

A sókilúgozás mechanizmusának vizsgálata talajoszlopokon

I. A kilúgzási sebesség értelmezése és jellemzése desztillált vízzel kezelt talajoknál

FILEP GYÖRGY és KUN ANDRÁS

Agrártudományi Egyetem, Debrecen és Országos Mezőgazdasági Minőségvizsgáló Intézet, Mezőtúr

A talaj oldható sóinak mozgása, szelvénybeni eloszlása szorosan összefügg a nedvességáramlással. Az öntözött és öntözetlen talajok sótartalmában bekövetkezett változásokat, a sófelhalmozódás vagy kilúgzás mértékét, számos kutató tanulmányozta [1, 3, 4, 6, 8, 9, 10, 12, 13, 15, 16]. Kísérletek történtek továbbá a talajból kimosott sómennyiségnek és a talajoszlop öntözés utáni sókiszárlásának előrejelzésére [2, 5, 7, 11, 14]. A jelenségek pontosabb értelmezéséhez, s a sókilúgzás kvantitatív értékeléséhez azonban szükséges a folyamat mechanizmusának részletes ismerete is, mely mind elméleti, mind gyakorlati vonatkozásban további értékes útmutatásokat adhat. Fentieket szem előtt tartva, munkánk során a sómozgás kinetikai értékelésére, illetve a kilúgzás mechanizmusának jellemzésére törekedtünk.

Anyag és módszer

Vizsgálatainkat két talajtípus (mészlepedékes csernozjom és réti talaj) 0–20 cm-es rétegeből vett mintákon végeztük, laboratóriumi körülmények között.

A mészlepedékes *csernozjom* talaj fontosabb jellemzői: pH = 7,9; CaCO_3 % = 0,9; fizikai agyag % = 54,6; vízben oldható só % = 0,04; humusz % = 3,1. Kicszerélhető kationok: Ca = 92,8% Mg = 6,36%; Na = 0,79%; S-érték: 22,4 mgeé/100 g. A *régi* talaj adatai: pH = 6,9; fizikai agyag % = 75,1; vízben oldható só % = 0,1; humusz % = 3,8. Kicszerélhető kationok: Ca = 76,5%; Mg = 20,6%; Na = 2,9%; S-érték: 28,3 % mgeé/100.

A talajok tehát kevés vízben oldható só-tartalmaztak, ezért a minták egy részéhez annyi Ca-, Mg- és Na-sót adtunk vizes oldat formájában, hogy a só-tartalom 5 mgeé/100 g körüli értékre növekedjen. (A hozzáadott sók Ca: Mg: Na aránya 2,5 : 1 : 1 volt). Az így kapott *sós csernozjom* talaj mért só-tartalma 5,1 mgeé/100 g-nak, a *sós régi* talajé pedig 4,85 mgeé/100 g-nak adódott. A *sós* talajok kicszerélhető Na-tartalma is nagyobb volt, mint az eredeti (nem *sós*) talajoké. A *csernozjom* esetén 2,16 %-ra, a *régi* talajnál pedig 4,01 %-ra nőtt a kicszerélhető Na mennyisége.

A szokásosan előkészített, 2 mm-es szitán átszitált légszáraz mintákból a továbbiakban elkülönítettük a 0,25–1,0 mm átmérőjű morzsafrakciót, s ezt használtuk fel a kilugzási kísérletekhez, 6 cm magas talajoszlopokon.

A különböző típusú és sótartalmú talajminták egy részénél légszáraz állapotban, egy sorozatnál pedig a természetes vízkapacitás 60%-ának megfelelő (0,6 VK) nedvességtartalomra beállítva kezdtük a kilugzást azért, hogy a talaj eredeti nedvességi állapotának esetleges hatásait is értékelni tudjuk. A kísérlet során az oszlop ismert vízkapacitásának megfelelő mennyiségű oldattal nedvesítettük a talajt, majd 24–24 órai állás után még hatszor öntöttünk vízkapacitásnyi mennyiségekkel. Az oszlopból elfolyó drénvíz térfogatát, sótartalmát és ionösszetételét mindegyik öntözés után megvizsgáltuk.

A csernozjom talajoszlopok vízáteresztő képessége 0,25/ml/cm²/perc, a rétié pedig — az előbbieknél mintegy a harmadrésze — 0,09 ml/cm²/perc volt. Ugyanilyen mértékű különbségeket találtunk a két talajtípus vízáteresztőképessége között a szabadföldi vizsgálatok alkalmával is.

A vizsgálatok értékelése

A talajoszlopból elfolyó drénvíz, s a talaj felszínére jutó nedvesség (csapadék, vagy öntözővíz) koncentrációjának különbsége (ΔC) arányos a kilugzott sómennyiséggel, így alkalmasnak látszik a sómozgás kvantitatív jellemzésére. Eszerint:

$$\Delta C = C_d - C_b;$$

ahol C_d = a drénvíz sókoncentrációja, C_b = az öntözővíz koncentrációja. Az egyenletből következik, hogy ha a kilugzó víz nem tartalmaz oldható sókat (desztillált víz, illetve csapadékvíz), akkor $\Delta C = C_d$.

Pozitív ΔC -értékek esetén sókilugzás történik, ellenkező esetben az öntözővízzel bevitt sók egy részét a talaj visszatartja, tehát a vizsgált réteg sóartalma nő. Ha egyidejűleg két, vagy több folyamat játszódik le a talajban (sókilugzás, adszorpció, stb.), a ΔC e változások összhatását mutatja, ami az adott talajréteg sótartalmának és összetételének változását idézi elő. A ΔC használatának előnye, (az öntözővíz és a talajoldat között fennálló tényleges koncentrációkülönbséggel szemben) az, hogy egyszerűen, pontosan mérhető.

