المقدمة :

أدرك القدماء بالملاحظة فوائد التسميد بالمواد العضوية ’ وان لم يفهموا تفسيره .فشاهد رعاة الاغنام تحسن نمو النبات في الاماكن التي راثت فيها اغنامهم. وخمر الصينيون البقايا النباتية مع الطين كما اتبع نفس الاسلوب المصريون والرومان ، وخمر العرب فضلات الحيوانات واخلطوها مع التراب وبقايا النباتات .وقد اهتم العلماء في العصر الحديث بدراسة المواد العضوية من حيث تحللها وفائدتها للتربة والنبات.

لم تفقد تلك المواد اهتمام المزارعين بها الى الفترة القصيرة التي اعقبت نظرية Liebig في التسميد المعدني ولكن سرعان ما استعادت اهميتها من جديد عندما اثبت لاوس وجلبرت ان التسميد المعدني لا يغني بحال من الاحوال عن التسميد العضوي .ثم أشتد الاهتمام بها بتقدم الدراسات الميكروبيولوجية لأنها القت الكثير من الضوء على ما تحدثه فيها ميكروبات التربة واوضحت لما لهذه التغيرات من اثر كبير في خصوبة التربة.

مصادر المادة العضوية في التربة Source of Soil Organic Matter

اولا: بقايا النباتات

تعد بقايا النباتات في الحقل مثل الجذور والسيقان والاوراق المتساقطة مصدرا رئيسيا لمادة التربة العضوية بعد تحللها وتتكون بقايا النباتات من الماء والجزء الصلب او المادة الجافة وتختلف نسبة الماء الموجود في النبات مع اختلاف نوع النبات وجزئه وعمره والعوامل البيئية المؤثرة.

ثانيا: الاسمدة الخضراء

تستعمل عادة النباتات البقولية بأنواعها كسماد اخضر وكذلك النباتات غير البقولية ولكن بكميات اقل. حيث تزرع هذه النباتات وتقلب في التربة في مرحلة من مراحل نمو النبات لزيادة مادة التربة العضوية اضافة الى امداد النبات بالعناصر الغذائية . ومن فوائدها هي :-

1. تعمل بمثابة غطاء نباتي يحافظ على سطح التربة من التعرية والانجراف
2. أضافة مواد عضوية للتربة تصبح مواد غروية بعد تحللها في التربة
3. تحسين الصفات الفيزيائية للتربة وخاصة الصفات المتعلقة بنسجة التربة
4. زيادة نسية النتروجين في التربة اضافة الى عناصر غذائية اخرى
5. زيادة معدل النشاطات والعمليات الحيوية للتربة والكائنات الحية

ولنجاح التسميد العضوي بالأسمدة الخضراء يجب ان يؤخذ بنظر الاعتبار نوع النبات حيث ان النباتات المرغوب بها يجب ان تتصف بصفات معينة هي:-

1. ان يكون النبات ذو نمو سريع
2. ذو نمو خضري غزير
3. للنبات القدرة على النمو في الترب الفقيرة من حيث محتواها من العناصر الغذائية
4. ان يكون للنبات صفات تحلل سريعة

ثالثا : الاسمدة العضوية المضافة للتربة

تشمل مخلفات حيوانات الحقل ومخلفات المجازر والمصانع وفضلات المدينة .

ومن الاسمدة العضوية الشائعة هي:-

1. السماد الحيواني او سماد الاسطبل
2. بقايا النباتات المخمرة : مثل الحشائش وورق الاشجار والخضروات وتبن الحنطة والشعير ..الخ والتي عادة ما تستعمل في تصنيع الاسمدة العضوية (الكمبوست)
3. القمامة وهي قمامة المدن عادة وهي خليط من مواد نباتية وحيوانية وبدرجات تحلل مختلفة
4. المخلفات البشرية
5. مسحوق العظام ومخلفات المجازر والمدابغ والمعامل الخ
6. سماد المجاري وهي مواد صلبة وسائلة يعاد معالجتها وتستخدم كأسمدة عضوية بعد إزالة المسببات المرضية منها واضافة المغذيات لها .

رابعا : الكائنات الحية

تعد الكائنات الحية الكبيرة والدقيقة الحية والميتة مصدر للمادة العضوية في التربة سواد من اجسادها او بعد تحللها في التربة

((الدبال اصله وتعريفه وخواصه))

تقسم المواد العضوية في التربة الى قسمين على حسب درجة تحللها الى:-

1. مواد عضوية في دور التحلل وما زالت عملية الهدم والتحلل فيها نشطة

2. مواد عضوية في مراحل متقدمة من التحلل او في أدوار التحلل النهائي الذي يميل الى الثبات وهي ما يطلق عليها الدبال Humus

تعريف الدبال Humus

الدبال هو مخلوط معقد من المركبات ذات الاوزان الجزيئية المتباينة مثل الالكنين والبروتين والاحماض العضوية متحدا مع القواعد الموجودة في التربة .

يختلف نوع الدبال وكميته باختلاف التركيب الكيميائي والطبيعي للمواد الاصلية الناتج منها وعلى نوع الاحياء المجهرية العاملة عليها.

التركيب الكيميائي للدبال Humus Composition

وبسبب تعقيد الدبال يقسم الى المكونات الاساسية الثلاثة التالية:-

1. حامض الهيوميك Humic Acid
2. حامض الفولفيك Fulvic Acid
3. الهيومين Humin

اولا: خصائص حامض الهيوميك Humic Acid

1. أن حامض الهيوميك ليس حامضا ذا تركيب بنائي ثابت ومحدد بل هو مجموعة من المركبات ذات الاوزان الجزيئية العالية.

2. مركب ذائب بالقواعد المخففة ومترسب بالحوامض

3. عبارة عن تركيبات بنائية حلقية اروماتية Aromatic من الكربون وتأخذ اتجاهات متباينة ترتبط بها تركيبات بنائية لسلاسل مستقيمة Aliphatic تمثل المجاميع الفعالة Functional groups مثل المجاميع الكربوكسيلية CO_2H والفينولية OH والكربونيلية C=O وغيرها.

4. يحتوي حامض الهيوميك على S,O,N,H,C بنسب متباينة مما يكون تركيبات ذات اوزان جزيئية متباينة.

5. يصنف حامض الهيوميك كحامض بسبب وجود مجاميع الكربوكسيل فيه وان معلقاته المائية ذات pH مساوي الى 3 تقريبا.

6. أملاح حامض الهيوميك الاحادية تكون ذائبة مثل هيومات الصوديوم وهيومات البوتاسيوم اما املاحه مع الايونات الثنائية والثلاثية فهي غير ذائبة مثل هيومات الكالسيوم وهيومات الالمنيوم.

7. يؤدي حامض الهيوميك دورا في تحسين خصائص التربة الفيزيائية والكيميائية والحيوية.

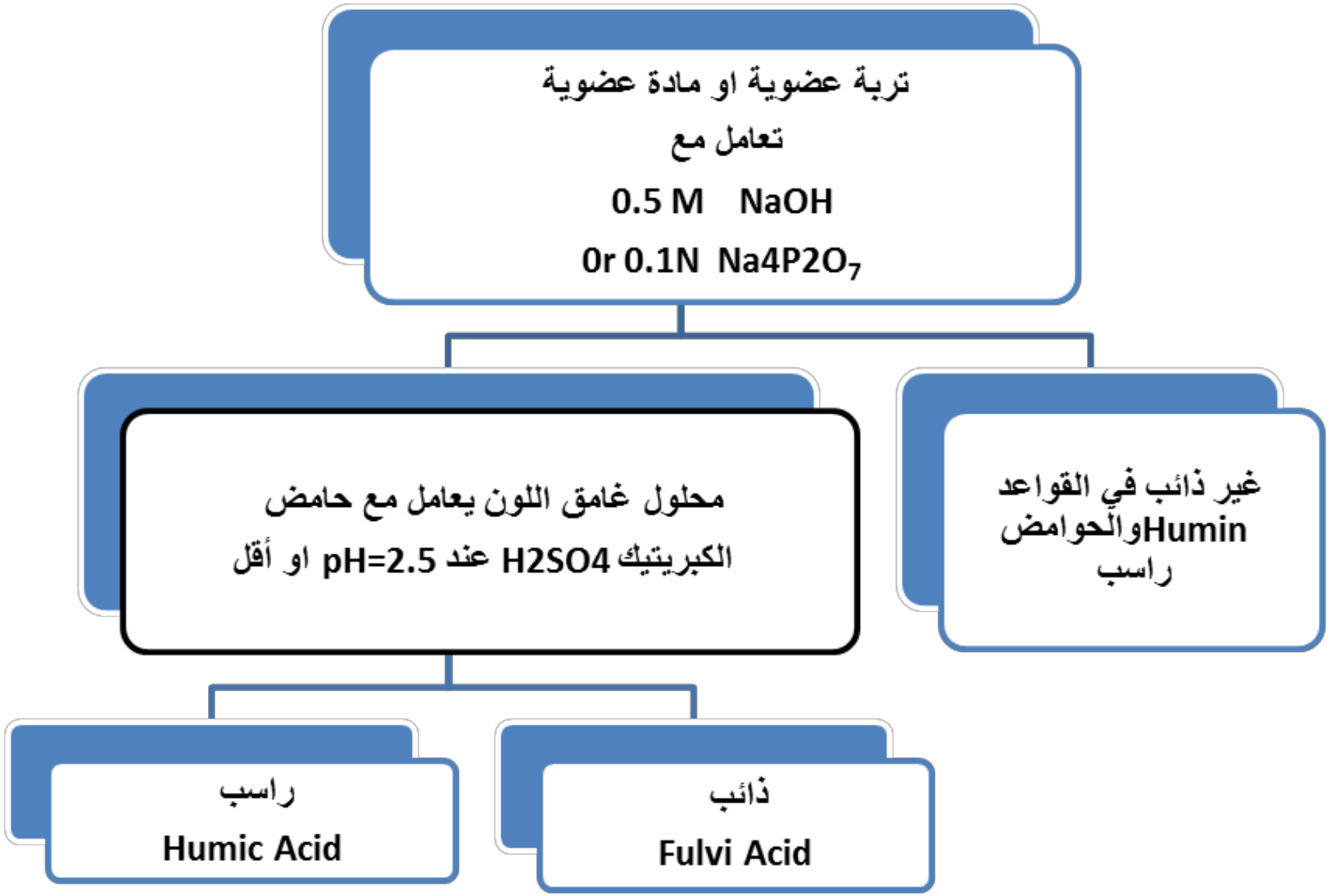
8. ذو لون اسود الى قهوائي في الوسط القاعدي بسبب سيادة المجاميع الحلقية على المجاميع السلسلية.

ثانيا: حامض الفولفيك Fulvic Acid

1. ان حامض الفولفيك ابسط تركيبا من حامض الهيوميك
2. ذائب بالقواعد والحوامض حيث انه ذائب 100% في الماء و 90% في كحول الميثانول و60% في كحول الاسيتون وغير ذائب في البنزين والكلوروفورم ورابع كلوريد الكربون.
3. حامض الفولفيك يحتوي على كميات اقل من N,H,C واعلى من O,S قياسا مع حامض الهيوميك.
4. ان الحموضة الكلية ومحتوى المجاميع الكربوكسيلية في حامض الفولفيك ضعف ما موجود في حامض الهيوميك والهيومين.
5. نسبة المجاميع الكربوكسيلية الى المجاميع الفينولية الهيدروكسيلية تساوي 3 في حامض الفولفيك في حين تكون مساوية الى 2 تقريبا في حامض الهيوميك والهيومين.
6. املاح حامض الفولفيك الاحادية والثنائية والثلاثية ذائبة مثل فولفات الصوديوم وفولفات الكالسيوم وفولفات الالمنيوم .
7. لون حامض الفولفيك اصفر فاتح بسبب تعدد المجاميع السلسلية قياسا بالمجاميع الحلقية.
8. قيمة الاس الهيدروجيني pH لحامض الفولفيك في الماء بين 2.6 الى 2.8 .

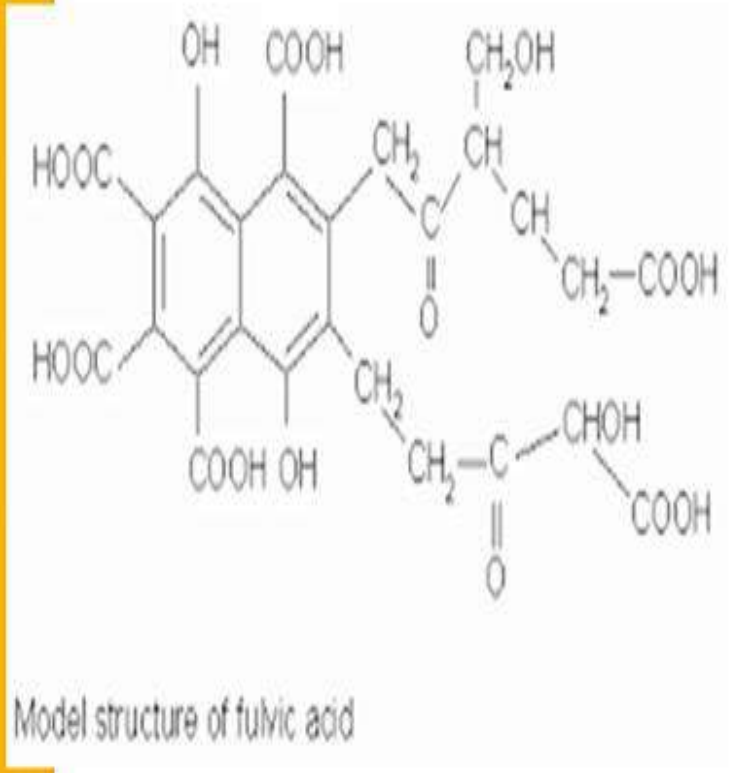
ثالثا : الهيومين Humin

الهيومين هو عبارة عن معقد من المواد الدبالية يتكون من حامض الهيوميك والفولفيك وهو الجزء من المواد الدبالية الذي لا يستخلص من التربة بالمحاليل القاعدية والحامضية .

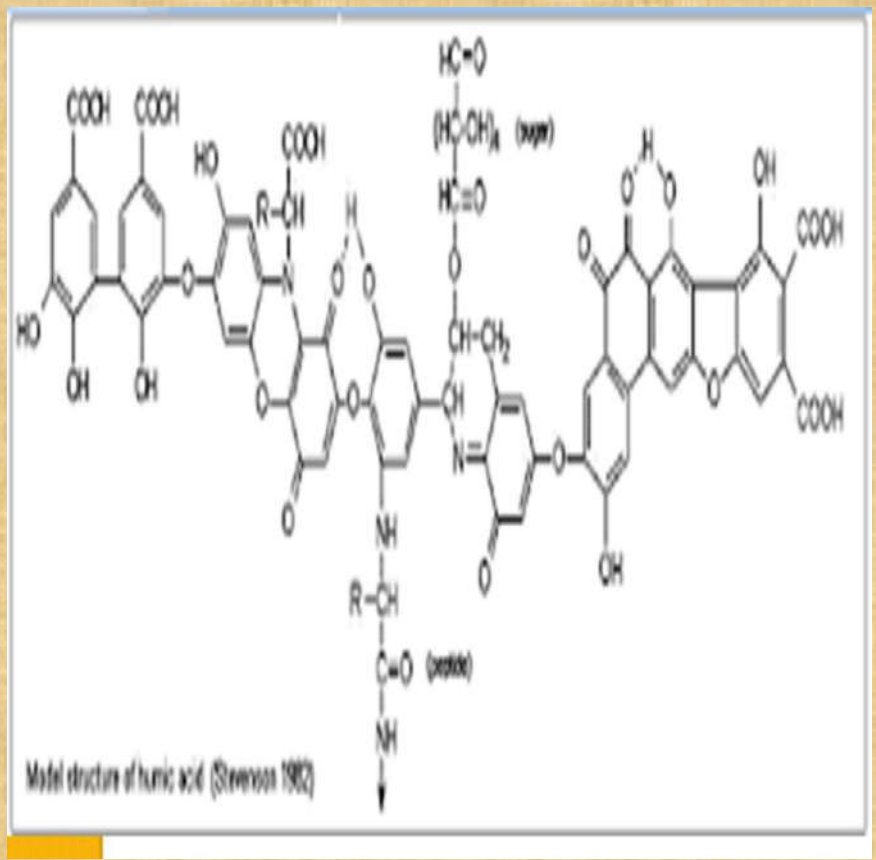


مخطط يوضح استخلاص المواد الدبالية من التربة او المواد العضوية

الشكل التركيبي لحامض الهيوميك (اليمين) والفولفيك (اليسار)



Humic ACID



في محاضرة اليوم سوف نتكلم عن

- الخصائص الكهروكيميائية للمواد الدبالية Electro chemical properties of humic matter

اصل وأنواع الشحنات الكهربائية Origin and type of electric charge

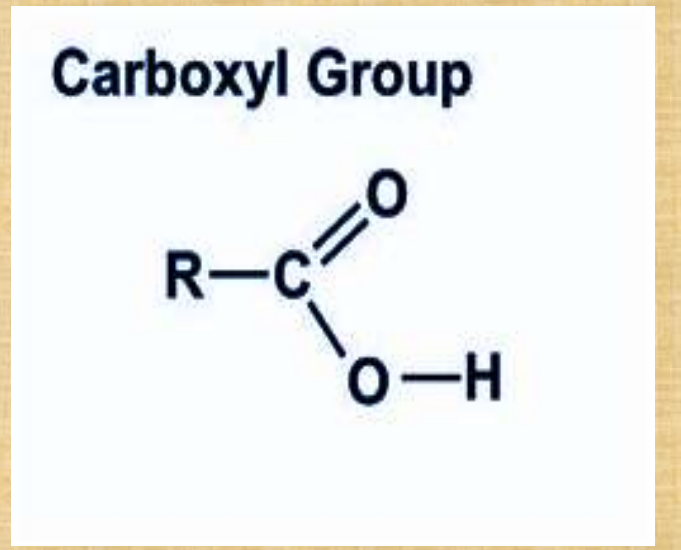
تعد حوامض الفولفيك والهيوميك مركبات امفوتيرية حيث تتفاعل مع الحوامض والقواعد بسبب ما تمتلكه من شحنات سالبة وموجبة وهذه الصفة مما تجعلها مركبات امفوتيرية .

أولا : الشحنة السالبة للمواد الدبالية Negative charge of humic matter

تعزى الشحنة السالبة للمواد الدبالية الى تحلل البروتونات Dissociation of protons(H+) من المجاميع الفعالة للمواد الدبالية . والمجموعتين الاساسيتين للشحنة السالبة هما المجموعة الكربوكسيلية (COOH) والمجاميع الفينولية.

Functional groups المجاميع الفعالة

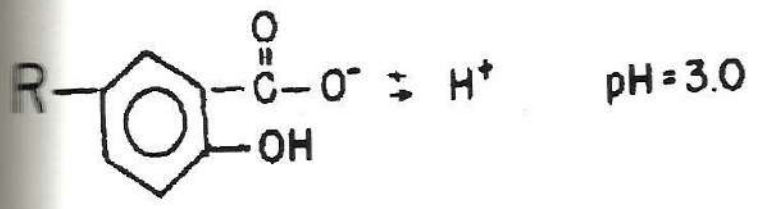
المجموعة الكربوكسيلية



المجاميع الهيدروكسيلية ومنها الفينولية

تعطي المجاميع الكربوكسيلية جزيئة الدبال الصفة الحامضية. كما ان لوجودها في المواد الدبالية تعطيها صفة الشحنة وقابليتها على الامتزاز adsorbed والتبادل مع الايونات الموجبة.

فالمجاميع الكربوكسيلية تتأين وتعطي ايونات الهيدروجين H^+ الى الوسط عند pH=3 . فهي توهب ايونات الهيدروجين الى الاوسط. لذا فهي تسلك سلوك حامض برونشتد ولهذا أطلق عليه بالحامض كما سماه Purdue (1985) وقابليته على مسك البروتونات. ونتيجة لتأين جزيئات الدبال فإنها سوف تصبح مشحونة بشحنة سالبة Negatively charged كما موضح في الشكل ادناه:



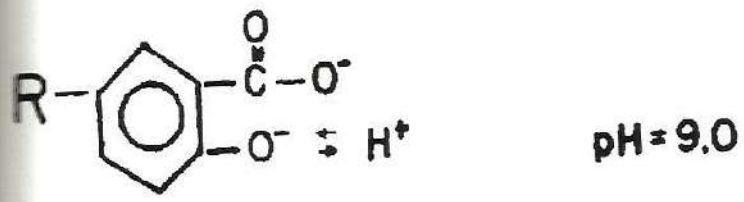


Figure 4.8 Development of variable negative charges in a humic molecule by dissociation of protons from carboxyl groups at pH 3.0, and from phenolic-OH groups at pH 9.0.

عندpH<3 فأن الشحنة ضعيفة او قليلة او تقريبا صفر. اما عند pH=9فأن المجاميع الفينوليةPhenolic –OH ايضا تتأين اي تعطي ايونات الهيدروجين +H وبالتالي تصبح جزيئة الدبال ذات شحنة سالبة عالية.

لذا فأن الشحنة السالبة للمواد العضوية (الدبال) تعتمد على قيمة pH الوسط لذا تسمى هذه الشحنة بالشحنة المعتمدة على قيمة ال pH (pH-dependent charge) او الشحنة المتغيرة (Variable charge)

عند قيم الـ pH المنخفض تكون الشحنة عادة قليلة جدا في حين عند قيم الـ pH المرتفع تكون الشحنة عالية . لذا فأن CEC تكون منخفضة عند pH المنخفض وعالية عند pH المرتفع. وقد وجد ان اعظم CEC هو عند pH=8.2

أن محتوى المجاميع الكربوكسيلية في حامض الهيوميك يتراوح بين ٢,٤ الى ٥,٤ ملي مكافئ/غم . والذي يكون اقل في محتواه من حامض الفولفيك والتي يصل تركيز المجاميع الكربوكسيلية فيها الى ٨,٥ ملي مكافئ/غم . فحامض الفولفيك يحتوي على مجاميع كربوكسيلية اكثر من حامض الهيوميك .

أن كلا من حامضي الهيوميك والفولفيك تهاجم من قبل الاحياء المجهرية للحصول على الكربون وان اول مجموعة تختفي هي مجموعة الكربوكسيل تليها مجموعة methoxyl(OCH_3) ثم مجموعة الكربونيل(C=O)

ثانيا: الشحنة الموجبة للمواد الدبالية Positive Charge of Humic Matter

ان سبب الشحنة الموجبة للمواد الدبالية هو وجود المجاميع الامينية Amino groups

(NH_2 group) مثل الحوامض الامينية المتعادلة (Glycine, Alanine, Valine ,Leucine)

والحوامض الامينية الحامضية مثل (Aspartic acid, Glutamic acid)

والحوامض الامينية القاعدية مثل (Arginine, Lysine, Histidine)

الحوامض الامينية الثانوية مثل Proline

بصورة عامة، ان عملية اكتساب ايونات الهيدروجين H^+ (Protonation) للمجاميع الامينية يجعل المواد الدبالية تكتسب شحنة موجبة Positive charge وهذه العملية لا تحصل الا تحت الظروف الحامضية .

عندما نقارن بين تركيز المجاميع الفعالة الحاوية على الاوكسجين مثل المجاميع الكربوكسيلية والفينولية والكربونيلية مع المجاميع الامينية ، نجد بأن تركيز المجاميع الامينية في المواد الدبالية بصورة عامة قليلة. لذا فأن أهمية الشحنة الموجبة للمواد الدبالية عادة قليلة وفي بعض الاحيان تهمل

التركيب الكيميائي لحامض الهيوميك Humic acid

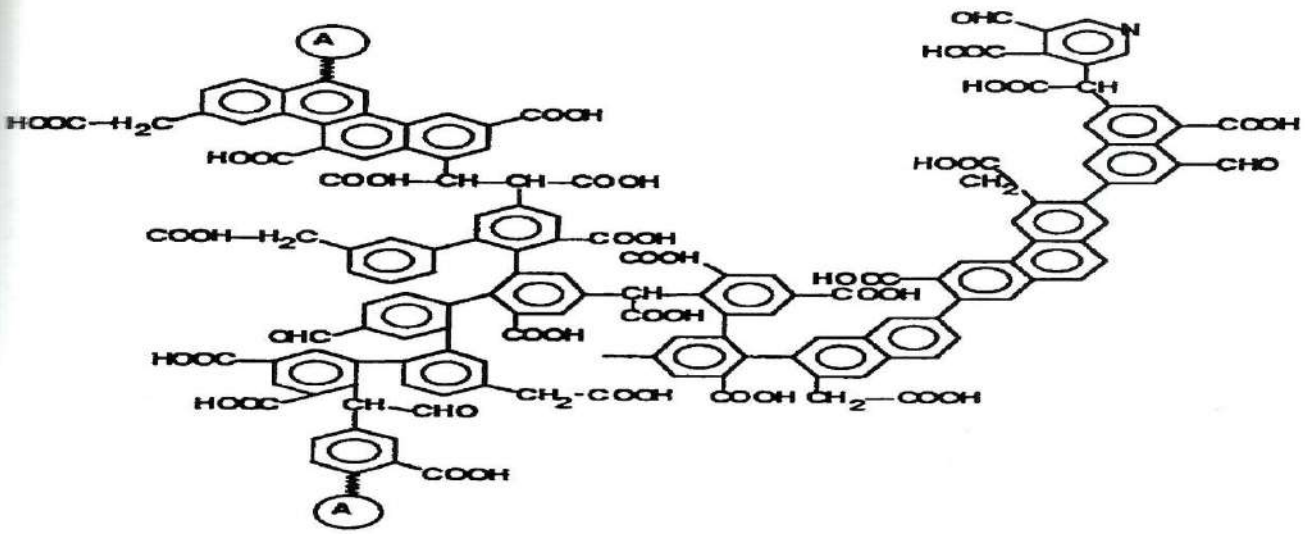


Figure 5.6 A two-dimensional structure of humic acid from andosol. Reproduced with permission from Hatcher et al. (1994), copyright (1994) Elsevier Science B.V., Amsterdam.

التركيب الكيميائي لحامض الهيوميك والفولفيك Fulvic acid

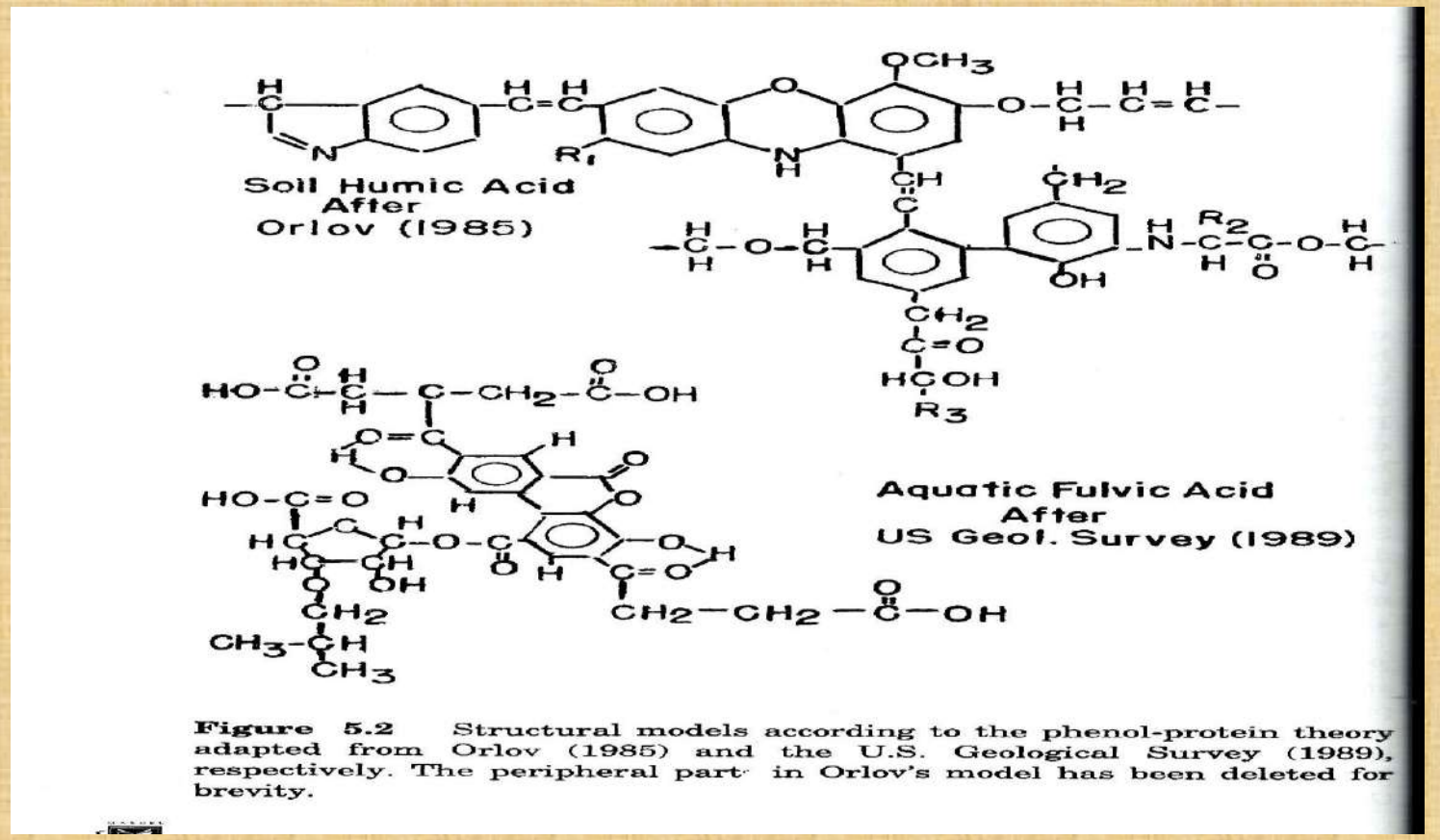


Figure 5.2 Structural models according to the phenol-protein theory adapted from Orlov (1985) and the U.S. Geological Survey (1989), respectively. The peripheral part in Orlov's model has been deleted for brevity.

ثالثا : تحلل النشأ Decomposition of Starch

يعد النشأ من اكثر المواد الكربوهيدراتية المخزونة في النبات’ ويختلف النشأ في صفاته الفيزيائية باختلاف النبات وجزء النبات وعمره . اما من الناحية الكيميائية فيكون متشابه.

يوجد النشأ بكميات كبيرة في الاوراق التي تقوم بعملية التمثيل الضوئي ويوجد ايضا في انسجة الخشب واللحاء والقشرة وسيقان النبات . كما يوجد النشأ ايضا في الدرنات والبصلات والرايزومات الارضية والثمار والبذور.

يوجد نوعين من النشأ النباتي:-

النوع الاول : الاميلوز Amylose

النوع الثاني: الاميلوبكتين Amylopectin

الاميلوز هو عبارة عن وحدات بنائية مستقيمة من عدة مئات من سكر الكلوكوز Glucose والتي ترتبط مع بعضها بروابط من نوع الفا .

اما الاميلوبكتين يتكون ايضا من وحدات من الكلوكوز ولكن بتفرع السلاسل الجانبية ونوع الاصرة ايضا من نوع الفا.

تحتوي معظم النباتات على 70-80% نشأ من نوع amylopectin و 20-30% من نوع amylose .

عند تعرض النشأ لنشاط الاحياء المجهرية في التربة فأنه يتحلل بسرعة اكبر من سرعة تحلل السليلوز والهيميسليلوز والانواع الاخرى من السكريات المتعددة.

يبين الجدول ادناه اكثر الاجناس للأحياء المجهرية القادرة على تحلل النشأ وتشمل (البكتريا والفطريات الشعاعية والفطريات) حيث يعد النشأ مصدرا كربونيا مناسبا لمعظم الفطريات الشعاعية كذلك يمكن للكثير من الفطريات التي تفرز الانزيمات المناسبة لتحليل النشأ مائيا. في حين نادرا ما تهاجم الخمائر هذا السكر المتعدد.

Bacteria البكتريا	Actinomycetsالفطريات الشعاعية	Fungi الفطريات
Bacillus	Micromonospora	Aspergillus
Clostridium	Nocardioa	Fusarium
Micrococcus	Streptomyces	Fomes
Pseudomonas		Polyporus
Flavobacterium		Rhizopus

ان الانزيمات التي تحلل النشأ مائيا هي عبارة عن انزيمات تنتج خارج الخلية الميكروبية.

وتوجد ثلاثة انواع من الانزيمات المتخصصة في تحليل النشأ هي :-

1: الفا – اميليز α-amylase

2: بيتا – اميليز β - amylase

3. كلوكو- اميليز Glucoamylase

هذه الانزيمات تعمل على مركبات النشأ(الاميلوز والاميلوبكتين) عن طريق تكسير الروابط بين سلاسل وحدات السكر والناتج عنه يكون وحدات من سكر المالتوز ونواتج مركبات وسطية اخرى.

يتحلل النشأ تحت الظروف الهوائية واللاهوائية وتختلف نواتج التحلل مع اختلاف طبيعة التربة والظروف البيئية الاخرى.

اولا: في الظروف الهوائية يتحلل النشأ وفق المعادلة التالية :-

انزيم الاميليز Amylase انزيم المالتيز Maltase

نشأ + ماء ← مالتوز + ماء ← كلكوز ←

ماء + ثاني اوكسيد الكربون + مكونات في اجسام الكائنات الحية

ثانياً: في الظروف اللاهوائية (غياب الاوكسجين)

تحصل حالة من التخمر Fermentation يصاحب ذلك انتاج كميات كبيرة من احماض اللاكتيك والخليك والبيوتريك وتستمر عملية التحلل الى درجة كبيرة مع احتمال انتاج غاز الميثان.

