

FOSZFOR SZORPCIÓS EGYENSÚLY  
MODELLEZÉSE A TALAJBAN

Készítette:

TOLNER LÁSZLÓ

Készült:

a Gödöllői Agrártudományi Egyetem  
Talajtani és Agrokémia Tanszékén

1992

1. BEVEZETÉS, CÉLKITŰZÉS

A foszfor az egyik legkevésbé mozgékony tápelem. A meszes talajokban előforduló kalciumfoszfátok, a savanyú talajokban előforduló vas- és alumíniumfoszfátok oldhatósága igen kis mértékű. A talajoldatban levő foszfor mennyisége nem elegendő a növény foszforigényének fedezésére. A termodinamikailag stabil kristályos foszfátvegyületek kis fajlagos felülete csak nagyon lassan képes kiegyenlíteni a növényi felvétel miatti oldatkonzentráció csökkenést.

A növény foszforfelvétele szempontjából alapvető jelentőségű a foszfor oldatba kerülésének sebessége. Leggyorsabban az a termodinamikailag metastabil állapotban levő forma kerülhet oldatba, amely a talajkolloidok felületén helyezkedik el. Ez a talaj összes foszfortartalmához képest kis mennyiségű foszfor - nagy fajlagos felülete miatt - könnyen oldatba kerülhet. Így lehetővé válik, hogy diffúzióval, vagy intercepcióval a gyökér és a talaj foszfortartalma egymással kölcsönhatásba kerüljön.

A talajfelületen fizikailag adszorbeált, vagy a talajkolloidokon megkötött több értékű kationok szabad töltésén ioncsere adszorpcióval kötött foszfát ionok a természetes állapotú talajon nem tanulmányozhatók. Ezért van nagy jelentősége a vizes talajszuszpenziók tanulmányozásának.

Az a vizes talajszuszpenzióban lejátszódó foszfor adszorpció és deszorpció leírására alkalmas modell, amely szélsőséges talajoldat arányok mellett is alkalmas az adszorbeált foszfortartalom viselkedésének leírására, közelebb visz a természetes körülmények között lejátszódó folyamatok megismeréséhez.

A korábbi Langmuir, kéttagú Langmuir és Freundlich izoterma modellek továbbfejlesztésében jelentős előrelépést jelentett a talajon eredetileg adszorbeált formában levő foszfor figyelembevétele az adszorpció leírásában (Olsen és Watanabe 1957).

Az eredetileg adszorbeált formában levő foszfor mennyiségét (Q) figyelembevevő modelleket a következő általános formulával lehet felírni:

$$P_{\text{adsz.}} = f(c) - Q$$

ahol  $P_{\text{adsz.}}$  az adszorbeálódó foszfor mennyisége,

$f(c)$  az egyensúlyi koncentráció (c) függvénye, - a nulla pontból kiinduló izoterma modellek általános formája.

Az eredetileg adszorbeált formában levő foszfor mennyiségét (Q) Olsen és Watanabe (1957) az izotóposan kicserélhető foszfortartalommal, Fitter és Sutton (1975) ioncserélő gyantás extrakcióval, míg Nychas (1982) az Olsen-módszerrel meghatározott foszfortartalommal becsülték.

A Hartikainen (1991) által közölt lineáris adszorpciós modell nagyon szűk méréstartományra érvényes. A modell használata így nem lehet elég általános, és a paramétereinek meghatározása is igen precízen végrehajtott kísérletek eredményeit igényli.

Az eredetileg adszorbeált formában levő foszfor (Q) mennyiségének meghatározása vizes deszorpciós vizsgálatokkal tovább pontosítható. A deszorpció leírásánál az anyagmérleg figyelembevételének jelentőségére Barrow és Shaw (1977) hívták fel a figyelmet, de számolásra alkalmas modellt nem közöltek.

Munkám célkitűzése, hogy olyan modellt dolgozzak ki, amely a foszfor adszorpció és a deszorpció leírására egyaránt alkalmas. Az eredetileg adszorbeált formában levő foszfor mennyiségét (Q) nem más módszerekkel, hanem magával a modellel határozzam meg.

