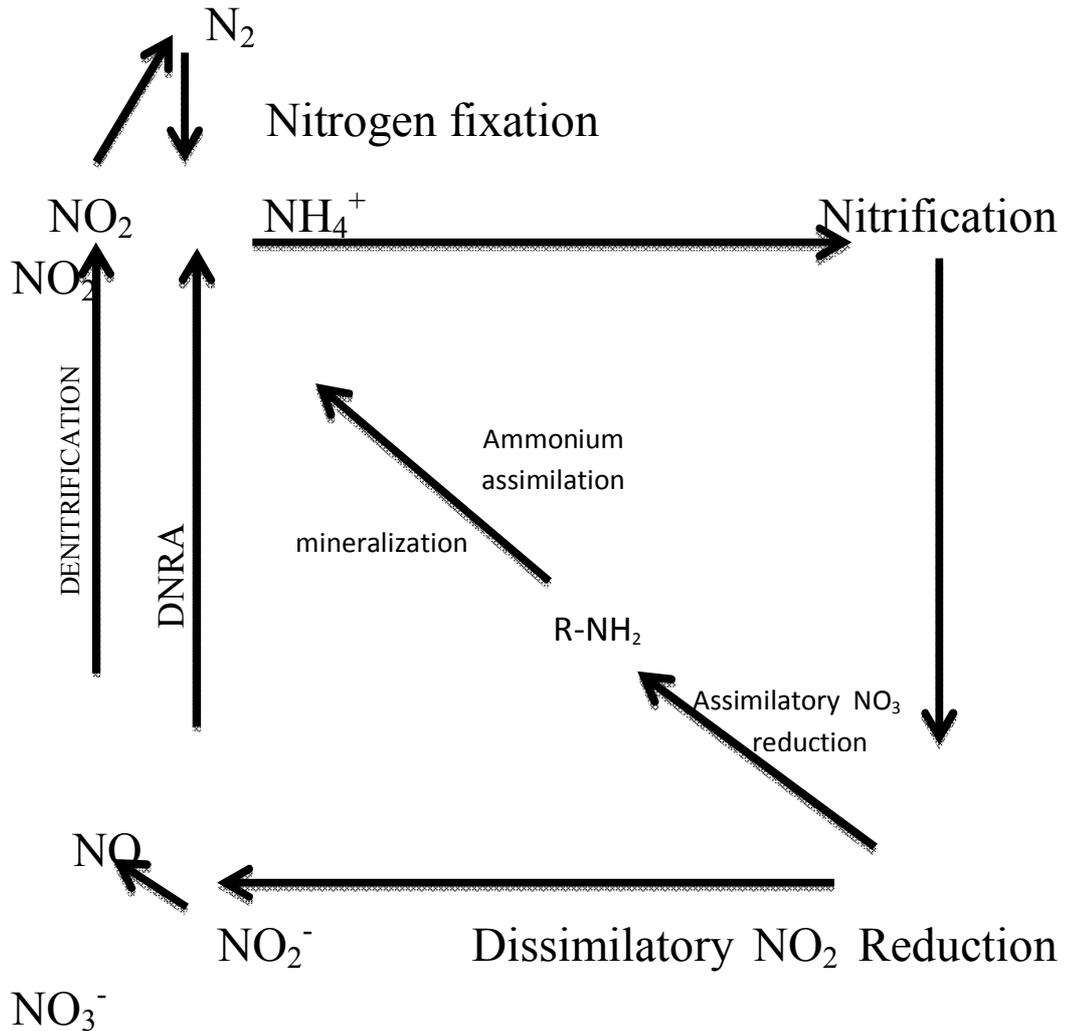


## دورة النيتروجين Nitrogen cycle

على عكس الكربون فان العناصر الأخرى مثل النيتروجين والكبريت والحديد تكون شكل أملاح معدنية ودوراتها تكون على شكل أكسدة واختزال . فالنيتروجين يوجد بعدة أشكال مؤكسدة مثل  $\text{NH}_4^+$  او  $\text{NO}_3^-$  ، ودورات هذه العناصر يطلق عليها بالدورات المعدنية.

إن النيتروجين من أهم العناصر التي درست دوراتها في الطبيعة لأنه يعتبر كمتطلب غذائي للأحياء المجهرية والنبات وهو العنصر الرابع من حيث الأهمية في الخلايا الحية حيث يشكل ما يقارب 12% من وزن الخلية الجاف .