رابعا: تحلل البكتين Decomposition of Pectin

يوجد البكتين بكثرة في النباتات وهي المادة التي تعمل على تماسك الخلايا النباتية مع بعضها البعض. ويوجد البكتين في صورة بكتات الكالسيوم والمغنسيوم في الصفيحة الوسطى الموجودة بين الخلايا النباتية.

يتحلل البكتين مائيا بسهولة بواسطة عدد من الميكروبات الى سكريات بسيطة مثل الكلوكوز والرابينوز و Galacturonic acid . ويعد انحلال البكتين من العمليات الهامة في تحلل المادة العضوية في التربة.

ويمكن وصف تحلل البكتين بالمعادلة التالية:-

Protopectin ⟶ Methanol + Pectic Acid (في الظروف اللاهوائية)

مواد غير ذائبة في الماء

واحد مكونات جدار الخلية

Protopectin ⟶ Galacturonic acid + CO_2 + H_2O +microbial components

(في الظروف الهوائية) مواد غير ذائبة في الماء

واحد مكونات جدار الخلية

خامسا : تحلل الكيتين Decomposition of Chitin

يعد الكيتين من السكريات المتعددة الاكثر شيوعا والذي يحتوي في تركيبه على وحدات من السكريات الامينية Amino sugar .وهو مكون بنائي يعطي القوة الميكانيكية للأحياء الداخل في تركيبها .ومصدر الكيتين في التربة هو بقايا الحشرات وانسجة الفطريات التي يشكل الكيتين جزءا كبيرا من تركيبها.

ومن صفاته هي:-

1. عديم الذوبان في الماء والمذيبات العضوية والقلوية المركزة او الاحماض المعدنية المخففة.
2. يذوب ويتحلل بفعل الانزيمات
3. يذوب في الحوامض المركزة

يتحلل الكيتين بواسطة احياء التربة هوائيا وفق المعادلة التالية:-

انزيم الكيتينيز

الكيتين ⟵ سكريات امينية ⟵ امونيوم $NH_4^+ + CO_2 + H_2O$ +

مكونات في اجسام الكائنات الحية

سادسا : تحلل اللكنين Decomposition of Lignin

يعد اللكنين ثالث المكونات النباتية من حيث الوفرة .حيث تلي كميته بعد السليلوز والهيميسليلوز في الانسجة النباتية. يختلف محتوى الانسجة النباتية من اللكنين مع اختلاف مراحل عمر النسيج .ويوجد اللكنين بكثرة في النباتات الخشبية ويقل في النباتات العصارية حيث يتراوح تركيزه في الاشجار الخشبية بين 15-35% من الوزن الجاف والنباتات البقولية والحشائش بين 3-6% من الوزن الجاف.

ومن الصفات المهمة لمركب Lignin هي:-

1. عديم الذوبان في الماء الساخن والمذيبات العضوية
2. يذوب في القلويات
3. غني بالكربون وفقير بالأوكسجين مقارنة مع السليلوز والهيميسليلوز
4. شديد المقاومة للتحلل بفعل الانزيمات

يتحلل اللكنين بفعل الفطريات والاكتينومايستس في وجود وغياب الاوكسجين وبوجود مجموعة من الانزيمات هي Peroxidase, Laccase ونواتج التحلل هي مجاميع الكربوكسيل COOH والهيدروكسيل OH والالدهايد CHO .

تقسم المواد العضوية النيتروجينية الى قسمين:-

اولا: مواد عضوية نيتروجينية بروتينية

ثانيا: مواد عضوية نيتروجينية غير بروتينية

اولآ: تحلل المركبات العضوية النيتروجينية البروتينية

تتحلل المواد العضوية النيتروجينية البروتينية بواسطة احياء التربة المجهرية المتباينة التغذية Heterotrophic والتي تستعمل المركبات العضوية النيتروجينية البروتينية كمصدر للطاقة وبناء أجسامها.

تقوم الاحياء المجهرية بأفراز انزيمات خارج الخلية لتحليل البروتين. حيث يتم تكسير جزيئة البروتين الكبيرة الى وحدات أبسط والناتج النهائي لتحلل البروتين هو غاز الامونيا NH_3 والاحماض العضوية . ويطلق على هذه العملية بعملية تعدن النيتروجين Nitrogen Mineralization او معدنة النيتروجين العضوي.

ومن الاحياء المجهرية المحللة للبروتين هي:-

1. البكتريا الهوائية (Aspergillus ,Pencillium ,Mucor , Rhizopus)

2. الفطريات Fungi

3. الفطريات الشعاعية Actinomycetsويمكن تلخيص خطوات تحلل البروتين العضوي بما يلي:-

1. تحلل البروتين (مجموعة من الاحماض الامينية) تحللا مائيا بواسطة أحياء التربة المجهرية وال تفرز انزيم Proteinase الى مركبات نيتروجينية بسيطة تعرف بـ الببتيدات المتعددة lypeptides ولك بروتين نوع خاص من انزيمات التحلل .

2. تحلل الببتيدات تحللا مائيا بواسطة انزيم خاص يعرف Polypeptidase (الذي يفرز من قبل اد التربة المجهرية) الى احماض امينية Amino Acids .

3. تحلل الاحماض الامينية بواسطة انزيمات Deaminase الى احماض عضوية وامونيا . ولكل حا
اميني انزيم خاص به لا يؤثر على غيره من الاحماض الامينية الاخرى. التحلل المائي للأحماض الا
في الظروف الهوائية يتم بواسط البكتريا الهوائية والفطريات و الفطريات الشعاعية ، اما في الظرو
اللاهوائية فيتم بواسطة البكتريا اللاهوائية.

الاحماض الامينية الناتجة من تحلل البروتينات تستخدم كمصادر للكربون والنتروجين بواسطة اعداد
حصر لها من الاحياء المجهرية ذاتية التغذية . وينتج عن ذلك ان ينطلق نيتروجين الاحماض الامين
على شكل غاز امونيا. والامونيا الناتجة يمكن ان تمثل من قبل الاحياء المجهرية لبناء البروتوبلازم
تستخدم من قبل أحياء اخرى .

ثانياً: تحلل المركبات العضوية النيتروجينية غير البروتينية

يعد مركب اليوريا $(NH_2)_2CO$ مركب كيميائي عضوي والذي يتحلل بفعل أنزيم اليوريز Urease الى غاز الامونيا وثاني اوكسيد الكربون وفق المعادلة التالية :-

$$(NH_2)_2CO + H_2O \xrightarrow{\text{Urease}} CO_2 + 2NH_3$$

الخلاصة

ما تم توضيحه في هذه المحاضرة والمحاضرة السابقة
يمكن تلخيصه بالمخطط ادناه

المواد العضوية
مواد عضوية غير نيتروجينية
مواد عضوية نيتروجينية
مواد سريعة التحلل
(السكريات، النشأ، السليلوز، الهيميسليلوز)
النباتات الحيثة والطرية
مواد بطيئة التحلل
(اللكنين ، الكيتين' الدهون' الاصماغ)
النباتات الخشبية المسنة
مواد عضوية نيتروجينية بروتينية
(البروتينات)
مواد عضوية نيتروجينية غير بوتينية
(اليوريا)

التركيب الكيميائي للمادة العضوية في التربة

Chemical Composition of Soil Organic Matter

تتركب المادة العضوية من مادة جافة وماء ويؤلف او يشكل الما 75% او اكثر من تركيب الانسجة اما المادة الجافة فهي مؤلفة من الكربون C والاوكسجين O والهيدروجين H والنتروجين N وعناصر معدنية اخرى

ويمكن تصنيف المادة العضوية حسب احتوائها على عنصر النتروجين الى **مجموعتين** اساسيتين هما :-

اولا: المركبات العضوية التي لا تحتوي على عنصر النتروجين وهي:

أ) الكربوهيدرات Carbohydrates وتشمل :-

1. السكريات الاحادية Monosaccharides **مثل** (Glucose ,Galactose, Mannose, Rhamnose)
2. السكريات الثنائية مثل Sucrose Maltose,
3. السكريات الثلاثية Rhaphinose
4. السكريات المتعددة Polysaccharides مثل (النشأ – السليلوز- الهيميسليلوز- البكتين- الاصباغ)

ب) اللكنين Lignin

ج) الاحماض العضوية واملاحها مثل(Malic acid- Citric acid- Glutamic acid)

د) الدهون والزيوت

ثانيا: المركبات العضوية التي تحتوي على نتروجين وتشمل:-

1.البروتينات Proteins

2. الحوامض الامينية Amino Acids

3. البروتينات النووية Nucleoproteins

4. الامينات Amines

5. الحوامض النووية Nucleic Acids

6. الببتيدات المتعددة Polypeptides

ويمكن تقسيم تركيب المادة العضوية للتربة الى سبعة مجموعات حسب طبيعة اذابتها الى:-

1. المواد التي تذوب في الماء وتشمل :

السكريات – الجلوكوسيدات – الاحماض الامينية- املاح النترات والكبريتات والكلوريدات واملاح البوتاسيوم .

2. المواد التي تذوب في الايثر والكحول وتشمل :-

الدهون – الزيوت – الشموع- الراتنجات- التانينات- الالكويدات- المواد الملونة.

3. السليلوز

4.الهيميسليلوز

5.اللجنين

6.البروتينات

7. الاملاح المعدنية التي تذوب في الماء مثل سليكات البوتاسيوم والمغنسيوم والالمنيوم وهي تكون مع الاملاح المعدنية الذائبة ما يعرف بالرماد Ash

ان تحلل المادة العضوية في التربة يخدم فعاليتين اساسيتين للأحياء المجهرية وهي:-

1. تجهيز الطاقة للنمو

2. الكربون لتكوين مكونات الخلايا الجديدة

وبذلك يتحقق الهدف الاساسي للميكروبات التي تعيش في التربة من احتجاز الطاقة والحصول على الكربون لتخليق مواد الخلية. وخلال مراحل نمو الميكروبات فأن هناك انتاجا لبعض المركبات التي تفرزها الخلايا مثل ثاني اوكسيد الكربون والميثان والاحماض العضوية والكحول .

وقد تصل نسبة الكربون الى 50% من وزن الخلايا في معظم الكائنات الدقيقة وهي تحصل عليها من المادة العضوية التي تقوم بتحليلها وتحويل الكربون في المادة العضوية الى كربون البروتوبلازم وتعرف هذه العملية بالتمثيل Assimilation

تحت الظروف الهوائية فأنه عادة ما يتم تمثيل 20-40% من كربون المادة والباقي ينطلق في صورة غاز ثاني اوكسيد الكربون CO_2 او يتراكم في صورة مخلفات التمثيل الغذائي. والاحياء المجهرية تختلف في كفاءتها في التمثيل الغذائي للكربون فالفطريات بصورة عامة تفقد قليلا من CO2 لكل وحدة كربون محولة هوائيا مقارنة بالمجاميع الميكروبية الاخرى. حيث ان الفطريات اكثر كفاءة في التمثيل .ان تحلل المواد العضوية في التربة هي صفة لجميع الاحياء المجهرية المتباينة التغذية Heterotrophs .

بصورة عامة يستعمل تحلل المادة العضوية كمؤشر لنشاط او الفعالية الميكروبية في التربة.

توجد عدة طرق لقياس سرعة تحلل المواد العضوية المضافة للتربة هي:-

1. **قياس كمية غاز ثاني اوكسيد الكربون المتطاير**
2. **قياس كمية الاوكسجين المستهلك**
3. **تقدير النقص في المادة العضوية اما كيميائيا او بواسطة فقدان الوزن**
4. **ملاحظة اختفاء المكونات الخاصة كالسليلوز والهيميسليلوز واللكنين**

أن المركبات العضوية تختلف في سرعة تحللها ، ويمكن وضع هذه المركبات بالتسلسل الاتي حسب سرعة تحللها الى :-

سريعة التحلل

1. **السكريات ،النشأ ، البروتينات البسيطة ،**
2. **البروتين الخام**
3. **الهيميسليلوز**
4. **السليلوز**
5. **اللكنين، الشموع،**

الدهون ، الأصباغ

بطيئة التحلل

أولا: تحلل المركبات العضوية غير النيتروجينية

تنقسم المركبات العضوية غير النيتروجينية حسب سرعة تحللها الى قسمين:-

1.مركبات سريعة التحلل

مثل السكريات والنشأ والسليلوز والهيميسليلوز وهي تكثر في النباتات الطرية والحديثة.

2. مركبات بطيئة التحلل

مثل اللكنين والدهون والأصباغ و الاصماغ وهذه تكثر في النباتات المسنة

خطوات تحلل المركبات العضوية غير النيتروجينية

ويتضمن تحلل المواد العضوية غير النيتروجينية الخطوات التالية:-

اولا: تحلل مائي Hydrolysis

ويتم ذلك بواسطة ميكروبات التربة سواء كانت بكتريا او فطر او اكتينومايستس . ويتوقف مقدرة اي نوع من هذه الميكروبات على احداث التحلل المائي لاحد المركبات المعقدة على انتاج الانزيم الخارجي الذي يساعد على احداث التحلل المائي. ففي الظروف الهوائية فأن الفطر والاكتينومايستس والبكتريا الهوائية هي المسؤولة غالبا عن التحلل المائي.

اما في الظروف اللاهوائية فأن البكتريا اللاهوائية والبكتريا اللاهوائية اختياريا هي التي تنشط في احداث التحلل المائي ونواتج التحلل اكثر بساطة من الناحية الكيميائية واكثر قابلية للذوبان من المركبات الاصلية.

ثانيا: استعمال نواتج التحلل المائي من قبل الميكروبات

الخطة الثانية في تحلل المواد العضوية غير النيتروجينية هي استعمال نواتج التحلل المائي بواسطة الميكروبات سواء تلك التي قامت بعملية التحلل المائي او غيرها ممن ليست لها القدرة على عملية التحلل كمصدر للكربون والطاقة اللازمة انموها .

وتختلف النواتج النهائية لانحلال هذه المركبات حسب نوع الميكروبات سواء كانت هوائية او غير هوائية . ففي الظروف الهوائية فأن النواتج النهائية لتحلل المواد العضوية غير النيتروجينية هي ثاني اوكسيد الكربون والماء .

اما في الظروف اللاهوائية فتتكون مركبات وسطية غير كاملة الاكسدة مثل الاحماض العضوية والكحولات والغازات مثل غاز ثاني اوكسيد الكربون والميثان.

تحلل المركبات العضوية غير النيتروجينية

اولا: تحلل السليلوز Decomposition of Cellulose

السليلوز هو من ابرز مكونات النباتات الراقية ومن المحتمل ان يكون اكثر المركبات العضوية وفرة في الطبيعة .فهو المادة الاساسية في تكوين جدار الخلايا النباتية. وهو عبارة عن مادة كربوهيدراتية تتكون من وحدات من الكلوكوز المرتبطة ببعضها طوليا بروابط من نوع بيتا بين ذرة الكربون الاولى والرابعة من جزي السكر لتكون سلاسل طويلة .

وتتراوح عدد جزيئات السكر في جزئ السليلوز بين 2000 الى 10000 وحدة كلوكوز وقد تصل الى 15000 وحدة ويختلف عدد وحدات الكلوكوز حسب نوع وعمر وجزء النبات.

وتزداد نسبة السليلوز في النباتات الخشبية وتقل في النباتات العصارية. ويبلغ محتوى السليلوز الى 15% من الوزن الجاف للحشائش والبقوليات ويصل الى 50% في النباتات الخشبية. ويبلغ المتوسط حوالي 15- 40% في معظم المحاصيل .

يعد السليلوز من الكربوهيدرات الشديدة المقاومة للتحلل بواسطة الاحياء الدقيقة التي لها القدرة على افراز انزيم السليلوليز الذي يحول السليلوز الى سكر السليلوبيز Cellobiose الذي يتحول الى سكر الكلوكوز بواسطة انزيم Cellobiase .

خطوات تحلل السليلوز هي:-

الخطوة الاولى في تحلل السليلوز هي عملية التحلل المائي Hydrolysis لهذا المركب بواسطة الانزيمات . النظام الانزيمي يتكون في الواقع من عدد من الانزيمات المختلفة والتي يعطى لها اسم Cellulase . تعمل انزيمات السليوليز على تحويل السليلوز غير الذائب الى سكريات بسيطة احادية وثنائية ذائبة في الماء.

الخطوة الثانية التي تلي تحلل السليلوز مائيا تختلف تبعا لنوع الميكروب ، فالأنواع الهوائية تمثل السكريات البسيطة وتنتج CO_2 .

اما الانواع اللاهوائية فتنتج احماض عضوية وكحولات .

أن الميكروب ينتج انزيمات خارج الخلية لجعل مصدر الكربون جاهز للخلية . وتعمل الانزيمات الخارجية على تحليل المركب وتحويله الى سكريات ذائبة تداخل خلال غشاء الخلية وبمجرد دخولها الى الخلية يتم اكسدتها وانتاج الطاقة لفعاليتها .

ويمكن التعبير عن تحلل السليلوز هوائيا بالمعادلة التالية :-

السليلوز ← سليلوبيوز ←كلوكوز ← ماء + CO_2 + مكونات في اجسام الاحياء الدقيقة

تقوم انواع من البكتريا بعضها هوائية والبعض الاخر غير هوائية وبعض انواع من الفطريات والاكتينومايستس بتحليل السليلوز . هذه الاحياء تقوم بأكسدة السليلوز اكسدة كاملة الى ثاني اوكسيد الكربون والماء.

في الظروف اللاهوائية تقوم البكتريا اللاهوائية بتحليل السليلوز مكونة ثاني اوكسيد الكربون وميثان مع احماض عضوية وكحولات واغلب هذه الاحماض والكحولات سامة للنبات .

ان تكوين الاحماض العضوية مثل حامض الخليك في الترب الكلسية يؤدي الى تحطيم كمية من المادة الكلسية وانتاج مزيد من ايونات الكالسيوم والبيكربونات .

ويمكن وصف تحلل السليلوز في الظروف اللاهوائية بالمعادلة التالية:-

$$C_6H_{12}O_6 + 6H_2O \longrightarrow 6CO_2 + 2H^+ + 24e^-$$

سليلوز

ثانيا : تحلل الهيميسليلوز Decomposition of Hemicellulose

يتواجد الهيميسليلوز في الجدران المتخنة من الخلايا في السيقان والجذور والاوراق والبذور.
ويكون الهيميسليلوز و ملاصقا للسليلوز في الجدران الاولية والثانوية لخلايا النباتات الراقية.

يتكون الهيميسليلوز من تجمع السكريات الخماسية C5 sugar –pentose (مثل Glucose
C6 sugar- hexoses (مثل Galactose), Mannose, او السكريات السداسية) مثل او سكريات حامضية تعرف باسم Uronic Acid مثل Glucuronic acid. وهذه توجد بكثرة في انسجة النباتات وفي خلايا الاحياء الدقيقة .

تتحلل المواد الهيميسليوزية مائيا بواسطة الانزيمات التي تفرزها الكثير من انواع الاحياء الدقيقة وناتج التحلل المائي يتكون سكريات خماسية او سداسية او سكريات حامضية . وان معدل تحلل الهيميسليلوز في التربة في الايام الاولى من التحلل اسرع من السليلوز كنتيجة لعدم تجانس تركيبه.

ومن الميكروبات التي لها القدرة على تحلل المواد الهيميسليلوزية هي البكتريا الهوائية والفطريات

ويمكن وصف تحلل الهيميسليلوز هوائيا بالمعادلة التالية:-

$$\text{Hemicellulose} \xrightarrow{\text{Hemicellulase Enzyme}} \text{Sugar} + \text{Uronic acid} + H_2O + CO_2$$

+ مكونات في اجسام الكائنات الحية

Compostتعريف الكمبوست

الكمبوست هي كلمة مشتقة من الانجليزية Composting ، وهو السماد الذي يمكن الحصول عليه من تخمر البقايا النباتية كالتبن والقش واي بقايا نباتية مثل السيقان والجذور والاوراق ، او البقايا الحيوانية مثل مخلفات الابقار والدواجن والخيول وغيرها ولابد من وجود احياء مجهرية لعملية التخمر .

وهو عبارة عن مادة داكنة اللون تشبه التربة سهلة التفكك وهو عبارة عن المنتج النهائي لعملية التحلل الحيوي الطبيعي للمواد العضوية . وهو يحتوي على نسب جيدة من العناصر الغذائية اللازمة لنمو النبات .

كما أن احتوائه على الاحياء الدقيقة واحياء التربة الاخرى يشكل القيمة الاساسية التي يقوم عليها استعماله من اجل بناء قوام التربة غنية وخصبة وصحية وجيدة التهوية

يمكن الحصول على الكمبوست بطريقتين:

- **هوائيـــــة**
- **لا هوائيـــــة**

العوامل التي تؤثر في عملية تكوين الكمبوست

اولا : نوع المادة العضوية

1- المواد سريعة التحلل

هذا النوع من المواد عادة يحتوي على نسبة عالية من النيتروجين والذي ينشط العمل البكتيري ولا يحتوي على الكثير من الكربون.

مثال(النباتات الفتية والتي لا تزال خضراء، روث الحيوانات، نفايات المطبخ)

2-المواد بطيئة التحلل

هذه المواد تحتوي على كمية كبيرة من الكربون (السليلوز - اللجنين) وهذه المواد تشكل التركيب الفيزيائي للكومة.

مثال: (أغصان وسيقان جافة، قش، ورق، خشب، أوراق الأشجار الجافة)

ثانيا : الهـــــواء

*التحلل الهوائي للكومة يستهلك كميات كبيرة من الـ O2 لذلك يجب وصول الـ O2 الى كل أجزاء كومة الكمبوست في كل الأوقات.

*التهوية تزيل أو تخفف من الحرارة وبخـار الماء والغازات الأخرى في داخل كومة الكمبوست حيث يتحدد عدد مرات التهوية بارتفاع حرارة الكومة لأنه غالبا ما ترتفع الحرارة قبل نفاذ الـ O2

ثالثا : الرطوبـــــة

تعتبر الرطوبة مهمة للبكتيريا كي تعمل حيث أن الماء:

- يوفر الوسط المناسب للتفاعلات الكيماوية.
- يعتبر الماء وسط لانتقال الأغذية.
- الماء يسمح للميكروبات أن تتحرك حول المغذيات.

تتراوح نسبة الرطوبة المثلى في الدبال ما بين ٤٠-٦٥ %

رابعا : درجـــة الحـرارة

تعيش الميكروبات المختلفة في درجات حرارة مختلفة.

- يطلق تحلل الميكروبات كميات كبيرة من الطاقة على شكل حرارة.
- النشاط الميكروبي يعمل على تراكم الحرارة حتى تصل الى درجات عالية كافية لمنع معظم الكائنات الدقيقة من الافلات (الانتحار الميكروبي).

درجة الحرارة المثلى تتراوح ما بين ٤٥-٥٠ درجة مئوية

: حجم كومة السماد ضروري حيث أنه يؤثر في

- التهوية
- احتفاظ الكومة بالرطوبة
- حرارة الكومة

المراحل التي تمر بها كومة الكمبوست لتتم عملية التخمر هي:-

اولا : مرحلة التسخين

وهي المرحلـة الأولى في عمليــة صناعــة الدبال وتعـــرف بمرحلة التخمر أو التحلل حيث أن البكتيريا تكون نشطة جدا وتستطيع تحليل المواد العضــوية سريعـــة التحلل وفي هذه المرحلة تصدر الرائحة الكريهة .

- معظــم العملية تحدث في منتصف الكومـة.

-في العادة التخمر يحدث بعد عدة أيام ويستمر من ١- ٢ أسبوع.

ثانيا : مرحلة التبريد

- **في هـذه المرحلة يقل التحلل وتنخفض درجــة الحـــرارة (٣٠– ٥٠ْم).**
- **نوعيات مختلفة من البكتيريا تقوم بتحويل المواد العضوية إلى مواد محللة.**
- **إذا بردت مواد الخليط بما فيه الكفاية يمكن أن تنشط بعض (الديدان، النمل الأبيض وحشرات أخرى) وهذه تساعد على تكسير المواد وتحللها.**
- **هذه المرحلة تأخذ عدة شهور وإذا لم تكن الظروف مواتيه فقد تأخذ سنة كاملة تحتاج إلى (٨- ١٠ أسابيع**

ثالثا : مرحلة النضج

- فيها يتم تحلل المادة وانخفضت درجة الحرارة إلى درجـــة حرارة التربة بشكل عام وهنا لم تنتهي فعلا مرحلة النضوج حيث أنها تستمر إلى ما لا نهاية إلى أن يصبح الكمبوست (السماد) رطب أكثر فأكثر، ويكون جاهز للاستعمال .
- يكون شكله مفتت وله لون بني معتم أو لون أسود.

يعتمد نضج السماد على كيفية استخدامه النهائي

- إذا كان سيستخدم في أرض زراعيــة فإنه لا يحتــاج لأن يكون مستقر.
- إذا أردنا استخدامه في عملية التبذير (إنتاج اشتال (قد تحتاج هذه المرحلة إلى ٤ أسابيع.

يمكن تقصير مدة عمل الكمبوست إلى الحد الأدنى بتوفير محتوى رطوبة مناسب وتهوية ونسبة N:C مناسبة.

فوائد الكمبوست

١. التخفيف من كمية النفايات ووزنها.

٢. المحافظة على المخلفات العضوية.

٣. تعقيم النفايات (المخلفات)

٤. إنتاج مادة يسهل التعامل معها.

٥. تغيير شكل المخلفات إلى مادة مناسبة للاستعمال الزراعي.

٦. الكمبوست مادة مثالية لتحسين التربة.

٧. يعمل الكمبوست على مكافحة (مقاومة)الأمراض.

الكمبوست كمحسن للتربة

- يعمل الكمبوست على تحسين خصائص و صفات التربة:

أ) الكيميائية.

ب) البيولوجية

ج) الفيزيائية

الاستفادة الكيميائية من اضافة الكمبوست للتربة

١. يزيد من قدرة التربة على الاحتفاظ بالمواد الغذائية

٢. يحافظ على المواد الغذائية ويحميها من التسرب ويطلقها بالتدريج إلى النبات

٣.الكمبوست يحتوي على بعض الأغذية مثل العناصر الغذائية والتي لا توجد في المخصبات.

٤. يعد الكمبوست غنى بالمغذيات حسب نوع النفايات المستخدمة لعمل الكمبوست

الاستفادة البيولوجية من اضافة الكمبوست للتربة

١. يزداد نشاط البكتيريا والحشرات والديدان في التربة ويتحسن بإضافة السماد

٢. النشاط البيولوجي للتربة يساعد في تكوين وإطلاق المواد الغذائية الهامة للنبات والتي لا تكون جاهزة التحلل مثل الفسفور.

٣. نشاط الديدان يحسن التهوية للتربة

٤. يعمل على تشجيع الميكوريزا

لاستفادة الفيزيائية من اضافة الكمبوست للتربة

١. تحسين تركيب التربة
٢. تحسين مقدرة التربة على الاحتفاظ بالماء وتجميع التربة الرملية
٣. تهوية وتصريف المياه في التربة الطينية
٤. تقل قابلية التربة لعوامل التعرية (المياه والرياح) مع زيادة محتوى المادة العضوية.
٥. النباتات التي تنمو في تربة تركيبها جيد فإن تطور نظام جذورها يكون واضح وممتاز، حيث أنه كلما كانت الجذور أفضل كلما كانت مقدرة النبات على سحب الماء والغذاء من التربة وبالتالي تحسن نموها بشكل عام ومقدرتها على البقاء في حالة الجفاف.

سلبيات الكمبوست

١. احتمال فقدان النيتروجين.
٢. الفقدان البطيء للمواد الغذائية
٣. بحاجة إلى وقت وجهد
٤. تتطلب فصل النفايات المختلفة وجمعها
٥. بحاجة إلى مساحة معينة
٦. تطلق بعض الروائح والقوارض

المواد الواجب تجنبها في عمل الكمبوست-:

١. الفحم.

٢. الأوراق الملونة مثل المجلات.

٣. النباتات المصابة بمرض.

٤. الشحوم والدهون.

٥. رواسب طينية مثل الوحل.

٦. مواد كيميائية سامة

المواد الخام التي يمكن استعمالها في عمل الكمبوست

١. روث الحيوانات
٢. مخلفات الدواجن تحتوي على كمية عالية من لنيتروجين ونسبة متوسطة من الرطوبة.
٣. بقايا المحصول
٤. الحشيش المجفف والتبن الجاف
٥. المواد الخشبية والأفرع
٦. أوراق الأشجار الجافة
٧. النشارة ورقائق الخشب يجب أن تضاف النشارة إلى الكومة بكميات قليلة لأنها لو وضعت بكثرة فإنها تتحلل ببطء

٨. نفايات المطبخ (نسبة الكربون والنيتروجين والرطوبة معتدلة) حسب طبيعة النفايات.
٩. ريش الدجاج يتحلل بسرعة في كومة الكمبوست ولكن يجب أن تحفظ رطبه كي تتحلل.
١٠. الطحالب والنباتات المائية تتحلل جيدا ويشجع نشاط البكتيريا ولكن احتواء الطحالب على الملح (الصوديوم) يشكل مشكلة إذا استعمل بكميات كبيرة.
١١. رماد الخشب جيد كمادة سماد كمبوست .
١٢. اليوريا (البول) يحتوي على نسبة نيتروجين عالية جدا وقد تضاف في حالة المواد عالية الكربون مثل الأوراق و عادة تستنفذ في الجو على شكل أمونيا أو نشادر.

خطوات عمل الكمبوست

1. فكك التربة التي تقع تحت منطقة الكومة الى عمق 30 سم بآلة مناسبة.
2. ضع مواد خشنة (اغصان مقطعة، سيقان ذرة ، او غيرها من المواد بسمك(7-10 سم) وذلك لخلق مسار هوائي.
3. ضع طبقة بسمك 5 سم من النباتات الجافة (أعشاب جافة ، اوراق نباتات ، قش، ومخلفات قديمة من الحديقة) وشبعها بالماء جيدا.
4. ضع طبقة بسمك 10 سم من النباتات الخضراء وفضلات المطبخ، اعشاب خضراء، مخلفات او تقليم السياج النباتي ثم شبع بالماء.
5. يمكن إضافة طبقة من السماد البلدي(أبقار،دجاج ، أرانب...) لاحتوائه على كمية عالية من النيتروجين في نصف الكومة اذا أردنا الإسراع في نضج الكومة.
6. ضع طبقة من التراب سمكها(0.5-1.5 سم)وذلك لمنع انتشار الذباب والروائح الكريهة ومن ثم رطب التراب بالماء.

7. يمكن إضافة طبقات جديدة من النباتات الجافة والخضراء وفضلات المطبخ بالترتيب كلما توفرت هذه المواد إلى أن يبلغ ارتفاع الكومة من (90-120) سم.
8. غطي قمة الكومة بطبقة من التراب سمكها (2.5-1.5) سم
9. بعد 5-7 أيام نقلب الكومة للتهوية والإسراع في عملية التحلل.
10. رش الكومة بالماء عند الضرورة للمحافظة على نسبة رطوبة معقولة خاصة عند التقليب (كل أسبوع).
11. تختلف الفترة اللازمة للإنضاج حسب الظروف المناخية السائدة(صيف، شتاء) وتمتد هذه الفترة عادة مابين (8-20) أسبوع

خطوات عمل الكمبوست في حفر أو خنادق

1- الخنادق

تهدف هذه الطريقة لتحويل المادة العضوية إلى كمبوست في نفس المكان المنوي الزراعة فيه حيث يتم حفر خندق بطول معين وبعمق 30 سم وعرض 40 سم ثم توضع المادة العضوية بعد إعدادها في الخندق.

2 - الحفر

تختلف عن الخنادق بأنها تنفذ في مكان غير منوي الزراعة فيه ، أبعاد الحفرة (الطول 3م *العرض1.5-2م *العمق من 60-90سم.

نضج (الكمبوست)

- يمكننا الحكم على نضج الكمبوست من خلال:

١. عدم تمييز مكوناته الأصلية ونقص حجم الكومة إلى اقل من النصف.

٢. أن يكون ذا قوام متحلل وليس متكتلا وناعم التركيب والملمس.

٣. تركيبه حبيبي وله رائحة التربة.

٤. لونه رمادي إلى بني غامق.

استعمالات وتطبيقات الكمبوست

- يضاف الكمبوست الناضج الى التربة قبل شهر من الزراعة في موسم الربيع حيث يضاف مباشرة إلى الأرض المحروثة على عمق 10 -15 سم.
- يمكن إضافة الكمبوست الغير ناضج في فصل الخريف لحين اكتمال نضجه في الشتاء ويستفيد منه النبات في الربيع.
- يمكن إضافته في الحدائق تحت الأشجار أو في خنادق للخضروات، وفي الحمامات الزراعية قبل الزراعة.
- يضاف بمعدل (5-7 م3) للدونم وتختلف الكمية حسب التربة.

Sulfur Compounds المركبات الكبريتية

Content and Origin المحتوى والاصل

يختلف محتوى الكبريت الكلي في الترب بصورة كبيرة. حيث يتراوح بين ٢٠ الى ٣٥٠٠٠ ملغم/ كغم تربة. يتراوح تركيزه في الترب المعدنية بين ٢٠ الى ٢٠٠٠ ملغم/ كغم. وفي ترب المناطق الرطبة وشبه الرطبة بين ١٠٠ الى ٥٠٠ ملغم/كغم. وفي الترب العضوية بين ١٠٠٠ الى ٥٠٠٠ ملغم/كغم. والمعروف ان ترب الغابات والترب الجبسية في المناطق الجافة وشبه الجافة تحوي كميات عالية من الكبريت.

