

VITARÓVAT

A kationkicszerelő kapacitás és a kicszerélhető kationok meghatározása szikes talajokban

DARAB KATALIN és RÉDLY LÁSZLÓNÉ

*Országos Mezőgazdasági Minőségvizsgáló Intézet és MTA
Talajtani és Agrokémiai Kutató Intézete, Budapest*

A meglévő szikes talajok hasznosítása, esetleges javulásának nyomonkövetése, a potenciális szikes talajokon az öntözés, vagy más mesterséges beavatkozás hatásának előrejelzése, az esetlegesen fellépő másodlagos szikesedés kimutatása, a kicszerélhető Na^+ -ionok mennyisége növekedésének nyomonkövetése napjaink talajtanának egyik aktuális feladata hazánkban éppen úgy, mint más országok és földrészek esetében. Ahhoz, hogy ennek a feladatnak meg tudjunk felelni, ismerni kell a szikes talajok jellemzésére szolgáló különböző mérési módszerek alkalmazásának elvi és gyakorlati feltételeit.

Alkalmazásuk esetén tudni kell a lehetséges hibaforrásokat, s az ezek által előidézett hiba értékét.

A szikesedés és a kationcsere meghatározási módszerei

A kationcsere oldaláról a szikesedés és sziktelenedés folyamatára a nátrium ion adszorpciója és deszorpciója jellemző [9, 23].

A talajok ionkicszerelő tulajdonságát, a kicszerélhető kationok összetételét és arányát meghatározzák:

1. a talaj kationkicszerelő kapacitása, finom diszperz részének ásványi összetétele, s kolloidkémiai tulajdonságai,
2. a talaj oldatának összes só koncentrációja, s a sók kémiai összetétele,
3. azok a reverzibilis vagy irreverzibilis fiziko-kémiai reakciók, melyek a talaj anyagforgalmát alakítják, s szoros kapcsolatban vannak a talajképződés jellegével, a talajképződést meghatározó természetes és mesterséges tényezők egészével.

A kationkicszerelő kapacitás függ a talaj mechanikai összetételétől, az agyagfrakció mennyiségétől, függ az agyagfrakció ásványi összetételétől, befolyásolja: a talaj szervesanyagainak mennyisége és minősége, az amorf vegyületek jelenléte, ezek mennyisége és milyensége. Meghatározása két lépésben történik. Első lépésben a talajt valamely kiválasztott kationnal telítjük. A második lépésben a monoionossá alakított talajból a telítő kation mennyiségét határozzuk meg.

A különböző módszerek a kationok széles skáláját javasolják telítésre [2, 5, 13, 14, 16, 17, 25, 27, 28]. Leggyakrabban használatosak az NH_4^+ ,

Na^+ , Ba^{2+} ionok. Ismerünk módszereket, melyek Li^+ , Sr^{2+} , Cs^+ stb. ionos telítést írnak elő. A telítéshez használt só milyensége, oldatának koncentrációja, pH értéke, a talaj: oldat aránya a telítés során a különböző módszerek előírása szerint széles skálán változik (1. táblázat).

A telítő kation mennyiségének meghatározása a legtöbb módszernél az illető kationnak valamely más kationnal való kicserélése útján történik. Kicseréléshez leggyakrabban az NH_4^+ , Ca^{2+} , K^+ ionokat használják. Az izotóptechnika általánossá válásával alkalmazzák az izotóphígításos módszert, vala-

1. táblázat

Kísérleti körülmények a kicserélhető kationok és a kationkicserélő kapacitás meghatározásánál

(1) Eljárás	(2) Ion	(3) Só	(4) Oldat koncentráció	(5) Oldat pH-ja
a) Telítés	NH_4^+	ammoniumacetát	normál	7,0
b) Kicserélés	K^+	KCl	10%-os	7,5
a) Telítés	Na^+	nátriumacetát	normál	8,2
b) Kicserélés	NH_4^+	ammóniumacetát	normál	7,0
a) Telítés	Ba^{2+}	BaCl_2	0,2 normál	6,5
b) Kicserélés	H^+	HCl	normál	
a) Telítés	Ba^{2+}	BaCl_2	0,5 normál	8,0
b) Kicserélés	NH_4^+	NH_4Cl	normál	8,0
a) Telítés	Ba^{2+}	BaCl_2	0,1 normál	8,1
b) Kicserélés	Ca^{2+}	CaCl_2	0,1 normál	7,0

mint az aktivációs analízis módszerét a telítő kation mennyiségének meghatározására. Ez utóbbi módszerek előnye, hogy a talajnak a kiválasztott kationnal történt telítése után a további kémiai műveletek mellőzhetők [1, 4, 6, 8, 11, 19].

A módszerek változatosságából következik, hogy azonos talajmintánál is, a mért kationkicserélő kapacitás értéke függ a meghatározáshoz használt módszertől, azonos módszer esetén annak analitikai pontosságától. A fő tényezők, melyek a meghatározást befolyásolják:

1. a talaj telítésének teljessége a kiválasztott kationnal,
2. a telítő oldat koncentrációja és pH értéke,
3. a telítő kation meghatározásának módszere, s ennek analitikai pontossága.

A kicserélhető kationok meghatározására leggyakrabban használt az úgynevezett idegen ionos módszer. E módszereknél a talaj kicserélhető kationjait valamilyen a talajban nem, vagy csak kis mennyiségben előforduló kationnal helyettesítjük. A telítő oldattal készített talajkivonatban határozuk meg a talaj kicserélhető kationjainak mennyiségét.

A két meghatározás, a kicserélhető kationok és a talaj kationkicserélő kapacitásának meghatározása összekapcsolható. A talaj telítésénél kapott kivonat, ha a telítő kation a talajban eredetileg nem fordul elő, felhasználható

a kicserélhető kationok mennyiségének meghatározására. A kicserélhető kationok meghatározásának pontossága függ:

- a kiszorításra használt kation milyenségétől,
- a telítő oldat koncentrációjától és pH értékétől,
- a szilárd és folyadék fázis arányától,
- a kicserélhető kationok mennyiségének mérésére használt analitikai módszer pontosságától.

A fentiekből következik, hogy a talaj kationkicserélő tulajdonságainak vizsgálatánál összehasonlítható és reprodukálható eredményeket csak akkor kapunk, ha azonos módszereket alkalmazunk, és a vizsgálatokra vonatkozó, pontosan körülhatárolt kísérleti körülményeket betartjuk. Különböző vizsgálati módszerek adatai csak akkor használhatóak együttesen, ha bizonyítást nyert, hogy a módszerek különbözőségéből adódó eltérés kisebb, mint a mintavételezés és meghatározás együttes hibája.

A talaj ioncserélő tulajdonságainak meghatározásánál a mérés pontossága függ nemcsak a vizsgálathoz alkalmazott módszertől, de befolyásolják azt a talaj tulajdonságai is. A ténylegesenél kisebb kationkicserélő kapacitást mérünk, ha

- a telítő ion nem helyettesíti teljes mértékben a talaj kicserélhető kationjait. Ez az eset gyakori pl. meszes, gipszes talajon, semleges pH értékre beállított, NH_4^+ iont tartalmazó kicserélő oldat esetén.

- a telítő ion nem kicserélhető formában kötődik meg. Előfordulhat ez az eset pl. ha vermikulitot tartalmazó talajokat kálium, vagy ammónium ionokkal telítünk,

- a telítő kation kicserélése nem teljes. Ez fordulhat elő pl., ha a kicserélésre alacsonyabb vegyértékű kationt használunk, mint amilyen a telítő kation vegyértéke.

A ténylegesenél nagyobb kationkicserélő kapacitást mérhetünk, ha:

- a telítő ion fémhidroxid formájában kötődik meg.

- a telítő kationokat a talaj rosszul oldódó karbonátjai felületükön kicserélhető formában megkötik.

A kicserélhető kationok meghatározását zavarhatja a kalciumkarbonát, magnéziumkarbonát, dolomit, gipsz és a vízben jól oldódó sók jelenléte a talajban.

Amikor a talajmintát a telítő iont tartalmazó sóoldattal kezeljük, a kapott kivonat tartalmazza mind a talaj kicserélhető kationjait, mind a telítő oldattal oldatba vitt sók kationjait. Nátrium ion esetében a kivonatban együtt határozzuk meg a kicserélhető és a vízben oldódó sók nátrium ionjainak mennyiségét. Kalciumkarbonátos, gipszes talajokban a kivonat tartalmazza mind a kicserélhető Ca^{2+} -ionokat, mind a kalcium sók Ca^{2+} ionjait. Magnézium ion esetében a kivonatban levő magnézium ionok mennyisége összetevődhet a kicserélhető Mg^{2+} ionból, valamint a dolomit, magnezit, magnéziumszulfát, magnéziumklorid Mg^{2+} ionjaiból.

A kicserélhető kationok meghatározását zavaró sók oldódásából eredő hiba kiküszöbölésére számos próbálkozás történt, s számos módszer nyert publikálást. Ezeket a módszereket több csoportba lehet sorolni.

Az első csoportba sorolhatóak azok a módszerek, melyek előírják az oldható sók kimosását, eltávolítását, a talaj idegen ionos telítése előtt. Az e

típusú korrekciós módszerek a legrégebbiek. Idetartozik pl. GEDROIC [13] módszere, amely a talaj sóinak zavaró hatását a talajminta előzetes vízes alkoholos atmosférával küszöböli ki. Az alkoholos kilúgzás után a kationok kiszorítása, a talaj telítése 7 pH értékre beállított NH_4Cl oldattal történik.

A módszer nagy CaCO_3 és gipsz tartalmú talajok esetén a kicserélhető Ca^{2+} és Mg^{2+} ionok meghatározására nem alkalmas. Ugyancsak szerves oldószerekkel történő előzetes atmosfért javasol GEDROIC-nál [13] jóval később kidolgozott módszerében TUCKER [26]. Az oldható sókat glycol-etilalkohol 1 : 10 arányú keverékével lúgozza ki. A kilúgzás után a talajt alkoholos NH_4Cl oldat NH_4^+ ionjaival telíti. A telítő oldat NH_4Cl koncentrációja 1 mol, az oldószert alkohol–desztillált víz 2 : 1 arányú keveréke. Az NH_4^+ -mal telített talajmintát használja a továbbiakban a kationkicserélő kapacitás meghatározásához $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ és KNO_3 vízes oldatát alkalmazva kicserélő oldatként. A módszer kétségtelen előnye, hogy a vízben oldódó szerves sók zavaró hatását nagyrészt kiküszöböli. Nem tisztázott azonban, hogy az alkohol milyen kolloidkémiai változásokat idéz elő a talajban az atmosféra során, s ezek a változások milyen mértékben befolyásolják a kicserélhető kationok meghatározásának pontosságát.

A második csoportba sorolhatók azok a módszerek, amelyek az oldható sók hatását úgy küszöbölik ki, hogy a talaj idegen ionos telítése során készített kivonatokban mért kation mennyiségéből levonják a talaj valamely standardizált módszerrel készített vízes kivonatában mért kation mennyiségét [5, 12, 27]. A módszer vízben jól oldódó sók esetében kielégítő eredményt adhat. Vízben rosszabbul oldódó sók pl. CaCO_3 , CaSO_4 esetében a vízes kivonat alapján végzett korrekció nem kivitelezhető. Ezekre a sókra ugyanis a vízes kivonat és az attól lényegesen eltérő, talaj-sóoldat arányánál készített kivonat is telített. Nehezíti az ilyen alapon végzett korrekciót az is, hogy a talaj telítésére használt, rendszerint viszonylag koncentrált sóoldat a talaj sóinak oldhatóságát megváltoztatja. A vízes kivonatok adatainak korrekcióra való felhasználásánál figyelembe kell venni azt is, hogy a természetes nedvességtartalomnál nagyobb talaj-víz arány az oldat, és a felület közötti kicserélődési egyensúly eltolódásával jár. Ebből a szempontból előnyösebb szűk talajvíz aránynál készített kivonat, pl. telítési kivonat elemzési adatainak felhasználása a kicserélhető kationok meghatározásakor.

A vízben rosszul oldódó sók zavaró hatásának kiküszöbölésére többféle módszer ismert [17]. Ezek közül a módszerek közül legáltalánosabbak azok, melyek az illető só pl. kalciumkarbonát zavaró hatását oldhatóságának csökkentésével küszöbölik ki. Ilyen a nálunk széles körben használt *Mehlich* módszer, mely a talaj telítéséhez alkalmazott BaCl_2 oldat 8,2 pH-ra történő pufferolásával csökkenti a kalciumkarbonát oldhatóságát [25].

Igen figyelemreméltó SMUK és IVANOVA módszere, [in: 2] mely azon alapul, hogy a vízben nehezen oldódó sókra a telítő oldat azonos koncentrációja esetén minden talaj-sóoldat arányánál készített kivonat telített. A módszer szerint két párhuzamosan bemért talajmintához azonos koncentrációjú, de különböző térfogatú NaCl oldatot adagolunk. A NaCl oldat koncentrációja normál, térfogatainak aránya 1 : 2. Az így készített talajszuszpenziókhöz azonos mennyiségű CaCO_3 precipitátumot adtunk. Az egyensúly beállta után mindkét esetben a folyadékfázis CaCO_3 -ra telített. A két fázis elválasztása után a talajkivonat tartalmazza a talaj kicserélhető Ca^{2+} -ionjait azonos mennyiségben és a CaCO_3 oldódásából eredő Ca^{2+} ionokat azonos koncentrációban.

Figyelembe véve, hogy a két szuszpenzió folyadékfázisának térfogat aránya 1 : 2, a kicserélhető Ca^{2+} -ionok mennyiségét a következő összefüggés adja:

$$R\text{Ca mgeé}/100 \text{ g} = 2/\text{Ca}^{2+}/_1 - / \text{Ca}^{2+}/_2$$

- ahol: $R\text{Ca}$ = a kicserélhető Ca^{2+} -ion mennyisége mgeé/100 g,
 $(\text{Ca}^{2+})_1$ = a szűkebb oldat-talaj aránynál készített kivonat Ca^{2+} tartalma mgeé/100 g
 $(\text{Ca}^{2+})_2$ = a kétszeres oldat-talaj aránynál készített kivonat Ca^{2+} tartalma mgeé/100 g.

Egyes esetekben nem szükséges a kicserélhető kationok részletes elemzése. Így pl. szikes talajoknál a szolonyecesség mértékének jellemzésére elegendő a kicserélhető Na^+ ion mennyiségének, s a kationkicserélő kapacitás értékének meghatározása. Ezen az elven alapul a szolonyec talajok javítóanyag szükségletének gyors meghatározására szolgáló módszerek nagy része. A Szovjetunióban az ilyen jellegű vizsgálati módszerek közül leginkább АНТИПОВ-КАРАТАЈЕВ és МАМАЈЕВА módszere terjedt el [in:2]. A módszer szerint a talajmintából telített CaSO_4 oldattal készítenek szuszpenziót. A talaj-oldat aránya 1 : 50, a reakció idő 24 óra. A szilárd és folyadékfázis szűréssel történő elválasztása után e kivonat készítésére használt telített CaSO_4 oldat és az egyensúlyi oldat Ca^{2+} -ion koncentrációjának különbségéből számítják a kicserélhető Na^+ ionok mennyiségét. A kationkicserélő kapacitás meghatározásánál a talajt előzetesen Na^+ -ionokkal telítik 0,5 n NaCl oldatos kezeléssel. A nátrium talajból a kicserélhető Na^+ ionok mennyiségét a fent leírt módszerrel határozzák meg. A módszer nem használható gipszet, vagy vízben jól oldódó magnézium sókat tartalmazó talajoknál.

Ugyanezek az elveken alapul az Egyesült Államokban kidolgozott és a nemzetközi gyakorlatban is igen elterjedt „gipsz szükséglet” (gypsum requirement) módszer [27]. A talaj kicserélhető Na^+ -ion tartalmát szintén telített, CaSO_4 oldattal készített kivonatból, a telített oldat és az egyensúlyi oldat Ca^{2+} ion koncentrációinak különbségéből számítják. A talaj-oldat arány 1 : 20, a reakcióidő 30 perc állás és 5 perc rázatás. A módszer alkalmazási területe ugyanaz, mint az előbbié.

A gipsz szükséglet megállapítására a hazai gyakorlatban jól bevált HERKE módszere [10, 25]. A talajból $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ oldattal készítünk kivonatot. A kivonatból a feleslegben maradt ammóniumkarbonátot a minta ismételt beszáritásával elűzzük. Az ammóniumkarbonát elűzése után, a vízzel felvett maradékból a Na_2CO_3 -ot acidimetriásan titráljuk. A mérés a kicserélhető Na^+ , a Na_2CO_3 és NaHCO_3 mennyiségét együtt adja.

Használatosak a szikes talajok vizsgálatánál az öntözési és talajjavítási gyakorlatban olyan eljárások, amelyek a talajjal egyensúlyban levő telítési talajkivonat kation koncentrációinak arányából számítják a kicserélhető Na^+ ionok relatív mennyiségét. Ilyen számítási mód a Riverside-i Szikes Laboratórium által bevezetett összefüggés [27].

$$\text{ESP} = \frac{100(-0,0126 + 0,01475 \text{ SAR})}{1 + (-0,0126 + 0,01475 \text{ SAR})}, \quad \text{SAR} = \frac{\text{Na}^+}{\sqrt{\frac{\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}}{2}}}$$

ahol: ESP = kicserélhető nátrium százalék, SAR = nátrium adszorpciós arány

Az összefüggés feltételezi az adszorbens szelektivitási együtthatójának állandóságát és a Gapon féle összefüggés alapján a nátrium adszorpciós arány és a kicserélhető nátrium arány (ESP) közötti lineáris összefüggést. Ezek a feltételek csak bizonyos korlátok között állnak fenn. A módszer kvalitatív képet nyújt a kicserélhető nátrium százalékos arányának egyes talajszintekben történő változásáról. Tapasztalataink szerint [7] a mért és a fenti összefüggés alapján számított értékek mennyiségileg kevéssé egyeznek, s így pontosabb következtetések levonására nem alkalmasak.

