

A talajok sav-bázis pufferkapacitásának értékelésére alkalmas módszer vizsgálata

RÉKÁSI MÁRK és FILEP TIBOR

MTA Talajtani és Agrokémiai Kutatóintézet, Budapest

A savanyú talajok javítása elvi hátterének fontos része a talajok sav-bázis pufferképességének jobb megismerése, megértése. A talajok pufferképessége ismeretének mindkét – savas és lúgos – pH-tartományban jelentősége van. A savakkal szembeni ellenálló-képesség a légköri savas ülepedés, a savanyító műtrágyák szempontjából meghatározó. A pH-t növelő hatásokkal szembeni tompítóképesség meghatározása viszont a talajjavító meszezés pontos kivitelezése, a talajjavító anyag szükséglet precíz meghatározása szempontjából nélkülözhetetlen.

A pufferképesség meghatározására sokféle módszer létezik (VAN SLYKE, 1922; FEDERER & HORNBECK, 1985; MURÁNYI, 1987; YUAN & LAVKULICH, 1995). Az eljárások többsége talajszuszpenziók potenciometrikus titrálásával nyert görbék értékelésével határozza meg a talaj pufferoló képességét, azonban ezek – FILEP (1991) szerint – csak a pufferhatás kvalitatív elemzésére alkalmasak. Éppen ezért FILEP (1991) egy olyan értékelési módot javasol, amellyel a pufferképesség kvantitatívan kifejezhető és a pufferképesség változási tendenciája is bemutatható. Az általa javasolt módszer hatványfüggvények titrálási görbére illesztésén alapszik. Az egyenletek a következők:

$$pH_x = pH_0 + k(m_b)^q \quad \text{és} \quad pH_x = pH_0 - k(m_s)^q \quad (1)$$

ahol: pH_x a talajszuszpenzió egyensúlyi pH-ja meghatározott mennyiségű lúg (m_b), vagy sav (m_s) 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 sebességét jellemző konstans.

A FILEP (1991) által javasolt függvény a teljes görbét csak nagy hibával írja le. Ezért a görbék ellaposodó, nagyobb sav- és lúgterhelésnél bekövetkező, nagy pufferképességet mutató – de gyakorlatilag a talaj pufferképességének kimerülését jelentő – szakaszát a kezdeti meredek szakasztól elválasztotta és a két szakaszra külön-külön határozta meg a pufferképességet jellemző függvényparamétereket.

Jelen közleményünkben további értelmezést kívánunk adni a k és a q paramétereknek, valamint megvizsgáljuk, hogy a k és q egymástól és a talaj tulajdonságaitól hogyan függenek.

Anyag és módszer

A vizsgálatokhoz Magyarország területéről származó különböző fizikai és kémiai paraméterekkel rendelkező 17 db talajmintát használtunk fel.

A pH-értékeket 1:2,5 arányú talaj:1 mol/dm³ KCl-oldatból készített szuszpenzióban határoztuk meg. A humusztartalmat (Hu%) Tyurin módszerével mértük (HARGITAI, 1988). A fizikai tulajdonságok közül a leiszapolható részt határoztuk meg (Li%) VÁRALLYAY (1993) szerint. A T-értéket és a kicserélhető bázisok mennyiségét (S-érték) GILLMANN (1979) szerint határoztuk meg. Az alapvizsgálatok eredményeit az 1. táblázat tartalmazza.

A sav-bázis titrálásokat 1:20 talaj:1 mol/dm³ KCl-oldat arányú szuszpenziókkal végeztük. A finomra porított, 2 mm-es szitán átszitált talajok 13–13 db 5 g-os részletéhez KCl-oldatot, majd 0,1 mol/dm³ HCl-ot, illetve 0,1 mol/dm³ NaOH-ot adtunk növekvő mennyiségben. A görbék felvételéhez 0; 1; 2; 4; 6; 8; 10; 12; 14; 16; 20; 24; 28 meé H⁺/100 g talaj, illetve OH⁻/100 g talaj sav- és lúgadagokat használtunk. A szuszpenziókat 1 mol/dm³ KCl háttér-elektrolit oldattal egészítettük ki 100 cm³-re. Ezt követően 24 órás állás után mértük a pH-t a felrázott szuszpenzióban.

