



**A TALAJOK PUFFERKÉPESSÉGÉT
BEFOLYÁSOLÓ TÉNYEZŐK ÉS
JELENTŐSÉGÜK A KERTÉSZETI TERMESZTÉSBEN**

DOKTORI ÉRTEKEZÉS TÉZISEI

Csoma Zoltán

Budapest – 2010

A doktori iskola

megnevezése:	Kertészettudományi Doktori Iskola
tudományága:	Növénytermesztési és kertészeti tudományok
vezetője:	Dr. Tóth Magdolna egyetemi tanár, DSc Budapesti Corvinus Egyetem, Kertészettudományi Kar, Gyümölcsstermő Növények Tanszék
Témavezető:	Dr. Forró Edit, CSc, egyetemi docens Budapesti Corvinus Egyetem, Kertészettudományi Kar, Talajtan és Vízgazdálkodás Tanszék

A jelölt a Budapesti Corvinus Egyetem Doktori Szabályzatában előírt valamennyi feltételnek eleget tett, az értekezés műhelyvitájában elhangzott észrevételeket és javaslatokat az értekezés átdolgozásakor figyelembe vette, azért az értekezés védési eljárásra bocsátható.

1. A MUNKA ELŐZMÉNYEI ÉS A KITÚZÓTT CÉLOK

A kertészeti ágazatokban a sokféle növény eltérő igénye miatt rendkívül változatosak a talajjal, természetű közeggel szemben támasztott követelmények. A termesztés összetettségéből, sajátosságaiból adódóan fokozott az igény a talajfolyamatoknak a növény vegetációs fázisaival összhangban történő szabályozhatósága iránt. Az irányításhoz ismerni kell a talaj, gyökérrögzítő közeg azon tulajdonságait, amelyek jellemzik a különböző hatások előidézte állapotváltozását – az érzékenységét és (érzéketlenségét =) pufferképességét.

A kertészeti termesztésben alkalmazott anyagok pufferképességének megítélése és értékelése felhasználásuktól függően változó, olykor egymással ellentétes kritériumok alapján szükséges. A magas pufferkapacitással bíró talajok, természetű közegek bizonyos szintig érzéketlenek a savanyító és lúgosító hatásokkal szemben, ami a növény számára optimalizált kémhatás fenntartása miatt előnyös. A kizárólag a növényi gyökérzet támasztékául szolgáló közeggel szemben viszont kifejezett követelmény a pufferképesség hiánya, elvárás továbbá, hogy a kijutatott tápoldat összetételét, kémhatását se módosítsa.

A mesterséges talajok, földkeverékek kialakítására, gyökérrögzítő közegként, talajtakaróként különféle szerves és ásványi anyagokat használnak. A szerves anyagok sav-bázis pufferképessége többnyire magas. Feltételezhetően éppen a jelentős tompítóképeség az oka (*miért vizsgálni, ha tudjuk, hogy nagy?*), hogy olyan elterjedten használt szerves anyagokra vonatkozóan, mint a tőzeg vagy komposzt nagyon kevés számszerű vizsgálati adat áll rendelkezésünkre. Viszonylag kevés figyelmet kap a talajfelszínen visszamaradt, vagy takaróanyagként célirányosan odajutatott, az átalakulás kezdeti stádiumában lévő szerves maradványok elkülönítése és a savas, illetve lúgos terhelésekkel szembeni viselkedésének vizsgálata. A korábbi tudományos eredmények, valamint a legújabb kutatások lehetőséget adnak a kertészeti termesztésben különböző célokra felhasznált szerves anyagok sav-bázis pufferképességének értelmezésére és értékelésére, az általánosan megfogalmazott tételek pontosítására.

Az ásványi anyagokra vonatkozóan a sav-bázis pufferképesség vizsgálatok elsődleges célja a környezeti elemek elsavanyodásával összefüggő problémák megoldása. Az ilyen irányú kutatások során feltárt törvényszerűségeken kívül, az ásványi anyagok kertészeti célú felhasználásakor, a sav-bázis tompítóképesség elbírálásához egyéb szempontokat is figyelembe kell venni, amelyekre vonatkozóan további vizsgálatok szükségesek.

A sav-bázis titrálási görbék felvételénél alkalmazott eljárás ásványi talajokra lett kidolgozva. Szerves és egyes ásványi anyagok pufferképességének vizsgálatához szükséges a módszer továbbfejlesztése. Igény van továbbá olyan mérőszámokra, amelyekkel a szerves és ásványi anyagok pufferkapacitása mennyiségileg jellemezhető és a kertészek számára jól használhatók.

A mesterséges talajok, termesztési közegek kialakítása során az egyik legfontosabb feladat a növény igényeinek megfelelő pH érték beállítása. A kertészeti gyakorlatban a pH érték növelésének és csökkentésének szükségessége egyaránt felmerülhet. Eltérő okok miatt, de az alacsony és a nagy sav-bázis pufferképesség is megnehezíti a kémhatás pontos szabályozását. További problémát jelent a savanyító vagy lúgosító anyagok szükséges mennyiségének megállapítására alkalmas, egyszerűen kivitelezhető, pontos módszer hiánya, a termesztő sokszor csak becsült mennyiségekkel dolgozik. A szakirodalomban a sav-bázis titrálási görbék alapján való számítást ajánlják, ugyanakkor a megfelelő módszer, az adatok kiértékelésének és felhasználásának szempontjai hiányoznak.

Kutatómunkám fő célkitűzése természetes eredetű szerves és ásványi anyagok sav-bázis pufferképességének megismerése és értékelése, a kémhatásukkal összefüggő szabályozás lehetőségeinek feltárása, jelentőségének kertészeti szempontok szerinti elemzése. A megvalósításhoz a következő célokat és kutatási feladatokat fogalmaztam meg:

- a talajtani kutatásokban alkalmazott potenciometriás titrálás adaptálása a szerves és ásványi anyagok, termesztési közegek, mesterséges talajok sav-bázis titrálási görbéinek felvételére anyagi sajátosságaik és alkalmazási körülményeik figyelembevételével;

- a szerves és ásványi anyagok sav-bázis pufferkapacitásának kvantitatív értékelésére alkalmas egzakt paraméterek kijelölése a mértékegységük megnevezésével;
- a kertészeti termesztésben alkalmazott szerves anyagok titrálási görbéinek felvétele, pufferkapacitásuk meghatározása, kiértékelése, összehasonlító jellemzése;
- természetes eredetű ásványi anyagok és a kertészeti felhasználás céljaira belőlük gyártott termékek titrálási görbéinek felvétele, pufferkapacitásuk meghatározása, kiértékelése, összehasonlító jellemzése;
- a titrálási görbék és a pufferkapacitást jellemző paraméterek alkalmazási lehetőségeinek kielemezése a szerves és ásványi anyagok kémhatás változásaival összefüggő kutatási és gyakorlati feladatokban;
- a sav-bázis pufferképesség jelentőségének feltárása és elemzése a kertészeti termesztési gyakorlatban.

