Agricultural microbiology

الميكروبيولوجيا الزراعية

2020

الأستاذ الدكتور / مظهر العيسوي الشريف

رئيس قسم الميكروبيولوجي

الأستاذ الدكتور م. مظهر العيسوي الشريف

الميكروبات ودورة العناصر في التربة

تعتبر الكائنات الحية الدقيقة هي محور دورة العناصر الغذائية في التربة، ولولاها لما تواجدت هذه العناصر في صورتها الصالحة للنبات ولما تواجدت الحياة على وجه الارض من الأساس، حيث تقوم هذه الكائنات بتحويل المواد العضوية المعقدة الغير صالحة للنبات إلى الصورة المعدنية البسيطة التي يمكن للنبات الاستفادة منها، وتسمى هذه العملية بالمعدنة Mineralization. فعند إضافة المخلفات النباتية والحيوانية إلى التربةفإن هذه المواد تتحلل بواسطة النشاط الانزيمى للميكروبات. وتكون عملية التحلل هذه سريعة في بدايتها ثم تنخفض بشكل ملحوظ مع بدأ إستهلاك الجزء السهل في التحلل. ويطلق على العلم الذي يختص بدراسة الميكروبات وعلاقتها ببيئاتها اسم

شكل (118) تبدل العناصر بين الصورتين العضوية

microbial ecology. ويشمل النظام البيئي Ecosystem قسمين رئيسيين هما:

i) العوامل الحيوية biotic factors وهي التداخل بين الكائنات الحية المختلفة لبيئة ما،

ii) العوامل غير الحيوية abiotic factors وتشمل التفاعل بين الميكروبات والعوامل الفيزيائية المحيطة في الوسط. وتُكوِن الميكروبات في نظام بيئي معين مجتمعها الخاص، وتُعتبر البكتريا والفطريات هما المستخدمين الاساسيين للمخافات العضوية والكائنات الميتة. في التربة، وبالطبع فإن هذه الميكروبات تعمل على تدوير تلك المخلفات والكائنات الميتة لتجعلها صالحة للكائنات الاخرى، وبذلك تستمر الحياة على وجه الأرض. مثال ذلك معدنة المواد العضوية المعقدة إلى ثاني اكسيد الكربون وماء ونيتروجين معدني وفوسفور وغيرها من العناصر، وتتعدد مصادر المواد العضوية في التربة من بقايا ومخلفات الكائنات الحية والميتة التي تنشيط عليها الميكروبات غير ذاتية التغذية Heterotrophs انزيمياً فتحللها لتبني أجسامها والحصول على الطاقة. وهنا يلاحظ إختفاء المواد السريعة التحلل أولاً مثل المواد الذائبة كالسكريات البسيطة (مثل النشا والسليلوز)، ثم ينخفض التحلل تدريجيا مع المواد الأكثر تعقيدا مثل اللجنينlignin والشموع wax والراتنجات resins الصعبة التحلل حتى نصل في النهاية إلى الدبال humus وهو مادة معقدة التركيب بطيئة التحلل، وهذه المادة هامة لتحسين خواص التربة الطبيعية والكيميائية والحيوية.

ينظر إلى العناصر المعدنية على انها جزء من مكونات الدورات البيوجيوكيميائية Biogeochemical cycles1، وتنمو جميع الكائنات عن طريق تحول هذه العناصر (مثل الكربون والنيتروجين والاكسجين والكبريت والفوسفور) من الصورة

[1]الدورة البيوكيميائية هي المسار الذي يتم من خلاله انتقال العنصر الكيميائى أو الجزيء بين الشكل الحيوي (-bio) والشكل الغير حي (-geo) للنظام البيئي.

غير العضوية إلى مواد عضوية لبناء المادة الحية. وبالإضافة إلى أن هذه العناصر جزءاً من الكائنات الحية (المحيط الحيوى biosphere)، نراها أيضاً تمر خلال المسار الغير حي في النظام البيئى مثل الماء (المحيط المائي hydrosphere)، والأرض lithosphere والهواء atmosphere وسنتعرض في هذا الكتاب لدورتي الكربون والنيتروجين كأمثلة.