Célom, hogy a modell legyen a Hartikainen (1991) által közölt lineáris modellhez hasonlóan egyszerű, de széles méréstartományban is érvényes, mind az elméleti vizsgálódás, mind a gyakorlat igényeit szolgáló, és egyszerűen használható.

## 2. FELHASZNÁLT ANYAGOK, MÓDSZEREK

A vizsgálataimhoz felhasznált négy talaj az MTA TAKI által összegyűjtött jellegzetes magyarországi talajtípusok un. I. számú talajbankjából származnak (Fülek 1988).

| Sorszám | Talajtípus                       | Származási hely |
|---------|----------------------------------|-----------------|
| 8.      | Mélyben szolonyeces csernozjom   | Orosháza        |
| 19.     | Réti szolonyec                   | Hajdúböszörmény |
| 24.     | Agyagbemosódásos barna erdőtalaj | Ragály          |
| 34.     | Karbonátos homok talaj           | Órbottyán       |

A vizsgált talajok főbb jellemzői:

| Sorszám | pH(H <sub>2</sub> O) | pH(KCl) | CaCO <sub>3</sub> % | y <sub>1</sub> | L % | Humusz % |
|---------|----------------------|---------|---------------------|----------------|-----|----------|
| 8.      | 7.6                  | 7.1     | 1.7                 | 2.6            | 61  | 3.72     |
| 19.     | 6.6                  | 5.7     | -                   | 6.6            | 70  | 6.73     |
| 24.     | 4.3                  | 3.3     | -                   | 31.7           | 61  | 3.54     |
| 34.     | 7.7                  | 7.4     | 3.3                 | -              | 20  | 1.03     |

A vizsgált talajok foszfortartalmának jellemzése:

| Sorszám | AL-P <sub>2</sub> O <sub>5</sub><br>μg/g | Olsen-P<br>μg/g | CaCl <sub>2</sub> -P 5'<br>μg/g | CaCl <sub>2</sub> -P 16 <sup>b</sup><br>μg/g | Növény-P<br>mg/kg * |
|---------|------------------------------------------|-----------------|---------------------------------|----------------------------------------------|---------------------|
| 8.      | 109                                      | 8.2             | 0.4                             | 0.2                                          | 12.2                |
| 19.     | 48                                       | 8.8             | 0.2                             | 0.1                                          | 10.9                |
| 24.     | 20                                       | 4.9             | 0.1                             | 0.1                                          | 8.2                 |
| 34.     | 62                                       | 8.1             | 0.1                             | 0.2                                          | 13.3                |

(\* A növény-P az 1 kg talajt tartalmazó tenyészedényből az angol perje 6 vágása során kivont foszfor mennyisége)

Az adszorpciós és deszorpciós vizsgálatok céljára kilencféle foszforkezelés után 1, 7, illetve 19 hónapig nedves állapotban érleltük a talajokat. A foszforkezelést KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> vizes oldatával végeztük úgy, hogy a talajok 1-1 kg-os mintájához 0, 10, 20, 40, 80, 100, 160, 320, 640 mg P-t tartalmazó oldatot adtunk. 1 g talajra számítva ez 0, 10, 20, 40, 80, 100, 160, 320, 640 μg foszfor kezelésnek felel meg.

Az érlelés során 1, 7 illetve 19 hónapig a talajok szántóföldi vízkapacitásának megfelelő nedvesség értékeket tartottunk fenn. A nedvességtartalom állandóságát súlyméréssel ellenőriztük. Az érlelést szobahőmérsékleten végeztük.

## Adszorpciós vizsgálatok

A vizsgálatokat a kezelt, érlelt  $4 \times 3 \times 8 = 96$  talajmintán (4 talaj, 3 érlelési idő, 8 foszforkezelési szint) végeztük.

Az adszorpció meghatározásához 0, 100, 200, 400, 800, 1600, 3200, 6400 és 10000 μg/100 cm<sup>3</sup> P koncentrációjú vizes KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> oldatsorozatot alkalmaztunk. Mivel 5 g talajhoz 50 cm<sup>3</sup> oldatot alkalmaztunk, tehát a talaj:oldat arány 1:10 volt, ezért ezek az értékek 1 g talajra vonatkoztatva 0, 10, 20, 40, 80, 160, 320, 640 és 1000 μg értéket jelentenek. Az egyensúly beállítását 24 órás intenzív keveréssel, Wagner-féle körbeforgó rázógéppel, szobahőmérsékleten végeztük. Szűrés után az egyensúlyi oldatok foszfortartalmát Murphy és Riley (1962) módszerével határoztuk meg.

