

1. Függelék: Foszfor a mezőgazdaságban

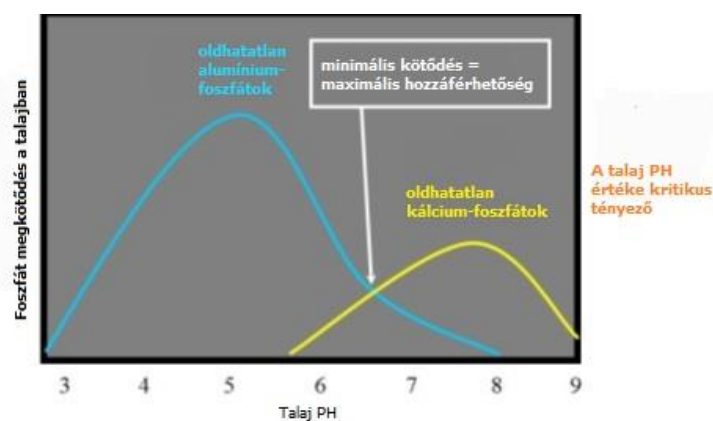
Szükséges anyagok és eszközök

A talajban a foszfor nem minden formája hozzáférhető biológiailag a növények számára, ezért a mezőgazdaságban kritikus fontosságú szerepet játszik. A talaj összes foszfortartalma 0,1-0,2% között mozog, melyből a szerves foszfor kb. 50%-ot tesz ki, a szerves foszfor pedig 15-80%-ot. A foszfor oldhatósága nagyon alacsony, kb. 0,03 mg P/kg értéknek felel meg.

A talajok számos tulajdonsága, mint pl. a **kalcium-**, az **alumínium-**, a **vastartalom**, a **szervesanyag-tartalom**, és a **pH** befolyásolja a foszfor oldhatóságát, így a biológiai hozzáférhetőségét is. Ezek közül a **pH a legkritikusabb tényező**.

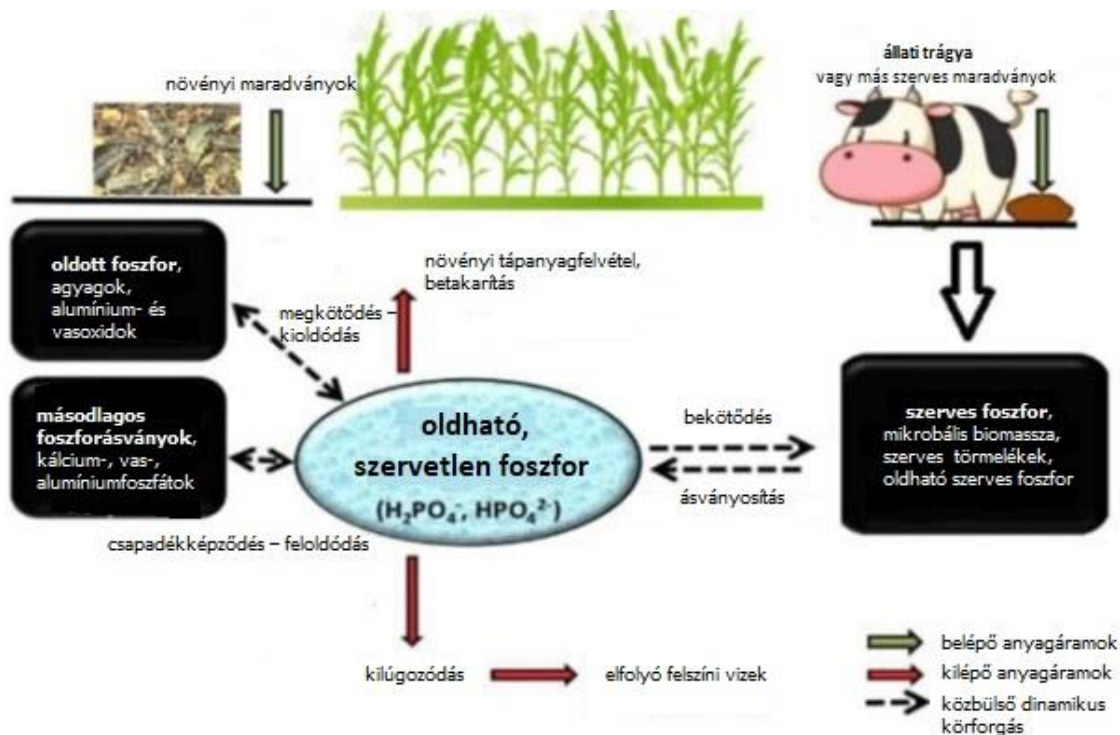
A foszfor elérhetőségét csökkentő reakciók a talaj minden pH-tartományában előfordulnak, de ezek nagyon kifejezettek lehetnek lúgos (pH > 7,3) és savas talajokban (pH < 5,5) (1. ábra).