التحولات الحيوية لمركبات الفوسفور في التربة

الفوسفور من العناصر الهامة جداً بالنسبة لكل صور الحياة، فهو يدخل في كل من الأحماض النووية (المادة الوراثية DNA & RNA)، ومركبات الطاقة ATP & ADP، والغشاء الخلوي للخلية في صورة Phospholipids. ومن هنا تظهر اهمية هذا العنصر بالنسبة للنبات والحيوان والميكروبات. يعتبر الفوسفور العنصر رقم 11 من حيث الوفرة على سطح الارض، الا انه قليلاً ما يتوفر في صورة ذائبة صالحة لامتصاص النبات. ويعد الفوسفور العنصر التالي من حيث الأهمية السمادية بالنسبة للنباتات بعد النيتروجين، ومن هنا تتحدد اهميته كواحد من العوامل المحددة للأمن الغذائي على مستوى العالم.

One of the key nutrients that underpin global food security

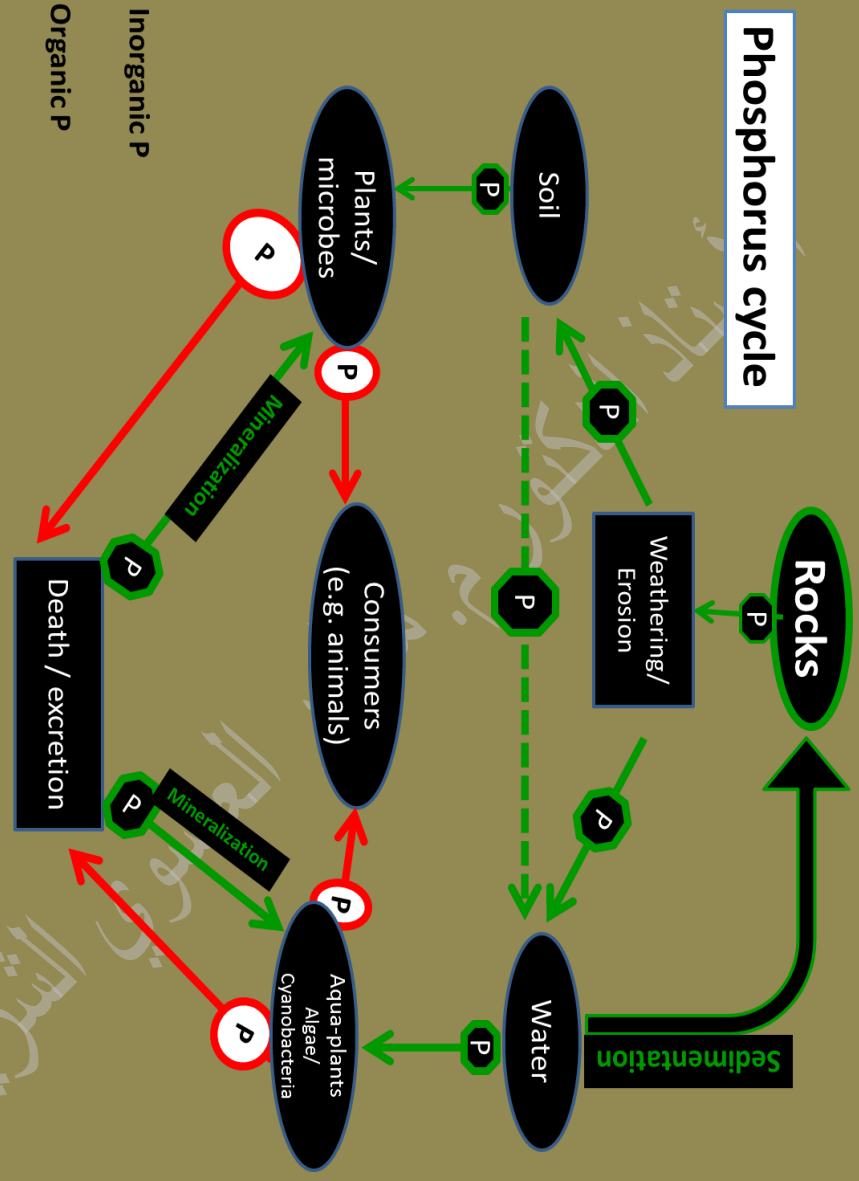
الأستاذ الدكتور م. مظهر العيسوي الشريف

تلعب الميكروبات دوراً فاعلاً في تحولات العناصر الغذائية بالتربة نتيجة لنشاطها الإنزيمي، مثال ذلك ما تقوم به الأكتينوميسيتات والميكوريزا والبكتريا *Bacillus megaterium* وفطر *Piriformospora indica* من تيسير لعنصر الفوسفور في التربة من الصورة المرتبطة بأملاح الكالسيوم والحديد والالومونيوم الى الصورة الميسرة. كما يتم تيسير الفوسفور عن طريق تحلل الأحماض النووية والفوسفوليبيدات ويتم ذلك بواسطة الميكروبات غير ذاتية التغذية.

