Phosphorusالفسفور

يعد الفسفور من العناصر الغذائية الضرورية للنبات ويطلق عليه مفتاح الحياة (The key to life) وذلك لدوره المباشر في معظم العمليات اذ لا يمكن ان تجري بدونه ويوجد بالتربة بكميات اقل من النتروجين والبوتاسيوم. ويوجد الفسفور بالقشرة الارضية بحدود ٠,١١% وتتراوح نسبته الكلية في الترب بين ٠,٠٢- ٠,١٥ % والكمية العظمى من هذه النسبة تكون مرتبطة بمادة التربة العضوية. ان محتوى التربة من الفسفور مختلف حسب نوع مادة التربة الاصلية والعمليات الطبيعية التي تحصل في التربة ونسجة التربة ودرجة الحرارة والمحتوى الرطوبي وكذلك عمر التربة. محتوى التربة ذات النسجة الخشنة من الفسفور اقل من محتوى التربة ذات النسجة الناعمة والموجودة في نفس الظروف الجوية اما الترب العضوية فان محتواها من الفسفور الكلي اعلى من الترب المعدنية وتزداد نسبته في الطبقة السطحية من التربة بسبب ارتفاع تحلل المادة العضوية وكذلك في ترب المناطق الجافة وشبه الجافة يكون محتواها من الفسفور الكلي اعلى من محتوى الترب في المناطق الرطبة المتشابهة بالنسجة.

صور الفسفور في التربة forms of soil phosphorus

يقسم الفسفور بشكل عام في التربة الى:

أ- الفسفور المعدني Inorganic Phosphate

ب- الفسفور العضوي Organic Phosphate

صور الفسفور المعدني:

يوجد الفسفور في التربة بصور معدنية مختلفة يمكن تصنيفها على اساس خواصها الفيزيائية والكيميائية والمعدنية وبشكل عام يوجد الفسفور على هيئة مركبات تحتوي على الكالسيوم او الالمنيوم ماو الحديد او الفلور او عناصر اخرى. ان جميع هذه المركبات قليلة الذوبان بالماء لذا فان جاهزيتها للنبات محدودة جداً ويشكل معدن الابتايت Apatite الجزء الاكبر من صور الفسفور المعدنية وهناك اربعة انواع من الابتايت:

١- هايدروكسي ابتايت Hydroxy Apatite $Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$

٢- فلور ابتايت Flouor apatite $Ca_{10}(PO_4)_6(F)_2$

٣- كلورو ابتايت Chloro apatite $Ca_{10}(PO_4)_6(Cl)_2$

٤- كاربونت ابتايت Carbonate Apatite $Ca_{10}(PO_4)_6(CO_3)$

ومن اكثر هذه الانواع شيوعاً هو معدن الهيدروكسي ابتايت ومعدن الفلورو ابتايت. ان الفسفور الذائب في محلول التربة يمتز في الترب الكلسية على اسطح كاربونات الكالسيوم او يتفاعل مع ايون الكالسيوم مكوناً مركبات فوسفات

الكالسيوم. اما في الترب الحامضية فان الفسفور يدمص على اسطح اكاسيد الحديد والالمنيوم او يترسب على هيئة مركبات الحديد او الالمنيوم.

ب-الفسفور العضوي Organic phosphorus

يختلف محتوى الترب من الفسفور العضوي اختلافاً شاسعاً اذ يشكل ما بين ٢٠ – ٨٠ % من الفسفور الكلي في الطبقة السطحية وقد يصل الى ٧٥% من الفسفور الكلي في بعض الترب وتتاثر قيم الفسفور العضوي بعدة عوامل منها:

١- ان محتوى الفسفور العضوي يقل مع ارتفاع درجة حرارة الجو وزيادة كمية الامطار الساقطة

٢- يزداد مع ارتفاع pHالترب

٣- زيادة كثافة الغطاء النباتي تقلل من محتوى الفسفور العضوي بسبب زيادة النشاط المايكروبي ومعدل تحلل المادة العضوية.