Az egyensúlyi oldatok foszfortartalmának átlagát a kiindulási oldatok foszfortartalmából levonva, a talajon megkötődő foszfortartalom mennyiségét kaptuk meg.

## Deszorpciós vizsgálatok

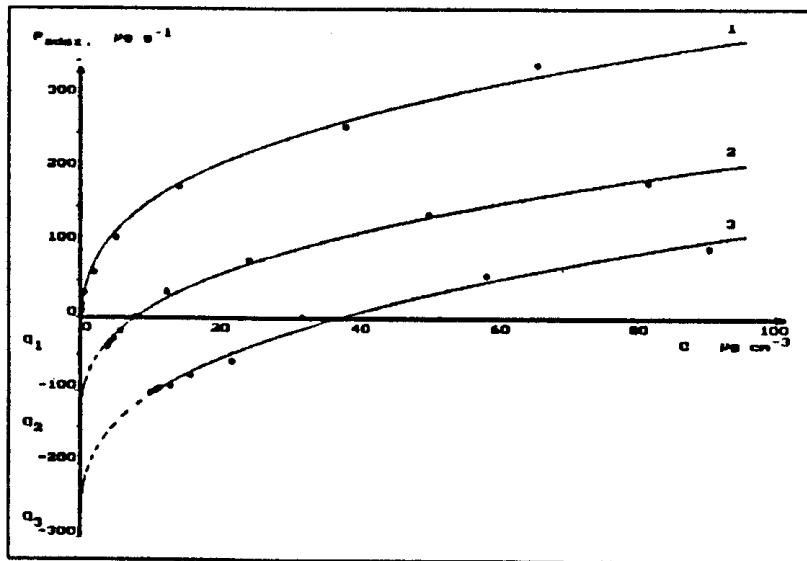
A négy talaj 0 és 100 μg/g P adaggal 1 hónapig érlelt mintáit vizsgáltuk.

Az deszorpció meghatározásához különböző arányú talaj:víz szuszpenziókat hoztunk létre. A talaj:víz, illetve a ráztatás során kialakult talaj:oldat arányok 0.10, 0.25, 0.5, 1, 5 és 10 g talaj/100 cm<sup>3</sup> oldat voltak. Az egyensúlyi oldat készítése és a koncentráció meghatározása az adszorpciós vizsgálatokkal azonosan történt.

### 3. AZ EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK

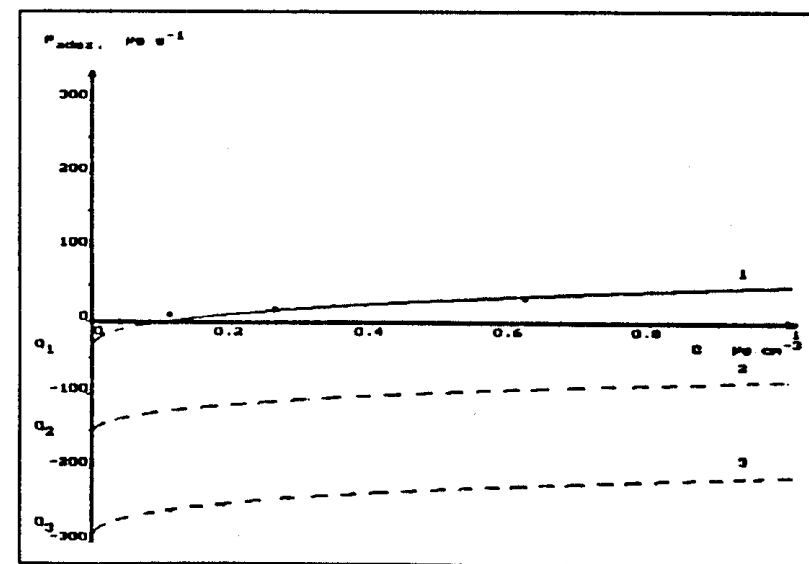
A talaj foszforszorpciója olyan koordináta rendszerben ábrázolható, amelynek a vízszintes tengelyét az egyensúlyi oldat foszforkoncentrációját ( $c$ ), a függőleges tengelyen a talaj foszfartartalmának az egyensúly kialakulása során bekövetkezett változása ( $P_{\text{adsz}}$ ) található. Ez a változás - különösen nagyobb foszfartartalmu talajokon - negatív irányú is lehet, ha az egyensúly beállításához használt kiindulási oldat foszforkoncentrációja alacsony, vagy éppen nulla (desztillált víz).

