى انخفاض معدل الحديد الجاهز في التربة مما يسبب ظهور اعراض النقص على اجزاء النبات هي:

١- **مادة الاصل:** ان انخفاض محتوى مادة الاصل التي تتكون منها التربة لعنصر الحديد يؤدي الى انخفاض محتوى محلول هذه التربة من الحديد الجاهز المتحرر نتيجة عمليات التجوية للمعادن الاولية والثانوية المكونة لمادة الاصل والحاوية على الحديد.

٢- **كربونات الكالسيوم الحرة:** ان ارتفاع محتوى التربة من كربونات الكالسيوم الحرة يؤدي الى ارتفاع درجة تفاعل التربة اي زيادة القاعدية هذه الظروف تؤدي الى ترسب الحديد على صورة هيدروكسيد الحديد وتحويله من صورة جاهزة الى صورة غير جاهزية قد تعمل كربونات الكالسيوم ايضا على تحسين تهوية التربة وهذه ظروف ملائمة لأكسدة الحديد Fe²⁺ الى Fe³⁺ وهو صورة غير متيسرة للامتصاص لسهولة ترسبه من محلول التربة.

٣- **المستويات العالية من الفسفور في التربة:** تعمل على ترسيب الحديد من محلول التربة على شكل فوسفات الحديد ويصبح بذلك الحديد غير جاهز للامتصاص من لدن النبات. هذه الحالة تحدث بدرجة كبيرة في التربة المتعادلة والترب الجيرية.

- ٤- التراكيز العالية من الكالسيوم والمغنيسيوم والبوتاسيوم في محلول التربة كذلك تؤدي الى تقليل امتصاص النبات للحديد، نتيجة التأثير التراكمي على جهات الامتصاص.
- ٥- المستويات العالية من العناصر الصغرى: مثل النحاس والزنك في محلول التربة تؤدي ايضا الى انخفاض كمية الحديد الجاهز في التربة، وذلك عن طريق احلال هذه العناصر محل الحديد الموجود في المركبات المغلفة وهذا بدوره يقلل من كمية الحديد التي تنتقل الى جذور النبات. ان الحديد المتحرر نتيجة هذا الاحلال يكون معرضاً لعمليات الاكسدة والترسيب التي تحول الحديد الجاهز الى حديد غير جاهز للامتصاص من لدن النبات.
- ٦- درجة تفاعل التربة: في الترب ذات الدرجة المرتفعة (PH العالي) يقل نشاط Fe^{+3} في محلول تلك التربة. اذ يتفاعل مع OH مما يؤدي الى ترسبه على شكل $Fe(OH)_3$ كما في المعادلة الاتية:



اقل مستوى للحديد الذائب في محلول التربة هو عند درجة التفاعل ما بين (٦,٥ - ٨) ولهذا فان الترب الحامضية تحتوي على مستويات من الحديد الذائب اعلى من الترب القاعدية، مما يؤدي الى ظهور حالة النقص بهذا العنصر في النباتات التي تنمو في الترب القاعدية. كذلك تؤثر العوامل الوراثية للنبات والاضرار التي تصيب الجذور على امتصاص الحديد.

الوظائف الحيوية للحديد

- ان ضرورة الحديد للعمليات الحيوية للنبات لا تحتاج الى سؤال. ذلك ان عنصر الحديد يؤدي دوراً كبيراً وموثراً في العمليات الحيوية للنبات وذلك اما عن طريق اشتراكه المباشر كجزء تركيبى لمواد النبات او تنشيطه للعمليات الانزيمية داخل النبات لهذا فان اهم الوظائف الحيوية للحديد هي:
١. يعد عنصر الحديد جزءاً تركيبياً للسايتركرومات النباتية المسؤولة عن نقل الالكترونات، كذلك يدخل الحديد في النظام الانزيمي للهيم والهمين مثل Catalase و Peroxidas.
 ٢. يشارك الحديد في عمليات الاكسدة والاختزال في عمليتي التنفس والتركيب الضوئي.
 ٣. يدخل الحديد في تركيب الـ Ferredoxin المركب الرودوكسي الاول الثابت لسلسلة الانتقال الالكتروني في التركيب الضوئي.
 ٤. يدخل في تركيب الكلوربلاست اذ يحتوي الكلوروبلاست على ٨٠٪ من الحديد الكلي في النبات، كذلك يدخل الحديد في تركيب البلاستيدات الخضر. ان النباتات المجهزة بصورة جيدة بالحديد تكون كمية الكلوروفيل فيها عالية.
 ٥. يشارك في تكوين البروتينات النباتية.
 ٦. يشارك في تنشيط العديد من الانزيمات مثل Nitrate reductase وانزيم Nitrogenase.

