

TOXIKUS ELEMekkel SZENNYEZETT SZENNYVÍZÜLEDÉK HATÁSA EGY SZUDÁNIFŰ HIBRID NÖVÉNymORFOLÓGIAI PARAMÉTEREIRE TENYÉSZEDÉNYES KÍSÉRLETben

Irinyiné Oláh Katalin – Csabai Judit – Kosztyuné Krajnyák Edit – Tóth Csilla –
Uri Zsuzsanna – Vigh Szabolcs – Vincze György – Simon László

Absztrakt: Az ipari tevékenység, bányászat, közlekedés, hulladéklerakás mellett a mezőgazdasági tevékenység is a talaj szennyező forrásai közé sorolandó. Intenzív műtrágyázással, talajjavító, fertőtlenítő anyagok, kártevők elleni anyagok, növényvédő szerek használatával különböző mértékben szennyezhetjük a talajt, de legjelentősebb a szennyvíziszap elhelyezéssel kiváltott hatás. Ebben az esetben a talaj nehézfém-tartalma jelentősen megemelkedhet, a talajban felhalmozódva pedig a toxikus elemek a növények számára hozzáférhetővé válhatnak, bekerülve ezzel a táplálékláncba. Több kutató is foglalkozott azzal, hogy a lágyszárú és fás szárú növények hogyan reagálnak a nehézfém-szennyezésre és alkalmasak-e a nehézfémekkel szennyezett területek fitoremediációjára. Azok a növényfajok, melyek képesek tolerálni bizonyos fémek (nehézfémek) magas koncentrációját, azt képesek megkötni, alkalmasak a szennyezett területek nehézfém-tartalmának csökkentésére. A nehézfémek valamennyi növényi életfolyamatra (növekedés, fotoszintézis, vízháztartás, ionfelvétel, stb.) valamilyen - általában negatív - hatást gyakorolnak, melyek a „szennyezett” növények külső, morfológiai tulajdonságaiban is megmutatkoznak. Tenyészedényes kísérleteink során arra kerestünk választ, hogy különböző mértékű szennyvíz-kezelés milyen hatást gyakorol a teszt növény morfológiai tulajdonságaira. Vizsgált teszt növénynek a cirok x szudánifű hibridet (cv. GK Csaba) választottuk, mely nagy termő- és betegség-ellenálló képességgel rendelkezik, termőhely iránt kevésbé igényes fajta. A kísérletet 3 kezeléssel (kontroll, 10 %-os szennyvíz-kezelés, 20 %-os szennyvíz-kezelés) állítottuk be. Kezelésenként 3 ismétlést állítottunk be ismétlésként 6-6 növényrel. A vizsgált morfológiai paraméterek: a növény teljes hossza, levelek száma, a legfejlettebb levél levéllemez hosszúsága és szélessége, a szárátmérő, illetve a föld feletti növényi részek tömege. Megállapítottuk, hogy 10 %-os szennyvíz-kezelés hatására a növények föld feletti vegetatív részei a kontrollhoz hasonlóan fejlődtek. A kezelt növények fejlődésben, növekedésben, a levelek számában és a levéllemez méretében nem maradtak el a kontrolltól. 10%-os szennyezés esetén a föld feletti vegetatív tömeg meghaladta a kontrollnál mért értékeket. A 20 % szennyvíz-kezeléssel kezelt növényeknél az előzőhöz hasonló eredményeket kaptunk. A növények teljes hossza, levélszáma és levélparaméterei a kontrolltól érdemben nem tértek el, sőt a növény tömege ebben az esetben is nőtt a kezelés hatására. Megállapítható tehát, hogy a kismértékű szennyvíz-kezelés nem volt negatív hatással a szudánifű morfológiai paramétereire. Feltételezhetően a szennyvíz-kezelés jelentős tápelem-tartalma ellensúlyozta a vele együtt kijuttatott nehézfémek toxikus hatását.

