ميكروبيولوجيا التربة الزراعية Soil Microbiology

علم ميكروبيولوجيا الأراضى هو واحد من أهم فروع علم الميكروبيولوجيا والذى يختص بدراسة النشاط الميكروبى وكذلك العلاقات المتبادلة بين الميكروبات والأراضى . وكذلك العلاقات التى تنشأ بين الميكروبات والنباتات وذلك بهدف الوصول إلى خصوبة عالية للتربة الزراعية وكذلك الظروف المثلى اللازمة للحصول على أعلى إنتاجية للنباتات المنزرعة .

وتعتبر التربة جسماً وسطاً مالئاً بالحياة نظراً لما تحتويه من الكائنات الحية الدقيقة وغير الدقيقة ذات التأثير المباشر على خواصها الطبيعية والكيماوية والحيوية . ومن ناحية أخرى فإن أعداد ونشاط هذه الأحياء وخاصة الدقيقة منها تتأثر بالخواص الطبيعية والكيماوية للتربة . ويمكن القول أنه لولا تواجد الميكروبات لتوقفت الحياة على سطح الأرض حيث تقوم هذه الميكروبات بدوراً هاماً فى المحافظة على خصوبة التربة . ذلك من حيث قدرتها على إمداد النباتات بما تحتاجه من عناصر غذائية وذلك عن طريق معدنتها للمواد العضوية وتثبيتها لنيتروجين الهواء الجوى وكذلك تيسيرها للعناصر الغذائية غير الميسرة فى التربة وإفرازها لكثير من مواد النمو . كما تلعب الميكروبات دوراً هاماً فى المحافظة على التوازن البيولوجى فى الكون بإنتاجها لثانى أكسيد الكربون خلال عملية تحلل المواد العضوية مما يعمل على تعويض النقص الناتج من عملية التمثيل الضوئى للنبات . كما تلعب الميكروبات أيضاً دوراً فعالاً فى تحليل المبيدات الزراعية وملوثات التربة . وتحت ظروف خاصة قد ينشأ تنافس شديد بين الميكروبات والنبات على العناصر الغذائية المتواجدة فى التربة فى صورة صالحة للنباتات . كما تقوم بعض الميكروبات بإفراز مواد سامة تؤثر على نمو النباتات أو تسبب أمراضاً لها مما ينعكس سلباً على إنتاجيتها . ونناقش فى هذا الجزء وباختصار شديد العوامل المؤثرة على نمو ونشاط الكائنات الحية الدقيقة فى التربة ثم نلقى الضوء على مكونات المجتمع الميكروبى بالأراضى وكذلك دور هذه الكائنات فى تحولات بعض العناصر الغذائية الهامة فى التربة وتأثير ذلك على خصوبة التربة وإنتاجية المحاصيل .

أولاً : العوامل المؤثرة على النمو الميكروبى

تحتوى التربة على مجتمع متنوع من الكائنات الحية الدقيقة منها البكتيريا بأجناسها وأنواعها المختلفة والأكتينوميسيتات والفطريات والطحالب والبروتوزوا وكذلك الفيروسات ويتحكم فى أعداد ونشاط هذه الكائنات الكثير من العوامل والتى من أهمها :

رقم الحموضة :

تتأثر ميكروبات التربة من حيث أعدادها ونشاطها تأثيراً كبيراً بدرجة الحموضة (الـpH) حيث وجد أن معظم أجناس بكتيريا التربة تستطيع أن تعيش فى درجة الحموضة القريبة من التعادل والتى تتراوح قيمتها من ٦ إلى ٨ . بينما يؤدى إرتفاع أو إنخفاض قيمة الـpH عن هذه الدرجة إلى التأثير على نشاط وأعداد هذه البكتيريا . أما فى الأراضى الحامضية فتسود الفطريات وتقل أعداد البكتيريا كما تتراكم المواد العضوية ، وكذلك فى

حالة الأراضى القلوية تتوقف الكثير من العمليات الحيوية الهامة ويحدث نقص شديد فى أعداد الميكروبات .

الرطوبة :

تتأثر أعداد الميكروبات فى الأراضى الزراعية بما تحتويه من الرطوبة . ولقد وجد أن نسبة الرطوبة الملائمة لنمو الميكروبات هى تلك التى تتراوح ما بين ٥٠-٧٠% من السعة الحقلية (WHC) . وزيادة الرطوبة عن هذه الدرجة يكون ذات تأثير عكسى حيث تقل نسبة الهواء لحد كبير مما يؤثر تأثيراً ضاراً على أعداد الميكروبات الهوائية بالأراضى بينما تزداد أعداد الميكروبات اللاهوائية والتى تعمل على التحليل غير الكامل للمواد العضوية منتجة مركبات وسطية ذات تأثير سام على النباتات . ومن ناحية أخرى فإن تعرض الأراضى للجفاف يؤدى إلى قتل الكثير من الميكروبات وعند تعرض الأراضى لفترة جفاف طويلة فلا يتبقى إلا أنواع الميكروبات المقاومة للجفاف والتى تمثل نسبة قليلة من المحتوى الميكروبى الكلى بالأراضى .

التهوية :

تختلف ميكروبات التربة من حيث إحتياجاتها الهوائية وبالتالى فهى تختلف فى مدى تأثيرها بالتغيرات التى تحدث فى تركيب هواء التربة . حيث نجد من ميكروبات التربة الزراعية الهوائية حتماً Strict aerobes وهى التى لا تنمو إلا فى وجود الأكسجين واللاهوائية حتماً Strict anaerobes وهى تلك التى لا تنمو إلا فى غياب الأكسجين . كما أن منها الإختيارية Fucltative microbes وهى تلك التى لا تتأثر بوجود أو غياب الأكسجين ومنها تلك التى تحتاج لنموها إلى كمية قليلة من الأكسجين Microaerophiles . وعندما تسود الظروف اللاهوائية فى التربة فإنها تكون ذات تأثير سيئ على النشاط البيولوجى عموماً حيث أن النسبة الغالبة من ميكروبات التربة تعتبر هوائية كما أنه تحت الظروف اللاهوائية تتوقف كثير من العمليات الحيوية المؤثرة على خصوبة التربة والمرتبطة بنمو النبات .

المادة العضوية :

يتأثر معدل النشاط البيولوجى فى التربة تأثيراً كبيراً بمحتواها من المادة العضوية حيث أنها تعتبر المخزن الرئيسى لإمداد الميكروبات بإحتياجاتها الغذائية . كما تتأثر الميكروبات بنوعية المادة العضوية السائدة فى التربة وتركيبها الكيماوى . حيث وجد أن المواد العضوية المحتوية على نسبة عالية من المادة الكربوهيدراتية تشجع الأنواع المحللة لها كمحلات النشا والسليلوز أو البكتين . أما المادة العضوية ذات النسبة العالية من المواد البروتينية فإنها تشجع تواجد الأجناس والأنواع المحللة للبروتينات فى التربة وذلك لما تمتلكه كل مجموعة ميكروبية من نظم إنزيمية متخصصة .

القوام :

يؤثر القوام السائد للتربة الزراعية على الأحياء المتواجدة بها كماً ونوعاً ، حيث يؤدى القوام الطينى الثقيل إلى سيادة الظروف اللاهوائية فى التربة الزراعية كما يقلل من سرعة تحلل المادة العضوية فيها نتيجة إدمصاص الكثير منها على حبيبات الطين مما يؤدى

إلى قلة النشاط الميكروبى . بينما القوام الخفيف يؤدى إلى سيادة الظروف المناسبة للنشاط الميكروبى الأمثل أما فى حالة التربة الرملية فإن النشاط البيولوجى فيها يكون ضعيفاً وذلك لفقرها فى العناصر الغذائية والمواد العضوية وقلة قدرتها على الإحتفاظ بالرطوبة .

