



DEBRECENI EGYETEM
AGRÁRTUDOMÁNYI CENTRUM
MEZŐGAZDASÁGTUDOMÁNYI KAR
AGROKÉMIAI ÉS TALAJTANI TANSZÉK

NÖVÉNYTERMESZTÉSI ÉS KERTÉSZETI TUDOMÁNYOK
DOKTORI ISKOLA

Doktori Iskola vezető:

Dr. Győri Zoltán
MTA doktora

Témavezetők:

Dr. Filep György †
MTA doktora

Dr. Csubák Mária
Egyetemi docens

Dr. Kátai János
Egyetemi tanár

„DOKTORI (PHD) ÉRTEKEZÉS TÉZISEI”

TALAJOK SAV-BÁZIS ÉRZÉKENYSÉGÉNEK ÉRTÉKELÉSE

Készítette:

Rékási Márk
doktorjelölt

Debrecen

2007.

1. BEVEZETÉS ÉS CÉLKITŰZÉS

A talaj egyrészt a természeti környezet, a bioszféra egyik alkotóeleme a levegővel és a vízzel együtt, másrészt, mint termőföld a mezőgazdaság legfontosabb termelőeszköze, megújítható természeti erőforrás, mely nemzeti vagyunk 1/5-ét képezi. A modern társadalom életfeltételei, fejlődése közvetlenül kapcsolódik a talajhoz és annak funkcióihoz, hiszen alapvető igénye:

- A lakosság ellátása megfelelő mennyiségű és minőségű élelmiszerrel;
- Biztosítani a jó minőségű ivóvizet, tiszta levegőt;
- Biztosítani a kellemes környezetet, tájat, életközösségeket (KÁDÁR, 1998; VÁRALLYAY, 2005).

Ezen funkciók ellátása sérülhet, ha a talaj természetes, vagy mesterséges hatások révén elsavanyodik. A talajsavanyodás, és a savanyú talajok termőképességének fokozása világméretű probléma. A savanyú talajok a földfelszín 30%-át teszik ki. A probléma kezelése mind környezetvédelmi, mind mezőgazdasági szempontból fontos: egyrészt a természetes ökoszisztémák védelme, másrészt a mezőgazdasági művelés alatt álló területek termőképességének megőrzése érdekében.

Magyarországon különösen nagy volumenű ez a probléma, hiszen a savanyodásra erősen, közepesen és mérsékelten érzékeny savanyú talajok az ország területének 42, a feltétlenül meszezésre szoruló erősen és közepesen savanyú talajok 13%-át borítják, azaz az ország területének több mint fele érintett (VÁRALLYAY et al., 1980).

A savanyú talajok kezelésének fontos alapja a talajok sav-bázis pufferképességének és érzékenységeinek megismerése, megértése. A talajok pufferképessége ismeretének mind savas, mind lúgos pH tartományban jelentősége van. A savakkal szembeni ellenálló-képesség ismerete például a légköri savas ülepedés, a savanyító műtrágyák, stb. szempontjából meghatározó. A pH-t növelő hatásokkal szembeni tompítóképesség megismerése viszont a talajjavító meszezés pontos kivitelezése szempontjából nélkülözhetetlen jelentőségű. A pufferképesség, érzékenység meghatározására sokféle módszer létezik. Ezeknek egymáshoz és a különböző talajtulajdonságokhoz való viszonyuk azonban nem tisztázott részletesen.

Dolgozatom célja volt a talajok sav-bázis pufferképességének és érzékenységeinek mérésére alkalmas paraméterek jelentésének, és ezeknek egymáshoz és a

talajtulajdonságokhoz való viszonyának vizsgálata. A fentieken túl pH-sztat titrálások segítségével tanulmányoztuk a puffer-reakciók kinetikáját és ennek a talajtulajdonságoktól való függését.

2. A KUTATÁS ELŐZMÉNYEI

A talaj a belekerülő anyagokat bizonyos mértékig lekötni és/vagy átalakítani, így hatásukat közömbösíteni, illetve tompítani képes puffer rendszer. Ennek egyik eleme a sav-bázis pufferképesség (FILEP - FÜLEKY, 1999).

A talaj savpuffer-képessége (ANC) az az erős savmennyiség, ami a talaj pH-értékének egy meghatározott referencia-pH értékre való csökkentéséhez szükséges (VAN BREEMEN et al., 1983). A pufferképességnek reciproka az érzékenység. Ha a talaj pufferképessége nagy, akkor kicsi az érzékenysége.

A talajra jutó savterhelés sorsa háromféleképpen alakulhat:

- közömbösíthető szabad bázisok (CaCO_3 , Na_2CO_3) által,
- a savanyú talajoldat a talajvízbe szivároghat alacsony szerves anyag és agyagtartalmú ásványi talajokon,
- a savanyodást okozó ionok kicserélődési reakciókban vesznek részt a talajban a kicserélődési komplexumban található ionokkal (MC FEE et al., 1977).

A legfontosabb pufferhatású talajalkotók (FILEP - RÉDLYNÉ, 1988):

1. Talajkolloidok, azaz agyagásványok, szerves kolloidok, fénoxidok, hidratált fénoxidok és kóvasav-gélek protonfelvétele, protonleadása.
2. Könnyen málló ásványok képződése, oldódása.
3. Az alumínium-hidroxid polimerek és/vagy az alumínium-hidroxokomplexek átalakulása.
4. Szerves fémkomplexek képződése, dekomplexálódása.
5. $\text{CaCO}_3 - \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 - \text{CO}_2$ rendszer.

Ezek a puffer rendszerek különböző pH-tartományokban működnek (FILEP - RÉDLYNÉ, 1988; ULRICH, 1981).

A talajok sav- és bázispufferoló képességét legegyszerűbben a talajszuszpenzió potenciometrikus titrálásával nyert görbékkel jellemezhetjük (FILEP, 1991). Ezekből a

görbékől több paraméter is kiszámítható, ami a talaj pufferképessége, érzékenységére vonatkozóan ad információkat.

A titrálási görbék alatti terület, illetve a talaj és a vak titrálási görbe által bezárt terület alkalmas a talaj pufferkapacitásának jellemzésére. Ezek a mutatók azonban csak kvalitatív jellemzést tesznek lehetővé (MURÁNYI, 1987; FILEP, 1991).

A pufferképesség kvantitatív értékelésére az alábbi módszerek állnak rendelkezésre.

A titrálási görbét egységesen vagy szakaszokra bontva leírhatjuk a FILEP (1991) által javasolt egyenlettel:

$$\text{pH}_x = \text{pH}_0 - K (m_b)^Q \text{ és } \text{pH}_x = \text{pH}_0 + K (m_s)^Q \quad /1$$

Ahol: pH_x a talajszuszpenzió egyensúlyi pH-ja meghatározott mennyiségű (m_b) lúg, vagy (m_s) sav hozzáadása után, pH_0 a szuszpenzió kezdeti pH-ja (a titrálás zéruspontja), K az egységnyi tömegű bázis, vagy sav által előidézett kezdeti pH-változást mutatja, Q pedig a pH-változás tendenciáját jellemző konstans.

A pufferkapacitást jellemző érték a titrálási görbék differenciálásával számítható VAN SLYKE (1922) szerint:

$$\beta = d m_b / d \text{pH}, \text{ illetve } -d m_s / d \text{pH} \quad /2$$

Ahol: β a pufferképesség, m_b a hozzáadott lúg, m_s pedig a hozzáadott sav mennyisége. Ez tehát az adagolt lúg, illetve sav hatására bekövetkező pH-változás. A β mértékegysége: meé OH^- vagy $\text{H}^+ / 100\text{g talaj} / 1\text{pH változás}$.

További mérési lehetőség lehet a talajok adott pH állapotának eléréséhez szükséges sav, vagy lúg mennyiségével jellemezni a pufferképességet (YUAN – LAVKULICH, 1995).