احتياج النبات لعنصر الحديد:

ان محتوى التربة الكلي من عنصر الحديد أكثر مما يحتاجه النبات، وبصورة عامه ان أكثر المحاصيل الزراعية تحتاج الى ٥,٥ جزء بالمليون من هذا العنصر، على حين يتراوح مستوى الحديد الكلي ٢٠,٠٠٠ ألف جزء بالمليون. وتختلف النباتات من حيث احتياجها لعنصر الحديد، لهذا فإن التحليل النباتي يعد عاملاً مساعداً في وضع الخطة التسميدية، اذ عن طريقه يمكن معرفة مدى احتياج النبات للعنصر الغذائي. والجدول الاتي يوضح مستويات الحديد التي تولد حالة النقص في النبات اضافة الى المستويات المنخفضة، والمعتدلة، والمرتفعة، والمفرطة لأهم المحاصيل الزراعية مقاسه كجزء بالمليون في الأنسجة النباتية (Brown and Hanson 1977)

الجدول يوضح مستويات الحديد لأهم المحاصيل الزراعية مقاسة كجزء بالمليون في الانسجة النباتية

المحصول	مستوى ظهور اعراض النقص	التركيز المنخفض	التركيز الاعتيادي	التركيز المرتفع	التركيز المفرط
الذرة الصفراء	اقل من ١٠	٢٠-١٠	٢٥٠-٢١	٣٥٠-٢٥١	أكثر من ٣٥٠
فول الصويا	اقل من ٣٠	٥٠-٣١	٢٥٠-٥١	٥٠٠-٣٥٠	أكثر من ٥٠٠
الجب	اقل من ٢٠	٥٠-٢١	٢٥٠-٣١	٤٠٠-٢٥١	أكثر من ٤٠٠
الحشائش	-	اقل من ٥٠	١٥٠-٥٠	-	أكثر من ٣٠٠
محاصيل الحبوب الصغيرة	-	اقل من ٢٠	٢٥٠-٢١	-	أكثر من ٥٠٠

اسمدة الحديد

ان من اهم اسمدة الحديد هي:

١. كبريتات الحديدوز (FeSO₄.7H₂O):

ان سمد كبريتات الحديدوز هو أكثر اسمدة الحديد انتشاراً واستعمالاً في خصوبة التربة وتغذية النبات. ودرجة ذوبانه اعلى من بقية الاسمدة الحديدية وأكثر جاهزية لامتصاص النبات له يحتوي هذا السمد على ٢٠٪ حديد.

٢. اوكزالات الحديدوز (FeC₂O₄.2H₂O):

ان هذا السمد يصنع من تفاعل املاح الحديد الذائبة مع حامض الاوكزاليك ويحتوي هذا السماء على ٣٠٪ حديد نصف هذه النسبة تكون ذات موصفات مخلبية. هذا السمد قليل الذوبان بالماء، ويكون جاهزاً ومتيسراً للنبات من خلال اضافته عن طريق الرش او اضافته الى الجذور. وبصورة عامه يستعمل هذا السماء اما عن طريق اضافته بالرش او بالتغيير.

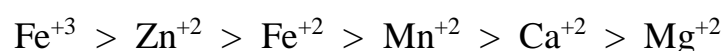
٣. كبريتات الحديدك [Fe₂(SO₄)₃]:

ان سمد كبريتات الحديدك اقل ذوباناً وجاهزية من سمد كبريتات الحديدوز ويحتوي على ٢٨٪ حديد.

٤. فوسفات امونيوم الحديدوز ويحتوي على ٢٩٪ حديد.

٥. اسمدة الحديد المخلبية

قبل التطريق الى اسمدة الحديد المخلبية يجب معرفة المواد المخلبية: ماهيتها وصفاتها وخصائصها وتفاعلاتها ان كلمة Chelate اي مخلب كلمة مشتقة من كلمة اغريقية هي Claw ومعناها مخلب. في الكيمياء العضوية تعني كلمة Chelate التركيب الحلقي الناتج عن ارتباط ايون بمجموعتين او أكثر من المجاميع الموزعة للإلكترونات لتكوين جزيئة واحدة والعنصر الذي يخلب او يرتبط بهذا التركيب الحلقي يفقد سيطرته على تفاعلاته الكيمياوية اي يترسب داخل التركيب الحلقي او بصيغة اخرى يتحول الى صورة غير جاهزة لامتصاص النبات لها. ان معظم الكاتيونات المتعددة التكافؤ تستطيع ان تكون مواد مخلبية ولكنها تختلف من حيث تحررها. ان درجة الثبات والمقدرة التبادلية للعناصر يمكن وضعها بالتسلسل الآتي:



ان المواد المخلبية يمكن ان تستعمل بعده طرق لتصحيح حالة النقص بالعناصر الغذائية ومن هذه الطرق:

- طريقة الرش على النبات.
- الاضافة الى التربة بصورة مباشرة.

للمواد المخلبية انواع مختلفة بصفاتها الكيمياوية والفيزيائية ومن هذه الانواع:

١. المواد المخلبية المؤثرة في الترب الحامضية.
٢. المواد المخلبية المؤثرة في الترب الكلسية.
٣. المواد المخلبية المؤثرة في الترب الحامضية والترب القاعدية.

الصفات المهمة للمواد المخلبية:

اولاً) عند اضافتها بطريقة الرش على النباتات.