دورة الفوسفور Phosphorus cycle

دورة الفوسفور هي دورة بيوجيوكيميائية Biogeochemical cycle وهي عبارة عن المسار الذي من خلاله يتحرك العنصر خلال المحيط الحيوي والغير حيوي.

الاستاذ الدكتور: مظهر العيسوي الشريف


Phosphorus cycle
Rocks
Weathering/ Erosion
Soil
Plants/ microbes
Consumers (e.g. animals)
Death / excretion
Water
Aqua-plants Algae/ Cyanobacteria
Sedimentation
Mineralization
Mineralization
P
Inorganic P
Organic P

وتمر دورة الفوسفور باربع مراحل هي:

1- التجوية والتعرية Weathring and erosion

2- الادمصاص Absorption

3- التحلل Decomposition

4- الترسيب Sediments

أولاً: مرحلة التجوية والتعرية Weathering and erosion

بخلاف النيتروجين والكربون، الفوسفور لا يوجد في الغلاف الجوي،

No phosphorus in the atmosphere

ومصدره الاساسي هو الصخور.

P is found in rocks

وفيها يتم تفكك الفوسفور الموجود في الصخور Rocks من خلال التجوية التي التمدد والانكماش، أو من خلال عمليات التعرية erosion حيث تعمل الامطار أو الرياح على تفتت الصخور ليتحرر منها الفوسفور وينحدر الى التربة.

الأستاذ الدكتور مظهر العيسوي الشريف

Phosphorus released from the weathering of rocks or from the rains (or winde) in the rocks, then the P released into the soil.

ثانياً: مرحلة الادمصاص Absorption

بعد وصول الفوسفور الى التربة تبدأ النباتات في امتصاصه بواسطة الجذور.
Producers absorb P through their roots

وكذلك تمتصه الميكروبات لبناء البروتوبلام الخلوي.(هنا يتم تحويل الفوسفور الغير عضوي Inorganic P الى فوسفور عضوي Organic P يلي ذلك، وتبعاً للسلة الغذائية، وصول الفوسفور الى الحيوان من خلال التغذية على النباتات.

Phosphorus moves up the food chain as animals eat producers.

بالتوازي في الحياة المائية، حيث يصل الفوسفور – بعد تحلله من الصخور- الى المصطحات المائية المختلفة مع هطول الامطار وغسيل العنصر نحو تلك المسطحات. تبدأ بعدها الحياة النباتية المائية (نباتات وطحالب وسيانوبكتريا وميكروبات اخرى) في امتصاص العنصر، ثم تتغذى الحيوانات البحرية الاولية والراقية في التغذية على الاولى (النباتات والهائمات الاولية) لينتقل اليها الفوسفور.

ثالثاً: مرحلة التحلل Decomposition

مخلفات الحيوان والنبات وكذلك بعد الموت، تبدأ الميكروبات (بكتريا وفطريات واكتينومايسيتات) في تحليلها لتحويل الفوسفور العضوي الموجود بها الى فوسفور معدني (فيما يعرف بعملية المعدنة Mineralization) ليعود امتصاصه تارة أخرى كما ذكر أعلاه. نفس المصير للفوسفور العضوي في الحياة المائية حيث يتم تحلل

المخلفات العضوية أو الكائنات الميتة ميكروبياً ليتحرر الفوسفور المعدني ... وتعود الدورة كما بدأت.

رابعاً: مرحلة الترسيب Sedimentation

بعد تحرر الفوسفور في الحياة البحرية من خلال عمليات المعدنية أو الفوسفور المعدني المنقول الى المياه من خلال الغسيل مع مياه الامطار (او غيرها من المياه التي تنقل التربة الى المسطحات المائية) يحدث لجز من ذلك الفوسفور ترسيب في قاع تلك المسطحات والتي تكون بدورها ترسيبات صخرية عند انحسار المياه منها عبر العصور الجيولوجية .. وهكذا تجدد الصخور مصادر الفوسفور ودورته في الطبيعة.

