

A talajoldat sókoncentrációjának és a talaj nátriumtelítettségének (ESP) számítása a telítési kivonat jellemzőiből

FILEP GYÖRGY és MOHAMED J. K. WAFI

Agrártudományi Egyetem, Debrecen

A szikesedés kimutatása és a szikesek osztályozása, csak a talaj vízzoldható sótartalmának, s a kicserélhető Na-ionok relatív mennyiségének (kicserélhető Na %, Exchangeable Sodium Percentage: ESP) ismeretében lehetséges. A fenti két jellemző értékének gyors becslését, könnyen mérhető paraméterekre épülő, empirikus összefüggésekkel lehet elsősorban megoldani.

A talaj - tömeg %-ban kifejezett - *sótartalma* (só %) a telítési talajpaszta, vagy a telítési kivonat elektromos vezetőképességéből, *a talajoldat sókoncentrációja* (c) pedig a telítési kivonat vezetőképességéből számítható.

A telítési paszta elektromos vezetőképességét (EC_p) azonban a sókoncentráción kívül, a nedvességtartalom, a töltésnélküli ion-asszociátumok mennyisége és a kicserélhető kationok minősége is befolyásolja, s a száraz talaj tömegére vonatkoztatott sómennyiség (só %) sem fejezi ki a különböző vízgazdálkodású talajok folyadékfázisának sókoncentrációját. Ugyanolyan sótartalom (só %) esetén pl. egy vízkapacitásig telített, ill. holtvíztartalomig kiszáradt homoktalajban nagyobb lesz az oldat koncentrációja, mint a hasonló nedvességállapotú agyag vagy vályog talajban. Ezért a talajok sótartalom szerinti kategorizálásánál és a növények vízfelvételét gátló, káros oldatkonzentrációk becslésénél többnyire a telítési kivonat vezetőképességét (EC_e) veszik figyelembe (RICHARDS, 1954; BEAR, 1964 és mások).

A vizes talajkivonat elektromos vezetőképességéből, az EC_e -ből - megfelelő tapasztalati egyenlettel - számítani lehet annak sókoncentrációját és ozmózisnyomását (P_{ozm})

$$c_e = bEC_e \pm a \quad (1a)$$

illetve ha az EC_e mS/cm egységekben van megadva,

$$P_{ozm} = 0,36EC_e \quad (1b)$$

Az (1.a) és (1.b) képletből becsülhető a talajoldat sókoncentrációja, illetve ozmózisnyomása is. A számítás alapja az, hogy a telítési paszta víztartalma, az ún. telítési százalék (saturation percentage: SP) homoktalajoknál közel hatszorososa, vályog talajnál mintegy négyszerese, agyagnál pedig kb. háromszorosa a HV holtvíztartalomnak (RICHARDS, 1954). Így - mivel a szabadföldi vízkapacitás homoknál $5 \cdot HV$, vályognál $2 \cdot HV$, agyagnál $1,25 \cdot HV$ körüli - a vízkapacitásig átnedvesedett talaj folyadékfázisának sókoncentrációja, ha jelentős sókicsapódás nincs, a fenti sorrendben: $6/5 = 1,2$ -szerese, $4/2 = 2$ -szerese, illetve $3/1,25 = 2,4$ -szerese a telítési kivonatának.

A talajoldat kationjai és a kolloidok felületén kicserélhetően adszorbeálódott kationok közötti egyensúlyi megoszlás kifejezésére az US Salinity Laboratory munkatársai a Gapon egyenlet alábbi, módosított formáját javasolták (RICHARDS, 1954):

$$\frac{Na_x}{CEC - Na_x} = k \cdot \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{2+} + Mg^{2+}}{2}}} = k \cdot SAR \quad (2)$$

Jelölések:

CEC : a talaj kationcsere kapacitása, me/100 g;

Na_x : a kicserélhető Na-ionok mennyisége, me/100 g;

Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} : az oldatban lévő kationok koncentrációja, me/l;

$Na_x/(CEC - Na_x)$: a kicserélhető Na-arány (ESR);

$Na^+ / \sqrt{(Ca^{2+} + Mg^{2+}) / 2}$: az oldat nátrium adszorpciós aránya (jelölése: SAR);

k: a kationcsere egyensúlyi állandója.