١. سهولة امتصاص النبات لها.
٢. سهولة الانتقال داخل اجزاء النبات.
٣. سهولة التحلل داخل النبات حتى يصبح العنصر الذائب المخلوب جاهزاً للنبات.
٤. لا تحدث المادة المخلبية اي ضرر ميكانيكي او حرق على النبات ويجب ان توضع بالتراكيز الملائمة.

ثانياً) الصفات الخاصة بالمواد المخلبية المضافة الى التربة.

١. يجب ان لا تكون هناك سهولة باستبدال العنصر المخلوب داخل التربة بكتيونات اخرى متعددة التكافؤ.
٢. يجب ان تكون ثابتة ضد التحلل المائي ودرجة تفاعل التربة الخاصة بها.
٣. يجب ان تكون مقاومة للتحلل بواسطة الكائنات الحية الدقيقة.
٤. يجب ان تكون قابلة للذوبان بالماء.
٥. يجب ان لا تكون سهلة الترسيب بالأيونات او المواد الغروية.
٦. يجب ان تكون جاهضة للنبات عند الجذور او داخل النبات.
٧. يجب ان لا تكون مضرّة بالنبات عند التراكيز الواجب اضافتها لتصحيح النقص الحاصل.

من المواد المخلبية العضوية الواسعة الانتشار والاستعمال هي:

1- EDTA: ethylene diamine tetraacetic acid.

هذه المواد فعالة جداً في الترب الحامضية. الا انها في الترب الكلسية تكون مضرّة للنبات في بعض الظروف وتكون غير ثابتة في ظروف اخرى.

2- DTPA: diethylene triamine penta acetic acid.

3- HEEDTA: hydroxyethyl ethylene diamine triacetic acid.

4- CDTA: cyclohexane trans 1, 2-diamino tetra acetic acid.

5- EDDHA: ethylene bis Alpha-imino-2-hydroxy- phenyl-acetic acid.

ان المواد المخلبية ٣ و ٤ و ٥ لها درجة ثبات اعلى من درجة ثبات EDTA في الترب الكلسية.

ان المواد المخلبية لا يمكن مزجها بالاسمدة الكيمائية السائلة التي تحتوي على الامونيا. وذلك لان درجة تفاعل التربة العالية ترسيب العنصر المخلوب وذلك لان الهيدروكسيد ينافس الايون المخلوب. كذلك لا ينصح باضافة المواد المخلبية الى الاسمدة السائلة الحاوية على حامض الفسفوريك الحر، وذلك لان الهيدروجين ينافس الايونات المخلوبة.

بعد هذه المقدمة البسيطة والمتحصرة عن المواد المخلبية العضوية نعود الى اهم اسمدة الحديد المخلبية وهي:

١. Fe-EDTA درجة ثباته حتى درجة تفاعل ٦ للتربة.
٢. Fe-EDDEA درجة ثباته عالية وهي بين درجة تفاعل ٤ - ١٠.
٣. Fe-DTPA درجة ثباته حتى درجة تفاعل ٧ للتربة.

ان اسعار هذه المركبات عالية جداً.

ويشمل الحديد العضوي اضافة الى اسمدة الحديد المخلبية المصنعة، مركبات حديد عضوية معقدة ذاتية لها دور مهم في تجهيز النبات بعنصر الحديد وهذه المركبات ربما يكون مصدرها:

١. المادة العضوية التي تفرزها جذور النبات مثل مادة الـ riboflavin المختزلة التي يفرزها نبات عباد الشمس.
٢. مركبات ناتجة من المادة العضوية للتربة متحدة بالعناصر الغذائية مثل $Fe^{+2} + polyphenols$ او اتحاد العناصر بالحوامض الأليفاتية البسيطة وحامض الفولفيك.

ملاحظات مهمة حول عنصر الحديد:

- ١- في الترب المغمورة بالماء يحصل اختزال للحديد من Fe^{+3} الى Fe^{+2} وهذا يؤدي الى زيادة صورة الحديد الاكثر جاهزية لامتصاص النبات له والاكثر ذوباناً وقد تؤدي عملية الاختزال هذه عن طريق الكائنات الحية غير الهوائية الى زيادة تركيز الحديد الذائب في محلول التربة الى حد السمية للنبات. هذه أكثر انتشاراً في حقول الرز بصورة عامه يمكن القول في الترب الرديئة التهوية ان تركيز Fe^{+2} يزداد على حساب تركيز Fe^{+3} .
- ٢- الاسمدة المخيلية والمركبات العضوية الحاوية على الحديد تحرر الحديد ببطء وتكون مهمة في تجهيزه لجذور النبات، اضافة الى ان التحرر البطيء لعنصر الحديد من هذه المركبات يقلل من نسبة الحديد الذي يفقد عن طريق الترسيب او عمليات الاكسدة داخل التربة.
- ٣- اضافة املاح الحديد المعدنية كثيراً ما تكون بدون تأثير في معالجة الاصفرار الناتج عن نقص عنصر الحديد بسبب تحولها السريع الى اوكسيدات غير ذائبة وحتى معاملة الرش في عدد من الحالات تكون نتائجها غير مرضية وناجحة دائماً لذلك ينصح في مثل هذه الحالة اضافة الاسمدة المغلفة الحاوية على الحديد الى التربة او بالرش.
- ٤- ان استعمال الاسمدة غير الحاوية على الحديد قد تؤدي في بعض الاحيان وبصورة غير مباشرة الى التقليل من اعراض نقص الحديد، مثال ذلك اسمدة النيتروجين الحاوية على الامونيوم والاسمدة الاخرى المولدة للحموضة فهي تؤدي الى زيادة جاهزية الحديد نتيجة انخفاض درجة تفاعل التربة، كذلك الاسمدة العضوية تؤدي في بعض الاحيان الى تقليل اعراض نقص الحديد نتيجة تكون مركبات معقدة من الحديد والمادة العضوية التي تحرر الحديد بدورها ببطء.

