جامعة حماه
كلية الهندسة الزراعية – السلمية
السنة الثالثة

المحاضرة النظرية الخامسة في خصوبة التربة وتغذية النبات

The Phosphorus

٦/٥/٢٠٢٦

The Phosphorus

الأهداف

فهم دورة الفوسفور وأشكاله

في التربة وآليات تثبيته

وإتاحته للنبات

الأهمية

عنصر غذائي أساسي يؤثر في التركيب الضوئي وانقسام الخلايا وتكوين البذور

الخصائص

يميل للتثبيت في التربة مكوّناً مركبات صعبة الذوبان تحد من إتاحته للنبات

مقدمة :أهمية الفوسفور

مكانة الفوسفور بين العناصر الغذائية

يتشابه الفوسفور مع النتروجين والبوتاسيوم من حيث الأهمية بالنسبة للنبات، وذلك على الرغم من وجوده في الأنسجة بكميات أقل من هذين العنصرين.

ما يميّز الفوسفور عن النتروجين

- يميل للتثبيت في التربة من خلال تفاعله مع مكوناتها.
- يشكّل مركبات صعبة الذوبان تحدّ من قابليته لإفادة النبات.

الوظائف الفيزيولوجية الأساسية

- يؤثّر في عملية التركيب الضوئي وانقسام الخلايا
- يساهم في تكوين البذور ومركبات حفظ الطاقة (ADP, ATP)
- ضروري لتثبيت النتروجين الجوي وتطور المجموع الجذري
- مكوّن أساسي في مركبات الأحماض النووية (DNA, RNA)

1 - دورة الفوسفور في التربة

الامتصاص النباتي

تُمتص المركبات اللاعضوية الذائبة للفوسفور من قبل جذور النبات لينتقل إلى الأجزاء الهوائية

العودة للتربة

يعود الفوسفور المضمّن في الأنسجة النباتية للتربة عبر البقايا النباتية والمخلفات الحيوانية.

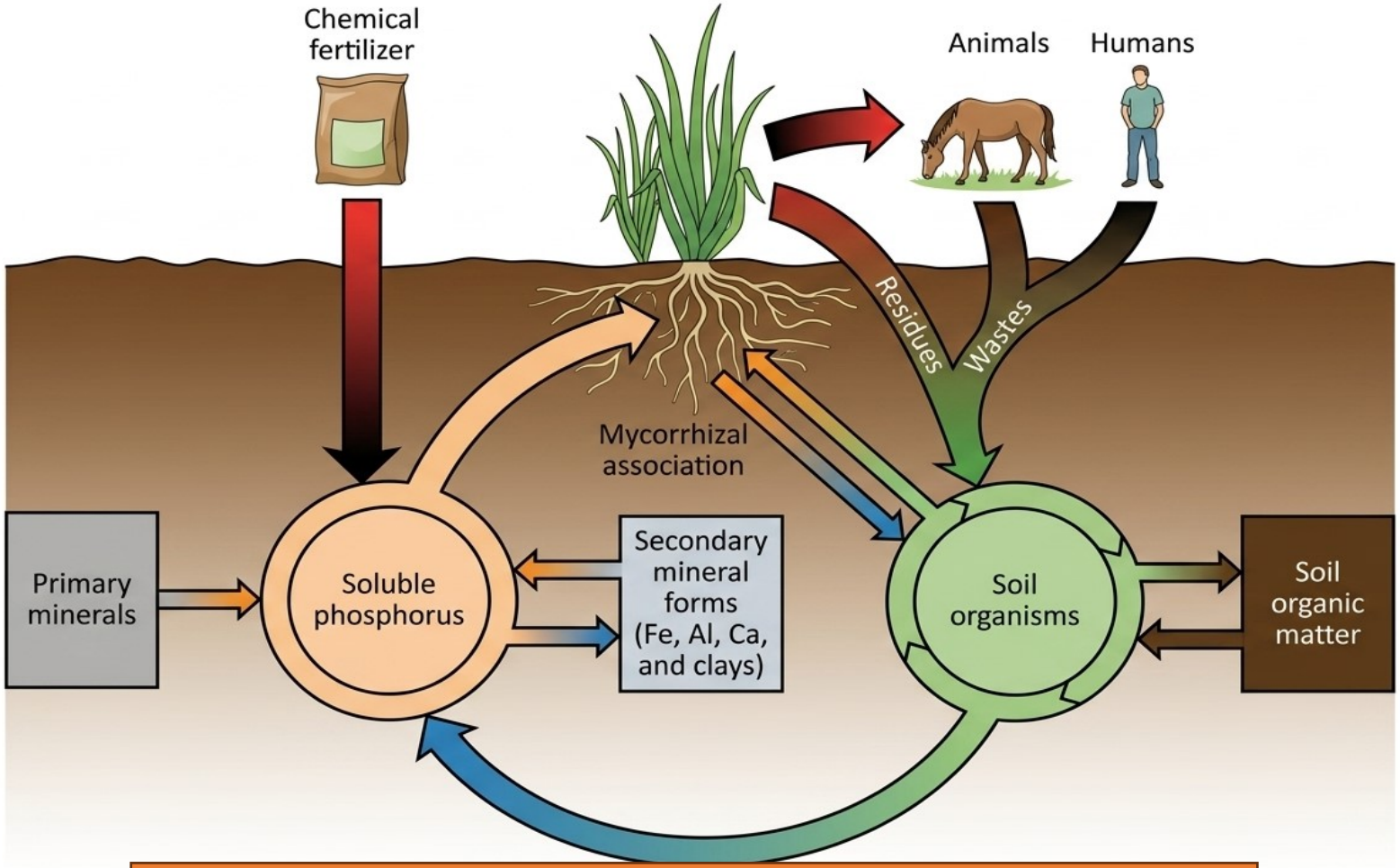
التفكك الحيوي

يُستخدم جزء من الفوسفور المتحرر في بناء أنسجة ميكروبية جديدة التسكين الحيوي (P-Immobilization)

المعدنة

يتحرر القسم المتبقي إلى محلول التربة بأشكال معدنية، وجزء منه يرتبط بمركبات صعبة الذوبان

Made with GAMMA



الشكل (٥-١): دورة الفوسفور في التربة (عن Brady, 1996)

Made with GAMMA

2- محتوى التربة من الفوسفور

نسب الفوسفور في الصخور والتربة

- الصخور المكوّنة للتربة: بين 0.01% و0.2%
- التربة (الفوسفور الكلي): بين 0.02% و0.1%
- أعلى محتوى: الجزء العلوي من الأفق (A)
- أخفض محتوى: الجزء السفلي من الأفق (A) والجزء العلوي من الأفق (B)

العوامل المؤثرة في محتوى التربة من الفوسفور

- **طبيعة المواد الأم**: التربة من صخور بركانية حامضية فقيرة بالفوسفور
- **الصخور البركانية القاعدية**: تعطي تربة متوسطة إلى غنية بالفوسفور
- **الترب الكلسية**: تحتوي على كميات مرتفعة من الفوسفور الكلي لاحتوائها على فلز الأباتيت
- **المناخ**: انخفاض معدل الغسل في المناطق الجافة يحافظ على الفوسفور

2-1-أشكال الفوسفور في التربة

الفوسفور اللاعضوي Inorganic Phosphorus

- يشكّل 20-80% وسطياً (50%) من المحتوى الكلي في الطبقة السطحية للتربة.
- يتضمن مركبات ناتجة عن استبدال أيونات الهيدروجين في H_3PO_4 بكاتيونات معدنية
- مصدره الأساسي :فلز الأباتيت
- يضم :كلور أباتيت، فلور أباتيت، هيدروكسي أباتيت، كربونات أباتيت

الفوسفور Organic Phosphorus

- الفوسفور العضوي يشكّل 20-80% وسطياً (50%) من المحتوى الكلي
- الأينوسيتول10-50% :
- فوسفات ليبيدات1-5% :
- أحماض نووية0.2-2.5% :
- فوسفو بروتينات :آثار

- يتحرّر الفوسفور الفلزي خلال عملية التجوية وتطوّر التربة على شكل فوسفات أحادية أو ثنائية ($H_2PO_4^-, HPO_4^{2-}$) ليكون مصيره :

١-الامتصاص من قبل النبات. ٢- الارتباط مع المادة العضوية في التربة.