Gyakorlati célú munkáknál az egyenlet jobb oldalán szereplő SAR értéket a talaj telítési kivonatának összetételéből számíthatjuk. (A telítési paszta az elfolyósodás alsó határának megfelelő képlékenységi állapotú desztillált vizes talajpép.)

A (2) egyenletben két egyszerűsíthető feltételezés szerepel:

a) adott rendszerben a kationok egyensúlyi megoszlása döntően a Ca-, Mg- és Na-ionok mennyiségétől függ, a K-ionok szerepe elhanyagolható.

b) A Mg-ionok viselkedése, adszorpcióképessége ugyanolyan, mint a Ca-ionoké. A két feltétel azonban csak közelítő számításoknál helytálló.

A $Na_x/(CEC - Na)$ és az oldat SAR értéke között lineáris kapcsolat van (RICHARDS, 1954), és ezt a

$$\frac{Na_x}{CEC - Na_x} = \frac{ESP}{100 - ESP} = k \cdot SAR \pm a \quad (3)$$

regressziós egyenlet konstansainak meghatározásával lehet számszerűsíteni. A k -t a regressziós egyenes meredeksége, az a -t pedig az egyenesnek az Y tengelyre vetített metszete adja meg. A k értéke az US Salinity Laboratory által vizsgált 59 db talajmintánál 0,0147-nek (RICHARDS, 1954), az USA nyugati államaiból származó egyes talajoknál 0,0173-nak (BOWER, 1959), egyiptomi talajoknál pedig 0,0079-nek adódott (BALBA, 1962). Az idézett munkákban a kicserélhető kationok meghatározásakor az ammóniumacetátos, a kationcsere kapacitás mérésénél pedig a nátriumacetát + ammóniumacetátos módszert (RICHARDS, 1954) alkalmazták.

Az empirikus egyenletek konstansainak értéke azonban nemcsak a talaj tulajdonságaitól, hanem a laboratóriumi vizsgálati módszerektől is nagymértékben függ. Mivel nálunk a kicserélhető kationok meghatározása a BaCl_2 -tri-etanolaminos Mehlich-módszerrel, a sóállapot jellemzése pedig a tömegszázalékban kifejezett sókészlet alapján történik (és talajaink is sok szempontból jelentősen különböznek az említett irodalomban közöltekétől), indokoltnak tartottuk a magyarországi szikes talajokra érvényes tapasztalati összefüggések megállapítását.

Anyag és módszerek

Az elemzésekhez a Tiszántúl különböző részeiről (Szarvas, Püspökladány, Hajdúszoboszló, Kaba, Karcag, Hajdúnánás, Hortobágy) és Cegléd környékéről származó 89 db talajminta adatait használtuk fel. Meghatároztuk a minták általános jellemzőit, a kicserélhető kationok mennyiségét, valamint a telítési kivonat elektromos vezetőképességét, kation- és anionösszetételét.

A kicserélhető kationokat a módosított Mehlich-módszerrel (BALLENEGGER & DI GLÉRIA, 1962) vontuk ki a talajból, majd az adatokat a telítési kivonat kationtartalmának figyelembe vételével korrigáltuk.

A telítési pasztát a RICHARDS (1954) és PAGE és munkatársai (1982) által leírtak szerint készítettük. (A telítési kivonat kinyeréséhez olajlégszivattyút alkalmaztunk.)

A mintaanyag zöme agyagos vályog és agyag, kisebb része vályog kötöttségű. A vízben oldható sók mennyisége (só %) 0,08-1,5; a kicserélhető Na% (ESP) 2,6-80; a telítési kivonat elektromos vezetőképessége (EC_e) 0,6-20 mS/cm; SAR értéke 1,2-132; a Na %-a pedig 26,5 és 98 % közé esett. (A kicserélhető K^+ csupán 0,5-1,5 % körüli.)

A minták fenti jellemzők szerinti csoportosítása az 1. táblázatban látható.

