الفصل الخامس

ميكروبيولوجيا الأراضى

- الأرض كوسط بيئى
  - مكونات التربة
  - أحياء التربة
  - الرايز وسفير
  - العلاقات المتبادلة بين ميكروبات الأراضى
- دورات العناصر
  - دورة الكربون
  - دورة النتروجين
    - أولاً : معدنة النتروجين العضوى
    - ثانياً : فقد النتروجين من التربة
    - ثالثاً : تثبيت النتروجين الجوى
      - التثبيت اللاتكافلى
      - التثبيت التكافلى
        - ١ـ التكافل بين الرايزوبيا والنباتات البقولية
        - ٢ـ التكافل فى النباتات غير البقولية
        - ٣ـ التكافل بين السيانوبكتريا والأزولا
  - دورة الكبريت
  - التحولات البيوكيميائية للعناصر الأخرى
  - تحليل مبيدات الآفات
- الأسمدة الحيوية
- إنتاج الغاز الحيوى ـ البيوجاز
- المراجع

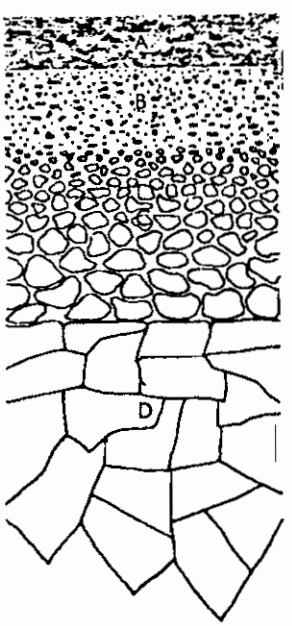
الفصل الخامس

ميكروبيولوجيا الأراضى
Soil Microbiology

الأرض كوسط بيئى Soil as an environment

الأرض (التربة) Soil ، هى ذلك الجزء من سطح القشرة الأرضية ، الذى تكون بفعل عوامل التعرية ، وتأثير العوامل البيولوجية ، فأصبح المهد الصالح ، لحياة النبات والحيوان . والطبقة السطحية من التربة الزراعية ، فى الحقيقة ، عبارة عن عالم يموج بالحياة ، فبالإضافة إلى ما بها من جذور نباتية ، فإنها تحتوى على ملايين الملايين من الأحياء الدقيقة ، ذات الدور المؤثر على خواص التربة ، وعلى إنتاجيتها من المحاصيل الزراعية .

يختلف تركيب التربة وخواصها ، بإختلاف الموقع ، والظروف المناخيه ، والبيئية ، ومادة الأصل ، والعمق ، وشكل (٥-١) . يبين قطاع فى تربة .



١- أفق أ Horizon A : مخلفات عضوية على درجات مختلفة من التحلل

٢- أفق ب Horizon B : الحبيبات الدقيقة ، والمعادن

٣- أفق جـ Horizon C : مواد معدنية تعرضت لعوامل التعرية

٤- أفق د Horizon D : أصل الصخور ، التى لم تتعرض لعوامل التعرية

شكل ٥-١ : رسم تخطيطى لقطاع فى تربة

مكونات التربة

تتكون التربة من خمسة مكونات رئيسية ، هى :

١- الجـــزء المعدنى

ينتج الجزء المعدنى بالتربة ، من عملية تعرية الصخور ، وهو خليط من الحبيبات المعدنية ، المختلفة الأحجام ، التى توجد فى تجمعات . وتتكون تلك الحبيبات ، اساسا من سليكات الألومونيوم والحديد ، مع معادن أخرى بكميات قليلة . ويتراوح أحجام تلك الحبيبات ، من حبيبات الطين ، دقيقة الحجم ، ذات القطر الأقل من ٠,٠٠٢ مم ، إلى حبيبات الحصى الكبيرة ، ذات القطر الأكبر من ٢,٠ مم . وبين الاثنين يقـع السلت ، والرمل الناعم ، والخشن .

نسب هذه الحبيبات إلى بعضها ، يؤثر على خواص التربة ، وعلى تهويتها ، وقدرتها على الإحتفاظ بالرطوبة ، كما يؤثر على تيسير العناصر الغذائية ، وعلى النشاط البيولوجى بها .

٢- الجـــزء العضوى

يأتى الجزء العضوى بالتربـة ، من المخلفات النباتية والحيوانية ، ومـا يضاف للتربـة من أسمدة عضوية ، ومن كائنات التربة ومخلفاتها . وتتعرض المواد العضوية للتحلل بواسطة الميكروبات ، وما يتخلف عـن التحلل ، من مواد معقدة التركيب ، يكون الدبال Humus ، وهو مادة ذات لون بنى غامق ، وطبيعة غروية ، ويؤثر على خواص التربة ، فيحسن البناء ، ويزيد من قدرة التربة على احتفاظها بالماء ، وسعة تبادل القواعد ، وله قدرة تنظيمية عالية ، كما أن له تأثيره الكبير على النشاط البيولوجى بالتربة ، حيث يعتبر مخزنا للعناصر الغذائية ، ذات الإنسياب البطىء .

٣- الماء الأرضى

الماء الأرضى (محلول التربة) ، له أهميته الكبيرة ، على نمو النبات، وعلى النشاط البيولوجى بالتربة . فالماء يكون ٧٠٪ على الأقل من بروتوبلازم الخلية الحية ، كما أنه يذيب الكثير من المواد العضوية وغير العضوية ، فتصبح ميسرة .

وتعتمد نسبة الماء الموجودة بالتربة ، على الظروف المناخية ، والصرف ، وتركيب التربة . وهو يوجد فى المسافات البينية ، بين حبيبات التربة ، كما يمص كغشاء رقيق على أسطح الحبيبات .

٤- الهواء الأرضى

يتكون هواء التربة اساسا من N_2 ، O_2 ، CO_2 ، علاوة على نسب ضئيلة من الغازات الأخرى ، الناتجة عن النشاط الميكروبى .
وهواء التربة ، مصدره الأساسى الهواء الجوى ، وإن كان يختلف عنه فى التركيب ، بسبب العمليات البيولوجية التى تحدث بالتربة . فالهواء الأرضى مشبع ببخار الماء ، ومحتواه من CO_2 أعلى كثيرا مما فى الهواء الجوى ، بينما نجد أن محتواه من O_2 أقل . كما يحتوى الهواء الأرضى ، على نسب قليلة من الأمونيا ، والميثان ، وبعض المركبات المتطايرة . ويحدث باستمرار تبادل غازى ، بين هواء التربة والهواء الجوى ، فيدخل إلى الأرض الأكسجين ، ويخرج منها ثانى أكسيد الكربون.

يوجد الهواء الأرضى بين حبيبات التربة ، فى المسافات البينية الخالية من الماء ، لذلك ، فإن كمية الهواء الأرضى الموجودة بالتربة ، ترتبط عكسيا، مع كمية الرطوبة الموجودة بها .

سيادة الظروف اللاهوائية بالتربة ، لها تأثير سيىء على النشاط البيولوجى بها ، حيث تتوقف العمليات البيولوجية الهوائية المفيدة للتربة ، وتنشط الميكروبات اللاهوائية ، وتحدث تحولات ضارة ، كما تتراكم الكثير من المركبات غير المرغوب فيها ، والتى قد تضر النباتات ، والأحياء الموجودة بالتربة .

٥- أحيـــاء التربة

بالإضافة إلى المجموع الجذرى الموجود بالتربة الزراعية ، فإنه يوجد بها أيضا ، الكثير من الكائنات الحية الحيوانية ، كالنيماتودا ودودة الأرض، والديدان والحشرات ، والمفصليات والقوارض ، كما يوجد عدد ضخم من الأحياء المجهرية ، التى يطلق عليها ميكروبات الأراضى ، والتى تشمل البكتريا ، والأكتينوميسيتات ، والفطريات ، والطحالب ، والبروتوزوا ، والفيروسات .

ميكروبات الأراضى

تلعب أحياء الأراضى المجهرية ، دورا أساسيا فى المحافظة على خصوبة التربة ، وعلى إمداد النباتات النامية بإحتياجاتها الغذائية ، من خلال معدنتها للمواد العضوية ، وتيسيرها للعناصر الغذائية ، وتثبيت النتروجين الجوى ، وتكوين الدبال ، وإفرازها للكثير من المواد المشجعة للنمو . كما أن تلك الميكروبات ، لها دور فعال فى المحافظة على التوازن البيولوجى فى الكون ، عن طريق انتاجها لثانى اكسيد الكربون ، الذى تبلغ نسبته بالجو حوالى ٠,٠٣ ٪ حجما ، وذلك خلال عمليات تحلل المواد العضوية ، مما يعوض النقص ، الذى يحدث بسبب عملية التمثيل الضوئى المستمرة ، وتحلل ملوثات البيئة ، والمبيدات الزراعية .

وتحت ظروف معينة ، مثل سيادة الظروف اللاهوائية بالتربة ، أو نقص العناصر الغذائية بها ، قد تتنافس ميكروبات التربة مع النباتات النامية، على العناصر الغذائية الموجودة بالتربة ، أو تفرز الميكروبات موادا ضارة بنمو النباتات ، أو تسبب لها أمراضا ، فتؤثر بذلك على إنتاجية الأراضى .

ويختلف أعداد وأنواع الكائنات المجهرية كثيرا ، من تربة لأخرى ، بإختلاف تركيب التربة ، والعمق ، ونوع الزراعة القائمة ، وظروف التربة البيئية ، من حرارة ورطوبة وتهوية ، ودرجة الحموضة ، ومحتوى التربة من العناصر الغذائية .

وحتى فى نفس الأرض الواحدة ، فإن أعداد وأنواع الأحياء المجهرية، يختلف كثيرا ، حسب الطريقة المستخدمة فى التقدير ، ووقت أخذ العينة ، وعمق التربة ، وعمليات الخدمة الزراعية ، والإضافات العضوية ، وطبيعة العلاقات المتبادلة ، بين كائنات التربة المجهرية .

البكتريـــا Bacteria

تعتبر البكتريا ، أكثر ميكروبات الأراضى وجودا بالتربة ، سواء من حيث الأعداد الكلية ، أو تعدد الأجناس والأنواع ، أو تنوع النشاط الذى تقوم به ، خاصة فى الأراضى المتعادلة ، أو المائلة قليلا للقلوية ، مما يعطى للبكتريا ، دورا رئيسيا بين أحياء التربة المختلفة . وقد قدر أن البكتريا الموجودة فى الأرض الخصبة ، تمثل من ٠,٠١ إلى ٠,١٪ من حجم التربة الكلى ، ويصل أعدادها إلى ٨١٠ و ٩١٠ / جم تربة .

يوجد بالأراضى مجاميع ، وأنواع ، عديدة من البكتريا ، ذات إحتياجات غذائية مختلفة ، ومنها الهوائى واللاهوائى ، والمحب للحرارة المرتفعة ، والمتوسطة ، والمنخفضة . ولاتتوزع البكتريا بإنتظام فى كتلة التربة ، ولكنها تتركز بأعداد كبيرة خليطه ، مكونه من مستعمرات ، بالغشاء المائى حول الحبيبات الصغيرة المعدنية والعضوية ، كما أنها توجد بكثرة حول جذور النباتات النامية ، وعلى أسطح الشعيرات الجذرية .

ونظرا لأن أغلب البكتريا هوائية ، فإنها توجد بكثرة فى الطبقة السطحيـة بالتربـة ، وتقل مع العمق . وتعتبر االبكتريا العصوية سواء السالبـــة ، أو الموجبـة لصبغة جرام ، أكثر انتشارا من الأنواع الكروية ، ومـن الأجنـاس السالبـه لجـرام ، الواسعـه الانتشـار بالأراضـى Arthrobacter , Pseudomonas ، كما يكثر وجود جنس Bacillus الموجب لجرام ، خاصة فى أراضى المناطق الحارة .