A mért pH-értékeket a hozzáadott sav, illetve lúg mennyiségének függvényében ábrázolva titrálási görbéket kaptunk. A nagy meredekségű és az ellaposodó szakasz határa kijelölésének szubjektivitásából eredő hibát úgy csökkentettük, hogy a mere-

1. táblázat
A talajminták néhány tulajdonsága

(1) Minta	pH (KCl)	(2) Hu%	(3) Li%	(4) T-érték (meé/100g)	(5) S-érték (meé/100g)
Újfehértó	5,6	0,75	5	0,6	2,7
Rakamaz	3,9	0,67	6	0,4	1,5
Nyírgelse	4,2	0,82	8	1,7	2,1
Balkány	4,7	0,75	9	4,7	4,0
Somogyárd	4,5	1,3	20	–	–
Gödöllő	5,0	1,00	22	–	–
Tanakajd 7	5,0	1,74	23	3,7	5,2
Nyíregyháza 1	4,5	1,23	25	9,8	9,1
Nyíregyháza 2	4,6	1,55	27	9,1	9,9
Kocsord	4,3	1,12	34	10,4	10,3
Tanakajd 8	4,5	1,78	44	12,8	13,1
Tanakajd 1	3,9	1,37	54	4,8	4,1
Tanakajd 5	3,6	1,00	57	5,2	1,7
Tanakajd 2	3,8	3,54	60	17,7	15,7
Kérsemjén	4,6	1,92	63	20,4	20,8
Gagyvendégi	4,2	3,10	68	12,3	11,7
Putnok	4,0	1,90	69	19,5	18,5

Megjegyzés: –: nem mért érték

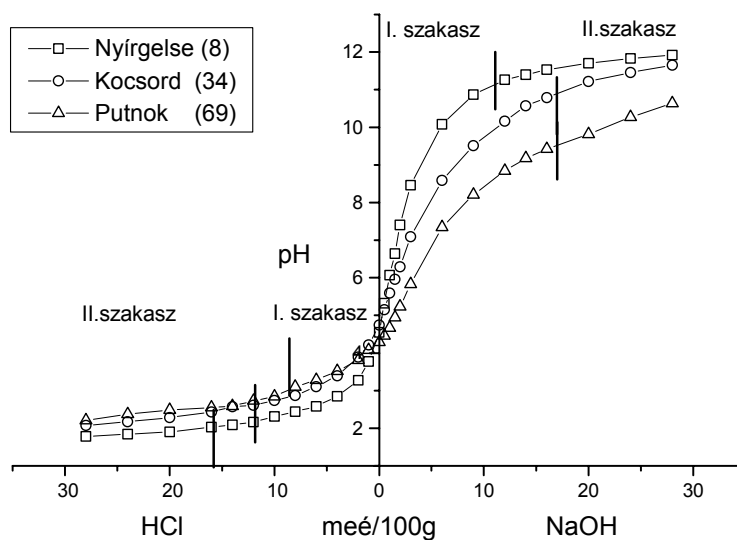
dek szakasz meghatározásához a titrálási görbe deriváltját használtuk FILEP és RÉDLYNÉ (1987–1988), illetve FILEP (1991) módszerének megfelelően. Ezen a meredek és az ellaposodó görbeszakaszok jobban megkülönböztethető módon válnak egymástól.

Eredmények és értékelésük

A talajok sav-bázis titrálási görbéinek alakja minden talaj esetében hasonló volt. A kezdeti meredek szakaszt egy további ellaposodó rész követte. A titrálás terhelési tartománya és a titrálási görbe felvételéhez használt mérési pontok száma alapján ezeket tendenciagörbéknek tekinthetjük, melyek a pH változását csak nagy léptékben mutatják be, a kisebb pH-ingadozások nem válnak láthatóvá (FILEP, 1991). Az 1. ábra három, eltérő fizikai féleségű talaj görbéit mutatja be.