الزنك

زنك التربة ومصادره

يوجد عنصر الزنك الخارصين (Zn) في الترب بمعدلات تتراوح بين ١٠ - ٣٠٠ جزء بالمليون في المعادن المختلفة للتربة. من المعادن الاولية المهمة التي تضم الزنك في صفاتها هي:

١- الكبريتيدات وتضم المعدن (ZnS) Sphalerite

٢- الكربونات وتضم المعدن (ZnCO₃) Smithsonite

٣- السليكات وتضم المعدن (Zn₄(OH)₂Si₂O₇.H₂O) Hemimorphite

كذلك يوجد الزنك بالإضافة الى وجوده في المعادن الاولية في معادن الطين الثانوية او المادة العضوية بصورة متبادلة. ان تحرر الزنك من المعادن الاولية والمعادن الثانوية ومادة التربة العضوية هو الذي يكون زنك محلول التربة. ان كمية الزنك في محلول التربة اي الزنك الذائب الناتج من عمليات التجوية للمعادن الاولية او المتحرر من المعادن الثانوية قليلة جدا مقارنة بكمية الزنك الكلي للتربة، وهذا يعود الى وجود عوامل كثيرة تقلل من كمية الزنك الجاهز للامتصاص من لدن النبات.

العوامل التي تشارك في انخفاض جاهزية الزنك وظهور اعراض النقص على النبات

من العوامل المهمة التي تؤدي الى تقليل كميته الزنك الجاهز في التربة والتي تسبب بظهور اعراض النقص على النبات هي:

١- **درجة تفاعل التربة:** يلحظ بصورة عامة ان الزنك أكثر جاهزية في الترب الحامضية منه في الترب القاعدية. وهذا يعود الى عدد من الاسباب منها: ان ارتفاع درجة تفاعل التربة تؤدي الى زيادة شدة امتصاص الزنك الى المعدن goethite (نوع من اكاسيد الحديد المائية) وهذا يؤدي الى تثبيد حركه الزنك في الترب القاعدية و احيانا في الترب المتعادلة. كذلك عند ارتفاع درجة تفاعل التربة يقل معدل ذوبان المركبات الحاوية على الزنك وخاصة عندما تكون كمية كربونات الكالسيوم عالية.

٢- **في الترب المعدنية:** تكون الطبقة السطحية للتربة أكثر محتوى من الزنك الجاهز من الطبقة تحت السطحية للتربة وهذا يعود الى العلاقة الواضحة بين الزنك الجاهز والمادة العضوية للتربة السطحية الناتجة من تحلل بقايا النبات. ومن هذا يتضح ان اية عملية تسوية او قشط للتربة وكذلك عمليات التعرية المائية والريحية تؤدي الى جرف التربة السطحية وبذلك يقل محتوى التربة من الزنك الجاهز.

٣- **المستويات العالية من عنصر الفسفور في التربة:** تظهر اعراض نقص الزنك في الترب الغنية بعنصر الفسفور وهذا يحصل اعتيادياً عند الاضافات الكبيرة من الاسمدة الفوسفاتية وخاصة عندما توضع قرب النبات او على خطوط التراكيز العالية من الفسفور قريبا من المحور الجذري للنبات تعمل على:

- بطء انتقال الزنك من الجذور الى اجزاء النبات العليا مما يؤدي الى تجميع الزنك في الجذور.

- التراكيز العالية من الفسفور تتداخل مع الوظائف الحيوية للزنك.

٤- **انخفاض درجة الحرارة وانضغاط التربة** يؤدي الى ظهور اعراض نقص الزنك على النبات في عدد من المناطق وذلك بسبب تأثير هذه الظروف في نمو الجذور، اذ تؤدي الى ضعف النمو للجذور الذي يؤدي بدوره الى قلة امتصاص العناصر الغذائية. ويؤدي انخفاض درجة الحرارة ايضا الى انخفاض معدل تحرر الزنك من المادة العضوية نتيجة قلة نشاط الكائنات الحية الدقيقة المسؤولة عن تحلل المادة العضوية.

٥- **الامطار الغزيرة** تؤدي الى فقدان عنصر الزنك نتيجة عمليات الغسل مما يؤدي الى ظهور اعراض النقص.

