

Kálium-migráció vizsgálata káliföldpáttal kezelt gyökérközegben

PÁRTAY GÉZA, RAJKAINÉ VÉGH KRISZTINA és LUKÁCS ANDRÁS

MTA Talajtani és Agrokémiai Kutatóintézet, Budapest

A talajban a K-felvehetőséget elsősorban a talaj ásványösszetétele, a talaj ásványainak mállási foka, a szilárd fázisból a talajoldatba történő oldódás és a kinetikai jellemzők határozzák meg. A nem K-trágyázott talaj K-állapota nemcsak az anyaközet minőségétől függ, hanem mállásának egymást követő szakaszaiban a különböző mállási termékek hatására változik (PÁRTAY, 1971).

A talaj ásványi K-forrásai a csillámok és a földpátok. A homok- és iszapfrakciók 5–25%-ban, az agyag max. 5%-ban tartalmaz földpátokat. A földpátok K-leadása jóval lassúbb, mint a csillámoké (SZENDREI, 1994).

A csillámok és földpátok mállása során – K felszabadulása mellett – másodlagos ásványok jönnek létre (SPARKS & HUANG, 1985; SPARKS, 1987). Ezek megköthetik a növények számára felvehető K-mennyiség egy részét és ez az ún. nem kicserélhető K-készlet (NKK) növekedéséhez vezet. A rétegek közötti kálium leadása a kristályszerkezet összeomlásához vezethet. Az egyes K-formák jelentősége a talaj ásványi összetételének függvénye. Az NKK főleg az agyagásványokban (illit, klorit, ásványtársulásukban szmektit, vermikulit) kötött. Egyensúlyban van az agyag és szerves kolloidok negatív töltésű helyein adszorbeálódott kicserélhető káliummal (KK). CSILLAG és munkatársai (2005) a gyökérkörnyezetben is tapasztalható pH-csökkenés hatására jelentős K-koncentráció növekedést mutattak ki talaj-földpát keverékek folyadékfázisában. A gyökérkörnyezetben a növény nemcsak a talajoldatban oldott és az oda a KK-készletből gyorsan pótlódó káliumot veszi fel, hanem mobilizálja az NKK egy részét (VÉGH & FÜLEKY, 2004), sőt, a talaj ásványainak mállását elősegítve, azok K-tartalmát is (HINSINGER, 1998; SRINIVASA RAO et al., 2000). A növényi K-kivonás hatására az elsődleges ásványokból feltáródó, talajban maradó kálium a talaj NKK-, ill. KK-frakcióit gazdagítja.

Célunk a talaj–növény rendszerben természetes ásványból származó kálium forgalmának tanulmányozása volt, elsősorban az ásványi összetételre gyakorolt hatások szempontjából. Megvizsgáltuk a bányatermék ortoklász (KAlSi_3O_8) őrlemény hatását a talajra, a gyökérzetre és a növény K-felvételére, a K-forgalomra és az agyagásványokra. Feltételezésünk szerint: 1. a gyökértevékenység elősegíti a K-földpát feltáródását, 2. a nagymennyiségű K-bevitel kimutatható hatást gyakorol a

K-oldódásra, ill. megkötődésre, 3. az ortoklász bányatermékkel a rendszerbe bevitt ásványok sorsa követhető a gyökérközegben és a K-forgalomra gyakorolt hatásuk kimutatható.

Dolgozatunkban elsősorban a kálium feltételezett migrációjának a talajásványokra gyakorolt hatásával foglalkozunk, amit röntgendiffraktométeres vizsgálatokkal tanulmányoztunk. Az elektronmikroszkópos vizsgálatokkal – különböző módszerekkel és eszközökkel – e migrációt befolyásoló topográfiai vonatkozást ismertetjük.

Anyag és módszer

A barna erdőtalaj (Somogyárd) 10–20 cm közötti szántott rétegéből vett minta röntgendiffrakciós vizsgálatával mintegy 30% kevert rácsszerkezetű agyagásványt

1. táblázat

A kísérleti talaj főbb kémiai és fizikai tulajdonságai

pH		H, %	T-érték cmol·kg ⁻¹	KK	NKK	Tfs g·cm ⁻³	< 0,02	< 0,002
H ₂ O	KCl			mg·kg ⁻¹			mm (tömeg %)	
6,1	5,3	1,5	7,2	70,5	684,7	1,56	21,0	9,5

Megjegyzés: H: humusztartalom; T-érték: kationcserélő kapacitás; KK: kicserélhető K-tartalom; NKK: nem kicserélhető káliumtartalom; Tfs: térfogattömeg; <0,02: iszapfrakció + agyagfrakció; <0,002: agyagfrakció

mutattunk ki. Feltételezve, hogy a kevert rácsszerkezet alkalmas arra, hogy az ortoklászából kiváló nagy mennyiségű szabad káliumion a rácsszerkezet hibahelyein megkötődjék, a talajt tovább tanulmányoztuk rizomonolit-kísérlet keretében.

A talaj alapvizsgálati adatait az 1. táblázat tartalmazza.

A kálium ionrádiusza, ionpotenciálja, magas koncentrációja valószínűvé tette kötődését az ásványok hibahelyeihez. *Káliumforrásként* ortoklász-tartalmú, előzetesen golyósmalomban örölt, <100 µm szemcseátmérőjű, norvég eredetű kálföldpátot használtunk. (Jelzése: NORFLUX 100, NORTH CAPE POTASSIUM FELDSPAR, katalógus száma: EN 6354). A minta ortoklász és albit 80–20%-os keveréke.

A rizomonolit kísérletekhez 15×15×35 cm nagyságú, átlátszó plexi oszlopokat – rizomonolitokat – készítettünk. A rizomonolitok oldalaira 1 cm-es négyzethálót rajzoltunk a gyökérsűrűség meghatározása céljából. Az oszlopokba a talphoz kivezetőcsövet helyeztünk az esetleg pangó víz elvezetésére. A gyökérközeget fóliatakarással óvtuk a fénytől. Az oszlopot a talpától számított 15 cm magasságig mosott kvarchomokkal (gyártó: REANAL) töltöttük meg. Erre műanyag szitaszövetet helyeztünk a talajmigráció gátlására. A következő réteg a vizsgálandó 4 kg tömegű légszáraz, 0%, 25% és 50% földpátot tartalmazó talaj:földpát keverék volt (2. táblázat), amelybe a növény megfelelő P-ellátottságának biztosítása érdekében szuperfoszfát-műtrágyát kevertünk 500 mg P/kg talaj:földpát keverék arányban. A talaj-földpát keverék felszínére 6 cm magasságban kvarchomokot rétegeztünk. A

2. táblázat
A rizomonolit-kísérlet kezelései és jelzésük

(1) Földpát %	(2) Növény nélkül	(3) Növénnyel		
		A-sorozat	B-sorozat	C-sorozat
0	1	1N	4N	7N
25	2	2N	5N	8N
50	3	3N	6N	9N

növényes sorozatokban az oszlopokba 5 szem kukoricamagot (MARATON, MARTONVÁSÁR) vetettünk, majd kelés után 3 növényre egyeltünk.

A gyökérközeg nedvességtartalma alapvetően befolyásolja a növény K-felvételét meghatározó folyamatokat: a növény növekedési sebességétől függő K-igényét (KANT et al., 2005), a gyökérzet növekedését és a talajban a gyökérfelületre irányuló diffúzív K-transzport sebességét (VÉGH & FÜLEKY, 2004). A kukorica vízfogyasztása a kísérlet során a tenyészidő átlagában növényenként kb.70 g/nap volt. A megfelelő vízellátottság érdekében a növényes oszlopokat naponta ioncserélt vízzel öntöttük, a növény nélkülieket pedig szükség szerint úgy, hogy a nedvességtartalom lehetőség szerint a növényes rizomonolitok talajának nedvességértékeit közelítse. A talajnedvesség-értékek napi menetét a rizomonolitok talajába épített TDR-szondákkal ellenőriztük.

