

فسفر

مقدمه

○ نیاز گیاه به فسفر کمتر از سایر عناصر اصلی اما مهمترین بعد از نیتروژن

○ مقدار کل فسفر خاک سطحی: 0.005-0.15%

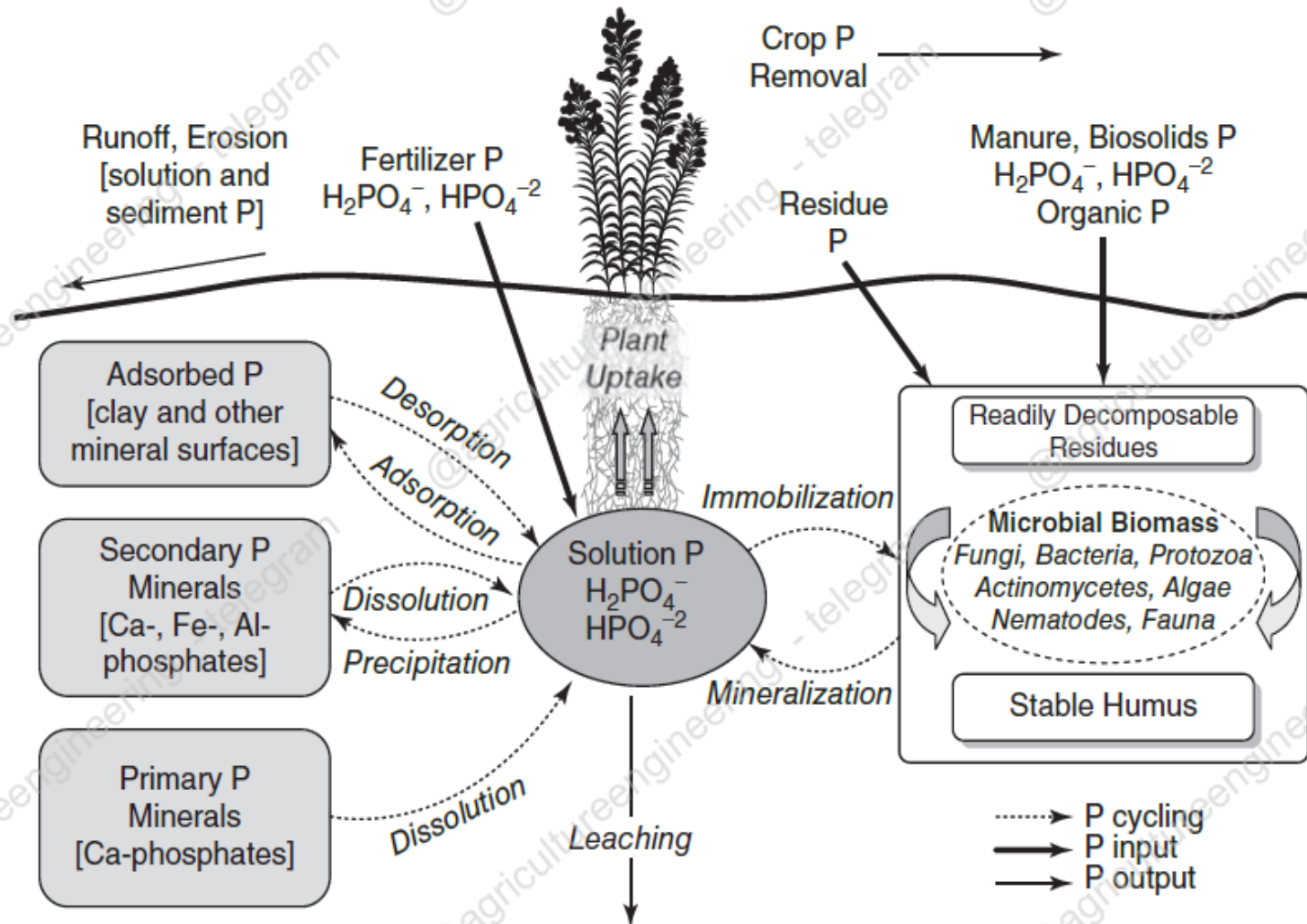
○ در خاک های زراعی: متوسط 0.06%

○ کاهش با هوادیدگی: مناطق مرطوب و استوایی < مناطق خشک

○ مقدار کل و مقدار قابل استفاده گیاه

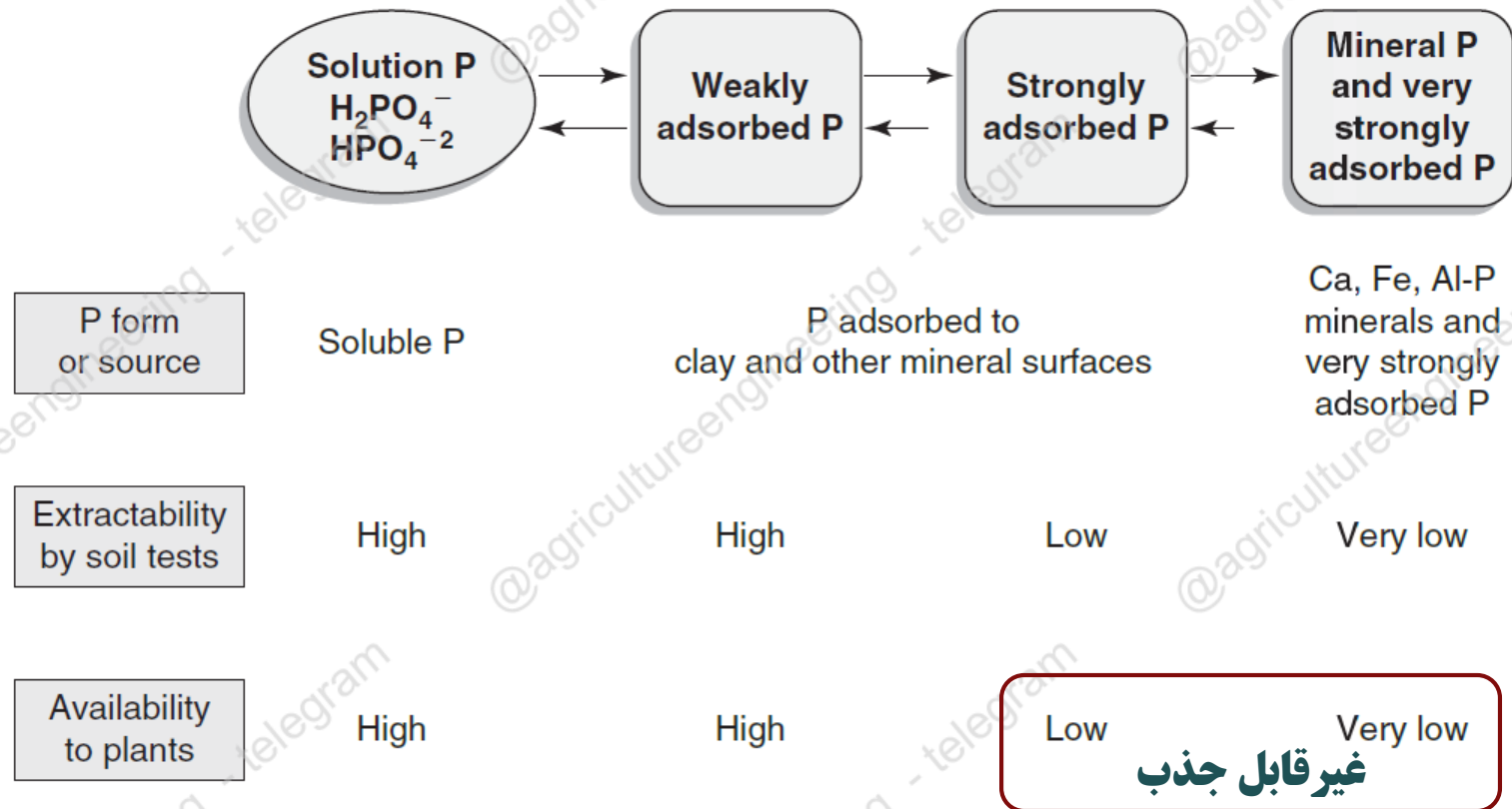
○ اهمیت شناخت عوامل موثر بر قابلیت جذب فسفر

چرخه فسفر: شدت، ظرفیت، قدرت بافری

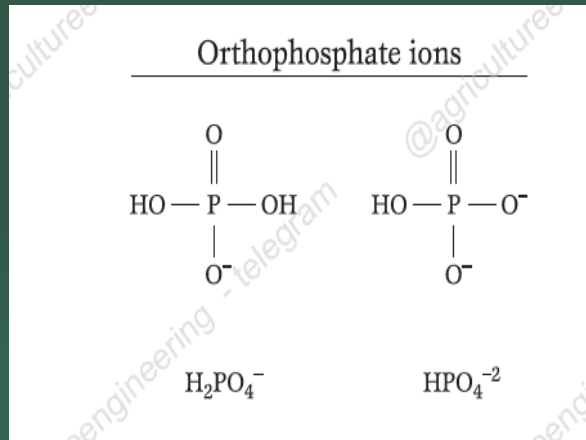


قابلیت نسبی استفاده فسفر معدنی برای گیاه

○ مخزن قابل جذب: محلول و ضعیف جذب سطحی شده



اشکال فسفر در گیاه



غلظت بسیار کمتر از N و K: 0.1-0.5%

شکل قابل جذب:

ارتوفسفات (H_2PO_4^- و HPO_4^{2-})، بسته به pH

فرضیه جذب ترکیبات آلی کوچک (فیتین و نوکلئیک اسید):

تبدیل به ارتوفسفات در ریزوسفر

نقش فسفر در گیاه

❖ ذخیره و انتقال انرژی

❖ پول انرژی گیاه: ADP و ATP

❖ جدا شدن H_2PO_4^- انتهایی ATP یا ADP :

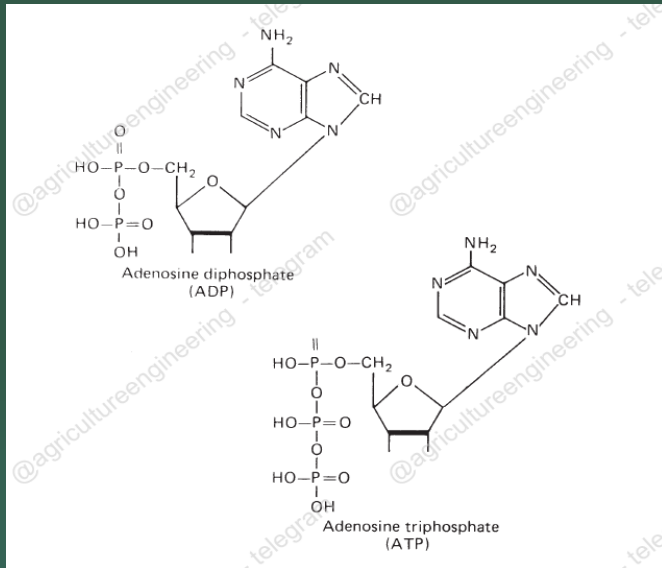
❖ آزادسازی انرژی شیمیایی زیاد (12000 Cal/mol)

❖ ذخیره انرژی حاصل از فتوسنتز و متابولیسم کربوهیدراتها:

❖ ذخیره به شکل ترکیبات فسفر برای رشد رویشی و زایشی

❖ تولید و مصرف ATP و ADP: نیازمند مشتقات فسفر

نقش فسفر در گیاه



فسفر یلاسیون (Phosphorilation):

انتقال H_2PO_4^- از ATP به ترکیبات نیازمند انرژی

تبدیل ATP به ADP جهت تولید انرژی:

نقش ADP و ATP در گیاه

Membrane transport

Cytoplasmic streaming

Photosynthesis

Protein biosynthesis

Phospholipid biosynthesis

Nucleic acid synthesis

Generation of membrane electrical potentials

Respiration

Biosynthesis of cellulose, pectins, hemicellulose, and lignin

Lipid biosynthesis

Isoprenoid biosynthesis → steroids and gibberellins

RNA and DNA

نقش فسفر در گیاه: برای رشد رویشی و زایشی قوی

- جز ضروری DNA و RNA حاوی کد ژنتیکی برای تولید پروتئین و سایر ترکیبات
- فسفولیپید، فسفوپروتئین و نوکلئوتیدها: ساختار و عملکرد غشای سلولی
- رشد ریشه و رشد و نمو میوه و بذر
- تسریع بلوغ میوه و زمان رسیدگی (Ripening)
- افزایش استحکام ساقه و کلش غلات
- افزایش ظرفیت تثبیت N₂ در لگوم ها
- تحمل در برابر بیماری به ویژه کاهش پوسیدگی ریشه (Root-rot) در غلات
- بهبود کیفیت برخی میوه ها، سبزیجات، علوفه و دانه غلات

نشانه های کمبود فسفر

- **عنصر پویا:** علائم در برگ پیر
- پاسخ گیاه به کوددهی در مراحل اولیه رشد
- انتقال به دانه و میوه در مرحله زایشی: تاثیر کمبود بر رسیدگی میوه و توسعه دانه
- رایج ترین نشانه ظاهری: کوتولگی کل گیاه و سبز تیره شدن برگ
- پیشرفت کمبود: سبز مایل به خاکستری و آبی
- در چغندر قند: ظهور در مراحل اولیه، سبز تیره و سپس قهوه ای
- رنگ بنفش در نوک و گسترش در امتداد حاشیه برگ: تجمع قند و آنتوسیانین

فسفر: میکوریزا

کمبود در بوته های جوان در هوای سرد و مرطوب:

- کاهش پخشیدگی
- حجم کم ریشه

نقش مایکوریزا

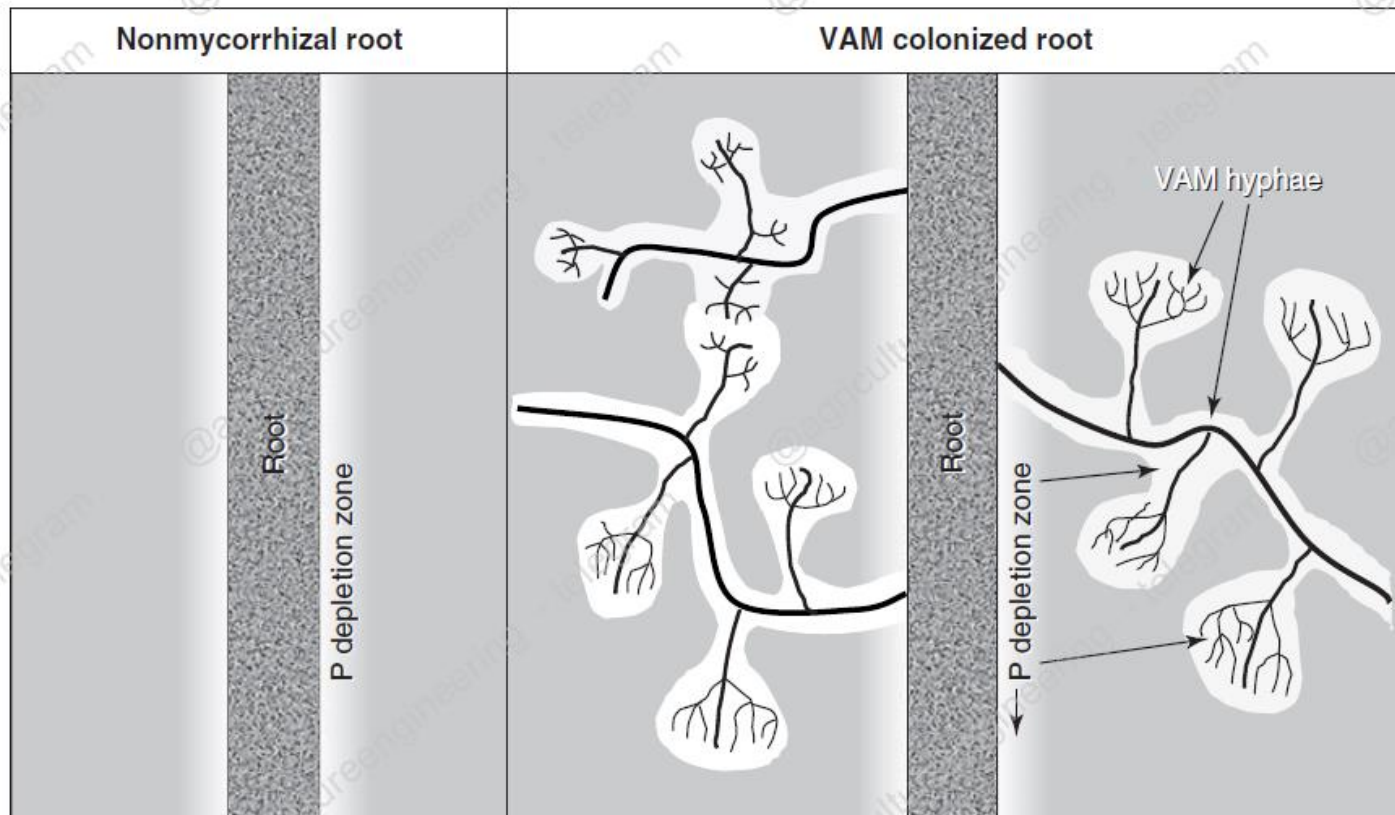
- اکتومیکوریزا: در درختان
- اندومیکوریزا (VAM: vesicular arbuscular): همه گیاهان

ویژگی گیاهان وابسته به میکوریزا:

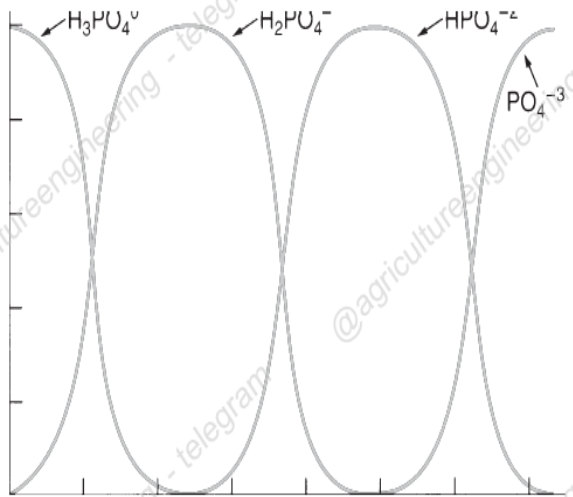
- سطح کم ریشه
- تارهای کشنده کم یا کوتاه
- سرعت کم رشد
- کاهش ترشحات ریشه

نقش میکوریزا در جذب فسفر

تاثیر میکوریزا بر حجم ریشه مورد استفاده برای جذب فسفر



اشکال فسفر در خاک



فسفر محلول خاک بسته به pH

در $\text{pH} = 7.2$: $\text{HPO}_4^- = \text{H}_2\text{PO}_4^-$

در $\text{pH} > 7.2$: $\text{HPO}_4^- > \text{H}_2\text{PO}_4^-$

در $\text{pH} < 7.2$: $\text{HPO}_4^- < \text{H}_2\text{PO}_4^-$

سرعت جذب توسط گیاه: $\text{HPO}_4^- < \text{H}_2\text{PO}_4^-$

غلظت محلول: 10^{-7} - 10^{-4} M یا 0.003-3 ppm

اشکال فسفر در خاک: سهم فسفر محلول در جذب گیاه

مقدار فسفر محلول مورد نیاز گیاه بستگی دارد به:

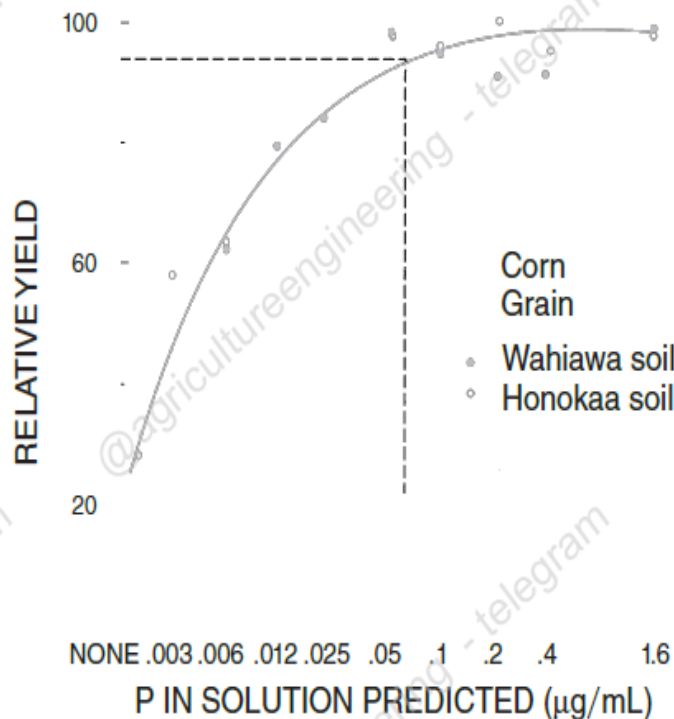
نوع گیاه

عملکرد گیاه

مثال: غلظت فسفر در ذرت:

عملکرد پایین: 0.01 ppm

عملکرد بالا: >0.05 ppm



اشکال فسفر در خاک: سهم فسفر محلول در جذب گیاه

سوال: اگر در غلظت کم فسفر محلول (0.05 ppm)، برای رفع نیاز گیاه (0.3%)، چندبار محلول خاک باید تجدید شود؟

Solution P = 0.3 ppm = ? Kg P/ha

$$0.3 \text{ ppm } P = \frac{0.3 \text{ mg } P}{L \text{ Solution}}$$

تخمین حجم آب خاک (L) تا عمق 30 cm:

$$\frac{10,000 \text{ m}^2}{\text{ha}} \times 0.3 \text{ m} = \frac{3 \times 10^3 \text{ m}^3 \text{ soil}}{\text{ha} - 30 \text{ cm}}$$
$$\frac{3 \times 10^3 \text{ m}^3}{\text{ha} - 30 \text{ cm}} \times \frac{1 \text{ L}}{1 \times 10^{-3} \text{ m}^3} = \frac{3 \times 10^6 \text{ L soil}}{\text{ha} - 30 \text{ cm}} \quad [\text{see note below}]$$

Assume volumetric soil water content = 18%

$$\frac{3 \times 10^6 \text{ L soil}}{\text{ha} - 30 \text{ cm}} \times 0.18 = \frac{5.4 \times 10^5 \text{ L solution}}{\text{ha} - 30 \text{ cm}}$$
$$\frac{5.4 \times 10^5 \text{ L solution}}{\text{ha} - 30 \text{ cm}} \times \frac{0.3 \text{ mg } P}{L \text{ solution}} = \frac{1.62 \times 10^5 \text{ mg } P}{\text{ha} - 30 \text{ cm}} \times \frac{\text{g}}{10^3 \text{ mg}} \times \frac{\text{kg}}{10^3 \text{ g}}$$
$$= \frac{0.16 \text{ kg } P}{\text{ha} - 30 \text{ cm}}$$

اشکال فسفر در خاک: سهم فسفر محلول در جذب گیاه

سوال: اگر در غلظت کم فسفر محلول (0.05 ppm)، برای رفع نیاز گیاه (0.3%)، چندبار محلول خاک باید تجدید شود؟

Since we are basing these estimates on the surface 30 cm or 1 ft soil depth, we assume 25% of total rooting depth (120 cm or 4 ft.).

$$\frac{0.16 \text{ kg P}}{\text{ha} - 30 \text{ cm}} \times 0.25 = \frac{0.04 \text{ kg P}}{\text{ha} - 30 \text{ cm}}$$

Thus, 0.3 ppm P in solution represents 0.04 kg P/ha; however, plants generally require 0.3–0.5 kg P/ha/day (Fig. 5-10). Therefore, soil solution P must be resupplied about 10 times each day. Under P deficiency where solution P is tenfold less at 0.03 ppm P (Fig. 5-9), then only 0.004 kg P/ha is available and solution P must be resupplied about 100 times each day.