الملوحة :

تؤثر ملوحة التربة على أعداد الميكروبات بها تأثيراً سيئاً ولذلك فإن تقليل الملوحة فى التربة بتكرار الغسيل تحسن من العمليات الحيوية كما تؤدى إلى زيادة أعداد الميكروبات .

العمليات الزراعية :

يصاحب إعداد الأراضى للزراعة الكثير من العمليات الزراعية مما يؤثر على أعداد الأحياء الدقيقة بها تأثيراً إيجابياً . فعملية تجهيز التربة للزراعة وكذلك عمليات الحرث والعزق تحسن من البناء وتهوية التربة مما يزيد من النشاط الحيوى بها . كما أن تعاقب زراعة المحاصيل من خلال الدورة الزراعية يكون ذات تأثير كبير على النشاط الميكروبى بالتربة كما ونوعاً نتيجة لإختلاف هذه المحاصيل فى إفرازات جذورها وكذلك لإختلاف هذه الجذور فى مدى تعمقها وإنتشارها فى التربة من محصول لآخر .

ثانياً : مكونات المجتمع الميكروبى

تحتوى التربة الخصبة على أعداد ضخمة من الكائنات الحية الدقيقة تشتمل على أنواعاً عديدة ، وهذ الأعداد تكون فى تغيير مستمر مما يعطى صورة ديناميكية للنشاط البيولوجى فى الأراضى حيث ينشأ بينها العديد من صور التعاون والتضاد . ولقد وجد أن الأراضى الخصبة تحتوى على المجموعات الميكروبية الرئيسية مثل البكتيريا والأكتينوميستات والفطريات والطحالب والبروتوزوا وكذلك الفيروسات . ويتحكم فى أعداد هذه الكائنات توازن بيولوجى تؤثر فيه العوامل البيئية المختلفة . وفى هذا الجزء نلقى نظرة سريعة على مدى إنتشار وأهمية وأعداد أهم هذه المجموعات فى التربة .

البكتيريا Bacteria

تعتبر البكتيريا أكثر المجموعات الميكروبية إنتشاراً فى التربة من حيث أعدادها وأنواعها وكذلك نشاطها وما تقوم به من عمليات بيولوجية وتغيرات حيوية هامة . ويزداد هذا النشاط خاصة فى الأراضى المتعادلة أو التى تميل قليلاً ناحية القلوية .

ومن ناحية طرق تقدير أعداد البكتيريا فى الأراضى فقد استخدمت طرق كثيرة أهمها الطريقة الميكروسكوبية المباشرة وطريقة العد بالأطباق ولكل طريقة من هذه الطرق مميزاتها وعيوبها . ولقد وجد أن أعداد البكتيريا فى الأرض الواحدة تختلف حسب الطريقة المستخدمة فى العد وكذلك طريقة أخذ العينة ووقت أخذها والأعماق التى تؤخذ منها . وعموماً تعطى الطرق الميكروسكوبية أعداد أعلى بكثير من الطرق المزرعية حيث وجد أن أعداد البكتيريا المقدرة بالطريقة الأولى تصل إلى $١٠^{٩}$ مستعمرة / جرام تربة وتعتبر هذه الأعداد كبيرة جداً إذا ما قورنت بالأعداد المتحصل عليها بطريقة العد بالأطباق والتى تعطى أعدادً تصل إلى مئات الملايين فى كل جرام من التربة الخصبة .

أما من ناحية نوعية الميكروبات السائدة فى التربة فإنه يمكن القول وقياساً على نتائج العد البكتيرى فى الأطباق أن البكتيريا المتجرثمة من جنس *Bacillus* تتواجد فى كل

أنواع الأراضى بكميات كبيرة أما الأنواع الأخرى فإنها تتواجد بكميات أقل . كما وجد أن التربة تحتوى على أنواع متعددة من البكتيريا تختلف فى نظم حصولها على الطاقة فمنها ما يستطيع استخدام أكسجين الهواء الجوى مباشرة مثل الأنواع التابعة لجنس *Bacillus* وأنواع بكتيرية أخرى كثيرة . ومنها ما يحصل على الطاقة نتيجة تفاعلات كيماوية إختزالية مثل بكتيريا إختزال النترات والكبريتات . ومن الأجناس واسعة الإنتشار فى الأراضى جنس *Arthrobacter* حيث لوحظ تواجده بنسب تصل إلى ٣٥% من المستعمرات التى تظهر فى أطباق العد . كما لوحظ وجود بعض الأنواع التابعة لأجناس *Pseudomonas* ، *Corynebacterium* ، *Erwinia* بنسبة عالية فى التربة وأيضاً تبين وجود نسب لا بأس بها من الأنواع التابعة للأجناس التالية *Mycobacterium* , *Enterobacter* , *Clostridium* , *Escherichia* , *Protues* , *Micrococcus* *Flavobacterium* , *Agrobaterium*

ولقد وجد أن أعداد البكتيريا تقل كلما إبتعدنا عن سطح التربة حتى تصبح نادرة على بعد متر واحد تقريباً ، كما يقل تواجدها أيضاً كلما زادت الحموضة ، وفى هذه الحالة تزداد الأنواع المتجرثمة . كما وجد أن الرطوبة تشجع تزايد أعداد البكتيريا فى التربة وإذا زادت درجة التشبع فى التربة عن ٨٠ % من السعة المائية يقل تواجد البكتيريا الهوائية وتزداد البكتيريا اللاهوائية مثل جنس *Clostridium* . كما تتأثر أعداد البكتيريا بالتسميد حيث تصل إلى أعلى أعداداً لها عند التسميد بالأسمدة العضوية والمعدنية معاً كما يزيد التسميد المعدنى وحده من تعداد البكتيريا أيضاً فيبلغ تعداد البكتيريا أقصاه عند التسميد بكبريتات الأمونيوم + الجير حيث أن إضافة الجير يعادل الحموضة الناتجة من استخدام كبريتات الأمونيوم كما أنه يحسن من تهوية التربة لتأثيره على تجميع حبيباتها .

الفطريات Fungi

وهى تلى فى أعدادها فى التربة كل من البكتيريا والأكتينوميسيتات وعلى الرغم من ذلك فإنه فى التربة الخصبة جيدة التهوية تمثل الفطريات الجزء الأكبر من الوزن الكلى للبروتين الميكروبى نظراً لكثرة هيفات الفطر وصغر حجم الخلية البكتيرية .

ولقد وجد أن أعداد الفطريات فى التربة يتأثر بكثير من العوامل فنظراً لكون هذه المجموعة من الكائنات الحية الدقيقة غير ذاتية التغذية (هتيروتروفية) فإنها تتواجد بكثرة فى المناطق التى تحتوى على مادة عضوية بوفرة مثل الأراضى العضوية . كما أنه نظراً لإحتياج الفطريات إلى كمية كبيرة من الأكسجين حيث أنها هوائية فإن معظم الفطريات تسود فى الطبقة السطحية من التربة ، وتقل كلما تعمقنا لأسفل . أما من حيث تأثير بناء التربة فقد وجد أن أعداد الفطريات تزداد كلما كان البناء مفككاً وكذلك وجدت زيادة فى أعدادها كلما بعد الماء الأرضى كما تزداد أعداد الفطريات أيضاً كلما زادت الثقوب الناتجة من ديدان الأرض فى التربة . أما بالنسبة لدرجة الرطوبة فقد وجد أن أعداد الفطريات تزداد كلما قلت نسبة الرطوبة فى الأرض كما أن درجة pH التربة تكون ذات تأثيراً هاماً على أعداد الفطريات حيث وجد أن أعدادها تزداد مع زيادة الحموضة حتى درجة pH ٥.٨ إلا أنه أمكن إنماؤها فى المزارع النقية على درجة pH تتراوح بين ١-٣ .

