

Használt termálvíz mezőgazdasági elhelyezésének (öntözés) hatása a talaj kicserélhető nátrium tartalmára és az összes oldott sótartalmára

¹KUN Ágnes, ¹BOZÁN Csaba, ¹ONCSIK B. Mária, ²BARTA Károly

¹Nemzeti Agrárkutatási és Innovációs Központ (NAIK) Öntözési és Vízgazdálkodási
Önálló Kutatási Osztály (ÖVKI), Szarvas,

²Szegedi Tudományegyetem (SZTE) Természeti Földrajzi és Geoinformatikai Tanszék,
Szeged

Bevezetés

A globális népesség folyamatos növekedése és az ezzel párhuzamos jó minőségű vízforrások csökkenése fokozzák az igényt a kedvezőtlen minőségű víz öntözővízként való alkalmazására a mezőgazdasági termelésben (SINGH, 2015). Az új vízforrások (FRANCÉS et al. 2017) és az energia- és víztakarékos öntözési módszerek meghatározó szerepet kapnak a globális vízhiány miatt. Egyre több különböző eredetű víztípus kerül öntözővízként felhasználásra annak ellenére, hogy közülük számos rendelkezik magas sótartalommal (TZANAKAKIS et al. 2011, MEYERS et al. 1998). A talaj (mint az egyik legfontosabb megújuló természeti erőforrásunk) védelme miatt kiemelkedően fontos, hogy megfelelő minőségű öntözővizet használjanak a talaj degradációjának (pl. szikesedésének) elkerülése érdekében (SINGH, 2015, ELGALLAL et al. 2016).

Az öntözővíz minőségével szemben támasztott követelmények magyar szabványban (MSZ-10-640-1989) és műszaki irányelvekben (MI-10-172/9-1990) rögzítettek. A szabvány szerint az öntözővíz agroökoszisztémára gyakorolt hatásának értékelése céljából mezőgazdasági, műszaki és közegészségügyi-környezetvédelmi követelményeket egyaránt figyelembe kell venni. A mezőgazdaság által támasztott követelmények szerint szükséges értékelni az öntözővizet: (1) a mezőgazdasági kultúrák fejlődési intenzitása, (2) a kialakult terméshozamok nagysága és minősége, és (3) az öntözővíz talajra gyakorolt hatása alapján. Az öntözővíz kívánatos minősége az agroökoszisztéma hatékony, stabil működését biztosítja, optimális terméshozamok elérését szolgálja, az ember egészségét és környezetét nem károsítja (MSZ-10-640-1989). A szabvány szerint az agroökoszisztéma működésének fenntartásához szükséges mutatók (összesen 24) a talajok termőképességének megőrzése és fokozása, valamint az elszikesedés, szolonyecesedés, szódaképződés, glejképződés és a mikrobiológiai változások megelőzése érdekében kötelezően vizsgálandó minőségi mutatók. Kutatásunkban az öntözésre felhasznált vizet a szikesedés és szolonyecesedés folyamataiban szerepet játszó tulajdonságai alapján minősítettük.

DARAB (1958) a kicserélhető nátriumionok arányának megnövekedését a művelt talajrétegben az öntözött talajok másodlagos szolonyecesedésének nevezi,

Postai cím: KUN Ágnes, Nemzeti Agrárkutatási és Innovációs Központ (NAIK) Öntözési és Vízgazdálkodási Önálló Kutatási Osztály (ÖVKI), 5540 Szarvas, Anna-liget 8.

E-mail: kun.agnes@ovki.naik.hu

amit az öntözés hatására bekövetkező talajdegradáció egyik formájának tart. Amennyiben a nátriumionok mennyisége megnő a talajkolloidok adszorpciós felületén, a talaj kedvezőtlen vízgazdálkodásúvá válik. KREYBIG (1946) szerint, ha a talajban a kicserélhető nátrium százalék ($Na_S\%$ vagy ESP) meghaladja a 8%-ot a talaj már szikes tulajdonságúvá válik. Ha a $Na_S\%$ eléri a 15-20%-ot, a talaj vízvezetése meg is szűnhet (ARANY, 1955), amelyet a talajmorzsák vízzel szembeni ellenállásának megszűnése okoz a pórusok összeomlásán, így a vízvezetés akadályozásán keresztül. HERKE (1983) szerint, a talajszerkezet Na-adszorpció hatására történő leromlása és a morzsaállandóság csökkenése olyan mértékű lehet, hogy ha a $Na_S\%$ értéke 13-15% között van, akkor a talaj vízáteresztése és a kapilláris vízemelés nulla. STEFANOVITS et al. (2010) szerint, ha az $Na_S\%$ 5% feletti, már a szolonyecsedés jelei fedezhetőek fel a talajban. SIONE et al. (2017) meghatározása szerint a talaj degradáció értékelésére felhasznált paraméterek közt a kicserélhető nátrium tartalomra vonatkozóan 321,86 mg/kg az a határérték, ahol a talaj alacsony minősítési osztályba esik az általuk kialakított kategória rendszer szerint.

Kísérletünkben egy intenzív halnevelő telepről származó, nagy sótartalmú, használt termálvizet (elfolyóvizet) alkalmaztunk fűz energianövény öntözésére. BALOG et al. (2014) szerint a fák mély gyökérsége és a korábbi vegetációnál jelentősen nagyobb vízfelvétele elősegítheti a sótartalom-növekedést az altalajban. A használt termálvíz öntözésre való alkalmasságának megítélésénél elsődleges szempontunk volt a szikesedés mértékének értékelése a talaj kicserélhető kation tartalmának és összes oldható sótartalmának változásán keresztül.

Anyag és módszer

A kísérleteket a Nemzeti Agrárkutatási és Innovációs Központ (NAIK) Öntözési és Vízgazdálkodási Önálló Kutatási Osztályának (ÖVKI) szarvasi Liziméter Telepén állítottuk be. A vizsgálatok 2014-ben indultak. 64 db $1m^3$ -es talajba süllyesztett liziméter tenyészedénybe energiafűzet telepítettünk (2 egyed/liziméter). Két fajtajelölt fűzklón (77, 82) került kiválasztásra a NAIK Erdészeti Tudományos Intézetének munkatársai által. Jelen tanulmányban a 82-es klón képezi a vizsgálatunk tárgyát. A liziméter edények egységesen, (bolygatott) feltalajjal lettek feltöltve teljes mélységben (80 cm), rétegzettség nélkül. 2014 évi, feltöltés megelőző talajvizsgálati eredmények szerint, a talaj magas agyagtartalommal ($K_A > 55$, 70-80 % $< 0,02$ mm), alacsony humusztartalommal (1,96 -2,25%), alacsony mésztartalommal ($< 0,5\%$), 0,07-0,08 % sótartalommal, 6,35-6,55 pH értékkel rendelkezett. DARAB és FERENCZ (1969) által készített Szarvas-Bikazugi Gazdaságának genetikus talajtérképe szerint erősen szolonyeces réti talaj feltalajának letermelése történt meg 2014-ben. Az általunk telepítés előtt mért eredmények megegyeznek DARAB és FERENCZ (1969) által leírt, a területet jellemző, mélyben szolonyeces réti talajszelvény felszíni rétegének alapvizsgálati adataival: 0,08% összes sótartalom, 0,41% mésztartalom, 2,02% humusztartalom és 61% agyagtartalom.