كلا من الكبريت المعدني والكبريت العضوي موجودان في الترب. أن حوالي ٩٠% من الكبريت الكلي يوجد بهيئة كبريت عضوي في الطبقات السطحية من الترب العضوية في المناطق الرطبة. يستثنى من ذلك الترب الملحية والجبسية والتي يكون فيها الكبريت المعدني هو السائد.

مصدر الكبريت العضوي في التربة

أن مصدر الكبريت العضوي في الترب يمكن ان يعزى الى احياء التربة المجهرية وتشمل هذه المركبات ما يلي: -

s-amino acids, Cysteine, Methionine, Coenzymes, Vitamins such as coenzyme A, Biotin, Thiamine, Lipoid acid, Iron-Sulfur proteins, Thioredoxins, Sulfolipids, others compounds

هنالك العديد من العمليات الحيوية والكيميائية المسؤولة عن تحولات الكبريت في الترب. ان لأحياء التربة دور كبير في تحولات صور الكبريت في الترب.

التحولات الحيوية للمركبات الكبريتية
Biological Transformation of Sulfur Compounds

يمر الكبريت مثل النيتروجين والكربون خلال دورة من التحولات تحدث بواسطة الاحياء المجهرية التي من خلالها تختزل وتؤكسد مختلف المركبات الكبريتية. أن التحول الحيوي للكبريت يكون مشابها في بعض جوانبه للانتقال البيولوجي للنيتروجين وفق الاتي:-

١. ان مكانة H_2S تشبه مكانة NH_3 في دورة النيتروجين

٢. أن أكسدة H_2S تشبه عملية النترجة في دورة النيتروجين

٣. اختزال الكبريات SO_4^{2-} يشبه اختزال النترات في دورة النيتروجين

٤. أكثر النباتات تمتص النيتروجين بصورة نترات NO_3^- كذلك النباتات تمتص الكبريت بصورة كبريتات SO_4^{2-}

أوجه الاختلاف بين دورة النيتروجين ودورة الكبريت في التربة

١. أن عملية النترجة في دورة النتروجين تؤدي الى تكوين النتريت NO_2^- قبل تكوين النترات، في حين نجد في دورة الكبريت ان H_2S يتأكسد مباشرة الى الكبريتات SO_4^{2-} دون المرور بمركب وسطي.

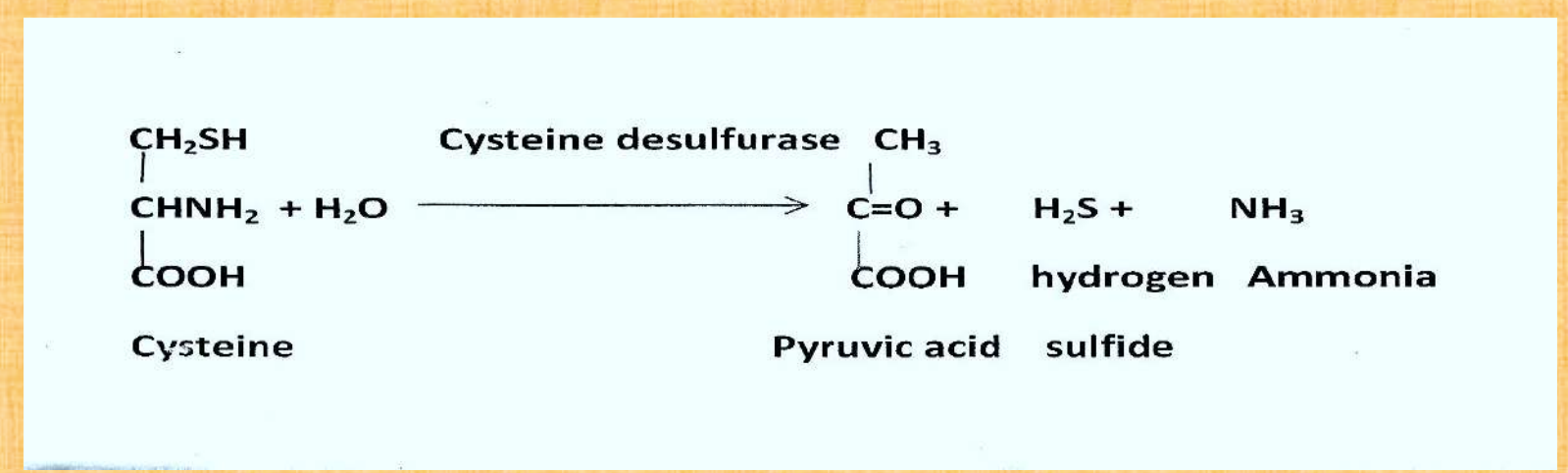
٢. هنالك اختلاف في نوع الاحياء المجهرية التي تؤكسد كل من الامونيا والكبريتيد H_2S. أذ ان الاحياء المجهرية التي تؤكسد الامونيوم هي من نوع ذاتية التغذية. أما الاحياء التي تقوم بأكسدة الكبريت اللاعضوي فقد تكون من نوع ذاتية التغذية او غير ذاتية التغذية.

التغيرات الكيميائية الحيوية التي يحتمل ان تحصل للمركبات الكبريتية بواسطة الكائنات الدقيقة هي:-

١. أن الكبريت بشكله العنصري او المعدني ((S لا يمكن ان تمثله النباتات او الحيوانات. فهناك بكتريا خاصة لها القدرة على اكسدة الكبريت المعدني الى كبريتات SO_4^{2-} فالنوع البكتيري الخاص بهذا التفاعل هو :Thiobacillus-

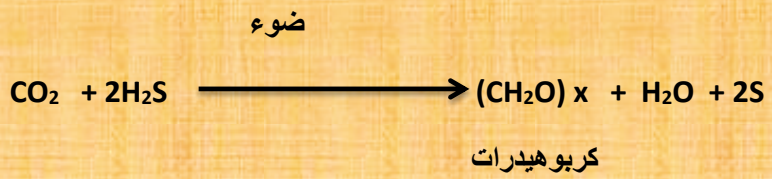
$$2S + 2H_2O + 3O_2 \xrightarrow{\text{Thiobacillus}} H_2SO_4$$

٢. أن الكبريتات SO_4^{2-} تمثل من النباتات وتدخل في تركيب البروتينات. كما ان تحلل البروتينات Proteolysis يحرر الاحماض الامينية بواسطة النشاط الانزيمي للعديد من البكتريا غير ذاتية التغذية Heterotrophic bacteria وتحلل بعض الاحماض الامينية الكبريتية كالسيستين Cysteine وينتج عنه كبريتيد الهيدروجين وكما يأتي: -



٣. أن الكبريتات أما ان تختزل ثانية الى كبريتيد الهيدروجين H_2S بواسطة الكائنات الحية كما في التفاعل الاتي الذي يحدث بفعل الجنس البكتيري Desulfovibrio

٤. أن كبريتيد الهيدروجين الناتج من اختزال الكبريتات وتحلل الاحماض الامينية يتأكسد الى الكبريت العنصري(S) أذ يوصف هذا التفاعل بأنه تمثيل ضوئي لبكتريا الكبريت كما موضح في المعادلة التالية :-



تعريف التخمر

التخمر هو عملية التحول الميكروبي للمخلفات العضوية القابلة للتحلل الاحيائي الى مواد أكثر ثباتا بواسطة الاحياء المجهرية الموجودة اصلا في المخلفات (وتشمل البكتريا والفطريات الشعاعية).

كما يمكن تعريف التخمر بأنها عملية اكسدة المواد العضوية بواسطة الاحياء المجهرية في ظروف مسيطر عليها ينتج عنها تغير فيزيائي وكيميائي وحيوي في المادة العضوية مع الوقت.

أنواع التخمر

يوجد نوعان من التخمر

١. تخمر لا هوائي او ما يسمى بالتخمر المضغوط او التخمر البارد. حيث يتم التخمر تحت رطوبة عالية تنتج عنه مادة عضوية ذات تحلل جزئي.

٢. تخمر هوائي او ما يسمى بالتخمر غير المضغوط او التخمر الحار حيث يتم التخمير عند رطوبة لا تتجاوز ٥٠-٦٠% على اساس الوزن الرطب للمخلفات.

الهدف من عملية التخمير للأسمدة الحيوانية والنباتية

١. تحويل مركبات النيتروجين والفوسفات والكبريات وغيرها من العناصر ذات الصور العضوية الى صور جاهزة للنبات من خلال تقليل نسبة C/N و C/P و C/S

٢. تقليل فقد النيتروجين والفسفور والكبريت والعناصر الاخرى من السماد

٣. تحسين الخواص الفيزيائية للسماد مما يسهل توزيعه في التربة

٤. تقليل الضرر الناتج من فعل الامونيا المتطايرة عند تحلل السماد الحيواني الطري

٥. زيادة مسامية التربة وقابليتها على مسك الماء

أن اكتمال عملية التخمر والحصول على سماد جيد الخواص يحتاج الى فترة لا تقل عن ثمانية اسابيع (شهرين) من التخمر. يحصل خلالها تحكم في اعداد ونشاط الاحياء المجهرية من قبل عوامل موجودة في السماد مثل نسبة C/N والتهوية والرطوبة و pHالسماد ودرجة حرارة التخمر

التغيرات التي تحصل للسماد الحيواني اثناء التخمر

تهاجم الاحياء الدقيقة الاسمدة العضوية او المخلفات الحيوانية التي تعمل على تحللها. وتبدأ عملية التحلل اولا بالمركبات غير النيتروجينية السريعة التحلل مثل السكريات والسليلوز والنشأ والذي يوجد في المخلفات الحيوانية بنسب مختلفة. بينما تكون المركبات النيتروجينية أكثر تعقيدا واكثر مقاومة للتحلل. وان ثلث النيتروجين فقط يكون سهل الحلل والتحرر والنيتروجين المتبقي يبقى بدون تغيير لفترة طويلة في التربة.

مراحل تخمر الأسمدة الحيوانية

يمر السماد الحيواني اثناء عملية التخمر بأربعة مراحل هي: -

١. السماد الطري Fresh

٢. النصف المتحلل Half decomposed

٣. شبه المتحلل Rotted

٤. المتحلل Fermented

التغيرات في الشكل الخارجي للسماد الحيواني

١. المرحلة الاولى (السماد الطري Fresh) يحتفظ فيه السماد بلونه الاصفر مثل التبن وبحالته الطبيعية والمستخلص المائي لهذا السماد يكون اخضر او اصفر محمر وتكون نسبة C/Nاعلى من ٢٥ وينخفض وزن السماد بمقدار ٢٠-٣٠%

٢. المرحلة الثانية والثالثة: يتميز السماد بلونه البني الداكن ويفقد السماد حالته الطبيعية ومستخلصه المائي يكون داكن وكثيف ونسبة C/Nتكون بحدود ٢٥

٣. المرحلة الرابعة (السماد المخمر Fermented) يتميز بلونه الاسود ومستخلصه المائي يكون عديم اللون ويقل وزنه بهذه المرحلة من التحلل بحوالي ٥٠% من وزن السماد الطري. ونسبة C/N تكون ٢٠ او اقل وانخفاض محتواه من العناصر الغذائية بسبب انخفاض كمية المادة الجافة (٦-٥٤%) والنيتروجين (٦-٤٩%) والفسفور (11.8-0.86%) والبوتاسيوم (٠-٤٦,٤٨%) .

أفضل الطرق للحفاظ على الاسمدة الحيوانية وتقليل فقد العناصر الغذائية

1. يجب ان يحفظ السماد في مكان غير حار ومحمي من الشمس والرياح وذلك لتقليل فقد النيتروجين وعدم خلق ظروف مشجعة لتحلل مركب كربونات الامونيوم.

2. الخزن مع اضافة بعض الحوامض المركزة مثل حامض الكبريتيك وحامض الفسفوريك وحامض الهيدروكلوريك وذلك لمنع المركبات النيتروجينية العضوية وعرقلة عملية النترجة وكذلا
-

$$(NH_4)_2CO_3 + H_2SO_4 \longrightarrow (NH_4)_2SO_4 + H_2O + CO_2 \quad (1)$$

مركب قلق وسريع التحلل

وقد يفضل البعض اضافة بعض الاملاح الحامضية التفاعل مثل الجبس $CaSO_4$ وكذلك كلوريد الكالسيوم ونترات الكالسيوم التي تعمل ايضا على عرقلة عملية تحلل مركب كربونات الامونيوم وفقا لما تصفه المعادلة التالية:

$$CaSO_4 + (NH_4)_2CO_3 \longleftrightarrow CaCO_3 + (NH_4)_2SO_4 \quad (2)$$

كما يفضل استعمال سماد السوبر فوسفات العادي وذلك لارتفاع محتواه من الجبس ولهذا فأنه يعمل على عرقلة تحلل مركب كربونات الامونيوم وفقا للمعادلة ادناه: -

$$\underline{2CaSO_4 + Ca(H_2PO_4)_2} + 2\,(NH_4)_2CO_3 \longrightarrow Ca_3(PO_4)_2 + 2(NH_4)_2SO_4 + 2H_2O + 2CO_2 \quad (3)$$

Ordinary super phosphate

مواصفات الأسمدة العضوية الجيدة

١. يخضع السماد الجيد لشروط ومواصفات معينة تجعله صالحاً للاستعمال وذا كفاءة عالية، ومن هذه الشروط والمواصفات ما يلي:

٢. أن يكون السماد معالجاً حرارياً ومتحللاً بشكل كامل، وعديم أو قليل الرائحة، ذا لون أسود أو بنياً غامقاً خالياً من الكتل.

٣. أن يكون خالياً من المسببات المرضية أو الحشرات وبذور الأدغال (الحشائش).

٤. أن يكون السماد غنياً بالمادة العضوية.

٥. ألا تتجاوز ملوحة السماد ١٠ ديسي سيمنز م$^{-1}$ (وحدة قياس الملوحة) كمستخلص.(5:1)

٦. ألا تزيد قيمة الـ pH على ٧,٥ لمستخلص.(5:1)

٧. ألا تزيد نسبة الكربون إلى النيتروجين (C/N ratio) على ٢٠.

٨. ألا تزيد نسبة كلوريد الصوديوم (NaCl) على ٢%

جدول ١ : مواصفات السماد المخمر الناضج (الكمبوست الجيد)

ت	الصفة	الوصف والحدود المثلى
١	اللون	ان يتصف باللون البني الداكن او الغامق
٢	القوام	ان يكون قوامه اسفنجي
٣	الرائحة	الرائحة مقبولة كرائحة التراب المرشوش بالماء
٤	الوزن	وزن المتر المكعب لا يزيد عن ٧٠٠ كغم / م٣
٥	درجة الحرارة	تكون اعلى من درجة حرارة الجو الاعتيادي بـ ٥-١٠ درجة مئوي
٦	نسبة الرطوبة	٣٠١%ن لا يزيد المحتوى الرطوبي عن
٧	درجة الـ pH	ان لا تزيد قيمة الـ pH عن ٨
٨	الاوكسجين	ان لا يقل عن ٥%
٩	ثاني أوكسيد الكربون	يكون ما بين ١-٢%
١٠	النيتروجين الكلي	ان لا يقل عن ١%
١١	الامونيوم	ما بين ٥٠-١٠٠ ملغم /كغم
١٢	النترات	ما بين ٢٠٠- ٣٠٠ ملغم/ كغم
١٣	النتريت	لا يوجد
١٤	الفسفور الكلي	ان لا يقل عن ٠,٨ %
١٥	البوتاسيوم الكلي	ان لا يقل عن ١%
١٦	الرماد	ان يكون بين ٧٠- ٨٠%
١٧	المادة العضوية	ان لا تقل عن ٣٠%
١٨	الدبال	يكون بين ٢٥-٣٠%
١٩	كبريتيد الهيدروجين	لا يوجد
٢٠	نسبة الكربون الى النيتروجين (C:N)	15 :1 (كربون : نيتروجين)

الأخطاء التي تواجه او تظهر فجأة عند تصنيع السماد العضوي ومعرفة الأسباب والعمل على تلافيها وإيجاد الحلول لها وكما يلي:

المشكلة	سبب المشكلة	الحل او العلاج
كومة السماد جافة جدا	الماء غير كاف	إضافة ماء الى السماد مع التقليب
الحرارة عالية جدا في كومة السماد	الرطوبة منخفضة جدا	إضافة ماء الى السماد مع التقليب
	حجم الكومة كبير جدا	تقليل حجم الكومة
درجة الحرارة منخفضة جدا في كومة السماد	التهوية غير كافية	زيادة عدد مرات تقليب الكومة
	الرطوبة عالية داخل الكومة	إضافة مادة جافة لكومة السماد
	انخفاض الـ pH	إضافة جير او رماد خشب
ظهور رائحة الامونيا	النيتروجين عالي وان قيمة C:N اقل من ١:٢٠	إضافة مواد غنية بالكربون مثل القش ونشارة الخشب
	ارتفاع الـ pH	إضافة مواد تخفض من قيمة الـ pH كأوراق النباتات او أي مادة ذات تأثير حامضي
ظهور رائحة ثاني أوكسيد الكربون	كومة السماد مبتلة وحرارتها منخفضة	إضافة مخلفات عضوية جافة

خزن الاسمدة العضوية Storing of Organic Fertilizers

يخزن السماد العضوي لحين استعماله بكبسه وتقليل حجمه مع حمايته من اشعة الشمس والرياح وتغطيته بالقماش او أي غطاء نفاذ مع مداومة ترطيبه من الخارج بالماء او تعبئته بأكياس بعد نخله وطحنه ليكون جاهز للاستعمال في الحقل او للتسويق.

تغطية الكمبوست اثناء التخزين

تعبئة الكمبوست بأكياس لتخزينه

كيفية تحديد كمية السماد العضوي المضاف للتربة

إن كميات الأسمدة المضافة ترتبط بالعديد من العوامل والتي أهمها:

١.خصائص الترب الفيزيائية والكيميائية (الأصل أو المحضرة)

٢. عوامل البيئة المحلية الموقعية

٣. الأهداف الخاصة بإحياء المنطقة والمحددة لتكوين الأنواع النباتية للأصناف المراد اعتماد زراعتها

ولمعرفة كمية السماد العضوي المخمر(الكمبوست) المراد إضافتها للحقل لابد من تحديد الآتي

اولآ: تحديد نوع المحصول المراد زراعته في الحقل حيث أن لكل محصول احتياجاته من العناصر الغذائية.

ثانيآ: ضرورة أخذ عينات من التربة ومن أماكن مختلفة من الحقل المراد زراعته وتحليلها مختبريا من العناصر الغذائية.

ثالثآ: يجب أخذ عينات من السماد المخمر(الكمبوست) ومن أماكن مختلفة من الكومة وذلك بعد خلطها جيدا بحيث تكون متجانســة وبعدها تتم إجراءات التحاليل المختبرية لتلك العينات لمعرفة محتوياتهـــا من العناصر الغذائية. وعلى ضوء نتائج التحاليل تتحدد الاحتياجات من الكميات السمادية المراد إضافتها للحقل الزراعي المطلوب.

طرق اضافة الاسمدة العضوية Methods of Organic Fertilizers Application

تضاف الأسمدة العضوية الى الأراضي الزراعية بعدة طرق والذي يحدد طريقة إضافة السماد العضوي هو طريقة الزراعة ونوع النبات وخصائص السماد العضوي وغيرها من العوامل، في حالة الزراعة الكثيفة ينثر السماد يدويا او بواسطة الآلات زراعية تنثر السماد على الأرض ولا يترك السماد معرضا للشمس وانما يقلب مباشرة مع التربة او الطبقة السطحية للتربة من خلال عملية التجهيز والحرث. في حالة زراعة النباتات بشكل جور لا يفضل وضع السماد في الجورة حيث تسبب هذه الطريقة في موت الشتلات وانما يخلط السماد مع تربة الجورة ثم تعاد التربة مع السماد الى الجورة فتساعد هذه الطريقة على انتشار المجموع الجذري. في حالة زراعة الخضر بشكل خطوط لا يفضل إضافة السماد في خنادق لان تلك الطرقة تسبب مشاكل للنبات وانما ينثر على الطبقة السطحية للتربة ويخلط معها على طول الخط

إضافة السماد العضوي بشكل خطوط خلطا مع الطبقة السطحية للتربة

إضافة الأسمدة العضوية للتربة قبل الزراعة

ثالثا : تحلل النشأ Decomposition of Starch

يعد النشأ من اكثر المواد الكربوهيدراتية المخزونة في النبات’ ويختلف النشأ في صفاته الفيزيائية باختلاف النبات وجزء النبات وعمره . اما من الناحية الكيميائية فيكون متشابه.

يوجد النشأ بكميات كبيرة في الاوراق التي تقوم بعملية التمثيل الضوئي ويوجد ايضا في انسجة الخشب واللحاء والقشرة وسيقان النبات . كما يوجد النشأ ايضا في الدرنات والبصلات والرايزومات الارضية والثمار والبذور.

يوجد نوعين من النشأ النباتي:-

النوع الاول : الاميلوز Amylose

النوع الثاني: الاميلوبكتين Amylopectin

الاميلوز هو عبارة عن وحدات بنائية مستقيمة من عدة مئات من سكر الكلوكوز Glucose والتي ترتبط مع بعضها بروابط من نوع الفا .

اما الاميلوبكتين يتكون ايضا من وحدات من الكلوكوز ولكن بتفرع السلاسل الجانبية ونوع الاصرة ايضا من نوع الفا.

تحتوي معظم النباتات على 70-80% نشأ من نوع amylopectin و 20-30% من نوع amylose .

عند تعرض النشأ لنشاط الاحياء المجهرية في التربة فأنه يتحلل بسرعة اكبر من سرعة تحلل السليلوز والهيميسليلوز والانواع الاخرى من السكريات المتعددة.

يبين الجدول ادناه اكثر الاجناس للأحياء المجهرية القادرة على تحلل النشأ وتشمل (البكتريا والفطريات الشعاعية والفطريات) حيث يعد النشأ مصدرا كربونيا مناسبا لمعظم الفطريات الشعاعية كذلك يمكن للكثير من الفطريات التي تفرز الانزيمات المناسبة لتحليل النشأ مائيا. في حين نادرا ما تهاجم الخمائر هذا السكر المتعدد.

Bacteria البكتريا	Actinomycetsالفطريات الشعاعية	Fungi الفطريات
Bacillus	Micromonospora	Aspergillus
Clostridium	Nocardioa	Fusarium
Micrococcus	Streptomyces	Fomes
Pseudomonas		Polyporus
Flavobacterium		Rhizopus

ان الانزيمات التي تحلل النشأ مائيا هي عبارة عن انزيمات تنتج خارج الخلية الميكروبية.

وتوجد ثلاثة انواع من الانزيمات المتخصصة في تحليل النشأ هي :-

1: الفا – اميليز α-amylase

2: بيتا – اميليز β - amylase

3. كلوكو- اميليز Glucoamylase

هذه الانزيمات تعمل على مركبات النشأ(الاميلوز والاميلوبكتين) عن طريق تكسير الروابط بين سلاسل وحدات السكر والناتج عنه يكون وحدات من سكر المالتوز ونواتج مركبات وسطية اخرى.

يتحلل النشأ تحت الظروف الهوائية واللاهوائية وتختلف نواتج التحلل مع اختلاف طبيعة التربة والظروف البيئية الاخرى.

اولا: في الظروف الهوائية يتحلل النشأ وفق المعادلة التالية :-

انزيم الاميليز Amylase انزيم المالتيز Maltase

نشأ + ماء ← مالتوز + ماء ← كلكوز ←

ماء + ثاني اوكسيد الكربون + مكونات في اجسام الكائنات الحية

ثانياً: في الظروف اللاهوائية (غياب الاوكسجين)

تحصل حالة من التخمر Fermentation يصاحب ذلك انتاج كميات كبيرة من احماض اللاكتيك والخليك والبيوتريك وتستمر عملية التحلل الى درجة كبيرة مع احتمال انتاج غاز الميثان.

رابعا: تحلل البكتين Decomposition of Pectin

يوجد البكتين بكثرة في النباتات وهي المادة التي تعمل على تماسك الخلايا النباتية مع بعضها البعض. ويوجد البكتين في صورة بكتات الكالسيوم والمغنسيوم في الصفيحة الوسطى الموجودة بين الخلايا النباتية.

يتحلل البكتين مائيا بسهولة بواسطة عدد من الميكروبات الى سكريات بسيطة مثل الكلوكوز والرابينوز و Galacturonic acid . ويعد انحلال البكتين من العمليات الهامة في تحلل المادة العضوية في التربة.

ويمكن وصف تحلل البكتين بالمعادلة التالية:-

Protopectin ⟶ Methanol + Pectic Acid (في الظروف اللاهوائية)

مواد غير ذائبة في الماء

واحد مكونات جدار الخلية

Protopectin ⟶ Galacturonic acid + CO_2 + H_2O +microbial components

(في الظروف الهوائية) مواد غير ذائبة في الماء

واحد مكونات جدار الخلية

خامسا : تحلل الكيتين Decomposition of Chitin

يعد الكيتين من السكريات المتعددة الاكثر شيوعا والذي يحتوي في تركيبه على وحدات من السكريات الامينية Amino sugar .وهو مكون بنائي يعطي القوة الميكانيكية للأحياء الداخل في تركيبها .ومصدر الكيتين في التربة هو بقايا الحشرات وانسجة الفطريات التي يشكل الكيتين جزءا كبيرا من تركيبها.

ومن صفاته هي:-

1. عديم الذوبان في الماء والمذيبات العضوية والقلوية المركزة او الاحماض المعدنية المخففة.
2. يذوب ويتحلل بفعل الانزيمات
3. يذوب في الحوامض المركزة

يتحلل الكيتين بواسطة احياء التربة هوائيا وفق المعادلة التالية:-

انزيم الكيتينيز

الكيتين ⟵ سكريات امينية ⟵ امونيوم $NH_4^+ + CO_2 + H_2O$ +

مكونات في اجسام الكائنات الحية

سادسا : تحلل اللكنين Decomposition of Lignin

يعد اللكنين ثالث المكونات النباتية من حيث الوفرة .حيث تلي كميته بعد السليلوز والهيميسليلوز في الانسجة النباتية. يختلف محتوى الانسجة النباتية من اللكنين مع اختلاف مراحل عمر النسيج .ويوجد اللكنين بكثرة في النباتات الخشبية ويقل في النباتات العصارية حيث يتراوح تركيزه في الاشجار الخشبية بين 15-35% من الوزن الجاف والنباتات البقولية والحشائش بين 3-6% من الوزن الجاف.

ومن الصفات المهمة لمركب Lignin هي:-

1. عديم الذوبان في الماء الساخن والمذيبات العضوية
2. يذوب في القلويات
3. غني بالكربون وفقير بالأوكسجين مقارنة مع السليلوز والهيميسليلوز
4. شديد المقاومة للتحلل بفعل الانزيمات

يتحلل اللكنين بفعل الفطريات والاكتينومايستس في وجود وغياب الاوكسجين وبوجود مجموعة من الانزيمات هي Peroxidase, Laccase ونواتج التحلل هي مجاميع الكربوكسيل COOH والهيدروكسيل OH والالدهايد CHO .

تقسم المواد العضوية النيتروجينية الى قسمين:-

اولا: مواد عضوية نيتروجينية بروتينية

ثانيا: مواد عضوية نيتروجينية غير بروتينية

اولآ: تحلل المركبات العضوية النيتروجينية البروتينية

تتحلل المواد العضوية النيتروجينية البروتينية بواسطة احياء التربة المجهرية المتباينة التغذية Heterotrophic والتي تستعمل المركبات العضوية النيتروجينية البروتينية كمصدر للطاقة وبناء أجسامها.

تقوم الاحياء المجهرية بأفراز انزيمات خارج الخلية لتحليل البروتين. حيث يتم تكسير جزيئة البروتين الكبيرة الى وحدات أبسط والناتج النهائي لتحلل البروتين هو غاز الامونيا NH_3 والاحماض العضوية . ويطلق على هذه العملية بعملية تعدن النيتروجين Nitrogen Mineralization او معدنة النيتروجين العضوي.

ومن الاحياء المجهرية المحللة للبروتين هي:-

1. البكتريا الهوائية (Aspergillus ,Pencillium ,Mucor , Rhizopus)

2. الفطريات Fungi

3. الفطريات الشعاعية Actinomycetsويمكن تلخيص خطوات تحلل البروتين العضوي بما يلي:-

1. تحلل البروتين (مجموعة من الاحماض الامينية) تحللا مائيا بواسطة أحياء التربة المجهرية وال تفرز انزيم Proteinase الى مركبات نيتروجينية بسيطة تعرف بـ الببتيدات المتعددة lypeptides ولك بروتين نوع خاص من انزيمات التحلل .

2. تحلل الببتيدات تحللا مائيا بواسطة انزيم خاص يعرف Polypeptidase (الذي يفرز من قبل اد التربة المجهرية) الى احماض امينية Amino Acids .

3. تحلل الاحماض الامينية بواسطة انزيمات Deaminase الى احماض عضوية وامونيا . ولكل حا
اميني انزيم خاص به لا يؤثر على غيره من الاحماض الامينية الاخرى. التحلل المائي للأحماض الا
في الظروف الهوائية يتم بواسط البكتريا الهوائية والفطريات و الفطريات الشعاعية ، اما في الظرو
اللاهوائية فيتم بواسطة البكتريا اللاهوائية.

الاحماض الامينية الناتجة من تحلل البروتينات تستخدم كمصادر للكربون والنتروجين بواسطة اعداد
حصر لها من الاحياء المجهرية ذاتية التغذية . وينتج عن ذلك ان ينطلق نيتروجين الاحماض الامين
على شكل غاز امونيا. والامونيا الناتجة يمكن ان تمثل من قبل الاحياء المجهرية لبناء البروتوبلازم
تستخدم من قبل أحياء اخرى .

ثانياً: تحلل المركبات العضوية النيتروجينية غير البروتينية

يعد مركب اليوريا $(NH_2)_2CO$ مركب كيميائي عضوي والذي يتحلل بفعل أنزيم اليوريز Urease الى غاز الامونيا وثاني اوكسيد الكربون وفق المعادلة التالية :-

$$(NH_2)_2CO + H_2O \xrightarrow{\text{Urease}} CO_2 + 2NH_3$$

الخلاصة

ما تم توضيحه في هذه المحاضرة والمحاضرة السابقة
يمكن تلخيصه بالمخطط ادناه

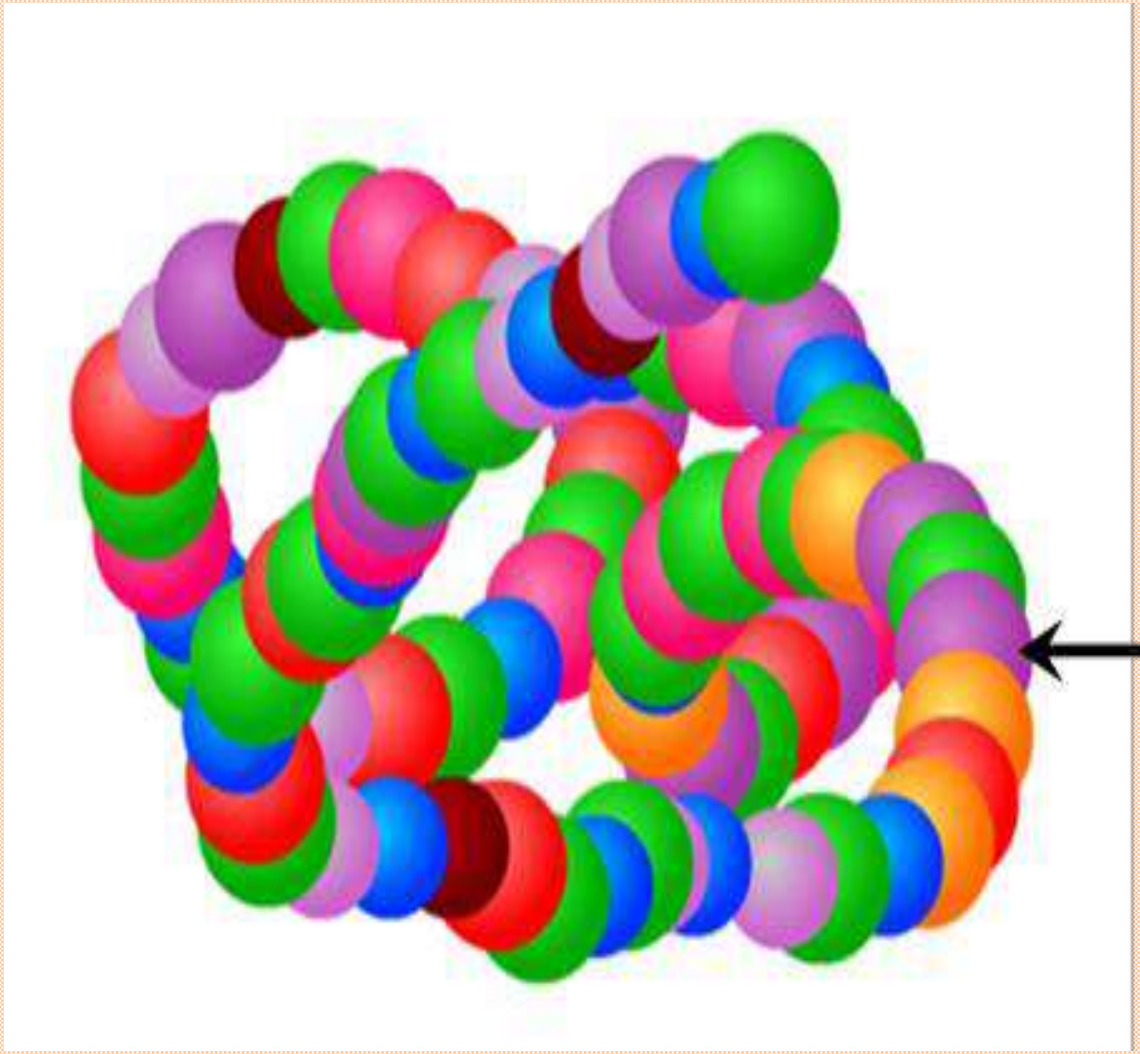
المواد العضوية
مواد عضوية غير نيتروجينية
مواد عضوية نيتروجينية
مواد سريعة التحلل
(السكريات، النشأ، السليلوز، الهيميسليلوز)
النباتات الحيثة والطرية
مواد بطيئة التحلل
(اللكنين ، الكيتين' الدهون' الاصماغ)
النباتات الخشبية المسنة
مواد عضوية نيتروجينية بروتينية
(البروتينات)
مواد عضوية نيتروجينية غير بوتينية
(اليوريا)

لانزيمات وطاقة التنشيط Enzymes and activation energy

تعريف الانزيم Enzyme definition

الانزيمات هي محفزات بيوكيميائية ذات تركيب بروتيني عالي الوزن الجزيئي .وكغيره من البروتينات يتألف من عدد كبير من الاحماض الامينية يوجد فيما بينها روابط ببتايدية. وتكون هذه الاحماض الامينية سلسلة او اكثر من السلاسل العديدة الببتيدات .