Note:

Converting ppm to mg/L:

$$0.3 \text{ ppm P} = \frac{0.3 \text{ g P}}{10^6 \text{ g H}_2\text{O}} \times \frac{10^3 \text{ mg}}{\text{g}} \times \frac{1 \text{ g H}_2\text{O}}{\text{mL}} \times \frac{10^3 \text{ mL}}{\text{L}} = \frac{0.3 \text{ mg P}}{\text{L solution}}$$

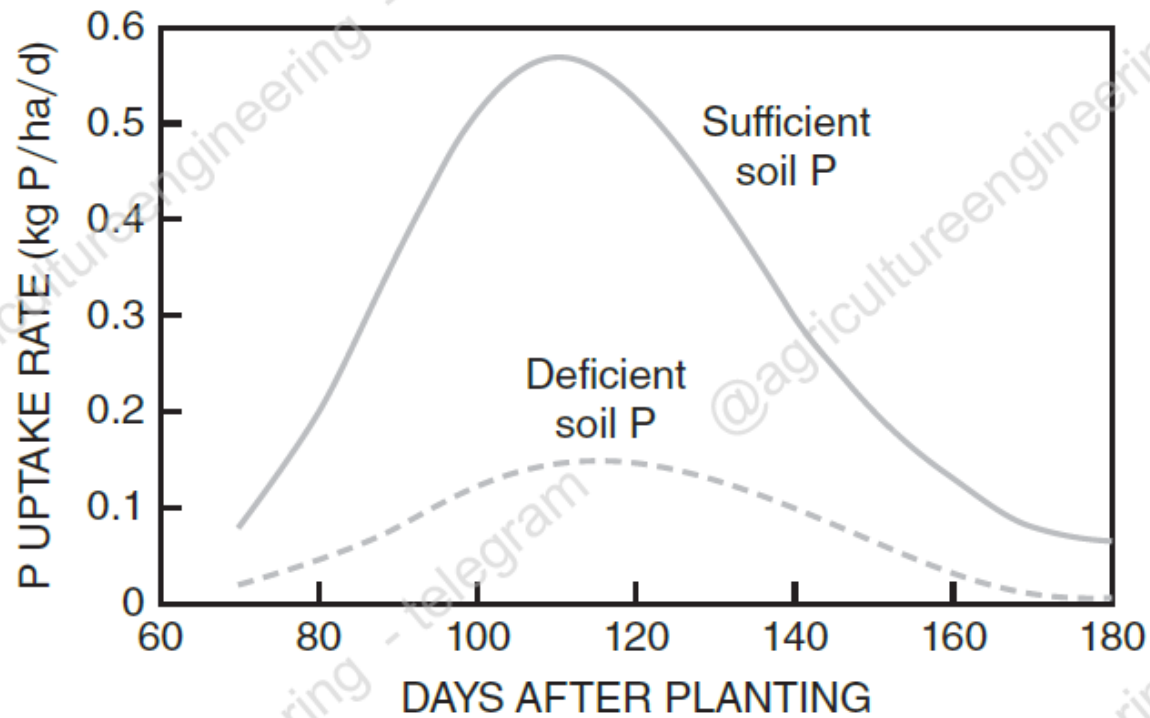
Converting m³ to L:

$$\frac{1 \text{ mL}}{\text{cm}^3} \times \frac{\text{L}}{10^3 \text{ mL}} \times \left(\frac{10^2 \text{ cm}}{\text{m}} \right)^3 = \frac{\text{L}}{1 \times 10^{-3} \text{ m}^3}$$

where,

$$\left(\frac{10^2 \text{ cm}}{\text{m}} \right)^3 = \frac{10^6 \text{ cm}^3}{\text{m}^3}$$

روند جذب فسفر در شرایط کمبود و کفایت فسفر خاک توسط جو



ضریب و سرعت پخشیدگی یون های مختلف

لزوم انتقال یون به نوک ریشه (محل فعال جذب):

پخشیدگی

جریان توده ای

مثال: سهم جریان توده ای در غلظت P محلول 0.05 ppm، شدت تعرق

400 و غلظت فسفر گیاه 0.3% ؟

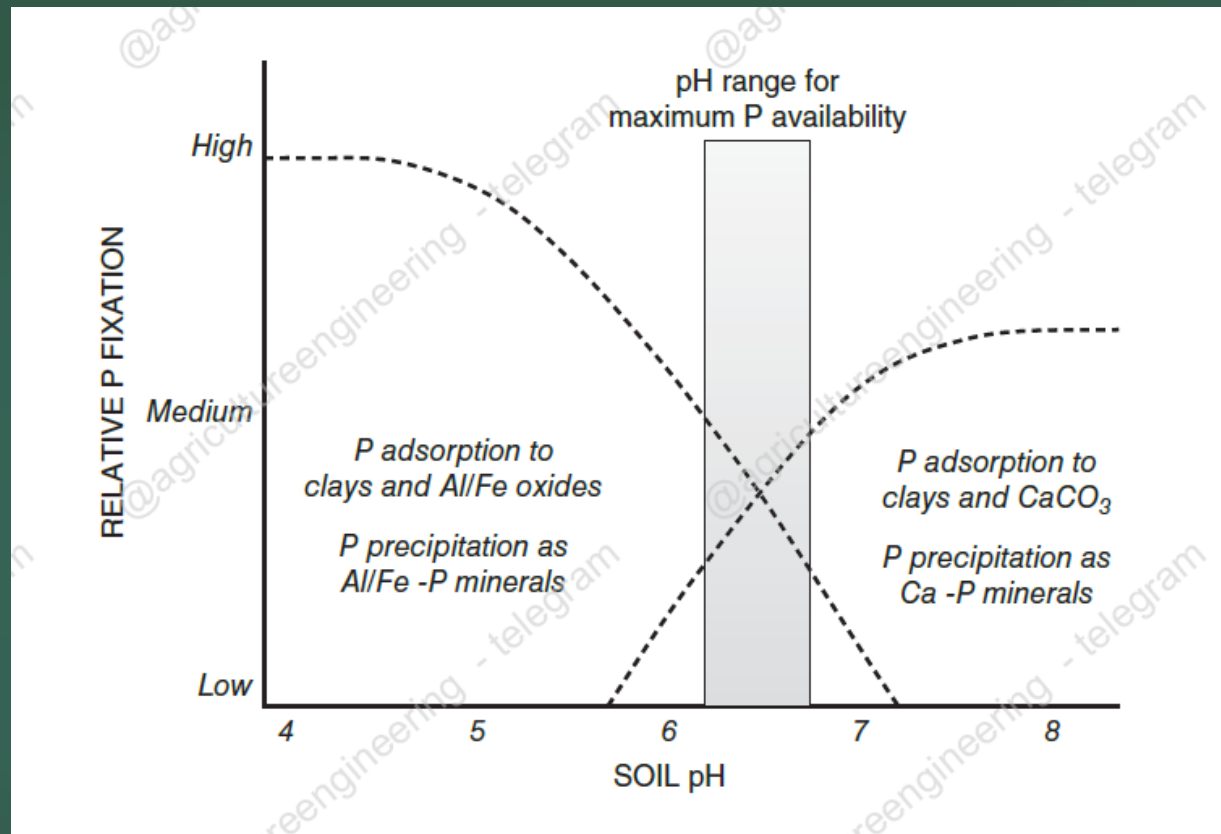
$$\frac{400 \text{ g H}_2\text{O}}{\text{g plant}} \times \frac{100 \text{ g plant}}{0.3 \text{ g P}} \times \frac{0.05 \text{ g P}}{10^6 \text{ g H}_2\text{O}} \times 100 = 0.67\%$$

Diffusion Coefficient

Ion	Range	Average	Diffusion Rate
	————— m^2/sec —————		mm/day
NO_3^-	10^{-10} to 10^{-11}	5×10^{-11}	3.0
K^+	10^{-11} to 10^{-12}	5×10^{-12}	0.9
$H_2PO_4^-$	10^{-12} to 10^{-15}	1×10^{-13}	0.13

فسفر معدنی خاک

- سرنوشت فسفر معدنی محلول: تثبیت (Fixation)
- جذب سطحی (Adsorption): در غلظت کم P محلول
 - رسوب (Precipitation): در غلظت بالای P محلول ($>KSP$)



تأثیر pH بر تثبیت (رسوب و جذب سطحی) فسفر

فسفر معدنی خاک: حلالیت کانی فسفر

کانی های غالب:

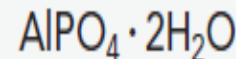
Al-P و Fe-P خاک اسیدی
Ca-P در خاک آهکی

بافر شدن فسفر محلول خاک

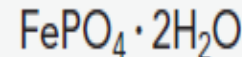
- آزاد شدن جذب سطحی
- حلالیت کانی
- معدنی شدن فسفر آلی

Acid soils

Variscite

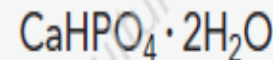


Strengite

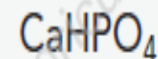


Neutral and calcareous soils

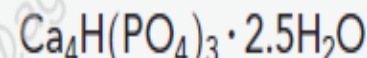
Dicalcium phosphate dihydrate (DCPD)



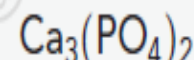
Dicalcium phosphate (DCP)



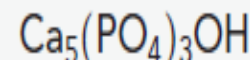
Octacalcium phosphate (OCP)



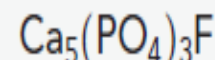
β -tricalcium phosphate (β -TCP)



