



SZÜRKEVÍZEN TERMESZTETT VÖRÖSKÁPOSZTA ÉS BROKKOLI MINT MIKROZÖLDEK EGÉSZSÉGÜGYI KOCKÁZATAI

HEALTH RISKS OF RED CABBAGE AND BROCCOLI AS MICROGREENS GROWN IN GREYWATER

Nusser Gyöngyvér Boglárka,¹ Izbékiné Szabolcsik Andrea²

¹ Debreceni Egyetem, Műszaki Kar, Környezetmérnöki Tanszék, Debrecen, Magyarország, n.gyongyver.boglarka@gmail.com

² Debreceni Egyetem, Műszaki Kar, Környezetmérnöki Tanszék, Debrecen, Magyarország, szabolcsikandi@eng.unideb

Abstract

In this research, we investigated the reuse of synthetically produced greywater in the cultivation of microgreens. Microgreens are young plant shoots that already have cotyledons. In the cotyledon, there is a higher concentration of vitamins, minerals, and antioxidants that are important for us compared to the mature plant. The use of greywater for food production is associated with food safety risks, so our aim is to investigate the effects of greywater on the micronutrient concentration and the yield in the microgreens. This was done by growing microgreens in clean water, untreated greywater and treated greywater that had undergone mechano-chemical treatment and observed the differences between the samples. The results showed that the edibility of the two crops was not drastically affected by the greywater, but the weight of the product was. The extent of this is plant specific. Further studies using real greywater samples are needed to establish the safe usability of greywater.

Keywords: *greywater, microgreens, edibility testing.*

Összefoglalás

Kutatásunk során szintetikus előállított szürkevíz újrahazsnálatát vizsgáltuk mikrozöldegek termesztése során. A mikrozöldegek olyan fiatal növényi hajtások, amelyek már sziklevelekkel rendelkeznek. A sziklevekben nagyobb koncentrációban halmozódnak fel a számunkra fontos vitaminok, ásványi anyagok és antioxidánsok, mint a kifejlett növényben. A szürkevíz használata ételkészítésre ételbiztonsági kockázatokkal jár, így célunk az, hogy megvizsgáljuk a szürkevíz hatásait a mikrozöldesség mikroelem-koncentrációjára és a produktum mennyiségére. Ezt úgy végeztük, hogy ivóvízen, kezeletlen szürkevízen és mechanokémiai kezelésen átesett szürkevízen termesztettük a mikrozöldeket, és megfigyeltük, hogy milyen eltérések jelennek meg a minták között. Eredményül azt kaptuk, hogy a két növény esetében a fogyaszthatóságot nem befolyásolta drasztikusan a szürkevíz használata, azonban a produktum tömegét igen. Ennek mértéke növény-specifikus. Ahhoz, hogy kijelenthessük a szürkevíz biztonsággal való használhatóságát, további vizsgálatokat kell, hogy végezzünk valós vízminták alkalmazásával.

Kulcsszavak: *szürkevíz, mikrozöldek, fogyaszthatósági vizsgálat.*

1. Bevezetés

A globális populáció növekedésével a tiszta édesvízkészletünk csökken, az élelmezési problémáink pedig növekednek. A kialakuló vízhiány

miatt alternatív vízforrásokat kell keresnünk. Ilyen alternatív vízforrás lehet a szürkevíz, amely a háztartásokban keletkezett úgymond „egyszer használatos víz”. Ezt a vizet többértően fel lehet

használni, például tűzoltásra, autómosásra vagy toalett öblítésére, azonban jelen kutatásban mezőgazdasági szempontból közelítettük meg a szürkevíz felhasználási lehetőségét, mégpedig a mikroöldségek termesztése révén.

1.1. A szürkevíz

Háztartási szürkevíznek nevezzük azon egyszer használt vizeket, amelyek a háztartásokban keletkeznek. A szürkevíz, röviden GW, fogalma nem vonja magába a toalett öblítéséből származó feketevizet, ugyanis annak mikrobiális szennyezettsége kimagasló, emiatt az emberi egészségre káros. Mivel Magyarországon az átlagos vízfogyasztásunknak közel a felét a fürdővíz teszi ki, emiatt a kutatásunk során szintetikus fürdővízzel dolgoztunk, amely jól reprezentálja a háztartásokban keletkező fürdővizet [1].

A szürkevíz felhasználásával csökkenthetjük a tisztaivívíz-fogyasztásunkat, és elősegítjük a körforgásos gazdaságot. Vannak olyan területek, ahol a szürkevizet akár kezelés nélkül is alkalmazhatjuk, ilyen például a toalett öblítése, autómosása vagy akár tűzoltás is. Azonban azokon a területeken, ahol fontos, hogy tisztább legyen a víz, de nem szükséges, hogy ivóvíz-tisztaságú legyen, ott a szürkevizet kezelni tudjuk, hogy elérje a kellő tisztaságot.

A kutatás során ivóvíz mellett kezelt és kezeletlen szintetikus fürdővízzel dolgoztunk, és a kezelés során a koagulálást és flokkulálást ötvöztük a homokon való szűréssel.