Természetes vízkapacitásnál kevesebb nedvességet tartalmazó talajokon, a sókilugzás kezdete (azaz a drénvíz első részleteinek megjelenése) előtt, oldott sókat tartalmazó víz alkalmazása esetén, (VK–N). C_b nagyságú sófelhalmozódás jelentkezik, amit a számításoknál figyelembe kell venni. (N = a talaj öntözés előtti nedvességtartalma; VK = a talaj természetes vízkapacitása). Ha a VK és N nedvességtartalmakat ml-ben és a C_b -t mg/ml-ben adjuk meg, a kezdeti sónövekedést mg/ml dimenzióban kapjuk.

A kilugzási folyamat értékelésére olyan megoldást kerestünk, mely — a kilugzott sómennyiségeket alapul véve — lehetőséget nyújt a folyamat mechanizmusának jellemzésére. Ehhez elsőként a sókilugzás sebességét kellett definiálni. Számításainknál az egységnyi drénvízterfogat-növekedéskor bekövetkező koncentrációváltozást tekintettük kilugzási sebességnek.

A vizsgált rétegben lejátszódott sómozgás jellemzője tehát — az elmondottak szerint — az a koncentrációkülönbség, mely a talajra került és az azt elhagyó oldat sótartalmában észlelhető. Ez pedig időben (a drénvízterfogat függvényében) folyamatosan változik. Így a kilugzási sebesség a következő:

$$W = - \frac{d \Delta C}{dV} = - \frac{d(C_d - C_0)}{dV} \quad (1),$$

melyben W = a kilugzási sebesség mgé/ml^2 ; V = a drénvíztérfogat ml.

Ha első közelítésben figyelmen kívül hagyjuk az ionadszorpciót, a sóad-szorpciót, stb. hatását a sók mozgására, a kilugzási folyamat kinetikusan elsőrendűnek tekinthető, s így

$$W = - \frac{d \Delta C}{dV} = k \cdot \Delta C \quad (2),$$

ahol k = a kilugzás sebességi állandója (ml^{-1}), adott rendszerben független a koncentrációtól.

A „ k ” sebességi állandó meghatározásához a (2) összefüggést használhatjuk, melynek határozatlan integrálja az alábbi

$$- \lg \Delta C = 0,434 \cdot k \cdot V + \text{konstans.} \quad (3)$$

A (3) egyenlet segítségével lehet azután ellenőrizni azt, hogy a reakció lefolyása megfelel-e a (2) egyenletnek. Ha ui. a $-\lg \Delta C$ értékeket a drénvíztérfogat függvényében (V) ábrázoljuk, elsőrendű folyamat esetén egy egyenest kell kapni. Az egyenes meredeksége arányos a sebességi állandóval, a „konstans” tag pedig a tengelymetszet, mely a kezdeti koncentrációkülönbség (ΔC_0) értékét adja. (Desztillált vizes kilugzáskor a drénvíz első cseppjeinek koncentrációját mutatja). A (3) egyenlet további vizsgálata során kiderült, hogy a „ k ” nem a sómozgást általában kifejező mutató, hanem — az egyenlet választott paraméterei esetén — kizárólag a kilugzás sebességi állandója, mivel csak pozitív ΔC értékek esetén értelmezhető.

A hatótényezők csökkentése és a folyamat tendenciájának könnyebb áttekinthetősége céljából, először a *desztillált vízzel* történő kilugzási folyamat vizsgálatával foglalkozunk. Mindenek előtt kiszámítottuk a kilugzási sebességi állandókat, mind az összes sótartalomra, mind pedig a Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^{2+} és Cl^- ionokra vonatkozóan.

A légszáraz és a 0,6 VK víztartalmú talajok — $\lg \Delta C - V$ diagramjait az 1. ábrán közöljük. Az ábrából kitűnik, hogy a kilugzási folyamat sebességi állandójának változása egyik talajnál sem lineáris, hanem két különböző sebességi állandójú szakaszt lehet megkülönböztetni. A részfolyamatokat reprezentáló egyenesek meredeksége nagyságrendekkel különbözik egymástól. A sókilugzás tehát nem egységes folyamat, hanem egy nagy (k_1) sebességi állandójú *gyors*, és egy *lassú* (k_2) szakaszra bontható. Látható továbbá, hogy

1. a gyors kilugzási szakasz, egy-egy talaj adott nedvességi állapotánál (pl. légszáraz sós csernozjom talaj esetén), közel azonos drénvíztérfogatnál ért véget a különböző ionok esetében, függetlenül azok kezdeti és végső (a szakasz végére jellemző) koncentrációjától.

