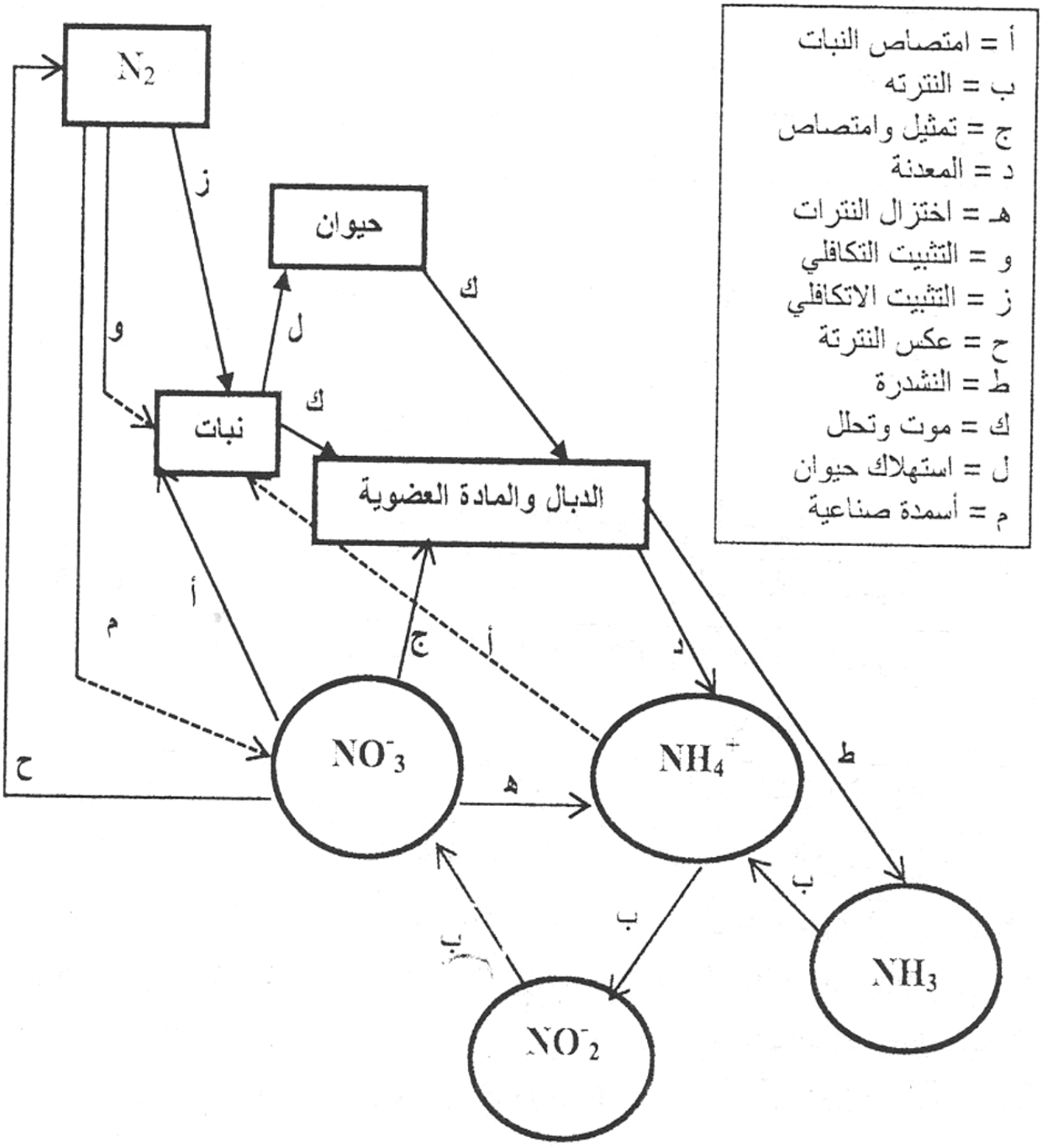
دورة النيتروجين

النيتروجين من أهم العناصر الغذائية للنبات، ويمثل قدراً كبيراً من المكونات العضوية الأساسية في النبات والتى تشمل البروتينات والإنزيمات والأحماض النووية. يختلف النيتروجين عن معظم العناصر المعدنية الموجودة بالتربة في أن مصدره الأصلي الهواء الجوي (يمثل 79% من الهواء الجوي) . والنيتروجين هو غازٌ عديم الون والطعم والرئحة، وعندما يتعرض غاز النيتروجين لبرودةٍ شديدة أو ضغطٍ كبير فإنه يتحول إلى سائل. ويبدو من السهل على الكائنات الحية الحصول على النيتروجين الذي تحتاجه طالما أنه موجود في الهواء المحيط بها ولا تستطيع النباتات الاستفادة من النيتروجين الغازي (N_2) مباشرةً إلا بعد أن يدخل في سلسلة من التفاعلات والتى تقوم بها بعض الأحياء الدقيقة الموجودة بالتربة، حيث تُثبت النيتروجين الغازي وتحوله إلى نيتروجين عضوي داخل أجسامها في صورة أحماض أمينية وبروتينات. وبعد موت هذه الكائنات فإن النيتروجين العضوي الموجود بها تحت ظروف معينة يتحلل وينتج نيتروجين معدني في صورة NH_4^+ ثم NO_3^- . تؤثر عوامل كثيرة على كمية المادة العضوية بالتربة وبالتالي على النيتروجين منها: نوع وكثافة الغطاء النباتي ، و طبغرافية التربة ومدى استوائها وانحدارها ، ودرجة الحرارة ، ومعدل سقوط الأمطار ، وقوام التربة. ودورة النيتروجين من الدورات المعقدة وهي دوران النيتروجين بين الجو والتربة والماء ونباتات الأرض وحيواناتها (شكل 5-3). ويوجد النيتروجين في شكل مركبات وأكاسيد مختلفة (جدول 5-4) .