A kezeléseknél kétféle eredetű öntözővizet használtunk, három öntözővíz normával, amelyek mellett kontroll öntözetlen kezelést is alkalmaztunk. A kiváló

minőségű öntözővíz a Hármas-Körös Bikazugi-holtágából származik (*1. táblázat*), a három öntözővíz norma heti 15 mm (K15), 30 mm (K30) és 60 mm (K60) fordulóban került kijuttatásra. Az elfolyóvíz egy intenzív afrikai harcsanevelő telepről származik, ahol a geotermális eredetű rétegvizet alkalmazzák a tenyésztéshez. A sótartalmon kívül a medencékből kikerülő vizek magas tápanyagtartalommal is rendelkeznek. A kezelések ugyanazokkal az öntözővíz normákkal történtek, mint a Körös víz esetében (H15, H30, H60), ugyanabban a fordulóban. A kontrollon (C) kívül nyolcadik kezelésként a használt termálvíz és Körös víz keverékét alkalmaztuk 60 mm-es normával, számított mennyiségű gipsz hozzáadásával (HG).

A kísérlet második évében az öntözési idény átlaghőmérséklete (június-szeptember) 22,3°C, a csapadék mennyisége 137,2 mm volt. 2015. június 19-e és 2015. szeptember 18-a között 12 alkalommal történt öntözés a fenti kezelések szerint. Az öntözési forduló egy hét volt, amely csapadékmennyiségtől függően módosult az esős időszakokat követően. Tápanyag-utánpótlás céljából 40 kg N/ha ammónium-nitrátot juttatunk ki 2015. június 25-én.

Kezelésként 4 liziméter tenyészvényben található meg a 82-es klón, a talajmintavétel kezelésként 3 ismétlésben történt (összesen 24 edényből) 3 mélységben (0-20, 20-40, 40-60 cm) és 2 időpontban: 2015 és 2016 tavaszán. Vízmintavétel az öntözési időszak alatt három alkalommal történt, melyek átlaga alapján végeztük el azok kémiai jellemzését. A talaj kicserélhető kation tartalmának mérése az MSZ-08-0214-2:1978 számú szabvány alapján történt a NAIK ÖVKI Környezetanalitikai Központ Vizsgáló Laboratóriumában. A talaj összes oldható sótartalmának becslése az Arany-féle kötöttségig vízzel telített talajpépből történt fajlagos elektromos vezetőképesség meghatározása alapján MSZ-08-0206-2:1978 szabvány szerint.

Az adatok statisztikai értékeléséhez az SPSS 22.0 szoftvert használtuk. A különböző időpontok között bekövetkezett változásokat párosított T-Test eredményei alapján értékeltük. A kezelések közötti különbségek értékelését egy tényezős varianciaanalízis (one-way ANOVA) alkalmazásával végeztük el, a csoportok közti különbségek kimutatására Tukey-féle post hoc tesztet alkalmaztuk (HUZSVAI és VINCZE, 2012). Az értékeket, amelyek a Tukey's teszt eredménye alapján azonos csoportba sorolhatóak (homogén részhalmazok), a táblázatokban azonos betűvel jelöltük. A különböző betűvel jelölt értékek egymástól szignifikánsan eltérnek ($P < 0,05$).

Eredmények

A kísérletben felhasznált öntözővizek minősége

Az általunk vizsgált öntözővíz minőségi mutatók az *1. táblázatban* találhatóak meg, a táblázat tartalmazza a kísérletben felhasznált vizek ammónia-N és ortofoszfát-P tartalmát is.

1. táblázat
A kísérletben öntözésre felhasznált vizek legfontosabb kémiai jellemzői

(1) Kémiai jellemző	(2) Körös víz	(3) Használt termálvíz	(4) HG*	(5) Vizsgálati módszer
a) pH	7,49	7,46	6,71	MSZ EN ISO 10523:2012
b) Fajl. elektromos vez.kép. (20 °C) (μS/cm)	436	1310	924	MSZ EN 27888:1998
c) Hidrogén-karbonát (mg/l)	227	949	398	MSZ ISO 9963-1:1998
d) Kalcium (mg/l)	48,3	20,0	98,9	MSZ 1484-3:2006
e) Kálium (mg/l)	3,94	6,19	4,55	MSZ 1484-3:2006
f) Magnézium (mg/l)	12,6	9,42	11,9	MSZ 1484-3:2006
g) Nátrium (mg/l)	44,6	291	107	MSZ 1484-3:2006
h) Ammónia-N (mg/l)	0,206	22,4	5,75 ^d	MSZ EN ISO 11732:2005
i) Ortofoszfát-P (mg/l)	0,127	1,19	0,39 ^d	MSZ EN ISO 15681-1:2005
j) Na% ^a	35,4	86,8	43,6	számolt (n)
k) SAR ^b	1,48	13,4	2,71	számolt (n)
l) Szódaegyenérték ^c	0,27	13,78	0,61	számolt (n)
m) Összes oldott só tartalom ^e (mg/l)	279	838	591	számolt (n)

^a Na%=Na/(Ca+Mg+Na+K)*100 (DARAB és FERENCZ, 1969)

^b SAR=Na/((Ca+Mg)/2)^{1/2} (Richards, 1954 In: AYERS és WESTCOT, 1994)

^c Szódaegyenérték= (HCO₃+CO₃)-(Ca+Mg) (BOHN et al. 1985)

^d hígítás alapján számolt paraméter

^e Összes oldott só tartalom (mg/l)= EC (dS/m)*640 (STEFANOVITS et al. 2010)

* HG=hígított és javított öntözővíz minősége

A szennyvizek és szennyvíziszapok mezőgazdasági felhasználásnak és kezeléseinek szabályairól szóló 50/2001. (IV.3.) kormányrendelet ugyan nem állít fel követelményt a szennyvízben megengedhető nátrium koncentrációra vonatkozóan, ugyanakkor a szikesedés megelőzése érdekében az öntözővízre vonatkozó minősítési rendszereket alkalmaztuk a használt termálvíz jellemzésére is, hasonlóan, mint a Körös víz esetében. A vizek öntözővízként való minősítését a talajvédelmi terv készítésének részletes szabályairól szóló 90/2008. (VII.18.) FVM rendelet öntözési talajvédelmi terv készítésére vonatkozó 2.6 fejezete (továbbiakban a rendelet), az öntözővíz minőségének vizsgálati, értékelési és minősítési rendjéről szóló műszaki irányelv (továbbiakban MI) (MI-10-172/9-1990) és FILEP (1999) kategóriarendszere alapján végeztük el.