٣. إعادة الترسّب على شكل فلزات بطيئة الذوبان مثل فوسفات الكالسيوم وفوسفات الألمنيوم والفوسفور المحتجز Occluded-P فى هيدروكسيدات الحديد والألمنيوم.

يعد الفوسفور العضوي غير متاح للنبات، ولكي يصبح قابلاً لإفادة النبات لابد أن يتحول أولاً إلى فوسفور معدني عبر عملية المعدنة Mieralizationالتي تخضع لها المادة العضوية في التربة وتقوم بها الكائنات الحية الدقيقة، حيث يتحول الفوسفور خلال هذه العملية من صورة عضوية إلى أخرى معدنية.

يمكن القول إن عملية معدنة الفوسفور العضوي تتم بطريقة مشابهة لتلك التي تتم فيها معدنة النتروجين العضوي، علماً أن معدنة الفوسفور العضوي تتم بشكل أسرع تحت الظروف المناسبة (تهوية جيدة، رطوبة مناسبة:

جدول (٥-١): مركبات الفوسفور الحاوية على الكالسيوم في التربة

Compound	Formula
Fluor apatite	$3Ca_3(PO_4)_2.CaF_2$
Carbonate apatite	$3Ca_3(PO_4)_2.CaCO_3$
Hydroxy apatite	$3Ca_3(PO_4)_2.Ca(OH)_2$
Oxy apatite	$3Ca_3(PO_4)_2.CaO$
Tricalcium phosphate	$Ca_3(PO_4)_2$
Dicalcium phosphate	$Ca\ HPO_4$
Monocalcium phosphate	$Ca(H_2\ PO_4)_2$

ومن العوامل الهامة المؤثرة في معدنة الفوسفور العضوي:

١ – نسبة الكربون إلى الفوسفور في المادة العضوية (C/P ratio): يعد هذا العامل من أكثر العوامل تأثيراً في معدنة الفوسفور العضوى فى التربة:

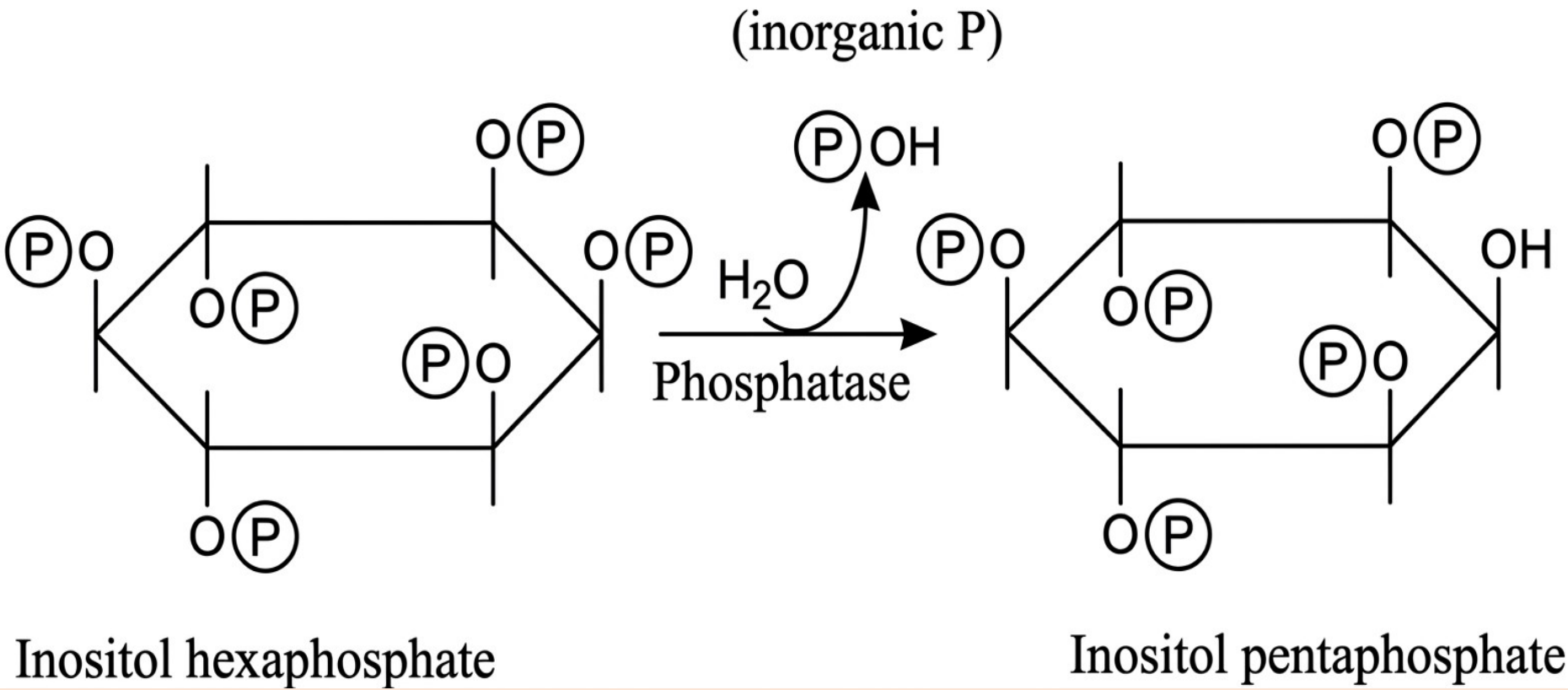
أ. فعندما تكون النسبة ($C/P \leq 200/1$) فإن السيادة تكون لعملية المعدنة Mineralization، ويتحرر الفوسفور العضوي في التربة بأشكال معدنية ذائبة متاحة للنبات.

ب–عندما تكون ($C/P \leq 200/1$) فإن السيادة تكون لعملية الوقف (التسكين) الحيوي Immobilization للفوسفور، حيث يستخدم الفوسفور المعدني الناتج عن تفكك المادة العضوية (وحتى المضاف على شكل أسمدة معدنية، أو الموجود أصلاً في التربة بأشكال معدنية ذائبة) في بناء أنسجة ميكروبية جديدة .

ج–أمّا عندما تكون (C/P = 200–300/1) فتكون عمليتا المعدنة والوقف الحيوي للفوسفور متساويتين وتسيران جنباً إلى جنب.

٢ – نشاط الكائنات الحية الدقيقة (Penicillium Aspergillus, Mucor, Pseaudomonas, Bacillus,) في التربة، وكمية أنزيم الفوسفاتيز Phosphatase التي تحرّرها هذه الكائنات بالإضافة لتلك التي تحررها جذور النباتات المختلفة. ولهذا السبب فإن كافة العوامل المؤثرة في نشاط الكائنات الحية الدقيقة (درجة الحرارة، رطوبة التربة، التهوية ،PH التربة) تؤثر بشكل مباشر في عملية معدنة الفوسفور العضوي.

يمكن القول إن معدنة حمض الفيتيك، كأحد أهم أشكال الفوسفور العضوي في التربة، تتم من خلال عملية حلمهة Hydrolysis يخضع لها هذا المركب تحت تأثير أنزيم الفوسفاتيز Phosphatase، وتتم هذه العملية على مراحل عدة يتحرر في كل منها جزيئة من حمض الفوسفور وصولاً إلى مركب الأينوسيتول (الشكل ٥-٢).



الشكل (٥-٢): معدنة مركب فوسفات الأينوسيتول (عن Mengel and Kirkby, 1987)

٣ -الفوسفور المدمص Adsorbed Phosphorus

تتعرّض الفوسفات المتحرّرة من تجوية الفلزات الأولية والثانوية الحاوية عليها، والفوسفات الناتجة عن معدنة المادة العضوية، كما الفوسفات المضافة للتربة على شكل أسمدة كيميائية للادمصاص في التربة بأشكال وآليات شتى.