ومن المجاميع البكتيرية الهامة بالأراضى مايلى

١- البكتريا غير ذاتية التغذية (الهتروترفيه) Heterotrophs (Organotrophs)

وتحصل هـذه البكتريا على احتياجـاتها ، من كربـون وطاقة ، من المواد العضويـة . وتمثل هـذه المجموعـة ، أغلب أنواع البكتريا الموجـودة بالتربـة ، وتقوم بالعديد من التفاعلات الهامة منها :
تحليل ، ومعدنة المواد العضوية ، وتحويلها إلى صـور بسيطـه صالحـة لتغذية النبات ، ونشدرة المواد البروتينية ، وتثبيت النتروجين الجوى ، تكافليا ولا تكافليا ، وتيسير العناصر المعدنية ، وتكوين الدبال .

٢- البكتريا ذاتية التغذية (الأوتوتروفية) Autotrophs (Lithotrophs) .

وتحصل هذه البكتريا ، على الكربون اللازم لها من CO_2 الجو ، وتحصل على الطاقة من أكسدة المواد الكيميائية ، أو من الضوء .

فمن البكتريا الأوتوترفية تلك المؤكسدة للمواد الكيميائية ، مثل بكتريا التأزوت (النترتة) . التى تؤكسد الأمونيا إلى نتريت ، ثم إلى نترات، وبكتريا أكسدة الكبريت ، وبعض أنواع بكتريا الحديد .

ومن البكتريا الأوتوترفية تلك الممثلة للضوء ، الهوائية ، مثل السيانوبكتريا (وقد تسمى البكتريا الخضراء المزرقة ، و كانت تسمى سابقا الطحالب الخضراء المزرقة) ، وهى مثبته لنتروجين الهواء الجوى ، ومن أجناس السيانوبكتريا الواسعة الانتشار بالتربة : Nostoc , Anabaena

ومن البكتريا الأوتوتروفية الممثلة للضوء ، اللاهوائية ، بكتريا الكبريت ، الخضراء والأرجوانية ، المؤكسدة للكبريت غير العضوى .

٣- الأكتينو ميسيتات

توجد الأكتينوميسيتات ، وهى أحد المجاميع الهامة للبكتريا ، بكثرة فى الأراضى ، خاصة فى المناطق الحارة الجافة ، ويصل أعدادها إلى ٦١٠ / جم تربة ، وأكثر أجناسها إنتشارا بالأراضى

Micromonospora , Nocardia , Streptomyces

وتلعب مجموعة الأكتينوميسيتات ، دورا هاما ، فى تحليل المواد العضوية المعقدة كالكيتين ، وفى تكوين الدبال ، وإعطاء التربة رائحتها المميزة ، وإنتاج المضادات الحيوية . كما أن بعض أنواعها ممرض للنبات ، مثل Streptomyces scabies ، المسبب لمرض الجدرى العادى Common scab ، بالبطاطس ، وبنجر السكر .

بالإضافة إلى ذلك ، فإن جنس فرانكيا Frankia التابع لهذه المجموعة ، له القدرة على تثبيت النتروجين الجوى تكافليا ، مع النباتات غير البقولية ، مثل الألناس ، والكازورينا .

الفطريـــات Fungi

الفطريات هوائية ، لذا تكثر بالطبقة السطحية من التربة ، وهى توجد كهيفات ، أو كجراثيم ، وتصل أعدادها إلى ١٠^٩ / جم تربة ، وتكثر فى الأراضى الحامضية .

والفطريـــات السائدة بالأراضى ، هـــى الفطريات الحقيقية Eumycetes بكل أجناسهـــا ، وإن كانت الأنواع التابعة لمجموعة Deuteromycetes ، هى الأكثر إنتشارا . وتكثر الفطريات اللزجة Myxomycetes ، فى أراضى الغابات، والمناطق الباردة .

تحلل الفطريات المواد العضوية المعقدة ، والمخلفات النباتيه كالسليلوز ، والبكتين ، واللجنين ، كمـــا أنها تساعد على تجميع حبيبات التربة ، بواسطة الميسيليوم الذى يمتد ، ويتخلل الأرض ، كما أن بعض أنواعها ممرض للنبات.

تعيش فطريات الميكوريزا Mycorrhiza ، معيشة تعاونية ، مع جذور كثير من النباتات ، مثل الأبصال ، والذرة ، والموالح ، حيث تقوم فطريات الميكوريزا ، بعمل الشعيرات الجذرية ، من حيث إمتصاص الماء ، والغذاء ، والأملاح خاصة الفوسفور ، الذى تقوم فطريات الميكوريزا بتحويله لصورة ميسرة للنبات . ويمد النبات ، فطر الميكوريزا ، بإحتياجاته من كربوهيدرات وأحماض أمينية وفيتامينات .
ومن أجناس الميكوريزا المنتشرة بالأراضى Glomus , Gigaspora .

الطحـــالب Algae

الطحالب أقل إنتشارا بالأراضى ، من البكتريا والفطريات . وهى هوائية أوتوتروفيه ممثلة للضوء ، لذا تكثر فى الطبقة السطحية من التربة فى وجود رطوبة عالية . وتسود الطحالب الخضراء والدياتومات ، فى أراضى المناطق المعتدلة ، بينما تسود الطحالب الخضراء المزرقة (السيانوبكتريا)، فى أراضى المناطق الحارة. وتوجد الطحالب فى الأراضى ، إما وحيدة الخلية، أو فى خيوط . وتصل أعدادها إلى ١٠^٤ / جم تربة .

ونظرا لقدرة الطحالب على التمثيل الضوئى ، فإنها قادرة على تكوين مواد عضوية بالتربة ، من مواد معدنية بسيطة مع ثانى اكسيد الكربون . وعند نموها على سطح الصخور ، تكون طبقة سميكه ، تعتبر مصدرا عضويا لنمو الكائنات المجهرية ، من بكتريا وفطر . ويؤدى نمو الطحالب ، إلى تكوين أحماض عضوية ، تساعد على التحول التدريجى للصخور ، إلى وسط صالح لنمو النباتات الأرقى . وبذلك فإن الطحالب تقوم بالخطوات الأولى ، فى تحويل الصخور إلى تربة زراعية

البروتوزوا Protozoa

أكثر أنواع البروتوزوا تواجدا بالأراضى ، هى الأميبيات ، والسوطيات. وتنتشر البروتوزوا بالطبقة السطحية من التربة ، ويناسبها توفر الرطوبة ، والمادة العضوية ، وتصل أعدادها إلى 10^{2} / جم تربة . كما توجد البروتوزوا بكثرة فى الأراضى المسماة بالأراضى المريضة Sick soil ، وهى أراضى غدقة ، سيئة الصرف .

تتغذى البروتوزوا إما على المواد العضوية ، أو على إلتهام البكتريا وبعض المجهريات الأخرى ، كالخمائر والفطريات . لذلك ، يعتبر وجود البروتوزوا ، فى بعض الحالات ، عاملا محددا لإنتشار البكتريا بالأراضى ، وبذلك ، فإن البروتوزوا ، تلعب دورا فى عملية التوازن الميكروبى بالتربة .

الفيروسات Viruses

تصل فيروسات البكتريا والنبات والحيوان للتربة ، مع إضافة المخلفات النباتيه والحيوانيه ، كما أن أحياء التربة تحلل الكثير من الفيروسات .

وجود فيروسات البكتريا (بكتريوفاج) بالتربة ، قد يكون من العوامل المؤثرة ، على إنتشار بعض أنواع البكتريا الهامة ، مثل الأنواع المثبته للنتروجين الجوى ، كالرايزوبيا ، والسيانوبكتريا ، والأزوتوباكتر . كما تسبب الفيروسات النباتيه ، أمراضا عديدة للنبات .

الرايزوسفير Rhizosphere

تسمى المنطقة من التربة ، الملاصقة لجذور النبات ، والمتأثرة بها ، منطقة الرايزوسفير ، أى منطقة مجال المجموع الجذرى . وتمتاز هذه المنطقة ، بأن محتواها الميكروبى ، ونشاطها الفسيولوجى ، على وحول الجذور ، عالى جدا ، وقد تصل أعداد الميكروبات بمنطقة الرايزوسفير، إلى مئات المرات ، إذا ما قورنت بأعداد المحتوى الميكروبى الموجود بالتربة، البعيدة عن تأثير الجذور .

تتأثر الميكروبات الموجودة فى منطقة الرايزوسفير ، بما تفرزه جذور النباتات ، من مواد مغذية ، وسكريات ، وأحماض عضوية وامينية ، وفيتامينات ، وبما يتخلف عن النباتات ، من جذور متقطعة ، وخلايا ممزقة. كما يتأثر نمو النباتات ، بنواتج التمثيل الغذائى للميكروبات ، الموجودة بمنطقة الجذور

من الميكروبات التى توجد ، بأعداد عالية ونشاط كبير ، فى منطقة المجموع الجذرى ، الميكروبات التى تقوم بمعدنة المواد العضوية ، والمحللة للسليلـوز ، والتى تقوم بعملية النشدرة ، وتيسير الفوسفور ، وأكسدة الكبريت .

العلاقات المتبادلة بين ميكروبات الأراضى
Interactions among soil microorganisms

يتضمن النظام البيئى الميكروبى بالتربة Microbial ecosytsem ، كلا من الأحياء المجهرية ، بأعدادها وأنواعها المتعددة ، والتربة ، بخواصها وظروفها المختلفة . فهذا النظام البيئى ، هو محصلة علاقات مكونات التربة الحية ، وغير الحية ، Biotic and abiotic components .

توجد الميكروبات فى التربة ، كمجتمع خليط ، بأعداد وفيرة ، وأنواع متعددة ، تنشأ بينها وبين بعضها ، العديد من العلاقات المتبادلة ، بعضها مفيد Beneficial associations ، والأخر ضار Detrimental .
وتسبب هذه العلاقات ، تغيرات مستمرة بين المجموعات الميكروبية ، وتؤدى فى النهاية ، إلى الإتزان البيولوجى Biological equilibrium ، الناتج من علاقات التعاون والتضاد .

من أمثلة العلاقات المفيدة بين الميكروبات ، مايلى

١- المعايشة أو المنفعة لطرف واحد Commensalism

فى المعايشة ، يستفيد أحد النوعين (النوع الأول) من النوع الثانى، بينما لايستفيد ، النوع الثانى من النوع الأول .
ويحدث ذلك ، على سبيل المثال ، عند تحلل المواد العضوية المعقدة ، كالسليلوز واللجنين ، بواسطة بعض الفطريات ، فيستفيد من نواتج التحلل (من جلوكوز وأحماض عضوية) ، ميكروبات أخرى ، غير قادرة على تحليل هذه المواد المعقدة . كما أن بعض الميكروبات ، تعتمد فى نموها ، على ماتفرزه ميكروبات أخرى ، من فيتامينات ومواد مشجعة للنمو .

٢- المشاركة أو التبادل Mutualism

فى هذه العلاقة ، يستفيد كل نوع من النوع الآخر ، ولكن التعاون بينهما ليس إجباريا ، فغياب أحد النوعين ، لايؤثر على وجود الآخر .
مثالا على ذلك ، ما يحدث من تبادل للعناصر الغذائية ، بين الأزوتوباكتر والمجهريات المحللة للنشا ، وبين السيانوبكتريا (الطحالب الخضراء المزرقة) ، وما يحيط بها من بكتريا . وتسمى حالة التعاون ، التى يحدث فيها تبادل للعناصر الغذائية بين الميكروبات ، باسم التغذية المتبادلة Syntrophism .

٣- التكافـــــل Symbiosis

هنا يستفيد كل نوع من النوع الآخر ، ويعتمد عليه ، والعلاقة بين النوعين ، وثيقة ومتخصصة . مثل ذلك ، العلاقة بين الريزوبيا والنباتات البقولية ، والفرانكيا والنباتات غير البقولية ، والميكوريزا فى جذور بعض النباتات ، وطحلب الأنابينا مع سرخس الأزولا .

من أمثلة العلاقات الضارة بين الميكروبات

١- التنـــــــافس Competition

وفيها يتنازع النوعين ، على نوع واحد من الغذاء ، أو الأكسجين ، أو المكان ، مما يؤدى إلى سيادة النوع الأكثر تأقلما ، على النوع الآخر ، كما يحدث بين كثير من بكتريا التربة وفطر Fusarium oxysporum ، من منافسة على مصدر النتروجين ، عندما تكون كميته قليلة ، فتفوز البكتريا .