A vizsgált talajminták titrálási görbéinek meredek és ellaposodó szakaszára vonatkozó k és q paramétereit a 2. táblázat tartalmazza. A továbbiakban az 1. szakaszra vonatkozó adatokat vizsgáljuk részletesen. A függvény igen pontosan írja le a titrálási görbék kezdeti szakaszát: az R^2 értéke 0,96–0,99 között változik.

A k paraméter értelmezése FILEP (1991) szerint a következő: egységnyi tömegű bázis/sav által előidézett kezdeti pH-változás ($\Delta\text{pH}/1$ meé OH⁻/100 g vagy H⁺/100 g). Azaz ez elméletileg nem más, mint reciproka a talaj pufferképességének – ahogyan azt VAN SLYKE (1922) definiálta ($\beta = \text{d}m_b/\text{d}p\text{H} = -\text{d}m_s/\text{d}p\text{H}$; mértékegysége: meé OH⁻ vagy H⁺/100 g talaj/pH), – a kezdeti, $m_b = 0$, ill. $m_s = 0$ pontban. Így a



1. ábra

Különböző fizikai féleségű talajok titrálási görbéi. Zárójelben az agyag+iszap% értékei. A függőleges vonalak a szakaszhatárokat mutatják

2. táblázat

A titrálási görbék két szakaszát leíró függvény q ($\Delta\%pH/\Delta\%$ meé H^+ vagy $OH/100$ g talaj) és k ($\Delta pH/1$ meé H^+ vagy $OH/100$ g talaj) paraméterei

(1) Minta	(2) I. Szakasz				(4) II. Szakasz			
	(3) Titráló oldat							
	NaOH		HCl		NaOH		HCl	
	q	k	q	k	q	k	q	k
Újfehértó	0,61	1,35	0,37	1,37	0,68	0,10	0,69	0,08
Rakamaz	0,61	1,65	0,46	0,69	0,63	0,14	0,69	0,09
Nyírgelse	0,55	1,86	0,43	0,88	0,68	0,10	0,59	0,12
Balkány	0,49	1,95	0,39	1,07	0,72	0,08	0,89	0,05
Somogyárd	0,61	1,36	0,45	0,86	0,50	0,29	0,65	0,11
Gödöllő	0,66	1,09	0,44	1,11	0,58	0,21	0,62	0,12
Tanakajd 7	0,59	1,24	0,46	0,94	0,55	0,15	0,62	0,12
Nyíregyháza 1	0,63	1,07	0,55	0,54	0,82	0,07	0,79	0,05
Nyíregyháza 2	0,73	0,80	0,58	0,58	0,70	0,14	0,74	0,07
Kocsord	0,64	1,08	0,52	0,61	0,63	0,18	0,87	0,05
Tanakajd 8	0,63	1,10	0,60	0,47	0,88	0,11	0,70	0,08
Tanakajd 1	0,78	0,68	0,58	0,38	1,22	0,04	0,68	0,07
Tanakajd 5	0,89	0,39	0,58	0,32	–	–	0,69	0,06
Tanakajd 2	0,75	0,69	0,66	0,25	0,76	0,13	0,83	0,05
Kérsemjén	0,74	0,75	0,59	0,46	0,80	0,21	0,85	0,05
Gagyvendégi	0,66	0,81	0,51	0,57	1,09	0,08	0,78	0,06
Putnok	0,74	0,71	0,61	0,35	0,98	0,11	1,50	0,01

Megjegyzés: – nem illeszthető a függvény

k paraméter alkalmas a sav-bázis érzékenység jellemzésére. Értéke minél kisebb, annál nagyobb a talaj eredeti pufferképessége.

