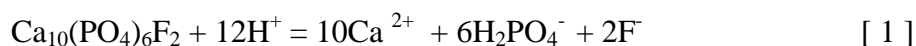


## SZAKMAI BESZÁMOLÓ

### BEVEZETÉS

A nyersfoszfát, mint közvetlen foszfortrágya elsősorban a savanyú és az erősen savanyú kémhatású talajokon alkalmazható. Egy adott talajban a nyersfoszfát P tartalmának oldódása, feltáródása, a növények számára a felvehetősége, agronómiai hatásossága elsősorban magának a nyersfoszfátnak a fizikai és kémiai sajátosságaitól függ. Közvetlen P-trágyázásra csak az üledékes nyersfoszfátok alkalmasak. Mivel a nyersfoszfát nem vízoldható, feltáródását, növényi felvehetőségét, közvetlen alkalmazhatóságát kémiai összetétele mellett fajlagos felülete és szemcsemérete is befolyásolja.

A növények a foszfort a talajból zömmel foszfát-ion formájában veszik fel. Ha a P-trágyát vízben nem oldódó nyersfoszfát formájában adjuk a talajhoz, a nyersfoszfátnak (foszforitnak) először fel kell táródnia a talajban ahhoz, hogy foszfát-ionokat szolgáltatson. A nyersfoszfát oldódását a talajban alapvetően a talaj pH-ja, a talaj P koncentrációja és a talaj kicserélhető Ca- tartalma határozza meg. A reaktív nyersfoszfát a P trágya hatásán túl szabad CaCO<sub>3</sub> tartalma, és a P-ásvány talajban történő oldódása révén a talaj savanyúságát csökkentő hatású:



A nyersfoszfátok – melyek egyben a szuperfoszfát és egyéb vízoldható P-trágyák alapanyagai – eredetüktől függően különböző minőségű és -mennyiségű szennyezőanyagokat (nehézfémeket és egyéb potenciálisan toxikus elemeket) tartalmaznak. Az üledékes nyersfoszfátokban a fémek között általában a legmagasabb a króm koncentrációja és a legalacsonyabb a higanyé. A nyersfoszfátok Cd tartalmának, növényi felvehetőségének vizsgálata a többi elemhez képest a Cd káros egészségügyi hatása miatt kiemelt szerepet játszik.

Hazánkban a nyersfoszfátok agronómiai hatékonyságának vizsgálata a 60-as években kezdődött, mely újabb lendületet a 90-es években kapott.

### EREDMÉNYEK

#### 1. A nyersfoszfátok agronómiai értékelése

##### 1.1. Nyersfoszfát oldhatóság vizsgálatok

A nyersfoszfátok összes P-tartalmával nem jellemezhető agronómiai hatékonyságuk. Kémiai reaktivitásukat P tartalmuk különböző oldószerekben történő oldhatósága alapján mérik. A nyersfoszfátok közvetlen alkalmazhatóságának megítélésére általában semleges ammónium citrátot (USA, Ausztrália), 2%-os citromsavat (Brazília, Új-Zéland) és 2%-os hangyasavat (Európai Unió) használnak kivonószerként.

A világ különböző helyeiről származó 27 nyersfoszfát fizikai és kémiai vizsgálatát végeztük el, melyek közül a tenyészedény kísérlethez a hyperfoszfátot, az algériai, az é-karolinai, floridai, marokkói és a szenegáli nyersfoszfátot választottuk ki, melyek P-, és CaCO<sub>3</sub> tartalmukban, fajlagos felületükben, reaktivitásukban, és potenciálisan toxikus elemtartalmukban széles skálát ölelnek fel (1.táblázat), mivel a nyersfoszfátokat agronómiai és környezetvédelmi szempontból is értékelni kívántuk.

1. táblázat. A nyersfoszfátok (<160µm) tulajdonságai és P-tartalmának oldhatósága

A nyersfoszfát eredete	Tulajdonságok			*P-oldhatóság, P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> %		
	Fajlagos felület, m <sup>2</sup> g <sup>-1</sup>	CaCO <sub>3</sub> %	összes-P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , %	2%-os hangyasavban	2%-os citromsavban	seml. NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> citrátban
Algéria	14,2	18,3	27,5	63,9	39,4	29,8
Florida	12,7	6,9	25,4	26,3	25,6	10,6
É-Karolina	20,0	12,8	23,8	75,2	48,9	21,4
Szenegál	5,7	4,3	33,0	28,8	26,0	7,6
Marokkó	12,0	14,4	26,1	58,2	37,3	11,9
Hyperfoszfát	15,4	13,3	22,5	65,2	48,3	22,2

\* = egységnyi nyersfoszfát tömeg összes- P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> tartalmára vonatkoztatva

A vizsgált nyersfoszfátok oldhatósági sorrendje (reaktivitása):

- 2%-os hangyasavban, 2% -os citromsavban: é-karolinai > hyperfoszfát > algériai > marokkói > szenegáli > floridai
- semleges ammónium-citrát oldatban: algériai > é-karolinai = hyperfoszfát > marokkói > floridai > szenegáli

## 1.2. Tenyészedény kísérlet

Tenyészedény kísérletben közepesen-erősen savanyú, gyenge P- ellátottságú homoktalajon (Nyírlugos), és közepesen savanyú, foszforral igen gyengén ellátott agyagos vályogtalajon (Ragály) vizsgáltuk a kiválasztott hat nyersfoszfát hatását a vöröshere (*Trifolium pratense* L.) (három vágás) és a tavaszi árpa (*Hordeum vulgare* L.) hajtás tömegére, P-koncentrációjára és P-felvételére. A nyírlugosi és a ragályi talaj alapvizsgálati adatai: pH<sub>H2O</sub>: 5.0 és 5.7; y<sub>1</sub>: 11 és 17; y<sub>2</sub>: 3.7 és 0; humusztartalom: 0.6 és 3.4%; T-érték: 3.0 és 19.6 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>; agyag+iszap: 5.0 és 60%; agyag: 2.2 és 27%. Standard P-forrásként szuperfoszfátot alkalmaztunk. Külön kezelésben a szuperfoszfát mellett adagolt CaCO<sub>3</sub> hatását is tanulmányoztuk, mivel a bázikus nyersfoszfátok alkalmazásakor a termésvnövekedést P- és mészhathatások együttesen eredményezik. A nyersfoszfát feleségeket és a szuperfoszfátot mindkét talajon a hatóanyag-azonosság elvén, 0-100-400-1600 mg összes P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> kg<sup>-1</sup> adagokkal, hat-hat ismétlésben juttattuk ki. Három párhuzamost a rizoszféra kutatásokhoz, a másik hármat a hajtás tömeg, P és toxikus elem koncentráció és –felvételi vizsgálatokhoz használtunk fel.

### 1.2.1. A talaj könnyen oldható P tartalmának meghatározása

A tenyészedény kísérlet talajai P szolgáltatásának becslésére az ammónium-laktát (AL), a Lakanen-Erviö (LE), a Bray1, az Olsen, és a H<sub>2</sub>O módszert alkalmaztuk. A konvencionális talaj P vizsgálati módszerek mellett egy hazánkban kevésbé elterjedt módszert, a Fe-oxidos papírcsík (Pi) eljárást adaptáltuk. A kísérletben alkalmazott két talaj igen eltérő tulajdonságú és P tartalmú volt. A nyírlugosi savanyú homoktalaj eredeti Pi-P tartalma kétszerese, H<sub>2</sub>O-, Olsen-, Lakanen-Erviö-, AL-oldható P tartalma 3-4-szerese, Bray1 oldható P-tartalma pedig nyolcszorosa volt a ragályi savanyú agyagos vályog talajénak. A nyersfoszfát trágyázás

hatására ez az arány változott, a tenyészedény kísérlet végén a nyersfoszfát féleségek és adagok átlagában a vizsgált két talaj különböző módszerekkel mért könnyen oldható P-tartalma közötti különbség a kiindulási talajéhoz képest a Bray1 módszerrel kivonható P kivételével csökkent (másképp háromszoros különbségekig). A két talaj Bray1 módszerrel oldható P-tartalma közötti különbség viszont 12-szeresére nőtt. A nyersfoszfát féleségek és adagok átlagában az egyes módszerekkel kimutatott P mennyisége mindkét talajon ugyanabban a sorrendben növekedett:  $H_2O-P < Pi-P < Olsen-P < Bray1-P < LE-P_2O_5 < AL-P_2O_5$ . A savanyú homoktalajon 14,5; 15,7; 30,9; 201 mg  $kg^{-1}$  P-t és 305; ill. 423 mg  $kg^{-1}$   $P_2O_5$ -t, a savanyú agyagos vályog talajon 7,8; 9,2; 10,8; 17,4 mg  $kg^{-1}$  P-t és 200; ill. 234 mg  $kg^{-1}$   $P_2O_5$ -t mértünk.

### *1.2.2. A P források és -adagok hatása a vöröshere jelzőnövényre*

A nyersfoszfát féleségek és a P-adagok átlagában a kolloidszegény savanyú homoktalaj vöröshere termésének (7,04 g edény<sup>-1</sup>) kétszeresét takarítottuk be a nagyobb kolloidtartalmú savanyú agyagos vályog talajon (14,26 g edény<sup>-1</sup>). A P-felvétel viszont az agyagos vályog talajon a kísérlet átlagában csak 20%-kal volt nagyobb (36,0 mg P edény<sup>-1</sup>), mint a homoktalajon (28,8 mg P edény<sup>-1</sup>).

A nyersfoszfát féleségek függvényében, mindkét talajon, a hatóanyag-azonosság elvén beállított 0-100-400-1600 mg (összes)  $P_2O_5$   $kg^{-1}$  adagok eltérő P hatásokat eredményeztek. A hozamtöbbletekben és P-felvételben megnyilvánuló P hatás különbségek szoros összefüggést mutattak az egyes nyersfoszfátok tulajdonságaiban (P-oldékonyság, fajlagos felület, kalcium-karbonát tartalom) meglévő különbségekkel. Így mindkét talajon a kiváló természetes oldékonyságú algériai és é-karolinai nyersfoszfáttal történő kezelés eredményezte a legnagyobb termés többleteket és P-felvételt. A másik végletet a kis fajlagos felülettel, alacsony P oldhatósággal, kis kalcium-karbonát tartalommal rendelkező szenegáli nyersfoszfáttal való kezelés jelentette. A nyersfoszfátok P-oldhatóságában meglévő különbségeket számszerűen a relatív agronómiai hatékonysággal (RAE%) is kifejeztük, azaz a nyersfoszfát hatását a termésre ill. a P-felvételre egy vízzoldható P-műtrágya - kísérletünkben szuperfoszfát - hatásához viszonyítottuk. Mindkét talajon mindkét paraméter alapján a legnagyobb relatív agronómiai hatékonyságú az algériai és az é-karolinai nyersfoszfát, a legkisebb a szenegáli nyersfoszfát volt. A ragályi talajon a nyersfoszfátok relatív agronómiai hatékonyságának sorrendje (akár a vöröshere tömeg, akár P-felvétele alapján számítva) megegyezik a nyersfoszfátok semleges ammónium citrátban mért oldhatósági sorrendjével.

A nyersfoszfát oldhatósága és a vöröshere termése, valamint P-felvétele közötti összefüggést vizsgálva mindkét talajon a leglazább összefüggést akkor kaptuk, ha az adott P-adagokat az összes P-tartalom alapján adtuk meg, a legszorosabbat pedig a nyersfoszfátok P-tartalmának semleges ammónium citrátban történő oldhatóságának figyelembe vételekor. Ez, valamint a nyersfoszfátok relatív agronómiai hatékonysági sorrendje arra utal, hogy a semleges ammónium citrát a legjobb kivonószer a vizsgált nyersfoszfátok közötti P-oldhatósági sorrend megállapításához.

A vöröshere tömege és P-felvétele alapján vizsgáltuk, hogy melyik módszer alkalmasabb a talajok felvehető P tartalmának becslésére, ha P-forrásként eltérő oldékonyságú nyersfoszfátokat és szuperfoszfátot is alkalmazunk.

Eredményeink azt mutatták, hogy a nyersfoszfát kezeléseknél a nyírlugosi savanyú homoktalajon a vöröshere összes termése a talajminták Olsen-, a P felvétele a Pi módszerrel mért P-tartalommal adta a legszorosabb korrelációt. A ragályi savanyú agyagos vályogtalajon a vöröshere termése és P felvétele is a Pi-P tartalommal mutatta a legszorosabb összefüggést, de szoros korrelációt kaptunk még az Olsen és a vízzoldható P tartalommal is. A termés és a P

felvétel a nyírlugosi talajon a Bray1-P, a ragályi talajon az AL-P értékekkel adta a leggyengébb összefüggést.

Valamennyi P forma (a nyersfoszfátok és a szuperfoszfát kezelések) együttes értékelésekor az Olsen- és a Fe-oxidos papírcsík módszer alkalmazásakor kaptuk a legszorosabb összefüggést a vöröshere termésével, ill. P-felvételével a nyírlugosi és a ragályi talajon egyaránt.

