مفردات المنهج syllabus

1	صفات التربة وملائمتها للاحياء المجهرية	
2	اهم ميكروبات التربة واهميتها والعوامل الحيوية وغير الحيوية	
3	دورة الكاربون وعلاقتها بميكروبات التربة	
4	دورة النايتروجين وعلاقتها بميكروبات التربة	
5	النترتة وتثبيت النايتروجين	
6	تحولات الفسفور وعلاقة الميكروبات بها	
7	تحليل الملوثات والمبيدات الكيمياوية من قبل الاحياء المجهرية	
8	المياه بيئة ميكروبية	
9	بكتريا المياه البحرية والعذبة والمياه الجوفية والساخنة	
10	العوامل المؤثرة على النشاط الميكروبي	
11	مصادر التلوث الميكروبي للمياه	
12	معالجة مياه الشرب والمخلفات البشرية	
13	ميكروبات مياه المجاري	
14	طرق معالجة فضلات المجاري ودور الميكروبات فيها	

علم الأحياء المجهرية في التربة soil microbiology يهدف إلى الكشف عن التحولات المرتبطة بنشاطات هذه الأحياء ونتائجها المتبادلة من جهة وإلى دراسة تأثيراتها في النباتات والوسط الذي تعيش فيه من جهة أخرى. **تعرف التربة** من قبل المختصين في بيولوجيا التربة بأنها الجزء العلوي للقشرة الأرضية والذي تكون بفعل مجموعة من العوامل والعمليات الخاصة أطلق عليها عوامل وعمليات تكوين التربة.

مكونات التربة

1- المادة المعدنية: الحبيبات الصخرية المفتتة بالإضافة الى العناصر المعدنية مثل الكربون والبوتاسيوم والفوسفور والحديد وغيرها.

2- المادة العضوية: الناتجة من تحلل المواد العضوية.

3- هواء التربة: الفراغات البينية بين حبيبات التربة.

4- مياه التربة بأنواعها.

5- الأحياء الدقيقة: يزيد في الأراضي الزراعية مقارنة بالأراضي البور لأنها تحتوي على نسب عالية من المواد العضوية ومن أمثلة الكائنات الحية الدقيقة الفطريات والبكتيريا والنيماتودا.

تحتوي التربة على أعداد كبيرة من الكائنات الحية المتباينة في حجمها الذي يراوح بين خلايا مجهرية مفردة يقل قطرها عن ميكرون واحد، وحيوانات صغيرة، كما تختلف هذه الأحياء في أشكالها وأنواعها وتبعيتها التصنيفية، ويحوي المتر المكعب الواحد من تربة خصبة نحو 10^{12} كائن حي لكل غرام.

أهمية أحياء التربة

تقوم أحياء التربة بتفكيك المواد العضوية الطبيعية جميعها، وتحسين خصوبة التربة بتحطيم أنسجة النباتات والحيوانات فيها، ودمج النواتج والمعادن المحررة مع التربة، كما أن لبعض أنواعها قدرة على حلّ بعض المنتوجات المصنعة من الإنسان. تحوِّل أحياء التربة بشقيها الفلورا النباتية والفونا الحيوانية المواد المتحللة إلى معقد عضوي مهم في التربة يسمى الدبال humus يتركب من نحو 60٪ كربون ونحو 6٪ من الآزوت إضافة إلى مركبات فينولية وفسفاتية 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 الأحياء المجهرية.

تقوم الأحياء المجهرية بهدم الدبال وحلّه، ويتم هذا التحلل بصورة بطيئة محررة منه المغذيات النباتية بعد موت هذه الأحياء. **العوامل المؤثرة في أنواع الأحياء المجهرية وتوزعها في التربة.**

اولا: عوامل غير حياتية Abiotic Factors منها:-

1. نوع التربة: تختلف أحياء التربة وأشكالها وأعدادها بحسب تركيب التربة الميكانيكي، وتكون الترب المتوسطة القوام أغنى بالأحياء المجهرية من الترب الرملية أو الطينية الثقيلة.

2. الضوء: يفضل معظم أحياء التربة الابتعاد عن الضوء ماعدا بعض الطحالب والأشنيات التي تفضل العيش على سطح التربة أو قربه.

3 . التهوية: معظم أحياء التربة من الأنواع الهوائية التي لا تنمو إلا بوجود الهواء aerobic وبعضها لاهوائي anaerobic يتوقف نموه بتوافر الهواء، وبعضها الآخر اختياري ينمو بوجود الهواء أو غيابه. وتختلف أعداد هذه الأحياء وأشكالها وتوزعها في الترب تبعاً لدرجة تهويتها.

4 . الرطوبة: يعد وجود الرطوبة ضرورياً لأحياء التربة، إلا أنها تختلف في مدى تحملها للجفاف. وتوجد علاقة وطيدة بين رطوبة التربة ودرجة تهويتها وتأثيرهما المشترك في الأحياء جميعاً.

5. الحرارة: توجد أحياء التربة وخاصة المجهرية منها في جميع ترب العالم، ويعد معظمها محباً للحرارة المنخفضة أو المتوسطة إلا أن الأنواع المحبة للحرارة العالية متوافرة في بعض الترب الغنية بالمواد العضوية، ويزداد دورها الفعّال بعد التعقيم الحراري الجزئي للترب.

6 . درجة الحموضة: إن الترب ذات pH (الباهاء) المتعادل هي الأغنى بالأحياء من حيث العدد والتنوع. وتختلف أنواع الأحياء المجهرية في التربة بحسب درجة حموضتها.

7 . نوع المغذيات وكميتها: تكون أحياء التربة إما مفترسة وإما متطفلة وإ ما رمّية ومتعايشة. وتوجد أنواع تكون تغذيتها الذاتية ضوئية أو كيمياوية أو متباينة الضوئية وترتبط كثافتها بمدى توافر غذائها الخاص بها.

ثانيا: عوامل حياتية Biotic Factors

العلاقات المشتركة بين أحياء التربة

1. افتراس حيوانات التربة بعضها بعضاً وافتراس جذور النبات، وافتراس الحشرات لحيوانات التربة ولبعضها بعضاً وافتراسها لجذور النبات وافتراس الأوليات للبكتريا وغيرها.
2. تطفل الفطريات بعضها على بعض وعلى جذور النباتات كما تتطفل الأوليات والبكتريا والفطريات على حيوانات التربة.
3. تعايش تكافلي لبعض الأحياء المجهرية مع بعضها الآخر أو مع جذور النبات في المحيط الجذري مكونة العقد الجذرية على البقوليات، وتعايش تكافلي لفطريات الميكوريزا Micorrhizae مع جذور الأشجار المختلفة والنباتات الحولية، وكذلك تعايش الأوليات في أمعاء النمل، وتعايش سرخس فيرن Fern والبكتريا الخضراء المزرقة Anabaena.

التوزع في التربة

يشمل التوزعين الرأسي والأفقي

1 . التوزع الرأسي: تتوزع أحياء التربة بصورة غير متجانسة في قطاع التربة الرأسي نحو الأعلى والأسفل، إذ يتركز معظمها في طبقة البقايا العضوية، وهي السنتمترات الخمسة العلوية في أراضي الغابات أو الطبقة التي تلي السطح مباشرة في الأراضي الأخرى. وقد قدر أن نحو 90٪ منها تنتشر في الطبقة العلوية.

2 . التوزع الأفقي: يختلف هذا التوزع تبعاً لاختلاف محتوى التربة من المواد العضوية ولمستوى جفاف التربة أو غمرها بالماء كما يؤثر وجود النبات أو المحصول في أعداد الأحياء وأنواعها المنتشرة في المحيط الجذري rizosphere.

دور الأحياء المجهرية في التربة

التأثيرات النافعة

تحطم الأحياء المجهرية البقايا العضوية النباتية والحيوانية وتساعد على تحلّلها وتحويلها إلى الصيغة المفيدة في تغذية النباتات. تكون هذه الأحياء المجهرية أكثر عدداً ونشاطاً في ترب الغابات منها في ترب المروج والترب المفلوحة. وعموماً تتحقق الأدوار المفيدة للأحياء المجهرية في التربة عن طريق الدورات البيوجيوكيمياوية: دورة الكربون ودورة الآزوت تثبيته من الجو ودورة الكبريت والفسفور والحديد وغيرها.

التأثيرات الضارة للأحياء المجهرية في التربة

في التربة بعض الأحياء المجهرية التي يمكن أن تسبب أمراضاً للإنسان والحيوان، وتصل الجراثيم إلى التربة عن طريق مياه الري أو جثث الحيوانات المصابة، ومن أمثلتها البكتريا المسببة لمرض الجمرة الخبيثة والكزاز وغيرهما، ويسبب بعضها الآخر الأمراض النباتية، ومن أمثلتها البكتريا المسببة للتدرن التاجي Agrobacterium tumefaciens وجرب البطاطا Streptomyces scabis وعدد كبير من الفطريات التي تسبب تعفن الجذور وتتبع أجناس Fusarium و Rhizoctonia pythium وغيرهما. كما يمكن أن تقوم أحياء بقضم جذور النباتات أو بالتطفل على جذور النباتات مسببة أضراراً كبيرة للمحصول. وقد يفرز بعضها الآخر بعض المواد السامة للنباتات أو لأحياء أخرى، وتظهر أهمية هذه الإفرازات في الظروف غير الهوائية ومن أمثلة هذه المواد الميثان وكبريت الهدروجين وغيرهما.

مجاميع الأحياء المجهرية وتوزيعها في التربة

1. –البروتوزوا (الابتدائيات) Protozoa :

البروتوزوا هي أبسط الحيوانات التي تتميز بكونها حيوانات بدائية وحيدة الخلية يتراوح حجم العديد من أنواعها بين عدة ميكرومترات الى سنتمتر أو أكثر وبصورة عامة الأنواع التي تعيش في التربة أصغر حجماً من الأنواع المنتشرة في المياه . تعتبر هذه الحيوانات حقيقية النواة eukaryote ، أما بالنسبة الى تغذيتها فهي متغايرة التغذية الكيميائية chemoheterotrophes باستثناء بعض الاجناس الحاوية على الكلوروفيل ، تتضمن دورة حياة العديد من البروتوزوا مرحلتين نشطة Trophozoite حيث تتغذى وتتكاثر أثنائها ومرحلة سكون Cyst يتكون فيها غلاف سميك يحيط بخلاياها ، الطور الساكن يتمكن من مقاومة الظروف البيئية غير المناسبة لسنوات في بعض الاحيان . تتكاثر البروتوزوا عادةً لاجنسياً بانقسام الخلية الأم طولياً أو عرضياً الى خليتين متشابهتين وتتبادل الصفات الوراثية وفي النهاية تتكون خليتان جديدتان ، تنتشر هذه الحيوانات في جميع الترب . **تعتبر البروتوزوا مهمة** للحفاظ على التوازن الميكروبي والتقليل من أعداد البكتريا السائدة وبذلك تعطي فرصة أفضل للبكتريا الأقل قدرة على التنافس ، كما تمتاز بعض الأجناس بأن لها القدرة على إحداث إصابات مرضية للنبات والحيوان والانسان .تؤدي دوراً رئيسياً في التحولات البيوكيمياوية وتسهم في تحطيم المواد العضوية وإعادة العناصر المعدنية.

2.البكتيريا Bacteria تعتبر البكتيريا أكثر المجموعات الميكروبية وجوداً فى التربة سواء من ناحية الإعداد أم عدد الأجناس والأنواع والنشاط كما تعتبر أكثرها أهمية فى التغيرات الحيوية التى تحدث فى التربة خاصة الترب المتعادلة والمائلة قليلاً للقلوية. ومن ناحية إعداد البكتيريا فى التربة فإن أعدادها تختلف كثيراً فى التربة الواحدة حسب الطريقة المستخدمة فى تقدير الإعداد، كما أن طريقة أخذ العينات والأعماق التى تؤخذ منها وأيضاً وقت أخذ العينات يؤثر كثيراً فى التقديرات الميكروبية لإعداد ونشاط بكتيريا التربة ونظراً لصعوبة الحصول على صورة متكاملة للعلاقات

والأنشطة المختلفة لبكتيريا التربة فلقد تعددت طرق الدراسة وتنوعت لتناسب الأغراض المختلفة وقد تتم الدراسات كالتالى:

أ– طرق تقوم بدراسة إعداد وأنواع ميكروبات التربة بصفة عامة مثل دراسة معدل تحلل المواد العضوية أو معدل تنفس الميكروب أو قياس النشاط الإنزيمى فى التربة.

ب–طرق تقوم بدراسة أعداد وأنواع ميكروبات التربة ومنها طرق ميكروسكوبية مباشرة وطرق مزرعية غير مباشرة ويمكن بالطرق المزرعية دراسة الأعداد الكلية للمجموعات الميكروبية أو يمكن دراسة المجموعات الفسيولوجية المتخصصة فى التربة وذلك باستخدام بيئات غذائية مختلفة.

جـ–طرق تعتمد على دراسة قدرة الميكروبات على إحداث تغيرات محددة مثل معدل المعدنة أو القدرة على تثبيت النتروجين الجوى وغيرها. أعداد البكتيريا وتوزيعها فى الأراضى: تختلف أعداد البكتيريا كثيراً فى التربة الواحدة حسب الطريقة المستخدمة فى التقدير، وعادة فإن الطرق الميكروسكوبية تعطى أعداداً أعلى بكثير من الطرق المزرعية، وذلك لعدة أسباب منها أن الطرق الميكروسكوبية عادة لا تميز بين الميكروبات الحية والميتة مما يعطى أعداداً أكبر من الواقع بينما الطرق المزرعية تعطى أعداداً أقل من الواقع بكثير وذلك لعدد من الأسباب من أهمها أنه من المستحيل فى المعمل تحضير بيئة غذائية تعطى كل الاحتياجات الغذائية لجميع الأنواع الموجودة فى التربة فهذه الميكروبات تختلف كثيراً فى احتياجاتها الغذائية فمنها ما يستطيع النمو على بيئات غذائية بسيطة ومنها ما له احتياجات غذائية شديدة التعقيد يصعب توفيرها، كما أن ظروف التحصين وظروف البيئة لا توفر أنسب الظروف لكل الميكروبات التى تعيش فى التربة، لذلك لا ينمو فى الدراسات المزرعية إلا الأنواع التى يناسبها الظروف المستخدمة فى الدراسة كذلك الطرق الميكروسكوبية عادة تتميز عن الطرق المزرعية فى أنها تعطى صورة أكثر وضوحاً لتوزيع البكتيريا فى التربة خصوصاً إذا استخدمت فى موقعها . in vivo وقد أوضحت الدراسات أن البكتيريا لا تتوزع بانتظام فى كتلة التربة ولكنها عادة ما تتركز بأعداد كبيرة مكونة مستعمرات حول الحبيبات الصغيرة وإن تركيز البكتيريا يكون أكثر حول الحبيبات العضوية عن الحبيبات المعدنية. كما وجد أن فى وجود جذور النباتات فإن البكتيريا تتركز بشدة حول الشعيرات الجذرية وسطوح الجذور. ومن الطرق الميكروسكوبية المباشرة ذات القيمة الكبيرة فى دراسة توزيع بكتيريا الأراضى تحت تأثير عوامل مختلفة طريقة الشريحة المدفونة Cholodny buried slide technique والطرق المعدلة عنه وتعتمد هذه الطريقة على دفن شرائح زجاجية نظيفة فى الجزء من التربة المراد دراسته وتركها لمدد محددة ثم سحبها ودراسة المجموعات الميكروبية عليها ميكروسكوبياً. وقد أظهرت الدراسات الميكروسكوبية المباشرة أن الأراضى الخصبة تحتوى على أعداد تصل الى (10^9 cell\gm) وتعتبر هذه الأعداد كبيرة جداً إذا ما قورنت بالنتائج التى تحصل عليها بالطرق المزرعية مثل العد بالأطباق Plate Count ، وعند استخدام طريقة العد بالأطباق Plate Count تختلف النتائج المتحصل عليها حسب نوع الوسط الغذائى المستخدم وحسب الظروف المزرعية، لذلك فمن المهم أن يذكر فى مثل هذه الدراسات نوع البيئة الغذائية المستخدمة وتركيبها

وظروف التحضين ومدته حتى يسهل مقارنته بالطرق الأخرى وعادة ما يستعمل مستخلص التربة فى البيئات المستخدمة فى تقدير العدد الكلى للبكتيريا نظراً لما يحويه من أملاح معدنية ومواد عضوية تشجع نمو الميكروبات – وهناك طرق مزرعية تستخدم فيها بيئات غذائية منتقية Selective Media وهذه تفيد فى دراسة مجموعات البكتيريا المتخصصة فسيولوجياً. وعموماً فإن إعداد البكتيريا المقدرة بطريقة الأطباق عادة ما تتراوح بين بضعة ملايين ومئات الملايين فى كل جرام من التربة الخصبة وأن الاختلافات تمثل انعكاساً لخواص التربة والعوامل البيئية السائدة فى هذه التربة والأعداد المتحصل عليها بالطرق المزرعية أقل من الواقع وقد بينت بعض الدراسات أنها لا تعطى أكثر من 10% من الميكروبات الموجودة فى التربة وعند حساب أعداد الميكروبات فى التربة فإنها تنسب الى التربة الجافة وذلك لتسهيل المقارنة.