ويتكون الانزيم كأي بروتين من الحوامض الامينية ومعدل عدد الحوامض الامينية في الانزيم تصل الى عدة مئات . نتيجة تجاذب الحوامض الامينية مع بعضها مكونة سلسة بينها فراغ يسمى هذا الفراغ بالموقع الفعال للأنزيم ولكل بروتين مبنى فراغي خاص به .



حامض أميني

وظيفة الانزيم

تعمل الانزيمات كمواد عضوية محفزة او مسرعة Catalyst لتفاعلات كيميائية معينة محولة مجموعة محددة من المواد المتفاعلة Substrate الى نواتج محددة عند درجة حرارة معينة .
وتزيد الانزيمات من معدل سرعة التفاعل الكيميائي الذي تحفزه الى حوالي 10^{14} مرة .

اذا قامت الانزيمات بتسريع تفاعل ما فأنها لا تتأثر بهذا التفاعل ولا يتغير تركيبها اثناء التحفيز لذلك تسمى بالأنزيمات

وظائف الانزيمات وما هي المادة الخاضعة Substrate

المادة الخاضعة او الاساس Substrate هي المادة التي يعمل عليها الانزيم والذي يرتبط معها ويسرع من تفاعلها .

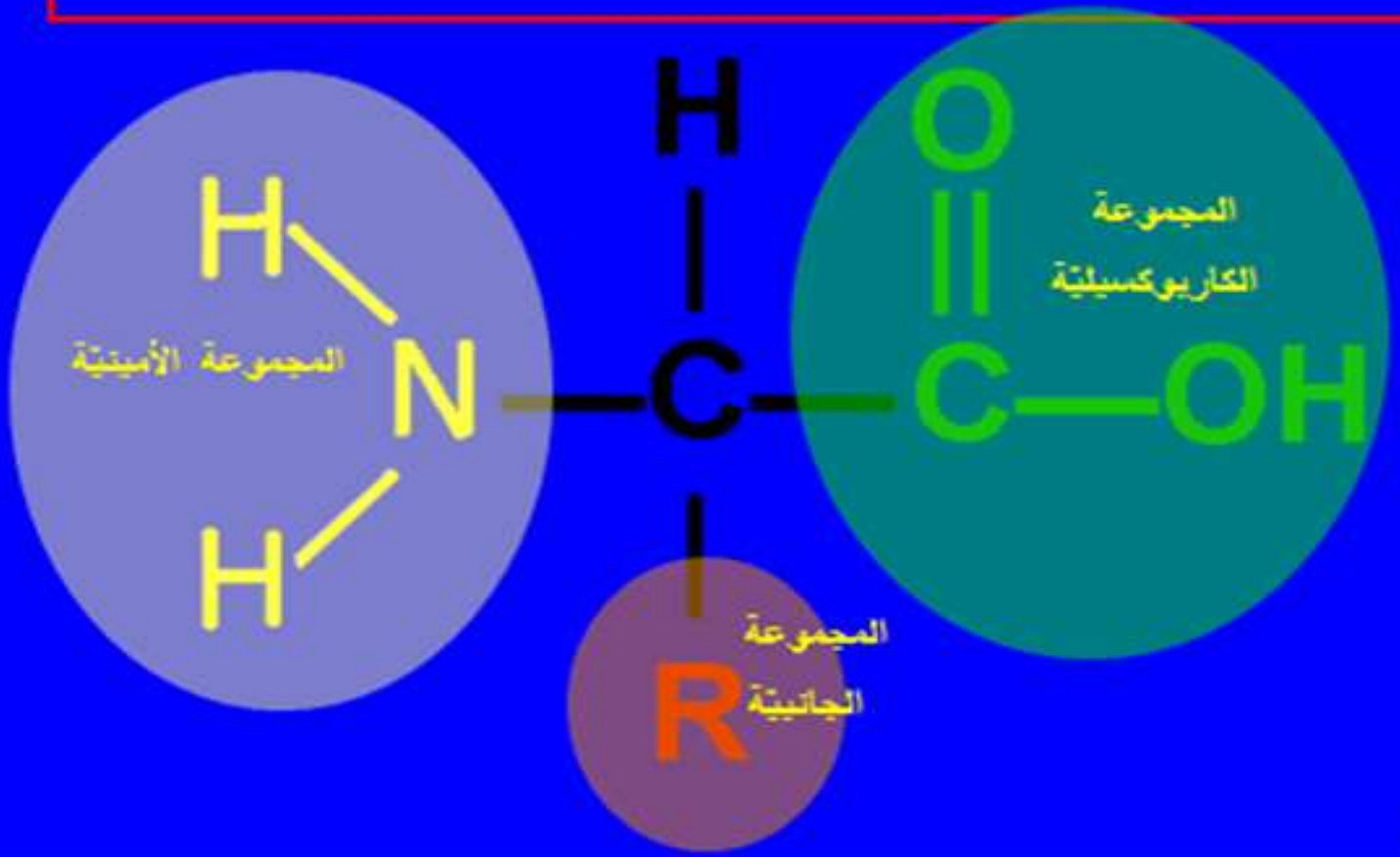
يتكون كل حامض اميني من :-

1. مجموعة كربوكسيل COOH

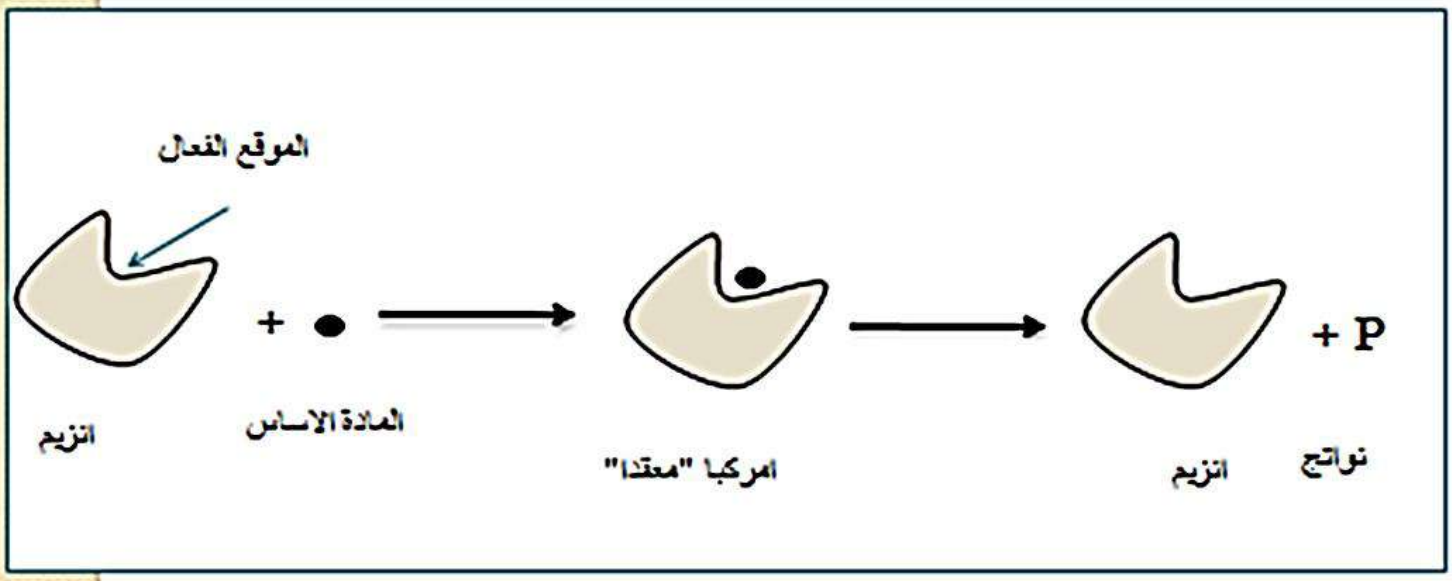
2. مجموعة امين $-NH_2$

3. مجموعة جانبية تكسبها صفاتها الخاصة R–

الحامض الأميني
Amino acid



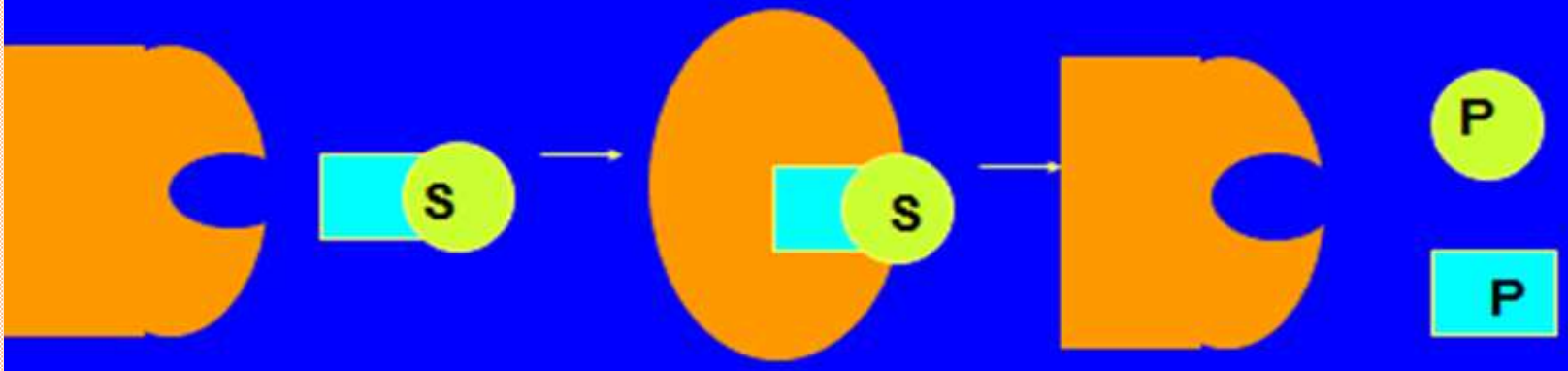
خصوصية الماده الاساس بالنسبه للانزيمات



$$E + S \longleftrightarrow ES \longrightarrow E + P$$

عمل الإنزيم

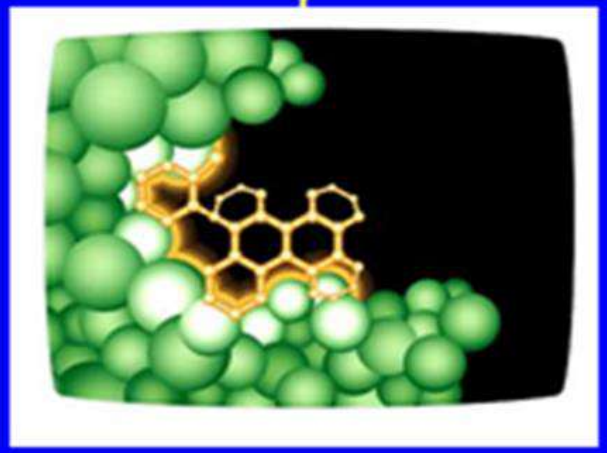
Enzyme Action

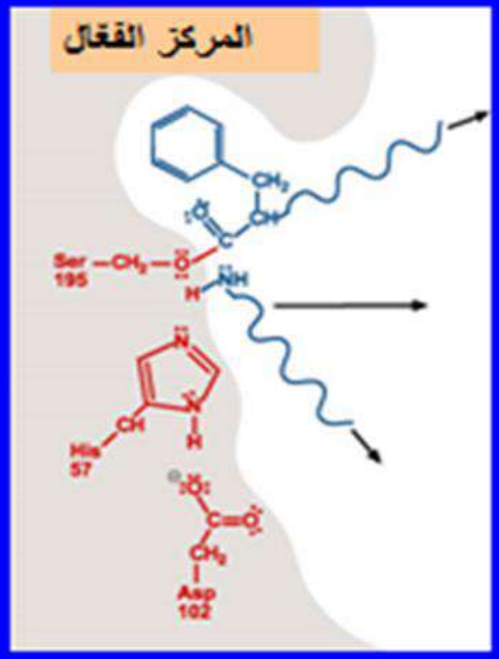


E + S معقّد ES E + P

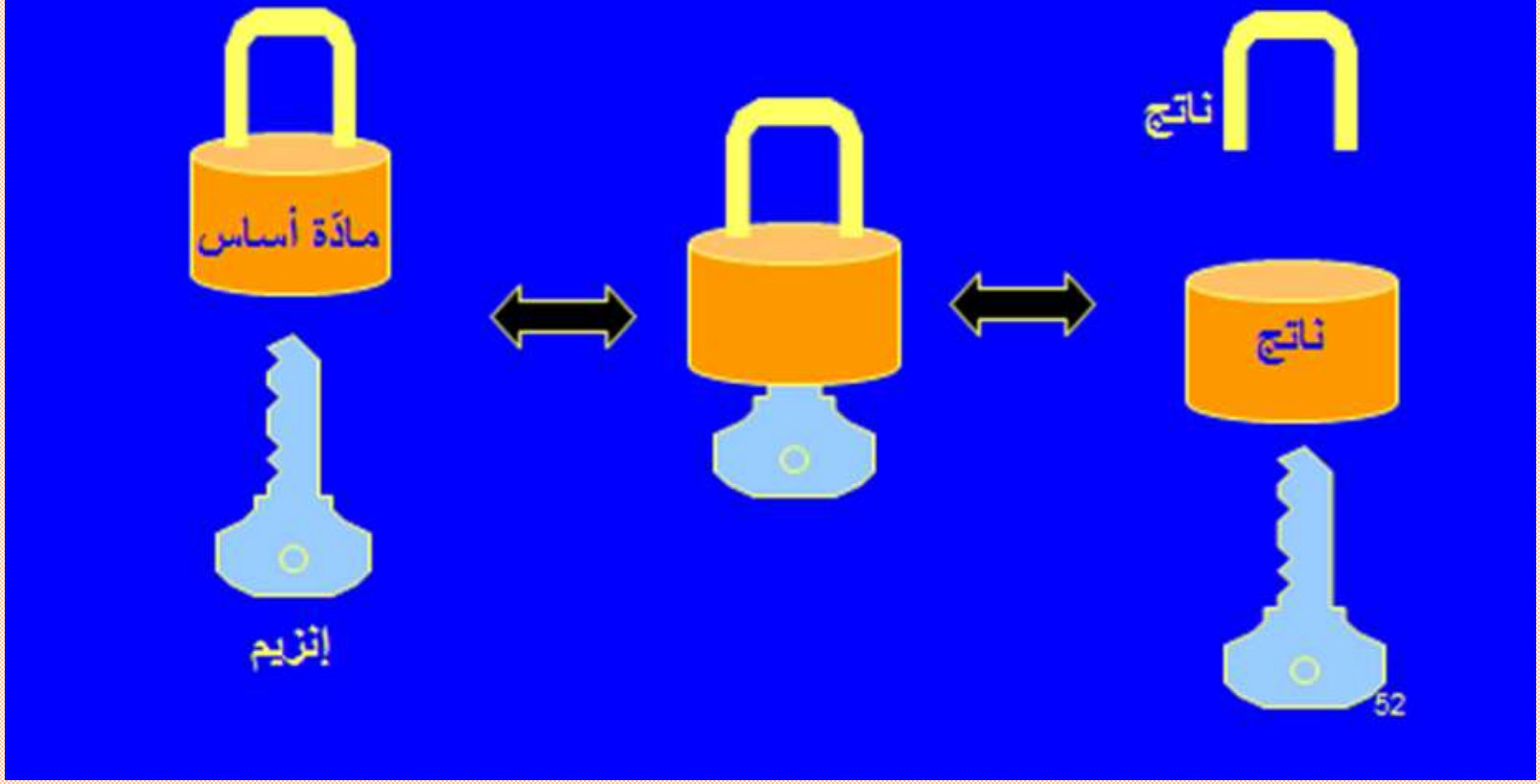
إنزيم مادة أساس مركّب معقّد إنزيم-مادة أساس إنزيم ناتج

المركز الفعّال





نظريّة القفل والمفتاح
Lock and key hypothesis



التحفيز Catalysis

- التحفيز مصطلح يطلق على كل العمليات التي تؤدي فيها إضافة مادة ما إلى زيادة معدل التفاعل الكيميائي .
- ويعرف العامل المحفز (عامل الحفز) بأنه المادة التي تساعد على زيادة سرعة التفاعل دون أن يحدث لها تغير كيميائي

الطرق الرئيسية التحفيز

1. زيادة درجة الحرارة
2. إضافة مادة محفزة تؤدي إلى زيادة معدل التفاعل الكيميائي بالتقليل من طاقه التنشيط اللازمة لحدوث التفاعل

انزيم اليوريز Urease enzyme

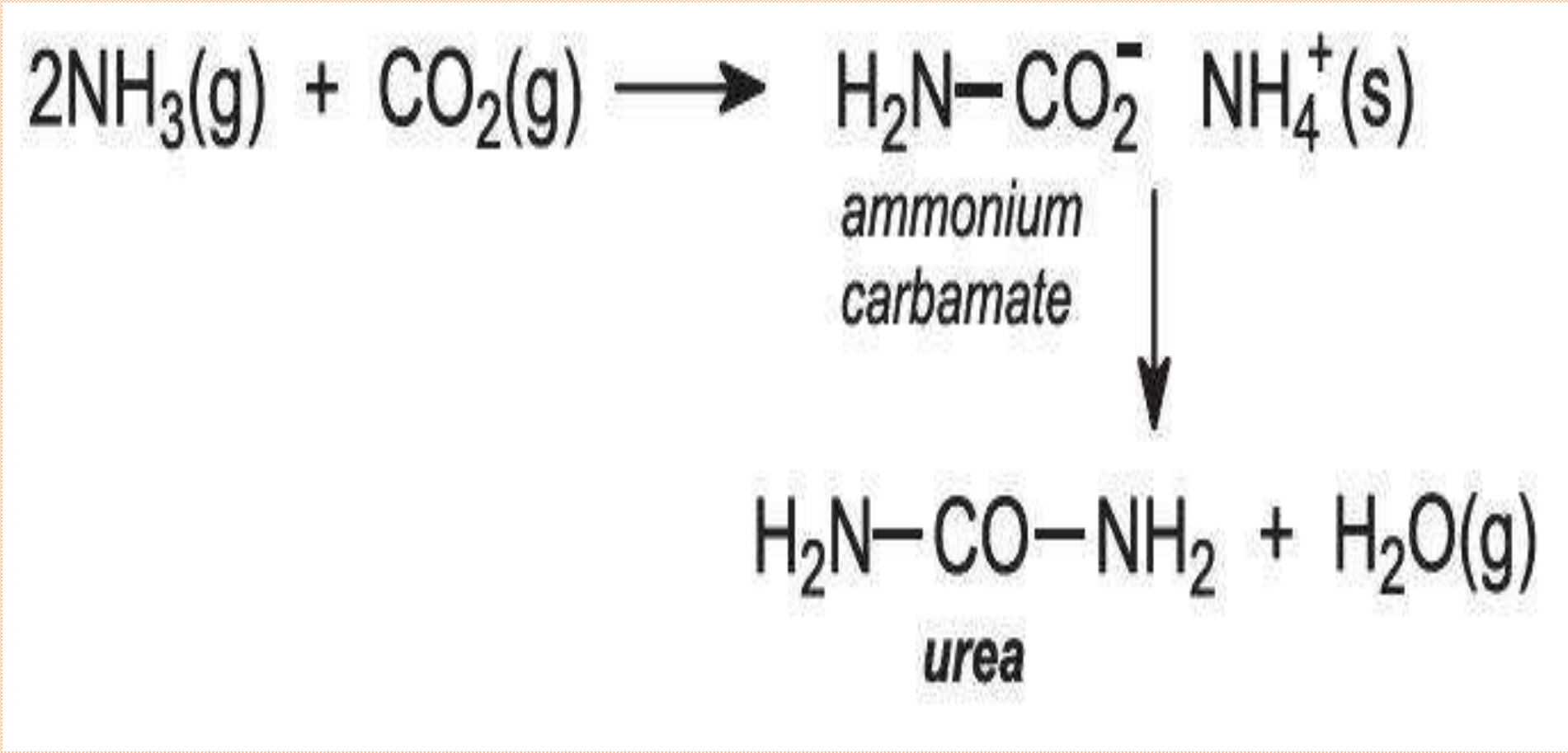
انزيم اليوريز واسع الانتشار في الطبيعة ، فهو ينتج بواسطة انواع مختلفة من النباتات والبكتريا والفطريات والطحالب واللافقريات .

مصدر انزيم اليوريز في التربة هو الاحياء الدقيقة الحية والاحياء الميتة (والتي ينطلق منها الانزيم بسبب تحلل الغشاء الخلوي) وبقايا النباتات وجذور النباتات التي تفرز انواعا مختلفة من الانزيمات ومن ضمنها انزيم اليوريز. كما ان بعض انواع الميكروبات تتمكن من افراز انزيم اليوريز مثل بعض انواع البكتريا مثل Bacillus و Klebsiella و Staphylococcus وغيرها التي تنتج الانزيم وتستخدم اليوريا كمصدر للنتروجين.

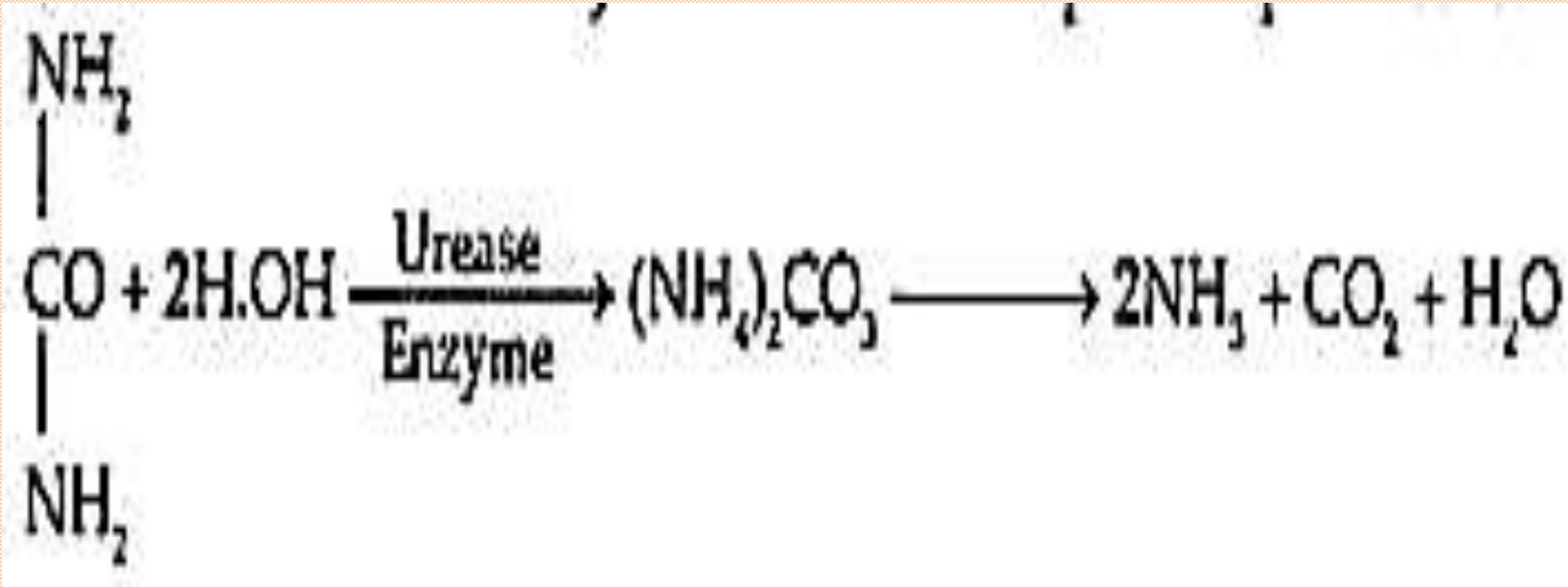
كما ان الفطريات مثل Aspergillus والخمائر مثل Schizoscaccharoyces والنباتات مثل الفاصوليا وفول الصويا والبزاليا . لها القدرة على انتاج انزيم اليوريز .

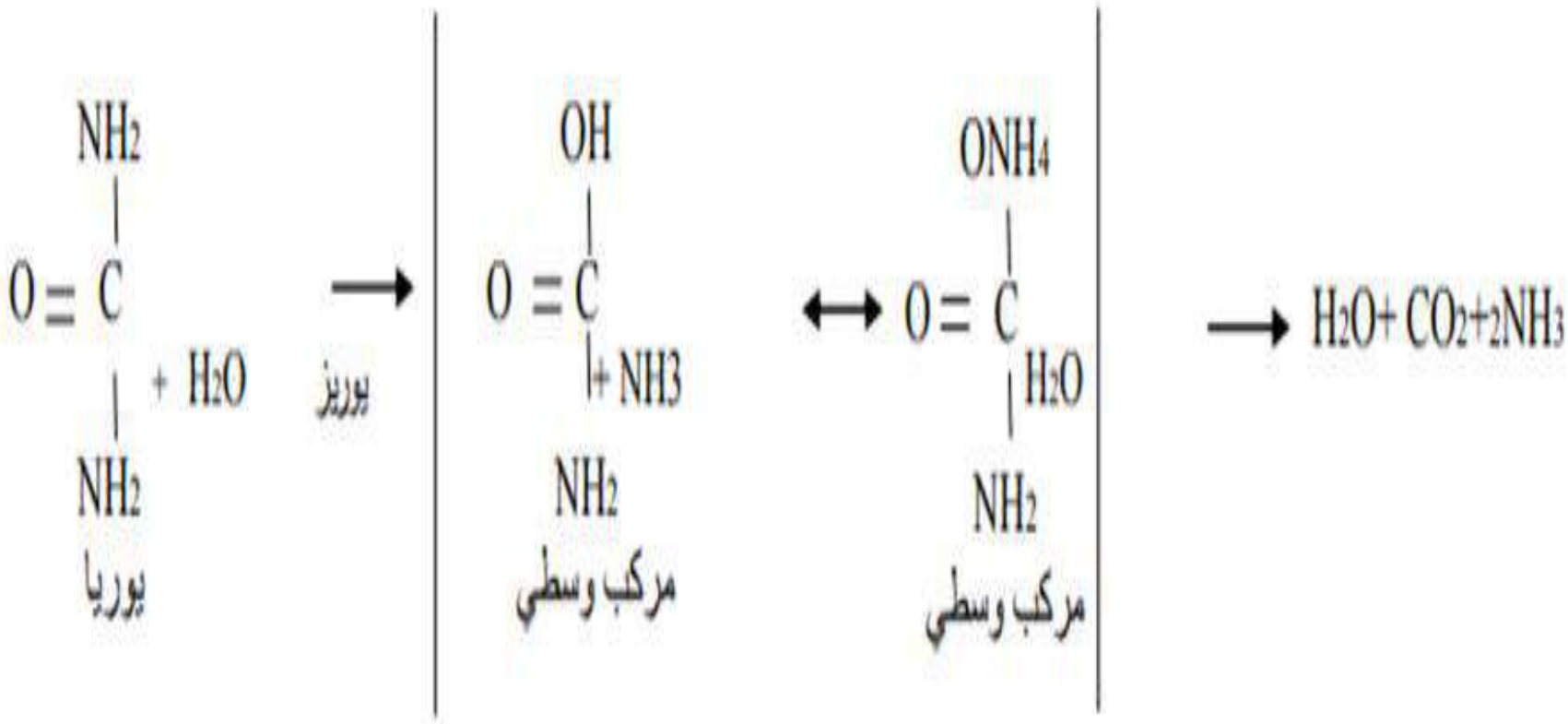
يعمل هذا الانزيم على تحفيز التحلل المائي لليوريا المضافة للتربة كسماد او مخلفات حيوانية الى غاز ثاني اوكسيد الكربون وغاز الامونيا وان مركب الكارباميت Carbamate هو المركب الوسطي الناتج من تفاعل اليوريا مع الماء كما في المعادلة ادناه:-

معادلة : تكوين اليوريا



معادلة تحلل سماد اليوريا بواسطة انزيم اليوريز




NH2
O = C
+ H2O
NH2
يوريا
يوريز
OH
O = C
+ NH3
NH2
مركب وسطي
ONH4
O = C
H2O
NH2
مركب وسطي
H2O+ CO2+2NH3

انزيم الفوسفاتيز Phosphatase

يوجد الفسفور في التربة بصور معدنية (ذائبة بشكل ايونات الاورثوفوسفيت $H_2PO_4^-, HPO_4^{2-}$ ومركبات فوسفاتية مترسبة وممتزة مثل فوسفات الكالسيوم وفوسفات الحديد وفوسفات الالمنيوم)

اما الصور العضوية فيضم مجموعة :-

1. الفايتين Phytin
2. فوسفو لبيدات Phospholipids
3. الاحماض النووية
4. السكريات الحاوية على الفسفور

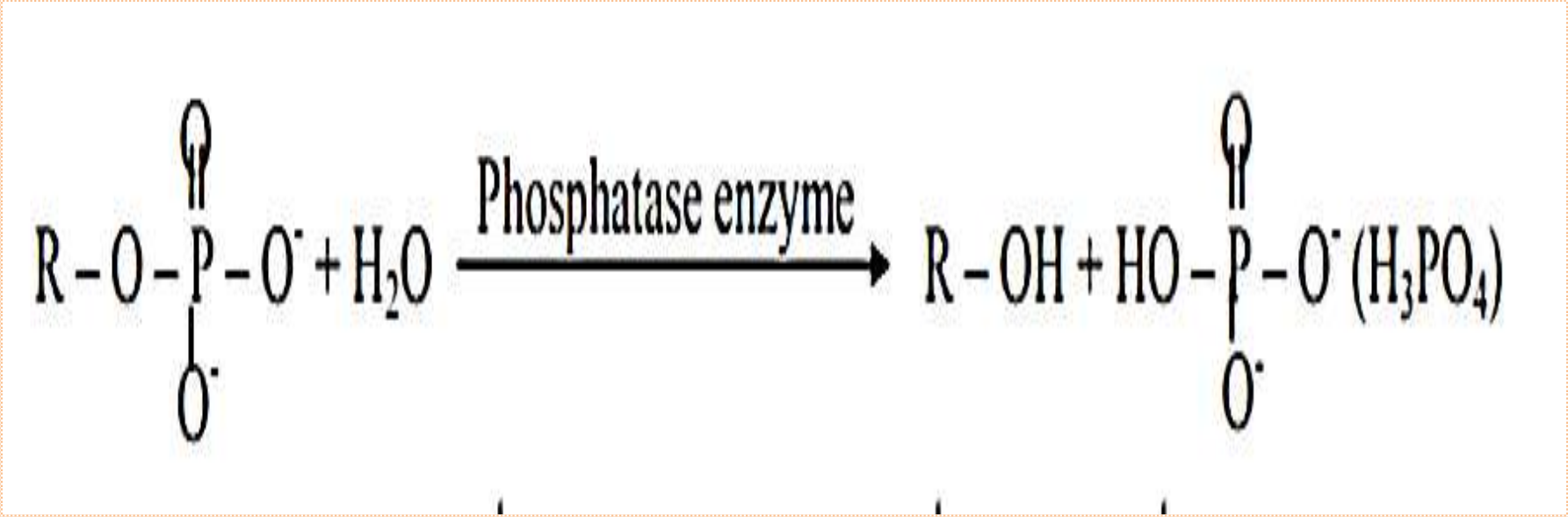
يشكل الفسفور العضوي 15 الى 85% من الفسفور الكلي ويقل عادة مع زيادة العمق وقلة المادة العضوية . ان مركبات الفسفور العضوي لا يمكن النبات الاستفادة منها دون اجراء عملية المعدنة عليها Mineralization of organic phosphate . حيث تقوم الاحياء المجهرية في التربة بعملية المعدنة .

ان الانزيمات التي تستطيع فصل الفوسفور من مركباته العضوية يطلق عليها مجموعة انزيمات Phosphatase وهنالك خمسة مجاميع من هذه الانزيمات .

ويوجد بصورة عامة مجموعتين من انزيمات الفوسفاتيز

1. Alkaline Phosphatase الفوسفاتيز القاعدية (في الترب القاعدية)
2. Acid Phosphatase الفوسفاتيز الحامضية (في الترب الحامضية)

أن المعادلة التي تصف هذه المجموعة من الانزيمات هي:-


Phosphatase enzyme

أنواع الأسمدة

١- الأسمدة الكيماوية وتشمل:

الأسمدة النيتروجينية – الأسمدة الفوسفاتية - الأسمدة البوتاسية – أسمدة العناصر الصغرى.

٢- الأسمدة العضوية وتشمل:

السماد البلدي – سماد الكومبوست – سماد الحماة - سماد القمامة – سماد المجازر – وغيرها.

