

## Sugárzó foszforizotopot tartalmazó foszforműtrágyák alkalmazása az agrokémiai és talajtani kutatásokban

A radioaktív izotopokat a kutatásban indikáló elemként használjuk, mert a radioaktív atomok jelzik, indikálják, a stabil atomok mozgását, útját, kémiai vagy biológiai folyamatokban. A módszert izotopos indikáció vagy nyomjelző módszernek nevezzük. A radioaktív izotopok instabilok lévén bomlanak, a bomlásuk folyamán felszabaduló energia, valamely sugárzás formájában jelentkezik, ami megfelelő berendezéssel megfigyelhető és mérhető.

A radioaktív indikálást az teszi lehetővé, hogy ugyanannak az elemnek izotopjai, eltekintve bizonyos fizikai tulajdonságoktól, gyakorlatilag kémiaailag azonosak, a kémiai folyamatokban nem válnak külön. Kivételek ebből a szempontból a hidrogén izotópjai, amelyek fizikai és kémiai tulajdonságokban is eltérnek egymástól. Ha a közöséges stabil foszfor mellett radioaktív foszfor is van, a radioaktív foszfor a stabilfoszforral együtt, azzal azonos módon vesz részt a kémiai reakciókban.

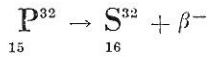
A módszer érzékenysége rendkívül nagy, mert súlyra mérhetetlen kismennyiségű anyag kimutatása lehetséges.

### A radioaktív izotopok aktivitásának mérése, a mérés érzékenysége

A radioaktív izotop atommagja valamilyen, az illető izotopra jellemző sugárzás kibocsátása közben bomlik és közvetlenül vagy közvetve stabil atommá alakul. A radioaktív atommag bomlásakor felszabaduló energia  $\alpha$ ,  $\beta$  vagy  $\gamma$  sugárzás formájában jelentkezik, a  $\beta$  sugárzás lehet elektron ( $\beta^-$ ) vagy pozitron ( $\beta^+$ ).

A radioaktív  $P^{32}$  atommag pl. bomlásakor elektront bocsát ki ( $\beta^-$  sugárzó) és stabil 32-es tömegszámú kén atommá alakul. A bomlást kísérő  $\beta^-$  sugárzás maximális energiája

1,69 MeV.\* A bomlást sematikusan a következőképpen írhatjuk fel:



A  $\beta^{-}$  részecske a kibocsátás pillanatában azáltal keletkezik, hogy a  $\text{P}^{32}$ -nek egy mag-neutronja mag-protonná alakul, ezzel az atommagban a protonok száma (a rendszám) 1-el megnövekszik és a periódusos rendszerben a foszfortól jobbra levő, 1-el magasabb rendszámú, 16-os kénatom jön létre.

A radioaktív izotópok meghatározása, a bomlásukat kísérő sugárzás erősségének mérése alapján történik. A sugárzás erősségén az aktivitáson, a másodpercenként elbomló atomok számát, vagyis a bomlás sebességét értjük.

A sugárzás erősségének mérésére szolgáló nemzetközi egység a *curie*. 1 curie (1C) aktivitás  $3,7 \cdot 10^{10}$  bomlást jelent másodpercenként, vagyis ha valamely radioaktív izotopra azt mondjuk, hogy aktivitása 1 curie, ez annyit jelent, hogy a másodpercenként elbomló atomok száma  $3,7 \cdot 10^{10}$ . Kisebb aktivitások mérésére a leszármaztatott egységek szolgálnak, a curie ezredrésze, a millicurie (1 mC),  $3,7 \cdot 10^7$  bomlás másodpercenként, továbbá a curie milliommód része, a mikrocurie (1  $\mu\text{C}$ ),  $3,7 \cdot 10^4$  bomlás másodpercenként.

Az aktivitás gyakorlati mérésére szolgáló egység a *fajlagos* aktivitás, ami alatt az 1 g-ra vagy 1 ml-re vonatkozó aktivitást értjük: pl. 1 C/g, vagy 1 C/ml. A fajlagos aktivitást a radioaktív elem kvantitatív mérésére használjuk.