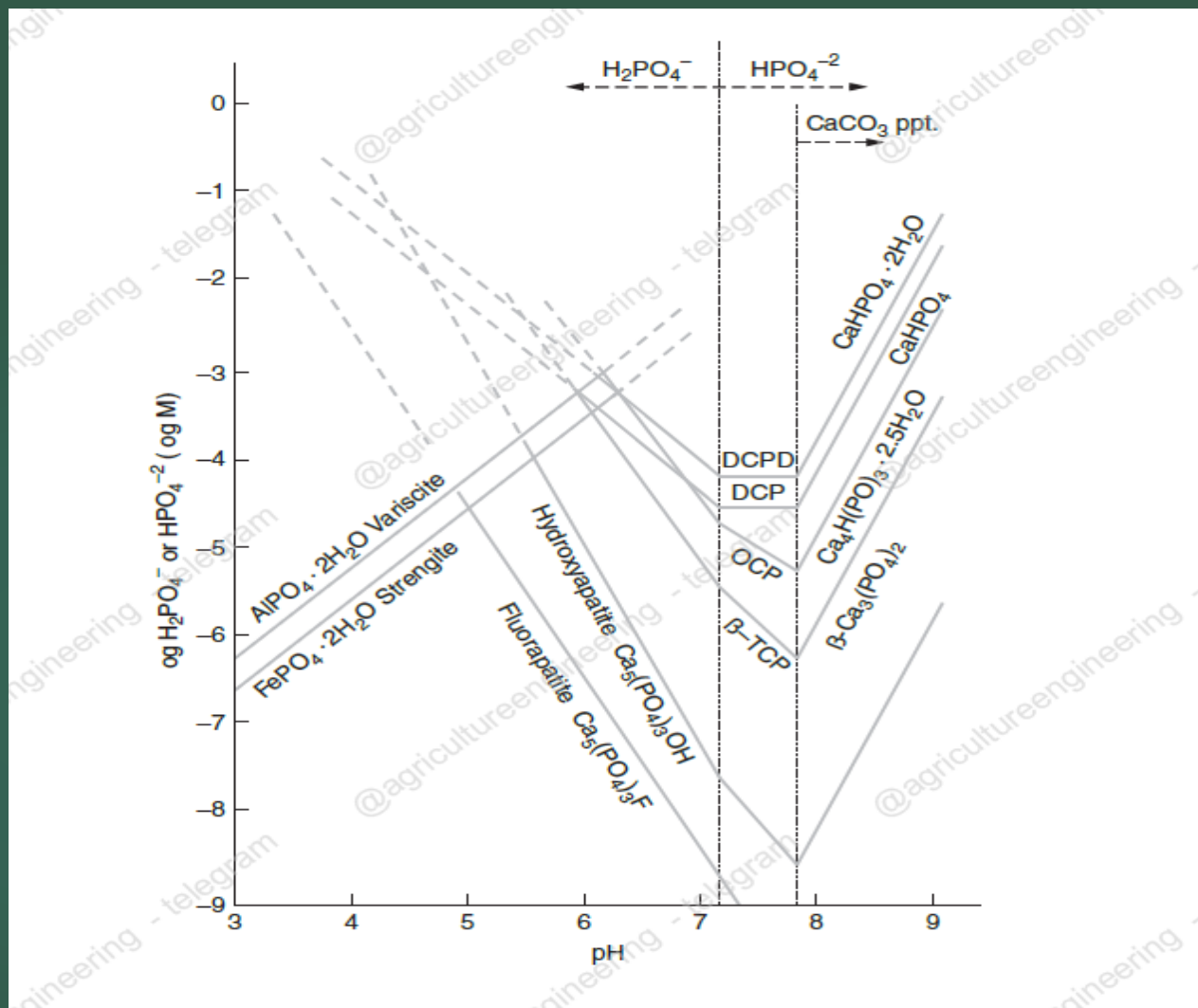
Hydroxyapatite (HA)



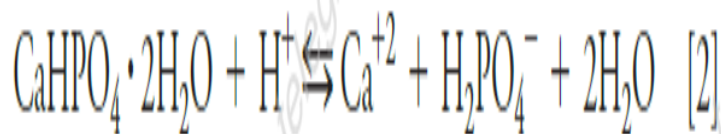
Fluorapatite (FA)



کانی های کنترل کننده حلالیت فسفر محلول خاک



انواع فسفات های کلسیم



در $\text{pH} > 7.8$:

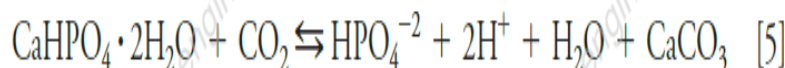
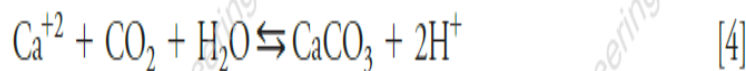
افزایش حلالیت (HPO_4^{2-})

رسوب آهک و کاهش Ca^{2+}

انحلال Ca-P برای جبران Ca^{2+}

با این حال:

کاهش قابلیت جذب P با جذب سطحی
 HPO_4^{2-} به آهک در حال رسوب



○ منو کلسیم فسفات $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$

○ دی کلسیم فسفات $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

حلالیت ناچیز در آب

○ اکتا کلسیم فسفات $\text{Ca}_4\text{H}(\text{PO}_4)_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

○ تری کلسیم فسفات $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$

○ اکسید آپاتیت $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 \text{CaO}$

○ هیدروکسی آپاتیت $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$

○ در اغلب خاک ها، عدم هیدرولیز در آب

○ کربنات آپاتیت $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 \text{CaCO}_3$

○ فلوئور آپاتیت $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6 \text{F}_2$

○ مهمترین کانی تجاری، در معادن، پایدارترین Ca-P

فسفات های آهن و آلومینیم

واریسایت (Varisite) : $\text{AlPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

استرنگیت (Strengite) : $\text{FePO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

باراندیت (Barrandite) : مخلوط استرنگیت و واریسایت

ویوینایت (Vivionite) : فسفات فرو: در خاک های با زهکشی بد و رسوبات یخچالی

حلالیت کانی و سهم در تامین فسفر محلول: KSP

تاثیر pH



پایدارترین کانی: کنترل حلالیت و سرنوشت P خاک

سوال: دلیل کارایی کم کودهای فسفر؟

دی کلسیم فسفات ($\text{CaH}_2\text{PO}_4^-$ MCP): کود فسفر محلول

❖ رسوب در خاکهای اسیدی Al-P و Fe-P

❖ در خاکهای آهکی:

ابتدا DCDP و DCP (طی چند هفته)

OCP (۳-۵ ماه)

TCP (۸-۱۰ ماه)

آپاتیت (بعد از زمان طولانی)

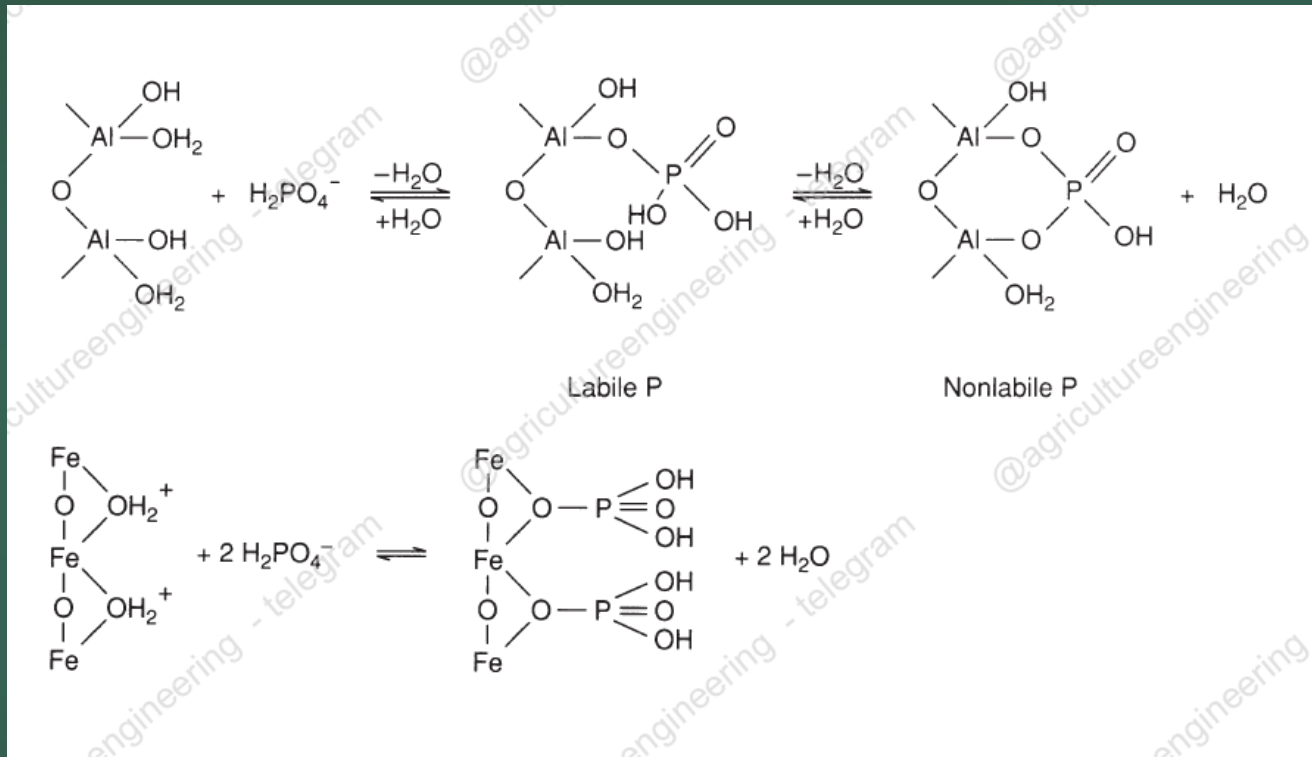
جذب سطحی فسفر

در خاک آهکی:

جذب با جایگزینی CO_3^{2-} آهک
غلظت کم P محلول: جذب سطحی

در خاک اسیدی:

تک دندان (لبایل): پیوند با یک Al-O دودندان
(غیر لبایل): پیوند با دو Al-O یا Fe-O



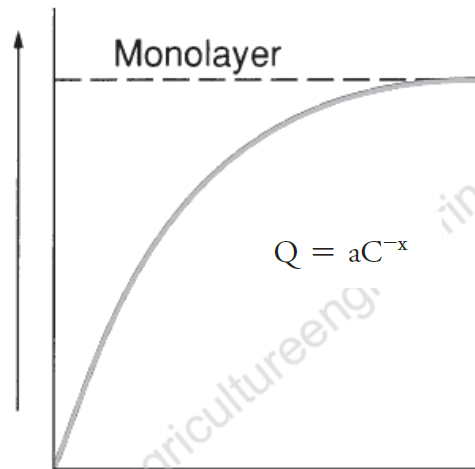
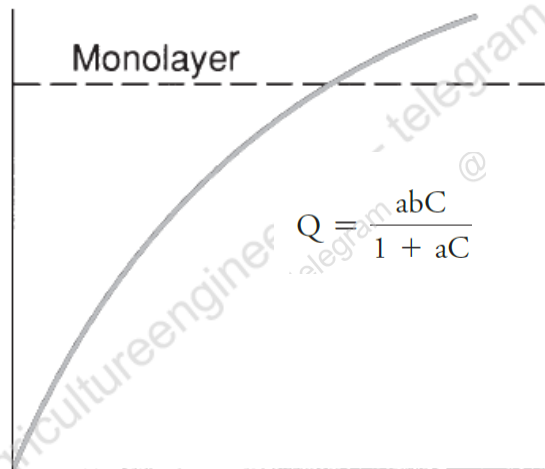
معادلات جذب سطحی فسفر

معادله فرندلیچ (Freundlich)

بدون حداکثر جذب
قابل کاربرد در غلظت کم فسفر محلول

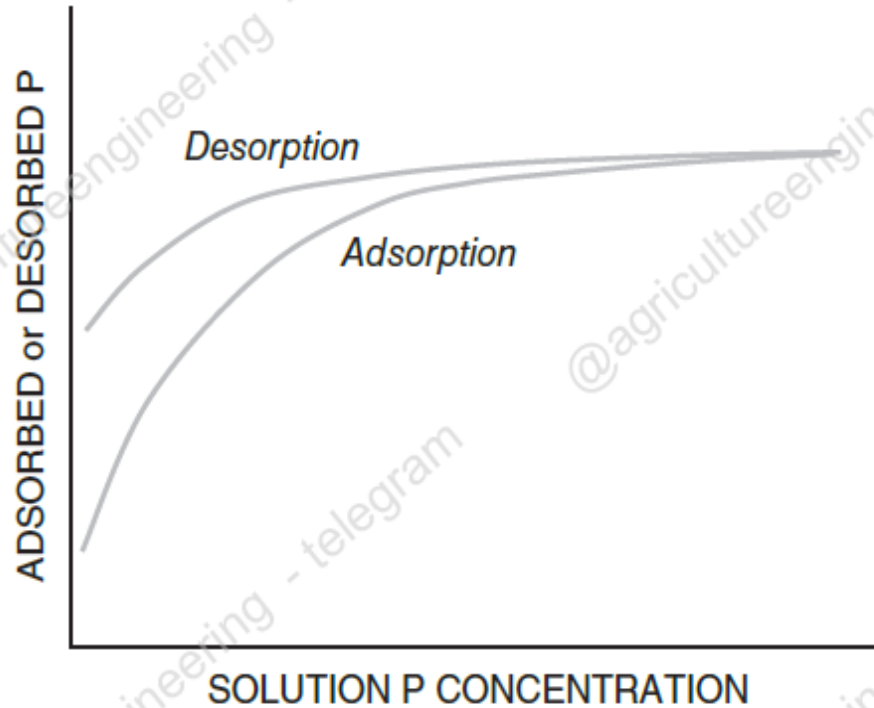
معادله لانگمیر (Langmuir):