A talajok kationkicserélő kapacitásának, valamint kicserélhető kationjainak meghatározására az ötvenes évek első felétől kezdték használni az izotóphígításos módszert. A módszer elvében különbözik az idegen ionos módszerektől. Lényege, hogy a monoionossá átalakított, vagy a természetes kémiai összetételű talajminta vizes szuszpenziójában mérjük a jelzéshez használt izotóp fajlagos aktivitásának csökkenését. Az izotóp hígulásból számítjuk a talaj-oldat rendszerben levő izotóposan hígítható kation mennyiségét. A folyadékfázisban levő kationok mennyiségét levonva a rendszerben levő izotóposan hígítható kation mennyiségéből, kapjuk a vizsgált kicserélhető kation mennyiségét. A jelzéshez kívánatos olyan izotópot használni, amely jól mérhető energiájú sugárzással rendelkezik, felezési ideje nem túlságosan rövid.

Ellentétben az idegen ionos módszerrel a kationkicserélő kapacitás meghatározásnál célszerűbb telítésre olyan kationt használni, amely a talaj kicserélhető kationjai között egyébként is előfordul, és megfelelő radioaktív izotópja van. Az előbb említett feltételeknek szikes talajok vizsgálata esetében elsősorban a Ca^{2+} és Na^{+} ionok felelnek meg. Mindkét ion esetében előny az, hogy a meghatározásoknál a talaj kicserélhető kationjainak, illetve a kationkicserélő kapacitásának meghatározásánál a telítő kationok idegen ionos kicserélése elmarad.

A kicserélhető Na^{+} és Ca^{2+} ion izotóphígításos meghatározásánál előny az is, hogy a mérést a talaj vizes szuszpenziójában végezzük, megközelítőleg azonos pH-értéken, mint a talaj pH értéke. A folyadékfázis sókoncentrációját csak a természetesnél szélesebb talaj-víz arány befolyásolja, s elmarad a viszonylag koncentrált sóoldat alkalmazásával járó oldhatóság változás. Magától értetődő, hogy az izotóphígításos módszer is standardizált módszer, mivel a vizsgálatokat nem természetes talajrendszerekben, hanem attól eltérő talaj-oldat arányú híg vizes szuszpenziókban végezzük. A talaj-víz természetestől eltérő aránya kihat a talaj vízben rosszul oldódó sóinak oldódására, a talaj szilárd és folyadék fázisa közötti egyensúlyra. Ezek a hatások, mint később látni fogjuk, csak részben kiküszöbölhetők ki.

Ha a talaj meszes, a kicserélhető Ca^{2+} mérésénél és a kationkicserélő kapacitás meghatározásánál, amennyiben a telítésre Ca^{2+} iont használunk, a kalciumkarbonát Ca-45 adszorpciója a meghatározás pontosságát zavarhatja. Egyes adatok szerint ez a hiba jelentős lehet [3]. BOLT és munkatársai [15, 20], valamint saját vizsgálati adataink szerint [24] a Ca-45 adszorpciója a kalciumkarbonáton lényegesen lassúbb reakció, mint a kicserélhető Ca-40 és az oldat Ca-45 izotópja, közötti kicserélődés. A reakcióidők figyelembevételével beállított kísérleti körülmények megfelelő megválasztásával ezért ez a hatás nagyrészt kiküszöbölhető.

A kicserélhető Na^{+} mérésénél és a kation kicserélő kapacitás meghatározásánál ha a telítésre Na^{+} iont használunk a szilárd és folyadék fázis elválasztását a talajminta peptizálódása megnehezíti, vagy lehetetlenné teszi.

Ilyen esetekben célszerű az elválasztásra dialízist alkalmazni. Dialízises módszer esetén az izotóp egyensúly elérésének ideje minimálisan 48 óra. Vizsgálataink szerint még dialízises elválasztásnál is előfordulhat, hogy a kationkicszerelő kapacitás értékét a ténylegesnél kisebbnek mérjük. Ennek oka minden valószínűség szerint az, hogy Na^+ ionos telítésnél a minta monoionos átalakítása nem teljes, hiszen legalább részben nagyobb vegyértékű, tehát jobban adszorbeálódó kationt cserélünk ki kisebb vegyértékű, tehát gyengébben kötődő kationra.

Csökkenheti a kationkicszerelő kapacitást a minta nátrium ionos telítésénél az ismételt dekantálások során a kolloid frakcióban jelentkező veszteség.

Kísérleti rész

A szikes talajok kationkicszerelő tulajdonságainak vizsgálatára szolgáló módszerek jobb megismerésére, alkalmazhatósági feltételeik pontosítására összehasonlító vizsgálatokat végeztünk a hazai gyakorlatban széles körben alkalmazott Mehlich módszer, a nemzetközi gyakorlatban leginkább elfogadott NH_4 -acetátos módszer, valamint az előbbi kettőtől elvileg eltérő izotóphígítási módszerekkel. A vizsgálatok kiterjedtek a kationkicszerelő kapacitás, valamint a kicserélhető Ca^{2+} és Na^+ ionok mennyiségének meghatározására.

Anyag és módszerek

Vizsgálataink során törekedtünk arra, hogy a hazánkban előforduló szikes talajok lehetőleg minél szélesebb skáláját vizsgáljuk meg. A szikeseket jellemző kicserélhető Na^+ százalék és összes vízben oldható sótartalom értékei mellett, figyelembevettük a szelvények kiválasztásánál a talajok mechanikai összetételét, CaCO_3 tartalmát, pH értékét és a vízben oldható sók milyenségét.

A talajok mechanikai összetételének mérését nemzetközi „A” előkészítés után NaOH -os szuszpenzióból pipettás módszerrel végeztük. A vizsgálati adatok közül az agyagfrakció mennyiségét, valamint a fizikai homok és fizikai agyag mennyiségeinek arányát adjuk meg. A talaj pH-értékét 1 : 2,5 arányú vizes szuszpenzióban mértük üvegelektroddal. Az összes karbonát mennyiségét Scheibler készülékkel mértük, és $\text{CaCO}_3\%$ -ban adjuk meg.

A talaj összes sótartalmát a telítési talajpép elektromos vezetőképességének mérésével, az oldott sók kation összetételét pedig a telítési kivonathatól határoztuk meg. A talaj összes sótartalmát %-ban adtuk meg. A kationösszetétel jellemzésére megadtuk a telítési kivonat Na^+ és Ca^{2+} ion tartalmát, valamint nátrium adszorpciós arányát.

A vizsgált szelvényekből elvégeztük a kicserélhető Na^+ és Ca^{2+} ionok, valamint a kationkicszerelő kapacitás meghatározását Mehlich módszerével [in:25], NH_4 -acetátos módszerrel [27] és izotóphígítási módszerrel [4]. A Mehlich módszer telítő oldata 8,2 pH értékre beállított 0,2 n BaCl_2 oldat, kicserélő oldata 7 pH értékű 0,2 n CaCl_2 oldat.

Az NH_4 acetátos módszernél a telítő oldat 8,2 pH értékű n Na -acetát oldat, a kicserélő oldat 7 pH értékű n NH_4 -acetát oldat. Az izotóphígítási módszernél a kicserélhető kationok mérésakor 1 : 10 vagy 1 : 100 arányú vizes szuszpenzióban az egyensúlyi rendszert jeleztük a megfelelő radioaktív izotóppal (Na-22 , Na-24 vagy Ca-45). Az izotóp egyensúly beállása után (24 órázatás) a szilárd és folyadék fázis elválasztását centrifugálással, vagy dialí-

zissel végeztük. A dialízises elválasztást főleg lúgos közegben alkalmaztuk, ahol a minta peptizálódása a két fázis más elválasztását nem teszi lehetővé. A folyadék és szilárd fázis elválasztása után mértük a folyadékfázis aktivitását szcintillációs technikával. Az egyensúlyi oldat összes Na^+ koncentrációját paralel mintából lángfotometriásan, a Ca^{2+} koncentrációt az egyensúlyi oldatból komplexometriás titrálással határoztuk meg. A kationkicszerelő kapacitás meghatározását Ca^{2+} -al telített talajmintából az előbb leírt módon az egyensúlyi rendszer izotóp elemzésével végeztük.

A jelző oldat fajlagos aktivitásának ismeretében a kicszerélhető kation mennyisége, illetve monoionos rendszerben a kationkicszerelő kapacitás a következő összefüggéssel számítható:

$$\text{RK mgeé/100 g} = \frac{V_a C_e \left(\frac{C'_a}{C'_e} \right) - C_i V}{g} \times 100$$

ahol:

- RK = a kicszerélhető kation mennyisége, mgeé/100 g
 V_a = a jelző oldat térfogata, ml
 C_e = az egyensúlyi oldat koncentrációja az adott kationra, mgeé/ml
 C'_a = a jelző oldat aktivitása, imp/min/ml
 C'_e = az egyensúlyi oldat aktivitása, imp/min/ml
 C_i = a szilárd fázissal egyensúlyt tartó oldat koncentrációja az adott kationra tetszőleges nedvességtartalom mellett az izotópos jelzés előtt, mgeé/ml
 V = a szilárd fázissal egyensúlyt tartó oldat térfogata, ml
 g = a vizsgálatához használt talaj súlya, g.

A fenti képlet akkor alkalmazható, ha a jelző oldat kationösszetétele és koncentrációja azonos az egyensúlyi oldatével. A képletben a

$$V_a C_e \left(\frac{C'_a}{C'_e} \right) \times \frac{100}{g} = K$$

K = a vizsgált rendszerben a jelzett kation összes izotóposan hígítható mennyisége. Ez az érték minden esetben magában foglalja a vízben oldódó sók és a felület kicszerélhető kationjait az adott rendszerben.

$C_i V \times \frac{100}{g}$ = a vizsgált kation mennyisége a felülettel egyensúlyt tartó oldatban mgeé/100 g talaj.

Ez utóbbi értéket a meghatározás milyenségétől függően különböző nedvességtartalomra adhatjuk meg. A kationkicszerelő kapacitás meghatározásánál a V a vizsgált szuszpenzió folyadék fázisának térfogata az izotóp jelzés előtt, C_i pedig ugyanezen szuszpenzió folyadék fázisának a telítő kationra vonatkozó koncentrációja. A kicszerélhető Ca^{2+} meghatározásánál, ha a talaj csak vízben rosszul oldódó kalciumsókat (CaCO_3 -ot) tartalmaz $V C_i \times \frac{100}{g}$ érték szintén a vizsgált egyensúlyi szuszpenzió folyadék fázisára vonatkozik. Amennyiben a kicszerélhető Na^+ ionok mennyiségét mérjük, vagy a kicszerél-

hető Ca^{2+} ionok mennyiségét olyan talajban határozzuk meg, mely vízben jól oldódó kalciumsókat tartalmaz, célszerű valamilyen szűkebb talaj: oldat aránynál mért kation mennyiséggel számolni. Ilyen lehet pl. a telítési talaj-kivonat. Ez utóbbi esetben a

$$\begin{aligned} V &= \text{a telítési százalék (SP),} \\ C_i &= \text{a telítési kivonat koncentrációja} \\ &\quad \text{az illető kationra mgé/ml.} \end{aligned}$$

A módszerek összehasonlítását öt szelvény mintáin végeztük el. A vizsgálathoz kiválasztott szelvények a következő szikes talajtípusokat képviselték (2. táblázat).

1. Szoloncsák (Apaj M-1)
2. Szoloncsák-szolonyec (Kunszentmiklós M-2)
3. Karbonátos szoloncsákos kérges réti szolonyec (Apaj M-3)
4. Szologyos kérges réti szolonyec (Püspökladány M-4)
5. Szolonyeces réti talaj (Püspökladány M-6)

A fenti szelvények közül a szoloncsák, szoloncsák-szolonyec és a szoloncsákos szolonyec talajok a Duna-völgyében meszes öntés üledéken, közeli talajvízszint mellett alakultak ki. Könnyű mechanikai összetételűek, az 1μ -nál kisebb átmérőjű ásványi részecskék aránya 4–22% között változik. A talajok összes karbonát tartalma jelentős, CaCO_3 -ban kifejezve 9,6–38,3% között van. Mennyisége a vizsgált szintekben a felszíntől lefelé nő. A talajok karbonátos jellegének megfelelően a talaj folyadék fázisában a lúgosan hidrolizáló nátrium sók dominálnak, pH értékük magas, a telítési kivonat sókoncentrációjának növekedésével a nátrium adszorpciós arány (SAR érték) nő.

A szolonyec és szolonyeces-réti talajszelvények a Tiszántúlról származnak. Nehéz mechanikai összetételű nem karbonátos üledéken alakultak ki. Jelenleg a talajvíz alattuk mélyebben van, mint az előzőekben ismertetett szelvényeknél. Ezért a felső szintben kilúgzottak. A vizsgált szintek nehéz mechanikai összetételűek, az agyagfrakció mennyisége 12–40,6% között változik, karbonátot nem tartalmaznak. A minták pH értéke 5,6–8,3 között van. Az oldható sók mennyisége a szolonyec réti talajban és szolonyec talaj „A” szintjében kevés, a szolonyec talaj „B” szintjeiben jelentős, s lefelé nő. A telítési kivonatban a nátrium adszorpciós arány értéke a telítési kivonat koncentrációjának növekedésével nő.

Az összes só tartalom hatását, a kicserélhető Na^+ és a karbonát tartalom hatását a kicserélhető Ca^{2+} és Na^+ meghatározására külön vizsgálat tárgyává tettük néhány könnyű mechanikai összetételű szikes talajnál, melyek mintáiban az összes só és a kalciumkarbonát tartalom széles skálán változott [21, 22] (3. táblázat).

Egy szoloncsák-szolonyec talajjal fedett terület 1 ha-nyi részén, véletlen elrendezésben vett szelvények mintáinak elemzésével meghatároztuk a mozgékony és kicserélhető nátrium NH_4 -acetátos és izotóphígításos módszerrel történő mérése esetében a minta hibáját.

Majd ugyanezen terület egy talajszelvényének mintáiból hat bemérés párhuzamos elemzésével meghatároztuk a mozgékony és kicserélhető nátrium mérésének hibáját a fenti két módszerrel. A minta és elemzés hibájának ismeretében számítottuk a mintavétel hibáját.

2. táblázat

A vizsgált talajszelelvények fizikai és kémiai jellemzői

(1)	(2)	(3)	(4)		(5)	(6)	(7)	(8)		(9)
			CaCO ₃	Telítési %				Na ⁺ mg/é/l	Cs ²⁺ mg/é/l	
Mintavétel helye talajtípus, szintmélység cm	1-2,5 vizes szuszpenzióban mért pH	CaCO ₃	Telítési %		Telített talajlépben mért összes só	Fizikai homok fizikai agyag	Agyag- frakció (< 1 μ ∅) %	Telítési kivonatban mért		Nátrium adszorpciós arány
<i>Apa</i> M-1										
A) Szoloncsák										
0-4	9,1	9,6	45	1,20	7,04	3,97	228,7 10,45	3,42 0,16	138,2	
4-16	9,0	13,3	66,8	0,45	2,73	13,93	129,6 8,65	2,28 0,15	68,4	
16-29	8,9	20,1	81,4	0,17	2,43	14,45	16,52 1,35	2,39 0,19	7,15	
<i>Kunszentmiklósi M-2</i>										
B) Szoloncsák-szolonyc										
0-3	7,9	13,6	54,1	0,08	2,10	11,14	8,69 0,47	5,93 0,32	4,17	
3-14	8,9	17,8	74,5	0,26	0,74	15,74	60,90 4,53	3,65 0,28	25,16	
14-26	9,0	16,3	50,3	0,60	1,03	21,74	54,80 2,75	3,65 0,18	24,14	

<i>Apaj M-3</i>										
C) Karbonátos szoloncsákos kérés réti szolonyec										
0—3	7,9	11,1	71,00	0,14	1,56	11,23	$\frac{8,69}{0,61}$	$\frac{2,39}{0,17}$	24,96	
3—14	9,0	16,5	58,00	0,52	1,80	18,36	$\frac{56,5}{3,28}$	$\frac{21,0}{1,29}$	2,42	
14—27	9,2	38,3	63,00	0,80	1,05	16,59	$\frac{121,7}{7,65}$	$\frac{3,42}{0,21}$	63,37	
<i>Püspökladány M-4</i>										
D) Szolgyos kérés réti szolonyec										
0—3	5,6	Ø	76,4	0,04	1,92	11,92	$\frac{13,91}{1,06}$	$\frac{5,02}{0,38}$	5,82	
3—15	7,4	Ø	93,7	0,31	0,79	33,81	$\frac{55,7}{5,2}$	$\frac{5,02}{0,45}$	22,17	
15—25	8,3	Ø	180,5	0,58	0,59	40,65	$\frac{56,5}{10,2}$	$\frac{2,5}{0,45}$	35,96	
<i>Püspökladány M-6</i>										
E) Szolonyeces réti talaj										
0—10	7,7	Ø	55,2	0,03	1,81	23,97	$\frac{1,30}{0,07}$	$\frac{16,7}{0,92}$	0,35	
10—21	8,0	Ø	54,1	0,03	1,64	24,16	$\frac{1,30}{0,07}$	$\frac{8,22}{0,44}$	0,58	
20—35	8,2	2,5	58,9	0,07	1,23	29,21	$\frac{1,73}{0,10}$	$\frac{2,05}{0,12}$	0,89	

3. táblázat

Nagy sótartalmú, könnyű mechanikai összetételű szikes talajok fizikai és kémiai jellemzői

