

الفصل الرابع

العناصر الغذائية الضرورية للنبات

Essential Nutrient Elements

Nitrogen النيتروجين

العناصر الغذائية الضرورية للنبات

Essential Nutrient Elements

مكونات النبات Plant Constituents

يحتوى التركيب الكيميائى للنبات الأخضر على ٨٠-٩٥٪ من وزنه ماء، والنسبة المضبوطة أو الصحيحة للماء فى النبات تتوقف على العديد من العوامل منها نوع النبات، درجة انتفاخه، وقت أخذ العينة النباتية (تتأثر بزمن أخذها خلال اليوم)، كمية الرطوبة بالأرض، درجة الحرارة ودرجة نشاط الرياح بجانب عوامل أخرى. وعلى هذا يكون من المتوقع اختلاف الوزن الطازج لنبات معين نتيجة لتلك العوامل السابق ذكرها، وبالتالي يكون من الخطأ أن تنسب نتائج التحليل الكيميائى للنبات إلى الوزن الطازج بل ينسب إلى المادة الجافة Dry matter والتي يتم تقديرها بوضع العينة النباتية الطازجة فى فرن على درجة حرارة ٧٠°م لمدة من ٢٤-٤٨ ساعة.

وفى العادة تمثل المادة الجافة حوالى ٥-٢٠٪ من الوزن الطازج، وتتكون المادة الجافة من شقين رئيسيين هما: الشق العضوى، ويمثل حوالى ٩٠-٩٥٪ من المادة الجافة ويتكون أساساً من الكربون والأكسجين والهيدروجين، والذي يستمدّها النبات من الماء والهواء بالإضافة إلى جزء من الفوسفور والكبريت والنيروجين والتي يكون مصدرها المحلول الأرضى. والشق الآخر هو الشق المعدنى (الرماد Ash) والذي يمثل حوالى ٥-١٠٪ من المادة الجافة ويمكن الحصول عليه بحرق المادة النباتية الجافة على درجة حرارة من ٥٠٠-٦٠٠°م أو هضم المادة النباتية الجافة بواسطة مخلوط من الأحماض فيتأكسد الكربون العضوى إلى CO₂. وفى النهاية نحصل على الرماد والذي تصبح مركباته على صورة أكاسيد أو كربونات أو أملاح حسب عملية الحرق أو الهضم. ويصل عدد العناصر الموجودة فى الرماد إلى أكثر من ٩٠ عنصراً. وهذا لا يعنى أن جميع هذه العناصر مغذيات نباتية، بل يتحدد بمدى احتياج النبات إليه ومدى مساهمة هذا العنصر فى بناء أنسجة النبات والتي تم معرفتها باستخدام المزارع اللا أرضية سواء كانت مزارع محاليل مغذية أو مزارع رملية. وفى عام ١٩٣٩ قام العالمان Stout , Arnon

بتحديد ثلاثة شروط واجب توافرها فى العنصر المغذى الضرورى وهى :

١- غياب هذا العنصر من وسط نمو النبات يؤدى إلى عدم قدرة هذا النبات على إتمام دورة حياته.

٢- عند ظهور أعراض نقص عنصر معين على النبات لا تزول هذه الأعراض إلا بإضافته لهذا النبات ولا يمكن أن يحل محله عنصر آخر فى القيام بوظيفته الحيوية فى النبات.

٣- يدخل هذا العنصر مباشرة فى عمليات الميتابوليزم وعمل الإنزيمات داخل النبات، وبالتالي يكون جزءاً محسوساً من مكونات النبات.

وعلى ذلك يعرف العنصر الغذائى أو العنصر الضرورى للنبات على أنه العنصر الذى يؤدى وظيفة ما فى حياة النبات، بحيث إذا غاب أو نقص هذا العنصر ساء النمو أو توقف، وبالتالي يقل المحصول أو ينعدم. ومن نتائج الدراسات حول أهمية العناصر المعدنية فى تغذية النبات يمكن القول بأن غالبية هذه العناصر ليست مغذيات ضرورية للنبات. وعلى ذلك يتضح أن النبات يقوم بامتصاص أى عناصر (أيونات) معدنية موجودة فى المنطقة المحيطة بالجذور (منطقة الريزوسفير)، ووجد أن للنبات قدرة اختيارية فى معدل امتصاص الأيونات المختلفة، أى أن معدل الامتصاص لا يون معين لا يكون متناسباً دائماً مع الكمية الميسرة من هذا الأيون فى الأرض.

ولقد تم تقسيم العناصر الضرورية للنبات على أساس الكمية التى يحتاجها من تلك العناصر إلى مجموعتين أساسيتين: مجموعة العناصر الضرورية الكبرى، والمجموعة الثانية هى مجموعة العناصر الضرورية الصغرى. ويوضح جدول (٤-١) هذه العناصر والصور التى تمتص عليها بواسطة النبات، وأهم المصادر الطبيعية لتلك العناصر بالأرض.

ويمكن تقسيم العناصر المغذية من حيث احتياج النبات إليها ومدى مساهمتها فى تركيبها إلى المجموعات الآتية (زين العابدين سنة ١٩٦٣):

١- عناصر تدخل فى تركيب المواد العضوية ذات التركيب المحدود، مثل الكربوهيدرات والبروتينات والكلوروفيل وغيرها، وهى عناصر فى غيابها لا يمكن أن تتكون الخلايا أو الأنسجة النباتية، ومن هذه العناصر الكربون والأكسجين والهيدروجين والنتروجين والفوسفور والكبريت والمغنسيوم.

٢- عناصر لا تدخل فى تركيب المواد العضوية ولكنها لازمة لإتمام العمليات الحيوية ويحتاج إليها النبات بكميات كبيرة نسبياً ويتوقف المحصول الناتج من النبات على مدى توفرها فى الأرض، ويتناسب طردياً مع مقدارها إلى حد معين، مثل عنصر البوتاسيوم.

٣- عناصر تعمل كعوامل مساعدة للتفاعلات الكيميائية التى تحدث فى خلايا النبات مثل: تفاعلات التمثيل والهدم، وتضم هذه المجموعة عناصر الحديد والمنجنيز والموليبدينيم.

جدول (٤-١): العناصر الغذائية الضرورية للامتصاص والصور للميسرة منها وأهم مصادرها والكمية الموجودة منها فى الأرض

متوسط الكمية فى الأرض	أهم المصادر	الصورة الأيونية الصالحة للنبات	العنصر
العناصر الضرورية الكبرى			
٠,٠٣-٠,٣%	النيتروجين الجوى - المادة العضوية	NO_3^- , NH_4^+	النيتروجين (N)
٠,٠١-٠,١%	فوسفات الكالسيوم (مجموعة الأباتيت) وفوسفات الحديد والالومنيوم	$H_2PO_4^-$, HPO_4^{2-} , PO_4^{3-}	الفوسفور (P)
٠,٢-٣,٠%	الميككا، الإبلت والفلسبارات	K^+	البوتاسيوم (K)
٠,٠١-٠,١%	كبريتور الحديد، وكبريتات الحديد	SO_4^{2-}	الكبريت (S)
٠,٢-١,٥% تزداد فى الاراضى الحجرية	كالسيوم الفلسبارات، الاوجيت، الهورنبلند وكربونات وكبريتات الكالسيوم	Ca^{2+}	الكالسيوم (Ca)
٠,١-١,٠% تزداد مع وجود معدن الدولوميت	الاوجيت، الهورنبلند، الأوليفين، البيوتيت وكربونات الماغنسيوم	Mg^{2+}	الماغنسيوم (Mg)

تابع جدول (٤-١): العناصر الغذائية الضرورية للامتصاص والصور الميسرة
منها وأهم مصادرها والكمية الموجودة منها في الأرض

العنصر	الصورة الأيونية الصالحة للنبات	أهم المصادر	متوسط الكمية في الأرض
العناصر الضرورية الصغرى			
الحديد (Fe)	Fe^{2+}, Fe^{3+}	الأوجيت، الهورنبلند، البيوتيت، الأوليفين، أكاسيد وأيدروكسيد الحديد	٠,٥-٠,٤٪ تزداد في بعض الآفاق الغنية به
الزنك (Zn)	Zn^{2+}	فوسفات، كربونات وأيدروكسيدات الزنك وبعض المعادن السليكاتية	١٠-٣٠ جزء في المليون
المنجيز (Mn)	Mn^{2+} (Mn^{3+})	المنجاتيت، البيرولوسيت، وبعض المعادن السليكاتية	٢٠٠-٤٠٠ جزء في المليون
البورون (B)	$H_2BO_3^-$, HBO_3 , $B(OH)_4^-$	التورمالين، وبعض المعادن السليكاتية والأملاح	٥-١٠ جزء في المليون
المولبيدوم (Mo)	Mo^{2+}	بعض المعادن السليكاتية، وأكاسيد وأيدروكسيدات الحديد والالومنيوم	٠,٥-٠,٥ جزء في المليون
النحاس (Cu)	Cu^{2+} , (Cu^+)	كبريتور النحاس، كبريتات وكربونات النحاس وبعض المعادن السليكاتية	٥-١٠ جزء في المليون
الكلورون (Cl)	Cl^-	مختلف الكوريدات	٥٠ < ١٠٠٠ جزء في المليون

٤- عناصر تعمل متعاونة أو مكاملة لوظائف عناصر أخرى كما يتعاون الصوديوم مع البوتاسيوم، والكالسيوم مع الماغنسيوم.

٥- عناصر ليس لها أهمية عامة لجميع النباتات، ولكنها قد تكون ضرورية لبعض أنواع النباتات، مثل الكلور والصوديوم بالنسبة لبنجر السكر.

٦- عناصر لها علاقة بصحة النبات وتؤثر في نموه ومحصوله، كما تؤثر عليه من ناحية

مقاومته لبعض الأمراض مثل: البورون والنحاس والزنك.

٧- عناصر توجد في النبات بصفة عامة ولا يعرف لها تأثير معين وهي السيليكون والالومنيوم.

ويمكن توضيح مدى الفرق بين العناصر المغذية من حيث كونها كبرى أو صغرى من البيانات المبوبة في جدول (٤-٢) والتي توضح الكمية المستنزفة أو الممتصة بواسطة الوحدة المحصولية لبعض المحاصيل المختلفة (الكمية المستنزفة من أى عنصر هي الكمية التي يمتصها النبات من التربة خلال موسم النمو). ويتضح أن الكميات الممتصة من العناصر الصغرى سنوياً بواسطة المحاصيل المختلفة صغيرة جداً بالمقارنة بكميات العناصر الكبرى، حيث لا تتجاوز عدة مئات من الجرامات للهكتار (Amberger سنة ١٩٩٣ a).

جدول (٤ - ٢): كمية العناصر الضرورية المستنزفة لكل طن محصول اقتصادي

المحصول ⇐ العنصر ↓	الأرز	الذرة	القمح	ذرة رفيعة	الحمص	بسلة هندي	قول سوداني
العناصر الصغرى (جم / طن محصول اقتصادي)							
النيتروجين (N)	٢٠	٢٦	٢٥	٢٢	٤٦	٦٤	٥٨
فوسفور P ₂ O ₅	١١	١٤	٩,٠	١٣	٨,٠	١٨	٢٠
بوتاسيوم K ₂ O	٣٠	٣٦	٣٣	٣٤	٥٠	٤٢	٣٠
الكالسيوم Ca	٧,٠	٥,٤	٥,٣	٦,٤	-	-	٢٨
ماغنسيوم Mg	٣,٠	٧,٨	٤,٧	٤,٨	-	٤,٠	٧,٣
كبريت S	٣,٠	٣,٨	٤,٧	٢,٨	-	٣,٣	٥,٧
العناصر الصغرى (جم / طن محصول اقتصادي)							
الزنك Zn	٤٠	١٣٠	٥٦	٧٢	٣٨	٢٤	٢٨
الحديد Fe	١٥٣	١٢٠٠	٦٢٤	٧٢٠	٥٨	٤٠	١٥٠٠
المنجنيز Mn	٦٧٥	٣٢٠	٧٠	٥٤	٣٠	١٤	١١٨
النحاس Cu	١٨	١٣٠	٢٤	٦,٠	١٤	١٤	١٥
البورون B	١٥	-	٤٨	٥٤	-	-	١٣٣
الموليبدينوم Mo	٢,٠	-	٢,٠	٢,٠	-	-	٤,٠

وفى هذه المقدمة عن العناصر الضرورية للنبات سوف نتعرض للمظاهر العامة لنقص العناصر المغذية على النباتات مع تأجيل توضيح أعراض نقص كل عنصر على حدة كما أشار إليه الفولى وعبد الحميد سنة ١٩٩٢ وذلك عند دراسة هذه العناصر بشيء من التفصيل .

حالات نقص العناصر المغذية :

بجانب حالة النقص الظاهرية للعناصر بمشاهدة أعراض واضحة للعين على النبات يوجد العديد من حالات النقص مثل : نقص مستتر بدون ظهور أعراض مرئية على النبات - نقص عنصر واحد - نقص فى أكثر من عنصر - نقص حقيقى نتيجة قلة كمية العنصر فى التربة، وأخيرا نقص غير حقيقى نتيجة عدم صلاحية العنصر للامتصاص من التربة أو عدم فاعليته فى النبات، أو نتيجة التداخل بين العناصر أو نتيجة عوامل بيئية . ومن الواضح أن التعرف على الحالة المسببة للنقص تكون مهمة جدا وذلك لاقتراح طريقة العلاج .

وتبدأ أعراض نقص العنصر على النبات عندما يصل نقص الكمية الميسرة من العنصر فى التربة إلى الدرجة التى تؤثر على نمو النبات، وبالتالي كمية المحصول الناتج . وتسمى حالة ظهور نقص العنصر بحالة النقص الظاهرى، وهذه تختلف عن حالة النقص المستتر والتى لايمكن اكتشافها إلا عن طريق تقدير العناصر فى النسيج النباتى . ويختلف موضع ظهور الأعراض فى البداية لنقص العنصر على الأجزاء المختلفة للنبات باختلاف قدرة هذا العنصر على الحركة أو الانتقال داخل النبات من الأجزاء المسنة إلى النموات الحديثة وهى الأوراق غالباً . فمثلاً نجد أن العناصر الكبرى مثل النيتروجين، الفوسفور، البوتاسيوم والماغنسيوم تظهر أعراض نقصها على الأوراق المسنة للنبات أولاً . فى حين تظهر أعراض الكبريت والكالسيوم والعناصر الصغرى أولاً على الأوراق الحديثة أو الأجزاء العلوية . ويرجع ذلك لصعوبة تحرر هذه العناصر من مركباتها فى الأجزاء المسنة البالغة والموجودة فى أسفل النبات ثم انتقالها إلى الأجزاء الحديثة . وهنا يجب الإشارة إلى أن طبيعة نمو النبات وحجمه يؤثران على شكل وأولوية ظهور الأعراض، حيث نجد أن الأشجار الكبيرة تختلف عن النباتات العشبية، كما تختلف النباتات ذات الفلقة الواحدة عن

ذات الفلقتين، وأيضاً نجد أن نمو النباتات يتأثر بدرجات مختلفة باختلاف نوع العنصر الناقص .