Abstract: In addition to industrial activities, mining, transport and landfilling, agricultural activity is also a source of soil pollution. With the use of intensive fertilisers, soil conditioners, disinfectant materials, and pesticides we can pollute the soil to varying degree, but the most significant is the impact of sewage sludge displacement. In this case, the heavy metal content of the soil may increase, and it can become accessible to the plants, thereby entering into the food chain. Several researchers have examined how the herbaceous and woody plants react to heavy metal contamination and whether they are suitable for phytoremediation of heavy metals contaminated areas. Those plant species that can tolerate high concentrations of certain toxic metals (heavy metals) or bind them, are capable of reducing the mobile heavy metal content of contaminated soils. Heavy metals have some - usually negative - effects on all plant life processes (growth, photosynthesis, water balance, ion uptake, etc.), which are also manifested in the external morphological properties of „poisoned” plants. In our pot experiments we examined how the various amounts of sewage sediment influence the morphological properties of the test plant. We chose the test plant sorghum x Sudan grass hybrid (cv. GK Csaba),

which has a high production and disease resistance features, beside low demand for terroir or soil. The experiment was set up with 3 treatments (control, 10% sewage sediment, 20% sewage sediment). We designed 3 repetitions per treatment with 6-6 plants per repetition. The measured morphological parameters were the total length of the plants, the number of leaves, the length and width of the most developed leaf, leaf plate and stem diameter and the mass of the plant parts above the ground. According to our results, the above-ground vegetative parts of the plants developed in the same way as the control, under the influence of 10% sewage sediment contamination. Treated plants were not behind the control in respect of development, growth, number of leaves or leaf size. In the case of slight contamination, the above-ground vegetative mass exceeded the values measured in control. In plants treated with 20% sewage sediment, similar results were obtained. The total length, the letter number and the leaf parameters of the plants were not significantly different from the control, and even the weight of the plant increased in this treatment. It can therefore be concluded that the low level of sewage sediment soil loading had no negative impacts on the morphological parameters of the Sudan grass hybrid. It can be supposed that the significant nutrient content of the sewage sediment compensated the toxic effects of the heavy metals present in this material.

Kulcsszavak: szudánifű, morfológia, toxikus elem, szennyvízüledék

Keywords: sudan grass, morphology, toxic element, sewage sediment

1. Bevezetés

A szennyvíziszap-elhelyezés negatív következménye, hogy a benne lévő nehézfémek a talajban felhalmozódnak, hozzáférhetővé válnak a növények számára, ezzel bekerülve a táplálékláncba (Simon, 2014). Több kutató is foglalkozott azzal, hogy a lágyszárú és fás szárú növények hogyan reagálnak a nehézfém-szennyezésre és alkalmasak-e a nehézfémmel szennyezett területek fitoremediációjára. Azok a növényfajok, melyek képesek tolerálni bizonyos fémek (nehézfémek) magas koncentrációját, azt képesek megkötni, alkalmasak a szennyezett területek nehézfém-tartalmának csökkentésére. A nehézfémek valamennyi növényi életfolyamatra (növekedés, fotoszintézis, vízháztartás, ionfelvétel, stb.) valamilyen - általában negatív - hatást gyakorolnak, melyek a „szennyezett” növények külső, morfológiai tulajdonságaiban is megmutatkoznak (Kabata-Pendias–Pendias, 2001; Simon, 2014).

A szennyvíziszapot gyakran szerves- és ásványianyag-forrásként használják fel. Ennek következtében megváltoznak a talaj egyes paraméterei. A talaj pH-értéke csökken, az összes N-, P-, Na-, K- és Ca-tartalom nő, de jelentősen emelkedik a talaj Pb-, Cr-, Cd-, Cu-, Zn- és Ni-koncentrációja is. Az ilyen talajon termesztett növényeknél a gyökérben a Ni-, Cd-, Cu-, Cr-, Pb- és Zn-koncentrációja megnő. Nagy mértékű szennyvíziszap kijuttatás esetén jelentősen csökken (például céklánál) a termés mennyisége, csökken a gyökér és a levél hossza is (Singh–Agrawal, 2007).

A talajból történő nehézfém-felvétel három módon alakulhat. Az ún. „kirekesztő” növények szerveiben nem nő a talaj fémkoncentrációjával arányosan a fémfelvétel (a fémek általában a gyökerekben akkumulálódnak és kevés helyeződik át belőlük a hajtásokba). Az indikátornövények gyökerében és hajtásában a talaj fémterhelésével arányosan emelkedik a fémfelvétel. A hiperakkumulátor növények szerveiben (hajtásában) pedig jóval nagyobb mennyiségben halmozódnak fel a fémek, mint az a talaj fémkoncentrációjából következik (Simon, 2004).