2. ANYAG ÉS MÓDSZER

2.1 A vizsgált szerves és ásványi anyagok

Kutatásomhoz a kertészeti termesztésben (is) alkalmazott természetes eredetű 20 db szerves és 12 db ásványi anyagot választottam. Meghatároztam fellép és síkláptőzegek, továbbá kókuszrost, eltérő érlelésű szerves trágyák, komposztok és azok alapanyagának, valamint az időszakosan felszínre jutó vagy talajtakaróként oda jutatott avar és zúzott szalma sav-bázis pufferkapacitását jellemző paramétereit. Az ásványi anyagok közül a vizsgálatokba folyami homokot, kőzetgyapotot, égetett agyagkavicsot, perlitet, duzzasztott perlitet, kaolint, bentonitot, nátrium bentonitot, humuszos bentonitot, vermikulitot, porított (0,1 – 0,25 mm) és egy nagyobb szemcseméretű (2 – 3 mm) zeolitot, valamint alunitot vontam be.

2.2 A sav-bázis titrálási görbék felvételénél alkalmazott eljárás

A kezeléshez használt sav és lúg oldatok koncentrációit a vizsgált anyag egységnyi tömegére kijuttatni kívánt proton, illetve hidroxid-ion terhelés alapján állapítottam meg.

A vizsgált ásványi minták 20 g, a szerves anyagok 10 g tömegéhez növekvő koncentrációjú HCl illetve NaOH oldatokat adagolva szuszpenzió sorozatot készítettem. A minta kezdeti pH értékének meghatározásához a sorozaton belül bemérésre került egy desztillált vizes szuszpenzió is. Az ásványi anyagok vizsgálatánál 1:2,5 minta:oldat arány mellett a maximális proton, illetve hidroxid-ion terhelés $12,5 \text{ cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ volt. A szerves anyagok, valamint a nagy vízfelvevő és víztartó képességgel rendelkező ásványi anyagok titrálási görbéinek felvétele 1:10 minta:oldat arány mellett történt. A szerves anyagoknál maximálisan $25 \text{ cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ proton, illetve hidroxid-ion terhelést alkalmaztam. Az ásványi anyagoknál 1:10 minta:oldat arány mellett is $12,5 \text{ cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ volt a maximális proton, illetve hidroxid-ion terhelés. Egy órai körkörös rázógépen való rázatás után a minta sorozatot 24 órán keresztül állni hagytam. A mérés megkezdése előtt felrázott és leülepedő szuszpenzió felülúszójában meghatároztam a sorozat tagjainak egyensúlyi pH értékét.

A minták általában olyan formában és szemcseméretben kerültek bevizsgálásra, mint ahogyan a természetben is felhasználásra kerülnek. A levegő széndioxidja a lúgfogyasztást növeli, a titrálási görbék felvétele ezért a levegő kizárásával történt. A mérések kivitelezéséhez WTW InoLab pH/Ion Level 2 mérőkészüléket és SenTix 61 kombinált üvegelektrodát használtam.

2.3 A sav-bázis pufferképesség értékelése

A mérések során meghatározott $[H^+] - pH$ és $[OH^-] - pH$ összefüggéseket diagramon ábrázolva a vizsgált anyag titrálási görbéjét kapjuk, amelyek alapján a sav-bázis pufferképességet jellemző paraméterek meghatározhatók (1. táblázat).

1. táblázat. A sav-bázis pufferképesség értékelésére használt mérőszámok

Megnevezés	Jelölés	Mértékegység
sav pufferkapacitás	aBC	viszonyított értékszám
lúg pufferkapacitás	bBC	viszonyított értékszám
sav érzékenységi index	aSen	pH cmol ⁻¹ kg
lúg érzékenységi index	bSen	pH cmol ⁻¹ kg
1 cmol kg ⁻¹ sav okozta pH csökkenés a kezdeti (pH ₀) értékhez képest	${}^aSen_0^I$	pH cmol ⁻¹ kg
1 cmol kg ⁻¹ lúg okozta pH növekedés a kezdeti (pH ₀) értékhez képest	${}^bSen_0^I$	pH cmol ⁻¹ kg
sav puffer index	${}^a\beta$	cmol pH ⁻¹ kg ⁻¹
lúg puffer index	${}^b\beta$	cmol pH ⁻¹ kg ⁻¹
egységnyi pH érték csökkenést előidéző sav mennyiség a kezdeti (pH ₀) értékhez képest	${}^a\beta_0^I$	cmol pH ⁻¹ kg ⁻¹
egységnyi pH érték növekedést előidéző lúg mennyiség a kezdeti (pH ₀) értékhez képest	${}^b\beta_0^I$	cmol pH ⁻¹ kg ⁻¹

Sav pufferkapacitás és lúg pufferkapacitás. A pufferkapacitás értékét a titrálási görbe által határolt terület alapján határoztam meg. A számítások elvégzéséhez a diagramon a vizsgált minta titrálási görbójén kívül további kettőt szerkesztettem, amelyek a viszonyítási alapot képezték. Az egyik a kvarc homok titrálási görbéje, amely a zero pufferkapacitás értékkel rendelkező anyag titrálási görbéjének felel meg. A pH=7 ponton keresztül menő és az abszcisszával párhuzamos egyenes egy olyan hipotetikus „abszolút puffer anyag” titrálási görbéje, pontosabban egyenese, amelyik az összes hozzáadott savat, illetve lúgot képes semlegesíteni. Az „abszolút puffer anyag” egyenese és a kvarc homok titrálási görbéje által határolt terület nagysága az „abszolút puffer anyag” pufferkapacitásának felel meg, amelynek értéke a savas és lúgos tartományban egyaránt maximális. A vizsgálatba vont minták különböző kezdeti pH értékéből eredő eltérések kiküszöbölésére titrálási görbéjüket az ordináta tengellyel párhuzamosan eltoljuk, amíg kezdeti pH értékük egybe esik az „abszolút puffer” titrálási görbéjének kezdő pontjával (pH=7).

A szerves és ásványi anyagok pufferkapacitása a titrálási görbéjük és a kvarc homok titrálási görbéje által határolt terület, valamint az „abszolút puffer” egyenese és a kvarc homok titrálási görbéje által határolt terület arányaként definiálható. A számítások eredményeképpen, értelemszerűen egytől kisebb tört számot kapunk, amit a pufferkapacitás számszerű értékének könnyebb értelmezhetősége végett 100-al beszorzunk. A pufferkapacitás értékét külön számítottam a savas és külön a lúgos tartományra. Jelölésükre bevezettem a aBC – a savas terhelésekkel szembeni pufferkapacitás és a bBC – a lúgos terhelésekkel szembeni pufferkapacitás kifejezéseket. A kísérlet során az egy kg vizsgált közegre alkalmazott maximális sav, illetve lúgterhelést cmol-ban kifejezve a jelölések alsó indexe mutatja: ${}^aBC_{12,5}$ és ${}^bBC_{12,5}$.

Sav érzékenységi index és lúg érzékenységi index. Az érzékenységi index a sav-bázis titrálási görbe alapján határozható meg. Számszerű értéke azzal a pH változással egyenlő, amelyet egy cmol sav vagy bázis idéz elő egy kilogramm anyagra vonatkoztatva. Mértékegysége: pH cmol⁻¹ kg. Jelölésük: aSen – sav érzékenységi index, bSen – lúg érzékenységi index.