مصادر العناصر الغذائية للنبات **Plant Nutrient Sources**

يمكن تحديد مصادر العناصر المغذية للنبات في مصدرين أساسين وهما: العناصر الموجودة أصلاً **Native sources** في التربة ومنها المعادن الأرضية ونواتج تحلل المخلفات النباتية والمادة العضوية بالتربة (جدول ٤-١) . بينما المصدر الثانى فهو العناصر المضافة **Added sources** والتي تتمثل فى إضافة الأسمدة الكيميائية والأسمدة العضوية للتربة .

ويجب معرفة أن كل العناصر الغذائية والموجودة فى التربة تخضع إلى العديد من العمليات والتي قد تحد أو تزيد من ذوبانها، وبالتالي تؤثر على الصورة والكمية الصالحة منها للنبات . وهذه العمليات تختلف من عنصر إلى آخر وقد تكون عمليات حيوية أو كيميائية تتم فى الطبيعة، ومن العمليات الحيوية التى تحد من ذوبان العناصر المغذية هو امتصاص تلك العناصر بواسطة الكائنات الأرضية الدقيقة **Microflora** وتمثيلها داخل أجسامها، وهذه العملية تعرف باسم عملية التمثيل **Immobilization** ويقصد بها تحول العنصر من الصورة المعدنية إلى الصورة العضوية . ولكن بعد موت هذه الكائنات يحدث لها تحلل وتنطلق هذه العناصر مرة أخرى وتصبح فى صورة صالحة وهذه العملية تعرف باسم عملية المعدنة **Mineralization** وهى عكس العملية السابقة أى يحدث بها تحول العنصر من الصورة العضوية وغير الصالحة للنبات إلى الصورة المعدنية الميسرة للامتصاص . والعملية الحيوية هذه تعتبر ذات أهمية كبيرة بالنسبة للنيتروجين ولكنها فى نفس الوقت تعتبر ذات أهمية متوسطة بالنسبة للكبريت والفوسفور . ومن العمليات الكيميائية الهامة هى عملية الترسيب للعناصر وجعلها فى صورة غير صالحة للنبات، ويعتبر عنصر الفوسفور أكثر العناصر تأثراً بهذه العملية، وأيضاً حدوث تقييد لبعض العناصر وخاصة الكاتيونات منها وذلك نتيجة ادمصاصها على أسطح أو بين الوحدات البلورية لمعقدات التبادل ويعتبر كل من أيونى البوتاسيوم والامونيوم أكثر الكاتيونات تشبيهاً بهذه الطريقة .

ومن المهم ملاحظة أنه بالنسبة لكل العناصر المغذية تقريباً أو الغالبية العظمى منها تكون الكمية الميسرة للنبات قليلة جداً بالنسبة للكمية الكلية من نفس العنصر في التربة النامي بها النبات .

العناصر الغذائية الكبرى Macronutrients

النيتروجين Nitrogen

يُعتبر عنصر النيتروجين من العناصر الغذائية الهامة في تغذية النبات، ويحتاجه النبات بكميات كبيرة، حيث يمثل القدر الأكبر للمكونات العضوية الأساسية في النبات والتي تشمل البروتينات والإنزيمات والأحماض النووية والكلوفيل .

النيتروجين في الأرض Nitrogen in Soil

يختلف النيتروجين عن معظم العناصر المعدنية الموجودة بالتربة الزراعية في أن مصدره الأصلي هو الهواء الجوي (إذ يشكل النيتروجين حوالي ٧٩٪ من حجم الهواء الجوي) في حين لا تحتوى الصخور الأصلية ومعادن التربة على هذا العنصر. ولا تستطيع النباتات النامية الاستفادة من النيتروجين الغازي N_2 مباشرةً إلا بعد أن يدخل في سلسلة من التفاعلات والتي تقوم بها كثير من الأحياء الدقيقة الموجودة بالتربة والتي تعيش إما حرة في التربة أو تعيش في داخل جذر النبات، حيث تثبت النيتروجين الغازي وتحوله إلى نيتروجين عضوي داخل أجسامها في صورة أحماض أمينية وبروتينات، وعند موت هذه الكائنات فإن النيتروجين العضوي الموجود بها تحت ظروف معينة يتحلل وينتج نيتروجين معدني في صورة NH_4^+ ثم No_3^- .

وتختلف الأراضي الزراعية في محتواها من النيتروجين وذلك لوجود ارتباط بين هذه الكمية وعدة عوامل أخرى بعضها يتعلق بالظروف البيئية والآخر يتعلق بطبيعة النبات المنزوع وصفات الأرض الطبيعية والكيميائية ويمكن إيجاز العوامل المحددة لمحتوى الأرض من النيتروجين (N) كما لخصها (Jenny) سنة ١٩٤١، في الظروف المناخية (CL)، طبغرافية الأرض (T)، الغطاء النباتي (V)، مادة الأصل (P) والمقصود هنا دراسة تأثير مادة الأصل من خلال دراسة قوام التربة والتركيب المعدني للتربة، حيث إن الأراضي ذات القوام الثقيل محتواها من النيتروجين الممثل بالمادة العضوية مرتفع بالمقارنة بالأرض الخفيفة، كذلك نوع معدن الطين له تأثيره على محتوى الأرض من النيتروجين لاختلاف

قدرة هذه المعادن على ادمصاص NH_4^+ والجزئيات العضوية وعامل الزمن (t). أى أن هذه العوامل وغيرها من العوامل تُعتبر دالة لمحتوى الأرض من النيتروجين كما توضحها المعادلة التالية:

$$N = f (CL, T, V, P, t, \dots \text{ etc})$$

وتُعتبر هذه العوامل غير مستقلة فى تأثيرها لكن تكون متداخلة، وعلى ذلك فإن محصلة هذا التداخل تحدد بدقة محتوى التربة الزراعية من النيتروجين. وبصفة عامة يمكن تقسيم صور النيتروجين بالأراضي الزراعية Nitrogen forms in soils إلى:

أ - الصورة العضوية Organic Form

وهى الصورة الثابتة القليلة الصلاحية بالنسبة للنبات وذلك لوجود النيتروجين بها على صورة مجموعة أمين NH_2 - والتي تدخل فى تكوين الأحماض الأمينية والبروتينات وكثير من المركبات العضوية مثل: الأحماض النووية والفيتامينات وغيرها من المعقدات العضوية ذات التركيب غير المتجانس. وتمثل هذه الصورة حوالى ٩٩٪ من النيتروجين الكلى بالأراضي الزراعية فى معظم فترات السنة.

ويمكن معرفة كمية النيتروجين بالأرض بمجرد تقدير المادة العضوية بالتربة الزراعية، حيث تُعتبر المخزن والرصيد الأساسى الذى يحتوى على معظم النيتروجين. وعموماً فإن المادة العضوية تحتوى على ٥٪ نيتروجين، فمثلاً لو كان محتوى الأرض من المادة العضوية ٣٪ تكون النسبة المئوية للنيتروجين بالأرض مساوية لحاصل ضرب النسبة المئوية للمادة العضوية X النسبة المئوية للنيتروجين بالمادة العضوية (أى أن النسبة المئوية للنيتروجين بالأرض = $3 \times 5 = 15\%$) ومعنى ذلك أن أى عامل يؤدي إلى زيادة المادة العضوية بالتربة يُزيد من محتوى النيتروجين بالتربة الزراعية. ويمكن إيجاز العوامل المؤثرة على كمية المادة العضوية بالتربة وبالتالي النيتروجين فيما يلى:

١ - نوع وكثافة الغطاء النباتى (الفلورا): تزداد المادة العضوية بزيادة الغطاء النباتى وهذا يزيد من كمية النيتروجين بالتربة.

٢ - طبغرافية الأرض ومدى استوائها وانحدارها: فكلما كانت الأرض مستوية كلما زادت كمية الماء النافذة وبالتالي يزداد محتواها من الرطوبة مما يزيد من الغطاء

النباتى . بينما إذا كانت منحدره فإن الانجراف السطحى بفعل المياه والرياح يؤدي إلي انخفاض محتوى التربة من النيتروجين، كذلك قد تتجمع المادة العضوية وتقل عملية المعدنة للنيتروجين العضوى تحت ظرف رداءة الصرف وتجمع الماء فى المناطق المنخفضة بسبب عدم توفر التهوية الملائمة لنشاط الأحياء الدقيقة المحللة للمادة العضوية، حيث إن تحسين ظروف الصرف تقلل من تراكم المادة العضوية على سطح التربة نتيجة لزيادة النشاط الميكروبي .

٣ - درجة الحرارة ومعدل سقوط الأمطار (المناخ): مع ثبات كمية المطر تزداد نسبة النيتروجين (المادة العضوية) فى الأرض ذات المناخ البارد عنها فى الأراضى ذات المناخ الحار . وفى حالة ثبات درجة الحرارة تزداد نسبة النيتروجين فى الأراضى الرطبة عنها فى الأراضى الجافة .

٤ - قوام الأرض وعمق القطاع الأرضى : تقل كمية النيتروجين فى الأراضى الرملية خفيفة القوام عنها فى الأراضى الثقيلة (الطينية) ويرجع ذلك إلى سرعة تحلل المادة العضوية وفقد النيتروجين . وتزداد كمية النيتروجين فى طبقة الأرض التى تتراكم فيها المادة العضوية كطبقة سطح الأرض الثقيلة، ثم تقل كلما تعمقنا فى القطاع الأرضى . وقد يحدث أن يزداد النيتروجين كلما تعمقنا فى القطاع الأرضى فى الأراضى الرملية نتيجة تسرب المادة العضوية إلى الطبقة تحت السطحية للأرض، كذلك إذا حدث عملية نقل الرمال على الطبقة السطحية التى تزداد فيها النباتات وبقاياها (أى انجراف تربة من منطقة إلى منطقة أخرى) .

دورة النيتروجين فى الأرض Soil Nitrogen

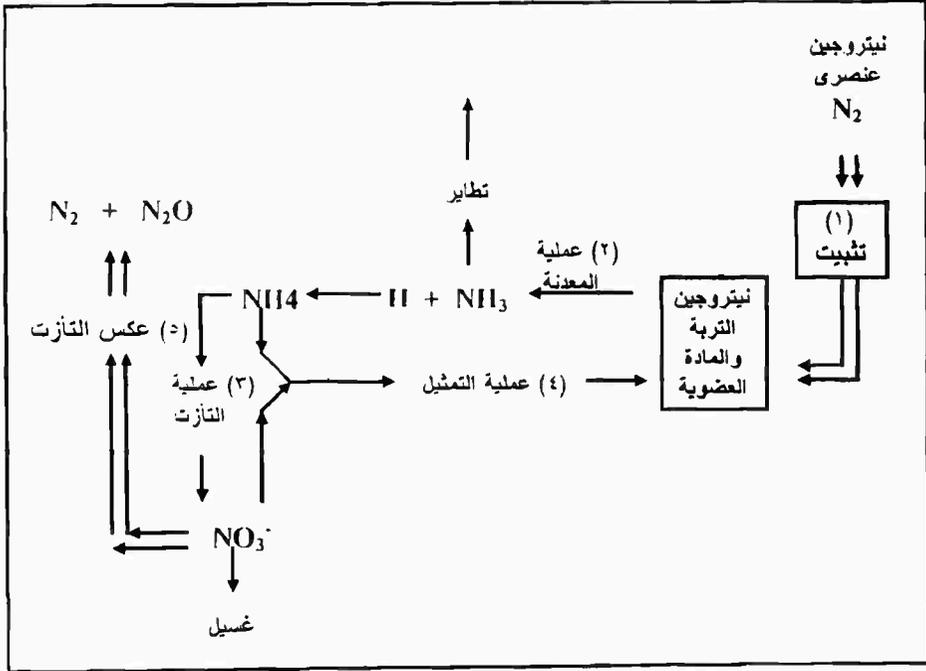
تُعتبر دورة النيتروجين فى الأرض من الدورات المعقدة كما يتضح ذلك من شكل (١-٤) حيث تشمل عدد من العمليات الأساسية يمكن إيجازها فيما يلى :

١ - تثبيت النيتروجين الجوى Nitrogen fixation

٢ - معدنة النيتروجين العضوى Nitrogen mineralization وتكوين الأمونيا . Ammonification

- ٣ - الأكسدة البيولوجية للأمونيا فيما يُعرف بعملية التآزت Nitrification .
- ٤ - تمثيل النيتروجين المعدني في أجسام الكائنات الحية الدقيقة والنبات فيما يُعرف بعملية التمثيل Immobilization .
- ٥ - اختزال النترات إلى أمونيا أو نيتروجين جوي أثناء عملية عكس التآزت Denitrification .

ويمكن توضيح هذه الخطوات بشيء من التفصيل كما يلي :



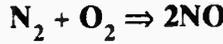
شكل (٤-١): دورة النيتروجين في الطبيعة

أولاً: تثبيت النيتروجين الجوي Nitrogen Fixation

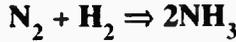
كما سبق الإشارة إلى أن النبات لا يستطيع الاستفادة مباشرة من النيتروجين الجوي، ولذلك لا بد من تثبيته سواء بيولوجياً أو غير بيولوجي. وأهم الطرق التي يُثبت بها النيتروجين الجوي هي :

١ - الطرق غير البيولوجية ومنها :

أ - الطرق الطبيعية وذلك نتيجة لحدوث الشرارة الكهربائية أثناء عملية البرق مما يؤدي إلى أكسدة غاز النيتروجين، وتصل هذه الأكاسيد إلى الأرض مع المطر. وكذلك تساعد الأشعة فوق البنفسجية على اتحاد النيتروجين مع الهيدروجين الموجودة في الجو ويتكون غاز الأمونيا. وبصفة عامة فإن الكمية التي تصل إلى الأرض بهذه الطريقة قليلة جداً لا تتعدى عدة كيلو جرامات للفدان في العام. وتم عملية الأكسدة السابق ذكرها حسب المعادلة التالية :



ب - الطرق الصناعية وذلك عن طريق تفاعل Haber - Bosch reaction حيث يتفاعل النيتروجين الجوي N_2 مع الهيدروجين H_2 ، وذلك تحت ضغط ودرجة حرارة مرتفعة وينتج غاز الأمونيا حسب المعادلة التالية :



ويعتبر هذا التفاعل أساس إنتاج الأسمدة النيتروجينية. ويجب الإشارة هنا أن كمية النيتروجين الجوي المثبتة كيميائياً (طبيعياً وصناعياً) قليلة جداً بالمقارنة بالكمية المثبتة بيولوجياً (جدول ٤-٣).

