

## Rádióaktív izotópok alkalmazása talajtani vizsgálatoknál

A talajok vizsgálatánál, az egyes talajok sajátosságainak megismerésénél igen jelentős kérdés a talajt alkotó vagy oda bevitt különböző anyagok (rendszerint javítóanyagok vagy műtrágyák) mozgása és átalakulása a természetes talajképződési tényezők vagy az emberi tevékenység hatására. Így fontos ismernünk azt, hogy az egyes javítóanyagok milyen mértékben és milyen idő alatt lépnek kölcsönhatásba a talaj kicserélődési komplexumával, vagy milyen az eloszlása az egyes talajszintekben a talajba bevitt műtrágyáknak és milyen kémiai vagy biológiai átalakuláson mennek ezek keresztül. Fontos továbbá ismernünk olyan, mind a talaj sajátosságainak kialakításában, mind a növények életében lényeges szerepet játszó folyamatoknak a mechanizmusát és mibenlétét, mint a talaj szilárd és folyadékfázisa, valamint a talaj és a növények közötti kölcsönhatás. A fenti kérdéseket már régtől fogva vizsgálták és számos olyan eredményhez jutottak talajtanosaink, már a klasszikus módszerek segítségével is, melyek a talajjavítás és műtrágyázás kérdéseit mélyebben megvilágítják és ezek kivitelezését hatóságosabbá teszik. Az elmúlt években a rádióaktív izotópok alkalmazása ezen folyamatok tanulmányozásának lehe-tőségét hatalmas méretekben kiterjesztette, részben azért, hogy egyes nehézkes és gyakran korlátolt pontosságú meghatározások helyébe új, gyorsabb és pontosabb módszerek kidolgozását tette lehetővé, részben mód nyílt olyan összefüggések és kölcsönhatások vizsgálatára, melyeket a klasszikus módszerek segítségével nem, vagy csak feltételesen tudunk észlelni. Az első csoportba tartozik a talaj szilárd és folyadék fázisa között végbemenő kicserélődési reakció sebességének és a megfelelő egyensúlyi állapotának meghatározása, továbbá a talaj adszorpciós kapacitásának mérése izotópos módszerrel. A második csoportba említhetjük a következő folyamatokat: a talajban végbemenő kicserélődési reakciók kinetikája, a talaj és növény közötti kölcsönhatás, különösen pedig a növény tápanyag- és kalcium-felvétele.

A rádióaktív izotópok alkalmazhatóságának széles körét és eredményességét bizonyítja, hogy Dean [5] adatai szerint az elmúlt 15 évben mintegy 300 közlemény jelent meg, melyek az agrokémia és talajtan különböző

területein végzett rádióaktív izotópos vizsgálatokkal foglalkoznak.

A rádióaktív izotópok alkalmazásának egyik legrégibb és aránylag eléggé kutatott területe a különböző határfelületi jelenségek. A kómiában a kicserélődési felület meghatározására először Paneth és Vorwerk [13] alkalmaztak rádióaktív indikátoros módszert, akik ThB és Pb<sup>212</sup> segítségével a nehezen oldódó ólomsók specifikus felületét határozták meg, majd Kolthoff [9, 10] kiterjesztette ezeket a vizsgálatokat az ólom-szulfát felületének meghatározására. A talajban, a talaj szilárd és folyadék fázisának határfelületén végbemenő kicserélődési reakciók vizsgálatára igen alkalmas a Ca<sup>45</sup> izotóp, részben sajátosságainál fogva (felezési idő, stb.) részben azért, mivel a talaj kolloid-komplexumának felületén levő kicserélhető kationok jelentős százaléka kalcium. A talajban végbemenő kicserélődési reakciók vizsgálata már a század elején megindult, s Gedroic [6], Sigmund [20], Kelley [8], Hissink [7], számos értékes megfigyelést tettek. Így Gedroic [6], Kelley [8], Hissink [7] megállapították azt, hogy a kicserélődési reakciók igen gyorsan mennek végbe és konstans külső feltételek mellett rövid időn belül beáll a szilárd és folyadékfázis között az egyensúly. Azonban éppen e reakció nagy sebessége miatt az egyensúly stabilizálódásának minimális idejét megállapítani nem tudták. Kézenfekvőnek mutatkozik továbbá, már a nem izotópos vizsgálatok alapján az a feltevés, hogy az oldat kationjai és a talaj kicserélhető bázisai között kinetikus egyensúly áll fenn. Azonban ez direkt úton a klasszikus, nem izotópos módszerekkel nem volt bizonyítható. Ezen egyensúlyt, valamint a kicserélődés kinetikáját, izotópos módszerrel Poljakov [15], Antipov—Karatajev [1], valamint Borland és Reitemeier [4], vizsgálták részletesen. Poljakov [15] és Antipov—Karatajev [1] vizsgálataiknál abból indultak ki, hogy a talaj szilárd és folyadékfázisa között végbemenő kationcsere egyensúlyhoz vezetett folyamat, s mint ilyen analog a közismert kémiai kicserélődési reakciókkal és az adszorpciós kalciumklorid oldat (melyet vizsgálataiknál alkalmaztak) rendszer, eleget tesz mindazon feltételeknek, melyeknél a tömeghatás törvénye érvényes. Vizsgálataikat kalcium és ammó-