A sugárzó izotópok aktivitásának mérésére szolgálnak a Geiger-Müller-féle csövek a hozzátartozó számláló berendezéssel. A G. M. cső működésének elve röviden a következő. Ha a G. M. csőbe pl. valamely radioaktív elem bomlásából származó elektron,  $\beta^{-}$  részecske jut, az ott rövid kisülést, illetve áramimpulzust hoz létre. Az áramimpulzus, a G. M. csőbe jutó  $\beta^{-}$  részecskét, illetve egy atom bomlását jelzi. Az áramimpulzusok számából, a bomló radioaktív atomok számára következtethetünk. A G. M. csőbe jutó elektron által létesített kisülés rendkívül rövid idő alatt ( $10^{-4}$  mp) megy végbe, az időegység alatt keletkező impulzusok száma igen nagy lehet, ezért a számláló úgy van megszerkesztve, hogy pl. minden 4-ik, 16-ik vagy 62-ik impulzust jelez, a számlolt impulzusokat tehát ettől függően 4, 16 vagy 62-vel kell szorozni.

Valamely készítmény vagy preparátum aktivitását gyakran nem curie-ben, hanem másodpercenkénti vagy percenkénti impulzusokban adják meg, ez átszámítható C egységre.

\* 1 elektronvolt az a kinetikus energia, melyre az elektron akkor tesz szert, ha 1 volt potenciálkülönbségen halad át.  $10^6$  elektronvolt (ev) = 1 mega elektronvolt (1 MeV).

A radioaktív elemek fontos jellemzője még az az idő, amely megadja, hogy a kezdetben jelen volt radioaktív anyag mennyisége a felére elbomlott. Ez az idő a *felezési idő* ( $T_{1/2}$ ), amely a különböző radioaktív elemeknél más és más és széles határok között változik, magára a radioaktív elemre pedig jellemző érték.

A G. M. számláló érzékenysége rendkívül nagy.  $10^{-7}$  mC aktivitást kielégítően mér. Mivel 1 millicurie  $3,7 \cdot 10^7$  bomlás másodpercenként,  $10^{-7}$  millicurie ennek a tiz milliommód része, vagyis másodpercenként 3,7 bomlás. Súlyban kifejezve ez annyit jelent, ha valamely radioaktív anyag specifikus aktivitása 1 mC/g, akkor a G. M. számláló ennek  $10^{-7}$  grammját kimutatja. Ha pedig az aktivitás nagyobb, tegyük fel ezerszer akkora, 1 mC/mg, akkor a kimutatható mennyiség  $10^{-10}$  g.

Az agrokémiai kísérletekben a radioaktív foszfor-izotop használatos mennyiségének súlya igen csekély. Számítsuk ki példaképpen, hogy 1 millicurie aktivitású  $\text{P}^{32}$ -ben mennyi a foszfor-izotop súlya grammokban. Ehhez ismernünk kell az 1 millicurie  $\text{P}^{32}$ -ben levő bomlatlan foszforatomok számát. Ennek kiszámítására a következő összefüggést használjuk fel:

$$-\frac{dN}{dt} = \frac{N}{T} \quad (1)$$

$N$  = a keresett bomlatlan atomok száma,  $\frac{dN}{dt}$  a másodpercenkénti elbomló atomok száma, a megadott aktivitás, amelynek értéke jelen esetben  $3,7 \cdot 10^7$ .

$\tau$  = a közepes élettartam, ennek értéke a felezési időből

$$\tau = \frac{T_{1/2}}{0,69} \quad (2)$$

összefüggés alapján számítható ki.

A  $\text{P}^{32}$  felezési ideje 14,3 nap, másodpercre átszámítva  $1 \cdot 24 \cdot 10^6$  másodperc. 2 egyenletbe behelyettesítve,  $\tau = 1,79 \cdot 10^6$ .  $N$  tehát kiszámítható az 1 egyenletből, vagyis 1 mC aktivitású  $\text{P}^{32}$ -ben a  $\text{P}^{32}$  atomok száma.

$$N = 1,79 \cdot 10^6 \cdot 3,7 \cdot 10^7 = 6,6 \cdot 10^{13}$$

Ki kell még számítanunk egy  $\text{P}^{32}$  atomsúlyát, az Avogadro-féle szám ( $6,02 \cdot 10^{23}$ ) segítségével

$$\frac{32}{6,02 \cdot 10^{23}} = 5,3 \cdot 10^{-23}$$

Egy  $\text{P}^{32}$  atom súlya megszorozva a  $\text{P}^{32}$  atomok számával kapjuk, hogy 1 millicurie aktivitású  $\text{P}^{32}$ ,  $6,6 \cdot 10^{13} \cdot 5,3 \cdot 10^{-23} = 3,5 \cdot 10^{-9}$  gramm  $\text{P}^{32}$  foszforatomot képvisel.