(1) Mintavétel helye talajtípus, szintmélység cm	(2) 1:2,5 vizes szusz- penzióban mért pH	CaCO ₃	(3) Teltési	(4) Teltett talajpépből mért összes só	(5) Fizikai homok fizikai agyag	(6) Teltési kivonatban mért Na ⁺ <u>mgé/l</u> <u>mgé/100 g</u>
<i>Szilás-1</i>						
A) Szoloncsákos réti láp- talaj						
0—11	9,1	15,8	116	0,24	1,81	<u>24,9</u> 2,9
11—22	9,3	17,3	104	0,19	1,39	<u>12,3</u> 1,3
30—40	9,33	18,3	100	0,18	1,64	<u>12,3</u> 1,2
<i>Szilás-2</i>						
B) Lápos réti szolonyec						
0— 2	9,9	14,1	84	1,6	4,71	<u>208,4</u> 17,5
2—10	9,5	14,1	80	0,68	2,40	<u>104,3</u> 8,3
16—30	9,6	16,3	72	0,38	2,30	<u>52,2</u> 3,8
37—47	9,7	14,2	80	0,26	2,38	<u>42,4</u> 3,4
<i>Szilás-3</i>						
C) Szoloncsák szolonyec						
0— 2	9,7	1,04	52	1,85	9,10	<u>259,0</u> 13,5
4—15	9,8	1,04	56	1,40	4,21	<u>82,6</u> 4,6
18—22	9,7	1,24	68	0,90	3,93	<u>76,5</u> 5,2
26—32	9,8	0,60	68	0,90	3,08	<u>83,5</u> 5,7

3. táblázat folytatása

(1) Mintavétel helye talajtípus, szintmélység (cm)	(2) 1:2,5 vizes szuszpen- zióban mért pH	CaCO ₃	(3) Telítési	(4) Telített talajpépben mért összes só	(5) Fizikai homok fizikai agyag	(6) Telítési kivonatban mért Na ⁺ mgeé/1 mgeé/100
						%
<i>Szilás-4</i>						
D) Szoloncsák						
1—15	9,75	10,8	81	1,40	5,5	<u>187,8</u> 15,21
15—25	9,80	16,7	70	2,00	4,6	<u>90,4</u> 6,1
25—34	9,90	22,1	67	2,00	3,8	<u>85,2</u> 5,7
<i>Újfehértó-4</i>						
D) Szoloncsák						
2—14	9,7	10,8	44	2,00	9,6	<u>87,0</u> 3,80
15—28	9,3	8,9	52	0,42	7,9	<u>43,4</u> 2,3
28—43	9,4	3,3	44	0,45	11,6	<u>31,7</u> 1,4

Az adatok értékelése és következtetések

Kationkicserélő kapacitás meghatározása

A kationkicserélő kapacitás értékeit a modellként választott öt szelvény mintáiból Mehlich, Na-acetátos és izotóphígításos módszerrel határoztuk meg (4. táblázat). A Mehlich módszerrel meghatározott kation adszorpciós kapacitás értékek minden esetben nagyobbak voltak, mint akár az Na-acetátos, akár az izotóp hígításos módszerrel mért értékek. Az izotóphígításos és Na-acetátos módszerrel mért értékek közelebb vannak egymáshoz és határozott egyirányúságot az eltérések nem mutatnak. A végzett meghatározások átlagértékei Mehlich módszerrel 31,96 mgeé/100 g, Na-acetátos módszerrel 18,27 mgeé/100 g, izotóp módszerrel 18,63 mgeé/100 g. A Mehlich módszerrel mért értékek szignifikánsan különböznek mind az NH₄-acetátos, mind az izotóphígításos módszerrel mért értékektől. A két utóbbi módszerrel mért értékek a szóráson belül megegyeznek. A Mehlich módszerrel mért nagyobb kationkicserélő kapacitás egyik lehetséges oka, hogy a lúgos közegben végrehajtott Ba²⁺-ionos telítésnél a bárium (Ba-OH)⁺ ion formájában kötődik meg. Okozhatja azonban az eltérést az is, hogy az Na-acetátos módszernél a telítéshez

használt Na^+ ion nem cseréli ki teljesen a talaj kétvegyértékű kicserélhető kationjait, illetve az izotóphígításos módszernél az izotóp eloszlás nem felelt meg az egyensúlyi rendszer feltételeinek. A kationkicserélő kapacitás és az agyagfrakció mennyisége közötti összefüggés annál szorosabb, minél nehezebb a talaj mechanikai összetétele, minél hasonlóbb a vizsgált minták finom diszperz frakciójának ásványi összetétele. Ezért a további értékelésnél a vizsgált mintákat eredetük és mechanikai összetételük figyelembevételével két csoportba osztottuk. Ebből az egyik csoportot a Tiszántúlról származó nehéz mechanikai összetételű szolonyec és szolonyeces réti talaj mintái képezték. E talajoknál az agyagfrakció mennyisége és a kationkicserélő kapacitás közötti összefüggés a következő lineáris egyenletekkel írható le (1. ábra):

a) Mehlich módszernél:

$$\text{Kationkicserélő kapacitás} \frac{\text{mgeé}}{100 \text{ g talaj}} = 13,73 + 0,72 (\text{agyagfrakció}\%)$$

b) Na-acetátos módszernél:

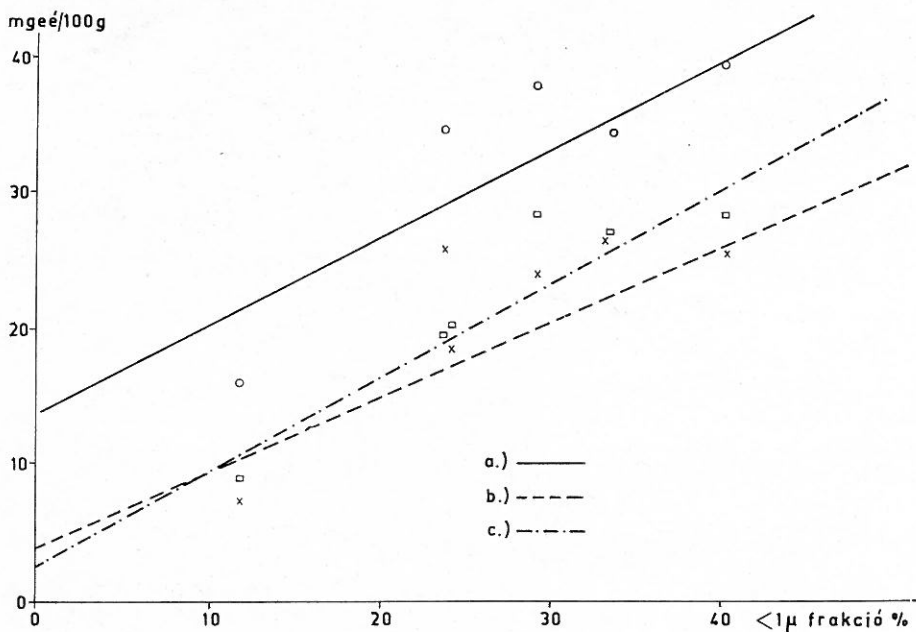
$$\text{Kationkicserélő kapacitás} \frac{\text{mgeé}}{100 \text{ g talaj}} = 3,89 + 0,64 (\text{agyagfrakció}\%)$$

c) Izotóphígításos módszernél:

$$\text{Kationkicserélő kapacitás} \frac{\text{mgeé}}{100 \text{ g talaj}} = 2,61 + 0,72 (\text{agyagfrakció}\%)$$

Minden esetben az egyenes iránytangense az agyagfrakció 1 g-jának kationkicserélő kapacitását adja az adott módszerrel mérve. Az egyenes ordinátával való metszéspontja megfelel azon egyéb tényezők összességének, melyek a kationkicserélő kapacitás mért értékeit befolyásolják. Ezek a tényezők lehetnek talajtól függőek pl. a talaj szervesanyagának, esetlegesen lész frakciójának kation megkötő képessége és lehetnek a módszer sajátjaiból, hibáiból adódó tényezők. A három módszert összehasonlítva az agyagfrakció kation megkötőképességére adódó átlagérték a Mehlich és izotóphígításos módszerrel teljesen azonos: 72 mgeé/100 g, a Na-acetátos módszerrel kapott érték az előbbinél valamivel kisebb: 64 mgeé/100 g. Figyelembevéve azt, hogy ezekben a talajokban az agyagásványok közül a montmorillonit az uralkodó, az értékek reálisak. Az egyéb tényezők hatása legnagyobb a Mehlich módszernél, utána az Na-acetátos módszer, majd az izotóphígításos módszer következik a két utóbbinál igen közelálló értékekkel. A kationkicserélő kapacitás és a talaj agyagtartalma között legszorosabb az összefüggés az izotóphígításos módszernél, a mért kationkicserélő kapacitás 86%-a származik az agyagfrakcióból. A korrelációs együttható négyzete (r^2) a Na-acetátos módszernél 0,70, a Mehlich módszernél 0,64. Ezek az adatok azt mutatják, hogy a Mehlich módszerrel mért nagyobb kationkicserélő kapacitások inkább a módszer feltételeiből és nem a talaj tulajdonságaiból adódnak. A Na-acetátos módszernél az agyagfrakció kisebb kationkicserélő kapacitása arra utal, hogy ebben az esetben a telítés nem teljes.

Lényegében hasonló a kép a karbonátos szoloncsák, szoloncsák-szolonyec és szoloncsákos-szolonyec talajok esetében. Itt is legnagyobb volt a Mehlich módszerrel mért kationcserélő kapacitás, lényegesen kisebb és egymáshoz közelálló értékeket mértünk a Na-acetátos és izotóphígítós módszerrel. A kationcserélő kapacitás és az agyagfrakció mennyisége között az összefüggés nem olyan egyértelmű, mint az előző esetben. Ennek egyik oka, hogy a talajok viszonylag könnyű mechanikai összetételűek. Az agyagfrakció mennyisége kevés, a kationcserélő kapacitás értékét az agyagfrakción kívül egyéb talajtani és vizsgálati tényezők erősen befolyásolják. Ilyen tényező a talaj szervesanyagának, a löszfrakcióban levő ásványoknak kation megkötő képessége. A Mehlich és izotóphígítós módszernél a mért kapacitás értékeket befolyásolja a talaj kalciumkarbonát tartalma. Az izotóphígítós módszerrel mért értékek részletesebb feldolgozása azt mutatja, hogy az agyagfrakció kapacitása átlagban 27 mgeé/100 g. A talaj szerves anyaga 116 mgeé kationt képes megkötni 100 g-onként. A kalcium karbonát felületén 100 g-onként 14 mgeé kalcium ion cserélhető ki izotóposan, adott kísérleti körülmények között. A Na acetátos módszerrel az agyagfrakció kationcserélő kapacitása 42 mgeé/100 g értéknek adódik. A CaCO_3 zavaró hatása nem jelentkezik. A kationcserélő kapacitás egyéb tényezőkből eredő része közel azonos; az Na-acetátos módszernél 7,94, az izotóphígítós módszernél 7,75 mgeé/100 g



1. ábra

Az agyagfrakció mennyisége és a kationcserélő kapacitás közötti összefüggés tisztán-túli nehéz mechanikai összetételű szolonyec és szolonyeces réti talajokon. Vízszintes tengely: agyagfrakció (1μ átmérőjű részek) mennyisége, %. Függőleges tengely: Kationcserélő kapacitás mgeé/100 g. a) Mehlich módszerrel, b) Nátriumacetátos módszerrel, c) Izotóphígítós módszerrel

4. táblázat

Kationkicszerelő kapacitás meghatározására szolgáló módszerek
összehasonlító vizsgálata

(1) Mintavétel helye, színtmélység cm	(2) Agyag- frakció ($<1 \mu \varnothing$)	CaCO ₃	(3) Szerves anyag tartalom	(4) Kationkicszerelő kapacitás mgé/100 g		
				Mehlich	Na-acetát	izotóp- hígításos
				%		
				módszerrel		
<i>A) Apaj M-1</i>						
0—4	3,97	9,6	1,25	32,41	18,04	11,80
4—16	13,93	13,3	0,79	30,51	10,65	16,80
16—29	14,45	20,1	0,60	35,93	11,08	12,45
<i>B) Kunszentmiklós M-2</i>						
0—3	11,14	13,6	3,97	12,93	12,82	18,38
3—14	15,74	17,8	1,37	27,27	15,00	17,60
14—26	21,74	16,3	0,80	37,42	28,82	14,34
<i>C) Apaj M-3</i>						
0—3	11,23	11,1	4,52	27,15	16,08	17,20
3—14	18,36	16,5	2,76	38,74	17,60	17,35
14—24	16,59	38,3	1,83	36,47	14,34	19,67
<i>D) Püspökladány M-4</i>						
0—3	11,92	—	5,87	16,03	7,21	9,00
3—15	33,81	—	2,22	33,72	26,94	27,34
15—25	40,65	—	1,53	39,82	25,65	28,54
<i>E) Püspökladány M-6</i>						
0—10	23,97	—	2,30	34,90	25,94	19,71
10—20	24,16	—	1,64	37,40	18,70	20,40
20—35	29,21	2,5	1,76	38,70	24,13	28,60

talaj. A Mehlich módszert ilyen módon éppen a mért értékek irreálisan magas voltát tekintve nem értékeltük. Az agyagfrakció kationkicszerelő kapacitásának értéke a mikroásványtani összetételt figyelembe véve az izotóphígításos módszerrel reálisabbnak tűnik, mint a Na-acetátos módszerrel mért átlagérték.

Kicszerélhető kalcium meghatározása

A vizsgált szelvények ugyanazok voltak, mint a kationkicszerelő kapacitás méréseknél. A kicszerélhető Ca²⁺ meghatározását Mehlich, NH₄-acetátos és izotóphígításos módszerrel végeztük (5. táblázat).

A meghatározások szerint a kicszerélhető Ca²⁺ átlagértéke legkisebb az izotóphígításos módszer esetén. Átlagban valamivel többet mértünk, ha a meghatározásokhoz a Mehlich módszert választottuk. Az NH₄-acetátos módszerrel mért értékek átlaga pedig közel kétszerese az előző két módszerrel meghatározott értékeknek. Az átlagértékeken belül igen változó szelvényen-

5. táblázat

Mozgékony Ca²⁺ ionok meghatározására szolgáló módszerek összehasonlító vizsgálata

(1) Mintavétel helye, szintmélység cm	(2) Kicsérélhető + oldható Ca ²⁺ mgeé/100 g			(3) Kicsérélhető Ca ²⁺ mgeé/100 g			
	Mehlich	NH ₄ -acetát	izotóp- hígításos	Mehlich	NH ₄ -acetát	Izotóp hígításos	Izotóp ^a
	módszerrel			módszerrel			
A) Apaj M-1							
0—4	8,05	15,75		8,05	17,59		
4—16	14,00	18,53		14,00	18,38		
16—29	25,05	18,99		25,05	18,80		
B) Kunszentmiklós M-2							
0—2	7,50	18,62	15,19	7,50	18,30	9,26	7,36
3—14	4,00	18,71	8,38	4,00	18,53	4,73	2,24
14—26	5,50	17,70	8,89	5,50	17,52	5,24	2,96
C) Apaj M-3							
0—3	12,00	19,81	11,62	12,00	19,64	9,23	7,68
3—14	15,23	18,20	13,09	15,23	17,91	10,90	8,59
14—27	17,00	19,29	12,90	17,00	19,08	9,48	4,11
D) Püspökladány M-4							
0—3	0,50	1,22	7,24	0,50	0,84	2,22	
3—14	0,55	2,37	6,45	0,55	1,92	1,43	
15—25	1,00	2,62	4,49	1,00	2,17	1,98	
E) Püspökladány M-5							
0—10	8,00	11,75	28,75	8,00	10,83	12,08	
10—20	8,75	8,62	19,59	8,75	8,18	11,31	
20—35	10,00	9,10	11,31	10,00	8,98	9,26	

* Korrigálva, a CaCO₃ izotóposan kicsérélhető Ca²⁺ ion tartalmának figyelembevételével.

ként és mintánként is, a különböző módszerekkel mért „kicsérélhető” Ca²⁺ mennyiségei közötti eltérés. Azokban a szelvényekben, melyek kalciumkarbonátot nem tartalmaznak, a három módszerrel mért kicsérélhető Ca²⁺ értékek egymáshoz igen közel vannak. A vizsgált hat, karbonátokat nem tartalmazó mintában a kicsérélhető Ca²⁺ ionok mennyiségének átlaga Mehlich módszerrel, 4,81 mgeé/100 g, NH₄-acetátos módszerrel 5,49 mgeé/100 g. Legnagyobbak adódik az izotóphígításos módszerrel mért értékek átlaga: 6,38 mgeé/100 g. Az eltérés a módszerek különbözőségéből adódik.

A karbonátos talajoknál legkisebb az izotóphígításos módszerrel mért kicsérélhető Ca²⁺ átlagértéke. Utána következik a Mehlich módszerrel mért értékek átlaga. A különbség az esetek egy részénél a módszerek véletlen hibájából ered. Más esetekben pl. a szoloncsákos kérges réti szolonyc „B” szintjében feltételezhető a Mehlich módszerrel, a talaj kalciumkarbonát tartalmának kis mértékű oldódása. Az NH₄-acetátos módszerrel meghatározott ki-

6. táblázat

A minta hibája hat, véletlen elrendezési szoloncás szolonyec szelvényből vett minták izotóposan kicserélhető kalciumtartalmának meghatározásánál

(1) Mélység cm	(2) Kicserélhető Ca ²⁺ átlag	(3) s	(4) \bar{s}	(5) Konfidencia intervallum	(6) Kicserélhető Ca ²⁺	
					agyag- frakció felületén	CaCO ₃ felületén
					mgeé/100 g	
0—3	4,28	1,68	0,68	1,75	2,28	2,00
3—10	6,26	2,35	0,96	2,47	4,42	1,84
10—20	6,47	2,33	0,96	2,45	4,45	2,02
20—30	5,99	2,44	1,00	2,56	3,46	2,53
30—40	5,11	2,69	1,10	2,83	1,50	3,61

cserélhető Ca²⁺ mennyisége minden esetben a legnagyobb. Az NH₄-acetát 7 pH értékű normál oldatával készített talajkivonatokban mért kalcium egy része kétségtelenül a talaj kalciumkarbonátjának oldódásából származik. A kalciumkarbonát oldódását elősegíti mind a kicserélhető oldat pH értéke, mind annak viszonylag nagy koncentrációja.