حيث يمكن للفوسفات أن تدمص على سطوح أكاسيد الحديد والألمنيوم المائية في الترب الحامضية والمتعادلة $=Fe-H_2PO_4$. كما يمكن للفوسفات أن تدمص أيضاً على سطوح المادة العضوية والدبال وسطوح فلزات الطين بواسطة جسور كاتيونية من الكالسيوم أو الحديد $OM=Fe-H_2PO_4$ و $Clay-Ca-H_2PO_4$.

وبالإضافة إلى ما سبق،

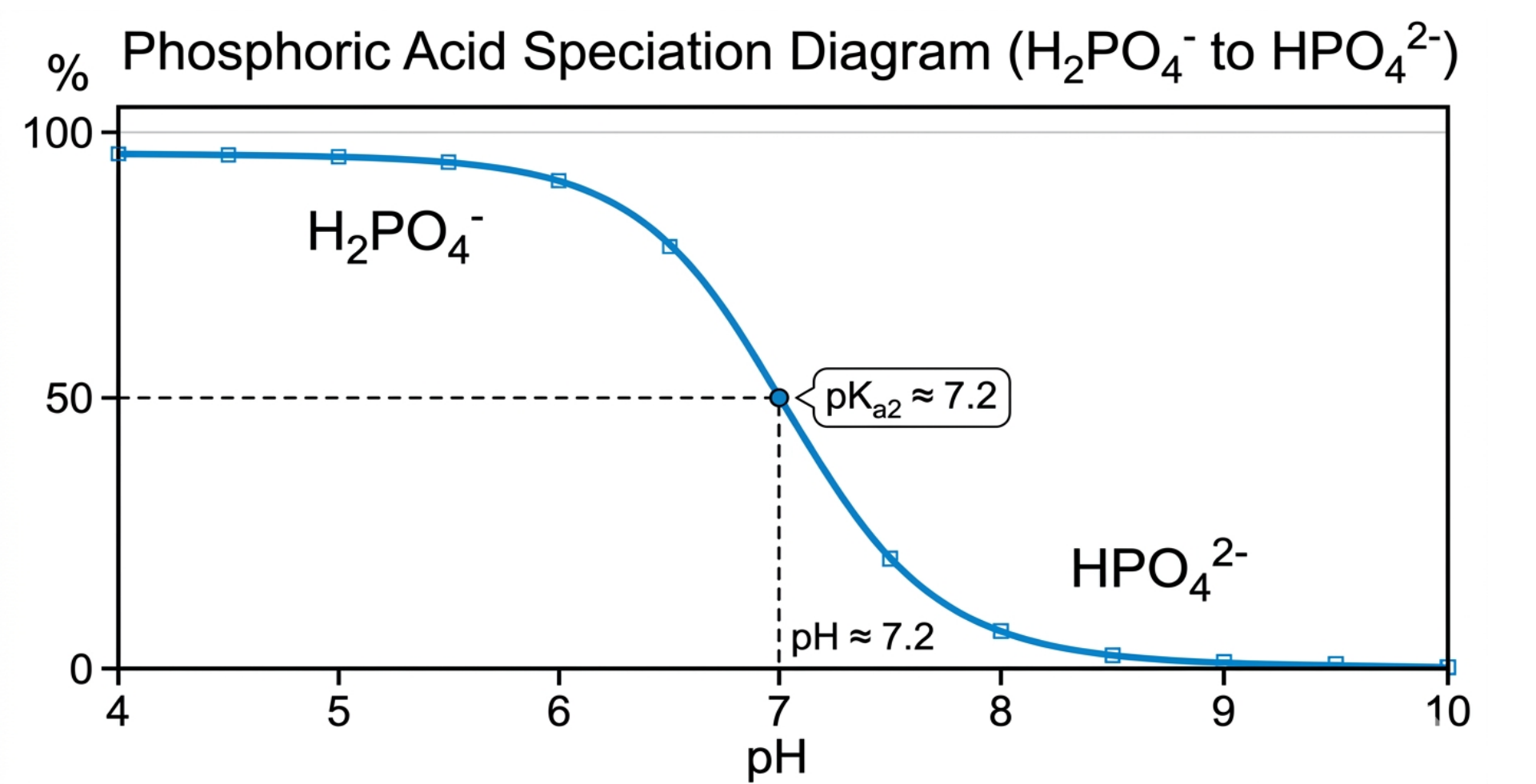
يمكن أن تُدمص الفوسفات مباشرة على سطوح بعض فلزات الطين مثل الكاؤولينيت وذلك في ظروف الترب الحامضية، وعلى سطوح كربونات الكالسيوم في الترب الكلسية.

ويكون الفوسفور المدمص في التربة على توازن مع فوسفور محلول التربة، لذلك فإن هذا الجزء من فوسفور التربة يؤدي دوراً مهماً في تغذية النبات، وعادة تكون كمية الفوسفور المدمصة في التربة أكبر بمقدار (100 – 1000) مرة من كمية الفوسفور الذائب فيها

٤ - فوسفور محلول التربة Soil Solution Phosphorus :

يحتوي محلول التربة على كميات منخفضة جداً من الفوسفور، وخاصة إذا ما قورنت بالكميات التي يحتويها من العناصر الكبرى الأخرى كالبوتاسيوم والكالسيوم والمغنزيوم، أو بالكمية المدمصة منه. ويتراوح تركيز الفوسفور في محلول التربة عادة بين (0.3 – 3) مغP/ل (Mengel and Kirkby, 1987).

ويوجد الفوسفور في محلول التربة على شكل فوسفات أحادية $H_2PO_4^-$ وثنائية HPO_4^{2-} وكلا هذين الأيونين متاحان للنبات. وتختلف النسبة بين هذين الأيونين في محلول التربة تبعاً لتفاعل (pH) محلول التربة:



الشكل (٥-٣): التوزّع النسبي لأيونات الفوسفات تبعاً لـ pH التربة

فارتفاع تركيز أيونات الهيدروجين في محلول التربة تزيح التوازن بالاتجاه الذي تتشكل فيه كمية إضافية من $H_2PO_4^-$ وفقاً للمعادلة التالية:

$$HPO_4^{2-} + H^+ \rightleftharpoons H_2PO_4^-$$

لذلك نجد أن الشاردة الأحادية للفوسفات تسود في الوسط الحامضي، بينما يسود أيون الشاردة الثنائية في في الوسط القلوي، وعند (pH) متعادل (pH=7) يلاحظ وجود كلا هذين النوعين الأيونيين وبنسب متساوية تقريباً (الشكل ٥-٣).