والشكل التالي يمثل دورة النيتروجين في الطبيعة :-



## تثبيت النيتروجين Nitrogen fixation

كل أشكال النيتروجين التي يتم تثبيتها مثل  $\text{NO}_3^-$  ,  $\text{NH}_4^+$  والنيتروجين العضوي تأتي من النيتروجين الجوي ( $\text{N}_2$ )، 65% تقريبا من النيتروجين الذي يثبت سنويا هو من بيئة الأرض ويأتي من البيئات الطبيعية والصناعية، وتساهم المحيطات في 20% من كمية النيتروجين المثبتة ، مع هذا فان 15% من النيتروجين يثبت الآن عن طريق تصنيع الأسمدة الزراعية .

يثبت النيتروجين إلى أمونيا ( $\text{NH}_3$ ) عن طريق 100 نوع من البكتريا الحرة المعيشة (هوائية و لا هوائية) إضافة الى بعض البكتريا الخضراء المزرققة و Actinomycetes ، من الأمثلة على البكتريا الهوائية *Azospirillum* و الهوائية الاختيارية *Azotobacter*, *Biigerinckia* و اللاهوائية *Clostridium* .

هناك علاقة تعايش طورت بين النبات والبكتريا المثبتة للنيتروجين أهمها العلاقة بين بكتريا *Rhizopium* و البقوليات حيث تثبت النيتروجين بمقدار 200-300 Kg N/hectare/year، وبما إن تثبيت النيتروجين يحتاج إلى طاقة كبيرة فأذن لابد للبكتريا أن تطور ميكانيكية لوقف عملية تثبيت النيتروجين إذا اكتفت من النيتروجين الذي تحتاجه للنمو، إحدى طرق السيطرة على دورة النيتروجين هي الامونيا وهو الناتج النهائي من تثبيت النيتروجين فهي تعتبر مادة مثبطة للعملية، والطريق الآخر هو وجود الأوكسجين حيث إن إنزيمات nitrogenase تكون حساسة تجاه الأوكسجين حيث إن بعض أنواع البكتريا الحرة تثبت النيتروجين فقط عند توفر الأوكسجين بشكل قليل .

## تمثيل الأمونيا (Ammonia assimilation (Immobilization) ومعدنة الأمونيا (Ammonification (Mineralization))

إن الناتج النهائي لتثبيت النتروجين هو الامونيا، وفي الطبيعة هناك تعادل بين كمية الامونيا ( $\text{NH}_3$ ) والامونيوم ( $\text{NH}_4^+$ ) عن طريق تغيير الأس الهيدروجيني حيث عند الظروف الحامضية او القربية من التعادل يتكون الامونيوم ( $\text{NH}_4^+$ )، على العموم فان الامونيوم هو الشكل الذي تأخذه الخلايا لتكوين المركبات المهمة مثل الأحماض الامينية و البروتينات ومكونات الجدار الخلوي مثل N-acetylmuramic acid والقواعد النتروجينية لتكوين الحامض النووي و عملية تحويل الامونيوم إلى الأشكال النهائية داخل الجسم تسمى Ammonium Assimilation أو Immobilization، كذلك فان النتروجين يمكن أن يستهلك بطريقة أخرى وهي استهلاك النترات ( $\text{NO}_3^-$ ) وتحويلها إلى الشكل العضوي وتسمى هذه العملية (Assimilatory nitrate reduction). ولان النترات يجب أن تختزل إلى امونيوم قبل أن تدخل ضمن تركيب المركبات العضوية لذلك فان اغلب الأحياء المجهرية تفضل اخذ النتروجين على شكل امونيوم.

أما عملية تحرير الأمونيا من الخلايا الميتة والمتحللة تسمى معدنة الأمونيا (Ammonification (ammonium mineralization))، وكلا العمليتين التمثيل والمعدنة تحدث تحت الظروف الهوائية و اللاهوائية.

## تمثيل الامونيا Ammonia Assimilation

هناك مسارين تستخدمهما الأحياء المجهرية لتمثيل الامونيا ، الأول هو تفاعل انعكاسي من خلاله يتم إضافة او إزالة الامونيوم من الحامض الاميني glutamate عندما يكون تركيز الامونيوم عالي .