2. táblázat:

Az öntözést korlátozó paraméterek felsorolása a különböző előírások szerint (zárójelben az adott paraméterekre vonatkozó minősítés látható)

(1) Öntözővíz típusa	(2) Öntözést korlátozó paraméterek		
	(3) Rendelet szerint ¹	(4) MI szerint ²	(5) Filep szerint ³
a) Körös víz	-	HCO ₃ tartalom (e)	-
b) Használt termálvíz	("minden esetben használható") (d) SAR érték, szódaegyenérték ("szikes talajok esetén feltételesen használható")(g)	(öntözésre nem megfelelő minőségű) HCO ₃ , Na%, SAR érték (öntözésre nem megfelelő minőségű)(h)	("kifogástalan" vízminőségű (I.)) (f) Na% ("öntözésre nem használható és nem javítható" (IV.)) (i)
c) Hígított víz	- ("minden esetben használható") (d)	HCO ₃ tartalom (öntözésre nem megfelelő minőségű)(e)	összes oldott sótartalom („csak egyes talajok öntözésére alkalmas (II.)) (j)

1: 90/2008. (VII.18.) FVM rendelet

2: MI-10-172/9-1990

3: FILEP, 1999

A vízminőség értékelés szerint, a Körös kiváló öntözővíz minőségű kategóriába esett valamennyi minősítő rendszer szerint, felhasználását egyedül a magas hidrogén-karbonát tartalma korlátozza, amely a másik két víztípusra is jellemző tulajdonság (2. táblázat). A műszaki irányelvben található kis hidrogén-karbonát koncentráció határérték (<1,5 mgé/l megfelelő, 1,6-8,5 mgé/l tűrhető, >8,5 mgé/l nem megfelelő) a bikarbonátveszély miatt indokolt. Ennek értékeléséhez a szódaegyenérték mutató is alkalmazható, amelynek javasolt határértéke 1,25 (BOHN et al., 1985, FILEP, 1999). A használt termálvízzel ellenben, a Körös víz és a hígított víz is megfelel ennek a határértéknek (1. táblázat).

A használt termálvíz egyik értékelési rendszer szerint sem javasolt öntözési felhasználásra, amelynek elsődleges oka a nagy nátrium tartalma (1. és 2. táblázat).

A Körös víz és a használt termálvíz mellett az 1. és 2. táblázatokban feltüntetettük a két különböző víz 1:3 arányú hígításával és gipsz javítóanyag hozzáadása által kezelt öntözővíz típust (HG). A harmadik típusú öntözővíz alkalmazását – a használt termálvíz öntözővízként való nem megfelelő minősítése ellenére – a nagy tápanyagtartalmára és a vízkészleteink szűkösségére hivatkozva indokoltnak tartjuk. Mindezek alapján a HG öntözővíz típus kedvezőbb besorolást kapott a 90/2008. (VII.18.) FVM rendelet szerint (2. táblázat). A Filep-féle minősítés szerint is kedvezőbb kategóriába került, mint a nyers használt termálvíz.

DARAB és FERENCZ (1969) szerint a természetes vizek öntözésre való felhasználhatóságának elbírálásakor a legnagyobb megengedhető sótartalmat két tényező szabja meg az öntözendő növény sótűrő képessége, élettani sajátosságai és

az öntözött talaj sajátsága, a talaj drénviszonyai. FILEP (1961) osztályozása szerint 300-500 mg/l közötti összes oldott só tartalommal rendelkező víz még eredeti összetételében alkalmas lehet öntözésre, DARAB és FERENCZ (1969) szerint 500 mg/l alatt öntözésre használható a víz. A Körös víz megfelel a határértéknek, azonban a használt termásvíz meghaladja azt, ugyanakkor a hígítás és javítás következtében az összes oldott só tartalma 30%-kal (838 mg/l-ről 591 mg/l-re csökkent), a nátriumszázalék értéke pedig közel 50%-kal csökkent (1. táblázat). A gipsz hozzáadása következtében a víznek e paramétere nem csökkent ugyan a határérték alá, ugyanakkor a nátrium százalék és SAR érték csökkenése a víz felhasználhatóságát eredményezi 90/2008. (VII.18.) FVM rendelet szerint.

A hígítás következtében a tápanyag koncentrációk is csökkentek a javított vízben (HG). A harmadik víztípus a hígítási arányból adódóan megközelítőleg harmadát tartalmazza a kezeletlen vízben található koncentrációknak. Feltételezésünk szerint a magas tápanyag tartalommal rendelkező használt vizek öntözéses felhasználása hozzájárulhat a talaj tápanyagtartalmának növeléséhez, vagy közvetlenül a növények tápanyag-ellátásához. Eredményeink szerint a használt termásvíz nitrogéntartalma több mint százszorosa, míg a foszfor tartalma kilencszerese a Körös vízben található koncentrációknak (1. táblázat).

Az öntözővizek talajtani hatásai

A kísérlet megkezdése előtt a liziméter tenyészedények talajában kedvező arányban találhatóak meg a vizsgált kationok. A kicserélhető kalcium mennyisége a bázikus kationok százalékában ($Ca_{S\%}$) minden tenyészedényben 70 és 80% között alakult, a kicserélhető kálium ($K_{S\%}$) valamennyi kezelésében 2% volt, a kicserélhető magnézium ($Mg_{S\%}$) 20% körül alakult, a ($Na_{S\%}$) pedig minden esetben 1-2% volt.

Eredményeink szerint az alábbi folyamatokat figyeltük meg a vizsgált idő alatt. (1) A *kalcium kilúgzása és magnézium megkötődése*: a használt termásvizes kezelésekből és a kontrollban a kicserélhető kalcium aránya a többi kationhoz képest majdnem minden talajszintben csökkent (kivétel csak a H30 40-60 cm). A $Ca_{S\%}$ szignifikánsan csökkent a H60 kezelés és kontroll minden szintjében közel azonos mértékben. A H15 kezelés 0-20 cm rétegében a kalcium csökkenés ugyancsak szignifikáns volt, de kisebb mértékű (-2,35%). A Körös vízzel és hígított vízzel öntözött kezelésekből a kicserélhető kalciumtartalomban szignifikáns növekedés figyelhető meg a K60 kezelés 20-60 cm mélységében. Ezekben a kezelésekből valamennyi szintben kis mértékben növekedett a kalcium, kivételt csak a K15 kezelés 0-20 cm rétege képez. Ugyanakkor szemben a $Ca_{S\%}$ változásokkal a talajban mért kicserélhető kalcium koncentráció ($Ca_{mg/kg}$) csökkenés (ugyancsak T-testtel történő értékelése során) a H60 kezelés esetében csak a 40-60 cm mélységben volt szignifikáns (-690 mg/kg). A kontroll kezelésben a $Ca_{mg/kg}$ változás (átlagosan: -1673,3 mg/kg) minden szintben szignifikáns volt ($p < 0,05$) (3. táblázat). A $Ca_{mg/kg}$ csökkenés továbbá szignifikánsnak mutatkozott ($p < 0,05$) (szemben a $Ca_{S\%}$ változással) minden Körös vízzel öntözött kezelés felszíni talajrétegében is. (3. táblázat).