٢- التضـــــاد Antagonism

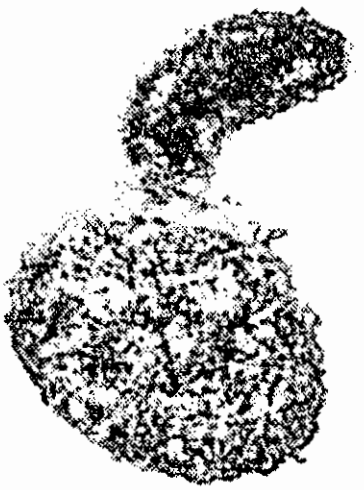
يحدث ذلك ، نتيجة انتاج نوع من الميكروبات ، أحماضا ضارة ، تؤثر على نمو الميكروبات الحساسة للحموضة ، أو تفرز موادا سامة ، أو مضادات حيوية ، كنواتج للتمثيل الغذائى ، فتؤثر على نمو الميكروبات الأخرى ، وقد تقضى عليها . وتعتبر الأكتينوميسيتات ، من أكثر الكائنات المجهرية ، إفرازا للمضادات الحيوية بالتربة ، التى تحد من انتشار الميكروبـــات الممرضة للنبات . وقد إستفاد الإنسان من تلك الخاصية ، بإنتاجه للمضادات من الأكتينوميسيتات ، ومن غيرها من الميكروبات ، وإستخدامها فى علاج الكثير من الأمراض كالتيفود ، والسل .

٣- التطفل والإفتراس Parasitism and predation

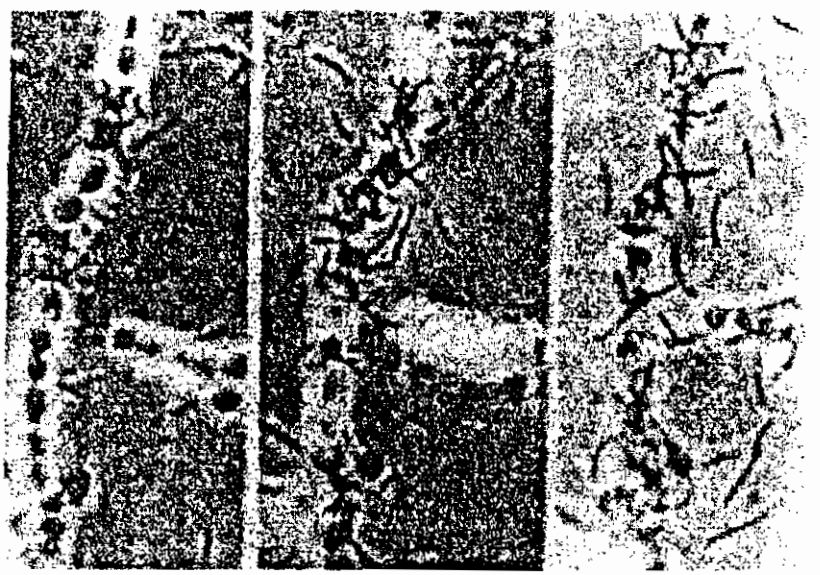
تتعرض الكائنات المجهرية بالتربة ، للتطفل والإفتراس (شكلى ٥-٢ و ٥-٣) ، وهذا يحد من نشاطها ، أو قد يقضى عليها .

فتتطفل الفيروسات على مجهريات التربة ، وقد تؤدى إصابة الرايزوبيا بالفاج ، إلى نقص عدد الرايزوبيا ، وعدم تكوين عقد بكتيرية على جذر النبات ، كما يتطفل على البكتريا ، بكتريا واوية سالبة لجرام هى Bdellovibrio bacteriovorus ، توجد بالأرض ومياه المجارى ، وتسبب تحلل خلايا البكتريا وموتها . كما توجد أنواع من الفطريات ، تتطفل على فطريات أخرى ، وعلى الطحالب والبروتوزوا والنيماتودا.

من حيث الإفتراس ، تعتبر البكتريا من أكثر الأحياء الدقيقة بالتربة، تعرضا للإفتراس . فتقوم البروتوزوا ، والفطريات اللزجة Myxomycetes بالتهام البكتريا . كما تتغذى البكتريا اللزجة Myxobacteria على البكتريا الأخرى ، بإذابة خلاياها ، بما تفرزه البكتريا اللزجة من إنزيمات خارجية محللة ، ثم تمتص المواد المتحللة ، وتتغذى عليها .



شكل ٥-٢ : صورة بالمجهر الإلكترونى ، توضح اختراق البديللوفبريو لجدار بكتريا E. coli (× ٨٤.٠٠٠)



البدايـــة ٢ ساعـــة ٤ ساعـــة

شكل ٥-٣ : تحلل السيانـوبكتريا (خيط نوستوك) بواسطـــة الميكسوباكتر خـــلال عـدة ساعـات .

دورات العناصر Cycle of elements

الـــدور الذى تلعبـــه ميكروبـــات الأراضـــى فى التحـــولات الأرضيـــة البيوكيميائية Biogeochemical role of soil microorganisms

تقوم ميكروبات الأراضى ، بتحويل المواد العضوية المعقدة ، إلى مركبات معدنية بسيطة . وتسمى هذه العملية بالمعدنة Mineralization . وتوفر هذه العملية ، العناصر الغذائية للميكروبات ، والنبات ، والحيوان ، والإنسان.

تصل المـــواد العضوية إلى التربة ، من مصادر عديدة ، منها المخلفات النباتية (وهى اهـــم تلك المصادر) ، والمخلفات الحيوانية ، والتسميد العضوى ، والمخلفات الميكروبية .
وتتعرض تلك المواد العضوية ، لنشاط الميكروبات الهتروتروفية ، التى تقوم بما تفرزه من إنزيمات ، بتحليل تلك المواد العضوية ، للحصول على الطاقة وبناء خلاياها ، مع تحول نسبة كبيرة من كربون المادة العضوية ، إلى ثانى اكسيد الكربون .

ونتيجة لتحلل المواد العضوية ، تختفى المواد السريعة التحلل أولا ، ثم يبطؤ التحلل تدريجيا بعد ذلك ، وتختفى الانسجة النباتية والحيوانية ، ويتبقى فى نهاية التحلل ، المواد الصعبة التحلل ، التى تكون مع المخلفات الميكروبية وبعض معادن الطين ، مادة معقدة التركيب ، بطيئة التحلل ، لونها غامق ، هى الدبال ، التى تؤثر على خواص التربة الفيزيائية ، والكيميائية ، والبيولوجية .

وبذلك ، فإنه يحدث اثناء معدنة المواد العضوية ، بتأثير ميكروبات الأراضى ، عدة عمليات فى وقت واحد . الأولى ، اختفاء الانسجة النباتية والحيوانية من المواد العضوية المضافة ، والثانية ، تكون أنسجة جديدة وخـــلايا ميكروبية ، والثالثة ، تكون الدبال من المواد الصعبة التحلل ، والرابعة ، تكون نواتج نهائية لعملية التحلل .

ويتضح الـــدور الذى تلعبه ميكروبات الأراضى ، فيما تقوم به فى التربة ، من تحولات بيوكيميائية ، كما فى دورات الكربون ، والنتروجين ، والكبريت ، والفوسفور ، وغيرها من العناصر ..وهذه الدورات ، لها تأثيرها الكبير على إنتاجية الأراضى ، وعلى ما حولنا من ظروف بيئية .

دورة الكربـــــون Carbon cycle

تثبيت ثانى اكسيد الكربون Carbon dioxide fixation

المصدر الأساسى فى الطبيعة ، لكربون المركبات العضوية الكربونية، هو ثانى أكسيد الكربون ، الموجود فى الهواء الجوى ، أو المذاب فى الماء. ورغم أن النباتات والطحالب ، هى العوامل الأساسية لتثبيت ثانى اكسيد الكربون ، وتحويله بالإختزال الى مواد عضوية ، فإن البكتريا ، قادرة أيضا على تكوين المواد العضوية ، من ثانى اكسيد الكربون ، كما يتضح مما يلى

١- البكتريا الأوتوتروفيـــة

يعتبر CO_2 الجو ، مصدر الكربون الوحيد للبكتريا الأوتوتروفية . ونتيجة للإختزال ، فإنه يتحول إلى كربوهيدرات ، حسب المعادلـــة العامة :

$$CO_2 + 2\,H_2S \longrightarrow (H\,CHO)_n + H_2O + 2\,S$$

٢- البكتريا الهتروترفية

تثبيت CO_2 ، عملية شائعة بين البكتريا الهتروتروفية ، ومصدر الكربون هنا هو المواد العضوية ، كما يتضح من المعادلة الآتية

$$CH_3\,CO\,COOH + CO_2 \longrightarrow HOOC - CH_2 - CO - COOH$$

حامض أكسال أسيتيك — حامض بيروفيك

تحلل المواد العضوية الكربونية
Organic carbon compounds degradation

تتعرض المواد العضوية الكربونية ، التى تصل إلى التربة ، للتحلل بتأثير النشاط الميكروبى ، مع تكون غاز ثانى اكسيد الكربون (وهو من النواتج النهائية للتحلل) ، الذى يتصاعد الى الجو ، كما ينتشر بالتربة . وتختلف المواد العضوية فى سرعة تحللها ، فمنها السريع ، كالمكونات الذائبة والسكريات البسيطة ، يليها النشا والسليلوز ، ومنها البطىء ، مثل اللجنين والشموع والراتنجات .

والناتج النهائى لتحلل المواد الكربونية ، تحت الظروف الهوائية هو CO_2 , H_2O ، نتيجة الأكسدة الكاملة .
أما تحت الظروف اللاهوائية ، فإن الأكسدة تكون غير كاملة ، فتنتج كحولات ، كالإيثانول والبروبانول والبيوتانول ، وأحماض عضوية ، مثل الخليك والفورميك والبيوتيريك واللاكتيك ، وغازات مثل ، NH_3 , H_2S , CH_4 , H_2 , CO_2 ... وغيرها .

السليلوز Cellulose

من أمثلة المواد العضوية الكربونية ، التى تتعرض للتحلل بالتربة ، السليلوز . ويعتبر السليلوز ، المكون الأساسى بالمخلفات النباتية ، حيث تصل نسبته ، إلى حوالى ٦٠ ٪ ، من تركيب تلك المخلفات ، وهو مادة كربوهيدراتية معقدة ، يتركب من وحدات عديدة من الجلوكوز ، مرتبطة بروابط جليكوزيدية ، من نوع بيتا ١ - ٤ . وهى يلى السكريات البسيطة والنشا ، من حيث سرعة التحلل ، بواسطة ميكروبات الأراضى .

يتحلل السليلوز فى التربة ، بواسطة الميكروبات ، بما تفرزه من إنزيمات ، تسمى فى مجموعها Cellulases ، فيتحلل تدريجيا ، حتى يصل إلى السيللوبيوز Cellobiose ، وهو وحدتين من الجلوكوز ، ثم إلى جلوكوز ، الذى يستخدمه الميكروب ، كمصدر للكربون والطاقة . ويتحلل الجلوكوز هوائى إلى H_2O , CO_2 ، أو لاهوائى إلى مركبات وسطية ، وذلك حسب طروف الميكروب .

ويمكن تلخيص عمليات التحلل فى الخطوات الآتية

$$\text{Cellulose} \xrightarrow[\text{Endo B 1-4 glucanase}]{C_1 \text{ enzyme}} \text{Small chains of cello - oligo - saccharides}$$

$$\text{Cello - oligo saccharides} \xrightarrow[\text{Exo B 1-4 glucanase}]{Cx \text{ enzyme}} \text{cellobiose}$$

$$\text{Cellobiose} \xrightarrow[\text{B 1-4 glucosidase}]{\text{Cellobiase}} \text{glucose}$$

$$\text{glucose} \xrightarrow{\text{Enzyme system of organisms}} CO_2 , H_2O \text{ , and other, end products}$$

الميكروبات النشطة فى تحليل السليلوز (شكل ٥-٤) ، هى البكتريا الهوائية واللاهوائية ، والفطريات . وتسود البكتريا والأكتينوميسيتات ، فى الأراضى المتعادلة والمائلة للقلوية ، بينما تسود الفطريات ، فى الظروف الحامضية .

