وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جامعة الانبار
كلية الزراعة

الفسفور محاضرة رقم ٥

ا . م .د محمود هويدي مناجد

الفسفور

نظرة عامة :

يعد الفسفور من العناصر الغذائية الأساس الضرورية للنبات . ويطلق عليه مفتاح الحياة (The Key to life) وذلك لدوره المباشر في معظم العمليات اذ لا يمكن لهذه العمليات داخل الخلايا النباتية أن تجري بدونه .

يوجد الفسفور بالتربة بكميات أقل بكثير من كمية النيتروجين وكذلك كمية البوتاسيوم . وتتراوح نسبته الكلية في الاتربة بين 0.02 – 0.15% وهذه الكمية مرتبطة بمادة التربة العضوية . ان محتوى الأتربة من الفسفور مختلف بحسب

١ ـ نوع مادة التربة الأصلية

٢ ـ العمليات الطبيعية التي تحصل في التربة .

٣ ـ ونسجة التربة .

٤ ـ ودرجة الحرارة.

٥ ـ والمحتوى الرطوبي .

٦ ـ عمر التربة .

ملاحظة ١ :- الترب المعدنية تكون كمية الفسفور الكلي قليلة نسبيا .

وبصورة عامة يكون محتوى الأتربة ذات النسجة الخشنة من الفسفور الكلي ، أقل من محتوى الأتربة ذات النسجة الناعمة الموجودة في نفس الظروف الجوية .

والجدول الاتي يوضح تأثير نسبة التربة على محتواها من الفسفور الكلي .

النسجة	الفسفور ٪
تربة رملية	٠,٠٤٠
تربة مزيجية رملية	٠,٠٤٣
تربة مزيجية	٠,٠٥٧
تربة مزيجية سلتية	٠,٠٦٤

على عمق ١٧ سم يبين محتوى الفسفور للطبقة السطحية ولعمق ١٧ سم من مقد التربة الباحث (Black 1968)

ملاحظة ٢ :- الأتربة العضوية محتواها من الفسفور الكلي اعلى من محتوى الأتربة المعدنية وتزداد نسبته في الطبقة السطحية للتربة بسبب ارتفاع معدل تحلل المادة العضوية فيه .

ملاحظة ٣ :- محتوى اتربة المناطق الجافة وشبه الجافة يكون محتواها من الفسفور الكلي اعلى من محتوى الأتربة في المناطق الرطبة المتشابهة بالنسجة .

س / ماهي اشكال فسفور التربة ومصادره ؟

يوجد فسفور التربة بشكلين أساسين هما :-

١- **الفسفور المعدني** : أن مركبات الفسفور المعدني المترسبة في التربة يمكن تقسيمها إلى ثلاثة أقسام رئيسة هي :

أ- فوسفات الحديد والألمنيوم Fe - Al Phosphate ومن المركبات التابعة لهذا القسم هي :

Wavellite $Al_3(PO_4)_2\ (OH)_3.5H_2O$

Variscite **$AlPO_4.2H_20$**

Strengite $FePO_4.2H_2O$

آن ترسبات هذه المركبات تكثر في السنغال ، والبرازيل والولايات المتحدة الأميركية . تكون هذه المعادن ثابتة في الاتربة الحامضية وهي غير قابلة للذوبان .

ب-فوسفات الحديد - الألمنيوم – الكالسيوم **Ca - Fe- Al Phosphate**

اهم معادن هذا القسم هي :

Millisite $(Na,K)CaAl_6(PO4)_4\ (OH)_9.3H_20$

Crandallite **$CaAl_3(PO4)_2(OH)_5.H_2O$**

ت-فوسفات الكالسيوم Ca - Phosphate

من اهم مركبات فوسفات الكالسيوم الموجودة في التربة هي : -

١- Fluorapatite $Ca_{10}(PO_4)_6F_2$

يعد معدن الا بتايت المعدن الرئيس الذي يحتوي على الفسفور في صفحاته ، وهو يوجد في كل الظروف الجيولوجية (ظروف تكون الصخور النارية ، والمتحولة والمترسبة)، ويعد الا بتايت المترسب المصدر الرئيس للفسفور الصناعي . وتكثر هذه الترسبات في السنغال ، والمغرب ، والجزائر ، والاردن ، ومصر ، وفلسطين المحتلة وكذلك في العراق و الولايات المتحدة الأميركية :