A foszfor maximális elérhetősége többnyire a 6,0-7,0 közötti pH-tartományban figyelhető meg (1. ábra).



1. ábra: a foszfor viselkedése különböző talaj pH-értékeknél. A foszfor biológiailag csak semleges pH-értéken hozzáférhető biológiailag

1. Függelék: Foszfor a mezőgazdaságban



2. ábra: a foszfor körforgása a mezőgazdasági ökoszisztémában. A talajban a foszfor szervesetlen és szerves formában van jelen. A foszfor csak korlátozott mértben oldódik, és így biológiai hozzáférhetősége is korlátozott a növények számára. A foszfor fennmaradó része oldhatatlan csapadékot képez.

Az állati és növényi maradványokból származó szerves foszfort (inozitol-foszfátok, nukleinsavak és foszfolipidek) a talaj mikroorganizmusai mineralizálják és átalakítják hozzáférhető formákká (ortofoszfátok) (2. ábra). Ugyanakkor a mikroorganizmusok a szervesetlen foszfort szerves foszfáttá alakítják (immobilizálás), például foszfolipidekké, nukleinsavakká és ATP-vé (2. ábra).

A szervesetlen foszfátvegyületek idővel kikristályosodnak, így oldhatatlanná válnak és hozzáadódnak a talajban lévő szervesetlen foszfor oldathoz.

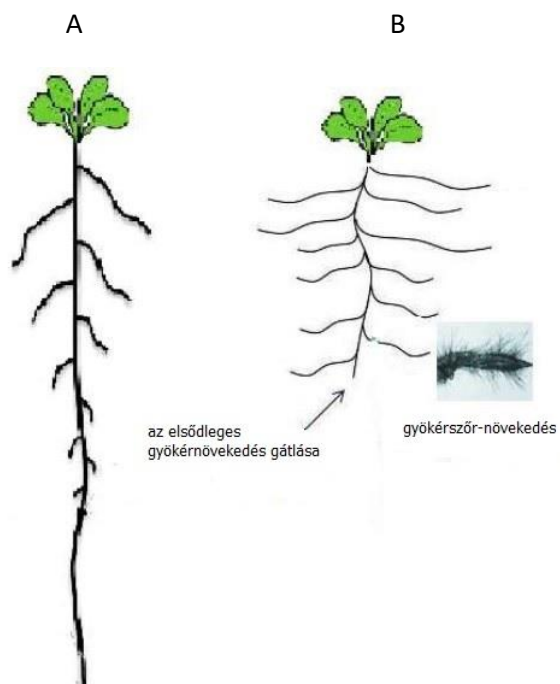
Foszfordinamika a gyökérrégióban

A növények különféle módokon szereznek tápanyagokat a talajból:

A leggyakoribb változások a gyökér felépítését érintik (morfológia, topológia és elágazási mintázatok). Foszforhiány esetén a gyökér jelentős módosuláson megy keresztül (1. ábra). A z elsődleges gyökérnövekedés gátlódik, ugyanakkor az oldalgökök és a gyökérszőrök növekedése és a gyökérszőrök sűrűsége kifejezettebbé válik (1B. ábra).