nium iont különböző arányban tartalmazó, de állandó ionerősségű oldatokkal végezték, így az aktivitási koefficiens az első közelítésben állandónak vehető és a tömeghatás törvényének egyenletében számolhatunk a megfelelő koncentrációkkal. Továbbmenve, számításainknál nem az ionok egyensúlyi koncentrációit veszik figyelembe, hanem a kicserélhető ionok tömegét mg egyenértékben, meghatározott súlyú talajra vonatkoztatva. Így, a talajban végbemenő kicserélődési reakciókra, ha a talaj felületén levő kicserélhető ammóniát kalcium ion szorítja ki, a következő egyenletet alkalmazták:

$$K_{2-1} = \frac{X^2}{(n-X) \cdot (b_2 - X)^{1/2}}$$

ahol  $X$  = az adszorbeált kalcium ion mennyisége = a deszorbeált ammónium ion mennyisége.

$n$  = a talaj kicserélő képessége, ami esetünkben az adszorbeált kalcium és ammónium ionok összegét adja.

$b_2$  = a kalcium ion mennyisége, a kiindulási oldatban. Ha az ammónium ion deszorbeációja szabad ammónium ion jelenlétében megy végbe, úgy az ammónium ion koncentrációja az egyensúlyi oldatban:  $X + b_1$ .

Tehát a fenti egyenlet a következő alakban írható fel:

$$K_{2-1} = \frac{X^2 (X + b_1)}{(n - X) \cdot (b_2 - X)^{1/2}}$$

A  $b_1$  és  $b_2$  adott értékek,  $n$ , azaz a talaj kicserélődési kapacitása a szokásos módszerekkel meghatározható. Az  $X$ , azaz az adszorbeált kalcium mennyisége adott egyszerű esetben meghatározható izotóposan a kicserélő oldatban a kalcium 45-ös izotópját alkalmazva, abból az összefüggésből, ami az indikátor aktivitásának változása ( $\eta$ ) és a hordozó koncentrációjának változás között fennáll, s mely szerint az  $\eta$  és a hordozó kalcium ion egyensúlyi koncentrációja között lineáris összefüggés van. Elegendő tehát az  $\eta$  meghatározása, s ebből az  $X$  értéke, ill. a fenti egyenlet alapján az egyensúlyi állandók értéke kiszámítható.

A kísérleti adatok azt mutatják, hogy a különböző koncentrációnál mért, ill. meghatározott egyensúlyi állandók a kísérleti hibán belül jól megegyeznek. Az adszorbeált ammónium és kalcium ion arányát az oldat ammónium és kalcium ion koncentrációi arányának függvényeként ábrázolva egyenest kapunk, mely a koordináta kezdőpontján halad át. Az egyeses hajlásszögéből számolva az egyensúlyi állandót közel azonos értéket kaptak, mint a különböző koncentrációnál mért egyensúlyi állandók középértéke. Hasonló kísérleteket végeztek káliummal telt talajon, a talaj kicserélhető kálium

ionját cserélték ki kalcium ionra. különböző  $Ca^{++} : K^+$  arányú  $Ca^{45}$ -öt tartalmazó, de állandó ionerősségű  $CaCl_2 + KCl$  oldattal kezelve a talajt.