Carbonate apatite	$3Ca_3(PO_4)_2.CaCO_3$	٢ –
Hydroxy apatite	$3Ca_3(PO_4)_2.Ca(OH)_2$	٣ –
Oxy apatite	$3Ca_3(PO_4)_2.CaO$	٤ –
Tricalcium phosphate	$Ca_3(PO_4)_2$	٥ –
Dicalcium phosphate	$CaHPO_4$	٦ –
Monocalcium phosphate	$Ca(H_2PO_4)_2$	٧ –

٢-الفسفور العضوي :

يكون الفسفور العضوي في التربة اكثر من نصف الفسفور الكلي وقد يصل إلى ٧٥ ٪ من الفسفور الكلي في بعض الأتربة . وتوجد الكميات الكبيرة منه عادة في الأتربة العضوية . ومن أهم مركبات الفسفور العضوي الموجودة في التربة هي :

١- Inositol phosphates .
وهو يتمون من جزيئات سكرية مع مجموعة أو أكثر من الفوسفات التي تحل محل ايونات الهيدروجين . ومن اهم مركبات هذا الجزء من الفسفور العضوي هو مركب الفايتين (Phytin) . أن معظم الفسفور الذي يوجد داخل البذور يوجد بصورة فايتين وقد تصل نسبته إلى اكثر من ٧٥ ٪ من فسفور البذور . وأن الفسفور العضوي يشكل كمعدل ما بين ٢٦ - ٣٣ ٪ من فسفور التربة العضوي .

٢- الأحماض النووية للنبات Nucleic acid والحيوان والكائنات الحية الدقيقة عند تحللها داخل التربة تشكل ما يقرب من ١٠ ٪ من فسفور التربية العضوي .

٣- Phospholipids الفوسفوليبيدات هي المجموعة الثالثة المركبات الفسفور العضوية ، وهذه المركبات ناتجة عن اتحاد الفسفور بمركبات دهنية . وتصل نسبة هذا الجزء في الفسفور العضوي بما معدله ٥ - ١٤ ٪.

س/ قسم فسفور التربة من حيث الجاهزية وتسميده للنبات ؟

يقسم فسفور التربة من حيث الجاهزية الى ثلاثة اقسام :-

القسم الاول :- الفسفور الذائب في المحلول Soluble .p. forms in soil solution

ان الفسفور الذي في التربة يمكن ان يقسم إلى ثلاثة أقسام من حيث جاهزيته وتيسره للنبات القسم الأول هو الفسفور في محلول التربة وهو الفسفور الذائب الذي تكون كميته قليلة جدا مقارنة بالاقسام الاخرى للفسفور ؛ اذ تتراوح بين 0.3 إلى 3 أجزاء بالمليون ومن النادر ان تتعدى ١٠ أجزاء بالمليون . وهو يمثل (0.01 %) من الفسفور الكلي. وهو الذي يمتصه النبات بصيغة معدنية ذائبة على شكل (H_2PO_4) و ($HPO_4^=$) وايون ($PO_4^=$) ويرتبط جاهزية الامونيه بقيمة PH الوسط .