Az izotóphígításos módszerrel mért és NH₄-acetátos módszerrel meghatározott kicserélhető Ca²⁺ ionok mennyiségének átlagértékei közötti különbség 10,36 mgeé/100 g talaj. Ez moláris koncentrációban kifejezve 2,07·10⁻³ mól/l, ami nagyságrendileg megegyezik neutrális pH értéken a CaCO₃ oldódásából származó Ca²⁺ ion elméleti moláris koncentrációjával. Az izotóphígításos és Mehlich módszerrel mért kicserélhető Ca²⁺ értékek közötti átlagos különbség 2,06 mgeé/100 g talaj, ami moláris koncentrációban kifejezve 2,06·10⁻⁴ mól/l Ca²⁺ ionnak felel meg. Egy nagyságrenddel kisebb mint az NH₄-acetátos kivonatból számított érték. A nagyságrendi különbség oka a CaCO₃ oldódásában, nyilván a két idegen ionos módszer kicserélő oldatának eltérő voltában keresendő.

Az izotóphígításos módszernél laza összefüggés a CaCO₃ tartalom és a kicserélhető Ca²⁺ között kimutatható. Elvileg korrekciót alkalmazhatunk, ha figyelembe vesszük a kalciumkarbonát Ca-45 adszorpcióját. Ez a korrekció főleg nagy CaCO₃ tartalmú erősen szikes, kevés kicserélhető Ca²⁺ tartalmazó talajoknál lehet jelentős. A vizsgált szelvényeken a kalciumkarbonát Ca-kicserélő kapacitását 14 mgeé/100 g-nak véve a korrekciót elvégeztük. A korrigált értékek átlaga 2,65 mgeé-el volt kisebb, mint az, ahol ilyen korrekciót nem végeztünk. A korrekció alkalmazásánál figyelembe kell venni azt is, hogy a talaj kicserélhető Ca²⁺ és kalciumkarbonát tartalma változik horizontálisan és vertikálisan. Ezért a korrekció csak akkor végezhető el, ha a kicserélhető Ca²⁺ és kalciumkarbonát meghatározást párhuzamosan azonos számú azonos módon vett mintából végezzük el. A Ca-45 adszorpció mértéke függ a CaCO₃ megjelenési formájától (konkrécio, micellium, jól, rosszul kristályosodott), valamint a kísérő anyag milyenségétől. Ezért a kalciumkarbonát Ca-45 kicserélő kapacitást minden esetben meg kell határozni. Ez csak akkor bír jelentőséggel, ha nagyon pontos jellemzésre van szükségünk. Az ismertetett szelvények közül az Apaj-1-gyel jelzett szoloncás szelvény környezetében párhuz-

zamosan vett hat szelvény mintáiból mért kicserélhető Ca^{2+} konfidencia intervallumainak átlaga $\pm 2,41$ és közel van a CaCO_3 izotóp adszorpciójából adódó eltérések átlagához (6. táblázat). Ebben az esetben a korrekció a kicserélhető Ca^{2+} értékét csökkenti, de a pontosságot nem növeli.

Kicserélhető nátrium meghatározás

A kicserélhető Na^+ ionok mennyiségének meghatározásánál bármilyen só oldattal készített talajkivonat tartalmazza az egyszerű vízben jól oldódó szervesen sók Na^+ ionjait, s a kicserélés teljességétől függően a kicserélhető Na^+ teljes, vagy részmennyiségeit. A Na^+ ionok ezen két formája lényegében együttesen a talaj mozgékony Na^+ ionjainak mennyiségét adja.

A mozgékony nátrium vegyületek két formájának elválasztása mind módszertanilag, mind a talajképződés és ezen belül az anyagmozgás dinamikáját tekintve is csak közelítő pontossággal lehetséges.

A Mehlich módszer nem írja elő a nátrium sók oldódásából eredő hiba korrekcióját, azonban a már közölt vizsgálati adatok ennek szükségességét indokolják.

A Mehlich módszer, NH_4 -acetát és izotóphígításos módszer esetén is az oldható nátrium sók mennyiségét a telítési kivonatban mért és 100 g talajra vonatkoztatott Na^+ ion mennyiségével vettük figyelembe, és használjuk fel a kicserélhető Na^+ mennyiségének számítására. Átlagértékekben a Mehlich és NH_4 -acetátos módszerrel mért mozgékony és kicserélhető Na^+ értékek egymáshoz közel vannak (7. táblázat). Az izotóphígításos módszerrel mért értékek átlaga az előbbi kettőnél valamivel nagyobb. Különbségek átlaga 5%-os szinten szignifikáns akár a Mehlich-, akár az NH_4 -acetátos módszerrel hasonlítjuk össze az izotópos módszer adatait. Ugyanakkor egyes kiugró értékektől eltekintve a Mehlich- és NH_4 -acetát módszerekkel mért kicserélhető Na^+ ion mennyiségei közötti különbség szórása nagyobb, mint az NH_4 -acetát oldat ammónium ionjaival kicserélhető és az izotóposan kicserélhető Na^+ ion közötti különbség szórása. Másik jellegzetesség, hogy amíg a Mehlich- és NH_4 -acetátos módszerrel mért kicserélhető Na^+ ionok mennyisége közötti eltérés nem egyirányú, addig az izotóp módszerrel mért érték mindig nagyobb mint az NH_4 -acetátos és az esetek többségében több, mint a Mehlich módszerrel mért kicserélhető Na^+ mennyisége. Az izotóphígításos módszernél a Na-22 nemcsak a vízben oldott és a kicserélhető Na-23 ionokkal hígul, hanem a talajban levő nátrium tartalmú ásványok nátriumának egy részével is kölcsönhatásba lép.

Mind a három tanulmányozott módszernél a kicserélhető Na^+ meghatározását jelentősen befolyásolja a vízdoldható nátrium sók mennyiségének meghatározásakor elkövetett hiba. Az NH_4 -acetátos és izotóphígításos módszerek esetében meghatároztuk a mozgékony és kicserélhető Na^+ analízisének hibáját egy szelvény hat különböző mélységből vett mintáján. Az NH_4 -acetátos módszernél minden mintából párhuzamosan hat bemérésből készült NH_4 -acetátos és telítési kivonat. Egy bemérésből a nátrium lángfotometriás mérésére hat párhuzamos meghatározást végeztünk. A mozgékony nátrium mérése NH_4 -acetátos módszerrel átlagban 2,6%-os hibával történt. A variációs koefficiens szélső értékei 2,2—3%.

Ezen belül a kivonat készítés átlaghibája 1,5%, a nátrium lángfotometriás meghatározásáé 1,4%. A variációs koefficiensek szélső értékei 0,53—3% illetve 1,7—2,4% (8. táblázat).

7. táblázat

A mozgékony Na⁺ ionok meghatározására szolgáló módszerek összehasonlító vizsgálata

(1) Mintavétel helye, szintmélység cm	(2) Kicszerélhető + oldható Na ⁺ mgé/100 g			(3) Kicszerélhető Na ⁺ mgé/100 g		
	Mehlich	NH ₄ -acetát	Izotóp- hígítással	Mehlich	NH ₄ -acetát	Izotóp- hígítással
	módszerrel			módszerrel		
A) Apaj M-1						
0—4	10,90	19,19	22,58	0,45	8,72	12,13
4—16	12,17	16,13	20,45	3,52	7,48	11,76
16—29	20,86	9,32	17,07	19,51	7,97	15,72
B) Kunszentmiklós M-2						
0—3	1,74	1,74	3,39	1,24	1,27	2,84
3—14	13,04	16,73	21,24	8,51	12,20	16,71
14—26	19,50	9,78	33,53	16,75	7,03	30,78
C) Apaj M-3						
0—3	1,48	0,57	0,74	0,97	0,24	0,23
3—14	11,25	13,94	22,67	7,23	9,02	18,65
14—24	27,38	23,23	29,06	19,73	15,58	21,41
D) Püspökladány M-4						
0—3	2,60	1,52	5,13	1,00	0,46	4,04
3—15	20,00	24,46	29,53	14,80	19,26	24,33
15—25	24,78	30,49	31,10	14,58	20,29	20,90
E) Püspökladány M-6						
0—10	0,87	0,32	0,46	0,80	0,25	0,40
10—20	0,87	0,21	0,31	0,80	0,14	0,16
20—35	1,38	0,23	0,21	1,28	0,13	0,36

A kicszerélhető Na⁺ meghatározásának átlagos hibája 6,15%, a variációs koefficiens szélső értékei 4,4—8,1%. Ezen belül az oldható Na⁺ meghatározásával a kicszerélhető Na⁺ mérésénél átlagosan 5,5% hibát követtünk el, a variációs koefficiensek szélső értékei 3,22—7,64%. A két analízis, NH₄-acetátos kivonatból a mozgékony, és vizes telítési kivonatból az oldható Na⁺ mérése közül az oldható Na⁺ meghatározása a nagyobb hibával terhelt. Összességében azonban a kicszerélhető Na⁺ ionok mennyisége kielégítő reprodukálhatósággal határozható meg az NH₄-acetátos módszerrel. Az adatok a talaj egyéb tulajdonságait figyelembe véve reálisak (9. táblázat). Az így meghatározott mozgékony és kicszerélhető Na⁺ ionok mennyiségei közel esnek az azonos mintából Na-22 izotóppal mért izotóposan hígítható és izotóposan kicszerélhető Na⁺ ionok mennyiségeihez. Az izotóp módszernél szintén meghatároztuk a módszer hibáját azonos mintákból hat-hat párhuzamos beméréssel. Az izotóposan hígítható nátrium meghatározásának átlagos hibája 6,28% volt, a variációs koefficiensek szélső értékei 4—9,2%. Az izotóposan kicszerélhető Na⁺ ion meghatározásának átlagos hibája 10,12%. A variációs koefficiensek szélső értékei 9,2—

8. táblázat

A Na⁺ lángfotometriás meghatározás hibája (A) az elemzés hibája (B) és a minta hibája (C) a mozgékony Na⁺ ionok meghatározásánál

(1) Mintavétel mélysége cm	(2) Ismét- lések száma	(3) Szabad- sági fok	(4) Mozgékony Na ⁺						$\bar{N}_2 - \bar{N}_1$	\bar{S}_d	t
			NH ₄ acetátos módszer			Izotóphígítási módszer					
			\bar{N}_1	\bar{S}_1	CV ₁	\bar{N}_2	\bar{S}_2	CV ₂			
			mgeé/100 g			mgeé/100 g					
A											
0-3	6	5	11,15	0,27	2,4						
3-10	6	5	13,08	0,26	2,0						
10-20	6	5	12,84	0,21	1,7						
20-30	6	5	9,78	—	—						
30-50	6	5	5,75	0,14	2,4						
B											
0-3	6	10	10,60	0,29	2,7	11,98	0,48	4,0	1,38	0,23	6,0
3-10	6	5	11,05	0,25	2,4	13,58	1,25	9,0	2,53	0,52	4,87
10-20	6	5	13,92	0,31	2,2	15,85	0,70	4,4	1,87	0,31	6,20
20-30	6	5	9,28	0,34	3,0	12,38	0,95	7,7	3,10	0,41	7,56
30-50	6	5	6,25	0,17	2,7	7,03	0,43	6,1	0,78	0,19	4,11
C											
0-3	12	22	13,91	3,61	25,9	12,62	2,75	21,8	-1,29	1,31	0,90
3-10	12	22	14,20	3,00	21,1	16,61	3,96	33,0	2,41	1,41	1,67
10-20	12	22	16,52	2,80	16,9	18,04	3,38	18,7	1,52	1,26	1,06
20-30	12	22	11,05	2,26	20,4	12,12	2,41	19,9	1,07	0,94	1,12
30-50	12	11	7,33	1,59	21,6	7,48	3,71	50,2	0,15	1,18	0,13

13,3%. Az izotóposan kicserélhető Na⁺ meghatározásakor, az oldható Na⁺ mérésével átlagban 7,7% hibát követtünk el, s a variációs koefficiens szélső értékei 5,03-9,6%. Az oldható nátrium variációs koefficiensnek számításánál ez esetben mindkét módszernél alapul a kicserélhető Na⁺ mennyiségét vettük.

A két módszerrel mért értékek közül itt is minden esetben az izotóposan meghatározott érték volt a nagyobb. A különbségek átlagértéke 1,93 mgeé/100g, szélső értékek 0,78-3,1 mgeé/100 g. Annak ellenére, hogy a különbségek kicsik, a meghatározás pontosságát figyelembe véve, a két méréssorozat közötti átlagos különbség 5%-os szinten szignifikáns. Az eltérés elsősorban a kicserélődés mértékéből adódik, ami az izotóp módszernél átlagban 25%-kal nagyobb. A két módszer eredményei közötti eltérés a meghatározás hibáját felülmúlja, de kisebb, mint a mozgékony és a kicserélhető nátrium vegyületek eloszlásának térbeli heterogenitásából adódó különbség. Egy hektárról véletlen elrendezésű szelvény mintáiból végzett vizsgálatok szerint a minta hibájának legjelentősebb része a mintavétel hibája, s az analízis hibája jóval kisebb értékkel szerepel (9. táblázat). A két módszer mérési adatai között az átlag különbség a minta hibáját figyelembe véve, 5%-os szinten nem szignifikáns.

Külön csoportot jelentenek a könnyű mechanikai összetételű, nagy só-tartalmú talajok (10. táblázat). Ilyen szelvények genetikai sorozatára a Nyír-ségből állnak rendelkezésre összehasonlító vizsgálatok [21, 22]. A vizsgált

9. táblázat

Az elemzés hibája (A) és a mintavétel hibája (B) a kicserélhető Na⁺ ionok meghatározásánál

(1) Mintavétel mélysége cm	(2) Ismét- lések száma	(3) Szabad- sági fok	(4) Kicserélhető Na ⁺						(5) \bar{S}_d mgeé/100 g	t
			NH ₄ acetátos módszer			Izotóphígítási módszer				
			Na ₃	S ₃	CV ₃	Na ₄	S ₄	CV ₄		
			mgeé/100 g			mgeé/100 g				
A										
0—3	6	10	7,15	0,58	8,1	8,53	0,76	8,9	0,37	8,73
3—10	6	5	7,82	0,39	5,0	10,35	1,38	13,3	0,58	4,26
10—20	6	5	10,02	0,76	7,6	11,95	1,15	9,6	0,56	3,45
20—30	6	5	7,51	0,36	4,4	10,61	0,97	9,2	0,41	7,55
30—50	6	10	4,73	0,27	5,7	5,51	0,53	9,6	0,24	3,25
B										
0—3	12	22	7,37	3,10	42,0	6,30	2,33	37,0	1,12	1,15
3—10	12	22	9,64	2,49	25,8	12,04	3,66	30,2	1,27	1,90
10—20	12	22	12,56	2,26	18,0	14,07	2,57	18,3	0,99	1,53
20—30	12	11	8,75	1,44	16,4	9,80	2,32	23,7	0,79	1,33
30—50	12	11	6,45	1,59	21,6	6,60	3,79	57,4	1,17	0,13

szoloncsákos réti láptalaj esetén a mechanikai összetételben a fizikai homok; fizikai agyag aránya 2 : 1; 1 : 1 között változik. A sótartalom a felső 10 cm-ben 0,24%, s lefelé csökken (3. táblázat.) A kicserélhető Na⁺ a kationkicserélő kapacitás 38—50%-a. Az NH₄-acetátos és izotóphígítási módszerekkel mért mozgékony és kicserélhető Na⁺ értékek viszonylag jól egyeznek. A szoloncsákos lápos réti szolonyec és szoloncsák-szolonyec talajoknál (Szilas 2. és 3.) a mechanikai összetétel jóval könnyebb, a sótartalom lényegesen nagyobb, mint az előző szelvényénél. Az NH₄-acetátos módszerrel mért kicserélhető Na⁺ minden esetben többszörösen meghaladja a talaj kationkicserélő kapacitását. Az izotóphígítási módszerrel mért értékek lényegesen alacsonyabbak. Az izotóposan kicserélhető Na⁺ ionok mennyiségéből számított nátrium telítettség igen nagy, 64—79% között változik. A nagy nátrium telítettség, figyelembe véve a talaj könnyű mechanikai összetételét, a talajoldat nagy sókoncentrációját, a közeg erősen lúgos pH értékét, valószínűsíthető. A módszertani hibákból eredő esetleges pontatlanságoknak azonban már diagnosztikai jelentősége nincsen. A szoloncsák talajok (Szilas 4, Újfehértó 4) esetében mind a két módszerrel nagyobb értéket kaptunk kicserélhető nátriumra, mint a talaj kationkicserélő kapacitása. Mindkét talaj könnyű mechanikai összetételű nagy sótartalmú erősen lúgos kémhatású. A talaj tulajdonságait figyelembe véve a két szelvény közül az Újfehértó 4-gyel jelölt szelvény sótartalma a mélyebb szintekben kisebb, mechanikai összetétele könnyebb, mint a másik vizsgált szelvényé.

