الجمهورية العربية السورية
وزارة التعليم العالي
جامعة حماة
كلية الزراعة

علم الأحياء الدقيقة

MICROBIOLOGY

(الجزء النظري)

المحاضرة العاشرة

إعداد

الدكتور عبد الواحد الطحلي

دكتوراه باختصاص الأحياء الدقيقة

جامعة حماة 2019 – 2020

الأحياء الدقيقة في المياه والتربة
ودورها في تحول العناصر الغذائية في الطبيعة

- **مقدمة Introduction:**

إنّ الماء H_2O أساس الحياة لجميع الكائنات، ويحصل الإنسان على الماء من المياه السطحية أو الجوفية، وتكون عادة المياه السطحية أكثر عرضة للتلوث من المياه الجوفية. ويُعرف تلوث المياه بأنه تغيير يطرأ على خواص المياه الفيزيائية أو الكيميائية أو الميكروبيولوجية إلى درجة تحد من صلاحيتها للاستعمال المقصود.

تكتسب الأحياء الدقيقة الموجودة في التربة أهمية كبيرة لتعدد أدوارها المفيدة المتمثلة في تحليل المواد العضوية وتيسير العناصر الغذائية وإفراز المواد المشجعة على النمو وتكوين الدبال.

تتحول العناصر الغذائية في تتابع متصل ومستمر بين المجالين الحيوي وغير الحيوي حيث تقوم الأحياء الدقيقة بتحويل المواد العضوية المعقدة إلى مركبات معدنية بسيطة صالحة لاستفادة النبات ويطلق على هذه العملية اسم Mineralization، وتتفاعل الأحياء الدقيقة مع الشكل المعدني للعناصر المختلفة ويُعرف ذلك بدورات العناصر كما في دورة الكربون والآزوت والفوسفور والكبريت، وتؤثر هذه الدورات تأثيراً مباشراً في نمو وإنتاجية النبات في التربة.

❖ الأحياء الدقيقة في المياه:

تسبب المياه الحاملة لميكروبات مرضية مشاكل صحية خطيرة إذ ينتقل عن طريق المياه الميكروبات المعوية التي تسبب عدوى للجهاز المعوي مثل جراثيم التيفوئيد والكوليرا والدوسنتاريا الباسيلية والأميبية وفيروسات شلل الأطفال والالتهاب الكبدي الوبائي، وتوجد هذه المسببات المرضية في بول الإنسان المريض وبرازه وحاملي العدوى حيث تنساب هذه الميكروبات مع مياه المجاري وتنتقل إلى مياه الشرب وتلوثها، لذلك يجب معالجة مياه المخلفات قبل التخلص منها وتنقية مياه الشرب ومعالجتها بالكلور قبل الاستعمال بحيث تكون عديمة اللون والطعم والرائحة وخالية من المواد العالقة والملوثات الميكروبية والكيميائية والإشعاعية.

1- مصادر تلوث المياه:

تشمل مصادر تلوث المياه الصرف الصحي ومخلفات المجاري من المنازل وهي المصدر الرئيسي للتلوث بالميكروبات المعوية المرضية، والصرف الصناعي الذي يحمل الكثير من المعادن الثقيلة كالنحاس والكادميوم والزئبق والمواد المشعة وغيرها، والصرف الزراعي الذي يحمل متبقيات المبيدات والأسمدة، والأمطار الحامضية نتيجة تلوث الجو بغازات المصانع فيتكون حمض الكبريت والآزوت. تكون الميكروبات الإختيارية واللاهوائية سائدة في مياه المجاري لذلك تتحلل المواد العضوية لمخلفات المجاري تحت ظروف لاهوائية فتظهر روائح كريهة وتتلوث المياه.