ولقد استخدمت طرق كثيرة لدراسة أعداد الفطريات وتقدير نشاطها فى التربة ووجد أنه ليس هناك طريقة واحدة لدراسة الفطريات فى التربة يمكن أن تعطى صورة دقيقة لمدى إنتشارها ونشاطها . ولقد وجد أن أعداد الفطريات بإستخدام طريقة العد بالأطباق تتراوح بين ٢٠٠٠٠ إلى مليون مستعمرة / جرام تربة خصبة ، وإن كانت هذه الطريقة تتعرض لكثير من النقد حيث أن المستعمرات التى تظهر على الأطباق قد تنتج من جرثومة ساكنة أو جزء من الميسليوم وعلى ذلك فإن وجود أنواع من الفطريات السريعة فى تكوين الجراثيم فى التربة ينتج عنه أعداداً كبيرة عند العد بالأطباق .

أما عن دور الفطريات فى التربة فقد وجد أن للفطريات دوراً كبيراً فى مقاومة النيماتودا كما وجد أن بعض الفطريات لها القدرة على إنتاج مضادات الحيوية Antibiotics . وكذلك تعلب الفطريات دوراً هاماً فى تحليل بعض المواد المعقدة فى التربة مثل البكتين والسليلوز والدهون واللجنين كما تلعب دوراً هاماً فى معدنة النيتروجين العضوى ولها دوراً أساسياً فى تكوين الدبال Humus . كما تقوم مجموعة فطريات الميكوريزا Mycorrhiza بدوراً هاماً فى حياة بعض النباتات خصوصاً أشجار الغابات والتى تعتمد على هذه الفطريات فى التغذية حيث تقوم الفطريات بعمل الشعيرات الجذرية على جذور النبات العائل حيث تساعد النبات على إمتصاص الماء والغذاء والملاح المعدنية مثل الفوسفور والكالسيوم والبوتاسيوم والنحاس والحديد . هذا علاوة على أن بعض الفطريات يسبب الكثير من الأمراض الخطيرة لكثير من النباتات .

الأكتينوميسيتات Actinomycetes

هى مجموعة من البكتيريا الخيطية الموجبة لجرام وإن كانت تدرس كمجموعة مستقلة نظراً لأهميتها الخاصة ودورها الهام فى التربة . وهذه المجموعة واسعة الإنتشار وهى تلى البكتيريا فى أعدادها وإن كانت هذه الأعداد تختلف كثيراً حسب نوع التربة وكذلك حسب الظروف الطبيعية أو الكيميائية المحيطة . ولقد وجد أن طريقة العد بالأطباق تعطى أعداداً للأكتينوميستات غالباً ما تتراوح بين ٥١٠ – ٨١٠ مستعمرة / جم تربة . وهذه المجموعة الميكروبية تستطيع إستخدام العديد من المواد كمصدر للكربون والطاقة منها المواد البسيطة ومنا المركبات شديدة التعقيد . وتعتبر قدرة هذه المجموعة على تحليل الكيتين Chitin صفة مميزة لها كما تستطيع تحليل كثير من المواد الغريبة والتى تصل إلى التربة مثل البرافينات والسترويدات كما أن منها أنواعاً قادرة على تحليل المبيدات التى تصل إلى التربة أيضاً . وبدراسة دور ونشاط هذه الكائنات الهامة فى الأراضى وجد أنها أبطأ فى نموها من كل من البكتيريا والفطريات حيث لوحظ أن نشاطها يبدأ بصورة فعالة بعد أن تكون البكتيريا والفطريات قد قامت بتحليل المادة العضوية فى التربة إلى درجة تسمح بنمو الأكتينوميسيتات . وهذه الظاهرة لها أهميتها حيث أنه فى حالة توفر ظروف ملائمة للنشاط الميكروبى فى التربة مثل إضافة مواد عضوية بها مكونات سهلة التحلل يظهر التنافس بين ميكروبات التربة بوضوح. ونظراً لبطء هذه المجموعة فى نموها فإن قدرتها على التنافس تكون محدودة وبالتالى فإن أعدادها تقل فى الفترات الأولى للتحلل

ومع نقص المواد السهلة من المادة العضوية المضافة تبدأ أعداد هذه المجموعة فى الزيادة وتصبح لها السيادة حيث تستفيد من قدرتها على تحليل المواد المعقدة . وبالرغم من أن هذه المجموعة معروفة منذ فترة طويلة إلا أن أهميتها قد زادت بعد أن عرف أن كثير منها ذات قدرة كبيرة على إنتاج مضادات الحيوية Antibiotics والتى لها أهمية كبيرة فى علاج الكثير من الأمراض . وعموماً فهذه الميكروبات تلعب دوراً ذو أهمية خاصة فى التربة حيث تقوم بتحليل المواد المعقدة فى البقايا النباتية والحيوانية وتحويلها إلى الصورة الصالحة لتغذية النبات . كذلك لها دور فعال فى تكوين الدبال Humus عن طريق إحداث تحولات فى المواد العضوية المضافة للتربة . تقوم بدور فعال فى التحولات التى تحدث فى درجات الحرارة المرتفعة مثل تلك التى تحدث فى أكوام السماد العضوى النباتى والحيوانى . بعضها يسبب أمراضاً نباتية مثل الجرب العادى فى البطاطس Streptomyces scabies. تستطيع تجميع حبيبات التربة عن طريق هيفاتها مما يزيد من خصوبة التربة عن طريق تحسين تهويتها . هذا علاوة على إعطاء التربة الرائحة الخاصة بها وذلك نتيجة لإفرازها لمركب Geosmin . مضادات الحيوية التى تفرزها قد يكون لها دوراً هاماً فى التوازن الميكروبى فى التربة . كذلك بعض الأجناس التابعة لهذه المجموعة يكون لأفرادها دوراً هاماً فى خصوبة التربة من حيث قدرتها على تثبيت النيتروجين الجوى مثل أفراد جنس Frankia والتى تستطيع تكوين عقد جذرية على النباتات البقولية خاصة الأشجار مثل أشجار الكازورينا