1. táblázat
**A vizsgált talajok csoportosítása a kötöttség és a fontosabb
 kémiai jellemzők alapján**

(1) Jellemző	(2) Kategória	(3) Minta, db	(1) Jellemző	(2) Kategória	(3) Minta, db
K _A	< 45	18	c mg/l	< 1500	44
	45-60	38		1500-3500	24
	> 60	33		> 3500	21
ESP	< 5	19	SAR	< 5	27
	5-25	31		5-20	33
	> 25	39		> 20	29
EC _e mS/cm	< 2	58	Oldat Na %	< 41	18
	2-4	22		40-70	23
	> 4	9		>70	48

Megjegyzés: K_A = Arany-féle kötöttségi szám; EC_e, c, SAR és oldat Na %: a telítési kivonat jellemzői

Eredmények

A telítési kivonat sókoncentrációjának és a talaj oldható sótartalmának számítása a kivonat elektromos vezetőképességéből

A telítési kivonatok mg/l-ben (c mg/l), illetve milligramm-egyenérték per literben (c me/l) kifejezett sókoncentrációja és elektromos vezetőképessége (EC_e mS/cm) közötti összefüggéseket vizsgálva, a c mg/l - EC_e adatpárok kapcsolatára a következő egyenletet kaptuk.

$$c \text{ mg/l} = 804,3 \text{ EC}_e - 48,99 \quad (r = 0,982). \quad (4a)$$

A (4.a) függvénynek megfelelő egyenes meredeksége (804,3) 1,25-szöröse az irodalomból ismert 640-es faktornak, s 1,2-szerese a DARAB és RÉDLYNÉ (1987/1988) által - kevert anionösszetételű talajvizek, telítési és 1:5 arányú vizes kivonatok együttesére - számított értéknek.

Mivel a (4.a) összefüggés az igen kis sókoncentrációjú mintáknál nem ad megfelelő eredményt, kiszámítottuk az origóból kiinduló transzformált regressziós egyenes egyenletét is. Eszerint

$$c \text{ mg/l} = 797,1 \text{ EC}_e; \quad (r = 0,981). \quad (4b)$$

A telítési kivonat sókoncentrációjából becsülhető a talaj tömeg %-ban megadott sótartalma (só %) is (RICHARDS, 1954). A számításnál figyelembe kell venni a telítési paszta víztartalmát (saturation percentage: SP), mivel ugyanolyan EC_e , illetve sókoncentráció esetén sokkal több a feloldott só egy agyag vagy nehéz agyag, mint egy homokos vályog vagy vályog talajnál. A talaj tömeg %-ban megadott sótartalma, a (4.b) egyenletet felhasználva,

$$\text{só \%} = \frac{(EC_e \cdot 797,1) \cdot 10^{-4} \cdot SP}{100} = EC_e \frac{SP}{1000} \cdot 0,797 \quad (5a)$$

azaz

$$EC_e = \frac{\text{só\%}}{SP} \cdot \frac{1000}{0,797} = \frac{\text{só\%}}{SP} \cdot 1254,7 \quad (5b)$$

A só % - EC_e összefüggést, különböző kötöttségű (SP értékű) talajoknál az 1. ábra mutatja. A vizsgált minták túlnyomó részénél az SP 60-65 körüli, így ezeknél az EC_e számértéke 20-21-szerese az (5.a) képlettel számított só % értékének.

A milligramm-egyenértékben megadott sókoncentráció (c me/l) pedig a

$$c \text{ me/l} = \Sigma_{kat} = 11,43 EC_e - 0,703 \quad (r = 0,9795) \quad (6a)$$

illetve a

$$c \text{ me/l} = \Sigma_{kat} = 11,32 EC_e \quad (r = 0,9794) \quad (6b)$$

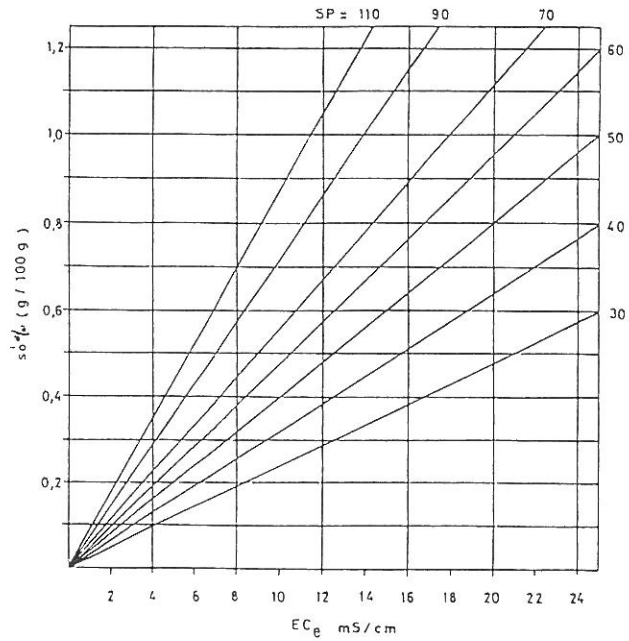
összefüggéssel számítható. (A c me/l nem más, mint az oldatban lévő kationok me/l-ben kifejezett mennyiségének összege.)