ولغرض تسهيل دراسة البكتريا جرت عدة محاولات لتقسيمها الى مجاميع ومن هذه التقسيمات التقسيم المقترح من قبل العالم الروسي Winogradsky حيث إقترح تقسيم بكتريا التربة الى مجموعتين رئيسيتين هما:

أ- بكتريا مستوطنة Autochthonous Bacteria :

تضم البكتريا التي يكون موطنها الأصلي هو التربة وعادة تستطيع النمو والتكاثر في التربة .

ب-بكتريا دخيلة Allochthonous Bacteria :

هذا النوع من البكتريا يصل التربة عن طريق مياه الأمطار وعند إضافة المخصبات العضوية أو عند تلوث التربة بمياه المجاري . هذا النوع من البكتريا يبقى حياً لفترة من الزمن وعادة يكون في حالة سكون ، لذلك فهي لاتقوم بدور فعال في التحولات الكيميائية الحياتية في التربة.

ثانياً التصنيف إعتماداً على الحاجة الى الأوكسجين :

أ- بكتريا هوائية Aerobes Bacteria :

وهي بكتريا لاتستطيع النمو الابوجود الأوكسجين ومن الأجناس الهوائية السائدة في التربة *Nitrobacter* و *Thiobacillus* و *Nitrosomonas* .

ب-بكتريا لاهوائية Anaerobes Bacteria :

وهي بكتريا تنمو فقط في غياب الأوكسجين حيث تستطيع إختزال المركبات النتروجنية أو الكبريتية وذلك للحصول على الطاقة اللازمة لها في عملياتها الحيوية فمثلاً تستطيع بكتريا *Pseudomonas denitrificans* إختزال النترات الى أمونيا وثاني أوكسيد النيتروز في حين تستطيع بكتريا *Pseudomonas desulfuricans* إختزال الكبريتات الى كبريتيت .

ج- بكتريا لاهوائية إختيارية Facultative Anaerobes Bacteria :

وهي بكتريا تستطيع النمو والحصول على الطاقة بوجود وبغياب الأوكسجين ويكون نموها عادة أكثر في الظروف الهوائية ومن أمثلتها بعض الأنواع التابعة لأجناس *Bacillus* و *Pseudomonas* .

ثالثاً التقسيم المعتمد على المتطلبات الحرارية :

الحرارة عامل أساسي يتحكم في العمليات الحيوية للبكتريا ولكل نوع من البكتريا درجة حرارة مثلى Optimum temperature كما أن لها مدى حراري معين تستطيع النمو ضمنه حيث يتوقف النشاط الحيوي للبكتريا خارج هذا النطاق ، وبصورة عامة يمكن تقسيم البكتريا الى ثلاث مجاميع رئيسية إعتماداً على متطلباتها الحرارية :

1- البكتريا المحبة للحرارة المعتدلة Mesophiles Bacteria :

وتضم أغلب أنواع البكتريا وعادة تكون درجة الحرارة المثلى 25- 35 م° أما مدى النمو فيكون بين 15- 45 م° .

2- البكتريا المحبة للبرودة Psychrophiles Bacteria :

وهذه الأنواع من البكتريا تنمو بشكل جيد في درجات الحرارة التي تقل عن 20 م° وهي غير شائعة الوجود في التربة ويرجع نشاط بكتريا التربة في فصل الشتاء بالدرجة الأساسية للأنواع المتحملة للبرودة وليس للأنواع المحبة للبرودة .

3- البكتريا المحبة للحرارة العالية Thermophiles Bacteria :

هذه الأنواع من البكتريا تنمو بشكل جيد ضمن درجة حرارة 45 – 65 م° وبعض الأنواع تستطيع العيش في درجات حرارة تتراوح بين 40 – 80 م° .

رابعاً : تقسيم البكتريا حسب مصدر الطاقة والكاربون :

على هذا الأساس يمكن تقسيم بكتريا التربة الى :

1- بكتريا ذاتية التغذية ضوئية Photoautotrophic Bacteria :

هذه الأنواع من البكتريا بامكانها الاستفادة من غاز Co_2 كمصدر للكاربون و الضوء مصدر للطاقة ومثال على هذه البكتريا البكتريا الخضراء green bacteria هذا النوع شائع في الطحالب .

2- بكتريا ذاتية التغذية كيميائية Chemoautotrophic Bacteria :

هذه الأنواع من البكتريا تستعمل CO_2 مصدراً للكاربون ، أما الطاقة فتحصل عليها عن طريق أكسدة المركبات المعدنية ومن الأمثلة على ذلك بكتريا *Nitrosomonas* التي تستطيع أكسدة الأمونيوم الى نتريت وبذلك تحصل على الطاقة .

$$NH_3 + 3O_2 \longrightarrow 2HNO_2 + 2H_2O + 66\ cal .$$

البكتريا المسؤولة عن أكسدة النتريت الى نترات للحصول على الطاقة ومنها بكتريا *Nitrobacter* كما في المعادلة .

$$NO_2^- + 1/2\ O_2 \longrightarrow NO_3^- + 17.5\ cal$$.

البكتريا التي تؤكسد مركبات الكبريت الى كبريتات مثل *Thiobacillus*

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

البكتريا المؤكسدة للحديدوز الى حديديك مثل *Ferrobacillus* .

$$Fe^{++} \longrightarrow Fe^{+++} + energy$$

3- بكتريا متغايرة التغذية الكيميائية Chemoheterotrophic Bacteria :

وهي بكتريا تستخدم المركبات العضوية كمصدر للكاربون والطاقة في آن واحد ، مثال على ذلك بكتريا *Rhizobium* المثبتة للنتروجين تعايشياً وبكتريا *Azotobacter* المثبتة للنتروجين لاتعايشياً .

خامساً : التقسيم المعتمد على الأسس التصنيفية : (تصنيف بيرجي) Bergy's Manual

يعتمد هذا التصنيف على أساس جمع البكتريا المتشابهة في الصفات إعتماداً على الفحوصات الكيموحيوية والجينية في مجاميع خاصة وحسب هذا التصنف فان أعلى مستوى تصنيفي يطلق عليه Domain

Taxonomic ranks (السلاسل التصنيفية) المستويات

Domain	*Bacteria*
Phylum	شعبة
Class	صنف
Order	رتبة
Family	عائلة
Genus	جنس
Species	نوع
Subspecies	تحت النوع

ومن اشهر**الأجناس البكتيرية فى التربة:** من الممكن تقسيم التربة على أساس الأشكال المورفولوجية وذلك عن طريق فحص شرائح مصبوغة يجرى تجهيزها من المجموعات البكتيرية النامية على سطح منابت الأجار المغذى السابق تلقيحه بتخفيفات من معلق التربة. وباستخدام هذه الطريقة أمكن ملاحظة البكتيريا العصوية غير مكونة للسبورات ذات الأحجام المختلفة والعصويات المكونة للسبورات والبكتيريا الكروية والعصوية القصيرة التى تتحول بالوقت الى أشكال كروية واسعة الانتشار فى التربة. وتختلف الأشكال والأحجام فى العديد من أنواع البكتيريا عن أشكالها

وأحجامها عندما تنمى على منابت مزرعية معملياً. وللحصول على مزارع بكتيرية نقية، فإنه يجرى تلقيح المنبت المنتقى للنوع المطلوب من البكتيريا بتخفيفات متتالية من معلق التربة، ومن المزارع الميكروبية الناتجة تلقح أطباق تحتوى على نفس المنابت الغذائية مجمدة بالأجار وبهذه الطريقة يمكن تحديد وعزل مجموعات ذات صفات كيميائية حيوية لها أهميتها الكبيرة فى مجال عضوية التربة وإنتاجية المحاصيل حتى وإن وجدت بأعداد قليلة فى التربة. ومن هذه الأنواع **بكتيريا التأزت وبكتيريا النشدرة والبكتيريا المحللة لليوريا أو للسليولوز أو للبروتين**

دراسة بعض الأجناس البكتيرية الهامة الموجودة فى التربة:-

1- البكتيريا التابعة لجنس Bacillus من السهل عزل هذه الأنواع التابعة لجنس Bacillus عن طريق تسخين معلق التربة على درجة حرارة 80 م لمدة 10 – 20 دقيقة لقتل الخلايا الخضرية مع بقاء الجراثيم الداخلية حية، ومن خلال التنمية الهوائية يمكن استبعاد الأنواع المتجرثمة الأخرى الشائعة الانتشار والتى تتبع جنس Clostridium. وبكتيريا الـ Bacillus من الأجناس الموجودة بأعداد كبيرة فى التربة والتى من السهل تمييزها حيث إنها عصوية، مكونة للسبورات، هوائية حتماً أو اختيارياً وأعدادها فى التربة تتراوح بين 10^{6} – 10^{7} فى الغرام وقد تزيد على ذلك. تتواجد الـ Bacillus فى الأراضى الفقيرة فى المواد العضوية فى صورة سبورات تظل ساكنة لعدة سنوات، فإذا ما توافرت لها عناصر غذائية مناسبة فإنها تنبت وتبدأ فى النشاط كخلايا خضرية مرة أخرى.

2 – البكتيريا التابعة لجنس Clostridium توجد فى معظم الأراضى الخصبة على الرغم من وفرة الـ O2 وذلك رغم أنها بكتيريا لا هوائية ولكن التربة تحت الظروف الطبيعية لا تكون الظروف فيها هوائية كاملة. فنشاط الميكروبات الهوائية واللاهوائية اختيارياً والتى تستهلك O2 وتنتج بدلاً منه CO2 تعمل على خفض الضغط الجزئيى للأوكسجين الى الحد الذى يسمح بنمو الأنواع اللاهوائية حتماً. وعادة ما يحدث هذا داخل تجمعات حبيبات التربة وأيضاً فى المناطق السيئة الصرف – وتوجد البكتيريا من جنس Clostridium بأعداد تتراوح من 10^{3} – 10^{7} فى الغرام فى التربة المختلفة، وذلك عن طريق التقدير باستخدام طريقة صب الأطباق Pour Plateوللحصول على مزارع Clostridium نقية فإنه يمكن استغلال هاتين الصفتين الفسيولوجيتين لهذا الغرض، وذلك عن طريق تسخين معلق التربة الى 80(م لمدة 10 دقائق ثم تنمية الجراثيم المتبقية فى المعلق ثم تنميتها وإكثارها تحت الظروف اللاهوائية.

3- أجناس من البكتيريا المعنقة والمتجرثمة والتى تكون أجسام ثمرية: عرف حديثاً أن التربة غنية بأنواع من البكتيريا تحمل خلاياها زوائد شبه صلبة تقل فى أقطارها عن قطر الخلية نفسها. مثل هذه الزوائد توجد فى أنواع البكتيريا المعنقة التابعة لجنس Caulobacter والبكتيريا التى تكون براعم Hyphomicrobium وهناك مجموعة أخرى من بكتيريا التربة التى لم تتوفر عنها دراسات كافية تتميز بصغر خلاياها التى لا يزيد طولها عن 1.5 مم وتوجد على أسطحها صفوف من نتوءات مستديرة صغيرة الخلايا شكلها يشبه كيزان الذرة. يكثر وجود الأنواع التى

تعرف Myxobacteria(تتحرك حركة زاحفة على الأسطح الصلبة تاركة مادة لزجة خلفها) فى كل من التربة ومخلفات الحيوان الصلبة، الخلايا الخضرية لهذه الأنواع عبارة عن عصويات مرنة متحركة تتحرك بالزحف، معظمها يدخل فى طور السكون خلال دورة حياته، حيث تتكون الخلايا الساكنة فوق أجسام ثمرية متخصصة وتتم الحياة بخروج الخلايا العصوية من الأجسام الثمرية ثم تبدأ فى عمليات التحول الغذائى النشطة وأكثر هذه الأنواع انتشاراً هى Myxococcus, Chondroccus, Archangium, Polyangium :يمكن عزل الميكزوبكتريا بتلقيح أطباق بها منبت أجار غذائى بمعلق بكتيرى ثم وضع كمية قليلة من التربة فى وسط الطبق، بعد فترة من التحضين تظهر الأجسام الثمرية بوضوح للعين المجردة. تعتمد هذه الطريقة على قدرة Myxobacteria على تحليل خلايا البكتيريا عن طريق إفراز إنزيمات خارجية تذيب الخلايا ثم تتغذى عليها. مثل هذه الظاهرة التى يحدث فيها قتل وتحليل للخلايا البكتيرية ثم التغذية عليها يمكن اعتبارها عاملاً مؤثراً على التركيب الميكروبى للتربة. وتوجد الـ Myxobacteria فى جميع أنواع الأراضى المنزرعة وتزيد كثافتها فى الأوساط البيئية الرطبة، حيث إنها لا تتحمل ظروف الجفاف. وهناك أنواع منها لها أهمية فى أكسدة مركبات الكبريت المختزلة تحليل السليلوز.

4- أجناس البكتيريا التى تتميز بنوع فريد من العلاقات بينها وبين أنواع أخرى من البكتيريا:

أ- توجد فى التربة أنواع من البكتيريا من جنس Bdellovibrio ولكن بأعداد قلية. وقد نالت اهتماماً كبيراً لما تتميز به من نوع فريد من العلاقات بينها وبين الأنواع الأخرى من البكتيريا خلايا هذه البكتيريا عصوية صغيرة منحنية، تعيش فى التربة طبيعياً فى حالة تطفل إجبارياً بأن تلتصق بخلايا بكتيريا أخرى أكبر حجماً وتتغذى عليها. عند تنمية هذه الأنواع فى مزارع ميكروبية، فإن تأثيرها يكون ضئيلاً عند وجود العائل بأعداد قليلة، ولكنها تتغذى بشراهة خلال مراحل نموها مما يتسبب فى خفض أعداد العائل لدرجة كبيرة. وحتى الآن لم يعرف بالضبط أهمية هذه الصورة من حالات التطفل تحت الظروف الطبيعية.

ب- الكائنات الممرضة للإنسان والحيوان والنبات: تحتوى التربة على أنواع عديدة من الميكروبات الممرضة للإنسان والحيوان أو لنباتات المحاصيل وللتعرف على وجود مثل هذه الميكروبات ولتقدير أعدادها فى التربة فإنه يلزم لذلك استخدام منابت غذائية منتقية ذات كفاءة عالية فى انتخاب الميكروب بالإضافة الى إتباع طرق خاصة لهذا الغرض وعن طريق ذلك أمكن التعرف على وجود البكتيريا الممرضة للنبات من أجناس Agrobacterium, Pseudomonas, Erwirniaفى أنواع مختلفة من الأراضى. وبعض أنواع هذه البكتيريا يعيش فى التربة بصفة طبيعية، بينما يعيش البعض الآخر لفترة زمنية محددة، ويكون وصوله الى التربة عن طريق التلوث الحديث للتربة بإفرازات وأنسجة النباتات المريضة. والأنواع التى يمكنها البقاء حية فى التربة لبعض الوقت من المحتمل أن يعيد إصابة المحاصيل العائلة مرة أخرى عند زراعتها فى المواسم التالية. أما عن أنواع البكتيريا التى تسبب أمراضاً للإنسان أو الحيوان مثل Clostridium botulinum,

. Clostridium tetani, Bacillus anthracisوأن جراثيم هذه البكتيريا تبقى حية فى التربة لفترات زمنية طويلة، وعلى ذلك فوجودها كامنة فى داخل التربة يمكن أن يؤدى الى حدوث الإصابة بالتسمم البوتيولينى أو بالتيتانوسى أو بالحميرة الخبيثة. ونظراً لاستمرار تعرض التربة للتلوث بمخلفات الحيوان الصلبة ومخلفات المجارى بما تحمله من عوامل مسببة للأمراض بالإضافة الى التلوث بالأنسجة النباتية المريضة ونجد أن بكتيريا الـ Salmonella والأنواع الممرضة من جنس Streptococcus يمكن أن تتواجد فى التربة عقب إضافة الأسمدة العضوية. أما البكتيريا التى تهاجم النباتات كالتابعة للأجناس: فإنه يتكرر دخولها الى التربة عن طريق الأنسجة النباتية المصابة بالمرض. وكثير من هذه الميكروبات الدخيلة لا يتسبب إلا فى مشكلات قليلة، حيث إنها سرعان ما تختفى من التربة أما البعض الآخر الذى يبقى فى التربة لفترات طويلة فإنه يشكل بالفعل تهديداً للعوائل المناسبة له.

