

## SZEMLE

### Izotópok alkalmazása a trágyázástani kutatásokban

A növények trágyázásánál számos olyan kérdés merült fel, amelyekre az eddigi vizsgálatok eredményei nem tudtak kielégítő választ adni. A sugárzó izotópok felfedezése és megfelelő mennyiségben való előállítása ma már lehetővé teszi az izotópos vizsgálati módszerek segítségével az eddig megoldatlan feladatok részbeni megoldását. Az izotópos vizsgálati módszerek fejlődése és tökéletesítése pedig reményt nyújt az eddigi függő kérdések megoldására.

A növényi tápanyagok közül a foszfor trágyák alkalmazásánál merült fel a legtöbb megoldandó feladat. Egyrészt ezért, másrészt azért, mert a sugárzó foszfor izotóp ( $^{32}\text{P}$ ) kedvező felezési ideje következtében kiválóan alkalmas a trágyázásnál lejátszódó folyamatok nyomon követésére, a legtöbb közlemény a  $^{32}\text{P}$  izotóppal jelzett foszfor trágyák alkalmazásáról jelent meg. A megjelent közlemények a következő főbb kérdések köré csoportosíthatók:

- I. A különböző foszfátok tulajdonságai.
- II. A talaj és a foszfátok kölcsönös hatása.
- III. A foszfácionok mozgása a talajban.
- IV. A talaj mozgékony foszfor tartalma.
- V. A foszfát műtrágyák növények által való felvehetősége.
- VI. A foszfát műtrágyák elhelyezésének hatása a felvehetőségre.
- VII. A foszfát trágyák utóhatása.

#### I. A különböző foszfátok tulajdonságai

Több kutató foglalkozott a különböző foszfátok és a  $^{32}\text{PO}_4$  ionok kölcsönhatásával, abból a célból, hogy a talajban végbemenő izotóp kicserélődési folyamatokat tisztázzák. I v a n o v [12] az izotópcseré tanulmányozása céljából  $^{32}\text{P}$ -vel jelzett vas, alumínium és kal-

ciumfoszfátokat állított elő, amelyeket az anyalúgtól mosással megszabadított és kiszárított. Az így nyert foszfátokat n.  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  oldattal rázta össze és az egyensúly beállta után meghatározta az oldat aktivitását. Az aktivitásból és a bomlási korrekcióból kiszámította az izotóp csere folytán oldatba került  $\text{PO}_4$  ionok mennyiségét. Az eredményekből kitűnt, hogy a vasfoszfátban levő jelzett  $\text{PO}_4$  ionok 71,5%-a 31 nap múlva izotóp csere következtében oldatba került. Még nagyobb mérvű volt az izotóp csere hatása az alumíniumfoszfátnál, amelynek jelzett  $\text{PO}_4$  tartalmából 13 nap múlva 87,3% került oldatba. Más volt a helyzet a kalciumfoszfát esetében. A vizsgálat adatai szerint 15 nap múlva a kalciumfoszfátban levő jelzett  $\text{PO}_4$  ionoknak csak 19,9%-a került izotóp kicserélődés következtében oldatba. Röntgenspektroszkópos vizsgálattal megállapították, hogy a vas és alumíniumfoszfátok amorf csapadékot képeztek, a mészfoszfát ezzel szemben kristályos volt. Ez magyarázatul szolgál a mészfoszfátoknál észlelt kis mértékű izotóp cserére, amelynek csak a mészfoszfát felületén levő  $\text{PO}_4$  ionok vettek részt a reakcióban. Egy másik kísérletében a vas- és alumíniumhidroxid, valamint a talajok által megkötött foszfácionok izotópos kicserélődését tanulmányozta oly módon, hogy a fenti anyagokat először híg  $^{32}\text{PO}_4$  oldatokkal kezelte. Híg oldatokból a vas- és alumíniumhidroxid, valamint a talaj a jelzett foszfácionokat tökéletesen elnyelte. Az elnyelt foszfácionokat  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  0,1 n. oldatával cserélte ki oly módon, hogy a vizsgálandó anyagot többször egymás után 25–25 ml nem aktív foszfát oldattal mosta át. Vashidroxid esetében nyolcszori átmosással (200 ml oldattal) a megkötött aktív foszfácionoknak 69%-át sikerült kicserélni. Ugyanilyen eredményre jutott az alumíniumhidroxid esetében is. Síkláp-tőzegtalajoknál 200 ml kicserélő oldattal az adszorbeált foszfácionoknak 57,5%-át nyerte vissza. Gyepes podzolos könnyű vályog talaj esetében 200 ml foszfát ol-

dattal a talaj által megkötött aktív foszfátionoknak 61%-át tudta a talajból kivonni. Csernozjom talaj esetében 125 ml foszfát oldattal a talaj által elnyelt aktív foszfátionoknak szintén 61%-át tudta kivonni a talajból. Egy kaolinos agyag talaj esetében 125 ml foszfát oldattal az adszorbeált aktív foszfátionok 73%-át sikerült izotópos csere útján oldatba vinni. Vizsgálat tárgyává tette a talaj által elnyelt aktív foszfátionok más anionokkal való kicserélését is. Erre a célra a gyepes podzolos talajt használt fel. Kísérleteiből kitűnt, hogy a talajban előforduló anionok közül a  $\text{HCO}_3^-$  ionok és a humátionok képesek nagy mértékben kicserélni az adszorbeált foszfátionokat.

