محاضره5 كيمياء التربه د . اكرم عبد اللطيف الحديثي

المادة العضوية في التربة Soil Organic Matter

لقد سبق الاشارة الى ان الطور الصلب من نظام التربة يتكون من شقين احداهما معدني والذي ينتج من تحلل وتفتت الصخور والمعادن . والاخر عضوي وهو ما يطلق عليه بالمادة العضوية. ويمكن تعريف المادة العضوية بانها عبارة عن خليط من المواد المتبقية من الكائنات الحية نباتية كانت ام حيوانية والكائنات الحية الدقيقة الاخرى التي نتجت خلال عمليات تحلل decomposition اخذت فترة طويلة من الزمن. وتتركب المادة العضوية من عدد من العناصر الغذائية اهمها الكاربون والهايدروجين والاوكسجين والناتروجين والكبريت والفسفور وغيرها من العناصر المعدنية .فلذا فان من فوائد تحلل المادة العضوية هو انطلاق العناصر المعدنية السابقة الذكر لتكون مصدرا غذائيا للنبات النامي واحياء التربة . وقد لا يكون من الضروري التمييز بين البقايا غير المتحللة نسبيا او البقايا التي في مراحل متقدمة من التحلل الا ان اصطلاح الدبال humus عادة ما يطلق على الحالة الاخيرة. اي انه الجزء من المادة العضوية الذي بلغ درجة كبيرة من التحلل ووصل الى حالة اتزان تقريبا مع البيئة المحيطة. وتختلف الترب في محتوياتها من المواد العضوية .فالترب المعروفة باسم peat هي الترب التي تحتوي على 50 . 90% مواد عضوية بينما لا يتجاوز محتوى معظم الترب العراقية 2% كما سيوضح ذلك لاحقا.

مصادر المادة العضوية

1) بقايا المحاصيل الزراعية من جذور وسيقان وأوراق . ولما كان وزن الجذور وقد يبلغ 1/3 وزن النبات الكلي فلذا فان مقدار الجذور المتبقية في التربة بعد إي محصول قد تصل حوالي 4 طن او أكثر لكل دونم ا. وهذه البقايا تتحلل ببطيء ويمكن إسراع عملية التحلل بإضافة مصدر للنيتروجين يكفي لفعالية الإحياء الدقيقة المحللة حيث ينتج عن التحلل تجزئة المواد الأصلية المكونة لبقايا النبات.

2) محاصيل السماد الأخضر التي تزرع لغرض حرثها في التربة وهي خضراء .وهذه المحاصيل في الغالب محاصيل بقولية مثل البرسيم وتعتبر مصدر للمادة العضوية نظرا لتحللها السريع واحتوائها على نسبة عالية من المركبات النايتروجينية.

3) الأسمدة العضوية التي تضاف الى التربة مثل السماد الحيواني. الدم المجفف وبقايا الأسماك.

4) الأسمدة العضوية الصناعية _ وهي الأسمدة التي تصنع من مخلفات المحاصيل مثل القش ومخلفات الذرة والحشائش وغيرها وذلك بإضافة سماد نايتروجيني وفوسفاتي الى هذه البقايا ووضعها في هيئة أكوام كبيرة وإضافة الماء اليها. والوقت اللازم للحصول على سماد عضوي متحلل بهذه الطريقة يتوقف على درجة الحرارة والرطوبة والتهوية ونوع المواد المستخدمة.

5) الخلايا الميتة للكائنات الحية للكائنات الحية الدقيقة والراقية. وبجدر الاشارة هنا الى أن بقايا الكائنات الدقيقة يحتوي على جزء كبير من النايتروجين المادة العضوية.

6) المخصبات العضوية مثل اليوريا

التركيب العام للمواد العضويه

يمكن تقسيم المواد العضوية وفقا للتركيب الكيماوي الى:

أ) مواد عضويه لا تحتوي على عنصر النيتروجين

اولأ: الكاربوهيدرات Carbohydrates

وهي تحتوي على الكربون والأوكسجين والهيدروجين. ويوجد الأوكسجين والهيدروجين فيها بنسبه وجودهما في الماء وتشمل مايلي:.