1.2. A mikroöldségek

Mikroöldségeknek vagy mikroöldségeknek nevezzük azon fiatal növényeket, amelyek általában öldségek vagy fűszernövények, a csírázason túl vannak, és kifejlett sziklevelekkel rendelkeznek. A számunkra fontos vitaminok a sziklevekben halmozódnak fel, és mennyiségük többszöröse található meg bennük, mint a kifejlett növényben.

Míg a öldségek elfogyasztására akár hónapokat is várunk kell, a mikroöldségek általánosságban 7–10 nap alatt kifejlődnek, és sok növényfajta akár már 4–5 nap alatt is fogyasztható.

Általánosan a mikroöldségek magas vitamintartalommal és ásványi anyagokkal rendelkeznek, ezenkívül fitokemikáliákban gazdagok, beleértve a karotinoidokat és a fenolos vegyületeket, amelyek antioxidánsként hatnak az emberi szervezetben. Az antioxidánsok pedig megkötik a szervezetünkben lévő karcinogén anyagokat, ezzel megelőzve a rákos elváltozásokat [2].

Kimutatták például, hogy a brokkolimikroöldségyszer több rákellenes alifás glükozinolatot tartalmaz, mint a kifejlett növény. Azonban a mikroöldségek jótékony hatásai nem merülnek ki a rák elleni hatásukban.

A vöröskáposzta-mikroöldségek például javítják a zsír- és koleszterinszintet, csökkentik a súlygyarapodást, a triglicerideket, a máj koleszterin-szintjeit, valamint a májban található gyulladáscsökkentő citokineket egereknél [3].

Mivel a mikroöldségeket ivóvíz mellett, amelyet kontrollként alkalmaztunk, kezelt és kezeletlen szürkevizben termesztettük, szükség volt az egészségügyi kockázatok, azaz a fogyaszthatóság kivizsgálására.

1.3. Fogyaszthatósági vizsgálat

A fogyaszthatósági vizsgálat egy átfogó értékelő rendszer, amely alapján biztonságosan el tudjuk dönteni, hogy az adott étel, ital, vagy bármilyen fogyasztási termék káros-e az emberi szervezetre. A vizsgálat során számos mérést és elemzést végezhetünk, legyen az a termék összetevőinek kémiai, mikrobiológiai vagy toxikológiai jellemzőinek a vizsgálata. Az elemzés során a termékekben lévő káros anyagokat vizsgáljuk, például fémeket, nehézfémeket [4, 5].

A *THQ* (Target Hazard Quotient), avagy célveszélyességi hányados egy tudományosan elfogadott indikátor, amely egy adott toxikus anyagnak való kitettségének az egészségügyi kockázatát méri. Ez az adott vegyület maximális, hosszútávú kitettség szintje, amely még biztonságosnak tekinthető emberi fogyasztás szempontjából. A *THQ*-érték 1 alatt biztonságosnak tekinthető, 1 felett viszont potenciális kockázattal jár a fogyasztás [5]. Kiszámításához az (1) képletet használjuk:

$$THQ = \frac{EF \cdot ED \cdot IR \cdot Cm \cdot 10^{-3}}{RfD \cdot BW \cdot TA}, \quad (1)$$

ahol: *EF*: expozíciós gyakoriság (nap/év), *ED*: expozíció időtartama (év), *IR*: növény lenyelési aránya (g), *Cm*: nehézfém-koncentráció (mg/kg), *RfD*: referenciadózis (mg/kg/nap), *BW*: felnőttkori átlagtesttömeg (kg), *TA*: átlagos expozíciós idő (nap) [5].

Egy másik mutatószám a *HI* (Hazard Index), azaz a veszélyességi index. Ennek számítása során feltételezzük, hogy az adott étel, ital, vagy bármilyen fogyasztási termék káros-e az emberi szervezetre. A vizsgálat során számos mérést és elemzést végezhetünk, legyen az a termék összetevőinek kémiai, mikrobiológiai vagy toxikológiai jellemzőinek a vizsgálata. Az elemzés során a termékekben lévő káros anyagokat vizsgáljuk, például fémeket, nehézfémeket [4, 5].

a kumulatív hatás okozhat egészségügyi károkat. A HI-érték esetében is az 1-es a kritikus szám, amely alatt biztonsággal, de felette nem ajánlott a fogyasztás [4]. A HI számolása a (2) képlettel végezhető el:

$$HI = \sum_{N=1}^i THQ_n \quad (2)$$

2. Anyag és módszer

A kutatás során három különböző víztípussal dolgoztunk, ivóvízzel, kezelt szűrkevízzel és kezeletlen szűrkevízzel. Az ivóvizet a vezetékes ivóvízhálózatból vettük, míg a szűrkevizet szintetikusan állítottuk elő a Környezetmérnöki Tanszék korábbi évek során kifejlesztett [6], ivóvízalapú, állandó és határozott összetételű, szintetikus úton előállított fürdővíz-paraméterét használva. Ez a víz összetételében jól jellemzi a háztartásokban fürdés során keletkező szűrkevizet.