Termesztett növényeink különbözőképpen reagálnak a talaj nehézfém-terhelésére. A mustár érzékenyen reagál a talaj kadmium-, króm- és rézterhelésére, mely a növény fenológiai tulajdonságaiban is megmutatkozik. A kadmium jelentősen gátolja a kukorica, búza, rozs gyökérnövekedését és csökkenti a gyökér és hajtás zöld tömegét, illetve nedvességtartalmát (Wójcik–Tukendorf, 1999). Dalin et al. (2011) vizsgálatai szerint a kadmium magas koncentrációban gátolja a teszt növények (cukorcirok, szudánifű és a cirok x szudánifű hibrid) növekedését, viszont alacsony koncentrációja növeli azt. A kadmium, arzén és ólom káros hatást gyakorol a *Shorea robusta* növényi paramétereire is, mely a morfológiai paraméterek változásában is megmutatkozik. A növény levélterülete (92,67%), a hajtás hossza (54%) és a gyökérhossz (28,78%) jelentős mértékben csökkent a nehézfém terhelés hatására (Pant–Tripathi, 2014). Az őszi búzában a krómterhelés is erős fitotoxicitást mutat. Mérgező hatását 4-6 leveles kukoricában is mérték, mely a friss hajtástömeg csökkenésében jelentkezett, de szemtermés csökkenést nem okozott (Fodor, 2002). A réz a növények számára esszenciális mikroelem, számos élettani folyamatban (fotoszintézis, szénhidrát- és nitrogén-anyagcsere stb.) fontos szerepet játszik. Dhumal et al. (2017) *Populus deltoides* növényekkel beállított kísérletében azok a növények, amelyek egyáltalán nem kaptak rézet, kisebb mennyiségű biomasszát produkáltak, mint a rézzel terheltek. A föld feletti szervekben a réz-koncentráció növekedésével együtt számszerűen csökken a levélszám, a hajtások és a levelek hossza (Gaścecka et al., 2012). Aliu et al. (2013) kukorica genotípusok palántáinak vizsgálatakor azt állapították meg, hogy Pb, Cd és Hg nehézfémek jelentős hatást gyakoroltak a levélfelület csökkenésére. A cink a növények számára esszenciális mikroelem, csak nagyobb koncentrációban toxikus. Hiánya esetén a felső levelek érkező klorózisa, majd a levéllemez teljes kifehéredése tapasztalható. A levelek aprók maradnak és rozettásodás, torzulás, valamint törpe szártagúság figyelhető meg. 400 mg/kg feletti cinktartalom viszont mérgezési tünetekkel jár együtt, ez hozamcsökkenést, lassú fejlődést jelent (Kabata-Pendias–Pendias, 2001; Simon, 2014). Az ólom a növényekre kevésbé fitotoxikus, az indiai mustárban, rizsnél, uborkánál nem okoz morfológiai elváltozást (Jiang et al., 2000; Cseh et al., 2000), kukoricában azonban a gyökérnövekedés gyors gátlását eredményezi (Eun et al., 2000).

Összehasonlítva néhány nehézfém (Cd, Pb, Cu, Ni) hatását, a legnagyobb mértékű növekedésgátlást a kadmium okozza (Burzynski–Buczek 1994). Trivedi és Erdei szerint (1992) a nehézfémek hatását nagyban befolyásolja a növények kálium ellátottsága. Káliummal jól ellátott növényeknél a Pb és a Cd növekedésgátló hatása kisebb mértékű, mint káliumhiánytól szenvedő növényekben.

Fenti ismeretek birtokában, munkánk során arra kerestünk választ, hogy a talajba különböző mértékben kijuttatott szennyvízüledék milyen hatást gyakorol a szudánifű hibrid teszt növény morfológiai tulajdonságaira.

2. Anyag és módszer

Kísérleteinket a Nyíregyházi Egyetem Műszaki és Agrártudományi Intézet Agrártudományi és Környezetgazdálkodási Intézeti Tanszék növénynevelő fényszobájában állítottuk be.