❖ معدنة النيتروجين :

توجد في التربة أنواع عديدة من الكائنات الحية الدقيقة تشارك في دورة النيتروجين. تحلل الكائنات الحية الدقيقة غير ذاتية التغذية (Heterotrophic organisms) المادة العضوية فيتحول النيتروجين إلى الأمونيا NH_3 وفي خطوة لاحقة تتحول الأمونيا إلى أمونيوم (NH_4^+) ثم تدخل في سلسلة تفاعلات تنتج عنها النترات (NO_3^-)، ويُطلق على هذه العملية اسم عملية المعدنة (Mineralization)، ويُسمى الجزء الأول من العملية عملية النشدرة (Ammonification) ويُسمى الجزء الأخير منها بعملية النترتة (Nitrification) على أساس أن الناتج النهائى لعملية المعدنة هو الأمونيا. وتفرز الكائنات الحية الدقيقة عددا من الإنزيمات الخارجية التي تساعد في عملية النشدرة (جدول 5-5). وفي عملية النشدرة تتحول المركبات النيتروجينيه العضوية إلى أمونيا في خطوتين:



شكل 5-3: دورة النيتروجين

جدول 5-4: الأنواع الرئيسة للنيتروجين وأكاسيدها

المركب	الرمز الكيميائي	حالة التأكسد	الحالة في التربة
الأمونيوم (Ammonium)	NH_4^+	3-	مثبت في التربة أوغاز النشادر
الأمونيا (Ammonia)	NH_3	3-	غاز
هايدروكسايل أمين (Hydroxylamine)	NH_2OH	1-	سائل
النيتروجين الجوي (Dinitrogen)	N_2	0	غاز
أكسيد النتروز (Nitrous oxide)	N_2O	1+	غاز وذائب
أكسيد النتريك (Nitric oxide)	NO	2+	غاز وذائب
النيتريت (Nitrite)	NO_2^-	3+	ذائب
ثاني أكسيد النتيروجين (Nitrogen dioxide)	NO_2	4+	ذائب
النترات (Nitrate)	NO_3^-	5+	ذائب