من أجناس البكتريا المحللة Cytophage , Bacillus , Clostridium

ومن أجناس الاكتينوميسيتات Micromonospora , Nocardia , Streptomyces

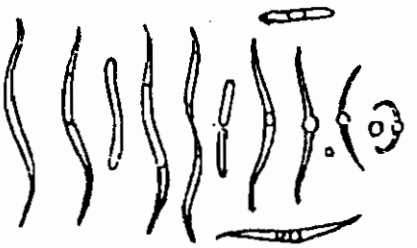
ومن الفطريات Alternaria , Aspergillus , Chaetomium , Penicillium

ونظرا لأن الحيوانات ، غير قادرة على إفراز الانزيمات المحللة للسليلوز ، فإن البكتريا المحللة للسليلوز ، الموجودة بمعدة الحيوانات آكلة العشب ، تعتبر المسئولة ، عن تحلل المواد السليلوزية الموجودة بالعليقة .

المخلفات العضوية الاخرى

تتعرض المخلفات العضوية الأخرى ، كالنشا ، والهيميسليلوز ، والبكتين ، والكيتين ، والصموغ ، واللجنين ، للتحلل الميكروبى ، كما حدث فى حالة السليلوز ، الذى سبق الكلام عنه ، مع اختلاف الإنزيمات ، والميكروبات المحللة ، حسب نوع المخلفات ، وظروف التربة .

أ - الستيوفـــاجـــا



ب- الاكتينوميسيتات

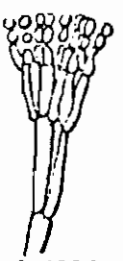
Nocardia

Streptomyces

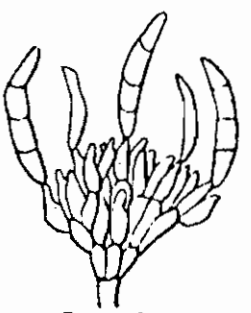
Micromonospora

جـ - الفطـريـــــات

Aspergillus



Penicillium



Fusarium

شكل ٥-٤ : بعـض الميكروبـــات المحللـة للسليلـوز من سيتوفـاجـا ، وأكتينوميسيتات ، وفطريـــــات .

تكون وأكسدة غاز الميثان
Production and oxidation of methane

يتكون غاز الميثان ، تحت الظروف اللاهوائية ، من تحلل المواد العضوية القابلة للأكسدة . ويحدث ذلك بالتربة المغمورة بالمياه ، وفى قاع البرك والمستنقعات ، وفى كرش الحيوانات المجترة .

يقـوم بإنتاج غاز الميثان ، مجموعة من البكتريا اللاهوائية المتخصصـة ، تسمى البكتريا المنتجة لغاز الميثان Methanogenic bacteria ، مثل ، Methanococcus , Methanobacterium , Methanospirillum . ومصـادر الكربون الملائمة لهذه البكتريا ، هى الأحماض العضوية ، والكحولات ، وغاز CO_2 ، التى تنتجها الميكروبات الأخرى ، التى تحلل الكربوهيدرات لاهوائيا .

ينتج غاز الميثان ، بواسطة البكتريا المتخصصة ، بمجموعة من التفاعلات ، من أمثلتها ، المعادلات العامة التالية

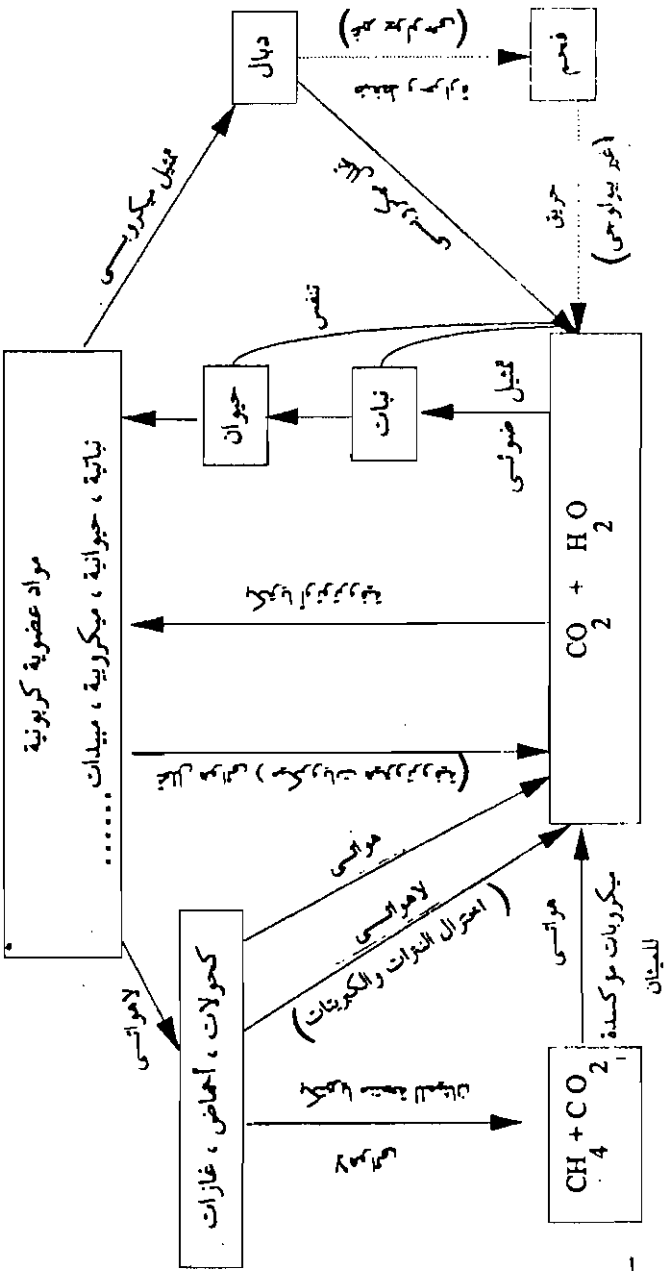
$$CO_2 + 4\,H_2 \longrightarrow CH_4 + 2\,H_2O$$

$$CH_3 - COOH \longrightarrow CH_4 + CO_2$$

$$2\,CH_3\,CH_2OH \longrightarrow 3\,CH_4 + CO_2$$

إذا أصبحت الظروف هوائية ، فإن البكتريا المؤكسدة للميثان Methylotrophic bacteria ، وهى هوائية حتما ، مثل Methylococcus , Methylomonas، علاوة على بعض الفطريات ، تقوم بأكسدة الميثان ، وأكسدة مجموعة الميثايل ، واستخدامهما كمصدر للكربون . وتوجد هذه الميكروبات فى التربة جيدة التهوية ، وعلى سطح مياه الأراضى المغمورة ، حيث تستفيد من الميثان المتكون ، فى الأعماق البعيدة عن الأكسجين ، أو فى مسام التربة الضيقة .

ويوضح الشكل (٥-٥) دورة الكربون فى الطبيعة



شكل ٥ - ٥ : دورة الكربون فى الطبيعة

دورة النتروجين Nitrogen cycle

يعتبر النتروجين ، حجر الأساس فى جزىء البروتين ، المكون لبروتوبلازم جميع الخلايا الحية . وتعتمد الحياة ، على استمرار سد النقص فى المركبات النتروجينية ، التى تعتبر من أكثر المركبات فى الطبيعة ، تعرضا للتحولات البيولوجية ، بما فى ذلك من تفاعلات الأكسدة والإختزال . وتسمى هذه التحولات مجتمعة ، بدورة النتروجين . ويقوم بتلك التحولات ، العديد من الميكروبات ، بما تفرزه من إنزيمات .

يضاف النتروجين للتربة ، على هيئة أسمدة معدنية ، أو فى صورة عضوية ، تشمل المخلفات النباتية ، والحيوانية ، والميكروبية ، والأسمدة العضوية .

وتشمل التحولات البيولوجية للنتروجين ما يلى

أولا : معدنة النتروجين العضوى Organic nitrogen mineralization

يأخذ النبات معظم إحتياجاته من النتروجين ، فى صورة معدنية (أمونيا ونترات) . لذلك ، فإن معدنة المواد العضوية النتروجينية ، ومنها البروتين ، والأحماض النووية ، والسكريات الأمينية ... وغيرها ، تعتبر عملية أساسية لدورة النتروجين ، وخصوبة الأراضى .

وتتضمن عملية المعدنة ، خطوتين أساسيتين هما : النشدرة Ammonification ، وهى عبارة عن تحلل النتروجين العضوى حتى يكون الأمونيا، والتأزوت (النترتة) Nitrification ، وهى عبارة عن أكسدة الأمونيا إلى نترات.

١- النشدرة

تقوم أعداد ضخمة من ميكروبات الأراضى ، بما تفرزه من إنزيمات خارجية محللة للبروتين ، بتحليل البروتين إلى أحماض أمينية . ومن الميكروبات النشطة ، فى تحليل البروتينات

البكتريا الهوائية واللاهوائية مثل

Bacillus , Proteus , Pseudomonas , Clostridium sporogenes

والأكتينوميسيتـــات مثـــل Streptomyces
والفطريـــــات مثـــــل Alternaria , Aspergillus , Penicillium

تحت الظروف الهوائية ، تكون نواتج تحلل البروتين النهائية ، هى الأمونيا ، و CO_2 , H_2O , H_2S .

أما تحت الظروف اللاهوائية ، فإنه يصحب التحلل ، تكون روائح كريهه ، لحدوث تعفن Putrefaction ، حيث تكون النواتج النهائية ، أمونيا ، أمينات ، أحماض عضوية ، أحماض أمينية ، CO_2 , H_2S ، ومركبات كبريتية كالمركبتان ، والسكاتول .

يتحلل البروتين على خطوات

$$\text{Protein} \xrightarrow{\text{Proteinases}} \text{Proteose} \xrightarrow{\text{Proteases}} \text{Peptides} \xrightarrow{\text{Peptidases}} \text{Amino acids}$$

الأحماض الأمينية الناتجة من التحلل ، جزء منها تستخدمه الميكروبات الهتروتروفيه ، كمصدر للنتروجين والكربون ، والجزء الباقى ، يتحلل بتأثير بعض الميكروبات .

تتعرض الأحماض الأمينية ، للتحلل الميكروبى بطرق عديدة ، وذلك حسب ظروف التربة ، والميكروبات ، حيث يتم نزع جزىء الأمين Deamination، أو نزع جزىء الكربوكسيل Decarboxylation ، ويتم ذلك بطرق عديدة ، تمثلها المعادلات العامة التالية

Deamination (Oxidative)

$$R.\ CH.\ NH_2\ COOH \xrightarrow[\text{Deaminase}]{+\ O_2} R.\ CO.\ COOH + NH_3$$

Decarboxylation

$$R.\ CH.\ NH_2\ COOH \xrightarrow[\text{Decarboxylase}]{CO_2} R.\ CH_2\ NH_2 + CO_2$$

Hydrolysis

$$R.\ CH_2.\ NH_2 \xrightarrow{+\ H_2O} R.\ CH_2\ OH + NH_3$$

الأمونيا المتكونة ، قد تتطاير ، أو تذوب بالتربة وتكون NH_4^+ ، أو تتأكسد إلى نترات ، حيث تستعمل الأمونيا أو النترات ، فى تغذية النبات والميكروبات، أو تتعرضان للفقد .