3. táblázat
A talaj kicserélhető bázisainak változásai egy év alatt (mg/kg és S%)

(1) Kicserélhető kation változás	(2) Kezelések							
	(3) W15	(4) W30	(5) W60	(6) HG	(7) K15	(8) K30	(9) K60	(10) Kontroll
a) Kalcium								
$\Delta Ca_{mg/kg, 0-20}$ cm	-335,7	510,4*	-513,3	53,3	-	-	-200,0*	-1763,3*
$\Delta Ca_{NaS\%, 0-20}$ cm	-2,35*	-1,26	-6,06**	0,49	346,7*	430**	0,37	-7,45*
$\Delta Ca_{mg/kg, 20-40}$ cm	-247,7	535,0*	-393,3	-90,0	-280,0	-153,3	-120,0	-1580,0*
$\Delta Ca_{NaS\%, 20-40}$ cm	-1,81	-0,25	-5,76*	0,40	0,42	2,77	1,60*	-6,37*
$\Delta Ca_{mg/kg, 40-60}$ cm	-196,9	461,2*	-690,0*	-	-150,0	-136,7	-270,0	-1676,7*
$\Delta Ca_{NaS\%, 40-60}$ cm	-2,60	0,30	-5,58*	106,7 1,25	1,62	1,67	1,73*	-6,29*
b) Kálium	W15	W30	W60	HG	K15	K30	K60	Kontroll
$\Delta K_{mg/kg, 0-20}$ cm	-48,3*	1,0	-58,3	-3,3	-48,0	37,7	-40,3	-84,0
$\Delta K_{NaS\%, 0-20}$ cm	-0,28	-0,25	-0,38	-0,03	-0,22	0,56	-0,20	-0,17
$\Delta K_{mg/kg, 20-40}$ cm	-27,7	-16,0	-69,0	-13,3	-19,0	40,0	27,7	-41,3
$\Delta K_{NaS\%, 20-40}$ cm	-0,15	-0,37	-0,49	-0,04	0,01	0,46	0,31	0,09
$\Delta K_{mg/kg, 40-60}$ cm	-53,3	-2,3	-54,7	18,3	3,3	8,7	2,0	-137,7
$\Delta K_{NaS\%, 40-60}$ cm	-0,40	-0,20	-0,27	0,22	0,14	0,17*	0,20	-0,42
c) Magnézium	W15	W30	W60	HG	K15	K30	K60	Kontroll
$\Delta Mg_{mg/kg, 0-20}$ cm	-37,0	58,7	86,3	-20,7	4,3	-206,3	-5,0	197,0
$\Delta Mg_{NaS\%, 0-20}$ cm	-0,20	-1,22*	2,06*	-0,60	1,32	-2,55	0,87	7,61*
$\Delta Mg_{mg/kg, 20-40}$ cm	-21,7	41,0	112,0	-34,7	-68,3	-182,0	-76,0*	142,0*
$\Delta Mg_{NaS\%, 20-40}$ cm	0,01	-1,44*	2,26	-0,32	-0,27	-2,85	-0,81	6,46*
$\Delta Mg_{mg/kg, 40-60}$ cm	54,7	33,0	79,7	-95,0	-107,0	-115,3	-	127,7*
$\Delta Mg_{NaS\%, 40-60}$ cm	1,47	-1,26*	2,60	-1,45	-1,40	-1,59	105,7** -0,88	6,46*

3. táblázat folytatása								
d) Nátrium	W15	W30	W60	HG	K15	K30	K60	Kontroll
$\Delta Na_{mg/kg, 0-20}$ cm	211,7**	248,7**	384,7**	12,3	-20,0	-16,8	- 88,1****	-23,7
$\Delta Na_{NaS\%, 0-20}$ cm	2,83**	2,73**	4,38**	0,14	-0,19	-0,05	- 1,05****	0,01
$\Delta Na_{mg/kg, 20-40}$ cm	144,1*	189,0**	355,0**	-6,3	-19,1	-37,0*	93,0**	-40,3
$\Delta Na_{NaS\%, 20-40}$ cm	1,96*	2,05**	3,99**	-0,03	-0,16	-0,37	-1,10**	-0,18
$\Delta Na_{mg/kg, 40-60}$ cm	116,1	109,3*	272,5**	-9,0	-33,6*	-26,7*	-92,3**	-3,7
$\Delta Na_{NaS\%, 40-60}$ cm	1,53	1,16*	3,25**	-0,03	-0,36*	-0,26*	-1,05**	0,26

($\Delta Ca_{S\%}$, $\Delta K_{S\%}$, $\Delta Mg_{S\%}$, $\Delta Na_{S\%}$: értékek a 2015 tavaszán és 2016 tavaszán mért kicserélhető kation tartalom változását jelentik, melyek a párosított T-Test eredményei, mértékegység: %) (*: $p < 0,05$ **: $p < 0,01$ ***: $p < 0,001$)

A H30 kezelésben, a $Ca_{mg/kg}$ koncentrációban bekövetkező változás minden szintben szignifikáns és növekedést (+502 mg/kg) mutat ($p < 0,05$) a százalékos értékek csökkenésével szemben. A HG víz típus öntözése mellett nem történt jelentős kalcium csökkenés egyetlen mélységben sem.

A kontroll kezelés minden szintjében növekedett a $Mg_{S\%}$, míg a H30 kezelés esetében minden szintben szignifikánsan csökkent (3. táblázat). A kontroll esetében a talajban található $Mg_{mg/kg}$ +156 mg/kg-mal növekedett minden szint átlagában egy év alatt. Ugyanakkor a H30 kezelésben a százalékos értékek csökkenése mellett koncentráció növekedés (átlagosan: +44 mg/kg) történt (hasonlóan a kalcium ionhoz) (3. táblázat).

(2) *Nátrium adszorpció és deszorpció*: Az $Na_{S\%}$ szignifikánsan növekedett minden használt termálvizes kezelés minden talajszintjében, mely alól egyetlen talajréteg kivétel (H15 40-60 cm) (3. táblázat). A K60 kezelés minden szintjében és a K15 és K30 kezelések 40-60 cm mély rétegében szignifikánsan csökkent a $Na_{S\%}$ (3. táblázat). A kontroll és a HG kezelés egyetlen szintjében sem történt jelentős változás $Na_{S\%}$ -ban. A kicserélhető nátriumszázalék növekedés azt jelenti, hogy a talaj adszorbeálja az öntözővízben található nátriumot, a folyamat mg/kg-ban kifejezett értéke valamennyi használt termálvizes kezelés esetében növekszik. A H60 kezelésben a növekedés átlagosan +337 mg/kg volt. K60 kezelésben a $Na_{mg/kg}$ átlagosan 91 mg/kg-mal csökkent (3. táblázat).