A különböző tulajdonságú ragályi és nyírlugosi talaj együttes értékelése során, az összes P forrást figyelembe véve, a talaj könnyen oldható P tartalmak és a vöröshere P felvétele közötti korreláció sorrendje  $P_i > LE > H_2O > AL > Olsen > Bray1$  volt. Vizsgálataink megerősítették a  $P_i$  módszernek a hagyományos talaj P kivonási módszereknél kevésbé talajtulajdonság- és P forrás -függő voltát.

### *1.2.3. Tavaszi árpa*

Az egyszikű tavaszi árpa kísérletet a kétszikű vöröshere tenyészedeny kísérlettel teljesen megegyező P- formákkal és –adagokkal állítottuk be, hogy a két növény esetleg eltérő P trágya és –adag reakcióit is megállapíthassuk.

A kísérlet átlagában az árpa hajtás tömege csaknem kétszerese volt a ragályi agyagos vályogtalajon ( $3.69 \text{ g edény}^{-1}$ ), mint a nyírlugosi homoktalajon ( $1.90 \text{ g edény}^{-1}$ ). Ennél sokkal kisebb különbségeket állapítottunk meg ugyanakkor a két talajon nőtt árpa P-felvételében: értéke az agyagos vályog talajon a kísérlet átlagában 25%-kal volt nagyobb ( $13,0 \text{ mg P edény}^{-1}$ ), mint a homoktalajon ( $10.4 \text{ mg P edény}^{-1}$ ). Ennek oka a ragályi talajhoz képest a nyírlugosi talajon nőtt bokrosodáskori árpának a nyersfoszfát kezelésekben, abszolút értékben kifejezve átlagosan csaknem 0.1%-kal nagyobb, a szuperfoszfát és a szuperfoszfát+  $\text{CaCO}_3$  kezelésben 0.2-0.3%-kal nagyobb P koncentrációja volt.

A vöröshere kísérlethez hasonlóan, az egyes nyersfoszfátok P oldékonyságában meglevő különbségek a hajtástömegben és P-felvételben mért P hatásokban is kifejezésre jutottak. A legnagyobb termés többleteket és P-felvételt mindkét talajon a jó P-oldékonyságú algériai nyersfoszfát hatására kaptuk. Szintén hatékonynak bizonyult a hyperfoszfát, a marokkói és az é-karolinai nyersfoszfát. Ezzel szemben, a legkisebb P oldhatósággal, fajlagos felülettel, és mésztartalommal rendelkező szenegáli, és részben a floridai nyersfoszfát mutatta a legrosszabb hatékonyságot. Az egyes nyersfoszfátoknak – az árpa hajtás tömege ill. P-felvétele alapján számított – relatív agronómiai hatékonysági (RAE%) sorrendje mindkét talajnál megegyezett a nyersfoszfátok semleges ammónium citrátban mért oldhatósági sorrendjével.

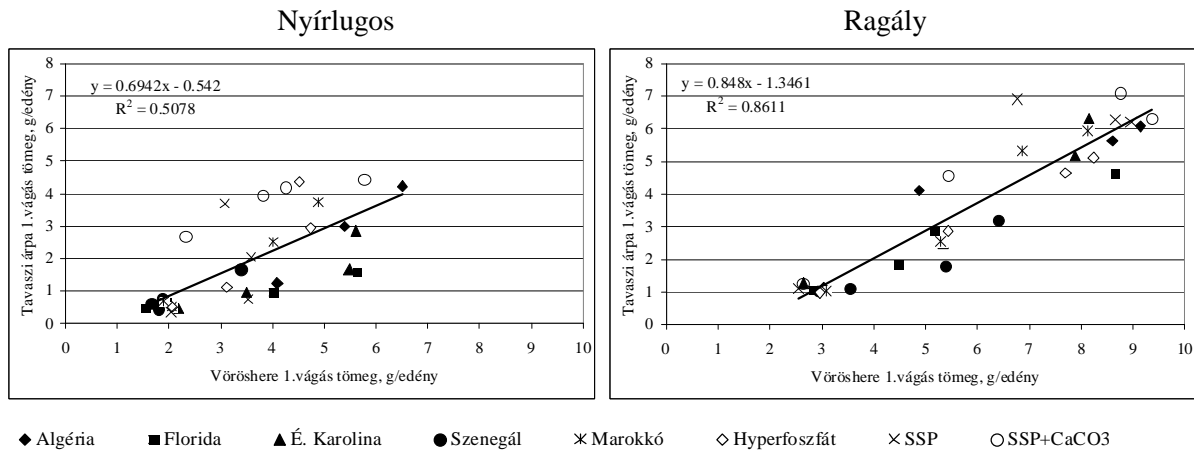
A nyersfoszfátok oldhatósága és a bokrosodáskori tavaszi árpa hajtás tömege, illetve P-felvétele közötti összefüggés mindkét talajon a vöröshere jelzőnövénytől azonos módon alakult, így annak részletes értékelésére itt nem térünk ki.

### *1.2.4. A vöröshere és a tavaszi árpa hajtástömegének és P felvételének összehasonlító értékelése [Eddig nem publikált eredmény]*

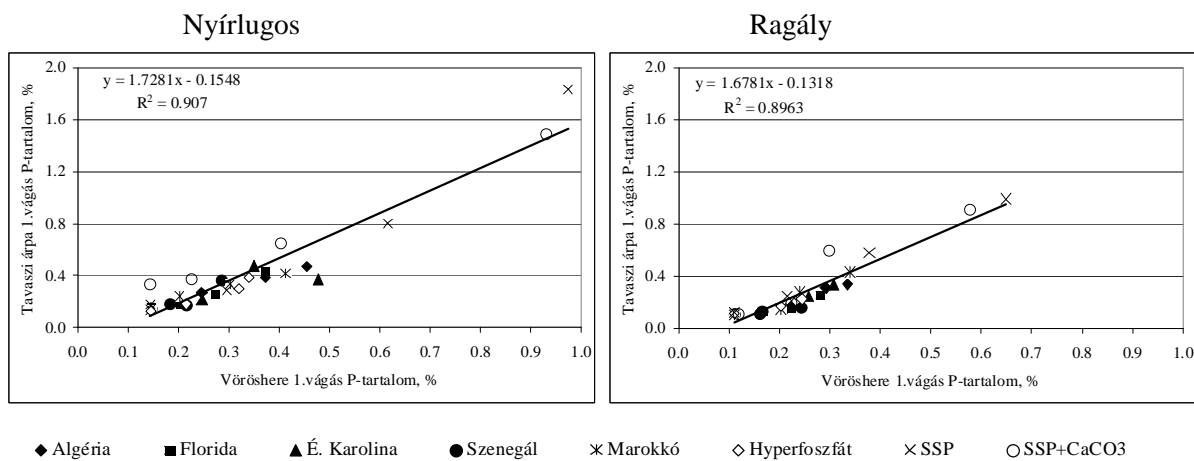
Mivel a vöröshere és a tavaszi árpa tenyészedeny kísérletet azonos módon állítottuk be, a két növénynek az eltérő P formákra adott reakciója (a hajtás tömegek, P koncentrációk és P felvételek vonatkozásában) közvetlenül is összehasonlítható, függvénykapcsolatban is kifejezhető.

Valamennyi P forma és –adag figyelembevételével a tavaszi árpa bokrosodáskori tömege a vöröshere 1. vágás tömegének mintegy 70%-át érte el a savanyú homok, és 85%-át a savanyú agyagos vályog talajon (1.ábra). Az összefüggés szorossága közepesnek volt

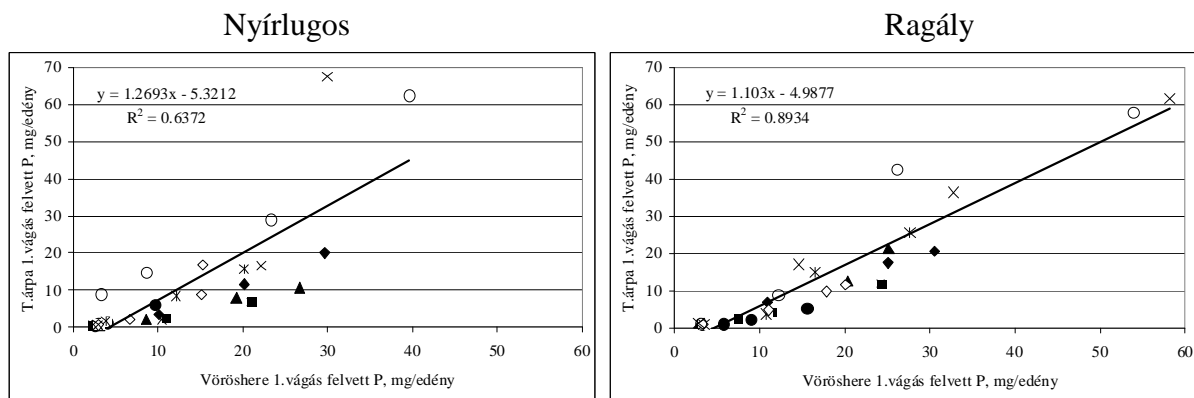
mondható a nyírlugosi ( $R^2$ : 0.51), és erősnek a ragályi talajon ( $R^2$ : 0.86). A nyírlugosi talajon a lazább összefüggés azzal is magyarázható, hogy a többi P formától eltérően,



**1. ábra** Összefüggés a vöröshere és a tavaszi árpa hajtástömegek között valamennyi P forma és –adag függvényében.



**2. ábra** Összefüggés a vöröshere és a tavaszi árpa hajtás P koncentrációk között valamennyi P forma és –adag függvényében.



### 3. ábra. Összefüggés a vöröshere és a tavaszi árpa P felvétele között valamennyi P forma és –adag függvényében.

a szuperfoszfát+mész kezeléseknél a tavaszi árpa relatíve kiugróan jobb szárazanyag termelést mutatott, mint a vöröshere. A ragályi talajon ugyanakkor mindkét növény egymáshoz hasonlóan reagált az egyes P formákra.

A vöröshere és a tavaszi árpa hajtás P koncentrációk összehasonlításakor mindkét talajon igen szoros összefüggést kaptunk (2. ábra; R<sup>2</sup>: 0.91 és 0.90). A két növény P koncentrációjának aránya is nagyon hasonló volt a két talajon: valamennyi P forma és –adag figyelembevételével a tavaszi árpa bokrosodáskori P koncentrációk a vöröshere 1. vágás P koncentrációkat átlagosan 1.7-szeresen haladták meg. Figyelemre méltó tehát, hogy a két növény igen hasonlóan reagált az igen eltérő oldékonyságú P formákra adott reakcióiban.

A vöröshere és a tavaszi árpa P felvétele közötti összefüggés szorossága a hajtástömegéhez hasonló volt (3. ábra; R<sup>2</sup>: Nyírlugos: 0.64; Ragály: 0.89). A savanyú homoktalajon a tavaszi árpa P felvétele átlagosan 1.3-szorosan, a savanyú agyagos vályog talajon átlagosan 1.1-szeresen haladta meg a vöröshere P felvételét. *[Nem publikált anyag vége].*

## 2. Rhizoszféra kutatások

### 2.1. Reaktív nyersfoszfátok alkalmazásának hatása a vöröshere és tavaszi árpa gyökérreakciójára

A talajba juttatott tápanyagok minél hatékonyabb hasznosítása fontos gazdasági és környezetvédelmi érdek. Termesztett növényeink P-hasznosítása szorosan összefügg a gyökérszövet és folyamatosan változó talajközegének kölcsönhatásai során megvalósuló P felvételük hatékonyságával.

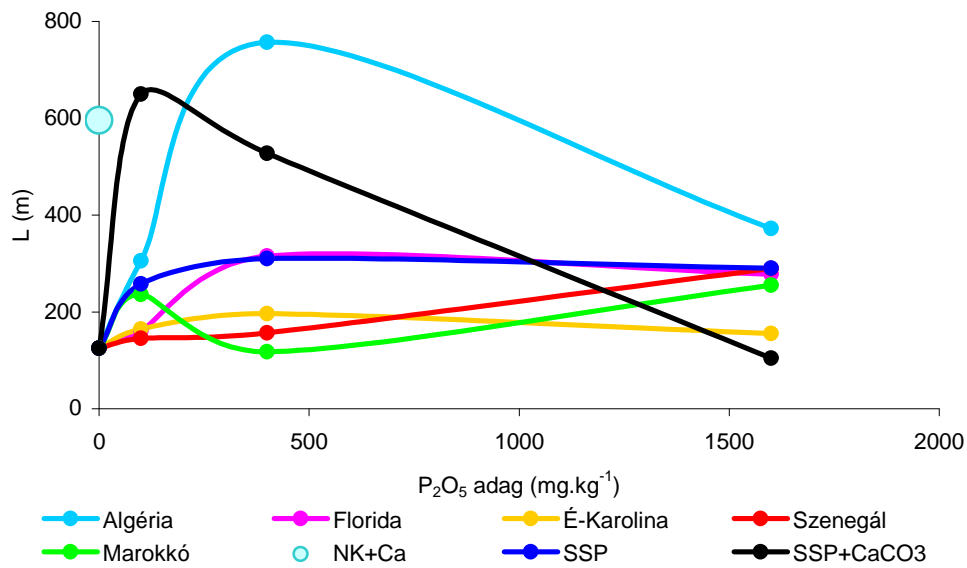
#### 2.1.1. Tenyészedény kísérlet *[Eddig nem publikált eredmény]*

A vöröshere jelzőnövény gyökérnövekedése a nyírlugosi talajban a kontrollhoz képest jóval gyorsabb a 100 mg.kg<sup>-1</sup> P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> adag hatására minden kezelésben – azaz függetlenül a tenyészedény kísérletbe (1.2. fejezet) vont P-trágya fajtától. Ennél nagyobb P adagok alkalmazásakor a gyökérnövekedési sebesség nagymértékű csökkenését figyeltük meg a meszezett szuperfoszfát (SSP+CaCO<sub>3</sub>) és az algériai nyersfoszfát kezeléseknél (4. ábra).

