دورة النتروجين في الطبيعة Nitrogen Cycle in Nature

دورة النيتروجين هي دوران النيتروجين بين الجو والتربة والماء ونباتات الأرض وحيواناتها. وتحتاج كل الكائنات الحية إلي النيتروجين، ولكن أغلب الأحياء لاتستطيع استعمال النيتروجين الغازي N_2 والذي يشكل 78% من الهواء، إذ يجب أن تحصل على نيتروجين متحد مع عناصر أخرى لتكوّن مركبات. ولكن إمداد هذا النيتروجين الثابت محدود، لذا توجد أساليب معقدة في الطبيعة لإعادة دوران النيتروجين.

صورة تواجد النتروجين اللاعضوي في الطبيعة ايونيا (NH^+_4 امونيوم، NO^-_3 نترات، NO^-_2 نتريت) وبصورة غاز (NH_3 امونيا، N_2O أوكسيد النترات، N_2).

مراحل تجزئة وتفكيك النتروجين العضوي

Protien---------- R- NH_2 ----------NH_3 ---------- NO_2 ----------N

بعد موت النباتات والحيوانات، تتعرض للتحلل بوساطة بكتيريا وفطريات معينة. وتنتج هذه الأحياء الدقيقة الامونيا NH_3 من مركبات النيتروجين في المادة العضوية الميتة وفي مخلفات الأجسام التي تفرزها الحيوانات. ثم تمتص النباتات بعض مركبات الامونيا وتستخدمه لصنع البروتينات والمواد الأخرى الضرورية للحياة. ويتحول مركب الامونيا الذي لاتمتصه النباتات إلى نترات (مركبات NO_3) بوساطة بكتيريا النترتة، وهناك نوعان من بكتيريا النترتة، بكتيريا النيتريت التي تحول الامونيا إلى نتريتات (مركباتNO_2) وبكتيريا النترات، التي تحول النتريتات إلى نترات. تمتص النباتات معظم النترات وتستخدمها بنفس الطريقة مثل الامونيا. أما الحيوانات فإنها تحصل على النيتروجين من أكل النباتات أو الحيوانات الأخرى التي تأكل النباتات. تضع عملية تدعى تثبيت النيتروجين مزيدًا من النيتروجين في الدورة البيولوجية. وتحصل بكتيريا تثبيت النيتروجين والطحلب على النيتروجين من الهواء وتحُوِّلها إلى امونيا. وتمتص النباتات معظم الامونيا لكن بعضها يتبدد في الجو. وعلى الرغم من أن تثبيت النيتروجين يأخذ النيتروجين من الجو، إلا أن هناك عملية معاكسة تُسمّى إعادة النيتروجين ترجع كمية مماثلة تقريبًا من النيتروجين إلى الهواء. وتحول بكتيريا إعادة النيتروجين بعض النترات في التربة إلى نيتروجين غازي أو أكسيد نيتروز N_2O إلا أن النيتروجين الثابت قد يدور عدة مرات بين الأحياء والتربة قبل أن ترجعه إعادة النيتروجين إلى الجو. وتعوق بعض الأنشطة البشرية دورة النيتروجين. فمثلا، تأخذ الصناعة كميات كبيرة من النيتروجين لإنتاج الأسمدة. وتوفر الأسمدة فوائد جمة، ولكن الكميات الزائدة يتم جرفها من الأرض الزراعية إلى المجاري المائية، ملوثة بذلك الماء. وإضافة لهذا، فإن احتراق البنزين وبعض المحروقات الأخرى ينتج مركبات النيتروجين التي تساهم في تلوث النبات من الحالة الغازية الخاملة N_2 إلى ايونات الامونيوم NH_4^+ أو النترات$NO3^-$ وتسمى هذه العملية تثبيت النيتروجين ويمكن أن تتم بالطرق التالية :

أولاً : التثبيت الحيوي :

- تعيش بكتيريا تثبيت النيتروجين (Rhzobium) في عقيدات على جذور البقوليات كالفول والحمص والعدس .وتستطيع البكتيريا العقدية هذه تحويل غاز النيتروجين الجوى إلى ايون الامونيوم NH_4^+ ثم تقوم أنواع أخرى بتحويل الامونيوم إلى ايونات النتريت NO_2^- وذلك باتجاه الامونيا مع الأكسجين.