جدول (٣-٤): كمية النيتروجين المضافة والمفقودة من الأرض عالمياً محسوبة بالمليون طن/عام

المفقود من الأرض (بالمليون طن / عام)		المضاف إلى الأرض (بالمليون طن / عام)	
٢٠٠ - ٣٠٠	عكس التازت	٤٦	الإنتاج الصناعي
١٦٥	أمونيا	٢٠٠ - ١٠٠	التثبيت البيولوجي
	متطايرة	٦٠	التترات والتريت مترسبة
		١٤٠	أمونيا مترسبة

عن Mengel and Krikby سنة ١٩٨٧

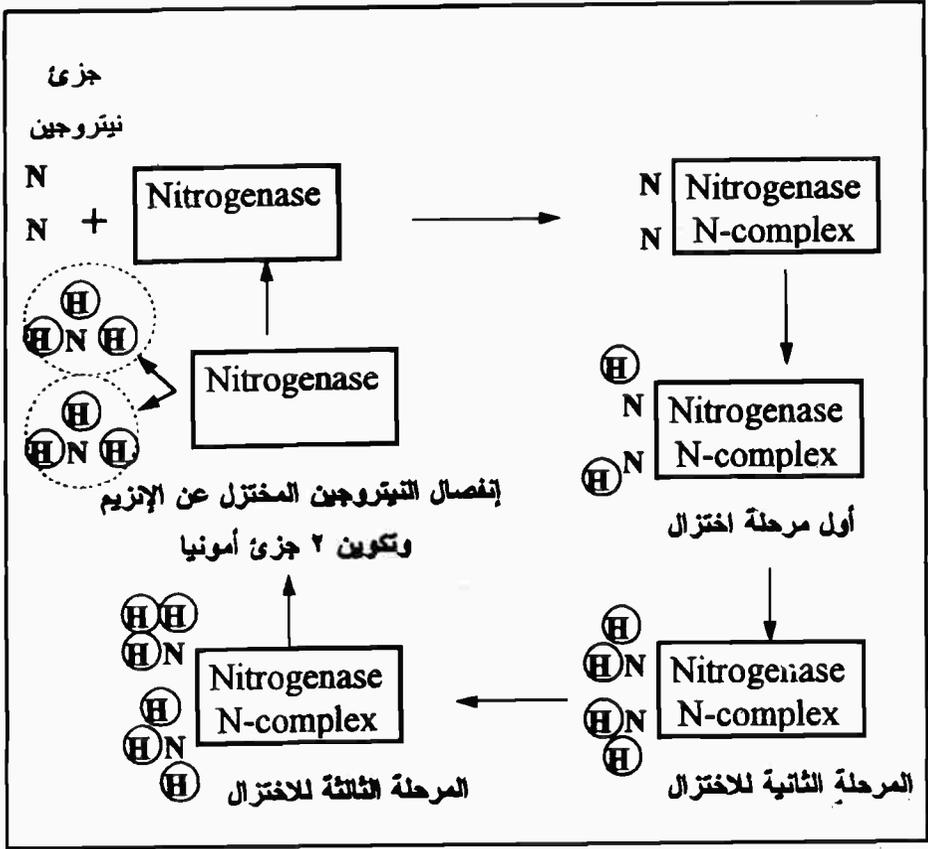
٢ - تثبيت الحيوى للنيتروجين Biological Nirtrogen Fixation

من الحقائق أن تثبيت النيتروجين الجوى صناعيا يحتاج إلى درجة حرارة مرتفعة (٥٠٠ درجة مئوية) وتحت ضغط مرتفع وفى وجود عامل مساعد مثل أكسيد الحديد النشط، وهذا ما يتم فى تفاعل Haber - Buch reaction. فهنا سؤال يفرض نفسه علينا ألا وهو كيف يتم تثبيت النيتروجين بواسطة خلايا الكائنات الحية الدقيقة وتحت درجة حرارة منخفضة وضغط جوى عادى؟. ولا نجد أمامنا سوى القول سبحانه الله فهذه إحدى نعم الله ﴿وَأِنَّ تَعُدُّوْا نِعْمَةَ اللَّهِ لَا تُحْصُوْهَا إِنَّ اللَّهَ لَغَفُوْرٌ رَّحِيْمٌ﴾

[النحل: ١٨].

والمقصود بالتثبيت الحيوى هو تحويل النيتروجين الغازى والموجود فى الغلاف الجوى إلى نيتروجين عضوى يدخل فى تركيب المركبات النيتروجينية العضوية. وتتلخص هذه العملية بقيام أنواع مختلفة من الكائنات الدقيقة المتخصصة والتي لها القدرة على اختزال النيتروجين الجوى وتحويله إلى NH_3 تحت الظروف العادية من الضغط ودرجة الحرارة، وبالتالي يتحول إلى مركب عضوى. وعلى ذلك نجد أن الكائنات الدقيقة تقوم بدور هام فى تحديد طبيعة دورة النيتروجين فى الأرض، حيث تتحكم فى تحويل جزيئات النيتروجين الجوى إلى نيتروجين عضوى. وتعتبر هذه الطريقة أهم الطرق فى زيادة محتوى الأرض من النيتروجين كما يتضح من جدول (٤-٣).

وكما سبق ذكره فإن عملية التثبيت الحيوى يتم فيها اختزال النيتروجين الجوى داخل أجسام الكائنات الدقيقة، ويتم الأختزال بواسطة إنزيم Nitrogenase وهذه العملية تحتاج إلى طاقة يكون مصدرها مركب Adenosein Triphosphate (ATP) وتحدث عملية الأختزال بأن يتحد هذا الإنزيم مع جزيء النيتروجين N_2 والذي يُختزل على عدة خطوات باكتسابه لايونات الأيدروجين، ويكون حمض البيروفيك Pyrovic acid هو مصدر الأيدروجين اللازم لعملية الأختزال وكذلك تحتاج هذه العملية إلى مساعدات إنزيم - Co enzymes مثل: عنصر الموليبدنم أو الكوبلت. وشكل (٤-٢) يوضح خطوات عملية الأختزال.



شكل (٤-٢): خطوات تثبيت النيتروجين بيولوجيا

ويمكن تقسيم طرق التثبيت الحيوى للنيتروجين إلى:

١ - التثبيت التكافلي للنيتروجين Symbiotic N₂ Fixation

حيث تقوم به بعض الكائنات الأرضية الدقيقة ومنها بكتريا متخصصة تكافلية Symbiosis في معيشتها داخل العقد الجذرية للعديد من النباتات البقولية. كذلك الموجودة في جذور كثير من النباتات العشبية أو جذور بعض الأشجار ومن هذه الكائنات الأرضية الدقيقة:

- بكتيريا من جنس *Rhizobium sp.* والتي تعيش تكافلياً مع جذور النباتات البقولية Legume، والتي يُطلق عليها بكتريا العقد الجذرية للمحاصيل البقولية. ولهذا النوع من النشاط التكافلي أهمية اقتصادية كبيرة لمساهمته الفعالة في تثبيت النيتروجين

الجوى، ويتضح ذلك من جدول (٤-٤) والذي يشير إلى الكمية المثبتة بواسطة بعض النباتات البقولية كما أشار إليها White سنة ١٩٨٧.

جدول (٤-٤): كمية النيتروجين الجوى المثبتة بواسطة النباتات البقولية مُقدرة بالكيلو جرام/ هكتار (٢,٤ فدان)

Temperate species		Tropical & subtropical species	
Clovers (Trifolium spp)	55-600	Grazed grass-Legume pastures:	
Lucerne (Medicago sativa)	55-40	Stylosanthes humilis	10-30
Soyabeans (Glycine max)	90-200	Macroptium atropurpureum	44-129
Beans (Vicia faba)	200	Grain & forage legumes	
Peas (Pisum spp)	50-100	Beans (Phaseolus vulgaris)	64
Median c.	200	Pigeon pea (Cajanus Cajan)	
		Median c.	100

- بكتيريا خيطية من جنس Frankia sp مثل Actenomycete والتي تعيش في جذور نباتات غير بقولية مثل الكازورينا Casuarina والهور Alder.

- كذلك بعض الطحالب الخضراء المزرقة Blue-green algae تستطيع أن تُقيم علاقة تكافلية مع بعض الفطريات مثل Lichens, Fungi، حيث تقوم الطحالب الخضراء المزرقة بإمداد الفطر بحاجته من النيتروجين المثبت في الجو.

ويعتبر تثبيت النيتروجين تكافلياً بواسطة بكتيريا الريزوبيم عملية هامة جداً في الزراعة من حيث إمدادها للنباتات البقولية بمعظم احتياجاتها من النيتروجين. وهناك العديد من بكتيريا الريزوبيم القادرة على تكوين عقد على جذور النباتات البقولية. بالإضافة إلى وجود نوع من التخصص بمعنى أن هناك أنواعاً معينة منها لمجموعة معينة من النباتات البقولية دون الأخرى ويوضح ذلك جدول (٤-٥). وعلى هذا يتوقف مدى نجاح البكتيريا في تثبيت النيتروجين على البكتيريا المناسبة للعائل البقولى المناسب لها. ومن المجدير بالذكر أن تثبيت البقوليات للنيتروجين يكون على أشده فقط عندما يكون مستوى النيتروجين الميسر بالأرض قليل جداً، وعلى ذلك يُنصح بإضافة كمية قليلة من

النيتروجين مع الأسمدة المضافة للمحاصيل البقولية عند الزراعة لضمان توفر كمية كافية من العنصر للبادرات الصغيرة حتى يتمكن الريزوبيوم من المعيشة على جذورها. أما إذا أُضيفت كميات كبيرة وباستمرار من النيتروجين لهذه المحاصيل فإن ذلك يُقلل من نشاط الريزوبيوم، وبالتالي يكون استخدام هذه الأسمدة النيتروجينية غير اقتصادي.

جدول (٤-٥): أنواع بكتيريا الريزوبيوم والمحاصيل البقولية لللائمة لها

العائل	نوع البكتريا
برسيم حجازى وحلبة Melilotus, Medicago	<i>R. meliloti</i>
برسيم حولى Trfolium	<i>R. trifolii</i>
بصلة - فول - عدس Pisum, Vicia	<i>R. leguminosarum</i>
فاصوليا Phasoeolus	<i>R. phaseoli</i>
فول صويا Glycine	<i>R. Japonicum</i>
الترمس Lupinus	<i>R. Lupinii</i>

٢ - التثبيت غير التكافلى للنيتروجين Non symbiotic N-Fixation

وتقوم به كائنات حرة المعيشة فى الأرض الزراعية أى غير تكافلية Free-Living or- organisms سواء وجد النبات أو لم يوجد وإن كان بعضها ينشط أكثر فى وجود النبات وإن لم يكن يعتمد عليه، وبالتالي يكون هذا التثبيت غير تكافلى وفيه يتم تحويل النيتروجين الغازى بواسطة هذه الكائنات إلى نيتروجين عضوى داخل أجسامها، وبعد موت هذه الكائنات وتحلل أجسامها يتحول إلى نيتروجين ميسر للنبات نتيجة لعملية المعدنة، ومن هذه الكائنات:

١ - البكتيريا الهوائية من جنس *Azotobacter Sp.* وتنتشر هذه البكتيريا فى جميع أنواع الاراضى ما عدا الحامضية ذات pH أقل من ٦.

٢ - البكتيريا غير الهوائية من جنس *Clostridium sp.* وهى تختلف عن الأزوتوبياكتر فى قدرتها على تثبيت النيتروجين فى الاراضى الحامضية ذات pH أقل من ٦.

٣ - الطحالب الخضراء المزرقة Blue-green algae من أجناس *Nostoc Anabaena* و *Gloecapsa*، وتوجد تحت ظروف بيئية واسعة المدى، وتحتاج فى غذائها إلى الماء

والضوء والنيتروجين الحر N_2 وثنائي أكسيد الكربون CO_2 وأملاح تحتوي على العناصر المعدنية الأساسية. وهذه الطحالب والأشنيات تلعب دوراً هاماً في إمداد مزارع الأرز بالنيتروجين.

ومن الجدير بالذكر أن الأهمية الزراعية لتثبيت النيتروجين بواسطة البكتيريا الحرة أقل من تلك التي تُثبت بواسطة البكتيريا التكافلية. وهناك تكهنات عديدة حول كمية النيتروجين المثبتة لا تكافلياً بواسطة البكتيريا نذكر منها ما ذكره أبو الروس وآخرون سنة ١٩٩٢ وهي ٣-٥ كجم / فدان / العام، بينما المثبتة بواسطة الطحالب الخضراء المزرقة تتراوح ما بين ٣٠-٦٠ كجم / فدان / العام. وتوجد عدة عوامل تؤثر على معدل تثبيت النيتروجين حيويّاً أهمها:

١ - رقم الـ pH حيث تقل كفاءة التثبيت كلما انخفض رقم pH الأرض الزراعية ويرجع ذلك لأن بكتيريا الريزوبيم حساسة للحموضة.

٢ - محتوى الأرض من النيتروجين حيث يقل معدل التثبيت كلما زاد محتوى الأرض من النيتروجين الميسر.

٣ - يزداد معدل التثبيت كلما توافر في الأرض كمية ملائمة من عناصر P, Ca, K في صورة ميسرة.

٤ - تعتبر عناصر الموليبدنم والكوبلت ضرورية لكل أنواع البكتيريا المثبتة للنيتروجين، حيث يزداد معدل التثبيت بزيادة محتوى الأرض من هذه العناصر.

٥ - تلعب الحالة الغذائية للنباتات البقولية دوراً هاماً في مقدار كمية النيتروجين المثبتة، حيث يزداد معدل التثبيت كلما زاد معدل التمثيل الضوئي في النبات والتي يتوقف عليها كمية الكربوهيدرات التي تُعطى للبكتيريا من النبات.

مما سبق نجد أنه من خلال عملية التثبيت البيولوجي للنيتروجين يتحول هذا العنصر إلى صورة عضوية من خلال تحوله إلى أحماض أمينية وبروتينات، وبذلك يمكن اعتبار هذه الحالة نقطة البداية لتراكم النيتروجين Accumulation of nitrogen بالأرض الزراعية في صورة مركبات عضوية.