أي إن قيم النسبة $\frac{HPO_4^{=}}{HPO_4^{-}}$ أو النسبة $\frac{H_2PO_4}{PO_4^{=}}$ يحددها تركيز أيون الهايدروجين في محلول التربة . ويمكن إيضاح هذا الامر من خلال معادلات تحلل حامض الفسفوريك كما يلي :

تعتبر صورة الاورثوفوسفات orthophosphate من اكثر صور الفسفور ثباتاً بالتربة . لذا فإن البدء بمعادلات تحلل حامض الاورثوفوسفوريك orthophosphoric acid يعطي الصورة الدقيقة الواضحة لسلوك الصور الايونية المتحللة من هذا الحامض . فنقطة البداية تمثل التفاعل الآتي :

$$H_3PO_4 \rightleftharpoons H^+ + H_2PO_4^- \qquad \text{Log } K_1 = -2.15$$

أي إن

$$\frac{(H^+)\,(H_2PO_4^-)}{(H_3PO_4)} = K$$

$$\frac{(H_2PO_4^-)}{(H_3PO_4)} = \frac{K_1}{(H^+)}$$

وهذا يعني العلاقة العكسية بين تركيز ايون الهايدروجين وتركيز ايون $(H_2PO_4^-)$. وعند pH = 2.15 فإن النسبة ستساوي واحداً .

$$\frac{(H_2PO_4^-)}{(H_3PO_4)} = 1$$

أي يتساوى تركيز الحامض (H_3PO_4) مع تركيز ايون ($H_2PO_4^-$) عند pH = 2.15 ، وتكون السيادة الى الحامض عند قيم pH أقل من 2.15 . ويمكن وضع المعادلة السابقة كالآتي :

$$\text{Log} \frac{(H_2PO_4^-)}{(H_3PO_4)} = \text{pH} - 2.15$$

وهذا يعني أن زيادة pH الوسط وحدة واحدة يؤدي الى زيادة النسبة $\frac{(H_2PO_4^-)}{(HPO_4^=)}$ بمقدار عشرة اضعاف ، أي ستكون السيادة بعد pH = 2.15 الى ايون ($H_2PO_4^-$) ، وفي نفس الوقت يبدأ هذا الايون بالتحلل مع ارتفاع pH الوسط كما في المعادلة التالية :

$$H_2PO_4^- \rightleftharpoons H^+ + HPO_4^= \qquad \text{Log } K_2 = -7.20$$

أي ان

$$\frac{(H^+)\,(HPO_4^=)}{(H_2PO_4^-)} = K_2$$

$$\frac{(HPO_4^=)}{(H_2PO_4^-)} = \frac{K_2}{(H^+)}$$

وعند pH = 7.2 فإن النسبة ستساوي واحداً :

$$\frac{(HPO_4^=)}{(H_2PO_4^-)} = 1$$

أي يتساوي تركيز ايون ($H_2PO_4^-$) مع تركيز ايون ($HPO_4^=$) عند pH = 7.2 ، وتكون السيادة الى أيون ($H_2PO_4^-$) عند قيم pH أقل من 7.2 . ويمكن كتابة المعادلة السابقة كالآتي :

$$\text{Log} \frac{(HPO_4^=)}{(H_2PO_4^-)} = \text{pH} - 7.2$$

وهذا يعني أنَّ زيادة pH الوسط وحدة واحدة يؤدي الى زيادة النسبة $(HPO_4^{=})$ بمقدار عشرة أضعاف ، أي ستكون السيادة بعد pH = 7.2 الى أيون $(H_2PO_4^{-})$ ، وفي نفس الوقت يبدأ هذا الايون بالتحلل مع ارتفاع pH الوسط كما في المعادلة الآتية :

$$HPO_4^{=} \rightleftharpoons H^+ + PO_4^{\equiv} \qquad \text{Log } K_3 = -12.25$$