A szelvények adatainak összehasonlítása jól szemlélteti a mechanikai összetétel és sótartalom együttes hatását a talaj szikes tulajdonságainak alakulására, s az ezek jellemzésére szolgáló vizsgálatok indokoltságának és pontosságának változására. Mutatja azt, hogy a nagy sótartalmú talajok esetében a telítési kivonatban mért nátrium nem mindig tükrözi helyesen a talajban levő,

10. táblázat

Mozgékony Na⁺ ionok meghatározására szolgáló módszerek összehasonlító vizsgálata könnyű mechanikai összetételű, nagy sótartalmú karbonátos talajokon

(1) Mintavétel helye szintmélység cm	(2) Mozgékony Na ⁺ mgé/100 g		(3) Kicsérélhető Na ⁺ mgé/100 g		(4) Kationkicsérülő kapacitás mgé/100 g
	NH ₄ -acetát	izotóp- hígításos	NH ₄ -acetát	izotóp- hígításos	
	módszerrel		módszerrel		
<i>A) Szilas-1</i>					
0-11	15,00	14,08	12,09	11,2	29,61
11-22	11,14	9,79	9,86	8,5	20,30
30-40	8,84	9,29	7,61	8,1	16,34
<i>B) Szilas-2</i>					
0-2	61,64	31,69	44,11	14,15	22,11
3-10	41,86	24,31	33,51	15,96	25,03
15-30	35,98	14,26	32,23	10,58	13,58
37-47	29,76	11,54	26,37	8,20	12,42
<i>C) Szilas-3</i>					
0-2	46,87	20,37	33,40	6,95	8,83
4-15	36,92	14,56	32,30	9,95	12,51
18-22	33,10	14,14	27,90	8,95	12,24
26-32	34,37	14,29	28,70	9,62	12,69
<i>D) Szilas-4</i>					
1-15	41,25	27,30	26,04	12,10	9,75
15-25	42,63	23,14	36,48	17,03	12,14
25-34	22,24	22,84	16,79	17,41	12,24
<i>D) Újfehértó-4</i>					
0-14	17,10	20,65	13,30	16,83	7,28
15-28	13,34	18,24	11,10	15,98	7,17
28-43	10,62	13,87	9,20	12,47	6,41

vízben jól oldódó szervesetlen nátrium sók mennyiségét. A mozgékony Na⁺ valamint a telítési kivonat Na⁺ ion mennyiségeinek különbsége nagy sótartalmú talajoknál nem felel meg a kicsérélhető Na⁺ ionok mennyiségének. A módszerek összehasonlító értékelését elvégezve, megállapíthatjuk, hogy a Mehlich módszer alkalmas a kicsérélhető kationok mennyiségének meghatározására kis sótartalmú karbonátos talajoknál. A kalciumkarbonát, megjelenési formájától és a talaj sótartalmától függően, kis mértékben oldódik a Ba²⁺ ionos telítéshez használt oldat lúgos pH értékének ellenére. A kalciumkarbonát oldódása csak könnyű mechanikai összetételű, erősen karbonátos és viszonylag kevés kicsérélhető Ca²⁺ iont tartalmazó talajoknál zavar. Az eredeti módszer nem veszi figyelembe a kicsérélhető Na⁺ meghatározásánál a vízben oldódó nátrium sók zavaró hatását. Szoloncsákos, 0,2%-nál több vízben oldódó só tartalmazó talajoknál a BaCl₂ oldattal készített kivonatban mért Na⁺ ionok mennyiségét korrigálni kell a vízben oldódó nátrium sók mennyiségével. A ta-

laj kationkicszerelő kapacitása a BaCl_2 -os módszerrel rendszerint nagyobbak adódik, mint az NH_4 -acetátos és izotóphígításos módszerekkel mért értékek.

Ez az eltérés alapvetően a Mehlich módszer felételeiből, s ezen belül a Ba^{2+} ionnak egy vegyértékű $(\text{Ba}-\text{OH})^+$ ion formájában történő megkötődéséből adódik [18]. Ezért telített talajoknál, ha a talaj kationkicszerelő tulajdonságainak meghatározására a Mehlich módszert használjuk, a kationkicszerelő kapacitás meghatározása helyett célszerűbb a kicszerélhető kationok összegét megadni. Az NH_4 -acetátos módszer alkalmas rosszul, vagy közepesen oldódó kalcium sókat nem tartalmazó talajok kicszerélhető Ca^{2+} tartalmának meghatározására. Kalciumkarbonátot tartalmazó talajoknál a módszerrel a kicszerélhető Ca^{2+} nem, a nátrium telítettség meghatározása elvégezhető. Közepesen szoloncsákos talajoknál a vízben jól oldódó sókat az NH_4 -acetátos kivonat tartalmazza, s ez korrekcióba veendő. Kicszerélhető Na^+ meghatározásánál célszerű a szűk talaj: víz aránynál készített kivonatban mért Na^+ ionokat venni mértékadónak a vízben jól oldódó egyszerű szervesetlen nátrium sók mennyiségének meghatározására.

Erősen szoloncsákos talajokban, valamint karbonátos szoloncsák-szolonyc és karbonátos szoloncsák talajoknál ezzel a módszerrel a telítési kivonat analízis adatai alapján végrehajtott korrekció ellenére a kicszerélhető Na^+ mennyisége gyakran felülmúlja a kationkicszerelő kapacitás értékét. Ezért ezeknél a talajoknál e módszer nem kielégítő pontosságú.

A megvizsgált módszerek alkalmazási lehetőségei

A Na^+ -ionos telítés és NH_4 -acetátos kicszerelés után mért kationkicszerelő kapacitások értékei többnyire jobban tükrözik a talaj mikroásványtani összetételét, mint a Mehlich módszerrel mért adatok. Egyes esetekben a kapott kiugróan nagy kationkicszerelő kapacitás értékek a talaj tulajdonságaitól függetlenek.

Az izotóphígításos módszer az esetek többségében jól használható mind a kicszerélhető Ca^{2+} , mind a kicszerélhető Na^+ , mind Ca^{2+} ionnal való telítés után a kationkicszerelő kapacitás meghatározására. Az erősen meszes talajoknál a kísérleti körülményektől függően a talajban levő kalciumkarbonátok is köthetnek meg Ca-45 izotópot. Az általunk beállított feltételek között a kalciumkarbonát izotóposan kicszerélhető Ca^{2+} tartalma 14 mgé volt 100 g-onként. A kalciumkarbonát izotóp adszorpciója a talaj kationkicszerelő kapacitásának értékét a mechanikai összetétel, a mikroásványtani összetétel és a kalciumkarbonát tartalom függvényében befolyásolja. Az előbb említett vizsgálati adatok szerint 30% CaCO_3 a talajban 4,2 mgé izotóposan kicszerélhető Ca^{2+} iont jelent. Ez nehéz mechanikai összetételű, montmorillonitot tartalmazó talajoknál a kationkicszerelő kapacitás 10–15 százaléká, könnyű mechanikai összetételű, illites talajoknál azonban annak 50–60%-át is adhatja. Azonos mechanikai összetételnél minél kevesebb a talaj szerves-ásványi komplexusa által megkötött kicszerélhető Ca^{2+} , annál nagyobb a talaj izotóposan kicszerélhető Ca^{2+} ionjainak a CaCO_3 izotóp adszorpciójából származó részaránya. Ez a mennyiség meghatározható, s korrekcióba vehető. Ennek szükségessége azonban rendszerint csak igen pontos vizsgálatoknál, erősen karbonátos, könnyű mechanikai összetételű talajokon szükséges. A kicszerélhető Na^+ izotóphígításos módszerrel történő meghatározásánál, hasonlóan, mint más módszereknél, problémát jelent a vízben jól oldódó nátrium sók zavaró

hatásának kiküszöbölése és korrekciója. A vizsgálati adatok szerint a telítési kivonatban mért nátrium mennyiségével korrigált értékek reálisan tükrözik a talaj sajátságait még könnyű mechanikai összetételű, nátriummal 70–80%-ig telített szoloncsák szolonyc talajok esetében is. Kisebb sótartalom és nátrium telítettség mellett zavarhat éppen úgy, mint minden más módszernél a telítési kivonat készítésekor lehidrolizáló kicserélhető Na^+ , valamint a talaj nátrium tartalmú ásványainak esetleges izotópcseréje. Mind a kettőnek a szerepe alárendelt.

A közölt vizsgálati eredményekből kitűnik az is, hogy az izotóphígításos módszer is számos hibaforrással rendelkező standardizált módszer.

A módszerrel mért adatok ennek ellenére a talaj tulajdonságait mind a kicserélhető Ca^{2+} , mind a kicserélhető Na^+ és a nátrium telítettség vonatkozásában legjobban tükrözik. A meghatározást a vízben jól oldódó sók és a kalciumkarbonát jelenléte kevésbé zavarja mint az idegen ionos módszereknél. Ezért nagy sótartalmú, meszes talajoknál is — természetesen azonos kísérleti körülmények betartása mellett — az általunk vizsgált idegen ionos módszereknél szélesebb körben használható. Előnye az izotóphígításos módszernek az idegen ionos módszerekkel szemben az is, hogy a vizes talajsuszpenzióban a meghatározás körülményei (pH érték, a sók oldhatósága és a szilárd fázis kolloidikai állapota) közelebb állnak a természetes talajrendszerekhez, mint a többi módszerek esetében. A meghatározások könnyen kivitelezhetőek, a mérési adatok jól reprodukálhatóak. Az ammoniumacetátos és izotóphígításos módszerrel mért kicserélhető Na^+ mennyiségei a minta hibáján belül megegyeznek. Tehát szükség esetén területi jellemzésnél a két módszer adatai együttesen is használhatók, illetve a két módszer, amennyiben azt a talaj tulajdonságai lehetővé teszik egymással felcserélhetőek. A szikesedés dinamikájának tanulmányozásánál a vizes talajsuszpenzióban mért izotóposan hígítható Na^+ ionok mennyiségével a talaj oldható és kicserélhető Na^+ tartalmának együttes mennyisége, tehát mozgékony nátrium készlete, annak dinamikája, s mérlege jól jellemezhető. Az izotóposan hígítható nátrium mennyiségének vizsgálata, horizontális és vertikális eloszlásának meghatározása, dinamikájának nyomonkövetése, alkalmas a szikes talajok anyagforgalmának jellemzésére. A szikes talajok nátrium forgalmának leírása pedig szerepet játszhat mind a talajok jobb elméleti, talajgenetikai megismerésében, mind a gyakorlat szempontjából jelentős, öntözés és melioráció hatásának előrejelzésében és ellenőrzésében.

A szikes talajok kémiai és fiziko-kémiai jellemzésére javasolt vizsgálatok

A hazai gyakorlatban a talajok vizsgálatának kialakult az a szisztémája, hogy a helyszínen szikes talajként leírt talajok vizsgálata két lépcsőben történik. Első lépcsőben gyors tájékoztató vizsgálatokkal jellemzik a vizsgált talajokat. Ezek a tájékoztató vizsgálatok alkalmasak a szikesedés jellegének és mértékének közeli elbírálására. A második lépésben reprezentatív talajszelvényekből a kicserélhető kationok, s az 1 : 5 vizes kivonat, esetleg telítési kivonat kémiai elemzését elvégezve a szikesedés mértékét a kémiai jellegét részletesebben megadják. Az esetek többségében azonban a reprezentatív szelvények kiválasztásában döntő szerepet a helyszíni morfológiai megfigyelések,

11. táblázat

A szikes talajok gyors tájékoztató vizsgálatai és azok alapján elvégzendő kémiai elemzések rendszere

(1) Vizsgálatok	(2) Talajcsoportok					
	A	B	C	D	E	F
I. Gyors tájékoztató mérések						
a) Teltési %	<40	>40	<40	>40	<40	>40
b) Összes só %	<0,15	<0,25	0,15–0,4	0,25–0,6	<0,15	<0,25
c) 1:2,5 vizes szuszpenzióban mért pH	<8,5	<8,5	>8,5	>8,5	<8,5	>8,5
d) Szódban kifejezett fenolftalein lúgosság, mg/100 g	∅	∅	>50	>50	nyom	>50
e) Összes karbonát	∅	nyom	+	+	nyom	+
II. Részletes kémiai elemzések						
f) Teltési kivonat	–	+	+	+	+	+
g) 1:5 arányú vizes kivonat	–	+	+	+	+	+
h) Mozgékony Na ⁺	(+) ¹	(+) ^{2,4}	(+) ^{2,4}	(+) ^{2,4}	(+) ²	(+)
i) Kicsérélhető Na ⁺	(+) ¹	(+) ^{2,4}	(+) ^{2,4}	(+) ^{2,4}	(+)	(+)
j) Kationkicsérelő kapacitás	–	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)
CaCO ₃	–	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)
CaSO ₄	–	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)

¹ = Ha a szelvényben (vagy az altalajban) sófelhalmozódás, illetve szerkezetes B-szint nyoma látható.

² = Ha a sóösszetételben a Na⁺ dominál.

³ = Ha a sóösszetételben a Ca²⁺ dominál.

⁴ = Ha a kolloidfrakció (<1 μ részec) aránya a 10%-ot meghaladja.

valamint a felvételezés méretaránya játsszák és kevésbé kerülnek mérlegelésre a gyors tájékoztató vizsgálatok adatai. Még kevésbé képezi mérlegelés tárgyát a vizsgálat módszere, s ezeknek az alapvizsgálat adataitól függő kiválasztása. Kísérletet tettünk arra, hogy a szikes talajokat az alapvizsgálatok adatai alapján csoportosítsuk. A csoportokra megadjuk az elvégzendő részletes kémiai elemzések rendszerét és módszerét (11. táblázat). A talaj szikesedésének jellemzésére, illetve meliorációs beavatkozások előtt, különböző típusú szikesedés esetén az alábbi kémiai vizsgálatokat javasoljuk elvégezni a helyszínen.

Gyors, tájékoztató vizsgálatok

Minden talajmintából elvégzendő meghatározások:

1. A talaj víztelítési százaléka és a vízzel telített talajpép elektromos vezetőképességének mérése.

2. Az 1 : 2,5 arányú vizes talajszuszpenzió pH értéke.

3. Az 1 : 10 arányú talajszuszpenzió fenolftalein lúgossága melyet szóda egyenértékben adunk meg (mg/100 g) azokban a talajokban, melyek pH értéke nagyobb, mint 8,5.

4. Minőségileg a karbonátok jelenléte a talajban.

Az alapvizsgálatok adatai alapján a talajokat hat csoportba soroljuk, a végzendő részletes kémiai vizsgálatok szempontjából:

A) Ebbe a csoportba tartoznak azok a talajok, melyek pH értéke 8,5-nél kisebb, fenolftalein lúgosságot nem mutatnak, karbonátokat kvalitatíve nem tartalmaznak. Összes sótartalmuk 40-es telítési százaléig 0,15%-nál 40-nél nagyobb telítési százalék esetén 0,25%-nál kevesebb.

E csoporthoz tartozó talajoknál szikesedési vizsgálatok csak akkor szükségesek, ha a talajszelvényben a helyszíni morfológiai vizsgálatok szerint szerkezetes „B” szint, vagy a mélyebb szintekben sófelhalmozódás nyomai láthatók. Ez utóbbi esetekben a szelvény mintáiból a kationcserélő kapacitás és a kicserélhető Na^+ mennyisége határozandó meg.

B) E talajok pH értéke 8,5-nél kisebb, fenolftalein lúgosságot nem mutatnak. Karbonátokat nem, vagy legfeljebb kisebb mennyiségben tartalmaznak. Összes sótartalmuk könnyű mechanikai összetétel esetén (a telítési százalék < 40) 0,15—0,4%, nehezebb mechanikai összetételű talajoknál pedig 0,25—0,6% között van. E talajszelvények mintáiból először a vízben oldódó sók részletes elemzését kell elvégezni. Az elemzés elvégezhető telítési kivonattól vagy 1 : 5 arányú vizes kivonattól. A vizes kivonat analízisét kell előnyben részesítenünk, ha a helyszíni vizsgálatok alapján feltételezhető, hogy a sók összetételében a kalcium dominál például abban a szintben, ahol nagyobb sótartalmat mértünk a helyszíni leírás során gipszkiválást jegyeztek fel. A telítési kivonat elemzését akkor végezzük el, ha az oldható sók között feltehetően a nátrium sók dominálnak, pl. a helyszínen szerkezetes „B” szint jelenlétét, vagy annak nyomait észlelték. A további vizsgálatokat a sóösszetétel függvényében végezzük. Amennyiben az oldható sók összetétele túlnyomórészt nátriumos úgy a kationcserélő kapacitás és kicserélhető Na^+ meghatározását végezzük el. A talaj gipsztartalmát akkor határozzuk meg, ha az oldható sók között a kalciumsulfát dominál.

Gyakran előfordul hidromorf hatás alatt képződött szolonyec és szolonsásos szolonyec talajoknál, hogy a két morfológiai bélyeg, tehát a szerkezetes „B” szint és a gipszkiválás azonos szelvényben, rendszerint annak „B₁ és „B₂”

A kicserélhető kationok és a Na^+ telítettség meghatározásának

(1) Meghatározási módszerek	(2) T a l a j (Összes só és CaCO_3)					
	(3)		(3)		(3)	
	Összes só <0,25	CaCO' <10	Összes só <0,25	CaCO' >10	Összes só 0,25—0,6	CaCO' <10
a) Mehlich módszer	+		+		—	
b) NH_4 -acetátos	+		e) Csak kicserélhető Na^+ és Na^+ telítettség		+	
c) Izotóphígításos	+		f) Kicserélhető Na^+ és Na^+ telítettség		+	
d) Javítóanyag szükséglet			+			

szintjeiben együttesen jelentkeznek. Ilyenkor a nátrium telítettség vizsgálatát a szelvény „A” és „B” szintjeiben, a gipsz meghatározást pedig azokban a szintekben végezzük el, ahol a sóösszetétel gipsz jelenlétére utal.

C) A csoporthoz tartozó talajok rendszerint szerkezetes „B” szinttel rendelkeznek, a „B” szint vizes szuszpenziójának pH értéke 8,5-nél nagyobb. 50 mg/100 g-nál nagyobb szódában kifejezett fenolftalein lúgosságot mutat, összes oldható sótartalma 0,15%, vályog, vagy ennél nehezebb mechanikai összetétel esetén 0,25% alatt van. E talajoknál az összes karbonát tartalom, kationkicserélő kapacitás és kicserélhető Na^+ mennyisége határozandó meg.