ويوجد في صورته المعدنية على هيئة فوسفات مرتبطة بالكالسيوم أو الحديد أو الالومونيوم. ويعتمد ذلك على حموضة التربة. ففي الاراضي القلوية تتحول فوسفات الكالسيوم الاحادية الى فوسفات ثلاثية غير ذائبة $Ca_3 (PO_4)_2$ وتترسب مما يجعلها في صورة أقل صلاحية للنبات، ولكن بالرغم من انها تترسب في صورة غشاء رقيق حول حبيبات التربة فإن لها سطح نوعي كبير مما يعطي الميكروبات فرصة كبيرة لتحويلها للصورة الذائبة. أو يوجد الفوسفور في صورة فلورو أباتيت Fluorapatite (صخر الفوسفات) $Ca_5(PO_4)_3F$ وهذه الصورة هي أقل صور الفوسفات المعدني استفادة بالنسبة للنبات، وقد امكن الاستفادة من هذه الصورة من خلال التحولات الحيوية التي تحدثها البكتريا والفطريات المذيبة للفوسفات.

أما الاراضي الحامضية فإن الفوسفات تترسب في صورة فوسفات حديد أو ألومونيوم وهذه الصورة شديدة المقاومة لعملية الاذابة. ومن هنا نستنتج أن أعراض نقص

الفوسفور التي تظهر على النباتات قد لا ترجع في اغلبها الى نقص العنصر في التربة وانما لوجوده على صورة غير قابلة للاستفادة.

وهناك الصورة العضوية للفوسفور التي تتضمن الأحماض النووية والفوسفوليبيدات والفيتين Phytin والمرافقات الانزيمية. ولذلك فإن الجزيئات المحتوية على على هذه المركبات تعتبر من المكونات الهامة للجزيء العضوي في التربة. وهي من المصادر الرئيسية للفوسفور العضوي؛ فتحتوي على نحو 10 – 85% من مجموع الفوسفور العضوي. (راشد، حامد 2020).

وتدخل الميكروبات في تحولات الفوسفور بشكل أساسي كالتالي:

1) تعمل على اذابة مركبات الفوسفور المعدنية غير الذائبة

2) تعمل على معدنة المركبات العضوية وتحرير الفوسفور

3) تعمل على تحويل الفوسفات الميسرة غير العضوية الى مكونات خلوية وذلك بتمثيلها بطريقة مشابهة لما يحدث بالنسبة لعنصر النيتروجين Immobilization

4) قيام الميكروبات بأكسدة واختزال المركبات الفوسفورية غير العضوية.

يوجد الفوسفور في التربة والنباتات والميكروبات ويضاف للتربة عن طريق فوسفات معدنية قابلة للذوبان مثل فوسفات الصوديوم أو غير قابلة للذوبان مثل الفوسفات

الصخري وخبث المعادن. وقد يضاف في صورة عضوية عن طريق المخلفات النباتية والحيوانية.

من أهم المواد الفوسفورية العضوية التي تضاف الى التربة عن طريق بقايا النبات والحيوان الليسين والأحماض النووية والفيتين وتقوم كثير من البكتريا والفطريات بتحليل هذه المواد للصورة المعدنية كما تقوم البكتريا بتمثيل جزء من الفوسفور العضوي يمثل فيها لتكوين الخلايا الميكروبية.
يتحول الفوسفور الغير ذائب بفعل بعض الميكروبات الى صورة ذائبة نتيجة افرازها أحماض عضوية وغير عضوية. تستفيد النباتات بجزء من الفوسفور الذائب.

اذابة مركبات الفوسفور غير العضوية

Solubilization of inorganic phosphorus compound

الصورة غير الذائبة من مركبات الفوسفور هي هورة غير صالحة بالنسبة للنبات. ومن هنا تأتي أهمية الميكروبات المذيبة للفوسفور لتيسيرة لامتصاص النبات. وقد اشارة الدراسات الى ان نحو 10- 50% من الميكروبات المختبرة تستطيع اذابة فوسفات الكالسيوم، وان هناك ما يقدر بنحو 105 - 107 ميكروب لكل جرام تربة من البكتريا المذيبة للفوسفات غير الذائبة. وغالبا ما تتوافر تلك الميكروبات في المنطقة الملاصقة للجذر Rhizoplane ومن الميكروبات النشطة في هذا المجال تتبع أجناس:

Pseudomonas, Mycobacterium, Micrococcus, Brevibacterium, Bacillus, Flavobacterium, Streptomyces, Penicilium, Sclerotium,

Fusarium, Rhizopus, Serratia, Acromobacter, Sporosarcina, and Aspergillus.