Vizsgált tesztnövénynek egy cirok x szudánifű hibridet (*Sorghum bicolor* (L.) Moench x *Sorghum sudanense* (piper) Stapf., cv GK Csaba) választottuk, mely nagy termő- és betegség-ellenálló képességgel rendelkezik, termőhely iránt kevésbé igényes fajta. Középkorai, jó bokrosodó és sarjadzó-képességű, vékony szárú hibrid. Kiváló szárazságtűrő-képességű, a vetés és kelés idején jó a hidegtűrő-képessége. Gyengébb talajadottságú területeken is jövedelmezően termesztendő (NÉBIH, 2018).

A kísérletet 2 ütemben végeztük. Az első ütem kezelése: kontroll, 10 %-os szennyvízüledék-terhelés. A második ütem kezelése: kontroll, 20 %-os szennyvízüledék-terhelés. Mindkét ütemben kezelésként 3 ismétléssel, ismétlésként 6-6 növényrel dolgoztunk. A kísérlet körülményei (ld. lenn) mindkét esetben azonosak voltak.

A tenyészedényes kísérlethez felhasznált talaj és szennyezőanyag fizikai és kémiai jellemzőit az 1. táblázat tartalmazza.

1. táblázat: Szudánifű hibriddel beállított tenyészedényes kísérletben felhasznált talaj és szennyvízüledék kémiai és fizikai jellemzői (Nyíregyháza, 2018)

Vizsgált elemek (mg/kg)	Talaj	Szennyvízüledék	6/2009. (IV. 14.) KvVM-EüM-FVM határérték
Makro- és mezoelemek			
K	1859	2963	-
P	1122	5125	-
Ca	17921	29206	-
Mg	5055	7331	-
Fe	11799	22756	-
Mikroelemek			
B	10,1	25	-
Mo	1,00	1,97	7
Mn	306	514	-
Toxikus elemek			
As	7,16	12,25	15
Cd	0,33	1,27	1
Cr	120	1027	75
Cu	44,4	189	75
Hg	<1,00	<1,00	0,5
Ni	31,8	49,5	40
Pb	35,8	287	100
Zn	176	888	200

A kontroll tenyészedényekhez felhasznált termesztőközeg enyhén lúgos kémhatású (pH vizes kivonatban mérve 7,11), fizikai féleségét tekintve vályog talaj

(K_A 39), mely viszonylag nagy humusztartalommal (2,27 m/m %) és kis összes sótartalommal (0,057 m/m %) rendelkezik. A talajban a CaCO₃-tartalom 2,13-2,45 m/m % között alakult. A talaj makro-, mezo- és mikroelem ellátottsága igen jónak minősíthető, viszont toxikus elemekkel enyhén szennyezett, melyben a krómkoncentráció jelentősen meghaladta a 6/2009. (IV.14.) KvVM-EüM-FVM együttes rendeletben lefektetett határértékeket. A hazai talajok 10-40 mg/kg rezet tartalmaznak (Simon, 2014), az esetünkben mért koncentráció 44,4 mg/kg. A cink esetében is elmondható, hogy az országos átlagnál (<25-75 mg/kg) nagyobb mennyiséget tartalmaz a felhasznált talaj (176 mg/kg).

A kezelt tenyészedényekben a kontroll talajhoz 10 m/m%, illetve 20 m/m% szennyvízüledéket kevertünk. A szennyvízüledék általános kémiai és fizikai jellemzői (1. táblázat): vizes kivonatban mért pH értéke a semleges tartományba esik, az összes sótartalma 1,80 m/m %. A szennyvízüledékben a CaCO₃-tartalom 1,79-1,84 m/m % között változott, szárazanyag-tartalma 91,98 m/m %, szervesanyag-tartalma 26,88 m/m % volt. A szennyvízüledék felvehető tápelemekben (makro-, mezo- és mikroelemek) gazdag. A kijuttatott szennyvízüledék a vizsgált toxikus elemeket (arzén, kadmium, króm, réz, nikkel, ólom, cink) jelentős mennyiségben tartalmazta, legkiemelkedőbb értékeket a króm és a cink esetében mértünk. A Cd, Cr, Cu, Ni, Pb és Zn esetén a mért értékek meghaladták a 6/2009. (IV. 14.) KvVM-EüM-FVM együttes rendeletben a földtani közeg szennyezettségére lefektetett határértékeket. A talaj hatvanhat napos inkubálása után (mely során a talajt heti egy alkalommal desztillált vízzel telítettük a szántóföldi vízkapacitás 75%-ának eléréséig) tenyészedényenként 6-6 csávázott vetőmagot vetettünk el kb. 1,5-2,0 cm-es talajmélységbe (1. ábra). A kísérlet ideje alatt a növényeket desztillált vízzel rendszeresen öntöztük. A növénynevelő fényszobában a megvilágítás intenzitását, idejét, a nappali és az éjszakai hőmérsékletet kontrolláltuk. A megvilágítás napi 12 órán keresztül kezdetben 8000 lux fényerősséggel történt, melyet a tenyészidő előrehaladtával fokozaton emeltünk 21500 lux-ra. A hőmérséklet nappal 24-26 °C, éjszaka 18-19 °C között változott. A kísérlet időtartama alatt párást nem végeztünk, a relatív páratartalom 30-43% között ingadozott.

