

DOKTORI ÉRTEKEZÉS TÉZISEI

Kolozsvári Ildikó

**Gödöllő
2023**



MAGYAR AGRÁR- ÉS ÉLETTUDOMÁNYI EGYETEM

**INTENZÍV ÜZEMŰ HALNEVELŐ TELEP ELFOLYÓVIZÉNEK
ÖNTÖZÉSES HASZNOSÍTÁSA RÖVID VÁGÁSFORDULÓJÚ
ENERGIAFŰZ ÜLTETVÉNYBEN ÉS SZEMESCIROK
KULTÚRÁKBAN**

DOI: 10.54598/004230

DOKTORI (PhD) ÉRTEKEZÉS TÉZISEI

KOLOZSVÁRI ILDIKÓ

**GÖDÖLLŐ
2023**

A doktori iskola

megnevezése: Növénytudományi Doktori Iskola

tudományága: Növénytermesztési és Kertészeti Tudományok

vezetője: Prof. Dr. Helyes Lajos
Egyetemi tanár, az MTA doktora
Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem
Kertészettudományi Intézet

Témavezető(k): Prof. Dr. Gyuricza Csaba
Egyetemi tanár, az MTA doktora
Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem
Növénytermesztési-tudomány Intézet

A doktori iskola- és a témavezető jóváhagyó aláírása:

A jelölt a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem Doktori Szabályzatában előírt valamennyi feltételnek eleget tett, a műhelyvita során elhangzott észrevételeket és javaslatokat az értekezés átdolgozásakor figyelembe vette, ezért az értekezés védési eljárásra bocsátható.

.....
Prof. Dr. Helyes Lajos
iskolavezető

.....
Prof. Dr. Gyuricza Csaba
témavezető

1. A MUNKA ELŐZMÉNYEI, KITŰZÖTT CÉLOK

Egyre nagyobb tendenciát mutat a vízkészletek hatékonyabb felhasználásának igénye, mind a városi, mind pedig a vidéki környezetben. A nagyobb hatékonyság elérésének egyik fő eszköze az olyan típusú víz újrahasznosítása, amelyet korábban a felhasználás után a természetes befogadókban helyeztek el. A víz mezőgazdasági öntözésre történő használatát gyakran tekintik a víz újrahasznosításának pozitív eszközének, a felhasználható nagy mennyiségű víz potenciális alkalmazása miatt. Az újrahasznosított víz előnye, hogy állandó, megbízható vízforrásként szolgálhat, valamint csökkenti a felszíni vagy a felszín alatti vízkivételek mennyiségét.

A népesség növekedésével és a gyors urbanizációval a mezőgazdasági ágazatra egyre nagyobb nyomás nehezedik. Globális szinten a mezőgazdasági ágazat a vízkivételek 70%-ért felelős, emiatt az akvakultúra rendszerekből származó gazdag szervesanyag tartalommal rendelkező elfolyóvizek növénytermesztési célú felhasználása csökkentheti az édesvízkivételek mennyiségének számát. Mindemellett az elfolyóvíz makro- és mikroelem tartalma növelheti a talaj termékenységét, javítva a termelés sikerességét és csökkentve az inputanyag ráfordítást.

Magyarországban a megújuló energiaforrások közül a biomasszának van a legnagyobb jelentősége, amely a hasznosított megújuló energiaforrások 65-80%-át teszi ki. A biomassza felhasználása főként a fás szárú energiaültvényeken termelt biomassza esetében a hő- és villamosenergia előállítására összpontosul, azonban alkalmas lehet bioetanol és biogáz előállítására is. A kedvezőtlen termőhelyi tulajdonságokkal rendelkező területek aránya meghaladja a több százezer hektárt is, ahol a rövid vágásfordulójú fás energiaültvények telepítése ugyanakkor megvalósítható. Ezekben a területeken a biomassza előállítása és hasznosítása hozzájárulhat a megújuló energiaforrások szélesebb körű alkalmazásához, valamint a fenntartható energiaellátáshoz és a mezőgazdasági tevékenységek diverzifikációjához.

A klímaváltozás nagymértékben befolyásolja a növénytermesztés során alkalmazott kultúrák termesztésének létjogosultságát. Hazánkban az utóbbi három termesztési év is jól mutatja, hogy a vetésforgók növényi összetételének újragondolására van szükség, amely a klasszikus búza-kukorica-repce-napraforgó növényi sorrenden túlmutat. Prioritást élvezhetnek a már korábban ismert, azonban a köztermesztésben kevésbé elterjedt kultúrák szélesebb körű termesztése, illetve új növényfajok vetésforgóba történő beépítése. Emiatt szükségesé válik a növénytermesztési rendszer, az alkalmazott agrotechnikák és a termesztési technológiák fejlesztése.

Ennek tükrében a cirok termesztése kiváló választásnak bizonyul főképp a tehenészetek számára, szilázként hasznosítva, melynek vetése hatékonyan kombinálható a kukoricával. A kukorica és a cirok együttes vetése növeli a szilázs energiatartalmát, valamint a betakarított zöldtömegét. Ezt az ikersoros vetési gyakorlatot már sokan alkalmazzák a mezőgazdaságban. Ezzel szemben a szemes

cirok rosszul emészthető a kérődzők számára, azonban magjának kiváló aminosav- és magas fehérjetartalma miatt értékes takarmányforrás a szárnyasok számára. További termesztésének jelentőségét növeli, hogy a szemtermése toxinmentes takarmányt biztosít, ami különösen előnyös olyan évjáratokban, mint a jelenlegi, amikor ezek a paraméterek kiemelkedő fontosságúak. Mindemellett legjelentősebb tulajdonsága a ciroknak a stabilitása, lényegesen jobban tolerálja az aszályt és a hőstresszt, mint a kukorica. Ezáltal a cirok ideális választás lehet olyan mezőgazdasági környezetekben, ahol az időjárási körülmények változékonyak, és a növényeknek magasabb biotikus és abiotikus stresszel kell szembenéznük.