ولكن في اغلب الترب والبيئات المائية يتواجد الامونيوم بتراكيز واطئة فلذلك تشكل البكتريا مسار آخر لتمثيل الامونيوم وهو يعتمد على

الطاقة حيث يجري التفاعل بوجود ATP ونوعين من الأنزيمات  
glutamate synthase , glutamate synthetase

### (Mineralization)

إن معدنة الأمونيا تحصل داخل الخلايا بفعل انعكاسي كما ذكرنا سابقا  
ولكن هذا التفاعل ممكن أن يحصل خارج الخلايا حيث أن الأحياء  
المجهرية تحرر إنزيمات خارج خلوية لتحطم البوليمرات النباتية من هذه  
الأنزيمات protease , lysozyme, nuclease, urase فتقوم بتحطيم  
الجزئيات الحاوية على نتروجين خارج الخلايا مثلا إنزيم urase يحطم  
اليوريا محررا الأمونيوم.

ان كل من عمليتي تمثيل ومعدنة الامونيا تعتمد على مدى توفر النتروجين  
كمادة مغذية اعتمادا على نسبة الكربون والنتروجين (C/N) المتوفرة  
للكائن المجهري وكالتالي:

نسبة (C/N) المضافة للتربة أقل من 20 تسود عملية Mineralization

نسبة (C/N) المضافة للتربة أعلى من 20 تسود  
عملية Immobilization

إن مصير الأمونيوم المتكونة من عملية المعدنة يتضمن أخذها من قبل  
النباتات والأحياء المجهرية أو تضاف من خلال التفاعلات الكيميائية  
للتربة.

### Nitrification

وهي عملية تحويل الأمونيوم الى نترات بواسطة الأحياء المجهرية  
ذاتية التغذية الكيميائية الهوائية (Aerobic chemoautotroph) ويمكن  
أن تقوم بها بعض بكتريا methylotroph وأنواع أخرى من البكتريا  
والفطريات.

أهم الأجناس البكتيرية القادرة على إجراء عملية nitrification

*Nitrosomonas* -1 حيث تؤكسد الامونيوم الى نترت Nitrite  
NO<sub>2</sub>



*Nitrobacter* -2 حيث تؤكسد النترت الى نترات Nitrate NO<sub>3</sub>



حيث إن هذا التفاعل يكون منتج للطاقة ويحصل بخطوتين والطاقة المنتجة تستخدم لتثبيت ثاني اوكسيد الكربون ، من خلال التفاعلين نلاحظ انهما يحتاجان لنوعين من البكتريا كي يتم التفاعل والبكتريا القادرة على nitrification تكون حساسة وتحتاج إلى pH 6.6-8.0 كي يحصل التفاعل حيث يبطء التفاعل عند الاس الهيدروجيني 6.0 وتتوقف العملية اذا انخفض pH اقل من 4.5.

### اختزال النترات Nitrate Reduction

إن الأحياء المجهرية يمكن أن تستخدم النترات كمستقبل نهائي للالكترونات في عملية التنفس اللاهوائي لاكسدة بعض المركبات العضوية. هناك مسارين منفصلين لهذه العملية الاول يسمى (Dissimilatory nitrate reduction to ammonium) والآخر يسمى (Denitrification) حيث في كلا العمليتين يتكون غازين هما (N<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O).

## Assimilatory Nitrate Reduction

ويقصد بها اخذ النترات واختزالها إلى امونيوم ومن ثم إدخالها ضمن تركيب الكتلة الحية. كما موضح سابقا. الكائنات الحية تفضل اخذ الامونيوم اذا وجد بدل من تحويل النترات إلى امونيوم وصرف طاقة لذلك وجود الامونيوم في البيئة يثبط عملية اختزال النترات.

## Dissimilatory Nitrate Reduction

هناك عمليتين لاختزال النترات اللاتمثلي تستخدمه البكتريا الاختيارية chemoheterotroph microaerophilic تحت الظروف anaerobic. الاولى تسمى Dissimilatory nitrate reduction to ammonium (DNRA) والتي تستخدم النترات كمستقبل نهائي للالكترونات منتجة طاقة لأكسدة المركبات العضوية. والنتج النهائي هو الامونيوم



\*\*\* لا تنشط بالامونيا

\*\*\* البكتريا السائدة هي البكتريا المخمرة