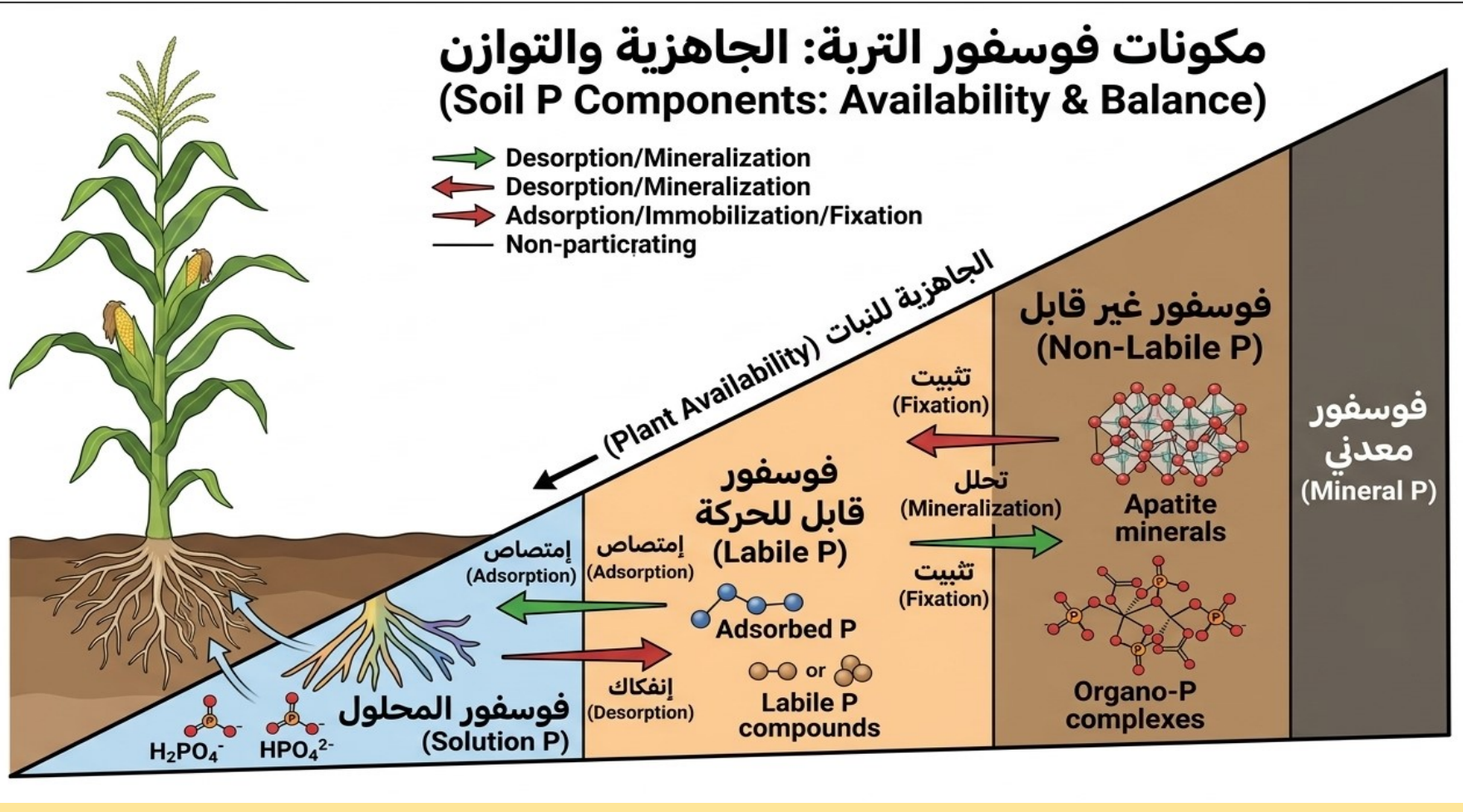
جاهزية الفوسفور للنبات:

يمكن، من وجهة نظر تغذية النبات، وضع الأشكال المختلفة لفوسفور التربة الآنفة الذكر في ثلاث صور أساسية تختلف في مستوى إتاحتها للنبات:

١- الفوسفور الذائب في محلول التربة Soluble – P: ويضم مركبات الفوسفور سهلة الذوبان، ويكون الفوسفور هنا متاحاً للنبات، لكن هذا الشكل من الفوسفور لا يشكل سوى جزء ضئيل من محتوى التربة الكلي من الفوسفور.

٢-الفوسفور المتحرك Labile–P: يشمل الفوسفور المدمص على سطوح الغرويات المعدنية والعضوية للتربة، وبعض المركبات الفوسفاتية المترسبة حديثاً سهلة الذوبان. ويمكن لجذور النبات أن تمتص هذا الجزء من فوسفور التربة بعد تحرره (انتزازه) أو ذوبانه في محلول التربة. ويعدّ هذا الجزء بمثابة المستودع الذي يمد محلول التربة بالفوسفور باستمرار وبشكل تدريجي بعد انخفاض محتواه من هذا العنصر نتيجة الامتصاص النباتي. وتتحدّد قدرة هذا الشكل على البقاء متاحاً للنبات على الزمن، والخصائص الفيزوكيميائية للتربة، والظروف البيئية المحيطة. فمع مرور الزمن تتحول عموماً الأشكال المتحركة المختلفة تدريجياً إلى أشكال أخرى أقل ذوباناً تقع ضمن الشكل الثابت أو المستقر.

٣-الفوسفور غير المتحرك Non labile–P: يضم المركبات الفوسفاتية صعبة الذوبان التي يتحرّر الفوسفور منها ببطء شديد، وتشمل مجموعات فلزات الأباتيت والفاريسيت والسترنجيت، بالإضافة للفوسفورالعضوي. ويشكّل حوالي (90%) من محتوى التربة الكلّي من الفوسفور. على الرغم من كون إتاحة هذا الجزء للنبات بطيئة جداً، فإنه لا يمكننا إهمال دوره في تغذية النبات لوجوده في حالة إتزان مستمر مع الفوسفور المتحرك.



المكونات الأساسية لفوسفور التربة من حيث جاهزيته للنبات، والتوازن القائم بينها

حجز الفوسفور في التربة Phosphorus Retention in Soil

يقصد بحجز الفوسفور Phosphorus Retention في التربة: تحوّل الأشكال الذائبة من الفوسفات (H_2PO_4, HPO_4^{2-}) سواءً الناتجة عن الأسمدة الفوسفاتية المضافة للتربة، أو عن تجوية الفلزات الأولية والثانوية الحاوية على الفوسفات، أو الناتجة عن معدنة المادة العضوية إلى أشكال قليلة الإتاحة أو غير متاحة للنبات. ويمكن أن تتم عملية الحجز هذه بآليات شتى أهمها الترسيب، والادمصاص.

١- حجز الفوسفور في الترب القاعدية والكلسية: يتم ذلك بآليات عدة، أهمها:

١ -١- الترسيب Precipitation: تحتوي الترب الكلسية والقاعدية على كميات وافرة من كاتيونات الكالسيوم والمغنزيوم ومركبات هذين العنصرين وبخاصة مركبات الكربونات مثل الكالسيت $CaCO_3$ والدولوميت $CaMg(CO_3)_2$. في مثل هذه الظروف تتفاعل الأنيونات الفوسفاتية مع كاتيونات الكالسيوم والمغنزيوم لتتكون مركبات فوسفاتية مختلفة في درجة ذوبانها، وبالتالي في مدى إتاحتها أو قابليتها لإفادة النبات:

$$Ca(H_2PO_4)_2 + Ca^{2+} \longrightarrow 2CaHPO_4 + 2H^+$$

Mono - Ca^2 - phosphate **Di-Ca-phosphate**

$$3CaHPO_4 + Ca^{2+} \longrightarrow Ca_4H(PO_4)_3 + H^+$$

Octa-Ca-phosphate

$$Ca_4H(PO_4)_3 + Ca^{2+} + H_2O \longrightarrow Ca_5(PO_4)_3OH + 2H^+$$

Hydroxy apatite

تتفاعل مع كربونات الكالسيوم لتتشكل فوسفات الكالسيوم الثلاثية:

$$Ca(H_2PO_4)_2 + 2CaCO_3 \rightarrow Ca_3(PO_4)_2 + 2CO_2 + 2H_2O$$

Tri-Ca-phosphate

وكما هو معروف فإن درجة ذوبان الفوسفات تنخفض وفق الترتيب التالي:

كما يمكن لأنيونات الفوسفات $PO_4^{3-} < HPO_4^{2-} < H_2PO_4^-$

كما أن ذوبان مركبات فوسفات الكالسيوم ينخفض وفق الترتيب التالي:

$$CaH(PO_4)_3.3H_2O \quad < \quad CaHPO_4.2H_2O \quad < \quad Ca(H_2PO_4)_2$$

Octa-Ca-phosphate Di-Ca-phosphate Mono-Ca-phosphate

$$Ca_5(PO_4)_3F_2 \quad < \quad Ca_5(PO_4)_3OH \quad <$$

Fluor apatite Hydroxy apatite

ويتضح مما سبق أن جزءاً كبيراً من الفوسفور المضاف أو المتحرّر في التربة نتيجة معدنة المادة العضوية وتجوية الفلزات الحاوية على الفوسفور سوف يتحول إلى صور غير ميسرة للنبات، وذلك لتحوله إلى فوسفور غير قابل للحركة Non Labile Phosphorus.

١-٢-الادمصاص على كربونات الكلسيوم: يمكن لأيونات الفوسفات، وبخاصة عند وجودها بتراكيز منخفضة، أن تُدمص على سطوح حبيبات كربونات الكالسيوم على شكل طبقة رقيقة بسماكة جزيء واحد من أيونات الفوسفات. ويتم هذا الادمصاص من خلال إحلال أيونين من الفوسفات($H_2PO_4^-$) مكان أيون واحد من الكربونات (CO_3^{2-})

ومع زيادة تركيز الفوسفات المضافة للتربة، وبمرور الزمن تتفاعل كربونات الكالسيوم أو المغنزيوم مع الفوسفات المدمصة ليكون الناتج النهائي عبارة عن فوسفات الكالسيوم الثلاثية أو فوسفات المغنزيوم الثلاثية صعبة الذوبان.