يضم الفسفور العضوي العديد من المركبات في التربة هي:

١- Inositol phosphate وهي جزيئات سكرية مع مجموعة او اكثر من الفوسفات التي تحل محل ايونات الهيدروجين ومن اهم مركبات هذا الجزء الفسفور العضوي هو مركب الفايتين (phytin) وان معظم الفسفورالذي يوجد داخل البذور هو بصورة فايتين وقد تصل نسبته الى اكثر من ٧٥% من فسفور البذور، ولقد وجد ان هذا الجزء من الفسفور العضوي يشكل بحدود ٢٦ – ٣٣ % من فسفور التربة العضوي.

٢- Nucleic acid الاحماض النووية للنبات والحيوان الكائنات الحية الدقيقة عند تحللها داخل التربة تشكل ما يقارب من ١٠ % من فسفور التربة العضوي.

٣- Phospholipids الفوسفولبيدات هي مجموعة الثالثة لمركبات الفسفور العضوية وهذه المركبات ناتجة من اتحاد الفسفور مع مركبات دهنية وتصل نسبة خذا الجزء في الفسفور العضوي بما معدله ٥ – ١٤ %.

معدنة الفسفور العضوي Mineralization

ان تحول الصورة العضوية من الفسفور الى الصورة المعدنية يطلق عليها بالمعدنة. وهي الصورة التي يمكن للنبات ان يمتصها بسهولة ولكن على الرغم من تحول الفسفور من صورة عضوية غير جاهزة الى صورة معدنية جاهزة للامتصاص من قبل النبات الا انه لا يخلو من امر غير مرغوب فيه والسبب هو ان التحلل المعدني للفسفور قصير المدى اذ انه بمجرد تحلل الفسفور من المادة العضوية الى محلول التربة يتفاعل مع كاتيونات مختلف موجودة في محلول التربة

مما يؤدي الى تكوين مركبات غير ذائبة او قليلة الذوبان، فيؤدي ذلك الى خفض جاهزية الفسفور وتقليل كميته المتيسره للنبات. ان العمليات التي يتعرض لها الفسفور في محلول التربة اضافةً الى التفاعلات اعلاه والامتصاص من قبل النبات والفقد عن طريق الغسل عند ازدياد كمية الامطار الساقطة وخاصة في الترب الرملية ذات القابلية المنخفضة للتفاعل مع الفسفور والفقد عن طريق التعرية المائية وكذلك يتعرض فسفور محلول التربة الى عملية ادمصاص اذ تحمل ايونات الفسفور بقوة بواسطة الشحنات الموجبة على سطوح التبادل وهذا الفسفور المدمص يكون اكثر جاهزية للنبات من الفسفور الموجود في المعادن الاولية مثل الابتايت.