Egy talaj előzetesen különböző foszforszintekre beállított mintáira a foszfor adszorpciót ábrázoló görbék általában párhuzamosak. A nagyobb előzetes kezelést kapott minták görbéi a kevésbé kezelték alatt helyezkednek el. Ezen kívül mint ahogyan az az 1. ábrán is látható, a nagyobb kezelést kapott mintákra mért pontok egyre inkább jobbra tolódnak a kevésbé kezelt mintákhoz képest.



1. ábra Az orosházi talaj 19 hónapig érlelt mintáinak P-szorpciója.  
Kezelések: 1,  $0 \mu\text{g g}^{-1}$ ; 2,  $320 \mu\text{g g}^{-1}$ ; 3,  $640 \mu\text{g g}^{-1}$ .

A talaj foszforszolgáltató képességének jellemzéséhez különösen fontos a görbék nulla egyensúlyi koncentrációra extrapolált értéke. Ez megfelel a mintán eredetileg adszorbeált állapotban levő foszfor mennyiségének ( $Q$ ), vagyis a labilis foszfor mennyiségének. Az extrapolált szakaszt az 1. ábrán szaggatott vonallal jelöltem. A  $Q$  érték nem olvasható le egyszerűen az ábráról, mint az extrapolált szakasz és a  $P_{\text{adsz}}$  tengely találkozási pontja, mivel ezek a görbék láthatólag a metszéspont előtt egyre meredekebben simulnak a  $P_{\text{adsz}}$  tengelyhez. Felnagyítva horizontálisan az ábrát, a görbék kezdeti kiindulási szakasza jobban látható (2. ábra). Látható, hogy a  $Q$  értékek mintegy  $50 \mu\text{g g}^{-1}$  értékkel lejjebb helyezkednek el az 1. ábráról leolvasható értékektől. Az ábrázolt minták esetében a modellel számolt érték rendre  $-42.7$ ,  $-160.6$ ,  $-299.3 \mu\text{g g}^{-1}$  ( $Q_1$ ,  $Q_2$ ,  $Q_3$ ).



2. ábra Az orosházi talaj 19 hónapig érlelt mintáinak P-szorpciója.  
Kezelések: 1,  $0 \mu\text{g g}^{-1}$ ; 2,  $320 \mu\text{g g}^{-1}$ ; 3,  $640 \mu\text{g g}^{-1}$ .



Ha a  $Q$  értékeket a mérési pontokra illesztett modell függvény segítségével kívánjuk meghatározni, ügyelni kell a modell helyes megválasztására. A mérési pontokra egyformán jól illeszkedő modellek a mérés tartományon kívül egészen különböző lefutásúak is lehetnek.

Az adszorpciós vizsgálatok értékelésénél felhasználtam a szakirodalomban található modelleket, az egy és kéttagú Langmuir izotermákat és a Freundlich izotermát. Azt tapasztaltam, hogy a foszfor adszorpciót megfelelően leíró modellek - kéttagú Langmuir és Freundlich izotermák - mellett jó illeszkedést lehet elérni állandó kitevőjű (1/3) Freundlich izotermával is. Ez utóbbi használatát igazolja az is, hogy az esetek többségében a foszforadszorpció leírásakor a Freundlich izoterma kitevője 0.3 körül ingadozik.

$$P_{\text{adsz}} = k \cdot c^{\frac{1}{3}} - Q$$

ahol  $P_{\text{adsz}}$  a talajon szorbeálódó foszfor mennyisége;

$c$  az egyensúlyi oldat foszforkoncentrációja;

$k$  állandó;

$Q$  a talajmintán eredetileg adszorbeált állapotban levő  $P$  mennyisége.