Weikell és munkatársai [27] vizsgálták a különböző foszfátok és  $^{32}\text{P}$ -vel jelzett vízben oldható semleges foszfor sók oldata közti  $\text{PO}_4$  ion kicserélődést. Szintetikus hidroxipatiton tanulmányozták a kicserélődési viszonyokat az idő függvényében. Kísérleteiből azt a következtetést vonták le, hogy a kicserélődésnél 3 különböző reakció folyik le, úm.: 1. nagyon gyors kezdeti felületi ionkicserélődés, 2. a foszfátionok diffúziója a hidrátburkon keresztül a felületre. Ez az alkalmazott oldat iontöménységétől függ. 3. A kristályrács lassú átkristályosodása. Ez a folyamat nagyobb valószínűséggel magyarázható a kristályban levő szabad helyeknek  $\text{PO}_4$  ionok vándorlás útján való elfoglalásával, mint a nagy és többszörös töltésű  $\text{PO}_4$  ionok öndiffúziójával a sűrű kristályrácsban. A vizsgálatokkal kapcsolatos mérések azt mutatták, hogy a hidroxipatit és nyers foszfátok felületén  $\text{m}^2$ -ként 0,238 mg  $\text{PO}_4$  ion foglal helyet. Ezt átszámítva 1 foszfátionra a  $\text{PO}_4$  ion felülete 21,6 Å<sup>2</sup>-nek adódik. Ez az érték jól egyezik a röntgenspektrograffal meghatározott értékkel.

Wiklander és munkatársai [28] azt találták, hogy a hidratált vasoxid és vasfoszfát által adszorbeált  $^{32}\text{PO}_4$  ionok jelzetlen  $\text{PO}_4$  ionokkal gyorsan kicserélődnek.

Russell és munkatársai [23] az izotópos kicserélődés körülményeit vizsgálták ortofoszfát oldat és szilárd anyagok (anion kicserélő gyanták, dikalciumfoszfát, nyers foszfát, hidroxipatit, természetes talaj) között. Megállapították, hogy 1. a talaj szeretlen foszfor frakciója és az adagolt jelzett foszfát közti kicserélődés különböző tényezők befolyásolhatják. 2. Az izotópos hígítás módszere csak korlátozott mértékben alkalmas a talaj növény által felvehető foszfortartalmának meghatározására.

## II. A talaj és a foszfátok kölcsönös hatása

A talaj és a foszfátok kölcsönös hatását jelzett foszfátionokkal többen tanulmányozták, hogy felderítsék azokat a folyamatokat, amelyek

a talaj és a talajba juttatott foszfát műtrágyák között végbemennek. Boischot és munkatársai [2], valamint Cole és munkatársai [3] kimutatták, hogy a talajban levő kalcium-karbonáton a foszfátionok olymódon adszorbeálódnak, hogy azok  $^{32}\text{PO}_4$  ionokkal teljesen kicserélhetők, amennyiben az adszorbeált foszfát mennyisége kevés. Ha a foszfátionok nem adszorpció útján kötődnek meg, hanem kicsapódnak, akkor a kicsapott foszfátionoknak csak 30—50%-nyi mennyisége cserélődik ki gyorsan.

Fried és munkatársai [9] kimutatták, hogy egy 0,4 ezrelékes foszfát oldattal egyensúlyban levő anyag által adszorbeált foszfátionok  $^{32}\text{PO}_4$  ionokkal való kicserélésekor csak 50%-nyi mennyiségben cserélődnek ki, ha a kicserélő oldat  $\text{PO}_4$  ion töménysége 5,4 ezrelék.

Schoen és munkatársai [24] azt találták, hogy a kaolinit által adszorbeált  $\text{PO}_4$  ionok 80—90%-a 8,0 pH-nál izotóposan kicserélhetők, ha az oldat P töménysége 2 ezrelék. Tanulmányozták a kalciumfoszfátoknak talajban történő átváltozását is. Azt találták, hogy a kalciumfoszfátok a talajvízben való oldódásuk mértékében részben átalakulnak más kevésbé oldható bázikusabb foszfátokká, végtermékként pedig apatittá. Kimutatták, hogy a természetes talajoldat  $\text{P}_2\text{O}_5$  töménységének (0,2 mg/l) megfelelő oldattal való kilúgzáskor 8,02 pH-nál a dikalciumfoszfát jelentős része hidroxipatittá alakul át, ugyanakkor 6,8—7,3 pH között teljesen feloldódik.

Klecskovszkij és munkatársai [13] gyepes podzol talajon, vörös földön és csernozjom talajon vizsgálták a  $^{32}\text{P}$ -vel jelzett foszfátionok adszorpcióját és jelzetlen foszfátionok oldatával való kicserélődését. Megállapították, 1. hogy az adszorbeált  $^{32}\text{P}$ -vel jelzett foszfátionok legnagyobb része jelzetlen foszfátionokkal kicserélhető. 2. Hogy a talajok által adszorbeált  $^{32}\text{P}$ -vel jelzett foszfátionok egy része olyan erősen kötődik meg a talajokban, hogy még hosszabb ideig tartó kölcsönhatás és nagyobb mennyiségű kicserélő oldat alkalmazásakor sem vonható ki a talajból. 3. Hogy a különböző talajoknál a  $^{32}\text{P}$ -vel jelzett foszfátionok adszorpcióis görbéje nem azonos. A kilúgzási görbék ezzel szemben mindegyik talajnál azonos típusúak. Eltérés csak a görbék maximumában van. 4. A kísérletek eredményéből azt a végkövetkeztetést lehet levonni, hogy a foszfátok és a talaj egymásra hatásánál mind az adszorpció, mind a kémiai megkötődési folyamatok szerepet játszanak.