أي أن

$$\frac{(H^+)\,(PO_4^{\equiv})}{(HPO_4^{=})} = K_3$$

$$\frac{(PO_4^{\equiv})}{(HPO_4^{=})} = \frac{K_3}{(H^+)}$$

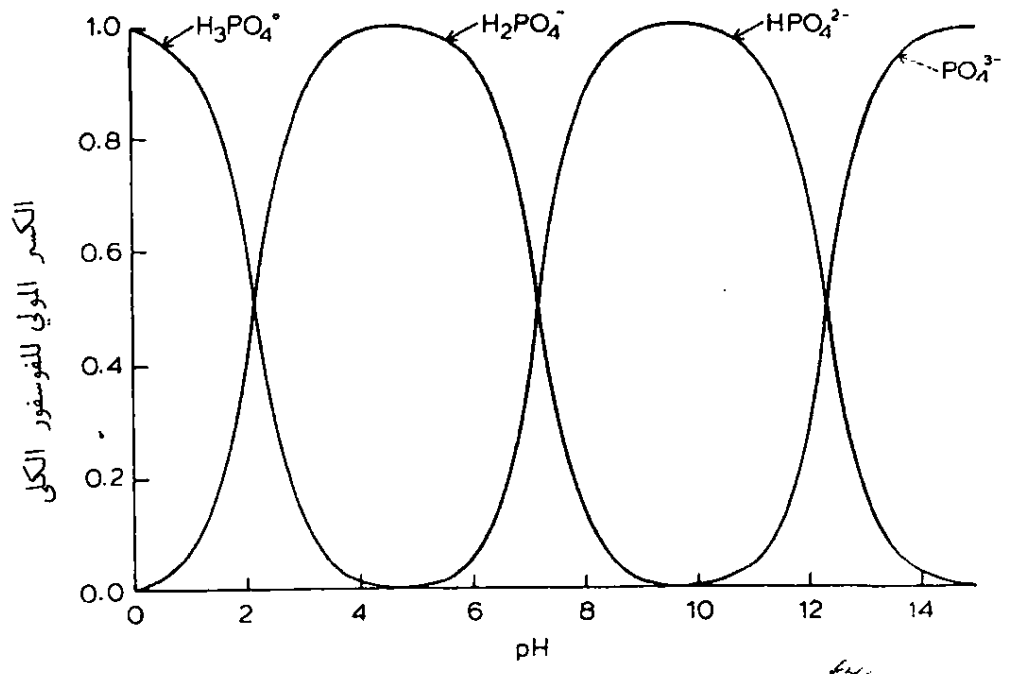
وعند pH = 12.35 فإن النسبة ستساوي واحداً

$$\frac{(PO_4^{\equiv})}{(HPO_4^{=})} = 1$$

أي يتساوى تركيز ايون $(PO_4^{\equiv})$ مع تركيز ايون $(HPO_4^{=})$ عند pH = 12.35 وتكون السيادة الى ايون (HPO_4^{-}) عند قيم pH أقل من 12.35 . ويمكن كتابة المعادلة السابقة كالآتي :

$$\text{Log } \frac{(PO_4^{\equiv})}{(HPO_4^{=})} = \text{pH} - 12.35$$

وهذا يعني أنَّ زيادة pH الوسط وحدة واحدة يؤدي الى زيادة النسبة $\frac{(PO_4^{\equiv})}{(HPO_4^{=})}$ بمقدار عشرة اضعاف ، أي ستكون السيادة بعد pH = 12.35 الى ايون $(PO_4^{\equiv})$. ومن خلال ماتقدم فإن صور الاورثوفوسفات السائدة في الترب الزراعية ذات مدى pH يتراوح بين 4.5 الى 8.5 هي ايون $H_2PO_4^{-}$ و $HPO_4^{=}$. والشكل (1) يوضح علاقة هذه الصور مع بعضها في ظروف pH مختلفة .



الشكل (١) تأثير قيمة pH الوسط على توزيع ايونات الأورثوفوسفات في المحلول (استل من Lindsay, 1979)