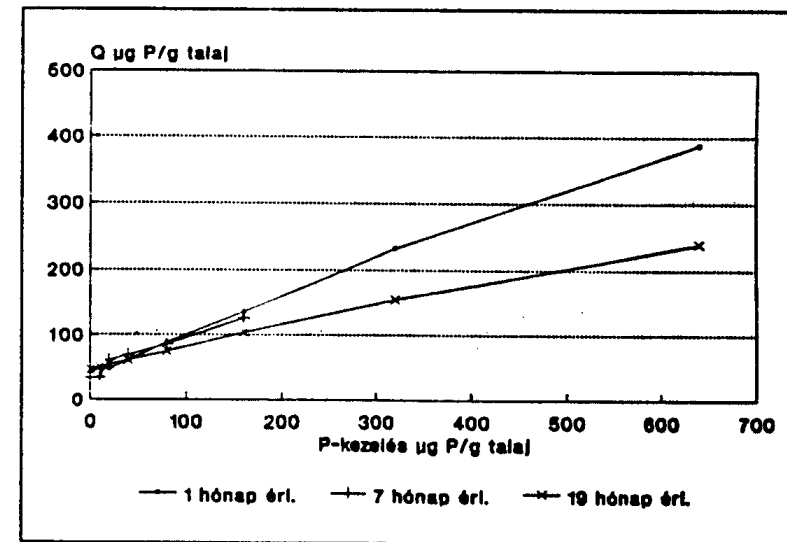
A Freundlich izoterma állandó kitevőjű alakját nemcsak alkalmaztam, hanem megkíséreltem a kitevőnek az anioncsere kémiai folyamatából való levezetését is. Az 1/3 kitevőt a  $\text{HPO}_4^{2-}$ -ion talajban lejátszódó ioncsere folyamatának egyensúlyi összefüggéséből vezettem le.

Az 1/3 kitevőjű Freundlich izoterma csak két meghatározandó paraméterrel rendelkezik, és ellentétben az irodalomban található modellekkel torzítás nélkül linearizálható. Segítségével az egyes talajok és kezeléseik adataira kapott modellparaméterek jobban összehasonlíthatók, mivel a

paraméterek kölcsönhatása miatti becslési bizonytalanság ebben az esetben minimális.

Az adszorpciós vizsgálatok mérési adataira hatféle adszorpciós izoterma modellt illesztettem. Az illeszkedés szorossága alapján is alkalmasnak találtam az 1/3 kitevőjű Freundlich izoterma modellt a foszfor adszorpciójának leírására. Ez jól látható az 1. ábrán ahol a mérési pontokra simuló görbéket a fenti modell segítségével rajzoltam meg.

A különbözően kezelt mintákra illesztett szorpciós összefüggések paraméterei közül a  $k$  paraméter értékét egy talajon belül közel állandónak találtam. A talaj foszforállapotának változását a  $Q$  paraméterrel sikerült nyomon követni. Az eredetileg adszorbeált állapotban levő foszformennyiség ( $Q$ ) lineáris összefüggést mutatott a foszfor kezeléssel (3. ábra). Az egyenesek meredeksége az érlelési idő növekedésével csökkent.



3. ábra A  $Q$  és a  $P$ -kezelés összefüggése 1, 7, 19 hónap érlelés után. Ragályi (24.) talaj.

Az eredetileg adszorbeált foszfor mennyiségének (Q) meghatározása különböző talaj:oldat arányú (T) vizes deszorpciós vizsgálatokkal tovább pontosítható. A talajfoszfor deszorpcióját leíró modell általános alakja:

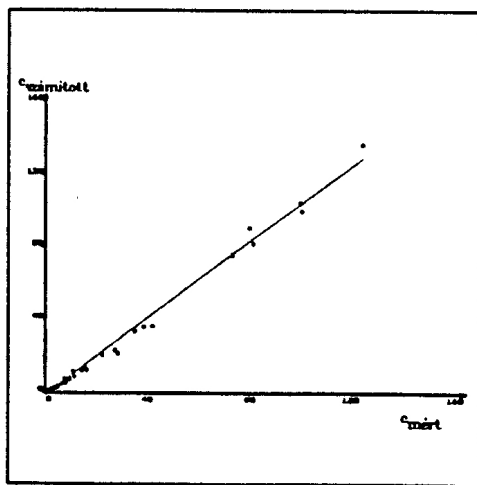
$$T \cdot Q = T \cdot f(P_{\text{oldat}}) + P_{\text{oldat}}$$