D) Ide tartoznak azok a talajok, melyek kémiai tulajdonságai az előző csoport talajainak kémiai tulajdonságaival megegyeznek, azonban oldható sókészletük homok és homokos vályog mechanikai összetétel esetén 0,15—0,4%; vályog, vagy ennél nehezebb mechanikai összetétel mellett 0,25—0,6%. E talajok mintáiból minden esetben elvégzendő mind a vízben oldódó sók minőségi és mennyiségi meghatározása a telítési talajkivonat elemzésével, mind a kicserélhető Na^+ és nátrium telítettség meghatározása. Amennyiben az ásványi kolloidok (1μ -nál kisebb átmérőjű részek) mennyisége nem haladja meg a tíz százalékot az oldható és kicserélhető Na^+ elválasztása nehéz és sok hibával terhelt. Ez esetben feltétlenül meg kell adni a mozgékony nátrium mennyiségét is, mint olyan mutatót, mely e talajoknál a szikesedés dinamikáját leginkább jellemzi.

E) Az e csoportba tartozó talajok kifejezett szerkezetes szintet rendszerint nem mutatnak, pH értékük kisebb mint 8,5, fenolftalein lúgosságot nem, vagy csak nyomokban adnak, összes vízben oldható sótartalmuk nagyobb, mint 0,4—0,6%. E talajok mintáiból feltétlenül elvégzendő a vízben oldódó sók minőségi és mennyiségi elemzése. E célra használhatjuk mind a telítési, mind az 1 : 5 arányú vizes kivonatot. Javítás, vagy öntözés megkezdése előtt a vízben oldódó sók mellett célszerű a talaj mozgékony nátrium készletének, valamint a gipszes rétegekben az összes CaSO_4 meghatározása.

F) Ide tartoznak azok a talajok, melyek összes sótartalma az előző cso-

táblázat

módszerei különböző típusú szikesedés esetén

tulajdonságok
tartalom %-ban)

(3)	CaCO ₃	(3)	CaCO ₃	(3)	CaCO ₃	(3)	(4)
Összes só		Összes só		Összes só		Összes só	1 μ alatti frakció
0,25–0,6	>10	>0,6	<10	>0,6	>10	>0,4	<10
—		—		—		—	
e) Csak kicserélhető Na ⁺ és Na ⁺ telítettség		—		—		—	
f) Kicserélhető Na ⁺ és Na ⁺ telítettség		+		f) Kicserélhető Na ⁺ és Na ⁺ telítettség		g) Izotóposan hígítható Na ⁺	
+				+		+	

portba tartozó talajok sótartalmával megegyezik, vizes szuszpenziójuk pH értéke azonban nagyobb, mint 8,5 és 50 mg/100 g szódával egyenértékű fenoltalein lúgosságnál nagyobb értéket mutatnak. E talajoknál el kell végezni a telítési talajkivonat, vagy 1 : 5 arányú vizes kivonat részletes kémiai elemzését, s meg kell határozni a talaj mozgékony nátrium készletét. Kémiai javításkor, amikor célunk a kicserélhető Na⁺ Ca²⁺-mal való kicserélése, a mozgékony nátrium készlet és a nátriumszulfát + nátriumklorid mennyiségek különbsége szolgál a javítóanyag mennyiségének számításához.

A kicserélhető kationok meghatározási módszerének összehasonlítása alapján az előzőekben felsorolt és csoportosított típusú szikesedés esetén használható módszerekkel kapcsolatban az alábbi következtetéseket vonhatjuk le.

Minden csoport vonatkozásában figyelembe kell venni, hogy összehasonlítható és reprodukálható adatokat akkor kapunk, ha a vizsgálatokat azonos feltételek között végezzük. Ha vizsgálatunk céljára a megfelelő módszert kiválasztottuk, ehhez lehetőség szerint ragaszkodjunk. Ezen belül a módszer standard előírásait tartjuk be. A kiválasztott módszernél ügyeljünk arra, hogy a kationkicserélő kapacitás meghatározásakor a telítő és kicserélő oldat, valamint a kicserélhető Na⁺ meghatározásához használt telítő oldat kationja azonos vegyértékű legyen. (Helytelen pl. a kicserélhető kationokat Mehlich módszerrel a kationkicserélő kapacitást pedig Na⁺-os telítés után NH₄-acetátos módszerrel meghatározni.)

A módszer kiválasztásánál figyelembe kell venni a talaj szikesedésének típusát (12. táblázat).

Fentiek és a 12. táblázat alapján az előzőekben jellemzett csoportokra a következő vizsgálatok javasolhatók:

A) Abban az esetben, ha a talaj összes sótartalma kicsi és a talaj karbonátot nem, vagy csak nyomokban tartalmaz, bármely ismert és elterjedt módszer használható.

B) Abban az esetben, ha a talaj oldható sótartalma nagyobb, mint

0,15—0,4%, illetve 0,25—0,6%, de pH értéke 8,5 alatt van, a fenolftalein lúgosságot nem, vagy csak nyomokban mutat, célszerű a kicserélhető Na^+ és nátrium telítettség meghatározására az ammonacetátos, vagy az izotóphígításos módszert használni.

C) Alacsony sókészlettel rendelkező alkalikus talajoknál minden esetben meg kell határozni a kicserélhető Na^+ abszolút és relatív mennyiségét.

A kicserélhető Na^+ és nátrium telítettség meghatározására bármely általunk vizsgált módszer alkalmas. Amennyiben a nátrium telítettség meghatározásán túlmenően a kicserélhető kationok részletes összetétele is szükséges és a talaj karbonátokat, CaCO_3 -ban kifejezve 10%-nál többet tartalmaz, a módosított Mehlich módszer javasolt.

D) Az alkalikus és a mechanikai összetételtől függően 0,15—0,4%, illetve 0,25—0,6% oldható só tartalmazó talajoknál a kicserélhető Na^+ és nátrium telítettség meghatározása minden esetben elvégzendő. A vizsgálatokra az ammóniumacetátos vagy izotóphígításos módszer javasolt. A kicserélhető Na^+ értékét mindkét esetben a mozgékony nátrium és a telítési kivonatban mért vízben oldható Na^+ mennyiségének különbsége adja.

A javítóanyag mennyiségének számításához a kicserélhető Na^+ valamint a telítési kivonatban mért nátriumkarbonát és bikarbonát összege szolgálhat alapul. Abban az esetben, ha a talaj agyagfrakciója 10% alatt van, a mozgékony Na^+ mennyiségét adjuk meg.

E) E csoportba tartozó talajok oldható sótartalma nagy, fenolftalein lúgosságot nem mutatnak. pH értékük kisebb, mint 8,5. Amennyiben a telítési kivonat, vagy vizes kivonat elemzése azt mutatja, hogy a talajban felhalmozódott sók között a nátrium sók dominálnak, meliorációs intézkedések előtt el kell végezni a talaj mozgékony nátrium ion készletének meghatározását. A kicserélhető Na^+ abszolút és relatív mennyiségének meghatározása leginkább izotóphígításos módszerrel végezhető el. Idegen ionos módszerek közül az általunk vizsgált BaCl_2 - és NH_4 -acetátos módszer reális eredményt nem ad. Az izotóp módszer pontosságát is csökkenti azonban, hogy a folyadék fázis nagy sókoncentrációja miatt a talajminta vizes egyensúlyi szuszpenziójában az izotóp megoszlás a szilárd és folyadék fázis között kedvezőtlenül alacsony.

F) A nagy sótartalmú, alkalikus talajok esetében a talaj mozgékony Na^+ készlete minden esetben meghatározandó. A meghatározáshoz elsősorban az izotóphígításos módszer javasolható. E talajok oldatában, vagy vizes szuszpenzióik folyadék fázisában az erősen lúgoskémhatás eredményeként rendszerint a nátrium sók dominálnak, a talajok nátriumra erősen telítettek. Ezért a szilárd és folyadék fázis között az izotóp megoszlás kedvezőbb, a mozgékony nátrium ionok mennyiségének meghatározása pontosabban kivitelezhető. A mozgékony nátrium valamint a Na_2SO_4 és NaCl összegének különbsége a javítóanyag szükséglet számításához alapul szolgálhat. A kicserélhető nátrium számításánál a telítési kivonatban mért nátrium ionok mennyiségét vonjuk le. A nátrium telítettség gyakran 100% feletti értéknek adódik; mivel a kationkicserélő kapacitás meghatározása és a kicserélhető Na^+ meghatározása eltérő pH értéken történik.

Összefoglalás

Részletes elemzés tárgyává tettük a szikesedés és a kationkicserélődéssel kapcsolatos meghatározási módszereket. Elemeztük az általában használt

módszerek alkalmazásának lehetőségeit, ennek elvi és gyakorlati feltételeit, valamint az alkalmazás során fellépő hibaforrásokat és azok kiküszöbölésének lehetőségét.

Összehasonlító vizsgálatokat végeztünk a hazánkban előforduló szikes talajok széles skáláját reprezentáló talajmintákon. A kicserélhető Na^+ és Ca^{2+} ionok, valamint a kationkicserelő kapacitás meghatározását BaCl_2 -os módosított Mehlich módszerrel, NH_4 -acetát–Na-acetátos módszerrel, valamint izotóphígításos módszerrel végeztük. A talajminták mechanikai összetétele, sótartalma, sóösszetétele és CaCO_3 -tartalma eltérő volt.

Vizsgálataink alapján megállapítható:

1. A Na^+ ionos telítés és NH_4 -acetátos kicserelés után mért kationkicserelő kapacitások értékei többnyire jobban tükrözik a talaj mikroásványtani összetételét, mint a Mehlich módszerrel az esetek nagy részében kapott viszonylag magas kapacitásértékek. A kationkicserelő kapacitás és az agyagfrakció közötti összefüggés anrál szorosabb, minél nehezebb a talaj mechanikai összetétele és minél hasonlóbb a vizsgált minták finom diszperz frakciójának ásványi összetétele. Nehéz mechanikai összetételű, uralkodó agyagásványként montmorillonitot tartalmazó szolonyec és szolonyeces réti talaj mintáinak vizsgálata alapján az agyagfrakció mennyisége és a kationkicserelő kapacitás között szoros korreláció áll fenn. Az agyagfrakció 1 g-jának kicserelő kapacitása a Mehlich és izotóphígításos módszerrel mérve azonos; 0,72 mgeé, a Na-acetátos módszernél 0,64 mgeé. A kationkicserelő kapacitás és a talaj agyagtartalma között legszorosabb az összefüggés az izotóphígításos módszerrel: a mért kationkicserelő kapacitás 86%-a származik az agyagfrakcióból. A korrelációs együttható négyzete (r^2) a Na-acetátos módszernél 0,70, a Mehlich módszernél 0,64.

2. Az izotóphígításos módszer (amellett, hogy szintén standardizált módszer) az esetek többségében jól használható mind a kicserélhető Ca^{2+} mind a kicserélhető Na^+ , mind Ca^{2+} ionnal való telítés után a kationkicserelő kapacitás meghatározására. Erősen meszes talajoknál a kísérleti körülményektől és a telítésre használt oldattól függően eltérő a kalciumkarbonát oldódása és az ebből eredő hiba. Ugyanezen talajoknál a talajban levő CaCO_3 különböző formái is köthetnek meg Ca-45 izotópot. Ez a mennyiség pontos vizsgálatok céljára meghatározható, és korrekcióba vehető. Az általunk beállított kísérleti feltételek mellett a talajok CaCO_3 tartalmának átlagos kationkicserelő kapacitása 14 mgeé $\text{Ca}^{2+}/100$ g volt.

3. A kicserélhető Na^+ izotóphígításos módszerrel történő meghatározásánál egyéb módszerekhez hasonlóan szükség van a vízben jól oldódó Na^+ sók zavaró hatásának kiküszöbölésére, illetve korrekciójára.

4. Az izotóphígításos módszer előnye, hogy a meghatározás körülményei (pH-érték, a sók oldhatósága és a szilárd fázis kolloidikai állapota) közelebb állnak a természetes talajrendszerekhez, mint a többi módszerek esetében.

5. Az ammoniumacetátos és izotóphígításos módszerrel mért kicserélhető Na^+ értékek hibahatáron belül megegyeznek az esetek többségében, szükség esetén tehát területi jellemzésnél a két módszer adatai együtt is használhatók, vagy ha a talaj tulajdonságai lehetővé teszik, felcserélhetők.

6. A szikesedés dinamikájának tanulmányozásánál a vizes talajsuszpenzióban mért izotóposan hígítható Na^+ ionok mennyiségével a talaj oldható és kicserélhető Na^+ tartalmának együttes mennyisége, tehát mozgékony Na^+ készlete meghatározható. Ennek horizontális és vertikális eloszlása,

dinamikája a szikes talajok anyagforgalmának jellemzője és mint ilyen fontos paraméter a szikes talajok elméleti-talajgenetikai, valamint gyakorlati célú vizsgálata szempontjából.

A talajok szikesedésének jellemzésére, valamint meliorációs beavatkozások előtt elvégzendő kémiai és fizikai-kémiai vizsgálatok rendszerére és az alkalmazható módszerekre vonatkozóan javaslatokat tettünk. A különböző szikes talajokat alapvizsgálatok (telítési %, telítési talajpép elektromos vezetőképessége, 1 : 2,5 arányú vizes talajszuszpenzió pH értéke, 1 : 10 arányú szuszpenzió fenolftalein lúgossága, karbonátok meghatározása) adatai alapján csoportosítottuk. Az egyes csoportokra megadtuk az elvégzendő részletes kémiai elemzések rendszerét és módszereit. Külön kiemeltük a kicserélhető kationok meghatározására az egyes csoportokban használható módszereket.

Irodalom

- [1] ANTIPOV-KARATAJEV, I. N.: Primenenie izotopnogo metoda v issledovanii javlenij pogloscenija pocsvami elektrolitov v szvazi sz melioraciej pocsv. Primen. izotopov v techn. biol sz/h. Izd. A. N. SzSzsZR Moszkva. 366—382. 1955.
- [2] ARINUSKINA, E. V.: Rukovodstvo po himiceszkomu analizu pocsv. 2. Izd. Izd. MGU. Moszkva. 1970.
- [3] BLADEL, R. VAN, FRANKART, R. & GHEYI, H. R.: Comparison of three methods of determining the cation exchange capacity of calcareous soils. *Geoderma* **13**. 289—298. 1975.
- [4] BLUME, J. M. & SMITH, D. H.: Determination of exchangeable calcium and cation exchange capacity by equilibrium with Ca-45. *Soil Sci.* **77**. 9—17. 1954.
- [5] BOWER, C. A., REITEMEIER, R. F. & FIREMAN, M.: Exchangeable cation analysis of saline and alkaline soils. *Soil Sci.* **73**. 251—261. 1952.
- [6] DARAB, K.: Radioaktív izotópok alkalmazása talajtani vizsgálatoknál. *Agrokémia és Talajtan.* **6**. 245—250. 1957.
- [7] DARAB, K.: Kationkicszerélődés a talajban különböző minőségű öntözővizek hatására. *Agrokémia és Talajtan.* **11**. 29—40. 1962.
- [8] DARAB, K.: Isotope tracer method in ion exchange studies on alkali soils. *Agrokémia és Talajtan.* **18**. Suppl. 271—277. 1969.
- [9] DARAB, K.: Modern aspects of sampling and sodium balance studies in salt affected areas. *Agrokémia és Talajtan.* **23**. Suppl. 45—61. 1974.
- [10] DARAB, K. & FERENCZ, K.: Öntözött területek üzemi talajterképezése. OMMI. Budapest. 1969.
- [11] DARAB, K. & RÉDLY, L.-né: Kicszerélhető Ca²⁺ és Na⁺ ionok meghatározásának izotóphígítási módszere és összehasonlító értékelése. *Agrokémia és Talajtan.* **15**. 453—468. 1966.
- [12] DZUBAY, M.: Újabb módszer a szikes talajok kicserélhető kationjainak és oldható sóinak meghatározására. *Agrokémia és Talajtan.* **10**. 547—556. 1961.
- [13] GEDROIC, K. I.: Izbrannie szocsinenija. 1. Szelhozgiz. Moszkva. 1955.
- [14] GOLDEN, L. B., GAMMON, N. & THOMAS, R. P.: A comparison of methods of determining the exchangeable cations and the exchange capacity of Maryland soils. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* **7**. 154—161. 1942.
- [15] LAHAV, N. & BOLT, G. H.: Self diffusion of ⁴⁵Ca into certain carbonates. *Soil Sci.* **97**. 293—299. 1964.
- [16] *Methods of soil analysis.* (Ed.: Black, C. A.) N° 9. Ser. Agron. Amer. Soc. Agron. Madison. 1965.
- [17] PAPANICOLAOU, E. P.: A contribution to the study of excess base saturation. *Trans. 10th Int. Congr. Soil. Sci. Moscow.* **2**. 227—233. 1974.
- [18] PRATT, P. F. & HOLWAYCHUK, N.: A comparison of ammonium acetate and buffered bariumchloride methods of determining cation exchange capacity. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* **18**. 365—368. 1954.
- [19] RÉDLY, L.-né & DARAB, K.: Agyagásványok és talajok kationkicszerelő kapacitásának meghatározása izotópindikációs módszerrel és összehasonlító értékelése. *Agrokémia és Talajtan.* **18**. 173—189. 1969.

- [20] REINIGER, P., LAHAV, N. & BOLT, G. H.: Determination of the cation exchange characteristics of calcareous soils. Trans. 8th Int. Cong. Soil. Sci. Bucharest. **3**. 479—488.
- [21] SZABOLCS, I.: Szikes talajok a Nyírségen I. Szikesek Újfehértó környékén. Agro-kémia és Talajtan. **16**. 295—323. 1967.
- [22] SZABOLCS, I.: Szikes talajok a Nyírségen II. Szikesek Nyíregyháza környékén. Agro-kémia és Talajtan. **16**. 525—537. 1967.
- [23] SZABOLCS, I.: Salt balance studies on alkali soils. Trans. 10th Int. Cong. Soil Sci. Moscow. **11**. 49—54. 1974.
- [24] SZABOLCS, I., DARAB, K. & KOCH, L.-né: CaCO₃ tartalmú javítóanyagok hatékonyságának vizsgálata szikes talajon radioaktív indikáció segítségével. Agro-kémia és Talajtan. **9**. 19—27. 1960.
- [25] Talaj- és trágyavizsgáló módszerek. Mezőgazd. Kiad. Budapest. 1961.
- [26] TUCKER, B. M.: Laboratory procedures for cation exchange measurements on soils. Div. Soils. Techn. paper N° 23. CSIRO, Melbourne. 1974.
- [27] USDA Handbook N° 60. Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils. (Richards, L. A.) USDA. Washington. 1954.
- [28] YAALON, D. H., SCHUYLENBORGH, J. VAN & SLAGER, S.: The determination of cation exchange characteristics of saline and calcareous soils. Neth. J. Agric. Sci. **10**. 217—222. 1962.