Az érzékenységi index részesete az 1 cmol kg⁻¹ sav, illetve bázis okozta pH változás a vizsgált anyag kezdeti (pH₀) értékéhez képest. Jelölésükre bevezettem a ^aSen₀^I, illetve a ^bSen₀^I kifejezéseket, ahol az alsó indexként megjelenő 0 a titrálás zéruspontjára, a felső index, pedig a változást előidéző terhelés nagyságára utal. A Sen értéke 1 cmol kg⁻¹ terhelésen belül is változhat, míg a ^aSen₀^I ezeket a változásokat figyelmen kívül hagyja. A kétféle érzékenységi mutató értéke abban az esetben esik egybe, amikor a savas, illetve lúgos hatások okozta pH változások közötti összefüggések – legalább 1 cmol kg⁻¹ terhelésen belül – lineárisak. A ^aSen₀^I az ásványi anyagok pufferképességének értékelésére használtam.

Sav puffer index és lúg puffer index. A puffer index az érzékenységi index reciprok értéke, így az ^aSen és ^bSen alapján meghatározható. A sav puffer index jelölése: ^aβ, a lúg puffer index jelölése: ^bβ.

A puffer index számszerű értéke azzal a sav, illetve lúg mennyiséggel egyenlő, amely egységnyi tömegű anyag pH-ját egy egységgel képes csökkenteni, illetve növelni. Mértékegysége: cmol pH⁻¹ kg⁻¹.

Az érzékenységi mutatóhoz hasonlóan a puffer indexre vonatkozóan is alkalmaztam, mint mérőszámokat az egységnyi pH változáshoz szükséges sav, illetve lúg mennyiségeket a kiindulási (pH₀) értékhez viszonyítva. Jelölésükre a ^aβ₀^I és ^bβ₀^I kifejezéseket alkalmaztam. Számszerű értékük meghatározása a titrálási görbék alapján lehetséges. Az ^aβ₀^I és ^bβ₀^I csak abban az esetben reciprokjai a ^aSen₀^I és ^bSen₀^I paramétereknek, ha a titrálási görbe az adott szakaszon lineáris lefutású.

3. EREDMÉNYEK

3.1 A szerves és ásványi anyagok sav-bázis pufferképességének vizsgálatára adaptált módszer

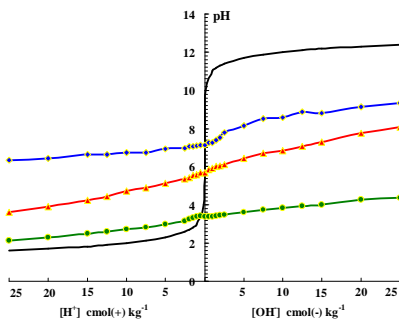
A kertészeti termesztésben használatos anyagok sav-bázis pufferképességének vizsgálatára az ásványi talajoknál alkalmazott eljárás több részletében nem bizonyult megfelelőnek. A módszert ezért továbbfejlesztettem és alkalmassá tettem a szerves és ásványi anyagok, természetesi közegek, mesterséges talajok sav-bázis titrálási görbéinek felvételére. A szerves és ásványi anyagok vizsgálata olyan szemcseméretben és szerkezeti állapotukban történik, ahogyan azok a termesztésben is felhasználásra kerülnek. A módszer figyelembe veszi a minták többnyire nagy és változó nedvesség tartalmát oly módon, hogy a titrálási görbék felvételéhez előírt mintamennyiséget száraz anyagra vonatkoztatjuk, a mintában lévő vízmennyiséget pedig kivonjuk a terhelés modellezésére felhasznált oldat mennyiségéből. Az ismertett eljárással megvalósítható, hogy a nagy víztartalmú anyagok tényleges pufferkapacitását mérjük és a jellemző paraméterek értékei különböző nedvességtartalmú minták esetében összehasonlíthatók legyenek.

Az ivano-frankivszki felláptőzeg és a pötrétei síkláptőzeg titrálási görbéiből számított sav és lúg puffer index értékek alapján összehasonlítottam az ásványi talajokra alkalmazott módszert és a tovább fejlesztett változatot. A nagy nedvesség tartalmú mintáknál a száraz anyag mennyiségre, illetve a nedves minta tömegére számított kezelés alapján meghatározott sav puffer index értékek között 1,5 – 1,8-szoros, a lúg puffer indexek között 1,2 – 2,9-szeres különbségek adódtak. A kétmintás párosított t-próba a felláptőzegre és a síkláptőzegre is igazolta, hogy a nedvességtartalom korrekcióval számított puffer indexek átlagai legalább $p=0,001$ szignifikancia szint mellett nagyobbak.

3.2 A szerves anyagok sav-bázis pufferképessége

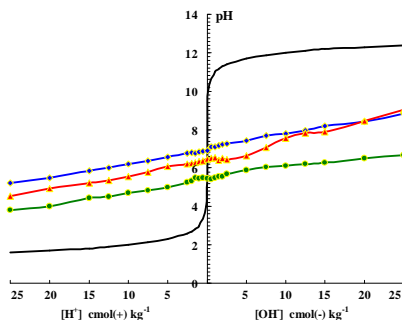
A vizsgálatba bevont szerves anyagok mindegyikére vonatkozóan megállapítható, hogy titrálási görbéjük lefutása közel lineáris, a titrálás során felvett pontok-

ra egyenes illeszthető (1. és 2. ábrák). A terhelésként adott sav, illetve lúg koncentrációk és a szuszpenziók egyensúlyi pH értékei közötti összefüggések formailag lineáris függvénykapcsolatként kezelhetők.



1. ábra. Tőzgek és kókuszrost titrálási görbéi:

- ◆ – hahóti síkláp tőzeg;
- ▲ – kókuszrost;
- – voloscsai világosbarna felláp tőzeg;
- kvarc homok



2. ábra. Komposzt és talajtakarók titrálási görbéi:

- ◆ – komposztált szőlőtörköly;
- ▲ – zúzott szalma;
- – fenyőavár;
- kvarc homok

A titrálási pontokra illesztett egyenes a szerves anyag vizes kivonatban mért pH értékénél metszi az ordináta tengelyt. Meredeksége azt mutatja meg, hogy a sav, illetve lúg koncentráció egységnyi emelkedése hány egységnyi változást eredményez az egyensúlyi oldatok pH értékében. A savas titrálás során bekövetkező pH csökkenés, a definíció szerint a minta sav érzékenységét mutatja, lúgos titráláskor a pH növekedés, pedig a lúg érzékenységet jelzi. Ezeknek a pH változásoknak a számszerű kifejezésére a sav érzékenységi és lúg érzékenységi indexeket használtam. A sav érzékenységi index jelölésére bevezettem a ^aSen, a lúg érzékenységi index jelölésére a ^bSen kifejezéseket.