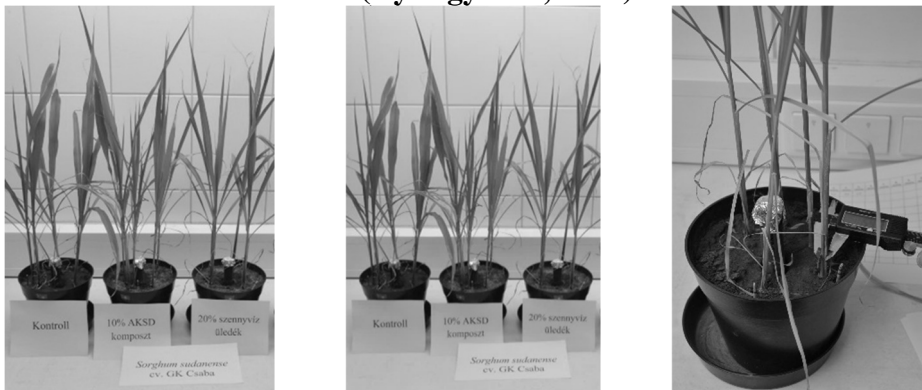
1. ábra: Szudánifű hibrid magvetés szennyvízüledékkel kezelt talajba, tenyészedényes kísérletben (Nyíregyháza, 2018)



Forrás: Simon (2018)

A vetéstől számítva a tenyészidő 40-42. napján tanulmányoztuk a növények morfológiai paramétereit. Minden tenyészedeny minden növényét megvizsgáltuk és dokumentáltuk azok adatait. Rögzítettük a kifejlett levelek számát. A növény teljes hosszát centiméteres pontossággal, mérőszalaggal mértük. Növényenként a legfejlettebb levél levéllemez hosszúságát és szélességét vonalzó segítségével határoztuk meg. A szárátmérőt digitális tolómérővel mértük, a gyökérnyak felett 2 cm-rel (2. ábra). A föld feletti növényi szervek nyers tömegét a kísérlet bontásakor digitális mérlegen mértük meg a tenyészidő 47. napján.

1. ábra: Szudánifű hibriddel beállított tenyészedenyes kísérlet és morfológiai mérés szennyeztetlen és szennyvízüledékkel kezelt talajon (Nyíregyháza, 2018)



Forrás: Simon (2018)

Az adatok statisztikai elemzését Tukey-féle B próbával végeztük. A statisztikai elemzések elvégzéséhez SPSS szoftvert használtunk. A 3. és 4. ábrán egy adott paraméteren belül a különböző betűindexet kapott értékek szignifikánsan ($p < 0,05$) különböznek egymástól.