جدول 5-5: الإنزيمات الخارجية في النشدرة

مادة التفاعل	الإنزيم	المركبات الناتجة
البروتينات (Proteins)	Proteinases, proteases	الأحماض الأمينية والبيبتيدات
البيبتيدات (Peptides)	Peptidases	الأحماض الأمينية
الكيتين (Chitin)	Chitinase	الكيتوبايوز
الكيتوبايوز (Chitobiose)	Chitobiase	N-acetylglucosamine
البيبتيدوجلايكان (Peptidoglycan)	Lysozyme	N-acetylglucosamine & N-acetylmuramic acid
DNA & RNA	Endonucleases & Exonucleases	النيكليوتايدات
اليوريا (Urea)	Urease	NH_3 & CO_2

(1) يحدث تحلل مائي (Hydrolytic decomposition) للبروتينات بفعل الإنزيمات وتنطلق مركبات أبسط في صورة أحماض أمينية بواسطة الأحياء الدقيقة.

$$\text{Organic N} \Rightarrow \text{R - NH}_2 + \text{CO}_2 + \text{Additional products} + \text{energy}$$

(2) تحوّل الكائنات الدقيقة الأحماض الأمينية $R\text{-}NH_2$ إلى الأمونيا وكحول وطاقة:

$$R - NH_2 + H_2O \Rightarrow NH_3 + R - OH + energy$$

وتذوب الأمونيا الناتجة في الماء ويتكون أيون الأمونيوم:

$$NH_3 + H_2O \Rightarrow NH_4OH \Rightarrow NH_4^+ + OH^-$$

يمكن أن يكون مصير الأمونيوم الناتجة إحدى الاحتمالات الآتية :

(1) أن يتحول إلى نتريت، ثم نترات بواسطة كائنات دقيقة متخصصة وذلك خلال عملية النترتة.

(2) أن يُمتص مباشرةً بواسطة النبات (خاصة في النباتات التي تنمو في الظروف اللاهوائية) .

(3) أن يدخل في تفاعلات التبادل الأيوني .

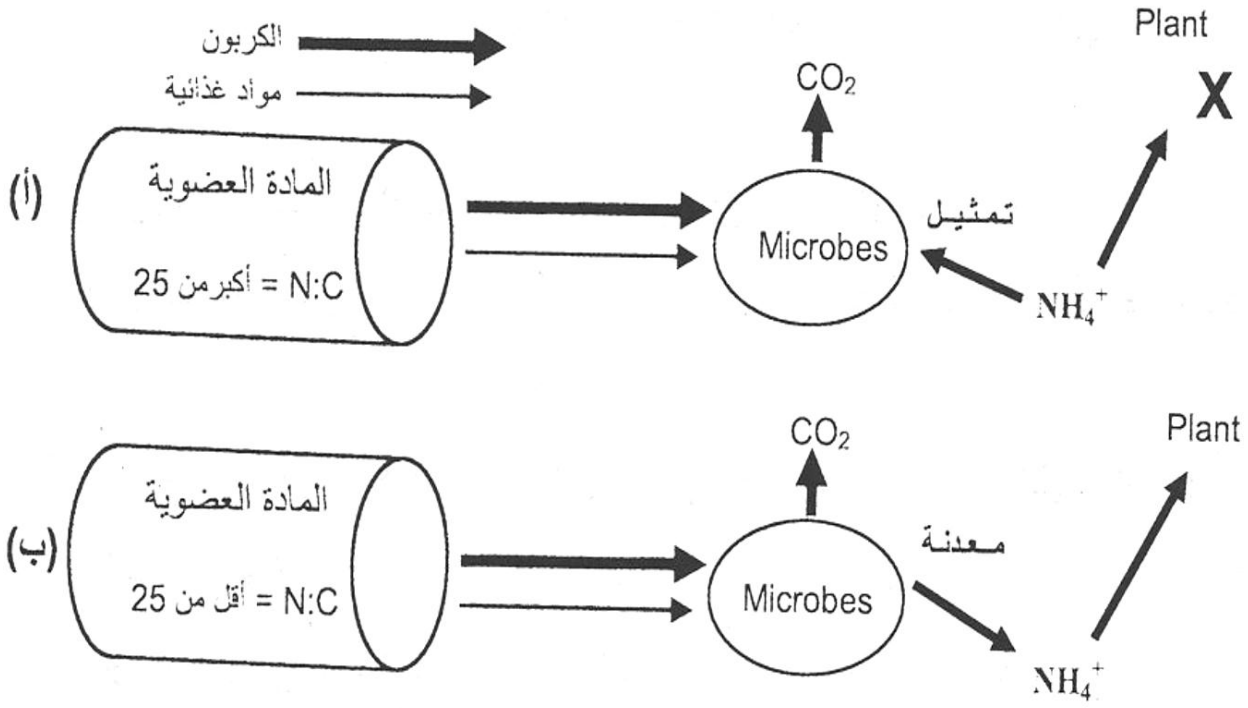
(4) أن يُثبت على صورة غير ميسرة للنبات وذلك بادمصاصه على أسطح الغرويات، أو تثبيته بين الوحدات البلورية للمعادن في التربة.