A szerves anyagok titrálási görbéi a következő függvényekkel írhatók le:

a savas titrálásra:

$$\text{pH}_a = \text{pH}_{\text{H}_2\text{O}} - {}^a\text{Sen} [\text{H}^+] \quad (1)$$

a lúgos titrálásra:

$$\text{pH}_b = \text{pH}_{\text{H}_2\text{O}} - {}^b\text{Sen} [\text{OH}^-] \quad (2)$$

ahol: pH_a és pH_b – a szuszpenziók egyensúlyi pH értéke adott koncentrációjú savval, illetve lúggal történő kezelés után;

$\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ – a szerves anyag vizes kivonatának pH értéke;

$[\text{H}^+]$ és $[\text{OH}^-]$ – a terhelésként a szerves anyaghoz adott sav, illetve lúg koncentrációja, cmol kg^{-1} .

Az (1) és (2) egyenletek alapján felírhatjuk

a savas tartományra:

$${}^a\text{Sen} = \frac{\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}} - \text{pH}_a}{[\text{H}^+]} \quad (3)$$

a lúgos tartományra:

$${}^b\text{Sen} = \frac{\text{pH}_a - \text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}}{[\text{OH}^-]} \quad (4)$$

Az érzékenységi index számszerű értéke azzal a pH csökkenéssel, illetve pH növekedéssel egyenlő, amelyet egy cmol sav, illetve lúg idéz elő egy kilogramm anyagra vonatkoztatva.

A (3) és (4) képletekből adódóan az érzékenység mértékegysége – $\text{pH cmol}^{-1} \text{kg}$.

Minél kisebb a aSen , illetve a bSen értéke, annál kevésbé érzékeny a vizsgált anyag a savas és a lúgos terhelésekkel szemben. A sav és lúg érzékenységi indexek minimális értéke elméletileg nulla lehet, ami a hatásokkal szembeni érzéketlenségre utal. Reálisan ilyen érzékenység csak a nagy pufferkapacitású, pl. szerves anyagoknál és kizárólag szűk sav vagy lúgterhelés mellett feltételezhető. Az érzékenységi indexek maximális értéke, definíciójából következően a pH skálán belül kell, hogy legyen. Maximális érzékenységgel a savas és lúgos hatásokra a semleges kémhatású desztillált víz, továbbá a kvarc homok rendelkezik.

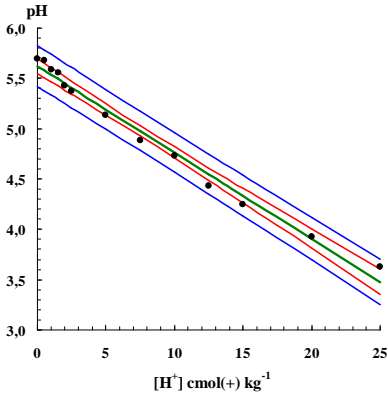
A sav érzékenységi index reciprokja a sav puffer index, jelölése $-{}^a\beta$, a lúg érzékenységi index reciprokja a lúg puffer index, jelölése $-{}^b\beta$. A sav puffer index értéke azzal a sav mennyiséggel egyenlő, ami egy kilogramm szerves anyag pH értékét egységgel csökkenti, a lúg puffer index a lúg azon mennyiségével egyenlő, ami egy kilogramm szerves anyag pH értékét egységgel növeli. Mértékegysége $-cmol\ pH^{-1}\ kg^{-1}$.

A vizsgálatba bevont tözegek, komposztok és talajtakarók titrálási pontjaira, a legkisebb négyzetek módszerével elvégeztem a lineáris függvényillesztést (3. és 4. ábrák). A determinációs együttható értéke 0,96 – 1,00, az illesztés standard hibája 0,03 – 0,26 pH egység között változik a szerves anyagtól függően. Az F-próba minden esetben igazolta a modell jóságát.

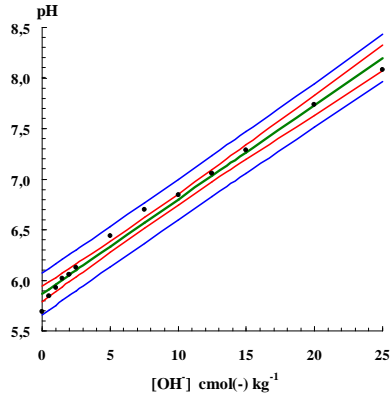
A szerves anyagok titrálási görbéi linearitásának okára a következő magyarázat szolgál. A proton megkötésre és leadásra képes funkciós csoportok pK értékei között a különbségek kicsik, a disszociációs lépcsők egymást átfedik, emiatt a titrálási görbén nincsenek kifejezett maximumok, a titrálás során a pH érték monotonon és egyenletesen változik. A titrálási pontokra így egyenes illeszthető, amely a szerves anyag tulajdonságaitól függően eltérő, de általában kis értékű irányszög alatt mérsékelt emelkedést mutat a savastól a lúgos tartomány irányába.

A szerves anyag titrálási folyamatát leíró lineáris modell szigorúan csak a vizsgált sav, illetve lúg koncentráció határokon belül érvényes. A titrálási pontok felvétele során maximálisan 25 cmol kg^{-1} sav és lúgterheléseket alkalmaztam. A linearitás érvényességének kiterjesztéséhez ettől nagyobb koncentráció tartományokra további vizsgálatok szükségesek. Nagyobb terheléseknél ugyanis a titrálási

görbe ellaposodhat, ez az egyenes meredekségét jelentősen megváltoztathatja és a lineáris függvény a folyamatot csak nagy hibával fogja leírni.



3. ábra A savas kezelés hatása a kókusztrost egyensúlyi pH értékeinek csökkenésére



4. ábra A lúgos kezelés hatása a kókusztrost egyensúlyi pH értékeinek növekedésére

- mért értékek; — regressziós egyenes;
- 95%-os konfidencia sáv; — 95%-os predikciós határ

A pH változás jellegéből adódóan a regresszióval kis és nagy sav, illetve lúgterheléseknél a pH értéket túlbecsüljük, míg közepes koncentrációknál alulbecsüljük. A konfidencia sávok megmutatják, hogy a pH skálán belül milyen határok között mozog a regressziós egyenes (3. és 4. ábrák).

3.3 A szerves anyagok érzékenységi indexeinek és puffer indexeinek értékei

A szerves anyagok titrálási pontjaira illesztett lineáris függvények paramétereire megadják a sav és lúg érzékenységi indexek számszerű értékeit. A puffer indexeket az érzékenységi indexek alapján számítottam. A szerves anyagok sav-bázis pufferképességét jellemző érzékenységi és puffer indexek számszerű értékeit a 2. táblázat foglalja össze.