A talajban lejátszódó reakciók sebessége – így a puffer-reakcióké is – nagyságrendileg térhet el egymástól. Vannak pillanatszerű, percek, órák alatt lejátszódó folyamatok, de vannak, amelyek évezredekig is eltartanak (FILEP - FÜLEKY, 1999). A kémiai reakciók sebessége az időegység alatt átalakult anyag mennyiségét jelenti. A reakció sebessége függhet csak az egyik reakciópartner koncentrációjától. Ekkor

elsőrendű reakcióról beszélünk. Másodrendű reakcióról akkor beszélünk, ha a sebesség a két reakciópartner koncentrációjától függ, vagy az egyik reagáló komponens koncentrációja négyzetével arányos (BREUER, 1995). A puffer-reakciók rendűségének vizsgálatával több tanulmány is foglalkozik (ARINGHIERI - PARDINI, 1983, 1985; FILEP - CSUBÁK 1997). Megállapították, hogy a talajban lejátszódó, protonátmenettel járó felületi reakciók pszeudo elsőrendűnek tekinthetők. Amennyiben a reaktánsok (a talajba jutó H^+ , illetve OH^-) mennyisége a talaj puffer-reakcióiban résztvevő többi komponenshez (a felületi aktív csoportok mennyiségéhez) képest kicsi – tehát ez utóbbiak koncentrációja a reakció ideje alatt konstansnak tekinthető – akkor a folyamatra a kinetikusan elsőrendű reakció egyenletét lehet alkalmazni.

A mérésekből kiderült, hogy két reakció zajlik párhuzamosan a talajban (ARINGHIERI - PARDINI, 1983, 1985; FILEP - CSUBÁK 1997; ROSSEL - MC BRATNEY, 2003; ONODA - DE BRUYN, 1966). Egyrészt egy gyorsabb, másrészt egy lassabb folyamat. Erre az a magyarázat, hogy a gyorsabb reakció a talaj jobban kitett felületeihez, míg a lassabb a kevésbé elérhető, az aggregátumok belsejében lejátszódó cserefolyamatokhoz kapcsolható.

3. ANYAG ÉS MÓDSZER

A vizsgálatokhoz Magyarország területéről származó különböző fizikai és kémiai paraméterekkel rendelkező 25 db talajmintát használtunk fel.

A talajok fizikai tulajdonságai közül az Arany-féle kötöttségi (K_A) számot és a leiszapolható részt %-ot ($Li\%$) határoztuk meg.

A pH meghatározása 1:2,5 talaj:desztillált víz, illetve 1:2,5 talaj:1 mol/dm³ KCl-oldat arányú szuszpenziókban, az összekeverést követően 24 órával történt. A humusztartalmat ($Hu\%$) Tyurin módszerével mértük. A hidrolitikus aciditás meghatározása (y_1) egyszeri egy órás rázatást alkalmazva, 1:2,5 talaj:Ca-acetát (pH = 8,2) arány mellett történt (KAPPEN, 1929).

A talajok effektív kationcsere kapacitását (T_{eff}) és kicserélhető kation-tartalmát GILLMAN (1979) módosított eljárásával határoztuk meg (TEMMINGHOFF, 2000).

A potenciális kationcsere képességet (T_{pot}) és kicserélhető kation-tartalmát BASCOMB (1964) módosított eljárásával végeztük (TEMMINGHOFF, 2000).

A sav-bázis titrálásokat 1:20 talaj:oldószer arányú szuszpenziókkal végeztük. A finomra porított 2 mm-es szitán átszitált talajok 13-13 db 5 g-os részletéhez 0,1 mol/dm³ HCl-at, illetve 0,1 mol/dm³ NaOH-ot adtunk növekvő mennyiségben. A görbék felvételéhez a 0; 1; 2; 4; 6; 8; 10; 12; 14; 16; 20; 24; 28 meé H⁺/100g talaj, illetve OH⁻/100g talaj sav- és lúgadagokat használtunk. A szuszpenziókat desztillált vízzel egészítettük ki 100 cm³-re. Ezt követően 24 órás állás után mértük a pH-t a felrázott szuszpenzióban. A minták döntő részénél 1 mol/dm³ KCl háttér-elektrolit alkalmazásával is felvettük a titrálási görbéket. A mért pH-értékeket a hozzáadott sav, illetve lúg mennyiségének függvényében ábrázolva a titrálási görbéket kaptuk.

A pH-sztat titrálást egy erre a célra készített berendezés felhasználásával valósítottuk meg (CZINKOTA et al., 2002). A mérést 1:40 talaj:1 mol/dm³ KCl-oldat arányú szuszpenzióban végeztük, állandó keverés mellett. A talajszuszpenzió pH-ját pH-szelektív elektród segítségével folyamatosan mértük. Az elektród által szolgáltatott jelet másodpercenként erősítés és digitalizálás után számítógép dolgozta fel, amit előzetes kalibrálás alapján pH értékre számított át. A mérőberendezést Radelkis OP-0808P pH elektródot, Schott Titronic 96 típusú automata bürettát, ALTAIR BT AAD2816S típusú erősítő és AD átalakító egységet, I486 PC-t, felhasználva állítottuk össze.

Méréseink során legalább 8 órás időintervallumot alkalmaztunk. A titrálásokat pH = 8,2, illetve pH = 3 értékeken végeztük, a pH beállításához 0,1 mol/dm³ NaOH-ot, illetve HCl-ot használtunk. A 8,2-es pH értékre történő titrálást néhány minta esetében N₂ védőgázban is elvégeztük.

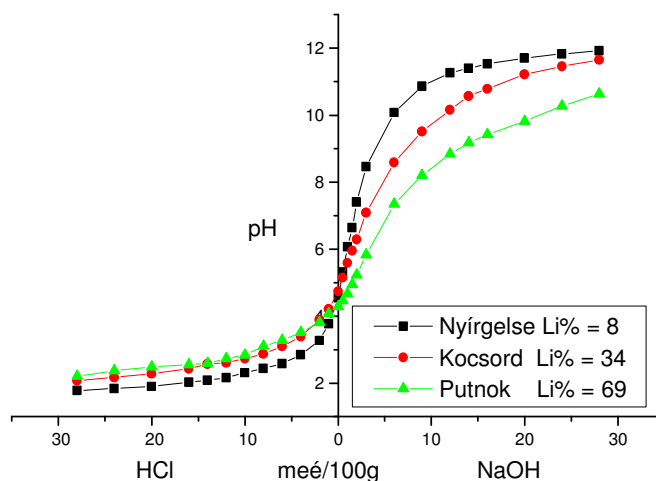
4. EREDMÉNYEK ÉS KÖVETKEZTETÉSEK

A talajtulajdonságok összefüggéseinek vizsgálata során kimutattuk, hogy a meghatározott talajtulajdonságok egymással korrelálnak, nem tekinthetők egymástól függetlennek. Azok a talajok, amelyeknek <0,02 mm frakciója nagyobb, azok humusztartalma is magasabb. Ezért a két tulajdonságot elméletileg kezelhetjük egységesen „kolloidtartalomként” is. A potenciális és effektív kationcsere kapacitás különbsége a változó töltésekhez kötött H⁺ mellett a talajban lévő változó töltések mennyiségét is megmutatta. Savanyú talajokon a változó töltések protonált állapotából

következett, hogy a kicserélhető bázisok csak az állandó töltésekhez kötődhettek. Ezért az effektív T-érték és közelítőleg az S-érték is az állandó töltések mennyiségét mutatja a vizsgált talajokban. A humusztartalom és a leiszapolható rész a potenciális T-értékkel mutatott szorosabb összefüggést, ami azt mutatta, hogy a talaj szerves anyaga mellett az agyag és iszapfrakció is jelentős változó töltéssel rendelkezett. Az y_1 a kicserélhető Al^{3+} tartalomhoz hasonlóan fordított arányban állt a talaj pH értékével, de a kolloidtartalom mennyiségével párhuzamosan növekedett.

4. 1. A pufferképességet jellemző paraméterek

A sav-bázis pufferképességet titrálási görbék segítségével tanulmányoztuk (1. ábra). A titrálási görbék alapján öt, a pufferképesség és az érzékenység jellemzésére alkalmas paramétert határoztunk meg.