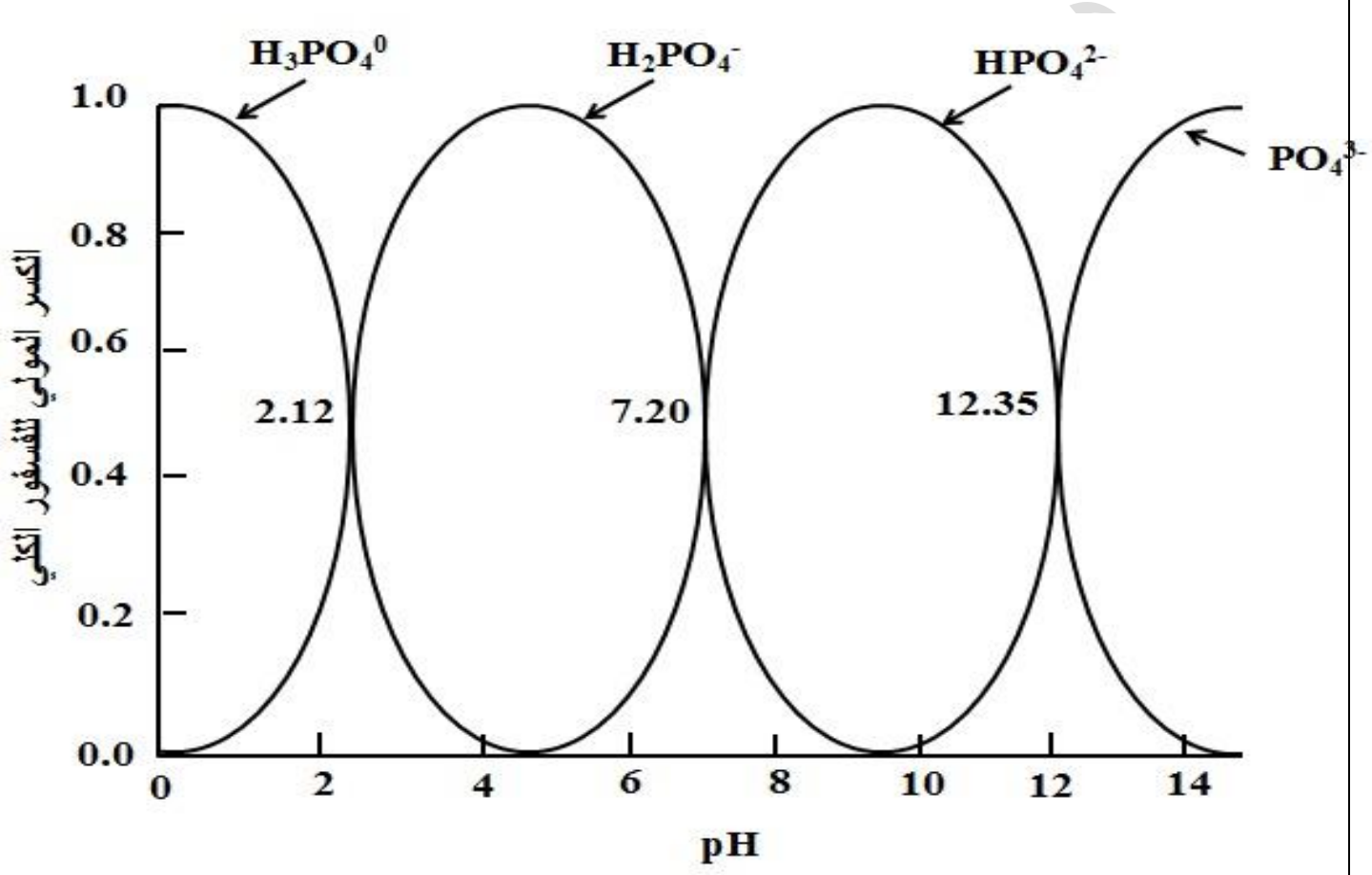
ان الفسفور في التربة يمكن ان يقسم لى ثلاثة اقسام من حيث جاهزيته للنبات:

١- الفسفور الذائب Soluble الذي تكون كميته قليلة جداً مقارنةً بالاقسام الاخرى من الفسفور اذ تتراوح ما بين ٠,٣ – ٣ ppm لذلك فالمحافظة على تركيز الفسفور الذائب في محلول التربة ذات اهمية كبيرة لنمو النبات والمحافظة على تركيزه يكون عن طريق ما يفقد منه بالامتصاص وخاصة في محور نمو الجذور. ان عنصر الفسفور صعب الحركة داخل التربة، ان النبات بنموه يؤدي الى اندفاع جذوره الى اعماق التربة وبذلك يصبح النبات على اتصال بالفسفور الذائب في محلول التربة كذلك يمكن ان تساعد عمليتا الانتشار والجريان الكتلي ولو بكمية قليلة من الفسفور بالتعويض عن الفسفور الذي استنزفه النبات في منطقة نمو الجذور. ان الصور التي وجد فيها الفسفور الموجودة في محلول التربة هي $H_2PO_4^-$ و HPO_4^{-2} و PO_4^{-3} وان سيادة احد هذه الصور في محلول التربة تعتمد اعتماداً كبيراً على درجة تفاعل التربة اي على تركيز ايون الهيدروجين في التربة. وتعد الصورة $H_2PO_4^-$ هي السائدة في الترب الحامضية ويزداد تركيزها بانخفاض درجة تفاعل التربة. اما الصورة HPO_4^{-2} فيزداد تركيزها في درجة تفاعل التربة ٧,٢ او اعلى وينعدم تقريباً وجودها عند درجة تفاعل التربة ٥ في حين عند درجة تفاعل التربة ٧ كل هاتين الصورتين للفسفور توجدان بكمية تقريباً متساوية. اما صورة الفسفور PO_4^{-3} توجد فقط عند درجات تفاعل التربة العالية جداً وليس لها اي تأثير ايجابي في نمو النبات. كذلك يوجد الفسفور في محلول التربة وهي حماض الفسفوريك H_3PO_4 ولكنها ليست ذات اهمية في عملية امتصاص النبات وذلك لوجود هذا الحامض عن درجة تفاعل التربة الواطئة جداً. ان اهم صورة للفسفور يمتصها النبات في الترب الحامضية هي $H_2PO_4^-$ وفي الترب القاعدية على صورة HPO_4^{-2} ولكن هذه الصور لا تكون حرة داخل محلو التربة بل تتفاعل مع