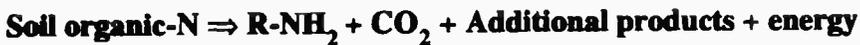
ثانياً : معدنة النيتروجين العضوى Organic nitrogen mineralization

المحصلة النهائية لعملية التثبيت البيولوجية للنيتروجين بالارض الزراعية هو تحول النيتروجين العنصرى إلى نيتروجين عضوى سواء كان فى أجسام الكائنات الحية الدقيقة أو النباتات أو مخلفات الحيوانات التى تتغذى على هذه النباتات . وبالتالي يكون النيتروجين العضوى (الذى يمثل ٩٩٪ من النيتروجين الكلى بالارض) فى مكونات المادة العضوية والدُّبال وهو فى هذه الصورة غير صالح للامتصاص بواسطة النباتات . وعلى ذلك تقوم أنواع عديدة من الكائنات الأرضية الدقيقة غير ذاتية التغذية Heterotrophic organisms (تحصل على الطاقة اللازمة لها من أكسدة الكربون العضوى) بتحليل المادة العضوية وينفرد النيتروجين منها فى صورة الامونيا NH_3 وفى خطوة لاحقة تتحول الامونيا إلى امونيوم NH_4^+ ثم نترات NO_3^- ، ويطلق على هذه العملية اسم عملية المعدنة، وتسمى أيضاً عملية النشطرة Ammonification على أساس أن الناتج النهائى لعملية المعدنة هو الامونيا . والعملية العكسية لعملية المعدنة هى عملية التمثيل Immobilization ويُقصد بها تحول النيتروجين المعدنى الصالح للامتصاص بواسطة النبات والموجود بالارض الزراعية إلى نيتروجين عضوى نتيجة استهلاكه بواسطة الكائنات الأرضية الدقيقة . وطبيعى أن يكون سيادة عملية المعدنة فى صالح النبات حيث ينتج عنها نيتروجين معدنى (الصورة الصالحة للامتصاص) والعكس صحيح بسيادة عملية التمثيل .

ويمكن توضيح كيفية حدوث عملية النشطرة Ammonification كما يلى :

تتحول المركبات النيتروجينية العضوية إلى أمونيا فى خطوتين :

الأولى: يحدث تحلل مائى Hydrolytic decomposition للبروتينات بفعل الإنزيمات وتنتقل مركبات أبسط فى صورة أحماض أمينية بواسطة الاحياء الدقيقة .



الثانية: تقوم الكائنات الدقيقة بتحويل الاحماض الامينية $R-NH_2$ إلى الامونيا وكحول طاقة



وتذوب الامونيا الناتجة فى الماء ويتكون أيون الامونيوم



ويكون مصير الامونيوم الناتجة إحدى الاحتمالات الآتية:

- ١ - يمكن أن يتحول إلى نترت، ثم نترات بواسطة كائنات دقيقة متخصصة وذلك خلال عملية التازت Nitrification .
- ٢ - يمكن أن يمتص مباشرةً بواسطة النبات .
- ٣ - يمكن أن يدخل فى تفاعلات التبادل الأيونى .
- ٤ - يمكن أن يُثبت على صورة غير ميسرة للنبات وذلك بإدمصاصه على أسطح الغرويات الأرضية، أو تثبيته بين الوحدات البلورية للمعادن الأرضية .
- ٥ - يمكن أن يحدث له فقد من الأرض بالتطاير Volatilization وخاصة إذا ارتفع رقم pH الأرض عن ٨ .

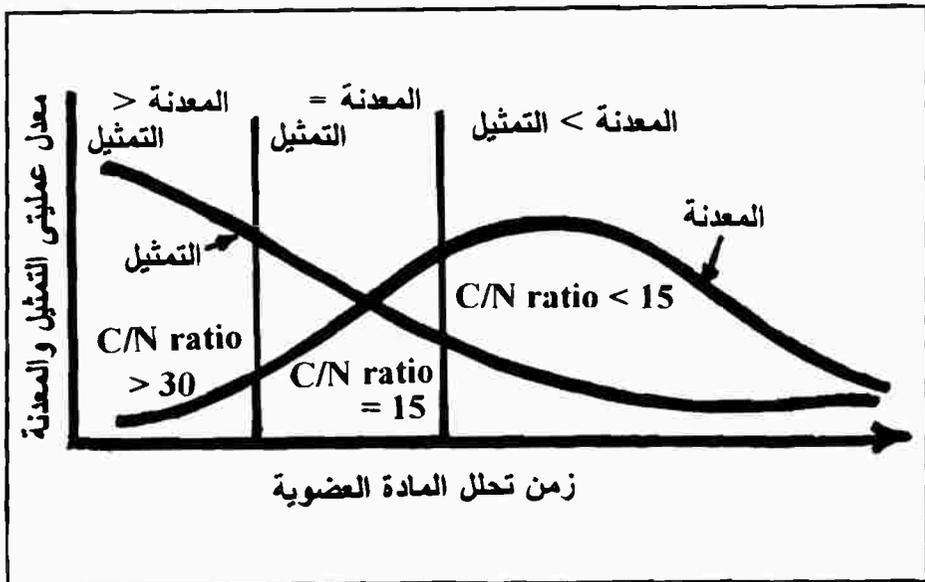
وتساهم الاحياء الدقيقة بالتربة الزراعية من بكتيريا وفطريات واكتينوميستس Actinomycetes بقدر كبير فى عملية معدنة النيتروجين، وهناك عوامل متعددة تؤثر على هذه العملية، وبالتالي يجب مناقشتها بشئ من التفصيل وخاصة التى تتعلق بتركيب المادة العضوية والظروف المحيطة بعملية التحلل ومنها:

١ - نسبة الكربون إلى النيتروجين C/N ratio

تلعب نسبة الكربون إلى النيتروجين C/N ratio دوراً أساسياً مهماً فى عملية تحلل المادة العضوية، وبالتالي معدنة العناصر الموجودة فى تركيب هذه المادة. وتختلف هذه النسبة باختلاف أنواع بقايا النباتات وتمتاز بقايا النباتات النجيلية مثل قش الأزر والقمح باتساع نسبة الكربون إلى النيتروجين بها، حيث تصل من ٥٠ - ٦٠:١، بينما تضيق هذه النسبة فى بقايا النباتات البقولية (البرسيم - الفول) حيث تصل إلى ٢٥-٣٠:١ .

وهنا يجب الإشارة إلى إنه كلما كانت نسبة الكربون إلى النيتروجين واسعة أى أن المادة العضوية تحتوى على كمية منخفضة من النيتروجين فإن ذلك يعنى استهلاك النيتروجين المعدنى الموجود بالأرض الزراعية بواسطة الكائنات الدقيقة المحللة للمادة

العضوية والذي يُستخدم في بناء أنسجتها أى يحدث له عملية تمثيل Immobilization، وعلى ذلك تقل الكمية الميسرة من هذا العنصر فى الأرض، ويعانى النبات النامى بها من نقص النيتروجين. وعلى هذا تتحدد السيادة لآى من عمليتى المعدنة والتمثيل فى الأرض بنسبة الكربون إلى النيتروجين بها بعد إضافة المادة العضوية (الأصلية + المضافة). حيث تكون السيادة لعملية التمثيل إذا زادت النسبة عن ١:٣٠، وبالتالي يختفى النيتروجين المعدنى من الأرض ويُمثل داخل أجسام الكائنات الدقيقة، مما ينتج عنه معاناة النباتات النامية من نقص النيتروجين. والعكس حيث يؤدي ضيق هذه النسبة أقل من ١:٣٠ فى الإسراع من عملية المعدنة، حيث يتساوى معدل العمليتين إذا كانت النسبة فى مدى ١٥-١:٣٠ كما يوضح ذلك الشكل (٤-٣)، وتكون السيادة لعملية المعدنة إذا وصلت هذه النسبة إلى ١:١٥، وبالتالي نجد النباتات النامية حاجتها من النيتروجين المعدنى، ويستمر التحلل حتى تصل النسبة إلى ١:١٠، وبعدها تقف عملية التحلل حيث تكون المادة العضوية وصلت إلى درجة متقدمة فى تحللها أى أصبحت فى صورة دبال.



شكل (٤-٣): العلاقة بين نسبة للكربون إلى النيتروجين فى المخلفات العضوية ومعدل عمليتى المعدنة والتمثيل للنيتروجين.

ولهذه النسبة أهمية كبرى فى تكنولوجيا التسميد العضوى، حيث تساعد على تحديد نوع وميعاد إضافة السماد العضوى للنباتات النامية فى الحقل. فمثلاً إذا كان لديك مادة عضوية (مخلفات نباتية) لها نسبة واسعة أكبر من ١:٣٠، فإن مثل هذه البقايا لا يمكن حرثها فى الأرض قبل أو أثناء زراعة المحصول مباشرةً وإلا سادت عملية التمثيل، وبالتالي ستعانى البادرات النامية من نقص النيتروجين المعدنى لفترة تختلف مدتها حسب هذه النسبة. ولذلك يُنصح بإضافة مثل هذه البقايا وحرثها بالأرض قبل الزراعة بمدة طويلة بحيث تحدث عملية التمثيل والأرض خالية من النباتات. فإذا لم يتوفر ذلك فيمكن إما خلط هذه البقايا مع سماد نيتروجينى بمعدل ١ كجم لكل ١٠٠ كجم نيتروجين/ ١٠٠ كجم قش) حتى تضيق النسبة، وبالتالي يمكن اختصار الزمن اللازم لبدء عملية المعدنة. أو يتم عمل كومة سماد Compost خارج الحقل، ثم ننتظر حتى تضيق النسبة (وذلك بعد فترة من التحلل) إلى الحد المناسب قبل إضافتها إلى الأرض، أما المحاصيل البقولية التى تُزرع كسماد أخضر فمن الممكن حرثها فى الأرض مباشرةً قبل الزراعة (المحصول التالى)، حيث تتميز هذه المحاصيل بضيق النسبة، وبالتالي تحدث عملية المعدنة بسرعة.

ب - الظروف البيئية المحيطة

تؤثر الظروف البيئية المحيطة (درجات حرارة - رطوبة - تهوية - pH) تأثيراً كبيراً فى تحديد طبيعة نشاط الكائنات الأرضية الدقيقة القائمة بعملية التحلل، وبالتالي عملية المعدنة للنيتروجين العضوى. ولتحديد تأثير كل عامل من العوامل السابقة يلزم دراستها منفردة وأيضاً تأثيرها وهى متداخلة مع بعضها البعض. ومن الدراسات السابقة لكثير من العلماء يمكن أن نستخلص بأن أفضل رقم pH لعملية المعدنة هو من ٦,٥ - ٨، كما أن أفضل درجة حرارة من ٣٥ - ٤٥°م وأى ارتفاع أو انخفاض عنها يُقلل من نشاط الكائنات القائمة بعملية المعدنة. أيضاً تتم عملية المعدنة للنيتروجين تحت ظروف الاراضى المغمورة بالماء، لكن تتوقف عند تكوين الامونيوم NH_4^+ ويرجع ذلك لعدم توفر ظروف التهوية الملائمة للكائنات الدقيقة المسئولة عن أكسدة الامونيوم إلى نترات NO_3^- . وعلى الرغم من أن عملية المعدنة تحت هذه الظروف البيئية تكون بطيئة، إلا أن الكائنات الأرضية الدقيقة اللاهوائية Anaerobic تستطيع تحويل النيتروجين العضوى

إلى أمونيوم تحت القيم المرتفعة من C/N ratio بكفاءة عالية بالمقارنة بالكائنات الأرضية الهوائية. ومن هنا يمكن القول بأن المحصلة النهائية لمعدل عملية المعدنة للنيتروجين تحت الظروف اللاهوائية تكون مماثلة لها تحت الظروف الهوائية.

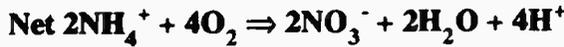
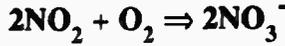
ثالثاً: عملية التآزت Nitrification

تُعرف على أنها عملية الأكسدة البيولوجية لبعض الأمونيوم الناتج من عملية النشطرة أو المضاف في صورة أسمدة إلى نترات. وتتم هذه العملية على خطوتين:

١ - أكسدة الأمونيوم إلى نترات ويقوم بها بكتيريا Nitrosomonas



٢ - يتم أكسدة النترت إلى نترات وتقوم بها بكتيريا Nitrobacter



ومن التفاعلات السابقة يمكن استنتاج ما يلي:

١ - يشكل أيون الأمونيوم المادة الأساسية والأولية لعملية التآزت، وعلى هذا فإن تيسره بكمية كافية يُعتبر ضرورياً لاستمرار هذه العملية. ويُعتبر المطلب الأول لبكتيريا التآزت.

٢ - إن عملية التآزت عملية أكسدة أي يلزمها أكسجين بوفرة لكي تتم، وعلى ذلك فإن جميع العمليات الزراعية التي تؤثر على تهوية التربة الزراعية سيكون لها تأثيرها المباشر على هذه العملية. أي أن عمليات العزيق - الحرث والصرف الجيد تُنشط من هذه العملية، والعكس سوء التهوية وغمر الأرض بالماء يقلل من هذه العملية أو قد يوقفها تماماً.

٣ - إن عملية التآزت تُقلل من قاعدية التربة؛ وذلك نتيجة لاستهلاكها للأمونيوم، وفي نفس الوقت انطلاق أيونات الأيدروجين إلى الوسط مما يؤدي إلى زيادة حموضة الأرض. وقد لا يظهر هذا التأثير بشكل واضح في الأراضي الغنية بكاربونات الكالسيوم.

٤ - إن عملية الأكسدة هذه عملية بيولوجية أى تحتاج إلى كائنات أرضية دقيقة وفي نفس الوقت متخصصة، وعلى ذلك يجب أن تتوفر ظروف بيئية مناسبة لنشاطها مثل:

١ - رقم pH الأرض: حيث لوحظ أن هذه الكائنات تكون في حالة نشاط أفضل في الأراضي المتعادلة أو القاعدية، ويقل النشاط بزيادة حموضة الوسط.

ب - محتوى الأرض من الرطوبة: تحتاج هذه العملية لقدر معين من الرطوبة حيث وجد أن البكتيريا المسؤولة عن هذه العملية حساسة لزيادة محتوى الأرض من الرطوبة عنه في حالة نقصها، وتصل عملية التآزت أقصى درجاتها عندما تكون الرطوبة في الأرض حول السعة الحقلية ويؤدى انخفاض الرطوبة حتى نقطة الذبول إلى انخفاض معدل التآزت بمقدار ٥٠٪ وإن كان لا يوقفها.

ج - درجة الحرارة: بصفة عامة يمكن القول بأن أمثل درجة حرارة لهذه العملية تختلف من أرض إلى أخرى وذلك كما أشارت الأبحاث المختلفة في أماكن إجرائها. وعلى ذلك تكون الدرجة المثلى في حدود ٢٥-٣٢م وتقل عملية التآزت بانخفاض درجة الحرارة وذلك في المناطق الجافة، ووجد أن هذه العملية تقف بزيادة درجة الحرارة عن ٥٠م.