١-٣ - الادمصاص على فلزات الطين:

يستطيع الطين المشبع بالكالسيوم في التربة القاعدية وفي الترب خفيفة الحموضة (pH = 6.5) أن يجذب إلى سطحه أيونات الفوسفات، حيث تؤدي شوارد الكالسيوم دور الجسر الذي يربط الأيونات الفوسفاتية بفلز الطين. ويمكن تمثيل ذلك على النحو التالي:

$$Clay - Ca + H_2PO_4^- \longrightarrow Clay - Ca - H_2PO_4$$

ويعتقد أن الكمية المدمصة من الفوسفات بهذه الآلية تزداد بزيادة محتوى التربة من الطين من نموذج(2 : 1) وبخاصة فلز المونتموريونيت Montmorillonite.

Made with GAMMA

٢ - حجز الفوسفور في الترب الحامضية: يتم حجز الفوسفور في الترب الحامضية بإحدى الآليات التالية:

٢-١- الترسيب Precipitation :

يمكن لأنيونات الفوسفات أن تتفاعل في الترب الحامضية بسرعة مع كاتيونات الحديد والألمنيوم والمنغنيز أو أكاسيدها الموجودة بوفرة في مثل هذه الترب مشكلة مركبات ضعيفة الذوبان، كما هو موضّح في المعادلات التالية:

$$H_2PO_4^- + Fe^{3+} + H_2O \rightleftharpoons Fe(OH)_2H_2PO_4 + 2H^+$$

Stringite

$$H_2PO_4^- + Fe(OH)_3 \rightleftharpoons Fe(OH)_2H_2PO_4 + OH^-$$

Stringite

$$H_2PO_4^- + Al^{3+} + H_2O \rightleftharpoons Al(OH)_2H_2PO_4 + 2H^+$$

Variscite

$$H_2PO_4^- + Al(OH)_3 \rightleftharpoons Al(OH)_2H_2PO_4 + OH^-$$

Variscite

وعلى اعتبار أن **تركيز** (Al^{3+}) و (Fe^{3+}) في محلول التربة يفوق كثيراً تركيز $H_2PO_4^-$ في معظم الترب شديدة الحموضة (pH < 4) فإن التفاعلات بين أيونات الفوسفات وكاتيونات الحديد والألمنيوم تكون دائماً منزاحة باتجاه اليمين مشكلة مركبات الفوسفور غير الذاوية.

أمّا عند **ارتفاع pH** التربة الحامضية نتيجة لإضافة الكلس عبر عملية استصلاح هذه التربة، فإنه يمكن لهذه المركبات أن تبادل بعضاً من أنيونات الفوسفات مع أنيونات الهيدروكسيل (أو الأنيونات الأخرى).

لكن المبالغة في إضافة المركبات الكلسية عند استصلاح الترب الحامضية قد يؤدي إلى تحرير أنيونات الفوسفات المثبتة بكاتيونات الحديد والألمنيوم ومن ثم إعادة تثبيتها بواسطة كاتيونات الكالسيوم.

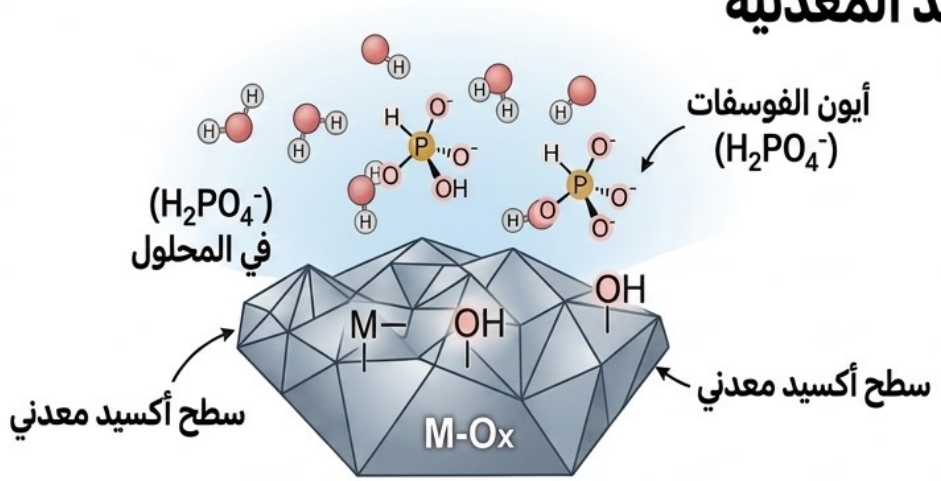
٢-٢ - الادمصاص على سطوح أكاسيد الحديد والألمنيوم: يمكن أن يتم ادمصاص أنيونات الفوسفات على سطوح أكاسيد الحديد والألمنيوم، من خلال مبادلتها مع أنيونات الهيدروكسيل:

$$= Fe - OH + H_2PO_4^- \quad \rightleftharpoons \quad = Fe - H_2PO_4 + OH^-$$

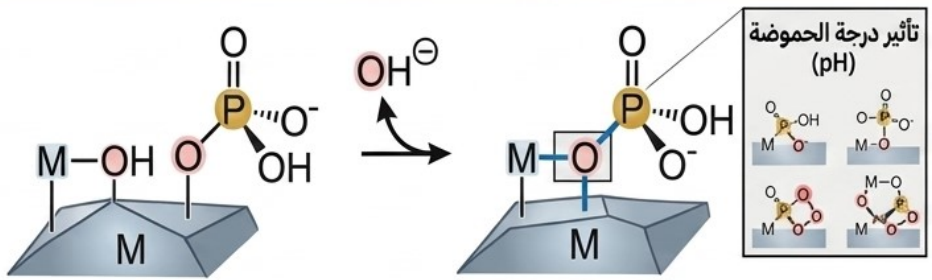
وقد يحدث ادمصاص مباشر لأنيونات الفوسفات على سطوح تلك الأكاسيد كما هو مبين في الشكل التالي. ويمكن القول أنّ هذا الادمصاص يتم على عدة مراحل. حيث يتم في المرحلة الأولى ادمصاص أنيون فوسفات $(H_2PO_4^-)$ نتيجة المبادلة مع أنيون هيدروكسيل (OH^-) وفي المرحلة الثانية تحرر الفوسفات المدمصة كاتيون هيدروجين (H^+) لتتشكل شحنة سالبة إضافية تمكنها من الارتباط بموقع ثانٍ على سطح الأكسيد بطريقة مشابهة لما تمّ فى المرحلة الأولى.

ويمكن للفوسفور أن يثبّت في الترب الحامضية بشكل طبقات متعاقبة في أكاسيد الحديد والألمنيوم، مما يجعل ادمصاص الفوسفور في الترب الحامضية شبه لا منتهٍ. ويدعى الفوسفور المحصور بين طبقات الحديد والألمنيوم بالفوسفور المحبوس Occluded-P. ولا يمكن للنبات أن يستفيد من هذا الفوسفور إلا في ظروف خاصة كما هو الحال في ظروف الغدق التي تشجع إرجاع (Fe^{3+}) إلى (Fe^{2+}) ليصبح الأكسيد عندئذ جيد الذوبان مما يساعد على تحرّر الفوسفور منه.