Ezek a vizsgálatok azt mutatják, hogy ilyen egyszerű esetben (egy kicserélhető bázist tartalmazó talaj, egy kicserélő ion, állandó ionerősség, stb.) a talaj szilárd és folyadék fázisa között végbemenő kationcsere első közelítésben analógnak vehető, a kémiában közismert kicserélődési reakciókkal. Elvégezték a kicserélődési reakció egyensúlyi állandójának meghatározását különböző hőfokon és az egyensúlyi állandónak a hőmérséklettel való változásából kiszámították az egyes termodinamikai állandókat, entalpia, szabadenergia és entrópia értékeket. Ezek azt mutatják, hogy ha az ammónium ionnal telt talaj kicserélhető ammónium ionját kalcium, vagy kálium ionra cseréljük ki, úgy a szabad energia negatív értékű, ami azt mutatja, hogy a kolloidkomplexum =  $Ca$  és a kolloidkomplexum —  $K$  képződése önmagától végbemenő folyamat és a keletkezett termékek stabilabb vegyületek termodinamikailag, mint a kiindulási vegyület. A megfelelő entrópiaértékeket kiszámítva az adatok azt mutatják, hogy a kolloidkomplexum =  $Ca$  és a kolloidkomplexum —  $K$  képződésének entrópiája viszonylag alacsony és ilyen szempontból az adott rendszer az izoenergetikai rendszerekhez tartozik, azonban, az entrópiaváltozás pozitív előjele azt mutatja, hogy a talaj ammónium ionjának kicserélése kalcium vagy kálium ionra entrópianövekedéssel jár, tehát a reakciótermékek stabilabbak, mint a kiindulási anyag. Ezek az adatok figyelemre méltóak, mivel felvilágosítást nyújthatnak arról, hogy a különböző kicserélhető kationok milyen erővel kapcsolódnak a kolloidkomplexum felületéhez. Kíváncsú lenne ezeket a vizsgálatokat bonyolultabb rendszerekre is (többféle kation, más anionok) kiterjeszteni és megvizsgálni, érvényesek-e és hogyan érvényesek az előbbieken megállapított összefüggések.

Borland és Reitemeier [4] vizsgálataikat két irányban folytatták:

1. Vizsgálták a kicserélhető és a talajhoz hozzáadott kalcium 45-ös izotóp közötti egyensúly beállításának sebességét.

2. A talaj kicserélhető kalciuma és a folyadékfázis kalcium ionja közötti kinetikus egyensúlyt.

Vizsgálataikat agyagásványokon végezték, az előbbieknél megfelelően, két kísérletsorozatban.

Az elsőben az agyagásvány szuszpenzióhoz azonos aktivitású,  $Ca^{45}$ -öt tartalmazó kalciumoldatot adtak, különböző idők eltelte után meghatározták a folyadék aliquot mennyiségében az összes kalcium és a  $Ca^{45}$  mennyiségét. A másik kísérletsorozatban az agyagásványhoz 21  $C^\circ$ -on különböző összes kalcium és  $Ca^{45}$  tartalmú oldatot adva, 48 órai rázatás után meghatá-

rozták a folyadékfázis összes kalcium és  $Ca^{45}$  tartalmát, valamint semleges n ammonacetátos kivonatban a talaj összes kicserélhető kalcium és kicserélhető  $Ca^{45}$  tartalmát. Ha a kicserélhető  $Ca^{45}$  és az oldatban levő  $Ca^{45}$  arányát mint az idő függvényét ábrázolták, úgy azt találták, hogy a kicserélődési egyensúly a hidrocillámot kivéve, minden agyagásványon igen hamar bekövetkezik és ezen a szinten marad a kísérlet végéig (120 óra). Az egyensúly beálltának ideje bentonitnál fél, beidellitnél, kaolinitnál és halloysitnál 1 óra. Ez volt az első kísérlet arra, hogy az egyensúly stabilizálódásának minimális idejét megállapítsák. Sajnos, a módszernél alkalmazott különböző műveletek nem tették lehetővé, hogy a kicserélődési egyensúly vizsgálatára fél órán belül végezzenek vizsgálatot, így a mérési adatok zöme már az egyensúlyi állapotra vonatkozik. Kívánatos lenne, hogy a módszer technikai tökéletesítésével, vagy más hasonló, de technikailag könnyebben kivitelezhető módszerrel rövidebb (fél órán belüli) időközökben is végezzenek ilyen irányú vizsgálatokat.