Ahol Q a talaj maximálisan deszorbeálható foszfor készlete,  $f(P_{\text{oldat}})$  a talaj:oldat rendszerben a foszfor megoszlására jellemző szorpciós izoterma összefüggés. A modell alkalmas a különböző talaj:oldat arányok (T talajmennyiség állandó oldatmennyiség mellett) figyelembe vételére is.

Behelyettesítve az 1/3 kitevőjű Freundlich izoterma összefüggést az  $f(P_{\text{oldat}})$  általános függvényszimbólum helyére, kihasználva azt, hogy a  $P_{\text{oldat}} = c$  ha megfelelő mértékegységet alkalmazunk:

$$T \cdot Q = T \cdot k \cdot c^{\frac{1}{3}} + c$$

Az adszorpciós összefüggés paramétereivel felírt deszorpciós modell alkalmas volt a deszorpció leírására is, mivel a modellel számított ( $c_{\text{számított}}$ ) és a mért ( $c_{\text{mért}}$ ) egyensúlyi oldatkonzentráció értékek igen szoros korrelációban állnak egymással (4. ábra). Az 1.06-os meredekség érték a kétféle adat azonosságára utal.



4. ábra A deszorpciós mérések egyensúlyi oldat koncentrációi. A mért és a számított értékek összehasonlítása. ( $\mu\text{g P}/100 \text{ cm}^3$ )

Ebből következik, hogy az eredetileg adszorbeált foszfor mennyisége megegyezik a maximálisan deszorbeálható foszfor mennyiségével. Ezért jelölhetem mindkettőt azonos betűvel (Q).

A modell segítségével meghatározott maximálisan deszorbeálható foszfor mennyiségeket (T.Q) összehasonlítottam a megfelelő talaj:oldat arány (T) esetében mért egyensúlyi oldatkonzentrációkkal (1. táblázat).

1. táblázat A deszorbeált (vizes kivonat) foszfor mennyisége a maximálisan deszorbeálható készlet százalékában (%).

| Talaj:oldat<br>g/100 cm <sup>3</sup> | Orosh.(8.) |     | Hajdú.(19.) |     | Ragály(24.) |     | Órb. (34.) |     |
|--------------------------------------|------------|-----|-------------|-----|-------------|-----|------------|-----|
|                                      | 0          | 100 | 0           | 100 | 0           | 100 | 0          | 100 |
| 0.10                                 | 29         | 61  | 36          | 67  | 16          | 35  | 45         | 72  |
| 0.25                                 | 19         | 51  | 24          | 57  | 7           | 24  | 35         | 63  |
| 0.5                                  | 12         | 42  | 16          | 49  | 4           | 16  | 24         | 55  |
| 1                                    | 7          | 32  | 10          | 40  | 2           | 10  | 16         | 47  |
| 5                                    | 2          | 14  | 3           | 19  | 0.5         | 2   | 5          | 26  |
| 10                                   | 1          | 8   | 1           | 12  | 0.3         | 1   | 3          | 18  |

Látható, hogy 1:10 talaj:oldat arány esetében, amit gyakran használnak vizes kivonat készítésekor, a maximálisan deszorbeálható (T.Q) készletnek csak néhány százakéka jut oldatba (1. táblázat utolsó sora). Ezért nincs lineáris összefüggés az 1:10 vizes kivonat és a T.Q között.

A modellekkel számolt és a mért értékek között szoros összefüggést találtam, amiből azt a következtetést vonom le, hogy az elkészített modell alkalmas a talajfoszfor megkötődési - feltáródási folyamatának nyomonkövetésére. A gyakorlat számára előnyös, hogy a labilis foszfortartalom változásának nyomonkövetésére - a szorpciós izoterma több ponttal történő felvétele után - egy-egy vizes kivonat megvizsgálásával is lehetőség van.