- في النهاية تقوم بكتيريا أخرى بتحويل النيتريت إلى نترات NO_3^- والنترات هي المادة التي تستطيع النباتات الخضراء امتصاصها بجذورها واستعمالها في بناء مركباتها العضوية النيتروجينية. دعنا نسمى العملتين الأخيرتين, اي تحويل الامونيوم إلى نيتريت فنترات,عملية النترجة ويمكن تبسيط ما سبق وفق المعادلة التالية:

- نيتروجين جوى_تثبيت_امونيوم__نترجة _____نتريت__نترجة_____نترات

ثانياً : التثبيت الجوي :

- يمكن للطاقة الكبيرة الكامنة في البرق والصواعق أن تقوم بتحويل غاز النيتروجين من الجو إلى غاز ثاني أكسيد النيتروجين NO_2فنترات NO_3 وبذلك يصل النيتروجين إلى سطح الأرض والتربة مع الأمطار في متناول النباتات الاستفادة منه .غيران كمية النيتروجين المثبتة بهذه الطريقة قليلة جداً إذا ما قورنت بطريقة التثبيت الحيوي.

ثالثاً :التثبيت الإصطناعي :

ويتم هذا النوع من التثبيت في مصانع الأسمدة الكيميائية.حيث تنتج صناعياً مركبات الامونيوم أو النترات أو غيرها التي تعتبر المكونات الرئيسية للأسمدة النيتروجينية

- **ما بعد التثبيت :**

وبعد تثبيت النيتروجين بإحدى الطرق السابقة تتمكن النباتات من الاستفادة منه واستعماله في بناء جزيئات البروتين النباتي. وبدوره ينتقل النيتروجين إلي المستهلكات عبر السلسلة الغذائية حيث يتكون البروتين الحيواني.وبعد موت النباتات والمستهلكات ,تقوم المحللات من بكتيريا وفطريات بتحليل البروتين النباتي أو الحيواني وإطلاق الامونيا (قد تصعد إلى الجو) أو ايونات الامونيوم التي يمكن أن ينتج منها ايونات النترات وتصبح بدورها مصدرا جديدا للنيتروجين في التربة تمتصه النباتات التي تعيش فيها.

كذلك فان نيتروجين التربة المثبت بأي من الطرق السابقة قد تحمله مياه الري الزائدة إلي البحيرات أو خزانات السدود.وقد تقوم مياه الأمطار بجرف التربة بما فيها من نيتروجين مثبت إلى البحيرات أو السدود.

ويمكن إغلاق دورة النيتروجين,بإعادة غاز النيتروجين إلى الغلاف الجوى خلال عملية يطلق عليها الزنترة, وتقوم بها أنواع من البكتيريا تعيش في التربة أو مباشرة في مياه البحيرات والبحار والمحيطات.حيث تقوم باختزال (تحويل) النترات أو النتريت الموجود في التربة أو في المياه إلي النيتروجين الجزيئي (أو غاز النيتروجين) N_2 الذي يتصاعد إلي الغلاف الجوى.