3. الأكتينومايستات Actinomycetes بالرغم من فصل هذه المجموعة فى قسم مستقل عند دراستها إلا أنه يجب أن نعرف أن هذا الفصل ليس له أساس فى علم التقسيم فهذه المجموعة تتبع البكتيريا ولكنها تدرس لأهميتها الخاصة وسعة انتشارها ودورها الهام فى التربة، فهذه المجموعة من الكائنات قد تظهر تشابه بينها وبين الفطريات من حيث تكوين ميسيليوم حقيقى وتفرعه وطريقة تكوين الجراثيم مما جعل بعض العلماء ينسبونها للفطريات ولكن التقسيم الحديث يضمها الى البكتيريا للأسباب الآتية:

1 –قطر الهيفا مساوى تقريباً لقطر خلية البكتيريا. 2 –تركيب الجدار الخلوى مشابه لحد كبير لتركيب جدار الخلية البكتيرية. 3 –تركيبها الخلوى مشابه للبكتيريا من حيث إن خلاياها من نوع بدائيات النواة Prokaryotes 4–عدم احتوائها على غشاء نووى وكذلك ميتوكوندريا. 5 –تركيب الأسواط إن وجدت مشابه لأسواط البكتيريا. 6 – بعض أنواعها تكون جراثيم داخلية مقاومة للحرارة مثل البكتيريا. 7 –حساسة لإنزيم الـ . Lyosozyme 8–بعض أنواعها لها القدرة على تثبيت النتروجين الجوى تكافلياً مع جذور بعض النباتات غير البقولية وهذه صفة لا توجد إلا فى الخلايا بدائية النواة. وطبقاً لتقسيم Bergey 1984 فقد وضعت هذه المجموعة فى المجلد الرابع الذى يضم البكتيريا الموجبة الخيطية ذات الشكل المعقد وهى تنقسم الى أربعة أقسام رئيسية:

1– البكتيريا الخيطية التى تنقسم فى أكثر من مستوى واحد: يكون الانقسام فى الأجناس التابعة لهذه المجموعة طولياً وعرضها مكونة كتلة من الخلايا كروية أو مكعبة الشكل وهى تضم ثلاثة أجناس من بينهم جنس Geodermatophilusوهو من ميكروبات التربة ولكن دوره فيها غير واضح وجنس Frankia وهو يمثل البكتيريا المكونة للعقد الجذرية المثبتة للنتروجين الجوى فى النباتات غير البقولية لذلك فله دور هام فى خصوبة التربة خصوصاً فى أراضى الغابات.

2- البكتيريا الخيطية التى تكون حافظة جرثومية حقيقة: والأجناس الهامة التابعة لهذه المجموعة جنس Actinoplanesالذى يتميز بقدرته على بلمرة الأحماض الأمينية مكونة مضادات حيوية عديدة الببتيدات كما أن منها من أنواع تكون مضادات حيوية.

3- الاستربتوميسيس والأجناس الشبيهة: هى أكثر مجاميع الأكتينو ميسيتات أهمية وانتشاراً فى الطبيعة فهى قادرة على تكوين ميسليوم حقيقى يحمل جراثيم كونيدية والتى عادة تحمل على هيفات هوائية أهم الأجناس Stroptomycesالذى يضم 240 نوعاً و39 تحت نوع وهى منتشرة فى التربة والكثير منها يستطيع تحليل المواد المعقدة وله دور هام فى عمليات المعدنة وفى اتزان التربة وذلك لقدرتها على إفراز المضادات الحيوية.

4- البكتيريا الخيطية الأخرى غير المستقرة تقسيماً: وهى تضم سبعة أجناس لم يستقر وضعها التقسيمى بعد والكثير من أنواعها يعيش فى التربة ومنها أنواع تحلل أكوام السماد العضوى وأنواع محبة للحرارة وأنواع محبة للإوزموزية. كما يوجد أيضاً بعض الأجناس الأخرى التى كانت تتبع الأكتينوميستيات حسب تقسيم بيرجى 1974 والآن وضعت مع البكتيريا العادية حسب تقسيم 1984 م

وعموماً يمكن تلخيص الدور الذى تلعبه هذه المجموعة فى التربة كالآتى:

1- تحليل المواد العضوية المعقدة مثل السليولوز والنشا والكيتين وبعضها قادر على تحليل المبيدات وتستخدم مصادر نتروجينية متعددة منها الأمونيا والنترات والأحماض الأمينية والبروتينات وتستخدم أيضاً مصادر كربون وطاقة مثل تحلل الأحماض العضوية والسكريات البسيطة والمعقدة والليبدات والهيدروكربونات والمواد الأكثر تعقيد السابقة الذكر. ناتج تحليل المواد المعقدة فى البقايا النباتية والحيوانية ويحويلها لصورة صالحة لتغذية النبات.

2- تلعب دوراً فى تكوين الدبال humus عن طريق أحداث تحولات فى المواد العضوية المضافة للتربة فبعض أجناسها تكون جزئيات حلقية لها دور فى تكوين الدبال فى الأراضى.

3- تقوم بدور هام فى التحولات التى تحدث فى درجات الحرارة المرتفعة مثل التى تحدث فى أكوام السماد العضوى النباتى والحيوانى.

4- بعضها يسبب أمراض نباتية مثل الجرب العادى فى البطاطس الذى يسبب Streptomyces Scabies

5- تستطيع تجميع حبيبات التربة عن طريق هيفاتها مما يزيد عن خصوبة التربة عن طريق تحسين تهويتها.

6- إعطاء التربة الرائحة الخاصة بها نتيجة إفرازها لمركب يسمى Geosmin

7- قد يكون للمضادات الحيوية التى تفرزها دوراً هاماً فى التوازن الميكروبى فى التربة.

8- يكون جنس Frankia عقد جذرية على النباتات غير البقولية تثبت النتروجين الجوى مما يمد هذه النباتات باحتياجاتها من هذا العنصر ويزيد من خصوبة التربة.

9- كثير من أفراد هذه المجموعة قادرة على إنتاج المضادات الحيوية وقد أظهرت الدراسات أن عزلات جنس Streptomycesتفرز مواد تؤثر على نمو الكائنات الأخرى.

4. **الفطريات Fungi**

مع أن البكتيريا أكثر الكائنات الحية عدداً فى التربة، إلا أنه نظراً لصغر حجم الخلية التى نادراً ما تزيد عن خمسة ميكروميتر فى الطول، وكبر حجم هيفات الفطريات، فإنه فى التربة جيدة التهوية والمنزرعة قد تمثل الفطريات جزءاً أكبر من الوزن الكلى للبروتوبلازم الميكروبى، هذا ويوجد ميسيليوم الفطريات فى التربة على شكل شبكة من الخيوط تتخلل حبيبات التربة وتربط الحبيبات مع بعضها ويظهر هذا بوضوح عند استخدام طرق فحص ميكروسكوبية خاصة أو باستخدام طريقة الشريحة المدفونة، ولقد بينت الدراسات أن التربة الخصبة قد تحتوى ما بين 10 – 100 متر من خيوط الفطر لكل جرام مما يعطى 200 – 2000 كجم / فدان. ومن أهم العوامل المؤثرة على فطريات التربة

1- درجة الحموضة فمن المعروف أن كثيراً من فطريات التربة يمكنها أن تنمو فى مدى أوسع من الـ pH ولكن نظراً لأن البكتيريا والأكتينوميسيتات تكون أقل انتشاراً فى الأراضى الحامضية فإن الفطريات تسود فى هذه الأراضى، وهذه السيادة لا ترجع فقط الى أن الظروف الحامضية ملائمة أكثر للفطريات ولكن أيضاً لعدم وجود تنافس بين الفطريات والأحياء الأخرى.

2- درجة الرطوبة: تؤثر درجة الرطوبة أيضاً على مدى انتشار الفطريات فى الأراضى، فلقد وجد أن إضافة المياه للأراضى الجافة تزيد من نمو الفطريات ولكن يجب أن نلاحظ أو الفطريات عموماً أكثر تحملاً للجفاف عن البكتيريا لذلك تكون نسبتها عالية فى الأراضى نصف الجافة، من ناحية أخرى الرطوبة العالية تؤثر على نمو الفطريات لما لها من تأثير عكسى على التهوية خصوصاً وإن الفطريات هوائية، لذلك فهى تكون قليلة فى الأراضى الغدقة سيئة التهوية.

3- درجة الحرارة أغلب الفطريات محبة للحرارة المتوسطة Mesophilic ولو أن هناك بعض السلالات المحبة للحرارة المرتفعة Thermophilic تسود فى أكوام السماد المتحللة مع ارتفاع درجة الحرارة والتى تلعب دوراً هاماً فى نضج السماد.

أما من ناحية أنواع الفطريات السائدة فى الأراضى فهى تتبع الأقسام الرئيسية الثلاثة **Phycomcetes,** : **Ascomycetes, Deuteromycetes** . **والفطريات الناقصة** هى أوسع الأنواع انتشاراً فى التربة بينما الـ **Phycomycetes**أقلها انتشاراً ماعدا رتبة Mucorales الواسعة الانتشار فى التربة. من أجناس الفطريات واسعة الانتشار فى مختلف الأراضى Aspergillus, Penicillium, Fusarium, Rhizopus, Alternaria, Mucor.الفطريات كائنات هتيرتروفية هوائية تستخدم عديد من المواد العضوية كمصدر للكربون والطاقة مثل السكريات الأحادية والثنائية والمعقدة والأحماض العضوية والنشا والبكتين والسليولوز

والدهون واللجنين وبعض هذه المواد تستطيع البكتيريا تحليلها، كما تستخدم كثيراً من المواد النيتروجينية والمعقدة كمصدر للنيتروجين، وعلى ذلك فالفطريات تلعب دوراً هاماً فى تحلل السليولوز والهيميسليولوز والبكتين فى الأراضى، كما يمكن أن تلعب دوراً فى معدنة النيتروجين العضوى، أى أنها تقوم بتحليل المواد المعقدة عموماً ولها دور أساسى فى تكوين الدبال فى التربة. ومن ناحية أخرى فإن فطريات التربة المرضية لها أهمية خاصة من ناحية أمراض النبات، وكثير من هذه الفطريات تعيش فى التربة مترممة وعندما تجد الظروف الملائمة تغزو العائل وتسبب المرض. السموم الفطرية : Aflatoxins هى نواتج تمثيل غذائى ثانوية تفرزها بعض الفطريات مثل Aspergillus A. Parasiticus Flavus ومن البذور التى تصاب بهذه الفطريات المنتجة للتوكسين بذور الفول السودانى، وتتوقف كمية السموم المتكونة على الظروف البيئية خاصة درجة الحرارة ومدة التعريض.

الفطريات اللزجة : Slime molds تنتشر هذه الأنواع من الفطريات فى أراضى الغابات بالمناطق البادرة خاصة فى الأراضى الغنية بالمادة العضوية، حيث يصل أعدادها الى عدة آلاف بالجرام الواحد من التربة، تمتاز هذه المجموعة من الفطريات بأنه فى أحد أطوار حياتها تكون طور أميبى أى يشبه الأميبا فى صفاته، الذى يتحول الى أجسام ثمرية بداخلها الجراثيم التى تكمل دورة الحياة عند تحسن الظروف السيئة بالوسط الذى تعيش فيه. فطريات الميكورهيزا : Mycorrhiza فطريات الميكورهيزا تمثل حالة تعاون فريدة بين الفطريات وجذور بعض النباتات الراقية، فتقوم هذه الفطريات بعمل الشعيرات الجذرية على جذور نبات العائل حيث تساعد النبات على امتصاص الماء والغذاء والأملاح المعدنية مثل الفسفور والكالسيوم والبوتاسيوم والنحاس والحديد، فطريات الميكورهيزا فطريات محدودة الوطن فهى توجد فقط حول جذور عوائلها، وتعيش معها فى حالة تعاون، تأخذ الفطريات احتياجاتها الغذائية المعقدة من الأحماض الأمينية والفيتامينات (مثل فيتامين B) من النبات العائل وبسبب تلك الاحتياجات الغذائية المعقدة فإنه لم تنجح زراعة بعضها فى بيئات صناعية حتى الآن، حيث إنها تكافلية المعيشة إجباراً. وقد لوحظ أن فطريات الميكورهيزا تكثر حول جذور النباتات فى الأراضى الفقيرة فى الفسفور والنتروجين كما أنها تكثر عندما تحتوى جذور العائل على نسبة عالية من الكربوهيدرات الميسرة بزيادة نشاطه فى التمثيل الضوئى. العدوى: تحدث عدوى جذور البادرات من الأشجار بالهيفات، من النباتات المجاورة أو الجراثيم الموجودة بالتربة علماً بأنه يوجد درجة من التخصص بين الفطر والنبات العائل، وفى حالة المعيشة التكافلية، يمكن تمييز جزئين مختلفين فسيولوجياً من الفطر، الجزء الممتد خارج جذور العائل يقوم بعمل العشيرة الجذرية من حيث امتصاص الماء والمواد المعدنية، بينما يقوم الجزء من الفطر الممتد داخل العائل بتبادل المواد الغذائية، كما تحدث بعض التغيرات الميكروسكوبية والتشريحية والمورفولوجية فى جذر العائل. تقسيم فطريات الميكورهيزا تتبع & Basidiomycetes, Ascomycetes : Phycomycetes (zygomycetes)وهذه تتكاثر بالجراثيم الجنسية واللاجنسية، وبعضها يتبع الفطريات الناقصة، وتقسم فطريات الميكورهيزا الى مجموعتين وذلك من حيث طبيعة المعيشة التعاونية مع العائل وكيفية

التغذية والخواص الفسيولوجية وهما: 1- فطريات تعيش بين الخلايا وتسمى : Ectotrophic mycorrhiza وهذه المجموعة تكون غلاف Mantle حول جذور العائل بطبقة سمكها 20 : 40 ميكروميتر كما تمتد الهيفات وتنمو خلال المسافات التى بين الخلايا فى منطقة القشرة، يكون طبقتين جديدين من الخارج وتوجد هذه المجموعة من الفطريات فى جذور كثير من الأشجار ومنها الأنواع الاقتصادية كشجر الزان والصنوبر، ومن الأجناس التى تتبع هذه المجموعة Amanita

2- فطريات تعيش داخل الخلايا وتسمى Endotrophic أو (VAM) هذه الفطريات تخترق جدر العائل وتدخل الى داخل الخلايا وتتكاثر مع وجود بعضها خارج الجدار ممتدة فى التربة، وهذه المعيشة توجد مع جذور النباتات التابعة للعائلات التى منها أشجار الفواكه والموالح وشجر التين وكثير من النجيليات والبقوليات والسرخسيات وغيرها. وأهم ما يميز فطريات VAM فى جذور العائل، وجود التفرع الشجيرى الشكل، والأوعية قد تكون بيضاوية الشكل وأحياناً تكون مستديرة أو ذات فصوص، توجد بين خلايا القشرة أو بداخلها، وهى متصلة بهيفات الفطر وتعمل الأوعية كأعضاء تخزين وفى جذور الخلايا المسنة تتحول الى جراثيم تخرج الى التربة عند تحلل الجذور. النواحى العملية للفطريات : VAM فطريات VAM واسعة الانتشار إذا ما قورنت بفطريات الإكتومايكوريزا، فهى توجد فى أراضى تحت ظروف مناخية متعددة من الاستوائية الى المعتدلة الى المناطق القطبية، وإن كانت تتأثر بنوع التربة والنبات القائم والظروف البيئة، وهذه الفطريات تعيش بالاشتراك مع بذور النبات، ولم يمكن زراعتها فى غياب جذور النبات العائل، كما لم يمكن حتى الآن عزلها على أطباق الأجار بالطرق الميكروبيولوجية المعتادة. وهى تلعب دوراً هاماً فى تيسير الفوسفات للنبات خاصة فى أراضى المناطق الحارة حيث تزداد عملية تثبيت الفوسفات ويحول الى صورة غير صالحة لامتصاص النبات علاوة على أن درجات الحرارة المرتفعة نسبياً تزيد من نشاط الفطريات بهذه الأراضى عن أراضى المناطق المعتدلة الحرارة أو الباردة. وعلاوة على أن فطريات VAM تزيد من امتصاص النبات للفوسفات فإنها تزيد من امتصاصه للزنك كما لوحظ فى نباتات القمح والذرة والبطاطس والخوخ المنزرعة فى أراضى فقيرة فى عنصر الزنك، كذلك فإن فطريات VAM تزيد من امتصاص النبات لبعض العناصر الأخرى مثل البوتاسيوم والنحاس والكبريت وبعض العناصر الثقيلة. إضافة الى ما سبق، فإن فطريات VAM تتعايش مع جذور معظم نباتات مغطاة البذور خاصة البقوليات والنجيليات، كما توجد فى جذور بعض معراة البذور السرخسيات والحزازيات، ولا تخلو منها إلا جذور بعض نباتات قليلة التى تتعايش مع فطريات الأكتوميكوريزا.