1. ábra. Különböző textúrájú talajok titrálási görbéi. (Háttér: 1 mol/dm³ KCl oldat)

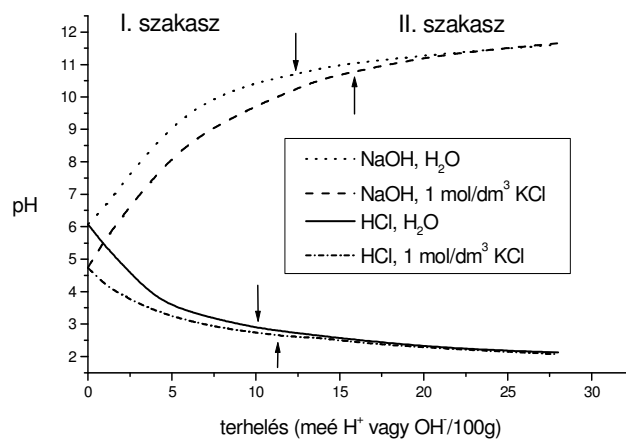
- Az első módszer a FILEP (1991) által javasolt, a titrálási görbét leíró hatványfüggvény volt.

$$pH_x = pH_0 - K (m_b)^Q \text{ és } pH_x = pH_0 + K (m_s)^Q$$

Ahol: pH_x a talajszuszpenzió egyensúlyi pH-ja meghatározott mennyiségű (m_b) lúg, vagy (m_s) sav hozzáadása után, pH_0 a szuszpenzió kezdeti pH-ja (a titrálás zéruspontja). K az egységnyi tömegű bázis, vagy sav által előidézett kezdeti pH-

változást mutatja ($\Delta\text{pH} / 1 \text{ meé } \text{H}^+ / 100\text{g}$ vagy $\text{OH}^- / 100\text{g}$). Q pedig a pH-változás tendenciáját jellemző konstans, azaz 1%-os sav-, vagy bázisterhelés növelés hatására bekövetkezett %-os pH változás ($\Delta\% \text{pH} / \Delta\% \text{ meé } \text{H}^+ \text{ vagy } \text{OH}^- / 100\text{g talaj}$).

A titrálási görbék egy kezdeti meredek és az ezt követő ellaposodó szakaszra voltak felbonthatók (2. ábra). A függvényillesztést a görbe első és második szakaszára külön-külön elvégeztük. Az első szakaszon kapott függvényparaméterek alapján megállapítottuk, hogy a vizsgált talajok savanyodással szembeni ellenálló-képessége háttér-elektrolit nélkül végzett titrálásoknál kétszer, illetve háttér-elektrolittal végzettekénél háromszor akkora, mint a lúggal szembeni. Az elvégzett regresszió-analízis szerint a titrálási görbe első szakaszán a sav- és lúgérzékenységet (K) egyaránt a leiszapolható rész határozta meg. A Q paraméter értéke viszont savterhelésnél a kationcsere kapacitással, lúgterhelésnél a leiszapolható résszel mutatott összefüggést. A második, ellaposodó titrálási görbeszakaszra illesztett függvény paraméterei már egyik, általunk vizsgált talajtulajdonsággal sem álltak kapcsolatban.



2. ábra. A titrálási görbe két szakaszának kijelölése. A nyilak a szakaszhatárt mutatják, a lefelé mutatóak a vizes szuszpenzió görbéire vonatkoznak. (minta: Kocsord)

Vizsgálataink szerint a K és Q paraméterek közötti összefüggés a vizsgált titrálási görbék esetében hatványfüggvénnyel volt leírható.

- A kijelölt pH-állapot ($\text{pH} = 3$ és $\text{pH} = 8,2$) eléréséhez szükséges sav, vagy lúg mennyiségeként ($\text{OH}_{\text{pH}8,2}$ és $\text{H}_{\text{pH}3}$) megadott pufferképesség-értékeket vizsgálva megállapítottuk, hogy lúgterheléssel szemben a leiszapolható rész, a humusztartalom,

valamint a kicserélhető Al^{3+} mennyisége határozta meg leginkább a pufferképességet. Azaz a kolloidok állandó és változó töltéseinek megkötődött savanyúságot okozó ionok bírtak jelentőséggel. A savakkal szembeni pufferképességet viszont a kicserélhető bázisok mennyisége, illetve a kicserélhető Ca^{2+} ionok határozta meg.

Mivel a talajok puffer-rendszerei más-más pH tartományban működnek, azaz a különböző sav- és lúgterhelések pufferelésében más talajalkotók vesznek részt, ezért több terhelési szinten, illetve pH-értéken elemeztük a vizsgált talajtulajdonságok és a tompítóképesség, érzékenység viszonyát. Ezekhez a vizsgálatokhoz a titrálási görbe, illetve a pH-változás görbéje alatti területeket, illetve a titrálási görbe deriváltját használtuk fel. A paraméterek és a talajtulajdonságok kapcsolatát többlépcsős lineáris regresszióval vizsgáltuk.

A titrálási görbe alatti terület integrálja és a vak görbe alatti terület különbségével jellemzett pufferképesség (A) szerint a lúggal szembeni tompítóképességet leginkább a humusztartalom, a leiszapolható rész és a kicserélhető Al^{3+} mennyisége határozta meg (1. táblázat). A savterhelés alkalmával viszont elsősorban az S- és T-érték mutatott korrelációt az A értékkel. Tehát ebben az esetben is a sav-pufferelésért főként az állandó töltések, a bázis-pufferelésért a savanyúságot okozó ionok és már a változó töltések is felelnek.

A pH-változás görbéje (a kezelések hatására kialakult pH-értékből a titrálási görbe kezdőpontjában mért pH kivonásra került, így a pH-változás görbéjét kaptuk) alatti területtel (A2) elsősorban a leiszapolható rész mutatott összefüggést lúgterhelésnél. Savterhelésnél kb. 6 meé H^+ /100g értékig a leiszapolható rész mennyisége, ennél nagyobb savterhelésnél az y_1 , a pH és a T_{pot} mutatta a legszorosabb korrelációt. Az A2 értékével csak a talaj pH-értéke mutatott egyenes arányosságot, a többi fordított arányban állt vele. Az A2 értékek fordított arányban álltak a pufferképességgel (A), így érzékenységi paraméternek nevezhetők.

A pufferképesség és a talajtulajdonságok viszonyának alakulását a pH függvényében a titrálási görbék differenciálásával kapott β -értékek segítségével értékeltük (2. táblázat). Erősen savanyú és savanyú tartományban a kationcsere kapacitás határozta meg leginkább a pufferképességet. Magasabb pH-értéken a kationcsere kapacitás függvényében a talajok pufferképessége között egyre kisebb eltérést okozott: ezt mutatja a csökkenő szorzószám a T-érték előtt a regressziós

egyenletekben. pH = 6-tól 8-8,5-ig a leiszapolható rész volt az a tulajdonság, ami a talaj pufferképességét leginkább meghatározta. pH = 8,5-től 9,5-ig a humusztartalom, illetve a T-érték volt a legszorosabb korrelációban a pufferképességgel. A $10 < \text{pH} < 11$ tartományban pedig ismét a leiszapolható rész jellemezte legjobban a pufferképesség nagyságát.

1. táblázat. A talajtulajdonságok és a pufferképesség (A) kapcsolatát leíró egyenletek különböző sav- és lúgterhelési szinteken (Háttér: 1 mol/dm^3 KCl).