2. táblázat. A szerves anyagok sav-bázis titrálási egyenletéből számított érzékenységi és puffer index értékek

A szerves anyag megnevezése	érzékenységi index		puffer index	
	^a Sen	^b Sen	^a β	^b β
	pH cmol ⁻¹ kg		cmol pH ⁻¹ kg ⁻¹	
Tőzegek				
litván fehér felláptőzeg	0,08	0,08	12,5	12,5
voloscsai világos barna felláptőzeg	0,05	0,04	20,0	25,0
ivano-frankivszki sötét barna felláptőzeg	0,06	0,06	16,7	16,7
voloscsai sötét barna vegyes tőzeg	0,06	0,10	16,7	10,0
király-tói rostos síkláptőzeg	0,04	0,04	25,0	25,0
hansági rostos síkláptőzeg	0,05	0,07	20,0	14,3
pötrétei síkláptőzeg	0,06	0,11	16,7	9,1
szélmezői síkláptőzeg	0,13	0,21	7,7	4,8
hahóti síkláptőzeg	0,03	0,09	33,3	11,1
Kókusztrost				
kókusztrost	0,09	0,09	11,1	11,1
Komposztok, nyersanyagok				
istállótrágya	0,11	0,17	9,1	5,9
komposztált marhatrágya	0,03	0,06	33,3	16,7
nyers szőlőtörköly	0,11	0,18	9,1	5,6
komposztált szőlőtörköly	0,07	0,07	14,3	14,3
komposztált szőlőtörköly + bamfitrágya	0,04	0,10	25,0	10,0
Talajtakarók				
bomlatlan avar (őshonos bükkös erdő)	0,09	0,06	11,1	16,7
bomlatlan avar (őshonos fenyőerdő)	0,07	0,05	14,3	20,0
bomlatlan avar (tölgyes parkerdő)	0,05	0,08	20,0	12,5
bomlatlan avar (gyümölcsös)	0,11	0,06	9,1	16,7
zúzott szalma	0,08	0,11	12,50	9,1

A szerves anyagok savérzékenységi indexeinek átlaga 0,07 pH cmol⁻¹ kg, a minimum érték 0,03 pH cmol⁻¹ kg, míg a maximum 0,13 pH cmol⁻¹ kg. A lúgérzékenységi index átlaga a vizsgált szerves anyagokra 0,09 pH cmol⁻¹ kg, értékei 0,04 – 0,21 pH cmol⁻¹ kg között változnak. A sav puffer indexek átlagos értéke 17,0 cmol pH⁻¹ kg⁻¹ (minimum – maximum: 7,70 – 33,3 cmol pH⁻¹ kg⁻¹), míg a lúg puffer index átlaga 13,5 cmol pH⁻¹ kg⁻¹ (minimum – maximum: 4,8 – 25,0 cmol pH⁻¹ kg⁻¹).

3.4 Az ásványi anyagok sav-bázis pufferképességének értékelése

Az ásványi anyagok sav-bázis pufferképessége nagyon különböző, pufferkapacitásuk a nullától a nagyon magas értékekig változik. A hasonló pufferképességgel rendelkező ásványi anyagokat csoportosítottam (3. táblázat). Öt kategóriát különböztettem meg, az elhatárolás alapja a sav és lúg pufferkapacitás értéke – ^aBC_{12,5}, ^bBC_{12,5}, valamint az 1 cmol kg⁻¹ sav, illetve lúg okozta pH változás az ásványi anyag kezdeti (pH₀) értékéhez képest – ^aSen₀¹, ^bSen₀¹. Az eltérő mennyiségi összefüggések és puffer mechanizmusok miatt a besorolás külön-külön történik a savas és a lúgos titrálás paraméterei alapján.

A vizsgálatba bevont anyagok közül az első kategóriába tartoznak a folyami homok, a perlit, a kőzetgyapot, az égetett agyagkavics és a kaolin. Ezek a bányászott ásványi anyagok és hőkezeléssel előállított termékek nem rendelkeznek puffer képességgel, a legkisebb savas és/vagy lúgos hatásokra is nagyon érzékenyen reagálnak. Titrálási görbéjük lefutása gyakorlatilag követi a kvarc homok görbéjét. Sav és lúg pufferkapacitásuk 20 egység alatt van. Kezdeti egyensúlyi pH értékük egy cmol kg⁻¹ sav, illetve lúg hozzáadása után több mint 2,0 egységet változik.

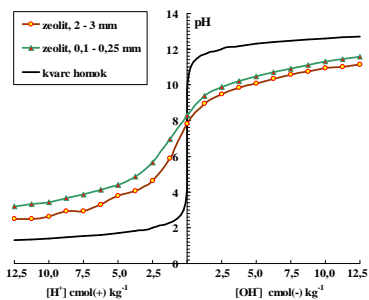
Az első kategóriába sorolt ásványi anyagok között a kőzetgyapot savas titrálási görbéje mutat nagyobb eltérést. A többi inert szeretlen közegtől megkülönbözteti, hogy a savas terhelések emelkedésével pufferképessége növekszik. Savas közegben, pH <5 alatt, a kőzetgyapot oldódik, az összetételében megtalálható bázikus kationok vegyületei oldatba jutnak és semlegesítik a kezelésként hozzáadott sav jelentős részét. Az oldódással járó proton elnyelés miatt a kőzetgyapot pH értéke a maximálisan alkalmazott 12,5 cmol kg⁻¹ savterhelés mellett sem csökkent pH 4 alá.

3. táblázat. Az ásványi anyagok csoportosítása sav-bázis pufferképességük szerint

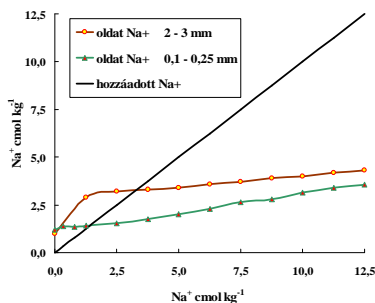
Ka- tegó- ria	A puf- fer- képesség megíté- lése	BC _{12,5}	Sen ₀ ¹ pH cmol ⁻¹ kg	Ásványi anyagok		
				a savas és lúgos terhe- lésekkel szemben	a savas terhelé- sekkel szemben	a lúgos terhelé- sekkel szemben
I.	nagyon alacsony	0 – 20	> 2,00	folyami ho- mok perlit (kőzet) kőzetgyapot égetett agyag- kavics kaolin		
II.	alacsony	21 – 40	1,01 – 2,00	duzzasztott perlit	zeolit	
III.	közepes	41 – 60	0,31 – 1,00	bentonit	nátrium bentonit	zeolit
IV.	nagy	61 – 80	0,15 – 0,30	vermikulit	alunit	nátrium bentonit
V.	igen nagy	> 80	< 0,15	humuszos bentonit		alunit

A zeolit (klinoptilolit) két vizsgált frakciója (0,1 – 0,25 mm és 2 – 3 mm) a lúgos hatásokat egyaránt közepesen pufferolja, a lúg pufferkapacitásuk alapján tehát a harmadik kategóriába tartoznak. A méretüket tekintve lényegesen eltérő zeolit frakciók titrálási görbéinek lefutása közel hasonló, pufferkapacitási értékeik között a különbség nem szignifikáns (5. ábra). A felület megnagyobbodásával tehát nem jár együtt a lúgos hatások semlegesítésének számottevő növekedése. A zeolit lúgos titrálásakor, az egyes titrálási pontokban a pH értéken kívül meghatároztam az oldatban visszamaradt nátrium-ionok mennyiségét is. Az egyensúlyi oldatok Na⁺ koncentrációját a terhelésként, NaOH formában hozzáadott mennyiségének függvényében ábrázolva nagyfokú nátrium-ion elnyelődést tapasztaltam a zeolit mindkét frakciója által (6. ábra). A klinoptilolit saját kationjait a titrálás során hozzáadott nátrium-hidroxid Na⁺-ionjaira cseréli ki. Figyelembe véve a klinoptilolit kation

preferenciáját, az egyensúlyi oldatba a nátrium-hidroxidhoz viszonyítva csak gyengébb bázist képező kationok kerülhetnek. A zeolit lúgos titrálásának folyamatában tehát nem a hidroxid-ionok semlegesítése megy végbe, hanem az alkálifém kicserélődése gyengébb bázist képező fémre.