A szűrkevíz kezelése során vas(III)-kloridot alkalmaztunk a koagulálás és flokkulálás során. Ülededés után mechanikai szűrést alkalmaztunk egy homokszűrő segítségével [6].

A mikroöldségek termesztése során rostlapokat használtunk, amelyeket fertőtlenített tálcákra helyeztünk el. Ezeket a rostlapokat átitattuk a megfelelő vízzel (ivóvízzel, kezeletlen vagy kezelt szűrkevízzel), majd elhelyeztük a magokat rajtuk. Mindegyik növényből 3-3 rostlapot ültettünk a 3 víztípusnak megfelelően. A célunk az volt, hogy megfigyeljük, hogy az ivóvízhez képest mennyire változik a fogyaszthatósága vagy éppen a termékenysége a mikroöldségeknek, ha szűrkevizet alkalmazunk a termesztésükhöz.

A mikroöldsék termékenységet (hozamát) két szempont szerint mértük, tömeg és hossz alapján. A tömeg méréséhez analitikai mérleget használtunk. A mikroöldségeket lemértük közvetlen vágás után (nedves biomassa súlya), majd szárítás után is (száraz biomassa súlya). A hossz mérésénél átlagot mértünk. Véletlenszerűen kiválasztottunk mintánként 20-20 szálat, amelyeket vonalzó segítségével megmértünk.

Az egészségügyi kockázat meghatározása során fogyaszthatósági vizsgálatot végeztünk a fentebb említett THQ- és HI-érték segítségével. Ezek kiszámításához szükségünk van a referenciadózis értékére (lásd. 1. táblázat). A referenciadózis egy számított érték, amelyet az USEPA közölt le a kockázati paraméterlistában [7].

Ahhoz, hogy megtudjuk, hogy a mikroöldsék mennyit tartalmaznak ezekből az elemekből, elemanalitikai vizsgálatot kellett végeznünk.

1. táblázat. Nehézfémek referenciadózisa (RfD) [7]

Vizsgált elemek	Referenciadózis (RfD)
Al	1
Cd	0,001
Co	0,003
Cu	0,04
Fe	0,7
Mn	0,14
Ni	0,02
Pb	0,0035
Zn	0,3

2. táblázat. A THQ és HI számításához felhasznált értékek

Jelölések	Paraméterek	Használt értékek
EF	Expozíció gyakorisága (nap/év)	365
ED	Expozíció időtartama (év)	70
BW	Felnőttkori átlagtesttömeg (kg)	70
IR	Lenyelési arány (g)	10

A kutatás során az elemanalitikai vizsgálatokat a társlaborunk végezte el a Debreceni Egyetem, Természettudományi és Technológiai Kar, Szeretlen és Analitikai Kémiai Tanszékén egy ICP-OES eszköz segítségével. A mikroöldsék mellett a víz mikroelem-tartalmát is megmérték, hogy átfogóbb képet kaphassunk.

A számításaink során a maximálisan elfogyasztható értéket szereztük volna meghatározni, emiatt a 2. táblázatban szereplő értékekkel számoltunk. Az IR, azaz a lenyelési arány az elfogyasztott gramm-mennyiséget jelenti. A napi elfogyasztott mikroöldség mennyiségét szakirodalmi számítások miatt 10 grammra becsültük meg [8].

A számítás során az (1) és a (2) képletet alkalmaztuk, és a 10 gramm lenyelési arány-mennyiséget fokozatosan növeltük, hogy megkapjuk a maximálisan elfogyasztható mennyiséget.

3. Eredmények

Az eredmények értékelése során nemcsak arra kell figyelniünk, hogy melyik víztípuson lesz a legkisebb egészségügyi kockázata a mikroöldségnek, ha elfogyasztjuk, hanem figyelembe kell vennünk azt is, hogy a termékenységet, a produktum mennyiségét befolyásolja-e a szűrkevíz használata.

3.1. A vizek mikroelem-tartalma

A kezelt és kezeletlen szűrkevízen nevelt mikroözeldek egészségügyi kockázatainak meghatározásához szükséges, hogy a vízben található toxikus elemek koncentrációit is megvizsgáljuk. A kilenc elem (lásd. **1. táblázat**) közül a kadmium, kobalt, mangán, nikkel és ólom kimutatási határ alatt volt mindhárom víztípus esetében. A vas egy alkalommal volt detektálható. Az eredmények a **3. táblázat**ban láthatók $\mu\text{g/l}$ mértékegységben.

3.2. A vöröskáposzta paraméterei

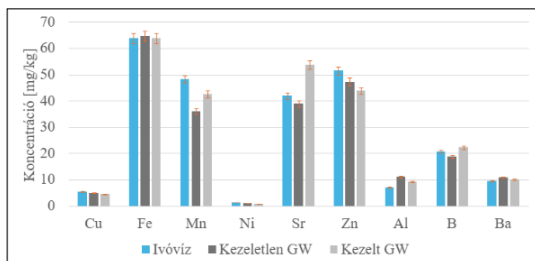
Az **1. ábrán** láthatjuk a kifejelett vöröskáposzta-mikroözeldeket, balról jobbra haladva az ivóvízen, kezeletlen szűrkevízen és kezelt szűrkevízen nevesztettet. A vöröskáposzta adatait a **4. táblázat** mutatja be. Mind az ábrán, mind a táblázatban megfigyelhető, hogy a kezelt szűrkevízen termesztett növény magasabbra nőtt, és biomassa tekintetében is lényegesen nagyobb, mint az ivóvízen vagy kezeletlen szűrkevízen fejlődött párja. Ezekon kívül a nedvességtartalma is nagyobb, míg a másik két mintáé megegyezik. Átlagosság tekintetében az ivóvízen és a kezeletlen szűrkevízen nevelt minta közel hasonló eredményt ért el, azonban biomassza tekintetében látható, hogy az ivóvízen nevelkedett minta jobban növekedett.