Érkezett: 1976. augusztus 9.

Determination of the Exchangeable Cations in Salt Affected Soils

K. DARAB and M. RÉDLY

National Institute for Agricultural Quality Testing and Research Institute of Soil Science and Agricultural Chemistry of the Hungarian Academy of Sciences, Budapest (Hungary)

Summary

The applicability of methods used for the determination of exchangeable cations and CEC were studied on some salt affected soils. The possibilities of the application of the frequently used methods, their limitations, the sources of errors and the ways for eliminating them were investigated.

The BaCl₂ modified Mehlich) method, the NH₄-acetate-Na-acetate method and the isotope dilution method were compared for the determination of the exchangeable sodium and calcium ions and of the cation exchange capacity (CEC) on soils representing a wide variety of the salt affected soils in Hungary. The texture, the salt content, the composition of the salts and the CaCO₃ content of the soils were different.

The following conclusions may be drawn from the results:

1. The clay mineralogical composition of the soils is better reflected by the cation exchange capacity values measured by saturating with Na⁺ and exchanging with NH₄ ions than by the relatively high CEC values determined with the Mehlich methods. The more heavy the texture and the more similar the composition of the clay fraction of the soils are, the more close are the relationships between the CEC values and the clay content. Close correlation can be found between the clay content and the CEC values in the case of solonetz and solonetzic meadow soils with heavy texture and predominantly montmorillonite in the clay fraction. The CEC value of 1 gramm of the clay fraction is the same measured by Mehlich and isotope dilution method, respectively (0.72 me) and somewhat smaller by the Na-acetate method (0.64 me). The closest correlation exists between the clay content and the CEC values measured with the isotope dilution method ($R^2 = 0.86$) followed by the Na-acetate ($R^2 = 0.70$) and Mehlich method ($R^2 = 0.64$).

2. The isotope dilution technique used as a standardised method, as well gives satisfactory results for the determination of the exchangeable Ca²⁺, Na⁺ and the CEC measured after saturating the soils with Ca²⁺. In highly calcareous soils the solubility of CaCO₃ and the error due to its dissolution is very different depending on the experimental conditions and on the chemical composition of the saturating solution. In these soils the

different forms of CaCO_3 are able to adsorb Ca^{45} isotope ions, as well. For accurate determinations the quantity of ions adsorbed by the CaCO_3 is taken into account as a correction factor. In the case of our experimental conditions 14 me $\text{Ca}^{2+}/100$ g were measured as the mean value of the CEC of the soil's CaCO_3 .

3. Determining the exchangeable sodium with isotope dilution method it is necessary to know the amount of the water soluble sodium salts, similarly than in the case of other methods, to eliminate or correct their interference.

4. The main advantage of the isotope dilution method is the better representation of the natural soil conditions pH, solubility of the salts, colloid status of the solid phase).

5. Exchangeable Na^+ determined with isotope dilution and NH_4 -acetate method are equivalent in most of the cases, so the values can be used together or, if it is allowed by the soil properties, can be replaced.

6. The sum of the soluble and exchangeable sodium ions, the so called „mobile sodium” of the soil can be used for the investigation of the process of alkalization by the quantity of sodium determined with isotope dilution method in water suspension. The horizontal and vertical distribution and movement of this sodium fraction is an important parameter for the description of the mass transport processes in salt affected soils and being of theoretical (soil genetical) and practical point of view, as well.

Some suggestions were made in connection with the chemical and physico-chemical methods for characterising the salinization processes and to perform the determinations necessary before reclamation procedure. The salt affected soils were grouped according to their physical and chemical soil characteristics SP, the electrical conductivity of the saturated soil paste, the pH value of the 1 : 2.5 soil : water suspension, the alkalinity against phenolphthalein in 1 : 10 soil : water suspension, determination of the carbonates). The methods and the system of the analyses were given for the different soil groups. The suitability of methods for the determination of the exchangeable cations in different soil groups were taken into account with particular respect.

Table 1. Methods for the determination of the exchangeable cations and the cation exchange capacity. (1) Method, a) Saturation, b) Exchange. (2) Ion, (3) Salt, (4) Concentration of the solution, (5) pH of the solution.

Table 2. Physical and chemical characteristics of the soil profiles. (1) Sampling site, soil type, depth (cm). (2) pH in water suspension 1 : 2.5. (3) CaCO_3 , %. (4) Saturation percentage. (5) Total salt content, %, in saturated soil paste. (6) Physical sand/physical clay. (7) Clay content ($\varnothing < 1 \mu$, %). (8) Amount of the Na^+ and Ca^{2+} ions in the saturation extract, me/100 g soil. (9) SAR. A) Solonchak, B) Solonchak/solonetz, C) Salinized calcareous shallow meadow solonetz, D) Solodized shallow meadow solonetz, E) Solonetzic meadow soil.

Table 3. Physical and chemical characteristics of the salt affected soils of high salt content and light texture. (1) Sampling site, soil type, depth (cm). (2) pH in 1 : 2.5 soil : water suspension. (3) Saturation percentage. (4) Total salt content in saturated paste. (5) Physical sand/physical clay. (6) Amount of the Na^+ ions in the saturation extract, me/100 g soil. A) Solonchak meadow soil, B) Marshy meadow solonetz, C) Solonchak solonetz, D) Solonchak.

Table 4. Comparison of the different methods for determination of CEC. (1) Sampling site, depth of the horizon (soil types see in Table 2.). (2) Clay fraction, %, ($\varnothing < 1 \mu$). (3) Organic matter content, %. (4) CEC with the Mehlich method, Na-acetate method and isotope dilution method determined, me/100 g soil.

Table 5. Comparison of the methods for the determination of mobile Ca^{2+} -ions. (1) Sampling site, depth, cm (soil types see in the Table 2.). (2) Exchangeable + soluble (Ca^{2+} -ions, with the Mehlich method, NH_4 -acetate method and isotope dilution method, me/100 g soil. (3) Exchangeable Ca^{2+} -ions with the Mehlich method, NH_4 -acetate method and isotope dilution method, me/100 g soil, corrected with the isotopically exchangeable Ca^{2+} -ions of CaCO_3 .

Table 6. Error of the sampling at the determination of the isotopically exchangeable Ca^{2+} ions in the case of six solonchak solonetz soil profiles taken randomly. (1) Depth, cm. (2) Mean values of the exchangeable Ca^{2+} ions, me/100 g soil. (3) S, variance (4) \bar{S} the variance of the mean. (5) Confidence interval. (6) Exchangeable Ca^{2+} ions on the surface of clay particles and of CaCO_3 , me/100 g soil.

Table 7. Comparison of the methods for the determination of mobile Na^+ ions. (1) Sampling site, depth of the horizons, cm (soil types in Table 2.). (2) Exchangeable and soluble Na^+ ions determined with the Mehlich, NH_4 -acetate method and isotope dilution method, me/100 g soil. (3) Exchangeable Na^+ ions measured with the Mehlich method, NH_4 -acetate method and isotope dilution method, respectively, me/100 g soil.

Table 8. Error of the Na⁺ determination by flame photometer (A), error of the analysis (B), error of the sampling (C), at the determination of the mobile Na⁺ ions. (1) Depth of sampling, cm. (2) Number of replicates. (3) Degree of freedom. (4) Mobile sodium ions measured by the NH₄-acetate method and isotope dilution method. (5) SD.

Table 9. Error of the analysis (A), error of the sampling (B), at the determination of the exchangeable Na⁺ ions. Other sings see in Table 8.

Table 10. Comparison of the methods for the determination of mobile Na⁺ ions in soils of light texture and high salt content. (1) Sampling site, depth of the horizons, cm (soil types see in Table 3.). (2) Mobile Na⁺ ions determied with the NH₄-acetate and isotope dilution methods, me/100 g soil. (3) Exchangeable Na⁺ ions determined with the NH₄-acetate and isotope dilution methods, me/100 g soil. (4) CEC, me/100 g soil.

Table 11. System of the rapid tests of the salt affected soils and the necessary chemical determinations. (1) Methods: I. Rapid tests, II. Methods: a) Saturation percent age, b) Total salt content, %, c) pH in 1 : 2.5 soil : water suspension, d) Alkalinity expressed in Na₂CO₃, mg/100 g soil, e) Total carbonates, f) Saturation extract, g) 1 : 5 soil : water extract (+ + = equivalent methods), h) Mobile Na⁺ ions, i) Exchangeable Na⁺ ions, j) CEC, (2) Soil groups. 1 = If there is salt accumulatioa in the profile or in the subsoil (or presumable structural B horizon), 2 = If Na⁺ ions are predominant in the salts, 3 = If Ca²⁺ ions are predominant in the salts, 4 = If the ratio of the colloid fraction (∅ of the particles < 1 μ) exceeds 10%.

Table 12. Methods for the determination of exchangeable cations and Na⁺ saturation in the case of different type of salinization and alkalization. (1) Methods. (2) Soil characteristics (Percentage of total salt and CaCO₃ content). (3) Total salt content. (4) Particles with ∅ < 1 μ. a) Mehlich method, b) NH₄-acetate method, c) isotope dilution method, d) Requirement of amendment for soil reclamation, e) Only exchangeable Na⁺ and Na⁺ saturation, f) Exchangeable Na⁺ and Na⁺ saturation, g) Isotopically dilutable Na⁺ ions.

Fig. 1. Relationship between the clay fraction and the CEC in the case of solonetz and solonetzic meadow soils of heavy texture. Horizontal axis: clay fraction, % (ratio of the particles 1 μ). Vertical axis: CEC me/100 g soil. a) Mehlich method, b) Na-acetate method, c) Isotope dilution method.

Kationenaustauschkapazität und die Bestimmung der austauschbaren Kationen in Alkali-(Szik-)böden

K. DARAB und M. RÉDLY

Landesinstitut für Landwirtschaftliche Qualitätsprüfung und Forschungsinstitut für Bodenkunde und Agrikulturchemie der Ungarischen Akademie der Wissenschaften, Budapest (Ungarn)

Zusammenfassung

Die mit der Szikbodenbildung und dem Kationenaustausch in Zusammenhang stehenden Bestimmungsmethoden wurden in ihren Einzelheiten untersucht. Es wurde die Anwendungsmöglichkeit der im allgemeinen gebrauchten Methoden, sowie ihre theoretischen und praktischen Bedingungen, die bei ihrer Anwendung auftretenden Fehlerquellen und die Möglichkeiten zu deren Behebung studiert.

Die für die vergleichenden Bestimmungen angewendeten Bodenproben repräsentierten eine breite Skala der in unserem Lande vorkommenden Szikböden. Die Menge der austauschbaren Na⁺- und Ca²⁺-Ionen, sowie die Kationenaustauschkapazität wurden mit der modifizierten BaCl₂-Methode nach Mehlich, mit der NH₄-Acetat-Na-Acetat-Methode und der Isotopenverdünnungsmethode bestimmt. Die Körnung, der Salzgehalt, die Zusammensetzung der Salze, sowie der Kalkgehalt der Bodeproben war unterschiedlich.

An Hand der Untersuchungen konnte festgestellt werden:

1. Die nach der Sättigung mit Na⁺-Ionen und dem Austausch mit NH₄-Acetat erhaltenen Kationenaustauschkapazitätswerte widerspiegeln die mikromineralogische Zusammensetzung der Böden meist besser, als die nach der Mehlich-Methode in vielen Fällen gewonnenen, relativ hohen Kapazitätswerte. Der Zusammenhang zwischen der

Kationenaustauschkapazität und dem Anteil der Tonfraktion ist umso enger, je schwerer die Böden nach ihrer Körnung sind und je ähnlicher die Zusammensetzung der Minerale in der Ton-Fraktion der Böden ist. Bei den Bodenproben der schweren, vorherrschend Montmorillonit enthaltenden Solonetz- und Solonetz-Wiesenböden korreliert die Menge der Tonfraktion und die Kationenaustauschkapazität. Die Kationenaustauschkapazität von 1 g der Tonfraktion betrug mit der Mehlich- und der Isotopenverdünnungsmethode bestimmt einen gleich-grossen Wert: 0,72 mval/g; während sie nach der Na-Acetat-Methode nur 0,64 mval/g war. Der engste war der Zusammenhang zwischen der Kationenaustauschkapazität und dem Tongehalt der Böden bei der Anwendung der Isotopenverdünnungsmethode ($R^2=0.86$) dem folgte die Na-Acetat-Methode ($R^2=0.70$) und schliesslich die Mehlich-Methode ($R^2=0.64$).

2. Die Isotopenverdünnungsmethode ist — daneben, dass sie auch eine standardisierte Methode für die Feststellung des Wertes der ursprünglichen Kationenaustauschkapazität darstellt — in der Mehrheit der Fälle auch zur Ermittlung der Menge der austauschbaren Ca^{2+} -, sowie Na^+ -Ionen und der nach einer mit Ca^{2+} -Ionen durchgeführten Sättigung gemessenen Kationenaustauschkapazität gut verwendbar. In stark kalkhaltigen Böden hängt die Lösung des Kalziumkarbonates und der daraus entstehenden Fehler von der zur Sättigung verwendeten Lösung und den Versuchsbedingungen ab. In denselben Böden können die verschiedenen Formen des CaCO_3 -es das ^{45}Ca -Isotop aufnehmen. Die Menge des letzteren kann zwecks Erhöhung der Genauigkeit der Untersuchungen bestimmt und zur Korrektur herbeigezogen werden. Bei unseren Versuchsbedingungen betrug die durchschnittliche Kationenaustauschkapazität des CaCO_3 -Gehaltes der Böden 14 mval $\text{Ca}^{2+}/100$ g.

3. Falls die Menge der austauschbaren Na^+ -Ionen mit der Isotopenverdünnungsmethode bestimmt wird, muss auch hier — ähnlich den anderen Methoden — der Störeffekt der im Wasser leicht löslichen Na-Salze beseitigt bzw. in Korrektur gezogen werden.

4. Das Vorteil der Isotopenverdünnungsmethode besteht darin, dass die Messbedingungen (pH-Wert, Löslichkeit der Salze und kolloidaler Zustand der festen Phase) den natürlichen Bodensystemen näher stehen, als im Falle der übrigen Methoden.

5. Die mit der Ammoniumacetat- und der Isotopenverdünnungsmethode gewonnenen Werte der austauschbaren Na^+ -Ionenmengen stimmen miteinander meistens innerhalb der Fehlergrenzen gut überein. Bei Charakterisierung eines Gebietes können also die Daten der beiden Methoden zusammen, oder von den Bodeneigenschaften abhängig abwechselnd verwendet werden.

6. Beim Studium der Dynamik der Szikbödenbildung kann mit Hilfe der in der Bodensuspension gemessenen isotopisch verdünnten Na-Ionen-Menge der Gehalt an löslichen und austauschbaren Na-Ionen, bzw. der Vorrat an beweglichen Na-Ionen im Boden bestimmt werden. Die horizontale und vertikale Verteilung, sowie die Dynamik der oben genannten Faktoren ist für die Substratumsetzung der Szikböden charakteristisch und stellt deshalb in der theoretischen-bodengenetischen, sowie in der praktischen Untersuchung dieser Böden einen wichtigen Parameter dar.

Es wurde ein System der zur Charakterisierung der Szikbödenbildung, sowie vor Meliorationseingriffen durchzuführenden chemischen und physikalisch-chemischen Untersuchungen und die dabei verwendbaren Methoden vorgeschlagen. Die verschiedenen Szikböden wurden aufgrund ihrer Analysendaten (Sättigungs%, elektrische Leitfähigkeit der gesättigten Bodensuspension, pH-Wert der wässrigen (1:2,5) Bodensuspension, Phenolphthalein-Alkalität der Bodensuspension 1:10, Bestimmung der Karbonate) in Gruppen eingeteilt. Für die einzelnen Gruppen wurden die durchzuführenden chemischen Analysen samt der dabei anzuwendenden Methodik ausführlich vorgeschlagen. Die in den einzelnen Gruppen zur Bestimmung der austauschbaren Kationen geeignetesten Methoden wurden noch gesondert hervorgehoben.

Tab. 1. Bedingungen bei der Bestimmung der Menge der austauschbaren Kationen und der Kationenaustauschkapazität. (1) Methode, a) Sättigung, b) Austausch. (2) Ionen. (3) Salz. (4) Konzentration der Lösung. (5) pH-Wert der Lösung.

Tab. 2. Physikalische und chemische Kennwerte der untersuchten Bodenprofile. (1) Ort der Probenahme, Bodentyp, Tiefe der Probenahme (cm), A) Solontschak; B) Solontschak-Solonetz; C) Karbonathaltiger verkrusteter Solontschak-Wiesensolonetzboden; D) Verkrusteter Solod-Wiesensolonetzboden; E) Solonetz-Wiesenboden. (2) pH-Wert der wässrigen Bodensuspension 1:2,5. (3) CaCO_3 %. (4) Sättigungs%. (5) Salzgehalt (%) der gesättigten Bodensuspension. (6) Physikalischer Sand/physikalischer Ton. (7) Tonfraktion (Anteil der Teilchen unter 1μ in %). (8) Na^+ , Ca^{2+} mval/1: mval/100g im Sättigungsextrakt. (9) Adsorptionsverhältnis des Na.