1. Függelék: Foszfor a mezőgazdaságban

1) A gyökér felépítése

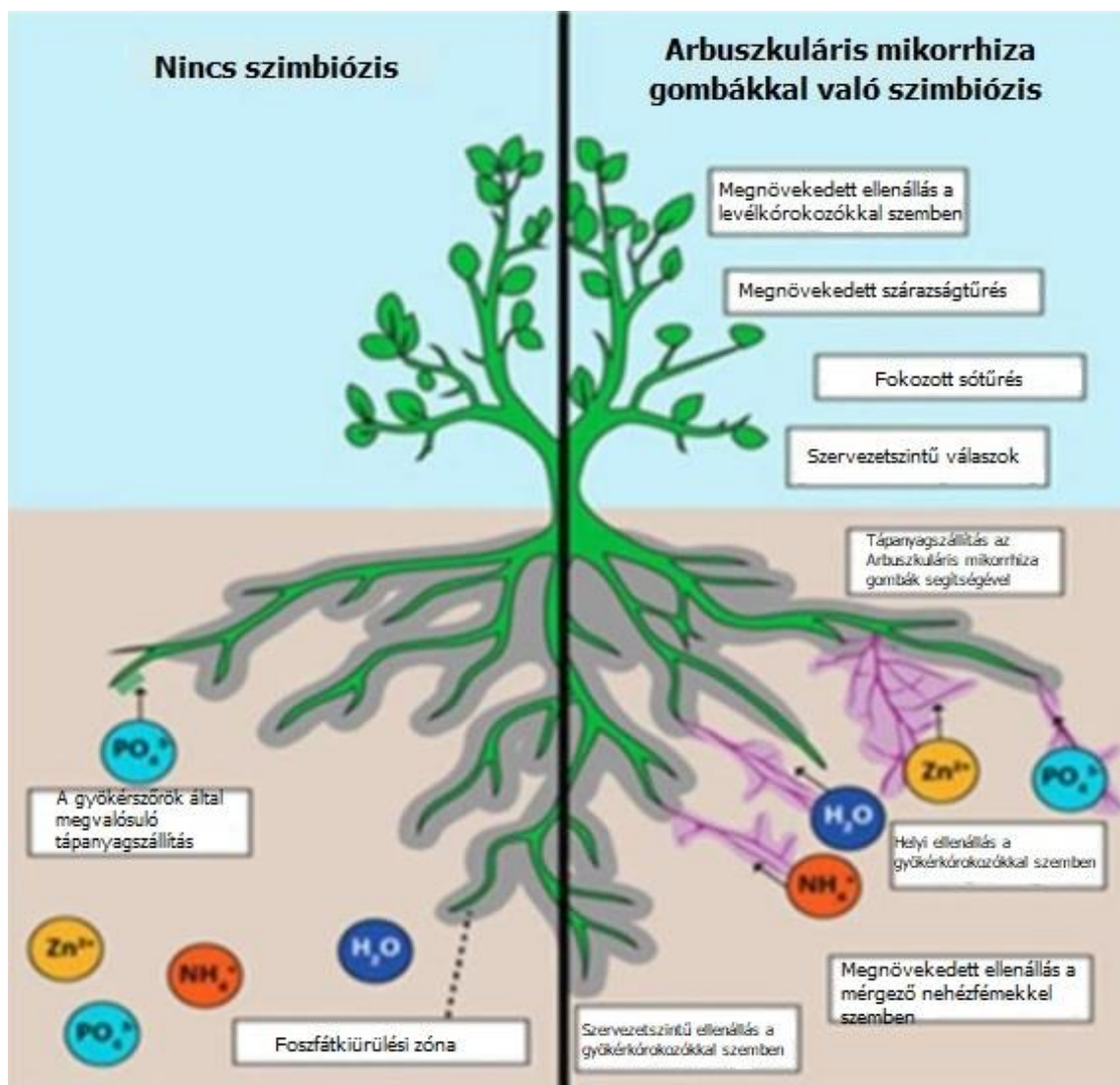


Az **1. A) ábra** a foszfor jelenlétében fejlődő növények normál gyökérfejlődését mutatja. Az **1. B) ábrán** látható, hogy a foszfor hiányban termesztett növényeket a gyökér meglepő morfológiai változásai jellemzik: elsősorban az elsődleges gyökér hosszának csökkenése, ugyanakkor az oldalgökök hosszabbak és a gyökérszőrök hossza és sűrűsége is kifejezettebb.