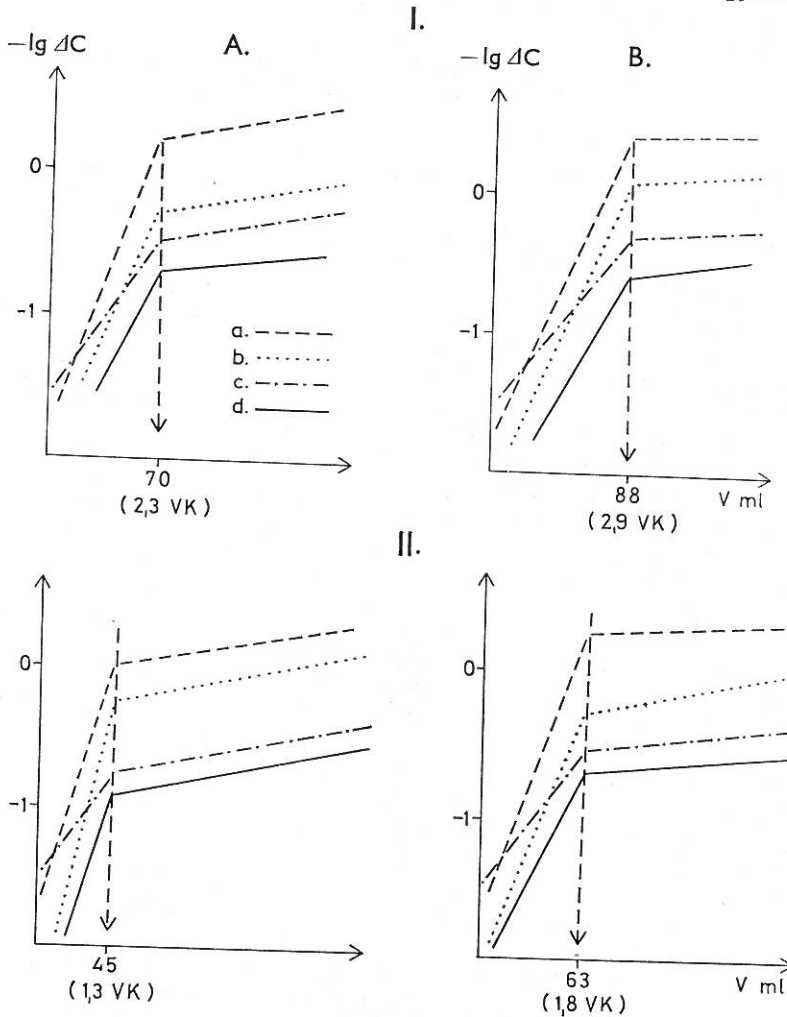
2. Ugyanazon talaj nagyobb kezdeti nedvességtartalma esetén nőtt a gyors szakasz hossza.

3. A kedvezőbb fizikai és kémiai tulajdonságú csernozjom talaj kilúgozásakor a gyors szakasz — mindkét kiindulási nedvességtartalomnál — hosszabb volt, mint az ugyanolyan nedvességi állapotú réti talajé.

Az adatok azt mutatják, hogy szoros kapcsolat van a talajtulajdonságok, a nedvességi állapot és a gyors kilugzási szakasz hossza között. Nyilvánvaló azonban, hogy alapvetően nem a talaj kiindulási nedvességtartalma szabja meg

a gyors sókilúgzási szakasz alakulását, hanem csupán befolyásolja azt. A réti talaj nedvességtartalma ugyanis (mind légszáraz, mind a 0,6 VK-nak megfelelő nedvességnél), nagyobb mint a hasonló nedvességi állapotú csernozjom talajé, s e szerint az előbbi talajnál a gyors sókilúgzási szakasznak hosszabbnak kellene lenni.

A folyamat értelmezéséhez a talajnedvesség *mozgékony és nem mozgékony* (illetve kevésbé mozgékony) formáinak szerepét kell elsősorban figyelembe vennünk. A talajra jutó csapadék, vagy öntözővíz ui. viszonylag gyorsan keveredik a nagyobb pórusokban levő talajoldatrésszel, s az áramló nedvesség a sók egy részét magával viszi. Az újabb oldatrészletek hatására további gyors változá-



I. ábra

Különböző mechanikai összetételű és kezdeti nedvességtartalmú talajok $-\lg \Delta C-V$ diagramjai. I. Sós réti csernozjom. II. Sós réti talaj. A. Légszáraz. B. 0,6 VK nedvességtartalmu. a) Mg^{2+} ; b) Ca^{2+} ; c) Na^+ ; d) összes só. Független tengely: $-\lg \Delta C$

sok mennek végbe. Az erősebben kötött talajnedvességben oldott sók kilugzása pedig úgy történhet, hogy a mozgékony rész koncentrációjának viszonylag gyors csökkenése miatt, a két oldatrészlet között jelentős koncentrációkülönbség jön létre. A koncentrációkülönbség kiegyenlítődése ez esetben főként lassú keveredés, illetve kis sebességű diffúziós folyamatok révén következhet be, ezért erre a részfolyamatra jóval kisebb sebességi állandó (k_2) lesz jellemző. A kiegyenlítődéés után, a következő vízáradással azután ezek a sók is kilugzódhatnak. A két szakasz tehát szoros összefüggésben van a talajnedvesség fenti formáinak arányával. Vizsgálataink szerint a talaj nedvességtartalmának növekedése a sebességi állandók egyértelmű csökkenését okozta. Erre vonatkozóan az 1. táblázatban mutatunk be néhány adatot.

A jelenség feltehetően azzal magyarázható, hogy a nedvességtartalom emelkedésekor növekszik a mozgékony talajoldatrész mennyisége, s ez egyrészt a gyors szakasz végére jellemző drénavízterfogot (V_1) növekedését vonja maga után, másrészt a talajoldat koncentrációja, illetve az oldat és a szilárd fázis közötti egyensúly is módosul a nedvességtartalomtól függően. Ezek összehatásaként a kilugzás sebessége is változik.

A talaj és a víz kölcsönhatásának eredményeként végbemenő ionadszorpció-iondeszorpció és ionkicszerelődés szintén jelentősen befolyásolják a kilugzás sebességét. Az áramló oldatból a talaj által visszatartott *ionmennyiség a k_1 értékeket növeli, a k_2 értéket pedig csökkenti*, így növeli a két részfolyamat sebességi állandója közötti különbséget. A deszorbeálódott ionok hatása éppen ellenkező, vagyis: valamely ionfajta oldatba kerülő mennyisége csökkenti az illető ionra vonatkoztatott k_1 -et, s növeli a k_2 -értéket. Ez a reakció tehát a két részfolyamat sebességi állandója közötti különbség csökkenését vonja maga után. Az említett hatások kifejezettebben jelentkeznek a lassú szakaszban.