Neller és munkatársai [20] a foszfornek a talajban való megkötődését befolyásoló tényezők hatását vizsgálták  $\text{P}^{32}$ -vel jelzett műtrágyákkal. Megállapították, hogy a talajok kiszáritása nincs befolyással a foszfát megkötődésre. A különböző agyagtartalmú talajok foszfor megkötő képessége és az agyagtartalom

között szoros összefüggést találtak. Véleményük szerint a talajok foszformegkötő képessége a talajok higroszkópos nedvességtartalma alapján megbecsülhető. Vizsgálatakból kitűnt az is, hogy a kaolin jellegű agyagok foszfátmegkötő képessége nagyobb a mástípusú agyag kolloidok foszfátmegkötő képességénél. Kiszámították azt is, hogy 1 acre területű talaj kezelésére 500 mC  $P^{32}$  szükséges, ha a benne természeténél fogva 3—4 hónap múlva mennyiségi meghatározásokra kívánjuk felhasználni.

### III. A foszfácionok mozgása a talajban

A növények foszfát trágyázásánál nagyon fontos, hogy ismerjük a foszfácionoknak a talajban való mozgását. Ezt legkönnyebben  $P^{32}$ -vel jelzett foszfácionokkal lehet meghatározni. Több kutató foglalkozott ennek a folyamatnak felderítésével is. Herbst [11]  $P^{32}$ -vel jelzett foszfátok vizes oldatát — amelynek aktivitása 44—66 C/l volt — egyrészt természetes állapotú, másrészt fellazított homokos agyagtalajra öntözte ki és különböző időpontokban vett talajmintákon vizsgálta a  $P^{32}$ -vel jelzett foszfácionok mozgását a talajban. Azt találta, hogy a fellazítatlan talajban a kevés vízzel bejuttatott  $^{32}PO_4$  ionok a talaj felső 4 cm vastagságú rétegében helyezkedtek el. Ez az elhelyezkedés sem a 3 nap múlva lehullott 9,5 mm csapadék, sem pedig a későbbiekben lehullott 6,9, 1,2 és 2,9 mm csapadék hatására lényegesen nem változott meg. A 15 cm mélységig fellazított talajban a  $P^{32}$ -vel jelzett foszfácionok 5 cm mélységig hatoltak be. Az első 9,5 mm csapadék ebben az esetben sem okozott lényeges változást a jelzett foszfácionok elhelyezkedésében. A későbbi csapadékok azonban a felső 5 cm talajrétegben levő jelzett foszfácionok 60%-át az alatta levő talajrétegbe mosta be. Egy másik kísérletnél szintén fellazított és fellazítatlan talajon vizsgálták a  $P^{32}$ -vel jelzett foszfácionok mozgását. A talaj lazítását ennél a kísérletnél oly módon végezték el, hogy ne keletkezzen a talajban a mélyebb rétegekben tömörítődés (eketalpréteg) ennél a kísérletnél a jelzett foszfácionok a fellazítatlan talajban 18 cm mélységig hatoltak be. A foszfácionok eloszlása olyan volt, hogy a felső 3 cm talajrétegben helyezkedett el az adagolt jelzett foszfácionok 50%-a. A kísérletet követő nagyobb 35,8 mm-es csapadék hatására az eredetileg a felső 18 cm-es rétegbe megkötődött  $P^{32}$ -vel jelzett foszfácionok 85%-a az alatta levő talajrétegbe mosódott be. A fellazított talajon végzett kísérletnél a felső 2 cm-es talajréteg adszorbeálta nagyobb mértékbe a  $P^{32}$ -vel jelzett foszfácionokat. Az alatta levő 8—10 cm-es talajrétegbe a foszfácionok eloszlása ebben az esetben egyenletes volt. A kísérletet követő 35,8 mm-es csapadék hatására a fellazított talajon a felső 2 cm-es talajréteg foszfácionos tartalma jelentéktelen volt, az alatta

levő talajrétegből azonban a csapadék a  $P^{32}$ -vel jelzett foszfácionok 80%-át a mélyebb talajrétegekbe mosta be.

Fiskell és munkatársai [8] szintén tanulmányozták a  $P^{32}$ -vel jelzett foszfát műtrágyák talajba való behatolásának mértékét. Azt találták, hogy az adott klimatikus viszonyok között a felszínre kiszórt  $P^{32}$ -vel jelzett foszfát műtrágyáknak csak csekély része hatolt be a talajba 2,5 cm-nél mélyebbre. Megállapították azt is, hogy a foszfor műtrágyák oldalirányú vándorlása elsősorban a lejtési viszonyoktól függ, és hogy az oldalirányú vándorlást a talaj felületén lefolyó víz irányja szabja meg.