Kutatásomban a rövid vágásfordulójú energiafűz és a szemescirok termesztését vizsgáltam a 2015-2020 termesztési években liziméteres és kispárcellás szabadföldi körülmények között, amely során egy intenzív afrikai harcsanevelő telep elfolyóvizét használtuk öntözésre kétféle mikroöntözési technológia mellett.

Az öntözési kísérlet során az alábbi kérdésekre kerestem a választ:

1. Miként befolyásolja az eltérő vízminőség és vízmennyiség az energiafűz és a szemescirok fiziológiai és fenológiai paramétereinek (relatív klorofill tartalom, magasság) változását?
2. Mutatkozik-e különbség a felszíni, illetve az elfolyóvízzel öntözött növényi minták makroelem tartalmában a nem öntözött kontrollhoz képest?
3. Miként befolyásolja az eltérő vízminőség és vízadag a biomassa és a termésmennyiség alakulását?
4. Megjelenik-e az elfolyóvízben lévő nátrium akkumulációja az energiafűz földfeletti részeiben, valamint a cirok szemtermésében?
5. Miként befolyásolja az elfolyóvízzel való öntözés a talaj nátrium tartalmát, mutatkozik-e különbség az energiafűz és a szemescirok termesztése során?
6. Miként befolyásolja az öntözés és a vízminőség a cirok szárrészének cukortartalmát?
7. Alkalmas-e az intenzív halnevelő telep elfolyóvizének öntözéses hasznosítása az energiafűz ültetvényben, valamint a szemescirok kultúrákban?

2. ANYAG ÉS MÓDSZER

2.1. A kutatómunka körülményei

Az öntözési kísérletek a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem (MATE) Környezettudományi Intézet (KÖTI), Öntözési és Vízgazdálkodási Kutatóközpont (ÖVKI) 1 hektáros Liziméter Telepén (46°51'49" N 20°31'39" E) kerültek beállításra Szarvason.

A kutatási időszakban (2015-2020) a meteorológiai adatokat a MATE ÖVKI Liziméter Telepén található automata meteorológiai állomása gyűjtötte. 2015-ben a mérőműszer mindössze októberben regisztrált az átlagosnál alacsonyabb hőmérsékleti értéket. Ugyanakkor 2019-es évhez képest 2016-ban és 2017-ben hidegebb volt a május, az augusztus, az október, a december és a január. A 2015-ös év szárazabbnak bizonyult, mely során a lehullott csapadék mindössze 400,6 mm volt, amíg 2016-ban elérte a 633 mm-t. Ugyanakkor az eloszlás heterogén volt, amit a száraz tavasz és a csapadékos kora nyár jellemzett. 2017-ben a csapadék mennyisége megközelítette az átlagot.

Liziméteres energiafűz kísérlet talajának jellemzése

A kísérlet talaja semleges kémhatású. Az Arany-féle kötöttségi szám szerint kötött, agyagos réti talajnak minősül. A vízben oldható összes sótartalom alacsony értéket mutatott. Továbbá gyengén meszes állapot és gyenge humusztartalom jellemezte. A vetés előtt szükségessé vált a N hatóanyag pótlása (40 kg/ha), mivel a talaj tápanyag-tartalma a KCl-oldható nitrát tartalom vizsgálata során alacsony értéket mutatott. Ugyanakkor a P és a K mennyisége kielégítő volt a növények számára.

Szabadföldi cirok kísérlet talajának jellemzése

A vizsgálati eredmények alapján a talaj kémhatása mind a két mélységben gyengén lúgos tartományban mozgott. Az Arany-féle kötöttségi szám alapján a fizikai talajféleség vályog, agyagos vályog. A vízben oldható összes sótartalom alapján kis sótartalmú. A szénsavas mésztartalom szerint gyengén meszes, a talaj szervesanyag-tartalma 2% alatti, az igen gyenge ellátottsági kategóriába tartozik. A talaj N-ellátottsága a KCl-oldható nitrát tartalom szerint igen gyenge, következésképp a termesztés során szükséges a N utánpótlása. A többi makroelem mennyisége a K és a P vonatkozásában túlzott ellátottságú kategóriába sorolható.

2.2. A kísérletek bemutatása

Liziméteres vizsgálatok

A liziméteres kísérlethez használt rövid vágásfordulójú energiafűz a 'Naperti' a Soproni Egyetem Erdészeti Tudományos Intézet fajtajelölt klónja. A kísérleti területre a telepítése 2014-ben valósult meg. A klón egy gyors növekedésű, nagy fahozamot adó fajta.

Az energiafűzek minimum öntözővíz szükségletének meghatározása során elsősorban a hazai éghajlati viszonyok mellett megjelent szakirodalmi adatokat vettük figyelembe. Zsembeli et al. (2013) a természetes csapadék mellett a vegetációs időszakban júniustól szeptemberig kezelésként összesen 70-110 mm öntözővizet juttattak ki a liziméterekben lévő fűz egyedekre. Az öntözési fordulóok száma időjárástól függően eltérően alakultak a három vizsgálati évben. A 2015-ös vizsgálati évet aszályosabb tél és tavasz jellemezte, melynek következtében egységesen 100 mm öntözővíz kijuttatása valósult meg április és május hónapokban (1. táblázat).

1. táblázat: Az évente kijuttatott öntözővíz mennyisége és a csapadék eloszlása a vizsgált vegetációs időszakban

| | Öntözővíz adagok | Az öntözések száma a vizsgált időszakban | Az öntözéssel kijuttatott víz mennyisége (mm) | A csapadék mennyisége a vizsgált időszakban (mm) | A növények számára rendelkezésre álló víz mennyisége a vizsgálati időszakban (mm) |
|------|------------------|--|---|--|---|
| 2015 | 15 mm | | 310 | | 415 |
| | 30 mm | 15 * | 520 | 105 | 625 |
| | 60 mm | | 940 | | 1045 |
| 2016 | 15 mm | | 90 | | 398 |
| | 30 mm | 6 | 180 | 308 | 488 |
| | 60 mm | | 360 | | 668 |
| 2017 | 15 mm | | 135 | | 319 |
| | 30 mm | 9 | 270 | 184 | 454 |
| | 60 mm | | 540 | | 724 |

* Az első öntözés során minden kezelés egyenletesen 100 mm Körös öntözővizet kapott.