A lassú szakasz sebességi állandóját befolyásoló tényezők közül a talaj fizikai állapota, kolloidikai adottságai (pl. a talaj szerkezete, vízjárhatósága, a kolloidok mennyisége, minősége és a kationok összetétele, stb.), valamint a talaj és a víz közötti kémiai-fizikai kölcsönhatások a legfontosabbak.

Adott rendszerben a *gyors sókilugzási szakaszra jellemző k_1 -értékét a kezdeti (ΔC_0), valamint a gyors szakasz végén mérhető koncentrációkülönbségek (ΔC_1) hányadosa határozza meg, azaz*

$$\ln \frac{\Delta C_0}{\Delta C_1} = k_1 \cdot V_1 \tag{4}$$

Ha a koncentrációkülönbség a folyamat kezdetén több ionra nézve azonos, akkor azoknak az alkotórészeknek a k_1 -értékei lesznek nagyobbak, amelyeknek a gyors szakasz végén kisebb a ΔC_1 értékük. Azonos végső ΔC_1 esetén pedig azoknak az ionoknak a sebességi állandója lesz nagyobb, amelyeknél nagyobb a ΔC_0 érték. Az (4) egyenlet a

$$\Delta C_1 = \Delta C_0 \cdot e^{-k_1 \cdot V_1} \tag{5}$$

formában is felírható, s így lehetővé válik, hogy a kezdeti mért koncentráció-

1. táblázat

A sós réti talaj kilugzási sebességi állandói a talaj eredeti nedvességi állapotától függően

(1) Eredeti nedvességi állapot	$k_1 \cdot 10^3$	$k_2 \cdot 10^3$
a) Légszáraz	94,6	4,1
b) 0,6 VK nedvességtartalmú	70,3	3,6

különbségből — k_1 ismeretében — kiszámítsuk a további, tetszőleges drénvíz-térfogatoknál várható ΔC_1 értékeket. (Ennek a gyors sókilugzási szakasznál van elsősorban jelentősége).

A fizikai-kémiából ismert reakció-kinetikai elvek alkalmazása, a fentiek mellett, további gyakorlati következtetésekre ad lehetőséget. A sebességi állandók ismeretében ugyanis meg lehet határozni felezési drénvíz-térfogatokat ($V_{1/2}$).

A $V_{1/2}$ ez esetben azt jelenti, hogy a kezdeti ΔC -érték mennyi drénvíz keletkezése után csökken a felére. Ekkor ui. $\Delta C_1/\Delta C_0 = 1/2$, mely az (5) egyenletbe történő helyettesítés és rendezés után, a reakciókinetikából jól ismert,

$$V_{1/2} = \frac{\ln 2}{k} = \frac{0,693}{k} \quad (6)$$

összefüggést adja. (Nyilvánvaló, hogy a k -értéken, a gyors szakaszban a k_1 -et, a lassú szakaszban a k_2 -t értjük.)

A légszáraz sós réti talaj felezési drénvíz-térfogatait a 2. táblázatban közöljük.

2. táblázat

A vizsgált légszáraz sós réti talajoszlop felezési drénvíz-térfogatai ml-ben, a gyors és a lassú sókilugzási szakaszban

(1) Megnevezés	(2) $V_{1/2}$ ml	
	gyors	lassú
	sókilugzási szakaszban	
a) Összes oldható só	7,33	169,0
Ca ²⁺	6,66	130,8
Na ⁺	12,60	177,7

A táblázatból látható, hogy a lassú sókilugzási szakaszban jóval több víz szükséges, a lényegesen kisebb sókoncentráció azonos mértékű csökkentéséhez. Ez arra utal, hogy a sókimosás (a sók természetes kilugzódása) hatásosan csak a gyors szakaszban játszódhat le. Ez összhangban van azzal a gyakorlati tapasztalattal, hogy a könnyebb mechanikai összetételű talajok kimosása — melyeknél a gyors szakasz dominál — kedvező körülmények között gyorsan és eredményesen megoldható.

A vizsgált talajokon mért kilugzási sebességeket a 2—4. ábrák mutatják.

Az ábrák könnyebb kezelhetősége miatt, nem a tulajdonképpeni W -értékeket, hanem azok 1000-szeresét tüntettük fel, mind a gyors, mind a lassú szakaszban.

Megemlítjük, hogy a W -értékek nemcsak azt fejezik ki, hogy milyen gyorsan lugzódik ki a talaj sótartalma, hanem a kilugzott sómennyiséggel is arányosak. A sebességfüggvények (2—4. ábrák) görbe alatti területe ugyanis (pl. a gyors szakasz végét jelző V_1 drénvíz-térfogatig) az