كما أشارت الأبحاث أن أكسدة الأمونيا إلى نترات NO_2^- تكون أسرع من تحول النترات إلى نترات NO_3^- في الأراضي ذات الـ pH المرتفع (Amberger) سنة ١٩٩٣ b-، وعلى هذا قد يحدث تراكم للنترات السام. في حين وجد أنه في الأراضي جيدة الصرف والمتعادلة أو قليلة الحموضة سرعان ما يتم أكسدة النترات وتحويلها إلى نترات وذلك عند تواجد البكتريا القائمة بهذه العملية؛ ولذلك يكون من الطبيعي أن تتراكم النترات بكميات كبيرة. بالإضافة لما سبق وجد أنه عند تعرض الأراضي للجفاف يحدث تراكم للنترات في الطبقة السطحية من التربة نتيجة لما تساهم به عمليات التآزت تحت ظروف الرطوبة المنخفضة والموجودة في الطبقة تحت السطحية، ثم هجرة النترات المتكونة وصعودها إلى الطبقة السطحية مع المياه عن طريق الخاصية الشعرية. وبالتالي يكون من المتوقع وجود النيتروجين في الطبقة السطحية في صورة نترات بكمية أكبر منه في صورة أمونيوم، ولهذا تستعمل بكميات أكبر وبشكل رئيسي من قبل النباتات النامية. ويكون مصير النترات المتكونة أو المضافة إلى الأرض في صورة أسمدة نيتروجينية ما يلي:

١ - قد تُمتص النترات من قبل النباتات النامية أو تستهلكها الأحياء الدقيقة في بناء أنسجتها خلال عملية التمثيل Immobilization وهي في هذه الحالة تكون غير صالحة للامتصاص بواسطة النباتات .

٢ - قد تُفقد من الأرض أثناء عملية الري مع مياه الصرف وذلك لقلة قدرتها على الأدمصاص على الغرويات الأرضية لأنها تحمل شحنة سالبة .

٣ - يتعرض أيون النترات في الظروف اللاهوائية إلى عملية اختزال ويُطلق عليها عملية عكس التأزت Denitrification .

فقد النيتروجين من الأرض Losses of Soil Nitrogen

استمراراً لتفسير دورة النيتروجين في الأرض الزراعية كما هو واضح في شكل (٤-١) ، نجد أن عنصر النيتروجين يتعرض للفقْد بعدة طرق مختلفة وهو في ذلك يُعتبر أكثر العناصر المغذية تعرضاً للفقْد من الأرض وتلعب الصورة الموجود بها في الأرض دوراً كبيراً في هذا الفقْد . وأهم طرق فقد النيتروجين ما يلي :

١ - إزالة النيتروجين بواسطة المحاصيل Crop Removal

يمكن القول بأن معظم النيتروجين الممتص بواسطة المحاصيل المختلفة والذي يُمثل كمية لا يُستهان بها كما هو موضح في جدول (٤-٦) تُفقد من التربة الزراعية عند حصاد تلك المحاصيل ، فيما عدا المحاصيل التي تُزرع كمحاصيل مراعى ، حيث وجد أن حوالى ٨٥٪ من النيتروجين الممتص من قبل تلك المحاصيل يعود مرة أخرى للتربة كمخلفات حيوانية للحيوانات التي تقوم بعملية الرعى ، كذلك تُعتبر محاصيل الحبوب ذات أهمية في هذا المجال ، فمثلاً وجد أن محتوى ٤ طن من قش Straw القمح لمساحة هكتار (٢,٤ فدان) هو من ٢٠ - ٢٥ كجم نيتروجين . وكما هو معروف يستخدم هذا القش كتبن في تغذية حيوانات المزرعة والتي تُستخدم مخلفاتها في التسميد كأسمدة عضوية ، وبالتالي تعود هذه الكمية مرة أخرى إلى التربة الزراعية .

٢ - فقد النيتروجين في صورة غازية Caseous Losses

أشارت الأبحاث العديدة في السنين الماضية بأن جزءاً كبيراً من النيتروجين يُفقد من الأرض الزراعية في صورة غازية على هيئة أكاسيد نيتروجينية ،

أو الأمونيا وذلك كنتاج لتفاعلات بيولوجية أو كيميائية. وهناك ثلاث طرق مُقترحة تُسبب هذه العملية:

جدول (٤-٦): كمية النيتروجين، الفوسفور والبوتاسيوم المستنزفة من الأرض الزراعية بواسطة بعض المحاصيل (بالكيلو جرام/ هكتار)

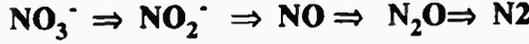
البوتاسيوم (K ₂ O)	الفوسفور (P ₂ O ₅)	النيتروجين (N)	الإنتاج طن/ هكتار	الحصول ↓
١٩٠-٨٠	١٦٠-٢٦	١٠٠-٥٠	٦-٣	الأرز
١٣٠-٦٥	٦٠-٢٧	١٤٠-٧٢	٥-٣	القمح
١٢٠-٥٤	٥٠-٣٦	١٢٠-٧٢	٦-٣	الذرة
٣١٠-١٩٠	٨٠-٣٩	١٧٥-١٤٠	٤٠-٢٠	البطاطس
٣٩٠-١١٠	٧٥-٢٠	١٩٠-٧٠	٤٠-١٥	البطاطا
٣٤٠-١٥٠	٩٠-٥٠	١١٠-٦٠	١٠٠-٥٠	بنجر السكر
١٦٠	٥٠	١٢٠	٣٥	البصل
١٥٠	٣٠	١١٠	٤٠	الطماطم
١٠٠	٤٥	٦٠	٣٥	الخيار
٩٧-٨٠	٤٤-٣٥	٢٢٤-١٦٠	٢,٤-١	فول الصويا
١٢٠	٥٠	١٥٥	٢,٤	الفول
٤٢	١٥	١٠٥	١,٥	الفول السوداني
١٢٦-٥٦	٦٣-٢٨	١٨٠-٧٣	٥-١,٧	القطن
١٢٩	٢٢	٩٠	١,٧	الدخان

عن الـ FAO سنة ١٩٨٤.

أ- عملية عكس التآزت Denitrification

وأساس هذه العملية بأنه تحت الظروف اللاهوائية للأراضي الزراعية في المناطق الغدقة سيئة الصرف تقوم بعض أنواع الكائنات الدقيقة باختزال النترات والنترت إلى صورة غازية وهي NO, N₂O, N₂، ثم تنطلق إلى الهواء الجوي. ويمكن توضيح عملية التآزت

بالمعادلة التالية :



ويمكن تفسير ذلك بأنه في حالة توافر ظروف تهوية جيدة تقوم البكتيريا بأكسدة المادة العضوية بواسطة الأوكسيجين الجوى . أما في حالة غياب الأوكسيجين يتم الأوكسدة باستخدام أوكسيجين النترات كما توضحه المعادلات التالية :

في وجود الأوكسيجين الجوى :



في غياب الأوكسيجين الجوى



كذلك يحدث أكسدة للأحماض العضوية باستخدام أوكسيجين النترات كما يلى :



والأحياء الدقيقة المسؤولة عن هذه العملية هى من أنواع

Micrococcus, Achromobacter and Bacillus pseudomonas,

وبصفة عامة تتراوح الكمية المفقودة بهذه العملية من ٥ - ٥٠% من كمية النيتروجين المضافة، وكما سبق أن أشرنا فى جدول (٤-٣) بأن إجمالي الكمية المفقودة بهذه الوسيلة على مستوى العالم تُقدر بحوالى ٢٠٠-٣٠٠ مليون طن فى العام .

وهناك عدة عوامل تؤثر على عملية عكس التآزت يمكن إيجازها فى النقاط التالية :

١- توافر مادة التفاعل : وهى النترات والنترت والمواد العضوية البسيطة القابلة للأوكسدة (السكريات البسيطة والأحماض العضوية) يُزيد من الفقد .

٢- درجة الحرارة : كما هو معروف بأن يزداد نشاط الكائنات الدقيقة بالأرض مع ارتفاع درجات الحرارة، وبالتالي يزداد استهلاك الأوكسيجين من قبل الكائنات الدقيقة وعلى هذا يكون من المتوقع زيادة كمية النيتروجين المفقودة عن طريق عملية عكس التآزت . ووجد أن معدل عملية عكس التآزت يكون أقصاه خلال فصلى الخريف

والربيع وبداية الصيف، وينخفض بطريقة ملحوظة خلال الصيف بسبب الحرارة المرتفعة جداً، كما أشارت أبحاث متعددة بأن أكبر كمية مفقودة من النيتروجين بهذه العملية عندما تكون درجة الحرارة ما بين ١٥-٤٥ م.

٣- المادة العضوية: تزداد عملية عكس التآزت بزيادة محتوى الأرض الزراعية من المادة العضوية وخاصة في الظروف المعتدلة الحرارة، وذلك نتيجة زيادة نشاط الكائنات الدقيقة واستهلاكها للأكسجين، وأيضاً لأن المادة العضوية تُعتبر مصدراً للطاقة اللازمة لنشاط تلك الكائنات، وأخيراً تُعتبر مصدراً للأيدروجين اللازم لعملية الاختزال. وفي إحدى الدراسات باستخدام النيتروجين المشع N^{15} كما ذكره Mengel and Kirkby سنة ١٩٨٧ وجد أن معدل عكس التآزت يكون مرتفعاً في الأراضي العضوية بالمقارنة بالأرض الطينية الثقيلة والتي تمتاز بأنها متوسطة التهوية والنتائج موضحة بجدول (٤-٧).

جدول (٤-٧): كمية النيتروجين المفقودة نتيجة لعملية عكس التآزت في أراضي

مختلفة الصفات

نوع الأرض	النسبة المئوية لكمية النيتروجين المفقودة من الكمية الكلية المضافة
أرض رملية	٢٥-١١
أرض طينية	٣١-١٦
أرض عضوية	٤٠-١٩

٤- درجة تهوية الأرض: يزداد الفقد للنيتروجين بهذه العملية كلما سادت ظروف التهوية السيئة. وهذه الظروف مرتبطة بمحتوى الأرض من الرطوبة، وهذا لايعنى وجود تأثير مباشر للماء، بل أن السبب الرئيسي هو انخفاض كمية الهواء الأرضي بزيادة الرطوبة. وعلى ذلك لاينصح باستخدام الأسمدة النترائية في مزارع الأرز لحدوث فقد منها بهذه العملية بجانب الفقد بالغسيل.

٥- رقم الـ pH للأرض، أشارت الأبحاث إلى أن ارتفاع الرقم عن ٥ يُسرّع من كمية النيتروجين المفقودة بعملية عكس التآزت، ووجد أن أقصى كمية مفقودة تكون عند رقم pH متعادل ويميل إلى القاعدي الخفيف.

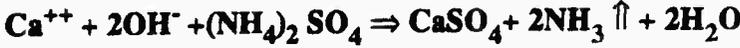
ب- تطاير الأمونيا Ammonia Volatilization

يحدث تطاير للأمونيا الناتجة من تحلل الاسمدة النشادرية أو اليوريا عند إضافتها للتربة إلى أمونيوم، وأيضاً الناتجة من معدنة النيتروجين العضوى بالأرض. وعادةً يكون الفقد بكمية كبيرة فى الأراضى القاعدية والأراضى الغنية بكربونات الكالسيوم ذات الرطوبة المتوسطة، حيث إنه فى حالة جفاف التربة يقل الفقد لعدم حدوث التفاعل، فى حين أنه عند ارتفاع الرطوبة فى الأرض تتوفر كميات كبيرة من الماء تسمح بذوبان الأمونيا وادمصاصها. ويمكن إيضاح كيفية حدوث الفقد عند إضافة أسمدة نيتروجينية مثل: سلفات الأمونيوم أو اليوريا بالمعادلات التالية:

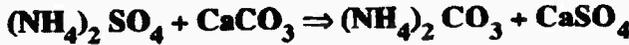
أولاً: يحدث تحلل مائى لكربونات الكالسيوم



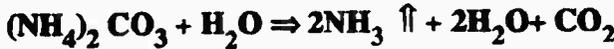
يتحد أيون الكالسيوم وأيون الأيدروكسيل الناتج من الخطوة السابقة مع السماد (سلفات الأمونيوم مثلاً).



أو يحدث تفاعل بين كربونات الكالسيوم مع كبريتات الأمونيوم ويتكون كربونات الأمونيوم.



ثم يحدث تحلل لكربونات الأمونيوم.



ومن التفاعل السابق يمكن القول بأنه إذا كان المركب الناتج من اتحاد الكالسيوم والانيون المصاحب للأمونيوم فى السماد غير ذائب، فإن ذلك سيؤدى إلى تكوين المزيد من كربونات الأمونيوم، وبالتالي يحدث فقد للأمونيا بكمية أكبر. حيث أكدت كثير من الأبحاث أن الاسمدة التى تكون نواتج غير ذائبة مع الكالسيوم مثل $\text{Ca}(\text{F}, \text{SO}_4, \text{HPO}_4^-)$ تفقد كمية كبيرة من الأمونيا، بينما الاسمدة التى تكون نواتج ذائبة مع الكالسيوم مثل $\text{Ca}(\text{NO}_3^-, \text{Cl}^-)$ تفقد كمية قليلة من الأمونيا.

ويوجد العديد من العوامل التي تؤثر على تطاير الامونيا منها:

- رقم الـ pH: حيث وجد أنه بزيادة قاعدية الأرض يزداد فقد الامونيا من أسمدة الامونيوم واليوريا. ويمكن إيضاح طبيعة تأثير الـ pH على سلوك الامونيوم المتكون أو المضاف بواسطة المعادلة الآتية:



أى أنه بزيادة تركيز أيون الأيدروكسيل فى الوسط يتجه التفاعل السابق نحو اليمين. وعلى ذلك يمكن أن نتوقع أن فقد الامونيا بالتطاير قد ينخفض كثيراً فى الأراضى الحامضية.

وجد أنه بارتفاع درجة الحرارة يزداد تحلل اليوريا، وبالتالي يزداد الفقد، وبصفة عامة يختلف تأثير درجة الحرارة على كمية الامونيا المفقودة بالتطاير حسب الأسمدة النيتروجينية المضافة وكذلك خواص الأرض. هذا بجانب عوامل أخرى مثل السعة التبادلية الكاتيونية، وجود الأملاح بالأرض، مستوى السماد المضاف وطريقة إضافته.

وبصفة عامة يمكن خفض الكمية المتطايرة للامونيوم بخلط السماد النشادرى (الامونيومى) مع الطبقة السطحية من التربة الزراعية أو وضعه تحت سطح التربة، ولكن يُفضل إضافة الأسمدة النتراتية لمثل هذه الأراضى.