أ) السكريات الاحاديه monosaccharide والسكريات التالية أمثله شائعة في التربة:

كلوكوز glucose ، كالاكتوز galactose ، مانوز mannose

رامينوز Rhamnose ، حامض كلوكويورونيك glucuronic acid وغيرها

ب) السكريات الثنائيه مثل السكروز والمالتوز

ج) السكريات الثلاثية مثل الرافينوز

د) السكريات المتعددة مثل polysaccharides مثل:

1. النشاء Starch

2.السيلولوز Cellulose والهيموسيلولوز hemicelluloses

3.البكتين pectin والصموغ_ وهي التي تتكون بعد التحلل المائي للسكريات البسيطة وأحماض اليورونيك uronic acids.

ثانيا: اللكنين

وعادة يوجد متحدا مع السيلولوز والهيموسيلولوز في صورة مركبات تعرف باللكنوسيلولوز وهو يتكون من الكاربون، الاوكسجين والهيدروجين.

ثالثا: الأحماض العضوية(وأملاحها)

مثل حامض الخليك واللاكتيك والبيوتاريك والاكساليك والستريك وغيرها وأملاحها مثل اكسلات الكالسيوم وستراتها مثل خلات الايثايل وجميعها تحتوي على الكربون والأوكسجين والهيدروجين.

رابعا:الدهون والزيوت

وجميعها تحتوي على الكاربون والاوكسجين والهايدروجين وهي عبارة عن سترات الاحماض الدهنية والكليسرول او الكحولات العالية

ب) المركبات العضوية النايتروجينية

وتتكون من كاربون والهايدروجين والاوكسجين والنايتروجين الموجود في بعض المركبات وتشمل :

1) البروتينات والبروتينات النوويةPortions And Nucleoproteins .

2)عديد الببتيدات Polypeptides.

3)الاحماض الامينية Amino acids.

4) الامينات Amines.

5) البيورينات Purines.

6) الاحماض النووية Nucleic acids.

وغير ذلك من المركبات العضوية الاخرى التي توجد في انسجة النباتات والحيوانات مثل الكلوكوسيدات والاصباغ مثل الكلورفيل .

تحلل المواد العضوية

تضاف المواد العضوية الى التربة اما طبيعيا مثل جذور النباتات المتبقية بعد حصاد المحصول او صناعيا مثل الاسمدة العضوية التي تضاف الى التربة عن قصد.وتتحلل هذة المركبات المختلفة في التربة اذا كانت ظروف ملائمة لنمو ونشاط الاحياء الدقيقة وخاصة من حيث الرطوبة والحرارة والتهوية حيث تقوم هذة الميكروبات سواء كانت بكتيريا او فطر او اكتينومايسيت بتحلل المركبات البسيطة مثل السكريات والنشأ والاحماض العضوية والاحماض الامينية واليوريا اولا ثم يتبع ذلك انحلال المركبات صعبة الانحلال كالبروتينات واللكنين. وينتج عن انحلال المواد العضوية في التربة تجزئة كثير من العناصر الداخلة في تركيبها مثل كاربون والنايتروجين والفسفور والكبريت والبوتاسيوم والحديد وغيرها من العناصر الضرورية في صورة صالحة لاستعمال النباتات النامية.

وسنتناول فيما يلي التغيرات الاساسية التي تحدثها ميكروبات التربة اثناء تحلل كل من المركبات غير النايتروجينية والمركبات العضوية النايتروجينية كل على حدا.

أولا: تحلل المركبات العضوية غير النايترجينية

تنقسم المركبات العضوية غير النايتروجينية حسب سرعة تحللها الى قسمين:

1)مركبات سريعة التحلل مثل السكريات والنشا والسيللوز والهيموسيللوز وهي تكثر في النباتات الطرية او الحديثة.

2) المركبات بطيئة التحلل ومثلها الكلينين والدهون والاصماغ وهذه تكثر في النباتات المسنة.