### IV. A talaj mozgékony foszfor tartalma

Az izotópos hígítási módszert megpróbálták a talajok mozgékony és felvehető foszfát tartalmának meghatározására is felhasználni. Talajok esetében azonban az izotóp hígítási módszer alkalmazása sokkal több nehézséggel ütközik, mint a műtrágyáknál. A nehézséget elsősorban az okozza, hogy az egyensúly rendszerint nagyon lassan áll be és annak pontos meghatározása nem lehetséges. Az eredmények nagy mértékben függenek a meghatározáshoz használt oldat pH értékétől is. Wiklander [28] kísérleteiből kitűnt, hogy a talajban levő növény által felvehető foszfát mennyiségét 3 tényező határozza meg úm.: 1. A talaj izotóposan kicserélhető foszfát szintje, 2. a kötött vagy kicsapódott foszfátok felszabadításának mértéke, 3. a kötött és kicsapódott foszfát mennyisége. A talajok izotópos hígítás útján való mozgékony foszfor tartalmának meghatározásával kapcsolatos eddigi eredményeket Barbier [1] foglalta össze. A legfontosabb megállapításai a következők: 1. Izotóp technika segítségével kimutatták, hogy a talaj szilárd fázisa által visszatartott  $PO_4$  ionok állandó rendezetlen mozgásban vannak. Mozgás közben egyrészt a szilárd, másrészt a folyékony fázis felé toldhatnak el oly módon, hogy minden egyes  $PO_4$  ion idejének egy kis részét a folyékony fázisban (talajoldatban) tölti el. Ezeket a  $PO_4$  ionokat megkülönböztetésül a talaj szilárd fázisának belsejében (kristályrácsában) helyetfoglaló ionoktól mozgékony, vagy aktív  $PO_4$  ionoknak nevezzük. Az aktív jelző ebben az esetben nem sugárzó  $^{32}PO_4$  iont jelent, hanem a közönséges  $PO_4$  ionok mozgékonyágának jelzésére szolgál. 2. A talajban levő mozgékony  $PO_4$  ionokat izotóppal felhígítható, vagy kicserélhető  $PO_4$  ionoknak is nevezzük, mert ezek a talajban oldat formájában bevitt  $^{32}PO_4$  ionokkal homogen elegyet alkotnak. Egyensúlynál a talajoldat izotópos összetételéből a talaj mozgékony  $PO_4$  ion tartalma kiszámítható. 3. Kristályos foszfátok esetében a mozgékony  $PO_4$  ionok ily módon való meghatározása hibás

adatokat szolgáltathat, mert a  $^{32}\text{PO}_4$  ionok egy része a kristályrácsba beépítve elvesztheti mozgékonyágát. A meghatározást zavarhatja a kristályos foszfátok felületén, vagy mikro hézagaiban helyet foglaló labilis egyensúlyban levő  $\text{PO}_4$  ionok is. 4. Az izotóposan hígított  $\text{PO}_4$  ionok mennyiségének diagramja az idő függvényében kezdetben meredeken emelkedő ágat mutat, amely ezután egy vagy két lassan emelkedő ágban folytatódik. A határt a kétféle ág között nehéz megállapítani, mert gyakran csak hosszú idő múlva (kb. 50 napi rázás) észlelhető. Ezek az okok megnehezítik a talajban levő izotóposan hígítható  $\text{PO}_4$  ionok határértékének megállapítását. A talajok izotópos hígításának az idő függvényében való tanulmányozása mindezek dacára értékes támpontot ad a  $\text{PO}_4$  szállítás kinetikájáról. 5. Ismeretes, hogy egy kalciumfoszfát, amely eredetileg adott körülmények között ( $\text{PO}_4$ , Ca és OH aktivitásnál) oldható volt az idő folyamán egy bázikusabb és így a fent megadott körülmények között oldhatatlanabb foszfáttá képes átalakulni. Ez az átalakulás egészen az apatit szerű állapotig mehet. Úgy látszik, hogy az oldható foszfát trágya részecskék körül a talajban a  $\text{PO}_4$  töménység növekedésekor olyan kalciumfoszfátok képződnek, amelyek oldhatósága csekély. A foszfátionoknak ily módon való megkötődését irreverzibilis megkötésnek nevezzük. 6. Oldható foszfát műtrágya részecskék közelében vas és alumíniumoxidokból még 7 pH-nál is vas és alumínium foszfátok képződhetnek, ha a talajoldat  $\text{PO}_4$  töménysége növekedik. 7. A talaj által adszorbeált foszfátion mennyisége annál nagyobb, minél kevesebb foszfátion van jelen. Ezt legjobban bizonyítja az, hogy a súlytalan  $^{32}\text{PO}_4$  nagyon erősen (tapad) adszorbeálódik a szilárd testek, mint a pipetták és üvegek felületén. 8. Bebizonyult, hogy a kalciumkarbonát a  $\text{PO}_4$  ionokat telítetlen kalciumfoszfát oldatból jól adszorbeálja. Ha az oldat  $\text{PO}_4$  töménysége elég nagy, akkor kalciumfoszfát (dikalciumfoszfát) csapadék keletkezik. Ez a továbbiakban bázikus foszfátokká alakul át. Ehhez az átalakuláshoz a  $\text{CaCO}_3$  oldódása szolgáltatja a szükséges Ca és OH ionokat. 9. Megfigyelték, hogy egy műveletlen talajnak oldható foszfát trágyával való trágyázása után az izotóposan hígítható foszfát tartalma növekszik. Néhány év múlva azonban a hozzá adott  $\text{PO}_4$  mennyiségének csak 40%-a mutatható ki. Fel kell tételeznünk, hogy az oldható foszfor trágyának egy része ilyenkor irreverzibilisen megkötődik, vagyis állandóan a szilárd fázisban marad, illetve mozgása rendkívül lassúvá válik. Az azonban nem biztos, hogy ez a megkötés végleges-e, mert a talaj váltakozó kiszáradása és benedvesedése a talajoldat  $\text{PO}_4$  töménységét erősen fokozhatja. 10. A talajnak izotópos hígítással meghatározott mozgékony foszfát tartalma jól összehasonlítható adatokat szolgáltat a tenyészedényekben végzett növénykísérletek adataival, amelyeknél a növénybe

került  $\text{PO}_4$  ionok mennyiségéből határozták meg a talaj felvehető foszfát tartalmát.

Dean [6] a talaj mozgékony foszfortartalmát oly módon határozza meg, hogy  $^{32}\text{P}$ -vel jelzett szuperfoszfáttal trágyázza a talajt és meghatározza a talajra adagolt műtrágya aktivitását, továbbá a termés (növény) összes foszfortartalmát és annak aktivitását. Az így nyert adatokból a talaj mozgékony foszfortartalmát „A”-t a következő képlettel számítja ki:

$$„A” = b \frac{l-y}{y}$$

az egyenletben  $b$  a talajhoz adott jelzett foszfor műtrágya aktivitása,  $y$  a termésben (növényben) levő foszfornak a trágyából származó része. A kísérleti eredmények szerint, ha a jelzett műtrágya mennyiségét  $\text{P}_2\text{O}_5$ -ben kifejezve 5–160 font/acre között változtatták a talaj „A” értéke csak kismértékben növekedett.