٣- تثبيت الأمونيوم Ammonium Fixation

يتعرض أيون الامونيوم المضاف إلى التربة أو الناتج من عملية المعدنة بواسطة معادن الطين القابلة للتمدد Expanded lattice، وبالتالي تقل حركته ودرجة صلاحيته للنبات. حيث يتم تثبيته بقوة بين الوحدات البلورية لمعادن الطين من نوع ١:٢ وتشمل المونتيمويللونيت Montmorillonite والإليت Illite والفيرميكيولايت Vermiculite. وإن ميكانيكية تثبيت الأمونيوم مشابهة لتلك التى يُثبت بها أيون البوتاسيوم K^+ ، وتم حدوث تبادل بين أيون الامونيوم NH_4^+ الذائب فى المحلول الأراضى وأيون موجب آخر موجود بين الوحدات البلورية، وتزداد الكمية المثبتة فى الطبقة تحت السطحية للأرض عنها فى الطبقة السطحية ويرجع ذلك لزيادة كمية الطين فى

الطبقات تحت السطحية .

وتفيد عملية التثبيت هذه فى حفظ الامونيوم من الفقد مع مياه الصرف، ويمكن أن تستفيد منه النباتات النامية بشرط أن يكون لها مجموع جذرى قوى ونشط له القدرة على جذب وامتصاص الامونيوم المدمص على أسطح الغرويات الأرضية. كذلك وجد أن الامونيوم المثبت يمكن أن يتحول إلى نترات وذلك من خلال عملية التازت. وفى إحدى الدراسات للعالمين Mengel و Scherer عام ١٩٧٩ تم تقدير كمية الامونيوم المثبتة بواسطة معادن ٢:١ فوجد أنها حوالى ٢٠٠٠ - ٣٠٠٠ كجم نيتروجين / هكتار وأن حوالى ١٠٠ - ٣٠٠ كجم نيتروجين / هكتار تنطلق خلال فترة النمو. وتأثر عملية التثبيت للامونيوم بعدة عوامل منها:

١ - فترة التفاعل: يكون تثبيت الامونيوم فى أقصى درجة له بعد إضافة الامونيوم مباشرة، ويقل معدل التثبيت مع الزمن حتى الوصول إلى نقطة الاتزان.

٢ - كمية الامونيوم المضافة: من الطبيعى أن تزداد الكمية المثبتة بزيادة الكمية المضافة. ولكن نسبة الامونيوم المثبتة تقل مع زيادة الكمية المضافة كما يتضح ذلك من جدول (٤-٨).

٣ - تعاقب التجفيف والترطيب للأرض: وجد أن التجفيف بعد إضافة الامونيوم يزيد من الكمية المثبتة وذلك لسببين:

أولاً: بانخفاض الرطوبة فى الأرض يزداد تركيز الامونيوم فى المحلول الأرضى، وبالتالي الكمية المتبادلة والمثبتة،

ثانياً: مع جفاف التربة يزداد التصاق الوحدات البلورية المكونة لمعادن الطين، أى تقل المسافات البينية بين هذه الوحدات لفقدائها للماء، وبالتالي يزداد تثبيت الامونيوم.

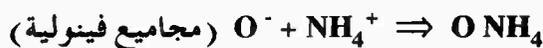
جدول (٤-٨): العلاقة بين الكمية المضافة والمثبتة من الأمونيوم لأرض يسود بها معدن الفيرميكيولايت

الكمية المضافة مليماكافى/ ١٠٠ جم تربة	الكمية المثبتة مليماكافى/ ١٠٠ جم تربة	النسبة المثوية للكمية المثبتة من الكمية المضافة
١	٠,٨٣	٨٣
٢	١,٣٩	٧٠
٥	٣,١٧	٦٣
١٠	٣,١٨	٣٢
٢٠	٣,٨٥	١٩
٤٠	٤,٤٨	١١

عن عواد كاظم مشحوت (١٩٨٧) - فى مستخلص ١:١

٤ - نوع معدن الطين الساتر . بصفة عامة تزداد قدرة الأرض على التثبيت بزيادة محتواها من معادن ٢ : ١ .

٥ - المادة العضوية: من الدراسات السابقة يمكن القول بأن للمادة العضوية تأثير مزدوج، حيث يحدث تثبيت للأمونيوم من خلال انجذابه إلى المجموع الكربوكسيلية والفينولية المتأينة فى الوسط القاعدى كما يتضح من المعادلات الآتية :



والرأى الآخر يقول إن زيادة محتوى الأرض من المادة العضوية يقلل من الأمونيوم المثبت، وتفسير ذلك بأن جزءاً من المادة العضوية بعد تحللها قد يدمص بين طبقات الوحدات البلورية لمعادن الطين مما يقلل من دخول أيون الأمونيوم لمواقع التثبيت .

٦ - تأثير الأيونات الأخرى: يمكن القول بأن الأيونات التى تزيد من قدرة المعادن الأرضية على التمدد مثل: H^+ , Na^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} تقلل من تثبيت الأمونيوم،

والعكس بالنسبة للأيونات التي تقلص من هيكل معادن الطين مثل: K^+ , Rb^+ , Cs^+ . وقد أشارت كثير من الأبحاث أن أيون البوتاسيوم يعمل على عرقلة تثبيت الامونيوم. ولكن تأثير هذا الأيون يعتمد على وقت إضافته بالنسبة إلى إضافة الامونيوم، فالإضافة المسبقة للبوتاسيوم تقلل من الامونيوم المثبت. ولكن إضافة البوتاسيوم بعد إضافة الامونيوم لا يكون له تأثير واضح على الكمية المثبتة.

وفي النهاية يمكن القول بأن عملية تثبيت الامونيوم لا تعتبر ذات أهمية كبيرة في تغذية النبات وذلك لكون أكسدة الامونيوم المثبت أبطأ بكثير من الامونيوم المتبادل، كذلك لأن معدل تحرر الامونيوم المثبت قليل. ولكن يجب مراعاة تأثير هذه العملية عند إضافة الأسمدة الحاوية على الامونيوم إلى الأراضي الغنية بالطين القابل للتمدد من نوع ١:٢؛ لأن ذلك يقلل من كفاءة السماد المضاف.

٤ - الفقد بالغسيل Leaching Losses

كما هو معروف فإن أيون النترات NO_3^- أيون سالب الشحنة، وعلى ذلك تكون فرصة ادمصاصه على أسطح الغرويات الأرضية قليلة، وذلك للتنافر نتيجة تشابه الشحنة. مما يسهل من غسياله وفقده مع مياه الصرف. وقد يُدمص هذا الأيون على أسطح بعض الغرويات الأرضية والأكاسيد موجبة الشحنة وخاصة في الأراضي الحامضية، وعند غياب هذه المواد يفقد هذا الأيون إلى الطبقات تحت السطحية أو مع مياه الصرف. وتتوقف كمية النترات المفقودة بالغسيل على كمية المياه وعدد مرات الري - محتوى الأرض من الأكاسيد والغرويات الموجبة الشحنة - قوام الأرض حيث يزداد الفقد بانخفاض كمية الطين في الأرض كما توضحها نتائج Enzmann سنة ١٩٨٣ والموجودة في جدول (٤-٩). ويمكن تقليل فقد النترات بالغسيل باتباع المعاملات الزراعية التالية:

- استخدام كميات قليلة من المياه (ترشيد استهلاك مياه الري).
- استخدام السماد النتراتي بالكمية المناسبة وفي الوقت الملائم.
- تجزئة كمية السماد المستخدمة.
- استخدام السماد النتراتي في تسميد المحاصيل ذات الجذور العميقة.

جدول (٤-٩): تأثير محتوى التربة من الطين علي كمية النترا ت المغسولة منها
في مزرعة أرز

الكمية المغسولة %	كمية النترا ت المغسولة مع مياه الصرف (مجم / أبيض)	التربة
١٠٠	٣,٤٦٩	١٠٠٪ رمل
٥٧	٢٦٦,٠	٢/٣ رمل + ١/٣ طين
٤١	٤,١٩٠	١/٣ رمل + ٢/٣ طين
٢	٨,١٥٠	١٠٠٪ طين

٥ - فقد النيتروجين العضوي Organic Nitrogen Losses

ويحدث ذلك نتيجة لفقد المادة العضوية من الطبقة السطحية بالأرض بواسطة عمليات الانجراف بالرياح أو بالمياه. وخاصة في المناطق الموجودة على المنحدرات وهي طبقات غنية بالمادة الضوية، ويحدث ترسيب لهذه الطبقة في منطقة أخرى.

ومما سبق نجد إنه من الضروري إمداد النبات بحاجته من عنصر النيتروجين لزيادة المحصول في معظم الأراضي. ويرجع ذلك لأن المصادر الطبيعية للنيتروجين تقتصر على النيتروجين العضوي والنيتروجين المثبت بيولوجياً. وكما هو معروف بأن أراضي المناطق الجافة والحارة وشبه الجافة كما هو في مصر - فقيرة في محتواها من المادة العضوية، بالإضافة إلى كثرة العوامل المؤدية إلى فقد هذا العنصر من الأرض. وعلى ذلك فاستمرار زراعة المحاصيل سنة بعد أخرى مع التكتيف الزراعي يؤدي إلى استنزاف مخزون الأرض من النيتروجين. ولتحاشي هذا الاستنزاف وزيادة إنتاج المحاصيل يجب العناية بتجديد هذا المخزون وذلك بالعمل على زيادة محتوى الأرض من المادة العضوية بإضافة بقايا المحاصيل إلى الأرض - التسميد العضوي (سماد الإسطل) - زراعة المحاصيل البقولية وخاصة محاصيل المراعي وأخيراً إضافة الأسمدة الكيماوية.

من السابق نجد أن طرق فقد النيتروجين من التربة متعددة وهذا يشكل فاقداً اقتصادياً كبيراً بجانب كونه ملوثاً للبيئة. وعلى هذا لا بد من اتباع كل الطرق الممكنة لمنع أو تقليل الفقد، ومن الناحية الزراعية يكون من الضروري حساب الكميات المطلوبة من الأسمدة الأزوتية لكل محصول بدقة وفي نفس الوقت يتم استخدام السماد بكفاءة.

اختبارات نيتروجين التربة Soil Nitrogen Testes

كمؤشر عام، يعتبر ظهور أعراض نقص النيتروجين على النباتات المعروفة في العالم أكثر وضوحاً بالمقارنة بأعراض نقص باقى العناصر المغذية. وعلى الرغم من ذلك لا تعتبر هذه الطريقة من الطرق الجيدة لتحديد مدى تيسر عنصر النيتروجين فى الأرض. ويرجع ذلك لأن حوالى ٩٧-٩٩٪ من نيتروجين التربة يوجد على صورة مركبات عضوية معقدة وهى صورة غير صالحة للامتصاص بواسطة النباتات فى حينه. وهذه الصورة من النيتروجين ممكن أن تتحول ببطء إلى الصورة الصالحة (المعدنية) وذلك نتيجة تحلل المادة العضوية بواسطة الكائنات الأرضية الدقيقة. وهناك عدة مشاكل تعوق تحديد موقف النيتروجين الميسر فى الأرض بواسطة اختبارات التربة للنيتروجين ومنها:

١ - إن معدل تحلل المادة العضوية وبالتالى معدنة النيتروجين العضوى بواسطة الكائنات الأرضية يتوقف على العديد من العوامل المؤثرة على نشاط تلك الكائنات منها درجة الحرارة الملائمة، الرطوبة، درجة التهوية، نوع المادة العضوية، قيمة الـ pH للتربة وعوامل أخرى.

٢ - الصورة الأساسية للنيتروجين الميسر وهى النيتروجين النتراتى ($N - NO_3$) والذى يكون عرضة لعملية الغسيل، وأيضاً تتعرض للفقد عن طريق عملية عكس التآزت Denitrification وكذلك تعرضها لعملية التمثيل Immobilization داخل أجسام الكائنات الدقيقة.

توجد عدة طرق لتقدير النيتروجين الميسر فى التربة والمستخدمه خلال الـ ٧٠ عام الماضية. وتقسّم هذه الطرق والخاصة بتقدير النيتروجين النتراتى ($N-NO_2$) إلى مجموعتين أساسيتين وهما:

1 - اختبارات وصفية للنيتروجين الميسر.

ب - اختبارات النيتروجين المعدنى الاولى Initial inorganic N ، وداخل هاتين المجموعتين توجد طرق بيولوجية وكيميائية.

وأوسع الطرق المستخدمة انتشارا فى هذا المجال طريقة كلداهل Kjeldahl method ، وفيها يتم تحويل النيتروجين العضوى والمعدنى إلى أمونيا وذلك عن طريق عملية الهضم بواسطة حمض الكبريتيك المركز H_2SO_4 ، ثم يتم تقدير الامونيا المتكشفة عن طريق المعايرة. ونظراً لأن محتوى المادة العضوية من النيتروجين يكون ثابتاً نسبياً، فإنه وبطريقة غير مباشرة يمكن تقدير كمية النيتروجين بالأرض وذلك بمعرفة النسبة المئوية للمادة العضوية أو الكربون العضوى فى الأرض. وهناك اختبارات أخرى تستخدم كمؤشرات للنيتروجين الميسر بالتربة ومنها: طريقة البرمنجنات القلوية Alkaline permanganate test ، وفيها يتم معاملة عينة التربة بمحلول برمنجنات البوتاسيوم $KMnO_4$ وكربونات الصوديوم Na_2CO_3 وحمض الكبريتيك المخفف $Dilute H_2SO_4$ وأيدروكسيد الصوديوم $NaOH$ ، وأيدروكسيد الكالسيوم $Ca(OH)_2$ أو أيدروكسيد الباريوم $Ba(OH)_2$ مع الغليان، ويتم تقدير كمية الأمونيا الناتجة من أكسدة المادة العضوية فى الأرض. ومن أكثر الطرق انتشارا لتقدير النيتروجين المعدنى الاولى بالأرض، هى طريقة Phenodisul- fonic acid method وذلك لتقدير النيتروجين النتراى ($N-NO_3$) وتقاس بواسطة Ni- trate ion electrode وذلك كطريقة روتينية وسريعة أو يتم الاستخلاص بواسطة محلول استخلاص كلوريد البوتاسيوم العيارى $1N KCl$. وجدول (٤ - ١٠) يوضح النتائج المتحصل عليها بطريقة كلداهل والتي يمكن بها تحديد مدى خصوبة التربة بعنصر النيتروجين.

وفى عدة أراضى مختلفة القوام من رومانيا قام العالم Davidescu وآخرون سنة ١٩٨٢ باستخدام مستخلص محلول كبريتات البوتاسيوم K_2SO_4 قوته ٠,١ و ٠,٢ عيارى لاستخلاص النيتروجين من عدة عينات تربة مختلفة فى قوامها ودرجة الحموضة بها. وتم تصنيف تلك الأراضى حسب محتواها من النيتروجين كما يوضحها جدول (٤-١١).