Hetenként, összesen 4 alkalommal, 105 mg nitrogént tartalmazó NH_4NO_3 - oldatot adtunk az oszlopokhoz. A további tápanyag-utánpótlás K-mentes makro- és mikroelem-tartalmú tápoldat („Long Ashton formula”) (SUTCLIFFE & DENNIS, 1981) adagolásával történt.

A tesztnövényeket virágzásig neveltük, majd az oszlopból eltávolítottuk, a hajtás és gyökérzet száraz tömegét és K-tartalmát meghatároztuk. Az A- és C-sorozat oszlopaiból külön választva mintáztuk a talaj alsó és felső rétegét, valamint az alsó homokágyat, továbbá vizes, ill. ammónium-acetátos kivonatok K-tartalmát ICP-spektrometriás módszerrel meghatároztuk.

A növényes oszlopokban a kísérletet háromszor lefolytattuk (2. táblázat A-, B-, C-sorozat). Az A-sorozat után a rizomonolitok különböző rétegeit eltávolítottuk, mintáztuk, majd a kísérletet új bekeveréssel, újra beállítottuk (B-sorozat). A B-sorozat után a növényeket a rizomonolitból eltávolítottuk és a B-sorozat gyökérközegébe P-trágyázást követően új magot vettünk (C-sorozat). Ily módon ugyanabban a gyökérközegben két kukoricamagot neveltünk fel annak érdekében, hogy a növény K-kivonása a gyökérközeg K-tartalmát minél nagyobb mértékben kimerítse. A növény nélküli sorozat bolygatatlanul maradt a kísérlet végéig.

Az ásványi történések vizsgálatára pásztázó elektronmikroszkópos (PEM) (PÁRTAY, 1993), transzmissziós elektron mikroszkópos (TEM) (DÓDONY, 1993) és röntgendiffrakciós (Rtg) (KÁLMÁN, 1993) módszert alkalmaztunk. A PEM-, TEM-felvételek értékelésével azokat a topográfiai állapotokat mutattuk be, melyek előse-

gíthetik a különböző rendezettségű ásványtársulások létrejöttét. A röntgenvizsgálatokat pedig a közberétegződések variációinak azonosítása céljából végeztük.

Eredmények és értékelés

A földpátkeverék jellemzői

A kimosódás jelenségének tisztázására a földpátból a Fritsch-féle malom achát mozsarában 10, 30, 45 és 60 perces őrlménynt készítettünk. A mechanikai elemzés (3. táblázat) kimutatta, hogy már az eredeti keverék szemcseátmérője 60 mikro-

3. táblázat
A földpátkeverék szemcseösszetétele (%)

(1) Minta	(2) Szemcseméret, mm						
	> 0,25	0,25– 0,05	0,05– 0,02	0,02– 0,01	0,01– 0,005	0,005– 0,002	<0,002
a) Eredeti	0,09	13,65	41,58	21,54	11,94	7,84	3,36
b) Őrölt	0,09	14,19	37,77	21,20	12,63	8,45	5,67

4. táblázat
A barna erdőtalaj- és a 30 (a), ill. 60 (b) percig őrölt földpátminták elemtartalma (mg·kg⁻¹)

(1) Elem	(2) Vizes kivonat			(5) 2 mol/L HNO ₃ kivonat		
	(3) Talaj	(4) Földpát		(3) Talaj	(4) Földpát	
		a	b		a	b
Ca	70,55	2,07	2,93	1785,4	194,92	196,37
K	14,65	106,01	109,33	580,8	1073	1136
Mg	14,13	0,47	0,62	1179,6	30,89	29,91
Na	17,92	66,45	66,23	54,84	330,8	331,2
Si	10,61	13,99	21,22	1463	564,6	509

méter alatti érték, továbbá azt, hogy az őrlés a szemcseméretben jelentős változást nem okozott.

Az őrlmények elemtartalmát 1:5 arányú vizes kivonatban és 2 mol/l-es salétromsavas kivonatban ICP spektrometriás módszerrel határoztuk meg (BUZÁS et al., 1998) (4. táblázat).

A káliföldpát vizes kivonatában a K-tartalom közel azonos volt 30 és 60 perces őrlés után, így az őrlés időigénye felére volt csökkenthető. A kísérletünk eredményeit leginkább befolyásoló öt elem a Ca, K, Mg, Na, Si. Mennyiségi sorrendjük a vizes kivonatban:

Talaj esetében: Si < K = Mg < Na < Ca;

Földpát esetén: Mg < Ca < Si < Na < K, 30 és 60 perces őrlés után egyaránt.

FREDERICKSON (1951) szerint a szilikátok mállásakor azok Na-, ill. K-tartalma oldatba megy. Mállásakor a káliföldpát azért mutatkozik ellenállóbbnak, mint a plagioklász, mert a földpátokban a kálium koordinációs száma (10) nagyobb, mint a nátriumé és a kalciumé (6). Így a káliföldpát a felszíni csekély hőmérsékletnek megfelelőbb energia-állapotban van. A vízben oldott kálium erős diszperzióját arra lehet visszavezetni, hogy a Na, K, Mg, Ca sorozatból a káliumnak legkisebb a vízhez mért ionrádiusza, így a legkönnyebben jut be a kristályrácsba.

A rizomonolit-kísérlet eredményei

A káliföldpát-kezelés nem volt hatással sem a kukoricahajtás szárazanyag-hozamára, sem a gyökértömegre. Jelentősen befolyásolta viszont a tesztnövény K-

5. táblázat

Növény által kivont kálium, a talaj vizes kivonatban mért (H₂O-K) és kicserélhető (KK) káliumtartalma a kísérlet végén (mg·kg⁻¹ talaj–földpát keverék)

(1) Kezelés	(2) Növény által kivont K	(3) Talaj K-tartalma		(6) Kezelés és talaj- szint	(3) Talaj K-tartalma	
		(4) vizes kivonatban mért	(5) kicserél- hető		(4) vizes kivonatban mért	(5) kicserél- hető
1N	76,2	12,5	49,8	1 – felső	12,0	68,9
2N	207,8	16,3	48,4	1 – alsó	17,3	66,7
3N	99,5	19,0	74,9	2 – felső	43,2	105,2
4N+7N	103,2	5,2	42,4	2 – alsó	31,0	119,3
5N+8N	136,7	5,2	31,2	3 – felső	57,5	158,0
6N+9N	201,8	8,5	52,5	3 – alsó	48,2	171,5

Megjegyzés: a kezeléseket lásd a 2. táblázatban

felvételét (5. táblázat) és a gyökérzet hossznövekedését. A káliföldpát-kezelt talajokban a gyökérsűrűség sokkal kisebb volt, mint a kezeletlen talajban; az 1N-, 2N- és 3N-kezelésben 453, 280 és 200 cm/cm² (A-sorozat, 8-hetes növények adatai). Tehát a nagymennyiségű földpát hozzáadása a talajhoz a gyökér hossznövekedését gátló gyökérkönyezet kialakulásához vezetett. Ez a fizikai környezet romlását is jelentheti: a földpátkezelésekben a közeg tömődöttebb volt, ugyanakkor lelassult az öntözővíz beszivárgása és jelentősen csökkent a vízvezető képesség és levegőzés. LUKÁCS és munkatársai (2005) a tesztnövények szöveteiben a gázfázis összetételét vizsgálták és a O₂:CO₂ arány nagymértékű változását mutatták ki, ami egyértelműen jelzi az 50% földpátkezelés kedvezőtlen hatását.