الأمراض الفطرية التي تحدث بالتربه:-

1- أمراض أعفان الجذور عديدة وهى تعتبر من فطريات التربة الكامنة . أعراض الإصابة : تختلف الأعراض بإختلاف المسبب المرضى فمثلاً فى حالة :- العفن الريزوكتونى تكون الأعراض فى صورة بقع غائرة بنية إلى حمراء على السويقة الجنينية السفلى للبادرات فى حالة الإصابة الشديدة فإنها تؤدى إلى تحليق الساق وغالباً ماتموت البادرات المصابة وقد يمتد العفن حتى نخاع البادرة مسبباً لوناً بنيا ضارباً إلى الحمرة

فى الأنسجة المصابة . عفن البيثيوم تتعفن البذور إذا أصيبت فى بداية مراحل إنباتها وتؤدى إصابة البادرات عند سطح التربة إلى سقوطها وإذا أصيبت النباتات الكبيرة يظهر عليها بقع مائية تمتد قليلاً على الساق على صورة خطوط طويلة على أنسجة القشرة . هناك أعراض عامة فى حالة أمراض أعفان الجذور وهى : أن الإصابة تؤدى إلى غياب نسبة كبيرة من النباتات وضعف النمو الخضرى وبالتالى نقص المحصول .

الظروف الملائمة لإنتشار الإصابة بأعفان الجذور ♣ درجات حرارة منخفضة ♣ . الزراعة فى التربة الثقيلة السيئة الصرف ♣ . الجو البارد الرطب خاصة فى حالة العفن البيثيومى ♣ . يلائم الإصابة درجات حرارة 18 – 25ْ م ورطوبة نسبية 95 .

2- أمراض الذبول تنتشر الإصابة بالذبول فى البسلة كثيراً نظراً للتوسع فى زراعتها فى الأراضى الجديدةوذلك لتوافر الظروف الملائمة لإنتشار الإصابة فى تلك الأراضى حيث إستعمال السماد المحلي الغيرمتحلل وبالتالى إنتشار النيماتودا وتظهر الإصابة بالذبول على صورة إصفرار تدريجى على الأوراق السفلى ويكون غالباً فى جانب واحد مع تقدم الإصابة تظهر نفس الأعراض على الأوراق العليا بينما تسقط الأوراق السفلى وبذلك يجف أغلب المجموع الخضرى ويموت النبات ، تظهر الحزم الوعائية وقد أخذت لوناً بنياً فاتحاً .

الظروف الملائمة لإنتشار الإصابة بالذبول ♣ : رطوبة التربة المنخفضة نسبياً ♣ . التربة الرملية الخفيفة .

♣إنتشار ديدان النيماتودا خاصة عند إستعمال سماد محلي غير نظيف وغير متحلل . **برنامج عام للوقاية والعلاج من أمراض وأعفان الجذور والذبول** . ينقسم البرنامج إلى قسمين :

- أ- **المقاومة الزراعية** وهذه تشمل : 1 .إتباع دورة زراعية مناسبة . 2 .زراعة التقاوى فى تربة نظيفة وشراؤها من مصدر موثوق منه . 3 .العناية بالتسميد البوتاسى حيث وجد أن له تأثيراً إيجابياً على الحد من إنتشار الإصابة . 4 .زراعة الأصناف التى لديها القدرة على المقاومة أو تحمل الإصابة . 5 .الإعتدال فى الرى وتحسين الصرف . 6 .تعمق الزراعة إلى أسفل . 7. حرث المخلفات النباتية وجمعها والتخلص منها بعيداً عن المزرعة . 8 .عدم العزيق العميق فى حالة وجود إصابة ولكن يجب خربشة التربة حتى لاتجرح الجذور (أى العزيق السطحى) . عموماً وجد أن العمليات الزراعية يجب الإهتمام الشديد بها حيث وجد أن إتباعها بدقة يؤدى إلى الإقلال الشديد من إستعمال المبيدات أو الوسائل الأخرى فى المقاومة والوقاية خير من العلاج .

ب- **المقاومة الكيماوية** : وهذه تشمل : الوقاية قبل الزراعة : وذلك بمعاملة البذور بالمطهرات الفطرية قبل الزراعة مباشرة . ويجب أن تندى البذور بقليل من الماء أو الصمغ العربى أو أى مادة لاصقة كالنشا لضمان إلتصاق المطهرات الفطرية (المخلوط) بسطح البذور جيداً وهذه العملية تتم قبل الزراعة مباشرة . العلاج بعد الزراعة بالطبع فإن معاملة البذور قبل الزراعة لمقاومة مسببات أعفان الجذور والذبول يعتبر من الأهمية بمكان حيث أن التعامل مع أى كائن تحت التربة يعتبر صعباً ومكلفاً فى كثير من الأحيان .

أهمية الفطريات في التربة :

1- تساهم الفطريات بشكل فعال في تحلل المواد العضوية حيث تستطيع العديد من الأنواع الفطرية إستخدام وتحليل العديد من المركبات العضوية مثل السليلوز والبكتين واللجنين والهميسيليلوز ، كما تلعب دوراً كبيراً في تحلل أنسجة الخشب .

2- تستطيع الفطريات صنع مواد مشابهة لمادة التربة العضوية .

3- تساهم في التحولات المعدنية في التربة فمثلاً بعض الفطريات لها القدرة على تحويل صور الفوسفور غير الجاهز والمثبت الى صور جاهزة للامتصاص من قبل النبات .

4- تساهم الفطريات في زيادة ثباتية مجاميع التربة حيث تقوم بعملية الربط الميكانيكي لدقائق التربة عن طريق الهايفات .

5- تساهم العديد من الفطريات في عملية تحول المركبات البروتينية والأحماض الأمينية الى أمونيا

6- تلعب بعض أنواع الفطريات التكافلية والتي تعرف بالمايكورايزا Mycorrhiza والتي تعيش متكافلة مع جذور النباتات دوراً مهماً في زيادة قدرة النباتات على إمتصاص الماء والعناصر الغذائية وبالمقابل تستفيد من الكربوهيدرات والفيتامينات والتي تكونها تلك النباتات وهذه الفطريات يمكن أن تمتد لتتغلغل في المسافات البينية الموجودة بين خلايا الجذر ، وبعضها يخترق خلايا الجذر نفسها .

7- هناك بعض الأنواع مفترسة او متطفلة ولها أهمية في التوازن البيئي الطبيعي للأحياء الدقيقة في التربة.

8- البعض ممرض للنبات وله القدرة على البقاء في حال غياب المحصول الأصلي والظروف غير الملائمة كالأجسام الحجرية (Sclerotia) ومن الفطريات التي تبقى لمدة طويلة في التربة في غياب المحصول Fusarium, Rhizoctonia, and Phytophthora.بعض الفطريات يمكن أن تسبب أمراض نباتية أو حيوانية أو حتى تصيب الانسان

3. الفيروسات Virus: تنتشر الفيروسات في التربة ولكنها سرعان ما تفقد قدرتها على الحياة بسبب توافر شروط غير مناسبة لها في التربة كغياب المضيف وكونها إجبارية التطفل.

4. الطحالب Algae أما الطحالب فتوجد في التربة على شكل خلايا مفردة أو مستعمرات أو تكون خيطية الشكل، وهي إما متحركة أو غير متحركة تحوي صبغات التمثيل الضوئي، وهي أكثر انتشاراً قرب سطح التربة. ويمكنها أن تعيش رمية عند توافر الطاقة المناسبة. تسود عادة الطحالب الخضر والدايتومات على باقي الطحالب الأخرى في ترب المناطق المعتدلة بينما تسود الطحالب الخضر المزرقة في ترب المناطق الحارة . تمتاز الطحالب بقدرتها على التغذية الذاتية التي تعود لامتلاكها صبغة الكلوروفيل وتحتاج الى النتروجين والفوسفور والبوتاسيوم والمغنيسيوم والكبريت والحديد وبعض العناصر النادرة ، أما الكاربون فتحصل عليه من الجو على صورة CO_2 ، بعض الطحالب تمتلك القدرة على التغذية غير الذاتية عندما تعيش تحت سطح التربة بعيداً عن الضوء حيث تلجأ الى تحليل المواد

العضوية ولكن حتى هذه الطحالب يكون نشاطها قليل في غياب الضوء ويزداد نشاطها بوجود الضوء وتعود للتغذية الذاتية تنتشر الطحالب في الطبقة السطحية للتربة والصخور على الرغم من وجود طحالب تستطيع التواجد على أعماق 50 – 100 سم تحت سطح التربة ، تتأثر أعداد الطحالب في التربة بدرجة كبيرة برطوبة التربة حيث يمكن مشاهدتها بأعداد كبيرة في الترب الرطبة والغدقة ، تتأثر بعض مجاميع الطحالب بدرجة كبيرة بـ pH التربة فمثلاً الدايتومات يقل وجودها في الترب الحامضية في حين تزداد في الترب المتعادلة والقاعدية ، يعتبر pH 6 تقريباً عاملاً محدداً لانتشارها أما الطحالب الخضر المزرقة فيعتبر pH 7 – 10 أفضل مدى لنموها ، أما الطحالب الخضر فاقل تأثراً بـ pH التربة . تعتبر درجات الحرارة المعتدلة أفضل درجة حرارة ملائمة لنمو الطحالب لذلك تزداد أعدادها في الربيع بالدرجة الاساسية ، ويحد التجمد من نمو هذه الأحياء ، تتأثر الطحالب بالمبيدات التي تستخدم لقتل الحشائش ، كما يمكن أن تهاجم الطحالب من قبل البكتريا والفطريات والأكتينومايسيتات والبروتوزوا والنيماتودا وديدان الأرض.

مجموعات الطحالب الرئيسية المنتشرة في التربة تشمل:-

الطحالب الخضر Chlorophyta :

تمتاز الطحالب الخضر بالمميزات التالية :

1- تحتوي حوامل الصبغات التي تعرف بـ Chromatophores التي تحمل اللون الأخضر المميز .
2- تحتوي على صبغة الزانثوفيل والكاروتين .
3- تتواجد على شكل كائنات وحيدة الخلية أو خيطية بسيطة التركيب .
4- تعتبر أكثر مجاميع الطحالب إنتشاراً في التربة .
5- بعضها يمتلك تراكيب حركية كالأسواط كما في الكلاميدوموناس .
6- بعض الأجناس الموجودة في التربة تستطيع التكاثر بالانشطار أو بطريقة جنسية .

الدايتومات Diatoms (Bacillariophyta) :

1- توجد بشكل كائنات وحيدة الخلية أو في مستعمرات .
2- تحاط بطبقة خارجية من السليكا والبكتين وجدرانها تتكون من مصراعين .
3- يكثر وجودها في الترب المتعادلة والقلوية في المناطق معتدلة الحرارة .
4- يمكن أن تتكاثر لاجنسياً وجنسياً .
5- معظمها غير متحرك .

الطحالب الخضر المصفرة :

1- تعتبر أقل مجاميع الطحالب أهمية في التربة وأقلها تواجداً .
2- تحتوي خلاياها على تراكيب حاملة للصبغات عدسية أو قرصية الشكل .
3- التكاثر الجنسي نادر الحدوث في هذه الطحالب .

الطحالب الخضر المزرقة Cyanophyta :

تعتبر الطحالب الخضر المزرقة حلقة الوصل بين البكتريا والنباتات الخضر وتصنف ضمن البكتريا ذاتية التغذية الضوئية حيث حسب تصنيف Bergey ضمن البكتريا الممثلة للضوء المنتجة للأوكسجين Oxygenic phototrophic Bacteria ، يوجد منها حوالي 2000 نوع منها ماهو وحيد الخلية ومنها الذي يعيش على شكل مستعمرات خيطية غالباً ، بعض أنواعها يتميز بقدرته على تثبيت النتروجين الجوي ، الطحالب الخضر المزرقة أكبر حجماً من البكتريا وهي هوائية وبعضها يستطيع تحمل ظروف لاهوائية . أهم ما تمتاز به الطحالب الخضر المزرقة

1- تعتبر غير حقيقية النواة .
2- خلوها من الأسواط وحركتها إنزلاقية .
3- إحتوائها على صبغة phycocyanin الزرقاء إضافة الى صبغة كلوروفيل أ وصبغات أخرى مثل phycoerythrin إضافة الى صبغة الكاروتين والزانثوفيل .
4- وجود مواد غذائية مخزنة على شكل بروتين تعرف بـ cyanophycin .
5- تستطيع التكاثر بعدة طرق خضرية ولاجنسية وجنسية .
6- أشهر الاجناس الشائعة في التربة Anabaena و Nostoc و Calothrix .

أهمية الطحالب :

1- تلعب الطحالب دوراً مهماً في عملية **التجوية الحيوية للصخور** فهي أول أنواع النباتات التي تستطيع النمو على الصخور وعند موتها وتحللها من قبل البكتريا والفطريات فان الأحماض الناتجة يمكن أن تساهم في تجوية الصخور وكذلك فان حامض الكاربونيك الناتج عن ثاني أوكسيد الكاربون بفعل تنفسها يمكن أن يساهم في تحلل الصخور .
2- تساهم في زيادة محتوى التربة من **المادة العضوية** فهي تستطيع تحويل المركبات غير العضوية الى مركبات عضوية .
3- يمكن أن تساهم في **تثبيت مجاميع التربة السطحية** وتقلل من إحتمالات تعرية التربة .
4- تساهم الطحالب الخضر المزرقة المنتشرة في حقول الرز بدرجة كبيرة في توفير **الأوكسجين** اللازم لتنفس نبات الرز .
5- تساهم بعض أجناس الطحالب الخضر المزرقة في **تثبيت النتروجين الجوي** خصوصاً في مزارع الرز حيث يتم تلقيح مزارع الرز في كثير من بلادان جنوب شرق آسيا ببعض أجناس تلك الطحالب فعلى سبيل المثال أمكن زيادة إنتاج الرز في العديد من تلك البلدان بنسب تتراوح بين 14 – 20 % بعد تلقيح مزارع الرز ببعض أجناس الطحالب الخضر المزرقة .
6- تعتبر الطحالب **غذاء** للعديد من الأحياء مثل البكتريا والفطريات والنيماتودا وديدان الأرض

5. الفونا المجهرية Microfauna: حيوانات صغيرة مجهرية تشمل الأوليات الحيوانية وبعض الديدان الخيطية Nematoda الصغيرة والديدان المسطحة الصغيرة الحجم والدوارات، ويتغذى معظم أفرادها على الأحياء المجهرية وبعضها رمّي. وفي التربة أيضاً بعض الحيوانات الصغيرة والكبيرة من اللافقاريات مثال ديدان التربة وكثيرات الأرجل (أم الأربع والأربعين) والحلزون وبعض الحشرات ومن الفقاريات مثال بعض الأفاعي والعظايا والخلد والفئران وغيرها.

التطبيقات في الزراعة

1. التلقيح بالبكتريا المتعايشة المثبتة للآزوت، تستعمل أنواع البكتريا التابعة إلى الجنسين ريزوبيوم Rhizobium و Bradyrhizobium بعد تنميتها في أجهزة خاصة (مخمرات fermenters) وتحميلها على مواد عضوية مناسبة لتلقيح النباتات البقولية المتوافقة مع هذه الأنواع بهدف زيادة كمية الآزوت المثبت وخصب الترب.

2. التلقيح بالأحياء المثبتة الآزوت على نحو حر: يعود الفضل في محافظة أراضي الصين وجنوب شرق آسيا على خصبها إلى نمو الأحياء المجهرية في الوسط المائي الذي يغمر به الأرز أو على سطح تربته، وتتميز هذه الأحياء بقدرتها على تثبيت الآزوت الجوي على نحو حر معوضة الفاقد من التربة. إن تشجيع انتشار هذه البكتريا ونموها أو التلقيح بها أو Azolla له أثر بيئي مهم في توفير الآزوت ورفع خصوبة التربة. كما إن إضافة بعض أشكال البكتريا المثبتة للآزوت بصورة حرة غير ذاتية التغذية مثل Azospirillum و Beijerinckia و Azotomon و Azotobacter قد أعطت نتائج إيجابية في كثير من الحالات وخاصة في الترب التي تتميز بنقص الآزوت وارتفاع نسبة الكاربوهدرات فيها.

3 . التلقيح بالبكتريا المحلّة للفوسفات: تمتاز بعض أنواع البكتريا الموجودة في التربة بالقدرة على تحويل الفوسفات الثلاثية غير المتيسرة للنبات إلى فوسفات ثنائية أو أحادية، وترتبط معظم التحولات الجرثومية للفوسفات بالتحول من الصيغة غير الذائبة إلى الذائبة المتحركة.

4 . التلقيح بفطريات الميكوريزا: تجني النباتات الفائدة نتيجة تعايش هذه الفطريات على جذورها وبخاصة في مجال التغذية الفسفورية وتحمّل الجفاف وغيرها.

5 . استعمال خلائط جرثومية وعضوية لإخصاب التربة وتحليل المخلفات: تصنع بعض الشركات أو المؤسسات خلائط من ميكروبات التربة النافعة المختلفة وتحمّل هذه الميكروبات على مواد عضوية نصف متحللة للمحافظة على حيويتها أثناء التخزين والنقل، وتستعمل هذه الخلائط في الإنتاج الزراعي المكثف للنباتات لارتفاع كلفته.