Kezelésként összesen nyolc liziméter edényt használtunk. Minden liziméterbe két növényt telepítettünk 50 cm-es tő- és 100 cm-es sortávolsággal. A peremhatások csökkentése érdekében további fűz klónok telepítése történt a konténerek köré azonos tő- és sortávolsággal. Az első vágás 2015 decemberében, a második 2017 januárjában, a harmadik betakarítás pedig 2018 januárjában valósult meg.

Az energiafűz klónok öntözési kísérletéhez két különböző víztípust és ezek kombinációit alkalmaztuk. A Szarvas városában található intenzív afrikai harcsafarm kezeletlen termálvíz eredetű elfolyóvizét közvetlenül a telep kivezető tárolómedencéjéből került összegyűjtésre, amely során a vegetációs időszakban nyolc ismétlésben és heti rendszerességgel 15 mm-es (E15), 30 mm-es (E30) és 60 mm-es (E60) öntözővíz dózissal öntöztünk. Az öntözött kontrollként a Körös holtág édesvizét alkalmaztuk. Az öntözővizet heti 15 mm-es (K15), 30 mm-es (K30) és 60 mm-es (K60) adagokban juttattuk ki, nyolc ismétlésben (1. táblázat). Ezen kívül egy nem öntözött kontroll (C) kezelés is beállításra került, szintén nyolc ismétlésben. A magas sótartalom negatív hatásainak csökkentése érdekében az elfolyóvizet előkezeljük és az előkezelést követően heti 60 mm-es

adaggal (D) használtuk fel. Az öntözés előtt az elfolyóvizet 1:3-as arányban hígítottuk a Körös holtág vizének hozzáadásával, hogy elérje az öntözővíz teljes sótartalmának ajánlott felső határát (500 mg/L). Mindemellett gipszet (kalcium-szulfátot) is hozzáadtuk (312 mg/L), hogy csökkentsük a nátrium százalékos arányát a hígított kezeléshez képest (2. táblázat). Minden öntözési kezeléshez mikroszórófejes öntözőrendszert alkalmaztunk. Az évenkénti öntözővízzel kijutatott N, P, K és Na mennyiségét (kg/ha) az 3. táblázat tartalmazza.

2.táblázat: A kísérletben használt öntözővíz átlagos főbb minőségi paraméterei

| | EC | NH ₄ N | N | P | K | Na | SAR |
|--------------|---------|-------------------|--------|--------|--------|--------|------|
| | (μS/cm) | (mg/L) | (mg/L) | (mg/L) | (mg/L) | (mg/L) | |
| Elfolyóvíz | 1320 | 22,5 | 29,2 | 3,9 | 11,3 | 222 | 12,1 |
| Körös holtág | 440 | 0,6 | 2,1 | 0,2 | 4,7 | 40,6 | 1,2 |
| Hígított víz | 1050 | 8,6 | 11,1 | 2 | 5,3 | 150 | 3,1 |

3.táblázat: Az öntözővizek által kijutatott N, P, K és Na mennyisége (kg/ha) az energiafűz kísérlet esetében

| Öntözővíz típus | Öntözés és éve | N (kg/ha) | | | P (kg/ha) | | | K (kg/ha) | | | Na (kg/ha) | | |
|-------------------|----------------|-----------|-------|-------|-----------|-------|-------|-----------|-------|-------|------------|-------|--------|
| | | 15 mm | 30 mm | 60 mm | 15 mm | 30 mm | 60 mm | 15 mm | 30 mm | 60 mm | 15 mm | 30 mm | 60 mm |
| Körös holtág vize | 2015 | 4,4 | 8,8 | 17,6 | 0,4 | 0,8 | 1,7 | 9,9 | 19,7 | 39,5 | 85,3 | 170,5 | 341,0 |
| | 2016 | 1,9 | 3,8 | 7,6 | 0,2 | 0,4 | 0,7 | 4,2 | 8,5 | 16,9 | 36,5 | 73,1 | 146,2 |
| | 2017 | 2,8 | 5,7 | 11,3 | 0,3 | 0,5 | 1,1 | 6,3 | 12,7 | 25,4 | 54,8 | 109,6 | 219,2 |
| Elfolyóvíz | 2015 | 62,8 | 125,6 | 251,2 | 8,2 | 16,4 | 32,8 | 23,7 | 47,5 | 94,9 | 466,2 | 932,4 | 1864,8 |
| | 2016 | 26,9 | 53,8 | 107,6 | 3,5 | 7,0 | 14,0 | 10,2 | 20,3 | 40,7 | 199,8 | 399,6 | 799,2 |
| | 2017 | 40,4 | 80,7 | 161,5 | 5,3 | 10,5 | 21,1 | 15,3 | 30,5 | 61,0 | 299,7 | 599,4 | 1198,8 |
| Hígított víz | 2015 | 23,3 | 46,6 | 93,2 | 4,2 | 8,4 | 16,8 | 11,1 | 22,3 | 44,5 | 315,0 | 630,0 | 1260,0 |
| | 2016 | 10,0 | 20,0 | 40,0 | 1,8 | 3,6 | 7,2 | 4,8 | 9,5 | 19,1 | 135,0 | 270,0 | 540,0 |
| | 2017 | 15,0 | 30,0 | 59,9 | 2,7 | 5,4 | 10,8 | 7,2 | 14,3 | 28,6 | 202,5 | 405,0 | 810,0 |

Szabadföldi szemescirok öntözési kísérlet

A kisparcellás szabadföldi öntözési kísérlet során a Gabonakutató Nonprofit Kft. (Szeged, Magyarország) három államilag elismert szemescirok hibridje ('Alföldi 1', 'Farmsugro 180', 'GK Emese') növekedési paramétereit vizsgáltuk különböző mennyiségű és minőségű öntözővíz kijuttatása mellett. A vetésidőt minden évben az időjárási paraméterek, valamint a talaj átlagos hőmérséklete határozta meg. Mind a négy kísérleti évben a vetés április végén vagy május elején valósult meg, amikor a talaj hőmérséklete a felső 5 cm-ben elérte a 12-13 °C-ot. A vetés során az alkalmazott sortávolság 70 cm, az