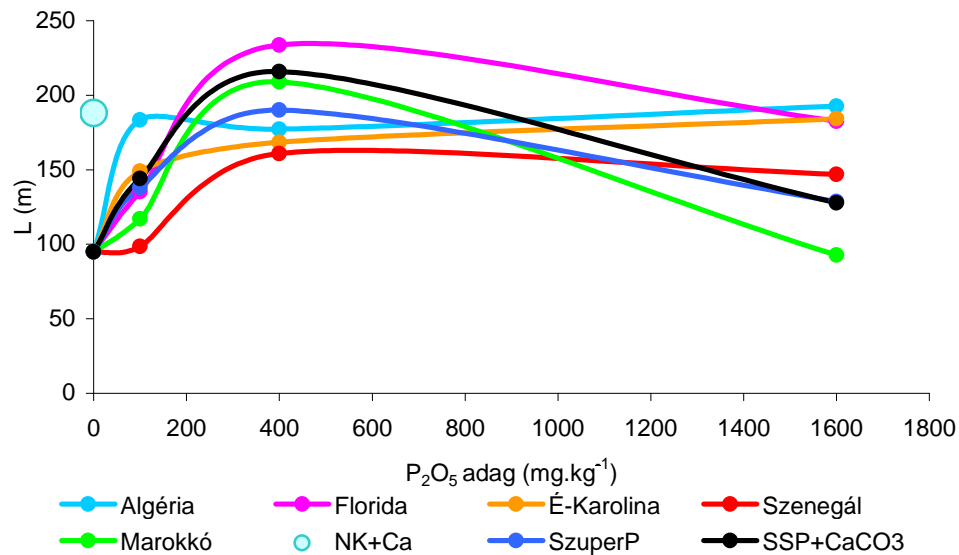
A morfológiai elemzés kimutatta, hogy a homoktalajban az algériai nyersfoszfát kezeléseknél a vöröshere gyökérszövetének specifikus tömege – az egységnyi tömegű gyökér hossza – minden P-szinten jelentősen felülmúlja a más P-kezeléseknél megfigyelt értékeit. Minél nagyobb az egységnyi tömegű gyökér hossza, annál kevesebb asszimilátum allokációjával – energia ráfordítással - jár a gyökérnövekedés. Az algériai nyersfoszfát CaCO<sub>3</sub>-tartalma, a talaj savas kémhatásának ellensúlyozása által megfelelő környezetet biztosít a kis energia felhasználással járó, ún. kompenzációs gyökérnövekedéshez, míg a szimbiotikus N<sub>2</sub> fixálás, az anionfelvételt túllépő kationfelvétel következtében fellépő proton kibocsátás, ezáltal a gyökérszövet kémhatásának savas irányba történő módosulása elősegíti P-tartalmának feltáródását, a P felvehetőségének növelését is a vöröshere jelzőnövény esetében. A nagyobb gyökérfelületi P koncentrációkon a kompenzációs gyökérnövekedés leáll.

A 4. és 5. ábrán azt is bemutatjuk, hogy a P kontroll (NK) kezelés talajának meszezése

önmagában a gyökérzet hosszának (L) jelentős növelését okozta. A nyersfoszfátok gyökérnövekedésre gyakorolt hatását tehát nemcsak P-oldhatóságuk, hanem mésztartalmuk, és ezen keresztül a gyökérkörnyezet kémhatásának változása is meghatározza.



4. ábra. Nyersfoszfát és szuperfoszfát hatása a vöröshere gyökérnövekedésére a homoktalajban



5. ábra. Nyersfoszfát és szuperfoszfát hatása a vöröshere gyökérnövekedésére az agyagos vályogtalajban [Nem publikált eredmény vége]

A homoktalajban az egységnyi száraz gyökértömegre vonatkoztatott hajtás P-kivonás (PRE, mg.g<sup>-1</sup>) – a vöröshere adott talajkörnyezetben megvalósult foszforfelvételi hatékonysági paramétere – az SSP+CaCO<sub>3</sub> és valamennyi nyersfoszfát kezelésben a trágya adag

növelésével nő, míg az SSP kezelésben a  $400 \text{ mg.kg}^{-1} \text{ P}_2\text{O}_5$  adagnál maximumot ér el. Az agyagos vályogtalajban a P-felvételi hatékonyság (PRE) minden kezelésben nő a P-adag növelésével a teljes vizsgált P-tartományban.

[Eddig nem publikált eredmény] A különböző eredetű nyersfoszfátok erős szignifikáns hatást ( $p < 0,001$ ) gyakoroltak a savanyú homoktalajon nevelt tavaszi árpa gyökérnövekedésére és P-kivonására is. A nyersfoszfátok mész- és lassan feltáródó P-tartalma előnyösen befolyásolta a gyökérnövekedést. A gyökérzet a nyersfoszfát adag növelésével nőtt, míg a viszonyítási alapként alkalmazott szuperfoszfát, ill. meszezett szuperfoszfát kezelésben a nagy P-adagoknál a gyökérhossz markáns depressziója következett be. A nyersfoszfát fajta és adag szignifikáns hatást gyakorolt ( $p < 0,001$ ) az árpa gyökerébe történő P-influxra ( $\mu\text{g.m}^{-1}.\text{nap}^{-1}$ ) is. A legkisebb értékek a szenegáli ( $4 \mu\text{g.m}^{-1}.\text{nap}^{-1}$ ), a legnagyobbak – a szenegáli nyersfoszfátnál mértnek csaknem ötszöröse – az algériai és marokkói nyersfoszfát alkalmazásakor volt kimutatható ( $20 \mu\text{g.m}^{-1}.\text{nap}^{-1}$ ). A nagyadagú szuperfoszfát háromszor, a meszezett szuperfoszfát pedig mintegy ötször nagyobb P-influxot tett lehetővé a savanyú homoktalajban, mint a nagy adagú nyersfoszfát kezeléseket. A kötöttebb talaj nyersfoszfát kezeléseiben a gyökérzet hosszabb volt, mint a szuperfoszfát kezelésben, az  $1600 \text{ mg.kg}^{-1} \text{ P}_2\text{O}_5$  kezelésben pedig a gyökérhossz csökkent a  $400 \text{ mg.kg}^{-1} \text{ P}_2\text{O}_5$  kezeléshez képest minden nyersfoszfát kezelésben. Ebben a talajban a meszezés hatására kisebb mértékben nőtt a gyökérzet hossza (5. ábra) és a P influx (SSP:103,7; SSP+CaCO<sub>3</sub>: 80,5; nyersfoszfátok: 25-10  $\mu\text{g.m}^{-1}.\text{nap}^{-1}$ ), mint a savanyú homoktalajon, ahol a hozzáadott mész hatására a P influx majdnem kétszerese a szuperfoszfát kezelésnek ( $65-116 \mu\text{g.m}^{-1}.\text{nap}^{-1}$ ). Az SSP kezelésben feltehetőleg a P gyors oldódása a talajoldatban viszonylag magas P koncentrációt hoz létre, ami a gyökérnövekedés gátlásához vezethet, függetlenül a (gyökérnövekedésre kedvezőtlenül ható savasságot csökkentő) hozzáadott mész hatásától.

Lineáris összefüggés mutatható ki a nyersfoszfátok semleges NH<sub>4</sub>-citrátban oldható P-tartalma (x) és a PRE (y) között (n=24):

1. Nyírlugosi talaj:  $y = 0.040x + 2.836$   $R^2 = 0.670$
2. Ragályi talaj:  $y = 0.020x + 5.460$   $R^2 = 0.843$

A homoktalajhoz képest a kötöttebb, nagyobb pufferkapacitású ragályi talajban a semleges NH<sub>4</sub>-citrátban oldható frakció nagyobb mennyisége szükséges a felvehető formában gyökérfelületre kerülő P mennyiség növeléséhez.

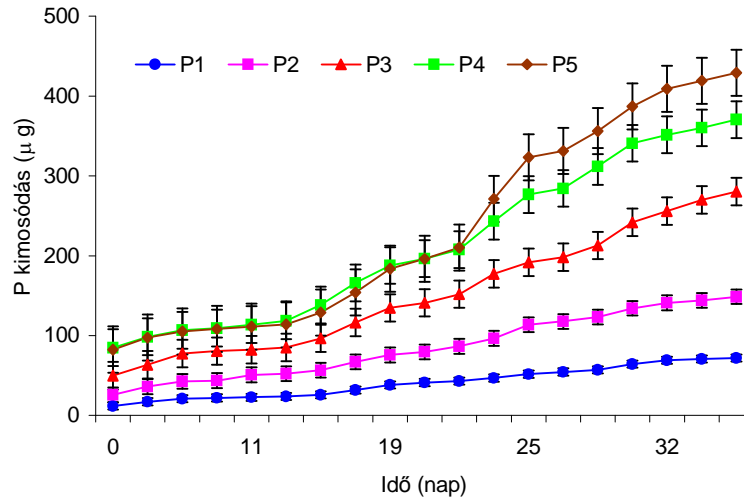
### 2.1.2. Az algériai nyersfoszfát felvehetőség vizsgálata mikroliziméteres módszerrel a tavaszi árpa gyökérkörnyezetében

A növény mindenkori foszforigénye vezérli a P-felvétellel kapcsolatos funkciókat. Ennek megfelelően a növény széles körű alkalmazkodásra képes, ami megnyilvánulhat a gyökérzet hosszának, felületének növekedésében, a felvétel kinetikai paramétereinek változásában és a P felvehetőségének növelésében. 0, 100, 400, 800 és 1600  $\text{mg P}_2\text{O}_5.\text{kg}^{-1}$  (P1, P2, P3, P4, P5) kezeléseket állítottunk elő az algériai nyersfoszfáttal a nyírlugosi savanyú homoktalajban.  $100 \text{ cm}^3$ -es műanyag fecskendőbe 100 g kezelt talajt töltöttünk (térfogat tömeg =  $1,43 \text{ g cm}^{-3}$ ) és 2 db árpa csírárt ültettünk bele. A szükséges N-mennyiséget NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> oldattal biztosítottuk. A talaj felületére kétnaponként az összporozításnak, ill. 1,25-szörösének megfelelő térfogatú ioncserélt vizet rétegeztünk. A lecsepegő oldatok P- és Ca-tartalmát mértük. A talajt és a növényeket a  $t_1=31.$  és  $t_2=38.$  napon mintáztuk, a biomasszát, a P és Ca-tartalmat mértük.

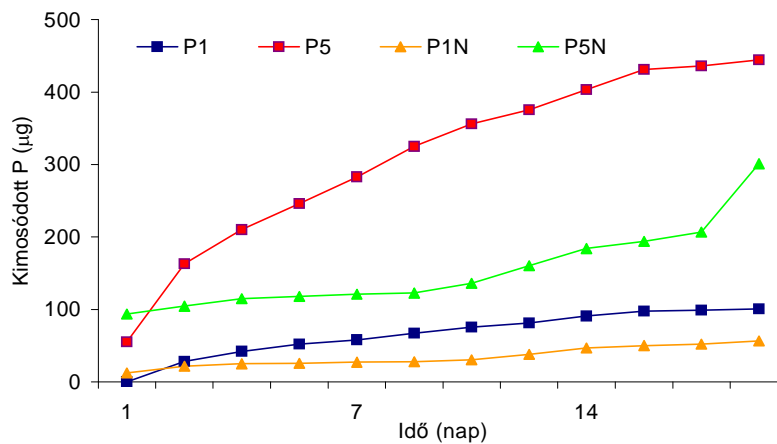


## P-felvétel és kimosódás a talajból

A nyersfoszfát feltáródása a gyökérkörnyezetben folyamatosan, időben elhúzódva ment végbe (6. ábra). Szignifikáns volt a P-adagok hatása a lecsepegő oldatok foszfor koncentrációjára ( $p < 0,0001$ ) és a kimosódott foszfor mennyiségére ( $p < 0,001$ ). Az ioncserélt vízzel kimosódott P mennyisége összemérhető volt a növényi P-felvétellel.



6. ábra. A növényes mikroliziméterekből kimosódó kumulált P mennyiség.