الطحالب Algae

هى كائنات وحيدة الخلية ممثلة للضوء توجد فى التربة تحتوى على نسبة كبيرة من الرطوبة وتنمو فى الطبقة السطحية نظراً لإحتاجها للضوء وهى ذاتية التغذية (أوتوتروفية) حيث تحصل على الطاقة اللازمة لها خلال عملية التمثيل الضوئى . وتكون أعداد الطحالب أقل من البكتيريا والأكتينوميسيتات والفطريات . ويمكن تقدير أعدادها فى التربة باستخدام طريقة العد التقريبى باستخدام بيئة غذائية معدنية خالية من الكربون وتحتوى على العناصر اللازمة لنمو الطحالب وذلك فى الضوء لمدة ٤-٦ أسابيع . ولقد بينت الدراسات المعملية أن أعداد الطحالب فى الطبقة السطحية من التربة تتراوح بين ١٠٠-٥٠٠٠٠ مستعمرة / جرام تربة . ومن حيث أهميتها فى التربة فقد لوحظ أن إضافتها إلى تربة يفيد النبات وقد أمكن تعليل ذلك بأن الطحالب تقوم بإنتاج مركبات عضوية وتثبيت العناصر والأملاح المعدنية . كما تقوم بتدعيم التربة ضد عوامل التعرية . كما أن بعض الأنواع التابعة لمجموعة الطحالب الخضراء المزرقة كتلك التابعة للجنس *Nostoc* وغيرها مثل طحلب *Anabaena* يمكنها تثبيت أزوت الهواء الجوى والذى يحسن من خصوبة التربة . كما وجد أيضاً أن نمو الطحالب فى أراضى الأرز وقيامها بعملية التمثيل الضوئى يعطى كميات كبيرة من الأكسجين اللازمة لتنفس الجذور . ولقد وجد أن الأراضى الزراعية تحتوى على مجموعات من الطحالب الرئيسية مثل الطحالب الخضراء Chlorophyceae والطحالب الخضراء المزرقة Cyanophyceae والدياتومات الطحالب العصوية Bacillariophyceae وكذلك الطحالب الخضراء المصفرة الذهبية *Xanthophyceae* .

وتسود الطحالب الخضراء والدياتومات على باقى أنواع الطحالب الأخرى بأراضى المناطق المعتدلة بينما تسود الطحالب الخضراء المزرقة فى أراضى المناطق الحارة . كما تسود الطحالب الخضراء مثل الكلاميدوموناس *Chlamydomonas* والكلوريللا *Chlorella* فى الأراضى الحمضية حيث يمكنها تحمل درجة عالية من الحموضة تصل حتى pH ٣.٧. بينما فى الأراضى القلوية فتسود الطحالب الخضراء المزرقة حيث وجد أن بعض الأنواع التابعة لجنس *Anabaena* وكذلك جنس *Nostoc* تتواجد فى الأراضى الجيرية ، وتقل هذه الأنواع فى الأراضى الحمضية لدرجة أنها تختفى من الأراضى ذات الحموضة الأقل من pH ٥.٠ .

البروتوزوا Protozoa

هى كائنات حيوانية وحيدة الخلية تقسم حسب طبيعة حركتها إلى أربعة أقسام منها ما يتحرك بالأسواط (السوطيات Flagellates) ومنا ما يتحرك بالأقدام الكاذبة (الأميبا Amoeba) كما أن منها ما يتحرك بالأهداب (سلياتا Ciliates) ومنها عديم الحركة . ويتبع الأقسام الثلاثة الأولى أنواعاً تعيش فى التربة بعكس الأنواع الغير متحركة والتابعة للقسم الأخير . ولقد وجد ان البروتوزوا تتواجد فى التربة بأعداد قليلة حيث تكثر فى الطبقة العليا من التربة وتقل أعدادها مع العمق كما تتوقف أعدادها على ظروف التربة خاصة محتواها من المادة العضوية والرطوبة والتهوية . وعموماً فإن أعدادها تتراوح ما بين ١٠-٣٠٠ ألف / جرام تربة ، ولقد لوحظ أن التسميد المعدنى والعضوى يزيد من أعداد البروتوزوا فى التربة . والبروتوزوا تعيش فى التربة إما مترممة على المواد العضوية الميتة أو تلتهم الميكروبات الأخرى والأصغر حجماً وأكثرها من البكتيريا . ولقد لوحظ أنه إذا أضيفت بعض البروتوزوا إلى التربة فإن أعداد البكتيريا تتناقص كما أن هذا التناقص يكون فى حالة إضافة السوطيات أعلى منه فى حالة إضافة الأميبا .

ثالثاً : التحولات الميكروبية للعناصر

دورة الكربون Carbon cycle

يعتبر الكربون العنصر الأساسى الذى يدخل فى بناء جميع الخلايا الحية ، ولقد وجد أن أنسجة النباتات والحيوانات وكذلك الكائنات الحية الدقيقة تحتوى على كربون بنسبة تصل ما بين ٤٠-٥٠% من الوزن الجاف . ويعتبر مصدر الكربون فى الكون هو غاز ثانى أكسيد الكربون الموجود فى الهواء الجوى بنسبة تصل إلى ٠.٠٣% . ويتحول CO_2 إلى الصورة العضوية عن طريق نشاط الكائنات الحية ذاتية التغذية الضوئية Photoautotrophes مثل النباتات الخضراء الراقية والطحالب بأنواعها وكذلك البكتيريا الضوئية والسيانوبكتيريا Cyanobacteria وذلك من خلال عملية التمثيل الضوئى Photosynthesis حيث تقوم هذه الكائنات بإختزال CO_2 وتثبيت الكربون داخل أجسامها فى صورة مركبات عضوية . ولقد قدرت كمية CO_2 التى تستهلك بواسطة الغطاء الخضرى للقشرة الأرضية خلال عملية التمثيل الضوئى بحوالى ٩٠ بليون كيلو جرام فى السنة وهذه الكمية تعادل تقريباً ٧٠ % من CO_2 الجوى الحر . ويصاحب عملية التمثيل الضوئى التى تقوم بها النباتات الخضراء إنطلاق الأكسجين حيث تستخدم الماء كمصدر للأيدروجين فى إختزال CO_2 . ومن ناحية

أخرى فإن الكربون العضوى المثبت داخل أجسام الكائنات الحية الممثلة للضوء أو المثبت فى أنسجة الحيوانات التى تتغذى على بعض هذه الكائنات فى صورة أنسجة حية يكون فى صورة غير قابلة لإفادة النباتات Immobilized إلا بعد أن يعود إلى صورته الأولى . ولا يتم ذلك إلا بعد موت هذه الكائنات وتحول انسجتها الحية إلى مادة عضوية وعندما تصل هذه المواد العضوية إلى التربة أو تضاف إليها فإنها تتعرض مباشرة للنشاط البيولوجى . حيث تقوم الميكروبات غير ذاتية التغذية Heterotophes الموجودة فى التربة بتحليلها للحصول على الطاقة أو لتمثيل مكوناتها لبناء أنسجة ميكروبية جديدة ويصاحب ذلك إنطلاق كمية كبيرة من ثانى أكسد الكربون . وتسمى هذه العملية بالمعدنة Mineralization وهى تلك العملية التى يتحول فيها الكربون العضوى إلى ثانى أكسيد الكربون بيولوجياً . وعملية إختزال ثانى أكسيد الكربون وتحوله إلى الصورة العضوية من خلال عملية التمثيل الضوئى وتثبيته فى صورة أنسجة حية داخل أجسام الكائنات Immobilization ثم إنطلاقه مرة أخرى من خلال عملية المعدنة Mineralization يطلق عليها ما يسمى بدورة الكربون Carbon cycle وهى التى تدور حول تحولات الكربون بين الصورتين العضوية والمعدنية من خلال عمليتى الإختزال والمعدنة لعنصر الكربون فى الطبيعة .