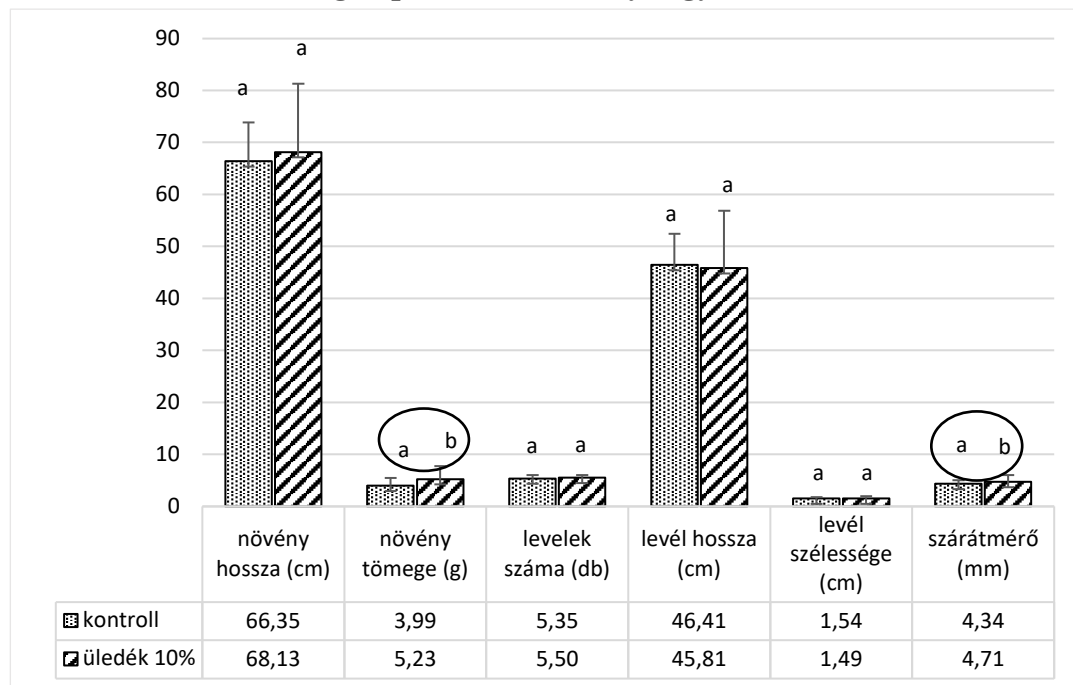
3. Eredmények és értékelésük

Eredményeink szerint a 10 %-os szennyvízüledék kezelés hatására a növények föld feletti vegetatív részei a kontrollhoz hasonlóan fejlődtek. A kezelt növények fejlődésben, növekedésben, a levelek számában és a levéllemez méretében statisztikailag igazolható mértékben nem különböztek a kontrolltól. A „szennyezett” növények föld feletti vegetatív tömege 5,23 gramm volt, mely 31%-kal múlta fölül a kontrollnál mért 3,99 gramm értéket. A tesztnövény szárátmérője ugyancsak a kezelt növények esetében mutatott nagyobb értéket (4,71 mm), 8%-kal meghaladva a kontrollt (4,34 mm) (3. ábra).

A 20%-os mennyiségben kijuttatott szennyvízüledék szintén nem fejtett ki negatív hatást a növényekre, inkább pozitívan befolyásolta azok fejlődését. Tapasztalataink szerint a kontroll növények teljes hossza átlagosan 47,12 cm, a kezelt növényeknél 51,07 cm átlaghosszt mértünk, mely 8 % különbséget jelent. A növény tömegét tekintve 37%-os gyarapodást tapasztaltunk a szennyvízüledék hatására. A levéllemez hossza 18%-kal volt nagyobb a kezelt növényeknél