جدول (٤-١٠): الحدود الحرجة للنيتروجين بالتربة

التصنيف	الـ % للنيتروجين الكلي (تربة جافة)
فقيرة جداً	$0,1 >$
فقيرة	$0,2 - 0,1$
متوسطة (مدى طبيعي)	$0,5 - 0,2$
غنية	$1,0 - 0,5$
غنية جداً	$1,0 <$

عن Landon سنة ١٩٨٤.

جدول (٤-١١): كمية النيتروجين المستخلصة (ppm) بمحلول كبريتات البوتاسيوم من عدة أراضي مختلفة القوام ودرجة الـ pH

أرض ثقيلة القوام ذات pH			أرض متوسطة القوام ذات pH			أرض خفيفة القوام ذات pH			حالة
<	٥,٦	>	<	٥,٦	>	<	٥,٥	>	الإمداد
٦,٥	٦,٥ -	٥,٥	٦,٥	٦,٥ -	٥,٥	٦,٥	٦,٥ -	٥,٥	
٩>	٨	٦	٨	٦	٥	٦	٥	٣	منخفض
١٢	١١	٩	١١	٩	٨	٩	٨	٥	متوسط
١٧	١٥	١٤	١٥	١٤	١٢	١١	٩	٨	طبيعي
٢٣	٢١	٢٠	٢٠	١٨	١٧	١٥	١٤	١١	مرتفع
٢٦<	٢٤	٢٣	٢٣	٢٣	٢٠	١٧	١٥	١٤	مرتفع جداً

النيتروجين في النبات Nitrogen in Plant

تتراوح نسبته في النباتات المختلفة من ١,٥ - ٤٪ ويمكن إيجاز أهم الوظائف الحيوية للنيتروجين في النبات فيما يلي :

١ - يتحد مع المركبات الكربونية المتكونة في النبات ليكون ميثان المركبات العضوية المختلفة والتي منها الكلوروفيل - البروتوبلازم - البروتين - الأحماض النووية - الفيتامينات والإنزيمات .

٢ - يزيد من نمو وتطور كل الأنسجة النباتية الحية .

٣ - يُحسن من جودة الخضراوات الورقية ومحاصيل الأعلاف ويزيد من محتوى البروتين في محاصيل الحبوب .

يمتص النبات النيتروجين من المحلول الأرضي إما في صورة أيون الأمونيوم NH_4^+ أو أيون النترات NO_3^- . وبصفة عامة تختلف السيادة لأى من الأيونين حسب عوامل مختلفة سوف تُذكر فيما بعد . ويجدر الإشارة هنا إلى أن أيونات الأمونيوم تدخل مباشرة بعد امتصاصها مع الأحماض العضوية داخل النبات لتكون الأحماض الأمينية . بينما أيون النترات لا بد أن يُختزل أولاً إلى أيون الأمونيوم على مرحلتين توضحهما المعادلة التالية :



وتتم عملية اختزال النترات إلى نترات بمساعدة عوامل مساعدة موجودة في السيتوبلازم، بينما اختزال النترت إلى أمونيوم يتم بواسطة مركبات أخرى موجودة في البلاستيدات الخضراء . وعملية الاختزال تتم في الجذور وأيضاً في الأجزاء الهوائية للنبات، ويختلف معدل الاختزال في كل منها باختلاف النبات وتركيز النترات في الأرض .

أعراض نقص النيتروجين على النبات

كما سبق في ذكر الوظائف الحيوية للنيتروجين في النبات نجد أنه عنصر ضروري لنمو النبات، حيث يدخل في تكوين البروتينات والبلاستيدات الخضراء والأحماض

النوية وغيرها من المركبات المكونة لخلاياه وأنسجته، وعلى ذلك فنقصه يؤثر بشكل مباشر على إنتاجية المحاصيل. ويمكن إيجاز أهم أعراض نقص النيتروجين على النباتات بصفة عامة فيما يلي:

١ - يحدث إعاقة لنمو النبات، أى يكون النبات قصير -السيقان رقيقة- الأوراق صغيرة.

٢ - يسود اللون الأصفر على النبات وذلك لعدم قدرة البلاستيدات الخضراء على التطور، ويظهر اللون الأصفر أولاً على الأوراق المسنة بداية من قمة الورقة، ثم يغطى جميع أجزاء الورقة. وقد تتشابه أعراض نقص النيتروجين والخاصة باللون الأصفر مع أعراض نقص عناصر أخرى مثل: الحديد والكالسيوم والكبريت إلا أن أعراض نقص العناصر الثلاثة الأخيرة تظهر على الأوراق الحديثة أولاً (لأن هذه العناصر غير قابلة للحركة داخل النبات عكس النيتروجين).

٣ - تنضج النباتات بسرعة مما يؤثر سلبياً على عملية التزهير، وبالتالي ينخفض المحصول.

٤ - ينخفض محتوى النبات بشكل عام من البروتين.

يزداد تشعب المجموع الجذرى للمحاصيل المنزرعة فى أراضى فقيرة فى محتواها من النيتروجين. وإن نسبة الجذور: المجموع الخضرى تكون مرتفعة، وقد تنعكس هذه النسبة بزيادة النيتروجين فى الأرض. وهذا يعنى أن الأراضى الغنية بالنيتروجين تكون جذور النباتات بها قصيرة وسميكة وجيدة التفرع. ويفسر ذلك بأن الجذر يستهلك كمية النيتروجين القليلة الممتصة من الأرض الفقيرة فى عنصر النيتروجين، وبالتالي تقل الكمية المنتقلة من الجذر إلى المجموع الخضرى لكى تتفاعل مع الكربوهيدرات لتكوين مزيد من الخلايا الجديدة مما يسبب ضعف إنتاجية المجموع الخضرى على حساب نمو المجموع الجذرى. وقد يؤدي هذه الحالة إلى تحرك الكربوهيدرات من الأوراق إلى المجموع الجذرى ويتفاعل مع النيتروجين الممتص مما يؤدي إلى مزيد فى نمو الجذور على حساب النمو فى المجموع الخضرى شكل (٤-٤). وطبيعياً أن التسميد النيتروجينى يعكس هذه الحالة.

وفيما يلي أعراض نقص النيتروجين على نباتات بعض المحاصيل الاقتصادية:

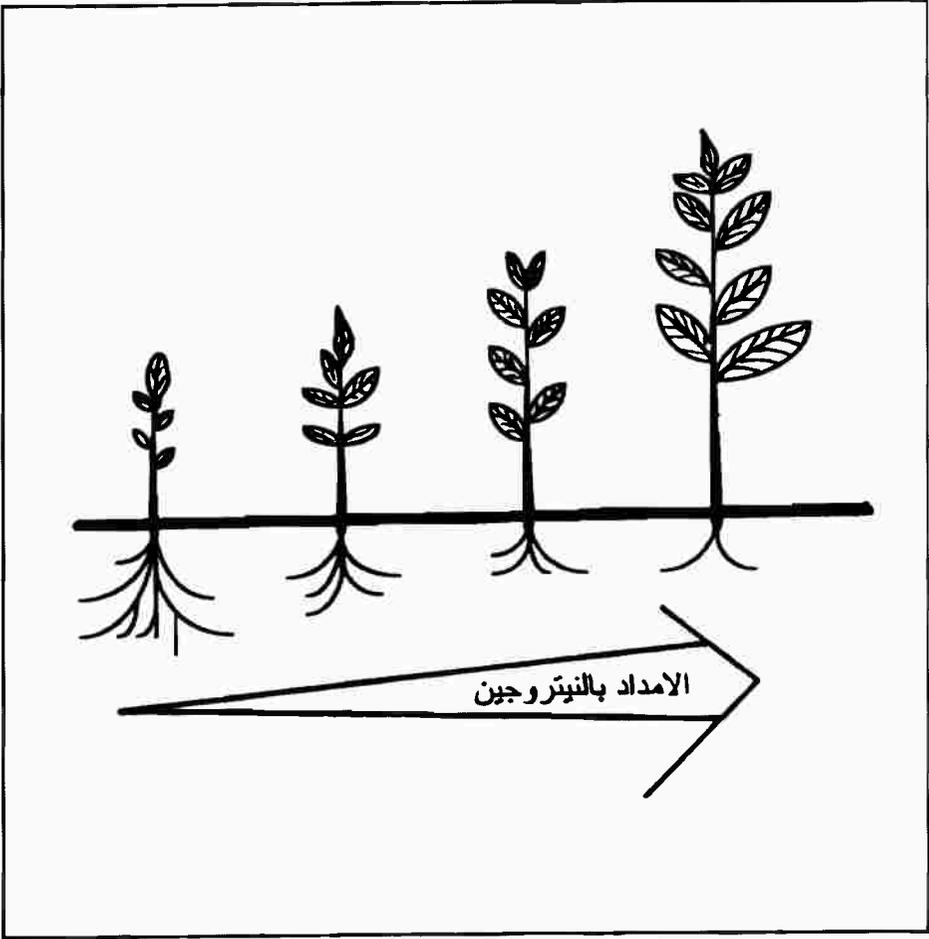
الموالح: تظهر الأعراض أولاً على الأوراق في شكل لون أخضر باهت يتدرج إلى الأخضر المصفر، ثم يتحول إلى الأصفر الكامل. ويزداد معدل تساقط هذه الأوراق عن المعدل الطبيعي. وتتميز النموات الحديثة التي تخرج أثناء استمرار حالة النقص باللون الشاحب وبأن أوراقها الحديثة التي تخرج أثناء استمرار حالة النقص باللون الشاحب وبأن أوراقها الحديثة أقل حجماً وسمكاً عنها في حالة الأشجار العادية. ويجب ملاحظة أنه يمكن أن تظهر أعراض نقص النيتروجين في أي مزرعة يضاف لها كمية كافية من النيتروجين، ولكن يتم ربيها بكمية زائدة من المياه عن احتياج الأشجار حيث يتم غسيل السماد، أو في حال ارتفاع مستوى الماء الأرضي نتيجة لسوء الصرف، وأيضاً عند انتشار الحشائش في البستان.

القمح، الشعير والأرز: يتحول لون الورقة بانتظام إلى اللون الأخضر المصفر مع إصفرار قمة النصل، وتظهر الأعراض على أوراق النبات كله مبتدئاً بالأوراق المسنة، ويؤدي هذا النقص إلى نقص في تكوين السنابل.

الدرة: يقل حجم النباتات الصغيرة، ويصبح لون الأوراق أخضر مصفر، وتظهر الأعراض على الأوراق السفلية أولاً بشكل إصفرار أطراف الورقة، ثم يسرى هذا الإصفرار في العرق الوسطى، بينما تبقى حواف الورقة خضراء، وينتشر الإصفرار بسرعة على كل أوراق النبات.

القطن: تظهر الأوراق السفلية بلون أخضر مصفر، وتقل مساحتها. وتنتشر الأعراض إلى أعلى النبات، وفي حالات النقص الشديد يكون ظهور الأعراض مبكراً على الأوراق الفلقية. ويكون حجم النبات أقل عن الحجم الطبيعي وفي جميع مراحل النمو وتظهر الساق بشكل قرمزي مع قلة التفرع، وزيادة التخشب، ويقل الإزهار والإثمار.

البطاطس: يقل نمو النبات، ويقصر الساق، ويصبح لون النبات أخضر فاتح إلى أخضر مصفر، وعند ازدياد النقص يشحب لون الوريقات السفلى ويتحول إلى اللون الأصفر الباهت، ويزيد تساقط الأوراق، ويقل إنتاج الدرنة.



شكل (٤-٤): تأثير زيادة مستوى الإمداد بالنيتروجين على نسبة الجنور إلى السيقان في المراحل الأولى من نمو نباتات الحبوب

نماذج لأعراض نقص النيتروجين على بعض النباتات صفحة ٤٦١ ، ٤٦٢

الأسمدة المحتوية على النيتروجين (الأسمدة النيتروجينية)

Nitrogen Fertilizers

كما سبق إيضاح أن النبات يمتص النيتروجين إما على صورة أيون الأمونيوم NH_4^+ أو أيون النترات NO_3^- ، وعلى ذلك تم تصنيع الأسمدة الكيماوية بحيث تحتوى على

إحدى الصورتين أو كليهما. ويمكن تقسيم الأسمدة النيتروجينية إلى خمسة أقسام
وهي:

١ - الأسمدة النشادرية

جميع هذه الأسمدة ذائبة في الماء، ويكون النيتروجين في صورة أمونيوم، وعند تحرر
هذا الأيون من هذه الأسمدة يتأكسد بسرعة في الأراضي المتعادلة والقليلة الحموضة إلى
أيون النترات. ويكون تأثير هذه الأسمدة حامضي على خواص الأرض كما يتضح من
المعادلة التالية:



ومن المعادلة نجد أن جزيء واحد من كبريتات الأمونيوم به ٢ مول أمونيوم والذي
يعطى ٢ مول أيديروجين H^+ لكل واحد مول من الأمونيوم NH_4^+ وتكون الاحتياجات
الجيرية اللازمة لمعادلة الحموضة الناتجة عن ١ كجم نيتروجين في صورة كبريتات أمونيوم
هي ٧,١ كجم كربونات كالسيوم $CaCO_3$ ، بينما تنخفض هذه الكمية إلى النصف في
حالة استخدام اليوريا كمصدر للنيتروجين. ويتضح من المعادلة أيضاً أن عملية التآزر
للأمونيوم يكون لها تأثير حامضي، في حين إذا امتص أيون الأمونيوم مباشرة بواسطة
النباتات لا يحدث هذا التأثير، وبمعنى آخر في الأراضي جيدة التهوية تسود عملية
التآزر، وبالتالي ينتج عن ذلك حموضة الأرض وتحت هذه الظروف تقل أو تنعدم
عملية عكس التآزر. ومن الأسمدة النشادرية:

- سماد كبريتات الأمونيوم $(NH_4)_2SO_4$: يحتوى هذا السماد على ٢١٪ نيتروجين،
٤,٢٣٪ كبريت.

- سماد كلوريد الأمونيوم NH_4Cl : ويحتوى على ٢٦٪ نيتروجين، كذلك يحتوى على
نسبة كبيرة من الكلوريد، مما يقلل من استخدامه في الأراضي المتأثرة بالأملاح. كما
إنه يفضل على كبريتات الأمونيوم في مزارع الأرز تجنباً لتعرض الكبريت للاختزال
وتكوين غاز H_2S السام للنبات.

- فوسفات أحادي الأمونيوم $NH_4H_2PO_4$: ويحتوى على ١١٪ نيتروجين و ٢١٪
فوسفور.

- فوسفات ثنائي الأمونيوم $(NH_4)_2HPO_4$: ويحتوى من ١٦-٢١٪ نيتروجين و ٢١-٢٣٪ فوسفور.