A tesztnövények (hajtás+gyökérzet) által a talajból összesen kivont kálium mennyiségét, valamint a kísérletek végén mintázott talaj–földpát keverékek vizes kivonatban mért és kicserélhető K-tartalmát az 5. táblázatban mutatjuk be. A kicserélhető K-tartalmat az ammónium-acetát kivonható kálium (RÉDLYNÉ, 1998) és a vizes kivonatban mért kálium különbségeként határoztuk meg. A növényes oszlo-

pok gyökérközegéből ehhez a vizsgálathoz átlagmintát kevertünk, míg a növény nélküli kezeléseknél a talaj–földpát keverék felső és alsó szintjét külön vizsgáltuk, mivel itt a keveréken belüli vertikális eloszláskülönbségek kialakulására is számítottunk. Meghatároztuk a rizomonolitokban a talaj–földpát keverék alá rétegzett homokba a gyökérközegből kimosódott, ill. a gyökérzet által a talaj alatti szintbe szállított kálium mennyiségét is. A rizomonolitok alsó homokágyában mért ammónium-acetát kivonható K-tartalomra (a vízdoldható és a kicserélhető K összege) a növekvő földpátadagok sorrendjében növényes edényekben 17,8, és 19,6 mg·kg⁻¹, a növény nélküli edényekben 19,7 és 41,7 mg·kg⁻¹ közötti értékek adódtak.

Az 5. táblázatban a B- és C-sorozat növényi kivonását összegeztük, mivel a gyökérközeget a B- és C-sorozat között nem cseréltük és K-tartalmát csak a C-sorozat növényeinek levágása után határoztuk meg. Ilyen módon összegeződött a két, egymás után nevelt növénynevezék gyökérközegre gyakorolt hatása, amint azt a vízdoldható és kicserélhető káliumra vonatkozóan az 5. táblázatban bemutatjuk.

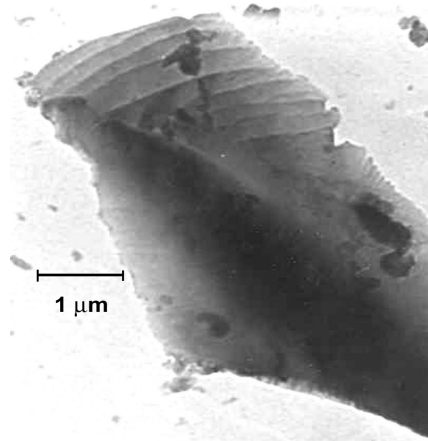
A növények jóval több káliumot vontak ki, mint a kiindulási talaj KK készlete. A kukorica K-felvétele minden földpátkezelésben jelentősen csökkentette a gyökérközeg vízdoldható és kicserélhető K-tartalmát, míg a gyökérközegből az alsó homokrétegbe került kálium mennyisége közel azonos volt. A két, szukcesszíve nevelt kukoricanevezék K-felvétele következtében igen alacsony szintre csökkent kicserélhető K-mennyiség a káliumnak csak lassú utánpótlódását tette lehetővé a talajoldatba, amit a vízdoldható K-értékek kis értékei jeleznek. A növény nélküli kezeléseknél mind a vízdoldható, mind a kicserélhető K-tartalom jelentősen emelkedett a földpátadagok hatására. A középvonal feletti és alatti rétegek vízdoldható és kicserélhető K-értékei alapján feltételezhetjük, hogy földpát hatására az alsó szintekben a K-forgalom a megkötődés irányába tolódott el (v. ö. 6. táblázat). A kálium vertikális elmozdulását az öntözővíz gravitációs mozgása tovább erősítette.

Pásztázó elektronmikroszkópos (PEM) vizsgálatok

A PEM vizsgálatokat úgy végeztük, hogy a mintán lévő mikrorepedés mentén szétvált talajrögöt rögzítettük a mintatartóra úgy, hogy a repedés fala a leképező sugárra merőleges legyen. Mindkét felvételünk egy-egy mikrorepedés falának részletét mutatja. A vizsgáló műszer ISI SEM II. Felbontóképessége kisebb mint 7 nm. A felvételek felső szélé a talaj közeli rész. A felvételeket és magyarázatukat a 2. és a 3. ábrán mutatjuk be (PÁRTAY, 1980).

Transzmissziós elektronmikroszkópos (TEM) vizsgálatok

KOCH (1985) feltárásaiból KOCH és SZTRÓKAY (1967) meghatározásai alapján ortoklász törmelékből TEM-vizsgálatokat végeztünk. A sorozatfelvételekből kiválasztott kép (1. ábra) valószínűleg a feltárás közben lepattant pengeszerű kristálytöredéket ábrázol. Esetünkben a vizsgáló műszer TESLA BS 242, az ásványtörmelék szítással, majd achát mozsárban finomítottuk. 0,01 N NH₄OH-os szuszpenzióból kollódiium hordozó hártára cseppentettünk, száradás után Palládium gőzöléssel árnyékolattunk.



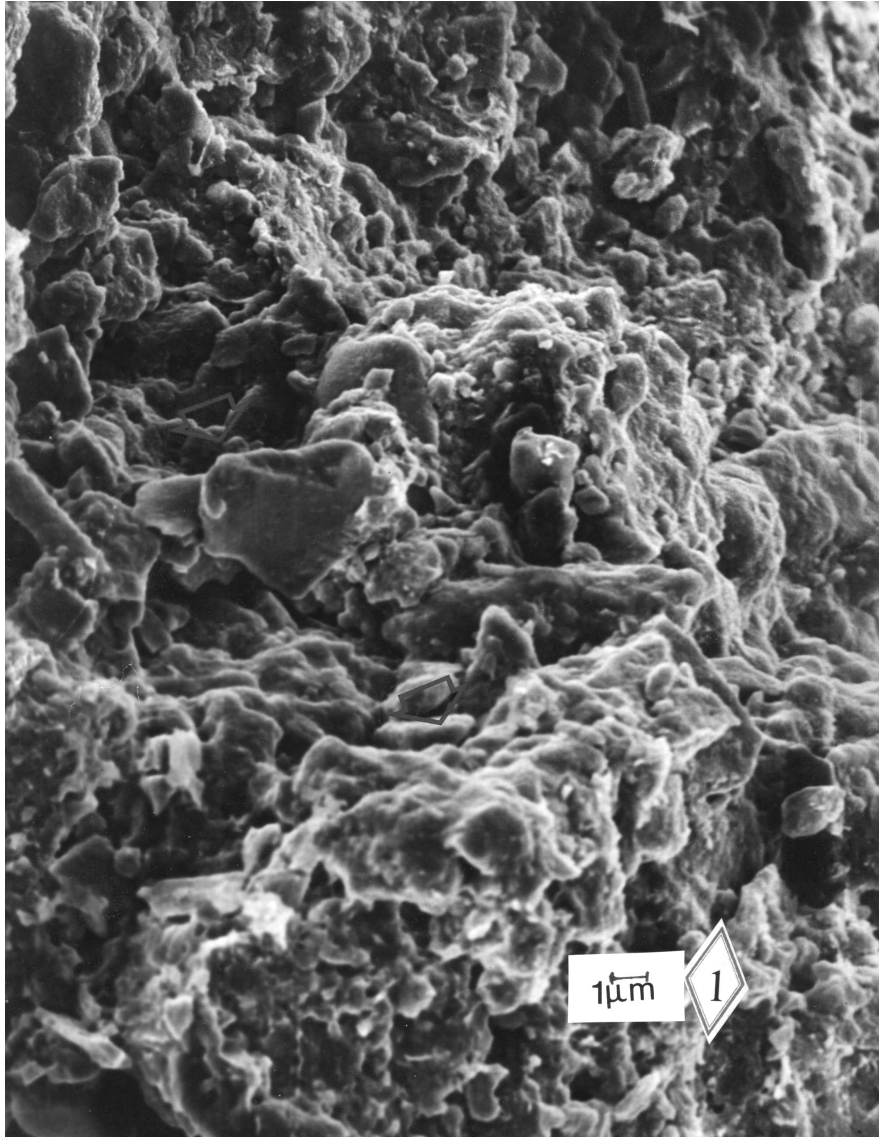
1. ábra
Ortoklász kristály

A nagy felbontású TEM-minták készítéséhez kisebb, mint 2 mikronos pormintából szuszpenziót készítettünk. Ezt a szuszpenziót spektrográf szénből készített hátyán szárítottuk, majd a mintát 25 fokos szögből ugyancsak szénrel árnyékoltuk. Az árnyékolás szögének tangenséből és a minta árnyéka hosszának szorzatából következtetni tudunk a minta magasságára (PÁRTAY, 1973).