FILEP (1991) a q paramétert úgy írja le, mint „a pH-változás sebességét jellemző konstans”. A függvényből következően a q azt mutatja meg, hogy a sav-, vagy bázisterhelés 1%-os növelésével hány %-kal változik a pH (mértékegysége: $\Delta\%pH/\Delta\%$ meé H^+ vagy $OH/100$ g talaj). A q tehát a pufferképesség változásának tendenciáját jellemző paraméter, melynek fontos határértékei a következők (2. ábra):

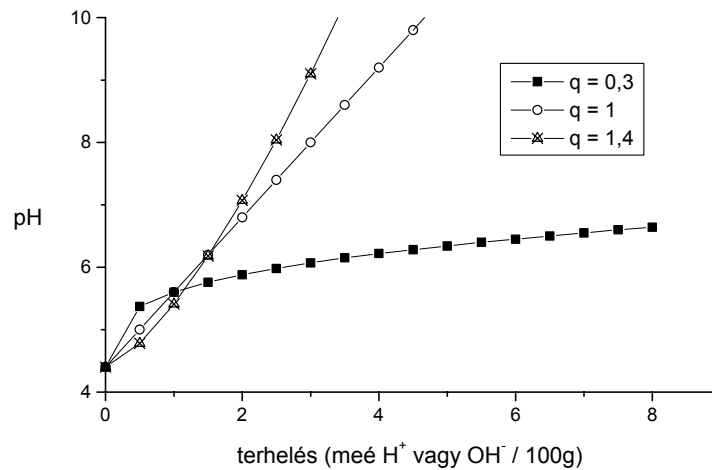
ha $q = 1$, akkor a talaj kezdeti pufferképessége nem változik,

ha $q < 1$, akkor a pufferképesség nő,

ha $q > 1$, akkor a pufferképesség csökken a sav/lúg adagolással.

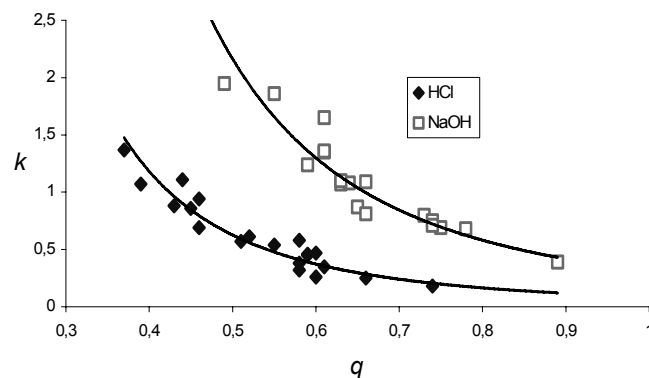
A vizsgált talajoknál minden esetben $q < 1$, azaz a terhelések növekedésével a pufferképesség nő. Részletesebb, kisebb sav-/lúgterhelési tartományt lefedő, több pontból álló titrálási görbék tanulmányozásával valószínűleg olyan szakaszok is láthatóvá válhatnak, ahol a $q > 1$.

A függvényparaméterek jobb megértéséhez meg kell vizsgálnunk, hogy a vizsgált talajok titrálási görbéinek első szakaszára elvégzett függvényillesztés alapján a k és q értékek milyen viszonyban, összefüggésben vannak egymással. Ahogyan ez a 3. ábrán látható: a q érték növekedése a k értékének csökkenését vonja maga után.



2. ábra

Három hipotetikus titrálási görbe a ráillesztett függvénnyel. A kezdeti pH és a kezdeti pH-változás mértéke megegyező ($\text{pH}_0 = 4,4$; $k = 1,2$)



3. ábra

A titrálási görbe I. szakaszára vonatkozó kezdeti pH-változás (k) és a változás tendenciájának (q) kapcsolata a savas és lúgos titrálás esetén

Azaz, ha a talaj kezdeti pufferképessége nagy (a k értéke kicsi), akkor a q értéke az egyhez tart, azaz a pufferképesség változása egyre kisebb lesz. A nagy sav/lúg pufferoló képességű talajok pufferképessége a sav-/lúgadalás hatására nem változik meg számottevően, míg azok a talajok, amelyek kezdeti pufferelő képessége kicsiny már kis mennyiségű sav/lúg hatására veszítenek pufferkapacitásukból. Ez a függvénykapcsolat azt is jelenti, hogy a függvénynek a kezdeti sav-bázis érzékenységet jellemző értékéből (k) következtetni lehet a talaj pufferképességének változási tendenciájára. A k és q paraméterek között hatványösszefüggést feltételezve a következő regressziós egyenleteket kapjuk:

$$\text{NaOH titrálás} \quad k = 0,31 \cdot q^{-2,8} \quad R^2 = 0,91^{***} \quad (2)$$

$$\text{HCl titrálás} \quad k = 0,1 \cdot q^{-2,7} \quad R^2 = 0,89^{***} \quad (3)$$