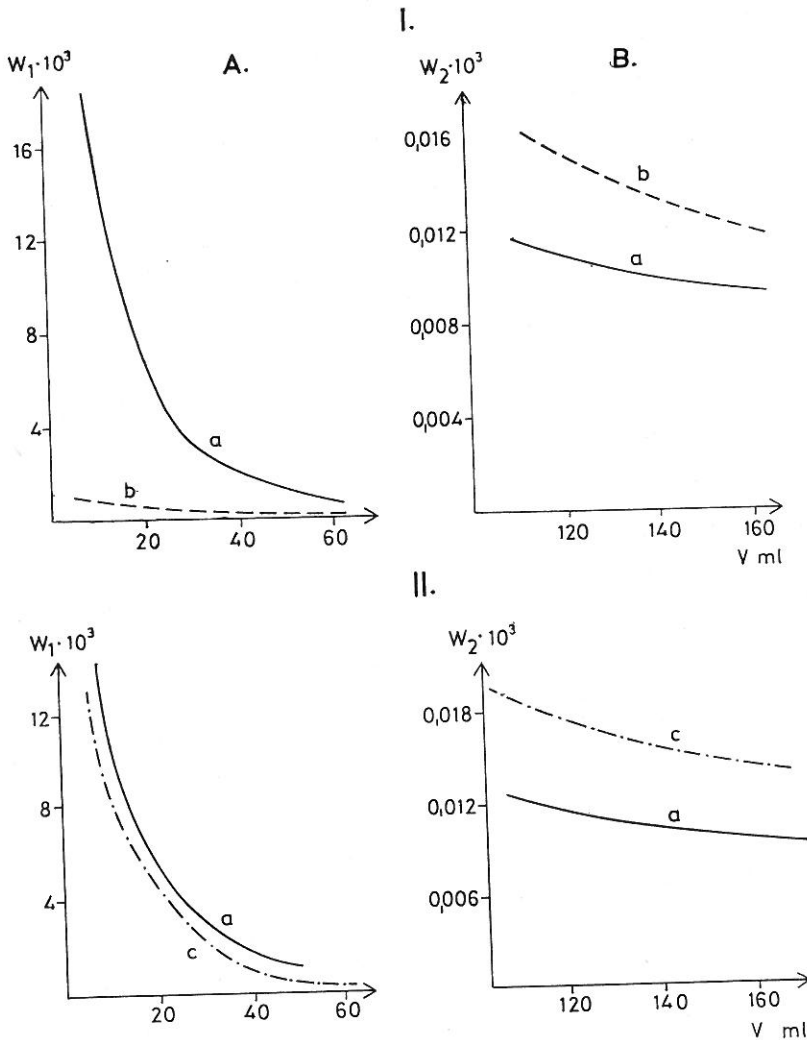
$$\int_0^{V_1} f(W) dV$$

kifejezéssel írható le, mely a mozgékony talajoldat-részből kilugzott sómennyiséget adja. Ebből következik, hogy azonos drénvíz-térfogathoz tartozó nagyobb W -érték, több kilugzott sót is jelent.

A kis sótartalmú légszáraz csernozjom és a sós csernozjom talaj kilugzási sebességeit tanulmányozva (2. ábra, I.) látható, hogy a sós talajnál a kezdeti kilugzási sebességek lényegesen nagyobbak, mint az eredeti csernozjom talajnál (A. ábrarész). Ez különösen a gyors szakasz kezdetén szembetűnő. A kilugzási sebességek a lassú szakaszban is eltérőek, ekkor viszont a nem sós

talaj kilúgzási sebessége lett nagyobb. Ennek okát — a sebességi állandók értékét befolyásoló tényezőket figyelembe véve — abban kereshetjük, hogy a sós talaj több kicserélhető Na-ot tartalmazott, mint az eredeti. Ez pedig a porozitásviszonyokat kedvezőtlenül befolyásolta, mely kihat a talajoldat mozgékonyására, illetve a talaj és a víz közötti kölcsönhatást is módosítja.

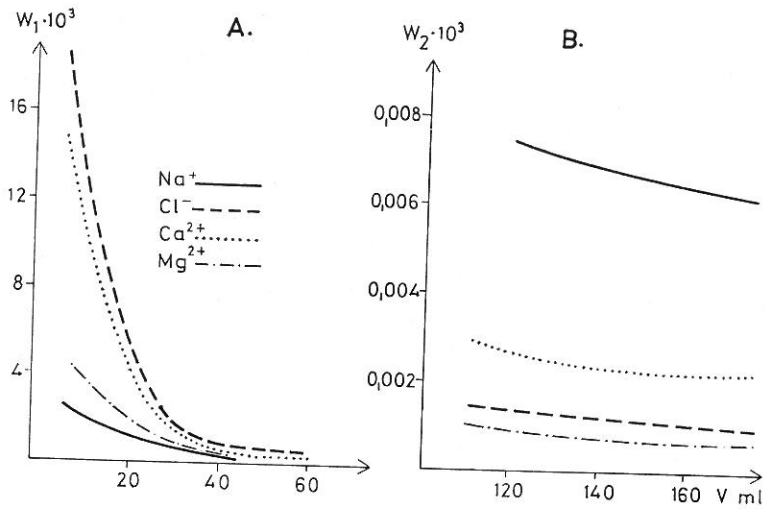
Ha a hasonló sótartalmú, de fizikai, illetve kolloidikai szempontból jelentősen különböző csernozjom és réti talaj kilúgzási sebességeit hasonlítjuk össze (2. ábra, II.), szembetűnik, hogy a gyors szakaszban a sós csernozjom, a



2. ábra

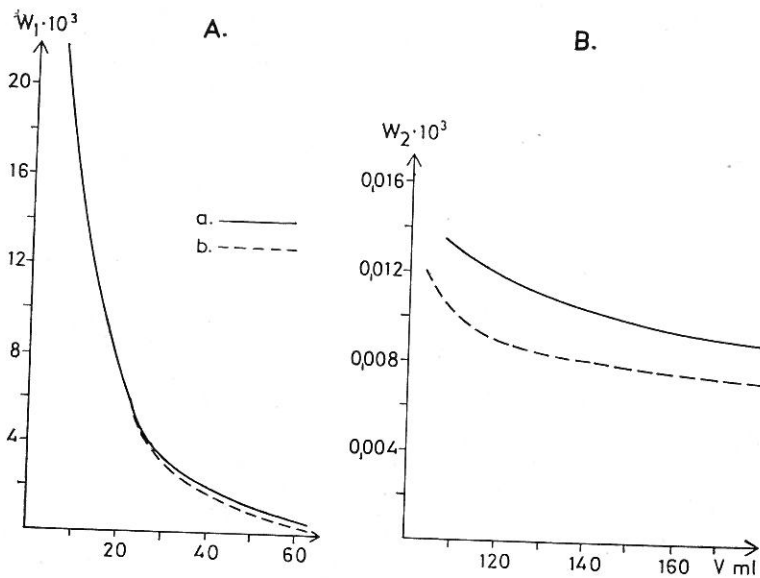
A sós és az eredeti légszáraz csernozjom (I) ill. a sós csernozjom és sós réti talaj (II) sótartalmának kilúgzási sebességei. A. Gyors szakasz. B. Lassú szakasz. a) sós csernozjom; b) eredeti csernozjom; c) sós réti talaj

lassú szakaszban a réti talaj kilúgzási sebessége volt nagyobb. A talaj nagyobb agyagtartalma tehát a lassú szakaszban kilúgzódó sók mennyiségét növelte, a gyors szakaszban kimosott sókét pedig csökkentette.