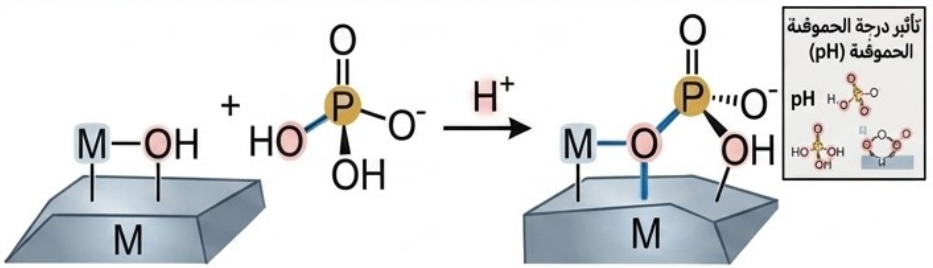
مراحل ادمصاص الفوسفات على سطوح الأكاسيد المعدنية



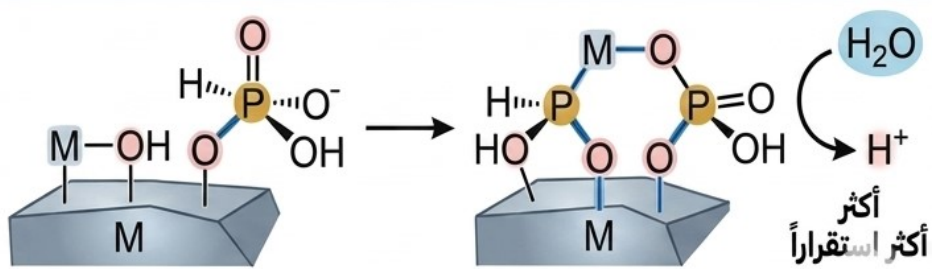
المرحلة 1: التلامس الأولي وتكوين الرابطة الأحادية



المرحلة 2: الارتباط الثنائي وتكوين الرابطة الأحادية



المرحلة 3: تكوين الرابطة الجسرية ثنائية السن



مراحل ادمصاص الفوسفات على سطوح الأكاسيد المعدنية

Made with GAMMA

٢ـ ٣ـ الادمصاص على سطوح فلزات الطين:

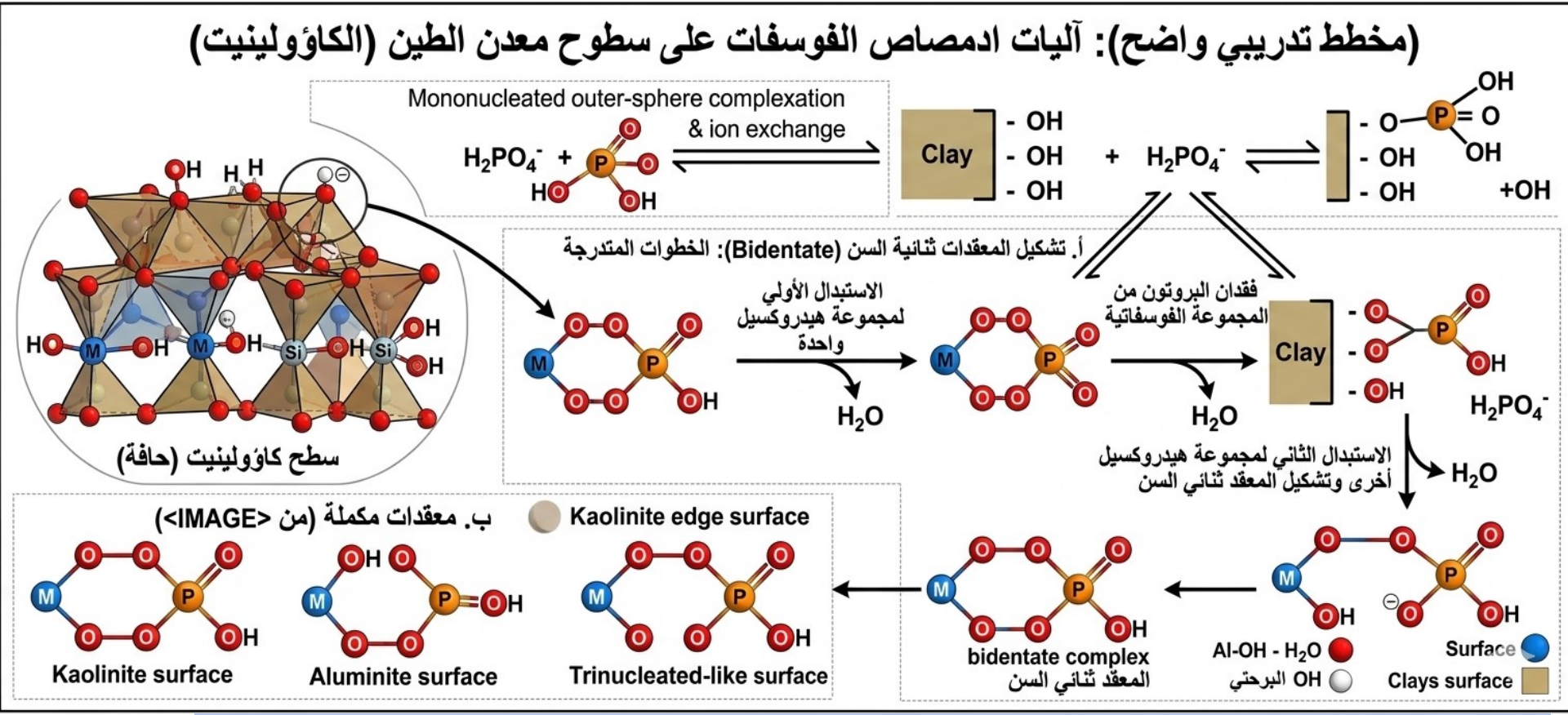
يمكن أن تدمص أنيونات الفوسفات على سطوح فلزات الطين، وبخاصة فلز **الكاؤولينيت**، في ظروف الترب المائلة **للحموضة**.

ويُعتقد أن هناك تبادلاً أنيونياً يحدث بين أنيون الفوسفات وأنيون هيدروكسيل (أو أكثر) موجود في الهيكل البنائي لفلز الطين.

وقد تحدث عملية إحلال أيوني متماثل Isomorphous Ion Substitution لأنيون الفوسفات مكان أنيون السيليكات في شريحة رباعيات الوجوه Tetrahedral.

حيث أشارت نتائج بعض الدراسات إلى أن تركيز السيليكات في معلق التربة يزداد بزيادة كمية الفوسفات المضافة. وفي كافة الأحوال فإن حجز الفوسفور بهذه الطريقة يجعله **غير ميسرٍ للنبات**.

Made with GAMMA



ادمصاص الفوسفات على سطوح فلز الكاؤولينيت

العوامل المؤثرة في تثبيت الفوسفور

نموذج فلز الطين

تتصف الترب الغنية بفلزات الطين من نموذج **(1:1) كالكاؤولينيت** بقدرة أكبر على تثبيت الفوسفور من تلك الغنية بالنموذج (1:2)، نظراً لتعرّض مجموعات الهيدروكسيل المرتبطة بذرة الألمنيوم في طبقة رباعيات الوجوه.