6 . استعمال التقانات الحديثة المتطورة في الهندسة الوراثية للحصول على سلالات جرثومية لأغراض معينة مثل زيادة قدرة السلالات على تثبيت الآزوت الجوي أو تحطيم الخشب وتطوير سلالات منافسة للسلالات المرضية من الميكروبات أو تحليل المبيدات وبقاياها أو التخلص من ملوثات التربة.

دورة الكاربون وعلاقتها بميكروبات التربة

يوجد الكربون في الغلاف الجوي على شكلCO_2 ، كما يوجد في المركبات التي تكون أجسام الأحياء البرية و البحرية و هياكلها ، وفي التربة ضمن المادة العضوية و الدبال ، و في لغلاف المائي على شكل HCO_3, CO_3 ذائبة في الماء ، كما يوجد أيضاً في الغلاف الصخري و الوقود الإحفوري (الفحم الحجري و النفط و الغاز الطبيعي)

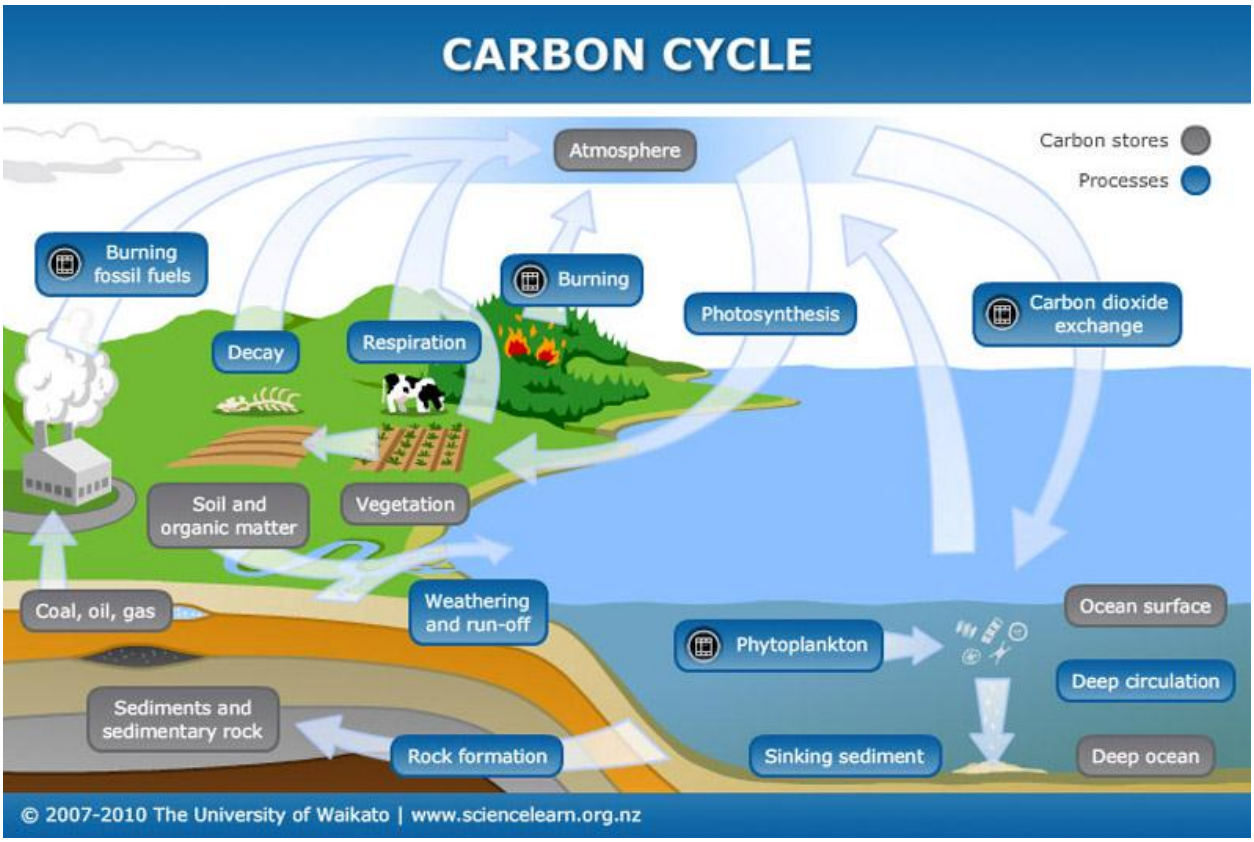
تبدأ دورة الكربون في الطبيعة بعملية التمثيل الضوئي فهي التي تحرك الكربون في الطبيعة لو توقفت لتوقف وجود هذا العنصر في الأشكال الأخرى الحاملة له.وفي هذه العملية يأخذ النبات (المنتجات) غاز ثان أكسيد الكربون من الجو والضوء من أشعه الشمس والماء والتربة ليصنع منها الكربوهيدارات(المواد العضوية) في مجموعة من المعادلات نجملها في المعادلة التالية: $6CO_2 + 6H_2O ___ C_6H_{12}O_6 + 6O_2$

وفي هذه العميلة يستهلك النبات ثاني أكسيد الكربون الجوى ويطلق الأكسجين .لاحظ كيف تقوم النباتات وما في حكمها من الكائنات القادرة على التمثيل الضوئي بتخليص الجو ومياه البحار وكميات من ثاني أكسيد الكربون المتزايد في الطبيعة من جراء حرق الوقود الاحفورى.

و في النبات أيضا تتم عملية التنفس ،و ينتج عن ذلك غاز Co2 الذي يعود إلى الغلاف الجوي ، و من ثم يستخدم في عملية البناء الضوئي بحيث تكتمل الدورة برجوعه إلى النبات . (من الملاحظ أن دورة الكربون مرتبطة إلى حد كبير بما يحدث لغاز (Co2 غالبا ما تتبع دورة الكربون مسارات أكثر تعقيداً؛ فبعد تحول الكربون الذي يكتسبه النبات إلى مواد عضوية ، تتغذى الحيوانات (المستهلكات) عليها ، فإنه تتم عملية هضم المواد العضوية و امتصاصها و تمثيلها لتساهم في بناء الأنسجة الحيوانية. و بناء عليه فإن ذرات الكربون الموجودة في النبات تصبح جزءاً من تركيب خلايا جسم الحيوان الذي تغذى عليها . و يمكن للكربون أن يرجع إلى الجو عن طريق عملية التنفس و ينتج من ذلك ثاني أكسيد الكربون . و الكربون المتبقي في خلايا و أنسجة الكائنات الحية المستهلكة تفقد جزءا منه عن طريق إفرازاتها و فضلاتها ، و بعد موتها فإن الكربون يؤول إلى المادة العضوية التي يمكن أن يعود منها إلى الجو بفعل عمليات التحلل الهوائية بوساطة الكائنات الحية الدقيقة (المحللات).

هناك جزء من الكربون العضوي لا يمر بدورات من هذا النوع و بهذه السرعة ، إذ أنه يمكن أن يتتبع مسارا أطول ؛ ففي الحيوانات البحرية يدخل الكربون في تركيب الأجزاء الصلبة منها كأصداف الرخويات و ذلك على شكل كربونات الكالسيوم . و بعد مرور فترات زمنية طويلة يثبت الكربون في الصخور الجيرية من الترسبات البحرية لهذه الأصداف . كما يذوب قسم كبير من Co2 في مياه البحار و المحيطات و البحيرات الأمر الذي يمكن أن يؤدي إلى ترسيب الصخور الجيرية أي تثبيت الكربون . وهذه الصخور تتعرض إلى عمليات التجوية الكيميائية مما يؤدي إلى عودة قسم من الكربون المثبت إلى الغلاف الجوي على شكلCo2 .كما يمكن للكربون أن يصبح محتجزاً في المركبات

العضوية في الوقود الأحفوري عندما تحفظ المركبات العضوية من عمليات التحلل الهوائية . و عند احتراق هذا الوقود فإن الكربون يرجع ثانية إلى الغلاف الجوي على شكل غاز ثاني أكسيد الكربون ليعاد تدويره من جديد



تقوم الأحياء المجهرية بهدم الدبال وحلّه، ويتم هذا التحلل بصورة بطيئة محررة منه المغذيات النباتية بعد موت هذه الأحياء.ان احياء التربة المجهرية التي تقوم بدور مهم في دورة الكاربون هي البكتريا والفطريات.

تحلل المادة العضوية :

تتعدد مصادر المادة العضوية التي تتعرض للتحلل الميكروبي في التربة ، وتعتبر الأنسجة النباتية والمخلفات النباتية المصدر الرئيسي لتلك المواد العضوية بما تشتمله من أوراق وأغصان وجذور ، ومن المصادر الأخرى للمادة العضوية في التربة مخلفات الحيوانات والأحياء الدقيقة وبقايا أجسامها المتحللة بعد موتها إضافة إلى المواد العضوية الصناعية التي تضاف إلى التربة كالأسمدة الصناعية العضوية والمنتجات العضوية الأخرى

عادة تنخفض نسبة المواد الذائبة في الماء والبروتينات والمعادن في حين تزداد نسبة السليلوز والهيموسليلوز واللكنين كلما تقدم عمر النبات . إن تحليل المادة العضوية من قبل الاحياء الدقيقة يهدف الى هدفين الاول الحصول على الطاقة اللازمة للنمو والثاني الحصول على الكاربون اللازم لتكوين مادة الخلية الجديدة .

معظم خلايا الأحياء المجهرية تحتوي على نسبة تتراوح بين 40–50% كربون من الوزن الجاف للخلايا وهي تحصل عليه من المادة العضوية التي تقوم هي بتحليلها ، يطلق على تحويل الكربون في المادة العضوية إلى كربون البروتوبلازم بعملية Assimilation .

تختلف أحياء التربة المجهرية في كفاءتها في عملية تمثيل الكربون العضوي حيث تعتبر الفطريات أكثر كفاءة من غيرها ولهذا فإن كمية CO_2 التي تطلقها الفطريات من وحدة الكربون المحول تحت الظروف الهوائية تقل عن مثيلاتها الناتجة عن فعل المجموعات الأخرى من الكائنات المجهرية.

ويقصد بكفاءة الكائن المجهري قدرته على تحويل الكربون في المادة العضوية إلى كربون خلوي ، وكلما زادت كفاءة الكائن المجهري في التمثيل قلت كمية كل من المحلفات العضوية الناتجة و CO_2 المتحرر ، وبصورة عامة الفطريات والأكتينوماسيتات تكون أكثر كفاءة من تمثيل الكربون من البكتيريا الهوائية ، أما البكتيريا اللاهوائية فأن كفاءتها تكون أقل من كفاءة البكتيريا الهوائية وتنتج الكثير من المخلفات الكربونية العضوية ولا تتحرر كميات كبيرة من الطاقة من المادة العضوية الأصلية بفعل هذه الميكروبات اللاهوائية ، المركبات الغير تامة الأكسدة التي تفرزها هذه الميكروبات يمكن لميكروبات أخرى من الميكروبات أن تستخدمها عند توفر الظروف الهوائية مرة أخرى ، عندما تقوم الفطريات بتحليل المواد العضوية فأن 30–40% من كربون المادة العضوية يتم تمثيله وإستخدامه في تكوين الميسليوم الجديد. أما في الكثير من أنواع البكتيريا الهوائية الأقل كفاءة فأنها تمثل 5–10% من كربون المادة العضوية بينما لا تستطيع البكتيريا اللاهوائية سوى الإستفادة من 2–5% من كربون المادة العضوية.

في نفس الوقت الذي يتم فيه تمثيل الكربون فأن هناك أيضاً تمثيل لكميات من النيتروجين والفوسفور والبوتاسيوم والكبريت وغيرها ، ولما كان تمثيل هذه العناصر المعدنية من قبل الأحياء المجهرية يتحدد فقط بالكميات اللازمة لتخليق الخلية فأن معدل تمثيلها يتناسب طردياً مع كمية الكتلة الحية المتكونة من الأحياء المجهرية وهو بالتالي مرتبط بكمية الكربون الممثلة ، وكمثال على ذلك فأنه لو أفترض إن تركيب الخلية للكائن المجهري هي في المتوسط 50% كربون و5% نيتروجين وبالإضافة للعناصر الأخرى فان كمية النيتروجين الممثلة سوف تكافيء 1/10 من كمية الكربون المستخدمة في تكوين خلية جديدة للكائن المجهري ، من المتوقع انه عندما توجد العناصر الغذائية المعدنية الميسرة بكمية قليلة في التربة فأن الكائن المجهري يجب أن يكون ذو كفاءة عالية في تمثيل المواد الغذائية حتى يمكنه التنافس عليها وبصورة عامة خصوصاً إذا كانت من الأنواع البطيئة النمو ، أما الأنواع سريعة النمو فأن نقص كفاءة التمثيل لا يعتبر سبب يحد من قدرتها على التنافس.

يمكن الإستدلال عن مستوى النشاط الميكروبي بعدة طرق منها :

1. قياس CO_2 المنطلق أو O_2 المستهلك.
2. تقدير النقص في كمية المادة العضوية بالطرق الفيزيائية أو الكيميائية.
3. تتبع إختفاء مادة معينة مثل السليلوز أو اللكنين أو الهيميسليلوز خلال مراحل تحلل المادة العضوية في التربة.

العوامل المؤثرة في تحلل المادة العضوية داخل التربة

توجد عدة عوامل تؤثر على معدنة المواد العضوية في التربة، فسرعة أكسدة المادة العضوية تعتمد على تركيبها الكيميائي كما ويتحكم في سرعة تحللها عمر النبات ومحتواه من اللكنين وكذلك على الظروف الكيميائية والفيزيائية في الوسط البيئي ، وأهم هذه العوامل:.

1. درجة الحرارة Temperature.
2. معدل الإمداد بالأوكسجين O_2 supply.
3. الرطوبة Humidity.
4. pH التربة.
5. نسبة C:N في المادة العضوية C:N ratio.

1. درجة الحرارة Temperature

تعتبر درجة الحرارة من أهم العوامل البيئية المحدودة بسرعة التحلل وتمثيل المواد العضوية ، فالتغير بدرجة الحرارة سوف يعمل على تغيير مقابل في الأحياء المجهرية النشطة في عمليات التحليل ، وفي نفس الوقت يكون له تأثير مباشر على كل كائن حي مجهري داخل مجموعة الأحياء المجهرية في التربة ، ففي درجة الحرارة المنخفضة تسير عمليات تحلل المادة العضوية بمعدلات بطيئة بالمقارنة مع درجات الحرارة المعتدلة فبالرغم من أن المادة العضوية يحدث لها تحلل في درجات الحرارة المنخفضة عند 5°م أو أقل ولكن تزداد سرعة التحلل للمواد العضوية زيادة طردية كلما إتجهت الحرارة ناحية الدفء ويصاحب ذلك سرعة إختفاء المكون للمادة العضوية، لكل نوع من الأحياء المجهرية تبعاً للنشاط الكيميائي الذي تقوم به درجات الحرارة المثلى ، ونظراً لإختلاف الأحياء المجهرية نوعياً وعددياً من مكان لآخر وكذلك بإختلاف المواد العضوية المضافة لذلك لا يمكن أن تكون هناك درجة حرارة واحدة تعتبر هي المثلى بصفة عامة بكل الأحوال ، لقد كان تباين نتائج الدراسات فيما يتعلق بدرجة الحرارة المثلى لتحلل المواد العضوية فقد يكون أقصى نشاط عند 30°م ، 35°م ، 37°م ، 40°م ، لذلك يمكن إعتبار النطاق الحراري الأمثل لعمليات التحلل بين 30–40°م والتغير في درجات الحرارة في حدود النطاق الحراري الأمثل لا يؤدي إلى تغير كبير جداً في معدل تحلل المادة العضوية بالرغم من كوهن يمثل أعلى معدلات التحلل ، ولكن المدى الحراري الأقل من هذا النطاق الأمثل أي في درجة حرارة واطئة –30 5°م فأن الإرتفاع في درجة الحرارة يصاحبه زيادة في تحلل المادة العضوية ، كما أن الزيادة في درجات الحرارة عن 40°م يقلل من سرعة التحلل إلا في حالات خاصة عندما تقتصر العملية على أنواع مُحبة للحرارة العالية.

2. الإمداد بالأوكسجين O_2 Supply

إمداد التربة بالهواء يعتبر عاملاً محدداً لتحلل المادة العضوية حيوياً والسبب في ذلك يعود إلى دور الأوكسجين في عمليات التحول الغذائي للأحياء المجهرية ، فعند الظروف اللاهوائية يقتصر إنطلاق CO_2 الناشئ من تحلل المادة العضوية على الأحياء المجهرية اللاهوائية بينما تعمل زيادة التهوية على تنشيط عملية معدنة الكربون لذلك فأن معدل التحلل المادة العضوية يقل كلما قل معدل الإمداد بالأوكسجين.