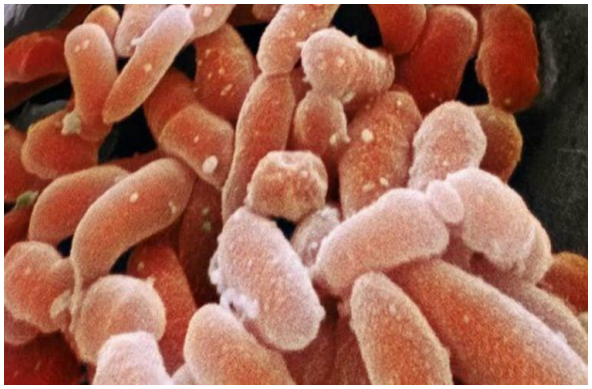
2- الأحياء الدقيقة الملوثة للمياه:

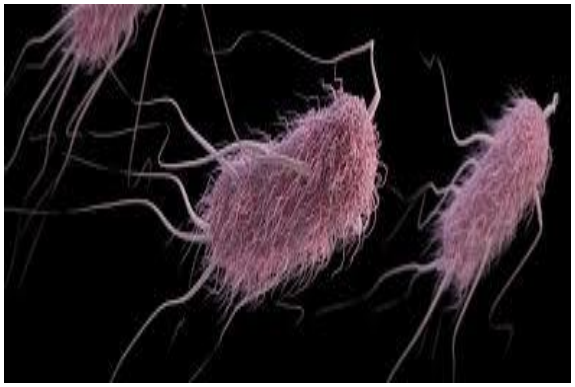
أ- الجراثيم الملوثة للمياه:

توجد جراثيم الليستريا *Listeria monocytogenes* بكثرة في مياه المجاري مصاحبة لجراثيم القولون، ويعتبر وجود جراثيم *Escherichia coli* في الماء دليل حيوي على تلوثها بمياه الصرف الصحي بسبب وجود هذه الجراثيم دائماً في المجاري وهو أخطر مصادر التلوث، ويمكن استخدام بعض أنواع الجراثيم المعوية كجراثيم دالة على تلوث المياه بالبراز مثل:

أولاً- مجموعة جراثيم القولون Coliform Bacteria:

هي جراثيم عصوية سالبة لصبغة غرام غير مكونة للأبواغ يمكن أن تنمو هوائياً على وسط الآغار تخمر اللاكتوز مع إنتاج الحمض والغاز وأهم أجناسها *Escherichia*، *Enterobacter*، *Citrobacter*. تُعد جراثيم *E. coli* من الجراثيم الدالة على التلوث بمياه المجاري أو البراز اكتشفها ثيدور إيشيرش وتعرف أيضا باسم جرثومة الأمعاء الغليظة (الشكل 10-1)، وتعتبر جراثيم *Enterobacter aerogenes* من جراثيم القولون غير البُرازية الموجودة أيضاً في التربة والنباتات.





الشكل (10-1): جراثيم *Enterobacter aerogenes* (يمين)، وجراثيم *Escherichia coli*

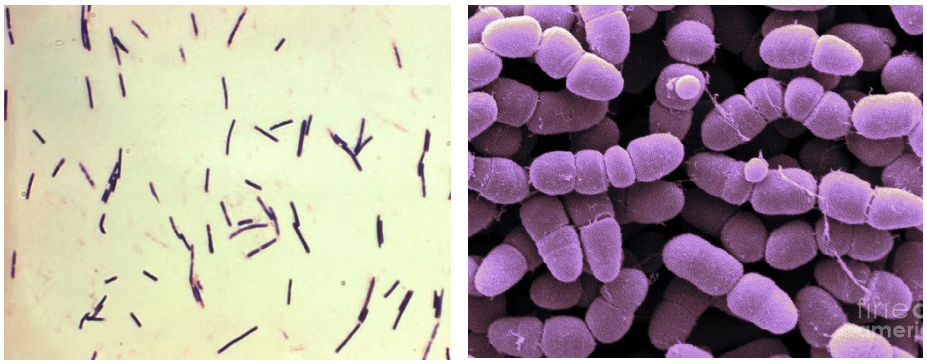
ثانياً- المكورات المعوية البُرازية Fecal Streptococci:

هي جراثيم كروية سبحية مصدرها الأمعاء وتصنف حالياً ضمن جنس *Enterococcus* وأهم أنواعها *E. faecalis*، *E. avium*، *E. faecium*، *E. durans* وغيرها. تتميز المكورات المعوية بتحملها لدرجات الحرارة المرتفعة ومقاومتها لنسبة عالية من الملح ومقاومتها للأوساط القلوية العالية فهي إلى جانب جراثيم القولون Coliform أحد الدلائل الحيوية المهمة على الشروط الصحية والتلوث بالبراز للأغذية والمياه. توجد المكورات المعوية خصوصاً *E. faecium* في المخلفات الحيوانية والدواجن بأعداد أكبر من *Escherichia coli* بعكس المخلفات البشرية لذلك يجب إجراء فحص مزدوج لكلا الجراثيم لمعرفة مصدر التلوث بالبراز هل هو ناتج عن المخلفات البشرية أو المخلفات الحيوانية.

ثالثاً- جراثيم الكبريت Sulfate Reducing وجراثيم *Clostridium perfringens*:

جراثيم الكبريت هي مجموعة من الجراثيم التي لها قدرة على اختزال الكبريت إلى حمض الكبريت ولها تأثير على الأنابيب الناقلة للمياه مسببة إحداث الصدأ وطعماً ورائحة غير مرغوب فيهما ومن أهم أنواع هذه المجموعة جراثيم *Desulfotomaculum nigrificans*.

توجد جراثيم *Clostridium perfringens* في أمعاء الإنسان والحيوان فهي لاهوائية منها أنواع مرضية وأخرى غير مرضية وهي تسبب التعفن وانتفاخ الجثث، ووجودها في المياه دلالة على التلوث القديم بالمخلفات الصناعية (الشكل 10-2).



الشكل (10-2): جراثيم *Clostridium perfringens*

رابعاً- جراثيم *Pseudomonas aeruginosa* (الزائفة الزنجارية):

يدل وجود هذه الجراثيم على تلوث شديد للمياه فهي تلتصق على سطح العبوات البلاستيكية في معامل إنتاج مياه الشرب المعبأة وتشكل خطورة على الصحة العامة (الشكل 10-3).

الشكل (10-3): جراثيم *Pseudomonas aeruginosa* (الزائفة الزنجارية)

ب- الطحالب الملوثة للمياه:

توجد الطحالب في كل المياه الطبيعية مسببه تعكير لها وتغيّراً في اللون والطعم والرائحة، وتفرز بعض الطحالب مواد سامة للإنسان والحيوان، ويمكن منع نمو الطحالب في المياه بإضافة 2 كغ كبريتات النحاس لكل مليون غالون ماء فهي لا تؤثر على جودة المياه.

ج- الفيروسات الملوثة للمياه:

تصل أغلب الفيروسات إلى مياه الشرب عن طريق التلوث بمياه المجاري وهي فيروسات معوية.

د- الخمائر الملوثة للمياه:

توجد الخمائر بأعداد مرتفعة في مخلفات المجاري وتقل أعدادها عند معاملة المياه بالكلور، ووجود الخمائر بمياه الشرب يشير إلى حدوث تلوث بمياه المجاري خصوصاً الخميرة الموجودة في بول وبراز الإنسان *Candida albicans* (الشكل 10-4).

الشكل (10-4): الخميرة *Candida albicans* المبيضة البيضاء

4- تنقية المياه الشرب:

تكون المياه العذبة قليلة العناصر الغذائية وعدد الميكروبات فيها محدود تتضمن أنواع من جراثيم التربة الرمّية مثل: أجناس *Micrococcus*، *Achromobacter*، *Flavobacterium*، *Bacillus* ويتم تنقية مياه الشرب قبل وصولها إلى المستهلك عن طريق معالجتها في محطات تنقية خاصة يمر فيها الماء بثلاث خطوات رئيسية هي:

أ- **الترسيب:** بترك المياه ساكنة لمدة من الزمن أو بإضافة مواد خاصة كالشبة (كبريتات الألمنيوم والبوتاسيوم) فتترسب معظم المواد العالقة بالماء.