7. ábra. A kumulált kimosódott foszformennyiség növényes (P1N és P5N), ill. növény nélküli kontroll (P1) és 1600 mg.kg<sup>-1</sup> P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (P5) kezelésekben.

### 2. táblázat. Foszfor kimosódás sebessége (t<sub>1</sub>, t<sub>2</sub>: időtartam, napok)

P kezelés	P kimosódás sebessége µg.nap <sup>-1</sup>			
	Gyökérközegben		Növény nélkül	
	t <sub>1</sub> =10	t <sub>2</sub> =22	t <sub>1</sub> =10	t <sub>2</sub> =22
P1	2,3	4,6	2,1	7,6
P5	12,0	20,2	12,9	35,6

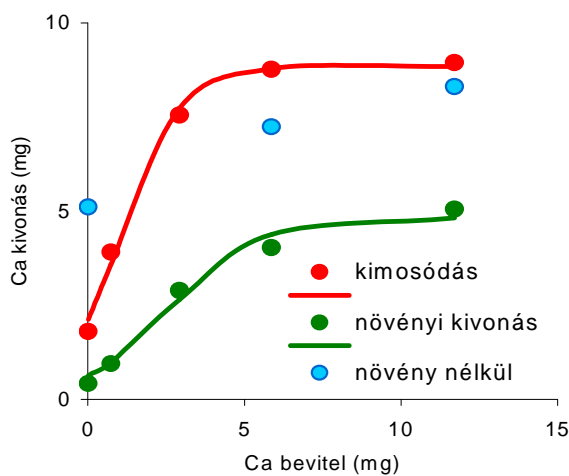
Összehasonlítva a gyökérközegeből és a növény nélküli talajból történő kioldódás sebességét látható, hogy a P a nagy nyersfoszfát kezelés (1600 mg.kg<sup>-1</sup> P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) gyökér közegéből – a növényi P-felvétel következtében – jóval kisebb sebességgel mosódik ki, mint a növény nélküli talajból (7. ábra, 2. táblázat).

Ugyanakkor a P-kontroll kezelésben nincs különbség a kimosódási sebességek között.

### Ca kimosódás és felvétel

A nyersfoszfát foszfortartalmának mobilizációja (1. 1. egyenlet) kapcsán összehasonlítottuk a Ca kimosódását a gyökérkörnyezetből és a gyökereket nem tartalmazó talajból. Az eredményt a 8. ábrán mutatjuk be. A Ca kimosódása a nyírlugosi talajból a következő összefüggésekkel írható le (x: Ca bevitel):

1. Ca kimosódás gyökérközegeből:  $y = 8,836 / (1 + 3,182 * 0,347^x)$ ; SSQ = 0,3; (n=5)
2. Ca kimosódás talajból:  $y = 0,273x + 5,288$ ;  $R^2 = 0,964$
3. Növényi Ca kivonás:  $y = 4,830 / (1 + 6,0610 * 0,49^x)$ ; SSQ = 0,3; (n=5)



8. ábra. Ca kimosódás, növényi Ca-felvétel és Ca bevitel összefüggése (18-38.nap)

Az utolsó 8 nap alatt Ca felvétel csak a P3 és P4 kezeléseknél volt kimutatható. Ebben a két kezelésben gyakorlatilag a nyersfoszfátban hozzáadott  $\text{CaCO}_3$  teljes mennyisége kimosódott, ill. felvette a növény. Ezek a folyamatok elősegítik a nyersfoszfát P-tartalmának oldódását (1. egyenlet). Ca kivonás általi P feltárást utal az is, hogy a P1 kezelésben a növényes edényekben a kimosódás sokkal kisebb, mint a növény nélküliekben – a Ca- felvétel következtében. Ezzel szemben a P4 és P5 kezeléseknél a Ca felvétel mellett a kimosódás is igen nagymértékű, eléri a növény nélküli edényben tapasztalt mennyiséget.

### Nyersfoszfát felvehetőségének tanulmányozása dinamikus szimulációval

Vizsgálatainkhoz a módosított Claassen-Barber modellt használtuk. A tenyészedény és mikroliziméter vizsgálatokban meghatároztuk a tavaszi árpa gyökérnövekedési, P- és Ca-felvételi paramétereit különböző adagú nyersfoszfát kezeléseknél, a nyírlugosi talajban, szabályozott hőmérsékleten és megvilágításon, fitotronban. A kísérletben meghatározott talaj és növényparamétereket a szimuláció paraméterezésére alkalmaztuk (3. táblázat).

Ezek a következők voltak:

$I_{\max}$  ( $\mu\text{mol}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}\cdot 10^{-6}$ ),  $K_m$  ( $\mu\text{mol}\cdot\text{cm}^{-3}\cdot 10^{-2}$ ) és  $Cl_{\min}$  ( $\mu\text{mol}\cdot\text{cm}^{-3}\cdot 10^{-3}$ ): felvételi kinetikai paraméterek: maximális influx, Michaelis-Menten konstans és minimális koncentráció;

$r_0$  ( $\text{cm}\cdot 10^{-2}$ ),  $k$  ( $\text{s}^{-1}\cdot 10^{-7}$ ) és  $L_1$  ( $\text{cm}$ ): átlagos gyökérsugár, gyökérnövekedési sebesség és kiindulási gyökérhossz;  $v_0$  ( $\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}\cdot 10^{-7}$ ): gyökérbe történő víz fluxus;  $r_1$  ( $\text{cm}\cdot 10^{-2}$ ): gyökerek közötti átlagos távolság fele (gyökerek közötti versengés becsléséhez).

$C_{li}$  ( $\mu\text{mol}\cdot\text{cm}^{-3}$ ): a P kiindulási koncentrációja a talajoldatban;  $D_e$  ( $\text{cm}^2\cdot\text{s}^{-1}\cdot 10^{-9}$ ): a foszfor effektív diffúziós együtthatója a talajban;  $b$ : foszfor pufferekapacitás.

3. táblázat. A szimulációban felhasznált paraméterek

	Kezelés				
	P1	P2	P3	P4	P5
Növényparaméterek					
$I_{\max}$ $\mu\text{mol}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}\cdot 10^{-6}$	0,6	0,6	0,6	*0,6	*0,6
$K_m$ $\mu\text{mol}\cdot\text{cm}^{-3}\cdot 10^{-2}$	3,2	7,7	7,7	7,7	7,7
$Cl_{\min}$ $\mu\text{mol}\cdot\text{cm}^{-3}\cdot 10^{-3}$	2	2	2	2	2
$r_0$ $\text{cm}\cdot 10^{-2}$	1,7	1,6	**1,4	1,2	1,25
$v_0$ $\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}\cdot 10^{-7}$	1,5	1,5	2,7	2,7	2,7
$r_1$ $\text{cm}\cdot 10^{-2}$	39,9	35,2	21,1	17,1	14,8
$k$ $\text{s}^{-1}\cdot 10^{-7}$	3,3	1,05	6,38	1,93	0,94
$L_1$ $\text{cm}$	146	159	145	821	1030
Talajparaméterek					
$C_{li}$ $\mu\text{mol}\cdot\text{cm}^{-3}$	0,023	0,052	***0,133	0,161	0,216
$D_e$ $\text{cm}^2\cdot\text{s}^{-1}\cdot 10^{-9}$	0,24	6,25	6,25	6,25	6,25
$b$	19,7	19,7	19,7	19,7	19,7

\* $I_{\max}$  0,3, ill. 0,2  $\mu\text{mol}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}\cdot 10^{-6}$  a P4 és P5 kezelésben

\*\*gyökérszőr hossz=  $6\cdot 10^{-2}$  cm

\*\*\* $C_{li}$ : 1,8 egység pH csökkentés esetén:  $0,277\ \mu\text{mol}\cdot\text{cm}^{-3}$

A P3 (400 mg.  $\text{kg}^{-1}$   $\text{P}_2\text{O}_5$ ) kezelésben a mért, ill. levezetett paraméter értékekkel végzett szimuláció jelentősen alulbecsülte a P-felvételt. Ez a kezelés ezért alkalmas volt arra, hogy a növényi P-felvételi stratégiák közül kettőt bevonhassunk vizsgálatainkba. Ezek a következők voltak:

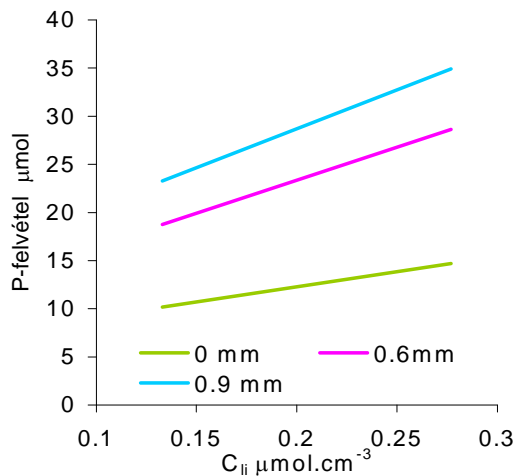
1. A felvevő felület növelése: gyökérszőrök fejlesztésével. Tavaszi árpa esetében 0,4-1.0 mm hosszú gyökérszőrök fejlődését írták le a szakirodalomban.
2. P-feltárás a gyökérkörnyezetben: Ca mobilizálás, vagy proton kibocsátás által.

Az általunk vizsgált esetben mindkét stratégiát figyelembe kellett venni, mivel csak az egyik figyelembe vételével a szimuláció jósága nem volt megfelelő. Amint azonban mindkét folyamatot figyelembe vettük, igen pontos becslést végezhetünk (9. ábra, 4. táblázat, P3 kezelés).

A kis P-felvételek becslése a szimulációs modellel megfelelő pontossággal sikerült, a mért- és mérésekből levezetett paraméterek alapján. A  $400\ \text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$   $\text{P}_2\text{O}_5$  adagok esetében a joggal feltételezhető gyökérszőr növekedés által elért felületnövekedés önmagában nem volt elegendő a felvett P mennyiség biztosításához. A növény nélküli modellkísérletek alapján – feltételezve egy valószínűsíthető 1 egységnyi pH csökkenést – közvetlenül a gyökér környezetében, kiszámíthatjuk a kiindulási koncentráció ( $C_{li}$ ) megnövelt értékét, ami a felvehető foszfor mennyiségének növekedése irányában hat. Így a P-kivonás pontosan becsülhető.

A szimulációban azonban óhatatlanul túlbecsültük a legnagyobb,  $1600\ \text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$   $\text{P}_2\text{O}_5$  kezelésben a növény által felvett P-mennyiséget. Véleményünk szerint ebben a kezelésben a foszforfelvétel az általunk tanulmányozott periódusban éppen szünetelt, vagy legalábbis igen

kis értékre csökkent. Valószínű, hogy a szituáció, a felelt meg egyik alapvető kritériumának, a ko



9. ábra. Gyökérszór (hossza: 0; 0,6 és 0,9 mm) hatása a  $400 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ P}_2\text{O}_5$  (P3 kezelés) szimulált növényi P-felvételére a kiindulási talajoldat P-koncentrációval összefüggésben.

„zéro sink”) alapvetésnek, amely szerint a gyökérfelületre kerülő minden felvehető formában jelenlévő foszfor felvételre kerül, vagyis az egységnyi gyökérfelület P-felvételét a talaj szolgáltatása limitálja. A P-felvételt leíró, Michaelis-Menten típusú összefüggésben a maximális influx ( $I_{\text{max}}$ ) értékét csökkentve, a becslés javítható volt. Bár kisebb mértékben, ez a megállapítás a P4 kezelésre ( $800 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ P}_2\text{O}_5$ ) is érvényes (4.táblázat). [Nem publikált eredmény vége]

#### A Cd felvehetőségének jellemzése

A nyersfoszfátok alkalmazásával bizonyos mennyiségű kadmiumot is a talajba juttatunk. A tenyészedény kísérletben (1.2. fejezet) vizsgáltuk a Cd felvehetőségét a vöröshere növény számára, a nyírlugosi talajból. Mivel az a Cd mennyiség tekinthető felvehetőnek egy adott időtartam alatt, ami a gyökérfelületre kerül, megvizsgáltuk a Cd felvehetőségét jellemző CdRE ( $\text{mg}$  hajtás  $\text{Cd}\cdot\text{g}^{-1}$  gyökér száraz tömeg) értékeket. A Cd felvétel a  $0.9 \mu\text{g} - 7 \mu\text{g}$  tartományban volt. A gyökértömegekre vetítve a legtöbb kadmiumot a szenegáli nyersfoszfát kezelésekből vette fel a vöröshere – háromszor annyit, mint a többi P-forrásból arányosan növekedve a P-adag növelésével a vizsgált P-tartományban. Mind a nyersfoszfát eredete, mind pedig a P adag szignifikáns hatást gyakorolt a Cd felvételre és a gyökér Cd-felvételi hatékonyságára ( $p < 0,001$ ).