3. الرطوبة Humidity

يعتبر توفر قدر كافٍ من الرطوبة مهماً لإستمرار عمليات التحلل فالكائنات الدقيقة تنمو بسرعة في المزارع السائلة بشرط إمدادها بالأوكسجين ، أما في التربة فأن مستويات الرطوبة العالية تعمل على خفض النشاط الحيوي للأحياء المجهرية حيث إنها تؤدي إلى إعاقة حركة الهواء في التربة فيقل إمداد الأوكسجين ، لذلك فإذا ما لوحظ تأثير مُنشط في إنتاج CO_2 نتيجة إضافة الماء فأن نقص الرطوبة في التربة يكون في هذه الحالة هو العامل المحدد للنشاط ، أما إذا أدت إضافة الماء إلى حدوث تأثير مثبط فيكون عادةً بسبب نقص في كمية الأوكسجين بالنسبة للأحياء المجهرية. عند مستوى الرطوبة المنخفض يكون لإضافة الماء تأثير كبير على تحلل المادة العضوية بينما يكون تأثير هذه الإضافة قليل إذا كانت رطوبة التربة بالقرب من المستوى الأمثل لها والزيادة عن الحد الأمثل تؤدي إلى إنخفاض عمليات التحلل ، عندما تتراوح نسبة الرطوبة بين 60-80% من السعة المائية القصوى في التربة فأن عمليات التحلل تكون في أقصى درجاتها عندما تكون الظروف البيئية لأخرى ملائمة.

4. pH التربة

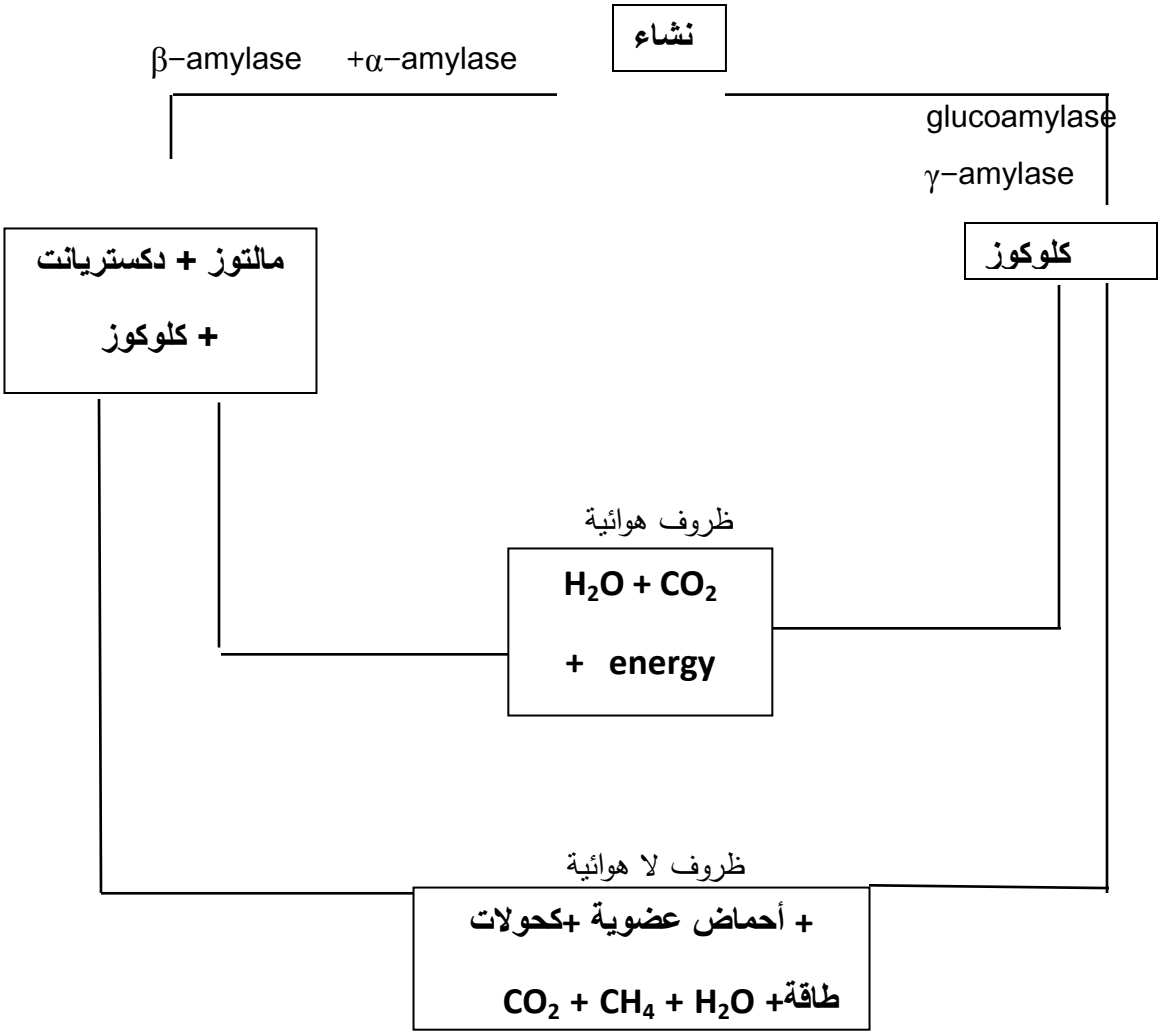
يعتبر pH محلول التربة من العوامل المحددة لتحلل المادة العضوية فلكل نوع من البكتريا والفطريات والأكتينوماسيتات درجة مثلى لنموها ، كما أن لها نطاق معين من تركيز أيون الهيدروجين لا تنمو خارجه بالإضافة إلى ذلك فأن الأنزيمات التي تنتجها النوع الواحد من الأحياء المجهرية ، تتأثر هي الأخرى بـ pH الوسط ، لذلك فإن قيمة pH التربة يعتبر عاملاً محدداً لأنواع الكائنات الحية المجهرية التي تشترك في إتمام دورة الكربون وعلى العموم تتحلل المواد العضوية في التربة ويكون بمعدلات أسرع في الوسط المتعادل أو القريب من التعادل ولذلك أن هذا المستوى من تركيز أيون الهيدروجين يتيح المجال لإشتراك أنواع عديدة من محللات المواد العضوية ويكون للفطريات دور بارز في عمليات التحلل التي تتم في التربة.

5. نسبة الكربون الى النيتروجين (C:N) :

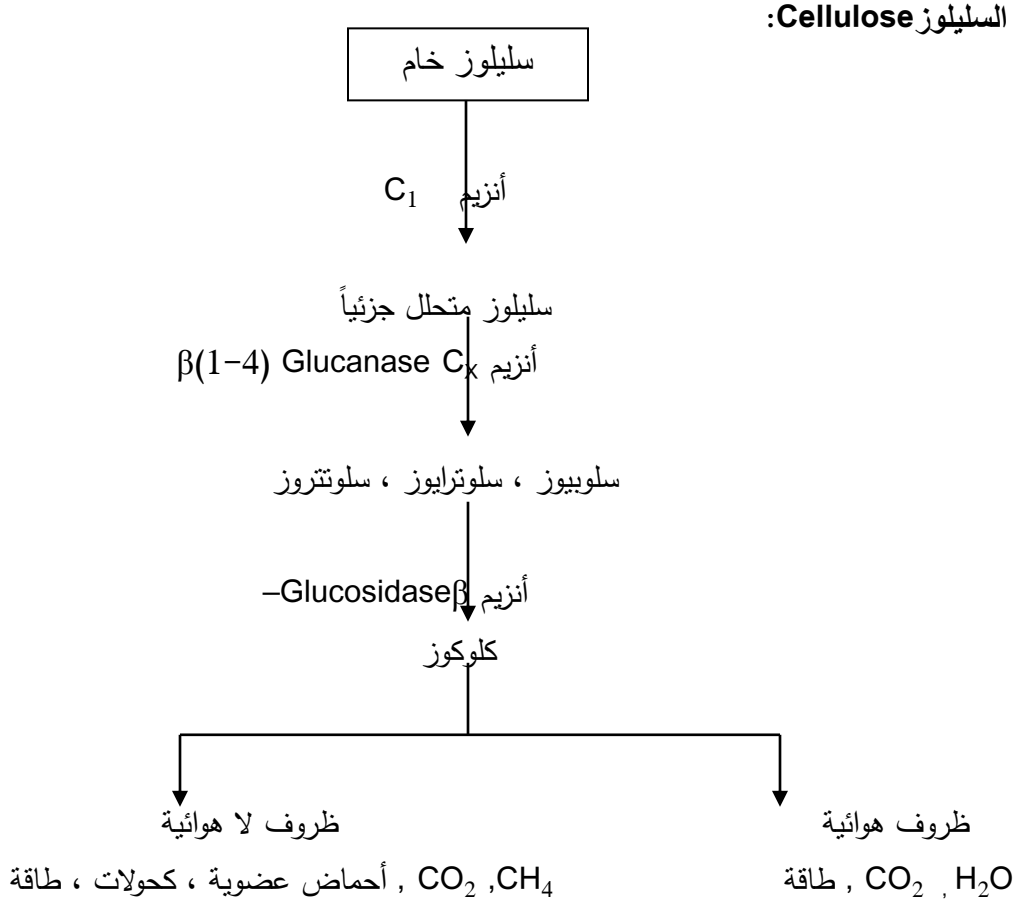
يعتبر النيتروجين من العناصر الغذائية الأساسية لنمو الأحياء المجهرية وبالتالي لعمليات تحلل المادة العضوية إن الأنسجة النباتية تختلف في نسبة C:N وتتراوح هذه النسبة بين 20:1 إلى 30:1 في المحاصيل البقولية والسماد الحيواني وتصل إلى 100:1 في بعض البقايا النباتية عندما يتوفر النيتروجين في المادة العضوية بكميات كبيرة وبصورة مُيسّرة (جاهزة) فأن الأحياء المجهرية تستوفي حاجتها من هذا العنصر من المادة

العضوية ، ولا يكون هناك إحتياج كميات إضافية للنيتروجين ، أما إذا كانت المادة العضوية فقيرة في محتواها لهذا العنصر فأن التحلل يحدث ببطء ، وعند إضافة مركبات تحتوي عنصر النيتروجين (أسمدة كيميائية) أو فأنها تسرع من عملية التحلل أما في حالة المادة العضوية الحاوية على مستويات من النيتروجين كافية كأنسجة النباتات البقولية فأنها تتحلل بمعدل سريع وتتعدم إستجابة الأحياء المجهرية أو تظهر إستجابة بسيطة جداً عند إضافة أسمدة كيميائية نيتروجينية ، والجدول التالي يوضح محتوى الأنسجة النباتية من النيتروجين لبعض أنواع النباتات ويمكن في ضوء هذه النسب إحتساب نسبة C:N على إعتبار أن نسبة الكربون في المادة العضوية يتراوح بين 45–50% على أساس الوزن الجاف.

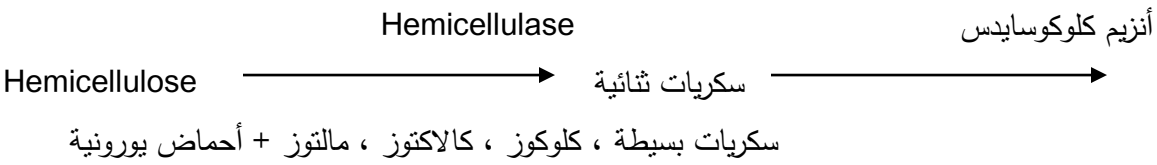
تحلل النشاء Starch hydrolysis



تحلل السليلوز Cellulose:



تحلل الهيميسليلوز Hemicellulose :



يوجد العديد من الأحياء الدقيقة التي لها القدرة على الإشتراك في تحليل الهيموسليلوز وهو أكثر من الأحياء الدقيقة التي لها القدرة على تحلل السليلوز ، ومن أنشط الأجناس البكتيرية في تحليل الهيموسليلوز:

Bacillus , Psedomonas , Achromobacter , Vibrio , Cytophaga

كما أن الكثير من أجناس الـ Actinomycetes لها القدرة على ذلك.

أما أشهر أجناس الفطريات:

Alternaria , Fusarium , Aspergillus , Penicillium , Rhizopus

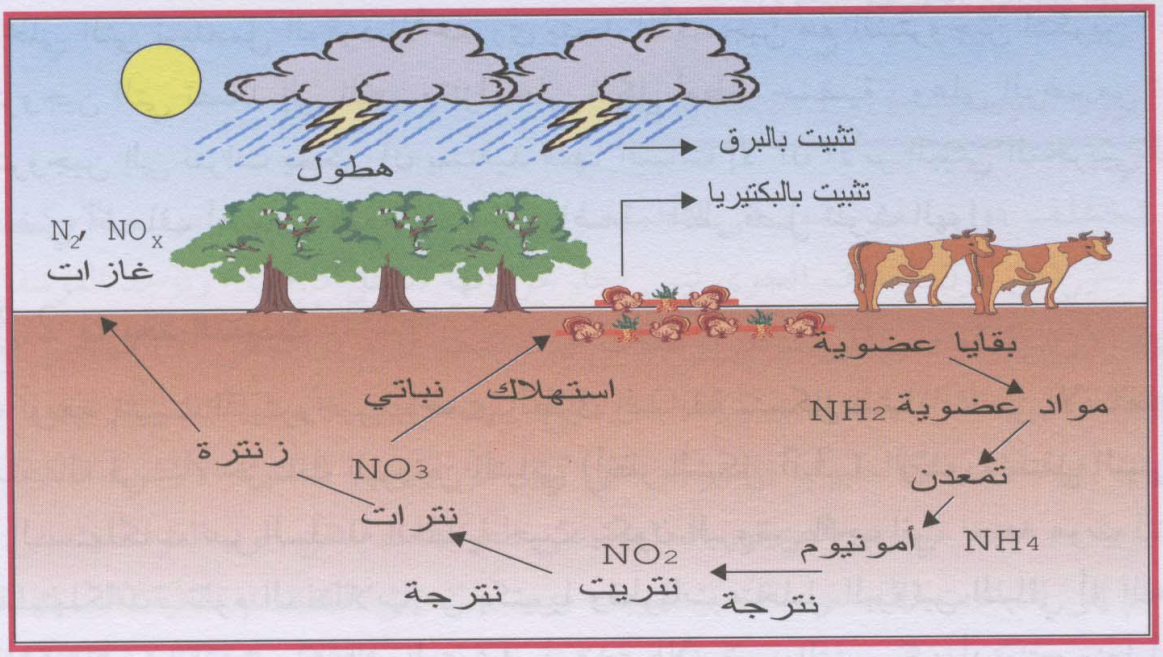
دورة النتروجين :

يعتبر عنصر النيتروجين أحد أهم العناصر التي تدخل في تركيب بروتوبلازم الخلايا الحية فهو يشترك في تكوين الأحماض النووية والأمينية والببتيدات والبروتينات والأنزيمات والهورمونات. النيتروجين والمركبات التي يشترك في تركيبها أحد أكثر المركبات تعرضاً للتغيرات البايولوجية.

يشكل النيتروجين الجوي حوالي 78% من حجم الهواء وعلى الرغم من ذلك فأن غالبية الأحياء لا تستطيع الإستفادة منه بشكل مباشر بإستثناء بعض الأحياء الدقيقة ، كذلك لا بد من تحول النيتروجين من الصيغة الجزيئية N_2 أو NO_2 إلى صيغ أخرى كصيغة NH_4^+ وذلك بفعل إختزاله أو إلى صيغة NO_3^- وذلك بتأكسده وفي كلتا الحالتين فأن هذه التحولات في التربة تحصل بفعل الأحياء الدقيقة.

النباتات تمتص النيتروجين على شكل NH_4^+ أو NO_3^- حيث تجري بعد ذلك عدة تحولات منها إختزال البروتينات والببتيدات والأحماض النووية والأحماض الأمينية.