ب- **الترشيح:** يتم من خلال مرور الماء عبر طبقات متعاقبة من الحصى والرمل الخشن والناعم فيتم التخلص من بقية المواد العالقة وحجز معظم الميكروبات الملوثة حوالي 90 %.

ج- **التطهير:** يتم بإضافة الكلور أو أحد مركباته لقتل الميكروبات الملوثة للماء خصوصاً المرضية، وتعتمد كمية الكلور المضافة على درجة التلوث والمواد العضوية ودرجة pH والحرارة.

قد تتضمن تنقية المياه بعض العلميات الأخرى كضبط pH وإضافة الجير أو الكلس الحي لترسيب وإزالة أملاح ومعادن الكالسيوم والمغنيزيوم المسببة لعسر المياه.

الأحياء الدقيقة في التربة

تتركز الجراثيم والفطريات في الطبقة السطحية من التربة وحول جذور النباتات وتقل في الطبقات العميقة لأن معظم الجراثيم والفطريات هوائية، وتُعتبر الجراثيم أكثر الكائنات الدقيقة وجوداً في التربة كماً ونوعاً ويصل تعدادها إلى 10^9/غ، بينما يصل تعداد الفطريات إلى 10^6/غ وبعض أنواع الفطريات ممرض للنبات والبعض الآخر يتكافل تعايشاً مع جذور كثير من النباتات مكوناً الميكوريزا mycorrhiza، أما الطحالب فإنها أقل انتشاراً بالتربة لأنها تحتاج رطوبة عالية مقارنة بالجراثيم والفطريات، وتصل الفيروسات بأنواعها مع إضافة المخلفات النباتية والحيوانية وتتحكم آكلات الجراثيم في انتشار بعض الجراثيم المفيدة في التربة، وتنتشر الأوليات في الطبقة السطحية من التربة وهي تتغذى على المواد العضوية وعلى الجراثيم والفطريات مما يجعلها من العوامل المؤثرة في انتشار الجراثيم في التربة. إنّ أكثر الأجناس الجرثومية وجوداً في التربة هي:

Pseudomonas، *Arthrobacter*، *Bacillus*، *Actinomycetes*، *Cyanobacteria*.

تتعرض المواد العضوية الموجودة في التربة للتحلل نتيجة نشاط الميكروبات حيث تختفي المواد سريعة التحلل أولاً ثم يصبح التحلل بطيئاً ويبقى في النهاية المواد صعبة التحلل التي تشكل مع المخلفات الميكروبية ومعادن الطين مادة معقدة التركيب بطيئة التحلل لونها غامق هي الدبال التي تؤثر على خواص التربة الفيزيائية والكيميائية والحيوية. يتضح دور الميكروبات في التربة بما تقوم من تحولات حيوية كيميائية لها تأثير على إنتاجية الأراضي والبيئة كما في دورات الكربون والنتروجين.

دور الأحياء الدقيقة في تحول العناصر الغذائية في الطبيعة:

- **دورة الكربون Carbon Cycle:**

يعتبر الكربون أحد العناصر المهمة للأحياء بصفة عامة لأنه أساس بناء الخلية وتحتوي الأنسجة النباتية والخلايا الميكروبية على نسبة عالية من الكربون ما بين 40–50% من وزنها الجاف تحصل عليه من غاز ثنائي أكسيد الكربون CO_2 الموجود في الجو بنسبة 0.03 % من حجم الغازات في جو الأرض والمعدل الطبيعي لتحولات الكربون ثابت إلا أنّ النشاطات البشرية أدخلت تغيرات ملموسة في دورة الكربون حيث تأثر غاز CO_2 الجوي بالتطور الصناعي وارتفع تركيزه بالجو بسبب الوقود الأحفوري واستمرار هذه الزيادة أدى إلى ظاهرة الدفيئة الزجاجية لأنّ غاز CO_2 يمتص الأشعة تحت