$$\text{Ha a log. } \frac{Ca^{45} (e)}{Ca^{45} (s)} \text{ arányt, mint a}$$

$$\log \frac{Ca(e)}{Ca(s)}$$

függvényét ábrázoljuk (ahol  $Ca(e)$  = a kicserélhető kalcium ion mennyisége,  $Ca(s)$  = az oldatban levő kalcium ion mennyisége, úgy lineáris összefüggést kapunk. Ez a lineáris logaritmikus összefüggés minden agyagásványra jellemző és az egység felé tart. Ez a tény, továbbá az, hogy a kalcium ion specifikus aktivitása (amit a  $Ca^{45}$  és az összes Ca aránya ad meg) a szilárd és folyadékfázisban egyenlő, mutatja, hogy az agyagásvány kicserélhető kalcium ionjai és az oldat kalcium ionjai egyensúlyban vannak. Így tehát direkt úton bizonyítást nyert az, a nem izotópos módszerekkel kapott adatok alapján kézenfekvőnek mutató feltevés, hogy az oldat és a kolloidkomplexum kicserélhető kalcium ionjai kinetikusan egyensúlyban vannak, mely egyensúly és a kicserélődés menete rádióaktív indikátorokkal jól követhető. Szükséges lenne megvizsgálni primer és sec. ásványokon valamint talajokon, hogy ezek nem kicserélhető kationjai milyen egyensúlyban vannak a felület kicserélhető és az oldat ion alakban levő kationjaival. Fontos lenne ez a kalciumnál is, de különösen fontos lenne káliumnál, mely rácsalkotó elem, és mint ilyen feltétlenül lényeges az oldat és szilárd fázis határfelületén levő egyensúly mellett, az agyagásvány felülete és a kristályrács között levő egyensúly ismerete. Ilyen irányú vizsgálatokat eddig csak Wiklander [24] végzett, aki  $K^{42}$  alkalmazásával megállapította, hogy a kicserélődés sebessége a talaj kicserélhető és a kristályrács káliuma között igen lassú.

Az előbbi kísérletekhez hasonló elgondolások alapján Wiklander és Gieseking [23] vizsgálták, hogy a jelzett kation kicserélődése hogyan függ az oldat telítettségétől és a komplementer ion természetétől.  $K^{42}$  és  $Sr^{92}$  alkalmazásával azt találták, hogy megközelíthető egy határérték, ami függ a kicserélhető iontól, a komplementer iontól és az alkalmazott kicserélőtől, míg Krishnamoorthy és Overstreet [11]  $K^{42}$ ,  $Ca^{45}$ ,  $Rb^{86}$ ,  $Cs^{137}$ ,  $La^{140}$  alkalmazásával a kationcsere egyenértékűségére vonatkozó különböző kifejezések érvényességét vizsgálták.

A kationcsere sebességének ismerete felhasználható az egyes javítóanyagok hatékonyságának megállapítására, mivel a javítóanyagként adott mész, vagy más kalciumtartalmú anyag hatékonysága savanyú talajokon függ a talaj savanyúságát közömbösítő képességtől és a kicserélődési reakció sebességétől. A fenti elgondolások alapján Smith, Blume és Whitaker [21] két módszert dolgoztak ki, savanyú talajokon a javító anyagok hatékonyságának megállapítására.