٢- التأزوت (النترتة)

تقوم ميكروبات الأراضى ، بتحويل الأمونيا المتجمعة ، إلى نترات بالأكسدة . ويتم ذلك على مرحلتين ، لكل مرحلة ، مجموعة البكتريا المتخصصة لها ، وكلها بكتريا هوائية ، أوتوتروفية حتما ، سالبه لصبغة جرام ، ذات أشكال مورفولوجية متعددة ، بطيئة النمو ، توجد فى التربة والمياه ، وفى مياه المجارى . وتحصل هذه البكتريا على الطاقة اللازمة لها، من عملية الأكسدة

أ- أكسدة الأمونيا إلى نتريت ، بواسطة البكتريا المؤكسدة للأمونيا مثل Nitrosomonas , Nitrosococcus , Nitrosovibrio ، وتقوم هذه البكتريا بالتفاعل التالى

$$2\ NH_3 + 3\ O_2 \longrightarrow 2\ HNO_2 + 2\ H_2O + \text{energy}$$

ب- أكسدة النيتريت إلى نترات ، بواسطة البكتريا المؤكسدة للنتريت مثل Nitrobacter , Nitrococcus ، وتقوم هذه البكتريا بالتفاعل التالى

$$2\ HNO_2 + O_2 \longrightarrow 2\ HNO_3 + \text{energy}$$

يلاحظ ان النتريت المتكون فى الخطوة الأولى ، سام للنبات ، ولكنه لايتراكم بالتربة ، فبمجرد تكونه ، يتأكسد إلى نترات ، مفيد للنبات .

عملية التأزوت ، عملية بيولوجية هامة بالأراضى ، حيث أن النترات المتكون ، هو أفضل صورة لإمتصـــاص المواد النتروجينية ، فى أغلب النباتات .

ثانيا: فقد النتروجين من التربة Nitrogen loss from soil

يفقد النتروجين من التربة ، إما بطريقة بيولوجية ، كما يحدث فى عملية انطلاق (تحرير) النتروجين Denitrification ، واختزال النترات Nitrate reduction ، أو بطريقة غير بيولوجية ، بالتطاير ، وفى مياه الصرف.

فقد النتروجين ، عملية غير مرغوبه زراعيا ، والظروف البيئية التى تسمح بالفقد البيولوجى ، هى : وجود ظروف لاهوائيه ، توفر المواد العضوية القابله للأكسدة ، ارتفاع حرارة التربة (من ٢٥ إلى ٦٥°م) ، والوسط المتعادل ، أو المائل للقلوية .

ويحدث الفقد ، بواسطة انواع كثيرة من البكتريا ، الأوتوتروفيه والهتروتروفية ، بما تفرزه من إنزيمات ، فى سلسلة من التفاعلات البيوكيميائية ، حيث ، أنه فى غياب الأكسجين ، تعمل النترات كمستقبل للإيدروجين ، لهذه البكتريا .

- انطـــلاق النتروجين

فى هذه العملية ، تختزل النترات اختزالا كامــلا ، إلى نتروجين غازى .

$$2\,NO_3^- \longrightarrow 2\,NO_2^- \longrightarrow 2\,NO \longrightarrow N_2O \longrightarrow N_2$$

Nitrate Nitrite Nitric oxide Nitrous oxide Nitrogen

- اختـــزال النتـــرات

فى هذه العملية ، تختزل النترات إلى أمونيا ، وهو عكس عملية التأزوت.

$$H\,NO_3 + 4\,H_2 \longrightarrow NH_3 + 3\,H_2O$$

$$NO_3^- \longrightarrow NO_2^- \longrightarrow NH_3$$

من أجناس البكتريا التى تقوم بهذه التفاعلات :

Achromobacter , Alcaligenes , Bacillus , Chromatium , Hyphomicrobium , Pseudomonas , Thiobacillus and Vibrio

ومما يذكر ، أن البكتريا التى تقوم بهذه التفاعلات ، غير متخصصه، فكثير منها فى الظروف العادية ، يقوم بعمليات النشدرة ، وغيرها من التفاعلات الحيوية . ولكنها تقوم بعمليات الإختزال وإنطلاق النتروجين ، عند ما تسود بالتربة الظروف البيئية ، المشجعه لهذه التحولات .

ثالثا : تثبيت النتروجين الجوى Nitrogen fixation , Diazotrophy

المقصود بعملية التثبيت الحيوى للنتروجين الجوى ، هو تحويل النتروجين الجوى ، بواسطة الميكروبات ، إلى أمونيا ، حيث يستخدم لبناء خلاياها . وتوجد مجموعة كبيرة من الكائنات ، بدائية النواه (بروكاريوتا)، لها القدرة على استخدام النتروجين الغازى ، كمصدر للنتروجين ، لاحتوائها على انزيم النيتروجيناز Nitrogenase ، المثبت لنتروجين الهواء الجوى ، والذى يقوم بالتفاعل التالى ، لإنتاج الأمونيا

$$N_2 \longrightarrow N \equiv N \xrightarrow[\text{Nitrogenase}]{+ 6H^+ + 6e^- + n\,ATP} 2\,NH_3$$

الأمونيا المثبته داخل جسم الميكروب ، تمثل لبناء مواد بروتينية

$$NH_3 + \text{glutamate} \xrightarrow{\text{Synthetase}} \text{Amino acids} \xrightarrow{\text{Biosynthesis}} \text{Proteins}$$

البكتريا المثبته للنتروجين الجوى مجموعتان (جدول ٥-١)

١- بكتريا لاتكافليه Non-Symbiotic

وهى تثبت النتروجين، أثناء معيشتها الحرة بالتربة Free-living diazotrophs.

٢- بكتريا تكافلية Symbiotic

وهى تثبت النتروجين ، عندما تعيش تكافليا مع النبات (غالبا فى جـــذور النبات) Symbiotic diazotrophs .

جدول ٥-١ : بعض أجناس وأنواع البكتريا الهامة ، المثبته للنتروجين الجوى

A: Free - living Diazotrophs		B: Symbiotic diazotrophs
A 1: Heterotrophs		1- Rhizobium on legumes
Azospirillum lipoferum	محب للهواء بكمية قليلة	2- Frankia on non-legumes
Azotobacter chroococcum	هوائى	3- Anabaena on Azolla
Beijerinckia indicum	هوائى	
Bacillus polymyxa	اختيارى للهواء	
Enterobacter aerogenes	اختيارى للهواء	
Escherichia coli	اختيارى للهواء	
Clostridium pasteurianum	لاهوائى	

A 2 : Autotrophs

1- Oxygenic photobacteria (Cyanobacteria)

Gloeocapsa	وحيد الخلية
Anabaena	خيطى يكون هتيروسست
Nostoc	خيطى يكون هتيروسست
Oscillatoria	خيطى لايكون هتيروسست
Plectonema	خيطى لايكون هتيروسست

2- Anoxygenic photobacteria

Chlorobium thiosulfatophilum

Chromatium vinosum

Rhodospirillum rubrum

3- Chemosynthetic bacteria

Thiobacillus sp.

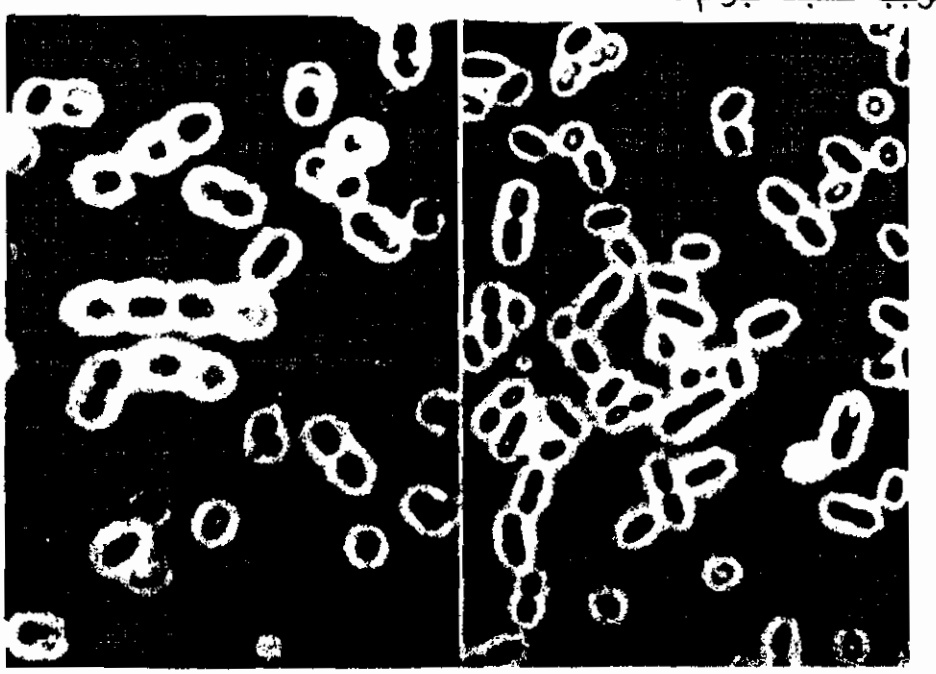
التثبيت اللاتكافلى Non-symbiotic fixation

تقوم انواع عديدة ، من البكتريا الهتروتروفيه والاوتوتروفيه ، بتثبيت النتروجين الجوى لاتكافليا . وتتراوح كمية النتروجين المثبته عادة ، ما بين ١٠ - ٢٥ كجم نتروجين / فدان سنويا ، وذلك حسب ظروف التربة . وبالإضافة إلى قدرة هذه الميكروبات ، على تثبيت النتروجين ، فإنها تفرز الكثير من المواد المنشطة للنمو ، مثل إندول حامض الخليك ، وبعض الفيتامينات ، التى تساعد على زيادة انتاج المحصول المنزرع .

والأنواع الهتروتروفيه الكثيرة الانتشار بالتربة ، هى

Azotobacter spp. (شكل ٥-٦) ، وهى هوائية ، كروية إلى بيضاوية ، غالبا فى أزواج ، سالبة لصبغة جرام .

Clostridium pasteurianum (شكل ٥-٧) ، وهى لاهوائية ، عصوية متجرثمة ، موجبة لصبغة جرام .



Az. agilis Az. chroococcum

شكل ٥-٦ : بكتريا الأزوتوباكتر بمجهر تباين الأطوار الضوئى (١.٢٠٠ x)

الأنواع الأوتوتروفيه ، التى تلعب دورا هاما فى تثبيت النتروجين الجوى ، فى الأراضى المنزرعة أرزا ، هى البكتريا الممثلة للضوء الأكسوجينية (السيانوبكتريا) ، ومن أجناسها الواسعة الانتشار : Nostoc , Anabaena (شكل ٥-٨) ، وهى خيطية وتكون هتيروسست Heterocyst، وهذه ، عبارة عن خلايا خاصة ، توجد على مسافات بطول خيط البكتريا ، وهى مكان تثبيت النتروجين بهذه السيانوبكتريا .

Cl. pasteurianum

شكل ٥-٧ : بكتريا لاهوائية مثبته للنتروجين الجوى (× ١٠٠٠)

شكل ٥-٨ : خيط سيانوبكتريا نوستوك عمره ١٠ أيام (× ١.٢٠٠)

التثبيت التكافلى Symbiotic fixation

تقوم أنواع من البكتريا ، والأكتينوميسيتات ، وبعض السيانوبكتريا، بتثبيت النتروجين الجوى داخل النباتات ، بالإشتراك مع بعض النباتات ، مغطاة ، ومعراة البذور .

من صور التثبيت التكافلى

١- التكافل بين الرايزوبيا والنباتات البقولية
Rhizobium - legume symbiosis

فى هذه المعيشه التكافلية ، تقوم بعملية التثبيت ، بكتريا العقد الجذرية Root-nodule bacteria ، التابعة لجنسى Bradyrhizobium و Rhizobium ، وذلك بداخل العقد الجذرية Root-nodules ، حيث تعيش هذه البكتريا معيشة تكافلية ، مع النباتات البقولية مثل البرسيم ، والبسلة ، والفاصوليا ، والفول، وفول الصويا .

وفى هذه العلاقة التكافلية ، فإن النبات يمد البكتريا ، بما تحتاجه من سكريات ، ومصادر للطاقة ، ومواد عضوية ، وغير عضوية ، بينما تمد البكتريا ، النبات ، بالمواد النتروجينية المثبته .