1. Függelék: Foszfor a mezőgazdaságban

2) Arbuskuláris mikorrhiza gombák (AMG)

A növények szimbiotikus társulásokban vehetnek részt bizonyos gombaszervezetekkel. Ha a foszfát elérhető a talajban, akkor a növények képesek hozzájutni közvetlenül a gyökérfoszfat transzportereken keresztül (2. ábra). Alacsony foszfáttartalmú körülmények között a növényeknek a foszfor megszerzéséhez a mikorrhiza gombákkal való kölcsönhatásra van szükségük. Ez a fajta szimbiózis elősegíti a növényi foszfor felvételét a talajból azáltal, hogy növeli a gyökér abszorpciós felületét.

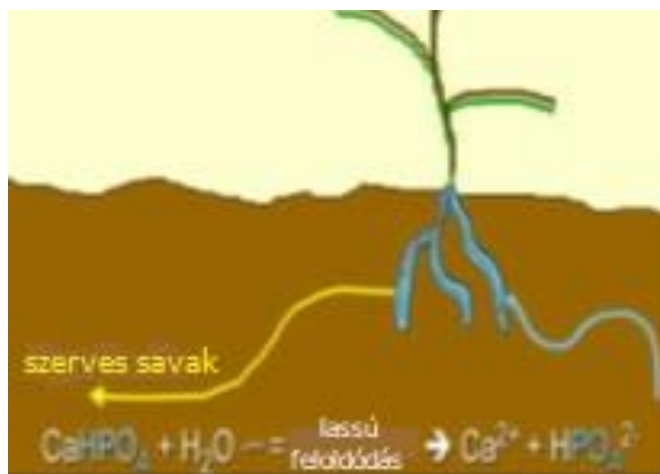


2. ábra: a gombákkal való szimbiotikus társulások képzése a talajból nehezen hozzáférhető tápanyagok beszerzésére irányuló stratégia egy fajtája.

1. Függelék: Foszfor a mezőgazdaságban

3) A rizoszféra kémiai és biológiai folyamatai

A növényi gyökerek nagymértékben módosíthatják az őket körülvevő rizoszférát szerves vegyületek - például citrát, malát és oxalát - kiválasztása révén (3. ábra). A gyökerek által kiváltott vegyületek 2-3 egységgel is csökkenthetik a rizoszféra pH-ját a talaj többi részéhez viszonyítva, ami a talaj szűkösen hozzáférhető foszfortartalmának jelentős mértékű feloldódását eredményezi.



3. ábra: A növényi gyökerek szerves vegyületek kibocsátásával módosítják a rizoszféra pH-ját.

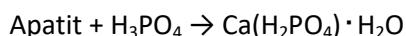
Foszforforrások a növények számára

Napjainkban a foszfort többnyire foszfátkőzetek bányászatából nyerik. A foszfátkőzetek kontinentális talapatok tengeri környezetében vagy magmás lerakódásokban keletkeznek, főleg kőzetlemezek széleinél és hasadékvonalakban.

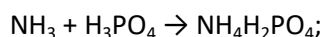
A **foszfátkőzetet** foszforsavvá alakítják. A foszfor-műtrágya túlnyomó részét foszfátkőzet savval (H_2SO_4 , HNO_3) való reakciója során gyártják (6. ábra).

A foszfor-műtrágya fő kiindulási anyagai:

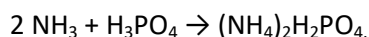
- Az **apatit** ($\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$) a fogak és a csontok alkotóeleme. Savban oldva oldható foszfor-műtrágyává alakul:



- Az **ammónium-foszfátot 1** (MAP) mol ammónia és 1 mol foszforsav reakciójával állítják elő:

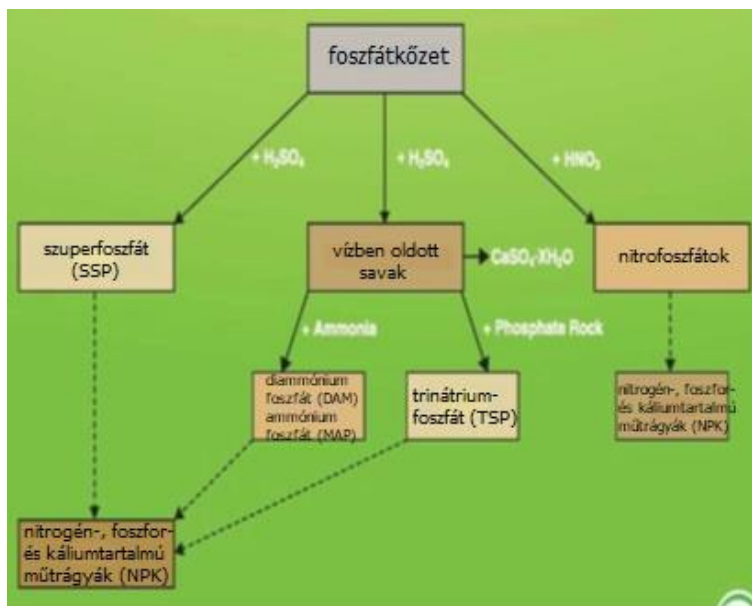


- A **di-ammónium-foszfátot** (DAP) úgy állítják elő, hogy 2 mol ammóniát reagáltatnak 1 mol foszforsavval:



1. Függelék: Foszfor a mezőgazdaságban

A foszfátkőzetek bányászatából kiaknázható foszfor mennyisége azonban korlátozott és nem megújuló erőforrásnak számít. Emiatt a jövőben a foszfátműtrágyák használatát várhatóan korlátozni fogják.



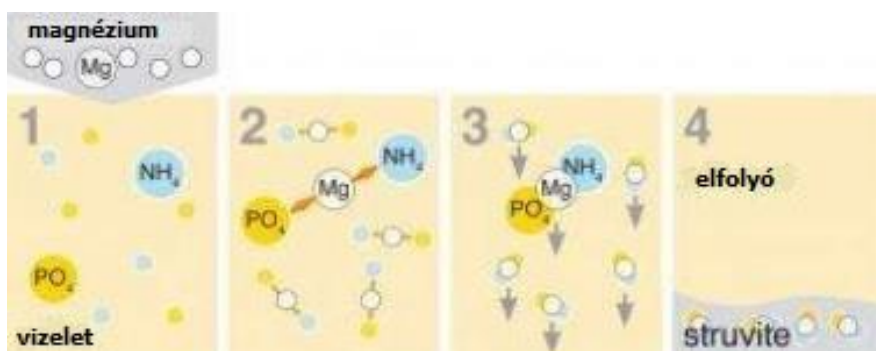
4. ábra: A foszfátos kőzetek kitermeléséből származó foszfátműtrágyák előállításának főbb útjai

Vannak-e más foszforforrások?

A két legfontosabb foszforforrást a szennyvíztisztító és az állattartó telepek jelentik.

A foszfor a szennyvízből kristályos magnézium-ammónium-foszfát (MAP) formájában ($\text{MgNH}_4\text{PO}_4 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$) nyerhető vissza, amit más néven struvitnak nevezünk.

A struvit ($\text{MgNH}_4\text{PO}_4 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$) egy fehér por alakú ásványi anyag, amelyet az ammónium, foszfát és magnézium egyszerű kicsapási reakciójával nyernek (az alábbi ábra szerint).

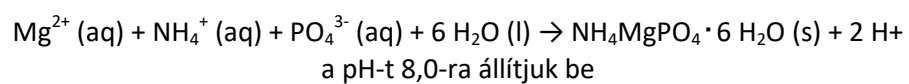


5 ábra: A struvit előállítása települési szennyvizekből

A kísérlet során a hallgatókat arra ösztönzik, hogy építsenek egy víztisztító berendezést újrahasznosított anyagok felhasználásával és állítsanak elő struvitot szintetikusszennyvíz-oldatból, figyelembe véve a pH hatását és a reagensek koncentrációját.

1. Fűggelék: Foszfor a mezőgazdaságban

Reakciók



A struvit akkor keletkezik, ha a Mg^{2+} , NH_4^+ , PO_4^{3-} ekvimoláris mennyiségben (1:1:1) vannak jelen.