نسبة الطين في التربة

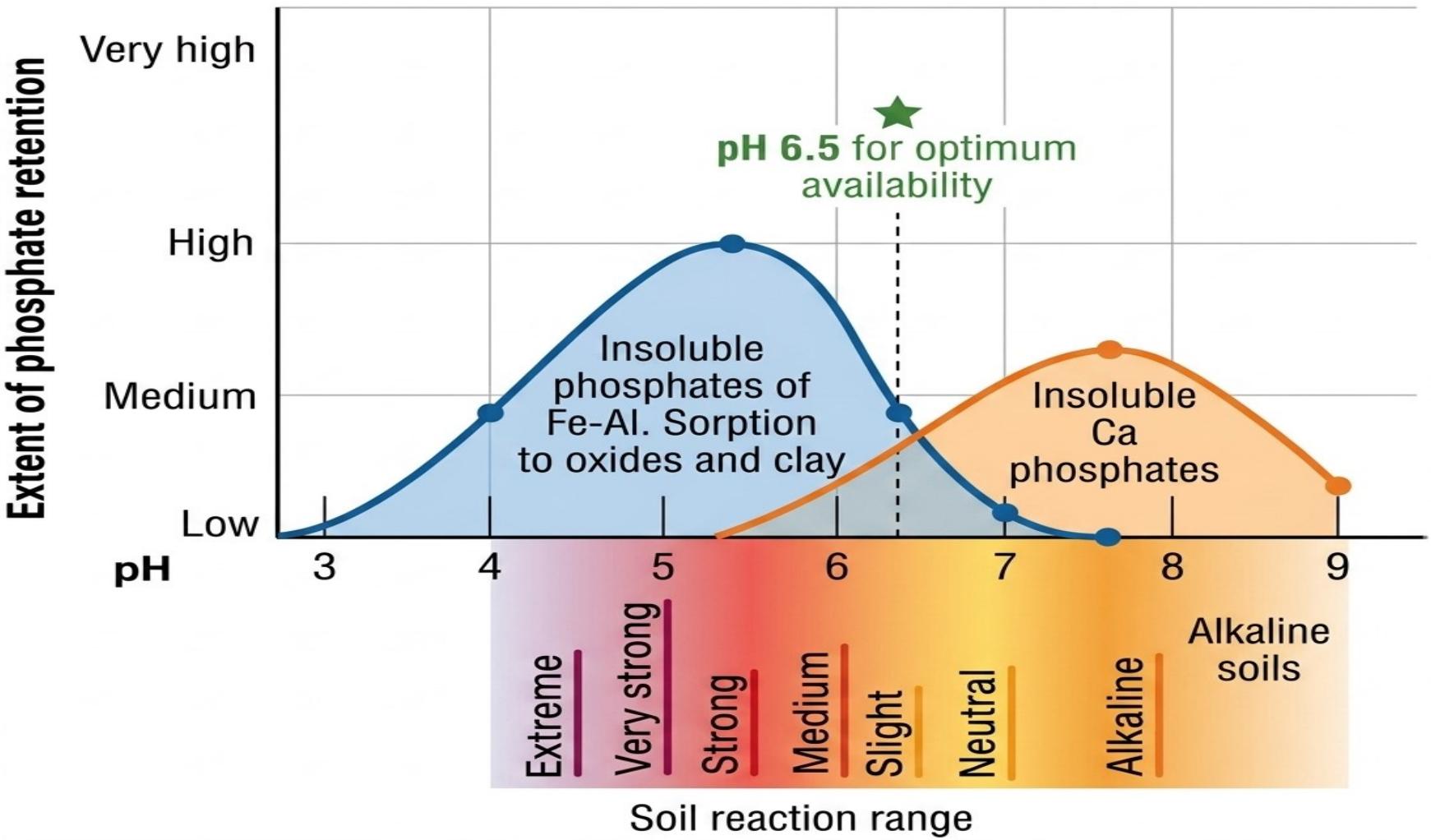
تزداد الكمية المثبتة من الفوسفور عموماً بزيادة النسبة المئوية للطين، إذ تُعدّ جزيئات الطين الدقيقة من أهم المواقع الفعّالة لتثبيت الفوسفات.

تفاعل pH التربة

يُعدّ تفاعل التربة من أكثر العوامل تأثيراً في حركية الفوسفور. الكمية المثبتة تبلغ حدها الأدنى عند pH = 6.5، مما يعني أن إتاحة الفوسفور للنبات تكون في أقصاها عند هذه الدرجة.

زمن التفاعل

كلما زاد **زمن التلامس** بين أيونات الفوسفات ومكونات التربة، زادت الكمية المثبتة يوصى عملياً بمراعاة زمن التفاعل عند تحديد طريقة إضافة السماد الفوسفاتي دفعة واحدة أم على دفعات متعددة.


Extent of phosphate retention
Very high
High
Medium
Low
pH 6.5 for optimum availability
Insoluble phosphates of Fe-Al. Sorption to oxides and clay
Insoluble Ca phosphates
pH
3
4
5
6
7
8
9
Extreme
Very strong
Strong
Medium
Slight
Neutral
Alkaline
Alkaline soils
Soil reaction range

تأثير المادة العضوية فى إتاحة الفوسفور

تؤثر المادة العضوية في التربة **إيجاباً** في إتاحة الفوسفور عبر آليات متعددة:

انطلاق غاز CO_2

عبر معدنة المادة العضوية والنشاط الميكروبيولوجي، مما يخفّض pH التربة ويزيد من ذوبان المركبات الفوسفاتية.

تغليف أكاسيد الحديد والألمنيوم

تعمل الغرويات العضوية على تغليف الأكاسيد المائية للحديد والألمنيوم، مما يقلل من فرص اتحادها مع الفوسفات.

تنافس الأنيونات العضوية

أنيونات مثل الهيومات، السترات، الطرطرات، الأوكزالات تتنافس مع الفوسفات على مواقع الادمصاص أو تتبادل معها.

المادة العضوية كمصدر للفوسفور

تُعدّ المادة العضوية بحد ذاتها مصدراً للفوسفور يتحرّر بصورة قابلة للإفادة من خلال عملية المعدنة.

معقدات الدبال–حديد–فوسفات

يرتبط الدبال مع أنيونات الفوسفات عبر جسور كاتيونية من الحديد أو الألمنيوم لتتشكل معقدات دبال–حديد–فوسفات يستفيد منها النبات بسهولة.

عوامل إضافية مؤثرة في تثبيت الفوسفور

نسبة SiO_2 / R_2O_3

تزداد الكمية المثبتة من الفوسفور مع **انخفاض نسبة** SiO_2/R_2O_3 كما يحصل في الترب الحامضية، نتيجة ارتفاع محتوى أكاسيد الحديد والألمنيوم وفقد السيليكا بالغسل.

درجة الحرارة

تزداد الكمية المثبتة من الفوسفور بزيادة درجة الحرارة. تثبيت الفوسفور في ترب المناطق **الحارة** أكبر مما هو عليه في ترب المناطق **المعتدلة**.

التأثير الفيزيولوجي للأسمدة

إضافة الأسمدة ذات التأثير الفيزيولوجي **الحامضي** كالأسمدة الأمونياكية تساعد على زيادة ذوبان الفوسفات وبالتالي تزداد الكمية القابلة للإفادة.

ملخص : كلما انخفضت نسبة SiO_2/R_2O_3 وارتفعت درجة الحرارة، ازداد تثبيت الفوسفور وقلّت إتاحته للنبات - مما يستوجب تعديل برامج التسميد وفقاً للظروف البيئية.

فقد وكسب الفوسفور في التربة

مصادر كسب الفوسفور

التسميد المعدني: المصدر الأساسي لإضافة الفوسفور القابل للإفادة إلى التربة.

المخلفات والبقايا العضوية : الفوسفور المتحرر من الأسمدة العضوية والمخلفات النباتية والحيوانية.

الفلزات الحاوية على الفوسفور: تساهم في إغناء التربة بالأشكال القابلة للإفادة من الفوسفور.