állománysűrűség 190-230 ezer tő/hektár (parcellánként 114-138 tő) volt. Minden parcella 4 soros (1 m) volt, a méréseket minden esetben a középső két sorban (6 ismétlésben) végeztük. Ennek megfelelően egy mintaterület mérete 3 m hosszú és 2,1 m széles volt. A szántóföldi kísérletet két tényezővel állítottuk be, "A" tényezőként az öntözés (5 kezeléssel), "B" tényezőként (3 kezeléssel) a szemescirok hibridek szerepeltek. Öntözés technikai és technológiai szempontból csak sávos kísérleti elrendezést alkalmazhattunk. Kezelésenként a főparcellák területe (3 m x 2,8 m) 8,4 m², az alparcellák (1 m x 2,8 m) 2,8 m² volt. Alparcellánként a két középső sort vettük mintaterületnek, így a méréseket 6 ismétlésben végeztük kezelésenként. Sváb (1981) szerint az ilyen típusú sávos kísérlet elrendezés esetén tényezőnként külön, egytényezős kísérletként kell a matematika-statisztikai értékelést elvégezni (Sváb, 1981).

A szemescirok termesztése során szintén heti rendszerességgel két öntözővízdózis (30 és 45 mm) mellett került beállításra az öntözési kísérlet. Az öntözővizet a termőterületre csepegtető rendszerrel juttattunk ki. Öt kezelést állítottunk be, egy nem öntözött kontrollt (C), két felszíni vízzel öntözött kezelést (K30 és K45), valamint két elfolyóvíz kezelést (E30 és E45). Minden kezelés és hibrid esetében hat ismétlésben dolgoztunk. A vetést követő első négy hétben a növényeket a Körös holtág vizével öntöztük évenként eltérő öntözővízadaggal, hogy minden kezelésnél kiegészítsük a természetes csapadékot, annak érdekében, hogy hatékonyabb legyen a csírázás és a kezdeti növekedés. Ezt követően differenciált öntözésre került sor (4. táblázat). Az évenkénti öntözővízzel kijuttatott N, P, K és Na mennyiségét (kg/ha) az 5. táblázat tartalmazza.

4.táblázat: A szemescirok vetésideje, az öntözések száma, a csapadékmennyiség és a kijuttatott öntözővíz mennyisége a négy kísérleti évben

| Vetés ideje | Öntözővíz adagok (mm) | Öntözések száma | Öntözéssel kijuttatott vízmennyiség (mm) | Csapadék a tenyészidőben (mm) | Kiegészítő öntözés mennyisége (Körös) csírázás közben (mm) | Összes vízinput (mm) |
|-------------|-----------------------|-----------------|--|-------------------------------|--|----------------------|
| 2016.05.04. | 30 | 5 | 150 | 296 | 120 | 566 |
| | 45 | | 225 | | | 641 |
| 2017.05.02. | 30 | 6 | 180 | 144 | 80 | 404 |
| | 45 | | 270 | | | 494 |
| 2019.05.07. | 30 | 8 | 240 | 208 | 40 | 488 |
| | 45 | | 360 | | | 608 |
| 2020.04.27. | 30 | 4 | 120 | 288 | 90 | 498 |
| | 45 | | 180 | | | 558 |

5.táblázat: Az öntözővizek által kijutatott N, P, K és Na mennyisége (kg/ha) a szemescirok kísérlet esetében

| Öntözővíz típus | Öntözés éve | N (kg/ha) | | P (kg/ha) | | K (kg/ha) | | Na (kg/ha) | |
|-------------------|-------------|-----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|------------|-------|
| | | 30 mm | 45 mm | 30 mm | 45 mm | 30 mm | 45 mm | 30 mm | 45 mm |
| Körös holtág vize | 2016 | 3,2 | 4,7 | 0,3 | 0,5 | 7,1 | 10,6 | 60,9 | 91,4 |
| | 2017 | 3,8 | 5,7 | 0,4 | 0,5 | 8,5 | 12,7 | 73,1 | 109,6 |
| | 2019 | 5,0 | 7,6 | 0,5 | 0,7 | 11,3 | 16,9 | 97,4 | 146,2 |
| | 2020 | 2,5 | 3,8 | 0,2 | 0,4 | 5,6 | 8,5 | 48,7 | 73,1 |
| Elfolyóvíz | 2016 | 44,9 | 67,3 | 5,9 | 8,8 | 17,0 | 25,4 | 333,0 | 499,5 |
| | 2017 | 53,8 | 80,7 | 7,0 | 10,5 | 20,3 | 30,5 | 399,6 | 599,4 |
| | 2019 | 71,8 | 107,6 | 9,4 | 14,0 | 27,1 | 40,7 | 532,8 | 799,2 |
| | 2020 | 35,9 | 53,8 | 4,7 | 7,0 | 13,6 | 20,3 | 266,4 | 399,6 |

2.3. Statisztikai elemzés

A statisztikai elemzésekhez az IBM SPSS Statistics 25.0 szoftvert használtuk. Az egytényezős varianciaanalízissel (ANOVA) határoztuk meg kezelésként és növényi részenként az öntözővíz minőségének és mennyiségének hatását a fűz klónok és a különböző cirok hibridek fenológiai paramétereire, makroelem és nátrium tartalmára. A különbségek szignifikánsnak bizonyultak, amennyiben elérték a Tukey- vagy a Games-Howell tesztek $p \leq 0,05$ vagy $p \leq 0,01$ határértékeit. Az energiafűz esetében a talajkémiai vizsgálatok statisztikai kiértékelésénél a 15 és 30 mm-es öntözött mintákhoz a független t-próbát, a 60 mm-es mintákhoz az ANOVA tesztet használtuk. A korreláció elemzéséhez a Pearson-korrelációt alkalmaztuk.