إختزال ثانى أكسيد الكربون

يعتبر الأكسجين المنطلق من عملية التمثيل الضوئى القوة الدافعة الأولى فى دورة العناصر الهامة بيولوجياً فى الطبيعة حيث أن خلال عملية التمثيل الضوئى يتحول الكربون المؤكسد CO_2 إلى الصورة المختزلة فى صورة مركبات عضوية داخل أنسجة النبات ويصحب ذلك إنطلاق الأكسجين. والكربون المؤكسد الميسر لعملية التمثيل الضوئى هو ثانى أكسيد الكربون الجوى أساساً والذى لا تتعدى نسبته ٠.٠٣% من حجم الهواء . وهذا المستوى يكون ثابتاً تقريباً من خلال التوازن الديناميكى بين عمليتى التمثيل الضوئى Photosynthesis ومعدنة المواد العضوية Mineralization. ويمكن التحقق من أهمية دور الكربون فى الطبيعة بالنظر فى كمية CO_2 الموجودة بالجو .

المعدنة Mineralization

تصل المادة العضوية إلى التربة من مصادر عديدة أهمها البقايا النباتية مثل أوراق النباتات المتساقطة وقلف الأشجار وكذلك الجذور وإفرازاتها . كما يتبقى بالتربة نسبة كبيرة من البقايا النباتية بعد حصاد المحاصيل خاصة الجذور. ومن ناحية أخرى تضاف المواد العضوية النباتية فى صورة أسمدة سواء من مصادر نباتية أو حيوانية . ولقد وجد إختلاف التركيب الكيماوى للبقايا النباتية إختلافاً كبيراً من نبات لآخر . وعلى العموم فإن البقايا النباتية التى تصل إلى التربة تحتوى على مركبات عضوية رئيسية تشمل السليلوز والهيميسليلوز واللجنين والبروتين والأحماض النووية والرماد واللبيدات والزيوت والشموع بنسب مختلفة . هذا بالإضافة إلى بعض المواد القابلة للذوبان فى الماء والتى تتضمن أحماضاً أمينية وعضوية وسكريات بسيطة وغيرها والتى تقل نسبتها مع تقدم النبات فى العمر كما ترتفع نسبة المواد المعقدة . وعندما تصل هذه المواد العضوية إلى التربة فإنها تتعرض مباشرة للنشاط البيولوجى حيث تقوم الميكروبات غير ذاتية التغذية الهتيروتروفية بتحليلها للحصول على الطاقة أو لتمثيل

مكوناتها لبناء أنسجة ميكروبية جديدة ويصاحب ذلك إنطلاق كمية كبيرة من CO_2 ويسمى ذلك بعملية المعدنة والتى تقترن بإختزال الأكسجين الجزيئى . ويقوم بعملية المعدنة الكثير من الأجناس والأنواع الميكروبية غير ذاتية التغذية وغالباً ما تتم هذه العملية على مرحلتين. المرحلة الأولى هى إحداث تفكك لجزيئات المركبات العضوية المعقدة وتحويلها إلى مركبات بسيطة وهى الوحدات البنائية لها ، وتتم هذه الخطوة عن طريق إنزيمات التحلل المائى المفرزة ميكروبياً . أما المرحلة الثانية فهى أكسدة هذه الوحدات البنائية باستخدام الأكسجين الحر وتكون النتيجة هى أكسدة الكربون العضوى وخروجه فى صورة CO_2 . أما الأكسجين فيختزل ويظهر فى صورة ماء ، والمرحلة الأولى يقوم بها العديد من الميكروبات أما المرحلة الثانية فتحتاج غالباً إلى نوع من التخصص . وفى الظروف الهوائية فإن كثيراً من الفطريات والبكتيريا الهوائية والأكتينوميسيتات تقوم بأكسدة كاملة للمواد العضوية ويكون CO_2 هو الناتج النهائى . ولو أن هذه الميكروبات تلجأ دائماً لبناء خلايا جديدة عن طريق تمثيل جزء ليس بالقليل من الكربون وعناصر المادة العضوية المتحللة . وبذلك تتم عمليتى المعدنة Mineralization وهى تحلل المادة العضوية وأكسدتها للحصول على الطاقة وعملية التمثيل Immobilization وهى بناء خلايا ميكروبية جنباً إلى جنب والمحصلة النهائية هى الأكسدة الكاملة للمادة العضوية . أما تحت الظروف اللاهوائية فإن المركبات العضوية تتحلل جزئياً منتجة مركبات وسيطة من بينها CO_2 وبعض الأحماض العضوية .

تكوين الدبال Humus

بعض البقايا العضوية سواء نباتية كانت أو حيوانية أو ميكروبية الأصل تقاوم التحلل وتترسب فى نهاية مراحل التحلل لتكون ما يسمى بالدبال Humus . وهو مادة ذات تركيب معقد أكثر ثباتاً فى تحللها وهى ذات لون غامق وذات طبيعة غروية وغير محددة التركيب الكيماوى . وهو يعتبر مرحلة ثبات بيولوجى ولذلك تتوقف عملية التحلل على عدة عوامل طبيعية وكيميائية مثل الحرارة والرطوبة والـpH ووفرة الأكسجين . وبغض النظر عن كمية المادة العضوية التى تضاف للتربة سنوياً فقد بينت الدراسات أن نسبة الدبال ثابتة إلى حد كبير فى التربة الزراعية بمعنى أن النقص الناتج من تحلل الدبال فى أى تربة يعادل معدل التكوين السنوى له . ولقد وجد أن الدبال هام جداً لخصوبة التربة حيث أنه يعتبر المخزن الذى تستمد منه الميكروبات غذائها سواء بطريقة مباشرة أو غير مباشرة . ونتيجة للتحلل يحدث معدنة لما به من عناصر غذائية ضرورية للنبات ، كما يلعب الدبال دوراً أساسياً فى تحسين بناء التربة المفككة عن طريق تكوين الحبيبات وكذلك تحسين التهوية فى الأراضى الثقيلة . كما يساعد على زيادة إحتفاظ الأراضى الخفيفة بالماء بالإضافة إلى أن المواد العضوية الدبالية لها قدرة عالية على ربط وتبادل الأنيونات والكاتيونات مما يجعلها مصدراً هاماً لكثير من العناصر المعدنية اللازمة للكائنات الحية .

دورة النيتروجين Nitrogen cycle

يعتبر النيتروجين من العناصر السمادية الأساسية فى تغذية النبات بجانب بعض العناصر الأخرى مثل الفوسفور والبوتاسيوم بل يعتبر أهمها على الإطلاق حيث يعتبر المكون الأساسى لجزئ البروتين . وهذا العنصر يكون عرضه لكثير من التغيرات البيولوجية فى

التربة كما أنه يتعرض للفقد بالتطاير والغسيل بالماء وبالتالى يجب ملاحظة مستواه فى التربة دائماً للحفاظ على خصوبتها . حيث أن إنخفاض مستواه فى التربة عن الحد اللازم للنباتات يؤثر تأثيراً سلبياً على غلة المحصول . وعلى الرغم من أن الهواء الجوى يحتوى على نسبة كبيرة جداً من النيتروجين تصل إلى أكثر من ٧٩% من حجمه إلا أن هذا العنصر الغازى يعتبر خاملاً كيميائياً Inert gas ولا يصلح كمصدر غذائى بالنسبة لمعظم الأحياء سواء نباتية كانت أو حيوانية أو حتى الكائنات الحية الدقيقة . حيث تحتاج إليه هذه الأحياء فى صورة نيتروجين متحد مثل الأمونيا أو النترات أو النيتروجين العضوى بإستثناء مجموعة قليلة من الكائنات الحية الدقيقة يمثلها بعض البكتيريا وبعض الطحالب الخضراء المزرقة Blue green algae يمكنها إستخدام النيتروجين الغازى عن طريق تثبيته داخل أجسامها فى صورة عضوية Immobilization . ويضاف النيتروجين إلى التربة فى صورتين إحداهما عضوية والأخرى غير عضوية فى صورة مركبات معدنية . وتشمل الصورة العضوية البقايا النباتية والأسمدة الخضراء والسماد العضوى الصناعى Compost بالإضافة إلى البقايا الحيوانية مثل السماد البلدى الذى يحتوى بول وروث الحيوانات وكذلك مخلفات السلخانات وسماد المجارى وغيرها . أما الصورة غير العضوية فتضاف إلى التربة فى صورة أسمدة نوشادرية أو نيتراتية أو سينامايد وغيرها . تتعرض مركبات النيتروجين للعديد من التغيرات الحيوية التى تؤثر على مدى قابليتها لإستفادة النبات ، ويمكن حصر هذه التغيرات فى الآتى :