A mikroelem-tartalom tekintetében a kadmium, kobalt és ólom kimutatási határ alatt volt mindhárom víztípuson növekedett mikroözeldek tekintetében. A vöröskáposzta mikroelem-tartalmát a **2. ábra** mutatja be. Az eredményeket elemezve megállapítható, hogy a különböző mikroelemek eloszlása esetén kisebb-nagyobb differenciák alakultak ki. Bár a mangán és a nikkel mérés határ alatti mennyiségben volt csak jelen a vizekben (lásd **3. táblázat**), a vas pedig csak a kezeletlen szűrkevízben volt kimutatható $12\mu\text{g/l}$ mennyiségben, a mikroözeldegekbe mégis kimutatható mennyiségben akkumulálódtak.

A mangántartalom eloszlásában nagyobb eltérés tapasztalható. A legtöbb mangán az ivóvízen nevelkedett vöröskáposztában, míg a legkevesebb a kezelt szűrkevízen nevelkedett mintában raktározódott el. A stroncium a kezelt szűrkevízen fejlődött mikroözeldegekben megnövekedett, a cink-tartalomnál pedig egy csökkenő sorrend alakult ki, ahol a legtöbb cink az ivóvízen, a legkevesebb pedig a kezelt szűrkevízen nevelkedett növények esetében került felvételre. Ezek a különbségek a fogyaszthatósági vizsgálat során további elemzésre kerültek. A vöröskáposzta THQ- és HI-eredményei a **5. táblázat**ban kerültek bemutatásra



1. ábra. Kifejelett vöröskáposzta-mikroözeldegek



2. ábra. A vöröskáposzta mikroelem-tartalma

3. táblázat. A vizek mikroelem-tartalma

		Al	Cu	Fe	Zn
Ivóvíz	Átlag	7,5	48	<LoD	306
	Szórás	2,1	7,5	-	61
UTGW	Átlag	13	66	12	264
	Szórás	2,5	16	-	54
TGW	Átlag	15	12	<LoD	10
	Szórás	6	1	-	3

4. táblázat. A vöröskáposzta adatai

	Ivóvíz	UTGW	TGW
Átlaghossz [cm]	2,44 ± 0,54	2,52 ± 0,62	3,01 ± 0,72
Nedves biomassa [g]	3,80	3,51	6,10
Száraz biomassa [g]	0,37	0,34	0,47
Nedvességtartalom [%]	90	90	92

5. táblázat. A vöröskáposzta THQ- és HI-értékei $10\text{g}/356\text{nap}$ fogyasztása esetén

	Ivóvíz	UTGW	TGW
THQAl	$9,93 \cdot 10^{-4}$	$1,57 \cdot 10^{-3}$	$1,57 \cdot 10^{-3}$
THQCu	$1,92 \cdot 10^{-2}$	$1,76 \cdot 10^{-2}$	$1,62 \cdot 10^{-2}$
THQFe	$1,30 \cdot 10^{-2}$	$1,32 \cdot 10^{-2}$	$1,30 \cdot 10^{-2}$
THQMn	$4,93 \cdot 10^{-2}$	$3,66 \cdot 10^{-2}$	$4,34 \cdot 10^{-2}$
THQNi	$9,21 \cdot 10^{-3}$	$6,84 \cdot 10^{-3}$	$5,16 \cdot 10^{-3}$
THQZn	$2,45 \cdot 10^{-2}$	$2,25 \cdot 10^{-2}$	$2,09 \cdot 10^{-2}$
HI	$1,16 \cdot 10^{-1}$	$9,84 \cdot 10^{-2}$	$1,00 \cdot 10^{-1}$

Az **5. táblázat** bemutatja, hogy 10 gramm fogyasztása esetén biztonságosan fogyasztható mind-egyik víztípuson termesztett vöröskáposzta-mikrozdődség. Azonban ahhoz, hogy a maximálisan fogyasztható mennyiséget meghatározhassuk, mindegyik vízmintán nevelkedett növény esetében meghatároztuk a kritikus THQ-értéket, amely **3. ábrán** látható.

A **3. ábrán** megfigyelhető, hogy mindhárom víztípuson növekedett vöröskáposzta esetén a kritikus THQ = 1 értéket a mangán érte el a leg hamarabb, azonban különböző lenyelésiráta-értékeknél.