يمكن ان يضاف النيتروجين إلى التربة مع مياه الأمطار ومياه الري وعند إضافة الأسمدة النيتروجينية العضوية أو الكيميائية ، في حالة الأسمدة العضوية يجب أن تتحلل قبل أن يصبح بإمكان النبات الإستفادة من النيتروجين ، عند تغذية الحيوانات على النباتات فأن النيتروجين العضوي (على شكل بروتينات وأحماض أمينية ونووية ومركبات أخرى) سوف يمر بِعدة تحولات إلى أن يدخل في تركيب الأحماض النووية والأمينية والبروتينات الخاصة بتلك الحيوانات وعند موت وتحلل الحيوانات يعود النيتروجين المرتبط بالمركبات العضوية للإنطلاق مرة أخرى ليتحول إلى مركبات ذائبة والماء وأخرى غازية يمكن أن تتطاير وتعود إلى الجو ثانيةً . إن سلسلة التغيرات التي يمر بها النتروجين ضمن الغلاف الجوي – التربة – الأحياء يطلق عليه النيتروجين ، **والشكل التالي يوضح مخطط لتلك الدورة:**



الشكل 3.3: دورة النيتروجين في الطبيعة

تثبيت النيتروجين الجوي Nitrogen fixation

يقصد بتثبيت النيتروجين الجوي تحويل النيتروجين الجوي من N_2 و NO_2 إلى NH_3 أو NO_3^- وتحدث عملية التثبيت بِعدة طرق من أهمها التثبيت الحيوي:

1. **التثبيت الحيوي Biological fixation:**

أن كمية النيتروجين المثبتة بهذه الطريقة يفوق كمية النيتروجين المثبت بالطرق الأخرى ، عملية التثبيت تقوم بها أنواع عديدة من الأحياء الدقيقة التي تمتلك أنزيم نيتروجينيز Nitrogenase حيث يساعد هذا الانزيم على إختزال النيتروجين الجوي إلى NH_3.

$$N_2 + 3H_2 \xrightarrow{\text{nitrogenase}} 2NH_3$$

يتركب أنزيم نيتروجينيز من نوعين من البروتينات **الأول** يحتوي على Mo الموليبديوم والحديد Fe ويسمى Mo.Fe بروتين وهو الجزء الأكبر من الأنزيم ، أما البروتين **الثاني** فيطلق عليه Fe–protein ويمثل الجزء الأصغر من الأنزيم. الأحياء المسؤولة عن عن تثبيت النيتروجين الجوي تشمل أنواع عديدة من الأحياء:

أ- أحياء دقيقة حرة المعيشة: تشمل الـ ***Azotobacter*** وهي بكتريا هوائية كبيرة الحجم يتراوح طولها بين 7- 5 مايكرون وعرضها بين 3-4 ميكرون ، شكل البكتيريا شبه كروي أو بيضوي أو عصوي أحياناً ، يتواجد بشكل فردي أو في أزواج تحتوي الخلية في بعض الأحيان على جسم يشبه الفجوة ، موجبة لإختبار الكاتيلز، تكون حوصلة ، سالبة لصبغة گرام g^- بيضوية الشكل كبيرة الحجم تكون مفردة أو في أزواج أو تجمعات غير منتظمة وهي غير مكونة للسبورات ولا تكوّن كبسولة ، **وجنس *Klebsiella*** الذي يمتاز بالشكل العصوي القصير g^- لا هوائية أختيارية ، **وجنس *Azospirillum*** شكلها حلزوني أو واوي g^- غيرمكونة للسبورات. **أما أجناس البكتيريا اللاهوائية** الإختيارية التي لها القدرة على تثبيت النيتروجين هي *Bacillus* و *Entrobacter*. **أما أجناس البكتيريا اللاهوائية** فتشمل *Clostridium* و *Desulfovibrio* ، كما تستطيع الطحالب الخضر المزرقة مثل *Nostoc* و *Anabaena*. تثبيت النتروجين الجوي .

ب- أحياء دقيقة تثبت النيتروجين تكافلياً مع كائن حي آخر: تشمل أنواع عديدة من الأحياء الدقيقة منها:

عملية تثبيت النيتروجين الجوي لا تقتصر على الأجناس حرة المعيشة وإنما توجد أجناس تكافلية ومن أشهر تلك الأجناس *Rhizobium* الذي يعيش متكافلاً مع بعض أفراد العائلة البقولية كالفول والبزاليا والفول السوداني والبرسيم ، عند تنقية *Rhizobium* على أوساط زرعية تبدو عصوية الشكل قصيرة سالبة لصبغة كرام غير مكونة للجراثيم أثناء نموها داخل العقد الجذرية تفرز منشطات نمو نباتية مثل مشتقات الأندول وحامض الجبريليك والسيتوكاينين عند عزل الـ *Rhizobium* من العقد الجذرية فأن أشكالها تكون مختلفة وتأخذ الأشكال T , Y , L , X , V هذه الأشكال تكون تعرف بالبكتيرويد Bacteroides ، يضم جنس الرايبوزوم أنواع عديدة متخصصة بنوع معين من النباتات البقولية ، فمثلاً:

R. mliloti	الجت ، الحلبة
R. trifolii	البرسيم المصري ، البرسيم الأحمر
R. leguminosarum	البزاليا
R. phaseoli	الفاصوليا

وجنس *Frankia* الذي يعود إلى الأكتينومايسيتات والذي يستطيع تثبيت النيتروجين في عقد جذرية في نباتات الكازورينا.

2. **تثبيت النيتروجين بالطرق الصناعية:** عند تصنيع الأسمدة النيتروجينية بطرق هابر بوش Haber Bosch تحت حرارة وضغط عاليين وبوجود عامل مساعد

$$N_2 + 3H_2 \xrightarrow[\text{ضغط } 250 + \text{م}^\circ 500]{\text{أوكسيد الحديد}} 2NH_3$$

3. **التثبيت بواسطة التفاعلات الكهروضوئية:** أثناء البرق وسقوط المطر حيث يحدث تفاعل بين N_2 و O_2.

$$N_2 + 2\ O_2 \longrightarrow 2\ NO_2$$

الذي يذوب بالماء ليكون حامض النتريك (مطر حامضي) ، كما يمكن أن يذوب غاز NH_3 الموجود في الهواء الجوي خصوصاً في المناطق الصناعية.

معدنة النيتروجين العضوي Nitrogen Mmineralization

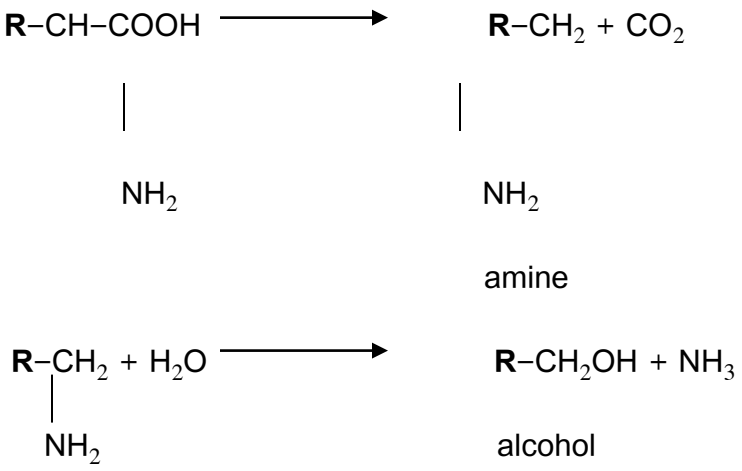
تسمى عملية التحول الحيوي للمركبات النيتروجينية العضوية إلى نيتروجين معدني بالمعدنة ، وعملية المعدنة تتضمن خطوتين هما: **النشدرة Ammonification** التي هي عبارة عن تحلل مركبات النيتروجين العضوي وإنطلاق الأمونيا ، ثم عملية **التأزت Nitrification** وهي أكسدة الأمونيا إلى نترات.

1. **<u>النشدرة Ammonification</u>:** تستطيع العديد من الميكروبات تحليل البروتينات والأحماض الأمينية وتختلف نواتج التحلل تحت الظروف الهوائية عنها تحت الظروف اللاهوائية.
تتم عملية تحلل البروتين بواسطة انزيمات تعرف بـ Proteases التي تفرز من قبل الميكروبات حيث تعمل على تكسير السلسلة الببتيدية لجزيئة البروتين بالتحلل المائي وهذه الانزيمات نوعين Exopiptedases و Endopiptedases.

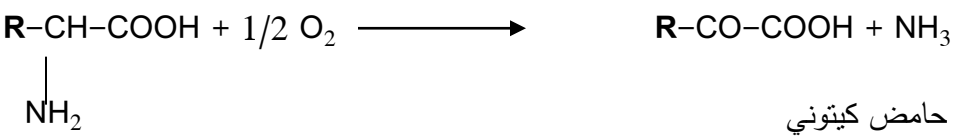
protein $\xrightarrow{\text{protease}}$ polypeptides $\xrightarrow{\text{peptidase}}$ Amino acid

تستطيع العديد من الميكروبات الإستفادة من الأحماض الأمينية كمصدر للطاقة والكربون وتتم عملية تكوين الأمونيا بإنتزاع مجاميع الأمين الموجودة في جزيء الحامض الأميني بطرق مختلفة:-

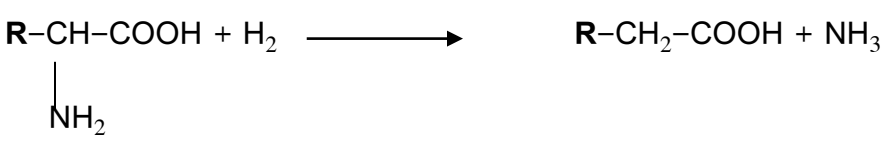
a. نزع مجموعة الكربوكسيل وتكوين الأمينات Amines التي تتحلل مائياً لتكوين الأمونيا.



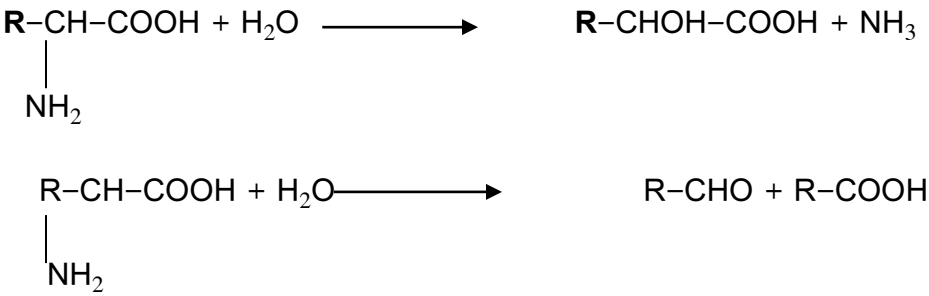
b. نزع الأمونيا بالأكسدة وتكوين حامض كيتوني



c. نزع الأمونيا بالإختزال وتكوين حامض دهني



d . نزع الأمونيا بالتحلل المائي مع تكوين حامض فيه مجموعة هيدروكسيل



تحلل اليوريا

تتكون اليوريا في التربة نتيجة تحلل القواعد النيتروجينية في الأحماض النووية كما يمكن أن تضاف للتربة على شكل أسمدة أو في بقايا الحيوانات ، اليوريا سريعة التحلل في التربة وتتم بفعل أنزيم اليوريز Urease حسب المعادلة التالية:

$$NH_2{-}CO{-}NH_2 + H_2O \xrightarrow{\text{Urease}} H_2N{-}COO{-}NH_4 \longrightarrow 2NH_3 + CO_2$$

Ammonium carbamate

2. **عملية التأزت (النترجة) Nitrification:** عملية النترجة تتم على مرحلتين: **الأولى/** هي أكسدة الأمونيا إلى نتريت NO^-_2 بواسطة مجموعة من الميكروبات وأهمها:

Nitrosospira , Nitrococcus , Nitrosomonas , Nitrosolobus

$$NH_3 + 3O_2 \longrightarrow 2HNO_2 + 2H_2O + 66 \text{ cal}.$$

أما الخطوة الثانية/ فتتم بأكسدة النتريت إلى نترات بواسطة *Nitrosospira , Nitrococcus , Nitrobacter*

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

عملية عكس النترجة Denitrification:

هي عملية إختزال للنترات بواسطة الأحياء المجهرية وتحدث تحت نفس الظروف اللاهوائية وتقوم بها عادةً أجناس محددة من البكتيريا الهوائية الإختيارية مثل: *Thiobacillus , Pseudomonas , Bacillus , Alcaligenes , Flavobacterium , Agrobacterium* ، في الغالب تكون هناك عمليات أخرى تنتهي بإنطلاق النيتروجين الجوي ، والمخطط التالي يوضح مسار عملية عكس النترجة وإنطلاق النيتروجين :

$$NO_3^- \longrightarrow NO_2^- \longrightarrow NH_3 \longrightarrow N_2$$

تتم جميع خطوات التفاعل بوجود أنزيمات ، فعملية إختزال النترات إلى نتريت تتم بواسطة أنزيم إختزال النترات Nitrate reductase ، أما عملية إختزال النتريت فتتم بواسطة أنزيم إختزال النتريت Nitrite reductase. تلجأ

الميكروبات إلى إختزال النترات بهدف أكسدة المواد العضوية للحصول على الطاقة تحت الظروف اللاهوائية ، ويمكن تمثيل التفاعلات بالشكل التالي:

الميكروبات غير ذاتية التغذية:

$$C_6H_{12}O_6 + 12KNO_3 \longrightarrow 6H_2O + 6CO_2 + 12KNO_2 + energy$$

Nitrate reduction

الميكروبات ذاتية التغذية الكيميائية: مثل *Thiobacillusade , Thiobacillus denitrificans*

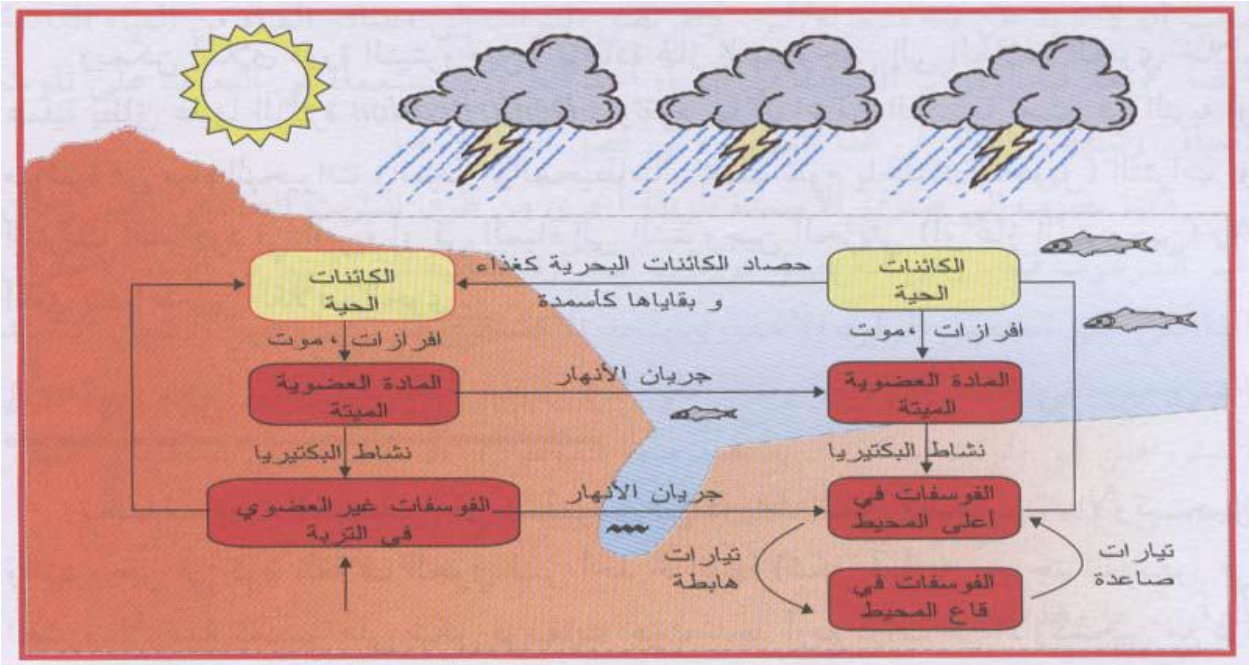
$$S + H_2O + 3KNO_3 \longrightarrow H_2SO_4 + 6CO_2 + 3KNO_2 + energy$$

Nitratereduction

تتأثر عملية النترجة بظروف التربة فهي تزداد نشاطها في الظروف اللاهوائية خصوصاً عندما تكون التربة مغمورة بالماء ، كما أن وجود نسبة عالية من المواد العضوية في التربة يشجع على عملية إختوال النترات ، أما بالنسبة لحموضة التربة فأن معظم الميكروبات المسؤولة على عكس النترجة حساسة للحموضة حيث تنخفض أعدادها في الترب الحامضية ، أما الحرارة المثلى فهي بحدود 25°م تقريباً.

دورة الفوسفور

يعتبر الفوسفور من العناصر الأساسية المهمة للكائنات الحية ، يوجد الفوسفور في التربة وفي الصخور والنباتات والحيوانات والأحياء الدقيقة على شكل مركبات عضوية وغير عضوية . تلعب الأحياء الدقيقة دوراً مهماً في التحولات التي تجري على مركبات هذا العنصر وتشمل هذه التحولات إذابة مركبات الفوسفور غير العضوي ومعدنة المركبات العضوية للفوسفور مع إنتاج الفوسفات غير اتلعضوية وتمثيل الفوسفور من قبل النباتات والحيوانات والأحياء الدقيقة وعمليات الأكسدة والاختزال ويمكن توضيح دورة الفوسفور بالمخطط التالي :



الشكل 4.3 : دورة الفوسفور في الطبيعة

يعتبر معدن الأباتايت Apatite مصدر الفوسفور المعدني في التربة ويتواجد على شكل كلور وفلور وهيدروكسي أباتايت $Ca_5(PO_4).Cl.F.OH$ يشكل الفوسفور العضوي في التربة نسبة 15 – 85 % من الفوسفور الكلي فيها ، تحتوي أنسجة المحاصيل على نسبة 0.5 – 0.05 % فوسفور عضوي والذي يتواجد على صور مركبات عديدة منها الفايتين phytin الذي يمثل ملح الكالسيوم أو المغنيسيوم لحامض الفايتك phytic acid والفوسفولبيدات ، وأحماض نووية وسكريات مفسفرة ومرافقات الانزيمات كما يمكن أن يتواجد الفوسفور داخل الفجوات الخلوية على شكل فوسفات غير عضوية .