دورة النتروجين: Nitrogen Cycle

عنصر النيتروجين من العناصر الهامة جدا للدور الذي يلعبه فيتركيب البروتين و الأحماض الأمينية و دوره الهام كعامل محدد في العديد من الظواهر البيولوجية و دوره الكبير في العمليات الكيميائية الحيوية و لذا يقارب في أهميته الأكسجين و الكربون و الهيدروجين ، نظرا لأن النيتروجين يشكل نسبة كبيرة من الجو المطلق و لكنها مشكلة نسبية و هي ندرة النتروجين القابل للأستخدام خلال فترات النمو الحرجة.
و مثال ذلك ما تعانيه النباتات من نقص النتروجين الغير عضوي مثل النترات أو أيونات الأمونيوم كما تعاني الحيوانات من نقص النتروجين العضوي اللازم للبروتينات النوعية أو الأحماض الأمينية و لقد تم التوصل الى الخطوات الرئيسية لدورة النتروجين في القرن التاسع عشر بواسطة الكيميائي الزراعي الفرنسي جين باتيست Jean Baptist الذي طبع 250 ورقة علمية منشورة مبدئيا حول دور النيتروجين في التغذية الحيوانية و فسيولوجية النبات . و الواقع أن الدورة الكيميائية الأرضية البيولوجية للنيتروجين معقدة و لكنها مكتملة و يلاحظ ان دورة النيتروجين تحمل الكثير من الخصائص المتشابهة مع دورة الكربون و لكن يوجد عدد من الفروق المختلفة الواضحة . و على الرغم من أن الكائنات الحية تعيش في جو غني بالنتروجين 78 % على العكس من الكربون الذي تصل نسبته في الجو الى ما بين 0 . 03 - 0 . 04 إلا أن الشكل الغازي للنيتروجين N2 عكس ثاني أكسيد الكربون CO2 يمكن استخدامه بواسطة عدد قليل للغاية من الكائنات الحية و بينما تستطيع الكائنات التخلي عن النيتروجين و الكربون كفضلات ناتجة عن عملية التحول الغذائي إلا أنه لا يفقد من هذا النيتروجين على صورة غازية و أخيرا فالتداخل البيولوجي في دورة النيتروجين أكثر أمتداد و تعقيدا و ترتيبا كما أنه عالي النوعية بمعنى أنه يوجد عدد قليل و معين من الكائنات له القدرة على العمل فقط خلال اطوار معينة من الدورة . و يمكن النظر الى الجو على أنه خزان النتروجين لأنه يحتوي على نسبة 78 % منه ، و نظرا لأن معظم الكائنات غير قادرة على استقبال النيتروجين العنصري لذا فأن الخزان القاطع هو تخزين النيتروجين الموجود في كل من الشكل الغير عضوي (الأمونيا - النتريت - النترات) و العضوي (يوريا – وبروتين حماض نووية ، و ذلك على عكس الكربون المتاح و الجاهز الأستخدام في كل من الماء و الجو ، كما ان النيتروجين الجوي يحتاج للتثبيت في صورة غير عضوية تكون غالبا بشكل أمونيا و نترات قبل الأستخدام الفعلي في العمليات البيولوجية و نظرا لتعقيد الدورة فسوف نناقش بالتفصيل كل خطوة أساسية في دورة النيتروجين خلال الصفحات التالية كالآتي:

- تثبيت النيتروجين : هو تحويل غاز النيتروجين الثنائي N2 الى أي مادة أو مركب نيتروجيني و تثبيت النيتروجين البيولوجي هو الأختزال الأنزيمي بالعوامل المساعدة للنيتروجين N الى امونيا NH3 ، و نترات NO3 أو أي مركب عضوي .
- التشبع بالأمونيا Ammoniafiction : هو تكسير أو تحويل النيتروجين العضوي مثل المركبات المحتوية على مجموعة الأمينوم NH2 - الى أمونيا
- النترتة : Nitration هي التحويل بالأكسدة للأمونيا الى نتريت NO2 أو نترات .
- نزع النيتروجين : Denitriefication هو أختزال النترات الى أي انواع النيتروجين الغازي أو النيتروجين العام N2 ، أو أكسيد النيتروزNO2

أولا تثبيت النيتروجين: (Nitrogen Fixation)