A felvételeket JEOL TEM 120-as készülékkel végeztük. Jellemző paraméterei a felvételek értelmezéséhez: felbontóképessége – point-to-point – 0,2 nm, végnagyítása 200.000-szeres. A bemutatott képeken az eredeti elektronoptikai nagyítást mikronban közöljük. Az ásványok meghatározását részben saját archívumunk, részben BEUTELSPACHER és VAN DER MAREL (1968), valamint HENNING és STÖRR (1986) atlasza adatainak felhasználásával végeztük. A felvételeket és magyarázatukat a 4., 5. és 6. ábrán mutatjuk be.

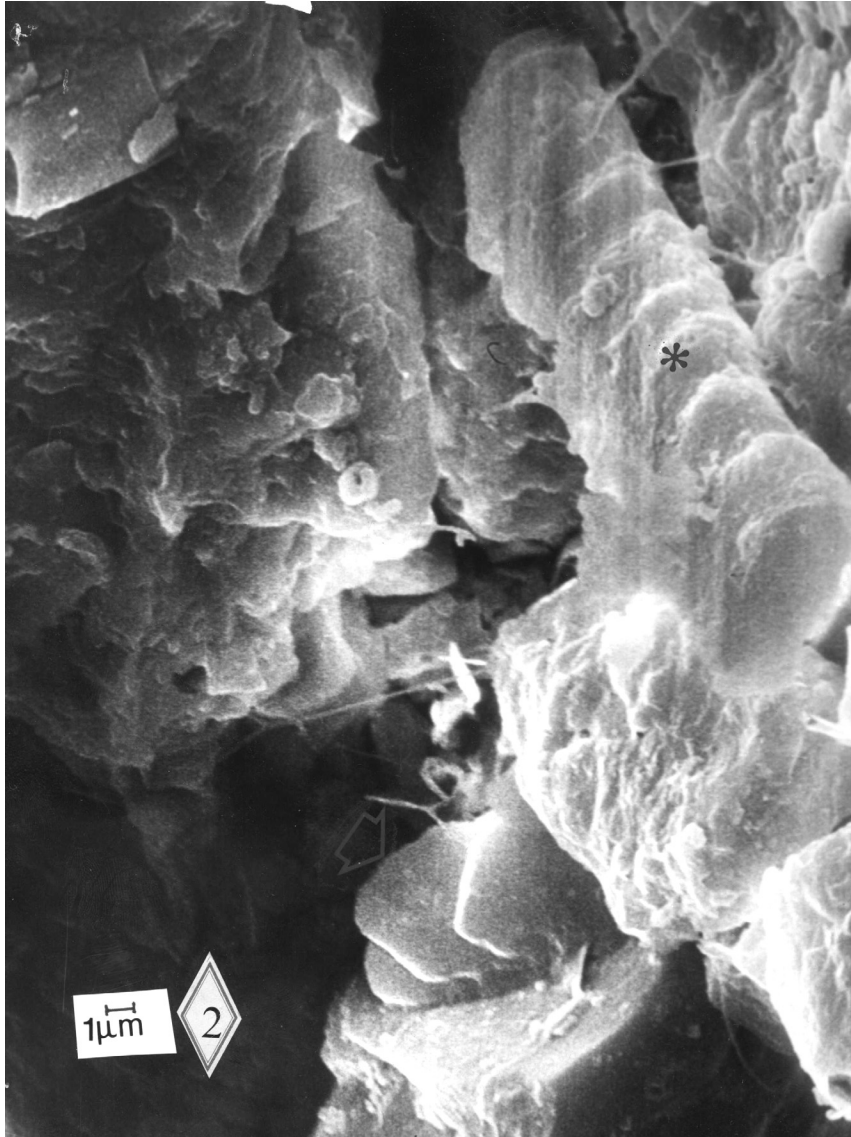
Röntgendiffrakciós (RTG) vizsgálatok

A vizsgálatokat részben pormintából végeztük kezeletlen talajon, részben ebből a talajból vett <2 mikronos frakción. A <2 mikronos frakcióból orientált, 550 °C-on, valamint etilénlikollal kezelt preparátumot is készítettünk. A vizsgálatokat DRON 2.0 diffraktométerrel Cu K alfa sugárzás és Ni szűrés mellett végeztük. A rácsparamétereket a Miller-index és a szerzők közlései alapján ismertetjük. Az ásványok meghatározására az ASTM katalógus- és kártyaregisztert használtuk. Más forrásmunkát külön jelöljük. A csúcsok intenzitásának megjelölésére a szerzők vagy a tízes osztatú 100–10-ig, vagy a hatos osztatú VS–S-ig terjedő rendszert használják. Dolgozatunkban a tízes rendszert alkalmazzuk. Az idézetekben megtartjuk a szerző jelölését.