A k - q függvénykapcsolat további következménye, hogy létezik egy k határérték, ami felett a pufferképesség változási tendenciája növekvő, alatta csökkenő, az adott értéknél pedig nem változik. Mindez egyszerűen levezethető a regressziós egyenletekből, hiszen lúgos titrálásnál:

ha $k > 0,31$, akkor $q < 1$, ha $k = 0,31$, akkor $q = 1$, ha $k < 0,31$, akkor $q > 1$.

Ugyanez a határérték a vizsgált mintáink esetében savterhelésre: $k = 0,1$. A $k < 0,31$, ill. $< 0,1$ szituáció csak a görbe matematikai konzekvenciáiból adódik, ilyen mérési eredmény mintáink esetében nem adódott.

A titrálási görbék II. szakaszán tapasztalt k és q értékek esetében is hasonló összefüggés áll fenn.

A kezdeti pH-változás (k) és a változás tendenciája (q) között tapasztalt összefüggés hátterének megismerése érdekében megvizsgáltuk a két függvényparaméter és a talajtulajdonságok kapcsolatát. A regressziós egyenletek alapján azt tapasztaltuk, hogy a növekvő humusztartalommal és leiszapolható rész mennyiséggel a kezdeti pH-változás egyre kisebb, a pufferképesség változásának tendenciája viszont egyre közelebb esik az 1-es értékhez. Azaz, nagy kolloidtartalom esetén a pufferképesség egyre kevésbé változik a titrálás során: nagy sav-, illetve lúgterhelésnél is hasonló meredekségű a titrálási görbe. A kezdeti pH-változásnak (k) és a változás tendenciájának (q) kapcsolata a humusztartalommal hatványfüggvény szerint, a leiszapolható rész mennyiségével lineárisan változik:

$$q(\text{sav}) = 0,003 \cdot Li\% + 0,41 \quad R^2 = 0,66^{***} \quad (4)$$

$$k(\text{sav}) = -0,01 \cdot Li\% + 1,06 \quad R^2 = 0,64^{***} \quad (5)$$

$$q(\text{lúg}) = 0,003 \cdot Li\% + 0,56 \quad R^2 = 0,54^{***} \quad (6)$$

$$k(\text{lúg}) = -0,016 \cdot Li\% + 1,65 \quad R^2 = 0,71^{***} \quad (7)$$

$$q(\text{sav}) = 0,47 \cdot Hu\%^{0,26} \quad R^2 = 0,55^{***} \quad (8)$$

$$k(\text{sav}) = 0,78 \cdot Hu\%^{-0,68} \quad R^2 = 0,51^{**} \quad (9)$$

$$q(\text{lúg}) = 0,62 \cdot Hu\%^{0,16} \quad R^2 = 0,38^* \quad (10)$$

$$k(\text{lúg}) = 1,28 \cdot Hu\%^{-0,56} \quad R^2 = 0,61^{***} \quad (11)$$

Látható, hogy a kezdeti pH-változás nagysága (k) fordított arányban áll a talaj kolloidtartalmával. Ez érthető is, hiszen a nagyobb felületen lejátszódó kationcsere-reakciók a talajhoz adott sav, illetve lúg pH-módosító hatását jobban képesek tompítani, így a pH változása kisebb. A q értékének a kolloidtartalommal való kapcsolatára a k segítségével adhatunk magyarázatot. Ehhez az 1. ábrán bemutatott Nyírgelse és Kocsord minták NaOH-dal való titrálásának példáját használjuk fel. A homoktalaj (Nyírgelse) kezdeti pH-változása 1,86, a vályogé (Kocsord) 1,08. A kis kolloidtartalmú talaj tehát már kisebb lúgterhelés hatására is nagyobb pH-változással reagál és viszonylag kis terhelésnél eléri az ellaposodó szakasz kezdetét jelentő pH = ~11 értéket; a változás tendenciáját mutató konstans (q) értéke 0,55. A

vályogtalaj viszont nagyobb terhelések hatására is kisebb pH-változást mutat, mint a homoktalaj, ezért a q értéke magasabb (0,64).