1. Az első módszer  $Ca^{45}$ -el jelzett talajon termelt növényekben jelenlevő kalcium specifikus aktivitásának meghatározásán alapul. A talaj a növénytáplálkozás szempontjából kétféle kalciumot tartalmaz, a növények által könnyen felvehető kicserélhető kalciumot és a rosszul oldódó kalcium vegyületeknek a növények számára nehezen hozzáférhető részét. A meszező anyag hozzáadásakor a kétféle kalcium aránya a talajban megváltozik. Ha az egyik féle kalciumot  $Ca^{45}$ -el jelöljük, akkor az így kezelt talajon nevelt növényekben a rádióaktív kalcium és az összes kalcium arányának alapján a talajban lefolyó reakció előrehaladását izotóp elemzéssel követni lehet. A szerzők vizsgálataiknál a talajt jelölték  $Ca^{45}$ -tel, elkeverték a megfelelő javítóanyagokkal és az így előkészített talajban herét ültettek, amit háromszor, 49, 80 és 111 nap múlva vágtak le. Majd ugyanebben a talajban a növényi maradványok eltávolítása után kölest ültettek és 32 nap múlva ezt is levágták. A növényi hamuban meghatározták az összes kalcium és a  $Ca^{45}$  mennyiségét. A meszezett talajon termelt növényben talált  $Ca^{45}$  aránya a meszezetlen talajon termelt növényben mért  $Ca^{45}$  tartalmához ( $y$ ) viszonyítva mutatja, hogy a növényben levő kalcium milyen arányban származik a talaj kolloid komplexumában eredetileg meglevő kicserélhető kalciumból. A meszező anyagból a növények számára felvehetővé vált kalcium mennyiségét a Fried-Dean-féle izotóp hígítási képlet alapján kapják:

$$A = \frac{(1 - y) B}{y}$$

Ahol  $A$  = a meszező anyagból származó felvehető kalcium mennyisége,  $B$  = a kicserélhető

kalcium mennyisége a meszezetlen talajban mg-ban 1 g talajra vonatkoztatva.

A kísérleti adatok azt mutatják, hogy a meszező anyagok átalakulásának sebessége az aprítás finomságával növekszik. A különböző javító anyagok (mész, kalcit, dolomit, stb.) hatékonysága között is van bizonyos eltérés, de ez nem jelentős.

2. A második módszer az egyensúlyi oldatok izotóp elemzésén alapul. A kicserélhető kalciumot ismert  $\text{Ca}^{49}$  és  $\text{Ca}^{45}$  koncentrációjú oldattal hozzák egyensúlyba és az oldatnak eközben beálló izotóp felhígulását mérik és ennek útján határozzák meg a talaj kicserélhető kalcium tartalmát. Ismerve a kiindulási és egyensúlyi oldat összes kalciumtartalmát és aktivitását, a talaj kicserélhető kalciumtartalma számítható. A meszező anyagból származó kicserélhető kalcium mennyiségét megkapjuk, ha a meszezett és meszezetlen talajnál mért kicserélhető kalcium mennyiségét egymásból kivonjuk. A kétféle módszerrel kapott értékek eléggé megegyeznek. Bizonyos eltérést találunk azért, mivel az első módszerrel a meghatározást befolyásolja a növények biológiai hatása. Ezért helyes a két meghatározás párhuzamos elvégzése. A módszert savanyú talajokra dolgozták ki, de esetleg felhasználható szikes talajoknál is a javító anyagok hatékonyságának megállapítására. Hátránya a módszernek, hogy meglehetősen magas aktivitásokkal dolgoztak. Nem végablakos cső alkalmazásával, hanem a preparátumot közvetlenül a cső alá helyezve, esetleg kisebb aktivitású  $\text{Ca}^{45}$ -tel is elvégezhető a meghatározás.

Az izotóp hígítási szabályt felhasználva Blum e és Smith [3] módszert dolgozták ki a talaj adszorpciós kapacitásának meghatározására. Az így kapott értékek jól megegyeztek az összehasonlításként használt ammonactátos módszer adataival.