معدنة النيتروجين العضوى Organic nitrogen mineralization

تبدأ مهاجمة الكائنات الحية الدقيقة للمركبات العضوية النيتروجينية ويتم تحليلها بواسطة هذه الكائنات ويكون الناتج النهائى لعملية التحلل هو الأمونيا . ولهذا فإن هذه العملية يطلق عليها اسم النشدرة Ammonification ولو أن جزء من الأمونيا المتكونة يمثل داخل أجسام الميكروبات القائمة بعملية التحليل بقصد بناء خلايا جديدة والتى تسمى بعملية التمثيل Immobilization إلا أن الجزء الأكبر من النيتروجين ينطلق حراً على صورة نوشادر وحتى الخلايا الميكروبية التى تكونت ينطلق محتواها من النيتروجين بعد موتها .

وأول خطوة فى عملية النشدرة هى تحليل البروتينات والأحماض النووية والسكريات الأمينية مائياً بواسطة إنزيمات التحلل المائى والتى تفرزها الميكروبات وهذه الإنزيمات تقوم بتكسير السلسلة الببتيدية المكونة لجزئ البروتين وتتكون الأحماض الأمينية طبقاً للمعادلة الأتية :

بروتين – بروتيوز – ببتون – عديدات الببتيد – ثنائى الببتيد – أحماض أمينية

ثم تحلل هذه الأحماض الأمينية المتكونة تحت ظروف هوائية أو لاهوائية ويكون الناتج فى النهاية هو النيتروجين النوشادرى . وتحت الظروف اللاهوائية فإن تحلل البروتينات لا ينتج عنه دائماً النوشادر أولاً بل ينتج عنه بدلاً منها الأمينات التى تتأكسد تحت الظروف الهوائية وينطلق عنها الأمونيا. ويطلق على عملية تحلل البروتينات تحت الظروف اللاهوائية التعفن Putrefaction وتتم هذه العملية بواسطة بكتيريا غير هوائية مكونة للجراثيم تابعة لأفراد جنس *Clostridium* . والميكروبات التى تقوم بعملية النشدرة تتواجد بأعداد كبيرة فى التربة وهى أيضاً ميكروبات متنوعة منها الهوائية العصوية المتجرثمة وغير المتجرثمة

والكروية وكذلك بعض الأكتينوميسيتات والكثير من الفطريات . كما أن منها بعض الأنواع غير الهوائية المحللة للبروتين والتابعة للجنس كلوستريديم *Clostridium*

التأزت Nitrification

التأزت أو النترتة هى عملية تحويل الأمونيا الناتجة من تحليل المركبات العضوية النيتروجينية بفعل عملية النشدرة أو المضافة للتربة فى صورة أسمدة معدنية نوشادرية . وهذه العملية تتم على Nitrate ثم نترات Nitrite بالأكسدة الميكروبية إلى نيتريت خطوتين تقوم بهما مجموعتين متخصصتين من البكتيريا حيث تتم الخطوة الأولى بأكسدة وذلك طبقاً للمعادلة Nitrosofication الأمونيا إلى نيتريت ويطلق على هذه الخطوة اسم الأتية

$$2NH_3 + 3O_2 \longrightarrow 2HNO_2 + 2H_2O + Energy$$

أما الخطوة الثانية فيتم فيها أكسدة النيتريت إلى نترات طبقاً للمعادلة التالية

$$2HNO_2 + O_2 \longrightarrow 2HNO_3 + Energy$$

ويقوم بعملية التأزت أو النترتة مجموعة من أجناس البكتيريا تختلف فيما بينها إختلافاً واسعاً فى شكلها المورفولوجى فمنها العصوى والكروى والحلزونى ومنها غير المتحرك أو المتحرك بسوط واحد أو عدة أسواط ولكنها جميعاً تشترك فى كونها سالبة لجرام غير متجرثمة ذاتية التغذية هوائية وتحصل على طاقتها من أكسدة الأمونيا أو النيتريت .

وهذه الأجناس تنقسم إلى مجموعتين حسب طبيعة عملها الأولى أفرادها تؤكسد الأمونيا إلى نيتريت وتضم خمسة أجناس هى : *Nitrosomonas* ; *Nitrosococcus* ; *Nitrosospira* ; *Nitrosolobus* ; *Nitrosovibrio* . أما المجموعة الثانية التى أفرادها تؤكسد النيتريت إلى نترات تضم ثلاثة أجناس هى : *Nitrobacter* ; *Nitrococcus* ; *Ntrospira* ولقد وجد أن أكثر الأجناس الثمانية السابقة شيوعاً بالأراضى هما جنسى *Nitrobacter* ، *Nitrosomonas* .

إختزال النترات وإنطلاق الأزوت Nitrate reduction and denitrification

تنشط مجموعة كبيرة من البكتيريا فى التربة الغنية بالمادة العضوية وتقوم بتحليلها وتستهلك فى نشاطها كمية كبيرة من الأكسجين مما يؤدى إلى سيادة الظروف اللاهوائية نتيجة لتنفس هذه البكتيريا . وتحت هذه الظروف يبدأ نشاط مجموعة أخرى من البكتيريا هى البكتيريا اللاهوائية فى إختزال النترات الموجودة بالتربة وهذا يحدث عن طريق إختزال النترات

$$\text{Nitrate reduction } NO^-_3 \longrightarrow NO^-_2 \qquad NH^+_4$$

ويلاحظ أن هذه العملية عكس عملية التأزت تماماً . والعملية الحيوية الثانية هى إنطلاق الأزوت العنصرى

$$\text{Denitrification } NO^-_3 \longrightarrow N_2$$

وفى هذه الحالة تختزل النترات إلى نيتروجين عنصرى حيث يصبح هو الناتج النهائى وعليه فإن سيادة عملية إنطلاق الأزوت العنصرى تكون مصحوبة بفقدان مركبات النيتروجين المعدنية وظهور النيتروجين الغازى بدلاً منها . وتقوم بهذه العملية مجموعة من

البكتيريا غير المتخصصة حيث يستطيع الكثير منها تحت الظروف العادية تحليل وإحداث عملية النشدرة وغيرها من العمليات الحيوية فى التربة . وتحت الظروف اللاهوائية تقوم تلك المجموعات البكتيرية غير المتخصصة بعمليات إختزال النترات وهى بالتالى تعتبر ميكروبات إختيارية فى إحتياجاتها الهوائية . ولقد لوحظ أن خاصية إختزال النترات لم تشاهد بين أنواع الفطريات والأكتينوميسيتات .