Terhelési tartományok (m ^{ee} H ⁺ vagy OH ⁻ /100g)	Regressziós egyenlet	R ²
Titrlálóoldat: HCl		
0-1	$A = 0,39\text{pH} - 1,31$	0,56***
1-2	$A = -0,72\text{Al}_{\text{eff}} + 0,03\text{Ca}_{\text{eff}} + 0,56$	0,76***
2-4	$A = 0,09\text{Ca}_{\text{eff}} + 0,49$	0,58***
4-6	$A = 0,09\text{Ca}_{\text{eff}} + 0,27$	0,72***
6-8	$A = 0,08\text{Ca}_{\text{eff}} + 0,16$	0,71***
8-10	$A = 0,07\text{Ca}_{\text{eff}} + 0,09$	0,69***
10-12	$A = 0,06\text{Ca}_{\text{eff}} + 0,06$	0,66***
12-14	$A = 0,04\text{T}_{\text{eff}} + 0,02$	0,61***
14-16	$A = 0,04\text{T}_{\text{eff}} - 0,02$	0,62***
16-20	$A = 0,07\text{T}_{\text{eff}} - 0,04$	0,63***
20-24	$A = 0,06\text{T}_{\text{eff}} - 0,08$	0,53***
24-28	$A = 0,06\text{T}_{\text{eff}} - 0,16$	0,48***
Titrlálóoldat: NaOH		
0-1	$A = -0,9\text{pH} + 0,008\text{Li}\% + 7,2$	0,90***
1-2	$A = -0,9\text{pH} + 0,02\text{Li}\% + 8,1$	0,87***
2-4	$A = 0,07\text{Li}\% + 1,1\text{Al}_{\text{eff}} + 5,5$	0,88***
4-6	$A = 0,08\text{Li}\% + 1,4\text{Al}_{\text{eff}} + 3,4$	0,89***
6-8	$A = 0,08\text{Li}\% + 1,4\text{Al}_{\text{eff}} + 2$	0,90***
8-10	$A = 0,08\text{Li}\% + 1,2\text{Al}_{\text{eff}} + 1,1$	0,92***
10-12	$A = 0,08\text{Li}\% + 0,9\text{Al}_{\text{eff}} + 0,6$	0,94***
12-14	$A = 0,07\text{Li}\% + 0,7\text{Al}_{\text{eff}} + 0,3$	0,95***
14-16	$A = 0,06\text{Li}\% + 0,6\text{Al}_{\text{eff}} + 0,1$	0,95***
16-20	$A = 0,11\text{Li}\% + 1\text{Al}_{\text{eff}} - 0,14$	0,95***
20-24	$A = 0,09\text{Li}\% + 0,75\text{Al}_{\text{eff}} - 0,4$	0,94***
24-28	$A = 0,08\text{Li}\% + 0,6\text{Al}_{\text{eff}} - 0,38$	0,91***

Megállapítottuk, hogy az eltérő sav- és lúgterhelések alkalmazásával, illetve különböző pH-értékeken meghatározott pufferképesség és érzékenység értékek és a talajtulajdonságok kapcsolata mindig más regressziós egyenlettel jellemezhető a legjobban. Továbbá egy adott talajtulajdonság függvényében a talajok pufferképessége (és érzékenysége) között eltérő lehet a különbség a különböző terheléseknél, illetve pH-értékeken: azaz a regressziós egyenesek meredeksége változik.

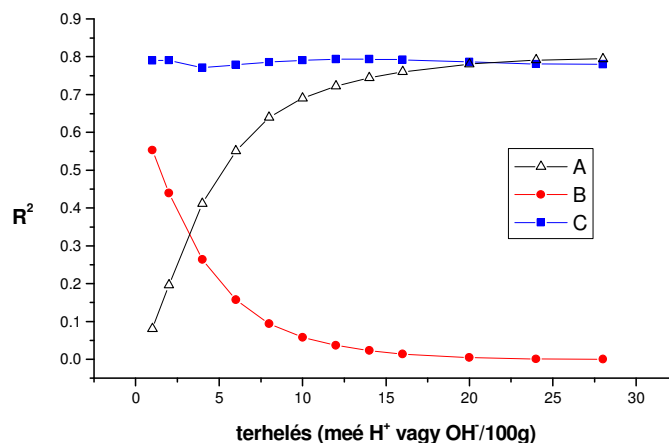
2. táblázat. A talajtulajdonságok és a pufferképesség (β) kapcsolatát leíró egyenletek különböző pH értékeken.

pH	Regressziós egyenlet	R ²
Háttér: 1 mol/dm ³ KCl		
2	$\beta = 1,4T_{\text{eff}} + 31$	0,82***
2,5	$\beta = 0,61T_{\text{pot}} + 12,7$	0,37*
3	$\beta = 0,17T_{\text{pot}} + 5,6$	0,65***
3,5	$\beta = 0,16T_{\text{pot}} + 2,6$	0,80***
4	$\beta = 0,12T_{\text{pot}} + 1,4$	0,86***
4,5	$\beta = 0,08T_{\text{pot}} + 0,08y_1 + 0,82$	0,97***
5	$\beta = 0,55Hu\% + 0,64$	0,71***
5,5	$\beta = 0,01Li\% - 0,17Al_{\text{eff}} + 0,87$	0,78***
6	$\beta = 0,02Li\% + 0,89$	0,76***
6,2	$\beta = 0,02Li\% + 0,83$	0,80***
6,5	$\beta = 0,02Li\% + 0,93$	0,73***
7	$\beta = 0,02Li\% + 0,90$	0,78***
7,5	$\beta = 0,03Li\% + 0,92$	0,84***
8	$\beta = 0,03Li\% + 0,94$	0,90***
8,5	$\beta = 0,05Li\% + 0,94$	0,92***
9	$\beta = 0,2T_{\text{pot}} - 0,98$	0,86***
9,5	$\beta = 0,05Li\% + 0,1T_{\text{pot}} + 1,15$	0,89***
10	$\beta = 0,09Li\% + 1,77$	0,91***
10,5	$\beta = 2,4Hu\% + 0,15T_{\text{pot}} + 1,4$	0,84***

Megállapítottuk, hogy a talajtulajdonságok és a pufferképességet, ill. érzékenységet jellemző paraméterek között nem mindig lineáris viszony állt fenn. Bizonyos esetekben a kapcsolatukat hatványfüggvénnyel pontosabban lehetett jellemezni. A humusztartalom változásával mindig, a leiszapolható rész mennyiségével pedig a legtöbb esetben a pufferképesség és az érzékenység hatványfüggvény szerint változott. A hatvány-összefüggés oka az lehet hogy a kolloidtartalom mennyiségi növekedéséhez képest a puffer-reakciókban részt vevő felület ennél nagyobb arányban nőtt (3. táblázat).

Minden mért talajtulajdonság esetében megvizsgáltuk, hogy hogyan változik a kapcsolata a pufferképességgel és érzékenységgel a különböző sav- és lúgterhelési szinteken. Ezt úgy valósítottuk meg, hogy minden terhelési szinten az adott talajparaméter és a pufferképességi, érzékenységi jellemző közötti regresszió elvégzése után a terhelés függvényében ábrázoltuk az adott talajparaméter és a pufferképesség, érzékenység közötti kapcsolatot leíró függvényre vonatkozó determinációs együtthatókat (R^2).

A talajtulajdonságok és a pufferképesség korrelációit elemezve azt találtuk, hogy a pufferképességgel (A) való kapcsolat alapján minden titrálás alkalmával két csoportra oszthatók a talajtulajdonságok (3. ábra). A két csoportot alapjában véve ugyanazok a paraméterek alkotják mind a savas, mind a lúgos titrálásoknál. Az egyik csoportba a talaj humusztartalma, leiszapolható része, kationcsere kapacitása (T_{eff} , T_{pot}), S-értéke, és a kicserélhető Ca^{2+} , Mg^{2+} és Mn^{2+} ionok tartoznak. Ezek a tulajdonságok a növekvő sav-, illetve lúgterhelésekkel egyre szorosabb kapcsolatot mutattak a pufferképességgel. A másik csoportba a talaj pH-értéke és a kicserélhető Al^{3+} ionok mennyisége tartoztak. Ezek a tulajdonságok a kisebb terheléseknél voltak közvetlenebb kapcsolatban a pufferképességgel, ami a titrálás további szakaszában gyengült. Ez a megosztottság azt mutatja, hogy kisebb terheléseknél még a talaj eredeti pH-értéke határozza meg a titrálási görbe alatti terület nagyságát. A pufferképességet ténylegesen meghatározó – a kolloidtartalomhoz köthető – reakciók csak nagyobb terheléseknél érvényesültek. Egyik csoportba sem volt besorolható a talaj hidrolitikus aciditása. Lúggal történő titrálásnál kapcsolata a pufferképességgel lényegében változatlanul szoros maradt a titrálás során, míg savkezelés alkalmával a kisebb savadagoknál mutatott szorosabb kapcsolatot a pufferképességgel.