#### Következtetések

Összefoglalva megállapítottuk, hogy a vöröshere és tavaszi árpa gyökérfejlődését, P- és Cd-felvételi paramétereit (felvételi hatékonyság, influx) mind az alkalmazott foszfortrágya P-tartalma, mind oldódási sebessége és egyéb sajátosságai – mint  $\text{CaCO}_3$ -tartalma – jelentősen befolyásolják. A gyökérnövekedéshez kedvező talajkörnyezet – kémiai összetétel, mésztartalom, ill. savanyúság és a tápanyag felvehetőség – mellett a foszfor viszonylag állandó, nem nagy oldatkoncentrációkat eredményező, talajoldatba való oldódási sebessége gyökérnövekedést indukál a kisebb adagú nyersfoszfát kezelésekből.

Dinamikus szimulációs vizsgálattal valószínűsítettük, hogy a tavaszi árpa  $400 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$

#### 4. táblázat: Szimulációs eredmények

em  
ín.

Kezelés	P-felvétel $\mu\text{mol}$	
	Mért	Becsült
P1	0,90	0,89
P2	8,48	8,47
P3	21,59	21,44
P4	13,30	15,51
P5	1,22	22,09

A táblázatban a P3 kezelésben a P-felvételi stratégiákat összesítő szimulációs eredményt mutatjuk be.

P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> adagon foszforigényének kielégítéséhez legalább két típusú felvételi stratégiát alkalmazott: a gyökérkörnyezet P-tartalmának kémiai feltárását (pH csökkentés) és a leghatékonyabb felvevő felületnövelést (gyökérszőr fejlesztés).

## 2.2. Nyersfoszfátok alkalmazásának hatása a mikorrhizációra, és ezzel összefüggésben a gazdanövény P- és nehézfém felvételére

A tenyészedény kísérletekben vizsgáltuk a vöröshere és tavaszi árpa gazdanövények gyökerében a talajok bennszülött arbuskuláris mikorrhiza (AM) gombái gyökérkolonizációjának (infektivitás) alakulását a talajtulajdonságok, a különböző nyersfoszfát típusok és azok eltérő dózisaiknak függvényében. Tanulmányoztuk továbbá a bennszülött AM gombák hatását (effektivitás) a gazdanövény növekedésére, foszfor és nehézfémfelvételére a marokkói és szenegáli nyersfoszfátok esetében.

A talajok magas könnyen felvehető foszfortartalma gátolta a bennszülött AM gombák gyökérkolonizációját. Az AM gombák gyökérkolonizációjának infektív gyakorisága mindkét vizsgált talajban magas értékeket mutatott és bár a kontroll talajokban tapasztalt értékekhez viszonyítva a nyersfoszfát féleségek dózisaik emelkedésével csökkent, ez a csökkenés az esetek többségében nem volt szignifikáns és függött az egyes nyersfoszfátok oldékonyságától is. A foszfor dózisok növekedése a nyírlugosi savanyú homoktalajban erőteljesebb gátlást fejtett ki az AM gombák infektív gyakoriságának alakulására, mint a ragályi agyagos vályog mintákban.

A savanyú talajokban foszfortrágyaként használt nyersfoszfátok feltáródása lassú és fokozatosan történik, s ennek kedvező hatását a mikorrhizációra a legnagyobb foszfortartalmú és egyben a legkisebb oldékonyságú szenegáli nyersfoszfátnál lehetett kimutatni.

A bennszülött AM gombák jelenléte mindkét nyersfoszfát típus esetében a nem mikorrhizás növényekhez képest növelte a vöröshere gazdanövény biomassza termelését és P felvételét, míg a Cd, Ni, Pb és Cr hajtásbeni koncentrációját csökkentette.

## **3. A nyersfoszfátok környezeti hatásának vizsgálata**

Az Európai Unióhoz való csatlakozás előtt hazánkban a reaktív üledékes nyersfoszfátok közvetlen kijuttatása – az akkor érvényben levő rendkívül szigorú törvényi szabályozás (8/2001, ill. 50/2003 FVM rendelet) miatt – nem volt megengedett. 2004. májusa óta viszont – mivel az EU-ban forgalmazott P trágyákra ilyen korlátozás nincs – a reaktív nyersfoszfátok közvetlen kijuttatása hazánkban is lehetséges. Ez a tény különösen időszerűvé tette jelen kutatásainkat, melyekben a nyersfoszfátok agronómiai hatékonysága mellett potenciálisan káros elemtartalmuk savanyú kémhatású talajokban való feltáródását, ill. növényi felvehetőségét is vizsgáltuk.

A szabad savtartalmú műtrágyák alkalmazása, valamint az antropogén hatásokkal is magyarázható savas ülepedés a környezet erősödő savasodásának fő előidézői. Hazánkban a 80-as évek közepén a gyengén savanyú talajok 1.100 ezer hektár, a nyersfoszfátok közvetlen kijuttatására alkalmas közepesen savanyú talajok 750 ezer hektár, míg az erősen savanyú talajok 250 ezer hektár területet foglaltak el. Mára – ha csökkenő mértékben is – tovább savanyodhattak mezőgazdasági művelés alatt álló talajaink.

Korábbi vizsgálataink szerint erősen savanyú talajainkon a talajt tovább savanyító szuperfoszfát alkalmazásakor nagyobb volt a betakarított termés nehézfém tartalma, mint a talaj pH-ját növelő, és egyúttal a talajban már ott levő nehézfémek oldhatóságát csökkentő bázikus nyersfoszfát kijuttatásakor.

A hazai szabadföldi meszezési tartamkísérletek adatbázisának értékelése során

termesztett növényeink jelentős mészhatásairól számoltunk be. A 90-es évek elejétől kezdődően műtrágya felhasználásunkkal együtt a meszezés volumene is drámai módon visszaesett. Mindezek a tényezők még időszerűbbé teszik a reaktív nyersfoszfátok környezeti hatásvizsgálatait.

### 3.1. A vizsgált nyersfoszfátok és a kiindulási talajok nehézfém- és egyéb toxikus elem tartalma

A vizsgált üledékes nyersfoszfát féleségek származási helyük függvényében igen változatos károselem szennyezettségeket mutattak. Irodalmi adatok szerint a károselem szennyezettségek oldékonysági viszonyai általában szoros összefüggést mutatnak az adott nyersfoszfát P-oldékonysági viszonyaival. Így az összes toxikus elem tartalom túl a nyersfoszfátok oldható potenciálisan toxikus elemtartalmának ismerete is fontos.

**5. táblázat. A hat nyersfoszfát és a szuperfoszfát (<160µm frakció), valamint a kiinduláskori talajok összes károselem tartalma**

P-formák	Elemtartalom, mg kg <sup>-1</sup>							
	Cd	Ni	Pb	Co	Cr	Mn	Sr	Al%
Algériai PR	14.4	8.2	4.2	0.7	142	38	1589	0.3
Floridai PR	4.6	14.5	11.9	5.4	84.9	152	730	0.8
É-Karolina PR	45.6	12.2	3.7	0.5	85.2	9	1846	0.2
Szenegál PR	113	49.1	4.1	5.6	119	175	637	0.6
Marokkó PR	51.2	39	2.9	<KH	215	<KH	1705	0.1
Hyperfoszfát	5.0	13.5	12.4	1.1	63.1	79	1017	0.2
SSP	5.4	12.8	1.0	<KH	72.3	<KH	908	0.07
<b>Talajok</b>								
homoktalaj	0.04	7.9	6.2	3.4	12.6	212	10.7	0.71
Agyagos vályog	0.26	26.8	22.4	13.1	37.7	697	49.4	2.99

KH = kimutathatósági határ

A tenyészedény kísérletekben alkalmazott nyersfoszfátok, valamint a két talaj salétromsav-peroxidos roncsolással meghatározott összes potenciális károselem tartalmát az 5. táblázatban mutatjuk be. Ezek jóval kisebbek a homoktalajban, mint az agyagos vályog talajban. A homoktalajban az elemek mennyisége sokkal (a Cd esetén pl. egy nagyságrenddel) kisebb volt, mint a magyarországi talajok átlagos háttér koncentrációja („A” érték a 10/2000. sz. KöM-EüM-FVM-KHVM rendeletben). Az agyagos vályog talajban a Cr és Ni kis mértékben meghaladta a háttér koncentrációkat.

### 3.2. Talajoldat vizsgálatok

A nyersfoszfátok alkalmazásakor az esetleges környezeti kockázatok becsléséhez fontos annak ismerete is, hogy a talajban jelenlevő, vagy szennyezőanyagként bevitt elemek mekkora hányada jelenik meg a talaj folyadékfázisában, hiszen a talajoldatban levő formák azok, melyek legközvetlenebbül hozzáférhetők a növények számára. Laboratóriumi modellkísérletben és tenyészedény kísérletben vizsgáltuk nagy Cd és egyéb toxikus elem tartalmú, bázikus nyersfoszfátok hatását a talajoldat kémhatására, kémiai összetételére.

### 3.2.1. Nyersfoszfát- és savkezelés hatása a talajoldat toxikus elem koncentrációira laboratóriumi modellkísérletben

Növekvő nyersfoszfát adagok és savterhelések alkalmazása esetén szabadföldi vízkapacitásnál meghatároztuk a talaj folyadékfázisába jutó As, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mn, Mo, Ni, Pb, Sr és Zn mennyiségét. Mivel a nehézfémek oldódását, talajoldatba kerülését nagymértékben befolyásolja a talaj kémhatása, meghatároztuk, hogy a bázikus nyersfoszfát kedvező pH növelő hatása mekkora savadaggal csökkenthető ismét az eredeti pH értékre. Minden kezelést két ismétlésben végeztünk. Egy hétig tartó inkubálás és közben háromszori átkeverés után az intézetünkben kifejlesztett centrifugálási módszerrel elválasztottuk a konvencionális hervadáspontnál (-1500 kPa vízpotenciálnál) gyengébben kötött, a növény számára hasznosítható talajoldatot. A nyírlugosi talaj esetén (öt párhuzamos méréssel) meghatároztuk a nyersfoszfáttal kezelt talaj folyadékfázisa vizsgálatának reprodukálhatóságát (az egyes elemekre a minta előkészítés, a talajoldat elválasztás és a kémiai elemzés együttes hibáját kifejező variációs koefficiens).

A *nyírlugosi savanyú homoktalajnál* a nyersfoszfátot tartalmazó talajminták folyadékfázisában a kationképző elemek koncentrációja többnyire csökkent a kontrollmintához képest. Méginkább érvényesült ez a tendencia, ha a nehézfémek és egyéb toxikus elemek talajoldatbeli koncentrációját az adott elem talajban mért összes + a nyersfoszfáttal bevitt mennyisége százalékában, relatív koncentrációként (s%) fejeztük ki. A relatív koncentrációkat összevetve, a kezelések többségénél a Cd, Mn és Sr volt a legmozgékonyabb elem, a legkevésbé mobilis a Cr. Az anionképző elemek (As, Mo) koncentrációja általában a kimutatási határ alatt volt a talajoldatban (a legnagyobb nyersfoszfátadag esetén azonban a Mo megjelent a folyadékfázisban).

[Eddig nem publikált eredmény] A *ragályi savanyú kémhatású agyagos vályog talajjal* - a nyírlugosi talajnál alkalmazottal azonos nyersfoszfát- és savkezeléssel - végzett kísérletben a nyersfoszfát adagolása az eredeti és a savval kezelt mintákban is csökkentette a rendszer savasságát, megnövelte a talajoldat pH-ját (6. táblázat).

6.táblázat. A talajoldat pH-ja és a toxikus elemek relatív koncentrációja (s%) növekvő nyersfoszfát adagok ( $\text{mg P}_2\text{O}_5 \text{ kg}^{-1}$  talaj) és savterhelések ( $\text{HNO}_3 \text{ mol L}^{-1}$ ) esetén

	savterhelés								
	0			0,1			1,5		
	nyersfoszfát adagok								
	0	1500	3000	0	1500	3000	0	1500	3000
pH	4,84	4,98	5,20	4,12	4,35	4,56	1,18	1,58	1,77
Ba	0,13	0,11	0,099	0,78	0,64	0,60	31,8	22,3	13,6
Cd	0,44	0,25	0,10	1,59	0,49	0,35	41,2	41,3	42,9
Co	0,041	0,056	0,031	0,41	0,26	0,17	27,5	16,2	10,4
Cr	0,002	0,002	0	0,003	0,002	0	1,15	0,58	0,37
Cu	0,027	0,027	0,026	0,034	0,037	0,038	4,02	1,12	0,62
Mn	0,31	0,25	0,22	2,10	1,70	1,34	37,6	24,2	18,2
Ni	0,047	0,037	0,035	0,31	0,22	0,16	15,2	11,5	9,21
Pb	0	0	0	0	0	0	5,34	1,91	0,85
Sr	1,84	1,56	1,32	7,64	6,90	6,22	59,3	56,9	52,8

Zn	0,078	0,048	0,042	0,23	0,19	0,13	9,22	8,21	7,27
----	-------	-------	-------	------	------	------	------	------	------

A vártnak megfelelően azonban a kezelések kisebb mértékben befolyásolták az oldat kémhatását, mint a kis pufferkapacitású homoktalaj folyadékfázisáét. (Pl. a homoktalajban a legnagyobb nyersfoszfát adag a nyersfoszfátot nem tartalmazó talaj folyadékfázisának pH-ját (4,5) kb. két egységgel, a semlegeshez közeli kémhatására (pH = 6,4-re) növelte, amit már a legkisebb alkalmazott savterhelés (13 mmol H<sup>+</sup> kg<sup>-1</sup> talaj) kiegyenlített. A ragályi talajban ez a növekedés kisebb volt, mint négy tized pH egység (6. táblázat.)