تثبيت النيتروجين Nitrogen fixation

رغم أن النيتروجين الغازى الذى يمثل النسبة الكبرى من حجم الهواء الجوى أو ذلك الذى ينطلق نتيجة إختزال النترات يعتبر غير مناسب لمعظم الأحياء كغذاء إلا أنه يستعمل بواسطة أفراد قليلة من الميكروبات كمصدر غذائى للنيتروجين . ويطلق على هذه الميكروبات اسم الميكروبات المثبتة للنيتروجين الجوى وعن طريق نشاط هذه المجموعة الميكروبية المتخصصة يمكن تعويض النقص فى نسبة النيتروجين سواء تلك التى دخلت فى بناء أنسجة جديدة أو تلك التى تفقد بواسطة عملية إنطلاق الأزوت . وفى الحقيقة فإن البكتيريا المثبتة للنيتروجين الجوى تنقسم إلى مجموعتين رئيسيتين هما :

البكتيريا التكافلية Symbiotic bacteria

وهى البكتيريا التى تقوم بتثبيت النيتروجين الجوى بطريقة تكافلية والتى تتميز بوجود نظام تبادل للمنفعة بين أنواع معينة من النباتات البقولية بتخصصية عالية وأفراد تلك المجموعة والتى تقع ضمن سبعة أنواع تكون تابعة لجنس *Rhizobium* . وهذا النوع من التكافل أو تبادل المنفعة يتم داخل تراكيب خاصة تسمى بالعقد الجذرية Root nodules تكونها هذه البكتيريا على جذور نباتات العائلة البقولية ولذلك تسمى هذه البكتيريا ببكتيريا العقد الجذرية Root nodules bacteria . وتسمى مجموعة النباتات البقولية التى يغزوها نوع واحد من البكتيريا العقدية باسم المجموعة تبادلية التلقيح Cross inoculation group . فهناك مجموعة البسلة التى تضم الفول العادى والعدس والنوع المكون للعقد البكتيرية على هذه المجموعة هو *Rhizobium leguminosarum* وبالمثل هناك مجموعة البرسيم الحجازى ويغزوها ميكروب *R. meliloti* ومجموعة الفاصوليا ويغزوها ميكروب *R. phaseoli* ومجموعة فول الصويا ويغزوها ميكروب *Bradyrhizobium japonicum* ومجموعة الترمس ويغزوها ميكروب *R. lupine* وأخيراً مجموعة اللوبيا ويغزوها ميكروب *Bradyrhizobium* sp. . ومن ناحية أخرى يوجد جنس يتبع الأكتينوميسيتات وهو جنس *Frankia* وجميع أفراده لها القدرة على تثبيت النيتروجين الجوى بطريقة تكافلية فى عقد ولكن على جذور نباتات غير بقولية كما فى أشجار الكازورينا . كما يوجد أيضاً نوع من التكافل بين الطحالب الخضراء المزرقة السيانوبكتيريا Cyanobacteria وبعض النباتات معراة البذور كما فى السيكاس .

البكتيريا اللاتكافلية Non-symbiotic bactria

وهى البكتيريا التى لها القدرة على تثبيت النيتروجين الجوى بطريقة حرة فى التربة الزراعية ويمثل هذه المجموعة عدد كبير من الميكروبات يمكن ذكرها فى الأتى :

بكتيريا غير ذاتية التغذية Heterotophic bacteria

منها البكتيريا الهوائية ويمثلها مجموعة الأجناس التابعة لعائلة Azotobacteriaceae وأهمها جنس *Azotobacter* ويتبعه النوع *A. chroococcum* وهو النوع الذى يكثر إنتشاره فى معظم الأراضى . ومنها أيضاً البكتيريا ذات الإحتياجات القليلة من الأكسجين والتى يمثلها مجموعة الأجناس التابعة لعائلة Spirillaceae وأهمها جنس *Azospitillum* وهذا الجنس يثبت النيتروجين فى الحالة الحرة أو بالتعاون مع جذور بعض النباتات النجيلية حيث وجدت أفراده على سطوح الجذور أو فى الصفيحة الوسطى لخلايا الجذور ولذلك يطلق عليه تعبير مثبت للنيتروجين شبه تكافلى Semi-symbiotic N-fixer . كما أن منها البكتيريا الإختيارية ويمثلها بعض أفراد الجنس *Bacillus* وكذلك الأجناس التابعة لعائلة Enterobacteriaceae ويتبعها أيضاً بعض البكتيريا غير الهوائية مثل بعض الأنواع التابعة للجنس *Clostridium* .

بكتيريا ذاتية التغذية Autotrophic bacteria

وتشمل البكتيريا ذاتية التغذية وهى Cyanobacteia أو الطحالب الخضراء المزرقة Blue geen algae مثل أجناس *Anabaena* ; *Nostoc* ; *Tolypothrix* ; *Galothrix* ; *Aulosira* ; *Anabaenopsis* . كذلك البكتيريا الممثلة للضوء ويمثلها أجناس *Rhodomicrobium* ; *Rhodopseudomonas Chromatium* ; *Rhodospirillum* ; *Chlorobium*

وكل البكتيريا السابقة تثبت النيتروجين الجوى داخل أجسامها على صورة مركبات نيتروجينية عضوية مثل الأحماض الأمينية . ويمكن القول عموماً أن تثبيت النيتروجين بالطريقة التكافلية يكون أكثر فعالية تحت ظروف خاصة عن التثبيت بالطريقة الحرة . ومما سبق يتضح الدور الهام للكائنات الحية الدقيقة فى تحولات المركبات النيتروجينية بما تشمله من معدنة للمواد النيتروجينية العضوية أو تثبيت للنيتروجين العنصرى . كما تتضح أهمية هذه التحولات بالنسبة لتواجد هذا العنصر فى التربة وبالصورة الملائمة للنبات .

دورة الفوسفور Phosphorous cycle

عنصر الفوسفور من العناصر السمادية الأساسية الهامة للنبات وهو يلى عنصر النيتروجين فى الأهمية ، ورغم إحتواء التربة على كميات كافية منه إلا أنه فى الكثير من الأحيان تظهر أعراض نقص الفوسفور على النباتات المزروعة . ويرجع ذلك إلى النقص فى الفوسفور القابل للإستفادة بواسطة النباتات حيث أنه بمجرد إضافته للتربة فإنه يثبت حول الحبيبات ويصبح فى صورة غير ميسرة للنبات .