(3) *Használt termálvízzel öntözött talajok szikesedésének kezdete*: Valamennyi elfolyóvizes kezelés a nagy kicserélhető nátriumtartalma miatt szignifikánsan különbözött az összes többi Körös vizes kezeléstől. Az $Na_{S\%}$ esetében a H15 és H30 kezelések ($Na_{S\%} = 2,7-4,6$) szignifikánsan különböztek minden mélységben a H60 ($Na_{S\%} = 4,5-5,9$) kezeléstől (4. táblázat). Továbbá a Körös vizes és kontroll kezelések ($Na_{S\%} = 1,2-1,7$) között szignifikáns különbség nem mutatkozott. A HG

kezelés ($Na_{S\%} = 2,2-2,4$) csak a 0-20 cm mélységű rétegben különbözött szignifikánsan az összes többi kezeléstől, a többi rétegben a Körös vízzel öntözött és kontroll kezelésekkkel azonos mértékű $Na_{S\%}$ jellemezte. A szignifikáns különbségek 2016 tavaszán a $Na_{mg/kg}$ értékekben hasonlóan alakulnak a kezelések között, mint a $Na_{S\%}$ esetében. A legnagyobb értékek a használt termálvízes kezelésben mérhetők ($Na_{mg/kg} = 220-520$) (4. táblázat). A legkisebb értékek a Körös vizes kezeléseknél fordultak elő ($Na_{mg/kg} = 92-111$). A kontroll $Na_{mg/kg}$ értékei ($Na_{mg/kg} = 115-147$) minden mélységben kisebbek voltak, mint a HG értékei ($Na_{mg/kg} = 172-199$) (4. táblázat). A kicserélhető nátrium értékek alapján az utóbbi két kezelés a Körös vizes és használt termálvízes kezelés között helyezkedett el. 2016 tavaszán a talaj kicserélhető kalcium, kálium és magnézium ionok értékeiben nem volt szignifikáns különbség kezelésenként.

4. táblázat

A talaj átlagos kicserélhető nátriumtartalma ($Na_{S\%}$ és mg/kg) 2016 tavaszán

(1) Kezelés	(2) Kicserélhető nátrium tartalom					
	0-20 cm		20-40 cm		40-60 cm	
	%	mg/kg	%	mg/kg	%	mg/kg
H15	4,34 ^c	330,7 ^c	3,30 ^c	248,0 ^c	2,88 ^b	220,0 ^b
H30	4,61 ^c	390,3 ^c	3,71 ^c	316,0 ^c	2,73 ^b	232,0 ^b
H60	5,90 ^d	519,7 ^d	5,30 ^d	472,0 ^d	4,47 ^c	383,0 ^c
HG	2,43 ^b	198,7 ^b	2,19 ^b	177 ^b	2,17 ^{ab}	171,7 ^{ab}
K15	1,21 ^a	92 ^a	1,25 ^a	93,9 ^a	1,21 ^a	91,8 ^a
K30	1,41 ^a	103,2 ^a	1,36 ^{ab}	102,7 ^a	1,39 ^a	105,7 ^a
K60	1,40 ^a	107,3 ^a	1,46 ^{ab}	111,0 ^{ab}	1,43 ^a	106,0 ^a
Kontroll (3)	1,43 ^a	120,7 ^a	1,38 ^{ab}	114,7 ^{ab}	1,75 ^{ab}	146,7 ^{ab}

Megjegyzés: H15, H30, H60: használt termálvízes kezeléseknél öntözési norma szerint, HG: hígított és javított használt termálvíz, Körös vizes kezeléseknél öntözési norma szerint. A kisbetűs a, b, c, d, e indexek a Tukey-féle teszt homogén részhalmazait jelölik.

(5) A használt termálvíz kiöntözése során a talaj összes oldott sótartalma növekedett. A legnagyobb összes oldott sótartalommal a H60 kezelés rendelkezik minden talajrétegben. A felszíni rétegben a H30 és H60 kezelés szignifikánsan különbözik az összes többi kezeléstől. 20 cm alatt a H60-ban mért sótartalom szignifikánsan különbözik a K60 kezelésben mért értéktől, azonban a különbség csupán 0,003% (5. táblázat). 40 cm alatt már nincs szignifikáns hatása a használt termálvíznek a talaj összes oldott sótartalmára.

5. táblázat
A talaj összes oldott só tartalma 2016 tavaszán (m/m%)

(1) Kezelés	(2) A talaj összes oldott só tartalma		
	0-20 cm	20-40 cm	40-60 cm
H15	0,053 ^{ab}	0,057 ^{ab}	0,530
H30	0,063 ^b	0,053 ^{ab}	0,047
H60	0,063 ^b	0,063 ^b	0,060
HG	0,040 ^a	0,050 ^a	0,047
K15	0,047 ^{ab}	0,047 ^a	0,050
K30	0,047 ^{ab}	0,050 ^a	0,047
K60	0,05 ^{ab}	0,057 ^{ab}	0,047
Kontroll (3)	0,053 ^{ab}	0,050 ^a	0,050

Megjegyzés: H15, H30, H60: használt termálvizes kezelések öntözési norma szerint, HG: hígított és javított használt termálvíz, Körös vizes kezelések öntözési norma szerint. A kisbetűs a, b, c, d, e indexek a Tukey-féle teszt homogén részhalmazait jelölik.

Következtetések

Az öntözésre általunk felhasznált vizek különböző vízminőségi kategóriákba esnek az alkalmazott minősítő rendszerek szerint. A használt termálvíz magas SAR, nátriumszázalék és szódaegyenérték eredményei előre vetítik a talaj várható szikesedésének veszélyét. URBANO et al. (2017) szerint már 68,41 mg/l nátrium tartalmú két hónapos kezelt szennyvíz öntözés mellett 6,44% Na_{S%-a}-ot mértek, szemben a fejes saláta kontrollként ivóvízzel történő öntözése esetén, ahol a talaj Na_{S%-a} 3,22 % volt. SIMMONS et al. (2010) a nagy só tartalmú vizek hosszú távú öntözéses felhasználása esetén a víz hígítását és ahol elérhető, Ca tartalmú anyag hozzáadását javasolja hely-specifikus, megelőző gyakorlat és kezelési stratégia részeként. A kísérletünkben öntözővízként alkalmazott nyers használt termálvíz tulajdonságai miatt alkalmaztuk a kevert és gipsszel javított vizet (HG) öntözésre, amely a tárgyalt öntözővíz minősítő rendszerek szerint csak feltételesen lehetne használható öntözésre további javítás esetén (2. táblázat). A FAO öntözővíz minőségre vonatkozó útmutatója szerint (AYERS és WESTCOT, 1994) a javított víz nátriumtartalma (4,7 mg/l) meghaladja az arra vonatkozó határértéket, amely < 3 mg/l Na tartalmat javasol szórófejes öntözés esetén, valamint vezetőképesség, összes oldott só tartalom és SAR érték alapján is a szennyvízzel megegyező, enyhe vagy közepesen súlyos kategóriába esik a felhasználás korlátozása szerint.