حداکثر ظرفیت جذب سطحی
در غلظت بالای فسفر



واجذب فسفر

هترسیس (Hyteresis)



عوامل موثر بر جذب سطحی فسفر: نوع کانی

در خاکهای آهنی:

جذب توسط آهنک (مقدار و واکنش پذیری)

- ناخالصی بیشتر
- سطح ویژه بزرگتر
- ناخالصی اکسید آهن
- رس اشباع از کلسیم

در خاکهای اسیدی:

- اکسیدهای Fe و Al (مجزا یا پوششی)
- رس ۱:۱ (کائولینیت) بیشتر از رس ۲:۱
- تعداد OH (قابل تبادل با P) بیشتر در لایه Al
- مقدار رس

عوامل موثر بر جذب سطحی فسفر: pH

حداکثر P قابل جذب: 6.0-6.5

در اکسیدهای Fe-Al:

- کاهش جذب سطحی با افزایش pH
بالاترین جذب:

گیبسایت $[\text{Al}(\text{OH})_3]$: $\text{pH} < 4.5$

گئوتایت $[\text{FeOOH}]$: $\text{pH} 3, 12$

- رسوب: $\text{Fe}(\text{OH})_3$ و $\text{Al}(\text{OH})_3$

در خاکهای آهکی:

- رسوب فسفر به شکل Ca-P

- جذب توسط آهک (مقدار و واکنش پذیری)

عوامل موثر بر جذب سطحی فسفر: کاتیون و آنیون

کاتیونهای دوظرفیتی در مقایسه با تک ظرفیتی در CEC: افزایش جذب سطحی:

افزایش دسترسی به لبه (+) رس در حضور دوظرفیتی در $\text{pH} < 6$

آنیون:

رقابت سایر آنیون های آلی و معدنی و کاهش جذب NO_3 و Cl در مقایسه با OH^- ، HCO_3^- ، SO_4^{2-} ، H_3SiO_4^- ، MoO_4^{2-}

توانایی رقابت بستگی دارد به قدرت جذب سطحی آنیون
 $\text{SO}_4^{2-} < \text{H}_2\text{PO}_4^-$

عوامل موثر بر جذب سطحی فسفر: ماده آلی

افزایش قابلیت جذب فسفر:

- تشکیل ارگانوفسفاته‌های محلول
- جایگزینی H_2PO_4^- بجای آنیونی آلی سطح
- سیترات، اگزالات، ملات و تارتارات
- پوشش سطح اکسیدهای Fe و Al توسط هوموس
- افزایش فسفر معدنی بعد از معدنی شدن

عوامل موثر بر جذب سطحی فسفر: زمان و دما

جذب سطحی فسفر:

مرحله اول:

سریع

مکانیزم: جذب سطحی (پیوند کوالانت Al-P و Fe-P)

مرحله دوم:

کند

مکانیزم: رسوب

اثر دما:

افزایش معدنی شدن فسفر آلی

عوامل موثر بر جذب سطحی فسفر: غرقاب

افزایش قابلیت جذب فسفر برای گیاه:

تبدیل $\text{Fe}^{2+}\text{-P}$ به $\text{Fe}^{3+}\text{-P}$

❖ افزایش معدنی شدن فسفر آلی در خاک اسیدی

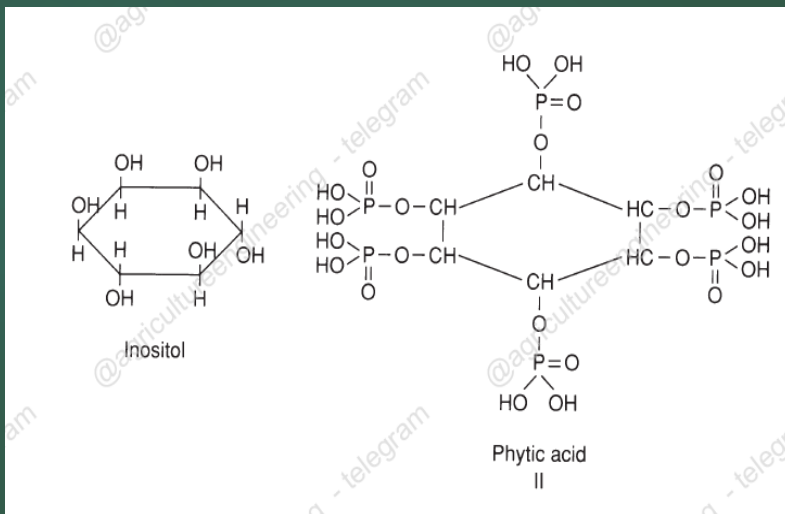
❖ افزایش حلالیت در خاک آهکی

مدیریت کوددهی فسفر

- جذب و رسوب P کودی: لزوم تعیین بهترین زمان کوددهی
- بیشترین P قابل جذب کود:
 - تثبیت بالا: مدت کوتاه بعد از کوددهی
 - تثبیت کم: مدت طولانی، چند ماه تا چند سال
- زمان واکنش P با خاک:
 - تعیین کننده مصرف یکباره یا چندنوبتی کود
- مقدار کود مصرفی در:
 - خاک رسی < خاک شنی
 - پخش سطحی < روش نواری
 - خاک فقیرتر از فسفر < خاک حاوی فسفر بالاتر

فسفر آلی

- مقدار کل فسفر خاک 50% (۱۵ تا ۸۰٪)
- مقدار فسفر در ماده آلی: 1-3%
- نسبت C/P و N/P و متغیر از C/N در بین خاکها
- مشخصه خاکها: C:N:P:S برابر با 140:10:1.3:1.3



ترکیب فسفر آلی:

• استرهای ارتوفسفات (10-50%)

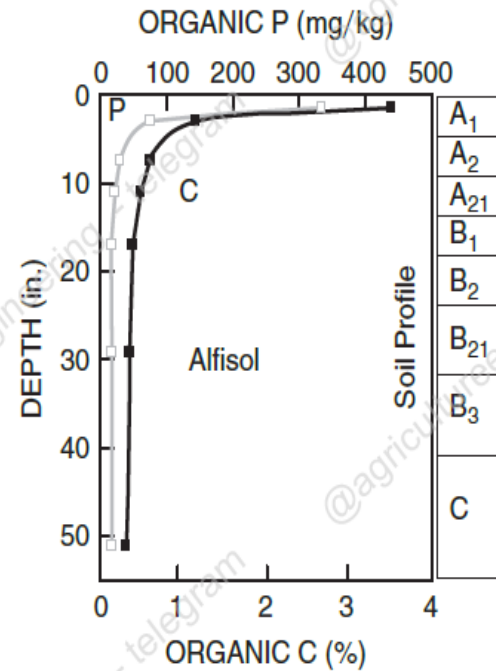
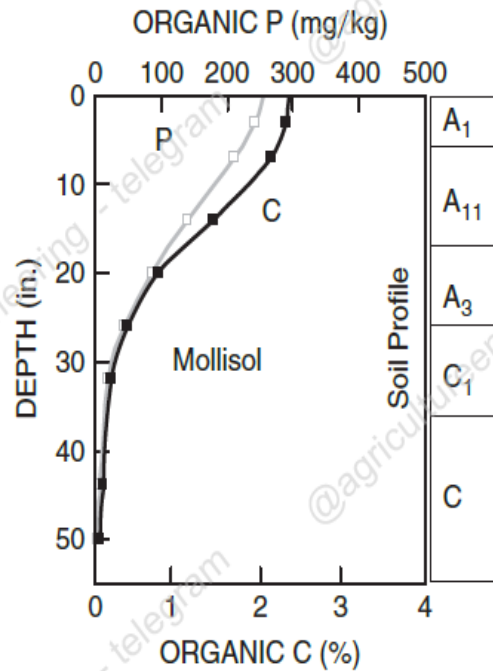
• انیوزیتول فسفات

• فسفولیپیدها (1-5%)

• نوکلئیک اسید (0.2-2.5%)

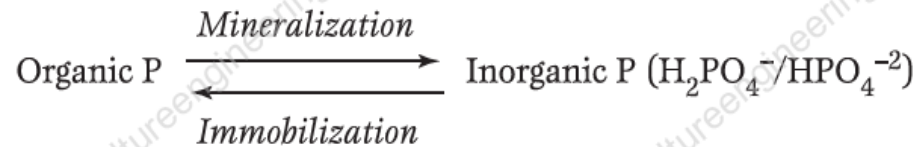
فسفر آلی

- اسید فیتیک (اینوزیتول هگزا فسفات) تا ۵۰٪ فسفر آلی خاک
- PA و نوکلئیک اسید: حاصل تجزیه میکروبی بقایای گیاهی
- آزاد شدن بیشتر RNA و DNA: سرعت تجزیه بیشتر
- فسفولیپیدها: پلیسرول، بخش کوچک فسفر آلی