A radioaktív műtrágyákkal végzett kísérletekben, tenyészedényenként 1 mC-nél kisebb aktivitások szerepelnek úgy, hogy a radioaktív foszfor mennyisége, a nem radioaktív foszforhoz képest elhanyagolható mennyiség.

**A radioaktív foszforműtrágyákkal végzett kísérletekben a P<sup>32</sup> adagjának megállapítása**

A kísérletekben alkalmazott radioaktív foszfor, aktivitásban kifejezett mennyiségének megállapításánál különböző szempontokat kell figyelembe venni: 1. A kísérlet időtartama 2. A kísérletben alkalmazott növény érzékenysége a P<sup>32</sup>-vel szemben 3. A talaj sajátosságai 4. Háttérsugárzás

A P<sup>32</sup> felezési ideje (14,3 nap) rövid, néhány napos kísérleteknél lehetővé teszi kis aktivitások alkalmazását. Ilyen esetekben edényként (4–5 kg talaj) 5–10 mikrocurie aktivitás adagolása elegendő ahhoz, hogy a kísérlet befejezésekor az aktivitásokból megbízhatóan határozzuk meg a növényben levő jelölt foszfátok mennyiségét. Ha azonban a kísérlet időtartama hosszú, a növény teljes vegetációs ideje, tenyészedenyenként 100–200  $\mu$ C (0,1–0,2 mC) P<sup>32</sup> adagok megfelelőek. E nagyobb aktivitású adagok azért szükségesek, mert a radioaktív foszfor mennyisége kéthetenként a felére csökken és néhány hónap múlva 95–99%-a elbomlik. A szabadföldi kísérletekben használatos radioaktív műtrágya maximális aktivitása 1 g foszforra vonatkoztatva 100  $\mu$ C szokott lenni. Az itt közölt aktivitások csak a nagyságrendet adják meg, nem szigorú határértékek, hanem a kísérleti körülményektől függően változnak. Így pl. a műtrágya alkalmazásának módja is figyelembe veendő tényező. Vannak olyan megfigyelések [2] mely szerint üvegházi viszonyok közt a radioaktív granulált foszfor műtrágyával kezelt növények P<sup>32</sup>-vel szemben kevésbé érzékenyek mint a nem granulált műtrágyával kezelték és olyan megfigyelések is vannak, hogy bizonyos aktivitások serkentő hatásúak.

A P<sup>32</sup> adagok megállapításánál figyelembe kell venni a különböző növények érzékenységét a sugárzással szemben, különösen hosszú időtartamú kísérleteknél fontos ez, ahol nagyobb adagokat kell alkalmaznunk. A radioaktív foszfor mennyisége olyan legyen, hogy a jelölt foszfort a kísérlet végén még megbízhatóan tudjuk mérni, viszont ne fejtessen ki toxikus hatást a kísérleti növényre.

A különböző növények radioaktív foszforral szembeni érzékenységét számos kísérletben vizsgálták. Az erre vonatkozó megfigyelések még nem teljesen kielégítőek. Tény, hogy vannak növények, amelyeknek érzékenysége nagyobb a radioaktív foszforral szemben és vannak növények, melyeknek nagy a tűrőképességük, nagyobb aktivitásokat károsodás nélkül elbírnak. Szokolov [5] dolgozatából közlök néhány erre vonatkozó adatot. Szokolov a következő sorrendet állapítja meg, kezdve a legérzékenyebbel: pohánka, gabonafélék, borsó, len, mustár. A P<sup>32</sup> toxikus hatása pohánkánál 360  $\mu$ C/1 kg talaj, gabonaféléknél 500  $\mu$ C/1 kg talaj és borsónál 1000  $\mu$ C/1 kg talaj adagnál jelentkezett. Lennél és mustárnál, a radioaktív foszfor ily nagy adagjánál káros hatást nem

figyeltek meg. Az irodalmi adatokból úgy tűnik ki, hogy egyelőre még nem lehet az aktivitások terjedelmére nézve biztos adatokat mondani. Penner [3] erre vonatkozó dolgozatában azt ajánlja, hogy a megbízható kiértékelés végett, ajánlatos a kísérleteknél egynél több aktivitási szinten dolgozni. Szerinte a sugárzási határok mértéke, még alacsony aktivitású szinten sem mondható meg előre.