٣- الأسمدة الحيوية:

وهى عبارة عن ميكروب أو مجموعة من الميكروبات التي تعمل على توفير عنصر أو أكثر من العناصر الغذائية اللازمة لنمو النبات والتي يمكن بها الاستغناء عن كل أو جزء من الأسمدة الكيماوية التي تحتوى **على العنصر المطلوب.**

ما معنى السماد الحيوي Biofertilizer

هو اي اضافات من اصل حيوي (سواء كانت ميكروبات حية او افرازاتها) تمد النبات النامي باحتياجاته الغذائية وتسمى اسمدة حيوية Biofertilizers او لقاحات حيوية microbial inoculants .

والاسمدة الحيوية تنتج من الكائنات الدقيقة سواء كانت بكتريا او طحالب او فطريات منفردة او مجتمعة وتعمل على زيادة جاهزية المغذيات في التربة.

والتسميد الحيوي Biofertilization هو مفهوم قديم استخدم لأول مرة من قبل Menkina(1950) في روسيا وكان الهدف منه زيادة جاهزية عنصر الفسفور في التربة باستخدام بكتريا تدعى Bacillus megaterium. حيث لاحظ ان هذه البكتريا لها القدرة في معدنة الفسفور الموجود اصلا في مادة التربة العضوية.

تقسيم الاسمدة الحيوية

قسمت الاسمدة الحيوية حسب NIIR(2007) الى:-

أولا: أسمدة حيوية مثبتة للنتروجين Nitrogen Fixing Biofertilizers (NBF)

1. أسمدة حيوية مثبتة للنتروجين للبقوليات واهمها بكتريا الرايزوبيا او بكتريا العقد الجذرية للبقوليات .

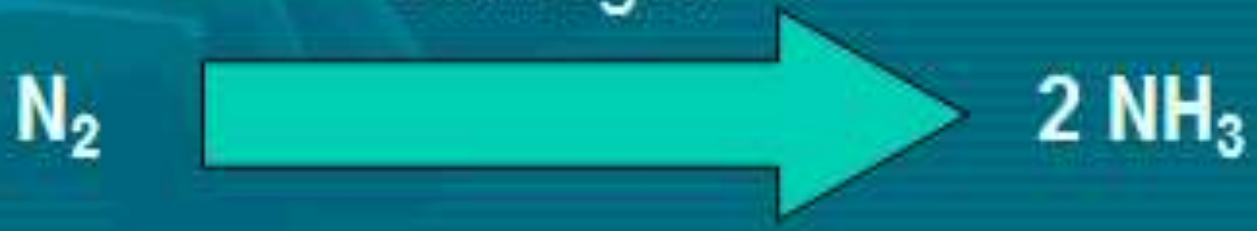
وهي بكتريا تابعة الى جنس Rhizobium حيث تقوم هذه البكتريا بتثبيت النتروجين الجوي داخل العقد الجذرية . حيث تخترق هذه البكتريا خلايا البشرة للشعيرات الجذرية وتعيش معها معيشة تكافلية تبادل المنفعة Symbiotic مع جذور النباتات البقولية والتي يقوم النبات بأمدادها بما تحتاجه من مواد عضوية وتقوم هي بتثبيت النيتروجين الجوي داخل خلاياها ثم يستفيد النبات بعد ذلك من النتروجين بصورة امونيا واحماض امينية علاوة على ما تنتجه هذه البكتريا من هرمونات نباتية طبيعية.

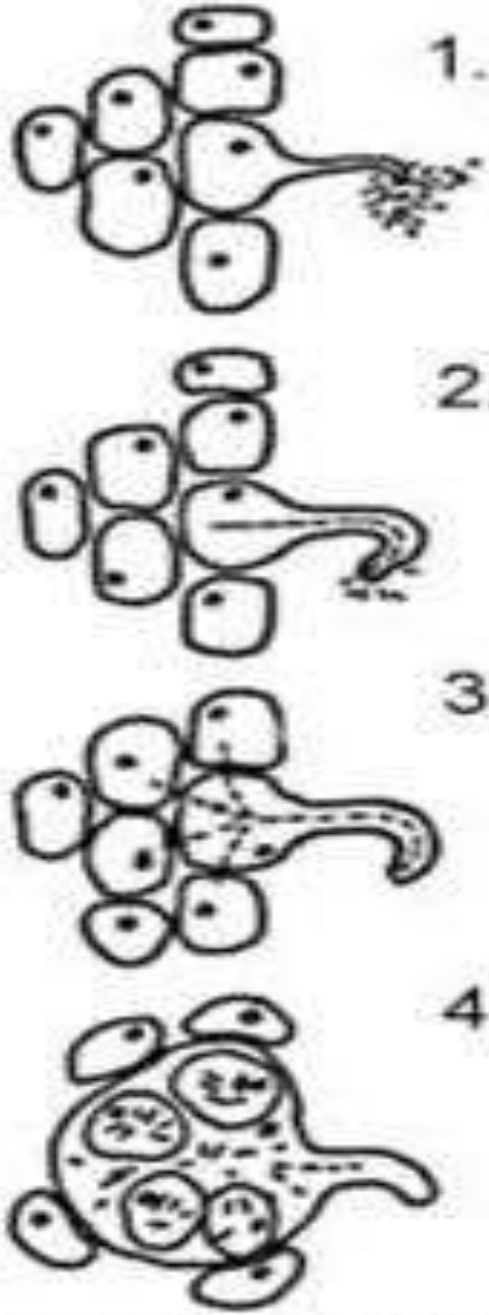
وقد وجد ان لكل نوع نباتي توجد له سلالة متخصصة من الرايزوبيا.

تلعب الكائنات الحية الدقيقة الدور الأكبر فى تحويل النتروجين N2 إلى أمونيا وبالتالى إلى بروتين وذلك من خلال ما يسمى التثبيت البيولوجى للآزوت BNF آو ما يطلق عليه Biological nitrogen fixation.

جزئ الداى نيتروجين

Dinitrogen





1. Bacterial invasion and root hair curling.
2. Infection thread formation in root hair.
3. Invasion extension to root cells.
4. Bacteria multiplication and nodule formation. N fixation begins.

Figure 2. The infection process of legume roots by *Rhizobia* bacteria.

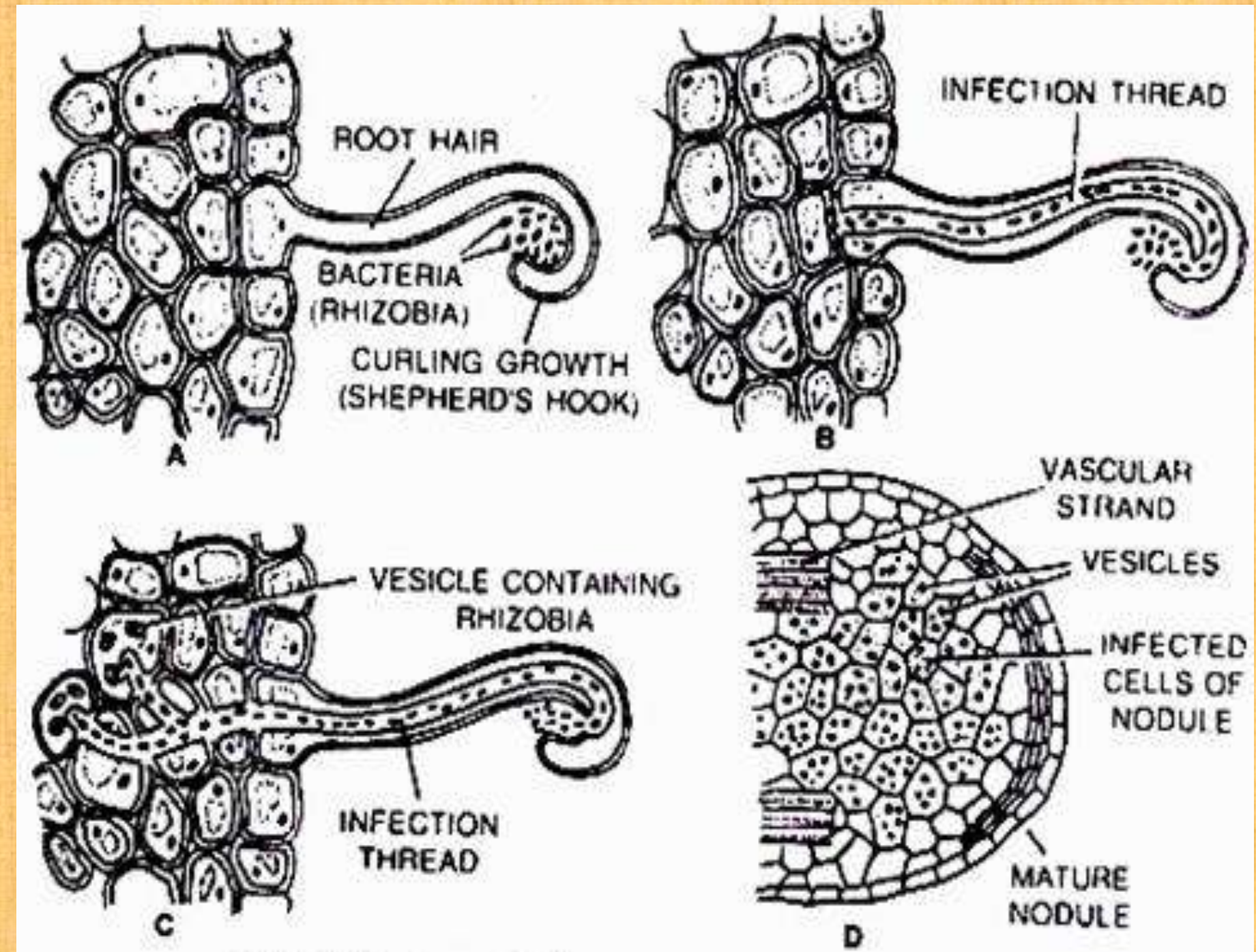


Fig. 5.1 Development of root nodule (nodulation) in legume.

أشكال مختلفة للعقد الجذرية

. البكتريا المثبتة للنتروجين لا تكافليا A symbiotic

وهي البكتريا التي تقوم بتثبيت النتروجين لا تكافليا اي التي تعيش بصورة حرة. حيث تحصل هذه البكتريا على احتياجاتها من الاحماض العضوية والطاقة من نواتج تحلل المواد العضوية بفعل ميكروبات التربة وتنتج الامونيا والاحماض الامينية .

ومن اهم الاجناس التي تستخدم في انتاج اللقاحات الميكروبية هي:-

أ. جنس Azotobacter sp

ب. جنس Azospirillum sp

ج. جنس Aspergillus sp

د. Pseudomonas

ثانيا: الاسمدة الحيوية Bacillus polymyxa وتشمل

1. **بكتريا Bacillus sp**
2. **فطريات مذيبة للفوسفات**
3. **فطريات المايكورايزا**

ثالثا: أسمدة حيوية محللة للسليلوز او المادة العضوية وتشمل:-

1. **أحياء مجهرية قادرة على افراز انزيمات السليوليز**
2. **أحياء مجهرية محللة للمواد العضوية تحوي مجاميع فعالة متأينة**

تبين من التحاليل التي اجريت ان معظم ميكروبات التسميد الحيوي لها قدرة هائلة على انتاج هرمونات شبيهة بالهرمونات النباتية مثل الجبرلين والاندولين والسايتوكينين علاوة على ما تفرزه من احماض عضوية واميئية وهذه المركبات مجتمعة تعمل على زيادة المجموع الخضري والجذري ومساحة سطح الورقة وعدد التفرعات ومعدل التزهير ونسبة العقد وتقليل التساقط وزيادة حجم الثمار وتحسين صفاتها وجودتها وزيادة جاهزية العناصر الغذائية.

كما تقوم بعض الاجناس الميكروبية بإنتاج الفيتامينات خاصة من مجموعة فيتامين B فيمتصها النبات مما يساعد على زيادة مناعة النبات للإصابة بالأمراض بالإضافة الى زيادة القيمة الغذائية للحاصل.

كما ان بعض الميكروبات لها القدرة على افراز وانتاج المضادات الحيوية(مواد عضوية) تعمل على ايقاف او قتل او تثبيط او تجعل الوسط غير مناسب لنمو الكائن الممرض مثل منع انتشار فطريات واعفان الجذور.

أهمية التسميد الحيوي

يمكن تخليص اهمية التسميد الحيوي بما يلي:-

1. **زيادة جاهزية العناصر الغذائية في التربة**
2. **تقليل كمية الاسمدة الكيميائية المستخدمة**
3. **السيطرة الحيوية(زيادة مقاومة النبات للأمراض من خلال انتاج المضادات الحيوية)**
4. **تحسين بناء التربة ودرجة تفاعلها pH**

تحميل الاسمدة الحيوية

يعرف التحميل على انه استخدام مواد خاملة Carrier materials من مصادر مختلفة ذات أصل عضوي او معدني لها القدرة على استقبال اللقاحات الميكروبية دون ادنى تأثيرات عليا.

أهمية تحميل الاسمدة الحيوية

1. إبقاء اللقاح الميكروبي نشطا لأطول فترة ممكنة

2. توفير الحماية اللازمة للقاح الميكروبي نتيجة المنافسة من قبل الاحياء المجهرية في حال اطلاق مواد مثبطة للنمو وسامة كذلك توفير الحماية اللازمة في ظروف النمو غير الملائمة
3. تأمين المصدر الكربوني الطاقة للقاح الميكروبي والذي يكفي لاستمرار الميكروب والبقاء نشطا خلال فترة الخزن وحتى بعد الزراعة وان عملية التحميل هي مرحلة تمهيدية يمر بها اللقاح الميكروبي لأجل تكييفه واندماجه في وسط التربة.

4. تشجيع معدل نمو الميكروب وزيادة الكثافة العددية له.

5. ان للحامل دور في توفير فرصة للإطلاق البطيء والتدريجي للمستعمرات الميكروبية باتجاه المجموع الجذري وتشجيع سيادتها(المستعمرات) قياسا بالميكروبات الاخرى الموجودة في منطقة الرايزوسفير

6. عدم تأثر فعالية وكفاءة اللقاح الميكروبي اثناء الخزن لمدة طويلة اي المحافظة على ثباتيه اللقاح دون حدوث تغيرات فسيولوجية الى ان يتم النقل الى المنطقة المحددة.

7. يعمل الحامل على تغطية اللقاح الميكروبي تغطية تامة بعد تكوينه مع اللقاح او ما يسمى Bacteria Carrier Mixture لذا يفضل ان يكون الحامل بشكل مسحوق بحيث يكون عند اضافة الماء مكونا ما يسمى slurry form قبل ان يخلط مع بذور المحصول المراد زراعته.

مواصفات وشروط اختيار الحامل المناسب

1. ان يكون الحامل غير سام للعزلة الميكروبية
2. قابليته للاحتفاظ بالماء عالية
3. سهولة تعقيمه
4. له قدرة تنظيمية عالية لتغير قيم ال pH
5. له صفة الالتصاق بالبذور
6. غير سام للنبات
7. متوفر بكميات كبيرة ورخيص الثمن
8. السماح للقاح الميكروبي للانطلاق في الوقت المناسب عندما يكون قريب من النبات
9. حجم دقيقة الحامل لها تأثير على القدرة التحميلية فصغر حجم دقيقة الحامل خاصة اذا صنع الحامل بشكل مسحوق اتاحة فرصة اكبر لدخول اللقاح الميكروبي في المسامات الصغيرة.

مصادر الحوامل

1. حوامل ذات اصل عضوي (البتموس، الفحم الحيواني Charcoal ، مخلفات المجاري ، نشارة الخشب المخمر ، السماد الحيواني، حامض الهيوميك ، مخلفات الشاي وغيرها)

2. حوامل ذات اصل معدني (معادن الطين مثل معدن الكاؤولينايت والمونتموريلونايت)

3. حوامل خليط من اصل عضوي ومعدني

تحضير الاسمدة الحيوية واضافتها للتربة

1. تبدا عملية التحضير من خلال عزل الميكروبات مثل عزل البكتريا من جذور بعض النباتات
2. غسل الجذور بالماء المقطر عدة مرات لإزالة التربة الملاصقة للجذور
3. تقطيع الجذور الى اجزاء (1-2 ملم) باستعمال الملقط المعقم
4. تنمية الجذور على وسط زرعي شبه صلب
5. وضع الوسط مع الجذور بالحاضنة عند درجة حرارة 28 درجة مئوي لمدة 48 ساعة
6. ان ظهور النمو الحلقي الابيض اللون باتجاه الاعلى يدل على وجود النموات البكتيرية مثل Azospirillum sp

7. تحميل المخلفات الحيوانية(ابقار، اغنام ، دواجن الخ) او مخلفات نباتية (peatmose) ومخلفات المجاري ونشارة الخشب والفحم الحيواني او التربة او المعادن الطينية مثل الكاؤلينايت (التربة: السماد الحيواني بنسبة (1:1)

7. يؤخذ 20 غم من الحامل الجاف ثم وضعه في اكياس بلاستيكية محكمة الغلق ومعقمه عند درجة حرارة 121 درجة مئوي وضغط 15 بار لمدة ساعتين ثم يلقح بالحامل. (20 مل من اللقاح البكتيري المتضمن بكتريا المعزولة مثل Azospirillum او Bacillus (المذيبة للفوسفات).

9. تمزج محتويات الكيس مع اللقاح البكتيري جيدا بعدها تحضن عند درجة حرارة مثلة لنمو الميكروب مع المحافظة على محتوى رطوبي مناسب (فترة الحضن بحدود 180 يوم).

تعقيم البذور وزراعتها

تقم البذور للقضاء على الملوثات من البكتريا الاخرى من خلال نقعها لمد 2 دقيقة في محلول 95% كحول اثيلي ثم تغسل 5-6 مرات بالماء المقطر ثم تخلط البذور جيدا مع اللقاح البكتيري بإضافة مادة الصمغ العربي المعقم لمساعدة التصاق القاح مع البذور ومن ثم زراعتها .

(أ)

(ب)

شكل رقم (٥) : (أ) بذور فول الصويا غير ملقحة وملقحة
(ب) ببكتريا *B.japonicum* المحملة على البيتموس

نبذة تاريخية عن تطور علم أحياء التربة المجهرية History of discovering soil microbiology

- أن أول أشارة مبكرة لـ Soil microbiology كانت للعالم الفرنسي لويس باستير Louis Pasteur (1822- 1895) : بين بأن الأحياء المجهرية تسبب التخمر والتعفن والتحلل ومعدنة المواد العضوية وكذلك هي التي تحول العناصر الغذائية إلى صور جاهزة للنبات وبالعكس. كما اكد ان هذه العمليات لاتعتمد على طبيعة الاحياء ونوعها ، بل تعتمد على طبيعة الظروف المحيطة بها ، فبوجود الاوكسجين تتحلل الكربوهيدرات الى ثاني اوكسيد الكربون ، وعند عدم وجوده سوف لا تكتمل عملية التحلل ـ اذ يصاحب غاز ثاني اوكسيد الكربون غازات اخرى كالهيدروجين والميثان مع كحولات واحماض عضوية بعملية تسمى التخمر fermentation

ولكون العمليات السابقة تتم بواسطة المجاميع المختلفة من البكتريا والفطريات والأحياء الأخرى الموجودة في التربة فقد ظهر تدريجيا نوع جديد من فروع علوم الأحياء المجهرية وهو علم أحياء التربة المجهرية Soil Microbiology فقد لاحظ العالمان Muntz & Schloesing عام 1877 بان عملية النترجة هي أكسدة الامونيوم إلى نترات واثبتوا ان هذه العملية حيوية ولا يمكن أن تتم ألا بواسطة الأحياء المجهرية في التربة.

- لاحظ العالم Warrington ان الاحياء المجهرية ممكن ان تلعب دورين مهمين في التربة :

الاول : هو تحليل الاسمدة العضوية المضافة للتربة الى Co_2 وامونيوم وحديد وكبريتات ...الخ

$$\text{Organic fertilizers} \longrightarrow Co_2 , NH_4 , Fe^{++} , So_4^{--} , po_4^{---} , \ldots etc$$

الثاني : لاحظ ان الامونيوم الموجود في وسط غذائي معقم وملقح بكمية قليلة من التربة بعد مدة من الزمن سوف تتاكسد الى نتريت No_2 ومن ثم الى نترات No_3

$$NH_4^+ \longrightarrow No_2 \longrightarrow No_3$$

واثبت هذا العالم بان هذه العملية هي عملية بايولوجية ، اذ انه لاحظ عند تعقيم الوسط الغذائي الملقح بالتربة (القضاء على الاحياء المجهرية بالتربة) بقاء الامونيوم دون تغير حتى بعد فترة اكثر من اسبوع . وان هذه البكتريا تقوم باكسدة الامونيوم من دون وجود اي مصدر عضوي ، مما يدل على ان مصدر الكربون لهذه البكتريا هو Co_2 فتسمى Autotrophic bacteria

وكذلك بما ان هذه البكتريا تؤكسد الامونيوم للحصول على الطاقة اللازمة فهي من نوع ذاتية التغذية كيميائيا Chemoautotrophs B. . وذكر هذا العالم بان عملية اكسدة الامونيوم تتم بخطوتين ، ولكنه لم يتمكن من عزل وتسمية البكتريا المسؤولة عن كل خطوة .

- تمكن العالم الروسي Winogradsky عام 1891 من عزل كل جنس من اجناس البكتريا المسؤولة عن عملية الاكسدة ، فقد سمى البكتريا المسؤولة عن الخطوة الاولى ببكتريا Nitrosomonas والبكتريا المسؤولة عن الخطوة الثانية ببكتريا Nitrobacter معتمدا على ما توصل اليه العالم Warrington .

- في عام 1858 اكتشف العالم Iachmann العقد الجذرية عل جذور البقوليات.
- في عام 1879 وجد العالم Frank ان هذه العقد الجذرية تتكون نتيجة التلقيح بالبكتريا .
- في عام 1885 اثبت العالمان Wilforth & Hellrigel أن البقوليات تأخذ النتروجين الجوي بواسطة البكتريا الموجودة في داخل العقد الجذرية وتحوله إلى مركبات نترو جينية.
- أما العالم الهولندي Beijerinck عام 1888 فقد استعمل الأوساط الغذائية الغنية المنتخبة للحصول على مزرعة نقية من البكتريا المسؤولة عن عملية تكون العقد وسماها *Bacillus radicola* والتي تعرف في

الوقت الحاضر باسم Rhizobium spp ، وقال ان لهذه البكتريا دور كبيرفي تحويل النتروجين الجوي الى امونيوم بعملية تعايشية مع جذور النباتات البقولية ولقد سمى عملية التثبيت هذه بالتثبيت التعايشي للنتروجينSymbiotic N2-fixation لأنها عملية تعايشية بين البكتريا والنباتات البقولية. وهناك نوع آخر من التثبيت لغاز النتروجين يسمى بالتثبيت اللاتعايشي Non-Symbiotic N2-fixation .

- العالم الروسي Winogradisky (بدايات القرن العشرين) يعود له الفضل في اكتشاف البكتريا المسؤولة عن تثبيت النتروجين بصورة حرة بالتربة وذلك بالطريقة التالية :

استعمل وسطا غذائيا معقما خاليا من النتروجين ، وبعد تلقيحه بكمية قليلة من التربة وتحضينه بالحاضنة لمدة 4 -5 ايام ، بعد ذلك لاحظ ان هناك بكتريا نمت على سطح الوسط الغذائي واخرى نمت على القاع ، فاستنتج بان البكتريا قامت بتثبيت النتروجين وتحويله الى امونيوم ، وان هناك تثبيت هوائي وتثبيت لا هوائي ، لم يتمكن هذا العالم من اعطاء اسم للبكتريا النامية على السطح (بكتريا هوائية) ، وانما تمكن من تسمية البكتريا النامية في قاع الدورق (لا هوائية) واعطاها اسم Clostridium المسؤولة عن تثبيت النتروجين بصورة حرة بالتربة .

- أما العالم Beijerinck فقد صنف البكتريا الهوائية النامية على السطح ، اذ اعطاها اسم Azotobacter وقام بتصنيف النوع *Azotobacter chroococcum* في عام 1901 وفي عام 1904 عزل النوع *A.beijerincki* ، وفي عام 1903 عزل العالم Lipman النوع *A.vinelandii* .

ومما سبق يمكن القول أن الفضل في تطور علم أحياء التربة المجهرية يعود إلى العالمين Winogradsky و Beijerinck . فقد اتجها نحو اكتشافات دور الاحياء المجهرية في العمليات الطبيعية اذ طورا البيئة الغذائية المنتجة لتشمل احياء التربة وبواسطتها انجزا عملا ناجحا في عزل ووصف احياء مجهرية جديدة مسؤولة عن تحولات النتروجين المختلفة وتحولات الكبريت في التربة ، لذ يمكن ان نعدهما الابوين لعلم احياء التربة المجهرية .

- العالم فلمنك Fleming عام 1929 اكتشف المضاد الحيوي البنسلين الذي ينتجه الفطر *Penicillium notatum*
- أما العالم الأمريكي Waksman(1888 – 1973) فكان له الفضل في عزل الكثير من أجناس الاكتينومايستات (البكتريا الخيطية) المنتجة للمضادات الحيوية من التربة ومن أشهرها المضاد الحيوي Streptomycin.
- اكتشف العالم James P . Martin ان للبكتريادور مهم في تكوين تجمعات التربة عن طريق انتاج السكريات المتعددة Polysacchorides .
- في عام 1950 عزل العالم Derx جنسا بكتيريا مثبت للنتروجين سماه Beijerinckia نسبة إلى العالم Beijerinck
- وفي عام 1962 قاما العالمان الالمانيان Peterson و Jensen بعزل الجنس Derixia
- في عام 1966 وصف العالمDobereinerالنوع البكتيري المثبت للنتروجين بصورة حرة *Azotobacter paspali*
- في عام 1976عزل Day & Dobereiner بكتريا حلزونية لها القدرة على تثبيت النتروجين هي *Spirillium lipoferum* .

هذا وان علم أحياء التربة المجهرية مستمر بالتطور من خلال الدراسات المستمرة للعلماء المختصين في جميع أنحاء العالم .

أقسام أحياء مجهرية التربة Soil microorganisms Departments

قسمت أحياء التربة المجهرية إلى مجاميع اعتمادا على بعض الصفات والخواص العامة وهي :

1- التقسيم البيئي Ecological classification

قسمت حسب طبيعة وجودها في التربة إلى مجموعتين من قبل العالم الروسي Winogradsky (1925)وهي :

أ- **أحياء التربة المجهرية المستوطنة (الأصلية)** (Indigenous) Autochthonous microorganisms

وهي التي يكون موطنها الأصلي والدائمي هي التربة وتوجد في كل أنواع الترب ولها دور أساسي في التغييرات الكيميائية الحيوية التي تحدث في التربة . وتحصل على غذائها من الجزء العضوي بالتربة ،

أحياء التربة المجهرية الدخيلة(Invaders) Allochthonus microorganisms

تجد طريقها إلى التربة عن طريق (الاضافة) معاملة التربة بالمخصبات العضوية والحيوية كبكتريا العقد الجذرية أو عن طريق تلوث التربة بمياه المجاري.

1- تقسيم أحياء التربة المجهرية اعتمادا على المتطلبات الحرارية Thermal requirements

تعد الحرارة عاملا أساسيا يتحكم في جميع العمليات الحيوية لأحياء التربة وان لكل نوع من الأحياء المجهرية (الدرجة المثلى optimum growth temperture) كما أن له مدى حراري معينا بحيث يتوقف النشاط الحيوي خارج هذا المدى وقد وضعت أحياء التربة المجهرية إلى ثلاثة مجاميع رئيسية تبعا لدرجة الحرارة المثلى والمدى الحراري الذي يمكن إن تنمو فيه :-

1- **Mesophiles**

معظمها هي Mesophiles: الدرجة المثلى (25-35) م^{o} ، المدى الحراي ما بين(15–45) م^{o}. مثل :

Listeria monocytogenes and Pseudomonas

2- **Psychrophiles**

وهي الأحياء التي تنمو بصورة أفضل في درجات الحرارة التي تقل عن 20˚م(المثلى 15 م^{o} والعظمى20 م^{o}) وهذا النوع من الأحياء شائع الوجود في التربة. وهناك العديد من أحياء التربة لها القدرة على النمو في درجات الحرارة المنخفضة التي تقع مابين درجة الانجماد و 5˚م. مثل البكتريا*flavobacterium psychrophilum*

ويمكن ان تنمو بعض الفطريات في الأطباق على درجة 6 م^{o} مثل (*Mucor , Penicillium*) .

3- **Thermophiles**

المدى الحراري (45–65) م^{o} والحرارة المثلى (45 م^{o}) وبعض الأنواع محبة للحرارة العالية والتي تصل أحيانا إلى 80 م^{o}. ومن أجناس البكتريا ضمن هذا النوع هي : (*Thermoactinomyces , Thermonospora*

ان احياء التربة المجهرية اكثرها من النوع الذي يحب الحرارة المعتدلة **Mesophiles** ، والتي تحب الحرارة الواطئة تأتي بالدرجة الثانية ، اما المحبة لدرجات الحرارة العالية فتكون اعدادها واطئة جدا .

2- تقسيم أحياء التربة المجهرية بالنسبة لحاجتها للأوكسجين

أن وجود الأوكسجين أو عدم وجوده يقسم أحياء التربة المجهرية إلى ثلاثة مجاميع رئيسية وهي :

1- **Obligate aerobes**

لا تستطيع النمو الا بوجود الاوكسجين ، أن اغلب أحياء التربة المجهرية هوائية اجبارية ومنها

البكتريا *Thiobacillus*، *Nitosomonas*، *Nitrobacter*، Molds، most algae ، من العوامل التي تؤثر في تهوية التربة :النسجة soil texture ، نوعية المعادن ، ارتفاع منسوب الماء الارضي والمادة العضوية التي تعد مصدر الطاقة .

2- **Facultative anaerobes**

من امثلتها البكتريا *Bacillus* و *Pseudomonas*.

3- Obligate anaerobes

وهي الأحياء المجهرية التي لها نظام أنتاج الطاقة الذي لا يحتاج إلى الأوكسجين .

التنفس اللاهوائي

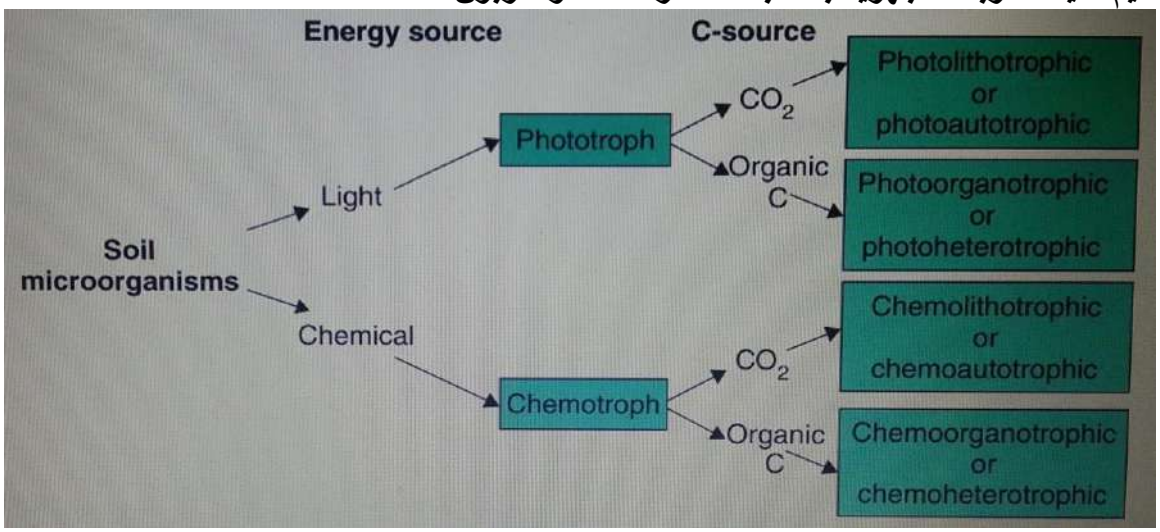
NO_3^- (مستقبل للالكترونات) تختزل ⟵ NH_3 و N_2O و N_2

بواسطة البكتريا اللاهوائية الإجبارية *Pseudomonas dentrificans*

أو SO_4^{-2} (مستقبل للالكترونات) تختزل ⟵ كبريتيدات

بواسطة البكتريا اللاهوائية الإجبارية *Desulfovibrio desulfuricans*

3- تقسيم أحياء التربة المجهرية بالنسبة لمصدر الطاقة والكربون



كذلك قسمت أحياء التربة المجهرية بالنسبة للتداخل بين مصدر الكاربون والطاقة إلى أربعة أقسام هي:

1- Photoautotrophs أحياء ذاتية التغذية ضوئية

تستعمل ثاني اوكسيد الكربون كمصدر للكربون والضوء مصدر للطاقة وهذه تضم جميع الطحالب وقسما من البكتريا مثل جنس Rhodospirillium وكذلك البكتريا الأرجوانية Purple bacteria والبكتريا الخضراء Green bacteria.