تنمو هذه الميكروبات على بيئات غذائية تحتوي على $Ca_3 (PO_4)_2$ أو الفلورو أباتيت أو أمثلتها من المواد الاخرى غير الذائبة كمصدر وحيد للفوسفور. وتتميز هذه الميكروبات بانها تحول قدر كبير من الفوسفور الى الصورة الذائبة بما يفوق احتياجاتها.

كذلك وجد أن بعض الميكروبات تذيب أيضاً أملاح فوسفات الحديد والالومونيوم والماغنيسيوم والمنجنيز وغيرها من مركبات الفوسفات الأخرى.

آلية إذابة الفوسفور Solubilization mechanism

من أهم آليات الاذابة انتاج الميكروبات للأحماض العضوية والتي تؤثر بدورها لتحويل المركبات غير الذائبة الى مركبات ذائبة. حيث تعمل تلك الاحماض العضوية (مثل الفورميك والخليك والبروبيونيك والستريك واللاكتيك والسكسينيك) على تحويل $Ca_3 (PO_4)_2$ الى فوسفات ثنائية وأحادية، معنى ذلك تحويل هذا العنصر الى صورة صالحة لامتصاص النبات.

وتجدر الاشارة الى ان العامل المحدد لعملية الاذابة بواسطة تلك الاحماض هو نوع الحمض (وليس كمية الحمض)؛ حيث وجد أن حمض 2-ketogluconic acid يعمل على سرعة الاذابة. المعادلة التالية توضح مراحل الاذابة:

$Ca_3(PO_4)_2$ ------> $CaHPO_4$ ------> $Ca(H_2PO_4)_2$

فوسفات كالسيوم ثلاثية فوسفات كالسيوم ثنائية فوسفات كالسيوم احادية

معدنة الفوسفور العضوي Mineralization of organic phosphorus

يتواجد الفوسفور في النباتات في التركيب الكيميائي للاحماض النووية والفوسفوليبيدات الليسيثين Lecithin والفيتين وفوسفات الادينوسين.

عملية معدنة الفوسفور العضوي بواسطة الميكروبات (البكتريا والاكتينومايسيتات والفطريات) بتحويله من الصورة العضوية (المرتبطة في بقايا النباتات وفي المادة العضوية للتربة) الى الصورة المعدنية الميسرة للنبات.

الانزيمات التي تحرر الفوسفور من معظم المركبات العضوية يطلق عليها اسم انزيمات الفوسفاتيز.

تمثيل الفوسفور Phosphorus assimilation

الصورة الميسرة من الفوسفور تتطلبها الميكروبات لنموها وبناء البروتوبلازم الخلوي. ولذا كان الفوسفور من العناصر الهامة التي تتحكم في تكاثر وانتشار الميكروبات.

الفوسفور في الاراضي المصرية

تشير الدراسات الى ان الاراضي المصرية تحتوي ما بين 0.2% – 0.05 فوسفور كلي (منها 20 – 85% فوسفور عضوي). وأن محتواها من الفوسفور الذائب فيقدر

بنحو 1.1- 0.15 ملليجرام فوسفور/100 جرام تربة. في حين أن الميكروبات التي لها القدرة على معدنة الفوسفور العضوي تصل الى 106 / جم تربة جافة. وأن تلك الاراضي بها من الميكروبات المذيبة للفوسفات ما يصل الى الملايين/ جم تربة جافة. وتتأثر هذه الأعداد بخصوبة التربة (تزيد في الخصبة) وتق في الاراضي الملحية والقلوية.

وكما هو معلوم ان رقم الحموضة pH في الاراضي المصرية يتراوح بين 9 – 7.5 وهذه الظروف تجعل معظم الفوسفور موجود على صورة غير ميسرة. ومن هنا تأتي أهمية الميكروبات المذيبة لسد احتياجات النبات النامي من هذا العنصر، وقد لوحظ ان النباتات التي نميت في تربة معقمة أظهرت نقصاً واضحاً في قدرتها على امتصاص الفوسفور تحت الظروف القاعدية السائدة في الاراضي المصرية.

الأستاذ الدكتور: مظهر العيسوي الشريف