(5) أن يتطاير من التربة في صورة NH_3 وخاصة إذا ارتفع رقم pH عن 8 وحدات.

❖ تمثيل النيتروجين:

عملية التمثيل (Immobilization) هي العملية العكسية لعملية المعدنة ويُقصد بها تحوّل النيتروجين المعدني الصالح للامتصاص (النترات والأمونيوم) بواسطة النبات والموجود بالتربة الزراعية إلى نيتروجين عضوي نتيجة استهلاكه بواسطة الكائنات الحية الدقيقة في التربة. وتتعرض النترات داخل الكائن الحي لعمليات اختزال متتابعة

تتحول بعدها لأمونيا ومن ثم تدخل في دورة كربس (Krebs cycle) وتتحول إلى حامض أميني (مثال عندما تتحد الأمونيا مع حامض البيروفيك ينتج الحامض الأميني "الألنين"). وطبيعي أن تسود عملية المعدنة في صالح النبات حيث ينتج عنها نيتروجين معدني (الصورة الصالحة للامتصاص) والعكس صحيح عندما تسود عملية التمثيل. وتؤثر نسبة N:C تأثيراً واضحاً على عمليتي معدنة وتمثيل النيتروجين (شكل 4-5).



شكل 5-4 : تأثير نسبة N:C (أ) إذا كانت عالية تؤدي إلى تمثيل النيتروجين وتمتصه من التربة ولاتجعله متاحا للنبات (ب) إذا كانت منخفضة تؤدي إلى معدنة النيتروجين وتزود به التربة وتجعله متاحا للنبات

❖ النترتة:

النترتة (Nitrification) هي عملية الأكسدة البيولوجية للأمونيوم الناتج من عملية النشدرة أو المضاف في صورة أسمدة إلى نترات. وتتم هذه العملية في خطوتين:

1- أكسدة الأمونيوم إلى نتريت وتقوم بها كائنات عديدة منها *Nitrosomonas*:

$$2NH_4^+ + 3\,O_2 \rightarrow 2NO_2 + 2H_2O + 4H^+$$

2- أكسدة النتريت إلى نترات وتقوم بها كائنات عديدة منها *Nitrobacter*:

$$2NO_2 + O_2 \rightarrow 2NO_3^-$$

$$\text{Net } 2NH_4^+ + 4O_2 \rightarrow 2NO_3^- + 2H_2O + 4H^+$$

إن عملية النترتة 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 . تُقلل عملية النترتة من قاعدية التربة؛ وذلك نتيجة لاستهلاكها للأمونيوم؛ وفي نفس الوقت انطلاق أيونات الهايدروجين إلى الوسط مما يؤدي إلى زيادة حموضة التربة. إن عملية الأكسدة هذه عملية بيولوجية أي تحتاج إلى كائنات حية دقيقة وفي نفس الوقت متخصصة ، وعلى ذلك يجب أن تتوافر ظروف بيئية مناسبة لنشاطها مثل: رقم pH ومحتوى التربة من الرطوبة ودرجة الحرارة . من أهم الكائنات التي تؤكسد الأمونيا: *Nitrosomonas* و *Nitrosococcus* و *Nitrosospira* و *Nitrosolobus* و *Nitrosovibrio* . ومن أهم الكائنات التي تؤكسد النترات: *Nitrobacter* و *Nitrospina* و *Nitrococcus* و *Nitrospira* .