ايونات الحديد والالمنيوم في الترب الحامضية ومع الكالسيوم والمغنسيوم في الترب القاعدية وتكون مركبات غير ذائبة.

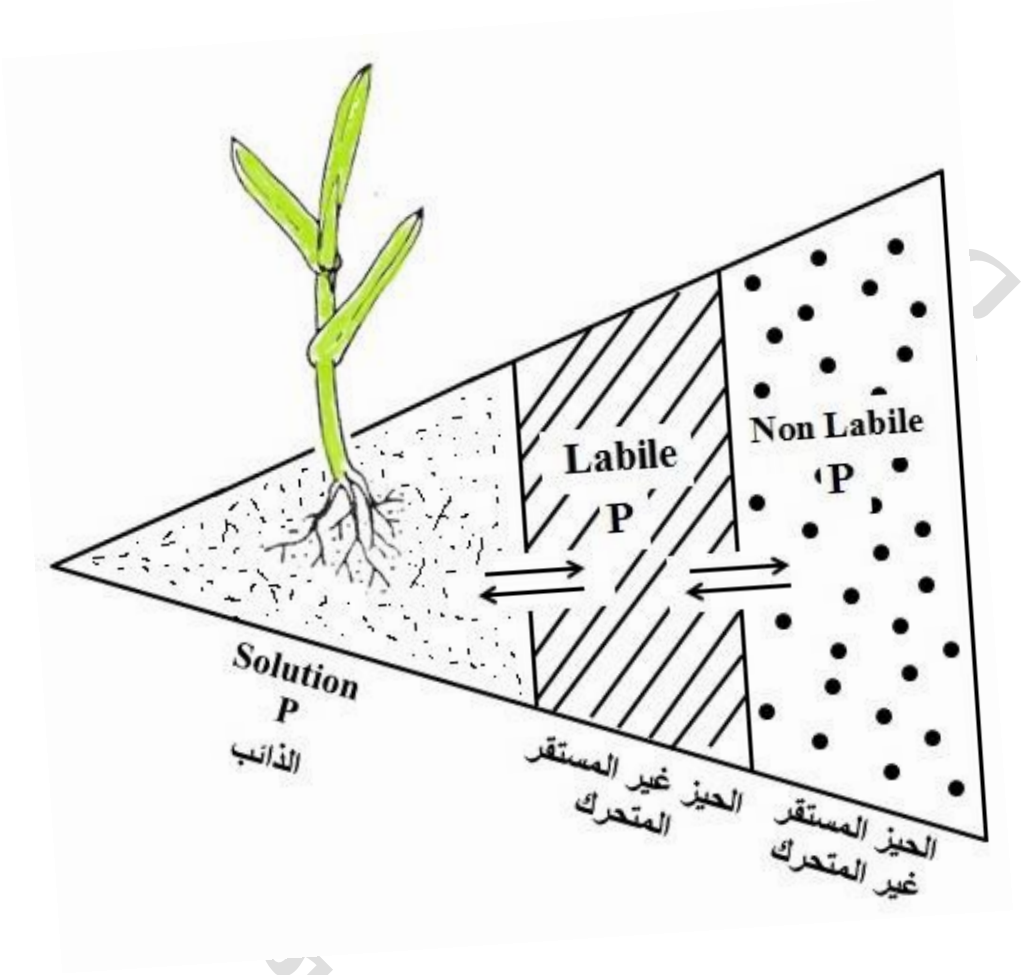
التربة على صور الفسفور الجاهز.pHشكل (٧) تأثير قيمة

٢- الفسفور الصلب المحمول على سطوح حبيبات التربة Phosphate in labile pool ويكون في حالة توازن مع فسور محلول التربة ويعتبر مخزناً



للفسفور في محلول التربة ويقوم بتعويض عن استنزاف الفسفور الذائب من قبل النبات.