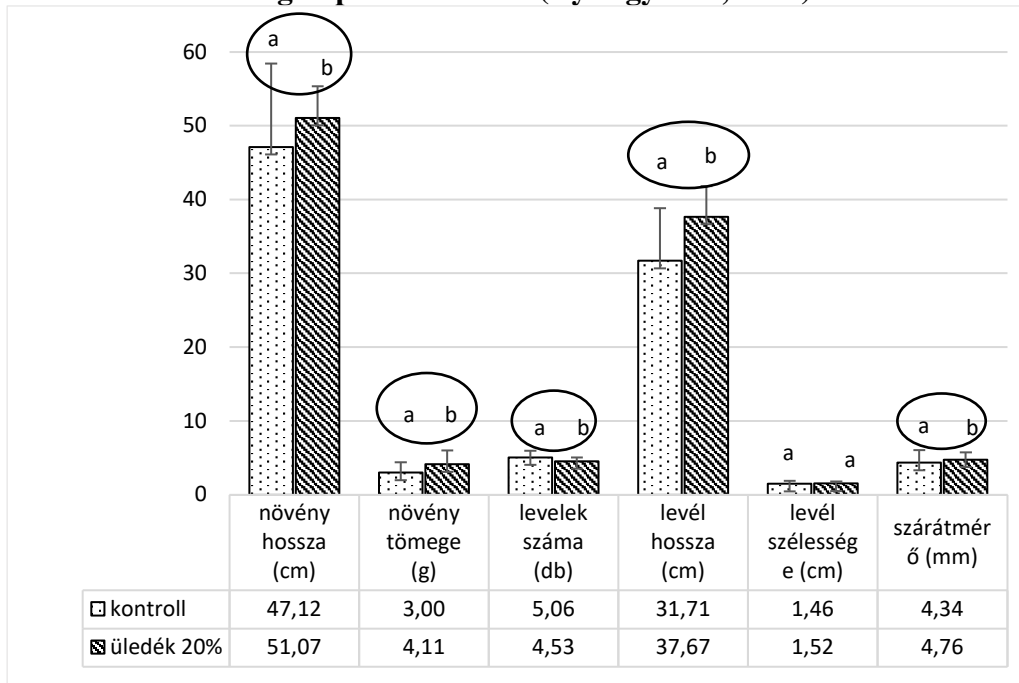
(37,61 cm), mint a kontroll egyedek esetében (31,71 cm). A szár átmérője 9%-kal nőtt a kezelés hatására. A levelek száma viszont 10,5%-kal kevesebb volt, mint a kontroll esetében. Ez előbbinél 4,5 levelet jelentett átlagosan egy növénynél, utóbbinál 5 levelet (4. ábra).

3. ábra: 10%-os szennyvízüledék-terhelés hatása egy szudánifű hibrid morfológiai paramétereire (Nyíregyháza, 2018)



Forrás: A szerző saját szerkesztése / Irinyiné Oláh K. (2019)

4. ábra: 20%-os szennyvízüledék-terhelés hatása egy szudánifű hibrid morfológiai paramétereire (Nyíregyháza, 2018)



Forrás: A szerző saját szerkesztése / Irinyiné Oláh K. (2019)

Tendenciaszerűen megállapítható, a 10%-os és a 20%-os szennyvízüledék-kezelés hatására a növények teljes hossza, nyers össztömege és a szár átmérője növekedett a kontrollhoz képest. A teljes levélfelület esetében eltérő eredményt tapasztaltunk, a mérsékelt „szennyezés” kismértékű csökkenést, a nagyobb dóziszú „szennyezés” növekedést eredményezett.

A teszt növények morfológiai paramétereinek vizsgálatakor azokon rendellenes elszíneződést, deformációt nem tapasztaltunk.

4. Következtetések, összegzés

Megállapítható, hogy kismértékű szennyvízüledék kijuttatás nem volt negatív hatással a cirok x szudánifű hibrid (GK Csaba) morfológiai paramétereire, sőt a szennyvízüledék nagy szervesanyag- és tápelem tartalma fokozta a növények föld feletti vegetatív részeinek fejlődését. Korábbi megfigyelések szerint egyes nehézfémek kis mennyiségben növelik/növelhetik a teszt növények növekedését. Kísérletünkben a kezelésekre kevésbé reagált cirok x szudánifű hibridnél éppen ez a jelenség figyelhető meg. A jelentős mértékű makro-, mezo- és mikroelem-tartalom szintén hozzájárulhatott ahhoz, hogy a nehézfém-terhelést a növények jobban tolerálták, és rajtuk morfológiai elváltozásokat nem tapasztaltunk.

Köszönetnyilvánítás

A kutatómunkát a GINOP 2.2.1-15-2017-00042 „K+F versenyképességi és kiválósági együttműködések” program keretén belül a „A Pannon régió növényeinek genetikai hasznosítása” c. pályázat támogatta. Köszönjük Dr. Palágyi Andreának (Gabonakutató Nonprofit Kft., Szeged), hogy a szudánifű hibrid szaporítóanyagát rendelkezésünkre bocsátotta. Köszönjük Dr. Magura Tibornak és munkatársainak, hogy a Debrecen lovász-zugi kísérleti területről a szennyvízüledéket rendelkezésünkre bocsátották.