3. ábra

Különböző ionok kilúgzási sebességei sós csernozjom talaj esetén a gyors (A) és a lassú (B) szakaszban



4. ábra

Kis sótartalmú nem szikes öntözővíz és desztillált víz hatása a kilúgzási sebességre. A. A gyors, ill. B. a lassú szakaszra vonatkoztatva. a) desztillált víz; b) jó öntözővíz

A különböző ionok kilugzási sebességei (3. ábra) is eltértek a gyors és a lassú szakaszban. A sós csernozjom talajnál a gyors szakaszban a Cl^- - és a Ca^{2+} -ionok kilugzási sebessége volt a legnagyobb, a legkisebb pedig a Na^+ -ioné. A lassú szakaszban ezzel szemben a Na-ion kilugzási sebessége megnőtt, és a Mg-kilugzás volt a legkisebb mértékű. Utóbbi a vizsgált csernozjom talaj erőteljes magnéziumadszorpciójára vezethető vissza, mely ez esetben a Na-ionok deszorpciójával járt együtt. Ezt a feltételezést az ilyen célból végzett egyéb vizsgálataink is igazolták.

A 4. ábrán egy kis sótartalmú (sótartalom = 5 mgeé/l) nem szikes (Na% = 30) öntözővíz kilugzó hatását hasonlítjuk össze a deszt. vizes kilugzással, csernozjom talajnál. Szembetűnő, hogy a gyors szakaszban, különösen kezdetben, közel azonos volt a sók kilugzási sebessége, a lassú szakaszban viszont a deszt. vízé következetesen nagyobb.

További munkánkban a különböző sókoncentrációjú és nátriumtartalmú öntözővizek hatását kívánjuk vizsgálni.

Összefoglalás

A sókilugzás sebességét tanulmányoztuk különböző mechanikai összetételű, eltérő só- és nedvességtartalmú talajokon. Definiáltuk és mértük a kilugzási sebességi állandókat és a *kilugzási sebességeket*, a

$$W = - \frac{d \Delta C}{dV} = k \cdot \Delta C$$

egyenletből kiindulva; ahol W = a kilugzási sebesség, mgeé/ml²; ΔC = a talajoszlopba jutó öntözővíz (C_0) és a drénvíz (C_d) koncentrációja közötti különbség, mgeé/ml; V = drénvíztérfogat, ml; k = a sebességi állandó, ml⁻¹. A „ k ”-értékeket a (3) egyenletnek megfelelő $-\lg \Delta C - V$ egyenesek meredeksége adja.

Megállapítottuk, hogy a sókilugzás folyamata egy *lassú* és egy *gyors szakaszra bontható*. Ennek értelmezéséhez a talajnedvesség mozgékony és nem, vagy kevésbé mozgékony formáinak szerepét kell elsősorban figyelembe venni. A gyors szakaszra jóval nagyobb mértékű sómozgás jellemző, mert a talajra jutó víz a talajoldat mozgékony részével viszonylag könnyen és gyorsan keveredik. E szakasz nagyságát (az intenzív kilugzás lehetőségeit) főként a talaj fizikai és vízgazdálkodási tulajdonságai, a talaj sótartalma, s kisebb mértékben az eredeti nedvességtartalom befolyásolja. A lassú szakasz sebességi állandója pedig elsősorban a talaj fizikai és kolloidikai sajátságaitól, valamint a talaj és a víz közötti kémiai-fizikai kölcsönhatásoktól függ.

Irodalom

- [1] BALBA, A. M.: A sófelhalmozás és kilugzás folyamatainak tanulmányozása modell-kísérletekben. *Agrokémia és Talajtan*. **13**. 25-38. 1964.
- [2] BRESLER, E.: A model for tracing salt distribution in the soil profile and estimating the efficient combination of water quality and quantity under varying field conditions. *Soil Sci.* **104**. 227-233. 1967.
- [3] DARAB, K.: Hazai öntözött talajok sómérlege és sóforgalma. *Agrokémia és Talajtan*. **10**. 305-314. 1961.
- [4] DAY, P. R. & FORSYTHE, W. M.: Hydrodynamic dispersion of solutes in the soil moisture stream. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* **21**. 477-480. 1957.