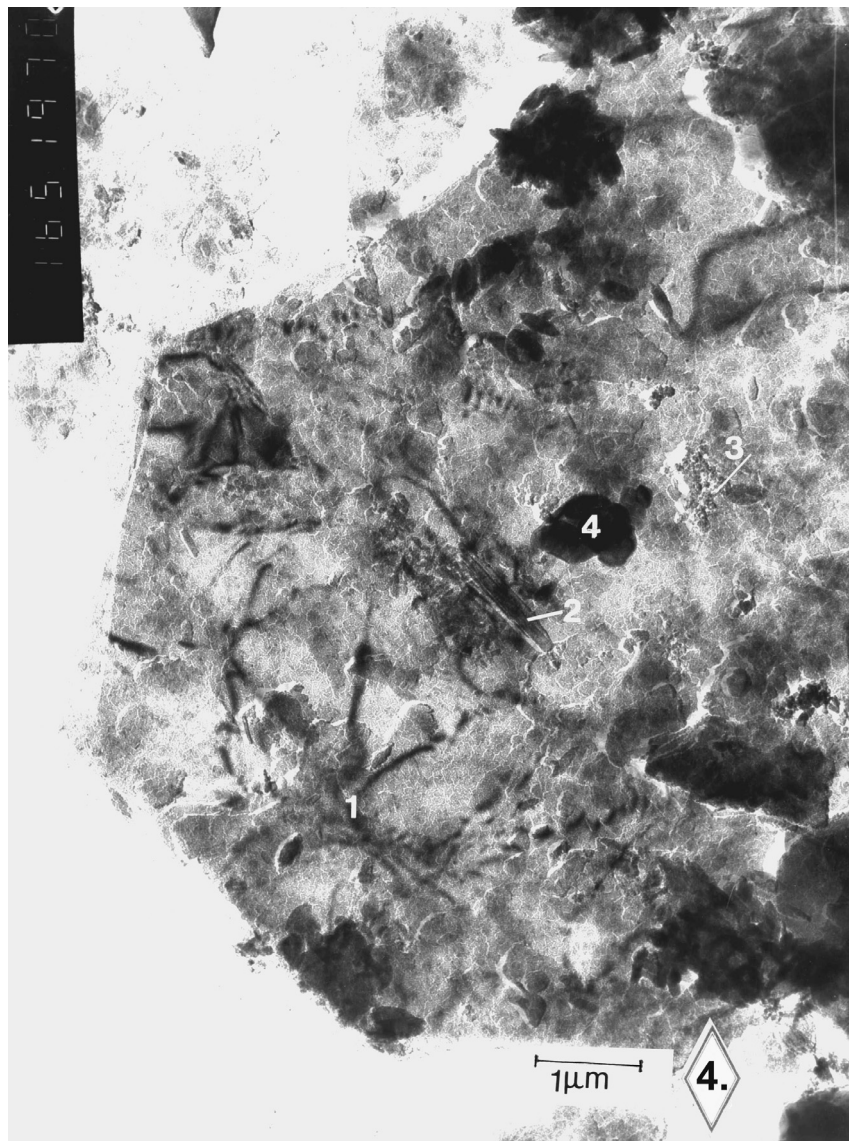
2. ábra
1. PEM-felvétel

A 2. ábrán erősen kimosódott résfalat látunk. A kristályos képletek befolyó víz hordaléka által lesimítottak, karakterüket elvesztették, nem meghatározhatók. A képletek függőlegesen orientáltak, cementálódtak. Egy összeragadt ásványkonglomerátum – mint egy erkély – mélyen benyúlik a résbe. Felső részén a képletek legömbölyítettek, míg az alsó részén csepegés nyomai látszanak. Az uralkodó ásvány illitnek határozható meg.



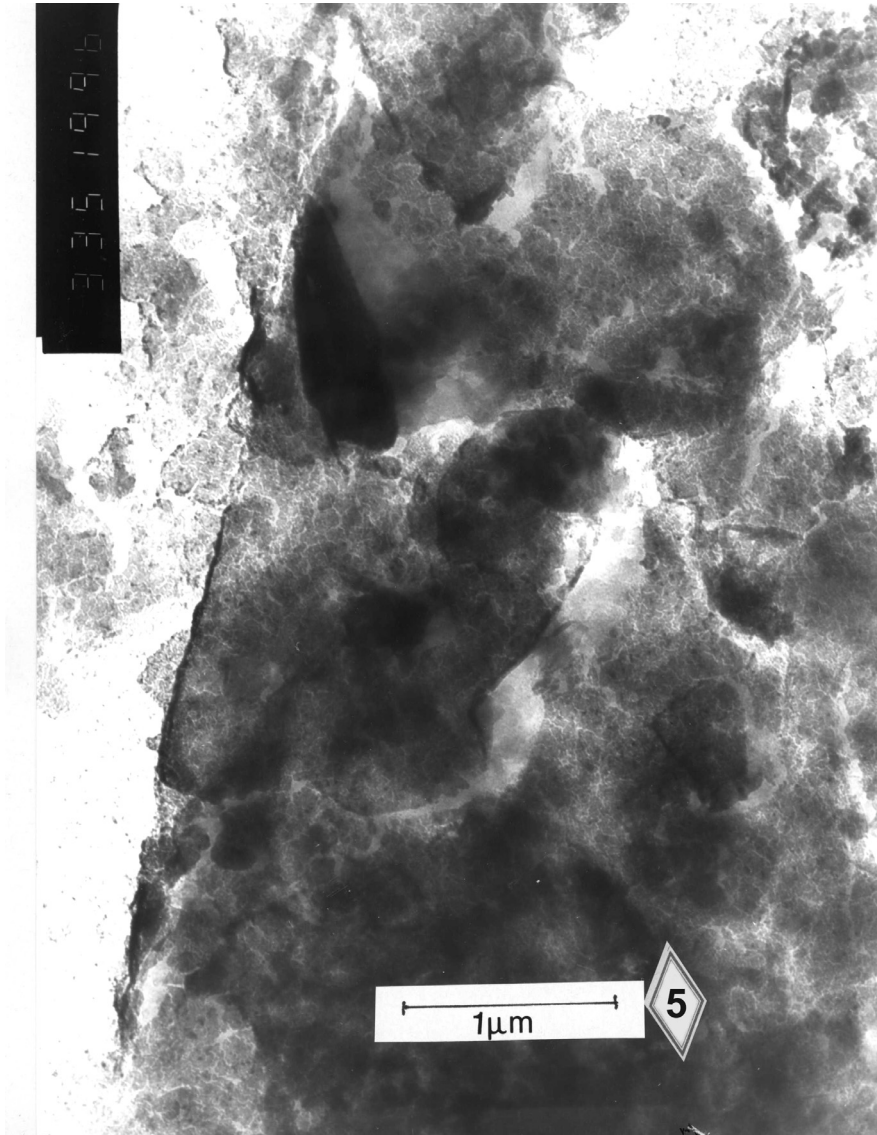
3. ábra
2. PEM-felvétel

A 3. ábrán egy mikrorepedés hosszában szelt ketté egy üregben végződő krotovinát. A járaton keresztül hordalék sodródott az üregbe, mely valószínűleg az üreg falából kiálló kvarckristályon fennakadt. Két sima és egy típusosan törött felszín határolja. Felső lapjára három málló kaolinitkristály, valamint egy csillám–illit összetételű konglomerátum támaszkodik. A talajgombák jellemzői még a képnek.



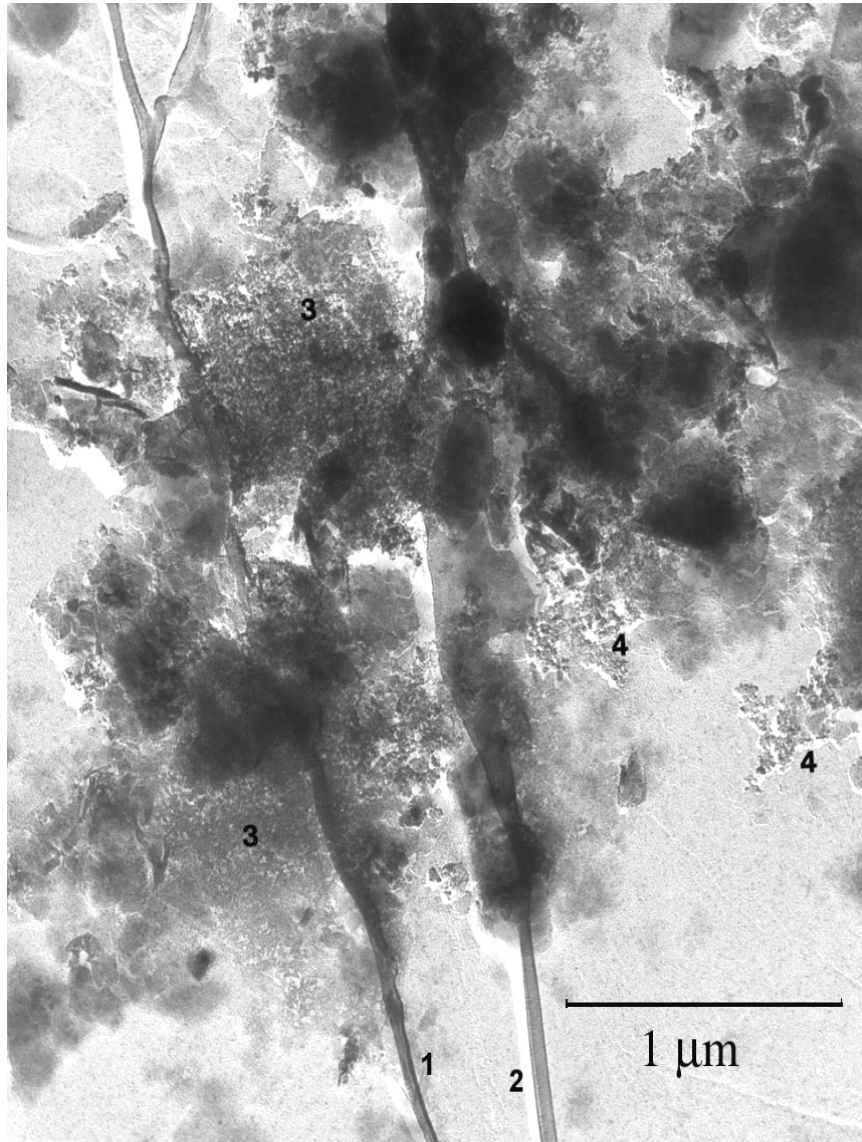
4. ábra
1. TEM-felvétel

A 4. ábrán muszkovit látható. Egymáson elcsúszott lemezek, az éleken kezdődő mállás. Kikucsi vonalak (1). A japán szerző írta le először, hogy a kristályosodás hibahelyein az elektronsugarak elhajlanak, és láthatóvá teszik azokat. A jelenség a csillámcsoport ásványaira jellemző, ezért diagnosztikai lehetőséggel is bír. 2. Halloysit. 3. Vas-mangán mikrokonkréciók. 4. Kaolinit és nem meghatározható töredékek az eredeti kristálylapra rakodva.