Irodalomjegyzék

- Aliu S., Gashi B., Rusinovci I., Fetahu S., Vataj R. (2013): Effects of some heavy metals in some morpho-physiological parameters in maize seedlings. *American Journal of Biochemistry and Biotechnology*, 9 (1): 27–33.
- Burzynski M., Buczek J. (1994): The influence of Cd, Pb, Cu and Ni on NO₃⁻ uptake by cucumber seedlings. II. In vitro and in vivo effects of Cd, Cu, Pb and Ni on the plasmalemma ATPase and oxidoreductase from cucumber seedlings roots. *Acta Physiol. Plant.* 16: 297–302.
- Cseh E., Fodor F., Varga A., Zárny G. (2000): Effect of lead treatment on the distribution of essential elements in cucumber. *J. Plant Nutr.*, 23: 1095–1105.
- Da-lin L., Kai-qi H., Jing-jing M., Wei-wei Q., Xiu-ping W., Shu-pan Z. (2011): Effects of cadmium on the growth and physiological characteristics of sorghum plants. *African Journal of Biotechnology*, 70: 15770–15776.
- Dhumal G., Thakur M., Rana A., Pathania R., Bhardwaj S. K. (2017): Effect of Copper on Morphological and Biochemical Characteristics of *Populus deltoides* (W. Bartram Ex. Marshall). *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 9: 914-922.
- Eun SO., Shik Youn H., Lee Y. (2000): Lead disturbs microtubule organization in the root meristem of *Zea mays*. *Physiol. Plant.*, 110: 357–365.
- Fodor L. (2002): Nehézfémek akkumulációja a talaj-növény rendszerben. Doktori (PhD) értekezés. VE Georgikon Mezőgazdaság Tudományi Kar, Keszthely, 141. p.
- Gąsecka M, Mleczek M, Drzewiecka K., Magdziak Z., Rissmann I., Chadzinikolau T., Golinski P. (2012): Physiological and morphological changes in *Salix viminalis* L. as a result of plant exposure to copper. *Journal of Environmental Science and Health, Part A* 47: 548–557.
- Jiang W., Liu D., Hou W. (2000): Hyperaccumulation of lead by roots, hypocotyls and shoots of *Brassica juncea*. *Biol. Plant.*, 43: 603–606.
- Kabata-Pendias A., Pendias H. (2001): *Trace Elements in Soils and Plants*. CRC Press, Boca Raton, London, New York, Washington D.C. 413 p.
- Nemzeti Élelmiszerlánc-biztonsági Hivatal, 2018. Nemzeti fajtajegyzék. Szántóföldi növények. NÉBIH, Budapest. p. 23., p. 39
- Pant P. P., Tripathi A. K. (2014): Impact of heavy metals on morphological and biochemical parameters of *Shorea robusta* plant. *Ekológia*, 33: 116–126.
- Singh R.P., Agrawal M. (2007): Effects of sewage sludge amendment on heavy metal accumulation and consequent responses of *Beta vulgaris* plants. *Chemosphere*, 67: 2229–2240.
- Simon L. (2004): Fitoremediáció. Környezetvédelmi Füzetek. Azonosító: 2318. BMKE OMIKK, Budapest. 1-59. old. ISBN:963 593 429 0, ISSN 0866-6091
- Simon L. (2014): Potentially harmful elements in agricultural soils. In: Bini, C. & Bech, J. (eds.), PHEs, Environment and Human Health. Potentially Harmful Elements in the Environment and the Impact on Human Health. Springer, Dordrecht, Heidelberg, New York, London (ISBN 978-94-017-8964-6), pp. 85–137, 142–150.
- Trivedi S., Erdei L. (1992): Effects of cadmium and lead on the accumulation of Ca²⁺ and K⁺ and on the influx and translocation of K⁺ in wheat of low and high K⁺ status. *Physiol. Plant.*, 84: 94–100.

- Wójcik M., Tukendorf A. (1999): Cd-tolerance of maize, rye and wheat seedlings. *Acta Phys. Plant.*, 21: 99–107.
- 6/2009. (IV.14.) KVVМ-EŰM-FVM együttes rendelet a földtani közeg és a felszín alatti víz szennyezéssel szembeni védelméhez szükséges határértékekről és a szennyezések méréséről