Tab. 3. Physikalische und chemische Kennwerte von stark salzhaltigen und leichten Szikböden. (1) Ort der Probenahme Bodentyp, Tiefe der Probenahme (cm). *A*) Solontschak Wiesenboden. *B*) Anmooriger Wiesenolonetz; *C*) Solontschak-Solonetz; *D*) Solontschak. (2) pH-Wert der wässrigen Bodensuspension 1:2,5. (3) Sättigungs%. (4) Salzgehalt (%) der gesättigten Bodensuspension. (5) Physikalischer Sand/physikalischer Ton. (6) Na^+ mval/l; mval/100 g im Sättigungsextrakt.

Tab. 4. Vergleich der zur Bestimmung der Kationenaustauschkapazität dienenden Methoden. (1) Ort und Tiefe der Probenahme, Bezeichnungen der Bodentypen s. unter Tab. 2. (2) Tonfraktion ($\varnothing < 1 \mu$), %. (3) Gehalt an organischer Substanz, %. (4) Kationenaustauschkapazität mval/100 g, nach der Mehlich-Methode, der Na-Acetat-Methode und der Isotopenverdünnungsmethode.

Tab. 5. Vergleich der zur Bestimmung der beweglichen Ca^{2+} -Ionen dienenden Methoden. (1) Ort und Tiefe der Probenahme, Bezeichnung der Bodentypen s. unter Tab. 2. (2) Austauschbare und lösliche Ca^{2+} -Ionen, mval/100 g, nach der Mehlich-, der NH_4 -Acetat- und der Isotopenverdünnungsmethode. (3) Austauschbare Ca^{2+} -Ionen, mval/100 g, nach der Mehlich-, der NH_4 -Acetat- und der Isotopenverdünnungsmethode, die letzteren Werte wurden mit dem durch Isotopen austauschbaren Ca^{2+} -Ionengehalt des CaCO_3 korrigiert.

Tab. 6. Grösse des Fehlers bei der Bestimmung des durch Isotopen austauschbaren Ca-Gehaltes von Bodenproben aus sechs, randomisiert ausgewählten Solontschak-Solonetz-Profilen. (1) Tiefe der Probenahme. (2) Austauschbare Ca^{2+} -Ionen, Mittelwert mval/100 g. (3) S (Streuung). (4) \bar{S} (Mittelwert der Streuung). (5) Konfidenzintervall. (6) Austauschbare Ca^{2+} -Ionen, mval/100 g, auf der Oberfläche der Tonfraktion und des CaCO_3 .

Tab. 7. Vergleich der zur Bestimmung der beweglichen Na^+ -Ionen dienenden Methoden. (1) Ort und Tiefe der Probenahme, Bezeichnung der Bodentypen s. unter Tab. 2. (2) Austauschbare und lösliche Na^+ -Ionen, mval/100 g, nach der Mehlich-, der NH_4 -Acetat- und der Isotopenverdünnungsmethode. (3) Austauschbare Na^+ -Ionen, mval/100 g, nach der Mehlich-, der NH_4 -Acetat- und der Isotopenverdünnungsmethode.

Tab. 8. Fehler der flammenphotometrischen Bestimmung des Natriums (A), der Analyse (B) und der Probenahme (C) in der Bestimmung der beweglichen Na^+ -Ionen. (1) Tiefe der Probenahme, cm. (2) Anzahl der Wiederholungen. (3) Freiheitsgrad. (4) Bewegliche Na^+ -Ionen nach der NH_4 -Acetat- und der Isotopenverdünnungsmethode. (5) Signifikante Differenz.

Tab. 9. Fehler der Analyse (A) und der Probenahme (B) in der Bestimmung des austauschbaren Na^+ -Ionen. Bezeichnungen s. unter Tab. 8.

Tab. 10. Vergleich der zur Bestimmung der beweglichen Na^+ -Ionen dienenden Methoden im Falle von stark salzhaltigen, karbonathaltigen, leichten Böden. (1) Ort und Tiefe der Probenahme, Bezeichnungen der Bodentypen s. unter Tab. 3. (2) Bewegliche Na^+ -Ionen, mval/100 g, nach der NH_4 -Acetat-Methode und nach der Isotopenverdünnungsmethode. (3) Austauschbare Na^+ -Ionen, mval/100 g, nach der NH_4 -Acetat-Methode und nach der Isotopenverdünnungsmethode. (4) Kationenaustauschkapazität, mval/100 g.

Tab. 11. Schnelle, Orientierungsuntersuchungen der Szikböden und das System der aufgrund dieser Untersuchungen durchzuführenden chemischen Analyse. (1) Untersuchungen: I. Schnelle Orientierungsuntersuchungen; II. Ausführliche chemische Analyse: *a*) Sättigungs%; *b*) Gesamter Salzgehalt, %; *c*) pH-Wert der wässrigen Bodensuspension 1:2,5; *d*) In Na_2CO_3 angegebene Phenolphthalein-Alkalität, mg/100 g; *e*) Gesamter Karbonatgehalt; *f*) Sättigungsextrakt; *g*) Wasserauszug 1:5 (Die zwei »+« Zeichen bezeichnen, wo mehrere Methoden gleichwohl angewendet werden können); *h*) Beweglicher Na^+ -Gehalt; *i*) Austauschbarer Na^+ -Gehalt; *j*) Kationenaustauschkapazität. (2) Bodenruppen. 1=—Wenn im Bodenprofil (oder im Unterboden) die Spuren einer Salzanhäufung, bzw. eines strukturierten B-Horizontes zu entdecken sind; 2=—Wenn unter den Salzen die Natriumsalze überwiegen; 3=—Wenn unter den Salzen die Kalziumsalze überwiegen; 4=—Wenn der Anteil der Kolloidfraktion (d.h. der Teilchen unter 1μ) 10% überschreitet.

Tab. 12. Bestimmungsmethoden der austauschbaren Kationen und des Ausmasses der Na^+ -Sättigung im Falle von verschiedenartigen Szikbödentypen. (1) Bestimmungsmethoden. (2) Bodeneigenschaften (Salzgehalt und CaCO_3 -Gehalt in %). (3) Salzgehalt. (4) Fraktion unter 1μ . *a*) Mehlich-Methode. *b*) NH_4 -Acetat-Methode. *c*) Isotopenverdünnungsmethode. *d*) Bedarf an Verbesserungsmitteln; *e*) Nur austauschbare Na^+ -Ionen und Sättigung an Na^+ . *f*) Austauschbare Na^+ -Ionen und Sättigung an Na^+ . *g*) Durch Isotope verdünnbare Na^+ -Ionen.

Abb. 1. Zusammenhang zwischen der Menge der Tonfraktion und der Kationenaustauschkapazität im Falle von schweren Solonetz- und Solonetz-Wiesenböden jenseits der Theiss. Abszisse: Menge der Tonfraktion (Teilehen unter 1 μ) (%). Ordinate: Kationenaustauschkapazität, mval/100 g, a) nach der Mehlich-Methode, b) nach der Natriumacetat-Methode. c) nach der Isotopenverdünnungsmethode.

Определение ёмкости поглощения и содержания обменных катионов в засоленных почвах

К. ДАРАБ и М. РЕДЛИ

Государственный Институт по контролю за качеством почв и сельскохозяйственных продуктов и Научно-исследовательский институт почвоведения и агрохимии Венгерской Академии Наук, Будапешт (Венгрия)

Резюме

Провели всестороннюю оценку методов по определению засоления и содержания в почве обменных катионов. Показали возможности использования отдельных методов, их теоретические и практические предпосылки, ошибки, возникающие в ходе определения и возможности их устранения.

Провели сравнительные исследования почвенных образцов, представляющих собой широкую шкалу, встречающихся в Венгрии засоленных почв. Содержание обменных ионов натрия и калия, а также ёмкость поглощения определяли модифицированным методом Мелиха (BaCl_2), ацетатно-аммонийным методом, а также методом изотопного разбавления. Изученные почвы отличались по механическому составу, содержанию солей и их составу и по содержанию CaCO_3 .

На основании полученных результатов установили:

1. Ёмкость поглощения, измеренная после насыщения ионами натрия и вытеснения NH_4 -ацетатом, лучше отражает микроминералогический состав почвы, чем определенная по методу Мелиха, где в большинстве случаев получили завышенные результаты. Зависимость между ёмкостью поглощения и содержанием глины тем теснее, чем тяжелее почва по механическому составу и чем аналогичнее минералогический состав тонкой дисперсной фракции почвы. Наблюдали зависимость между содержанием глинистой фракции и ёмкостью поглощения почвенных образцах солонца и солонцеватой луговой почвы тяжелого механического состава, где господствующим глинистым минералом является монтмориллонит. Ёмкость поглощения 1 г глинистой фракции, определенная по Мелиху и методом изотопного разбавления, была одинаковой и составляла 0,72 мг.экв, при определении Na-ацетатным методом — 0,6 мг.экв. Самую тесную зависимость между ёмкостью поглощения и содержанием в почве глинистой фракции наблюдали для метода изотопного разбавления; ёмкость поглощения, составляющая 86%, происходит от глинистой фракции. Квадратичный коэффициент корреляции (r^2) при ацетатно-аммонийном методе — 0,70, при методе Мелиха — 0,64.

2. Метод изотопного разбавления (кроме того, что стандартный метод) в большинстве случаев может быть с успехом использован для определения ионов обменного Ca^{2+} и Na^+ , а также для определения ёмкости поглощения после насыщения почвы ионами Ca^{2+} . В сильно карбонатных почвах в зависимости от условий опыта и от насыщенности раствора изменялась растворимость карбоната кальция и ошибка, происходящая в результате этого. В тех же почвах различные формы CaCO_3 могут связывать изотоп Ca^{45} . Для точности опыта это количество можно определить и внести соответствующую поправку. Средняя ёмкость поглощения CaCO_3 в почвах в обычных условиях опыта составляла 14 мг.экв $\text{Ca}^{2+}/100$ г.

3. При определении содержания обменного натрия методом изотопного разбавления, подобно другим методам, необходимо устранить или внести поправку на мешающее влияние воднорастворимых натриевых солей.

4. Преимущество метода изотопного разбавления состоит в том, что условия опыта (рН, растворимость солей, коллоидное состояние твердой фазы) стоит гораздо ближе к природным почвенным системам, чем при определении другими методами.

5. В большинстве случаев содержание обменного натрия, определенное методом изотопного разбавления и ацетатом аммония, в основном, сходно по своему значению в пределах ошибки, в необходимых случаях для характеристики территорий можно использовать результаты двух методов или, если позволяют свойства почвы, их взаимозаменять.

6. При изучении динамики засоления, определяя содержание ионов изотопно-разбавляемого Na^+ в почвенной суспензии, можно определить запасы подвижного натрия, т. е. общее содержание ионов воднорастворимого и обменного натрия. Их горизонтальное и вертикальное распределение по профилю, их динамика является характерным показателем движения материалов в засоленных почвах и важным параметром для методов теоретического и практического значения.

Предложили системы химических и физико-химических исследований и возможности использования отдельных методов для характеристики процессов засоления или перед проведением мелниорации. Сгруппировали различные засоленные почвы на основании результатов общих исследований (процент насыщенности, электропроводность насыщенной пасты, pH водной суспензии при соотношении 1 : 2,5, щелочность по фенолфталеину в 1 : 10 суспензии, содержание карбонатов). Для отдельных почвенных групп дали систему химических анализов и методов для их проведения. Для отдельных групп рекомендовали методы для определения обменных катионов.

Табл. 1. Условия опыта при определении содержания обменных катионов и ёмкости поглощения почвы. (1) Метод: а) насыщение; б) вытеснение. (2) Ион. (3) Соль. (4) Концентрация раствора. (5) pH раствора.

Табл. 2. Физические и химические свойства изученных разрезов. (1) Место взятия образцов, тип почвы, глубина в см: А) солончак. В) солончак солонец. С) карбонатный солончаковый корковый луговой солонец, Д) осолоделый корковый луговой солонец, Е) солонцеватая луговая почва, (2) pH в водной суспензии 1 : 2,5. (3) CaCO_3 в %. (4) Процент насыщенности. (5) Общее содержание солей в насыщенной почвенной пасте, %. (6) Физический песок/физическая глина. (7) Глинистая фракция (процентное содержание частичек диаметром меньше 1 μ). (8) Содержание ионов натрия и кальция в насыщенной вытяжке в мг.экв/л / мл.экв/100 г. (9) Адсорбционное соотношение ионов натрия.

Табл. 3. Физические и химические свойства почвы легкого механического состава с большим содержанием солей. (1) Место взятия образцов, глубина в см. А) Солончаковая луговая почва. В) Луговоболотный солонец. С) Солончак-солонец. Д) Солончак. (2) pH водной суспензии 1 : 2,5. (3) Насыщенность в %. (4) Общее содержание солей в насыщенной пасте, %. (5) Физический песок/физическая глина. (6) Ионы натрия в насыщенной вытяжке в мг.экв/л/мг. экв/100 г.

Табл. 4. Сравнительные исследования методов для определения ёмкости поглощения. (1) Место взятия образцов, глубина в см. Обозначение почвенных типов от А) до Е) смотри в таблице 2. (2) Глинистая фракция (частички диаметром менее 1 μ %). (3) Содержание органического вещества, %. (4) Ёмкость поглощения в мг.экв/100 г, определенная по Мелиху, Na-ацетатным методом и методом изотопного разбавления.

Табл. 5. Сравнительные исследования методов для определения ионов подвижного Ca^{2+} . (1) Место взятия образцов, глубина в см. Обозначение почвенных типов смотри в таблице 2. (2) Ионы обменного + растворимого Ca^{2+} мг.экв/100 г почвы методом Мелиха, ацетатного-аммонийным методом и методом изотопного разбавления. (3) Обменный Ca^{2+} мг.экв/100 г по Мелиху, ацетатно-аммонийным методом, методом изотопного разбавления и методом изотопного разбавления с поправкой на содержание изотопно-обмениваемого Ca^{2+} CaCO_3 .

Табл. 6. Ошибка образцов, взятых из шести почвенных разрезов солончака-солонца случайного распределения, при определении содержания ионов изотопно-обмениваемого кальция. (1) Глубина. (2) Среднее содержание обменного Ca^{2+} в мг.экв/100 г. (3) S (рассеивание). (4) \bar{S} (среднее рассеивание). (5) Интервал конфиденции. (6) Содержание ионов обменного кальция в мг.экв/100 г на поверхности глинистой фракции и на поверхности CaCO_3 .

Табл. 7. Сравнительное исследование методов для определения ионов подвижного натрия. (1) Место взятия образцов, глубина горизонтов. Обозначение почвенных типов от А) до Е) смотри в таблице 2. (2) Ионы обменного + растворимого натрия в мг.экв./100 г по Мелиху, ацетатно-аммонийным методом и методом изотопного разбавления. (3) Ионы обменного натрия в мг.экв/100 г, определенные методом Мелиха, ацетатно-аммонийным методом и методом изотопного разбавления.

Табл. 8. Ошибка при определении ионов натрия пламенным фотометром (А), ошибка анализа (В) и ошибка взятия образцов при определении ионов подвижного натрия. (1) Глубина взятия образцов в см. (2) Число повторностей. (3) Степень свободы. (4) Подвижный натрий, определенный Na^+ NH_4 -ацетатным методом и методом изотопного разбавления. (5) Достоверные разницы.

Табл. 9. Ошибка анализа (А) и ошибка образцов (В) при определении содержания ионов обменного натрия. Обозначения смотри в таблице 8.

Табл. 10. Сравнительные исследования методов для определения содержания ионов подвижного натрия в карбонатных почвах легкого механического состава с высоким содержанием солей. (1) Место взятия образцов, глубина горизонтов в см. Обозначение почвенных типов смотри в таблице 3. (2) Содержание ионов подвижного натрия в мг.экв./100 г, определенное NH_4 ацетатным методом и методом изотопного разбавления. (3) Ионы обменного натрия в мг.экв./100 г, определенные ацетатом аммония и методом изотопного разбавления. (4) Емкость поглощения в мг.экв./100 г.

Табл. 11. Быстрые ориентировочные исследования засоленных почв и основанная на них система химического анализа этих почв. (1) Исследования: I. Быстрые ориентировочные измерения. II. Подробный химический анализ. а) Процент насыщенности. б) Сумма солей в %. с) рН в водной суспензии 1 : 2,5. d) Щелочность по фенолфталеину, выраженная в соде, мг/100 г. е) Общее количество карбонатов. f) Насыщенная вытяжка. h) Водная вытяжка 1 : 5 (там, где имеется знак ++ безразлично, какой метод используется для определения). i) Ионы подвижного натрия. j) Ионы обменного натрия (Емкость поглощения). (2) Группы почв.) (1) Если в почвенном профиле (или в подпочве) наблюдается накопление солей или следы структурного горизонта В. (2) Если в составе солей доминируют ионы натрия. (3) Если в составе солей доминируют Ca^{2+} . (4) Если соотношение коллоидной фракции (размером менее 1μ) превышает 10%.

Табл. 12. Методы определения содержания обменных катионов и насыщенности ионами натрия в случае различных типов засоления. (1) Методы определения. (2) Свойства почвы (сумма солей и CaCO_3 в %). (3) Сумма солей: (4) Фракция размером менее 1μ а) Метод Мелиха. б) Ацетатно аммонийный метод. с) Метод изотопного разбавления. d) Необходимое количество мелиорантов. е) Только ионы обменного натрия и насыщенность Na^+ . f) Обменный Na^+ и насыщенность Na^+ . g) Изотопно разбавляемый Na^+ .

Рис. 1. Связь между содержанием глинистой фракции и емкостью поглощения в затиссайских солонцах и солонцеватых луговых почвах тяжелого механического состава. По горизонтально оси: глинистая фракция (размером менее 1μ) в %. По вертикальной оси: Емкость поглощения в мг.экв./100 г. а) по Мелиху. б) Ацетатом натрия. с) Метод изотопного разбавления.