ويتضمن تحلل المواد العضوية غير النايتروجينية **أولا تحلل مائي hydrolysis** ويتم ذلك بواسطة ميكروبات التربة سواء أكانت بكتيريا او فطر او اكتينومايسيت، ويتوقف مقدرة إي نوع من هذه الميكروبات على إحداث تحلل مائي لأحد المركبات المعقدة على إنتاج الإنزيم الخارجي الذي يساعد على إحداث التحلل المائي. وفي الظروف الهوائية فأن الفطر والاكتينومايسيت والبكتيريا الهوائية هي المسئولة غالبا عن التحلل المائي، أما في الظروف غير الهوائية فأن

البكتيريا اللاهوائية والبكتيريا اللاهوائية اختيارا هي التي تنشط في احداث تحلل مائي ونواتج هذا التحلل أكثر بساطة من الناحية الكيميائية وأكثر قابلية للذوبان بالماء من المركبات الأصلية.

والخطوة التالية في تحلل المواد العضوية غير النايتروجينية استعمال نواتج التحلل المائي بواسطة الميكروبات سواء تلك التي قامت بعملية التحلل المائي او غيرها ممن ليست لها القدرة على عملية التحلل كمصدر للكاربون والطاقة اللازمة لنموها . وتختلف النواتج النهائية لانحلال هذة المركبات حسب نوع الميكروبات اذا كانت هوائية او غير هوائية. ففي الظروف الهوائية فأن النواتج النهائية لتحلل المواد العضوية غير النايتروجينية هي ثاني اوكسيد الكاربون والماء، اما في الظروف غير الهوائية فتتكون مركبات وسطية غير كاملة الاكسدة مثل الاحماض العضوية والكحولات والغازات مثل ثاني اوكسيد الكاربون والميثان **وفيما يلي نواتج تحلل المركبات العضوية غير النايتروجينية المختلفة:**

1 – تحلل سيللوز Decomposition of Cellulose

يعتبر السيللوزالمادة الاساسية في تكوين جدار الخلية النباتية فلذا يعتبر تحلله يعتبر الخطوة الاولى في تحلل الانسجة النباتية حتى يمكن للمواد العضوية الاخرى التي توجد داخل الخلية ان تتعرض لفعل الاحياء الدقيقة.ويتركب السيللوز من وحدات الكلوكوز ومرتبطة مع بعضها في سلاسل طويلة ومستقيمة بواسطة B-Iinkage عند ذرة الكاربون رقم 4 ،1 في جزئ السكر. ويتراوح عدد جزيئات السكر في جزئ السيللوز ما بين 1400 الى 10000 جزئ ويختلف بأختلاف نوع النبات. ويوضح الشكل التالي التركيب الكيميائي للسيللوز الذي يتكون من تكاثف وحدات عديدة من الكلوكوز. وتزداد نسبة السيللوز في النباتات الخشبية وتقل في النباتات العصارية. ويبلغ المحتوى السيللوزي حوالي 15% من الوزن الجاف للحشائش والبقوليات ويصل الى حوالي 50% في النباتات الخشبية. ويبلغ المتوسط حوالي من 15_40% في معظم المحاصيل. ويعتبر السيللوز من الكاربوهيدرات الشديدة المقاومة للتحلل بواسطة الاحياء الدقيقة التي لها القدرة على افراز انزيم السيلوليز الذي يحلل السيللوز الى سكر السيلوبيوز Cellobiose الذي يتحول الى الكلوكوز بواسطة انزيم السيلوبييز

السيلولوز ←سيلوبيوز ←كلوكوز ←ماء + ثاني اوكسيد الكاربون + مكونات في اجسام الاحياء الدقيقة.

وتقوم انواع من البكتيريا بعضها هوائية والبعض الاخر غير هوائية وبعض انواع من الفطريات والاكتينومايسيت بتحليل السيلولوز، وهذه الإحياء الدقيقة تقوم بأكسدة السيلولوز أكسدة كاملة الى ثاني اوكسيد الكربون وماء. وفي الظروف اللاهوائية تقوم البكتيريا غير الهوائية بتحليل السيلولوز مكونة ثاني اوكسيد الكاربون وميثان مع أحماض عضوية وكحولات واغلب هذة الاحماض والكحولات سامة للنبات. وان تكوين الاحماض العضوية (مثل حامض الخليك $CH_3.COOH$)

في الترب الكلسية يؤدي الى تحطيم كمية من المادة الكلسية وانتاج مزيد من ايونات الكالسيوم والبيكاربونات.