وهناك نـوع من التخصص بين البكتريا العقدية ، والنبات البقولى العائل . فلكل نبات بقولى ، أو مجموعة من النباتات البقولية ، نوع ، أو سلالة معينة من الرايزوبيا ، التى تستطيع ان تكون عقدا على جذور ذلك النبات ، وتثبت بالعقدة النتروجين ، بينما لاتستطيع ذلك سلالة أخرى .
مثالا على ذلك ، فإن البكتريا R. meliloti ، تكون عقدا فعالة ، قادرة على تثبيت النتروجين ، بجذور نباتات مجموعة البرسيم الحجازى ، وهى البرسيم الحجازى ، والحلبه ، والحندقوق ، بينما لاتستطيع أن تكون تلك العقد ، أو تكون عقدا كاذبة غير مثبته للنتروجين ، بالبرسيم العادى ، والمجموعة التابعة له ، لأن مجموعـــة البرسيم العـــادى ، تصيبها البكتريـــا من نوع R. trifolii ... وهكذا .
وحتى بالنسبة للنوع الواحد من النبات البقولى ، فإنه توجد سلالات فعالة من الرايزوبيا ، التى تصيبـــه بكفاءة ، عن سلالات أخرى .

لذلك ، تقسم البكتريا العقدية ، حسب مجموعة العوائل النباتية ، التى تصيبها ، إلى سبعة مجاميع ريزوبيا رئيسية ، هى

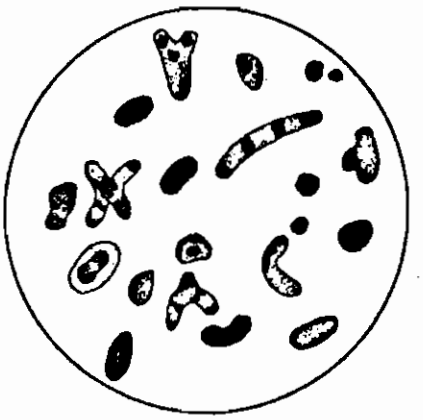
R. meliloti (Alfalfa group)
R. trifiolii (Clover group)
R. leguminosarum (Pea group)
R. phaseoli (Bean group)
Br. japonicum (Soybean group)
Br. lupini (Lupine group)
Br. sp. (Cowpea group).

والبكتريا العقدية هوائية ، وعندما توجد فى الحالة الحرة بالتربة، تكون عصوية الشكل ، غير قادرة على تثبيت النتروجين . وعند زراعة النبات البقولى ، فإن البكتريا العقدية - اذا كانت من النوع المتخصص للنبات المنزرع - تغزو المجموع الجذرى ، وتدخل من طرف الشعيرات الجذرية ، وتنمو مكونة خيط العدوى infection thread (وهو مكون من البكتريا العقدية، محاطة بأنبوبة من السليلوز) .
يمتد خيط العدى داخل الشعيرة الجذرية ، حتى يصل إلى خلايا القشرة بالجذر ، أو البريسيكل فى بعض النباتات ، حيث يتفرع بالخلايا ، ثم يختفى خيط العدوى المغلف للبكتريا ، وتتكاثر البكتريا تكاثرا سريعا ، وتتنبه خلايا القشرة (أو البريسيكل) ، فتنشط ، وتتكاثر ، وتتضخم ، وبذلك تتكون العقدة الجذرية ، التى تتصل بالحزم الوعائية للجذر، وتعيش البكتريا العقدية ، فى خلايا العقدة ، حيث تثبت النتروجين ، وتتم عملية تبادل المنفعة .

تأخذ البكتريا وهى فى العقدة أشكال TLYXV . (شكل ٥-٩) ، ويسمى ذلك طور البكتيرويد Bacteroid ، وهو طور البكتريا العقدية ، الموجود بالعقد الجذرية ، المحتوى على انزيم النيتروجيناز ، المثبت لنتروجين الهواء الجوى.

شكل وحجم العقد الجذرية ، يختلف بإختلاف العائل ، وتتكون العقدة على الجذر ، فى مدة لاتقل عن أسبوعين من بدء الاصابة ، وتستمر البكتريا بالعقدة مدة حوالى سبعة أسابيع ، ثم تنفجر العقدة ، وتخرج منها البكتريا لتعيش حرة فى التربة ، لتغزو شعيرات جذرية أخرى .

أهمية البكتريا العقدية كبيرة ، بالنسبة لكل من النبات البقولى ، والتربة الزراعية . فالنبات البقولى ، يجد حاجته من النتروجين المثبت ، كما أن الزائد عن حاجته ، وما يتخلف بالتربة بعد حصاده ، من عقد غنيه بالمواد النتروجينية ، تفيد المحصول التالى .

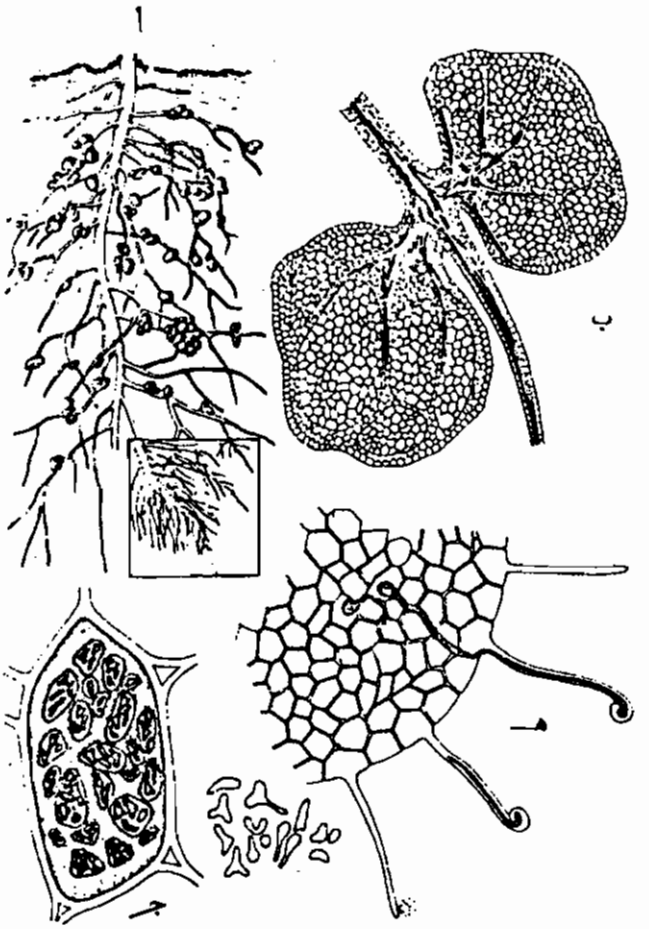


شكل ٥-٩ : نماذج لأشكال بكتريا الرايزوبيا فى طور البكتيرويد بداخل عقده جذرية (× ١.٢٠٠) .

مقدار ما تثبته البكتريا العقدية من نتروجين ، يختلف بإختلاف النبات وظروف التربة ، وقد تصل فى حالة البرسيم الحجازى إلى ١٠٠ كجم نتروجين للفدان سنويا .

وتعتبر عملية تلقيح بذور البقوليات (أو التربة) عند الزراعة ، بالبكتريا العقدية ، عملية زراعية مفيدة ، خاصة فى الأراضى حديثة الاستصلاح ، التى قد تكون خاليه من البكتريا العقدية المتخصصة . وتحتوى التحضيرات التجارية من اللقاح ، على سلالات البكتريا العقدية المتخصصة ، محملة على حامل مناسب ، حيث تحفظ تحت ظروف ملائمة ، لحين استعماله ، كلقاح للبذور او التربة .

ويوضح شكل (٥-١٠) ، العقد الجذرية بنبات البسلة .



شكل ٥-١٠: التثبيت التكافلى فى عقدة جذرية لنبات بقولى

أ - جذر نبات البسلة عليه عقد
ب - قطاع فى عقدة جذرية تامة التكوين
جـ - قطاع فى خلية مملوءة بالرايزوبيا
ء - بكتريا فى طور البكتيرويد بداخل الخلية
هـ - اختراق بكتريا العقد لطرف الشعيرة الجذرية ، وتكون خيط العدوى

٢- التكافل فى النباتات غير البقولية
Symbiotic nitrogen fixation on non-leguminous plants.

بعض النباتات غير البقولية ، سواء مغطاة ، أو معراه البذور ، تكون عقدا جذرية قادرة على تثبيت النتروجين الجوى . ومعظم هذه النباتات ، عبارة عن أشجار خشبية معمرة ، منتشرة فى أماكن كثيرة من العالم ، فى أراضى فقيره فى عنصر النتروجين ، مما يبين أهمية عملية تثبيت النتروجين لهذه الأشجار .

من النباتـــات مغطاة البـــذور ، المثبته للنتروجين ، نبات الألناس Alnus glutinosa ، وهو خشب جيد للأثاث ، والكازورينا Casuarina وهو مصد جيد للرياح . ومن معراة البذور ، نبات السيكاس Cycas .

كمية النتروجين المثبته بهذه النباتات ، تختلف حسب النبات ، وظروف التربة ، وهى تتراوح من ١٢ إلى ٢٠٠ كجم نتروجين / هكتار سنويا . وقد يصل حجم العقدة الجذرية فى بعض الاشجار الخشبية ، مثل نبات الألناس ، إلى حجم كرة التنس .

بالنسبة لأشجار الألناس والكازورينا ، فإن البكتريا المثبته للنتروجين بالعقدة ، تتبع جنس Frankia التابع لمجموعة الأكتينوميسيتات . وتتشابه عملية غزو الجذور ، وتكوين العقد البكتيرية الجذرية ، مع ما يحدث بين الرايزوبيا والبقوليات . وتسمى النباتات غير البقولية ، المكونة لعقد جذرية، تكافليا مع الأكيتنوميسيتات (الفرانكيا) ، تسمى بإسم Actinorrhizal plants.

بالنسبة لأشجار السيكاس ، فقد وجد أن جذورها ، تحتوى على خيوط من البكتريا الخضراء المزرقة Anabaena cycadeae ، المثبته للنتروجين ، فى منطقة بين القشرة الخارجية ، والداخلية للجذور .

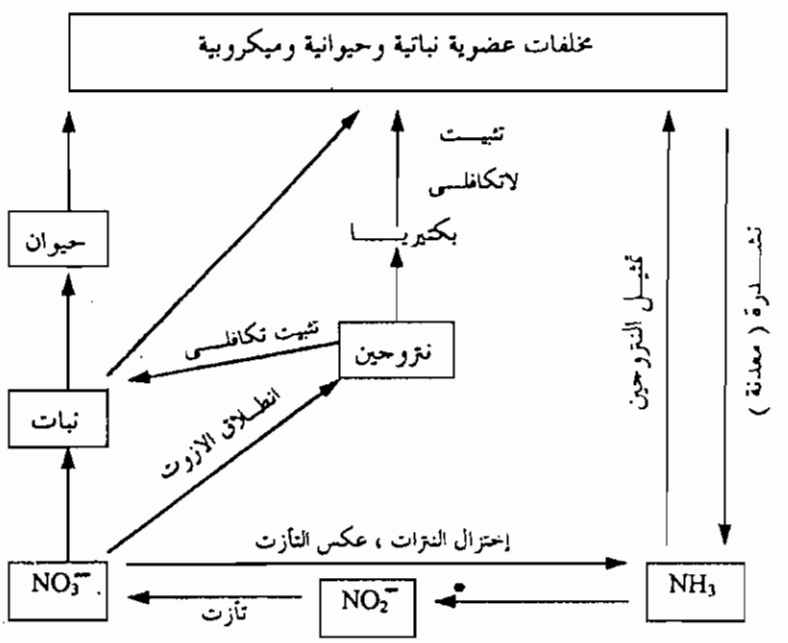
٣- التكافل بين السيانوبكتريا والأزولا
Anabaena - azolla symbiosis

تستطيع السيانوبكتريا من جنس Anabaena azollae ، تثبيت النتروجين تكافليا ، مع نبات الأزولا . والأزولا سرخس مائى ، يوجد ناميا بكثرة على سطح المياه ، خاصة بالمناطـق الإستوائية . ويعيش الأنابينا تكافليا ، داخل

نبات الأزولا ، فى شكل خيوط لزجة ، فى فجوات ، توجد على سطح الفص السفلى ، لنبات الأزولا .