Ridkij [18] módszerében szintén  $\text{Ca}^{45}$ -öt tartalmazó kalciumklorid oldattal határozza meg a talaj adszorpciós kapacitását. A módszer alkalmas az adszorpciós kapacitás meghatározására, ha előzőleg a talajt kalciummal telítették. Meghatározható az adszorpciós kapacitás előzetes kalciummal való telítés nélkül e módszerrel akkor, ha a talaj kicserélhető bázisai túlnyomóan kalcium ionokból állanak és a kalcium mellett csupán bizonyos mennyiségű magnézium-iont tartalmaz. Alkalmazható a módszer karbonátos talajoknál is, mivel a kísérleti adatok szerint, amíg a kolloidkomplexum és a jelzett kalcium között az ionsere gyorsan megy végbe, addig a karbonátokkal az izotópcseré sebessége igen alacsony és még a talaj hosszabb átoldozásánál sem befolyásolja a módszer pontosságát. Használható e módszer savanyú talajoknál is, ha azt előzőleg szénsavas mésszel kibővístették.

A talaj meszezésével kapcsolatos vizsgálatok két irányúak. Vizsgálják a különböző mész-

vegyületek mozgékonyosságát a talajban. Ilyen irányú vizsgálatokat végzett Blum e [2] aki laboratóriumi körülmények között  $\text{Ca}^{45}$ -el jelzett talajon vizsgálta a kalciumvegyületek mozgását, állandó lefelé irányuló víz-áram hatására. Azt tapasztalta, hogy a kilúgzás eredményeként a kalcium, a mélyebb rétegekben jelenik meg. Összehasonlítva jól trágyázott, művelt és parlag talajon a kalcium mozgását, azt tapasztalta, hogy a parlagon nagyobb lesz a kalcium ion kilúgzódásának mértéke, mint növényzettel borított talajon. Ririe és Tóth [17] a különböző kalcium tartalmú vegyületek (javító anyagok) mozgékonyosságát vizsgálva megállapították, hogy a különböző kalciumvegyületek közül a kalciumsulfát a legmozgékonyabb. A kísérletek másik csoportja az, amelyekben a növényzet kalciumfelvételét vizsgálják. Ilyen irányú megfigyeléseket végeztek Schmeil [19] és munkatársai, akik vizsgálták a talajsavanyúság és az ezzel kapcsolatos tényezők hatását a lucerna kalciumadszorpciójára. Ririe és Tóth [16] a kalcium  $^{45}\text{Ca}$  izotópjának relatív felvehetőségét vizsgálták különböző kalciumsókból paradicsom-növénynél, továbbá a kalcium mozgékonyosságát és eloszlását a növényben lucerna, vöröshere, búza, paradicsom esetében. Azt találták, hogy a lucerna több  $\text{Ca}^{45}$ -öt vesz fel  $\text{Ca}^{45}\text{CO}_3$ -ból, mint  $\text{Ca}^{45}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ -ből, vagy  $\text{Ca}^{45}\text{SO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ -ból. A kalcium eloszlását vizsgálva azt találták, hogy több  $\text{Ca}^{45}$  volt a lucerna alsó leveleiben, mint a felsőkben és több volt a kalcium  $^{45}\text{Ca}$  izotópjának mennyisége a felső, mint az alsó szárrészekben. Érdekes volt az a megfigyelésük, hogy ha a növényzet egész fejlődése alatt érintkezik rádióaktív izotópot tartalmazó kalciumoldattal, úgy az idősebb levelek, ha fejlődésének csak bizonyos fázisában, úgy a fiatalabb levelek tartalmaznak több  $\text{Ca}^{45}$ -öt. A növények kalciumfelvételével foglalkoztak Peterburgszkij és Szidorova [14] valamint Moszolv és munkatársai [12], akik egybehangzón megállapították, hogy a kalcium ionok mozgása a növényben rendkívül lassú és csak felfelé történhet. A növényzet normális fejlődése tehát csak akkor biztosított, ha a növény gyökerének környezetében elegendő felvehető kalcium ion van. Ezek a vizsgálatok arra mutatnak, hogy a talajba bevitt mészvegyületeket nemcsak mint javító anyagot, hanem mint növényi tápanyagot is kell tekintenünk és ha a talajba bevitt javító anyagok és műtrágyák hatását akarjuk vizsgálni, úgy figyelembe kell vennünk a növény és talaj között végbemenő folyamatokat, melyekben igen nagy szerepe van a talaj és a növény közötti kicserélődési reakcióknak. Ilyen irányú vizsgálatokat Jenny és Overstreet [22] végeztek, akik  $\text{Na}^{24}$ ,  $\text{K}^{42}$  és  $\text{Rb}^{86}$  alkalmazásával kimutatták, hogy a kation adszorpció mértéke árpagyökérnél nagyobb a nátriumot, káliumot és rubidiumot tartalmazó talaj és agyagszus-

penziókból, mint a megfelelő szűrletekből. Így ez volt az első kísérlet annak az összefüggésnek megállapítására, ami az agyagfelület kation-adszorpciója és a sóoldat koncentrációjának megfelelő ionadszorpció között fennáll.