A talaj sajátossága annyiban befolyásolja a radioaktív műtrágya alkalmazandó aktivitásának nagyságát, amennyiben a P<sup>32</sup> toxikus hatása a talajtípustól is függ. Minél erősebben köti meg a talaj a foszfátot, annál jobban tűri a növény a nagyobb aktivitásokat.

Végül az alkalmazott aktivitásokat a háttérsugárzás oly értelemben befolyásolja, hogy a kísérlet befejezésekor, a mért impulzusok száma legalább háromszor akkora legyen, mint a háttérsugárzás. A háttérsugárzáshoz közel álló impulzus szám pontatlanná teszi a meghatározást és nem tudjuk megbízhatóan megállapítani a termék által felvett foszfor mennyiségét.

**A növény által felvett foszfor mennyiségének megállapítása a fajlagos aktivitásból**

Az a körülmény, hogy a radioaktív atommal megjelölt vegyületben a radioaktív izotop egyenletesen oszlik meg a megjelölt atom nem radioaktív izotopjai között és hogy a kémiai reakciókban a radioaktív izotop nem válik külön a nem radioaktív izotoptól, lehetővé teszi, hogy a fajlagos aktivitásból, a megjelölt atom mennyiségére következtethessünk, illetve annak mennyiségét kémiai vagy biológiai folyamatokban megállapíthassuk.

Tegyük fel, van 1 l valamilyen radioaktív foszfát oldatunk, melynek össz. aktivitása 16 mC, foszfortartalma pedig 32 mg. Mivel a jelölt foszfor egyenletesen oszlik meg az oldatban, 1 ml oldat aktivitása az össz. aktivitás ezred része, vagyis 0,016 mC., illetve mikrocurie egységben 16  $\mu$ C/ml. Ez az illető oldat fajlagos aktivitása. Az 1 ml oldat foszfortartalma 0,032 mg, vagyis 16  $\mu$ C/ml aktivitás 0,032 mg foszforral ekvivalens ebben az oldatban. Ha az aktivitást mg-ra vonatkoztatjuk, akkor 1 mg foszfornak 500  $\mu$ C aktivitás felel meg ebben az oldatban tehát a mg-ra vonatkoztatott fajlagos aktivitás 500  $\mu$ C/mg P. E példából látható, hogy a fajlagos aktivitás a jelölt elem koncentrációjától függően változik.

Miután a bomlás folytán a radioaktív atomok mennyisége állandóan csökken, a fajlagos aktivitás is csökken, ezt a körülményt a kísérleteknél figyelembe kell venni. Ha pl. valamely radioaktív foszfáttal végzett edénykísérlet 40 napig tartott, akkor az alkalmazott radioaktív foszfát 40 nap múlva mutatott fajlagos aktivitásával kell számolnunk, amit úgy számítunk ki, hogy a kísérlet kezdetén mért aktivitást elosztjuk a kísérlet befejezéséig eltelt időre vonatkozó

bomlási együtthatóval. Pl. a kísérlet kezdetekor mért  $500 \mu\text{C}/\text{mg}$  aktivitás 40 nap múlva, ha a 40 napra vonatkozó bomlási együttható 6,95,  $500/6,95 = 71,9 \mu\text{C}/\text{mg}$ . A bomlási együtthatók értékét számítással állapítjuk meg.

Ha az edénykísérletben talajkultúrával dolgozunk és meg akarjuk állapítani, hogy az alkalmazott jelölt műtrágyából mennyi foszfort vett fel a növény, ebben az esetben, mivel a növény nemcsak a műtrágyából, hanem a talajból is vett fel foszfort, a növény learatása után a növényben levő össz. foszfort és aktivitást meghatározva, a fajlagos aktivitást, vagyis az 1 mg jelölt foszforra eső aktivitást nem tudjuk megállapítani, mert a talajból és a műtrágyából származó foszfort nem tudjuk elválasztani. Ilyenkor homokkultúrával két kontrol kísérletet állítunk be, az egyikbe csak jelölt foszfátot adunk, a másikba egyáltalán nem adunk foszfort. Ez utóbbi arra szolgál, hogy a növényben eredetileg jelen volt foszfort korrekcióba vegyük. Learatás után kémiai elemzéssel megállapítjuk a homokkultúrákban nevelt növénybe belépett foszfor mennyiségét és az ennek megfelelő aktivitást. A növény össz. aktivitását elosztva a növényben levő össz. foszfor mennyiségével megkapjuk a fajlagos aktivitást, vagyis az 1 mg jelölt foszforra eső aktivitást. Ha az így kapott fajlagos aktivitással elosztjuk a talajkultúrában nevelt növény össz. aktivitását, megkapjuk a jelölt foszfátból felvett foszfor mennyiségét.