- [5] DAYER, L. K.: Unsaturated flow phenomena in Panoche sandy clay loam as indicated by leaching of chloride and nitrate ions. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* **29**. 121–126. 1965.
- [6] FILEP, Gy.: Tiszántúli öntözött talajok kémiai tulajdonságainak változása különböző minőségű öntözővizek hatására. *Agrokémia és Talajtan.* **19**. 213–230. 1970.
- [7] FILEP, Gy.: Egyszerűsített modell a talaj oldható sói kilúgzódásának és felhalmozódásának közelítő számítására. *Agrokémia és Talajtan.* **21**. 99–114. 1972.
- [8] KELLER, J. & ALFARO, J. F.: Effect of water application rate on leaching. *Soil Sci.* **102**. 107–114. 1966.
- [9] KOVDA, V. A.: *Proizhozdenie i rezsim zasolennüh pocsv. I. – II.* Izd. AN SSSR. Moszkva. 1946–1947.
- [10] MINASHINA, N. G.: Kriticeszkij szolevoj rezsim orosaemüh pocsv i drenazs gruntovüh vod v zone vzdelivanija hlopka. *Pocsvovedenie (1)* 104–113. 1970.
- [11] NIELSEN, D. R. & BIGGAR, J. W.: Miscible displacement. III. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* **26**. 216–221. 1962.
- [12] RICHARDS, L. A.: *Diagnosis and improvement of saline and alkali soils.* USDA Handbook No. 60. Washington. 1954.
- [13] THORNE, D. V. & THORNE, J. P.: Changes in composition of irrigated soils as related to the quality of irrigation waters. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* **18**. 92–97. 1954.
- [14] VAN DER MOLEN, W. H.: Desalinization of saline soils as a column process. *Soil Sci.* **81**. 19–27. 1956.
- [15] VÁRALLYAY, Gy.: A Duna–Tisza közti talajok sómérlegei. I. Sómérlegek természetes (öntözés nélküli) viszonyok között. *Agrokémia és Talajtan.* **15**. 423–453. 1966.
- [16] VÁRALLYAY, Gy.: A Duna–Tisza közti talajok sómérlegei. II. Sómérlegek öntözött viszonyok között. *Agrokémia és Talajtan.* **16**. 27–56. 1967.

Érkezett: 1976. január 19.

Studies on the Mechanism of the Leaching of Salts in Soil Columns

I. Interpretation and Characterization of Leaching Velocity in Soils Leached with Distilled Water

G. FILEP and A. KUN

University of the Agrarian Sciences, Debrecen and National Institute for Agricultural Quality Testing, Mezőtúr (Hungary)

Summary

The velocity of the leaching of salts was studied in soils different in their texture as well as in their salt- and moisture contents. The velocity constants of the leaching process and *leaching velocities* were defined and measured, using the following equation:

$$W = - \frac{d\Delta C}{dV} = k \cdot \Delta C$$

where W = leaching velocity, me/ml²; ΔC = difference between the concentration of the leaching water (C_0) and that of the effluent (C_d), me/ml; V = volume of effluent, ml; k = velocity constant, ml⁻¹. The "k" values are determined by the gradient of the $-\lg \Delta C - V$ curves corresponding to equation (3).

It was established that the leaching process consists of a slow phase and a rapid phase. In order to interpret this, first of all the mobile and non, or hardly mobile forms of soil moisture must be taken into consideration. The rapid phase is characterized by a much more intensive salt movement because the applied leaching water mixes relatively easily and quickly with the mobile part of the soil solution. The extent of this phase (that is, the possibilities of intensive leaching) is influenced mainly by the physical- and water regime properties and the salt content of the soil, as well as by — though to a lesser degree — the initial soil moisture content.

The velocity constant of the slow phase depends, first of all, on the physical and colloidal properties of the soil, as well as on the chemical-physical interaction between soil and leaching water.

Table 1. Velocity constants of leaching as influenced by the initial soil moisture content in a saline meadow soil. (1) Initial moisture content: a) air-dry; b) 0.6 of water capacity.

Table 2. Half-volumes (ml) of the effluents in the rapid and slow leaching phases in a column of air-dry, saline meadow soil. (1) Denomination. (2) Half-volumes of the effluents in the rapid leaching phase and in the slow one. a) Total soluble salts.

Fig. 1. $-\lg \Delta C - V$ diagrams of soils of different texture and initial moisture contents. I. Saline meadow chernozem soil. II. Saline meadow soil. A) Air-dry. B) Moisture content: 0.6 of water capacity. a) Mg^{2+} ; b) Ca^{2+} ; c) Na^+ ; d) total salt content.

Fig. 2. Velocity of leaching in air-dry saline and original chernozems (I) and in saline chernozem and saline meadow soil (II). A. Rapid phase. B. Slow phase. a) saline chernozem b) original chernozem; c) saline meadow soil.

Fig. 3. Leaching velocities of various ions in the rapid (A) and slow (B) leaching phases in the saline chernozem.

Fig. 4. Leaching velocity as influenced by nonsaline irrigation water of low salt content and by distilled water. Relating to the rapid (A) and slow (B) leaching phases. a) distilled water; b) irrigation water of good quality.

Untersuchung des Mechanismus des Salzauslaugens in Bodensäulen

I. Charakterisierung und Deutung der Auslaugungsgeschwindigkeit in mit destilliertem Wasser behandelten Böden

GY. FILEP und A. KUN

Agrarwissenschaftliche Universität, Debrecen und Landesinstitut für Landwirtschaftliche Qualitätsprüfung, Mezőtúr (Ungarn)

Zusammenfassung

Es wurde die Salzauslaugungsgeschwindigkeit auf Böden von verschiedener mechanischer Zusammensetzung und mit mannigfaltigem Salz- und Feuchtigkeitsgehalt untersucht. Die Auslaugungsgeschwindigkeitskonstanten und die Auslaugungsgeschwindigkeiten wurden nach der Gleichung

$$W = - \frac{d\Delta C}{dV} = k \cdot \Delta C$$

definiert und gemessen; wobei W = die Auslaugungsgeschwindigkeit, $mval/ml^2$; ΔC = der Unterschied zwischen der Salzkonzentration des Auslaugungswassers (C_0) und des Drainwassers (C_d) der einzelnen Bodensäulen, $mval/ml$; V = Drainwasservolumen, ml ; k = Geschwindigkeitskonstante, ml^{-1} ist. Die "k"-Werte ergeben sich aus dem Anstieg der $-\lg \Delta C - V$ - Geraden.