وبطـــرق الزراعة المناسبة ، فإنه يمكن استخدام الأزولا ، كسماد أخضر ، ومصدرا للنتروجين ، بأراضى الأرز المغمورة بالمياه ، حيث تستطيع الأنابينا المتكافلـــة مـــع الأزولا ، أن تثبت حوالى ٢٥٠ كجم نتروجين / فدان ، فى موسم زراعة الأرز ، كما يمكن استخدام الأزولا أيضا ، كغذاء فى علائق الحيوانات ، والطيور ، وفى عمل السماد العضوى الصناعى بالمزارع.

والشكل (٥-١١) ، يوضح دورة النتروجين فى الطبيعة

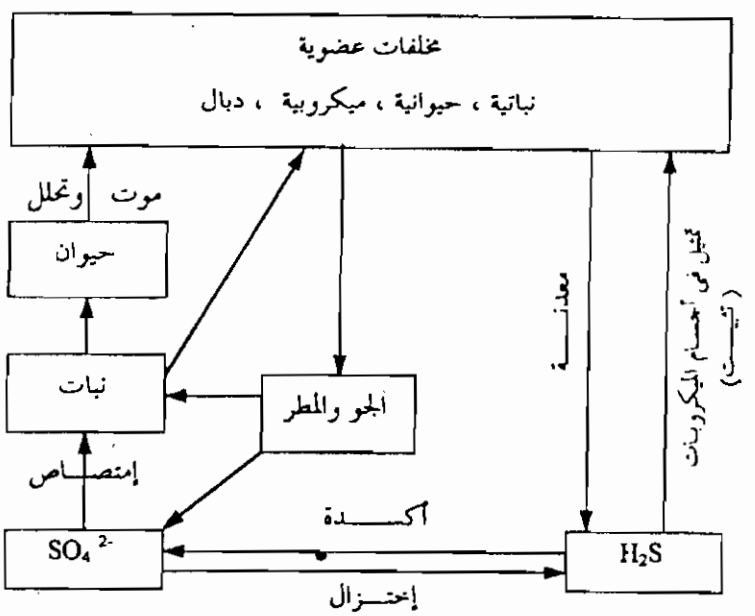


شكل ٥-١١ : دورة النتروحين

دورة الكبريت Sulfur cycle

يتعرض الكبريت ، مثل الكربون والنتروجين ، لمجموعة من التحولات، تتم فى دورة (شكل ٥-١٢) ، تقوم بها الكائنات المجهرية . فبعض المجهريات ، يستطيع أكسدة المركبات الكبريتيه ، بينما يستطيع البعض الآخر، القيام بعمليات الإختزال .

وتتشابه التحولات ، التى تقوم بها الميكروبات فى دورة الكبريت (من حيث المعدنه والأكسدة والإختزال) ، مع تلك التى تقوم بها الميكروبات ، فى دورة النتروجين .



شكل ٥-١٢ : دورة الكبريت

ويمكن تلخيص بعض التحولات البيوكيميائية ، التى تقوم بها الميكروبات ، فى دورة الكبريت ، فى الآتى

١- تقوم بعض أنواع البكتريا ، بأكسدة الكبريت المعدنى ، وهو صورة غير صالحة لتغذية النبات والحيوان ، إلى كبريتات ، وهى الصورة الصالحة للتغذية ، كما يتضح من المعادلة التالية

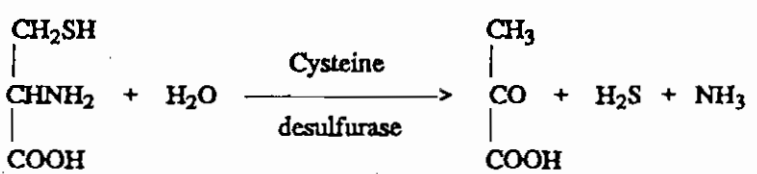
$$2\ S + 2\ H_2O + 3\ O_2 \longrightarrow 2\ H_2SO_4$$

من البكتريا التى تقوم بهذا التفاعل ، Thiobacillus thiooxidans ، وهى بكتريا هوائية ، أوتوتروفية ، مؤكسدة للكبريت ، ومقاومة للحموضة .

كما تستطيع البكتريا الأخرى المؤكسدة للكبريت ، مثل Thiobacillus spp., Beggiatoa , Thiothrix ، أكسدة مركبات الكبريت المختزلة (H_2S , SO_3^{2-}) ، مع تكوين كبريت ، وكبريتات

$$\text{Reduced sulfur compounds} \longrightarrow SO_4^{2-} + S$$

٢- تتحول الكبريتات ، بالتمثيل الغذائى ، الميكروبى والنباتى والحيوانى، إلى أحماض أمينية كبريتيه ، تدخل فى تركيب البروتين . وتقوم كثير من الميكروبات الهتروتروفيه ، بمعدنة الكبريت العضوى ، فى عملية تشابه عملية النشدرة فى دورة النتروجين ، حيث تقوم الميكروبات ، بما تفرزه من إنزيمات ، بتحليل البروتين ، مع إنفراد الأحماض الأمينية ، ومنها الكبريتيه ، التى تتحلل ، وينفرد منها الكبريت ، كما يتضح من المثال التالى



Cysteine — Pyruvic acid

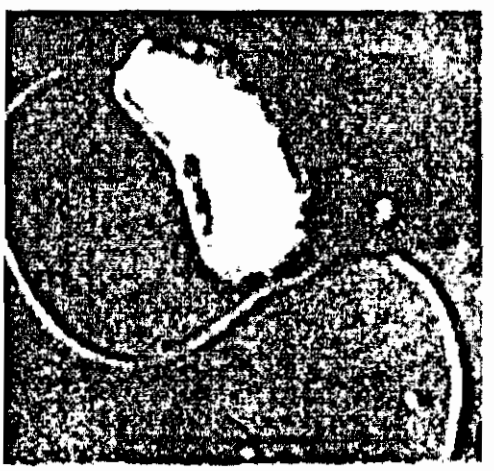
٣- كما تختـــزل الكبريتات إلى كبريتيـد الإيدروجين ، بواسطـة ميكروبات الأراضى ، كما يتضح من المعادلة التالية

$$CaSO_4 + 4\ H_2 \longrightarrow H_2S + Ca(OH)_2 + 2\ H_2O$$

البكتريا التى تقوم بالإختزال ، بكتريا لاهوائية ، مختزلة للكبريتات ، حيث تستخدم الكبريتات كمستقبل للإلكترونات ، لأكسدة المواد العضوية

$$\text{Organic acids} + SO_4^{2-} \longrightarrow H_2S + CO_2$$

من هذه البكتريا :
الأنواع التابعة لجنس Desulfotomaculum ، وهو عصوى متجرثم ، وايضا Desulfovibrio desulfuricans ، وهـــو واوى غير متجـــرثم (شكل ٥-١٣) .



شكل ٥-١٣ : صورة بالمجهر الإلكترونى لبكتريا Desulfovibrio desulfuricans (١٨.٥٠٠ x) .

يظهر نشاط البكتريا المختزلة للكبريتات ، بشكل واضح فى طين قاع البرك والبحيرات ، حيث يتكون FeS ، نتيجة لإختزال الكبريتات ، ويصبح لون طين القاع ، أسودا مزرقا .

والدور الذى تلعبه البكتريا فى إختزال الكبريتات ، يتشابه مع إختزال النترات فى دورة النتروجين .

٤- كما يتأكسد كبريتور الإيدروجين ، الناتج من اختزال الكبريتات ومن تحلل الأحماض الأمينية الكبريتيه ، إلى كبريت . ويقوم بهذا التفاعل ، بكتريا الكبريت اللاهوائيه الممثلة للضوء : الخضراء Chlorobium ، والأرجوانية Chromatium ، باستخدامها كبريتيد الإيدروجين ، كمانح للإلكترونات ، لإختزال CO_2 .

$$CO_2 + 2\ H_2S \xrightarrow{\text{light}} (HCHO) + H_2O + 2\ S$$

التحولات البيوكيميائية للعناصر الأخرى

بالإضافة إلى ما تقوم به ميكروبات الأراضي ، من تحولات فىدورات الكربون ، والنتروجين ، والكبريت ، فإن العناصر الأخرى الموجودة بالتربة، تتعرض ايضا لمجموعة من التحولات البيوكيميائية ، من بناء وهدم ، بتأثير الميكروبات .

فنتيجة للنشاط الميكروبى بالتربة ، وإفرازها للعديد من الأحماض ، فإن الميكروبات المذيبة للفوسفات ، من بكتريا وأكتينوميسيتات وفطريات ، تحول الفوسفور غير الميسر . المرتبط بأملاح الكالسيوم والحديد والألومنيوم ، إلى فوسفور ميسر للنبات

كما ينساب الفوسفور من المركبات العضوية ، مثل الاحماض النووية والفوسفوليبيدات ، بتأثير الميكروبات الهتروتروفيه ، نتيجة لمعدنة تلك المواد العضوية . كما تلعب الميكوريزا ، دورا ملموسا ، فى إمداد النباتات المتعايشة معها ، بالفوسفور الميسر .

وإضافة إلى ذلك ، فإن البكتريا ، تحول الأكاسيد غير الذائبة للحديد والمنجنيز ، إلى أملاح حديدوز ومانجنوز ذائبة ، وقد يحدث العكس أيضا، نتيجة لظروف التربة .

تحلل مبيدات الآفات Biodegradation of pesticides

المبيدات أنواع عديدة ، منها ما يستخدم لمقاومة الحشرات ، أو الفطريات ، أو النيماتودا ، أو الحشائش ، أو غير ذلك من الآفات . وأغلب المبيدات ، عبارة عن مركبات كيميائية عضوية ، قد تحتوى على مركبات حلقية ، أو يدخل فى تركيبها الهالوجينات ، الكبريت ، الفوسفور ، أو النتروجين .

تتجمع المبيدات بالتربة الزراعية ، فإذا لم تتعرض للتحلل ، فإنها تؤثر سلبا على ميكروبات الأراضى ، وتسبب أضرارا للعمليات الحيوية الهامة ، المرتبطة بخصوبة التربة ، كما أنها تسبب تلوثا للبيئة .

تتعرض المبيدات للتحلل الميكروبى ، مع معدنتها وفقد لسميتها . وهى تختلف كثيرا فى معدل تحللها ، فبعضها سريع التحلل ، وبعضها بطىء التحلل جدا ، ويقاوم تأثير الميكروبات لعدة سنوات ، مثل مركبات الهيدروكاربون الكلورية Chlorinated hydrocarbons . والتى منهاالـ د.د.ت والجمكسان . وهذه المركبات قد منع استخدامها دوليا ، نتيجة لمقاومتها للتحلل ، مما يؤدى إلى تراكمها بالتربة لفترات طويلة .

وتتوقف أيضا سرعة تحلل المبيد الواحد ، على قوام التربة ، وظروفهـــا البيئيـــة ، من حـــرارة ورطوبة وتهوية و pH ، مع ملاحظة أن تأثير الميكروبات ، على تحلل المبيدات ، ليس دائما فى صالح تقليل سمية المبيد ، فقد يؤدى النشاط الميكروبى ، إلى زيادة سمية المبيد المستخدم .

تتأثر ميكروبات الأراضى بدرجات مختلفة ، من المبيدات المستعملة . ويتوقف ذلك ، على نوع المبيد ، والمجموعة الميكروبية ، وظروف التربة . فقد وجد ، أن لبعض المبيدات تأثير منشط على ميكروبات الأراضى ، ومنها ما وجد له تأثير مثبط ، والبعض الآخر كان تأثيره محدود . غير أن من أكثر العمليات الحيوية ، التى تتأثر من استعمال المبيدات ، هى عملية التأزوت، وعملية تثبيت النتروجين تكافليا ، لما لطبيعة الميكروبات التى تقوم بهذه العمليات ، من حساسية لتغير الظروف البيئية ، مقارنة بعمليات أخرى ، مثل النشدرة ، التى تقوم بها أنواع عديدة من الميكروبات ، بعضها حساس ، وبعضها قليل الحساسية .