#### V. A foszfát műtrágyák növények által való felvehetősége

A foszfát műtrágyáknak növények által való felvehetőségének  $^{32}\text{PO}_4$  felhasználásával történő meghatározása bizonyos nehézségekkel jár. Ezek közül elsősorban a  $^{32}\text{P}$  által k. sugárzott elektronoknak a növények fejlődésére kifejtett hatása okozhat zavarokat.  $^{32}\text{P}$  ugyanis egyrészt serkentő, másrészt fejlődés gátló hatást fejt ki a növényekre. A legnagyobb nehézséget az okozza, hogy ezek a hatások nem válnak el élesen egymástól, hanem még ugyanazon v. szonyok között is azonos aktivitású  $^{32}\text{P}$ -vel jelzett készítmények egyszer serkentő, máskor károsító hatást fejtenek ki a növényekre. Az Amerikai Egyesült Államokban a kísérletekhez felhasznált foszfát műtrágyák aktivitása 0,1–0,4 mC/g  $\text{P}_2\text{O}_5$  között változik. A szabadföldi kísérleteknél felhasznált jelzett foszfát műtrágyák  $\text{P}_2\text{O}$  tartalma 40–120 font/acre. Ez a mennyiség, illetve ez az aktivitás gyakorol legkisebb hatást a növények fejlődésére. Dean és munkatársai [5], továbbá Nelson és munkatársai [21] négy különböző növényvel (üm. burgonya, kukorica, gyapot és dohánnyal) végzett kísérleteket  $^{32}\text{P}$ -vel jelzett foszfor műtrágyákkal abból a célból, hogy a foszforfelvétel időbeli lefolyását és a növény által felvett foszforban a talajból és a trágyából származó foszfor egymáshoz való viszonyát megállapítsa. A növényeket 3 különböző időpontban megmintázták és meghatározták, hogy a bennük levő foszforból hány % származott a foszforműtrágyából. A vizsgálati adatok szerint a burgonya kezdetben növekvő mennyiségben használja fel a műtrágya foszforját a vegetációs időszak második felében, azonban a műtrágya-

ból származó foszforfelvétel már csökken. Kukoricánál már nagyon jól megfigyelhető, volt, hogy míg a fejlődése elején foszfor szükségletének 60%-át fedezte a műtrágya foszforjából, addig a fejlődésének középső szakaszában ez az érték már 25%-ra, a fejlődés végén pedig 20% alatti értékre csökkent. Gyapotnál a fejlődés első szakaszában a növény 45%-ban használta fel a műtrágya foszforját, ez az érték a fejlődés végére 35%-ra csökkent. A dohány fejlődésének kezdetén 60%-ban fedezte foszfor szükségletét a műtrágyából, ez az érték a vegetációs idő végéig 43%-ra esett. A talaj felvehető  $P_2O_5$  tartalma Truog módszerrel meghatározva burgonya esetében 69 font volt acre-ként, a másik három növénynél 71 font volt 1 acre talaj felvehető  $P_2O_5$  tartalma. Burgonya esetében 3 különböző talajon vizsgálták a növény által felvett  $P_2O_5$  mennyiségét. A talajok felvehető  $P_2O_5$  tartalma Truog módszerrel meghatározva 69, 260 és 264 font volt acreként. A talajból, illetve a műtrágyából származó  $P_2O_5$  mennyiségét és egymáshoz való viszonyát illetően megállapították, hogy a több felvehető  $P_2O_5$ -öt tartalmazó talajokból a burgonya több  $P_2O_5$ -öt vesz fel. A növény a műtrágyából származó foszforból mindhárom talaj esetében közel egyforma mennyiséget, 10–12 fontot hasznosított acreként. Kukoricánál két talajon végeztek kísérleteket a növény által a talajból, illetve a műtrágyából felvett  $P_2O_5$  mennyiségének meghatározására. A vizsgálati adatok azt mutatják, hogy mindkét talajfajleség esetében a kukorica közel egyforma mennyiségű  $P_2O_5$ -öt vett fel a műtrágyából (5–6 font/acre). Ugyanakkor a kétféle talajból annak dacára, hogy közel egyforma azoknak a felvehető  $P_2O_5$  tartalma, jelentősen különböző mennyiségeket használt fel. Nagyon érdekesek azok az adatok, amelyeket négyféle talajon gyapot növényvel beállított kísérleteknél nyertek. Ezeknél a talajoknál a felvehető  $P_2O_5$  tartalom Truog módszerrel meghatározva 67, 71, 140 és 216 font volt acreként. A gyapot által felvett műtrágyából származó  $P_2O_5$  mennyisége egy acre termésre számítva 2,5–5 font között változott. A vizsgálati adatok szerint a több felvehető  $P_2O_5$ -öt tartalmazó talajokból a gyapot növény is több  $P_2O_5$ -öt használt fel. A talajból felvett  $P_2O_5$  mennyisége azonban nem arányos annak felvehető  $P_2O_5$  tartalmával. A gyapot növény ugyanis közel azonos mennyiségű felvehető  $P_2O_5$ -öt tartalmazó talajokból nagyon eltérő mennyiségű  $P_2O_5$ -öt vett fel. A dohány egy acre területről 12 font  $P_2O_5$ -öt vett fel, ebből 5 font származott a műtrágyából. Vizsgálatokat végeztek neutronokkal besugárzott nyers foszfátokkal is annak eldöntése céljából, milyen mértékben tudják a növények a nyers foszfátok foszforját hasznosítani. Párhuzamosan  $^{32}P$ -vel jelzett szuperfoszfáttal is végeztek kísérleteket. A vizsgálati adatokból kitűnt, hogy a növények annál jobban hasznosítják a nyers foszfát fosz-

forját, minél kisebb a talaj pH értéke. A növények 5,8 pH-nál ugyanannyi foszfort vettek fel a szuperfoszfátból, mint a négyzemes mennyiségű  $P_2O_5$ -öt tartalmazó nyers foszfátból. Megállapították azt is, hogy a nyers foszfátból felvett  $P_2O_5$  és CaO aránya 16,4:1.