3. EREDMÉNYEK

3.1. A relatív klorofilltartalom változása

Mind az energiafűzek, mind pedig a szemescirok vizsgálatok során különbség mutatkozott az alkalmazott öntözővízminőségek között, kiváltképp a relatív klorofilltartalom alakulásában. Az energiafűzeknél az elfolyóvízzel öntözött klónok szignifikánsan magasabb klorofill értékkel rendelkeztek, mint a Körös holtág vizével öntözött egyedek (47,5-52,1). Ennek oka az elfolyóvíz többlet tápanyagtartalmában rejlik. Az elfolyóvíz magasabb nitrogéntartalma (29,2 mg/L) pozitív korrelációt ($r=0,579$) mutatott a szemtermés klorofilltartalmára.

Az 'Alföldi 1' hibridnél az első két évben nem volt szignifikáns különbség a kezelések között. A harmadik és a negyedik évben az E30 ($p=0,000$), a K30 ($p=0,000$) és a C ($p=0,001$) kezelések SPAD-értékei szignifikánsan alacsonyabbak voltak a legmagasabb E45-ös kezeléshez képest. A 2020-as termesztési évben a kezelések összehasonlításakor a levelek klorofilltartalma az E45 értékhez képest szignifikánsan alacsonyabb volt az E30 ($p=0,001$), a K30 ($p=0,002$) és a C ($p=0,001$) kezeléseknél.

A 'Farmsugro 180' hibridnél az első év kivételével minden esetben az E45 kezelésnél volt a legmagasabb a SPAD érték, különösen 2017-ben, ahol elérte az 52,5-öt. A négy kísérleti év közül a legalacsonyabb átlagos klorofillértéket 2019-ben (38,9–47,1), míg a legmagasabbat 2017-ben (49,8–52,5) mértünk. A statisztikai kiértékelés során az első két évben nem volt szignifikáns különbség a kezelések között. 2019-ben és 2020-ban az E30 és K45 ($p=0,000$) kezelések klorofillértékei szignifikánsan alacsonyabbak voltak, mint a legmagasabb SPAD értékkel rendelkező E45 kezelés.

A 'GK Emese' cirokhibridnél a négy kísérleti év közül a legalacsonyabb klorofill értékeket 2020-ban (38,8-45,5), míg a legmagasabbat a 2017-es termesztési évben mértük (51,9-56,5). Az első két termesztési évre jellemző volt, hogy a Körös holtág vizével öntözött kezelések magasabb SPAD értékkel rendelkeztek, kiváltképp a K45-ös kezelések (56,5 és 50,1). 2019-ben és 2020-ban azonban a K30-as kezelésben (45,7 és 45,5) mért növények rendelkeztek a legmagasabb klorofillértékkel. Ezesetben a statisztikai elemzés első két évében nem volt szignifikáns különbség a kezelések között. Ugyanakkor a 2019-es évben mért adatok közül a K45 ($p=0,012$) kezelés szignifikánsan alacsonyabb SPAD értékkel bírt, mint a legmagasabb K30 kezelésben kapott értékek. 2020-ban az E45 ($p=0,003$) és a K45 ($p=0,002$) kezelések esetében is szignifikánsan alacsonyabb volt a klorofill érték a legmagasabb K30-as kezeléshez képest.

3.2. A tesztnövények növekedése a tenyészidőszak során

A szeptember 17-én mért adatokból megállapítható, hogy a legutolsó méréskor a legmagasabb energiafűzek a D kezelésnél voltak (428 cm), míg a legalacsonyabbak a kontroll növényeknél (282 cm). A vizsgált időszakban az első és utolsó mérések összehasonlításakor a kontroll növények 34 cm-t, míg az E60 kezelésben 178 cm-t nőttek. A 2016-os elemzési időszakban a kontroll fűzek 75 cm-rel, a 60 mm-es elfolyóvízzel öntözött növények pedig 176 cm-rel növekedtek nagyobbra. A 2017-es termesztési évben a növények növekedésének lassulása figyelhető meg. A kontroll fűzek növekedési üteme alacsonyabb volt, mint az öntözött növényeké. Az utolsó méréskor a kontroll növények magassága mindössze a 259 cm-t volt. A legmagasabb növényeket ebben az esetben is az E60 kezelésnél figyeltük meg (370 cm). Az energiafűz növények minden kezelése szignifikánsan magasabbnak bizonyult ($p=0,00$) a kontroll növényekhez képest ($n=6$, Tukey teszt).

Az 'Alföldi 1' hibridnél a kezelések közötti szignifikáns különbség csak a termesztés első évében volt kimutatható, ahol a legmagasabb értékel rendelkező E45 kezeléshez képest a többi cirok növények szignifikánsan kisebbre nőttek ($p\leq 0,01$). A 'Farmsugro 180' hibridnél a termesztés első évének mérési adatai közül a legmagasabb növénymagasság értékkel rendelkező K45 kezeléshez képest a többi kezelés növényei szignifikánsan alacsonyabbra ($p\leq 0,05$) nőttek. Az ezt követő termesztési években minden kezelésnél alacsonyabb növénymagassági értékeket jegyeztünk fel. A 'GK Emese' hibridre jellemző mind az első, mind pedig a második termesztési évben a kezelések összehasonlításakor szignifikáns különbséget figyeltünk meg. 2016-ban a C ($p=0,001$) E30 ($p= 0,008$) és a K30 ($p=0,016$) kezelések növényei szignifikánsan alacsonyabbra nőttek, mint az E45 kezelés egyedei. A második évben szignifikánsan alacsonyabb értékeket detektáltunk a C-kezelésnél ($p=0,018$) a legmagasabb E30-as kezeléshez képest.