الحمراء المنعكسة من الأرض واحتفاظ هذه الأشعة يسبب ارتفاع درجة حرارة الأرض وما ينتج عن ذلك من تغيرات في البيئة والمناخ، وتتلخص دورة الكربون في تثبيت CO_2 في المواد العضوية النباتية والميكروبية من خلال عملية التركيب الضوئي ثمّ ينتقل هذا الكربون المثبت إلى الحيوانات وعندها يصبح من غير الممكن للنباتات أن تستعمل الكربون العضوي في بناء خلايا نباتية جديدة، ولكي تتمكن النباتات من ذلك لابد أن يتحول الكربون العضوي إلى الشكل الغازي الأول CO_2.

تنفرد الأحياء الدقيقة بقدرتها على التحليل اللاهوائي (التخمر) للمادة العضوية، والقدرة على تحليل الدبال وكثير من المواد التركيبية التي يصنعها الإنسان حيث تتحلل المواد العضوية في التربة بوساطة الميكروبات للحصول على الطاقة وبناء الخلايا، وتختلف سرعة تحلل المواد العضوية الكربونية الموجودة في البقايا فمنها مواد سريعة التحلل كالسكريات البسيطة يليها السكريات المعقدة كالنشاء والسيليلوز والهيميسيليلوز ثم المواد بطيئة التحلل كالشموع والليغنين والراتنج، وترتفع أعداد الجراثيم بسرعة عند وجود سكريات بسيطة في الوسط (التربة) وإذا أضيف النشاء ترتفع أعداد الأكتينومايسيتس وعند وجود السيللوز ترتفع أعداد الفطريات وإذا أضيف مواد غنية بالبروتين تزداد أعداد الجراثيم المكونة للأبواغ وهذا التتابع هو نتيجة لاختلاف الأجهزة الإنزيمية لهذه الأحياء التي تمكنها من استعمال مواد معينة دون أخرى. يتحلل النشاء بسرعة في التربة بفعل إنزيم Amylases الذي تُفرزه ميكروبات عديدة تتضمن الفطريات والجراثيم و*Actinomycetes*. يوجد البكتين في الصفيحة الوسطى لجدر الخلايا النباتية حيث يعمل كمادة لاحمة بين الخلايا لذلك فإنّ تحلله يؤدي إلى تفكك الخلايا عن بعضها وسرعة تحلل البقايا النباتية، ويتم تحلل البكتين بفعل إنزيم البكتناز Pectinases الذي تُفرزه الكثير من الجراثيم الممرضة للنباتات مما يؤدي إلى سهولة دخولها إلى الأنسجة النباتية مثل جراثيم *Erwinia caratovora* التي تُسبب مرض العفن الطري للمحاصيل الدرنية، والجراثيم اللاهوائية الاختيارية *Bacillus macerans*، والجراثيم اللاهوائية مثل جراثيم *Clostridium pectinovorum*. يُعتبر السيليلوز المادة الأساسية المكونة لجدر الخلايا النباتية لذلك تحلله خطوة أساسية في تحليل الأنسجة النباتية وتستطيع بعض ميكروبات التربة تحليله منها معظم الفطريات مثال *Aspergillus*، *Fusarium* والجراثيم الهوائية *Clostridium dissolvens*، و*Actinomycetes*. يتم تحليل السيليلوز إلى غلوكوز ثم يتحلل الغلوكوز بالميكروبات الهوائية إلى ماء وغاز CO_2 أو بالميكروبات اللاهوائية إلى أحماض عضوية وكحولات وألدهيدات وغازات (CO_2، H_2، CH_4).