Az ivóvízen nevelkedett minta esetén (**3/1. ábra**) a THQ = 1-et 2,9 g/ttkg lenyelésiráta-értéknél érte el. Ez alapján meghatározható, hogy egy átlagos testtömeggel rendelkező ember 203 grammot fogyaszt el mindennap.

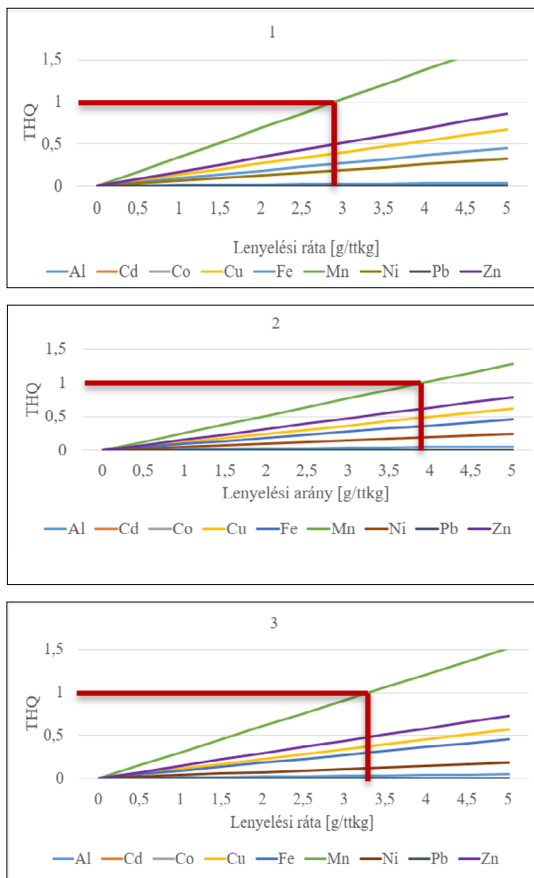
A kezeletlen szűrkevízen növekedett mikrozdődség esetén (**3/2. ábra**) 3,9 g/ttkg lenyelési ráta értéke THQ = 1-nél. Ebből adódóan az átlagos, 70kg-mal rendelkező ember naponta 273 grammot fogyaszt el az év minden napján.

A kezelt szűrkevízen termesztett növény esetén (**3/3. ábra**) a lenyelési ráta értéke 3,3 g/ttkg a kritikus THQ-értéknél, amely azt jelenti, hogy egy átlagos testtömeggel rendelkező ember 231 grammot fogyaszt el maximálisan 365 nap alatt.

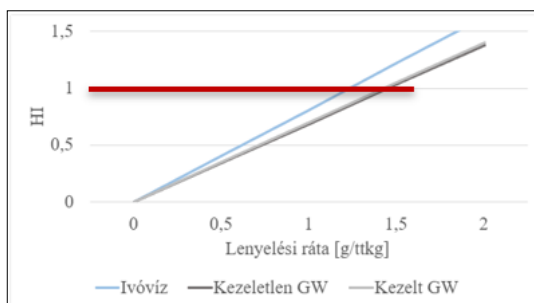
A THQ-érték mellett a HI-értéket is meghatároztuk, amelyhez a (2) képletet használtuk, ahol a THQ-értékeket összeadtuk. Ez alapján kaptuk meg a **4. ábrát**.

A **4. ábrán** látható a HI-érték, azaz a veszélyességi hányados. Ez alapján a legkisebb mértékben fogyasztható vöröskáposzta az ivóvízen nevelkedett. Ez a kritikus értéket 1,23 g/ttkg, míg a kezelt szűrkevízen termesztett 1,43 g/ttkg, a kezeletlen szűrkevízen termesztett pedig 1,45 g/ttkg lenyelésiráta-értéknél érte el. Ezek alapján az ivóvízen nevelkedett mintából egy átlagos testtömeggel rendelkező ember 86 grammot, a kezelt szűrkevízen nevelkedett mintából 100 grammot, a kezeletlen szűrkevízen nevelkedett mikrozdődségből pedig 102 grammot fogyaszt az év minden napján.

Ezen adatok alapján kijelenthető, hogy a vöröskáposzta esetében a fogyaszthatóság nem csökken, hanem nő szűrkevízen való mikrozdőld-termesztés során. Azonban a biomasszára visszatérve (lásd **4. táblázat**) kijelenthető, hogy bár fogyaszthatóság szempontjából mondhatni legjobb eredményt érte el a kezeletlen szűrkevízen termesztett mikrozdődség, a növekedés során korlátozott volt. Emiatt fogyaszthatóság szempontjából



3. ábra. Az ivóvízen (1), kezeletlen szűrkevízen (2), és kezelt szűrkevízen (3) nevelkedett vöröskáposzta THQ-értékei



4. ábra. A különböző vizeken nevelkedett vöröskáposzta HI-értékei

a második legjobb minta, és a biomassza alapján (lásd **4. táblázat**) a legjobb minta a kezelt szűrkevízen termesztett vöröskáposzta-mikrozdődség volt a legsikeresebb.