#### A foszfor-izotop alkalmazása a foszfor kérdés tanulmányozásában

Az alábbiakban foglalhatók össze azok a problémák, amelyeknek tanulmányozása az izotopos indikáció módszerével lehetséges és amelyek igen lényegesek a talaj termékenységének fokozása nézőpontjából.

1. Foszfortrágyázás esetén a növény milyen mértékben értékesíti a trágyafoszfort és a talaj foszfor-készletét. Mennyi foszfor jut a növénybe a talajból és mennyi a trágyából.

2. Ha műtrágya- és szervestrágya-foszfor van egyidejűleg jelen, milyen a műtrágya és milyen a szervestrágya foszforának kihasználása. A műtrágya foszforának kihasználását befolyásolja-e a szervestrágya és fordítva?

3. A különböző foszforműtrágyák összehasonlítása; hogyan érvényesülnek a különböző talajokon és a különböző agrotechnika alkalmazása mellett.

Tanulmányozhatjuk a foszfortrágya elhelyezésének helyes és helytelen voltát, a trágya elhelyezésének mélységét, egyszóval megállapíthatjuk az optimális körülményeket, amelyek mellett a foszfortrágya legjobban biztosítja a növények foszforellátását.

4. Tanulmányozhatjuk foszforizotoppal a foszfor talajbajutásának módját és mértékét, a foszfor mozgását a talajban, a foszfor megkötő-

dését. A talajba jutott foszfor megkötődésének mértéke, átalakulásának módja, a különböző talajokon más és más és befolyásolhatja ezt a talajművelés módja is.

5. Meg lehet figyelni foszforizotoppal a gyökereknek a talajszintekbe való behatolását anélkül, hogy a növényt eltávolítsuk a talajból.

6. Megfigyelhetjük a permettrágyázás táplálkozás menetét, a foszfor bejutását a levelekbe és eloszlását a növényi szövetekben.

7. Megfigyelhetjük sugárzó izotoppal, hogy a növényi gyökérrendszer egyes részeinek mi a szerepük a növény foszforellátásában.

Mindezekből láthatjuk, hogy az egész foszfor probléma leglényegesebb kérdésének tanulmányozását, az egész foszfor asszimiláció vizsgálatát teszi lehetővé az izotopos indikáció módszere.

#### Az aktivitás mérésekről általában

Kétségtelen, hogy a radioaktív izotopos indikáció módszere már eddig is igen sok értékes eredménnyel gazdagította a természettudományos kutató munkát.

Meg kell azonban említeni, hogy az aktivitások mérését, az eredmények értékelését, nagyobb gondal és körültekintéssel kell végeznünk mint a klasszikus kémiai módszereknél általában megszokott. A klasszikus kémiai módszereknél rendszerint nem ütközik nehézségbe a reprodukálhatóságot biztosító azonos feltételeket a mérések megismétlésénél betartani. Valamely elem gravimetrikus meghatározásánál ezt legtöbbször már azzal is biztosítjuk, hogy azonos mennyiségű és azonos koncentrációjú reagensekkel dolgozunk.

Az aktivitások mérésének pontossága nagymértékben függ attól a technikától amivel a méréseknél dolgoznak, a reprodukálhatóságot biztosító azonos körülmények betartására pedig különös gondot kell fordítani.

Miután a radioaktív méréseket számos körülmény befolyásolja, a berendezést, a G. M. csöveket gyakran kell ellenőrizni és az impulzusok számolásánál különböző korrekciókat kell alkalmazni.

A méréseket befolyásoló körülményeket az alábbiakban lehet összefoglalni [2].

Minden G. M. csőnek egy kisülés után bizonyos időre van szüksége, hogy újabb részecskét tudjon detektálni. Közvetlenül a kisülés után a számlálócső egy ideig érzéketlen a csőbe hatoló ionizáló részecske iránt. Ez az idő a »holt idő«, mely jó csöveknél  $10^{-4}$  sec. nagyságrendű. A holt idő kiszámításával olyan korrekcióhoz jutunk, amellyel a holt időn belül érkező részecskék számát vesszük figyelembe.