Az eredeti, kezeletlen ragályi talajban a nehézfémek salétromsav + peroxidos roncsolással meghatározott mennyisége többszörösen meghaladta a nyírlugosi talajban mértet (de azok jóval a 10/2000 rendelet szennyezettségi határértékei alatt voltak, a Ba kivételével, mely elérte a megengedett maximális értéket). A Lakanen-Erviö módszerrel kivont elemtartalmak is nagyobbak voltak a ragályi talajban. A talajoldatba viszont sok esetben - e kötöttebb, kevésbé savanyú talajban – az elemek kisebb hányada került, mint a nyírlugosi savanyú homoktalaj folyadékfázisába. A ragályi talaj esetén a Sr koncentrációja volt különösen nagy a talajoldatban (a nyírlugosi talajban mértnek kb. ötszöröse).

A nyersfoszfátkezelés következtében általában az agyagos vályog talajnál is csökkent a folyadékfázisban a kationképző toxikus elemek koncentrációja a kontroll mintáéhoz képest; azaz a növekvő nyersfoszfát adagokkal bevitt szennyezőanyag mennyiség kevésbé befolyásolta a talajoldatban az elemkoncentrációkat, mint a bázikus nyersfoszfát pH növelő, immobilizáló hatása. A talajoldat pH-jának növekedésével az összes elem mennyiség százalékában kifejezett relatív koncentrációk (s%) csökkenése (6. táblázat) kisebb mértékű volt, mint a homoktalajnál.

Az elemek mozgékonyságának sorrendje hasonló volt a két talajban: a ragályi agyagos vályog talaj folyadékfázisában a Sr, Mn és Cd s% értéke volt a legnagyobb; kiemelendő a Sr nagy mobilitása ebben a talajban. A legkisebb relatív koncentrációt itt is a Cr és Pb esetében találtuk (6. táblázat).

Az igen nagymértékű (1,5 mol L<sup>-1</sup> HNO<sub>3</sub> oldattal végzett) savterhelésnél is összehasonlítottuk a két talajban az elemek mobilitását. A homoktalaj folyadékfázisában a Ba, Co, Cr, Cu, Mn és Ni, az agyagos vályogtalajban a Cd relatív koncentrációja gyakorlatilag nem változott a növekvő nyersfoszfát adagokkal, azaz a két ellentétes hatás (a rendszerbe juttatott, és a nagy töménységű savoldattal oldatba vitt nagyobb mennyiségű szennyező elem és a nyersfoszfát immobilizáló hatása) kiegyenlítette egymást. A homoktalajban a Cd, Sr és Zn relatív koncentrációja már emelkedett is a növekvő nyersfoszfát adagokkal, a bevitt szennyező anyag megnövekedett mennyiségének megfelelően. A kötöttebb talajban az elemek többségénél (6. táblázat), a homoktalajban csak az ólom esetén maradt hatékony a nyersfoszfát immobilizáló hatása még az extrém savadagnál is, relatív koncentrációjuk a talajoldatban csökkent a növekvő nyersfoszfát dózissal. *[Nem publikált anyag vége]*

### 3.2.2. Nyersfoszfát kezelés hatása a talajoldat toxikus elem koncentrációira a tenyészedény kísérlet növény nélküli kontroll mintáiban

A minták folyadékfázisában az As, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mn, Mo, Ni, Pb, Sr és Zn koncentrációját a tenyészedények végén, a kísérlet szétbontása után a megszáritott és desztillált vízzel szabadföldi vízkapacitásra újranevesített mintákból határoztuk meg a két legnagyobb Cd tartalmú (szenegáli és marokkói) nyersfoszfáttal végzett kezeléseknél, 1400, 1600, 3200 és 6400 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> kg<sup>-1</sup> talaj adagoknál.

A laboratóriumi kísérlethez hasonlóan a bázikus nyersfoszfátok mindkét talaj savasságát csökkentették; a pH növekedése nagyobb mértékű volt a homoktalajban, mint az agyagos



vályogtalajban, és a szenegálihoz képest kissé bázikusabb jellegű marokkói nyersfoszfát alkalmazásakor.

A nyírlugosi savanyú homoktalajban a laboratóriumi kísérletben tapasztalt tendenciához hasonlóan - növekvő nyersfoszfát adagokkal a nehézfémek és egyéb toxikussá válható elemek relatív koncentrációja többnyire csökkent. A bázikusabb marokkói nyersfoszfáttal való kezelésnél a relatív koncentrációk kisebbek voltak, mint a szenegáli nyersfoszfát esetén. A ragályi agyagos vályogtalajban a homoktalajhoz képest jóval kisebb volt az elemek relatív koncentrációja a talajoldatban, és az s% értéket a nyersfoszfát tulajdonságai és alkalmazott adagja nem befolyásolta.

A mintegy két hónapig tartó tenyészidőszak, az ismétlődő száradási-nedvesedési periódusok után a homoktalajban a Mn és Sr, illetve kisebb mértékben a Cd és Co volt a legmozgékonyabb, az agyagos vályogtalajban kiemelkedően a Sr. Az ólom és a króm relatív koncentrációja a homoktalaj folyadékfázisában is igen alacsony volt, az agyagos vályog talaj esetén pedig ezek az elemek nem is voltak mérhetőek a talajoldatban, teljesen megkötődtek. Az aniont képző As és Mo koncentrációja mindkét savanyú talaj folyadékfázisában, a legnagyobb nyersfoszfát adag esetén is a kimutatási határ alatt volt a tenyésztedény kísérlet növény nélküli mintáiban.

A talajoldat kísérletek alapján azt a következtetést vontuk le, hogy bár a nyersfoszfáttal nehézfémeket is a talajba juttatunk, a nyersfoszfát immobilizáló hatása, a savanyú talajok kémhatásának a semleges felé történő eltolódása miatt rövid idejű inkubálás esetén a növekvő nyersfoszfát adagok általában nem növelik ezeknek a toxikus elemeknek a folyadékfázisba kerülő relatív mennyiségét. Extrém nagy savterhelés szükséges a talaj + nyersfoszfát rendszer nehézfém tartalmának oldatba viteléhez.

### 3.3. A tenyésztedény kísérlet talajainak összes, ill. LE-oldható károselem tartalma [Eddig nem publikált eredmény]

A tenyésztedény kísérletek két talajában a kiindulási összes potenciális károselem tartalmakat az 5. táblázatban adtuk meg. A nyersfoszfátokban levő szennyezőanyagokkal tovább növelhetjük a talajok összes elemtartalmait. A legnagyobb, az 1600 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> kg<sup>-1</sup> adagok hatására a nyersfoszfát féleségek átlagában a nyírlugosi talajon csupán a Cd és a Sr, a ragályi talajon a Cd összes számított koncentrációja növekedett számottevően (7. táblázat). Itt kell megjegyezni, hogy mezőgazdasági termeléssel évenkénti 30 kg ha<sup>-1</sup> adagokkal 150-160 év alatt juttatnánk ki ugyanennyi nyersfoszfátot. Legnagyobb Cd tartalom növekedést értelemszerűen a legszennyezettebb szenegáli, marokkói és észak-karolinai nyersfoszfátok okozták, de még így is csupán elérték a 10/2000. rendelet „A” értékét. Azt jelentősen csak a ragályi talajon a szenegáli nyersfoszfát alkalmazásával haladta meg (0.8 mg Cd kg<sup>-1</sup>), de így is alatta maradt a „B” szennyezettségi határértéknek (1 mg Cd kg<sup>-1</sup>), a „C<sub>1</sub>” intézkedési határértékről nem is szólva (2 mg Cd kg<sup>-1</sup>). Itt jegyezzük még meg, hogy a legszennyezettebb szenegáli nyersfoszfát 150 évi adagjának megfelelő Cd mennyiségek a jelenleg érvényben levő jogszabályok szerint szennyvízzel, szennyvíziszappal 12 év alatt törvényesen kijuttathatók. A kadmiummal kevésbé szennyezett (egyébként igen reaktív, kiváló P-oldékonyságú) algériai nyersfoszfát 150 évi adagjának megfelelő Cd mennyiségeket a szennyvízzel, szennyvíziszappal ugyanakkor már mindössze 2 (!) év alatt engedélyezett kijuttatni.

A stroncium mint potenciálisan toxikus elem (izotópja lehet veszélyes) pedig egyáltalán nem szerepel a 10/2000. rendeletben.

Szennyezett talajokban a potenciálisan toxikus elemek oldható frakciójának becslésére többféle módszert is alkalmaznak. Hazánkban és pl. Finnországban a Lakanen-Erviö (LE)

(ammónium-acetát + EDTA, pH: 4.65) módszerrel kivont toxikus elem mennyiségeket tekintik oldhatónak. A 8. táblázatban a mért LE-oldható nehézfém koncentráció változásokról

7. táblázat. A különböző P-források 1600 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> kg<sup>-1</sup> adagjainak hatása a talajok összes számított potenciális károselem tartalmára, mg kg<sup>-1</sup>

Elem	P-forrás											
	ALG	FLO	É.KA	SZE	MAR	HYP	Átlag 1-6	SUP	SUP+Ca	Átlag 7-8	Átlag 1-8	Kontroll*
<b>Nyírlugos</b>												
Cd	0.12	0.07	0.34	0.59	0.35	0.08	<b>0.26</b>	0.09	0.04	<b>0.06</b>	<b>0.21</b>	0.04
Ni	7.91	7.95	7.94	8.11	8.10	7.95	<b>7.99</b>	7.95	7.84	<b>7.90</b>	<b>7.97</b>	7.91
Pb	6.24	6.29	6.23	6.24	6.23	6.29	<b>6.25</b>	6.21	6.20	<b>6.20</b>	<b>6.24</b>	6.25
Co	3.35	3.38	3.35	3.38	3.35	3.35	<b>3.36</b>	3.34	3.34	<b>3.34</b>	<b>3.35</b>	3.37
Cr	13.30	13.00	13.03	13.06	13.78	12.91	<b>13.2</b>	13.06	12.44	<b>12.7</b>	<b>13.1</b>	12.6
Mn	211	212	211	212	211	212	<b>212</b>	211	211	<b>211</b>	<b>211</b>	212
Sr	19.88	15.24	22.99	13.77	21.06	17.86	<b>18.5</b>	18.32	11.67	<b>15.0</b>	<b>17.6</b>	10.7
Al	7081	7111	7071	7100	7068	7069	<b>7083</b>	7051	7049	<b>7050</b>	<b>7075</b>	7105
Zn	16.31	15.87	17.78	17.95	18.58	16.55	<b>17.2</b>	16.72	15.48	<b>16.1</b>	<b>16.9</b>	15.6
<b>Ragály</b>												
Cd	0.34	0.28	0.56	0.80	0.57	0.29	<b>0.47</b>	0.30	0.26	<b>0.28</b>	<b>0.42</b>	0.26
Ni	26.69	26.72	26.70	26.91	26.87	26.71	<b>26.77</b>	26.68	26.57	<b>26.63</b>	<b>26.73</b>	26.8
Pb	22.3	22.3	22.3	22.3	22.3	22.3	<b>22.30</b>	22.2	22.2	<b>22.22</b>	<b>22.28</b>	22.4
Co	13.03	13.05	13.02	13.06	13.02	13.02	<b>13.03</b>	12.99	12.99	<b>12.99</b>	<b>13.02</b>	13.1
Cr	38.30	38.00	38.02	38.09	38.78	37.88	<b>38.2</b>	37.99	37.38	<b>37.7</b>	<b>38.1</b>	37.7
Mn	693	694	692	694	693	693	<b>693</b>	691	691	<b>691</b>	<b>693</b>	697
Sr	58.31	53.66	61.39	52.24	59.48	56.24	<b>56.9</b>	56.65	50.00	<b>53.3</b>	<b>56.0</b>	49.4
Al	29744	29763	29714	29785	29724	29703	<b>29739</b>	29653	29652	<b>29653</b>	<b>29717</b>	29900
Zn	70.10	69.63	71.52	71.79	72.35	70.27	<b>70.9</b>	70.36	69.12	<b>69.7</b>	<b>70.6</b>	69.7

\* az NK kezelésben

8. táblázat. A különböző P-források 1600 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> kg<sup>-1</sup> adagjainak hatása a talajok könnyen oldható (LE-) potenciális károselem tartalmára a tenyészedény kísérlet bontása után.