3.3. A növényi részek nitrogéntartalma

Az energiafűzeknél a 2015-ös termesztési év kezeléseinek összehasonlításakor a levélrészecskék N-tartalma a legalacsonyabb a K60-as (1,6 m/m%) kezelés esetében volt, míg az E30-as kezelésnél pedig a legmagasabb (3,5 m/m%). A K60 kezeléshez képest a levelek szignifikánsan több N-t tartalmaztak az E60 ($p=0,015$), a E30 ($p=0,000$), a K15 ($p=0,005$) és a C ($p=0,001$) kezeléseknél. A levélmintákhoz képest a szárrészekben kevesebb N lokalizálódott. A legalacsonyabb N-tartalmat pedig szintén a K60 (1,6 m/m%) kezelésnél mértük, az elfolyóvízzel öntözött minták, a K15 és C kezeléseknél szignifikánsan több nitrogént tartalmaztak ($p<0,001$). Ugyanakkor a legmagasabb N-tartalmat az E60 (0,9 m/m%) kezelésnél detektáltuk. A kezeléseknél összehasonlításakor a 2016-os termesztési évben a levelek N-tartalma csökkenést mutatott. A legalacsonyabb nitrogén értékkel a K60 (1,3 m/m%) kezelés, a legmagasabbal, pedig a K15 (2,3 m/m%) minták rendelkeztek. Az E15 ($p=0,018$),

a K15 ($p=0,002$) és a C ($p=0,029$) levélminták szignifikánsan több nitrogént tartalmaztak, mint a K60 kezeléssel öntözött fűzek. A szár esetében az értékek közel azonos tartományban mozogtak 2016-ban és 2017-ben is. Mindkét év mérési eredménye meghaladta a 2015-ben mért N-tartalmat. A harmadik kísérleti évben a D, a C, a K30 és az elfolyóvízzel öntözött minták esetében megállapítható, hogy a fűzek levelében lényegesen (66%) több nitrogén raktározódott, mint a K60 kezelésnél.

Az 'Alföldi 1' hibridnél a 2016-ban mért értékek közül a legalacsonyabb nitrogéntartalmat a K45-ös kezelés (1,5 m/m%), a legmagasabb értéket pedig a kontroll minták (2,4 m/m%) mutatták. A 2017-es tenyészévet a kezelések összehasonlítása során kiegyensúlyozott N értékek jellemezték. A következő két évben kapott mérési eredmények közel azonos lefutást mutatnak, ahol a C kezelést kapott növények értékei voltak a legalacsonyabb nitrogén tartalmúak, az elfolyó öntözővízzel öntözött minták pedig a legmagasabbak. Az első termesztési évben mértünk igazolhatóan szignifikáns különbséget a kezelések között, ahol a C és K30 kezelésekhez képest az E45 minta ($p=0,005$) szignifikánsan alacsonyabb N-tartalommal bírt.

A 'Farmsugro 180' hibrid esetében az első két tenyészév évenkénti kezelések összehasonlításakor közel azonos N tartalmat mértünk a szemtermésben, mely során a C kezelés volt a legmagasabb koncentrációjú (1,7-1,8 m/m%). Ugyanakkor 2019-ben és 2020-ban a mérési adatok között csökkenés figyelhető meg. Jelentős különbségek nem írhatók le, azonban megfigyelhető, hogy az öntözött kezeléseknél magasabb N-tartalom mérhető. A statisztikai kiértékelés során szignifikáns különbséget az első termesztési évben igazoltunk, ahol a C-kezeléshez képest az E45-ös kezelésben ($p=0,035$) szignifikánsan alacsonyabb N-tartalmat mértünk.

Az első termesztési évben a 'GK Emese' hibrid szemtermésében lokalizálódott a legtöbb nitrogén. A legalacsonyabb értékeket a K30 mintánál (1,6 m/m%), a legmagasabbat pedig az E45 kezelésnél (2,1 m/m%), mértük. A 2017-es kísérleti évben valamennyi kezelés esetében kismértékű N csökkenés figyelhető meg. Az utolsó két termesztési év évenkénti kezelések összehasonlításakor az N értékei azonos lefutást mutatnak. 2016-ban és 2019-ben szignifikáns különbséget mértünk, ahol 2016-ban a K30 kezelés ($p=0,047$) szignifikánsan kevesebb nitrogént tartalmazott a legmagasabb értékű E 45 kezeléshez képest. 2019-ben a legalacsonyabb értékekkel rendelkező K30 ($p=0,005$), C ($p=0,018$) és K45 ($p=0,029$) mintákhoz képest a 45 mm elfolyóvízzel öntözött kezelés növénymintáját szignifikánsan magasabb nitrogéntartalom jellemezte.

3.4. A növényi részek foszfortartalma

A fűz klónok elfolyó és hígított vízzel öntözött leveleinek P-tartalma a 2015-2017-es termesztési évben 1990 és 3023 mg/kg szárazanyag (sz.a.) között

mozgott. A kezelések összehasonlításakor 2015-ben a kontroll szignifikánsan több P-t tartalmazott, mint az E60 ($p=0,004$) és D ($p=0,001$) kezelések. A következő évben a kezelések közül a legtöbb P-tartalommal a D kezelés mintái rendelkeztek, ugyanakkor az E30 ($p=0,046$) és a C ($p=0,043$) minták leveleiben szignifikánsan alacsonyabb volt a P-szint. Az első kísérleti évben a D kezeléshez képest a kontroll minták szignifikánsan kevesebb P-tartalommal ($p=0,033$) rendelkeztek. Az energiafüzek szár részében a három vegetációs évben mért P elem tartalomról megállapítható, hogy a mért szint 813 és 2457 mg/kg sz.a. között alakult. Az első évben a kontroll értékhez képest a P-tartalom szignifikánsan alacsonyabb volt a D ($p=0,000$) és az E30 ($p=0,005$) kezelésekben. A második évben a füzek szár részében a D kezeléshez képest az E30 ($p=0,004$), az E60 ($p=0,000$) és a kontroll ($p=0,000$) kezelések szignifikánsan kevesebb P-tartalommal rendelkeztek. A kezelések összehasonlításakor a 2017-es termesztési évben a klónok szármintái a D kezelés kivételével lényegesen kevesebb foszfort tartalmaztak.