2- Photohetrotrophs

3- Chemoautotrophs

و تقسم الى :

a- Nitrifying Bacteria

$$NH_4^+ + 11/2O_2 \longrightarrow NO_2^- + 2H^+ + H_2O + 66 \text{ cal.}$$

Nitrosomonas

$$NO_2^- + 1/2O_2 \longrightarrow NO_3^- + 17.2 \text{ cal.}$$

Nitrobacter

b- Sulfur- oxidizing bacteria

$$S + 11/2O_2 + H_2O \longrightarrow H_2SO_4 + \text{energy}$$

Thioxidans ، Thiobascillus

c- Iron- oxidizing bacteria

$$Fe^{+2} \longrightarrow Fe^{+3} + \text{energy}$$

$$\mathbf{FeSO_4} \longrightarrow \mathbf{Fe(OH)_3}$$

مثل جنس *Ferrobacillus , Ferroxidans*

4- Chemoheterotrophs أحياء التربة المجهرية المتباينة التغذية كيميائيا

وتشمل جميع الفطريات والابتدائيات ومعظم البكتريا وجميع الاكتنيومايستات ومن الأجناس البكترية لهذه المجموعة تقسم الى قسمين :

أولا : البكتريا التي تستعمل النتروجين كغاز وتحوله الى امونيوم ومن ثم الى بروتين ومنها :

1- Symbiotic Nitrogen fixers (*Rhizibium*)

2- Non- Nitrogen fixer (*Azotobacter, Clostridium*)

ثانيا : البكتريا التي تحتاج الى مركبات نتروجينية جاهزة

1- Urea –decomposing bacteria (*Micrococcus ureae*)

2- Denitrifying bacteria

البكتريا تختزل النترات إلى غاز النتروجين (*Pseudomonas denitrificans*)

3- Cellulose - decomposing bacteria (*Cytophage , cellovibrio*)

5- **Divide the bacteria its composition for Spores** :

1- Spore- formers (*Clostridium* , *Bacillus*)

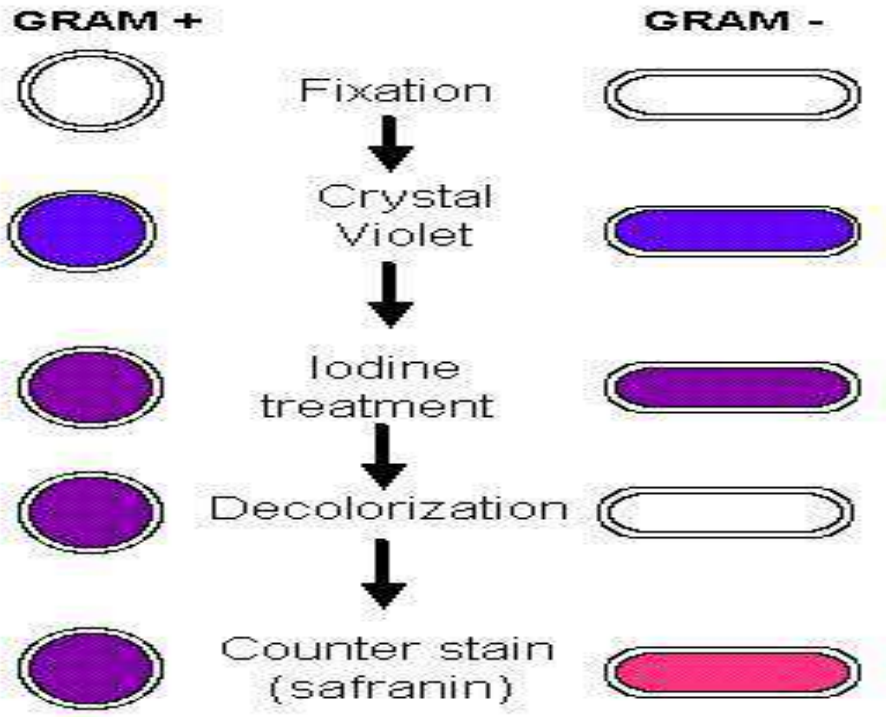
2- Non spore formers (معظم البكتريا غير مكونة للسبورات)

6- Divide the bacteria for stain Cram

1- G+Ve bacteria (*Clostridium* , *Bacillus* , *C0rynebacterium, Actinomycetes)*

2- G-Ve bacteria (*Rhizobium* , *Azotobacter* , *Nitrosomonas* ,…)

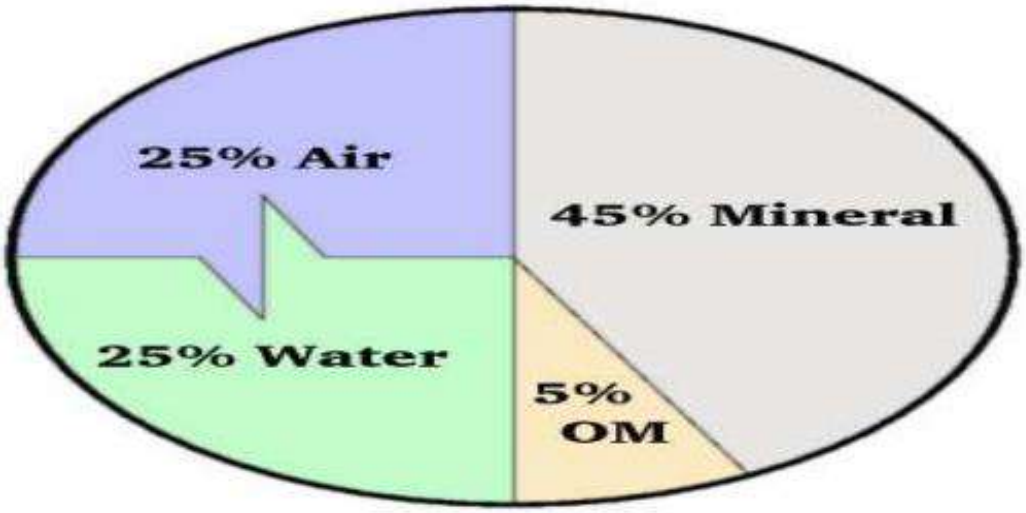
س: ما سبب هذا الاختلاف ؟



التربة بيئة الاحياء المجهرية

soil is a habitat for organism

تتكون التربة من خليط من المادة المعدنية والعضوية والماء والهواء اضافة الى الكائنات الحية ، وان حجم هذه المكونات في تربة سطحية مزيجية مثالية لنمو النبات هو 45 % مادة معدنية ، 5% مادة عضوية، 25% ماء ، 25% هواء . شكل (2)



شكل (2) : النسبة المئوية الحجمية لمكونات التربة الرئيسية في تربة سطحية ملائمة لنمو النبات

تتكون بيئة التربة Soil Ecosystem من :

1- Organic Part 2- inorganic Part

3- Biological Part

يشكل الجزء(inorganic and Organic)المصدر الرئيس للكربون والطاقة والنتروجين والعناصر الأخرى الضرورية اللازمة لنمو الجزء Biological وتكاثره في التربة .

يتكون الجزء Biologicalمن مجاميع رئيسة من الأحياء التي قسم منها :

1- Microorganisms وتشمل Bacteria(بضمنها Actinomycetes), Fungi, Algae, Protozoa

2- Macroorganisms ويشمل الديدان الأرضية ، النيماتودا ، النمل الأبيض والخنافس ----- الخ .

تعرف التربة بايولوجيا : بأنها بيئة أو نظام مليء بمجاميع مختلفة من الأحياء المجهرية المسؤولة عن العديد من الفعاليات التي تحدث في التربة وهي تؤثر بصورة مباشرة أو غير مباشرة في حياة الإنسان واقتصاده . هذه التفاعلات تقسم إلى قسمين :

1- قسم ذات تأثير ايجابي مثل تحلل المخلفات العضوية والحيوانية ومخلفات الإنسان مع تحرير العناصر الغذائية المختلفة بشكل جاهز للنبات .

2- قسم ذات تأثير سلبي في حياة الإنسان منها الفعاليات التي تحول العناصر الغذائية الجاهزة إلى غير جاهزة ، إضافة إلى الامراض المختلفة التي تسببها .

تقوم الاحياء المجهرية بتفكيك المادة العضوية الطبيعية جميعها ، وتحسين خصوبة التربة بتحطيم انسجة النباتات والحيوانات فيها ، ودمج النواتج والمعادن المحررة مع التربة .

تحول احياء التربة بشقيها الفلورا النباتية flora الفونا الحيوانية fauna المواد المتحللة الى معقد عضوي مهم في التربة يسمى الدبال Humus يتركب من نحو 60% كربون ونحو 6% نتروجين اضافة الى مركبات فينولية وفوسفاتية عضوية وسكريات معقدة وغيرها .

تمزج حيوانات التربة بحركتها الدبال مع التربة ، مما يساعد على تحسين خواص التربة بتفتيت حبيباتها وتهويتها وحركة الماء فيها ، وتجعل الدبال المتكون في متناول الاحياء المجهرية ، وهذه تقوم بهدم الدبال وحله ، ويتم هذا التحلل بصورة بطيئة محررة منه المغذيات النباتية .

يمكن التعبير عن نشاط الأحياء بصورة عامة والمجهرية خاصة أحيانا :

[1]- بقياس أعدادها على أساس عدد الخلايا الحية بالأطباق وهذه قد لا تعطي العدد الحقيقي لما هو موجود أصلا في التربة .

[2]- باستعمال مصطلح **الكتلة الحية للتربة Soil Biomass** التي يمكن اعتبارها مؤشرا لمدى خصوبة التربة.

[3]- وهناك طرقا اخرى مبنية على اساس قياس كمية الـ ATP او الكتلة الحية biomass او العدد المجهري يمكن ان تعطي قيما كبرى .

إن أكثر الأحياء المجهرية عددا في التربة هي البكتريا وتليها البكتريا الخيطية ثم الفطريات والطحالب ثم الابتدائيات ، بغض النظر عن الفايروسات التي تكون اكبر بكثير ، وعلى الرغم من تغلب البكتريا على الفطريات بالعدد في بعض الترب الا ان الكتلة الحيوية للفطريات تكون اكبر من كتلة البكتريا بسبب التفرعات الكثيرة للهايفات الفطرية .

جدول يبين الأعداد التقريبية للأحياء الشائعة في التربة

مجموعة الأحياء المجهرية	العدد التقريبي / غم تربة جافة
البكتريا	$10^8 \times 5 - 10^6 \times 3$
الاكتينومايسيتات	$10^7 \times 2 - 10^6 \times 1$
الفطريات	$10^5 \times 9 - 10^3 \times 5$
الخمائر	$10^5 \times 1 - 10^3 \times 1$
الطحالب	$10^5 \times 5 - 10^3 \times 1$
الابتدائيات	$10^5 \times 5 - 10^3 \times 1$
النيماتودا	200- 50

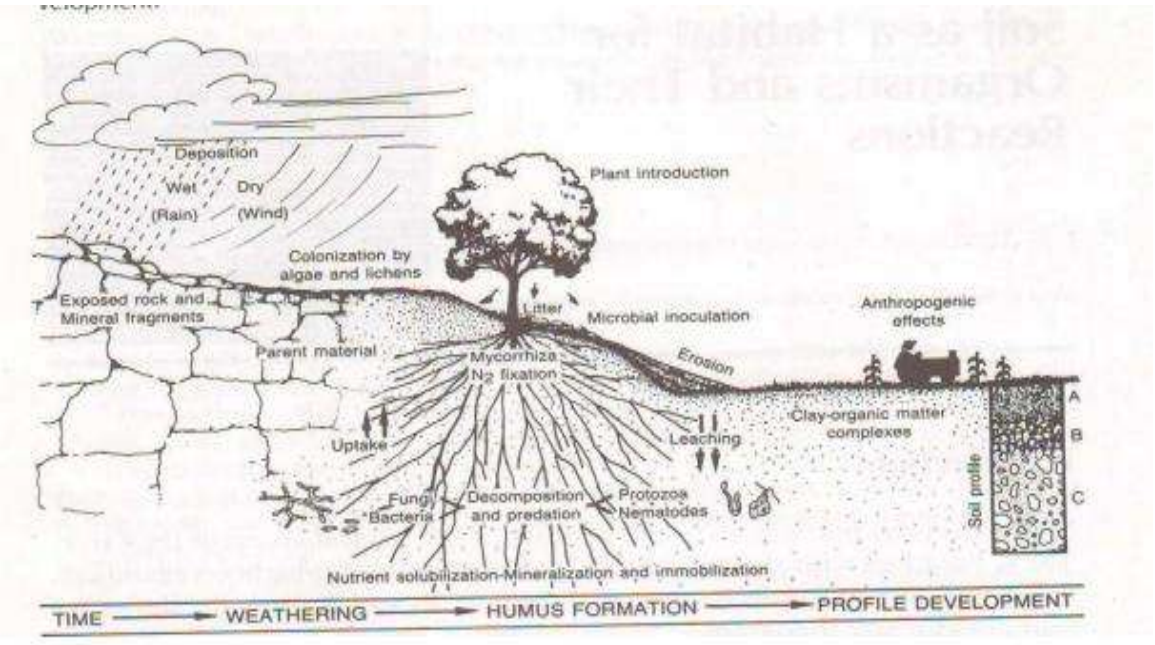
دور الاحياء المجهرية في تكوين التربة

Role of microorganisms in soil formation

تلعب الاحياء المجهرية organism دورا مهما في تكوين بيئة التربة اضافة الى عوامل تكوين التربة الاخرى، المناخ climate والطوبوغرافيةtopography والمادة الام parent materials والوقت time خاصةعند توفر غطاء نباتي جيد .

التحلل الفيزياوي والكيمياوي للصخور يؤدي الى تكوين دقائق ناعمةتحمل مساحة سطحية عالية وبعملية التجوية سوف تؤدي تكوين دقائق التربة الرئيسية الرمل sand والغرين slit والطين clay اضافة التحرير العناصر الغذائية واكاسيد الحديد والالمنيوم والسليكا مؤدية الى تكوين التربة. شكل (3) .

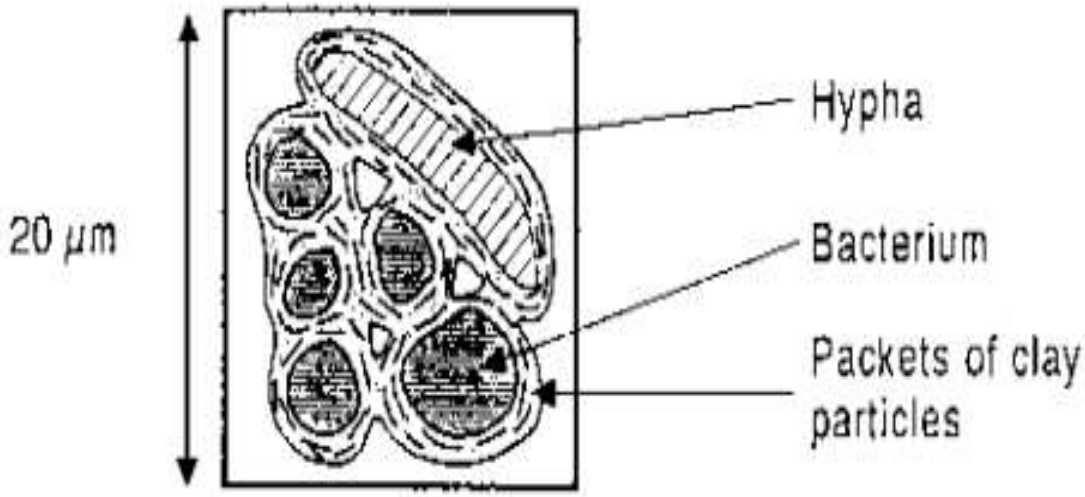
عمليات تحرير النتروجين والكربون في المراحل الاولى من تجوية مادة الام تكون ضعيفة لذلك فان المحتل الاول لاجزاء مادة الام هو الاحياء المجهرية التي تعمل على تثبيت النتروجين في التربة . ومن هذه الاحياء السيانوبكتريا cyanobacteria والطحالب الخضراء المزرقة bluegreen algae



شكل (3) : التداخل بين الاحياء المجهرية والمادة العضوية ومادة الام لتطوير التربة

جذور النبات تنمو في التربة الى اعماق معينة ويرافقها نمو الاحياء المجهرية الى ذلك العمق مما يؤدي الى تحلل المخلفات العضوية وتكوين الدبال humus، عند وجود الغطاء النباتي فان تداخلات الاحياء المجهرية والخلايا الميتة والمادة العضوية ودقائق التربة تؤدي الى تكوين clay organic matter complex.

تلعب الفطريات دورا مهما في ربط دقائق التربة مع بعضها البعض مكونة تجمعات جيدة للتربة soil aggregates الشكل (4) .تعمل الفطريات ايضا على ربط دقائق النربة والمادة العضوية معا مكونة تجمعات تسمى التجمعات الصغيرة microaggregates اصغر من 250 مايكرون) ، تقوم الفطريات بانتاج glycoprotein glomalin لها القابلية على ربط دقائق التربة وتقليل احتمال تدمير تجمعات التربة خلال فترات الترطيب والتجفيف .



شكل (4) : دور الفطريات والبكتريا في تكوين تجمعات التربة

التحولات الحيوية للفسفور
Microbiological Transformation of phosphorus

دورة الفسفور في التربة The phosphorus cycle

إن دورة الفسفور في التربة على غاية من الأهمية بالنسبة للنبات وأحياء التربة المجهرية ، وان جزء مهم من هذه الدورة يمكن أن يمثل بالتوازن الأتي :

فسفور محلول التربة P ⟷ فسفور معدني P_i ⟷ فسفور عضوي P_O

سرعة عالية

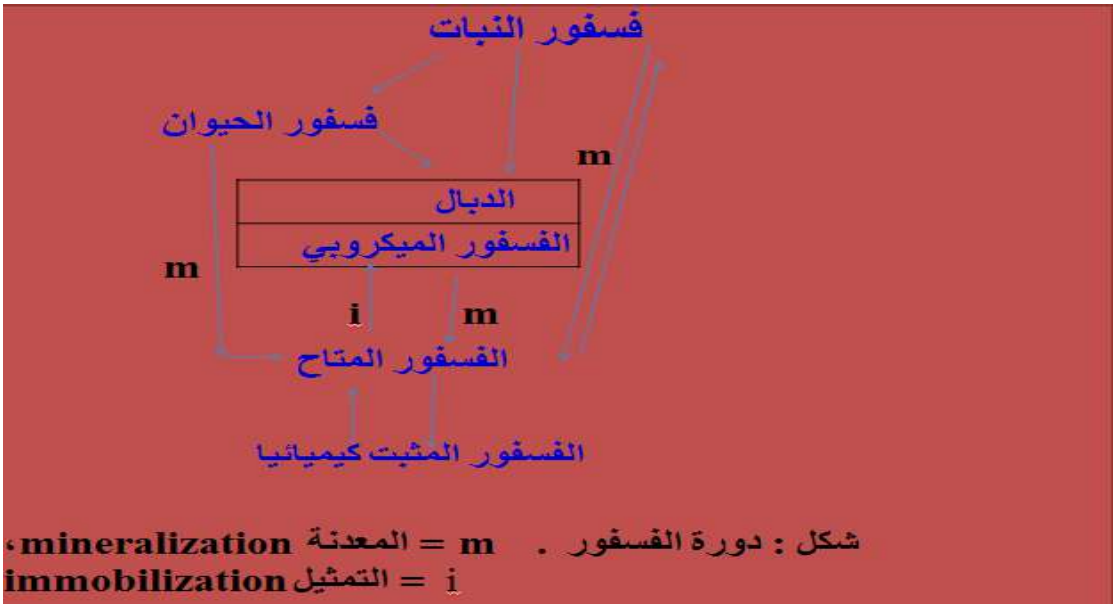
يجدد فسفور محلول التربة من خلال الإذابة السريعة للفسفور المعدني P_i لسد متطلبات النباتات والأحياء المجهرية الموجودة في التربة ، إلا انه في النظام البيئي الطبيعي (عدم وجود نشاط للزراعة) وعندما يكون الفسفور المعدني قليل جدا وان مكونات دورة الفسفور متقاربة من بعضها فان اغلب الفسفور والذي يمتص من قبل النباتات يجهز من دورة الفسفور عند تحلل البقايا النباتية من خلال نشاط أحياء التربة المجهرية .

إما في الأنظمة الزراعية (وجود نشاط بشري كثيف في الزراعة) فان دورة الفسفور تكون مفتوحة لان الفسفور يتعرض وباستمرار لعمليات فقد من خلال إنتاج المحاصيل الزراعية والجريان السطحي وعمليات التعرية وبذلك تنشا الحاجة لإضافة الأسمدة الفوسفاتية المختلفة لسد هذا المفقود من الفسفور وكذلك للوصول بالإنتاج الزراعي الى أعلى من الحدود الطبيعية .

ان مشاركة المخلفات النباتية والحيوانية ودور الأحياء المجهرية يكون كبيرا في تجهيز الطاقة اللازمة لديمومة واستمرارية المحافظة على دورات العناصر ومنها عنصر الفسفور ثم عودة دخوله الى الدورة من خلال عملية معدنة الفسفور mineralization .

إن حالة التنافس على الكمية القليلة من فسفور محلول التربة سوف تكون شديدة في منطقة نشاطها العظمى الـ Rhizispher خاصة عندما تكون المواد من إفرازات الجذورexduate وخلايا الجذور المنسلخة sloughed-off root cells والأنسجة الميتة Debris والمادة الهلامية mucigels قليلة ومحدودة مع تواجد أعداد كبيرة ونشطة من الأحياء المجهرية .

إن فسفور التربة وضمن دورته يظهر بأنواع مختلفة لاحظ الشكل التالي منها الفسفور المعدني ومنها الفسفور **العضوي .**



شكل : دورة الفسفور . m = المعدنة mineralization ، i = التمثيل immobilization

إن الفسفور المعدني يوجد بالدرجة الأساسية متحدا مع اكاسيد وهيدروكسيدات الألمنيوم والحديد أو معادن الطين أو مع الكربونات الصلبة ، وكذلك يوجد في المادة العضوية بكميات قليلة على هيئة بايروفوسفات pyrophosphatesأو بولي فوسفيت polyphosphate خاصة المواد العضوية من الأصل الميكروبي .

إن الفسفور العضوي من الأصل النباتي Inositol hexakis و pentakis phosphates وهذين يشكلان 60% من الفسفور العضوي في التربة مع ظهور كميات صغيرة من phospholipidsو nucleotides وآثار قليلة من glycerophosphate و phosphonates .

تعتبر أهمية الفسفور للنباتات الراقية في المرتبة الثانية بعد عنصر النتروجين ، وان اغلب الفسفور في التربة يوجد بحالة غير متيسرة لامتصاصه من قبل النباتات ، وان نسبة الفسفور العضوي في الأنواع النباتية المختلفة تختلف من محصول إلى آخر ، وعموما فانه يتراوح بين(0.05– 0.5%)وتكون هذه الكمية بأشكال عضوية مختلفة منها الأحماض العضوية ، فوسفولبيدات ، سكريات فوسفاتية، أنزيمات مساعدة وحامض الفايتيك Phytic acid .

إما في الخلايا البكتيرية فتحتوي على نسب مختلفة من المركبات العضوية الفسفورية ويشكل الحامض النووي RNA من ثلث إلى نصف الفسفور العضوي ، وحوالي ربع الفسفور العضوي يكون على شكل اورثوفوسفات ، وسكريات فوسفاتية وأنزيمات مساعدة وتشكل الفوسفوليبيدات اقل من 10% والحامض النووي DNA من 2– 10% .

تزداد أعداد أحياء التربة المذيبة للفسفور في منطقة الرايزوسفير وان نسبتها (10–15%) و (20–40%) من مجموع الأحياء المجهرية في التربة الغير رايزوسفيرية والتربة الرايزوسفيرية على التوالي، وأشار احد الباحثين إلى إن 25% من أحياء التربة لها المقدرة على إذابة المركبات الفوسفاتية .

إن الأحياء المجهرية تزيد من جاهزية الفسفور إما بصورة مباشر من خلال إذابة الفسفور وتسمى الأحياء المذيبة للفوسفات (PSM Phosphate solubilizing Microorganisms)

أو بصورة غير مباشر من خلال البكتريا المشجعة لنمو النبـــات (PGPR) plant growth promoting rizobacteria والتي لها دور في إفراز منظمات النمو والمركبات الخالبة للحديد (السايدروفورات sidrophores) وبالتالي تشجع من نمو الجذور والشعيرات الجذرية .

تشكل البكتريا المذيبة للفسفور (PSB) من 1 إلى 50% من بين أحياء التربة بينما الفطريات المذيبة للفسفور (PSF) تشكل فقط 0.1 إلى 0.5% . ومن الأجناس البكتيرية والتي يتراوح عددها بين 10^5 – 10^7 لكل غرام تربة جافة تتمثل :

(*Micrococcus , Flavobacterium , Bacillus , Psudomonase , Mycobacterium*)

وهناك قسم من الأجناس الفطرية تتمثل في :(*Sclerotium , Fusarium , Penicillium , Aspergillus*) لأحياء التربة المجهرية دور كبير في تحولات الفسفور وهذه التحولات تشمل :

- إذابة الفسفور اللاعضوي
- معدنة الفسفور العضوي
- تحويل الفسفور اللاعضوي إلى كتلة بروتوبلازم(تمثيل)
- تفاعلات الأكسدة والاختزال .

دور الأحياء المجهرية في تحولات الفسفور

1- اذابة الصخور والمعادن الفوسفاتية : تم تشخيص عدد كبير من بكتريا التربة والفطريات التي لها القابلية على اذابة الصخور الفوسفاتية غير الذائبة كالفلور اباتايت او الكلور اباتايت او الهيدروكسي اباتايت وتركيبها الكيمياوي $Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2(CL_2 , F_2)$ وتحرير الفسفور منها بشكل جاهز للنبات ،

كذلك تحول مركبات فوسفات الكالسيوم او المغنيسيوم او الحديد او الالمنيوم غير الذائبة الى الصورة الذائبة .

إن العديد من فطريات وبكتريا التربة تستطيع إذابة الفسفور غير العضوي إلى أشكال قابلة للذوبان من خلال عمليات التحميض، الخلب، وإنتاج الأحماض العضوية حيث تقوم هذه الكائنات الحية المذيبة للفسفور بإفراز كميات كبيرة من الأحماض العضوي قليلة الوزن الجزئي مثل الاوكساليك و الفيوماريك و الكلوكونيك و السكسنيك و الستيريك .

إن بكتريا الـ *Pseudomonas* spp وبكتريا الـ*Bacillus* spp تعد الأكثر شيوعاً في إذابة الفسفور المعدني ، و من أكثر الفطريات المذيبة للفسفور في المنطقة الجذرية بالدرجة الأولى الجنسان *Penecillium* spp و*Aspergillus* spp، فقد لوحظ عدد من الباحثين أن الفطريات أكفأ من بقية مجاميع أحياء التربة الدقيقة في إذابة المركبات الفوسفاتية المختلفة ،حيث إن كفاءة الفطريات هي (10) أضعاف كفاءة البكتريا في إذابة كل من الفوسفات المترسبة حديثاً وكذلك صخر الفوسفات.

بالإمكان تقسيم آليات إذابة الصخور والمعادن الفوسفاتية اعتمادا على وفرة الأوكسجين :

1- تحت الظروف الهوائية تتأكسد الامونيا او الكبريت إلى حامض النتريك او حامض الكبريتيك بواسطة أحياء التربة المجهرية وإن هذه الأحماض المتكونة بالإضافة إلى حامض الكربونيك بامكانها إذابة فوسفات الكالسيوم الثلاثية إلى ثنائية بعدها إلى فوسفات أحادية الكالسيوم وانطلاق الفوسفات بشكل جاهز قابل للامتصاص من قبل المحاصيل الزراعية المختلفة .

2- تحت الظروف اللاهوائية هناك ثلاث آليات تعمل معا أو منفردة :

أ- تكون أحماض عضوية على سبيل المثال (الفورمك ، والاسيتيك ، واللاكتيك) وهذه تعمل على إذابة معادن الفوسفات .

ب- اختزال ألحديديك الموجود في تركيب فوسفات ألحديديك إلى حديدوز مع تحرير الفوسفات .

جـ- اختزال الكبريتات إلى كبريتيد الهيدروجين وتفاعله مع فوسفات ألحديديك إلى كبريتيد الحديدوز مع تحرير الفوسفات .

2- معدنة الفسفور العضوي :

لوحظ إن لأجناس أحياء التربة القدرة في تعدين الفسفور mineralization العضوي إلى الشكل الذائب وذلك بفعل انزيمي enzymatic activity ، حيث إن معدنة معظم مركبات الفوسفور العضوية تتم بواسطة إنزيمات الفوسفاتيز التي يزداد نشاطها في التربة و المصدر الرئيسي لنشاط إنزيم الفوسفاتيز في التربة يكون من أصل ميكروبي الذي يزداد نشاطه بشكل كبير في منطقة الرايزوسفير مما يؤدي إلى زيادة الفسفور الذائب .

3-المعدنة والتمثيل

كما ذكرنا سابقا إن الأحياء المجهرية واحتياجاتها من العناصر الغذائية هي العامل الرئيس المتحكم بعملية المعدنة والتمثيل ، تم التعرف على نسبة الكربون إلى الفسفور في أجسام الأحياء المجهرية (C: P ratio).

ان هذه النسبة في مايسيليوم الفطريات كمعدل تتراوح بين 50 -100 :1 ، وفي خلايا البكتريا والاكتينومايسيتات تتراوح بين 150 -300 :1 .ويمكن تحديد الحدود التقريبية لما تحتويه المخلفات العضوية من فسفور كحد فاصل بين المعدنة والتمثيل من خلال حسابات بسيطة . (اقل من 1:200 فهي معدنة ، وأكثر من 1:300 فهي تمثيل لفسفور التربة) .

مثال :

أضيف مسحوق التبن بنسبة 1% إلى دونم من التربة وترك ليتحلل في ظروف ملائمة مدة شهرين ،ما هو تأثير ذلك في فسفور التربة إذا علمت ان نسبة الكربون في مسحوق التبن 40% ونسبة الفسفور فيه 0.1 % وان 60 %من مسحوق التبن قد تتحلل خلال هذه المدة .افرض ان التحلل كله بواسطة الفطريات التي تمثل 35 % وان نسبة الكربون إلى الفسفور فيها 100 : 1 .

$$\frac{1}{100} \times 500\,000 = 5000 \text{ Kg} \quad \text{Straw / Donum} \quad \text{التبن مسحوق بالدونم}$$

$$\frac{40}{100} \times 5000 = 2000 \text{ Kg} \quad \text{C / D}$$

$$\frac{0.1}{100} \times 5000 = 5 \text{ Kg P / D}$$

$$\frac{60}{100} \times 2000 = 1200 \text{ Kg C / D} \quad \text{متحلل}$$

$$\frac{60}{100} \times 5 = 3 \text{ Kg P/ D} \quad \text{متحلل}$$

$$\frac{35}{100} \times 1200 = 420 \text{ Kg C / D} \quad \text{ممثل من للفطريات}$$

$$\frac{420}{100} = 4.2 \text{ Kg P/ D} \quad \text{ممثل للفطريات}$$

$4.2 - 3 = 1.2$ Kg P /D النقص

Immobilization من فسفور التربة فالعملية كغم فسفور يؤخذ 1.2النقص

4- تفاعلات الأكسدة والاختزال

من الممكن ان يوجد الفسفور المعدني في التربة بإشكال متأكسدة ،مثل ايون الفوسفين Phosphine (PH3) وايون الاورثوفوسفيت Orthophosphate (H3PO4).

يتأكسد حيويا الاورثوفوسفايت Orthophosphtie المضاف إلى التربة إلى مركب الاورثوفوسفيت HPO4 HPO3 Orthophosphate

تتم بفعل عدد من الأجناس منها *Pseudomonas ,Aerobacter ,Aspergillus ,Penicillium*

ويتأكسد الهايبوفوسفايت HPO2 بفعل الإحياء المجهرية العضوية التغذية إلى اورثوفوسفيت .

أما في الظروف اللاهوائية فيحدث اختزال وبوجود مصدر للطاقة كالمانيتول ، مثلا يختزل الاورثوفوسفيت الى فوسفايت ثم الى هايبوفوسفايت .

التحولات الحيوية للكبريت Biological Transformations of sulfur

يعد الكبريت عنصرا اساسيا ومهما في عملية نمو النبات ، اذ ان النباتات تحتاج الى عنصر الكبريت لتركيب بعض الحوامض الامينية وبعض الفيتامينات والانزيمات المرافقة Coenzymes . ويشترك الكبريت والنتروجين في تركيب البروتينات ، ويوجد الكبريت في التربة بالحالة :

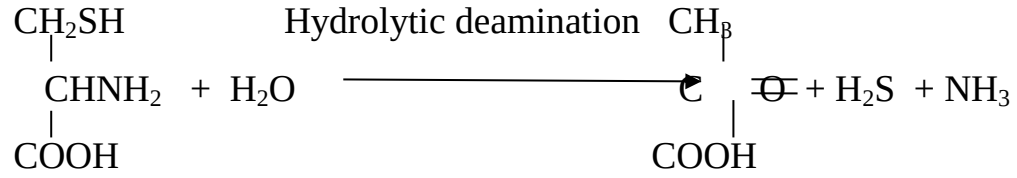
1- العضوية اللاعضوية .
2- حالة تاكسدية واختزالية .

وفي اشكال صلبة وسائلة وغازية ، ووجوده في التربة من ناحية الكمية يعتمد على عدة عوامل منها المناخ ونوع التربة وعمقها وغيرها .

ان من اهم مصادر الكبريت في التربة يرجع الى بقايا النباتات والحيوانات والاسمدة الكيميائية والامطار وبعض المواد الاصلية Parent material مثل كبريتات الكالسيوم (Gypsum) $CaSo_4.2H_2O$ والبيرايت (Pyrite) FeS_2 .