يكون مصير النترات المتكونة أو المضافة إلى التربة في صورة أسمدة نيتروجينية ما يلي :

(1) قد تمتص النباتات النامية النترات وتدخل في بناء أنسجتها خلال عملية التمثيل.

(2) قد تمتص الكائنات الحية الدقيقة النترات أو تستهلكها لتدخل في بناء أنسجتها خلال عملية التمثيل وهي في هذه الحالة تكون غير متاحة للامتصاص بواسطة النباتات.

(3) قد تُفقد من التربة بالغسيل (Leaching) أثناء عملية الري مع مياه الصرف وذلك لقلة قدرتها على الادمصاص على الغرويات بالتربة لأنها تحمل شحنة سالبة .

(4) تتعرض أيونات النترات في الظروف اللاهوائية إلى عملية اختزال ويُطلق عليها عملية عكس النترتة .

❖ عكس النترتة :

تقوم بعض أنواع الكائنات الحية الدقيقة (جدول 5-6)، تحت الظروف اللاهوائية للترب الزراعية في المناطق المغدقة سيئة الصرف ، باختزال النترات والنتريت إلى صورة غازية وهي NO, N_2O, N_2 ، ثم تنطلق إلى الهواء الجوي . ويمكن توضيح عملية عكس النترتة بالمعادلة التالية :

$$NO_3^- \rightarrow NO_2^- \rightarrow NO \rightarrow N_2O \rightarrow N_2$$

ويمكن تفسير ذلك بأنه في حالة توافر ظروف تهوية جيدة تقوم البكتيريا بأكسدة المادة العضوية بواسطة الأكسجين الجوي.

جدول 5-6 : أجناس الكائنات التي تقوم بعملية عكس النترتة وخصائصها

الأجناس	الخصائص
عضوية التغذية	
Alcaligenes	يوجد في معظم الترب
Bacillus	مكون للأبواغ
Flavobacterium	يوجد في معظم الترب
Pseudomonas	يوجد في معظم الترب
ضوئية التغذية	
Rhodopseudomonas	لاهوائي و يختزل الكبريت
غير ذاتية التغذية	
Alcaligenes	ذاتية التغذية وتؤكسد الهايدروجين
Nitrosomonas	تؤكسد الأمونيا
Paracoccus	ذاتية التغذية وتؤكسد الهايدروجين
Thiobacillus	تؤكسد الكبريت

أما في حالة غياب الأكسجين تتم الأكسدة باستخدام أكسجين النترات كما توضحه المعادلات التالية :

في وجود الأكسجين: $C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \rightarrow 6CO_2 + 6H_2O + e$

في غياب الأكسجين: $C_6H_{12}O_6 + 4NO_3^- \rightarrow 6CO_2 + 6H_2O + 2N_2 + e$

كذلك تحدث أكسدة للأحماض العضوية باستخدام أكسجين النترات كما يلي :

$$CH_3COOH + 8KNO_3 \rightarrow 8\,KOH + 6H_2O + 10\,CO_2 + 4N_2 + e$$

تختلف عموما الكمية المفقودة بعملية عكس النترتة من 5-50% من الكمية المضافة. وهناك عدة عوامل تؤثر على عملية عكس النترتة منها: توافر مادة التفاعل(النترات والنتريت)، ودرجة الحرارة، والمادة العضوية، وتهوية التربة، و رقم pH.

❖ التثبيت الحيوي النيتروجيني :

يتم في عملية التثبيت الحيوي (Biological nitrogen fixation) اختزال النيتروجين الجوي داخل أجسام الكائنات الدقيقة، ويتم الاختزال بواسطة إنزيم النيتروجينيز (Nitrogenase). وتحدث عملية الاختزال بأن يتحد هذا الإنزيم مع جزيء النيتروجين N_2 والذي يُختزل على عدة خطوات باكتسابه لأيونات الهايدروجين . ويمكن تقسيم طرق التثبيت الحيوي للنيتروجين إلى:

(1) التثبيت التكافلي للنيتروجين

تقوم بعض الكائنات الدقيقة بالتربة ومنها بكتيريا متخصصة متكافلة (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 التربة الدقيقة :

(أ) بكتيريا من مجموعة الرايزوبيا (Rhizobia) وتعيش متكافلة مع جذور النباتات البقولية، والتي يُطلق عليها بكتيريا العقد الجذرية للبقوليات (جدول 5-7) .