- ٦- يقل الزنك الجاهز للامتصاص من لدن النبات في التربة الرملية ذات المحتوى الواطئ من المادة العضوية. ان انخفاض محتوى التربة من المادة العضوية يؤدي بصورة عامة الى انخفاض معدل تغليف عنصر الزنك مما يعرضه الى عمليات تكون المركبات غير الجاهزة للذوبان والامتصاص من لدن النبات.
- ٧- مادة الاصل للتربة واحتوائها على المعادن الاولية الحاوية على عنصر الزنك عامل اساسي ورئيس له علاقة بمحتوى التربة من الزنك ففقر مادة الاصل الى عنصر الزنك يؤدي الى انخفاض مستويات الزنك في التربة.
- الوظائف الحيوية للزنك:**

يؤدي الزنك دوراً كبيراً في العديد من الوظائف الحيوية. ومن اهم الوظائف التي يقوم بها هذا العنصر الذي يعد من العناصر الضرورية لنمو النبات هي:

- ١- انه يدخل في تركيب وتكوين عدد من الانزيمات مثل dehydrogenases و proteinases و peptidases.
- ٢- يعمل على تحفيز عدد من الانزيمات منها انزيم enolase وانزيم Carbonic anhydrase الذي يوجد في الكلوروبلاست ويعمل منظماً للرقم الهيدروجيني للخلية ويمنع بذلك تغير طبيعية البروتينات.
- ٣- يشترك في تكوين النشاء وتنشيط انزيم النشاء الذي هو starch synthetase.
- ٤- يساعد في استطالة ساق النبات وتحفيز عمل منظم النمو Auxin، ويعتقد ان الزنك ضروري في تكوين مادة tryptophan التي تؤثر بدورها في نشاط منظم النمو، وكذلك يؤثر الزنك في نشاط الانزيمات التي تؤثر هي ايضا في نشاط منظم النمو وهي Tryptophan synthetase وكذلك له علاقة بالعمليات الحيوية لمادة tryptamine، التي تؤثر في نشاط منظم النمو.
- ٥- يحفز تكون سايتوكروم C ويحافظ على ثبات اجزاء الرايبوسومات.

احتياج النبات لعنصر الزنك

ان محتوى معظم الترب من الزنك يزيد عما تحتاجه النباتات منه ولكن جاهزيته هي العامل المحدد والمهم. ان التحليل النباتي لعنصر الزنك يساعد على وضع الخطة التسميدية لمختلف النباتات، ومن الدراسات والبحوث وجدت المستويات الاتية الملائمة لطائفة من المحاصيل الزراعية من عنصر الزنك ومن هذه المحاصيل: الذرة الصفراء، والذرة البيضاء وفول الصويا:

- ان اقل من ٢٠ جزء بالمليون زنك في انسجة النبات ربما يؤدي الى ظهور اعراض النقص.
- ٢١ - ٧٠ جزء بالمليون تراكيز ملائمة.
- ٧٠ - ١٥٠ جزء بالمليون تراكيز عالية.
- اعلى من ١٥٠ جزء بالمليون هي تراكيز قد تؤدي الى السمية.

ان النباتات تختلف فيما بينها من حيث حساسيتها لعنصر الزنك. ولقد وجد ان نباتات الشوفان، والحنطة، والشعير والزوان وكذلك الاعشاب انما هي نباتات غير حساسة، اما نباتات البطاطا، والطماطا، والبنجر السكري والجبث فهي نباتات متوسطة الحساسية. اما النباتات كثيرة الحساسية لنقص الزنك فهي الذرة الصفراء، والكتان والبقلاء والجدول الاتي يصنف النباتات بحسب حساسيتها لعنصر الزنك.

تصنيف النباتات بحسب حساسيتها لمحتوى التربة من الزنك

غير حساسة	متوسطة الحساسية	كثيرة الحساسية
اسبركس	الجت	الفاصوليا
الشعير	الثوندر	الذرة الصفراء
الجزر	البرسيم	الكتان
الكرفس	القطن	العنب
الاعشاب	البصل	الخوخ
الشوفان	البطاطا	البكان
البازلاء	فستق العبيد	فول الصويا
الحنطة	الذرة البيضاء	شجر التانغ
	العشب السوداني	
	الطماطا	

اسمدة الزنك:

ان من اهم الاسمدة الحاوية على عنصر الزنك والواسعة الاستعمال هي:

- ZnEDTA وهذا السماء يحتوي على ٦٪ زنك

- Na₂ZnEDTA وهذا السماء يحتوي على ١٤٪ زنك

- NaZnEDTA وهذا السماء يحتوي على ١٣٪ زنك

- NaZnHEDTA وهذا السماء يحتوي على ٩٪ زنك

- وهناك اسمدة مخليبية اخرى مثل ZnHEEDA و ZnEDDHA

٢- كبريتات الزنك:

ان سماد كبريتات الزنك (ZnSO₄.H₂O) من اهم الاسمدة الحاوية على الزنك التي تضاف بطريقة الرش. وكذلك يمكن استعمال هذا السماد بعد خلطه بالاسمدة الصلبة.

ان (Zinc sulfate monohydrate ZnSO₄.H₂O) يحتوي على ٣٥٪ زنك.

اما (Zinc sulfate heptahydrate) ZnSO₄7H₂O يحتوي على ٣٣٪ زنك.