5. ábra A zeolit két frakciójának titrálási görbéi



6. ábra Az egyensúlyi oldatok Na^+ koncentrációjának változása a zeolit két frakciójának lúgos titrálása során

A bentonit lúgos titrálása során felvett pontokra egyenes illeszthető, a pH értéke egyenletesen 0,31 egységnyit növekszik minden cmol kg^{-1} NaOH hozzáadás után. A Na-bentonit titrálási görbéjének lefutása lineáris a teljes pH intervallumban. Az erősen lúgos kémhatású Na-bentonit a savas hatásokra sokkal érzékenyebben reagál, mint a lúgosra. A sav érzékenységi indexe több mint 2,5-szer nagyobb a lúg puffer index értékénél.

A vermikulit a negyedik kategóriába sorolható, pufferkapacitása a savas és lúgos tartományban egyaránt nagy. A vermikulit titrálási görbéjének lefutása nem egyenletes, pufferkapacitása a savas és lúgos terhelések emelkedésével számottevően növekszik.

Az alunit jelentős pufferkapacitással rendelkezik a savas és a lúgos tartományban egyaránt. Titrálási görbéinek lefutása lineáris. Az alunit a savas hatásokra érzékenyebben reagál, mint a lúgos terhelésekre, lúg puffer index értéke (${}^b\beta = 6,7 \text{ cmol pH}^{-1} \text{ kg}^{-1}$) közel kétszerese a sav puffer indexének (${}^a\beta = 3,5 \text{ cmol pH}^{-1} \text{ kg}^{-1}$).

A humuszos bentonit az ötödik kategóriába sorolható. Pufferképessége igen nagy, az egy cmol kg⁻¹ savas kezelés mindössze pH=0,11 csökkenést, míg ugyanennyi lúg adag pH=0,10 növekedést okoz. A titrálási görbe lefutásának jellege és a pufferképesség mérőszámai arra utalnak, hogy a humuszos bentonit esetében a savas és lúgos hatások semlegesítésében, az összetételének mintegy harmadát kitevő szerves anyagnak van meghatározó szerepe.

3.5 A szerves anyagok kémhatás változásának számítása a puffer index alapján

Szerves anyagok kémhatásának szabályozása a puffer index alapján. A puffer index az egységnyi pH változáshoz szükséges sav, illetve lúg mennyiségének mérőszáma. Definíciójából adódik alkalmassága a növény számára optimális kémhatás beállításához használt savanyító és lúgosító anyagok szükséges mennyiségének számítására.

A pH érték növeléséhez a kalcium-karbonát szükséges mennyisége – a szerves anyag térfogatára vonatkoztatva – a lúg puffer index alapján számítható az alábbi képlet segítségével:

$$L_{CaCO_3} = (pH_X - pH_{H_2O}) \cdot {}^b\beta \cdot T_S \cdot l \quad (5)$$

ahol: L_{CaCO_3} – a CaCO₃ szükséges mennyisége, g m⁻³;

pH_X – az elérendő pH érték;

pH_{H₂O} – a vizes kivonatban meghatározott kezdeti pH érték;

${}^b\beta$ – lúg puffer index, cmol pH⁻¹ kg⁻¹;

T_S – a szerves anyag térfogattömege, kg m⁻³;

l – egy cmol hidrogén-ion semlegesítéséhez szükséges lúgosító anyag mennyisége, g cmol⁻¹, (CaCO₃ esetében l = 0,5 g cmol⁻¹)

A pH érték csökkentéséhez felhasználható savanyító anyagok szükséges mennyiségét a sav puffer index értéke alapján lehet meghatározni az alábbiak szerint:

$$A = (pH_X - pH_{H_2O})^a \beta \cdot T_S \cdot f \quad (6)$$

ahol: A – a pH érték csökkentéséhez használt hatóanyag szükséges mennyisége, g m⁻³;

^aβ – sav puffer index, cmol pH⁻¹ kg⁻¹;

f – egy cmol hidroxid-ion semlegesítéséhez szükséges savanyító anyag mennyisége, g cmol⁻¹, (kénre f = 0,16 g cmol⁻¹, alumínium-szulfátra f = 1,11 g cmol⁻¹, vas-szulfátra f = 0,72 g cmol⁻¹)

A többi paraméter értelmezése és mértékegysége megegyezik az (5) képlet-nél feltüntetettekével.

A felszint borító szerves anyagok sav és lúgtompító kapacitásának becslése. A puffer indexek ismeretében becsülhető az időszakosan a felszínre jutó vagy oda jutott szerves anyagok elméleti sav, illetve lúg semlegesítő kapacitása. Ehhez ismerni kell az egységnyi területen található szerves anyagok mennyiségét is.

A számításokhoz az alábbi képletek használhatók:

$$|H^+| = {}^a\beta \cdot \Delta pH \cdot m \cdot 0,01 \quad (7)$$

$$|OH^-| = {}^b\beta \cdot \Delta pH \cdot m \cdot 0,01 \quad (8)$$

ahol: |H⁺| és |OH⁻| — a ΔpH változást előidéző sav és lúg mennyisége, kmol ha⁻¹;

^aβ és ^bβ — a sav puffer index és lúg puffer index, cmol pH⁻¹ kg⁻¹;

ΔpH — a becslésnél figyelembe vett pH változás;

m — az egységnyi területen található szerves anyag tömege, t ha⁻¹;

0,01 — a cmol kg⁻¹ és kmol t⁻¹ közötti átszámítási együttható.

3.6 Új tudományos eredmények

1. Tőzegekre, komposztokra, a felszínt borító szerves anyagokra vonatkozóan megállapítottam, hogy sav-bázis titrálási görbéik lefutása lineáris. Az alkalmasított sav, illetve lúg koncentrációk és a szuszpenzióknak a kezelést követően beálló egyensúlyi pH értékei közötti összefüggések formailag lineáris függvénykapcsolatként kezelhetők.
2. A lineáris függvények elemzése során azt találtam, hogy az egyenes meredeksége a szerves anyag érzékenységi indexének értékét, az ordináta tengely metszéspontja a vizes kivonatban mért pH értékét adja meg. A szerves anyagok sav, illetve lúg puffer indexei a megfelelő érzékenységi indexek reciprokjaként meghatározhatók.
3. Igazoltam, hogy az érzékenységi index és a puffer index olyan egzakt paraméterek, amelyek a szerves anyagok pufferképességét megfelelően jellemzik. A szerves anyagok érzékenységi indexe $0,03 - 0,15 \text{ pH cmol}^{-1} \text{ kg}$, puffer indexe $5,0 - 30,0 \text{ cmol pH}^{-1} \text{ kg}^{-1}$ nagyságrendű.
4. Megállapítottam, hogy a humuszos bentonit, a Na-bentonit, az alunit savas és lúgos, valamint a bentonit lúgos titrálási görbéinek lefutása lineáris. Az érzékenységi indexeik $0,10 - 0,41 \text{ pH cmol}^{-1} \text{ kg}$, puffer indexeik $2,4 - 10,0 \text{ cmol pH}^{-1} \text{ kg}^{-1}$ nagyságrendűek.
5. A zeolit (klinoptilolit) a savas hatásokat gyengén, a lúgos hatásokat közepesen semlegesíti. Bizonyítottam, hogy a zeolit lúg pufferkapacitása abból adódik, hogy a nátrium-hidroxiddal történő titrálása során az alkálifém az ásvány gyengébb bázist képező fém ionjaira cserélődik ki.
6. A kőzetgyapot inert közegként, a kis mértékű savas kezelésekre nagyon érzékenyen reagál. Igazoltam, hogy a terhelés növelésével, az oldódása közben felszabaduló bázikus vegyületek miatt, pufferkapacitása jelentősen megnövekszik és pH értéke a nagy adagú savterhelések mellett sem csökken pH 4 alá.