(1) التثبيت التكافلي للنيتروجين

تقوم بعض الكائنات الدقيقة بالتربة ومنها بكتيريا متخصصة متكافلة (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 التربة الدقيقة :

(أ) بكتيريا من مجموعة الرايزوبيا (Rhizobia) وتعيش متكافلة مع جذور النباتات البقولية، والتي يُطلق عليها بكتيريا العقد الجذرية للبقوليات (جدول 5-7) .

جدول 5-7: تصنيف الرايزوبيا

Rhizobium			
R. cellulosilyticum	*R. daejeonense*	*R. etli*	*R. galegae*
R.multihospitium	*R. giardinii*	*R. hainanense*	*R. huautlense*
R. indigoferae	*R. gallicum*	*R. loessense*	*R. lusitanum*
R. miluonense	*R. mongolense*	*R. phaseoli*	*R. oryzae*
R. leguminosarum	*R. pisi*	*R. sullae*	*R. tropici*
		R. yanglingense	*R. undicola*

(ب) بكتيريا من جنس *Frankia* التي تعيش في جذور نباتات غير بقولية.

(ج) بعض السيانوبكتيريا (Cyanobacteria) تستطيع أن تُقيم علاقة تكافلية مع بعض الفطريات مثل مكوّنة الاشنات (Fungi-Lichens) ، حيث تقوم السيانوبكتيريا بإمداد الفطر بحاجته من النيتروجين المثبت من الجو.

(2) التثبيت غير التكافلي للنيتروجين

تحوّل الكائنات حرة المعيشة (Free- living organisms) في التربة النيتروجين الغازي إلى نيتروجين عضوي داخل أجسامها ، وبعد موت هذه الكائنات وتحللها يتحول إلى نيتروجين ميسّر(متاح) للنبات نتيجة لعملية المعدنة، ومن هذه الكائنات مثلاً:

(1) البكتيريا الهوائية من جنس *Azotobacter* وتنتشر هذه البكتيريا في جميع أنواع التربة ماعدا الحامضية ذات رقم pH أقل من 6.

(2) البكتيريا غير الهوائية من جنس *Clostridium* وهي تختلف عن *Azotobacter* في قدرتها على تثبيت النيتروجين في الترب الحامضية ذات رقم pH أقل من 6.

(3) السيانوبكتيريا من أجناس *Nostoc*، *Anabaena*، *Gloecapsa*، وتوجد تحت ظروف بيئية واسعة المدى ، وتحتاج في غذائها إلى الماء والضوء والنيتروجين الحر N_2 وثاني أكسيد الكربون وأملاح تحتوي على العناصر المعدنية الأساسية. وتلعب السيانوبكتيريا والأشنات دوراً مهماً في إمداد مزارع الأرز بالنيتروجين.

وتتباين الكميات التي يتم تثبيتها من النيتروجين الجوي باختلاف الكائنات الحية

والظروف الطبيعية المحيطة بها . كما تتأثر عملية تثبيت النيتروجين الجوي بعدة عوامل من اهمها :

(1) رقم pH حيث تقل كفاءة التثبيت كلما انخفض رقم pH في التربة الزراعية ويرجع ذلك لأن بكتيريا الرايزوبيم حساسة للحموضة.

(2) محتوى التربة من النيتروجين حيث يقل معدل التثبيت كلما زاد محتوى التربة من النيتروجين الميسّر.

(3) يزداد معدل التثبيت كلما توافرت في التربة كمية ملائمة من عناصر الكالسيوم والبوتاسيوم والفسفور في صورة ميسّرة .

(4) تعتبر عناصر الموليبدنم والكوبالت ضرورية لكل أنواع البكتيريا المثبّتة للنيتروجين، حيث يزداد معدل التثبيت بزيادة محتوى التربة من هذه العناصر.

(5) كما تؤثر عوامل أخرى مثل درجة الحرارة والرطوبة والملوحة ونوع المحصول وتوافر (Rhizobia) أعداد وانواعها في منطقة الجذور.