5. ábra
2. TEM-felvétel

Nagy mállott ásvány látható az 5. ábrán. A degradáció a kristályosodási hibahelyeknél kezdődött. Erre mutatnak a haránt irányban megindult folyamatok is. Az eredeti kristálylapra törmelék rakódott, melyben a mállás és a képződés végtelen variációival találkozunk. Így a valós történéés és forma nem határozható meg.



6. ábra
3. TEM felvétel

Hordozó hártya gyűrődése, műtermék (1–2). A felvétel jellemzője vas-szulfid (3) és vas-mangán mikrokonkrécio (4) (PÁRTAY, 1981) kristályos és amorf részek között. A felvételen az amorf szilikát elhelyezkedése az erősen mállott környezetben láthatóvá teszi az ásványtársulások, ásványképződések létrejöttét. Bár képződésük időintervalluma csak egy pillanatot teszi lehetővé a megismerésnek.

KUELLNER (1959, cit. VICZIÁN (1986)) szerint a Na- és K-dús fázisok egymáshoz viszonyított mennyiségi aránya jól becsülhető a 201 index albit reflexió ($d = 0,403$ nm) és a 201 index ortoklász reflexió ($d = 0,422$ nm) segítségével. Ezek intenzitásviszonya a két fázis arányának függvénye.

A kezeletlen talajt jellemző porminták ásványi összetétele széles spektrumú, nevezetesen:

montmorillonit	kvarc
illit	ortoklász
klorit	plagioklász
csillám	goethit
rendezett és rendezetlen	böhmite
szerkezetű közberétegződések	klinoptilolit

Néhány ásványt (GIESEKING, 1975), közberétegzett szerkezetet irodalmi adatok alapján azonosítottunk. Ezek a következők:

– Cserélhető K^+ -ion esetében montmorillonitban csak egy, H^+ -ion esetében pedig két vízmolekula réteg helyezkedik el. Ebben az esetben a periódus c irányban 1,45 nm, etilén-glikolos hatásra 1,70 nm, végül 550 °C-on 9,94–9,98 nm (NEMECZ, 1973).

– Rendezetlen illit–montmorillonit, 80%-os dioktaéderes illit komponenssel:

a három legerősebb csúcs:	1,1 nm	VS
	0,256 nm	MS
	0,150 nm	MS

Jelölések: VS: nagyon erős (very strong); MS: közepesen erős (middle strong); S: erős (strong) (Bocchi & Morandi, 1969; cit. THOREZ, 1975).

– Rendezett dioktaéderes kevert rácsszerkezetű klorit–montmorillonit

a három reflexió :	2,98 nm	10	001
	1,47 nm	15	002
	0,98 nm	20	003

(Sudo, 1954; cit. Brown, 1961; cit. THOREZ, 1975).

– Rendezett csillám–montmorillonit (csillám 0,6; montmorillonit 0,4)

a két legerősebb reflexió:	2,75 nm	250
	1,27 nm	200

(Shimoda & Sudo, 1969; cit. THOREZ, 1975).

– Alumínium-dioktaéderes montmorillonit–klorit kevert rácsszerkezet

a négy legerősebb reflexió	3,00 nm	16	001
	1,50 nm	24	002
	0,986 nm	49	003
	0,496 nm	19	006

(SUDO & KODAMA, 1957).

– Részlegesen rendezett csillám–montmorillonit kevert rácsszerkezet

a legerősebb három reflexió	2,52 nm	30	001
	1,130 nm	100	002
	0,324 nm	35	007

(HAMILTON, 1967).

– Na–Ca montmorillonit (természetes)			
a reflexiók	1,585 és 1,405 nm	VS	001
	0,313 és 0,305 nm	S	005
	0,1502 nm	S	nem közölt

(Alietti & Alietti, 1962; cit. THOREZ, 1975).

A RTG vizsgálataink értékelése a következő kísérleti rend szerint történt: A 0, 25 és 50%-os földpátkezelések közül a növényvel beállított kezdő A-sorozat (1N, 2N és 3 N) és az utolsó C-sorozat (7N, 8N és 9N), ill. növény nélküli 1, 2 és 3 kezeléseket vontuk be a vizsgálatokba. Így tehát megvizsgáltuk a növényes minták gyökérközegében a kezdeti és végállapotot, valamint a növény nélküli kezelések felső és alsó szintjei talajában létrejövő változásokat. A továbbiakban az A+A plagioklászt, az O ortoklászt jelent. A csúcsmagassági értékek 001 rendűek.

A RTG vizsgálatok eredményei alapján a következő megállapításokat tettük:

1N és 7N (földpát: 0%): Az 1N rizomonolit talajára jellemző, hogy az ásványi összetétel a felső és az alsó szintben nem változott. A 7N monolitban (két teszt növény nemzedék után vett mintában, lásd 2. táblázat) a röntgenamorf rész megnőtt. A rizomonolitokban az A+A–O arány közel azonos maradt. A csúcsmagasság 14–15.

2N és 8N (földpát: 25%): A 2N rizomonolit talajának felső rétegéből vett minta megnövekedett amorf részt mutat. Az alsó mintavételben ennek az összetevőnek a mennyisége lecsökken az 1N rizomonolit szintjére. Az ásványi összetevőkben nincs változás. A felső szintben az A+A–O csúcsmagasság 16–34, az alsó mintában az arány megfordul A+A–O = 24–18.

A 8N rizomonolitban mindkét mintavételi helyen az A+A–O csúcs 16–20. Az amorf rész csökkenést mutat mindkét mintavételi helyen. Az ásványi összetétel változatlan.

3N és 9N (földpát: 50%): A 3N rizomonolit talajában sok a közberétegződés. Sok olyan reflexió mérhető, melyek a kisebb földpáttartalmú kezeléseknél a kimutathatósági határ alatt voltak. A felső rétegben az A+A–O csúcsmagasság 25–36; az alsóban 25–28. A 9N rizomonolit talajában a legfeltűnőbb, hogy az amorf vonal elsimult és közelít az alapvonalhoz. A felső és alsó mintában az A+A–O nagymértékben eltolódott: 25–55. Ebben az 50% földpátot tartalmazó kezelésben egymás után két kukoricanevezéket neveltünk fel virágzásig (lásd 1. táblázat), ami miatt jelentősen – kétszeresére – nőtt a vizsgált tényezők egymásra hatásának időtartama.

Összefoglalva:

– A földpát-kezeletlen mintában a mért periódus alatt nem történt szignifikáns változás.

– A 25% földpát-terhelésű mintában a röntgenamorf anyag mennyiségi növekedése gyökérhatásnak tulajdonítható.

– Az 50%-os terhelésű mintában gyökérhatást nem mutattunk ki, lehetséges, hogy ez a koncentrációarány már nem kedvez a gyökéraktivitásnak (l. gyökérsűrűség-adatok), ugyanakkor tartamhatás érvényesülhet. A közberétegződések száma emelkedett. Az amorf anyagé jelentősen csökkent. Ez bizonyos fokú rendeződést jelent.