يوجد الفوسفور فى التربة الزراعية فى الصورتين المعدنية والعضوية، وبالنسبة للفوسفور المعدنى فإنه يوجد عادة فى صورة فوسفات الكالسيوم أو الحديد أو الألومينوم وهذه الصورة لا يستفيد منها النبات كثيراً وقد يوجد الفوسفور فى التربة الزراعية فى صورة فلورأبتيت وتعتبر هذه الصورة أقل صور الفوسفور إفادة للنبات . وعادة ما يضاف الفوسفور المعدنى للتربة فى صورة سوبر فوسفات الكالسيوم وهى قابلة للإستفادة بواسطة النباتات ولكن بمجرد وصولها إلى التربة يحدث تحولات تتوقف على درجة pH التربة . ففى حالة التربة القاعدية تتحول فوسفات الكالسيوم الأحادية الذائبة إلى الصورة الثلاثية غير الذائبة أما فى

الأراضى الحامضية فإن الفوسفات الذائبة تترسب فى صورة فوسفات حديد أو ألمونيوم وهاتين الصورتين أكثر مقاومة للإذابة من فوسفات الكالسيوم الثلاثية . وعموماً فإن هذه التحولات تسبب ظهور أعراض نقص الفوسفور على النباتات مما يستدعى معه إضافة المزيد من الأسمدة الفوسفاتية إلى التربة باستمرار . أما بالنسبة للفوسفور العضوى فى التربة فإن مصدره الرئيسى فى التربة هو البقايا النباتية المتحللة بالإضافة إلى أجسام الميكروبات الميتة من بكتيريا وفطريات وغيرها . بمجرد وصول الفوسفور إلى التربة من المصادر المختلفة سواء فى الصورة العضوية أو المعدنية يبدأ نشاط الكائنات الحية الدقيقة المتواجدة فى التربة فى إحداث تحولات هامة لهذا العنصر يمكن تلخيصها فى الآتى :

إذابة الفوسفات Solubilization of phosphates

تحتوى التربة على أعداد كبيرة من الميكروبات المتنوعة والقادرة على إذابة الفوسفات المعدنية غير الذائبة سواء كانت فى صورة فوسفات ثلاثى الكالسيوم أو فى صورة فوسفات حديد وألومنيوم وتحويلها إلى الصورة الميسرة للنبات . ولقد تم تفسير الميكانيكية التى تتمكن بها هذه الميكروبات من إذابة فوسفات ثلاثى الكالسيوم على أساس مقدرتها على إنتاج الأحماض العضوية وثانى أكسيد الكربون من خلال نشاطها التمثيلى مما يؤدى إلى إنخفاض درجة pH التربة مما يساعد على إذابة الفوسفات غير الذائبة . ومن بين الأحماض العضوية التى تنتجها هذه الميكروبات حمض الفورميك والخليك والبروبيونيك والسكسنيك واللاكتيك والستريك ، وكذلك حمض ٢-كيتوجلوكونيك والذى يعمل على سرعة إذابة الفوسفات وذلك لقدرتها على تكوين مركبات مخلبية مع الكالسيوم والحديد مما يساعد على إذابة الفوسفات. كما لوحظ أن ميكانيكية الإذابة الميكروبية للفوسفات تحت الظروف اللاهوائية تكون أكثر فعالية حيث أن تحلل المادة العضوية تحت هذه الظروف يخلق قوة إختزالية تؤدى إلى إختزال الحديديك غير الذائب إلى الحديدوز الذائب مما يؤدى إلى تحرر الفوسفور فى صورة صالحة للنبات . كما أن الأكسدة غير الكاملة للمادة العضوية الكربوهيدراتية ينتج عنها نسبة كبيرة من الأحماض العضوية والتى تساعد على الإذابة . هذا بالإضافة إلى كبريتيد الهيدروجين H_2S المتكون تحت هذه الظروف نتيجة لنشاط الميكروبات اللاهوائية والذى يتحد مع الحديد ويرسبه بينما يتحرر الفوسفور من فوسفات الحديد ويصبح فى صورة صالحة لإستخدام النباتات . ولهذا فإن صلاحية الفوسفات للنبات تكون أكثر وضوحاً فى الأراضى المزروعة أرز تحت ظروف الغمر وبالتالى فإن هذه النباتات تحت مثل هذه الظروف لا تحتاج إلى التسميد الفوسفاتى بنفس معدله تحت الظروف الهوائية .

معدنة الفوسفور العضوى Mineralization of organic phosphorous

يوجد الفوسفور فى البقايا النباتية وكذلك فى أجسام الميكروبات الموجودة فى التربة فى صورة العديد من المركبات العضوية مثل الأحماض النووية والفيتين والفوسفوليبيدات والليسيثين وكذلك السكريات المفسفرة والمرافقات الإنزيمية وفوسفات الأدينوزين . وبمجرد وصول هذه المركبات إلى التربة يبدأ نشاط الكائنات الحية الدقيقة فى تحليلها عن طريق إفرازها لإنزيمات التحلل المائى المتخصصة والتى يطلق عليها فى مجموعها اسم إنزيمات الفوسفاتيز

Phosphatases . وينتج عن ذلك تحرر الفوسفور فى الصورة المعدنية الصالحة لإستخدام النبات . ولقد وجد أن الفوسفور يوجد فى المركبات العضوية فى الصورة المؤكسدة PO_4 ولذا فإنه عند تحرره من المركبات العضوية يتحرر فى صورة فوسفات مباشرة دون الحاجة للأكسدة. ولقد وجد أن الأحماض النووية تعتبر أسرع المواد الفوسفاتية العضوية تحللاً فى التربة نظراً لإحتوائها على كل من الكربون والنيتروجين والفوسفور بنسب كافية لإحتياجات كثير من الميكروبات المحللة لها مما يشجع نمو هذه الميكروبات .

التمثيل الميكروبى للفوسفور Microbial metabolism of phosphorous

تحتاج الميكروبات للفوسفور فى بناء أجسامها ولذلك فهى تلجأ إلى الفوسفات المعدنية الذائبة فى التربة وتحويلها إلى فوسفات عضوية فى أجسامها من خلال عملية تمثيل Immobilization لهذه الفوسفات . ولقد وجد أن كميات الفوسفات المذابة فى التربة تكون كافية لنشاط الأحياء الدقيقة فى الظروف العادية ولكن عند إضافة مادة عضوية فقيرة فى الفوسفور إلى التربة فإن الميكروبات تنافس النباتات على الفوسفور الميسر فى التربة حيث أن عند تحليلها لهذه المادة فإنها لا تجد فيها ما يكفيها من الفوسفور لبناء أجسامها ولذلك فإن هذه الميكروبات تلجأ إلى الفوسفور المعدنى الذائب فى التربة لتكمل إحتياجاتها مما يقلل من الفوسفور الصالح لإستخدام النبات وقد يتأثر المحصول من ذلك إلى حد كبير . ولذلك عند إضافة مادة عضوية فقيرة فى الفوسفور إلى التربة فإنه يجب إضافة سماد فوسفاتى معدنى لتعويض الفقد الحادث فى التربة نتيجة لنشاط الميكروبات فى تحليل هذه المادة العضوية أو أن تضاف هذه المادة فى التربة الفقيرة فى محتواها الفوسفورى إلى التربة قبل الزراعة بفترة كافية حتى يتم تحلل هذه المادة بسرعة وتضييق نسبة الكربون إلى الفوسفور فيها . أما إذا كانت المادة العضوية المضافة للتربة غنية فى محتواها من الفوسفور فإن الميكروبات عند تحليلها لهذه المادة فإنها تأخذ ما يكفيها لبناء خلايا جديدة والمتبقى يتحرر فى التربة فى صورة فوسفور معدنى ذائب صالح لإستخدام النباتات مما يزيد من خصوبة التربة .

تفاعلات الأكسدة والإختزال Oxidatiob reduction

قد يحدث لمركبات الفوسفور الموجودة فى التربة تفاعلات أكسدة وإختزال محدودة وتقل فى أهميتها كثيراً عن التفاعلات التى تحدث لمركبات النيتروجين والسبب فى ذلك أن الفوسفور يوجد فى المركبات العضوية فى الصورة المؤكسدة حيث يرتبط بالمركب العضوى فى صورة H_3PO_4 وعندما يتحرر من المادة العضوية فإنه يتحرر فى صورة حمض أرثروفوسفوريك H_3PO_4 الجاهزة للإستخدام المباشر بواسطة النبات .