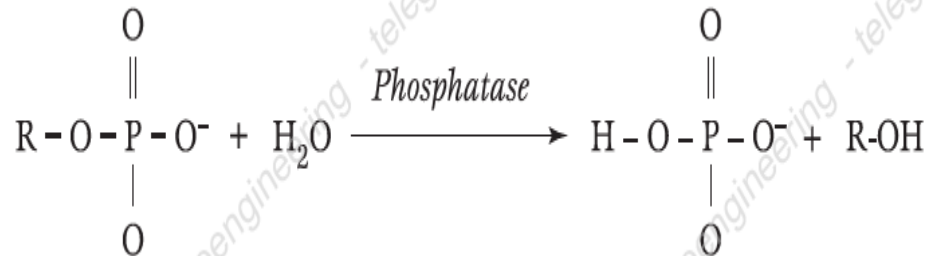


معدنی و محبوس شدن فسفر

منشا فسفر آلی: بقایای گیاهی و ترشحات گیاه



آنزیم فسفاتاز: کاتالیزور معدنی شدن P



نسبت C/P: معیار معدنی یا محبوس شدن

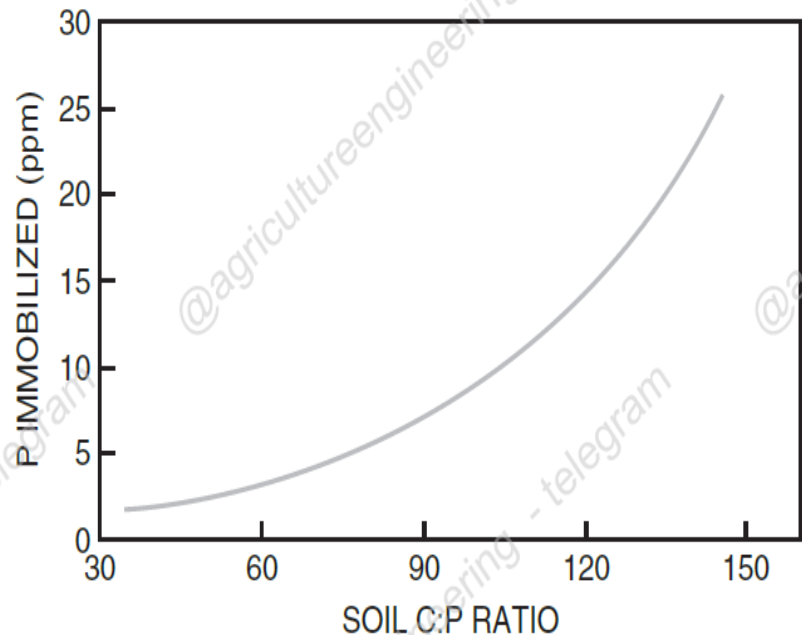
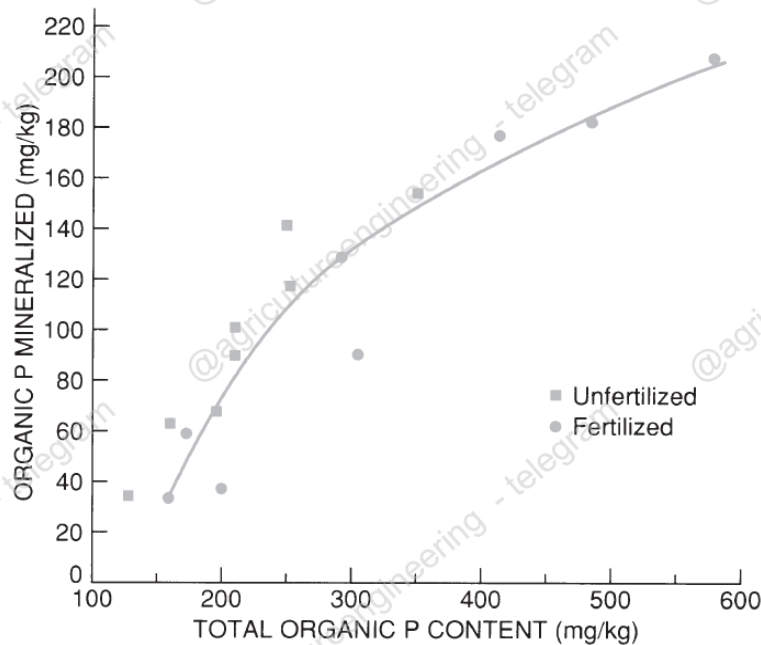
C:P Ratio	Mineralization/Immobilization
<200	Net mineralization of organic P
200-300	No gain or loss of inorganic P
>300	Net immobilization of inorganic P

معدنی و محبوس شدن فسفر

- محبوس شدن: فسفر بقایا $< 0.2\%$
- معدنی شدن: فسفر بقایا $> 0.3\%$

• عوامل اثر بر معدنی شدن:

دما، رطوبت، تهویه، دما، pH، تراکم کشت، کوددهی فسفر



عوامل مؤثر در میزان فسفر خاک

عوامل افزایش دهنده فسفر خاک :

تنها از طریق کودپاشی

عوامل کاهش دهنده فسفر خاک :

✓ برداشت گیاه (کمتر از ۲۰ کیلوگرم در هکتار در سال)

• غلات: حدود ۶ Kg/ha

• لوبیا، یونجه و سیب زمینی : حدود ۱۰ Kg/ha

✓ آبشویی

○ فرسایش

عوامل مؤثر بر قابلیت جذب فسفر

pH خاک

آهن و آلومینیم خاک

هیدروکسیدهای آهن و آلومینیم

کانی های رس

یون کلسیم

افزایش فسفات

ماده آلی خاک

الف: عوامل خاکی

اثر محیط ریشه

اثر ریشه در جذب کلسیم

اثر مشخصه ریشه

تأثیر نیاز گیاه

ب: عوامل گیاهی

عوامل مؤثر بر قابلیت جذب فسفر: عوامل گیاهی

۱: اثر محیط ریشه

تأثیر ترشحات ریشه در حلالیت P خاک

○ ترشح اسید (مانند اسید کربنیک) توسط ریشه

○ ترشح اسیدهای آلی (مانند اسید لاکتیک، اسید کتوگلوکونیک) به واسطه عمل موجودات زنده روی مواد آلی

۲: اثر ریشه در جذب کلسیم

○ گیاهانی که نیاز بیشتر به کلسیم دارند ← جذب بیشتر کلسیم از فسفات ها ← انحلال بیشتر فسفات های کلسیم

۳: تأثیر نیاز گیاه

○ گیاهان سریع رشد حاوی فسفر زیاد: حساس به کمبود فسفر

○ گیاهان کند رشد با درصد فسفر کم: رشد خوب در خاک های فقیر از نظر فسفر

عوامل مؤثر بر قابلیت جذب فسفر: عوامل گیاهی

تعیین نیاز گیاه

✓ ضریب نیاز: معیار نیاز گیاه به فسفر ← هرچه ضریب نیاز گیاه ↑ ← نیاز گیاه به فسفر ↑

گیاه	خیار	ذرت	گندم	یولاف	یونجه	لویا	بادام
ضریب نیاز	۱۴/۳	۴/۸	۲/۶	۲/۴	۱/۸	۱/۶	۱/۰

✓ اندازه گیری مقدار برداشت محصول از هکتار خاک

• میزان برداشت عنصر از خاک = درصد عناصر در شاخ و برگ × وزن گیاه

• میزان جذب یا برداشت گیاه } معیار صحیح تعیین نیاز گیاه
میزان مصرف کود را نشان نمی دهد

کودهای فسفر: منابع معدنی

- فسفر محلول در آب
- فسفر محلول در سیترات
- فسفر غیر محلول در آمونیوم سیترات (1 N)
- فسفر قابل جذب کود (مجموع محلول در آب و سیترات)
- فسفر کل (به شکل P_2O_5)

کودهای فسفر

○ مقدار فسفر کود به شکل: P_2O_5

$$\textcircled{\bullet} \%P = \%P_2O_5 * 0.43$$

$$\textcircled{\bullet} \%P_2O_5 = \%P * 2.29$$

$$0.43 = \frac{2 \times P \left(\frac{g}{mol} \right)}{P_2O_5 \left(\frac{g}{mol} \right)} = \frac{2 \times 31}{142}$$

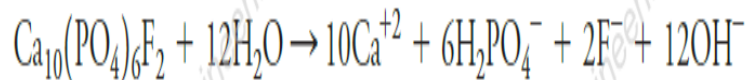
منابع کودی فسفر

Fertilizer	Commonly Used Abbreviations	Analysis (%)				% Total Available P	P Compound
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	S		
Calcium phosphates							
Rock phosphate	RP		25–36			3–20	Ca ₁₀ (PO ₄) ₆ · F ₂ · (CaCO ₃) _x · (Ca(OH) ₂) _x
Single superphosphate	SSP		16–22		11–12	80–85	Ca(H ₂ PO ₄) ₂
Triple superphosphate	TSP		44–52		1–2	90–95	Ca(H ₂ PO ₄) ₂
Ammonium phosphates							
Monoammonium phosphate	MAP	11–13	48–62		0–2	100	NH ₄ H ₂ PO ₄
Diammonium phosphate	DAP	18–21	46–53		0–2	100	(NH ₄) ₂ HPO ₄
Ammonium polyphosphate ¹	APP	10–15	35–62			100	(NH ₄) ₃ HP ₂ O ₇ · NH ₄ H ₂ PO ₄
Urea ammonium phosphate ¹	UAP	21–34	16–42			100	(NH ₄) ₃ HP ₂ O ₇ · NH ₄ H ₂ PO ₄
Potassium phosphates							
Monopotassium phosphate			51	35		100	KH ₂ PO ₄
Dipotassium phosphate			41	41		100	K ₂ HPO ₄

منابع کودی فسفر: سنگ فسفات (RP)

• ماده اولیه صنایع کودی
• کانی های آپاتیت: $[Ca_{10}(PO_4)_6X_2]$
• $[Ca_{10}(PO_4)_6F_2]$
 $X = F, OH, Cl$

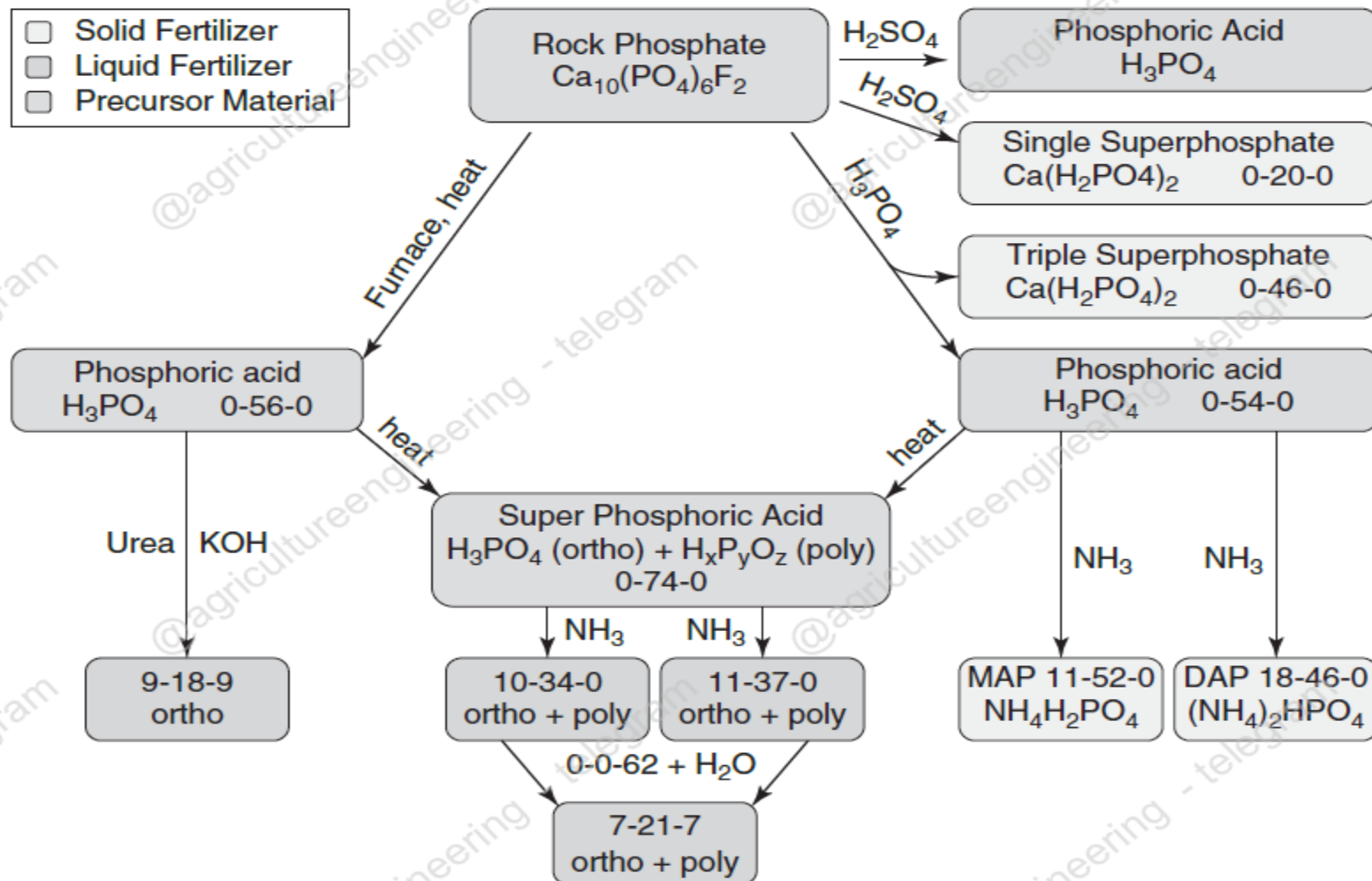
• ناخالصی: Cd, Na, Mg, CO_3
• نامحلول در آب و ۲۰-۳٪ محلول در سیترات
• واکنش کاربرد مستقیم در خاک:



• مناسب خاکهای اسیدی
• مقدار P کمتر: مقدار کاربرد ۲-۳ برابر بیشتر از سوپرفسفات

• دارای اثر باقیمانده

فرآیند ساخت انواع کودهای جامد و مایع از سنگ فسفات

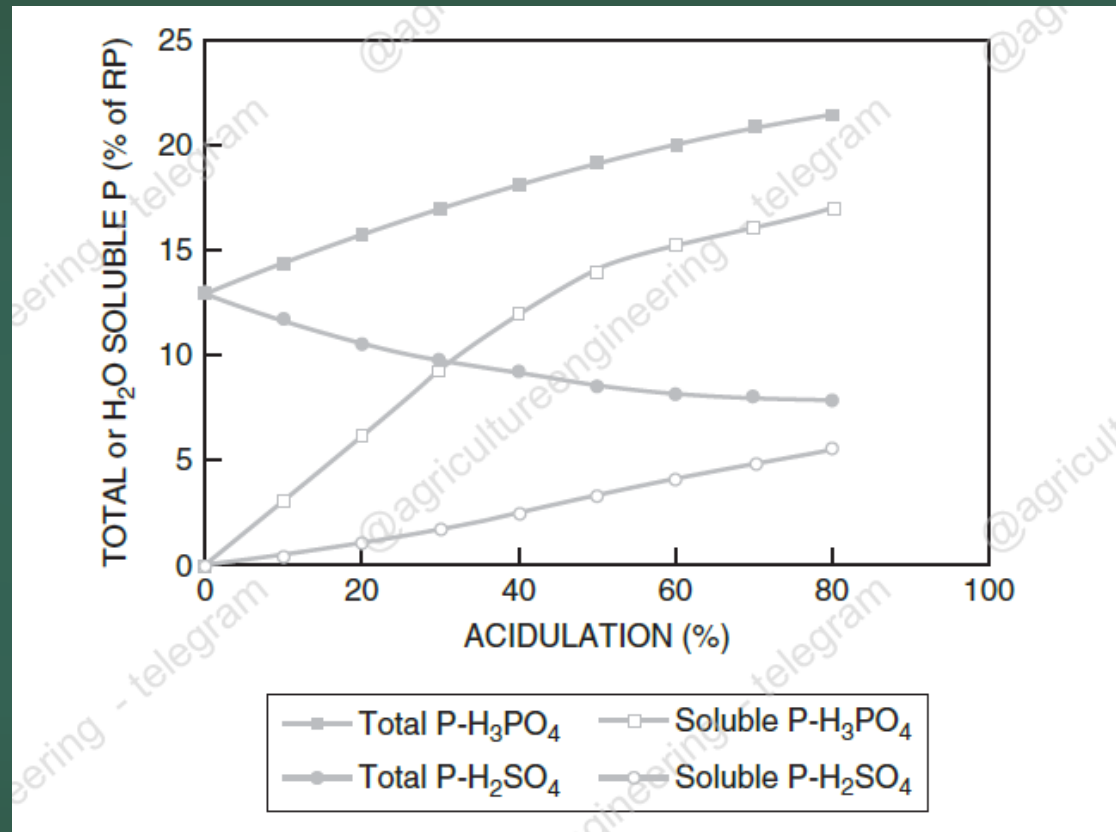


انواع کودهای ارتو- و پلی فسفات

Fertilizer	Commonly Used Abbreviations	Analysis (%)				% Total Available	P Compound
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	S	P	
Calcium phosphates							
Rock phosphate	RP		25–36			3–20	Ca ₁₀ (PO ₄) ₆ · F ₂ · (CaCO ₃) _x · (Ca(OH) ₂) _x
Single superphosphate	SSP		16–22		11–12	80–85	Ca(H ₂ PO ₄) ₂
Triple superphosphate	TSP		44–52		1–2	90–95	Ca(H ₂ PO ₄) ₂
Ammonium phosphates							
Monoammonium phosphate	MAP	11–13	48–62		0–2	100	NH ₄ H ₂ PO ₄
Diammonium phosphate	DAP	18–21	46–53		0–2	100	(NH ₄) ₂ HPO ₄
Ammonium polyphosphate ¹	APP	10–15	35–62			100	(NH ₄) ₃ HP ₂ O ₇ · NH ₄ H ₂ PO ₄
Urea ammonium phosphate ¹	UAP	21–34	16–42			100	(NH ₄) ₃ HP ₂ O ₇ · NH ₄ H ₂ PO ₄
Potassium phosphates							
Monopotassium phosphate			51	35		100	KH ₂ PO ₄
Dipotassium phosphate			41	41		100	K ₂ HPO ₄

اسیدی کردن (Acidulation): افزایش حلالیت سنگ فسفات

- کاربرد H_3PO_4 : مقدار ۱۰-۲۰٪ اسید فسفریک مورد استفاده در ساخت تریپل سوپر فسفات
- کاربرد H_2SO_4 : مقدار ۴۰-۵۰٪ اسید سولفوریک مورد استفاده در ساخت سوپر فسفات ساده

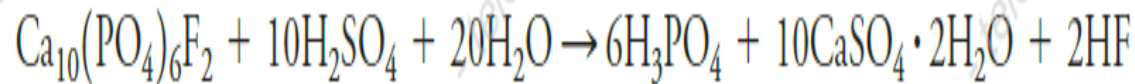


سنتز اسید فسفریک

- روش تر یا سبز (Wet/Green)

- 17-24% (39-55% P₂O₅)

- تولید گچ (CaSO₄.2H₂O): ماده اصلاحی



- روش کوره (Furnance)

- سوزاندن فسفر عنصری در کوره

- واکنش با اکسیژن و آب: تولید H₃PO₄

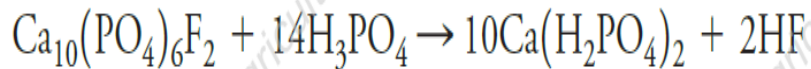
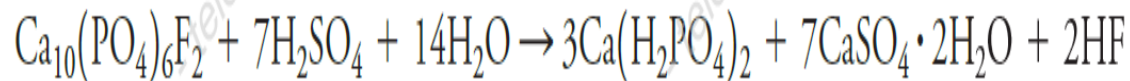
- هزینه بالاتر سنتز و خلوص بالاتر

فسفاتهای کلسیم

سوپرفسفات ساده (SSP)

• مقدار 7-9.5% P (P_2O_5 : 16-22%)

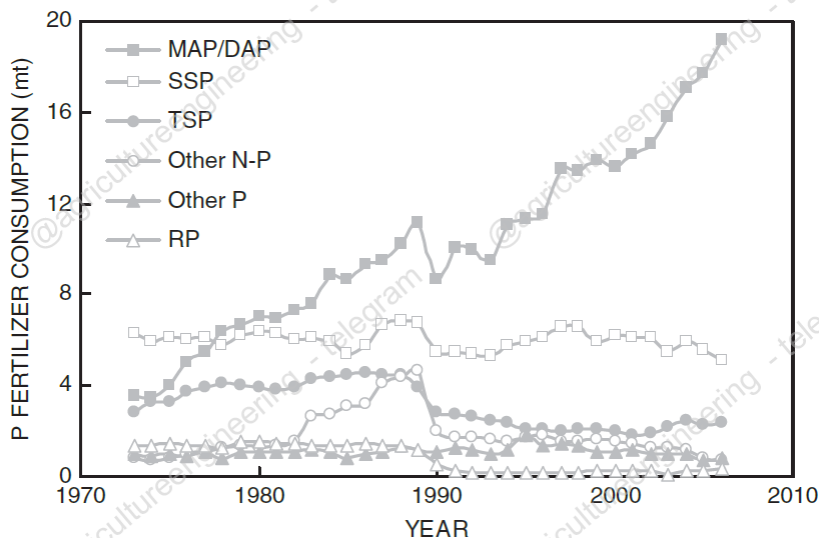
• منبع S



سوپرفسفات تریپل (TSP)

• 17-23% (P_2O_5 : 44-52%)

روند جهانی مصرف کودهای P



فسفاتهای آمونیوم (AP)

واکنش تر آمونیاک با اسید فسفریک

منو آمونیوم فسفات MAP

مقدار (11-13% N) و 21-24% P (P_2O_5 : 48-55%)

• درجه تجاری: 11-22-0 (1-52-0)

دی آمونیوم فسفات DAP

مقدار (18-21% N) و 20-23% P (P_2O_5 : 46-53%)

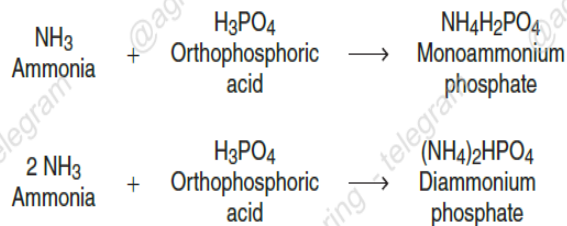
• درجه تجاری: 18-20-0 (18-46-0)

• گرانوله

• محلول در آب

• درصد بالاتر عناصر: هزینه کمتر حمل و نقل

• قابل استفاده در سنتز کودهای مرکب و تعلیقی



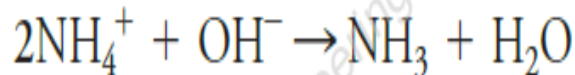
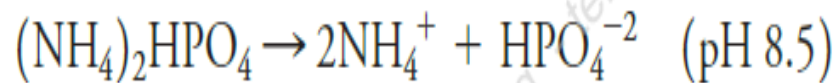
تفاوت MAP و DAP

pH اطراف کود MAP در خاک: حدود 3.5

pH اطراف کود DAP در خاک: حدود 8.5

تولید آمونیاک DAP سبب خسارت به ریشه و گیاهچه:

pH بالای انحلال کود و خاک آهکی: تشدید تولید آمونیاک



مراقبتها:

کاهش مقدار مصرف کود

فاصله از بذر

بسته به نوع گیاه، عرض ردیف، pH خاک، بافت و مقدار کود

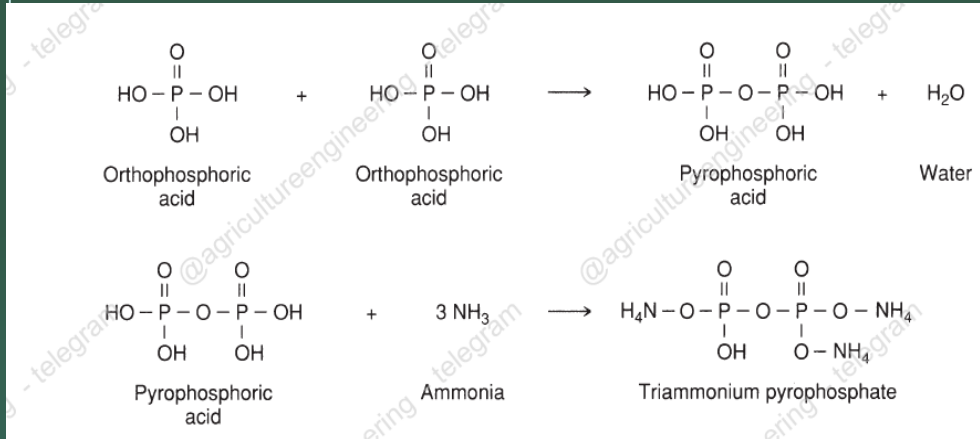
اثر MAP بسیار کمتر (گیاهان حساس مثل کانولا)

پلی فسفات آمونیوم (APP)

مایع حاوی 10-15% N و (34-37% P₂O₅) 15-16% P

۷۵ درصد به شکل پلی فسفات

۲۵ درصد به شکل ارتوفسفات



تجاری: 10-15-0 (10-34-0)

واکنش اسید پیروفسفریک (H₄P₂O₇) و آمونیوم (NH₃)

تولید اسید پیروفسفریک: آگیری فرآیند اسیدی تر

پلی فسفات: دو یا چند یون ارتوفسفات ترکیب شده

آزاد شدن یک مولکول آب به ازای دو مولکول H₂PO₄

فسفات پتاسیم

KH_2PO_4 , K_2HPO_4

محلول در آب

مناسب Solanaceous

سیب زمینی

گوجه فرنگی

سبزیجات برگه حساس به سمیت کلر

شاخص شوری کم: امکان جاگذاری نزدیک بذر

کودهای فسفردار

○ کود فسفات باکتریایی

آغشته کردن خاک با باکتری ← انحلال بیشتر فسفر بومی خاک

✓ باسیلوس مگاتریوم فسفاتیکوم *Bacillus megatherium* var. *Phosphaticum*



مؤثرترین: در خاک های خنثی
و کمی قلیایی با ماده آلی بالا

فسفوباکترین *Phosphobacterin*

✓ افزایش P قابل جذب خاک } تجزیه ترکیبات آلی
تولید اسید و انحلال فسفات معدنی

مقایسه کلی کودهای فسفاته

○ کود بیوفسفات طلایی دانه ای محتوی روی (۵۰ کیلو گرم)

خاک فسفات	۴۵ درصد
گوگرد پودری	۲۰ درصد
ماده آلی	۲۰ درصد
سولفات روی	۳ درصد (۱ درصد روی)
مواد پراکنده (چسباننده)	۸ درصد
رطوبت	۴ درصد
دانه بندی (۹۰ درصد دانه های کود)	۴-۲ میلی متر

به همراه کیسه ۲۵ کیلو گرمی کود بیوفسفات گرانوله حاوی روی، یک بسته ۳۰۰ گرمی مایه تلقیح تیوباسیلوس با جمعیت 10^7 سلول لازم است.