يستلزم لتثبيت النيتروجين أولا تنشيط النيتروجين الجزيئي بشقه الى جزئين أو ذرتين من النيتروجين الحر . (N2 -- 2N)و هي خطوة تحتاج إلى طاقة حيث تستهلك في التثبيت البيولوجي للنيتروجين حوالي 160 سعر حراري/ مول (و المول هو كمية المادة بالجرامات المساوية عدديا لوزنها الجزيئي للنيتروجين N2يساوي 28 جرام) أما مزج وتوفيق النيتروجين الحر مع الهيدروجين لإعطاء الأمونيا (NH3 -- N) فهي تحرر حوالي 13 سعر حراري/ مول و تعطى بالتالي صافي طاقة مدخلة لتثبيت النيتروجين قدرها 147 حراري/ مول. و باستثناء أنواع التمثيل الضوئي فسوف نجد أن الكائنات المثبتة للنيتروجين تستلزم إمداد خارجي من مركبات الكربون كمصدر للطاقة لتؤثر في هذا التفاعل الماص للحرارة.
و ترجع أهمية هذا التثبيت الذي يتم تنظيمه بواسطة إنزيمين هما Nitrogenase و Hydrogenaseإلى احتياجاته المنخفضة من الطاقة. و يتعارض هذا الموقف مع الاحتياجات العالية جدا و الضغط الشديد اللازمة لعملية التثبيت الصناعي (حيث تصل درجة الحرارة إلى 400 م و الضغط إلى 200 ضغط جوي) و مع أن التثبيت يمكن أن يتم بواسطة كل من الوسائل الفيزيائية الكيميائية و كذلك الوسائل البيولوجية إلا أن الأخيرة تعد الأكثر أهمية و لقد قدرت نسبة النيتروجين التي يمكن تثبيتها بالوسائل الكيميائية الكهربية و التثبيت الكيميائي الضوئي فوجد أنه يساوي في المتوسط 7.6×10 6 طن متري/ عام و على العكس من ذلك، قدر التثبيت البيولوجي بما يساوي 54×10 6 طن متري/ عام.
أما الكمية التي يتم تثبيتها سنويا في عمليات تصنيع الأسمدة الصناعية فتقدر بحوالي 100×10 6 طن متري و يعتبر الإنتاج التجاري للنترات المستخدمة في الذخائر الحربية و الأسمدة الزراعية مكلفة من ناحية الطاقة فطريقة هابر HABER لتصنيع النترات تستلزم اتحاد النيتروجين مع الهيدروجين لتكوين الأمونيا، و يستلزم ذلك التفاعل كما أشرنا إلى درجة حرارة 400 م و ضغط قدرة 200 ضغط جوي بالإضافة إلى مصدر لذرات الهيدروجين و بعض الاحتياجات مثل استخدام وقود حفري مثل الزيوت و الغاز الطبيعي و لكن مع زيادة تكلفة استخدام الوقود الحفري فإن الأبحاث تتجه نحو الإنتاج التجاري بطريقة التثبيت الطبيعي البيولوجي للنيتروجين باستخدام الملائمة و استعمال الهندسة الوراثية للجينات للبكتيريا المنتجة للنيتروجين و خصوصا تلك المسماة Klbesiella pneumonia و لكن لا بد من ملاحظة أن التثبيت البيولوجي يستلزم هو الآخر قدرا من الطاقة قدرها 12 - 36 جزء من أدينوسين تراى فوسفات.

و لكن لا بد من ملاحظة أن التثبيت البيولوجي يستلزم هو الآخر قدرا من الطاقة قدرها 12 - 36 جزء من أدينوسين تراى فوسفات ATP لكل جزئ من النيتروجين N2 يتم تثبيته و تقوم البكتريا المثبتة للنيتروجين باستخدام العديد من المواد مثل السكر و الأحماض الدهنية كمصدر لكل من ATP ثلاثي فوسفات الأدينوسين و الإلكترونيات و لقد أوضحت حسابات الطاقة الممتصة بالمواد المتفاعلة في عمليات تثبيت النيتروجين أو الديناميكيات الحرارية للتفاعل أنها تشترط الإكراه في كل الطرق الممكنة لعملية التثبيت بمحض ضرورة إمداد الطاقة من مصادر خارجية.
و يمكن تقسيم القائمة التي تتضمن البكتريا و الطحالب المعروفة بقدرتها على تثبيت النيتروجين الحر إلى قسمين رأسيين: مثبتات نيتروجين تكافلية (و تضم البكتريا و بعض الفطريات ، الطحالب) و مثبتات النيتروجين الحرة و التي تتضمن البكتيريا و الطحالب و بعض الكائنات الدقيقة و توجد البكتريا التكافلية في المواقع الخاصة بها على اليابسة بينما بكتيريا التثبيت التي تعيش حرة فتوجد على اليابسة و كذلك الأوساط المائية إلا أن البكتريا التكافلية أكثر في الناحية الكمية من البكتيريا المثبتة الحرة و تثبيت النيتروجين بالبكتيريا التكافلية و الحرة (الغير تكافلية) مسئول عن إنتاج ما يعادل % 60 من 2×80 طن متري من النيتروجين المثبت سنويا بالعمليات البيولوجية و الغير بيولوجية و من المهم ملاحظة أن كل البكتيريا التكافلية و الغير تكافلية تستلزم الإمداد الخارجي بقدر معين من مركبات الكربون كمصدر للطاقة للتأثير على التفاعل الماص للحرارة في عملية تثبيت النيتروجين (حوالي 147 سعر حراري/ مول حيث أن القليل من أنواع هذه البكتراي هو الذي له القدرة على القيام بعملية التمثيل الضوئي و من بين الاستثناءات البكتيريا القرمزية Rhodopseudomonas Capsulate التي تستطيع النمو في غاز النيتروجين الثاني كمصدر نيتروجيني وحيد تحت الظروف اللاهوائية مع الضوء كمصدر للطاقة. وتستطيع هذه البكتيريا أن تثبت النيتروجين في الظلام اعتمادا على تخمير السكر في الظروف اللاهوائية كمصدر للطاقة.