Általánosan fogalmazva a kis pufferképességű talajoknál a kezdeti nagymértékű pH-változás után a pufferképesség hamar kimerül, így a titrálási görbe, már viszonylag kis terhelés után ellaposodik és így éri el a megnövekedett pufferképesség (II. szakasz) határát. A nagy pufferképességű talajok viszont a titrálás teljes I. szakaszában, még a nagyobb terheléseknél is közel állandó pufferképességet mutatnak, így a titrálási görbe meredeksége kevésbé változik a nagy sav-, illetve lúdagagok alkalmazása esetén.

A II. szakaszra vonatkozó kezdeti pH-változással és a változás tendenciájával a talajtulajdonságok nem mutattak kapcsolatot.

Összefoglalás

Munkánkban a FILEP (1991) által javasolt, titrálási görbék leírására alkalmas függvény paramétereinek vizsgálatát végeztük el 17 talajból álló mintakollekcióra alapozva. A függvény a következő:

$$pH_x = pH_0 + k(m_b)^q \quad \text{és} \quad pH_x = pH_0 - k(m_s)^q$$

ahol: pH_x a talajszuszpenzió egyensúlyi pH-ja meghatározott mennyiségű lúg (m_b), vagy sav (m_s) 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 sebességét jellemző konstans.

A talajok titrálási tendenciagörbéinek első, meredek szakaszára végeztük el a függvény illesztését. Főbb megállapításaink a következők:

A FILEP (1991) által javasolt függvény k (egységnyi tömegű bázis/sav által előidézett kezdeti pH-változás ($\Delta\text{pH}/1$ meé $\text{OH}^-/100$ g vagy $\text{H}^+/100$ g)) és q (1%-os sav-, vagy bázisterhelés növelés hatására bekövetkezett %-os pH-változás ($\Delta\% \text{pH} / \Delta\%$ meé H^+ vagy $\text{OH}^-/100$ g talaj)) paramétere negatív korreláció szerint, feltehetően hatványosan összefügg:

NaOH titrálás	$k = 0,31 \cdot q^{-2,8}$	$R^2 = 0,91 ***$
HCl titrálás	$k = 0,1 \cdot q^{-2,7}$	$R^2 = 0,89 ***$

Ezen összefüggés miatt feltehetően már az egyik paraméter is elégséges a talaj pufferképességének leírásához.

A kezdeti pH-változás nagysága (k) fordított, míg a változás tendenciáját jellemző konstans (q) egyenes arányban áll a talaj kolloidtartalmával.

Kulcsszavak: talajok sav-bázis pufferkapacitása, titrálási görbék, függvényillesztés, pH-változás

Irodalom

- FEDERER, C. A. & HORNBECK, J., 1985. The buffer capacity of forest soils in New England. *Water, Air and Soil Poll.* **26**. 163–173.
- FILEP GY., 1991. A talajok sav-bázis titrálási görbéinek és pufferkapacitásának új értékelési módszere. *Agrokémia és Talajtan.* **40**. 195–201.
- FILEP GY. & RÉDLY L.-NÉ, 1988. A talajsavanyúság formáinak és a talaj sav-bázis pufferoló hatásának értelmezése. *Agrokémia és Talajtan.* **36–37**. 79–96.
- GILLMAN, G. P., 1979. A proposed method for the measurement of exchange properties of highly weathered soils. *Aust. J. Soil. Res.* **17**. 129–139.
- HARGITAI L., 1988. A talaj szervesanyag-tartalmának meghatározása Tyurin módszerével. In: *Talaj- és agrokémiai vizsgálati módszertankönyv 2.* (Szerk.: BUZÁS I.) 152–154. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.
- MURÁNYI, A., 1987. Soil acidification and the soil properties. *Zeszyty Problemowe Postepow Nauk Rolniczych.* **344**. 123–126.
- VAN SLYKE D. D., 1922. On the measurement of buffer values and on the relationship of buffer value to the dissociation constant of the buffer and the concentration and reaction of buffer solution. *J. Biol Chem.* **52**. 525–570.
- VÁRALLYAY GY., 1993. A talaj leiszapolható részének meghatározása (rövidített mechanikai elemzés). In: *Talaj- és agrokémiai vizsgálati módszertankönyv 1.* (Szerk. BUZÁS I.) 42–43. INDA 4231 Kiadó. Budapest.
- YUAN, G. & LAVKULICH, M., 1995. Acid buffering capacity factor of forest soils. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* **26**. 51–60.