تتم عملية إذابة الابتايت أو المركبات غير الذائبة بواسطة مجموعة من الأحماض العضوية التي تنتجها الأحياء المجهرية وتشمل تلك الأحماض الستريك واللاكتيك والأوكساليك كما تستطيع بعض الأحياء التي تعمل على أكسدة

الكبريت والنتروجين إنتاج أحماض الكبريتيك والنتريك التي تساعد في زيادة ذوبان الفوسفور والمعادلة الكيميائية التالية توضح تحول الفوسفور غير الذائب الى فوسفور ذائب:

$$Ca_3(PO_4)_2 + 2CO_2 + 2H_2O \longrightarrow 2CaHPO_4 + Ca(HCO_3)_2$$

فوسفات ثلاثي الكالسيوم — فوسفات أحادي الكالسيوم

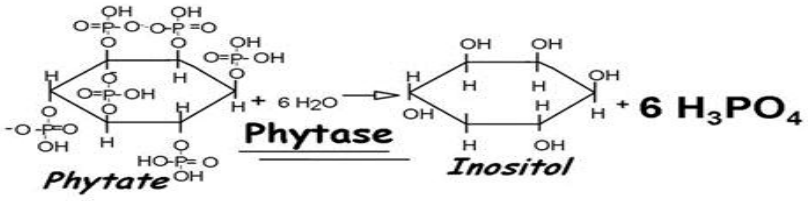
مركب غير ذائب — (مركب ذائب)

تستطيع العديد من الأحياء المجهرية سواء كانت ذاتية أو غير ذاتية التغذية الاشتراك في عملية إذابة الفوسفور غير الذائب ويمكن التأكد من قدرة تلك الميكروبات على إذابة المركبات غير الذائبة بتنميتها على أوساط غذائية تحتوي على $Ca_3(PO_4)_2$ أو مسحوق معدن الاباتايت كمصدر وحيد للفوسفور ومن أشهر الأحياء الدقيقة التي لها القدرة على إذابة المركبات غير الذائبة للفوسفور *Bacillus* و *Micrococcus* و *Pseudomonas* و *Mycobacterium* و *Aspergillus* و *Penicillium* و *Fusarium* .

معدنة الفوسفور :

يقصد بها تحول الفوسفور الموجود في المركبات العضوية الى مركبات معدنية وتتم بفعل إنزيمات خارجية تعرف بـ phosphatase فوسفاتيز حيث تقوم بفصل الفوسفور من المركبات العضوية.

هذه الانزيمات بعضها يستطيع العمل ضمن الوسط القاعدي والبعض الآخر ضمن الوسط الحامضي وتستطيع العمل على عدة أنواع من المركبات . بالنسبة الى حامض الفايتك phytic acid فان إنزيم الفايتيز phytase يعمل على تحليله كما في المعادلة التالية :



على عكس الكربون والنتروجين، لا يوجد الفُسفور في الجوّ، لكنّه ينشأُ عن جُسيمات الصُّخور الممتزجة في التربة. النباتات تَمتصُّ الفُسفور بواسطةِ جُذورها والحيوانات تَحصُل عليه عندما تأكل النبات أو حيواناتٍ أخرى وعندما تَموتُ الكائنات الحيَّة، يَعود فسفورها إلى التربة. يتحلَّل الفسفور بسهولة، واغتسالُ التربة بالماء يتسبَّب بانجرافه إلى البحر باستمرار، فيتحوّل من جديد بعد ملايين السنين إلى صُخور فُسفوريّة.

المبيدات

المبيدات أصطلاح يطلق على كل مادة كيميائية تستعمل لمقاومة الآفات الحشرية أو الفطرية أو العشبيه وآيه آفه أخرى تلتهم المزروعات اللازمة للأنسان فى غذائه وكسائه. إن ألاستعمال الخاطئ للمبيدات بأنواعها قد خلف كميات هائلة من هذه المبيدات في التربة ذلك ان نباتات والمحاصيل عامة لا تمتص من المبيدات ألا الكمية التي تتناسب وقدرتها ومعلوم ان المبيدات مع هطول ألأمطار أو الري تتسرب إلى طبقات الأرض مسببة بذلك تلوث للمياه السطحية والجوفية ويمكن أن تتبخر بفعل حرارة الشمس وتسبب تلوث الهواء المحيط.علاوة على ذلك فان هذه المبيدات تقتل الكائنات الحية الدقيقة النافعة في التربة مخلة بذلك التوازن الدقيق والهام في بيئة التربة كما تحدث المبيدات تغيرا في الصفات الكيميائية والفيزيائية للتربة وتؤثر بذلك على ألإنتاجية الزراعية وبدلا من تحسين الزراعة وتطوير المنتجات الزراعية ينقلب الحال الى إضعافها ورداءه منتجاتها كي تساهم المبيدات في تحويل الآفات الثانوية إلى آفات رئيسية وتعاني العديد من دول العالم الثالث من مشكلة الاستعمال الخاطئ للمبيدات حيث يضن الكثير من المزارعين انه بزيادة استعمال المبيدات يمكن القضاء على ألآفات الزراعية بشكل أفضل وبالتالي زيادة الإنتاجية ,فضلا عن أن بعض المبيدات تبقى في التربة لمدة طويلة قد تزيد على عشرين عاما ولنا هنا أن نتخيل تأثيرات هذه المبيدات على التربة نفسها وعلى ما ينمو فيها من نباتات فالمركبات العضوية للمبيدات تستطيع البقاء سنوات عديدة في الأراضي بسبب ثباتها البيولوجي وتنتقل المبيدات عاليه الثبات من مكان إلى أخر من خلال الماء والرياح.

وتشير العديد من البحوث إلى انه عند إضافة المبيد إلى التربة فان هنالك العديد من التحولات البيولوجية والبيئية التي تسهم بشكل كبير في تغيير خاصية ذلك المبيد اعتمادا على تركيزة وتركيبة الكيميائي وتلعب الكائنات الحية الدقيقة دورا فعالا في التحولات المختلفة لذلك المبيد فتحوله إلى مركب ذي خصائص يختلف تماما عن خصائصه الأولية ثم تعمل على تفكيكه وتحليله إلى جزيئات تستطيع غرويات التربة ادمصاصها او تتحلل هذه الجزيئات مائيا لتنطلق منها العناصر المعدنية التي تدخل في تركيب المبيد لتقوم كائنات حية دقيقة أخرى بالتحولات المختلفة لها والتي تشمل المعدنة والتمثيل والثبوت والذوبان.

ومن أكثر أجناس الكائنات الحية الدقيقة القادرة على تحليل المبيدات وتفككها مثل :- *Pscudamonas ,Bacillus, Clostridum* .

والفطريات *Calodosporium, Alternaria spp , Aspergillus.*

ولان اغلب المبيدات تدخل في تركيبها كل من المركبات الحلقية والهالوجينيات والكبريت والفوسفور والنتروجينات فان هنالك علاقات وطيدة بين المبيدات التي تضاف للتربة والكائنات الحية الدقيقة فقد تعمل المبيدات على احداث العديد

من الأضرار المختلفة على الكائنات الحية الدقيقة الموجودة في التربة نتيجة لزيادة تراكيز بعض تلك المركبات السابق ذكرها على حاجة الكائن الحي الدقيق.

وعموما فان الكائنات الحية الدقيقة قد تعمل على التخلص من المبيد بواسطة التحلل (Degradation) وقد تعمل على إزالة سميته (Detoxification) كما قد تعمل على تنشيطه (Activation) وأيضا قد تسهم في إحداث تفاعلات إضافية.

التلوث بالمخصبات(ألأسمدة)

المخصبات الزراعية Fertilizers المقصود بها هي تلك المركبات الكيمياوية (غير العضوية) وبالتحديد الأسمدة الفوسفاتية التي تستخدم لزيادة خصوبة التربة الزراعية وغني عن القول إن استخدام المخصبات الزراعية ضمن الحدود المدروسة قد يكون آثار ايجابية ويعود على الإنسان بالخير إلا إن الإسراف في استخدامها وسوء استخدامها كما ونوعا ومكانا وزمانا هو الذي يخل بمعادلة التوازن بينما يحتاجه النبات من هذه المخصبات وما يضاف منها إلى التربة الزراعية ذلك ان الكميات الزائدة عن حاجة النبات من هذه المخصبات تحدث إضرارا بالغة في عناصر البيئة المحيطة بهذه التربة فعلاوة على إن هذا الجزيء المتبقي من المخصبات في التربة يعد إسرافا ليس له مسوغا من الناحية الاقتصادية فهو أيضا يعتبر من عوامل تلوث التربة ويسبب كثير من الأضرار للبيئة المحيطة بهذه التربة وذلك ان ري التربة الزراعية المحتوية على قدر زائد من المخصبات الزراعية يجعل جزءا من هذه المخصبات يذوب في مياه الري ويتم غسله من التربة بمرور الزمن حتى يصل في نهاية الأمر إلى المياه الجوفية في باطن الأرض ويرفع بذلك نسبة كل من المركبات الفوسفات والنترات في هذه المياه كما وتقوم مياه الأمطار بدور هام في هذه العملية فهي تحمل معها أيضا بعض ما تبقى في التربة من هذه المركبات ويشترك بذلك كل من مياه الصرف الزراعي والمياه الجوفية ومياه الأمطار في نقل هذه المخصبات التي بقيت في التربة إلى المجاري المائية المجاورة للأرض الزراعية كالأنهار والبحيرات وغيرها

إن الأسمدة المستخدمة في الزراعة تنقسم إلى نوعين

1.الأسمدة العضوية

وهي تلك الناتجة من مخلفات الحيوانات والطيور والإنسان وكما هو معروف علميا ان هذه الأسمدة تزيد من قدرة التربة على الاحتفاظ بالماء.

2.الأسمدة غير العضوية

وهي تلك التي يصنعها الإنسان من مركبات كيميائيه وهي تؤدي إلى تلوث التربة بالرغم من إن الغرض منها هو زيادة إنتاج الراضي الزراعية ولقد وجد المهتمون بالزراعة في بريطانيا إن زيادة محصول الفدان الواحد في السنوات

الأخيرة لا تزيد على الرغم من الزيادة الكبيرة في استعمال الأسمدة الكيميائية إذ إن الاستعمال الواسع للأسمدة الكيميائية يؤدي إلى تغطية التربة بطبقه لامساميه أثناء سقوط الأمطار الغزيرة بينما تقل احتمالات تكون هذه الطبقة في حالة الأسمدة العضوية.

وتقوم العديد من الكائنات الحية الدقيقة الموجودة في التربة بالتحولات الكيميائية المختلفة للعناصر المعدنية الموجودة في المخصبات الزراعية عن طريق المعدنة أو التمثيل المعدني أو الثبوت وقد استعاض في الوقت الحاضر عن تلك المركبات باستخدام الأسمدة العضوية من مخلفات الصرف الصحي ومخلفات الحيوانات والطيور لان لها العديد من الخصائص الجيدة التي تتفوق بها عن تلك المصنعة فإنها تتحلل في التربة تدريجيا كما تحتفظ بدرجة حرارة التربة وتلائم النشاط المكروبي وتسهم في احتفاظ التربة بقوامها ورطوبتها و تلائم نمو العديد من الخضروات و الفواكه .

الخلل الذي يصيب التربة جراء التلوث الكيميائي

التلوث الكيميائي يقصد به كل أشكال التغيرات الكمية أو الكيفية في مكونات التربة من حيث صفاتها الكيميائية أو الفيزيائية أو الحيوية والتي تنتج بسبب استخدام بعض المواد الكيميائية سواء بقصد أم بغير قصد وبالتالي إفساد مكونات التربة ألأساسية وتغير تركيبها بحيث لم تعد تصلح للزراعة أو إن إنتاجها قد قل أو إنها تنتج غداءا ملوثا ضارا بالإنسان أما مصادر التلوث الكيميائي فهمي كثيرة ومن أهما التلوث بالمبيدات والمخصبات الزراعية والتلوث بالمنظفات الصناعية والتلوث بالمركبات العضوية الهالوجينية والتلوث بالأسلحة الكيماوية والتلوث الناتج عن الحوادث الصناعية .

ويمكن تصنيف أنواع الخلل التي تصيب التربة جراء التلوث الكيميائي إلى:-

أولا:- خلل فيزيائي ويشمل

1- بناء التربة

2- إزالة مواد غروية.

3- تكوين طبقة غير نفاذة للجذور.

4- صرف الماء الزائد.

ثانيا :- خلل كيميائي

1- تغيير الأس الهيدروجيني PH بشكل متطرف .

2- تغير ملوحة التربة (قابلية التوصيل الكهربائي) .

3- تجوية كيميائية لمعادن الطين .

4- وجود معادن ثقيلة

5- نقص الأوكسجين .

ثالثا :- خلل حيوي

1- انخفاض أعداد حيوانات التربة .

2- وجود مسببات مرضية.

ويمكن تقسيم ملوثات التربة الكيميائية إلى

أولا:- ملوثات عضوية Organic Pollutants

1-هيدرو كاربونات عطرية حلقية Aromatic Polycyclic Hydrocarbons

ومصادرها (احتراق الفحم والبترول والخشب ,إسفلت ,قطران الفحم ,انبعاثات عوادم السيارات-الشحوم)

2-النترو العطرية Nitro Aromatic ومصادرها (القنابل-المبيد الحشري-المبيد البكتيري)

3-الفينولات وانيلينات Phenols, Anilines ومصادرها:- (المبيدات البكتيرية،مياه الصرف للمصانع،مواد الصباغة،مبيدات الادغال)

4-الهالوجينات العطرية Halogenated Aromatic ومصادرها :--(مبيدات الحشائش،حرق المخلفات الطبية والمخلفات الصلبة ، احتراق البترول والفحم وألأطارات،مناجم الرصاص) .

5 -الهالوجينات الأليفاتية Halogenated Aliphatic ومصادرها :- صناعة البلاستك.

6-المبيدات Pesticides ومصادرها :- (الزراعة،صناعة المبيدات) .

7- منتجات البترول ومصادرها :- (صناعة تكرير البترول،السيارات ووسائل النقل،الصناعة)

ان من بين الستراتيجيات لازالة وتخليص النفط الخام من الملوثات هي الطريقة الكيميائية التي تستخدم لفعاليتها في مثل هذه العمليات , تشتمل الطرق الكيميائية على ازالة المعادن بالمذيبات لكن هذه العمليات مكلفة اقتصاديا ، كما انها تضيف ملوثات ثانوية للبيئة , ولهذا السبب اتجهت البحوث والدراسات العلمية الى استخدام الطرق الحيوية وخاصة المايكروبية ، وهي في تزايد مستمر ، واضافت ان العملية الحيوية والتفكك الحيوي تتصف بانها صديقة للبيئة ، كونها قليلة الكلفة، و ذات كفاءة عالية تفوق وتعوض عن الاساليب الكيميائية، واوضحت ان العديد من الاحياء المجهرية لها امكانية تفكيك المركبات الهيدروكربونية كالبكتريا والخمائر والفطريات , وتمتلك هذه الكائنات الانظمة الانزيمية الفعالة ولكنها تختلف في طرحها لنوعية الناتج النهائي للتفاعل , وقد اتجهت البحوث لتطوير قابليات هذه الكائنات من خلال التحوير الجيني.

بينت الدراسات والابحاث التي اجريت وجود انواع متعددة ومختلفة تابعة لاجناس مختلفة من الاحياء الدقيقة قادرة على تفكيك المركبات النفطية بأعتبارها مصدرا للكاربون والطاقة , اعتمادا على انزيمات (مؤكسدة – مرجعة) يتم بواسطتها تفكيك مختلف المركبات الاروماتية الضارة (بنزين , تولوين , نفتالين , فينول ...) كما ان بعضها يملك مورثات متمركزة في البلاسميدات ذات البنية الحلقية من (DNA) والتي تحدد انتاج مختلف الانزيمات المستخدمة في تفكيك المركبات النفطية فمثلا بعض السلالات التابعة لـ (Pseudomonas)تملك انزيم (Oxygenase) الذي يستطيع في حال وجوده في الخلايا اكسدة (CO, CO2) الموجودة في مركبات مثل التولوين , دي كلوروفينول اندوفينول وذلك في الشروط اللاهوائية وتشكيل مركبات ذات اهمية اقتصادية مثل التولوين كما يعتبر انزيم Dioxygenase مفتاح التفكك الحيوي للمركبات النفطية وهو من اهم الانزيمات التي تقوم بالاكسدة ان النتائج المذكورة يمكن الاستفادة منها في التطبيقات البيوتكنولوجية للصناعات النفطية وفي البحوث اللاحقة لتطوير واستغلال قابلية هذه العزلات البكتيرية مستقبلا.

ثانيا:- ملوثات غير عضوية Inorganic Pollutants وتشمل

1-العناصر الثقيلة والنادرة.

2-النتروجين.

3-النظائر المشعة.