Az 'Alföldi 1' szemescirok hibrid szemtermés foszfortartalma 2797 és 3793 mg/kg sz.a. között alakultak a termesztés négy évében. Az első termesztési évben a K30 kezelés szemtermésében mértük a legalacsonyabb P koncentrációt, amely 3190 mg/kg sz.a. volt, ugyanakkor a legmagasabb értékek pedig a C minták esetében figyelhető meg (3793 mg/kg sz.a.). A második termesztési évben a legalacsonyabb P értékeket az E45 (3160 mg/kg sz.a.) kezelésben, míg a legmagasabb foszforkoncentrációt a C (3703 mg/kg sz.a.) mintákban mértük. A 2019-es és 2020-as kísérleti évekből az évenkénti kezelések összehasonlításakor minimális koncentráció csökkenés figyelhető meg. Ugyanakkor 2019-ben az elfolyóvízzel öntözött mintáknál 5-10%-os foszforszint emelkedés detektálható. Az utolsó termesztési év mérési adatai esetében kiemelendő az öntözetlen kontrol minták értékei, ahol a 2016-os évhez képest jelentős, 27%-os (1000 mg/kg sz.a.) P értékcsökkenés figyelhető meg. A kezelések között az utolsó év kivételével szignifikáns különbségeket mértünk. 2016-ban a K30 ($p=0,028$) és az E45 ($p=0,046$) a kezelések szignifikánsan kevesebb foszfort tartalmaztak a legmagasabb értékű C kezeléshez képest. A második termesztési évben az E45 ($p=0,003$), E30 ($p=0,047$) és K45 ($p=0,049$) minták esetében szignifikánsan alacsonyabb értékeket mértünk a C kezeléshez képest. 2019-ben az E30 kezelés foszforértéke bizonyult a legmagasabbnak, ahol szignifikánsan alacsonyabb értékek jelentkeztek a C mintánál ($p=0,045$).

A 'Farmsugro 180' hibridnél az első kísérleti évben alacsonyabb foszfor értékeket mértünk a többi évhez képest. A legalacsonyabb értéket az E45 kezelés (2430 mg/kg sz.a.) érte el legmagasabbat pedig a C kezelés (2987 mg/kg sz.a.). A következő két kísérleti évben az értékek emelkedő tendenciát mutatnak. 2020-ban azonban ismételen P-szint csökkenés figyelhető meg. A 2017-es év kivételével az alkalmazott kezelések között szignifikáns különbségek mutatkoztak. 2016-ban a C kezeléshez képest szignifikánsan alacsonyabb koncentrációt mértünk az E45 ($p=0,004$) mintáknál. 2019-ben a K30 ($p=0,043$) minta szignifikánsan magasabb foszforkoncentrációt tartalmazott a többi kezeléshez képest. Az utolsó termesztési

évben a legmagasabb értékű E45-ös mintához képest szignifikánsan alacsonyabb foszfortartalom jellemezte az E30 ($p=0,048$) kezelést.

A 'GK Emese' hibrid szemtermésének foszforértéke 2540-3950 mg/kg sz.a. között alakult. Az első termesztési évben az E45 (3373 mg/kg sz. a.) kezelés volt a legalacsonyabb, míg a C (3943 mg/kg sz.a.) kezelés rendelkezett a legmagasabb koncentrációval. A mért értékek közötti különbség meghaladta a 600 mg/kg sz.a. tartalmat. A 2017-es év mérési adatait kiegyenlített értékek jellemezték. Az utolsó két kísérleti évben az évenkénti kezelések összehasonlításakor a foszforszint csökkenését figyeltük meg, ahol a K30 kezelésnél volt a legalacsonyabb és az E45 kezelésnél a legmagasabb a P koncentrációja. 2017-ben és 2020-ban nem tudtuk statisztikailag bizonyítani a kezelések közötti különbséget. Ugyanakkor 2016-ban a kezelések összehasonlításakor a legmagasabb P-szinttel rendelkező C kezeléshez képest az E45 ($p=0,015$) és a K30 ($p=0,023$) kezelések szignifikánsan kevesebb foszfort tartalmaztak. Mindemellett 2019-es mérési adatok közül a 45 mm elfolyóvízzel öntözött mintáknál szignifikánsan több foszfortartalmat mértünk.

3.5. A növényi részek káliumtartalma

Az energiafűz klónok növényi részeinek makroelem vizsgálata során a legtöbb K a levelekben koncentráldott. Az adott termesztési évben a kezelések összehasonlítása azt mutatja, hogy a legalacsonyabb K-tartalmat 2015-ben, a legmagasabbat pedig 2017-ben mértük. A levelek esetében az első évben a K-érték 11 880 és 15 465 mg/kg sz.a. között mozgott, míg a második évben a mért elemtartalom 11 445–18 492 mg/kg sz.a. volt. Továbbá az utolsó 2017-es évben 18 187 és 21 627 mg/kg sz.a. közötti értékeket detektáltunk. Kiemelendő, hogy az utolsó két év mérési adatai közül a E15 kezelés levélmintáiban K-szint emelkedés figyelhető meg. A Tukey-féle többszörös összehasonlítás során 2015-ben nem volt jelentős különbség a kezelések között; azonban a vizsgálat második évében a K60 kezelés értékeihez képest az E15 ($p=0,000$), az E60 ($p=0,023$), a D ($p=0,034$) és a K15 ($p=0,010$) levélminták szignifikánsan magasabb K-értékkel rendelkeztek. Mindemellett 2017-ben az E15 ($p=0,013$) szignifikánsan magasabb K szinttel rendelkezett a K30-as minták értékeihez képest. A levélrészekhez hasonlóan a szárrész esetében is ez tendencia figyelhető meg. A 2016-os év adatai közül a szárrészek K szintje magasabb tartományban mozgott, amely során az E15 kezelés elérte a 8640 mg/kg sz.a. értéket. Az első és az utolsó öntözési évben az energiafűz klónok szárrészeinek K-tartalma 4100 és 6400 mg/kg sz.a. között alakult. Az egytényezős varianciaanalízis során a 2015-ös mérési adatok között jelentős eltérés mutatkozott. A D kezeléshez képest a K15-kezelések ($p=0,001$) szignifikánsan magasabb K-tartalommal rendelkeztek. A másik két évben nem volt kimutatható szignifikáns különbség.