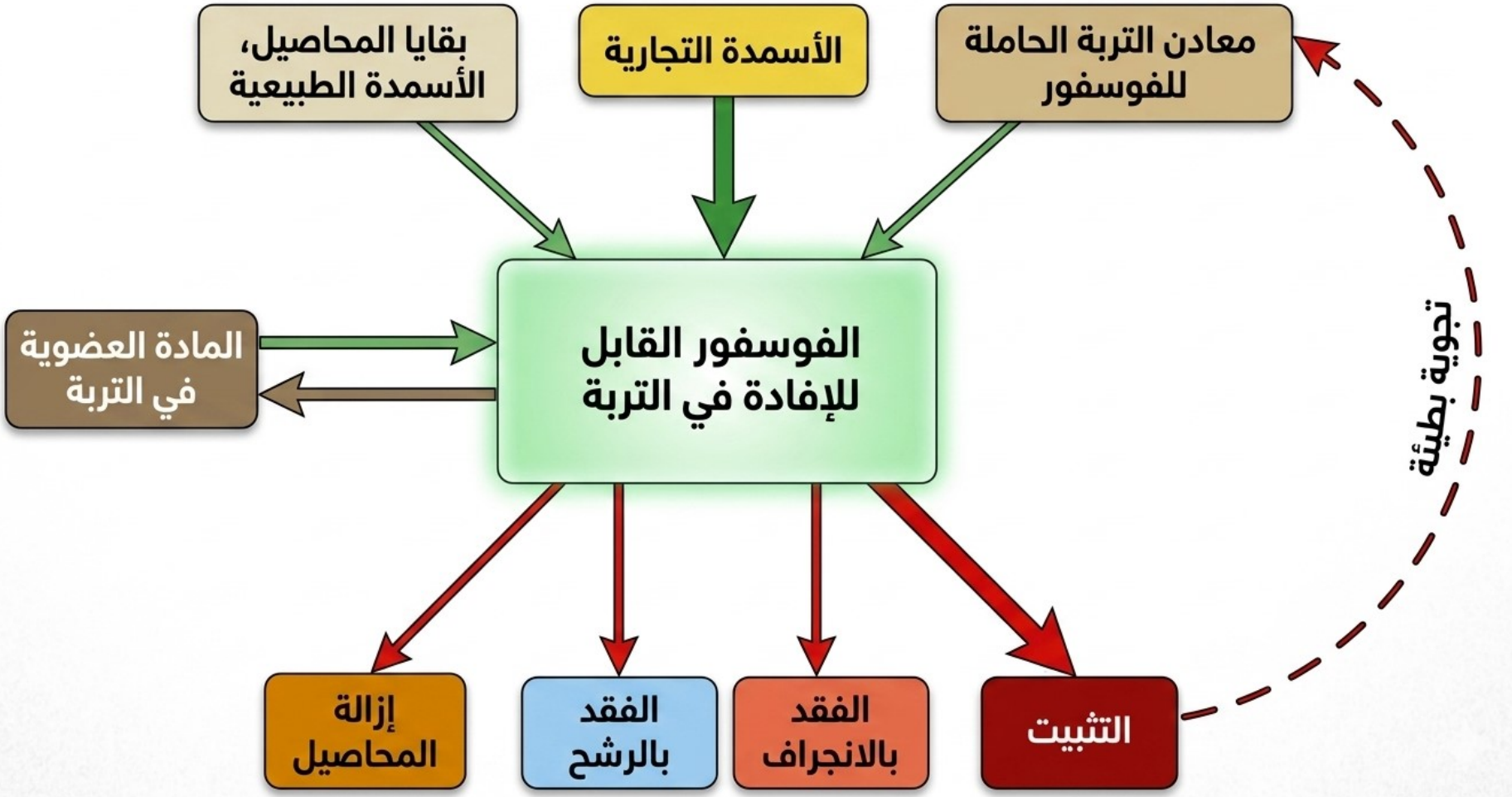
مصادر فقد الفوسفور

الإزاحة بواسطة المحصول :المصدر الأساسي لفقد الفوسفور القابل للإفادة من التربة.

الانجراف :فقد الفوسفور المرتبط بجزيئات التربة عبر الانجراف المائي والريحي.

الغسل :انتقال الفوسفور إلى أعماق التربة بعيداً عن منطقة الجذور.

مخطط توضيحي لمصادر فقد وكسب الفوسفور القابل للإفادة في التربة (عن Brady, 1996)



الفوسفور في النبات ـــالتوزيع والتركيز

أعلى تركيز

البذور والثمار والقمم النامية تحتوي على **أعلى محتوى من الفوسفور** مقارنةً بالأجزاء النباتية الأخرى.

المتوسط العام

متوسط محتوى النبات من الفوسفور في المادة الجافة وسطياً **0.5%**

التغيّر مع العمر

يتناقص تركيز الفوسفور ضمن الأنسجة النباتية عموماً بتقدّم النبات في العمر.

يختلف محتوى النبات من الفوسفور باختلاف **النوع النباتي**، وباختلاف **الجزء النباتي** ضمن النوع الواحد، وباختلاف **مرحلة النمو**.

الوظائف الفيزيولوجية للفوسفور في النبات

الأحماض النووية

يدخل في تكوين **DNA** و**RNA**، ويؤدّي دوراً كبيراً في انقسام الخلايا النباتية.

الأغشية الخلوية

يدخل في تركيب الفوسفوليبيدات الضرورية لتكوين الأغشية الخلوية.

مركبات الطاقة

يدخل في تركيب ADP و ATP الغنية بالطاقة، وفي تركيب المرفقات الأنزيمية NAD و NADP

استقلاب الكربوهيدرات

أول مركبات التركيب الضوئي هو حمض الغليسريك الفوسفوري، ومكوّن أساسي لـ Glucose-1-phosphate و Fructose-6-phosphate.

تخزين الفوسفور في البذور

يُخزَّن بصورة عضوية **فيتين Phytin** لتأمين حاجة البادرات بعد الإنبات مباشرة.

تشكّل الثمار ونضجها

ضروري لتشكّل الثمار والسنابل، ويُسرّع النضج بطريقة غير مباشرة من خلال تخفيض الكميات الممتصة من النتروجين.

Made with GAMMA

امتصاص الفوسفور وأعراض النقص

الأشكال الأيونية الممتصة

الامتصاص يتم بآلية فعّالة **Active Absorption** ضد منحدر التركيز

فوسفات أحادية ($H_2PO_4^-$): سائدة عند pH حامضي (الصورة المفضلة للامتصاص).

فوسفات ثنائية (HPO_4^{2-}): سائدة عند pH قاعدي.

الفوسفور العضوي : فيتين وأحماض نووية: (يُمتص بعد تحريره بمساعدة أنزيمات على سطح الجذر).

تأثير العناصر الأخرى على الامتصاص

المغنزيوم : يزيد من الكمية الممتصة وينشّط انتقال الفوسفور ضمن النبات

SO_4^{2-}، Cl^-، NO_3^- : تقلّل الكمية الممتصة من الفوسفور

دور فطريات المايكوريزا

توسيع نطاق الاستغلال: تصل هيفات المايكوريزا إلى مناطق في التربة **لا تصلها جذور النبات**.

إذابة المركبات الفوسفاتية: تؤثّر المفرزات الحامضية للمايكوريزا في إذابة المركبات الفوسفاتية **ضعيفة الذوبان**.

تميّز النباتات البقولية: تفرز كميات أكبر من المفرزات الجذرية التي **تُذيب المركبات الفوسفاتية**، وتمكّن جذور البقوليات من ادمصاص أكبر لكاتيونات الكالسيوم

أعراض نقص الفوسفور في النبات

الفوسفور **عنصر متحرك** - تظهر الأعراض أولاً على **الأوراق القديمة**:

- تلوّن الأوراق القديمة باللون **الأخضر الداكن أو الأخضر المزرق الباهت** نتيجة زيادة الكلوروفيل.
- تلوّن أوراق البقوليات باللون **الأصفر** مشابهاً لنقص النتروجين.
- ظهور تلوّنات **حمراء أو بنفسجية أو أرجوانية** بسبب زيادة تخليق صبغة الأنتوسيانين.
- ضعف نمو المجموع الجذري وتقليل تفرعاته الجانبية مع تلوّنها بالبني.
- انخفاض معدل نمو النبات وانخفاض نسبة المادة الجافة للمجموع الخضري إلى الجذور.
- انخفاض معدل تشكّل الثمار والبذور وتأخّر النضج مع السقوط المبكر.
- انخفاض مقدرة النبات على **تحمّل الصقيع.**

زيادة الفوسفور في النبات

نادراً ما تظهر أعراض زيادة الفوسفور في الظروف الطبيعية، وذلك بسبب تعرّض الفوسفور للتثبيت في التربة بآليات وصور شتى كما أُشير إليه سابقاً.

تأثيرات زيادة الفوسفور على امتصاص العناصر الأخرى

الزنك والحديد

تؤدي **زيادة** الفوسفور إلى **إعاقة امتصاص الزنك والحديد** وانتقالهما ضمن النبات.

عناصر أخرى

تختل التغذية بكل من النحاس، المنغنيز، البورون، البوتاسيوم، والكالسيوم عند زيادة الفوسفور.

تعجيل نضج الثمار

يمكن أن تؤدي إضافة كمية **زائدة من الأسمدة الفوسفاتية** إلى الإسراع في نضج الثمار بطريقة غير مباشرة من خلال خفض الكمية الممتصة من **النتروجين**.

أعراض نقص الفوسفور على بعض النباتات

إلى اللقاء في المحاضرة القادمة

المرجع: - عودة وشمشم(٢٠١١) : كتاب خصوبة التربة وتغذية النبات- منشورات جامعة حمص.

ملاحظة: تمَّ تطوير بعض الرسوم البيانية بالاستعانة بالذكاء الصنعي .