Lewis és munkatársai [16] vizsgálat tárgyává tették különböző kationoknak és anionoknak a foszfát trágyák felvehetőségére gyakorolt hatását. Vizsgálataikból kiderült, hogy a kalciumionok csökkentik, a nátriumionok növelik a foszfor trágyák felvehetőségét. A karbonátok bizonyos mennyiségig alkalmazva növelik a foszfor trágyák felvehetőségét. Általában a só töménység növekedése csökkenti a foszfor trágyák felvehetőségét. Vizsgálataikból az is kitént, hogy a foszfát trágyázás növeli a talaj foszfátion leadó képességét.

Larsen [15]  $^{32}P$ -vel jelzett primer és szekunder kalciumfoszfátot, továbbá hidroxipapatitot használt fel az árpa trágyázására, és különböző időpontokban mérte a növényben levő műtrágyafoszfor és talajfoszfor mennyiségét. Vizsgálati adataiból kitűnik, hogy a vetéstől számított 40–50 napig a növényekben növekszik a műtrágyából származó foszfor mennyisége, ezután annak értéke a növény beéréséig állandó marad. Az eredményből az is kitűnt, hogy a legkisebb műtrágya adag fokozta legjobban a talaj foszforjának a növény által való kihasználását. Nagyobb műtrágya adagoknál mind a talaj, mind a műtrágya foszforjának kihasználása csökkent.

Deribére [7] kísérleteiből kitűnt, hogy a búza a foszfor műtrágya foszfor tartalmának csupán 16%-át hasznosította az eddig feltételezett 20–22% helyett. Burgonyánál foszfor-szegény talajokon a termésben levő foszfor 25,7%-a a kis adagban alkalmazott foszfát műtrágyából származott. Foszfor szegény, de erősen műtrágyázott talajon a növény által felvett foszfor 50%-a származott a műtrágyából.

Starostka és munkatársai [25] granulált foszfát műtrágyák felvehetőségét vizsgálták  $^{32}P$ -vel jelzett műtrágyákkal. Kísérleteikből kitűnt, hogy a granulumok nagysága nagy mértékben befolyásolja azok felvehetőségét.

Korickaja [14] kísérleteiből kitűnt, hogy savanyú podzolos vályog talajon a növények több foszfort vesznek fel a szemeséztett szuperfoszfátból és Thomas salakból, mint a monokalciumfoszfátból. Szürke földön végzett kísérleteknél az ammóniumfoszfát foszforját nagyobb mértékben vette fel a növény a monokalciumfoszfát foszforjánál. Ugyanezen a talajon szemeséztett szuperfoszfátból és foszforitlisztből kevesebb foszfort vett fel a növény, mint az oldalban adagolt monokalciumfoszfátból.

Mattingly és munkatársai [17]  $^{32}P$ -vel jelzett foszfát műtrágyákat alkalmaztak tenyész-

edény kísérleteiknél a trágyák „szuperfoszfát egyenértékének” mérésére. Vizsgálati eredményeikből kitűnt, hogy meszes talajokon a kísérleti növény fajlagos aktivitásából meghatározott szuperfoszfát egyenérték jól egyezett a termésnövekedésből, illetve a növény foszfor felvételéből számított szuperfoszfát egyenértékkel. Savanyú talajnál fajlagos aktivitás mérésével való meghatározásnál a nyers foszfátok a szuperfoszfát egyenértékére túl nagy értékek adódtak. Szabadföldi kísérleteknél dikalciumfoszfát, nyers foszfát és szuperfoszfát maradék esetében a növények korai fejlődési stádiumában jól egyező értékeket kaptak a műtrágyák szuperfoszfát egyenértékére úgy a növény fajlagos aktivitásából, mint a termésnövekedésből és a növény foszfor felvételéből számított értékekkel. Az éréskor végzett meghatározások azt mutatták, hogy a termésnövekedésből számított szuperfoszfát egyenérték a különböző foszfát műtrágyáknál kisebb a növények aktivitásából, illetve a növények foszfor tartalmából kiszámított szuperfoszfát egyenértékénél.

Michael és munkatársa [18] thüringiai talajok izotóposan kicserélhető foszfátion tartalmát határozták meg  $^{32}\text{P}$ -vel jelzett foszfátokkal. Azt tapasztalták, hogy jelzett szuperfoszfát alkalmazásakor a talajban olyan izotóp kicserélődéssel kell számolni, amely a műtrágya kihasználási értékét meghamisítja. A hiba 20%-ot is kitehet.