A háttér sugárzás figyelembevételéről már az előzőkben is volt szó. Ennek korrekciója abban áll, hogy megállapítjuk, radioaktív anyag távollétében mutatkozó impulzusok számát, az ún. nulleffektust, amit túlnyomórésztben a kozmikus sugárzás okoz.

Egyik hibaforrás a radioaktív méréseknél az *önabszorpció*, ami aktivitás veszteségeket okozhat. Ha a sugárzó anyag mennyiségét növeljük, az aktivitás nem lineárisan növekszik, mivel a sugárzó anyag mennyiségének növelésével az önabszorpció exponenciálisan növekszik úgy, hogy bizonyos vastagságnál már csak a felszíni rétegek aktivitását mérjük, az anyag mélyebb rétegeiből semmiféle sugárzás nem érkezik a mérőszervezetbe. Ha igen vékony készítményeket mérünk, a teljes aktivitás arányos a mért értékkel.

Az önabszorpció szempontjából lényeges, hogy folyadék vagy szilárd anyag aktivitását mérjük-e. Oldatban az önabszorpció nagy ezért az aktivitások mérésénél lehetőleg szilárd anyaggal kell dolgozni.

Befolyással van a mérési eredményekre az anyag, amelyre a mérendő készítményt helyezük. Ennek sorozat méréseknél, ha ugyanazzal az izotoppal dolgoznak mindig azonosnak kell lennie.

Végül igen lényeges az aktivitások összehasonlító mérésénél a *geometria*: a készítmény távolsága a csőtől, a cső-ablak és a készítmény felülete, vastagsága, az anyag homogén eloszlása, mert ezek meghatározzák, hogy a sugárzás milyen részlege jut a számlálóba. A minta geometriájának jól reprodukálhatónak kell lennie.

Mivel a radioaktív anyag bomlása spontán folyamat, a valószínűség törvényének megfelelően, minél több mérési adatunk van, az eredmények annál pontosabbak.

Végül nem hagyható figyelmen kívül mint hibaforrás az izotop-csere lehetősége sem, pl. olyankor mikor a talajhoz adott jelölt műtrágyával vizsgáljuk, hogy milyen mértékben hasznosítja a növény a műtrágyafoszfor és a talaj foszfor-készletét.

Az izotopcsere nézve vannak vizsgálati adatok, amely szerint az izotopcsere nem elhanyagolható körülmény [4, 6], mivel a talaj minden szervetlen foszfátja, különböző mértékben vesz részt az izotop kicserélődésben.

Az izotopcsere végbemehet úgy, hogy egy-nemű ionok cserélődnek meg. A talaj szilárd fázisának nem radioaktív foszfátionja kicserélődik a jelzett foszfort tartalmazó foszfortrágya foszfátionjával.

Bejuthat a radioaktív foszfor úgyszólván a talajba, hogy különféle ionok között jön létre ioncsere, pl. a foszfátionok és OH ionok között. A talajban levő kalcium, vas és alumínium is köthet le jelölt foszfátiont.

Az izotopcsere folytán a talaj is jelzetté válik, az izotopok új elosztódása következik be a rendszer egyes részei között, ami az aktivitások méréseredményeinek kiértékelésénél hibát okozhat. Mc Auliffe, Peech és Bradford szerint [1], az ilyen körülmények között megállapított műtrágyafoszfat felvétel mennyisége nem lehet egyenlő a növény által felvett abszolút mennyiséggel.

Mindezek a körülmények azt mutatják, hogy az aktivitások mérésénél igen nagy körültekintéssel kell dolgoznunk. Rendkívül fontos a kísérleti metodika és az eredmények értékelésénél még sok részletkérdés tisztázására van szükség.

Török László

#### Irodalom

- [1] Mc Auliff, C. D., Peech, M. & Bodfield, R.: Soil Sci. **68**. 185. 1949.
- [2] Cook, G. B. & Duncan, I. F.: Modern Radiochemical Practice. Oxford at the Clarendon Press 1952.
- [3] Penner, E.: Canad. J. Agric. Sci. **34**. 214. 1954.
- [4] Scott Russell, R., Rickson, J. B. & Adams, S. N.: J. Soil Sci. **5**. 85. 1954.
- [5] Szokolov, A. V.: Vesztnik Akad. Nauk. SSSR. **28**. 1955.
- [6] Zamjatina, V. B.: Poczvoegyenyije, **10**. 23. 1954.