3. ábra. A talaj sav-bázis pufferképessége (A) és a talajtulajdonságok közötti korreláció változása a titrálás során a terhelés függvényében. (A: Hu%, Li%, T_{eff} , T_{pot} , S-értéke, kicserélhető Ca^{2+} , Mg^{2+} és Mn^{2+} , y_1 a HCl titrálásnál; B: pH, kicserélhető Al^{3+} ; C: y_1 a NaOH titrálásnál)

3. táblázat. A sav-bázis pufferképesség-értékei és érzékenység értékei és a talajparaméterek közötti kapcsolat típusa

paraméter	titrálás	pH (H ₂ O)	pH (KCl)	Hu%	Li%	y ₁	T _{pot}	T _{eff}	Seff	Ca _{eff}	Al _{eff}
A	ldv	lin -	lin -	hatv +	hatv +	lin +	hatv +	hatv +			lin +
	lkcl	lin -	lin -	hatv +	hatv +	lin +	hatv +	hatv +			lin +
	sdv	lin +	lin +	hatv +	hatv +	lin -	lin +	lin +	lin +	lin +	lin -
	skcl	lin +	lin +			lin -	lin +	lin +	lin +	lin +	lin -
A2	ldv	hatv +	hatv +	hatv -	lin -	hatv -	hatv -	hatv -	lin -	lin -	hatv -
	lkcl	hatv +	hatv +	hatv -	lin -	hatv -	hatv -	hatv -			hatv -
	sdv	lin +	lin +	hatv -	lin -	hatv -	hatv -	hatv -	lin -	lin -	lin -
	skcl	hatv +	lin +	hatv -	lin -	hatv -	hatv -	hatv -			hatv -
Q	ldv	lin -	lin -	hatv +	hatv +	hatv +	lin +	hatv +	lin +	lin +	
	lkcl	lin -	lin -	hatv +	hatv +	hatv +	hatv +				lin +
	sdv			hatv +	hatv +	hatv +	hatv +	hatv +	hatv +	lin +	
	skcl	lin -	lin -	hatv +	hatv +	hatv +	hatv +	hatv +			lin +
K	ldv			hatv -	hatv -	hatv -	hatv -	hatv -	lin -	lin -	
	lkcl	lin +	lin +	hatv -	hatv -	hatv -	lin -	lin -			lin -
	sdv			hatv -	hatv -	hatv -	hatv -	hatv -	lin -	lin -	lin -
	skcl	lin +	lin +	hatv -	lin -	hatv -	lin -	lin -			lin -
OH _{pH8,2}	ldv	lin -	lin -	hatv +	hatv +	lin +	hatv +	hatv +			lin +
	lkcl	lin -	lin -	hatv +	hatv +	lin +	hatv +	hatv +			lin +
H _{pH3}	sdv			hatv +	hatv +		lin +	lin +	lin +	lin +	
	skcl				lin +		lin +	lin +	lin +	lin +	
β	ldv	lin -	lin -	hatv +	hatv +	hatv +	hatv +	hatv +			lin +
	lkcl	lin -	lin -	hatv +	hatv +	hatv +	hatv +	hatv +	lin +	lin +	lin +
	sdv			hatv +	hatv +	hatv +	hatv +	lin +	lin +	lin +	
	skcl	lin -	lin -	hatv +	hatv +	hatv +	hatv +	lin +	lin +	lin +	lin +

(lin: lineáris, hatv: hatvány, +: egyenes arányosság, -: fordított arányosság

/szürke háttér/; ldv – lúgos titrálás, desztillált vizes szuszpenzióban, lkcl - lúgos

titrálás, 1 mol/dm³ KCl -oldat szuszpenzióban, sdv – savas titrálás, desztillált vizes

szuszpenzióban, skcl - savas titrálás, 1 mol/dm³ KCl -oldat szuszpenzióban)

A pufferképességet és érzékenységet jellemző paraméterek és a talajtulajdonságok közötti összefüggéseket vizsgálva a következő megállapításokat tettük:

Minden számítási módnál azt tapasztaltuk, hogy a savakkal szemben, illetve savanyú pH-tartományban – az irodalmi adatoknak megfelelően – a pufferképességért és érzékenységért az állandó töltésekhez kapcsolódó kationcsere reakciók a felelősek. Az állandó töltések mennyiségéről a vizsgált talajparaméterek közül az effektív T-érték, az S-érték és a kicserélhető Ca²⁺ adhat közelítő értéket. Ez azért lehetséges, mert a talajok savanyú kémhatása miatt a változó töltések protonált állapotban vannak, ezért a bázikus kationok gyakorlatilag csak az állandó töltésekhez kötődnek. Így ezek a tulajdonságok kapcsolódnak leginkább a sav-pufferképességhez. Lúgos tartományban és lúgterhelés alkalmazásakor pedig a savanyúságot okozó ionok (kicserélhető Al³⁺, y₁) mennyiségével nő a bázis-pufferképesség. A lúgterhelés OH⁻ -ionjai tehát elsősorban az

Al^{3+} hidrolíziséből, illetve a változó töltésekről származó protonokkal reagálnak. Vizsgálataink szerint a humusztartalom mellett a vizsgált talajok agyagfrakciójában is jelentős volt a változó töltések mennyisége. A sav-bázis pufferképességgel és érzékenységgel a legtöbb esetben a kationcsere képesség, a hidrolitikus aciditás, a leiszapolható rész és a humusztartalom mutatott szignifikáns összefüggést. Végző soron tehát, mint az várható volt a talajok kolloidtartalma az, ami a pH-tól illetve a talajt ért sav-, vagy lúgterheléstől függetlenül meghatározta a pufferképességet.

Vizsgáltuk hogy a talajok savakkal szembeni pufferképessége összefügg-e a bázis-pufferképességgel. Megállapítottuk, hogy a Q, illetve a K értékkel jellemzett sav-pufferképesség értékek egyenes arányosságban voltak a lúgterhelésnél kapott értékekkel. A savakkal szembeni ellenálló-képesség akár háromszorosa is volt a lúggal szembeninek, ami valószínűleg a talajok savanyú pH-értékéből adódott. A titrálási görbe alatti és a vak görbe alatti terület különbségeként megadott sav- és bázis-pufferképesség (A) csak a legkisebb (1 meé H^+ vagy OH^- /100g) terhelésnél mutatott összefüggést. Ezt valószínűleg az okozta, hogy kis terhelésnél még nem nagy az eltérés a talaj eredeti pH-értékéhez képest, így a görbe alatti területek hasonló méretűek. A pH-változási görbe alatti területtel (A2) jellemzett sav-érzékenység viszont 16 meé/100g terhelésig is pozitív lineáris kapcsolatban volt a bázis-érzékenységgel. A pH-változás görbét a puffer-reakciók és nem a talaj eredeti pH-értéke határozták meg. A talajok átlagos pH-értékén minden puffer-rendszer működik, ezért akár sav, akár lúgterhelésnek tesszük ki a talajt a pH változások hasonló mértékűek voltak. Ezeknél a számítási módoknál tehát a sav-pufferképességből következtetni lehetett a bázis-pufferképességre és fordítva.