A vízminősítési eredmények ellenére, egy év öntözéses kísérlet során, méréseink alapján a talajban kizárólag a HG vízminőség felhasználása mellett nem volt kimutatható szignifikáns változás a talaj kicserélhető kation tartalmában. A HG kezeléshez hasonlóan viselkedett a K15 és K30 kezelés, ahol szintén nem történt

jelentős változás egy év alatt a mért paraméterekben. A HG kezelés kicserélhető nátrium tartalma csupán a felszíni rétegben különbözött szignifikánsan a Körös és a kontroll kezelésektől, ugyanakkor a különbség csupán 1 Na_{S%} volt. ARANY (1955) szerint a kilúgozott talajban a kicserélhető kálium mennyisége mindenkor nagyobb, mint a nátrium. 2016 tavaszán, a Körös vizes kezelésekből ez maradéktalanul teljesül, a HG kezelésben közel egyenlő a két érték (2,3 K_{S%} ~2,4 Na_{S%}), míg a használt termálvizes kezelésben minden esetben több mint kétszeres a Na_{S%}, mint a K_{S%}. Eredményeink szerint a HG, K15 és K30 kezelés a vizsgált évben képes volt a talaj egyensúlyát fenntartani az adszorpciós rendszerben.

A használt termálvizes kezelésekből történt a legnagyobb Na_{S%} felhalmozódás, mely együtt járt a Ca_{S%} nagymértékű csökkenésével. A két egymást erősítő folyamat következtében a használt termálvizes kezelés által érintett talaj legfelső rétegét tartjuk szikesedés miatt leginkább veszélyeztetettnek, ugyanis minden mintavételi pontban a mélységgel csökkent a talaj nátrium tartalma. JALALI et al. (2008) szerint 12%-kal növekedett a Na_{S%}, amikor a talaj kiindulási értéke 9% volt, és az öntözővíz EC értéke 6040 µS/cm, SAR értéke 25,3 egy talajoszlopos kilúgozási kísérletben.

A H30 és H15 kezeléseket ugyancsak nátrium felhalmozódással jártak együtt, ugyanakkor a kalcium csökkenés nem, vagy csak kisebb mértékben következett be. A H30 kezelés kicserélhető kation tartalmának változása alakult a legérdekesebben, ugyanis itt a nátrium növekedés olyan mértékű volt, hogy hiába növekedett a talajkolloidok felületén kötött kalcium ionok koncentrációja (Ca_{mg/kg}), a Ca_{S%} és Mg_{S%} csökkent a nátrium javára.

A K60 kezelés volt az egyedüli, amelyben egy év alatt minden szintben szignifikáns csökkenés következett be a kicserélhető nátriumtartalomban az öntözés hatására, és ez (nem szignifikáns) Ca_{S%} növekedéssel járt együtt.

Az öntözetlen kontroll kezelésben történő változások arra engednek következtetni, hogy öntözés nélkül a talaj adszorpciós folyamataiban - a vizsgált évben - szikesedés folyamata indult meg a talajkolloidok felületén adszorbeálódó magnézium ionok feldúsulásán keresztül. Arany (1955) által 1931-ben végzett kísérletek szerint a talajok magnéziummal szemben általában nagyobb affinitással viselkednek, azaz ha a talajoldat a magnéziumot és kalciumot egyenlő arányban tartalmazza, akkor a magnézium ionokat a talaj erősebben adszorbeálja. Eredményeink szerint a talaj Ca_{S%}-a szignifikánsan csökkent, mellette a Mg_{S%}-a növekedett (3. táblázat). Ugyanakkor WANG et al. (2017) szerint az általa vizsgált talaj aggregátumok kicserélhető kalcium és magnézium ionjai között szignifikáns kapcsolat áll fenn, de pozitív korreláció (R=0,6, p<0,001). A folyamat további értelmezéséhez újabb, részletesebb vizsgálatokat tartunk szükségesnek, azonban kutatásunk során elsősorban az öntözés hatására bekövetkező változásokat kívántuk értékelni.

Az öntözővizek általunk vizsgált talajtani hatásait értékelve elmondható, hogy a bevezetőben hivatkozott kicserélhető nátrium tartalomra vonatkozó legalacsonyabb értéket (5 Na_{S%}) csak a H60 kezelésnek a két legfelső talajrétegében mért értékei haladták meg. Ugyanakkor, SIONE ET AL (2017) által abszolút értékben meghatározott káros kicserélhető nátrium tartalmat (322 mg/kg) a felszíni

talajrétegben mindhárom szennyvizes, a 20-40 cm rétegben a H30 és H60 kezelés, a 40-60 cm rétegben a H60 kezelés érte el (4. táblázat). Az eredmények azt mutatják, hogy a vízmennyiség növekedésével az öntözővíz minősége által indukált nátrium felhalmozódás a mélyebb talajrétegeket is érinti, habár csökkenő mértékben. A szikesedés mértékének erősödésével a fák gyökérzetének fejlődése akadályozott és talajvízig való lejutásának ideje növekszik (SZABÓ et al. 2012), így az eredményeink alapján tapasztalt nátrium növekedés várhatóan a fafajtától (só toleranciájától) függően a későbbiekben az ültetvény növekedésének gátló tényezőjévé válhat. Biztató eredménynek tartjuk, hogy az általunk alkalmazott HG kezelés egyetlen talajrétegben sem emelte 200 mg/kg fölé a Na-koncentrációt, hangsúlyozva természetesen, hogy eredményeink csupán egy év kísérletéből származnak. Az öntözött talaj sótartalmának jellemzéséhez nem elegendő a statikus állapot ismerete, a só dinamikáját is vizsgálni kell, mivel az oldható sók mennyisége, minősége és szintenkénti eloszlása évszakosan is jelentősen változik (SZABOLCS és DARAB, 1955).

Összefoglalás

Hazánkban a szélsőséges vízháztartási helyzetek fokozódásával a változó környezeti feltételekhez való alkalmazkodás megköveteli az aktuális mezőgazdasági gyakorlat módosítását az öntözés területén is. Az adaptáció egyik fontos eleme lehet az öntözéses gazdálkodási formák kiszélesítése, a víz- és energiatakarékos öntözési módok és módszerek előtérbe helyezése és nem utolsósorban a használt vizek (szennyvizek, hulladékvizek, elfolyóvizek stb.), mint alternatív vízforrások öntözéses hasznosítása.

Kísérletünkben egy intenzív afrikai harcsa-nevelő telepről származó használt termálvizet és Körös vizet használtunk fel energiafűz öntözésére egyéves liziméteres kísérletben. Az öntözéses kísérlet a Nemzeti Agrárkutatói és Innovációs Központ (NAIK) Öntözési és Vízgazdálkodási Önálló Kutató Osztály (ÖVKI) szarvasi Liziméter Telepén valósult meg. A kísérletben 82-es fűz klón nyolcféle öntözéses kezelését alkalmaztuk.