A kicserélhető Na % (ESP) becslése a telítési kivonat kationösszetételéből

a) Bizonyítottuk, hogy az ESP és a SAR közötti kapcsolatot egy hiperbolikus görbével lehet legjobban leírni (2. ábra). A hiperbola egyenlete levezethető a (3) képletből.

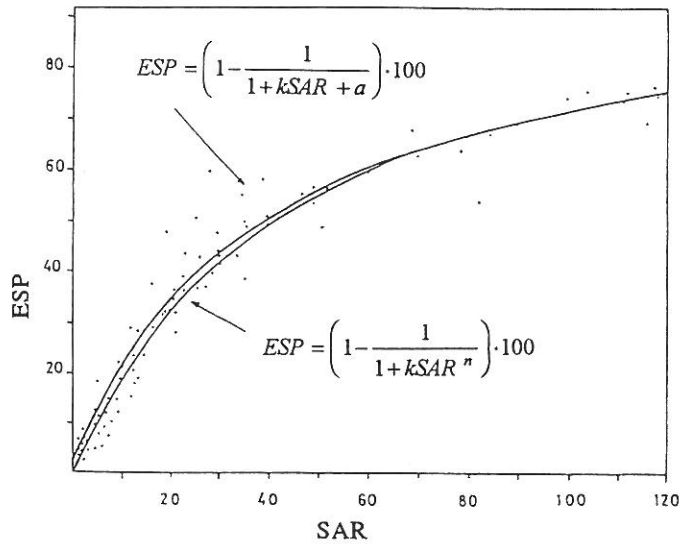
A (100-ESP)-t a (3) egyenlet jobboldalára áthozva, a kijelölt műveleteket elvégezve és rendezve, a RICHARDS (1954) által közölt

$$ESP = \frac{k \cdot SAR}{1 + kSAR} \cdot 100 \quad (7)$$



1. ábra

A talaj sótartalma (sóló %), a telítési kivonat elektromos vezetőképessége (EC_e) és a telítési százalék (SP) közötti összefüggés az (5a) képlettel számítva



2. ábra

Az ESP-SAR függvényt leíró egyenletek

összefüggés adódik. További átalakítással

$$ESP = \frac{1+kSAR-1}{1+kSAR} \cdot 100 = \left(\frac{1+kSAR}{1+kSAR} - \frac{1}{1+kSAR} \right) \cdot 100, \text{ s ebből}$$

$$ESP = \left(1 - \frac{1}{kSAR} \right) \cdot 100 \quad (8)$$

Bár a (7) és (8) képlettel végzett számítások azonos eredményre vezetnek, a (8) egyenlet egyszerűbben kezelhető és szembetűnően mutatja az ESP-SAR összefüggés jellegét. Az egyenlet jobboldalának második tagja, az

$$\left[\frac{1}{1+kSAR} \right] \cdot 100 = 100 - ESP \approx (Ca_x + Mg_x)\%$$

egyenlőség értelmében, a kicserélhető Ca+Mg relatív mennyiségét, egyenérték-törtjének számértékét adja meg.

Az ESP-SAR függvény empirikus egyenletének felírásához szükséges k és a konstans értékét, a (3) képlet alapján, regresszióval állapítottuk meg. Az adatok behelyettesítésével az

$$ESP = \left(1 - \frac{1}{1+0,0251SAR+0,017} \right) \cdot 100 \quad (9)$$

egyenletet kaptuk ($r = 0,931$). Látható, hogy a (9)-ben szereplő kationcsere konstans értéke (0,0251) jóval nagyobb, mint a RICHARDS (1954) szerinti 0,0147. Ez elsősorban annak tulajdonítható, hogy a Mehlich módszerrel általában több kicserélhető nátriumiont mérünk (és nagyobb ESP-értéket számítottunk), mint NH_4 -acetátos kicserélhető oldat alkalmazásakor (DARAB, 1969). Ezért a választott módszertől függően, ugyanolyan SAR-hez, statisztikai átlagban kisebb vagy nagyobb ESP tartozik.