A paraméterek felhasználhatósága szempontjából a következőket állapítottuk meg:

A FILEP (1991) által javasolt titrálási görbét leíró függvény K és Q paraméterei összefüggnek, tehát már az egyik ismerete is elégséges a talaj pufferképességének, érzékenységének jellemzésére. Egyszerűbb mértékegysége miatt az egységnyi tömegű bázis/sav által előidézett kezdeti pH-változás ($K \{ \Delta\text{pH} / 1 \text{ meé } \text{H}^+ / 100\text{g} \text{ vagy } \text{OH}^- / 100\text{g} \}$) lehet az, amely a pH-változás tendenciáját jellemző konstans (Q) értéket - a közöttük levő összefüggés miatt - kiválthatja.

A titrálási görbék alatti területek a pufferképesség és érzékenység kvalitatív jellemzésére adnak módot. Ugyanakkor a puffer-rendszerek működését a terhelés

függvényében jól vizsgálhatóvá teszik. A titrálási görbék differenciálásával nyert β érték a területértékekhez (A , A_2) képest annyiban jelent többet, hogy ennek konkrét, jól definiált mértékegysége van (méé OH^- vagy H^+ /100g talaj/ ΔpH), így a pufferképességről kvantitatív jellemzést ad.

Mind az ötféle számítás a megfelelő szoftverek segítségével könnyen elvégezhető. Részletes pufferképesség-elemzésre VAN SLYKE (1922) módszere lehet a legalkalmasabb. A legegyszerűbb egyetlen számértékkel való jellemzésre, a csak néhány pontból álló tendenciagörbére illesztett FILEP-féle függvény K (Q) paraméterének meghatározása lehet alkalmas. A több pontból álló, részletesebb titrálási görbék esetében is lehetőséget ad ez a módszer a részletesebb analízisre.

Az eredmények szempontjából nem volt közömbös, hogy a titrálási görbék felvételénél használtunk-e háttér elektrolitot. 1 mol/dm³ KCl oldatban végezve a titrálásokat azt láttuk, hogy a kicserélhető Al^{3+} tartalom többször mutatott korrelációt a pufferképességgel és az érzékenységgel, mivel a KCl-ban végzett titrálásoknál a pH-t az elektrolit K^+ -ionjainak kationcsere-reakciói következtében a lecserélt Al^{3+} ionok jelentősen befolyásolták. A humusztartalom, a leiszapolható rész, a hidrolitikus aciditás és a kationcsere képesség esetében viszont nem láthatunk ilyen megoszlást. A K és a Q paramétereket háttér-elektrolitban mérve a pufferképesség és érzékenység értékei alacsonyabbak. A kijelölt pH állapot eléréséhez szükséges sav, vagy lúg mennyiségeként megadott pufferképesség értékek esetében viszont KCl-ban a lúgtompító képesség nőtt, a savtompító csökkent.

4. 2. A pH-sztat titrálás

A talajok állandó pH értéken ($\text{pH} = 8,2$ ill. $\text{pH} = 3$) történt (pH-sztat) titrálásának eredményeire illesztett függvény extrapolációjával kiszámítottuk a végtelen időre vonatkozó, adott pH értéknél maximális sav-, vagy lúgfogyasztások értékét.

A reakciók leírására, FILEP - CSUBÁK (1997) nyomán egy kéttagú, különböző sebességi állandójú, kinetikailag elsőrendű reakció matematikai leírására alkalmas egyenletet használtunk:

$$y = C + a_1 \cdot (1 - e^{-k_1 t}) + a_2 \cdot (1 - e^{-k_2 t}) \quad /3$$

ahol:

y	az adagolt sav-, vagy lúgoldat mennyisége, meé/100g
C	az adott pH eléréséhez szükséges sav, vagy lúg mennyisége, meé/100g
t	idő, sec
a ₁	a gyorsabb folyamathoz tartozó sav-, vagy lúgfogyasztás, meé/100g
a ₂	a lassabb folyamat sav-, vagy lúgfogyasztása, meé/100g
k ₁	a gyorsabb folyamat sebességi állandója, s ⁻¹
k ₂	a lassabb folyamat sebességi állandója, s ⁻¹ .

A mérési körülményeknek az eredményre gyakorolt hatását vizsgálva megállapítottuk:

A mérési idő hossza befolyásolta az illesztett függvény paramétereit. Minél hosszabb ideig tartott a titrálás, annál nagyobb volt mind a gyors, mind a lassú reakcióban felszabadítható savanyúság mennyisége. Ezzel párhuzamosan a sebességi állandók fokozatos lassulást mutattak.

A N₂ védőgázban elvégzett, NaOH-dal történt titrálás alapján kimutattuk, hogy az adott kísérleti beállítások mellett – N₂ atmoszféra nélkül – a szuszpenzióba oldódó CO₂ a lúgfogyasztást 1,5-szeresére is növelheti.

A kinetikai paraméterek egymáshoz való viszonyát vizsgálva megállapíthattuk, hogy a gyors és a lassú reakciók sav- és lúgfogyasztás értékei, valamint sebességi állandói függetlenek egymástól. Ugyanez igaz az aszimptotikus értékkel (C+a₁+a₂) jellemzett sav- és bázis-pufferképességre is.

A talajtulajdonságok és a kinetikai paraméterek egymáshoz való viszonyát a 4. és 5. táblázat mutatja be.

A C-értékkel, azaz a leggyorsabb puffer-reakciókkal a pH = 8,2-re történő titrálásnál leginkább a kicserélhető Al³⁺-ionok és a hidrolitikus aciditás mutatott kapcsolatot. Ez a savanyúságot okozó ionok bázis-pufferképességben betöltött szerepét mutatja. A pH = 3-ra titrálásnál viszont a legszorosabb korrelációt a kicserélhető Ca²⁺ és az S-érték mutatta a C paraméterrel. Ezek az összefüggések az állandó töltések savas pH-tartományban megnyilvánuló pufferképességét mutatták.

Savterhelésnél a C-érték korrelált a kationcsere kapacitással, azonban a kolloidtartalommal nem találtunk összefüggést. Lúgterhelésnél viszont a

kolloidtartalom mutatott összefüggést a leggyorsabb puffer-reakciókkal, a T-érték nem. Ennek a különbségnek a hátterében az állhatott, hogy a savterhelésnél a kezdeti, leggyorsabb reakcióban főként az állandó töltéseken lejátszódó kationcsere a meghatározó puffer-reakció, ezért jelenik meg hangsúlyosan a T-érték, mint a pufferképességet meghatározó tulajdonság. Lúgterhelésnél viszont a talajkolloidok állandó és változó töltéshelyeiről a KCl oldat hatására deszorbeálódott H^+ ionok pufferoltak a titrálás kezdetén. További fontos körülmény, hogy lúgos titrálásnál a pH-változása következtében a kationcsere kapacitás folyamatosan változik, ezért nem korrelál a T-érték a gyors bázispuffer-reakciók lúgfogyasztásával.

4. táblázat. A pH = 3-ra történő titrálás paramétereinek korrelációja a talajparaméterekkel (Pearson korreláció)

paraméterek	C	a_1	k_1	a_2	k_2	$C+a_1+a_2$
pH (H_2O)	0,419*	-0,289	0,011	-0,054	0,011	0,138
Hu%	0,123	0,453*	-0,049	0,437*	-0,229	0,424*
Li%	0,203	0,632**	-0,062	0,595**	-0,381	0,612**
y_1	-0,003	0,476*	-0,151	0,225	-0,252	0,228
T-érték _{eff}	0,460*	0,620**	-0,277	0,773**	-0,448*	0,867**
kics. Ca _{eff}	0,527*	0,454*	-0,153	0,658**	-0,307	0,797**
kics. Al _{eff}	-0,158	0,181	-0,276	0,081	-0,208	0,000
S-érték _{eff}	0,506*	0,495*	-0,177	0,695**	-0,330	0,818**
T-érték _{pot}	0,399	0,710**	-0,295	0,805**	-0,509*	0,871**

A gyors reakció lúg-, illetve savfogyasztásával savas és lúgos tartományban is ugyanazok a talajtulajdonságok korreláltak: a humusztartalom, a leiszapolható rész, a hidrolitikus aciditás, a T-érték és a kicserélhető bázisok mennyisége. A gyors puffer-reakcióban minden, a talajokban megtalálható puffer-rendszer részt vett.