## VI. A foszfát műtrágyák elhelyezésének hatása a felvehetőségre

A  $^{32}\text{P}$ -vel jelzett foszfát trágyákat felhasználták annak felderítésére, hogy a talajba különböző mélységbe aló elhelyezéskor a műtrágyák felvehetősége milyen mértékben változik. Zuev és munkatársai [29] két különböző kultúrállapotú talajban (gyengén és közepesen művelt talajokban)  $^{32}\text{P}$ -vel jelzett szuperfoszfáttal vizsgálták annak felvehetőségét különböző elhelyezés esetében. Kísérleteikből kitűnt, hogy 1. a gyengén művelt talajokban termelt növények nagyobb mértékben használták fel a szuperfoszfát foszforját, mint a közepesen művelt talajokban termelt növények. 2. Fiatal növények a fészkekbe adott, vagy a magvak közelében elhelyezett szuperfoszfátból több foszfort vettek fel, mint a másképpen adagolt szuperfoszfátból. 3. A szuperfoszfát elhelyezésének befolyása fiatal növények esetében a gyengén művelt talajoknál figyelhető meg legjobban. Fiatal növények foszfor táplálkozását oly módon lehet legjobban biztosítani, ha a szuperfoszfátot a magvakkal együtt sorban, vagy bizonyos mélységben a magvak alá adagoljuk. 4. A sorok közé adagolt szuperfoszfát a növények foszfor szükségletét fejlődésük elején nem tudja megfelelő mértékben biztosítani.

Moszolov és munkatársai [19] azt találták, hogy az alászántott  $^{32}\text{P}$ -vel jelzett szemcsézett szuperfoszfát a növekedés későbbi fázisában jut csak be a növénybe. Ezzel szemben a kultivátorral a feltalajba bedolgozott szemcsézett szuperfoszfát már a növény fejlődésének kezdetén biztosítani tudja a növény foszfor ellenállását.

## VII. A foszfát trágyák utóhatása

A foszfát műtrágyák utóhatásának vizsgálatára is jól felhasználható a  $^{32}\text{P}$ -vel jelzett szuperfoszfát. Erre a célra rendszerint olyan talajokat használnak fel, amelyeket hosszabb időn keresztül szuperfoszfát műtrágyával trágyáztak és feltehető, hogy a talajok foszforja túlnyomóan a fel nem használt szuperfoszfátból (szuperfoszfát maradékból) származik. Heller és munkatársa [10]  $^{32}\text{P}$ -vel jelzett szuperfoszfáttal vizsgálták a szuperfoszfát és nyers foszfát utóhatását egy homokos-agyagos floridai talajon, amelynek foszfát megkötő képessége igen nagy volt. Ezekben a talajokban az előző trágyázások hatására nagy mennyiségű foszfor kötődött meg. A növényeket, amelyeket ezen a talajon termeltek  $^{32}\text{P}$ -vel jelzett szuperfoszfáttal trágyázták meg és meghatározták a növények aktivitásából, hogy a felvett foszfornak hányad része származik a jelzett szuperfoszfátból és hányad része származik az előzőleg alkalmazott szuperfoszfát és nyers foszfát maradékból. Az eredményekből kitűnt, hogy 113 kg  $^{32}\text{P}$ -vel jelzett  $\text{P}_2\text{O}_5$ -öt tartalmazó szuperfoszfát hektáronkénti alkalmazásánál a növény által felvett foszfor 44,3–56,3%-a a régebben alkalmazott szuperfoszfát maradékból származott. A nyers foszfát utóhatása hasonló kísérlettel meghatározva sokkal kisebbnek bizonyult, mert csak hatszoros mennyiségben alkalmazott nyers foszfát utóhatása volt a szuperfoszfát utóhatásával azonos.

Prince [22] különböző mennyiségű szuperfoszfáttal kezelt szabadföldi kísérletek parcelláiból vett talajmintákon tenyészedényekben vizsgálta a szuperfoszfát kezelésének utóhatását. Az izotóp hígítási módszert alkalmazva kiszámította, hogy a talaj izotóposan hígítható (mozgékony) foszfor készlete hogyan egyezik a 0,002 N  $\text{H}_2\text{SO}_4$  oldattal kivont foszfor mennyiségével. Kísérleti növényként vörös herét az izotópos hígításra  $^{32}\text{P}$ -vel jelzett szuperfoszfátot használt fel. A vizsgálati eredményekből kitűnt, hogy a 36 éves tartam kísérletek hatására a szuperfoszfát adagok nagysága szerint mind az izotópos hígítással meghatározott mozgékony foszfor tartalma, mind a talajból 0,002 N  $\text{H}_2\text{SO}_4$ -el kivonható foszfor tartalma a talajnak növekedett. Vizsgálataikból az is kitűnt, hogy nagy foszfor adagok esetében a meszezés a növény foszfor tartalmát csökkentette. Meszezés nélkül

a talaj foszfor tartalmának növekedésével a növények foszfor tartalma is növekedett.

Talibudeon [26] két Rothamsted-i talajon különböző töménységű (0,1—0,001 m) ammóniumtráttal oldattal vonta ki a talaj foszforját. Azt találta, hogy az oldat töménységétől függetlenül közel azonos mennyiségű foszfor oldódott ki a talajokból. Ugyanekkor az izotópos hígítással meghatározott foszfor tartalom annál a talajnál, amelyik előzőleg nagy mennyiségű szuperfoszfáttal volt trágyázva — tehát foszfor utóhatás volt várható — nagy mértékben eltért a másik talajnál mért értékektől.