7. A sav-bázis pufferképesség vizsgálati módszert továbbfejlesztettem és alkalmassá tettem a szerves és ásványi anyagok, mesterséges talajok, természetes közegek titrálási görbéinek felvételére. Az eljárás figyelembe veszi a minta nedvességtartalmát és hangsúlyt kap szerkezeti tulajdonsága.
8. Összeállítottam egy kategória rendszert a szerves és ásványi anyagok sav-bázis pufferképességének megítélésére. Öt pufferképesség kategóriát különböztettem meg, az elhatárolás alapja a sav-bázis pufferkapacitás érték és az egy cmol kg⁻¹ sav, illetve lúg okozta pH változás a kezdeti értékhez képest.
9. Definiáltam a szerves és ásványi anyagok sav-bázis pufferkapacitását jellemző mérőszámokat. Kialakítottam egy jelölési rendszert, amely magába foglalja a pufferkapacitás számszerű értékét jelentősen meghatározó savas és lúgos terhelések nagyságát, tükrözi a különböző paraméterek közötti összefüggéseket. A pufferkapacitás mérőszámok mindegyikéhez mértékegységet rendeltem.
10. Megállapítottam, hogy a kertészet több ágazatában a talajfolyamatok szabályozása, a talaj-növény kapcsolat rendszerének irányítása a termesztő közeg nagy pufferképességén vagy éppen a pufferképesség teljes hiányán alapszik.

KÖVETKEZTETÉSEK, JAVASLATOK

A talaj sav-bázis egyensúlyának hatékony szabályozása feltételezi a sav és lúgsemlegesítés törvényszerűségeinek és mechanizmusainak, a jellemző paraméterek értékeinek ismeretét. A kertészeti termesztés több ágazatában a talajfolyamatok szabályozása az igen nagy pufferképességgel rendelkező, beavatkozásokra, egyéb változásokra kevésbé érzékeny (legfőképp szerves) anyagok és a pufferképesség nélküli, a teljes irányítást lehetővé, de egyúttal szükségszerűvé is tevő (elsősorban ásványi) anyagok alkalmazásával, illetve ezek kombinálásával valósul meg. A mesztérséges talaj, a gyökérrögzítő közeg pufferképességével szemben támasztott elvárásokban lényegében a talajfolyamatok szabályozásának, a talaj-növény kapcsolat rendszer irányításának igényei és lehetőségei fogalmazódnak meg.

A kertészeti termesztésben (is) használt szerves és ásványi anyagok sav-bázis pufferképességük alapján öt kategóriába sorolhatók. Az elhatárolás alapja a sav, illetve lúg pufferkapacitás érték és az egy cmol kg⁻¹ savas, illetve lúgos kezelés okozta pH változás a kezdeti (pH₀) értékhez képest.

A tőzegek, komposztok, a komposztok nyersanyagai, az időszakosan felszínre jutó vagy talajtakaróként oda juttatott növényi maradványok rendelkeznek az egységnyi tömegre számított legnagyobb sav-bázis pufferkapacitással. A felsorolt szerves anyagok titrálási görbéinek lefutása lineáris. A kezelésként adott sav, illetve lúg koncentrációk és a szuszpenziók egyensúlyi pH értékei közötti összefüggések lineáris egyenletekkel leírhatók.

A szerves anyagok pufferképességének kvantitatív jellemzésére javaslok a titrálási görbék lineáris egyenleteiből meghatározható sav, illetve lúg érzékenységi indexek, valamint az érzékenységi index reciprokjaként számítható sav, illetve lúg puffer indexek számszerű értékeit.

Az általam vizsgált szerves anyagok sav érzékenységi indexe 0,03 – 0,13, lúg érzékenységi indexe 0,04 – 0,21 pH cmol⁻¹ kg között változik. A sav puffer indexek értékei 7,7 – 33,3, míg a lúg puffer indexek 4,8 – 25,0 cmol pH⁻¹ kg⁻¹ nagyságrendűek.

A vizsgált ásványi anyagok sav-bázis pufferkapacitása nagyon változatos és a javasolt kategóriák mindegyikét lefedi. Az ásványi anyagok sav-bázis pufferképességének jellemzésére két paramétert tartok alkalmasnak: a sav, illetve lúg pufferkapacitás értékeket, és az egy cmol kg⁻¹ sav, illetve lúgterhelés okozta pH változás nagyságát. Ez utóbbi paraméter az ásványi anyagok természetes szempontból legfontosabb pH változásaira vonatkozik.

A különböző pufferképességgel rendelkező ásványi anyagok közül ki kell emelni a mintegy 70%-ban klinoptilolitból álló zeolitot, egyfelől a lúgos hatások semlegesítésének mechanizmusa, másfelől a folyamatok kertészeti hasznosíthatóságának relációi miatt. A klinoptilolit lúgos titrálásakor a nátrium-ion gyengébb bázist képező fém-ionra cserélődik ki. A természet közegek alkotórészeként a klinoptilolit így egyszerre képes mérsékelni a nátrium felhalmozódást és a pH emelkedést.

A szerves anyagok nagy és változó nedvességtartalma jelentősen módosítja a titrálási görbék lefutását. A száraz anyag mennyiségre és a nedves minta tömegére számított kezelés alapján meghatározott sav és lúg puffer indexek átlagai egyaránt legalább $p=0,001$ szignifikancia szint mellett különböznek. Javaslatom szerint a nedvességtartalmat a mérés során, a vizsgálatra bemérendő minta tömegének korrekciójával számításba lehet venni.

A puffer indexek számszerű értékei alkalmasak a kémhatás szabályozásához használt savanyító és lúgosító anyagok szükséges mennyiségének megállapítására. Ugyanezek a paraméterek felhasználhatók a felszint borító szerves anyagok savas terhelésekkel szembeni pufferkapacitásának becslésére. Javaslatokat tettem a számítások elvégzéséhez szükséges képletekre. A továbbiakban a módszer alkalmasságát és a képletek helyességét a megfelelő mennyiségű savanyító és lúgosító anyagokkal beállított kísérletekben is szükséges megvizsgálni.