٢- صور الفسفور في المستودع غير المستقر

P-forms in the labile pool

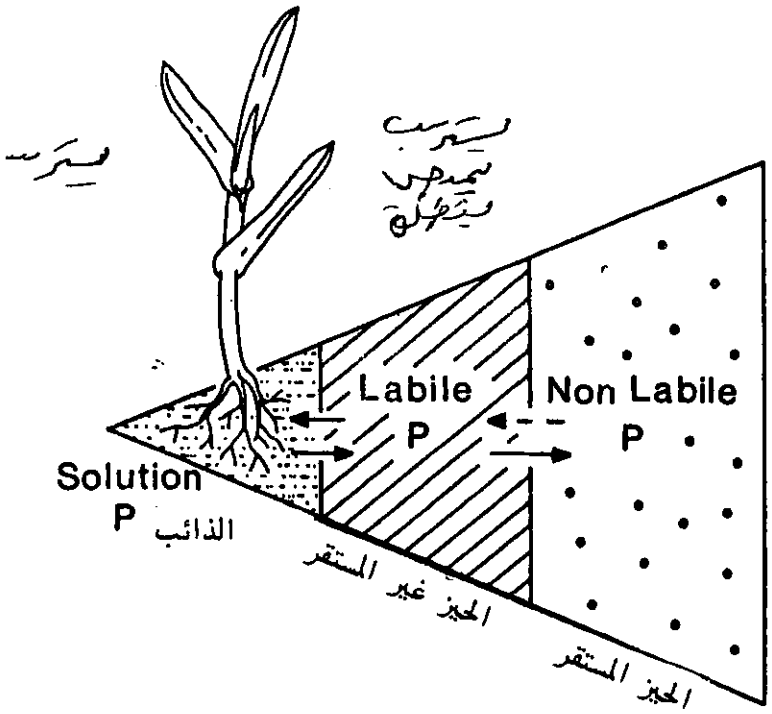
وتشمل صور الفسفور المتجمعة ضمن هذه المجموعة

أ- الفسفور الممدص adsorption على اسطح غرويات التربة .

ب- المترسب حديث بهيئة مركبات فوسفات الكالسيوم أو الحديد أو الالمنيوم التي تمتلك اذابة عالية بالمقارنة مع المركبات القليلة الذوبان كالا بتايت.

كمية الفسفور في هذا المستودع تشكل حوالي ٢% من كمية الفسفور الكلي . وتختلف من تربة الى أخرى وفقا لتوفر العوامل المساهمة في زيادة قدرة التربة الامدصاصية (مثلا محتوى التربة من كاربونات الكالسيوم أو الأكالسيد الحرة أو انواع محددة من معادن الطين)

ويكون في حالة اتزان كيمياوي مع الفسفور الذائب وكما في الشكل الاتي :



الشكل (2) اجزاء الفسفور بالتربة وعلاقتها بتغذية النبات (استل من Mengel and Kirkby, 1982).

٣- صور الفسفور في المستودع المستقر

P-forms in the non-labile pool

تتجع ضمن هذا المستودع صور مختلفة قليلة الذوبان والجاهزية للنبات ويعتبر معدن الابتايت من اهم صور هذا المستودع بالاضافة الى صور الفرسكايت Varscite والسترنكايت Strengite وصور الفسفور العضوي المختلفة والبطيئة التحلل . ويشكل الفسفور ضمن هذا المستودع اكثر من ٩٧% من الفسفور الكلى .

س١/ افترض إضافة سماد فوسفاتي معين الى التربة ماذا يحدث ؟ وضح ذلك

س٢/ كيف يتم تثبيت الفسفور fixation of phosphates

كاظم مشحوت ص ١٣٧ ــ ١٤٠

٢- تفاعلات الترسيب

لقد اشارت عدة دراسات الى تدهور نسبة عالية من الفسفور المضاف من خلال تفاعلات الترسيب التي يمكن النظر اليها كخطوة تالية لعملية امدصاص الفوسفات ولكنها اكثر تعقيدا وضررة في صلاحية الفسفور لتغذية النبات . ويمكن دراسة هذه التفاعلات كالآتي:

أ- التفاعلات بالترب الكلسية

يتعرض الفسفور المضاف الى الترب الكلسية الى سلسلة من التفاعلات مع كاربونات الكالسيوم أو ايون الكالسيوم الذائب في محلول التربة او المتبادل على سطح معادن الطين مكونة مركبات فوسفاتية مختلفة ولو حاولنا تتبع سلسلة . التفاعلات ابتداء من الصور الذائبة بمحلول التربة إلى تكوين المركب الأكثر ثباتا واستقرارة بالتربة .