3.3. A brokkoli paraméterei

A 5. ábrát és 6. táblázat adatait elemezve láthatjuk, hogy a leghosszabb átlaghosszal a kezelt szürkevízen növekedett mikrozöldség rendelkezik, míg a legrövidebbel az ivóvízen nevelkedett, azonban mind a nedves, mind a száraz biomassza-szatómeg esetében a kezeletlen szürkevízen nevelkedett minta jár az élen, majd a kezelt szürkevízen nevelkedett követi, végül pedig az ivóvízen nevelkedett zárja a sort. A nedvességtartalomnál is ugyanez a sorrend figyelhető meg.

A mikroelemeken megfigyelhető (6. ábra), hogy bár a vízben (3. táblázat) egyik mintában sem volt kimutatható mennyiségben a mangán és a nikkel, a növényekben felhalmozódtak. Látható még, hogy a stronciumszint a kezeletlen szürkevízen nevelt mikrozöldségnél megemelkedett, majd a kezelt szennyvízen fejlődött növények esetében még tovább nőtt (lásd 3. táblázat), azonban ugyanez a tendencia magában a vizek elemanalíziséknél is látható.

A vas értéke enyhén kisebb, mint az ideális tartomány (50–75 mg/kg) [9]. A brokkoli esetében kimutatási határ alatt volt a kadmium, kobalt, króm és az ólom mennyisége.

A 7. táblázat megmutatja, hogy abban az esetben, ha az év minden napján 10 grammot fogyasztunk belőlük, akkor az összes víztípuson fejlődött mikrozöldség biztonsággal fogyasztható.

Ahhoz, hogy meghatározzuk a maximálisan fogyasztható mennyiséget, a 7. és a 8. ábrát alkalmaztuk.

Először is a THQ, azaz a célveszélyességi hányados kritikus értékeit határoztuk meg. Mindhárom vízminta esetében a mangán értéke határozta meg a fogyaszthatósági mennyiséget, ugyanis az érte el leghamarabb a kritikus értéket. Azonban az, hogy a lenyelési ráta mennyi, az mindhárom esetben különböző.

Az ivóvízen nevelkedett brokkoli esetében (lásd 7/1. ábra) a $THQ = 1$ -et 2,92 g/ttkg lenyelési ráta esetén érte el. Ez az jelenti, hogy egy átlagos tömegű ember (70 kg) 204 grammot fogyaszthat el.

A kezeletlen szürkevízen nevelt brokkoli esetében (lásd 7/2. ábra) a kritikus THQ-értéket a 2,64 g/ttkg lenyelési ráta-érték során érte el.

Ez alapján kiszámolható, hogy egy 70 kg-os átlagos testtömeggel rendelkező ember 185 grammot fogyaszthat el naponta az év minden napján. Ez egy csökkenés az ivóvízhez képest, azonban így is több mint 18-szorosa annak az értéknek, amelyet 1 fogyasztás alkalmával beviszünk a szervezetünkbe.

6. táblázat. A brokkoli adatai

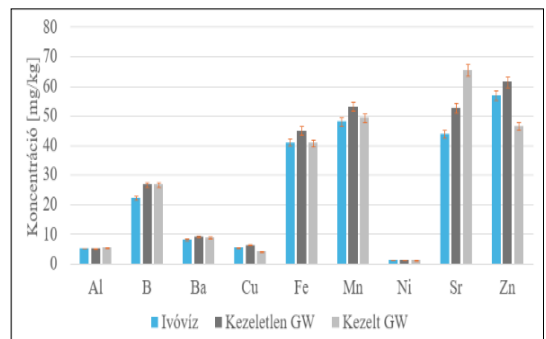
	Ivóvíz	UTGW	TGW
Átlaghossz [cm]	4,43 ± 0,75	5,00 ± 1,13	5,96 ± 0,63
Nedves biomassza [g]	8,53	13,29	10,43
Száraz biomassza [g]	0,71	0,80	0,75
Nedvességtartalom [%]	92	94	93