A növények ásványi tápanyagfelvétele a szokásos módszereknél könnyebben figyelemmel kísérhető az ún. rádióautográfiás módszer segítségével. Ennek lényege a következő: Ha egy rádióaktív anyagot tartalmazó tárgyat fényképezőlemezre helyezünk, úgy a fényérzékeny réteget a rádióaktív sugárzás az érintkezés helyén megfeketíti, és a lemezen a rátett tárgy körvonalai láthatóvá válnak, azaz a tárgy mintegy önmagát lefotografálja. Innen nyerte a módszer a rádióautográfia elnevezést is. Megfelelő érzékenységű lemezt és megfelelő erősségű rádióaktív preparátumot véve, nemcsak a tárgy körvonala, hanem benne a sugárzó anyagok eloszlása is láthatóvá válik. Így pl. ha egy növény rádióaktív indikátorral jelzett tápanyagot vesz fel, úgy a rádióautográfiás módszer segítségével kimutathatjuk a rádióaktív anyagok eloszlását a növény különböző szerveiben. E módszert az agrokémiai és talajtani vizsgálatoknál széles körben alkalmazzák  $P^{32}$   $Ca^{45}$  és  $S^{35}$ -el végzett kísérleteknél, amikor a talajba adott javítóanyagot vagy műtrágyát a fenti anyagok valamelyikével jelzik és a növényről fejlődésének egy adott szakaszában vagy különböző időpontokban felvételt készíte-

nek. A felvételekből, ha azokat különböző időpontokban készítjük, jól látható a növényi tápanyagok mozgása az egyes szervek között. E módszer azonban nemcsak kvalitatív, hanem kvantitatív kiértékelésre is alkalmas, mivel feketedés mértékéből meghatározható a felvett tápanyagok mennyisége, illetve a tápanyagok mennyiségi eloszlása az egyes növényi szervek között. A rádióautográfia módszerét alkalmazták Ririe és Tóth (16) fentebb említett kísérletükben, ahol különböző növények (paradicsom, lucerna, vöröshere stb.) kalciumfelvételét vizsgálták  $Ca^{45}$ -el jelzett anyagokból. E módszer hazai alkalmazásának egyik nehézsége a tapasztalatok hiányán kívül, a megfelelő érzékenységű fényérzékeny lemez kiválasztása.

Számos olyan rádióaktív izotópos vizsgálat van, mely a növények tápanyagfelvételével foglalkozik és a talajtan, valamint a növényfiziológia határfelületére esnek. Tekintettel arra, hogy a talajtan szorosan vett tárgyköréhez ez nem tartozik, így erre részletesen nem térek ki.

A rádióaktív izotópok alkalmazása a talajtani munkálatok területén mint a fentiekben látjuk, rendkívül széles lehetőséget nyújt a talajban végbemenő folyamatok megismerésére. Ilyen irányú vizsgálatok már nálunk is megindultak és kívánatos, hogy ezeket minél szélesebb körben kiterjesszék.

DARAB KATALIN

Érkezett: 1957. július 31.