سرنوشت فسفر کودی در خاک

ورود آب به گرانول: پخشیدگی محلول P به اطراف (3-5cm): تشکیل H_3PO_4 از P

pH محلول کودی: 1.5-8.5 بسته به نوع کود

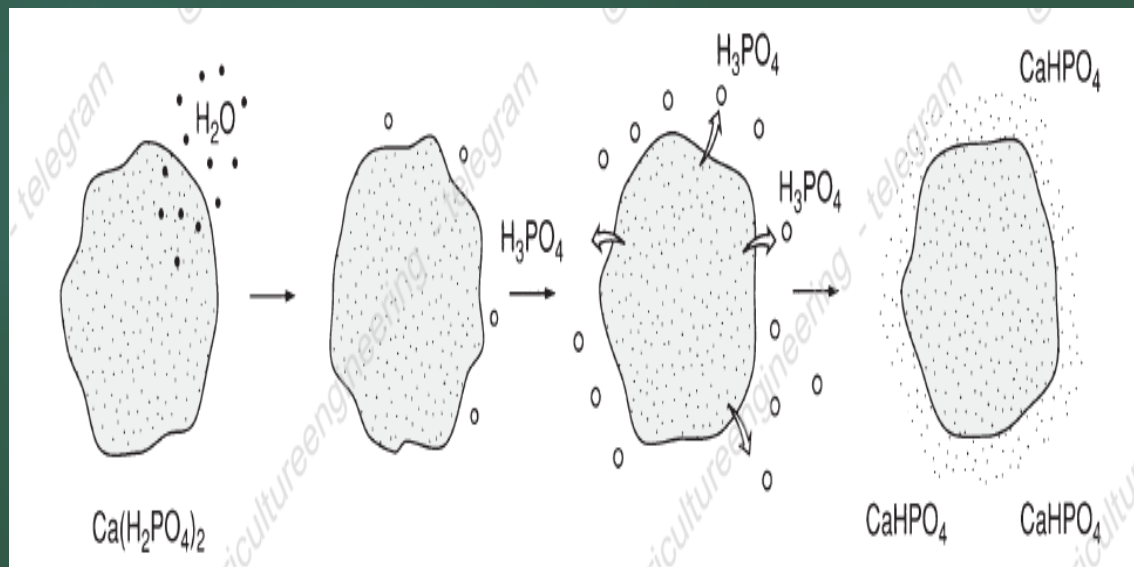
انحلال کانی های اطراف: رهاسازی Ca, K, Al, Fe, Mg

رسوب DCDP یا DCP...OCP...TCP...HA...FA

فسفر محلول کود:

رسوب Al-P, Fe-P, Ca-P

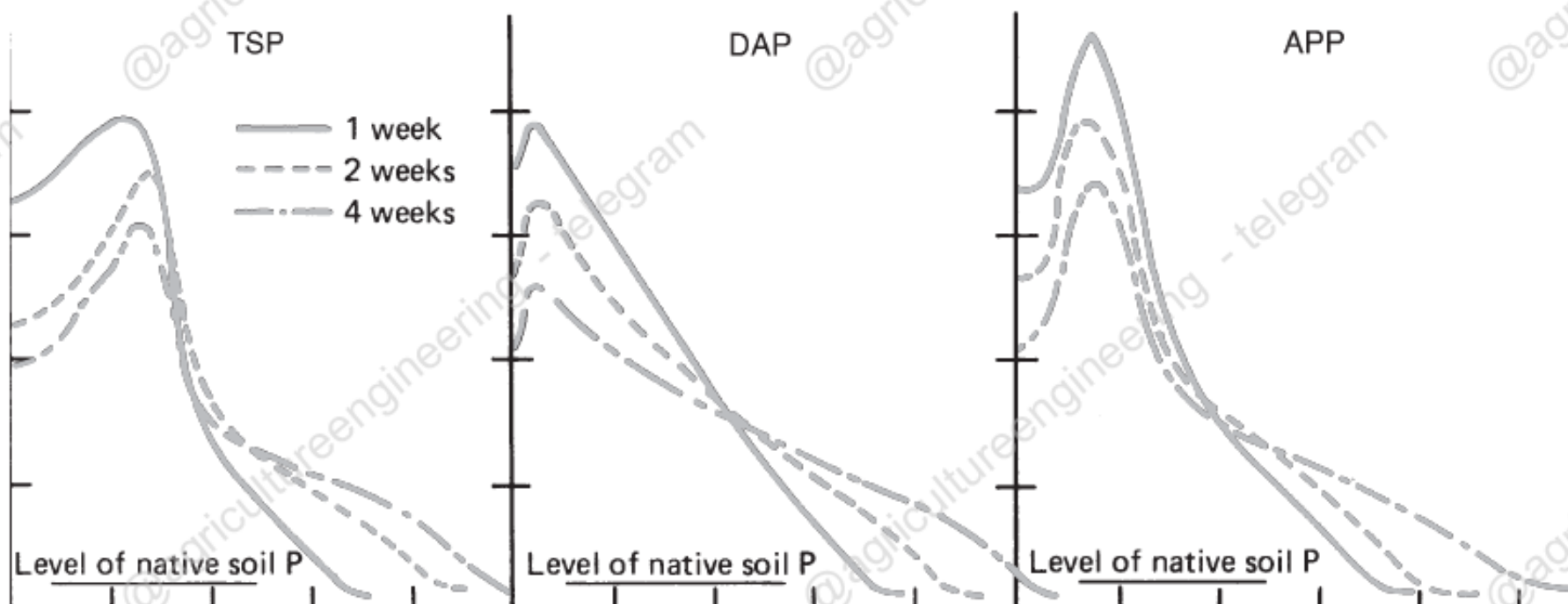
محبوس شدن میکروبی



سرنوشت فسفر کودی در خاک: پخشیدگی از کودهای مختلف

تفاوت کم بین انواع کودها از لحاظ تغییر pH اطراف ذره و پخشیدگی P

رسوب در نزدیک ذره (غلظت بالای P) و جذب سطحی در فاصله (غلظت کم)



برخی عوامل موثر بر جذب P:

○ برهمکنش نیتروژن

○ بهبود جذب فسفر

○ بهبود رشد ریشه و شاخساره

○ تغییر متابولیسم گیاه

○ افزایش حلالیت و قابلیت استفاده فسفر

○ تاثیر مثبت تر NH_4^+ در مقایسه با NO_3^-

○ بهبود کارایی کوددهی فسفر با مصرف کودهای آمونیومی

○ اثر اندازه دانه کود:

✓ تماس بیشتر کود با ذرات خاک: کاهش کارایی

✓ کاهش کارایی با کاهش اندازه کود (پودری در مقایسه با گرانوله)

✓ بهترین کارایی: وقتی به صورت گرانول و نواری مصرف شوند

برخی عوامل موثر بر جذب P:

○ رطوبت خاک

○ در رطوبت مزرعه

○ پخشیدگی %50-80 فسفر کودی طی ۲۴ ساعت

○ در رطوبت %2-4

○ پخشیدگی %20-50 طی ۲۴ ساعت

○ مقدار کود مصرفی:

✓ افزایش مقدار کود: افزایش غلظت فسفر در محلول

✓ عوامل موثر بر دوره افزایش غلظت فسفر محلول:

• مقدار و روش کوددهی

• برداشت گیاه

• ویژگی های خاک

برخی راهکارهای بهبود کارایی کوددهی فسفر

تغییر شیمی محیط اطراف کود

○ اسیدهای آلی و معدنی

○ پلیمرهای خاص

○ کاربرد به همراه یا پوششی

Maleic itaconic copolymer

○ همراه کودهای جامد و محلول

مکانیزم:

دارای CEC بالا (1800 meq CEC/g)

جذب کاتیونها (Fe, Al, Ca, Mg) اطراف ذره کود: کاهش رسوب

ایراد: CEC بسیار کم در مقایسه با خاک

○ **Nutrisphere**: ترکیب مشابه مورد استفاده همراه کودهای N

منابع آلی فسفر

کود دامی حدود ۹۸٪ فسفر آلی اراضی زراعی
مقدار و شکل فسفر کودی بستگی دارد به: منبع تولید کود و روش تولید و نگهداری

ضایعات دامی: مقدار فسفر معدنی (۰.۲-۳٪) و فسفر آلی (۰.۱-۱٪)
کود دامی تازه: ۳۰-۷۰٪ فسفر آلی از کل فسفر
فرآیند کمپوست: افزایش مقدار کل فسفر

Source	Total P	Inorganic P
	———— % of Dry Matter ————	
	Animal waste	
Swine	1.5–2.5	0.8–2.0
Beef cattle	0.7–1.2	0.5–0.8
Dairy cattle	0.5–1.2	0.3–1.0
Poultry	0.9–2.2	0.3–1.2
Horses	0.4–1.4	0.2–0.8
	Compost	
Poultry manure	1.1–2.4	0.5–1.2
Lawn clippings, leaves	0.1–0.4	0.05–0.2
Biosolids	1.5–7.0	0.7–4.0

منابع آلی فسفر: اجزای کود دامی مایع (swine)

تاثیر زمان و نحوه نگهداری کود:

افزایش معدنی شدن فسفر آلی با زمان

۳-۴ ماه بعد از نگهداری: افزایش بخش فسفر معدنی از ۶۰-۷۵٪ به ۸۵٪

Animal	Total P (% dry matter)	% of Total P
Total inorganic P	1.5-2.0	85
Total organic P	0.2-0.3	15
Inorganic P in solution	0.01-0.20	5
Organic P in solution	0.01-0.03	<4
Microbial P	0.02-0.04	<2

منابع آلی فسفر: کاربرد بر اساس N: توازن N-P

کاربرد کود دامی و لجن براساس N: افزایش تدریجی P خاک

انباشتگی فسفر و برهم خوردن توازن: آلودگی منابع

مقدار P لجن: بین ۲ تا ۷ درصد: هر تن لجن افزودن 40140 پوند بر ایگر فسفر به هکتار
اگر ۸۰٪ فسفر افزوده قابل جذب گیاه: 3-175 پوند در ایگر قابل جذب گیاه در سال اول

Source	Application Rate	Waste Nutrients				Crop Requirement ¹		Excess P Applied
		N		P		N	P	
		%	PAN ¹	%	lb/a	— lb/a —		
Poultry litter	8,000	2	160	1.7	136	160	25	111
Biosolid	10,000	1.6	160	2.5	250	160	25	225