7. táblázat. A brokkoli THQ- és HI-értékei 10 g/356 nap fogyasztása esetén

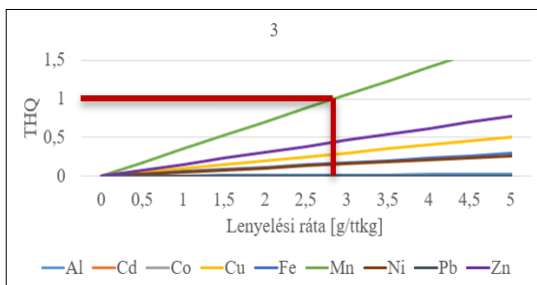
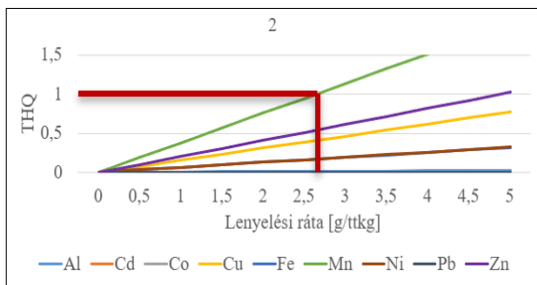
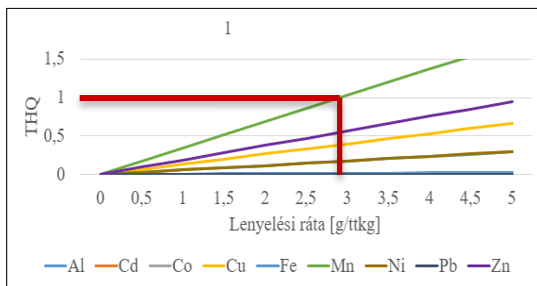
	Ivóvíz	UTGW	TGW
THQAl	$7,33 \cdot 10^{-4}$	$7,21 \cdot 10^{-4}$	$7,60 \cdot 10^{-4}$
THQCu	$1,91 \cdot 10^{-2}$	$2,22 \cdot 10^{-2}$	$1,44 \cdot 10^{-2}$
THQFe	$8,37 \cdot 10^{-3}$	$9,16 \cdot 10^{-3}$	$8,31 \cdot 10^{-3}$
THQMn	$4,90 \cdot 10^{-2}$	$5,42 \cdot 10^{-2}$	$5,03 \cdot 10^{-2}$
THQNi	$8,43 \cdot 10^{-3}$	$9,21 \cdot 10^{-3}$	$7,50 \cdot 10^{-3}$
THQZn	$2,71 \cdot 10^{-2}$	$2,92 \cdot 10^{-2}$	$2,21 \cdot 10^{-2}$
HI	$1,13 \cdot 10^{-1}$	$1,25 \cdot 10^{-1}$	$1,03 \cdot 10^{-1}$



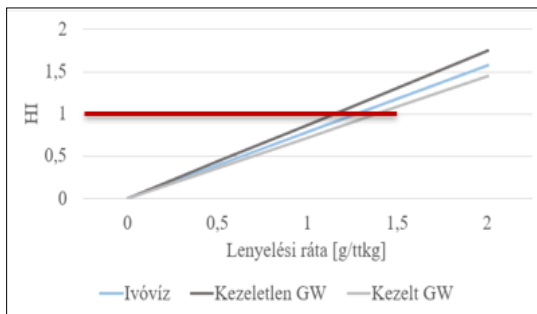
5. ábra. Kifejlett brokkoli-mikrozöldségek



6. ábra. A brokkoli mikroelem-tartalma



7. ábra. Az ivóvízen (1), kezeletlen szűrkevízen (2) és kezelt szűrkevízen (3) nevelkedett brokkoli THQ-értékei



8. ábra. A különböző vizeken nevelkedett brokkoli HI-értékei

A kezelt szűrkevízen termesztett brokkoli (lásd 7/3. ábra) 2,84 g/ttkg lenyelési ráta esetén érte el a kritikus $THQ = 1$ értéket. Ez alapján kiszámoltuk a fogyasztható mennyiséget, amely 199 gramm az év minden napján.

A fogyaszthatóság vizsgálatánál a HI veszélyességi indexet is meghatároztuk a 8. ábra segítségével. Ezt az értéket a (2) képlet segítségével kaptuk meg, ahol a THQ-értékeket összeadtuk.

A diagramon megfigyelhető, hogy bár a THQ-értékből az ivóvízen nevelkedett minta esetében fogyaszthatunk a legtöbbet, a HI-értéknél a kezelt szűrkevíz esetében lett a legnagyobb a fogyaszthatóság. A kezelt szűrkevízen nevelt brokkoliból 97 grammot, az ivóvízen neveltől 89 grammot és a kezeletlen szűrkevízen neveltől pedig 81 grammot fogyaszthat maximálisan egy átlagos testtömeggel rendelkező ember naponta az év összes napján.

Ezek az értékek mind meghaladják az átlagos napi fogyasztást (10 grammot), ezáltal kijelenthető, hogy a brokkoli-mikroökörség fogyasztható kezelés és kezeletlen szűrkevízen való termesztés során is, és ha megfigyeljük a biomaszátömegeket (lásd 6. táblázat), a kezeletlen szűrkevízen való termesztése a brokkolinak, jelen eredmények alapján, a legjobb módszernek mondható.

5. Következtetések

A kutatás során vizsgáltuk a kezelt és kezeletlen szűrkevíz újrahasználásának lehetőségét mikroökörség termesztésére.

A kezelésként alkalmazott koaguláció, flokkuláció és mechanikai szűrés megtisztította a szűrkevizet a szerves szennyeződésektől, és az oldhatatlan kolloidméretű részecskéktől.

A mikroökörség vizsgálatánál kijelenthető, hogy a szűrkevíz használata rendkívül növény-specifikus.

A brokkoli nevelése során a biomsza tömege a kezeletlen szűrkevíz esetében volt a legkiemelkedőbb, ugyanis 56%-kal volt nagyobb, mint az ivóvízen nevelkedett minta esetében. A fogyaszthatósága viszont csökkent mindkét szűrkevíz használatával, azonban mind a kezelt és kezeletlen szűrkevízen nevelkedett minta esetében még mindig többszörösét fogyaszthatjuk, mint a napi átlag. Emiatt kijelenthető, hogy bár a fogyaszthatóság csökkent, még mindig egészségügyikockázat-mentesen lehet fogyasztani a szűrkevízen termesztett brokkolit.