لذلك ، فإنه قبل ادخال مبيد جديد فى التطبيق الزراعى ، يجب دراسة مدى آثاره على النشاط البيولوجى ، ومدى مقاومته للتحلل ، ومدى تأثيره على تلوث الوسط البيئى .

الأسمدة الحيوية Biofertilizers

تعتبر كل الإضافات ذات الأصل الحيوى ، التى تمد النبات النامى بإحتياجاته الغذائية ، تسميدا حيويا Biofertilization ، وتسمى هذه الإضافات، بالأسمدة الحيوية ، أو باللقاحات الميكروبية Microbial inoculants .

والأسمدة الحيوية ، مصادر غذائية للنبات ، رخيصة الثمن ، اذا ما قورنت بالأسمدة المعدنية . وهى تنتج من الكائنات المجهرية ، وذلك بإختيار الميكروب المطلوب ، وإكثارة فى مزارع ملائمة ، ثم نقل النمو ، إلى حامل مناسب Carrier ، حيث يحفظ تحت ظروف تخزين ملائمه ، لحين استعماله كلقاح للبذور ، أو التربة .

ومن أمثلة الأسمدة الحيوية ، ذات الأهمية الإقتصادية الكبيرة ، على الإنتاج الزراعى

١- اللقاحات المثبته للنتروجين الجوى ، ومنها

لقاحات الرايزوبيا للبقوليات ، ولقاح الأزوتوباكتر ، ولقاح الآزوسبيريللوم للنجيليات ، ولقاح الفرانكيا لغير البقوليات ، ولقاحات السيانوبكتريا والأزولا لمزارع الأرز .
ويجرى منذ سنوات طويلة ، تسويق بعض هذه اللقاحات ، على نطاق تجارى ، فى بلاد عديدة .

٢- اللقاحات المنيبة للفوسفات

تلعب هذه اللقاحات ، دورا هاما فى تيسير فوسفور التربة للنبات ، ومن هذه اللقاحات

لقاح البكتريا Bacillus megatherium var. phosphaticum المذيب للفوسفات (ويسمى هذا اللقاح عادة، فسفوباكترين Phosphobacterin) ، ولقاح فطريات الميكوريزا ، التى تفيد الكثير من المحاصيل ، خاصة فى المناطق الحارة ، التى تعانى تربتها من نقص شديد ، فى محتواها من الفوسفات الميسر .

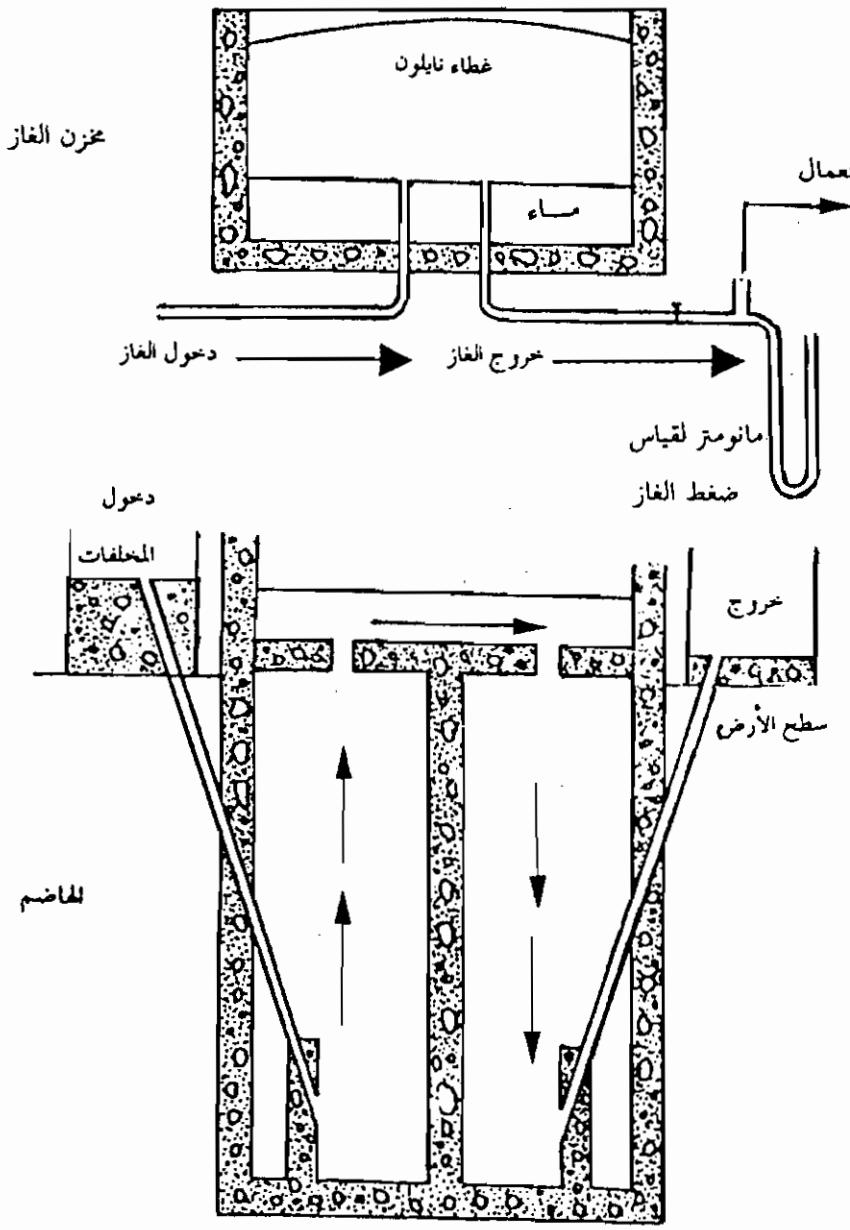
وبالإضافة إلى ماتقوم به اللقاحات السابقة ، من إغناء للتربة بالنتروجين ، أو تيسير للفوسفات ، فإنها تفرز موادا منشطة لنمو النبات ، من اكسينات ، وفيتامينات ، ومواد شبيهه ، تساعد على إنبات البذور ، ونمو الجذور، كما أنها تفرز الكثير من المواد المثبطة ، للفطريات المرضية .

إنتاج الغاز الحيوى - البيوجاز Biogas Production

الغاز الحيوى ، أحد الوسائل الهامة ، الممكن استخدامها كبديل لمصادر الطاقة التقليدية ، خاصة فى المناطق الريفية ، فهو يعتبر ، بالإضافة إلى الطاقة المستمدة ، من الشمس والرياح والأمواج ، من الطاقات البديلة المتجددة ، كما يعتبر الغاز الحيوى أيضـــا ، أحد الوسائل التكنولوجية الحديثة ، المستعملة فى تدوير recycling المخلفات العضوية .

وينتج الغاز الحيوى بواسطة الميكروبات ، اثناء نشاطها وتحليلها للمواد العضوية ، من مخلفات آدمية وحيوانية ونباتيه . والغاز الناتج نتيجة التخمر ، هو خليط من غاز الميثان القابل للإشتعال (حوالى ٦٠٪) ، وثانى أكسيد الكربون الغير قابل للإشتعال (حوالى ٤٠٪) ، مع نسبة قليلة من غازات أخرى (لاتزيد عن ٥٪) ، من الإيدروجين ، وكبريتور الإيدروجين ، والنتروجين ، وأول أكسيد الكربون ، وثانى أكسيد الكبريت .

يتم انتاج الغاز الحيوى ، فى وحدات خاصة (شكل ٥-١٤) ، تقام قرب أماكن توفر المخلفات العضوية . وتتكون الوحدة من هاضم Digester، وهو الجزء الأساسى بالوحدة ، ويبنى تحت سطح الأرض ، بحجم مناسب ، وفيه توضع المخلفات ، وتتم عملية التخمر الميكروبية . وتتجمع الغازات الناتجة من الهاضم ، فى مخزن لتجميع الغازات Gas-holder ، ومن هذا المخزن ، يوجه الغاز إلى اماكن الإستعمال .



Digester and gas holder

Digester and gas holder

شكل ٥-١٤ : مقطع فى الهاضم ومخزن تجميع الغازات

قد يقام مجمع الغازات ، فوق سطح الأرض ، كما فى النظام الهندى ، أو تحت سطح الأرض ، كما فى النظام الصينى .

قد تصل مدة التخمر إلى أسبوعين ، أو أكثر ، وهى تتوقف على مجموعة من العوامل ، منها طبيعة المخلفات المضافة ، ودرجة التخفيف ، والتقليب ، ومدى توفر الظروف المناسبه لنشاط الميكروبات ، من حرارة ، وتركيز إيدروجين ، وظروف لاهوائية ... الخ .

وينتج الغاز الحيوى من المخلفات العضوية ، نتيجة لتعايش ، وتتابع مجموعة كبيرة من الميكروبات ، وتبدأ خطوات التحلل الأولى ، تحت ظروف هوائية ، فتتحلل المواد العضوية المعقدة ، إلى مواد بسيطة ، مثل السكريات، والأحماض الأمينية ، والدهون ، والجليسرول . وباستمرار التحلل ، يقل الاكسجين بالوسط تدريجيا ، وتنشط البكتريا الإختيارية ، ثم اللاهوائية ، مثل

Bacillus , Clostridium , Bacteroides , Ruminococcus ...

وتتكون أحماض عضوية قصيرة السلسلة ، مثل الفورميك ، والخليك ، والبروبيونيك ؛ وكحولات بسيطة ، مثل الإيثانول ، والميثانول ، والبروبانول ؛ وغازات ، مثل الإيدروجين ، وثانى أكسيد الكربون ، والأمونيا .

وبسيادة الظروف اللاهوائية ، تنشط البكتريا المنتجة لغاز الميثان Methanogenic bacteria ، كتلك التابعة لأجناس

Methanobacterium , Methanomicrobium , Methanococcus , Methanospirillum

فتتحلل المركبات الوسطية السابق تكونها ، وينتج خليط من غاز الميثان وثانى اكسيد الكربون ، المعروف بالغاز الحيوى .

يستعمل الغاز الحيوى الناتج ، كبديل لمصادر الطاقة التقليدية ، فى الإنارة والطهى ، والتدفئة ، وتوليد الكهرباء . ويستفاد من مخلفات التخمر الصلبه والسائلة ، كسماد عضوى للأراضى ، لأنها مخلفات غنية فى محتواها من النتروجين ، والفوسفور ، والعناصر الأخرى .

وإضافة إلى ذلك ، فإن تجميع المخلفات النباتيه ، والحيوانية ، والآدمية ، وتخميرها لإنتاج البيوجاز ، يؤدى إلى رفع المستوى الصحى ، خاصة فى الأرياف . ويحدث ذلك ، نتيجة التخلص الصحيح من المخلفات ، الذى يوقف انتشار الذباب والبعوض ، ويحد من التلوث الميكروبى ، ويمنع إنتشار الأمراض .

المراجـــــع

سعـــد على زكى محمـــود ، عبـد الوهـــاب محمـد عبـد الحـــافظ ، محمـد الصـــاوى محمـد مبـــارك (١٩٨٨) .
ميكروبيولوجيا الأراضى ، مكتبة الأنجلو المصرية ، القاهرة .

References

Alexander, M. (1977). Introduction to soil microbiology. 2nd Ed., John Wiley and Sons Inc., New York.
Brock, T.D.; D.W. Smith and M.T. Madigan (1984). Biology of microorganisms. 4th Ed., Printice-Hall Inc., London.
Gray, T.R.G. and D. Parkinson (eds.) (1968). The ecology of soil bacteria. Toronto Univ. Press, Toronto, Canada.
Subba Rao, N.S. (ed.) (1982). Advances in agricultural microbiology. Oxford & IBH Publishing Co., New Delhi, India.