A szerves és ásványi anyagok eltérő sav-bázis tompítóképeségének, különböző puffer mechanizmusainak módszertani vonatkozásai is vannak a természetes kísérletek során. A különféle közegek összehasonlító vizsgálata gyakran indokolja a kémhatás egy szintre történő beállítását. Az azonos mennyiségű lúgosító, esetleg savanyító adalék anyagokkal való kezelés, a különböző pufferkapacitás miatt nem feltétlenül vezet a megfelelő eredményre. Az eltérő tulajdonságú szerves, illetve

ásványi anyagok esetében a pH érték azonos szintre való korrekt beállítása, továbbá a mérési eredmények összehasonlítása, helyes interpretálása a pufferkapacitásuk és a puffer mechanizmusok ismeretében lehetséges.

A szerves és ásványi anyagok sav-bázis pufferképességének tanulmányozása túlmutat a kertészeti hasznosítás lehetőségein, a talajtani kutatásokban is fontos szerepe van. A talajt alkotó számos összetevő funkcióinak megértése legtöbb esetben csak úgy lehetséges, ha ezt a bonyolult, heterogén rendszert egyszerűsítjük és a komponenseket külön-külön vizsgáljuk. A szerves és ásványi anyagoknak önálló formában történő vizsgálata, sav-bázis semlegesítő képességük mechanizmusának a megismerése, feltárása és megértése rávilágíthat a talajfolyamatokban és a talaj egészében betöltött szerepük jelentőségére. A talajokban nem, vagy csak nagyon ritkán fordulnak elő olyan szélsőséges értékek, mint az ásványi vagy szerves anyagokban. A vizsgálatuk során feltárt összefüggések fontos törvényszerűségekre irányítják rá a figyelmet és teszik lehetővé a folyamatok egzakt leírását.

AZ ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉHEZ KAPCSOLÓDÓ PUBLIKÁCIÓK

Folyóiratcikkek

CSOMA Z. (2009): A tőzegek és a kókuszrost sav-bázis puffer képessége. *Zöldség-termesztés*, XL (2) 35-38. p.

CSOMA Z., FORRÓ E., CSOMA ZS. (2008): Szerves anyagok sav-bázis tompító képessége. *Talajvédelem*, 381-388. p.

CSOMA Z., CSOMA ZS. (2008): Kislotno-osnovna bufernist organichnich restok na poverchni gruntu. *Visnik agrarnoi nauki Pricornomorja*, 46 (3/2) 260-265. p.

Csoma Z., Csoma Zs. (2006): Kislotno-osnovni buferni vlastivosti osnovnich tipiv gruntiv Zakarpatskoi nizovini. *Problemi agropromislovogo kompleksu Karpat*, 15-16 82-87. p.

CSOMA Z., CSOMA ZS. (2006): Perspektivi vikoristanja modelej kislotno-osnovnoji bufernoszti dlja prognozuvanja pidkisenlja gruntiv. *Agrochimija i gruntoznavstvo*, 62 (2) 315-317. p.

FORRÓ E., MOLNÁR J., CSOMA Z. (2005): A városi talajok szervesanyag tartalmának környezetvédelmi hatása. *Talajvédelem*, 205-214. p.

NADTOCSIJ P.P., MATVIJEC O.H., CSOMA Z.Z., MÁNDI M.A. (1996): Kislotno-osnovna bufernist perelogovich dernovo-opidzolenich gruntiv nizinnoji zoni Zakarpattja. *Problemi agropromislovogo kompleksu Karpat*, 5 66-71. p.

Konferencia kiadványok (magyar nyelvű, teljes)

CSOMA Z. CSOMA ZS. (2005): Kilkiswa ocinka kislotnich navantazhenj na grunti na osnovi ich kislotno-osnovnich bufernich vlastivostej. Ekologija: problemi adaptivno-landsaftnogo zemlerobsztva. *Dopovidji uchasztnikov mizhnarodnoji konferenciji*, 2005. június 16-18. Zsitomir 130 – 135. p.

CSOMA Z. (2004): Antropogén eredetű savterhelések hatása Kárpátalja egyes talajtípusaira. *Fiatal kárpátaljai magyar kutatók 2. természettudományi konferenciája*, 2004. október 30. Beregszász 37-43. p.

CSOMA Z., FORRÓ E. (2002): Ásványi anyagok sav-bázis pufferoló hatásának összehasonlító vizsgálata. Kiegyensúlyozott tápanyagellátás a kertészetben a nagy termés és a jó minőség érdekében. *A Szent István Egyetemi Napok keretében tartott nemzetközi tanácskozás*, 2002. augusztus 27-28. Budapest-Gyöngyös 78-83. p.

CSOMA, Z., FORRÓ E. (2002): Módszertani áttekintés a talajok agrokémiai és környezetvédelmi terhelhetőségének vizsgálatára. *XVI. Országos Környezetvédelmi Konferencia*, 2002. szeptember 10-12. Siófok 247-253. p.

FORRÓ E., CSOMA Z. (2002): A talajok környezeti tűrőképessége és megítélésének néhány kérdése. X. *Országos Agrárkörnyezetvédelmi Konferencia*, 2002. november 13-15. Budapest 40-44. p.

Konferencia kiadványok (magyar nyelvű, abstract)

CSOMA Z., FORRÓ E. (2003): Javaslat a talajt érő hatások kvantitatív értékelésére. *Lippay János – Ormos Imre – Vas Károly Tudományos Ülésszak. Kertészettudomány*, 2003. november 7-9. Budapest 564-565. p.

MOLNÁR J., CSOMA Z., FORRÓ E. (2003): A talajok érzékenységi jellemzőinek vizsgálata városi környezetben. *Lippay János – Ormos Imre – Vas Károly Tudományos Ülésszak. Kertészettudomány*, 2003. november 7-9. Budapest 590-591. p.

Nemzetközi konferencia (abstract)

FORRO E., CSOMA Z. (2003): Organic matter content and acidic-alkalic buffer capacity of forest soils. *Controlling N flows and losses. The 12th N Workshop*, 21-24. September 2003, Exeter, Devon, United Kingdom.

CSOMA Z., FORRO E. (2002): Changes of soil properties influencing ecosystem tolerance in different forest development phases. Ecology. Person. Society. *V International Scientific and Practical Students', Postgraduates', Young scientists' Conference*, 13-15 May 2002, Kyiv, Ukraine 182-183. p.

Könyv, könyvrészlet, jegyzet

BALJAN A.V., FEDORJUK M.D., MOJSEJENKO V.S., KENÉZ J.A. ANTALOVSZKI O.J., PENZENIK J.J., FANDALJUK A.V., CSOMA Z.Z., CSOMA ZS.J. (2008): Suchasne zemlekoristuvannja v nizinnij zoni Zakarpatja (rekomendacii). Nagybakta: KAIKI. 44 p.

TRUSKAVECKIJ R.S., CAPKO L.J., CSESKO N.F., KALINICHENKO V.M., MAK LJUK O.I., KACHMAR O.J., GABRIEL G.J., CSOMA Z.Z., KOTVICKIJ B.V., ROMAN B.V., ZHADAN B.I. (2006): Resursozbereszuvalnji tehnologii melioracii i upravlinnja rodjuchistju kislich gruntiv (rekomendacii). Harkov: NTK TAKI 45 p.