هناك بعض التغييرات الكيميائية الحيوية التي يحتمل ان تحصل للمركبات الكبريتية بواسطة الكائنات المجهرية وتكون كالاتي :

أ- ان الكبريتات (SO_4^{-2}) تمثل من النباتات وتدخل في تركيب البروتينات ، وعند تحلل البروتينات Proteolysis يحرر الاحماض الامينية من ضمنها Cysteine , Cystine , Methionine بواسطة النشاط الانزيمي للعديد من البكتريا غير ذاتية التغذية Heterotrophic وتحلل بعض الاحماض الامينية السلفاتية (الكبريت العضوي يكون بشكل احماض امينية) كالسستين Cysteine ينتج عنه تكون Pyruvic acid وامونيا وكبريتيد الهيدروجين H_2S بعملية Hydrolytic deamination



Cysteine Pyruvic acid

ب- كبريتيد الهيدروجين يتاكسد بواسطة بكتريا *Thiobacillus thiooxidans* الى H_2SO_4

Thiobacillus thiooxidans

$$H_2S + O_2 \longrightarrow H_2SO_4 + \text{energy} \longrightarrow 6CO_2 + 6H_2O$$

$C_6H_2O_6$ اذن البكتريا هي Chemoautotrophic

جـ - ان الكبريت بشكله العنصري (S) لا يمكن ان تمثله النباتات او الحيوانات ، فعند اضافته للتربة بشكل (S)بقصد تخفيض الـ pHخصوصا للترب القاعدية يتاكسد الى H_2SO_4 بفعل بكتريا *Thiobacillus thiooxidans*

$$2\ S + 2\ H_2O + 3\ O_2 \longrightarrow 2\ H_2SO_4 + \text{energy}$$

تمثيل الكبريتات Sulfate assimilation

النبات والاحياء المجهرية تمتص الكبريت بشكل كبريتات SO_4^{-2} وهذا داخل النبات او الاحياء المجهرية يجب ان يختزل الى H_2S سواء تحت الظروف الهوائية او اللاهوائية ومن ثم الى احماض امينية وبرتينات .

تنفس الكبريتات Sulfate respiration

تحت الظروف اللاهوائية يمكن لبعض البكتريا (*Desulfovibrio desulforican*) ان تستعمل الكبريتات كمستقبل للاكترونات بدلا من الاوكسجين ، اذ تختزل الى H_2S .

التحولات الحيوية للحديد

Microbiological Transformation of Iron

للأحياء المجهرية الموجودة في التربة دور مهم في تحولات الحديد وفي معظم الأحيان تعد العامل المحدد لتجهيز هذا العنصر أو عدم تجهيزه للنبات .

1- اكسدة الحديد Iron oxidation

من الممكن لبعض البكتريا ان تؤكسد الحديدوز Fe^{+2} الذي يضاف احيانا للتربة بشكل $FeSO_4$ الى حديديك Fe^{+3} بشكل $Fe(OH)_3$ الذي يكون راسب احمر وبالتالي لهذه البكتريا سوف تقوم بتحويل عنصر الحديد من الشكل الجاهز للنبات الى الشكل الغير جاهز بقصد الاستفادة من الطاقة البكتريا هي :

Ferrobacillus *Ferroxidans* *Thiobacillus*

$$Fe^{+2} \longrightarrow Fe^{+3} + \text{energy}$$

$FeSO_4$ $Fe(OH)_3$

2- اختزال الحديد Iron reduction

في الظروف الهوائية يكون معظم حديد التربة في أعلى حالة من التأكسد Fe^{+++} وقليل جدا في حالة Fe^{++} وعلى العكس من ذلك يحدث عندما تكون التربة غدقة ظروف لا هوائية) . هناك بكتريا اخرى تستعمل الحديديك Fe^{+++} كمستقبل للاكترونات بدلا من الاوكسجين في عملية التنفس حيث تختزل الى الشكل الجاهز للنبات Fe^{++} .

مشاكل اكسدة واختزال الحديد والمنغنيز في ترب ملحية مستصلحة حديثا .

غسل التربة بالماء يخلق ظروف غدقة فالحديد والمنغنيز في هذه الظروف يختزلان الى Mn^{++} Fe^{++} ويكونان جاهزين للنبات ، وعندما تتحرك الاملاح والماء الى الاسفل داخل التربة يتحرك معهم Mn , Fe الى ان تصل الى الانابيب الفخارية المستعملة في البزل التي تتميز بظروف هوائية فتؤدي الى تاكسدهما الى Fe^{+++} , Mn^{++++} بشكل ترسبات من الـ Fe_2O_3 الحمراء والـ MnO_2 السوداء مما تؤدي الى انسداد الانابيب .

3- تحلل مركبات الحديد العضوية

يكون الحديد مع المركبات العضوية مركبات بسيطة او معقدة او مخلبية احيانا ، ان هذه المعقدات تكون عرضة للتحلل من احياء التربة المجهرية وبالنتيجة ترسب الحديد الداخل في تركيبها على شكل املاح الحديديك غير الذائبة . فالبكتريا تستعمل السترات الموجودة في وسط غذائي مصدرا للكربون والطاقة تاركة الحديد على شكل ترسبات من هيدروكسيد الحديديك .

وبالطريقة نفسها يترسب الحديد الداخل في املاح مع كل من malate , acetate , lactate , oxalate والبكتريا التي تقوم بعملية التحلل تضم الاجناس : *Corynebacterium* , *Mycobacterium , Klebsiella , Acinetobacter , Serratia , Pseudomonas , Bacillus* .

التحولات الحيوية للنتروجين Biological Transformation of Nitrogen
دورة النيتروجين في الطبيعة Nitrogen Cycle

يعد النيتروجين أكثر العناصر الغذائية عرضة للتحولات المايكروبية ويدخل مكونا رئيسا في بناء البروتين ، فهو احد المكونات الأساسية لبروتوبلازم النباتات والحيوانات والأحياء المجهرية ، وبما ان النيتروجين معرض للفقدان إما عن طريق : ا- الغسل Leaching ب- التطاير . لذا يجب المحافظة عليه بالطرق التي تقلل فقدانه .

أكثر النيتروجين في الطبيعة يوجد على هيئة غاز حوالي (80 %) ومعظمه في التربة يوجد على هيئة مركبات عضوية مثل البروتين(يحوي على 16 % نتروجين) والأحماض النووية والسكريات الامينية واليوريا وغيرها وهذه المواد غير قابلة للامتصاص من قبل النبات إلا عند تحويلها إلى مركبات نتروجينية لاعضوية (معدنية) فيحولها النبات بدوره الى مركبات عضوية كالأحماض الامينية والنووية التي تعتبر مركبات أساسية لمكونات الخلية .

دورة النيتروجين في الطبيعة Nitrogen Cycle

عنصر النتروجين المحيط بالأرض يخضع لدورة موضحة في الشكل التالي وهذه الدورة ذات مراحل ومكونات مختلفة ولكن اغلب الأجزاء في هذه الدورة تتبع طريقين رئيسيين:

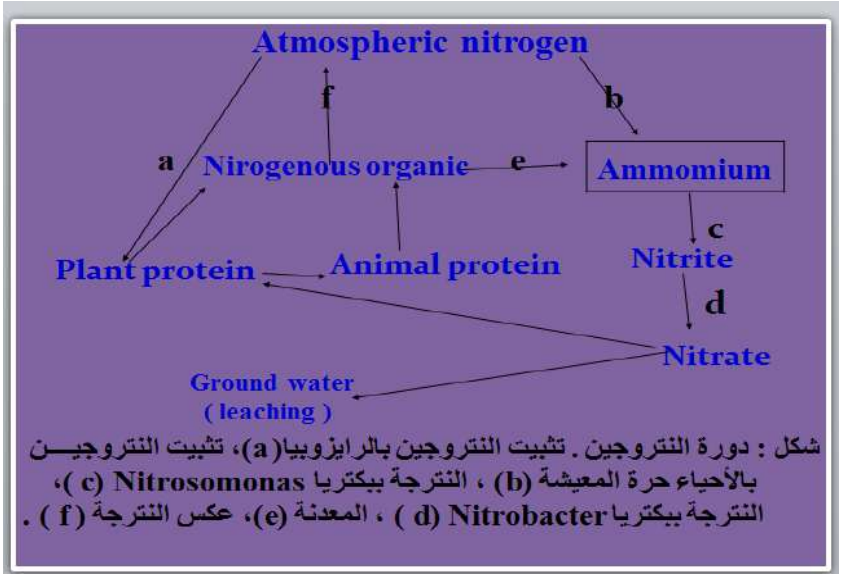
الأول : يتضمن تبادل غاز النتروجين ما بين التربة والمحيط الخارجي وذلك من خلال فقد النتروجين عبر عملية التطاير Volatization ثم عودته إلى التربة عبر عملية التثبيت Fixation

إن تثبيت النتروجين يحدث بفعل تفاعلات حيوية في التربة منها النوع ألتعايشي ومنها النوع غير ألتعايشي مع أحياء التربة بلاضافة إلى كمية مثبتة في الجو تعود إلى التربة مع الأمطار لها من خلال البرق والرعد .

والطريق الثاني : يظهر في دورة النتروجين متمثلا في تحولات كيمياوية حيوية Biochemical transformation والذي بها يتحول النتروجين غير العضوي إلى نتروجين عضوي داخل في بناء أجسام النباتات والحيوانات والأحياء المجهرية في التربة ثم عودته إلى الدورة بهيئة نتروجين غير عضوي من خلال عملية المعدنة Mineralization وعملية النترجة Nitrification .

وعند اعتماد أساس قاعدة الأمد الطويل لابد من القول بأنه لا النتروجين غير العضوي ولا النتروجين الخاضع للتبادل ما بين التربة ومحيطها الخارجي ذو تأثير معنوي كبير على معدل مستويات النتروجين الكلي في التربة . وان أهم مؤثر على مستوى النتروجين الكلي في التربة هو مقدار إزالة عنصر النتروجين من خلال عمليات الفقد بواسطة الغسل أو التعرية أو عمليات حصاد المنتوجات النباتية (ثمار وحبوب) .

إن المفقود من هذا العنصر ضمن دورته يعاد إليها عن طريق إضافة الأسمدة النتروجينية أو اعتماد تقنيات إحيائية من شانها تعزيز المخزون منه لسد احتياجات النباتات .



شكل : دورة النتروجين . تثبيت النتروجين بالرايزوبيا(a)، تثبيت النتروجين بالأحياء حرة المعيشة (b) ، النترجة ببكتريا Nitrosomonas (c)، النترجة ببكتريا Nitrobacter (d) ، المعدنة (e)، عكس النترجة (f) .

إن أحياء التربة تلعب دورا هاما في تحديد جاهزية النتروجين وتعتبر عمليات تثبيت النتروجين ألتعايشي بفعل بكتريا العقد الجذرية Rhizobiوكذلك تثبيت النتروجين غير ألتعايشي بفعل أحياء التربة حرة المعيشة Free-living soil organism المصادر الممولة للنتروجين في التربة ما عدا النتروجين الذي يضاف إلى التربة على شكل أسمدة نتروجينية مختلفة .

دورة النتروجين

ان أهم عمليات تحول صور النتروجين خلال الدورة هي :

المعدنة والتمثيل Mineralization and Immobilization :

المعدنة Mineralization : هي عملية تحويل العنصر من صورته العضوية الى الصورة اللاعضوية (المعدنية) كالامونيا والنترات ، وتتم هذه العملية بواسطة احياء متباينة التغذية Hetrotrophic . **أما التمثيل Immobilization** فهو عكس المعدنة ، أي تحويل العنصر من صورته المعدنية (كالامونيا والنترات) الى الصورة العضوية (تكوين مكونات بروتوبلازم الخلايا المعقدة) ويطلق عليها أحيانا (تثبيت المغذيات) .ان استمرار عمليتي معدنة المواد العضوية النتروجينية وتمثيل النتروجين اللاعضوي بواسطة الكائنات الحية الدقيقة تحدث في وقت واحد .

أهمية العمليتين في التربة : تحدد كمية N الجاهز للنبات خلال مدة معينة من الزمن .

Organic N ⟶ Inorganic (N)

Organic C ⟶ Inorganic (C)

Organic P ⟶ Inorganic (P)

الأحياء المجهرية بحاجة إلى النتروجين والكربون والفسفور والكبريت..... الخ لبناء أجسامها ، فالبكتريا مثلا بحاجة الى وحدة واحدة من النتروجين لكل خمس وحدات من الكربون الممثل ، أي ان نسبة الكربون الى

النتروجين (C:N ratio) في اجسام البكتريا هي 1 : 5 ، اما الفطريات فهي بحاجة الى وحدة واحدة نتروجين لكل عشرة وحدات من الكربون الممثل ، اي ان نسبة النتروجين في اجسامها هي 1 :10 .

ان النتروجين المعدني المتكون نتيجة المعدنة تستغله النباتات والأحياء المجهرية وقسم منه يفقد خلال عملية الغسل على هيئة نترات ، او يفقد بعملية اختزال النترات على هيئة N_2 , N_2O , NH_3 ، ولهذا فالنتروجين المعدني المتبقي في التربة هو عبارة عن كمية النتروجين المتكون من عملية المعدنة مطروحا منه النتروجين الذي تستعمله النباتات والأحياء المجهرية والذي يفقد بالغسل وعملية اختزال النترات كما في المعادلة التالية :

$$Ni = Nm - \left[Na + Np + Ni + Nd \right]$$

حيث إن :

Ni = كمية النتروجين المعدني

Nm = النتروجين العضوي التي تمت معدنته

Na = النتروجين الممثل بواسطة الأحياء المجهرية

Np = النتروجين الممثل بواسطة النباتات

Ni = النتروجين المفقود بواسطة الغسل

Nd = النتروجين المفقود بواسطة عملية اختزال النترات

تحلل اليوريا

تصل اليوريا الى التربة اما عن طريق استعمال الاسمدة الكيميائية (باعتبارها سمادا كيميائيا تحوي على 46% نتروجين او بصورة غير مباشرة كاستعمال بعض الاسمدة التي عند تحللها تكون اليوريا مثل سيانامايد الكالسيوم) او قد تصل الى التربة عن طريق افرازات الحيوانات .

تتحلل اليوريا بسهولة عند اضافتها للتربة ، اذ يتحول جزء كبير من نيتروجينها الى امونيا خلال ايام قليلة ، كما ان الـ pH يرتفع في الترب المضافة لها اليوريا وقد تصل الى (8–9) ، ولهذا السبب يكون الناتج النهائي لتحلل اليوريا هو غاز الامونيا (NH_3) ، وان احتمال فقدان وتطاير هذا الغاز في الجو قد يصل من (10 – 70 %)من نتروجين اليوريا المضافة . لذلك استعمل سماد اليوريا المغلف بالكبريت Sulfur Coated urea للتقليل من كمية النتروجين التي تفقد بالتطاير .

هناك عوامل عديدة تؤثر في تحلل اليوريا منها درجة الحرارة ، إذ إن تحلل اليوريا يكون نشطا بارتفاع درجات الحرارة ،والرطوبة وتوفر الأوكسجين والـ pH . كما إن العديد من الميكروبات لها القدرة على إفراز أنزيم اليوريز Urease الذي يساعد على تحلل اليوريا مائيا ، وان هذا الأنزيم موجود بصورة دائمية في بعض الأنواع من الكائنات الحية ، يحفز الأنزيم في بعض الأنواع الأخرى بعد إضافة اليوريا . وتتحلل اليوريا مائيا وفق المعادلة التالية :

$$CO(NH_2)_2 + H_2O \xrightarrow{\text{Urease}} H_2COONH_4 \rightarrow 2\,NH_3 + CO_2$$ Ammonium carbamate

ومن أكثر الأجناس الميكروبية قدرة على تحلل اليوريا هي :

Klebsiella , *Pseudomonas* , *Proteus* , *Micrococcus* , *Bacillus* , *Clostridium* , *Corynebacterium* .

عملية النشدرة Ammonification

هي عملية تحلل اليوريا والبروتين والأحماض الامينية وتكوين الامونيا NH_3 .تقوم بها أحياء التربة المجهرية المتباينة التغذية ، مثل بكتريا *Bacillus* , *Nocardia* , *Clostridum* , *Pseudomonas* , *Proteus* ومن الفطريات فطر *Penicillium* .

العوامل المؤثرة على عملية النشدرة

1- نسبة الكربون إلى النتروجين (C:N ratio) في المادة العضوية : كلما تكون النسبة عالية (المواد الفقيرة بعنصر النتروجين) كلما كانت عملية النشدرة أبطا ، لان النتروجين لا يفي بحاجة الميكروبات نفسها ، على العكس من المواد الغنية بالنتروجين كالبقوليات فان النشدرة تكون أسرع
2- توفر مصدر طاقة وكربون سهلة التحلل في التربة : مثلا سكر الكلوكوز يثبط النشدرة لان الميكروبات تتجه الى تحليله لسهولة تحلله .
3- الرطوبة والتهوية : الرطوبة المناسبة بالترية تقع بين 50 – 70 % ، وتوفر ظروف تهوية .
4- الـ pH : وسط التربة المتعادل pH = 7 هو المفضل لعملية النشدرة .
5- حرارة التربة : عملية النشدرة تحدث في مدى واسع من الحرارة من (2– 30 م^0) و أحيانا 40 م^0

تأثير الـ C:N ratio على عملية المعدنة والتمثيل

ان العامل الرئيسي الذي يحدد فيما إذا كان مخلف عضوي معين يحوي على نتروجين كاف لحاجة الأحياء المجهرية او اقل من حاجتها او اكثر هي نسبة الكربون الى النتروجين في ذلك المخلف العضوي .

إذا كانت هذه النسبة اقل من 1 : 16 فيعني ان كمية النتروجين الموجودة في المخلف العضوي هي أكثر من حاجة الأحياء المجهرية ، وبذلك فان قسما من نتروجين المخلف العضوي سوف يضاف إلى التربة بصورة آمونيا في المراحل الاولى من التحلل (**Mineralization**) ، اما اذا كانت النسبة اكبر من 1 :16 وهذا يعني ان الاحياء الجهرية سوف تاخذ نتروجين المخلف العضوي ، وبما انه لا يكفي لسد حاجتها فسوف تعوض النقص من النتروجين الجاهز في التربة أي (**Immobilization**) أي تمثيل لجزء من نتروجين التربة في المراحل الاولى من التحلل .

نأخذ بعض الأمثلة التي توضح ذلك :

مثال1

لنفرض أضيف مسحوق ألجت إلى التربة بنسبة 1% وترك ليتحلل تحت ظروف ملائمة مدة شهرين ، المطلوب حساب كمية نيتروجين بالدونم التي سوف تضاف أو تؤخذ من التربة ؟ علما إن نسبة الكربون في مسحوق ألجت هي 40% ونسبة النيتروجين فيه 3% وانه 70% من مسحوق ألجت سوف تتحلل خلال هذه المدة . افرض إن التحلل كان تاما بواسطة فطريات التربة التي تمثل 35% ونسبة الكربون إلى النتروجين فيها 1 : 10 .

الحل :

وزن الدونم بحدود 500 000 كغم على عمق 15 سم .

$$\frac{1}{100} \times 500\,000 = 5000 \text{ Kg / Donum}$$ مسحوق ألجت بالدونم

$$\frac{40}{100} \times 5000 = 2000 \text{ Kg C / D}$$

$$\frac{3}{100} \times 5000 = 150 \text{ Kg N / D}$$

$$\frac{70}{100} \times 2000 = 1400 \text{ Kg C / D}$$ متحلل

$$\frac{70}{100} \times 150 = 105 \text{ Kg N / D}$$ متحلل

$$\frac{35}{100} \times 1400 = 490 \text{ Kg C / D}$$ Biomass (الكتلة الحيوية الفطرية)

بما ان نسبة الكربون الى النتروجين في الفطريات 1 : 10 أي إن الفطريات لو تأخذ 100 كربون تاخذ مقابلها 10 نتروجين .

$$\frac{490}{10} = 49 \text{ Kg N / D}$$ Biomass (الكتلة الحيوية الفطرية)

$$105 - 49 = 56 \text{ Kg N / D}$$

أي إن مسحوق ألجت المضاف الى التربة يضيف 56 كغم / دونم نتروجين معدني يضاف الى التربة في الدورة الأولى إذا العملية **Mineralization** .

ماذا يحدث بالدورة الثانية

نفرض إن 80 % من الفطريات سوف تموت بسبب قلة مصدر الكربون .

$$\frac{80}{100} \times 490 = 392 \text{ Kg C / D}$$ تطرح للتربة وتكون جاهزة للتحلل بواسطة فطريات أخرى

$$\frac{80}{100} \times 49 = 39.2 \text{ Kg N / D}$$ يطرح للتربة

$$\frac{35}{100} \times 392 = 136 \text{ Kg C / D}$$ Biomass للفطريات الجديدة

$$\frac{136}{10} = 13.6 \text{ Kg N / D}$$ Biomass للفطريات الجديدة

39.2 – 13.6 = 25 Kg N تطرح للتربة كنتروجين معدني في الدورة الثانية
والتي مدتها تختلف حسب ظروف التربة فقد تصل إلى شهر أو شهرين أو أكثر .
56 + 25 = 81 Kg N
أضيف للتربة خلال الدورتين

مثال 2 : نفس السؤال السابق لو كان التحلل كليا بواسطة البكتريا التي تمثل كمعدل 17 % علما بان **الـ C:N ratio** للبكتريا هي 1 : 5 .

الحل :

$$\frac{1}{100} \times 500\,000 = 5000 \text{ Kg / D}$$ مسحوق ألجت بالدونم

$$\frac{40}{100} \times 5000 = 2000 \text{ Kg C / D}$$

$$\frac{3}{100} \times 5000 = 150 \text{ Kg N / D}$$

$$\frac{70}{100} \times 2000 = 1400 \text{ Kg C / D}$$ متحلل

$$\frac{70}{100} \times 150 = 105 \text{ Kg N / D}$$ متحلل

$$\frac{17}{100} \times 1400 = 238 \text{ Kg C / D} \quad \text{Biomass}$$

$$\frac{238}{5} = 47.6 \text{ Kg N / D} \quad \text{Biomass}$$

105 – 47.6 = 57.4 Kg N / D أضيفت الى التربة

نفرض إن 80 % من الفطريات سوف تموت بسبب قلة مصدر الكربون .

$$\frac{80}{100} \times 238 = 190.4 \text{ Kg C / D}$$ تطرح للتربة وتكون جاهزة للتحلل بواسطة البكتريا أخرى

$$\frac{80}{100} \times 47.6 = 59.6 \text{ Kg N / D}$$ يطرح للتربة

$$\frac{17}{100} \times 190.4 = 32.3 \text{ Kg C / D} \quad \text{Biomass}$$

$$\frac{32.3}{5} = 6.46 \text{ Kg N / D} \quad \text{Biomass}$$

59.6 – 6.46 =53.14 Kg N تطرح للتربة كنتروجين معدني في الدورة الثانية

57.4 + 53.14 =110.54 Kg N أضيف للتربة خلال الدورتين

مثال 3 : لو أضيف مسحوق تبن بنسبة 1 % الى دونم من التربة وترك يتحلل مدة شهرين ، هل تعتقد انه سوف يضاف نتروجين أو يؤخذ نتروجين من التربة ، علما إن نسبة الكربون في مسحوق التبن 40 % ونسبة النتروجين فيه 0.5 % ، وان 70 % منه سوف يتحلل ، وفرضا إن التحلل كان تاما بواسطة فطريات التربة .

الحل :

$$\frac{1}{100} \times 500\,000 = 5000 \text{ Kg} \quad \text{Straw / Donum}$$ مسحوق التبن بالدونم

$$\frac{40}{100} \times 5000 = 2000 \text{ Kg C / D}$$

$$\frac{0.5}{100} \times 5000 = 25 \text{ Kg } N / D$$

$$\frac{70}{100} \times 2000 = 1400 \text{ Kg } C / D \quad \text{متحلل}$$

$$\frac{70}{100} \times 25 = 17.5 \text{ Kg } N / D \quad \text{متحلل}$$

إن الفطريات تمثل 35 %

$$\frac{35}{100} \times 1400 = 490 \text{ Kg } C / D \quad \text{Biomass (الكتلة الحيوية الفطرية)}$$

بما ان نسبة الكربون الى النتروجين في الفطريات 1 : 10 أي إن الفطريات لو تأخذ 100 كربون تاخذ مقابلها 10 نتروجين .

$$\frac{490}{10} = 49 \text{ Kg } N / D \quad \text{Biomass (الكتلة الحيوية الفطرية)}$$

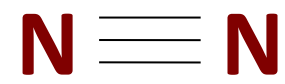
$$49 - 17.5 = 31.5 \text{ Kg N / D}$$

اذن سوف يكون هناك نقص في نتروجين التربة مقداره 56 كغم / دونم نتروجين معدني في الدورة الأولى التي مدتها قد تصل الى شهرين او ثلاثة اشهر ، إذا Immobilization .

تلعب الكائنات الحية الدقيقة الدور الأكبر فى تحويل النتروجين N2 إلى آمونيا وبالتالي إلى بروتين وذلك من خلال ما يسمى التثبيت البيولوجى للنتروجين BNF آو ما يطلق عليه Biological nitrogen fixation.

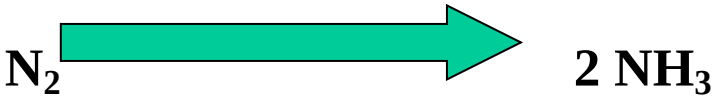
لذا تعرف عملية تثبيت النيتروجين : بأنها عملية اختزال النتروجين الجوي N_2 إلى آمونيا بمساعدة أنزيم النتروجينيز Nitrogenase وتوفر مصدرا للطاقة ATP وايون موجب ثنائي مثل Mg^{++} أو Mn^{++} مع وجود عامل مختزل . وتعتبر هذه الطريقة أهم الطرق فى زيادة محتوى التربة من النتروجين .

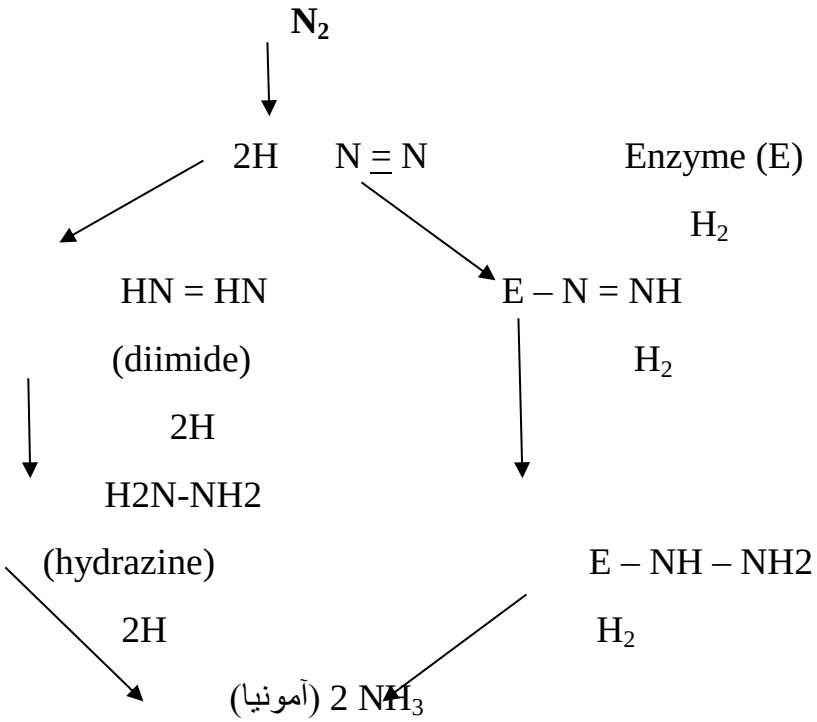
ان كمية النيتروجين الجاهزة لاستعمال النباتات تعد عاملا مهما حين تحدد نمو هذه النباتات ولذلك يسمى النيتروجين بالعامل المحدد limiting factor . ان صورة النيتروجين القابلة للاستعمال من قبل النباتات هي : No_3^- , NH_4^+ , No_2^- .



جزئ الداى نيتروجين

Dinitrogen





المسار الحيوي لاختزال النتروجين وتكوين الأمونيا بواسطة الأحياء الدقيقة المثبتة للنتروجين الجوي.

ألأحياء المجهرية المثبتة للنتروجين الجوي

هذه المنظومة الإحيائية تشتمل على نوعين رئيسيين من الأحياء :

أولا : أحياء مثبتة للنتروجين تعايشيا

ثانيا : أحياء مثبتة للنتروجين غير التعايشية أو الترافقية

أحياء مثبتة للنتروجين تعايشيا Symbiotic nitrogen fixation

إن أهم الأجناس التي تثبت النتروجين بصورة تكافلية هو جنس الرايزوبيوم Rhizobium وهي تنتمي إلى عائلة Rhizobiaceae ولها القدرة على تكوين عقد جذرية على جذور النباتات البقولية (الشكل التالي) . هذه البكتريا تصنف بأنها صغيرة إلى متوسطة الحجم وبقياسات (0.5 إلى 0.9× 1.2إلى 3.0) مايكروميتر ، وهي عبارة عن خلايا عصوية سالبة لصبغة كرام ، لا تكون سبورات ، متحركة وعادة ما تتحرك بواسطة الاسواط من نوع peritrichousأو singl flagellum .

شكل : العقد الجذرية على جذور النباتات البقولية

وكون الـ Rhizobium هوائية المعيشة Aerobic hetrotroph فهي تنمو بسهولة في الأوساط الغذائية وتستخدم مصادر من الكربون العضوي مثل المانتول والكلوكوز ومصدرا نتروجينا كالامونيا والنترات ، أما في حالة خلو الوسط من أي مصدر نتروجيني فإنها تستخدم النتروجين الجوي .

وعند وجود هذه البكتريا داخل خلايا الجذور تصبح معزولة عن الاوكسجين الجوي وتقوم باختزال النيتروجين إلى آمونيا بواسطة انزيم النيتروجينيز، بعد ذلك تتحول الامونيا بواسطة الانزيمات التي تنتجها خلايا النبات المضيف إلى صورة جاهزة كايونات No_3 , No_2 والأحماض الامينية .

إن تصنيف بكتريا الرايزوبيوم على أساس العائل النباتي المضيف host- based classification تقسم إلى جنس واحد وستة أنواع وهي مبينة في الجدول التالي .

المجاميع النباتية		انواع الرايزوبيا
السريعة النمو		
1- مجموعة الجت	Alfalfa group	*R. meliloti*
2- مجموعة البرسيم	Clover group	*R. trifolii*
3- مجموعة البزاليا	Pea group	*R. leguminosarum*
4- مجموعة الفاصوليا	Bean group	*R.phaseoli*
البطيئة النمو		
5- مجموعة اللوبيا	Lipin group	*R. lupini*
6- مجموعة فول الصويا	Soybean group	*R.Japonicum*

إن تقسيم بكتريا الرايزوبيوم الى مجاميع حسب العائل النباتي الذي تصيبه يعتبر غير ناجح تماما وذلك لاحتمالية حدوث الإصابة من قبل نوع معين لأكثر من عائل نباتي ضمن مجاميع نباتية أخرى ، إلا انه التقسيم الأكثر انتشارا ، هناك ما يقارب (25) مجموعة نباتية إلا إن الذي درست ستة مجاميع منها بصورة مفصلة .

كيف تميز بين تلك المجاميع ؟ .

من خلال تقسيمات معتمدة منها :

1- زمن الجيل 2- مقدار انتاجها للحموضة 3- عدد الاسواط وترتيبها.

فالأنواع الأربعة الأولى لها : زمن جيل (2–4) ساعة ومنتجة للاحماض في الوسط وتتحرك بواسطة (2–6) اسواط محيطية . اما النوعين الاخرين فلها : زمن جيل (6 – 8) ساعة ويجعلان الوسط قاعديا ويتحركان بسوط طرفي .

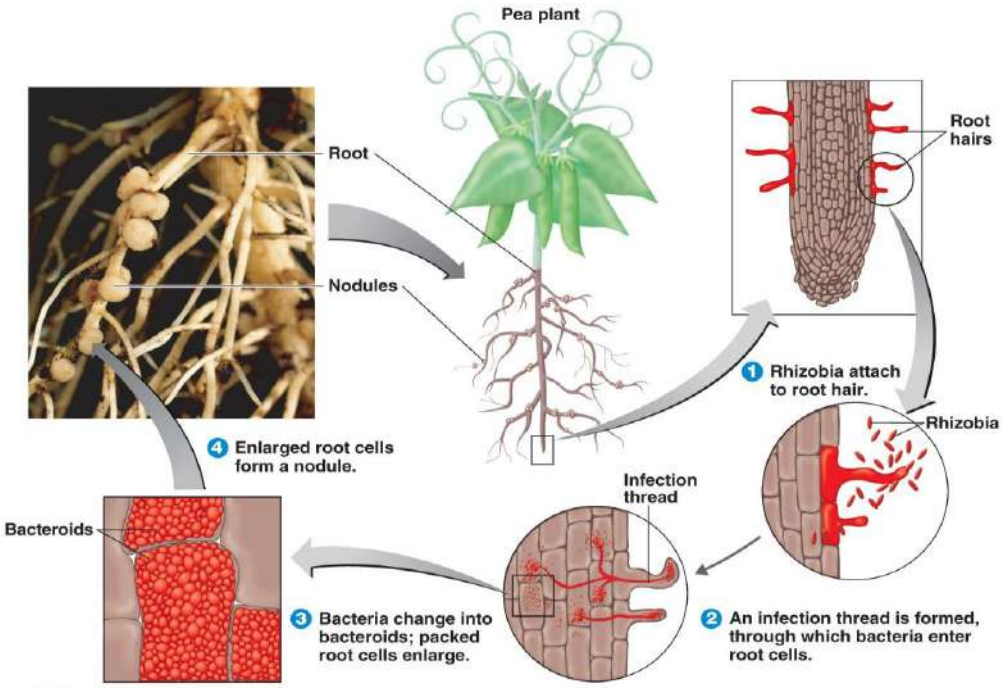
تكون العقد الجذرية ومظهرها الخارجي The formation and morphology of nodules

تبدأ عملية إصابة بكتريا الرايزوبيوم لجذور النباتات البقلية بعملية تميز النبات المضيف والتي تدعى recognition of the host plant حيث تفرز جذور النباتات البقلية مادة هي في الغالب lectins وهي سكر متحد مع البروتينات تفرز من السطح الخارجي للشعيرات ثم تتفاعل وتتحد مع الكربوهيدرات الموجودة على سطح بكتريا الرايزوبيوم الموافقة للنبات المضيف. إن بكتريا الرايزوبيوم هي الأخرى بدورها تنتج مادة يعتقد إنها B-indol acetic acid في الغالب مشتقة من مادة التربتوفان الذي افرزته جذور النباتات البقلية .
ان هذه المواد المتحررة تسبب في جعل جزء من الشعيرات الجذرية للنبات البقلي ان تكون مكورة وخشنة Curl واذا ما صادفتها بكتريا الرايزوبيوم الملائمة مع النبات المضيف فانها سوف تدخل هذا الجزء من الشعيرات الجذرية يعتقد انه هناك نوع من التفاهمات بين البكتريا والعائل المضيف Comuncation .
تنمو البكتريا داخل هذا الجزء من الشعيرات الجذرية بشكل خيط إصابة رفيع fine infection thread يتكون من خيط رفيع من الخلايا البكتيرية حتى تخترق الخلايا الداخلية لمنطقة cortical cellsوبعد عملية الاختراق تبدأ عملية التضخم وتكون الخلايا ممتلئة بخيط الإصابة ويكون اتجاهه نحو النواة والتي تظهر زيادة في فعاليتها في هذا الوقت حتى تصل إلى حدود الخلية ومن هذا الموقع الجديد يتحفز تكوين خيط إصابة جديد يمر إلى الخلية التالية وهذا الخيط يستمر حتى يصل إلى لحاء الجذر ، في منطقة اللحاء cortex تكون الخلايا التي هي ضعف المحتوى الطبيعي من الكروموسومات Tetraploid (رباعية المجموعة الكروموسومية) بعد ذلك ينفجر خيط

الاصابة وتتحرر بكتريا الرايزوبيوم الى سايتوبلازم الخلية ، وهذه الخلية والخلايا المجاورة لها تنقسم بعد ذلك باستمرار حتى تكون العقد الناضجة.