– A növény nélkül érlelt monolitokban az amorf rész az alsó mintában csökken, mindhárom kezelésben. A mérhető csúcsok száma a legnagyobb mértékben a legnagyobb földpátadag hatására növekedett ($0 < 25\% < 50\%$ földpátkezelés).

Ez a mérési mód jó közelítést ad az amorf anyag csökkenése, a különböző terhelések, a mintavételi szintek és a mérhető csúcsok számának növekedése között. A mérés 2° – 62° két tetáiban határok között történt (6. táblázat).

6. táblázat

A mérhető csúcsok száma és a plagioklász–ortoklász arány (A+A–O) a növény nélküli kezeléseken

(1) Földpát- adag, %	(2) Mérhető csúcsok száma		(5) A+A – O	
	(3) Felső szint	(4) Alsó szint	(3) Felső szint	(4) Alsó szint
0	32	32	10 – nem mérhető	8 – 5
25	36	44	15 – 15	10 – 20
50	46	51	20 – 50	40 – 50

Külön vizsgáltuk a montmorillonit társulásainak viszonyát. Azt tapasztaltuk, hogy a leggyakoribb közberétegződés a montmorillonit–illit formáció. Nagyon az összetevők mennyiségi variációi. A társulásokban több a rendezetlen, mint a rendezett illit szerkezet. A rendezetlenség növekedésének oka lehet – a mesterségesen előállított – magas káliumszint. Ha az egyéb feltételek adottak, a K-felesleg részvételével létrejöhetnek olyan ad hoc szerkezetek, melyeknek szabad töltésfeleslege lehetővé teszi részvételüket közberétegződés kialakulásában. Az A+A és O mennyiségi viszonyának az ortoklász irányában történő elmozdulásának okát is ebben látjuk. A 3. táblázatban bemutatott vízdoldható K-értékek megoszlása a talaj–földpát keverékek felső és alsó rétegei között összhangban van a röntgendiffrakcióval kimutatott ásvány-átalakulásokkal. Mennyiségileg a következő társulás a montmorillonit–csillám és a montmorillonit–klorit rétegződés. A leírtakon kívül a mintában még meghatároztunk vas- és nátrium-montmorillonitot is.

Néhány ortoklászórlemény mintában, klorittól jól elkülöníthetően, kaolinitet azonosítottunk. Véleményünk szerint az ortoklászórleményből felszabaduló elemek kölcsönhatásba lépve a hibahelyeknél összeköthetik a röntgen számára addig fel nem ismerhető részeket.

Összefoglalás

A talajból és természetes ásványból feltáródó kálium forgalmát – elsősorban az ásványi összetételre gyakorolt hatásait – tanulmányoztuk gyökérközegben, valamint gyökérhatás nélkül, azonos feltételek között kezelt talajban. Megvizsgáltuk a bánya-

termék ortoklászörlemény hatását a talajra, a kukorica gyökérsűrűségére és K-felvételére, valamint az agyagásványokra.

Nagyadagú földpátkezelés hatására a kukorica gyökérsűrűsége jelentősen csökkent, míg K-felvétele nőtt.

A montmorillonit társulásainak viszonyát tanulmányozva azt tapasztaltuk, hogy a kísérleti talajban leggyakoribb közberétegződés a montmorillonit–illit formáció. A társulásokban több a rendezetlen, mint a rendezett illit szerkezet. A rendezetlenség növekedésének oka lehet a mesterségesen előállított magas káliumszint. Ha az egyéb feltételek adottak, a K-felesleg részvételével létrejöhetnek olyan ad hoc szerkezetek, melyeknek szabad töltésfeleslege lehetővé teszi részvételüket közberétegződés kialakulásában. Az plagioklász (A+A) és ortoklász (O) mennyiségi viszonyának az ortoklász irányába történő elmozdulásának okát is ebben látjuk. Mennyiségileg a következő társulás a montmorillonit–csillám és a montmorillonit–klorit rétegződés. A leírtakon kívül a mintában még meghatároztunk vas- és nátrium-montmorillonitot is.

A kukorica gyökérkörnyezetéből származó mintában a 25%-os ortoklász-terhelésnél a röntgenamorf rész mennyisége jelentősen növekedett. Ezt a jelenséget gyökérhatásnak tulajdonítjuk.

A pásztázó elektronmikroszkóp (PEM) és transzmissziós elektronmikroszkópos (TEM) vizsgálatokkal, különböző technikák alkalmazásával, az archívumunkból kiválasztott néhány példán bemutattuk azokat a topográfiai és fizikai változásokat, mállás és újraképződés egy pillanatát, melyek a különböző ásvány-alakulatokat létrehozzák.

Kulcsszavak: talajásványok, kálium-migráció, káliumföldpát, gyökérhatás, RTG–PEM–TEM

A fenti kutatást az Országos Tudományos Kutatási Alap a T 035274 sz. szerződés keretében támogatta.

Irodalom

- BEUTELSPACHER, H. & VAN DER MALER, H., W., 1968. Atlas of Electronmicroscopy of Clay Minerals and Their Admixtures. Elsevier Publishing Company. Amsterdam–London–New York.
- BUZÁS I., et al., 1998. A talajok fizikai–kémiai és kémiai vizsgálatára használt fontosabb kémiai és műszeres analitikai eljárások elvi és módszertani alapjai. In: Talaj- és agrokémiai vizsgálati módszerkönyv 2. A talajok fizikai–kémiai és kémiai vizsgálatának módszerei. (Szerk: BUZÁS I.) 64–74. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.
- CSILLAG J. et al., 2005. K-földpát, savkezelés és száradás–nedvesedés hatása a talajoldat kálium koncentrációjára Agrokémia és Talajtan. **54**. 121–138.
- DÓDONY I., 1993. Transzmissziós elektronmikroszkópos (TEM) vizsgálatok. In: Talaj és agrokémiai vizsgálati módszerkönyv I. (Szerk: BUZÁS I.) 281–291. INDA 4231 Kiadó. Budapest.
- FREDERICKSON, A. F., 1951. Bull. Geol. Soc. Amer. **62**. 221.