Elem	P-forrás											
	ALG	FLO	É.KA	SZE	MAR	HYP	Átlag 1-6	SUP	SUP+Ca	Átlag 7-8	Átlag 1-8	Kontroll*
<b>Nyírlugos</b>												
Cd	0.08	0.02	0.13	0.10	0.11	0.04	<b>0.08</b>	0.05	0.05	<b>0.05</b>	<b>0.07</b>	0.015
Ni	0.20	0.18	0.18	0.16	0.22	0.18	<b>0.18</b>	0.32	0.29	<b>0.31</b>	<b>0.22</b>	0.16
Pb	1.50	1.36	1.16	0.98	1.60	1.81	<b>1.40</b>	1.10	1.65	<b>1.38</b>	<b>1.39</b>	1.38
Co	0.44	0.43	0.36	0.40	0.51	0.41	<b>0.42</b>	0.43	0.61	<b>0.52</b>	<b>0.45</b>	0.51
Cr	0.33	0.10	0.19	0.06	0.26	0.17	<b>0.18</b>	0.14	0.25	<b>0.20</b>	<b>0.19</b>	0.06
Mn	43.5	37.7	33.1	37.1	46.5	38.7	<b>39.4</b>	47.6	61.3	<b>54.4</b>	<b>43.2</b>	48
Sr	11.1	3.74	9.43	1.33	7.22	8.17	<b>6.84</b>	5.11	7.31	<b>6.21</b>	<b>6.68</b>	1.47
Al	106	83	86	61	96	115	<b>91</b>	78	138	<b>108</b>	<b>95</b>	67
Zn	1.39	0.99	1.48	1.45	1.64	1.73	<b>1.45</b>	2.14	2.19	<b>2.16</b>	<b>1.63</b>	1.23
<b>Ragály</b>												
Cd	0.26	0.10	0.33	0.30	0.30	0.18	<b>0.25</b>	0.23	0.14	<b>0.18</b>	<b>0.23</b>	0.15
Ni	5.27	4.87	4.85	5.02	5.12	4.61	<b>4.95</b>	5.01	4.47	<b>4.74</b>	<b>4.90</b>	5.02
Pb	6.48	6.64	7.12	6.76	6.19	6.07	<b>6.54</b>	6.23	6.38	<b>6.30</b>	<b>6.48</b>	6.48
Co	2.78	2.62	2.83	2.56	2.69	2.52	<b>2.67</b>	2.56	2.42	<b>2.49</b>	<b>2.62</b>	2.86
Cr	0.32	0.18	0.27	0.14	0.24	0.18	<b>0.22</b>	0.24	0.30	<b>0.27</b>	<b>0.23</b>	0.14
Mn	203	172	218	180	194	171	<b>190</b>	178	162	<b>170</b>	<b>185</b>	198
Sr	18.9	13.3	20.0	12.1	16.8	16.7	<b>16.3</b>	14.4	15.9	<b>15.1</b>	<b>16.0</b>	12.0
Al	156	135	151	108	136	145	<b>139</b>	173	177	<b>175</b>	<b>148</b>	109
Zn	3.28	5.16	3.93	7.30	5.85	3.66	<b>4.86</b>	3.68	3.77	<b>3.73</b>	<b>4.58</b>	4.17

\* NK

tájékozódhatunk.

A 10/2000. rendeletben szereplő elemek közül a nyersfoszfát féleségek átlagában mindkét talajon csupán a Cd, a Cr és a Zn elemek oldható frakciójában tapasztaltunk bizonyos növekedést. A rendeletben nem szereplő elemek közül az Al és a Sr mutattak növekedést (8. táblázat). Kiemelt figyelem kíséri a nyersfoszfátok Cd-szennyezettségének hatását a talajok könnyen oldható, valamint a rajta termelt növény Cd- tartalmára (9. táblázat). A kis pufferkapacitású nyírlugosi savanyú homoktalajon a kiindulási könnyen oldható Cd tartalmak csak mintegy 1/10-e voltak a ragályi agyagos vályogénak. A savanyú homoktalajon a P formák átlagában a könnyen oldható Cd tartalom megduplázódott a P400, és mintegy ötszörösére emelkedett a P1600 adagok hatására az NK kezeléshez képest. Ugyanakkor még a legnagyobb P adagok hatására is csak mintegy 50%-át érte el a nagy pufferkapacitású ragályi savanyú agyagos vályog talaj NK (P kontroll) kezeléseknél LE- Cd tartalmának. Ez utóbbi talajon a P formák átlagában a legnagyobb, P1600 szinten is csak 55%-os LE-Cd növekedés volt tapasztalható.

A nyírlugosi savanyú homoktalajon a P adagok átlagában az észak-karolinai, a marokkói és a szenegáli nyersfoszfáttal kezelt talajok LE-Cd tartalma növekedett a legerőteljesebben, de még a legnagyobb P adagok hatására sem érte el a ragályi savanyú agyagos vályog talajok NK (P kontroll) talajok LE- Cd tartalmát. Éppen ebben a három nyersfoszfát féleségben volt a legnagyobb a Cd szennyezettség. Figyelemre méltó ugyanakkor, hogy a szenegáli nyersfoszfát kisebb P-oldhatósága relatíve kisebb Cd-oldhatóságával is együtt járt, hisz Cd szennyezettsége több mint duplája a marokkói és észak-karolinai nyersfoszfáténak, a talaj oldható Cd tartalmát viszont az utóbbi kettővel azonos mértékben, ill. annál kevésbé növelte.

A ragályi savanyú agyagos vályog talajon az észak-karolinai, a szenegáli és a marokkói nyersfoszfáttal kezelt talajok LE- Cd tartalma növekedett a legerőteljesebben, a P1600 adagok hatására az NK kezeléshez képest mintegy a duplájára.

A két talaj könnyen oldható Cr tartalmában már nem tapasztaltunk akkora különbségeket, mint a Cd tartalmakban. Az eredeti könnyen oldható Cr tartalom a ragályi talajon „csupán” háromszorosa volt a nyírlugosi talajénak. A P formák átlagában a nyírlugosi talajon mintegy 1.5-szörös növekedés volt tapasztalható a P400, és négyszeres a P1600 szinten. A ragályi talajon a P formák átlagában a P400 szintig nem növekedett az talaj oldható Cr tartalma, és a P1600 szinten is csupán 60%-os növekedés volt tapasztalható, jelezve a ragályi savanyú agyagos vályog talajnak a nyírlugosinál nagyságrenddel nagyobb pufferkapacitását.

Legnagyobb oldható Cr tartalom növekedést az algériai és a marokkói nyersfoszfáttal kezelt talajokon kaptunk, de számottevő volt a szuperfoszfát és a szuperfoszfát+mész kezeléseknél talajaiban is. A nyersfoszfátok közül éppen a marokkói és az algériai nyersfoszfátokban a legnagyobb az összes Cr tartalom.

A szuperfoszfát kezelésben a nyersfoszfát féleségek átlagával összehasonlítva a legtöbb elem LE-oldható mennyisége összemérhető volt, sőt, egyes esetekben (Nyírlugos: Ni, Cr és Zn; Ragály: Al) azt meghaladta, vélhetően a savas feltárás miatti jobb oldhatóság következtében. *[Nem publikált anyag vége].*

### 3.4. A növények károselem felvétele

#### *3.4.1. A vöröshere károselem felvétele*

A tenyészedény kísérletben a talajok pH<sub>H2O</sub>-ja az NK kontrollhoz viszonyítva a nyersfoszfát kezeléseknél nőtt, a szuperfoszfát kezeléseknél csökkent. A legnagyobb, 1600 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> kg<sup>-1</sup> adag hatására például a nyersfoszfátok a homoktalajon 0,3-0,9 egységnyi, az

9. táblázat. A különböző P-források 1600 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> kg<sup>-1</sup> adagjainak hatása a vöröshere hajtás potenciális károselem tartalmára az 1. vágásban

Elem	P-forrás											Kontroll*
	ALG	FLO	É.KA	SZE	MAR	HYP	Átlag 1-6	SUP	SUP+Ca	Átlag 7-8	Átlag 1-8	
<b>Nyírlugos</b>												
Cd	0.14	0.11	0.12	0.72	0.18	0.16	<b>0.24</b>	0.36	0.12	<b>0.24</b>	<b>0.24</b>	0.22
Ni	2.87	5.40	4.14	5.77	4.14	3.16	<b>4.25</b>	5.21	3.78	<b>4.50</b>	<b>4.31</b>	6.73
Pb	0.50	0.50	0.50	0.50	0.51	0.50	<b>0.50</b>	0.50	0.50	<b>0.50</b>	<b>0.50</b>	1.73
Co	0.14	0.60	0.20	1.12	0.21	0.15	<b>0.40</b>	2.74	1.64	<b>2.19</b>	<b>0.85</b>	1.94
Cr	0.42	0.38	0.50	0.41	0.33	0.32	<b>0.39</b>	0.42	0.35	<b>0.39</b>	<b>0.39</b>	0.74
Mn	138	649	204	880	206	379	<b>409</b>	1260	525	<b>893</b>	<b>530</b>	1521
Sr	98.1	76.2	117.8	81.1	90.5	107.9	<b>95.3</b>	77.6	42.2	<b>59.9</b>	<b>86.4</b>	130
Al	51	146	61	131	69	51	<b>85</b>	58	35	<b>46</b>	<b>75</b>	203
Zn	24.5	24.3	25.9	56.6	28.7	27.0	<b>31.2</b>	42.8	30.9	<b>36.8</b>	<b>32.6</b>	45.7
<b>Ragály</b>												
Cd	0.08	0.07	0.07	0.08	0.08	0.10	<b>0.08</b>	0.10	0.08	<b>0.09</b>	<b>0.08</b>	0.07
Ni	3.16	4.98	3.60	5.33	3.64	3.52	<b>4.04</b>	4.09	2.33	<b>3.21</b>	<b>3.83</b>	5.94
Pb	1.27	1.06	0.21	0.46	0.46	0.47	<b>0.66</b>	0.54	0.51	<b>0.52</b>	<b>0.62</b>	1.30
Co	0.11	0.10	0.12	0.10	0.16	0.11	<b>0.12</b>	0.20	0.14	<b>0.17</b>	<b>0.13</b>	0.10
Cr	0.40	0.24	0.30	0.20	0.24	0.24	<b>0.27</b>	0.33	0.32	<b>0.32</b>	<b>0.28</b>	0.47
Mn	59	80	67	81	61	64	<b>69</b>	145	50	<b>98</b>	<b>76</b>	104
Sr	94.2	99.0	97.6	91.3	96.5	90.1	<b>94.8</b>	79.4	60.8	<b>70.1</b>	<b>88.6</b>	87.3
Al	33	28	29	26	32	44	<b>32</b>	42	32	<b>37</b>	<b>33</b>	33
Zn	32.6	37.9	33.8	35.7	33.6	40.1	<b>35.6</b>	33.6	29.1	<b>31.3</b>	<b>34.5</b>	33.8

\* NK kezelés

agyagos vályogtalajon 0,2-0,5 egységnyi pH növekedést eredményeztek az alkalmazott nyersfoszfát tulajdonságaitól függően, a szuperfoszfát kezelésekben pedig közel 0,5 egységnyi pH csökkenést mindkét talajon.

A vöröshere Cr, Ni, Pb és Sr koncentrációja - a nyersfoszfát féleségek és adagok átlagában – mindkét talajon közel azonos volt, míg az Al, Cd, Co, és Mn koncentrációja a nyírlugosi homoktalajon nőtt növényekben sokkal magasabb volt, mint a ragályi talajon (9. táblázat). A vöröshere Cr és Pb koncentrációjának csökkenését csak a nyersfoszfát adagja, a Ni koncentrációjának változását a nyersfoszfát minősége is befolyásolta mindkét talajon.

A nyersfoszfát tulajdonsága, adagja, Al, Cd, Co, Mn és Sr tartalma a vöröshere Al, Cd, Co, Mn és Sr tartalmát a ragályi talajon nem, a nyírlugosi talajon viszont jelentős mértékben befolyásolta. A nyírlugosi talajon például a vöröshere Cd koncentrációját vizsgálva megállapítható, hogy az 5-50 mg kg<sup>-1</sup> Cd tartalmú nyersfoszfátok 1600 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> kg<sup>-1</sup> adagja az NK kontrollhoz viszonyítva átlagosan a felére csökkentette (a 113 mg kg<sup>-1</sup> Cd tartalmú szenegáli nyersfoszfát kivételével, mely növelte) a növények Cd koncentrációját, míg a 6 mg kg<sup>-1</sup> Cd tartalmú szuperfoszfát növelte azt. A nyersfoszfátok tulajdonságainak, alkalmazott adagjának a Cd, Co, Mn és Sr növényi felvételére gyakorolt hatása a két talajon összhangban volt a növény nélküli kontroll mintákban a talajoldat relatív koncentrációinak változásával (ld. 3.2.2. fejezet).

A vöröshere Al, Mn és Ni koncentrációja a nyersfoszfáttal kezelt nyírlugosi talajon a pH növekedésével exponenciálisan csökkent, a ragályi talajon viszont csak a Ni koncentrációja csökkent a pH-val, az Al és Mn koncentrációja alig változott.

A talajok LE-oldható potenciálisan toxikus elem koncentrációját (a Co, Mn, Ni és Pb kivételével) a nyersfoszfátok oldhatósága és összes potenciálisan toxikus elem tartalma is befolyásolta. Csak a Cd, Cr és Mn esetén találtunk gyenge, logaritmikus összefüggést a talaj LE-oldható és a növény által felvett mennyiség között a vizsgált talajokon.