ويلعب الكالسيوم دوراً مهما في الترسيب وهكذا يعني خسارة الفسفور الذائب والمتبادل وحسب المخطط الاتي :

نسبة Calp

$H_2PO_4^-$ (ايون الاورثوفوسفات الذائب في محلول التربة)

يتفاعل مع ايون الكالسيوم Ca^{++} ↓

فوسفات احادي الكالسيوم $Ca(H_2PO_4)_2H_2O$	1: 2
monocalcium phosphate	
↓ مع توفر مزيد من ايونات الكالسيوم وثبات تركيز الفوسفات	
فوسفات ثنائي الكالسيوم $CaHPO_4 .2H_2O$	1: 1
Diaalcium phosphate	
↓ مع توفر مزيد من ايونات الكالسيوم	
فوسفات ثلاثي الكالسيوم $Ca_3(PO_4)_2$	3: 2
Tricalcium phosphate	
↓ مع توفر مزيد من ايونات الكالسيوم	
فوسفات ثماني الكالسيوم $Ca_8H_2(PO_4)_6$	4: 3
Octacalcium phosphate	
↓ مع توفر مزيد من ايونات الكالسيوم	
هايدروكسي ابتايت $Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$	5: 3
Hydroxyapatite	
↓ مع توفر تركيز من ايون الفلورايد	
فلورو ابتايت $Ca_{10}(PO_4)_6(F)_2$	
Florapatite	

إن جاهزية الفسفور تقل مع تكوين المركبات الفوسفاتية القليلة الذوبان ، اي بالاتجاه نحو الاسفل مع السهم .

ب - التفاعلات بالترب الحامضية

يتفاعل الفسفور المضاف للترب الحامضية مع الأكاسيد الحرة وايونات الالمنيوم والحديد والمنغنيز ليترسب الفوسفات بصيغة مركبات مختلفة أهمها مركب الستر نكايت Strengite ومركب الفرسكايت Variscite .

س٣/ ما هي العوامل المؤثرة على تفاعلات الترسيب ؟

الفسفور في النبات

الوظائف الحيوية للفسفور :

يوزع الفسفور الذي يمتصه النبات على كل خلية حية داخل النبات للمشاركة في العمليات الحيوية للنبات ومن اهم العمليات التي يشارك فيها الفسفور هي :

١- تحليل الكاربوهيدرات والمواد الأخرى الناتجة عن عملية التركيب الضوئي لتحرير الطاقة اللازمة للعمليات الحيوية للنبات .

٢- يساعد الفسفور ايضا في عملية تكوين وانقسام الخلايا

٣- المشاركة الفعالة في نقل الصفات الوراثية عن طريق الـ **(DNA)**

وهذا يكون عن طريق مشاركة الفسفور في تركيب العديد من المركبات وهي :

- **(uridine triphosphate) UTP** يحتاج الى هذا المركب في تكوين السكروز والكالوز .
- **(Cytidine triphosphate) CTP** يحتاج اليه في تكوين الفوسفوليبدات .
- **(Adenosine triphosphate) ATP** يحتاج اليه في توليد الطاقة وتكوين مركبات عضوية .

وهناك مادة اخرى تشارك في تكوين الـ **RNA** يشترك الفسفور في تركيبها وهي **(Guanosine triphosphate) GTP** كذلك يشارك الفسفور في تحفيز نمو وتطور الجذور . ونضج النبات وتكوين البذور والثمار .

اعراض نقص الفسفور

بصورة عامة تظهر أعراض نقص الفسفور على الأوراق القديمة لأنه عنصر متحرك داخل النبات ويكون

١. ذات لون أخضر داكن .

٢. بعض النباتات الحولية تتصف سيقانها بلون محمر ناتج عن تكون مادة الانثوسيانين .

٣. تناقص في معدلات نمو الأغصان الحديثة لاشجار الفاكهة

النباتات بصورة عامة تتصف بنمو بطيء وتكون صغيرة وذات نمو جذري محدود وسيقان رفيعة