- GIESEKING, J. E., 1975. Soil Components. Vol. 2. Inorganic Components. Springer-Verlag. Berlin–Heidelberg–New York.
- HAMILTON, J. D., 1967. Partially ordered mixed-layer mica-montmorillonite from Maitland, New South Wales. *Clay Min.* **7**. 63–78.
- HENNING, K. H. & STÖRR, M., 1986. Electron Micrographs (TEM, SEM) of Clays and Clay Minerals. Akademik Verlag. Berlin.
- HINSINGER, P., 1998. How do plant roots acquire mineral nutrients? Chemical processes involved in the rhizosphere. In: *Advances in Agronomy*. (Ed: STEWART, B. A.). Vol. 64. 225–265. Academic Press.
- KANT, S., KANT, P. & KAFKAFI, U., 2005. Potassium uptake by higher plants: from field application to membrane transport. *Acta Agron. Hung.* **53**. 443–459.
- KÁLMÁN A., 1993. Talajok röntgendiffrakciós fázisanalízise. In: *Talaj és agrokémiai vizsgálati módszerkönyv I.* (Szerk: BUZÁS I.) 293–314. INDA 4231 Kiadó. Budapest.
- KOCH S., 1985. Magyarország ásványai. Akadémiai Kiadó. Budapest.
- KOCH S. & SZTRÓKAY K., 1967. Ásványtan II. Tankönyvkiadó. Budapest.
- KUELLNER, F. J., 1959. X-ray intensity measurements on perthitic materials. I. Theoretical considerations. *J. Geol.* **67**. (6) 648–660.
- LUKÁCS, A., PÁRTAY, G. & VÉGH, K. R., 2005. Measurements of CO₂/O₂ concentrations in the gas phase of soil–plant system in potassium feldspar treated sandy soil. *Cereal Res. Commun.* **33**. 263–267.
- NEMECZ E., 1973. Agyagásványok. Akadémiai Kiadó. Budapest.
- PÁRTAY G., 1971. A talajt alkotó ásványok keletkezése és átalakulása. *Agrokémia és Talajtan* **20**. 401–410.
- PÁRTAY G., 1973. Hazai tapasztalatok az elektronmikroszkóp alkalmazásának lehetőségeiről a talajtani vizsgálatokban. *Agrokémia és Talajtan*. **22**. 389–399.
- PÁRTAY G., 1980. Pásztázó elektronmikroszkóp és energia-szóródásos röntgen mikroanalízis alkalmazása talajok vizsgálatában. *Agrokémia és Talajtan*. **29**. 545–566.
- PÁRTAY, G., 1981. Scanning electronmicroscopy study of Fe-Mn concretions in soil. *Zeitschrift für Microscopie*. **20**. Wien. 32–34.
- PÁRTAY G., 1993. Pásztázó elektronmikroszkópos (PEM) vizsgálatok. In: *Talaj és agrokémiai vizsgálati módszerkönyv I.* (Szerk: BUZÁS I.) 256–280. INDA 4231 Kiadó. Budapest.
- RÉDLY L.-NÉ, 1998. A talajok kationcserélő tulajdonságainak meghatározási módszerei. In: *Talaj- és agrokémiai vizsgálati módszerkönyv 2. A talajok fizikai–kémiai és kémiai vizsgálatának módszerei.* (Szerk: BUZÁS I.) 103–136. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.
- SPARKS, D. L., 1987. Potassium dynamics in soils. In: *Advances in Soil Science*. (Ed: STEWART, B. A.) **6**. 2–63. Springer Verlag. New York.
- SPARKS, D. L. & HUANG, P. M., 1985. Physical chemistry of soil potassium. In: *Potassium in Agriculture*. (Eds: MUNSON, R. D. et al.). 201–276. SSSA. Madison. Wisc. USA.
- SRINIVASA RAO, CH., SUBBA RAO, A. & RUPA, T. R., 2000. Plant mobilization of soil reserve potassium from fifteen smectite soils in relation to soil test K and mineralogy. *Soil Sci.* **165**. 578–586.

- SUDO, T. & KODAMA, H., 1957. An aluminian mixed layer of montmorillonite–chlorite. *Zeits. Krist.* **109**. 379–387.
- SUTCLIFFE, J. F., & DENNIS, A. B., 1981. *Plants and Mineral Salts. Studies in Biology.* 48. Edward Arnold Ltd. GB.
- SZENDREI G., 1994. *Talajásványtan.* Ecoplan. Budapest.
- THOREZ, J., 1957. *Phyllosilicates and Clay Minerals.* Lelotte. Dison. Belgium.
- VÉGH, K. R. & FÜLEKY, GY., 2004. Potassium uptake and dynamics in rhizosphere as affected by drought. In: *Proc. III. Alps–Adria Scientific Workshop, Dubrovnik, 1–6 March 2004.* 363–367.
- VICZIÁN I., 1986. *Röntgendiffrakciós ásványhatározás. Módszertani Közlemények.* MÁFI. Budapest.

Érkezett: 2006. március 13.

Potassium Migration in Root Medium Treated with Potassium Feldspar

G. PÁRTAY, K. RAJKAI-VÉGH and A. LUKÁCS

Research Institute for Soil Science and Agricultural Chemistry (RISSAC) of the
Hungarian Academy of Sciences, Budapest

Summary

The main processes that define K dynamics in the soil-plant system include the weathering of K-bearing minerals, the release and fixation of K in the soil, and the K uptake by plant. Among other soil factors, mineralogy is known to influence the availability of K in the soil.

The dynamics of potassium released from the soil and from K minerals with slow-release characteristics (feldspars) and the effects of its migration on soil minerals were studied in a soil-plant system.

The laboratory studies were carried out with mixtures of potassium- (80%) and sodium- (20%) feldspars (of Norwegian origin) ground to 100 μm to serve as potassium source in a rhizomonolith experiment. The experimental soil was collected from the 10 to 20 cm surface layer of a slightly acidic sandy soil from Somogysárd. The soil was air-dried, ground to pass a 2 mm sieve and mixed with the feldspar. 500 mg superphosphate per kg soil was added as fertilizer. A 15 \times 15 \times 35 cm clear plexiglass container (to study root development) was filled with 15 cm quartz sand at the bottom, then with 4 kg soil or soil-feldspar mixture, passed through a 1.6 mm sieve, and finally with 6 cm quartz sand at the top. Three treatments were used (relative to the total soil amount): 0% feldspar, 25% feldspar and 50% feldspar. Maize (*Zea mays* L.) was used as test plant. Five seeds were sown into each column and the plants were grown to maturity. Potassium-free macro- and micronutrient solutions were applied to the soil regularly.

Clay mineral studies were made by X-ray diffraction (RTG). Earlier results observed by scanning electron microscopy (PEM) and transmission electron microscopy (TEM) were used to demonstrate the weathering and formation of various mineral associations.

Illite-montmorillonite was found as the most frequent interstratification among montmorillonite associations. The disordered structure of illite prevailed over the ordered structure in samples treated with 50% feldspar due to the very high potassium level. The random formation of structures with excess positive free ionic charges may favour interstratification.

It was hypothesized that 1. the plant-induced weathering of feldspars (orthoclase) is significant in the rhizosphere, 2. High rates of K application affect K release and fixation, and 3. the fate of the minerals associated with the feldspars applied can be followed and their effect on K dynamics is detectable in the root environment.

A high rate of feldspar application reduced maize root length density while increasing K uptake.

Plant K uptake was much higher than the initial exchangeable K pool in the soil, and markedly reduced the amount of both water-extractable and exchangeable K in each feldspar treatment.

Table 1. Main chemical and physical properties of the soil. *Note:* H = humus content; T-value = cation exchange capacity; KK = amount of exchangeable potassium; NKK = non-exchangeable potassium; <0.02 mm and <0.002 mm, weight% = clay+silt and clay contents, resp.; Tfs= bulk density.

Table 2. Treatments of the rhizomonolith experiment. (1) Feldspar rate. (2) Treatments without plants. (3) Treatments with plants; A, B, C = series of planted treatments.

Table 3. Particle size distribution of feldspar (%). (1) Sample. a) Original sample; b) ground sample. (2) Particle size, mm.

Table 4. Element contents of the brown forest soil and the feldspar ground for 30 (a) or 60 (b) minutes. (1) Element; (2) H₂O-extractable element content in (3) Soil (4) Feldspar. (5) HNO₃-extractable element content.

Table 5. Plant K uptake, water-extractable and exchangeable K at the end of the experiments (mg·kg⁻¹ soil-feldspar mixture). (1) Treatment; (2) K uptake by plant. (3) K-content of soil. (4) H₂O extractable K. (5) Exchangeable K. (6) Treatment and soil layer: upper and lower. Remark: For treatments see Table 2.

Table 6. Number of detectable peaks and plagioclase:orthoclase (A+A-O) ratio in treatments without plants. (1) Feldspar rate. (2) Number of detectable peaks. (3) Upper layer. (4) Lower layer. (5) Plagioclase:orthoclase ratio.

Fig 1. Orthoclase crystal.

Fig 2. PEM photograph No. 1. Cracked wall, weathered illite.

Fig 3. PEM photograph No. 2. Kaolinite and mica-illite conglomerate in a crotovina.

Fig 4. TEM photograph No. 1. Muscovite plate.

Fig 5. TEM photograph No. 2. Weathered mineral.

Fig 6. TEM photograph No. 3. Iron sulphide and Fe-Mn concretions.