- **دورة الآزوت Nitrogen Cycle:**

يُشكل الآزوت النسبة الكبرى من حجم غازات جو الأرض (78.1%) كما أنه حجر الأساس في جزيء البروتين المكون لجميع الخلايا الحية لذلك يُضاف النتروجين للتربة بشكل أسمدة معدنية أو عضوية ممثلة بالمخلفات النباتية والحيوانية. وتمثل دورة النتروجين بشكل عام نوعين من التحولات مفيدة وضارة كما يلي:

أولاً- تحولات مفيدة:

يوجد النتروجين في المادة العضوية بشكل معقد لا تستطيع النباتات الاستفادة منه ما لم يتعرض لفعل ميكروبات التربة التي تحلله إلى شكل معدني وهو الأمونيا والنترات بعمليتين هما:

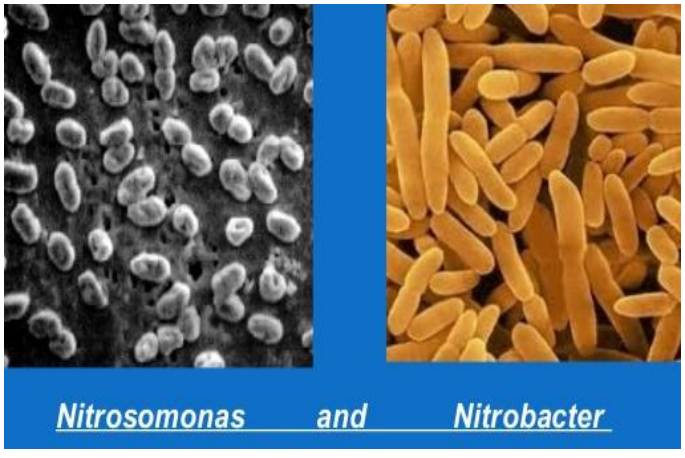
أ- النشدرة Ammonification:

تُحلل البروتينات حتى تتشكل الأمونيا أو النشادر NH_3 حيث تتحلل المواد البروتينية المعقدة على خطوات كالآتي:

بروتين ← بروتيوز ← ببتون ← ببتيدات عديدة ← ببتيدات ثنائية ← أحماض أمينية ← أمونيا، وتستطيع ميكروبات عديدة القيام بعملية النشدرة منها:

- جراثيم هوائية مثل *Proteus*، *Pseudomnas*، *Bacillus cereus*، *B. subtilis*.
- جراثيم لاهوائية مثل *Clostridium sporogenes*.
- فطريات مثل *Aspergillus*، و*Actinomycetes* مثل *Streptomyces*.

ب- النترجة أو التأزت Nitrification:



يتأكسد النشادر NH_3 أو الأمونيا NH_4^+ الناتجة من عملية النشدرة بوساطة جراثيم التأزت Nitrifying Bacteria على مرحلتين تقوم بالمرحلة الأولى جراثيم *Nitrosomonas* وفيها تتأكسد الأمونيا إلى النتريت NO_2، وتتم المرحلة الثانية بوساطة جراثيم *Nitrobacter* وفيها يتأكسد النتريت إلى نترات NO_3، والنتريت المتشكل سام للنباتات لكنه لا يتراكم في التربة بسبب أكسدته ثانية إلى نترات وهي أفضل شكل لامتصاص النبات للمواد

النتروجينية ولهذه العملية أهمية خاصة في التربة حيث تتحول أيونات أو شوارد الأمونيا الموجبة إلى النترات السالبة المنحلة في ماء التربة فعملية التأزت هي عملية إذابة للنتروجين ضمن بيئة التربة.