Az ismertett közlemények adataiból kitűnik, hogy az eredmények nem minden esetben egyértelműek. Ennek az az oka, hogy kezdetben az izotóp hígítással nyert mozgékony  $P_2O_5$  értékeket úgy tekintették, mintha azokat a talajban lejátszódó folyamatok egyáltalán nem befolyásolnák. Különösen áll ez a talajok mozgékony foszfor tartalmának, illetve felvehető foszfor tartalmának meghatározására. A talajok izotóposan hígítható foszfor tartalmát nagyon gyakran összeeszerélik, illetve azonosítják a talaj mozgékony, illetve növény által felvehető foszfor tartalmával. Ez természetesen helytelen következtetésekre vezet. A talajok izotóposan hígítható foszfor tartalma ugyanis nem minden esetben egyezik meg a talaj mozgékony foszfor tartalmával és legtöbb esetben eltér a növények által felvehető foszfor tartalomtól. A talajoknak növények által felvehető foszfor tartalma

nem tekinthető abszolút értéknek, amely egy egyszerű eljárással meghatározható, mert az több tényezőnek a függvénye. Így érthető, hogy az izotópos módszerek alkalmazása sem szolgáltathat olyan adatokat, amelyek a valószínűséggel megegyeznek, ha figyelmen kívül hagyják a többi tényezők — elsősorban az egyéb növényi tápanyagok — befolyását. Megállapíthatjuk azonban, hogy bár az izotópos módszerekkel sem sikerült a talajok felvehető foszfor készletének meghatározása, az izotópos eljárások mégis számos olyan eredményre vezettek, amelyek a műtrágyák helyes alkalmazását és a műtrágyázás tökéletesebb végrehajtását nagy mértékben elősegíti. Ezek közül legfontosabbak a foszfor műtrágyáknak a talajban való mozgását vizsgáló kísérletek, továbbá a foszfor műtrágyák legmegfelelőbb elhelyezésének megállapítását célzó kísérletek eredményei.

Cormack és munkatársai [4] a kéntrágyázás hatását vizsgálták kénszegény talajokon 35-ös kénizotóppal jelzett nátriumszulfáttal. Kísérleti növényül lucernát, vöröshere és árpa keverékét és zöldségféléket használtak. Kísérleteik szerint lucerna, valamint vöröshere és árpa keverékénél kéntrágyázás hatására termésnövekedés nem mutatkozott. A zöldségféléknél a termés 400%-kal növekedett a kéntrágyázás hatására és a kén tartalmuk 31—80%-kal szintén megnövekedett.

di GLERIA JÁNOS

Érkezett: 1957. július 21.

### Irodalom

- [1] Barbier, G.: Trans. Sixth. Int. Congr. Soil Sci. B. 387. 1956.
- [2] Boischot, P., Coppenet M. & Hebert I.: Plant and Soil. 2. 311. 1950.
- [3] Cole C. V., Olsen S. R. & Scott C. O.: Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 17. 352. 1953.
- [4] Cormack, D. V., Bentley, C. F. & Scott D. B.: Sci. Agric. 31. 41. 1951.
- [5] Dean, L. A., Nelson, W. L., Mackenzie, A. I., Armiger, W. H. & Hill, W. L.: Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 12. 107. 1947.
- [6] Dean, L. A.: Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 18. 462. 1954.
- [7] Deribère, M.: Rádióaktív izotópok a mezőgazdaság szolgálatában, Orsz. Mezőg. Könyvtár fordítása. 10. 589. 1954.
- [8] Fiskell, I. G. A., Delong, W. A. & Oliver W. F.: Canad. J. Agric. Sci. 6. 559. 1953.
- [9] Fried M. & Dean L. A.: Soil Sci. 73., 263. 1952.
- [10] Holler, I. R.: & Lundy, H. W.: Soil Sci. 74. 409. 1952.
- [11] Horbst W.: Z. Pfl. Ernähr. Düng. 59. 139. 1952.
- [12] Ivanov, Sz. N.: Pecsvoegyenyije (7) 44. 1955.
- [13] Kleckovszkij, V. M. & Celiscseva G. N.: Pecsvoegyenyije. (9) 8. 1955.
- [14] Korickaja, F. D.: Izveszt. Akad. Nauk. SSSR. Szer. Biol. 111. 1954.
- [15] Larsen, S.: Plant and Soil. 4. 1. 1952.
- [16] Lewis, G. C., Jordan, I. V. & Juwe, R. L.: Soil Sci. 74. 227. 1952.
- [17] Mattingly, G. E. G. & Widdowson, F. W.: Sixth. Int. Congr. Soil Sci. B. 461. 1956.
- [18] Michael, G. Machold, O.: Z. Pfl. Ernähr. Düng. 77. 1. 1957.
- [19] Moszolov, I. V. & Panova A. V.: Pecsvoegyenyije (7) 92. 1955.

- [20] *Neller, I. R. & Comar, C. L.*: Soil Sci. 64. 379. 1947.
- [21] *Nelson, W. L., Krantz, E. A., Colwell, W. E., Woltz, W. G., Hawkins, A., Dean, L. A., MacKenzie, A. I. & Rubins, E. I.*: Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 12. 113. 1947.
- [22] *Prince, A. B.*: Soil Sci. 75. 51. 1953.
- [23] *Russell, R. S., Rickson, I. B. & Adams, S. N.*: J. Soil Sci. 5. 85. 1954.
- [24] *Schoen U., Barbier G. & Henin, S.*: Annales Agron. 5. 441. 1954.
- [25] *Starostka, R. W., Carlo, I. H. & Hill, W. L.*: Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 18. 67. 1954.
- [26] *Talibudecn, O.*: J. Soil Sci. 8. 89. 1957.
- [27] *Weikel, I. H., Neumann, W. F. & Feldman, I.*: J. Amer. Chem. Soc. 76. 5202. 1954.
- [28] *Wiklander, L.*: Lantbr. Högsk. Annr. 17. 407. 1950 idézve: *Mattingly G. E. G.* Soils and Fert. 20. 59. 1957.
- [29] *Zuev, L. A., Golubeva, P. F. & Porucsikova, V. I.*: Pocsvoegyenyije (2) 32. 1955.