Az a_2 értékei csak a pH = 3-as titrálásnál korreláltak a talajtulajdonságokkal. A lassú reakció savfogyasztásával lényegében ugyanazon paraméterek mutattak összefüggést, mint a gyorséval. A lúgos titrálás lassú reakciójának lúgfogyasztása nem mutatott összefüggést egyik talajtulajdonsággal sem. Ennek oka a CO_2 -nak a levegőből a szuszpenzióba való beoldódása lehetett.

A teljes sav, illetve lúgfogyasztás, azaz az aszimptotikus érték a pH = 3 titrálás esetében végső soron a kationcsere kapacitással ($r = 0,87$ ill. $0,81$), az S-értékkel ($r = 0,82$) mutatta a legszorosabb korrelációt. Tehát főleg a kolloidok állandó töltéseinek a lejátszódó kationcsere határozta meg leginkább a sav-pufferképességet. A pH = 8,2-es

titrálásnál viszont a kicserélhető Al^{3+} ($r = 0,86$) adta a legmagasabb korrelációs együtthatót. Ezen kívül még – alacsonyabb r értékekkel – a talaj humusztartalma, leiszapolható része, hidrolitikus aciditása és pH értéke mutatott összefüggést a teljes lúgfogyasztással. Lúgterheléssel szemben a savanyúságot okozó ionok mennyisége jelentik tehát a legfontosabb puffer-tényezőket.

5. táblázat. A pH = 8,2-re történő titrálás paramétereinek korrelációja a talajparaméterekkel (Pearson korreláció)

paraméterek	C	a_1	k_1	a_2	k_2	$C+a_1+a_2$
pH (H_2O)	-0,803**	-0,315	-0,047	-0,086	-0,301	-0,708**
Hu%	0,725**	0,664**	-0,303	-0,052	0,364	0,581**
Li%	0,656**	0,749**	-0,126	-0,061	0,596**	0,589**
y_1	0,932**	0,730**	-0,164	-0,092	0,468*	0,778**
T-érték _{eff}	0,142	0,636**	-0,037	-0,006	0,581**	0,227
kics. Ca _{eff}	-0,218	0,473*	-0,080	-0,165	0,427*	-0,141
kics. Al _{eff}	0,918**	0,307	-0,025	0,173	0,223	0,853**
S-érték _{eff}	-0,169	0,504*	-0,090	-0,137	0,461*	-0,088
T-érték _{pot}	0,352	0,755**	-0,111	0,031	0,623**	0,430*

A gyors reakció sebességi állandói (k_1) átlagosan egy nagyságrenddel nagyobbak voltak, mint a lassú reakcióra vonatkozók. Vizsgálatunk szerint, a talajtulajdonságok a gyors puffer reakció sebességét nem befolyásolták. A pH = 3-ra titrálásnál a lassú reakció sebességi állandója (k_2) a kationcsere kapacitással állt fordított arányban. Minél nagyobb tehát a talaj T-értéke, annál lassabban zajlanak le ezek a puffer-reakciók. A lúggal történő titrálás lassú reakciójának sebességi állandóját befolyásolta a CO_2 -nak a szuszpenzióba oldódása.

A pH = 8,2-re történő titrálás eredményeit és a Kappen által javasolt módszerrel mért hidrolitikus aciditás értékeit részletesen is összevetettük. Ennek jelentősége abban áll, hogy ez a talajtulajdonság az egyik alapja a savanyú talajok javításához szükséges mézheménység megbecslésének. Ehhez a 3. egyenletet annyiban módosítottuk, hogy a 8,2-es pH-érték eléréséhez szükséges lúgmennyiséget (C-érték) nem kezeltük külön paraméterként. Így az egyenlet csak a gyors és a lassú reakciót leíró tagokból állt. Megállapítottuk, hogy az egyszeri pH = 8,2-re pufferolt Ca-acetáttal való extrakció során felszabadítható aciditást a gyorsabb deszorpciós folyamat határozta meg, de a teljes folyamat egyensúlyi értékei a Kappen módszerével mért aciditás kétszeresét is

elérték. Ennek okát keresve kimutattuk, hogy az aciditás növekedése egyre nagyobb reakció félidőt, vagyis egyre lassabb reakciót eredményez, azaz a növekvő aciditással a talajalkotók nehezebben hozzáférhető részén is megkötődnek savanyúságot okozó ionok. Azt találtuk, hogy a talaj humusztartalmának növekedése és kisebb mértékben a leiszapolható rész mennyisége tehető felelőssé, a deszorpció lassulásáért. A kísérletek eredményei alátámasztották azt a feltételezést, hogy a humuszanyagok makromolekulái, illetve az agyagfrakció belső kötőhelyei miatt kialakuló megnövekedett diffúziós úthossz tehető leginkább felelőssé a deszorpciós sebesség csökkenéséért.

A függvényből egy óras extrakcióra számított értékeket összevetettük az egyszeri Ca-acetát extrakció aciditás-értékeivel. Azt találtuk, hogy egy óra alatt az állandó pH-n deszorbeálódó savanyúság 2,5 meé/100g y_1 -értéknél több savanyúsággal rendelkező talajok esetében körülbelül másfélszerese az azonos idő alatt Ca-acetáttal eltávolítottak, a különbség a növekvő aciditással egyre növekszik.

5. ÚJ ÉS ÚJSZERŰ EREDMÉNYEK

1. A FILEP (1991) által javasolt függvény paraméterei közül az egységnyi tömegű bázis, vagy sav által előidézett kezdeti pH-változás (K) az érzékenység, a pH-változás tendenciáját jellemző konstans (Q) a pufferképesség jellemzésre alkalmas. A K és Q függvényparaméterek fordított arányban állnak egymással. Az összefüggés leírására feltehetőleg hatványfüggvény a legalkalmasabb. A közöttük fennálló kapcsolat miatt már az egyik paraméter ismerete is elégséges lehet a pufferképesség leírására.
2. Egy adott talajtulajdonság és a talajok pufferképessége (és érzékenysége) közötti összefüggést leíró regressziós egyenes meredeksége eltérő lehet a különböző terheléseknél, illetve pH-értékeken. Azaz a pufferképesség, érzékenység és a talajtulajdonságok kapcsolata függ a sav-bázis terheléstől és a pH-értéktől is.
3. A talajtulajdonságok és a pufferképességet, érzékenységet jellemző paraméterek között nem mindig lineáris viszony áll fenn. Bizonyos esetekben a kapcsolatukat hatványfüggvénnyel pontosabban lehet jellemezni.
4. Minden számítási módnál azt tapasztaltuk, hogy a savakkal szemben, illetve savanyú pH-tartományban a pufferképességért, érzékenységért a kolloidok

állandó töltésein lejátszódó kationcsere-reakciók a felelősek. Lúgos tartományban és lúgterhelés alkalmazásakor pedig a kolloidokon megkötött, savanyúságot okozó ionok mennyiségével párhuzamosan nőtt a bázis-pufferképesség. A sav-bázis pufferképességgel és érzékenységgel a legtöbb esetben a kationcsere képesség, a hidrolitikus aciditás, a leiszapolható rész és a humusztartalom mutatott szignifikáns összefüggést. Végző soron tehát, a talajok kolloidtartalma az, ami a pH-tól illetve a talajt ért sav-, vagy lúgterheléstől függetlenül meghatározta a pufferképességet.

5. Az 1 mol/dm^3 KCl háttér-elektrolit oldat alkalmazása mind a pufferképesség paraméterek értékét, mind a talajtulajdonságokkal való kapcsolatot befolyásolta.
6. A sav-bázis puffer-reakciók kinetikai vizsgálatai alapján kimondható, hogy a talaj humusztartalmának növekedése és kisebb mértékben a leiszapolható rész mennyiségének növekedése a reakciók sebességét lassítja. A kísérletek eredményei megerősítik azt, hogy a humuszanyagok makromolekulái, illetve az agyagfrakció belső kötőhelyei miatt kialakuló megnövekedett diffúziós úthossz tehető leginkább felelőssé a deszorpciós sebesség csökkenéséért.
7. Az egyszeri $\text{pH} = 8,2$ -re pufferelt Ca-acetáttal való extrakció (KAPPEN, 1929) során felszabadítható aciditást (y_1) a pH-sztat titrálásnál tapasztalt gyorsabb H^+ deszorpciós folyamat határozza meg, de a teljes folyamat egyensúlyi értékei a Kappen módszerével mért aciditás kétszeresét is elérték.