تثبيت النيتروجين بالبكتيريا التكافلية: (symbiotic nitrogen fixation)

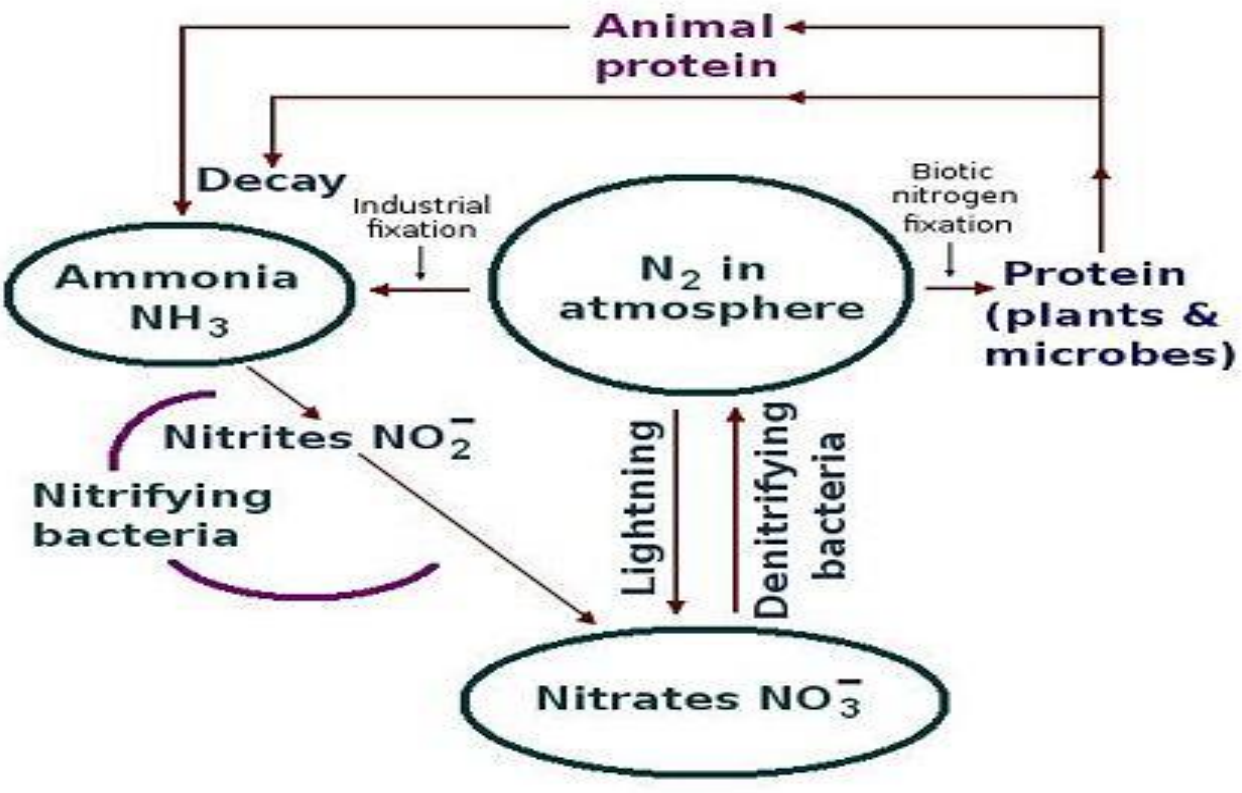
يوجد إلى جانب بكتيريا تثبيت النيتروجين أنواع من بكتيريا الجذور العقدية و تسمى ريزوبيوم Rhizobium وكلا النوعين شديد الأهمية و يلاحظ أن أنواع بكتيريا Rhizobium عالية التخصص بالنسبة للعائل حيث تختار نباتات بعضها من الفصيلة القرنية أو البقلية مثل (البرسيم ، البسلة ، الفول ،... الخ)، بمعنى أن سلالة معينة من البكتيريا العقدية مختصة بسلالة معينة من البقول و تستطيع هذه البكتيريا اختراق شعيرات جزر النبات البقولي بانحلال جدار الخلايا و غشائها ثم تبدأ في التكاثر و تبدأ جذور النبات في الاستجابة لهذا الغزو بطرق نمو مختلفة مما ينتج عنه تضخمها و تكوين عقد يحدث فيها تثبيت النيتروجين و لقد تم حديثا حفز هذه البكتيريا لإنتاج عقد في جذور نباتات المحاصيل الباقية مثل جذور الأرز و القمح و البذور الزيتية لنبات (اللفت) باعتباره مصدر للزيت منخفض الكوليسترول إلا أن الاختبارات و التجارب لم تنجح حتى الآن في إعطاء إنتاج واضح من النيتروجين المثبت. كما يحدث التثبيت التكافلي للنيتروجين في النباتات الغير بقولية مثل شجرة الحور الرومي (الحورة) و شجر الريحان الشامي و نبات السرخس الحلو و العجرم أو النبق المسهل و هو نبات يستعمل في عمليات الصباغة.