Mivel kis SAR, ill. ESP értékek esetén a (9) egyenlet nem ad megbízható eredményt, megkíséreltük annak további korrekcióját úgy, hogy a konstansok becslésére az $ESP/(100+ESP) = k \cdot SAR^n$ összefüggést használtuk. Az így módosított

$$ESP = \left(1 - \frac{1}{1+0,0207 \cdot SAR^{1,042}} \right) \cdot 100 \quad (10)$$

hiperbola egyenlet ($r = 0,959$) az origóból kiinduló függvényt írja le (2. ábra).

Ismert, hogy a SAR számértéke, adott Na/Ca+Mg arány esetén is, függ az oldat sótartalmától, s a koncentrációváltozás hatását az

$$SAR_2 = SAR_1 \sqrt{\frac{\sum kat_2}{\sum kat_1}} \quad (11)$$

képlet mutatja, ahol: $\sum kat$ = az oldott kationok me/l-ben kifejezett koncentrációinak összege, az oldat sókoncentrációja me/l-ben; az 1 és 2 index a különböző oldatkoncentrációkat, illetve a hozzájuk tartozó SAR értékeket jelöli. Az előzőekből következik, hogy

$$ESP_2 = \left(1 - \frac{1}{1 + kSAR_1 \sqrt{(\sum kat_2 / \sum kat_1)}} \right) \cdot 100 \quad (12)$$

b) VAN DER MOLEN (1958) szerint az ESP számítható az egyensúlyi oldat relatív Na⁺-tartalmából és sókoncentrációjából is. Az összefüggésvizsgálat alapja az

$$\frac{Na_x}{S} = k \cdot \left(\frac{Na^+}{\sum kat} \right)^n \cdot \log \sum kat \quad (13)$$

egyenlőség, ahol Na_x/S = a kicserélhető nátrium egyenértéktörtje; $\sum kat$ = az oldatkoncentráció me/l-ben; $Na^+ / \sum kat$ = a nátriumion relatív mennyisége (egyenértéktörtje) az oldatban. Az általunk vizsgált mintáknál $n = 2,05$; $k' = 0,362$; a tengelymetszet: $-0,0284$. Így, alkalmazva az $(Na_x/S) \cdot 100 = ESP$ jelölést, felírható, hogy

$$ESP = \left[0,362 \left(\frac{Na^+}{\sum kat} \right)^2 \cdot \log \sum kat - 0,0284 \right] \cdot 100 \quad (14)$$

($r = 0,942$). Az origóból kiinduló függvényre pedig az

$$ESP = \left[0,336 \left(\frac{Na^+}{\sum kat} \right)^2 \cdot \log \sum kat \right] \cdot 100 \quad (15)$$

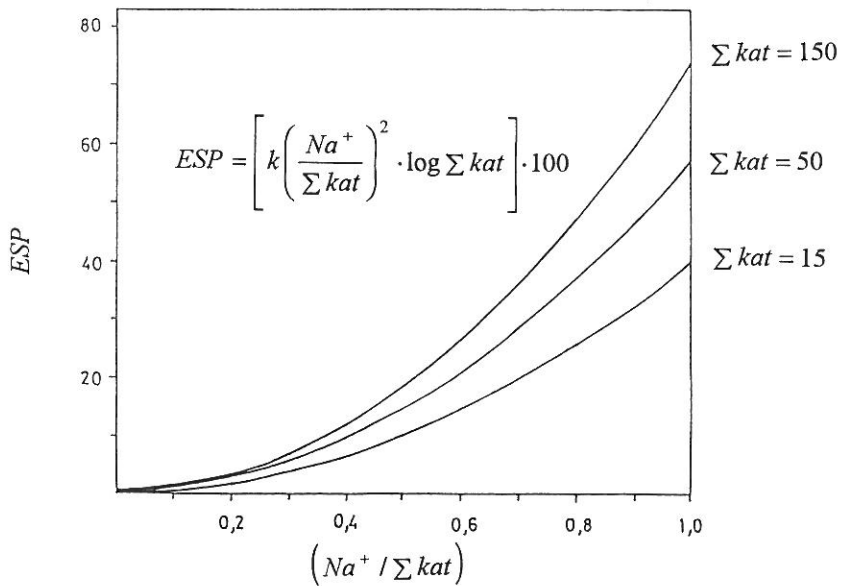
összefüggés érvényes ($r = 0,938$).