A vöröskáposzta termesztése alkalmával, míg a kezeletlen szűrkevíz használatával a biomsza tömege 8%-kal csökkent, a kezelt szűrkevíz használatával 60%-kal nőtt a biomsza tömege. A fogyaszthatóságot vizsgálva mind a HI-, mind a THQ-értékek alapján a kezeletlen szűrkevízen termesztett minta a legfogyaszthatóbb, utána pedig

a kezelt szürkevízen termesztett minta. Összességében a vöröskáposzta esetében a legideálisabb termesztési módszer a kezelt szürkevízen való termesztés.

Mind a brokkoli, mind a vöröskáposzta esetén a mangán volt a kritikus elem. Kijelenthető, hogy ha a mangán értékét csökkentenénk, akkor a mikroöldségek fogyaszthatósága megnövekedne, azonban a mangántartalom több esetben is az ivóvízmin tán növekedő mikroöldségben volt a legnagyobb mennyiségben, így magát az ivóvizet kellene tisztítani, hogy a mikroöldségek fogyaszthatósága növekedjen. Ebből az szűrhető le, hogy a fogyaszthatóságot a mikroöldségek esetében leginkább az ivóvíz elemtartalma befolyásolja. A fogyaszthatóság enyhén változik a különböző vízminták között, de drasztikus különbségek nem alakulnak ki. Emiatt elmondható, hogy jelen tanulmány szerint a kezelt és kezeletlen szintetikus fürdővízzel való mikroöldség-termesztés nem befolyásolja drasztikusan a fogyaszthatóságot, azonban a produktum mennyiségét igen.

Mivel ezek az adatok szintetikus fürdővíz használatával készültek, a jövőben további vizsgálatokat igényel a valós fürdővízminta használatával való mikroöldség-termesztés

6. Köszönetnyilvánítás

Köszönjük szépen Dr. Baranyai Edinának és Dr. Sajtos Zsófiának, hogy a vízminták és a növényminták elemanalízise során a Debreceni Egyetem, Szervetlen és Analitikai Kémiai Tanszék Környezetanalitikai Laboratóriumában segítséget nyújtottak.

„A KULTURÁLIS ÉS INNOVÁCIÓS MINISZTERIUM EKÖP-24-1 KÓDSZÁMÚ EGYETEMI KUTATÓI ÖSZTÖNDÍJ PROGRAMJÁNAK A NEMZETI KUTATÁSI, FEJLESZTÉSI ÉS INNOVÁCIÓS ALAPBÓL FINANSZÍROZOTT SZAKMAI TÁMOGATÁSÁVAL KÉSZÜLT.”

Szakirodalmi hivatkozások

- [1] Y. Boyjoo, V. K. Pareek, M. Ang: *A Review of Greywater Characteristic and Treatment Processes*. Water Science and Technology, 67/7. (2013) 1403-1424.
<https://doi.org/10.2166/wst.2013.675>
- [2] R. Vanessa Fuchs-Tarlovsky: *Role of Antioxidants in Cancer Therapy*. Nutrition, 29/1. (2013) 15–21.
<https://doi.org/10.1016/j.nut.2012.02.014>
- [3] Mahinder Partap, et al.: *Microgreen: A Tiny Plant with Superfood Potential*. Journal of Functional Foods, 107. (2023) 105697.
<https://doi.org/10.1016/j.jff.2023.105697>
- [4] J. M.R. Antoine, et al.: *Assessment of the Potential Health Risks Associated with the Aluminium, Arsenic, Cadmium and Lead Content in Selected Fruits and Vegetables Grown in Jamaica*. Toxicology Reports, 4. (2017) 181–187.
<https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2017.03.006>
- [5] Ghazala Yaqub et al.: *Determination of Concentration of Heavy Metals in Fruits, Vegetables, Groundwater, and Soil Samples of the Cement Industry and Nearby Communities and Assessment of Associated Health Risks*. Journal of Food Quality, 2021.
<https://doi.org/10.1155/2021/3354867>
- [6] Szabolcsik-Izbéki A, Bodnár I, Fábián I.: *The Removal of Pollutants from Synthetic Bathroom Greywater by Coagulation-Flocculation and Filtration as a Fit-for-Purpose Method*. Journal of Environmental Chemical Engineering, 12/6. (2024) 114250.
<https://doi.org/10.1016/j.jece.2024.114250>
- [7] U. S. E. P. Agency, „Integrated Risk Information,” [Online]. Available: <https://www.epa.gov/iris>.
- [8] L. F. C. E.-N. A. Z. M. G. S. D. P. M. K. Y. R. Michele Ciriello: *Iodine Biofortification of Four Microgreens Species and Its Implications for Mineral Composition and Potential Contribution to the Recommended Dietary Intake of Iodine*. Scientia Horticulturae, 320. (2023) 112229.
<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2023.112229>
- [9] H. A. M. Gretchen, M. Bryson: *Plant Analysis Handbook IV*. Athens, Georgia, Micro-Macro Publishing.