#### *3.4.2. A tavaszi árpa károselem felvétele [Eddig nem publikált eredmény]*

A két talajon nőtt tavaszi árpa bokrosodáskori hajtás Cd tartalmait összehasonlítva (10. táblázat), sokkal kisebbek voltak a különbségek, mint a homok, ill. az agyagos vályog talaj Cd tartalmában (7. és 8. táblázatok). Míg a két talaj NK kezelésének LE-Cd tartalmában 10-szeres, addig a rajtuk nőtt árpa hajtás Cd tartalmában csak 1.7-szeres különbségek voltak tapasztalhatók. Hasonlóképpen, a P formák átlagában a két talaj összehasonlításában a savanyú agyagos vályog talajban a P1600 kezelés LE-Cd tartalmai 3.1-szeresen haladják meg a homoktalajét, míg a rajtuk nőtt árpa hajtását csupán 1.2-szeresen. A P1600 szinten a nyírlugosi talajon a hyperfoszfáttal és algériai nyersfoszfáttal trágyázott talajon nőtt, a ragályi talajon az algériai nyersfoszfáttal, a szuperfoszfát + mésszel, a marokkói nyersfoszfáttal és a hyperfoszfáttal trágyázott talajon nőtt tavaszi árpa hajtás Cd tartalmak voltak a legnagyobbak.

A ragályi talaj NK (P kontroll) kezelés talaján nőtt tavaszi árpa Cr tartalom mintegy háromszorosa volt a nyírlugosi talajon nöttek. A talaj oldható (LE-) Cr tartalmában szintén háromszorosak voltak a különbségek. A P formák átlagában a P400 szinten a savanyú homoktalajon nőtt árpa hajtás Cr tartalma megduplázódott, míg a P1600 szinten több, mint 3-szorosára nőtt az NK kezeléshez képest. Számunkra érthetetlen, hogy a nyírlugosi talajon P1600 szinten miért a szuperfoszfát és a szuperfoszfát + mész kezelésben a legnagyobb az árpa hajtás Cr tartalom, hiszen a hyperfoszfát után éppen a szuperfoszfát Cr koncentrációja a legkisebb.

A ragályi savanyú agyagos vályog talajon a P formák átlagában az NK (P kontrol) kezeléshez képest mindhárom P szinten közel azonosan, mintegy 50-60%-kal nőtt az árpa hajtás Cr tartalma. Annak ellenére, hogy a P trágyákban háromszoros különbségeket

10. táblázat. A különböző P-források 1600 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> kg<sup>-1</sup> adagjainak hatása a tavaszi árpa bokrosodáskori hajtás potenciális károselem tartalmára

Elem	P-forrás											
	ALG	FLO	É.KA	SZE	MAR	HYP	Átlag 1-6	SUP	SUP+Ca	Átlag 7-8	Átlag 1-8	Kontroll*
<b>Nyírlugos</b>												
Cd	0.34	0.17	0.26	0.22	0.26	0.34	<b>0.26</b>	0.21	0.17	<b>0.19</b>	<b>0.25</b>	<b>0.08</b>
Ni	0.43	0.51	0.53	0.47	0.52	0.33	<b>0.47</b>	0.96	0.57	<b>0.76</b>	<b>0.54</b>	<b>0.61</b>
Pb	0.28	0.49	0.49	0.23	0.28	0.21	<b>0.33</b>	0.31	0.20	<b>0.26</b>	<b>0.31</b>	<b>0.36</b>
Co	0.10	0.35	0.35	0.50	0.12	0.15	<b>0.26</b>	1.01	0.31	<b>0.66</b>	<b>0.36</b>	<b>0.84</b>
Cr	0.69	0.68	0.86	0.67	0.80	0.56	<b>0.71</b>	1.54	0.94	<b>1.24</b>	<b>0.84</b>	<b>0.16</b>
Mn	197	531	445	544	218	319	<b>376</b>	645	309	<b>477</b>	<b>401</b>	<b>722</b>
Sr	62.2	73.8	90.8	76.0	73.4	56.8	<b>72.2</b>	37.8	18.1	<b>27.9</b>	<b>61.1</b>	<b>48.6</b>
Al	41	69	64	59	48	33	<b>52</b>	39	34	<b>37</b>	<b>48</b>	<b>68.1</b>
Zn	28.4	18.7	27.6	24.5	29.2	36.4	<b>27.5</b>	56.2	38.5	<b>47.4</b>	<b>32.4</b>	<b>18.9</b>
<b>Ragály</b>												
Cd	0.383	0.177	0.272	0.242	0.338	0.333	<b>0.291</b>	0.202	0.372	<b>0.287</b>	<b>0.290</b>	<b>0.18</b>
Ni	0.55	0.62	0.57	0.59	0.72	0.60	<b>0.61</b>	0.84	0.99	<b>0.92</b>	<b>0.68</b>	<b>0.74</b>
Pb	0.50	0.52	1.12	0.51	0.52	0.50	<b>0.61</b>	0.50	0.50	<b>0.50</b>	<b>0.58</b>	<b>0.73</b>
Co	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	<b>0.10</b>	0.11	0.10	<b>0.10</b>	<b>0.10</b>	<b>0.11</b>
Cr	0.95	1.13	0.90	1.00	1.18	0.98	<b>1.02</b>	1.09	1.22	<b>1.16</b>	<b>1.06</b>	<b>0.73</b>
Mn	45	65	57	78	69	78	<b>65</b>	176	76	<b>126</b>	<b>80</b>	<b>119</b>
Sr	41.3	47.9	43.2	45.8	40.7	37.7	<b>42.8</b>	30.4	28.5	<b>29.4</b>	<b>39.4</b>	<b>49.26</b>
Al	43	55	49	46	62	46	<b>50</b>	67	64	<b>66</b>	<b>54</b>	<b>73</b>
Zn	61.0	52.1	58.9	55.9	65.4	63.9	<b>59.5</b>	50.3	63.5	<b>56.9</b>	<b>58.9</b>	<b>64.30</b>

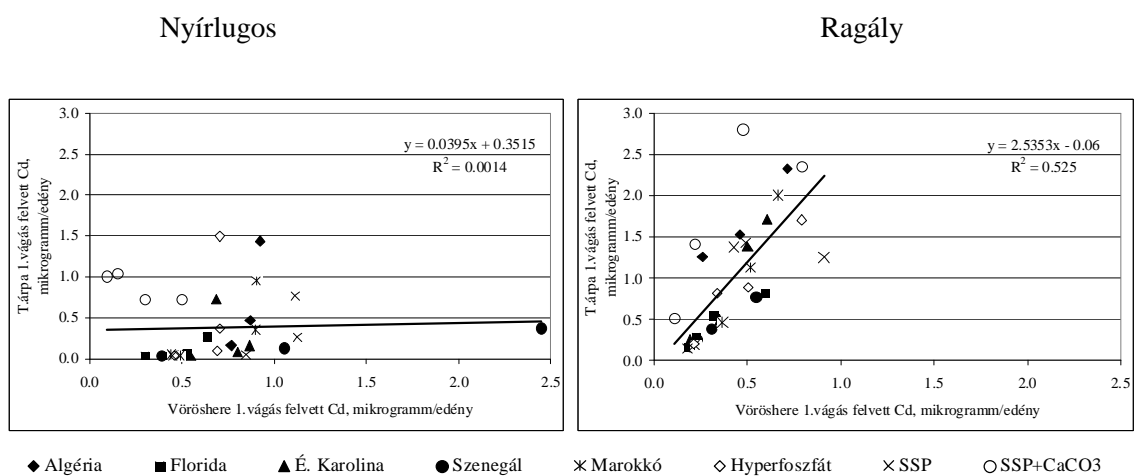


tapasztaltunk, az árpa bokrosodáskori hajtás Cr tartalmaiban egyik P szinten sem találtunk számottevő különbségeket a különböző P formák hatására.

Itt jegyezzük meg, hogy irodalmi adatok, és korábbi vizsgálataink szerint is a vegetatív növényi részhez képest a tavaszi árpa szemtermésében nagyságrendileg kisebbek a nehézfém koncentrációk.

Egy másik fontos törvényszerűség, hogy ugyanakkora nehézfém terhelés esetén a szabadföldi kísérletekben nőtt növényekben jóval kisebbek a nehézfém koncentrációk, mint a a kedvezőbb környezeti tényezők (optimális vízellátás, magasabb hőmérséklet, az egységnyi talajtömeg gyökerekkel való jobb átszótttsége, stb.) mellett beállított tenyészedény kísérletekben. [Nem publikált anyag vége].

### 3.4.3. A vöröshere és a tavaszi árpa toxikus elemfelvételének összehasonlító értékelése [Eddig nem publikált eredmény]

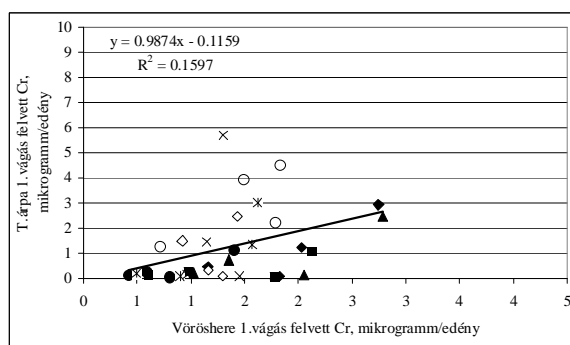


### 10. ábra. Összefüggés a vöröshere és a tavaszi árpa Cd felvétele között valamennyi P forma és –adag függvényében.

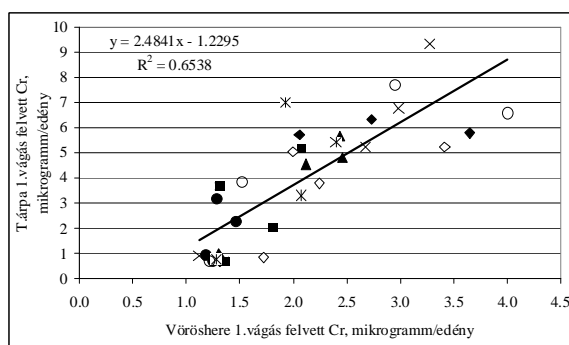
A vöröshere és a tavaszi árpa Cd felvétele közötti összefüggés szorossága a két talajon igen nagy különbségeket mutatott: A nyírlugosin semmiféle összefüggés nem volt kimutatható ( $R^2$ : 0.001), míg a ragályin közepesnek volt mondható ( $R^2$ : 0.52). A savanyú agyagos vályog talajon a tavaszi árpa Cd felvétele átlagosan 2.5-szeresen haladta meg a vöröshere Cd felvételét (10. ábra). Ezek a felvett Cd mennyiségek még 1 hektár területre számolva is (10 cm-es tenyészedény átmérőből kiindulva) is minimálisak voltak: a szántóföldi természetben 150 évi adagot jelentő P1600 szinten is a vöröshereben csak maximum 1.3 g, a tavaszi árpában maximum 3.2 g értékkel. Összehasonlítóképpen csak emlékeztetőül jelezzük, hogy a 80-as években Magyarországon átlagosan 8.5 g/ha, 2000-ben 3.6 g/ha volt a becsült évi összes Cd terhelés.

A vöröshere és a tavaszi árpa Cr felvétele közötti összefüggés a két talajon tendenciájában a Cd felvételben kapotthoz hasonló, annál valamivel szorosabb volt. ( $R^2$ : Nyírlugos: 0.16; Ragály: 0.65). A savanyú homokon a két növény hasonló Cr mennyiségeket vett fel, a savanyú agyagos vályog talajon a tavaszi árpa Cr felvétele – a Cd felvételhez hasonlóan – átlagosan 2.5-szeresen haladta meg a vöröshere Cr felvételét (11. ábra). A két növény Cr felvétele mintegy 4-5-szörösen haladta meg a Cd felvételét, amely továbbra is igen alacsony értékeket jelent.

## Nyírlugos



## Ragály



◆ Algéria    ■ Florida    ▲ É. Karolina    ● Szenegál    ✕ Marokkó    ◇ Hyperfoszfát    ✕ SSP    ○ SSP+CaCO<sub>3</sub>

**11. ábra. Összefüggés a vöröshere és a tavaszi árpa Cr felvétele között valamennyi P forma és –adag függvényében. [Nem publikált anyag vége].**

### Következtetés

A nyersfoszfátok, mint lassan feltáródó foszfor források alkalmazása a savanyú talajokon egy olyan gazdaságos, alternatív megoldás lehet, amely biztosíthatja a növények optimális tápanyagellátását. A talaj savanyúságát csökkentő, a talaj potenciálisan káros elemeinek mobilitását mérséklő hatása miatt rövid távon, egy vegetációs periódus alatt a növényi nehézfém felvétel nem mutatott számottevő növekedést a szántóföldi növénytermesztésben használatoshoz közeli kezelésekben. Rendszeres használatát ugyanakkor további környezeti kockázatelemzésekkel szükséges megalapozni.