A (14) és (15) egyenlet előnye, hogy az ESP becsléséhez csak a telítési kivonat Na^+ -tartalmának és elektromos vezetőképességének (EC_e) ismerete szükséges. (A Σkat az EC_e -ből becsülhető.) Az oldat koncentrációjának hatását az ESP-re, adott $Na^+/\Sigma kat$ arány mellett, a következőképpen lehet kifejezni (3. ábra),

$$ESP_2 = ESP_1 \cdot \frac{\log \Sigma kat_2}{\log \Sigma kat_1} \quad (16)$$

A (9), (10), (14) és (15) egyenlettel számított ESPértékeket (néhány reprezentatív mintánál) a 2. táblázatban közöljük. A táblázatból is kitűnik, hogy

- a kis só- és Na-tartalmú talajoknál a (9) és a (14) képlet nem alkalmas az ESP becslésére;
- a legpontosabb megközelítést, az esetek többségében, az általunk továbbfejlesztett, Gapon-típusú egyenlettel (10) egyenlet) kaptuk;
- nagyszámú minta gyors értékeléséhez elsősorban a (15) képlet használata javasolható akkor, ha az ESP kis só-tartalmú talajoknál 40-nél, közepes só-tartalmúaknál 55-nél kisebb (3. ábra).



3. ábra

Az ESP függése az oldat koncentrációjától és a $Na^+/\Sigma kat$ aránytól, a (15) egyenlet szerint

2. táblázat
Néhány talajminta számított és mért ESP értékeinek összehasonlítása

(1) Minta jele	SAR	Na ⁺ Σkat	Σkat	ESP			(3) Mért ESP
				(9)	(14)	(10)	
				(2) egyenlettel számítva			
				(15)			
1	1,70	0,30	11,00	5,63	0,54	3,47	3,15
5	6,80	0,64	13,18	15,8	13,76	13,23	15,41
7	2,49	0,36	14,60	7,36	2,61	5,10	5,10
26	12,33	0,73	37,07	24,61	27,43	22,10	28,10
34	18,36	0,77	45,20	32,33	32,70	30,04	32,97
35	78,45	0,98	45,20	66,51	54,7	66,0	53,41
42	7,83	0,62	20,7	17,59	15,50	15,02	16,99
44	35,40	0,91	56,10	52,25	49,60	46,0	48,66
48	11,90	0,81	16,53	23,99	26,09	21,50	26,85
66	70,30	0,97	81,1	64,05	62,18	63,50	60,35

Összefoglalás

A magyarországi szikes (szolonyeces réti és réti szolonyec) talajok vízdoldható sótartalma, kicserélhető Na %-a és telítési kivonatának jellemzői közötti össze-függéseket vizsgáltuk.

A telítési kivonat sókoncentrációja (c mg/l, ill. c me/l) és elektromos vezetőképesége közötti kapcsolatot a (4a), (4b) és a (6a) és (6b) képlet írja le.

Bizonyítottuk, hogy az ESP-SAR összefüggés hiperbola egyenlettel (8. egyenlet) jellemezhető, mely matematikailag azonos az irodalomból ismert (RICHARDS, 1954) 7. képlettel. A (9) egyenletben szereplő viszonylag nagy (0,0251) cserekonstans elsősorban annak tulajdonítható, hogy a kicserélhető kationok meghatározásánál használt BaCl₂-trietanolaminos Mehlich módszerrel általában több kicserélhető Na-iont mérünk (és nagyobb ESP-t kapunk), mint az NH₄-acetátos kicserélő oldat alkalmazásakor.