2) تحلل الهيموسيلولوز Decomposition of Hemicelluloses

تتكون مركبات الهيموسيلولوزية من تجمع سكريات خماسية Sugar-pentose C_5 او السكريات سداسية الكاربون Sugar-hexose C_6 او من سكريات حامضية تعرف بأسم Uronic acids وهي توجد بكثرة في انسجة النباتات وفي خلايا الاحياء الدقيقة. وتتحلل المواد الهيموسيلولوزية مائيا بواسطة انزيمات تفرزها كثير من انواع الاحياء الدقيقة وناتج الانحلال المائي يتكون من سكريات خماسية او سداسية الكاربون او سكريات حامضية. ومعدل تحلل الهيموسيلولوز في التربة في الايام الاولى من التحلل اسرع من السيلولوز كنتيجة لعدم تجانس تركيبه

3) **تحلل النشأ Decomposition of Starch**

يتكون جزئي النشأ من 250−300 جزئي من السكر الكلوكوز مرتبطة مع بعضها بواسطة
1 ⟶ 4 glycoside bonding
في السلسلة الرئيسية، الا ان هنالك سلاسل جانبية مرتبطة بواسطة
1 ⟶ 6 glucosidic linkage
ويعتبر النشا مخزن الكاربوهيدرات في النبات ويوجد بكميات كبيرة في الاوراق نتيجة لعملية التركيب الضوئي. التحلل البايلوجي للنشا سريع جدا بالمقارنة بالسيلولوز والهيموسيلولوز، حيث تقوم انواع كثيرة من البكتريا والفطر والاكتينومايسيتات المنتشرة في التربة وعلى بقايا النباتات بعملية التحلل. وقد يتحلل النشا تحللا مائيا الى سكر ثنائي (مالتوز) الذي يتحلل ايضا الى سكر الكلوكوز

نشا + ماء ⟶ انزيم املیز مالتوز + ماء ⟶ انزيم مالتيز كلوكوز ⟶ ماء + ثاني اوكيد الكاربون + مكونات في اجسام الاحياء المحلله

وفي حالة غياب الاوكسجين فان حالة التخمر Fermentation تحدث مؤدية الى انطلاق احماض اللاكتيك والخليك والبيوتريك. وتتم عملية التحلل بسرعة وبمعدل معقول في الظروف اللاهوائية تماما.

4) تحلل البكتين Decomposition of Pectin

يوجد البكتين بكثرة في النباتات وهي المادة التي تعمل على تماسك الخلايا بعضها ببعض ويوجد البكتين في صورة بكتات الكالسيوم والمغنيسيوم في الصفيحة الوسطى middle lamella الموجودة بين الخلايا النباتية. ويتحلل البكتين بسهولة مائيا بواسطة عدد من الميكروبات الى سكريات بسيطة مثل كالكتوز و galacturonic ويعتبر انحلال البكتين من العمليات الهامة في التحلل المادة العضوية.

6) **تحلل الكيتين Decomposition of Chitin**

يعتبر الكيتين من اكثر السكريات المعتمدة شيوعا والذي يحتوي في تركيبه مع وحدة السكريات الامينية amino sugar يتكون الكيتين من سلاسل طويلة من وحدات N_acetyl glucose amine . وهو مكون بنائي يعطي القوة الميكانيكية للاحياء الداخل في تركيبها. والكيتين عديم الذوبان في الماء والمذيبات العضوية والقلوية المركزة او الاحماض المعدنية المخففة ولكن يمكن ان يذوب ويتحلل اما بفعل الانزيمات او بواسطة الاحماض المركزة.
ومصدر الكيتين في التربة هو بقايا الحشرات التي تقضي جزءا من او كل دورة حياتها في التربة وكذلك ينشا من انسجة الفطريات التي يكون الكيتين جزا كبيرا من تركيبها. ويتحلل الكيتين كما يلي:

الكيتين $\xrightarrow{\text{انزيم الكيتنيز}}$ سكريات امينيه ذائبه بالماء $\longrightarrow$ NH_4 + في اجسام الاحياء $H_2O + CO_2$+

7) تحلل اللكنين Decomposition of Lignin

يوجد اللكنين في النبات بالطبقات الثانويه والى حد ما في الصفيحه الوسطى. يختلف النبات في تركيبه وخواصه من نبات الى اخر وحتى في نفس النبات تبعا لعمره ومن ثم فانه ليس هنالك تركيب واحد لهذا الماده. ويقاوم فعل التحليل بواسطة الاحماض وهي خاصيه كيميائيه مهمه للكنين. يحتوي اللكنين على ثلاثة عناصر فقط هي الكاربون والاوكسجين والهيدروجين الا ان تركيبها حلقي aromatic وليس كما في السيلولوز وهو غني بالكاربون وفقير بالاوكسجين. يتحلل اللكنين بصعوبه بواسطة بعض الفطريات والاكتينوماسيتس الا ان معدل تحلله اقل من السيليلوز. وحصيلة التحلل زيادة عدد المجاميع الكاربوكسيلية (COOH--) .

تحلل المواد العضويه النيتروجينية

تحتوي المواد العضوية على أنواع مختلفة من المواد البروتينية وتختلف نسبة البروتين في المواد العضوية باختلاف مصادرها فتبلغ نسبته في مخلفات الحيوان بين 30–60% بينما تحتوي النباتات البقولية على 15–20% . وتنقسم المواد العضوية النيتروجينيه الى:

ا) مركبات عضويه نيتلروجينيه بروتينيه

تتحلل هذه المركبات سواء كانت من أصل نباتي او أصل حيواني بفعل إحياء التربة الدقيقة سواء كانت بكتريا او فطر او اكتينوماسيتس وتتوقف قدرة اي نوع من هذه الميكروبات في تحلل هذه المركبات العضوية على قدرتها على إنتاج الإنزيم الخارجي الخاص بعملية التحلل المائي للمادة. والبكتريا الاهوائيه هي المسئولة غالبا عن عمليات التحلل المائي في الظروف غير الهوائية في حين تقوم الفطريات والبكتريا الهوائيه وكذلك بقيه الإحياء الدقيقة.بتحليل المركبات العضوية النيتروجينه في الظروف الهوائيه. ويتم التحلل على خطوات متتاليه تنتهي بانطلاق الامونيا وفيما يلي الخطوات:

1) تحلل البروتينات (تتكون من ارتباط الأحماض الامينية) تحليلا مائيا بواسطة انزيم Proteinase الى مركبات نتروجينية بسيطة تعرف ب Polypeptides . ونظرا لكون المادة العضوية تحتوي على انواع مختلفة من البروتينيات، يجدر هنا الاشارة الى ان لكل نوع منها انزيم خاص يقوم بعملية التحلل.

2) تتحلل الببتيدات تحليلا مائيا بواسطة انزيم خاص يعرف ب Polypeptidases الى احماض امينية Amino acids .

3) الاحماض الامينية الناتجة قد تتحلل بواسطة انزيمات Deaminases وغيرها لتكوين أحماض عضوية وآمونيا. ولكل حامض اميني إنزيم خاص به لا يؤثر على غيره من الأحماض الامينية الأخرى. والتحلل المائي للأحماض الامينية يتم في الظروف الهوائية بواسطة الفطريات والاكتينومايسيتات والبكتريا الهوائية. اما في الظروف غير الهوائية فيحدث بواسطة البكتريا غير الهوائية.

ب) تحلل المركبات العضوية النتروجينية غير البروتينية.

وافضل الامثلة هو اليوريا وتحلل اليوريا مائيا بواسطة انزيم Urease الى ثاني اوكسيد الكربون وغاز الامونيا وفقا للمعادلة التالية:

$$CO(NH_2)_2 \xrightarrow{urease+H2O} CO_2 + 2NH_3$$