#### 4. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

- A talaj foszforadszorpcióját leíró modellben az eredetileg adszorbeált foszfor mennyiségét ( $Q$ ) kell figyelembe venni. A  $Q$  értéke extrapolációval a modell segítségével határozható meg. A modell általános alakja:

$$P_{adsz.} = f(c) - Q$$

- Az extrapolációval meghatározott  $Q$  értéke jelentősen függ az alkalmazott adszorpciós modell (Langmuir, Freundlich, ...) milyenségétől.
- A talaj foszforadszorpciójának leírására, ezen belül a  $Q$  értékének megbízható meghatározására az  $1/3$  kitevőjű Freundlich izoterma (Köbgyök függvény) modellt találtam a legalkalmasabbnak. A javasolt adszorpciós modell függvény alakja:

$$P_{adsz.} = k \cdot c^{\frac{1}{3}} - Q$$

Ez a modell összefüggésbe hozható az ioncsere egyensúly kémiai leírásával. Paramétereit egyértelműbben határozhatók meg, mint a többi nem, vagy csak hibásan linearizálható izoterma függvény esetében.

- A foszforkezeléseket követő nedves érlelés után, a kezelés és a modellel számolt  $Q$  értékek között lineáris az összefüggés. Tehát a szorbeált állapotban és a kötött állapotban levő foszfor aránya nem

függ a kezelés nagyságától. Ez arra utal, hogy a kezelés során adott foszfor megkötésében meghatározó a kemisorpció.

- Az szorpciós görbe alakjára jellemző  $k$  tényező értéke - egy talajon belül közel állandó, az adott talajra jellemző érték. Elég egy alkalommal a több vizsgálatot követelő szorpciós izotermát meghatározni. A szorpció további nyomkövetésére elég csak 1-1 mérésből álló vizsgálatot végezni.
- Az eredetileg adszorbeált foszfor mennyiségének ( $Q$ ) meghatározása vizes deszorpciós vizsgálatokkal tovább pontosítható. Alacsony talajoldat arányú szuszpenziók esetén a fajlagosan deszorbeált foszfor mennyisége magasabb. Ezáltal lehetővé válik, hogy - az egységnyi mennyiségű talajra megadott - szorpciós görbén a 0 egyensúlyi oldatkonzentrációhoz közelebb jutva a  $Q$  értékét kisebb távolságról extrapoláljuk.
- A talaj foszfordeszorpcióját leíró modell felírásakor figyelembe vettem az anyagmérleg összefüggést is. Ez a matematikailag lineáris függvénnyel megadható modell azt fejezi ki, hogy a deszorpció során az oldatba jutó, és a talajon adszorbeált formában maradó foszfor együttes mennyisége egyenlő a talajon eredetileg adszorbeált formában levő foszfor mennyiségével ( $Q$ ). A deszorpciós modell másik összetevője az adszorpciós izoterma, amely meghatározza foszfor talaj és oldat közti megoszlását. A modell általános alakja:

$$Q = f(c) + P_{oldat}$$

A modell paramétereit ( $Q$ ,  $k$ ) több, különböző egyensúlyi oldat koncentrációt ( $c$ ), eredményező kísérleti beállítás segítségével lehet meghatározni. Ezeket különböző talaj:oldat arányokkal ( $T$  talajmennyiség állandó oldatmennyiség mellett) lehet megvalósítani. A deszorpció leírására alkalmazott modell az  $1/3$  kitevőjű Freundlich izoterma modell felhasználásával:

$$T \cdot Q = T \cdot k \cdot c^{\frac{1}{3}} + P_{\text{oldat}}$$

A modellek segítségével a talaj foszforadszorpciója és deszorpciója egységesen kezelhető, egy összefüggésbe foglalható. A talajon adszorbeált állapotban levő foszfor mennyisége ( $Q$ ) azonos a maximálisan deszorbeálható mennyiséggel. A két folyamat együttes elnevezésére érdemes a szorpció elnevezést használni.

A szorpció összefüggés ismeretében levezethető, hogy miért nem tükrözi egyértelműen a vizes kivonattal meghatározott érték a talaj adszorbeált állapotban levő foszfortartalmát ( $Q$ ). A  $Q$  értéke, a szorpció összefüggés  $k$  paramétere és a talaj:oldat arány ( $T$ ) együttesen egyértelműen meghatározzák a vizes kivonat foszfortartalmát. A fentiek függvényében a vizes kivonat értéke  $0.003 \cdot Q$  és a  $0.72 \cdot Q$  értékek között széles tartományban változhat.