٣- الفسفور غير الجاهز Phosphate of the non-labile pool وهذا الجزء من الفسفور يتحرر ببطء عند تحوله الى الفسفور الصلب ومصادره معدن الابتايت وفوسفات الحديد الالمنيوم وكذلك الفسفور العضوي داخل التربة.



الشكل(٨) يوضح اقسام فسفور التربة المهمة في خصوبة التربة وتغذية النبات

تثبيت الفسفور Fixation of Phosphorus

يتعرض الفسفور المضاف للتربة الى تفاعلات خاصة تؤدي الى تحوله الى صور غير جاهزة، ومن خلال الدراسات وجد ان حوالي ٢٠ – ٣٠ % من الكمية المضافة تستغل من قبل النبات خلال السنة الاولى، اما الكمية المتبقة فيمكن اعتبارها صورة غير جاهزة في اغلب الاحوال. وتشمل عملية تثبيت الفوسفات التفاعلات الاتية:

١- احتفاظ وترسيب الفسفور في الترب الحامضية:

أ- التفاعل بواسطة اكاسيد الحديد والالمنيوم: ان اكاسيد الحديد والالمنيوم وكذلك الاكاسيد المائية لها قد توجد بصورة منفردة غير مرتبطة او توجد على شكل مواد مغلفة في حبيبات التربة. ومن المعادن التي تمثل هذه الاكاسيد Limonite و Goethite هذه المعادن تتفاعل مع الفسفور الذائب في محلول التربة الحامضية على صورة $H_2PO_4^-$ وينتج عن هذا

التفاعل فوسفات الحديد او الالمنيوم المرتبطة بالمعادن وبذلك يتحول الفسفور الذائب الجاهز للنبات الى فسفور غير ذائب كما في المعادلة الاتية:

$$\begin{array}{ccc} & OH & \\ & \uparrow & \\ \leftrightarrow Al \rightarrow & OH & + OH^- \end{array} \qquad \begin{array}{ccc} & OH & \\ & \uparrow & \\ Al \rightarrow & OH & + H_2PO_4^- \\ & \downarrow & \downarrow \\ & OH & H_2PO_4^- \end{array}$$

ويلاحظ ان ميكانيكية هذا الترسيب تعتمد على احلال $H_2PO_4^-$ محل OH على سطوح معادن اكاسيد الحديد والالمنيوم.

ب- الترسيب بواسطة ايونات الحديد والالمنيوم: في الترب الحامضية ذات درجة التفاعل المنخفضة يزداد تركيز ايونات الحديد والالمنيوم ويتفاعل الفسفور الموجود على صورة $H_2PO_4^-$ الذي يكون بصورة ذائبة وجاهزة للامتصاص من قبل النبات، ونتيجة هذا التفاعل يتحول الفسفور الذائب والجاهز الى فسفور غير ذائب ومترسب وغير جاهز للامتصاص من قبل النبات على شكل فوسفات الحديد او فوسفات الالمنيوم وبذلك يترسب الفسفور من محلول التربة ويصبح بعيداً عن متناول النبات كما في المعادلة التالية:

$$Al^{+3} + H_2PO_4^- + 2H_2O \leftrightarrow \underset{\text{راسب}}{Al(OH)_2\ H_2PO_4} + 2H^+ + \underset{\text{ذائب}}{H_2}$$

أ- التثبيت بالطين السليكاتي: ان فسفور التربة الذائب في المحلول يمكن ان يتحد بمعادن الطين من نوع ١:١ مثل الكاولنيت او ٢:١ مثل الموتمورلنايت او الاليت في الترب المتوسطة الحموضة وهذا الاتحاد يحصل اما عن طريق ازاحة مجاميع الهايدروكسيل من على سطح بلورات معادن الطين ويحل محلها الفسفور الذائب ان معادن الطين التي يكون فيها نسبة الحديد والالمنيوم عالية تثبت الفسفور بكميات اكبر من الكميات التي تثبتها معادن الطين التي يكون فيها هذه النسبة واطئة.