٢ - الأسمدة النتراية

تُعتبر جميع الأسمدة النتراية ذائبة بالماء، وعامل المفاضلة فى اختيار نوع السماد النتراى هو الأيون المرافق لانيون النترا. وبصفة عامة لا يُفضل استخدام هذه الأسمدة فى الأراضى المغمورة بالماء مثل: مزارع الأرز أو الأراضى التى تعتمد فى ربيها على الأمطار؛ وذلك لقابلية أيون النترا للغسيل بسهولة. ولنفس السبب أيضاً يجب عدم إضافة الأسمدة النتراية إلا بعد تكوين مجموع جذرى للنبات حتى لا يضيع مع مياه الصرف ومن هذه الأسمدة:

- نترات الصوديوم $NaNO_3$: يحتوى هذا السماد على ١٦٪ نيتروجين، ٢٦٪ صوديوم. ورغم أن هذا الملح متعادل إلا أن تأثيره الفسيولوجى فى الأرض قاعدى، حيث يؤدى إلى رفع الـ pH للأرض وخاصة تحت ظروف المناطق الجافة وشبه الجافة، وبالتالي لا يُنصح باستخدامها تحت هذه الظروف. هذا بجانب تأثير أيون صوديوم على تفريق حبيبات التربة والتأثير السام على النبات. ويُفضل إضافته للأرضى المنزرعة ببنجر السكر وذلك لحاجة هذا المحصول للصوديوم بالإضافة إلى النيتروجين.

- نترات الجير المصرى (نترات الكالسيوم $Ca(NO_3)_2$): يحتوى هذا السماد على ١٥,٥٪ نيتروجين، و ١٩,٥٪ كالسيوم. وهذا السماد شديد التميع ولذلك يجب عدم تعرض هذا السماد إلى الهواء إلا عند الاستعمال، ويعتبر هذا السماد جيداً للأراضى الجافة القلوية وبعض الأراضى الجيرية. ويفضل إضافة هذا السماد للأراضى الحامضية لاحتوائه على نسبة عالية من الكالسيوم.

- نترات البوتاسيوم KNO_3 : يحتوى على ١٣,٥٪ نيتروجين و ٣٦,٥٪ بوتاسيوم.

٣ - الأسمدة النتراية النشادرية

وهذه الأسمدة تحتوى على النيتروجين فى صورة أيونى الأمونيوم والنترات، وهى ذائبة بالماء وتشمل:

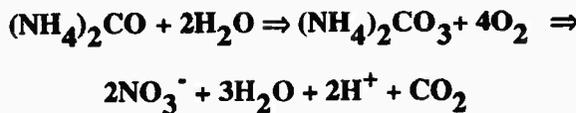
- سماد نترات الأمونيوم NH_4NO_3 : ويحتوى هذا السماد على النيتروجين بنسبة ٣٢-٣٥٪ وهو شديد التميع مما يجعل من الصعب تداوله، بالإضافة إلى كونه قابل للانفجار فى وجود الحرارة، كذلك يمكن أن يتفاعل هذا الملح مع المواد المختزلة مثل: المواد الكربونية، وعلى ذلك يجب الحرص أثناء تداوله وتخزينه.

- سماد نترات النشادر الجيرية: ويحوى ٢٠,٥٪ نيتروجين، وهو عبارة عن سماد نترات الأمونيوم مخلوطا بكاربونات الكالسيوم CaCO_3 ، والغرض من إنتاجه هو التقليل من شدة تميع نترات النشادر وأيضاً تقليل قابليته للانفجار، وبالتالي يكون من السهل تداوله.

٤ - الأسمدة الأميدية

وهى أسمدة غير عضوية من الوجهة الزراعية رغم إنها مركبات عضوية من الناحية الكيماوية، حيث إنها لا تترك أى مخلفات عضوية فى الأرض بعد تحليلها. أيضا تختلف فى سلوكها فى الأرض عن الأسمدة العضوية المعروفة. وهى تحوى النيتروجين فى صورة أميد Amides ومنها:

- اليوريا $(\text{NH}_4)_2\text{CO}$: وهو سماد غير أيونى ويطلق عليه أيضاً Caramide ويحتوى على ٤٦٪ نيتروجين. وتأثير اليوريا قاعدى فى بداية الأمر لتحللها إلى كربونات أمونيوم، ثم يصبح حامضياً نتيجة حدوث عملية التازت التى تحدث للأمونيوم وأيضاً لتكوين حمض الكربونيك الناتج من ذوبان ثانى أوكسيد الكربون الناتج، ويوضح ذلك المعادلة التالية:



ويوجد أيضاً بعض الأسمدة الأخرى غير الشائعة الاستخدام فى مصر ومنها سياناميد الكالسيوم ٢١-٢٢٪- سماد اليوريا المغطاة بالكبريت ٤٠٪ نيتروجين- سماد فوسفات اليوريا ١٧,٧٪ نيتروجين- وسماد اليوريا فورمالدهيد ٤٠٪ نيتروجين.

٥ - الأسمدة السائلة

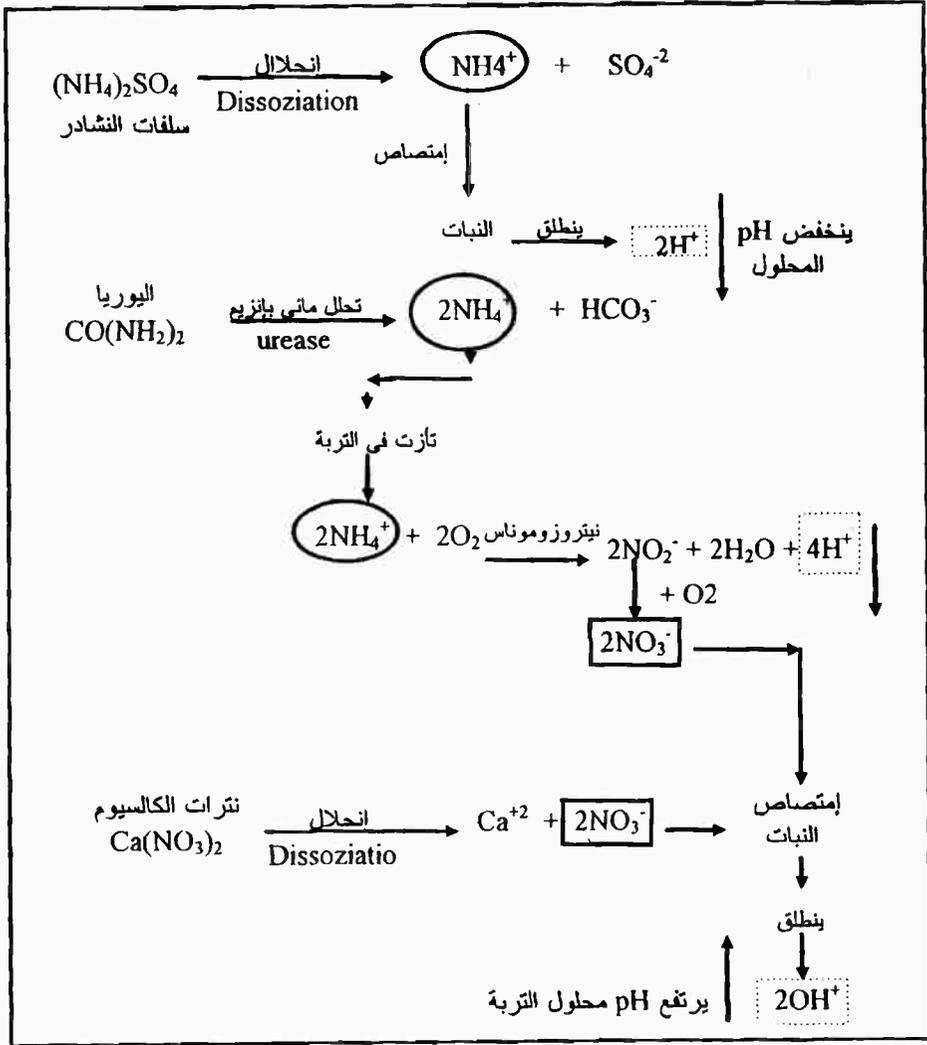
يوجد العديد من الأسمدة النيتروجينية فى الصورة السائلة التى يمكن استخدامها مباشرة مع مياه الري سواء كان بالرش أو الغمر، وتنتج هذه الأسمدة فى مصر ومنها:

- سماد يوريا - نترات النشادر: ويحتوى على النيتروجين فى صورة أميدية ونتراتية ونشادرية بنسبة ٣٢٪. وهذا السماد ذو كثافة قدرها ١,٣ جم/سم^٣ ويحتوى اللتر منه على ٤١٦ جم نيتروجين.

- نترات الكالسيوم السائل: ويحتوى على النيتروجين فى صورة نترات ونسبته ١١٪. وكثافته ١,٦ جم/سم^٣ ويحتوى اللتر منه على ١٧٦ جم نيتروجين. ويحتوى على الكالسيوم الذائب بنسبة ١٣٪.

- سلفونترات النشادر: ويحتوى على النيتروجين فى صورة نتراتية ونشادرية بنسبة ١٨٪، وعنصر الكبريت بنسبة ٢٪. وكثافة هذا السماد ١,٣ جم/سم^٣ ويحتوى اللتر منه على ٢٣٤ جم نيتروجين، وهذا السماد يصلح لجميع أنواع المحاصيل المنزرعة بمختلف أنواع الأراضى ماعدا الأرز.

من ناحية التأثير الفسيولوجى للأسمدة النيتروجينية أوضحها Amberger سنة (١٩٩٣- b) كما فى شكل (٤-٥) بأنه فى حالة إضافة الأسمدة النشادرية أو اليوريا والمضاف لها مثبطات التآزت Nitrification inhibitors مثل: (Dicyandiamide) وذلك بهدف إطالة فترة وجود الامونيا فى التربة مما يجعل النباتات مضطرة لامتصاص النيتروجين على صورة أيون NH_4^+ ، وفى هذه الحالة يقوم النبات بإخراج بروتون (H^+) وذلك للحفاظ على التوازن الأيونى داخل الخلايا، بجانب حدوث عملية التآزت لجزء من الامونيوم الموجود وفى هذه الحالة ينخفض رقم ال pH فى منطقة الريز وسفير. والعكس عند التسميد بالنترات لا يحدث هذا التفاعل؛ لأن جذور النباتات تفرز فى هذه الحالة أيونات الأيدروكسيل (بالتبادل مع النترات الممتصة)، وبالتالي ترفع رقم ال pH حول الجذور.



شكل (٤-٥): التأثير الفسيولوجي للأسمدة النيتروجينية

طريقة وموعد إضافة الأسمدة النيتروجينية

تضاف الأسمدة النيتروجينية للتربة مباشرة وبطرق متعددة وفقاً لطبيعة السماد والظروف المحيطة به وخصائص التربة. ومن الطرق الشائعة خلط السماد مع الطبقة السطحية أو إضافته نثراً Broadcasting على السطح قبل الري. وقد يضاف السماد النيتروجيني ذائباً مع مياه الري أو عن طريق التلقيح Banding بالقرب من النبات.

وحالياً أثبتت طريقة الإضافة بالرش Foliar سواء في هيئة محلول مُعد لذلك أو مع مياه الري بالرش كفاءة عالية للسماد . وبصفة عامة تتحدد الطريقة المناسبة بناء على نوع السماد المطلوب إضافته، وخواص السماد الطبيعية والكيميائية، وصفات التربة وذلك لتقليل فقد النيتروجين وتوفير الصور النيتروجينية الصالحة للامتصاص بواسطة النبات، والتي تؤدي إلى توفر النيتروجين بالكمية والصورة المطلوبة في منطقة انتشار المجموع الجذري .

ولما كانت الأسمدة النيتروجينية سهلة الذوبان، وبالتالي سهلة الفقد، فإن اختيار الوقت المناسب للإضافة ذات أهمية قصوى . وبصفة عامة يفضل أن يكون هذا الوقت قريب من وقت استعمال النبات لهذه الأسمدة وخاصة في الأراضي الرملية . إن إضافة الأسمدة النيتروجينية يفضل غالباً قبل وبعد الزراعة بفترة قصيرة وذلك حتى يتوفر هذا العنصر منذ بداية موسم النمو لمساهمة في بناء خلايا وأنسجة النبات . علاوة على تجنب البذور والبادرات الصغيرة التركيز المرتفع من الأمونيا ونواتج عملية التآزت الضارة . وقد تضاف الكمية الكلية من السماد على دفعتين: الأولى قبل أو بعد الزراعة بفترة قصيرة، والثانية يحددها نوع السماد وطول موسم النمو ولكنها غالباً ما تضاف بعد فترة لا تزيد عن شهر من موعد الزراعة . وحالياً حددت الدراسات والأبحاث أنسب المواعيد لإضافة الدفعات السمادية وكمياتها للمحاصيل المختلفة وفي الأراضي المختلفة .

وعموماً لا تُحدد كمية الأسمدة النيتروجينية بطريقة أو ميعاد الإضافة، بل تُحدد حسب محتوى الأرض من النيتروجين المُيسر للنبات وأيضاً النيتروجين الكلي بالتربة -نوع المحصول- طول موسم النمو- والظروف البيئية المحيطة وخصائص كل من الأرض والسماد . وفي نشرة معهد بحوث الأراضي والمياه- بمركز البحوث الزراعية بالجيزة سنة ١٩٩٣ تم اقتراح مواعيد إضافة الأسمدة النيتروجينية للمحاصيل المختلفة كالآتي :

المحاصيل البقولية: (دفعة واحدة) عند الزراعة كجرعة تنشيطية .

القمح: (ثلاث دفعات) الأولى عند الزراعة، والثانية في طور التفريع، والثالثة قبل طرد السنابل .

الذرة الشامية: (ثلاث دفعات) الاولى عند الزراعة، والثانية بعد خف النباتات،
والثالثة أمام الريه التاليه .

القطن : (دفعتان) الاولى بعد خف النباتات والثانية أمام الريه الثالثه .

الأرز : (دفعتان) الاولى بعد الشتل بأسبوعين، والثانية قبل طرد السنابل .

قصب السكر : (أربع دفعات) الاولى بعد تكامل الإنبات بعد شهرين، والدُفعات من
الثانية وحتى الرابعة كل ثلاثة أسابيع .

البصل : (دفعتان) بعد الشتل بأسبوعين، والثانية بعدها بشهر .

الكرنب : (دفعتان) الاولى بعد الشتل بأسبوعين، والثانية بعدها بشهر .

البرتقال : (أربع دفعات) الاولى عند خروج العين والثانية بعد تمام العقد .

العنب : (ثلاث دفعات) الاولى عند خروج العين، والثانية بعد عقد الثمار، والثالثة
بعدها بأسبوعين .