Eredményeink szerint a használt termálvíz minősége miatt öntözésre csak korlátozottan használható, mivel a szikesedésért leginkább felelős kémiai paraméterek (EC, SAR, nátriumszázalék és szódaegyenérték) értékei magasak. A vízminősége miatt (Körös víz felhasználásával) hígítással és gipsz javítóanyag hozzáadásával egy harmadik víztípust hoztunk létre (HG). A talaj kicserélhető kation tartalmában bekövetkező változásokat vizsgálva a használt termálvíz kiöntözése mellett a kicserélhető nátrium felhalmozódását mértünk valamennyi öntözési norma esetén. A hígított+kezelt öntözővíz (HG) mellett a talajban szignifikáns változás egy kicserélhető kation esetében sem történt. Körös víz öntözése mellett 15 és 30 mm öntözési norma esetén a hígított+kezelt vízhez hasonlóan jelentős változás nem történt, ugyanakkor a 60 mm-es öntözési norma mellett a nátriumtartalomban szignifikáns csökkenés volt kimutatható, amely a kilúgzásnak köszönhető. Az öntözetlen kezelésben a kicserélhető kalcium tartalom

csökkenése mellett a magnéziumok mennyisége növekedett meg a talajkolloidok felületén, amely következtetésünk szerint természetes szikesedési folyamatok következménye. A talaj összes oldott sótartalma 0-40 cm mélységben a használt termálvízes öntözés után (60 mm öntözési norma) szignifikánsan különbözött a Körös vízzel öntözött kezelésekben mért értékektől, ugyanakkor a kezelt víz (HG) felhasználása mellett a talaj összes oldott sótartalma a Körös vízzel öntözött kezelésekben mért értékekhez hasonlóan változott és nem haladta meg a 0,05%-ot.

A felhasznált öntözővizek talajra gyakorolt hatásának teljes körű értékeléséhez további talajvizsgálatokat tartunk szükségesnek, valamint a hosszú távú előrejelzések miatt a kísérletet folytatjuk több éven keresztül. Mindazonáltal megállapítható, hogy az elvégzett kísérletünk eddigi szakaszában az intenzív afrikai harcanevelő telepről származó használt termálvíz jó minőségű vízzel való keverése és gipsz hozzáadása után felhasználható a talajvédelem szempontjából fenntartható módon, szolonyecesedés és sófelhalmozódás nélkül.

Táblajegyzék

1. táblázat: A kísérletben öntözésre felhasznált vizek legfontosabb kémiai jellemzői
2. táblázat: Az öntözést korlátozó paraméterek felsorolása a különböző előírások szerint (zárójelben az adott paraméterekre vonatkozó minősítés látható)
3. táblázat: A talaj kicserélhető bázisainak változásai egy év alatt (S%, mg/kg)
4. táblázat: A talaj átlagos kicserélhető nátriumtartalma ($\text{Na}_{\text{S}\%}$ és mg/kg) 2016 tavaszán
5. táblázat: A talaj összes oldott sótartalma 2016 tavaszán (m/m%)

Kulcsszó: adszorpció, szikesedés, öntözővíz minősítés, liziméter

Irodalom

- ARANY S. 1955. Öntözővizek a tiszalöki öntözőrendszerben. *Agrokémia és Talajtan* **1** (2.) 97-118.
- AYERS R.S. & WESTCOT D.W. 1994. Water quality for agriculture. FAO Irrigation and Drainage Paper. Rome. 29 Rev. 1.
- BOHN H.L., MCNEAL B.L. & O'CONNOR G. A. 1985. Talajkémia. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.
- DARAB K. 1958. A tiszántúli öntözött réti talajok másodlagos szikesedése. *Agrokémia és Talajtan* **7** (1.) 53-64.
- DARAB K. & FERENCZ K. 1969. Az öntözött területek talajtérképezése. Országos Mezőgazdasági Minőségvizsgáló Intézet. Budapest.
- ELGALLAL M., FLETCHER L. & EWANS B. 2016. Assessment of potential risks associated with chemicals in wastewater used for irrigation in arid and semiarid zones: A review. *Agricultural Water Management*. **177**. 419-431.
- FILEP GY. 1999. Az öntözővizek minősége és minősítése. *Agrokémia és Talajtan* **48** (1-2.) 49-65.

- FILEP GY. 1961. Az öntözésre szánt vizek gyakorlati osztályozása. *Agrokémia és Talajtan*. **10** (3) 312-332.
- FRANCÉS G.E., QUEVAUVILLER P., GONZÁLEZ E.S.M. & AMELIN E.V. 2017. Climate change policy and water resources in the EU and Spain. A closer look into the Water Framework Directive. *Environmental Science and Policy*. **69**. 1-12.
- HERKE S. 1983. Szikes talajok javítása és hasznosítása a Duna völgyében. Akadémiai Kiadó, Budapest.
- HUZSVAI L., VINCZE SZ. 2012. SPSS-könyv. Seneca Books.
- JALALI M., MERIKHPOUR H., KALEDHONKAR M.J. & S. VAN DER ZEE. 2008. Effects of wastewater irrigation on soil sodicity and nutrient leaching in calcareous soils. *Agricultural Water Management*. **95**. 143-153.
- KREYBIG L. 1946. Mezőgazdasági természeti adottságaink és érvényesülésük a növénytermesztésben. Magyar mezőgazdasági Művelődési Társaság. Budapest
- MEYERS B.J., BENYON R.G., THEIVEYANATHAN S., CRIDDLE R.S., SMITH C.J. & FALKINER R.A. 1998. Response of effluent-irrigated *Eucalyptus grandis* and *Pinus radiata* to salinity and vapor pressure deficits. *Tree Physiology* **18**. 565-573.
- RICHARDS L.A. 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. USDA Agricultural Handbook. In: Ayers R.S., Westcot D.W. (1994): Water quality for agriculture. FAO Irrigation and Drainage Paper. Rome. 29 Rev. 1.
- SIMMONS R., QUADIR M. & DRECHSEL P. 2010. Farm-based measures for reducing human and environmental health risks from chemical constituents in wastewater. In: Rechsel P. – Scott C.A. – Raschid-sally L. – Redwood M. – Bahri A.: Wastewater irrigation and health. Assessing and mitigating risk in low-income countries. Ertscan. London. 209-238.
- SINGH A. 2015. Poor quality water utilization for agricultural production: An environmental perspective. *Land use policy*. **43**. 259-262.
- SIONE S.M.J., WILSON G.M., LADO M. & GONZÁLEZ A.P. 2017. Evaluation of soil degradation produced by rice crop systems in a Vertisol, using a soil quality index. *Catena*. **150**. 79-86.
- STEFANOVITS P., FÜLEKY GY. & FILEP GY. 2010. Talajtan. Mezőgazda Kiadó. Budapest.
- SZABOLCS I. & DARAB K. 1955. Az oldható sók dinamikája öntözött talajokban. *Agrokémia és Talajtan*. **4** (3) 251-263.
- SZABÓ A., KISS K., GRIBOVSZKI Z., TÓTH T. 2012. Erdők hatása a talaj és altalaj sóforgalmára, valamint a talajvíz szintjére. *Agrokémia és Talajtan*. **61** (1) 195-209.
- TZANAKAKIS V.A., PARANYCHIANAKIS N.V., LONDRA P.A. & ANGELAKIS A.N. 2011. Effluent application to the land: changes in soil properties and treatment potential. *Ecological Engineering*. **37**. 1757-1764.
- URBANO R.V., MENDONÇA T., BASTOS R.G. & SOUZA F.C. 2017. Effects of treated wastewater irrigation on soil properties and lettuce yield. *Agriculture Water Management*. **181**. 108-115.
- WANG R., DUNGAIT A.J.J., BUSS L. H., YANG S., ZHANG Y., XU Z. & JIANG Y. 2017. Base cations and micronutrients in soil aggregates as affected by enhanced nitrogen and water input in a semi-arid steppe grassland. *Science of Total Environment*. **575**. 564-572