Az ESP számtására legpontosabbnak az általunk kifejlesztett Gapon-típusú (10) egyenlet bizonyult. Nagyszámú minta gyors értékeléséhez pedig jól használható a VAN DER MOLEN (1958) megközelítésén alapuló (15) egyenlet.

A kapott összefüggéseket - úgy véljük - hasznosítani lehet néhány gyakorlati feladat megoldásánál, valamint az öntözés/vízrendezés, kémiai javítás talajtani hatását vizsgáló alkalmazott kutatásoknál.

Irodalom

- BALBA, A. M., 1962. Calculation of exchangeable sodium percentage from composition of saturation extract. *J. Soil Sci. U.A.R.* 2. 241-252.
- BALLENEGGER R. & DI GLÉRIA J. (szerk.), 1962. Talaj- és trágyavizsgáló módszerek. Mezőgazd. Kiadó. Budapest.
- BEAR, F. E. (ed.), 1964. *Chemistry of the Soil*. 2nd ed. Reinhold Publ. Corp. New York.
- BOWER, C. A., 1959. Cation exchange equilibria in soils affected by sodium salts. *Soil Sci.* 88. 25-35.
- DARAB K., 1969. A talaj kicserélhető kationjainak meghatározása. In: DARAB K. & FERENCZ K.: Öntözött területek talajtérképezése. 83-92. OMMI Kiadvány, No. 10. Budapest.
- DARAB K. & RÉDLY L-NÉ, 1987/1988. A szolonyec talajok kémiai tulajdonságai és meghatározásuk módszerei. *Agrokémia és Talajtan.* 36-37. 31-46.
- PAGE, A. L. et al. (eds.), 1982. *Methods of Soil Analysis*. Part 2. 2nd ed. ASA and SSSA Inc. Publ. Madison, Wisc.
- RICHARDS, L. A. (ed.), 1954. *Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils*. USDA Agric. Handbook No. 60. USDA. Washington D. C.
- VAN DER MOLEN, W. H., 1958. *The Exchangeable Cations in Soils Flooded with Sea Water*. Staatsdrukk. 'S-Gravenhage.

Érkezett: 1993. július 10.

Calculation of the Salt Concentration of the Soil Solution and the Sodium Saturation of the Soil (ESP) From Saturation Extract Indices

G. FILEP and MOHAMED J. K. WAFI

University of Agriculture, Debrecen (Hungary)

Summary

Studies were made on correlations between the water-soluble salt content, exchangeable Na % and saturation extract parameters of alkaline (solonetz and meadow solonetz) soils in Hungary.

The correlation between the salt concentration of the saturation extract (c mg/l or c meq./l) and the electrical conductivity are described using equations (4a), (4b), (6a) and (6b).

It was proved that the ESP-SAR correlation could be characterised using a hyperbolic function (equation 8), which is mathematically identical to equation (7), known from the literature (RICHARDS, 1954). The relatively high exchange constant (0.0251) appearing in equation (9) can be attributed chiefly to the fact that the BaCl_2 -triethanolamine Mehlich method used in determining exchangeable cations generally measures more exchangeable Na ions (thus giving a higher ESP value) than when using NH_4 acetate as the exchanging solution.

The Gapon-type equation (10) developed by the authors proved the most accurate for calculating ESP, while equation (15), based on the VAN DER MOLEN (1958) approach, is useful for the rapid evaluation of a large number of samples.

The correlations obtained could no doubt be usefully employed in solving various practical problems and in applied research into the soil science effects of irrigation/drainage and chemical amelioration.

Table 1. Classification of the soils examined according to plasticity and major chemical properties. (1) Character. (2) Category. (3) No. of samples. Note: K_A = plasticity according to Arany. EC_e , c , SAR and solution Na %: characteristics of the saturation extract.

Table 2. Comparison of calculated and measured ESP values for a number of soil samples. (1) Designation of sample. (2) Calculated using equations (9), (14), (10) and (15). (3) Measured ESP.

Fig. 1. Correlation between the salt content of the soil (S_6 %), the electrical conductivity of the saturation extract (EC_e) and the saturation percentage (SP), calculated using equation (5a).

Fig. 2. Equations describing the function ESP-SAR.

Fig. 3. Dependence of ESP on the concentration of the solution and the Na^+/Σ cation ratio, according to equation (15).