6. GYAKORLATI HASZNOSÍTHATÓSÁG

1. A pH-sztat mérésekhez alkalmazott titráló-berendezés alkalmas a talajok potenciális aciditásának a jelenleg alkalmazott eljárásnál precízebb mérésére, így a savanyú talajok mészsükségletének pontosabb meghatározására.
2. A talajtulajdonságok és a pufferképesség kapcsolatára általam felírt regressziós egyenletek segítségével a talajok pufferképessége becsülhető.
3. Eredményeimet továbbfejlesztve, munkám részben kiindulási alap lehet a hulladék-elhelyezésre alkalmas területek kiválasztásában.

Hivatkozások jegyzéke

- ARINGHIERI R. - PARDINI G. (1983): Interactions between OH^- ions and soil surfaces: A kinetic study. Can. J. Soil Sci. 63. 741-748. p.
- ARINGHIERI R. - PARDINI G. (1985): Protonation of soil particle surfaces: kinetics study. Can. J. Soil Sci. 65. 677-686. p.
- BASCOMB C. (1964): Rapid methods for the determination of cation exchange capacity of calcareous and no calcareous soils. J. Soil Sci. Food Agri. Vol. 15. 821 - 823. p.
- BREUER H. (1995): SH Atlasz – Kémia. Springer Hungarica Kiadó Kft. 470. p.
- CZINKOTA I. - FILEP GY. - RÉKÁSI M. - CZANIK P. (2002)a: An Equipment and Software for Improved estimations of Soil Acidity. Agrokémia és Talajtan. 51. 63-73. p.
- FILEP GY - CSUBÁK M. (1997): A protonátmenettel járó felületi reakciók kinetikája talaj/vizesoldat rendszerekben. Agrokémia és Talajtan. 46. 159-170. p.
- FILEP GY. - FÜLEKY GY (1999): A talaj kémiai tulajdonságai. In: Talajtan Szerk. STEFANOVITS P. - FILEP GY. - FÜLEKY GY. Mezőgazda Kiadó, Budapest, 86-131 p.
- FILEP GY. - RÉDLY L.-NÉ. (1988): A talajsavanyúság formáinak és a sav-bázis pufferoló hatásának értelmezése. Agrokémia és Talajtan. 36-37. 79-96. p.
- FILEP GY. (1991): A talajok sav-bázis titrálási görbéinek és pufferkapacitásának új értékelési módszere. Agrokémia és Talajtan 40. 195-201. p.
- GILLMAN G. P. (1979): A proposed method for the measurement of exchange properties of highly weathered soils. Aust. J. Soil. Res. 17. 129-139. p.
- MCFEE W. W. - KELLY J. M. - BECK R. H. (1977): Acid precipitation effect on soil pH and base saturation on exchange site. Water Air and Soil Pollution. 7. 401-408. p.
- MURÁNYI A. (1987): Soil acidification and the soil properties. Zeszyty Problemowe Postepow Nauk Rolniczych. 344. 123-126. p.
- ONODA G. Y. JR. - DE BRUYN P. L. (1966): Proton adsorption at the ferric-oxide/aqueous solution interface: 1. A kinetic study of adsorption. Surf. Sci. 4. 48-63. p.

- ROSSEL R. A. V. - MCBRATNEY A. B. (2003): Modelling the kinetics of buffer reactions for rapid field predictions of lime requirements. *Geoderma*. 114. 49-63. p.
- TEMMINGHOFF E. (2003): Manual for soil and water analysis. Wageningen University. 130 p.
- UEXKÜLL H. R. von - MUTERT E. (1995): Global extent, development and economic impact of acid soils. In: Plant soil interactions at low pH. Eds. DATE R. A. - GRUNDON N. J. - RAYMENT G. E. - PROBERT M. E. Kluwer Academic. 749-752. p.
- ULRICH B. (1981): Ökologische Gruppierung von Böden nach ihrem chemischen Bodenzustand. *Z. Pflanzenernaehr. Bodenk.* 144. 289-305. p.
- VAN BREEMEN N. - MULDER, J. - DRISCOLL, C. T. (1983): Acidification and alkalization of soils. *Plant and Soil*. 75. 283-308. p.
- VAN SLYKE D. D. (1922): On the measurement of buffer values and on the relationship of buffervalue to the dissociation constant of the buffer and the concentration and reaction of buffer solution. *J. Biol Chem*. 52. 525-570. p.
- VÁRALLYAY GY. (2005): Talajvédelmi stratégia az Európai Únióban és Magyarországon. *Agrokémia és Talajtan*. 54. 203-216. p.
- VÁRALLYAY GY. - SZŰCS L. - MURÁNYI A. - RAJKAI K. - ZILAHY P. (1980): Magyarország termőhelyi adottságait meghatározó talajtani tényezők 1:100.000 méretarányú térképe II. *Agrokémia és Talajtan*. 29. 35-76. p.
- YUAN G. - LAVKULICH M. (1995): Acid buffering capacity factor of forest soils. *Commun. Soil Sci. Plant Anal*. 26. 51-60. p.

Publikációk az értekezés témakörében

- CZINKOTA I. - FILEP GY. - RÉKÁSI M. - CZANIK P. (2002): An Equipment and Software for Improved estimations of Soil Acidity. *Agrokémia és Talajtan*. Vol. 51. No. 1-2 p. 63.
- RÉKÁSI M. - CZINKOTA I. - CZANIK P. (2004): A potenciális talajsavanyúság vizsgálata automatikus mérőrendszerrel. *Agrokémia és Talajtan*. Vol. 53. No. 3-4. 377-390.

- RÉKÁSI M. (2002): Determination of hydrolitic acidity by using different soil to Ca-acetate ratios. *Zeszity Problemowe Postepow Nauk Rolniczych*. Issue 482. p. 433-438.
- CSILLAG J. - FILEP GY. - LUKÁCS A. - RÉKÁSI M. (2002): Effect of pH and soil water content on Al and Mn concentrations in the liquid phase of two brown-forest soils. *Zeszity Problemowe Postepow Nauk Rolniczych*. Issue 482. p. 93-98.
- RÉKÁSI M. (2002): A hidrolitikus savanyúság vizsgálata különböző talaj:Ca-acetát arányok alkalmazásával. *Debreceni Egyetem Agrártudományi Közlemények Különszám*. p. 81.
- SIMON B. - TOLNER L. - RÉKÁSI M. - MICHÉLI E. (2006): Soil acidity investigation by potentiometric titrations. *Cereal Research Communications* 34. p. 283-286.
- CZINKOTA I. - FILEP GY. - RÉKÁSI M. - CZANIK P. (2002): An Equipment and Software for Improved estimations of Soil Acidity. 17th World Congress of soil Science CD-ROM.
- CZINKOTA I. - FILEP GY. - RÉKÁSI M. - CZANIK P. (2002): Equilibrium titration method for soil acidity. *Proceedings of the Alps-Adria Scientific Workshop*. p. 38-42.
- TOLNER L. - RÉKÁSI M. - VÁGÓ I. - ZSIGRAI GY. - KOVÁCS K. (2006): Effect of settings on the result of a pH-stat titration: soil acidity and estimated lime requirement. 18th World Congress of Soil Science CD-ROM.
- RÉKÁSI M. - CZINKOTA I. - CSUBÁK M. - CZANIK P. (2005): Influence of selected soil properties on the kinetics of soil acid-base buffer reactions. *ASA-CSSA-SSSA International Annual Meetings*. 2005. November 6 - 10, 2005. Salt Lake City, UT. CD-ROM.