### Irodalom

- [1] *Antipov-Karatajev, I. N.*: Primenenie izotopnogo metoda k issledovanija javlenij pogloscsenija pocsvami elektrolitov v szvjazi sz melioracijej pocsv. Primenenije izotopov v tehniko, biologije i szelszkom hozjajsztve. Izd. Akad. Nauk SSSR. Moszkva. 366-382. 1955.
- [2] *Blume, J. M.*: Leaching of calcium in a fine sandy loam as indicated by  $Ca^{45}$ . Soil Sci. 73. 383-389. 1952.
- [3] *Blume, J. M. & Smith, D. H.*: Determination of exchangeable calcium and cation-exchange capacity by equilibration with  $Ca^{45}$ . Soil Sci. 77. 9-17. 1954.
- [4] *Borland, J. W. & Reitemier, R. F.*: Kinetic exchange studies on clays with radioactive calcium. Soil Sci. 69. 250-260. 1950.
- [5] *Dean, L. A.*: Applications of radioisotopes to the study of soils and fertilizers: a review. Proc. Internat. Conf. on the Peaceful Uses of Atomic Energy. Vol. 12. 89-96. United Nations. New York. 1956.
- [6] *Gedroiz, K. K.*: Izbr. szoes. Tom. I. Szelszhozgiz. Moszkva. 1955.
- [7] *Hissink, D. J.*: Base exchange in soils. Trans. Farad. Soc. 20. 551-560. 1924.
- [8] *Kelley, W. P.*: Cation Exchange in Soils. Reinhold. New York. 1948.
- [9] *Kolthoff, I. M. & Rosenblum, C.*: The adsorbent properties and the specific surface of lead sulfate. J. Amer. Chem. Soc. 55. 2656-2672. 1933.
- [10] *Kolthoff, I. M.*: Adsorption on ionic lattices. J. Phys. Chem. 40. 1027-1040. 1936.
- [11] *Krishnamoorthy, C. & Overstreet, R.*: An experimental evaluation of ion-exchange relationships. Soil Sci. 69. 41-59. 1950.
- [12] *Moszolov, I. V., Lapsina, A. N. & Panova, A. V.*: Peredvizsenije radioaktivnogo kalcija  $Ca^{45}$  v rasztenii pri vnekornevom ego vneszenii. Dokladi Akad. Nauk SSSR. 98. 495-496. 1954.
- [13] *Paneth, F. & Vorwerk, W.*: Über eine Methode zur Bestimmung der oberflächenadsorbierenden Pulver. Z. Phys. Chem. 101. 445-479. 1922.
- [14] *Peterburgszkij, A. V. & Szidorova, N. K.*: O peredvizsenii kalcija i foszfora v rasztenijah. Dokladi Akad. Nauk SSSR. 105. 1049-52. 1955.

- [15] *Poljakov, Ju. A.*: Primenenie radioizotopnoj metodiki dlja izucsenija obmennoj adsorbicii ionov  $\text{Ca}^{++}$  i  $\text{NH}_4^+$  na pocsvah. Pocsvovedenie. (7). 59-60. 1955.
- [16] *Ririe, D. & Tóth, S. J.*: Plant studies with radioactive calcium. Soil Sci. 73. 1-10. 1952.
- [17] *Ririe, D. & Tóth, S. J.*: Movement and effect of lime and gypsum in soil. Soil Sci. 73. 23-35. 1952.
- [18] *Ridkij, Sz. G., Janovszkaja, F. G. & Orlova, K. B.*: Opredelenie emkoszti pogloszenija pocsv pri pochosci radioaktivnogo izotopa kalcija. Pocsvovedenie. (7). 37-43. 1955.
- [19] *Schmell, W. R., Paech, M. & Bradfield, R.*: Influence of soil acidity on adsorption of calcium by alfalfa as revealed by radioactive calcium. Soil Sci. 73. 11-21. 1952.
- [20] *'Sigmond, E.*: Hazai szikesek és megjavítási módjai. Magyar Tud. Akadémia. Budapest. 1933.
- [21] *Smith, D. H., Blume, J. M. & Whittaker, C.*: Radiochemical measurement of reaction rates of liming materials in soil. J. Agr. Food Chem. 1. 67-70. 1953.
- [22] *Stout, P. R., Overstreet, R. et al.*: Symposium on „The use of radioactive isotopes in soil and fertilizer investigations”. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 12. 91-97. 1947.
- [23] *Wiklander, L. & Gieseking, J. E.*: Exchangeability of adsorbed cations as influenced by the degree of saturation and the nature of the complementary ions with special reference to trace concentrations. Soil Sci. 66. 377-384. 1948.
- [24] *Wiklander, L.*: Fixation of potassium by clays saturated with different cations. Soil Sci. 69. 261-268. 1950.