- **تثبيت النتروجين Nitrogen Fixation:**

هي عملية إرجاع للنتروجين الجزيئي N_2 إلى أمونيا بوساطة إنزيم Nitrogenase حيث تستطيع بعض ميكروبات التربة استخدام النتروجين الجوي لبناء خلاياها وعندما تموت يتحول النتروجين إلى شكل صالح لاستفادة النبات لذلك عملية تثبيت النتروجين الجوي لها أهمية كبيرة لخصوبة التربة ودورة الآزوت في الطبيعة وتتم هذه العملية بوساطة مجموعتين من الميكروبات هما:

أ- ميكروبات تعيش حرة في التربة (لا تكافلية):

تترافق بعض هذه الميكروبات مع الجذور دون التطفل عليها وتُعتبر من أحياء المحيط الجذري مثل جراثيم *Azospirillum* وبعضها ينتشر في التربة أهمها جراثيم هوائية مثل *Azotobacter*، وجراثيم لا هوائية أوسع انتشاراً في التربة مثل *Clostridium pasteurianum*.

ب- ميكروبات تعيش بشكل تكافلي:

تتشكل على جذور بعض النباتات البقولية تحت تأثير مجموعة من الجراثيم عُقد جذرية يتم فيها غالباً تثبيت النتروجين الجوي، وأهم هذه الجراثيم التابعة لجنس *Rhizobium* التي تعيش مع البقوليات

حيث تقوم بتثبيت الآزوت الجوي وتعطيه للنبات بينما تحصل من النبات على المواد الكربوهيدراتية اللازمة لها وهي متخصصة بمعنى لكل نبات بقولي نوع أو سلالة معينة تستطيع تكوين العقد على جذوره بينما لا تستطيع سلالة أخرى ذلك، وتستمر الجراثيم في العقدة مدة شهرين ثم تنفجر العقدة وتخرج منها الجراثيم لتعيش حرة في التربة وتغزو شعيرات جذرية أخرى، ويلاحظ أن النباتات النامية بعد النبات البقولي تكون أغزر نمواً ومحصولاً من النباتات النامية بعد المحاصيل النجيلية لذلك ينصح دائماً بأن تدخل النباتات البقولية في الدورة الزراعية للمحافظة على خصوبة التربة، ومن الجراثيم التي تعيش بشكل تكافلي الجراثيم الخضراء المزرقة *Cyanobacteria*، وجراثيم *Frankia* التابعة للأكتينوميستات التي تعيش مع غير البقوليات كالأشجار الخشبية المعمرة.

ثانياً- تحولات ضارة:

أ- إرجاع النترات وانطلاق الآزوت (عكس التأزت):

تتعرض النترات في التربة ضمن الظروف اللاهوائية لعمليات إرجاع بوساطة الميكروبات اللاهوائية الاختيارية التي تستخدم النترات كمصدر للأكسجين لأكسدة المواد العضوية والمعدنية والحصول على الطاقة، وتُختزل النترات إلى نتريت أو أمونيا أو أكاسيد نتروجينية مثل NO، NO_2، N_2O، ويمكن أن تؤدي إلى انطلاق غاز النتروجين وتُسمى هذه العملية اختزال النترات أو عكس التأزت Nitrate reduction، وهذه العملية ضارة لأنها تؤدي إلى نقص النترات اللازمة لتغذية النباتات ولها تأثير ضار على البيئة من خلال تأثير الأكاسيد النتروجينية على طبقة الأوزون التي تمنع وصول الأشعة فوق البنفسجية لسطح الأرض. ونتيجة التسميد المعدني الزائد بالأسمدة النتروجينية يزداد مستوى النترات في التربة ويتبع ذلك تكوين النتريت والأكاسيد النتروجينية الغازية والتي يمكن أن تصل إلى الإنسان والحيوان عن طريق المياه والغذاء حيث تتحد مع الأمينات الموجودة في الجسم وتتحول إلى نتروزأمين الذي يعتبر من العوامل المسرطنة.