Szövegekői jogszabály és szabvány hivatkozások

- 50/2001. (IV.3.) kormányrendelet a szennyvizek és szennyvíziszapok mezőgazdasági felhasználásnak és kezeléseinek szabályairól.
90/2008. (VII.18.) FVM rendelet a talajvédelmi terv készítésének részletes szabályairól.
MI-10-172/9-1990. Felszíni Vizek Minősége. Az öntözővíz minőségének vizsgálati, értékelési és minősítési rendje.
MSZ-10-640-1989. Vízgazdálkodás. Víztminőség. Az öntözővíz minőségével szemben támasztott követelmények. Magyar Köztársaság. Környezetvédelmi és Vízgazdálkodási Ágazati Szabvány.

Effect of irrigation with used geothermal water on the sodicity and salinity of agricultural soil

Á. KUN¹, Cs. BOZÁN¹, M. B. ONCSIK¹, and K. BARTA²

¹Research Department of Irrigation and Water Management, National Agricultural Research and Innovation Centre (NAIK ÖVKI), Szarvas

E-mail: kun.agnes@ovki.naik.hu

²Department of Physical Geography and Geoinformatics, University of Szeged, Szeged

Summary

Because of the increasing frequency of extreme hydrological events in Hungary, conventional agricultural practices need to be modified in order to adapt to changing environmental factors. The development of new irrigation management practices, the use of water- and energy-saving methods and the reutilization of wastewater (agricultural effluents, treated wastewater, etc.) could be important elements in this adaptation.

Used geothermal water (so called effluent water) from an intensive African catfish farm, water from the River Körös and improved effluent water were used in a lysimeter experiment for the irrigation of energy willow. The experiments were conducted at the Research Department of Irrigation and Water Management (OVKI) of the National Agricultural Research and Innovation Centre (NAIK) in Szarvas, Hungary. Seven irrigation treatments and one rain-fed control were applied in four replications during the 2015 vegetation period.

The results demonstrated that the use of effluent water is limited by high values of the chemical properties responsible for sodification (EC, SAR, sodium content and bicarbonate toxicity). For this reason, an improved form of effluent water produced by dilution and the addition of gypsum was also used for irrigation. Tests on changes in the exchangeable cation content of the soil showed that irrigation with effluent water led to the accumulation of exchangeable sodium at all the irrigation rates, while no significant changes were observed for any exchangeable cations in the case of diluted, treated effluent water. When water from the River Körös was used for irrigation no change in this parameter was recorded at irrigation rates of 15 or 30 mm, but the 60 mm irrigation rate resulted in a significant decline in the sodium content, associated with leaching. In the non-irrigated treatment a decrease in the exchangeable calcium content was accompanied by an increase in the quantity of

magnesium on the surface of soil colloids, which could probably be attributed to natural sodification processes. After a year of irrigation with effluent water (at the 60 mm irrigation rate) the total dissolved salt content of the soil at a depth of 0-40 cm differed significantly from the values recorded in treatments given river water, but when the diluted, treated effluent water was applied, the total dissolved salt content in the soil was similar to that in the river water treatment and did not exceed 0.05%.

Further soil analyses will be required to gain a better understanding of the effect of these irrigation sources on the soil, and the experiment will be continued for several years to give a long-term picture. It is clear from the present results, however, that effluent water from the intensive African catfish farm can safely be used for irrigation in a sustainable manner after mixing with good quality water and the addition of gypsum, without the danger of sodification or salt accumulation.

Key words: adsorption, sodification, quality control of irrigation water, lysimeter

Table 1. Chemical parameters of the irrigation water applied. (1) Chemical parameter. (2) River water. (3) Effluent water. (4) Diluted effluent water + gypsum. (5) Method of analysis. a) pH; b) Specific electrical conductivity; c) Bicarbonate; d) Calcium; e) Potassium; f) Magnesium; g) Sodium; h) Ammonia-N; i) Orthophosphate-P; j) $\text{Na}\% = \text{Na}/(\text{Ca} + \text{Mg} + \text{Na} + \text{K}) * 100$ (DARAB és FERENCZ, 1969); k) $\text{SAR} = \text{Na}/[(\text{Ca} + \text{Mg})/2]^{1/2}$ (Richards, 1954 In: AYERS és WESTCOT, 1994); l) Bicarbonate toxicity = $(\text{HCO}_3 + \text{CO}_3) - (\text{Ca} + \text{Mg})$ (BOHN et al. 1985); m) Total dissolved salt content (mg/l) = EC (dS/m) * 640 (STEFANOVITS et al. 2010); n) Calculated.

Table 2. List of parameters limiting irrigation according to various guidelines (quality category is given in brackets). (1) Type of irrigation water. (2) Parameters limiting irrigation. (3) Ministry of Agriculture and Rural Development guidelines. (4) Ministry of Environment and Water guidelines. (5) Based on FILEP, 1999. a) Water from the River Körös; b) Effluent water; c) Diluted wastewater amended with gypsum; d) Usable for all purposes; e) Not suitable for irrigation due to its HCO_3 content; f) Excellent water quality; g) Conditionally usable on sodic soils due to its SAR value and bicarbonate toxicity; h) Not suitable for irrigation due to its HCO_3 , Na% and SAR values; i) Not suitable for irrigation and not amendable due to its Na% value; j) Only suitable for irrigation on certain soil types due to its total dissolved salt content.

Table 3. Changes in the exchangeable cations in the soil after a year (mg/kg and S%). (1) Change in exchangeable cations. (2) Treatments. (3) Control. a) Calcium; b) Potassium; c) Magnesium; d) Sodium. *Note:* Calcium, potassium, magnesium and sodium values represent changes in exchangeable cations between spring 2015 and spring 2016 based on a paired-sample T-Test, mg/kg and % (*: p<0.05 **: p<0.01 ***: p<0.001).

Table 4. Mean exchangeable sodium content of the soil ($\text{Na}_{\text{S}\%}$, mg/kg) in each treatment, spring 2016. (1) Treatment. (2) Exchangeable sodium content. (3) Control. *Note:* H15, H30, H60: different rates of effluent water; HG: diluted, amended effluent water; K15, K30, K60: different rates of river water. Different letters within each column indicate significant differences according to Tukey's test.

Table 5. Mean total dissolved salt content in the soil, spring 2016 (m/m%). (1) Treatment. (2) Total dissolved salt content in the soil. (3) Control. *Note:* see Table 4