كذلك يوجد كبريتات الزنك القاعدية [ZnSO₄.4Zn(OH)] وهذه تحتوي على ٥٥٪ زنك.

٣- اوكسيد الزنك (ZnO):

ان اوكسيد الزنك غير قابل للذوبان بالماء يحتوي على ٨٠٪ زنك واسعاره منخفضة نسبياً.

٤- فوسفات الامونيوم الحاوية على الزنك

يحتوي على هذا السماء على ٣٣,٥٪ زنك وهو قليل الذوبان بالماء ويمكن اضافته الى التربة او بطريقة الرش.

٥- كبريتيد الزنك (ZnS):

يسمى هذا السماد بسماد Sphalerite ويحتوي على ٦١٪ زنك و ٣٠٪ كبريت وهو قليل الذوبان بالماء.

٦- هناك اسمدة أخرى مثل **Zn Polyflavonoids** ويحتوي على ١٠٪ زنك.

٧- وكذلك سماد **Zn Ligninsulfonate** ويحتوي على ٥٪ زنك.

ملاحظات مهمة حول عنصر الزنك

- ١- في الترب ذات الحامضية الخفيفة وفي حالة نقص الزنك ينصح بإضافة (١١,٢ - ٢٢,٤) كغم/ هكتار من $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ للمحاصيل الحقلية. ويضاف اعتيادياً ٠,٢٣ كغم لكل شجرة حول الجذع من نفس السماد.
- ٢- في الترب القاعدية والترب المزيجية الرملية ينصح بإضافة (٤٤,٨ - ٧٨,٤) كغم/ هكتار من $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ وذلك للمحاصيل الحولية والأشجار المثمرة. وينصح بطريقة الرش بإضافة (١١,٤) كغم من نفس السماد لكل ١٠٠ غالون (٢٧٩ لتر) تضاف قبل تفتح البراعم للأشجار المثمرة في الترب القاعدية.
- ٣- في الترب الحامضية الرملية يكون من الأفضل إضافة الزنك بطريقة الرش أو استعمال سماد غير كبريتات الزنك عند الإضافة للتربة وذلك لكون كبريتات الزنك ذات درجة ذوبان عالية من بين الاسمدة الحاوية على الزنك مما يعرضها لفقد من التربة بعمليات الغسل.
- ٤- في الترب القاعدية التي لها القابلية على تثبيت الزنك يفضل إضافة اسمدة الزنك المغلفة.

المنغنيز

منغنيز التربة ومصادره

ان المنغنيز (Mn) من العناصر الصغرى الضرورية لنمو النبات ويوجد في الترب بمعدلات مختلفة تتراوح بين ٢٠٠ - ٣٠٠٠ جزء بالمليون وهذه المستويات الكلية للمنغنيز كثيرة الانتشار بين الترب المختلفة ويوجد المنغنيز في مختلف الصخور الاولية، ويتحرر من هذه الصخور عن طريق عمليات التجوية على شكل معادن حاوية عليه تعد بدورها مصدراً لمنغنيز التربة. ومن هذه المعادن الى تحتوي على المنغنيز:

١- الاكاسيد البسيطة وتضم المعادن الاتية:

Pyrolusite MnO_2

Hausmannite Mn_3O_4

Manganite $MnOOH$

٢- الاكاسيد المعقدة وتضم المعادن الاتية:

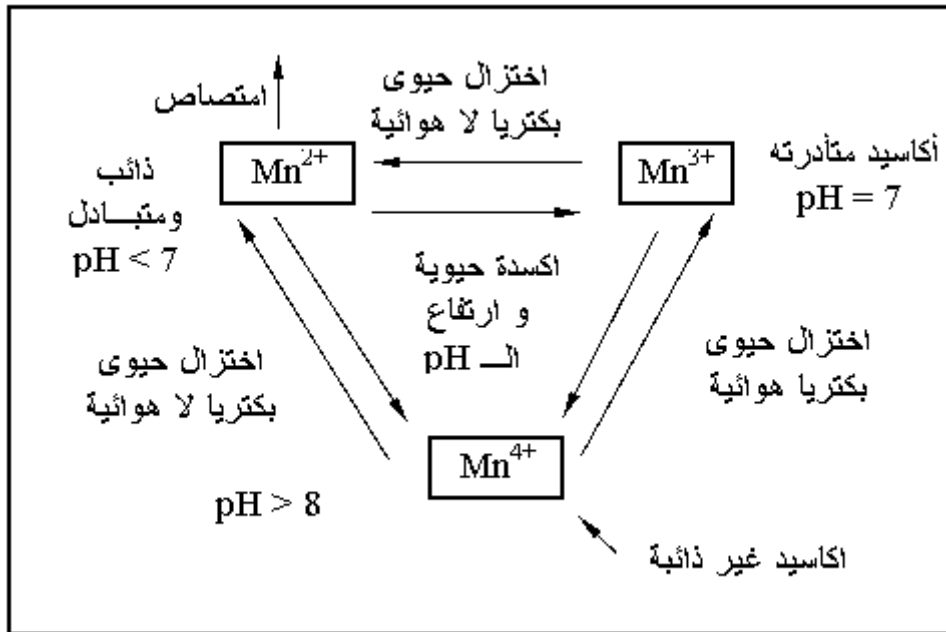
Braunite $(Mn, Si)_2O_3$

وكذلك معدن Psilomelane

٣- الكربونات وتضم rhodochrosite $(MnCO_3)$

٤- السليكات وتضم rhodonite $(MnSiO_3)$

ان اهم اشكال المنغنيز الموجودة في التربة هي المنغنيز الثنائي التكافؤ (Mn^{2+}) وهذا يكون موجودا في محلول التربة او مدمصاً على سطوح معادن الطين والمادة العضوية. والشكل الاخر للمنغنيز هو اكاسيد المنغنيز التي تحتوي على المنغنيز بصورتيه الثنائية والثلاثية التكافؤ. ان العلاقة بين اشكال المنغنيز يمكن توضيحها بالشكل الاتي:



يلاحظ من هذا الشكل بان المنغنيز يوجد بثلاث حالات من التكافؤ وهي:

١- ايونات ثنائية التكافؤ Mn^{2+} بصورة ذائبة في محلول التربة او مدمصة الى سطوح الطين والمادة العضوية ويزداد تركيز هذه الحالة من المنغنيز في الترب الحامضية ذات درجة تفاعل منخفضة.

٢- المنغنيز الثلاثي التكافؤ على صورة اوكسيد Mn_2O_3 ويزداد تركيزه في الترب ذات درجة تفاعل متعادلة.

٣- المنغنيز الرباعي التكافؤ على صورة اوكسيد حامل MnO_2 ويزداد تركيز هذه الصورة من المنغنيز في الترب التي تكون درجة تفاعلها أعلى من (٨).

ان المنغنيز الثنائي التكافؤ الموجود في محلول التربة بصورة ذائبة يكون في حالة اتزان مع المنغنيز الثنائي التكافؤ الموجود بصورة مدمصة على معادن الطين والمادة العضوية. ان مستويات منغنيز محلول التربة وعلاقته باشكاله الاخرى تعتمد بصورة كبيرة على عمليات الاكسدة والاختزال. وكل العوامل التي تؤثر في عمليات الاكسدة والاختزال تؤثر بدورها في جاهزية منغنيز التربة.

العوامل التي تشارك في انخفاض جاهزية المنغنيز وظهور اعراض النقص النبات:

ان العوامل التي تؤدي الى قلة المنغنيز الجاهز في محلول التربة هي بصورة عامة تضم عوامل خاصة بالصفات الفيزيائية والكيميائية وعوامل مناخية واهم هذه العوامل هي:

١- الترب القاعدية والترب ذات الحامضية الخفية:

تؤدي درجة تفاعل التربة دوراً كبيراً في جاهزية المنغنيز، اذ تزداد جاهزيته في الترب الحامضية بسبب زيادة درجة ذوبان مركبات المنغنيز الموجودة في التربة. اما في الترب القاعدية والحامضية الخفيفة فتقل جاهزية المنغنيز الى درجة قد تظهر على أثرها اعراض نقص المنغنيز على النبات. وذلك يعود الى تكون مركبات معقدة من المادة العضوية والمنغنيز اضافة الى نشاط الكائنات الحية الدقيقة المسؤولة عن عمليات اكسدة المنغنيز يزداد عند درجة تفاعل (٧) وأكثر.

٢- الترب ذات الصرف الرديء:

في مثل هذه الترب يزداد الصرف الجانبي مما يؤدي الى فقدان المنغنيز عن هذا الطريق.

٣- ترب الـ Histosols العضوية:

في هذه الترب تتكون مركبات معقدة من المنغنيز والمادة العضوية وبذلك يقل مستوى المنغنيز الجاهز.

٤- المستويات العالية من الحديد، والنحاس والزنك:

ان سلوك المنغنيز الكيماوي يشابه سلوك الحديد والنحاس والزنك وبهذا فانها تنافسه على جهات الامتصاص (حوامل العناصر الغذائية داخل النبات) في حالة كون تراكيز هذه العناصر في محلول التربة اعلى من تركيز المنغنيز. كذلك ربما تقوم هذه العناصر بإزاحة المنغنيز من المركبات المغلفة مثل MnEDTA او مركبات اخرى وتعرضه الى عمليات التأكسد داخل التربة او عمليات اخرى تقلل من جاهزيته.

٥- الظروف الجافة:

في الظروف الجافة لا تتحلل املاح المنغنيز مائياً وبذلك تكون اقل جاهزية. كذلك يزداد معدل عمليات الاكسدة في هذه الظروف فيتأكسد المنغنيز الثنائي التكافؤ الى منغنيز ثلاثي او رباعي التكافؤ فتقل بذلك جاهزيته.

٦- كذلك تؤدي درجات الحرارة المنخفضة:

الى قلة المنغنيز الجاهز في التربة، وهذا ربما يعود الى قلة تحرر المنغنيز الى محلول التربة، وكذلك تؤدي شدة الضوء الواطئة الى ظهور اعراض نقص المنغنيز بسبب ازدياد طلب النبات لهذا العنصر.