Érkezett: 2006. november 28.

Method for evaluating the acid-base buffering capacity of soils

M. RÉKÁSI and T. FILEP

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

Summary

In the present work the parameters of equation (1), suggested by FILEP (1991) were studied on 17 Hungarian soil samples with different physical and chemical characteristics. The equation is suitable for describing soil acid-base titration curves.

$$pH_x = pH_0 + k(m_b)^q \quad \text{and} \quad pH_x = pH_0 - k(m_s)^q \quad (1)$$

where: pH_x is the equilibrium pH of the soil suspension, m_b and m_s are the amount of added base and acid, pH_0 is the suspension pH at the beginning of the titration, k is the initial pH change caused by 1 unit mass of acid or base, and q is a constant representing the rate of pH change.

The suspensions (1:20 soil:1M KCl solution) were titrated with 0.1M HCl and 0.1M NaOH as follows: 0; 1; 2; 4; 6; 8; 10; 12; 14; 16; 20; 24; 28 meq H^+ /100g soil, or OH^- /100g soil. The suspension pH was measured after 24 hours of equilibration. To obtain the titration curves, the pH values were plotted against the amount of added acid or base. The function is not able to describe the whole titration curve, so the curves were divided into two sections (Figure 1), and the function was fitted to the first and second parts of the curve separately. Hereinafter the parameters of the first steep section are discussed.

The main findings can be summarized as follows:

The initial pH change caused by 1 unit mass of acid or base ($\Delta pH/1$ meq H^+ /100g or OH^- /100g soil) and the constant representing the rate of pH change ($\Delta\%pH/\Delta\%$ meq H^+ or OH^- /100g soil) are in negative correlation. The relation between them can be described by a power function.

NaOH titration	$k = 0.31 \cdot q^{-2.8}$	$R^2 = 0.91^{***}$
HCl titration	$k = 0.1 \cdot q^{-2.7}$	$R^2 = 0.89^{***}$

This means that the initial pH change (k) determines the tendency of pH change (q). For example, in the case of HCl titration if $k < 0.1$ then $q > 1$ (pH change will increase), if $k > 0.1$ then $q < 1$ (pH change will decrease) and if $k = 0.1$ then $q = 1$ (pH change will stay at the initial level). Because of this correlation a single parameter might be sufficient to describe the acid-base buffering capacity of the soil.

The soil colloid content is negatively correlated with the initial pH change (k) and positively with the rate of pH change (q) (See equations 4–10).

Table 1. Selected parameters of the soil samples. (1) Sample. (2) Organic matter %. (3) Clay+silt %. (4) Cation exchange capacity, CEC, meq/100 g. (5) Exchangeable bases, meq/100 g. *Note:* not measured value.

Table 2. Function parameters q ($\Delta\%pH/\Delta\%$ meq H^+ or OH^- /100 g soil) and k ($\Delta pH/1$ meq OH^- /100 g or H^+ /100 g) describing the two sections of the titration curve.

(1) Sample. (2) Section I. (3) Section II. (4) Titration solution. *Note:* Function cannot be fitted

Fig. 1. Titration curves for soils with different texture. The clay+silt% values are given in brackets. Vertical lines indicate the two sections of the titration curves.

Fig. 2. Three hypothetical titration curves and the fitted function. pH_0 and k are identical in all cases ($\text{pH}_0 = 4.4$; $k = 1.2$).

Fig. 3. Relationship between the initial pH change (k) and the tendency of the pH change (q) of the first section of the titration curve in the case of acid and base (HCl and NaOH) titrations.