و توجد هذه النباتات عموما في الأراضي سيئة التغذية، و يلاحظ أن الأنواع تختلف في قدرتها على تثبيت النيتروجين بطرقة تكافلية تحت الظروف المقارنة. ويظهر هذا واضحا في نبات الخروب الأسود وشجرة الحور الرومي الكتاب تثبتان قدرا يساوي مرتين و خمسة مرات من النيتروجين على الترتيب عما تفعله شجرة الصنوبر في الأنشطة البيئية الرملية. لقد ثبت وجود علاقة تكافلية حميمة بين بكتيريا التثبيت و النباتات البقولية

لدرجة أن العديد من النباتات الغير بقولية لا يمكنها تثبيت النيتروجين في حالة غياب بكتيريا العقد الجذرية كما أن هذه النوعية من البكتيريا لا يمكن زراعتها خارج النبات .و توجد هذه البكتيريا في الحيوانات التي تتغذى على منتجات النباتات و كما أشرنا سابقا فإن عملية تثبيت النيتروجين في البيئات المائية تتم عن طريق البكتيريا الغير تكافلية.

تثبيت النيتروجين بالبكتيريا الحرة: Free living Nitrogen Fixation

يتم تثبيت النيتروجين بواسطة بكتيريا غير تكافلية حرة المعيشة و تضم أنواع هوائية و غير هوائية و طحالب خضراء – زرقاء و بكتيريا تثبيت النيتروجين الهوائية مثل الأزتوباكتر Azotobacter منتشرة بكثرة في التربة بالإضافة إلى الماء النقي و المالح وينطبق ذلك أيضا على البكتيريا اللاهوائية مثل الكلوستريديوم Clostridium و لقد أظهرت الأبحاث المتراكمة أن العديد من أنواع البكتيريا الموجودة بالتربة و الماء لها قدرة على تثبيت النيتروجين، و بسبب وفرة و جودها فإن الكمية الكلية للنيتروجين المثبت تكون كبيرة و خصوصا خلال فصل الربيع . كما تبين أن هناك أربعة سلالات من البكتيريا في الماء العذب و الطين هي أول أنواع البكتيريا المعروفة اللاهوائية ذات القدرة على استخدام السيلولوز كمصدر للطاقة اللازمة لتثبيت النيتروجين و نظرا لتوفر السيلولوز في الطبيعة لذا فإن بكتيريا تخمير السليولوز تعتبر واسعة الانتشار و تلعب دورا هاما في دروة النيتروجين.



Nitrogen cycle in ecosytem