- **دورة الكبريت Sulfur Cycle:**

يتعرض الكبريت لمجموعة من التحولات الحيوية الكيميائية التي تقوم بها الأحياء الدقيقة حيث يستطيع بعضها أكسدة المركبات الكبريتية، بينما يستطيع البعض الآخر اختزالها وتتشابه هذه التحولات مع تلك التي تقوم بها الميكروبات في دورة النتروجين ويمكن تلخيصها كما يلي:

أولاً- معدنة الكبريت العضوي:

تتحول الكبريتات بالتمثيل الغذائي إلى أحماض أمينية كبريتية تدخل في تركيب البروتين، وتقوم كثير من الميكروبات بمعدنة الكبريت العضوي في عملية تشبه عملية النشدرة في دورة النتروجين حيث تقوم هذه الميكروبات (جراثيم وفطريات) بإفراز إنزيمات تحلل البروتين مع انفراد الأحماض الأمينية الكبريتية والتي تتحلل وينفرد منها الكبريت كما يلي:

$$\text{Cysteine} + H_2O \longrightarrow \text{pyruvic acid} + H_2S + NH_3$$

ثانياً- أكسدة الكبريت المعدني:

تُسمى هذه العملية أيضاً تثبيت الكبريت فمن المعروف أنّ الكبريت المعدني شكل غير صالح لتغذية النبات والحيوان لكن تستطيع بعض أنواع الجراثيم أكسدة الكبريت إلى كبريتات وهي الصورة

الصالحة للتغذية كما في المعادلة التالية:

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

والجراثيم التي تقوم بذلك هي جراثيم هوائية مقاومة للحموضة: *Thiobacillus thiooxidans* كما تستطيع بعض الجراثيم أكسدة مركبات الكبريت المختزلة (SO_3^{2-}، H_2S) وتكوين الكبريت والكبريتات مثل جراثيم *Thiobacillus Thiothrix*، *Beggiatoa* spp.

ثالثاً- إرجاع الكبريتات:

تُختزل الكبريتات إلى غاز كبريت الهيدروجين H_2S بوساطة ميكروبات التربة المغمورة بالمياه مثل حقول الأرز والرواسب الطينية الموجودة في المستنقعات كالجراثيم اللاهوائية التي تستخدم الكبريتات كمستقبل للإلكترونات لأكسدة المواد العضوية منها أنواع الجنس *Desulfotomaculum*، وأيضاً *Desulfovibrio desulfuricans*. لقد تبين وجود أنواع أخرى تطلق كبريت الهيدروجين من السلفات مثال *Pseudomonas*، والخميرة *Saccharomyces*. إنّ مياه البحر تحوي على نسبة من الكبريتات حيث يُعتبر إرجاعها جزءاً من دورة الكبريت ومن علامات ذلك ظهور رائحة غاز H_2S في المناطق الساحلية الضحلة إضافة إلى ظهور اللون الأسود للطين نتيجة تكوين سلفيد الحديدوز Ferrous Sulfide.

- **التحولات الحيوية الكيميائية للعناصر الأخرى:**

تتعرض العناصر الأخرى الموجودة في التربة لمجموعة من تحولات البناء والهدم بسبب الأحياء الدقيقة حيث يتشكل الفوسفور من مصادره العضوية مثل الأحماض النووية والدهون الفوسفورية كما تُفرز الميكروبات المذيبة للفوسفات من جراثيم وفطريات وأكتينوميستات العديد من الأحماض التي تحول الفوسفور غير الصالح للاستخدام في التغذية إلى فوسفور صالح للنبات، وتقوم الميكوريزا دوراً رئيسياً في إمداد النباتات المتعايشة معها بالفوسفور الصالح للتغذية، بالإضافة إلى ذلك تحول الجراثيم أكاسيد الحديد والمنغنيز غير الذائبة إلى أملاح ذائبة وقد يحدث العكس أيضاً.

معظم العناصر المعدنية لها دورات وتحولات حيث تسهم جميع الكائنات الحية في هذه الدورات إلا أنّ الأحياء الدقيقة تأخذ الدور الأكثر أهمية بسبب انتشارها الواسع واختلاف قدراتها الاستقلابية ونشاطاتها الإنزيمية العالية.

انتهت المحاضرة