Es wurde festgestellt, dass der Salzauslaugungsprozess aus einer langsamen und einer schnellen Phase besteht. Bei seiner Deutung muss die Rolle der beweglichen und un-, bzw. weniger beweglichen Formen der Bodenfeuchtigkeit vor allem betrachtet werden. Die schnelle Phase wird durch eine bedeutend stärkere Salzbewegung charakterisiert, weil sich das dem Boden zugeführte Wasser mit dem beweglichen Teil der Bodenlösung verhältnismässig leicht und schnell vermischt. Die Dauer dieser Phase (die Möglichkeiten der intensiven Auslaugung) wird hauptsächlich durch die physikalischen Eigenschaften, durch den Wasserhaushalt und den Salzgehalt des Bodens, und in geringerem Masse durch den ursprünglichen Feuchtigkeitsgehalt beeinflusst. Die Geschwindigkeitskonstante der langsamen Phase hängt in erster Linie von den zwischen Boden und Wasser zustande gekommenen chemischen und physikalischen Wechselwirkungen ab.

Abb. 1. $-\lg \Delta C - V$ Diagramme von Böden von unterschiedlicher Körnung und ursprünglichem Feuchtigkeitsgehalt. I. Salzhaltiger Wiesen-Tschernosem. II. Salzhaltiger Wiesenboden. A) Lufttrocken. B) mit einem Feuchtigkeitsgehalt von 0,6 WK. a) Mg^{2+} ; b) Ca^{2+} ; c) Na^+ ; d) gesamter Salzgehalt.

Abb. 2. Auslaugungsgeschwindigkeiten des Salzgehaltes von salzhaltigem und von ursprünglich lufttrockenem Tschernosem (I), bzw. von salzhaltigem Tschernosem

und salzhaltigem Wiesenboden (II). A) Schnelle Phase. B) Langsame Phase. a) salzhaltiger Tschernosem; b) ursprünglicher Tschernosem; c) salzhaltiger Wiesenboden.

Abb. 3. Auslaugungsgeschwindigkeiten verschiedener Ionen bei einem salzhaltigen Tschernozemboden in der schnellen (A) und der langsamen (B) Phase.

Abb. 4. Wirkung von alkalischem Bewässerungswasser mit geringem Salzgehalt und von destilliertem Wasser auf die Auslaugungsgeschwindigkeit. A) auf die schnelle, B) auf die langsame Phase. a) destilliertes Wasser; b) Bewässerungswasser von guter Qualität.

Изучение механизма выщелачивания солей в почвенных колонках

ДЬ. ФИЛЕП и А. КУН

Аграрный Университет, Дебрецен и Государственный Институт по контролю за качеством почв и сельскохозяйственных продуктов, Мезётур (Венгрия)

Резюме

Изучали скорость вымывания солей из почв различного механического состава, с различным содержанием солей и с различной влажностью. Определили и измерили постоянные скорости и скорость выщелачивания солей по уравнению:

$$W = - \frac{d \Delta C}{dV} = k \cdot \Delta C$$

где: W = скорость выщелачивания в мг.экв/мл²; ΔC = разница между концентрациями раствора для промывания (C_0) и дренажного раствора (C_d) в мг.экв/мл; V = объем дренажного раствора, в мл; k = постоянная скорости мл⁻¹. Величины k дает наклон прямых $-\lg \Delta C - V$ согласно уравнению (3).

Установили, что процесс выщелачивания разделяется на два периода — период *медленного* выщелачивания и период *быстрого* выщелачивания. При их анализе необходимо, в первую очередь, принимать во внимание роль подвижных, неподвижных или малоподвижных форм почвенной влаги. Для периода быстрого выщелачивания характерно более интенсивное передвижение солей, так как попадающая в почву вода быстро и легко смешивается с подвижной частью почвенного раствора. Интенсивность выщелачивания солей в этом периоде зависит, в основном, от физических и водных свойств почвы, от содержания в почве солей и в меньшей мере от содержания естественной влажности. Постоянные скорости в периоде медленного выщелачивания зависят, в первую очередь, от физических и коллоидных свойств, почвы, а также от физико-химической взаимосвязи между почвой и водою.

Табл. 1. Постоянные скорости выщелачивания засоленной луговой почвы в зависимости от содержания естественной влажности. (1) Содержание естественной влажности. а) воздушно сухая почва. б) влажность почвы составляет 0,6 от ее влагоемкости.

Табл. 2. Объем дренажных вод в мл полученных из воздушно сухой засоленной луговой почвы в периоды быстрого и медленного выщелачивания. (1) Название. (2) Объемы дренажной воды в периоды быстрого и медленного выщелачивания, а) Общее содержание воднорастворимых солей.

Рис. 1. Диаграммы $-\lg C - V$ почв различного механического состава и различной исходной влажности. I. Засоленный луговой чернозем. II. Засоленная луговая почва. А. Воздушно-сухая. В. 0,6 от влагоемкости. а) Mg^{2+} ; б) Ca^{2+} ; в) Na^+ ; д) Общее содержание солей.

Рис. 2. Скорость выщелачивания солей из засоленного и исходного воздушно сухого лугового чернозема (I) и засоленной луговой почвы (II). А) Период быстрого выщелачивания. В) Период медленного выщелачивания. а) засоленный чернозем. б) исходный чернозем. с) засоленная луговая почва.

Рис. 3. Скорости выщелачивания различных ионов из засоленного чернозема в периоды быстрого (А) и медленного (В) выщелачивания.

Рис. 4. Влияние поливной воды с небольшим содержанием солей и дистиллированной воды на скорость выщелачивания. А) Быстрый период выщелачивания. В) медленный период выщелачивания. а) дистиллированная вода. б) поливная вода хорошего качества.