الوظائف الحيوية للمنغنيز:

يؤدي المنغنيز دوراً كبيراً وموثراً في كثير من العمليات الحيوية للنبات ومن اهم الوظائف الحيوية التي يشارك فيها المنغنيز هي:

١- مشاركته في نظام الانتقال الالكتروني في عملية التركيب الضوئي.

- ٢- نقصه يؤدي الى تلف تركيب الكلوروبلاست.
- ٣- يؤدي الى زياد نشاط الانزيمات Oxidases.
- ٤- معظم الانزيمات في دوره TCA ومن ضمنها dehydrogenases تنشط بواسطته.
- ٥- يؤثر في تركيز منظم النمو Auxin في الأنسجة النباتية، اذ يقل هذا المنظم بوجود المنغنيز بتركيز عالية سمية.
- ٦- يؤدي نقصه الى حصول زيادة غير طبيعية في IAA وخاصة في نبات القطن.

احتياج النبات لعنصر المنغنيز:

تحتوي معظم الترب على مستويات مناسبة من المنغنيز الجاهز لنمو النبات ولهذا فان اضافة المنغنيز تكون غير ضرورية في الظروف الاعتيادية. من هذا يتضح بان هناك حاجة لكمية قليلة من هذه العنصر لمعظم النباتات. ولهذا فان وجوده بكميات عالية تحدث السمية للنبات. ان تراكيز عنصر المنغنيز التي هي بين ٢٠-١٥٠ جزء بالمليون في انسجة النبات لمعظم المحاصيل المعروفة عند الطور الخضري تعد مناسبة، ولكن التراكيز التي هي اقل من ٢٠ جزء بالمليون تشير الى وجود نقص بهذا العنصر في النبات. ان وجود ٢٠٠ جزء بالمليون من عنصر المنغنيز او أكثر في انسجة النباتات يعد تركيزاً عالياً قد يؤدي الى السمية لمعظم النباتات.

وتختلف النباتات من حيث احتياجاتها لعنصر المنغنيز وكذلك في امتصاصها لهذا العنصر، ومثال ذلك نبات الشوفان قد يحتوي على ٧٠٠ جزء بالمليون من المنغنيز في انسجته ولكن نبات التبغ في نفس التربة التي ينمو فيها نبات الشوفان قد يصل تركيز المنغنيز في انسجته الى ٣٠٠٠ جزء بالمليون. ويجب ان نذكر كذلك بان نبات الشوفان يستطيع مقاومة التراكيز العالية من المنغنيز التي تعد سامة لنبات التبغ عن طريق عدم امتصاصه من الجذور. ان نبات فول الصويا ومحاصيل الحبوب الصغيرة تكون كثيرة الاستجابة للمنغنيز المضاف وذلك عندما يكون محتوى التربة من هذا العنصر غير ملائم وغير كافي للنمو الجيد، اما نباتات الذرة الصفراء والحشائش والجت فتكون ذات استجابة واطنة.

ان تحليل النبات يساعد على التعرف على احتياجات النباتات المختلفة من عنصر المنغنيز، والجدول الآتي يوضح التراكيز الواطنة، الاعتيادية والمفرطة لعنصر المنغنيز في الانسجة النباتية لعدد من المحاصيل الزراعية المهمة مقاسة كجزء بالمليون.

جدول يوضح مستويات المنغنيز في الأنسجة النباتية لعدد من المحاصيل الزراعية مقاسه كجزء بالمليون (Brown and Hanson 1977)

المحصول	التراكيز الواطنة والتي تظهر اعراض النقص	التراكيز الاعتيادية	التراكيز المرتفعة
الذرة الصفراء	اقل من ١٩	٢٠ - ١٥٠	اعلى من ٢٠٠
القطن	اقل من ٣٠	٣١ - ٣٠٠	—
فول الصويا	اقل من ٢٠	٢١ - ١٠٠	اعلى من ٢٥٠
الجت	اقل من ٣٠	٣٠ - ١٠٠	اعلى من ٢٥٠
الحشائش	اقل من ٣٠	٣٠ - ١٥٠	—
محاصيل الحبوب	اقل من ١٠	١٠ - ١٠٠	—

اسمدة المنغنيز:

من اهم اسمدة المنغنيز

- ١- كبريتات المنغنيز تحتوي على ٢٦ - ٢٨٪ منغنيز ($MnSO_4$).
- ٢- اوكسيد المنغنيز يحتوي على ٤١ - ٦٨٪ منغنيز (MnO).
- ٣- سماد مغلف يحتوي على ١٢٪ منغنيز ($MnEDTA$).

ملاحظات مهمة حول التسميد بعنصر المنغنيز:

- ١- يفضل اضافة كبريتات المنغنيز الى التربة الكلسية وذلك قريباً من النبات وليس بطريقة النثر لتقليل عمليات اكسدة المنغنيز.
- ٢- يفضل اضافة كبريتات المنغنيز بدلاً من الاسمدة المغلفة وذلك لكون كبريتات المنغنيز أكثر تأثيراً.
- ٣- يفضل اضافة المنغنيز بطريقة الرش على النبات في التربة الكلسية العضوية.