## AZ ÉRTEKEZÉS TÁRGYKÖRÉBEN KÉSZÍTETT PUBLIKÁCIÓK

- Al-Maeni A. T. - Fülek Gy. - Osztóics A.-né - Tolner L. (1989): The influence of soil properties on phosphate sorption of some Hungarian soils. In: Hungarochem '89. Keszthely, NEVIKI, pp. 328-334.
- Fülek Gy. - Osztóics, E. - Tolner, L. (1991): Calculation of the native adsorbed phosphate content of soil. ESNA XXII. Annual Meeting Antalya, Türkiye.
- Fülek Gy. - Tolner L. (1990): Gemeinsames Modell der P-Adsorption und P-Desorption in Boden. Tagungsbericht Nr. 289 Justus von Liebig's Werk - Wegbereiter der wissenschaftlich begründeten Düngung, Adl Berlin, 291-298.
- Fülek Gy. - Tolner L. - Czinkota I. - Osztóics E. (1990): Szorbciija foszfora kak pokazatyel foszfatnogo rezsima pocsv. In: XI. Mezsdünarodnaja naucsnaia konferencija. Agrohimičeszkije pokazatyeli plodorodija pocsv. Pulavi, pp. 61-65.
- Fülek Gy. - Tolner L. - Dömsödi J. (1980): A talaj foszfor szolgáltatása kinetikájának mérése anioncserelő műgyantával. Agrokémia és Talajtan, 29, 273-280.
- Osztóics E - Fülek Gy. - Tolner L. (1988): A foszformegkötődés kinetikája a talajban. (Poszter) GATE Tudományos Fórum, Gödöllő.
- Tolner, L. (1986): A talaj foszfor szolgáltatásának modellezése anioncserelő műgyanta felhasználásával. Egyetemi doktori értekezés, Gödöllő.
- Tolner L. - Fülek Gy. (1987): Availability of soil phosphorus by anion exchange resin. Bull. of the Univ. of Agric. Sci. Gödöllő 1. 121-132.
- Tolner L. - Fülek Gy. (1987): Modelirovanie deszorpcija foszfora pocsvü. KGST "Nemzetközi Foszfor Kollektíva" munkaértekezlete, Prága.

- Tolner L. - Fülek Gy (1987): Modellierung der P-Desorption mit Anionenaustauscher. "Charakterisierung pflanzenverfügbaren Nährstoffe in Boden", Jena.
- Tolner L. - Fülek Gy. (1988): Bestimmung der desorbierbaren Phosphor-Menge im Boden mit Hilfe von Ionenaustauscherharzen. In: Charakterisierung pflanzenverfügbarer Nährstoffe im Boden. Tag.-Ber. 267. ADL, Berlin, pp. 61-66.
- Tolner L. - Fülek Gy. (1988): A talaj-foszfor mobilizálhatósága. I. A deszorpció modellezése talaj-oldat rendszerben. (Poszter) GATE Tudományos Fórum, Gödöllő.
- Tolner L. - Fülek Gy. (1988): A talaj-foszfor mobilizálhatósága. II. A deszorpció modellezése talaj-oldat-ioncserélő gyanta rendszerben. (Poszter) GATE Tudományos Fórum, Gödöllő.
- Tolner L. - Fülek Gy. (1992): Determination of availability of fertilizer phosphorus from P adsorption data. 4th International IMPHOS Conference, Belgium.
- Tolner L. - Fülek Gy. (1992): Ageing of sorbed soil phosphorus. 6th Conference on Colloid Chemistry, Balatonszéplak.
- Tolner L. - Fülek Gy. - Al-Maeni A. (1989): A foszforadszorpció és deszorpció kapcsolata a talajban. (Poszter) Elemmozgás a talajban - poszterkonferencia, Gödöllő.
- Tolner, L. - Fülek, Gy. - Biczók Gy. (1990): Modelling of soil phosphorus desorption. Swedish-Hungarian Seminar on Environmental Problems in Agriculture, Uppsala, Sweden.