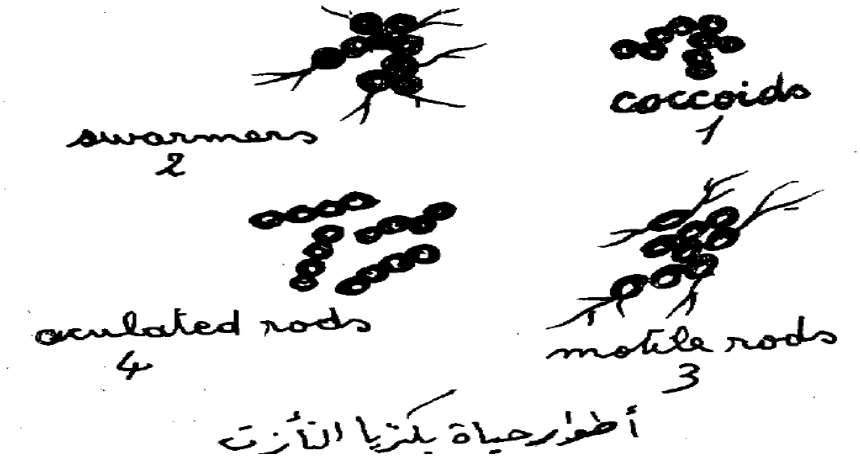
خلال نمو العقد الجذرية فان البكتريا تتحول إلى الـ bacteroidsوالتي هي اكبر بعدة مرات من البكتريا الأصلية وان عملية التحول مرتبطة في تمثيل الـ hemoglobin وأنزيم النتروجينيز وأنزيمات أخرى يحتاجها النظام في عملية تثبيت النتروجين .

إن خلايا الـ Bacteriod قد تفقد قابليتها على التكاثر وكذلك تفقد اغلب مادة Ribosomes من الخلايا الأصلية والتي نشأت منها أصلا عند عملية الإصابة . ويحتوى الـ Bacteriodعلى مادة حبيبية هي poly-B-hydroxybutyric acid ويعتقد انه خزين غذائي للخلايا ، يتم تحويل النتروجين من غاز إلى آمونيا بواسطة أنزيم يسمى أنزيم Nitrogenase في الـBacteriod . الشكل التالي يبين عملية تكوين العقد الجذرية .



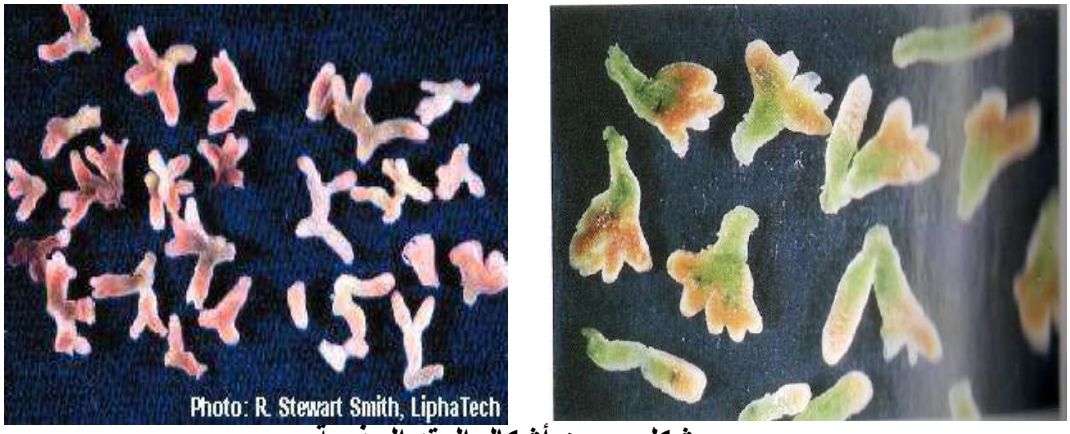
The Formation of a Root Nodule

لقد درس العالمان ببولي Bewil وهاتشنس Huchisnson أدوار حياة هذه البكتريا ، اذ أن البكتريا في الدور الأول من حياتها تكون بشكل كريات دقيقة متراصة غير متحركة تعرف Coccoids تتحول هذه إلى كريات منتفخة ذات أهداب (فلاجات) تعرف باسم Swarmers بعدها تستطيل هذه الكريات متضخمة وتطول أهدابها فتعرف باسم Motil rods لاتلبث أن تفقد أهدابها وتكف عن حركتها وتصبح جوفاء وتعرف عندئذٍ باسم Vaculateds rods آخذة شكل الشرائط ولاتزال على شكل الشرائط حتى تنفرط وينتشر عنها الدور الأول الـCoccoids كي تبدأ أدوار حياتها من جديد، علماً بأن شكل الميكروب في هذا الدور يكون مستقيماً أو متفرعاً ويعرف باسم Bacteroids.



أطوار حياة بكتريا الأزت

أما المظهر الخارجي للعقد الجذرية فإنها قد تكون كروية أو اسطوانية أو مسطحة وهي غالبا ما تكون عنقودية الشكل وفي أحيان كثيرة تأخذ أشكال غير منتظمة وهذه الاختلاف في المظهر الخارجي قد يعزى كاستجابة لظروف التربة السائدة أو جزئيا إلى حالات التداخل ما بين السلالة الرايزوبية والعائل النباتي المضيف . إما حجم العقدة فهو أيضا مختلف ويتراوح من بعض المليمترات إلى الحجم الأكبر من ذلك بكثير ولكن وبصورة عامة فان العقدة الواحدة تحتوي على سلالة مفردة من بكتريا الرايزوبيوم مع تقدم الوقت فان العقد الجذرية يتغير لونها من اللون الأحمر الفاتح عندما تكون العقد فتية وفاعلة إلى اللون البني الداكن وتفقد مادة hemoglobin مع ظهور فجوة في كل عقدة بعدها تزدحم خلايا الـ Bacteriod بحيث تتحول محتويات الخلية إلى كتلة كثيفة مقابلة لجدار الخلية المتضخمة ثم تتكسر خلايا الـ Bacteriod إلى بكتريا تلتهم بقايا مكونات الخلية ومنها جسم جدار الخلية عند هذه المرحلة تصبح العقدة متيبسة necrotic ثم تنطلق البكتريا إلى التربة .



شكل : يبين أشكال العقد الجذرية

جدول يبين : كمية النيتروجين المثبتة بالرايزوبيا

نوع النبات	كمية النتروجين المثبتة كغم/ هكتار / سنة
الجت	220
البرسيم	150
البزاليا	80
فول الصويا	110
فستق الحقل	47

مجموعة الأحياء المثبتة للنتروجين غير ألتعايشي أو الترافقية

Non symbiotic nitrogen fixation

إن تثبيت النتروجين الجوي N_2 بواسطة أحياء التربة المجهرية حرة المعيشة Free-living microorganisms يعرف بتثبيت النتروجين غير التعايشي ويقصد به هناك في الغالب أنواع البكتريا (Azotobacter و Azospirillum) وكذلك الطحالب الخضراء المزرقة (blue- green algae) Cyanobacteriaتثبت النتروجين بطريقة غير تعايشية .

الأحياء المسؤولة عن تثبيت النتروجين غير التعايشي وهي :

1 - *Azotobacter* spp 2- *Azospirillum* spp

3- blue-green algal 4- Azolia- anabaena

هذه الأنواع من أحياء التربة توجد في اغلب الترب إلا إن مشاركتها في موازنة النتروجين تعد منخفضة إذا ما قورنت مع نظام تثبيت النتروجين التكافلي وقد قدرت الكمية المثبتة سنويا كمعدل بأقل من (1كغم نتروجين / هكتار) . يعد مصدر وجاهزبة الكربون (هيئة البقايا العضوية) واحدا من أهم العوامل المحددة لتثبيت النتروجين من قبل هذه الأحياء حيث إنها تدخل في منافسة مع أحياء أخرى من نوع Carbon- hetrotrophic حيث تحتاج الأحياء البكتيرية حرة المعيشة ما بين 50–400ملغرام كربون لكل ملغرام من النتروجين المثبت.

إن البكتريا الرئيسة التي تقوم بالتثبيت الحر تتبع العائلة Azotobacteriaceae وتضم هذه العائلة أربعة أجناس :

1- *Azotobacter* 2- *Azomonas* 3- *Beijerinckia*

4- *Derxia*

واهم الأجناس هو جنس *Azotobacter* ويشمل على أربعة أنواع :

1 - *A. chroococcum* 2- *A.vinelandii*

3- *A. beijerncki* 4- *A. paspali*

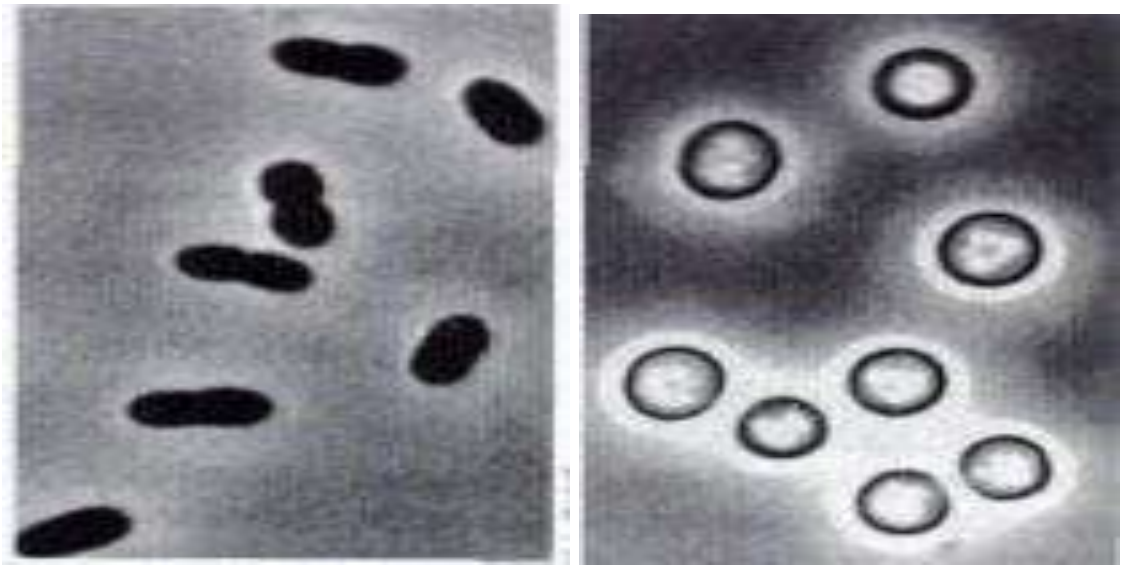
النوع الأول والثاني هم أكثر الأنواع انتشارا في الترب العراقية .

اولا : الازوتوباكتر*Azotobacter*

إن جنس بكتريا الـ Azotobacterعصوي الشكل وكائن حي كبير نسبيا بقياسات (2.0-7.0 مايكرون) × (1.0–2.5مايكرون) . إن حجم وشكل الخلايا البكتيرية يختلف بدرجة كبيرة مع النوع والسلالة وعمر المزرعة البكتيرية وظروف النمو .

إن الحركة في اغلب الخلايا البكتيرية من الـ Azotobacter تنفذ بواسطة اسواط محيطية peritrichous flagella من بين الأنواع الثلاثة الرئيسية تعتبر *Azotobacter beijerinckii* اقل حركة عند مقارنتها مع نوع البكتريا *Azotobacter vinelandii* ، وان النوع *Azotobacter chroococcum* أسرع الأنواع حركة من بين الثلاثة . إن البكتريا من نوع متباينة التغذية الكيمياويـــــة Chemoheteriotrophsهوائية إجبارية ولكن تستطيع النمو في شدود قليلة من الأوكسجين ، سالبة لصبغة كرام ، لا تكون السبورات الداخلية إلا إنها تكون الحويصلات (Cysts) .

إن الـ pHالأمثل للنموها وتثبيت النتروجين بحدود 7.0الى 7.5.



بكتريا الازوتوباكتر تحت الميكروسكوب

وتنتشر بكتريا الازوتوباكتر بشكل واسع في الترب المختلفة وغالبا ما تزداد أعدادها في الترب المزروعة بالمحاصيل المختلفة , وتشير أغلب الدراسات إلى أن أعداد البكتريا تكون أعلى في منطقة الجذور عنها في المناطق البعيدة الأخرى , ويعزى السبب في ذلك الى إفرازات الجذور وانسلاخاتها .

أن الفائدة من استعمال بكتريا الازوتوباكتر تتعدى كونها بكتريا مثبتة للنتروجين فالازوتوباكتر لها المقدرة على إنتاج العديد من منظمات النمو وأهمها الـ(IAA) (indole 3-acetic acid) , والجبرلين (Gibberellin) والسايتوكينين (Cytokinin) ، تخلب الأحياء الدقيقة الحديد الثلاثي من خلال إفرازها مواد ذات أوزان جزيئية منخفضة تفرز خارج خلاياها وتسمى الـ(Sidrophores) وبعض أنواع البكتريا مثل الازوتوباكتر تفرز هذه المواد . هذا فضلاً عن مقدرة البكتريا على التحليل الحيوي للمخلفات العضوية ، كما ان للبكتريا دوراً مهما في السيطرة الحيوية على الفطريات المرضية والنيماتودا .

ويعتمد نجاح استعمال لقاح الازوتوباكتر على عوامل عديدة , منها :

- سلالة البكتريا المثبتة للنتروجين
- الصنف النباتي
- كمية الأسمدة المعدنية المضافة : إذ أن زيادتها تثبط من فعالية الإحياء المثبتة للنتروجين ومنها الازوتوباكتر.

إن لقاح الازوتوباكتر يمكن استعماله بطرائق مختلفة, فهو

1 -إما أن يخلط مع البذور قبل الزراعة .

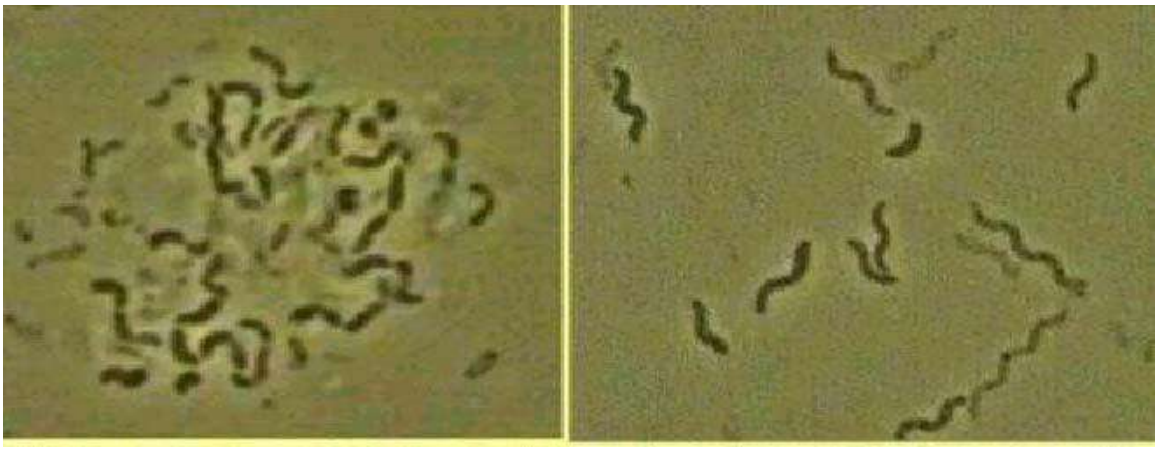
2-أو تغمر به جذور البادرات .

3-أو يضاف مباشرة في الحقل قرب جذور النباتات النامية.

ثانيا : بكتريا الازوسبيرلم *Azospirillum*

تعرف بالبكتريا الحلزونية او(الحلزون المثبت للنتروجين الجويN_2 N_2 -fixing spirillum) . تعتبر الـ Azospirillum بكتريا سالبة لصبغة كرام Gram- negativeوعموما تكون على شكل ضمي او على شكل حرف (S) اي Vibroid in shape.

خلايا الازوسبيرلم عصوية أو ضمية طولها (0.9-2.2) مايكروميتر وقطرها (1) مايكروميتر وجميعها متحركة اما بسوط واحد أو بمجموعة اسواط ولا تكون البكتريا سبورات ورقم الـ(pH) الامثل لنموها (7.5-6) . بلغ عدد أنواع الأزوسبيريلم المسجلة لغاية عام 2010خمسة عشر نوعاً واهمها هو *Azospirillum brasilense* .



بكتريا الأزوسبيرلم تحت الميكروسكوب

تستطيع بكتريا الأزوسبيرلم .*Azospirillum* spp أن تستعمر بنجاح منطقة الرايزوسفير للعديد من الأنواع النباتية (محاصيل حبوب وحشائش أعلاف و خضر وأشجار) ، كما أنها تستطيع العيش في ظروف بيئية مختلفة. وإنها تكون مستعمرات وبفعالية عالية ليس فقط على جذور النباتات ولكن أيضا على الأجزاء الخضرية مكونتا نوع من التعايش المرافق associatative symbiosis . ونظرا لامتلاكها للانزيمات المحللة لمادة البكتين فأنها توجد داخل خلايا الجذور ولاسيما منطقة القشرة (cortex) فضلا عن وجودها على سطح الجذور والتربة.

فوائد الازوسبيرلم هي :تثبيت النتروجين الجوي وزيادة امتصاص النتروجين من قبل النبات , كما أن تنتج الهرمونات النباتية الفعالة مثل (IAA) والجبرلينات والسايتوكاينينات .

س: كم هي الكمية التي تأخذها بكتريا الرايزوبيا من الكمية المثبتة من النتروجين وكم تطرح خارج خلاياها ؟ وما هي الكمية التي تأخذها الازوتوباكتر والكمية التي تطرحها خارج خلاياها ؟ وما سبب الفرق بين الكميتين ؟

طبيعة وعمل إنزيم النايتروجينيز

إن إنزيم النايتروجينيز هو المسؤول عن عملية التثبيت الحيوي للنتروجين ، إذ يقوم باختزال غاز النتروجين الجوي (N_2) الى غاز الامونيا (NH_3) . ويمكن إجمال العملية التي يتم فيها تثبيت النتروجين .

$$N_2 + 6e^{-} + 12\ ATP + 12H_2O \rightarrow 2NH^{+}_4 + 12ADP + 12pi + 4H^{+}$$

حيث ان e^{-} تعني إلكترون و ATP هي الادينوسين ثلاثي الفوسفات ، ADP الادينوسين ثنائي الفوسفات و Pi تعني الفسفور المعدني (H_3PO_4) .

لقد سمي إنزيم النايتروجينيز بهذا الاسم منذ الستينات ولازال يحتفظ بهذا الاسم ويتكون الأنزيم من نوعين من البروتينات:

البروتين الأول : يسمى بـ Component I او (Mo-Fe protein) يحتوي هذا البروتين على الموليبديوم (Mo) والحديد والكبريت في مجموعة الثايول ويتراوح الوزن الجزيئي لهذا البروتين 200000 – 230000 دالتون .

البروتين الثاني: يسمى Component II او (Fe-protein) يحتوي على حديد وكبريت ويتراوح وزنه الجزيئي 61000 – 62000 دالتون .

ان الجزيئة الفعالة لمعقد أنزيم النايتروجينيز تتكون من اتحاد هذين البروتينين مع بعضهما , ويعد الموليبديوم هو الموقع المفضل لربط النتروجين الجزيئي (N_2) بانزيم النايتروجينيز وذلك من خلال ميل الموليبديوم إلى تكوين أواصر متعددة مع النتروجين مما يعمل على إحداث عملية الاختزال وتحطيم جزيئة النتروجين إلى آمونيا .

هناك عدة آليات توضح تأثير إنزيم النايتروجينيز في اختزال النتروجين ومنها الالية التي اقترحها Mortenson (1982) ، تبين هذه الالية ان الالكترونات تنتقل من الـ Ferrodoxin (بروتينات تحتوي على الحديد والكبريت ولها القدرة على الاختزال والتأكسد) الى البروتين الثاني (Fe-protein) الذي يحتاج الى طاقة ليرتبط مع ATP بواسطة الـ Mg ليقوم بدوره باختزال البروتين الاول (Mo-Fe protein) ، ويصاحب هذه العملية تحول الـ Adenosine tri phosphate ATP الى Adenosine diphosphate ADP وانطلاق الفوسفات غير العضوية عندئذ يقوم البروتيــن (Mo-Fe-protein) بامرار الالكترونات الى الركيزة الأساسية وهي النتروجين لاختزاله الى امونيا .

إن أنزيم الناتروجينيز حساس جداً للأوكسجين ويعمل في جو مختزل (PO_2 اقل من 0.01 -0.2 ضغط جو) ومن الضروري لاستمرار عملية تثبيت النتروجين توافر شروط نقص الأوكسجين أو امتلاك الأحياء المجهرية آليات عديدة لحماية إنزيم النتروجينيز من التثبيط بالأوكسجين .

لقد وجد ان جزيئة الأنزيم الفعالة يمكن تخليقها من اتحاد بروتينين Mo-Fe من مصدر معين وبروتين Fe من مصدر أخر و لكن هذه الجزيئة المتغايرة الأصل هي اقل فعالية من جزئية الأنزيم من بروتينين لهما أصل واحد .

ان لأنزيم النايتروجينيز قدرة على نقل الالكترونات من حوامل الالكترونات إلى النتروجين وقادر على نقل الكترونين فقط في كل مرة يشترك فيها , وقد اقترح حصول ثلاث نقلات , بنقل الكترونين في كل نقله ليصبح مجموع الالكترونات المنقولة ستة وذلك لاختزال جزيئة النتروجين إلى آمونيا وكلاتي :

$N_2 + H_2$ ———— N_2H_2 (di- imide)

$N_2H_2 + H_2$ ———— N_2H_4 (hydrazine)

$N_2H_4 + H_2$ ———— $2NH_3$ (ammonia)

لا توجد اثباتات على تحرر مواد الوسط بين عملية تحول النتروجين الجزيئي الى امونيا , لان الامونيا هي أول مركب ثابت عند اختزال النتروجين الجوي , ويعتقد العلماء بان مركبات الوسط تتكون ولكنها تبقى مرتبطة بالأنزيم ولا تتحرر .ومن الواضح ان اختزال النتروجين الجزيئي الى امونيا هو تفاعل من نوع محرر للطاقة Exergonic .

يتميز انزيم النايتروجينيز بعدم الخصوصية (عند وجود النتروجين والمركبات الاخرى سوف يقوم الانزيم بتحويل هذا النتروجين الى امونيا ، اما عند وجود النتروجين فان الانزيم يقوم باختزال البروتينات H^+ الى غاز الهيدروجين Nitrogenase

$$6\ H^+ + 6\ e^- \longrightarrow 3\ H_2$$

وكذلك وجد ان هذا الانزيم عند عدم وجود النتروجين يمكنه تحويل غاز الاستلين الى الاثلين) ، اذ ان الميكروبات التي لها القدرة على تثبيت النتروجين الجوي يمكنها اختزال جزيء الاستلين الذي يحوي على رابطة او اصرة ثلاثية $HC \equiv CH$ ان تخزل النتروجين الذي يحتوي ايضا على اصرة ثلاثية وينتج عنه تكوين الامونيا

$N \equiv N \longrightarrow 2\ NH_3$

واختزال الاستلين C_2H_2 ينتج عنه تكون الاثلين C_2H_4

$HC \equiv CH \longrightarrow H_2C = CH_2$

ويستفاد من هذه الخاصية في قياس كمية النتروجين المثبتة وتسمى عملية اختزال الاستلين Acetylene Reduction وهي تعتبر احسن طريقة لقياس كمية النتروجين المثبتة بايولوجيا .

هناك عاملين يؤثران على نشاط أنزيم Nitrogenase

1- الامونيا الموجودة بالتربة او المضافة كسماد نتروجيني : كلما زاد السماد النتروجيني بالتربة كلما قل نشاط الانزيم وقل التثبيت . من تجربة استنتجوا بان السماد النتروجيني يضعف من نشاط أنزيم Nitrogenase .

2- نسبة ADP الى ATP : كلما زادت النسبة كلما قل نشاط الانزيم .

$$\frac{200}{100} = \frac{ADP}{ATP}\ \frac{20}{100}$$: تعني نقص بنشاط الأنزيم بنسبة 52 % ، اما اذا ازدادت الى ـــــ فسوف يتوقف نشاط الانزيم كليا .

أنواع اللقاحات البكترية (طرق التلقيح بالرايزوبيا)

1- أقدم الطرق كانت بنقل تربة من مكان مزروع بالنبات بقولي معين الى تربة سوف تزرع بنفس المحصول ألبقولي وأثناء النقل سوف تنقل الرايزوبيا الخاصة بذلك النبات مع التربة .
2- اخذ عصارة العقد الجذرية الخاصة بنبات بقولي ومن ثم تلقيح نبات بقولي مزروع بسندانة (مثلا) بهذه العصارة (تستعمل هذه الطريقة بصورة خاصة بالبيوت الزجاجية) .
3- أما بالمختبر : اخذ العصارة وتكثيرها على أوساط غذائية بشكل مزرعة نقيه ومن ثم تلقيح نفس النبات ألبقولي المأخوذة منه العصارة .
4- Peat culture وهي خلط المزرعة النقية المعزولة بالطريقة السابقة مع مواد عضوية (peat moss) ومن ثم تجفيفها هوائيا الى رطوبة معينة ومن ثم تعلب بأكياس وتباع بالأسواق كلقاح بكتيري .
5- استعمال pre -Inoculated Seeds وهذه الطريقة هي عزل الرايزوبيا الخاصة بنبات بقولي معين بشكل مزرعة نقية ومن ثم خلطها مع بذور نفس النبات ألبقولي بوجود مواد لاصقة فسوف تلتصق الرايزوبيا بالبذور وتعلب هذه البذور وتباع بالأسواق بشكل بذور ملقحة .
6- Lime-pellted Seeds تغليف البذور الملقحة بالطريقة السابقة بطبقة رقيقة من الـ lime بقصد حماية الرايزوبيا من الجفاف او العوارض الميكانيكية .

النترجة Nitrification :

هي عملية أكسدة الامونيا في صورتها الأيونية (NH_4^+) إلى نترات بالظروف الهوائية ، وتقوم بها أجناس من بكتريا ذاتية التغذية كيمياوية Chemoautotrophic وتتم بمرحلتين :

المرحلة الأولى : تحرر ايون النتريت (No_2) وطاقة . بفعل بكتريا *Nitrosomonas* .

$NH_4^+ + O_2 \longrightarrow NO_2^- + H_2O + H^+ + 66$ kcal. energy

المرحلة الثانية: تحرر ايون النترات (No_3) وطاقة ، بفعل بكتريا *Nitrobacter* .

$NO_2^- + O_2 \longrightarrow No_3 + 17$ kcal. energy

العوامل التي تؤثر على عملية النترجة Nitrification

1- الحرارة : إن درجة الحرارة المتوسطة هي المفضلة لعملية النترجة ، إذ توافق عملية النترجة درجة حرارة تساوي 30 م° وتبطئ هذه العملية بانخفاض هذه الدرجة أو ارتفاعها.
2- الـ PH : ان الـPH المفضل لعملية النترجة هو المتعادل او المائل قليلا الى القلوية .
3- الرطوبة والتهوية : يجب أن تتوفر في التربة بنسبة 60-70% (عند السعة الحقلية). وأن بكتريا النترجة من البكتيريا الهوائية فلابد من توفير هواء يتخلل التربة .
4- الأسمدة العضوية : يعتقد بأنه زيادة الأسمدة العضوية المضافة للتربة سوف يؤدي إلى تحللها (أي تحولها الى امونيا بعملية Ammonification) وزيادة الامونيا بشكل غاز NH_3 يؤدي إلى التقليل من اعد اد بكتريا *Nitrobacter* وبالتالي تجمع النتروجين بشكل NO_2 .

عكس النترجة Denitrification :

يكمل النيتروجين دورته عندما يعاد الى الجو على صورة غاز او اكاسيد النيتروجين من خلال عملية عكس النترجة تحت ظروف لاهوائية (تغدق) ، وهي عملية اختزال مايكروبي للنترات او النتريت إلى غاز النيتروجين بفعل بعض أنواع البكتريا التابعة لأجناس *Pseudomonas, Thiobacillus* وأنواع أخرى من بكتريا التربة .

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

العوامل التي تؤثر على عملية Denitrification

1- توفر الظروف الغدقة
2- توفر الاسمدة او المواد العضوية بالتربة : لان البكتريا من نوع Chemohetrotrophic والمركبات العضوية تعتبر مصدر رئيسي للطاقة والكربون .

عملية **denitrification** تعتبر خسارة لنتروجين التربة ، وصلت النسبة الى حوالي 25 % من النتروجين المضاف الى التربة كسماد تفقد بشكل N_2 اضافة الى ذلك هناك مشكلة N_2O الذي يفقد للجو وفي طبقات الجو سوف يتفاعل مع طبقة الاوزون O_3 وتدمير طبقة الاوزون محتمل تؤدي الى نفاذ الاشعة فوق البنفسجية الى الارض وبالتالي سوف تقضي على المدافعات الحيوية الموجودة في اجسامنا فنتعرض الى الاصابة بالامراض .

تمثيل النترات Nitrate assimilation :

حيث انه كل من النبات والاحياء المجهرية التي تمتص N بشكل NO_3 يجب ان يتحول داخل اجسامها الى امونيا ومن ثم الى احماض امينية وبروتينات وذلك تحت الظروف الهوائية واللاهوائية .

$$NO_3^- \longrightarrow NO_2 \longrightarrow N_2O^{--} \longrightarrow NH_2OH$$

Nitrate reductase Nitrite reductase Hyponitrite reductase

Hydroxylamine reductase

Protein A.A NH_3

تنفس النترات Nitrate respiration

قسم من البكتريا وتحت الظروف اللاهوائية (بصورة خاصة *Bacillus subtilis ,E.coli*) بمكانها تحت هذه الظروف ان تستعمل النترات كمستقبل للالكترونات بدلا من الأوكسجين وفي هذه الحالة تختزل النترات الى آمونيا .

النترات والتلوث البيئي

على الرغم من ان النترات تعتبر مادة ضرورية للتغذية ، الا انها تعد من اهم المواد الملوثة للبيئة ، إذ إنها تغسل الى أعماق التربة ومن ثم الى مياه الأنهار فتلوثها ،وتعتبر هذه الظاهرة مشكلة ،اذ تؤدي الى :

1- ظاهرة الاثراء الغذائي Eutrophication .
2- مرض زرقة العيون Methemoglobinmia عند الأطفال .
3- تكون مركبات النتروزامين Nitrosamine وهي مادة مسرطنة

كيف نتخلص من النترات في مياه الأنهار أو كيف نمنع غسل النترات ؟

توفير ظروف معينة تمنع عملية Nitrification احد هذه الظروف هو :

1- - استعمال N- Serve وهو عبارة عن مركب عضوي يضاف بنسب معينة للتربة وقت الزراعة أو وقت احتياج المحاصيل المزروعة للنتروجين ، فائدته هو القضاء على البكتريا *Nitrosomonas* ومنع أكسدة الامونيوم إلى نتريت ويجبر النبات على امتصاص النتروجين بشكل امونيوم . ولكن المشكلة هو إن مفعول N- Serve يكون وقتي حيث يتحلل بواسطة بكتريا أخرى ويفقد قابليته على القضاء على بكتريا *Nitrosomonas* .
2- الطريقة الثانية طريقة غير اقتصادية وذلك بتوفير ظروف غدقة وبالتالي تمنع عملية Nitrification .