Az 'Alföldi 1' hibrid szemtermésének kálium szintje a termesztés első évében 4020-5000 mg/kg sz.a. között alakult, ahol a legalacsonyabb értékkel a

K30 kezelés, a legmagasabbal pedig az E45 minta rendelkezett. 2017-es évben minden kezelésnél csökkent a káliumszint, ahol a kezelések közül az E30 rendelkezett a legalacsonyabb, a C kezelés pedig a legmagasabb K-szinttel. Az évenkénti kezelések összehasonlítása során az utolsó két termesztési év mérési adatai azonos lefutást mutatnak, ahol a 2016-os és 2017-es termesztési évben mért értékekhez képest a K30 kezelésnél 14%-kal magasabb káliumszintet mértünk. Az első két kísérleti évben szignifikáns különbséget jelentkezett a kezelések között. 2016-ban az E45 ($p=0,044$) kezelés szignifikánsan több káliumot tartalmazott, mint a többi. A második kísérleti évben a legmagasabb értékű C kezeléshez képest az E30 ($p=0,016$) szignifikánsan kevesebb K tartalommal rendelkezett.

A 'Farmsugro 180' hibrid esetében is leírható, hogy a kezelések mintáit az első évben magasabb K-szint jellemezte. 2017-ben a káliumszint 3490-3580 mg/kg sz.a. között alakult. A 2019-es és 2020-as minták káliumtartalma kezelésenként igazolható szignifikáns különbséggel rendelkezett. A 2019-es kutatási évben az E30 ($p=0,010$) és az E45 ($p=,021$) kezelések szemtermései szignifikánsan kevesebb K-t tartalmaztak, mint a 4383 mg/kg sz.a. értékkel rendelkező K30 kezelés. Az utolsó termesztési évben az E45 ($p= 0,029$) szignifikánsan kevesebb K-ot akkumulált a legmagasabb értékű K45 (4053 mg/kg sz.a.) kezeléshez képest.

Mint, minden évre jellemző módon a 'GK Emese' esetében is, a termesztés első évében magasabb K szint jelentkezett a mintákban, ami 3843 és 4266 mg/kg sz.a. között alakult. 2017-es év kezeléseinek összehasonlítása során kis mértékű csökkenés figyelhető meg a szemek káliumtartalmában, ahol a legalacsonyabb értékkel a K45 (3403 mg/kg sz.a.) rendelkezett, ezzel ellentétben a legmagasabbal a C (3653 mg/kg sz.a.) kezelés. Az utolsó két termesztési évet egyenletes K szint jellemezte, közel azonos értékekkel, ahol a C kezelés csökkent káliumtartalmat mutatott (3580 és 3560 mg/kg sz.a.). A legmagasabb értékeket mindkét évben az E45 kezelésnél mértük. A 'GK Emese' hibrid szemtermésében mért K-szint értékelése során egyik vizsgált termesztési évben sem volt kimutatható szignifikáns különbség a kezelések között.

3.6. A növényi részek nátriumtartalma

Az energiafűzek esetében az első kísérleti évben a vizsgált növények levélrészében mért Na-tartalom 49-79 mg/kg sz.a. között alakult. A legalacsonyabb értéket a D kezelésnél, míg a legmagasabb értéket az E30 mintánál mértük. A 2016-os és 2017-es termesztési évben hasonló lefutású volt a Na-szint a levélrészekben, ahol a Körös holtág vizével öntözött minták az alacsonyabb értékekkel, a magasabb Na tartalommal pedig az elfolyóvízes öntözés rendelkezett. A második évben a levélrészeken végzett statisztikai elemzés szignifikáns különbséget mutatott a K15 és K60 kezelések között ($p=0,025$). A szárrészek esetében a 2015 év kivételével a legalacsonyabb Na

szintet a K15 kezelésben, míg a legmagasabb értéket az E30 mintákban mértük. A kezelések összehasonlításakor a termesztési évek mérési adatai között a szárrészek Na-tartalma évről-évre növekvő tendenciát mutat, különös tekintettel az elfolyóvízzel öntözött minták esetében. Továbbá figyelemre méltó a 2017-ben mért értékek, ahol az E60 minták Na-tartalma elérte a 114 mg/kg sz.a.-t, ami 137%-kal magasabb, mint 2015-ben. Az első vizsgálati évben az egytényezős varianciaanalízis során az E30 kezelésben mért értékekhez képest az E15, a D és a K15 kezelések szignifikánsan kevesebb ($p < 0,1$) Na-t tartalmaztak. A második vegetációs periódusban szignifikánsan alacsonyabb Na szintet mutattunk ki a K15 és K30 kezelésű szárminták esetében. Ez a lefutás 2017-ben is megfigyelhető volt, ahol a fűz klónok szárrészei szintén a holtág vizével öntözött minták (15, 30, 60 mm-es dózisok) esetében lényegesen kevesebb Na-ot tartalmaztak.

Az 'Alföldi 1' hibrid szemtermésében mért nátriumtartalom évről-évre történő emelkedése figyelhető meg. Az első kísérleti évben jelentkeztek a legalacsonyabb N értékek, ahol 29-34 mg/kg sz.a. között mozogtak. A 2017-es termesztési évben az E30 kezelés esetében minimális (30 mg/kg sz.a.) csökkenés figyelhető meg, azonban még ebben az esetben is meghaladja az első év öntözetlen kontroll mintájánál mért értéket. A 2020-as kísérleti évben minden kezelésnél jelentősebb mennyiségű nátrium lokalizálódott a cirok szemtermésében, ahol az E45 és C kezeléseknél mért Na tartalom meghaladta az 50 mg/kg sz.a. értéket. A kezelések hatását az adott tenyészéven belül hasonlítottam össze, ahol igazolható szignifikáns különbséget nem tapasztaltam.

A 'Farmsugro 180' hibridnél a szemtermés nátriumtartalma magasabb volt, mint az 'Alföldi 1' hibridnél. A termesztés első évében a C kezelésnél volt a legalacsonyabb a mért érték (32 mg/kg sz.a.), míg a K45, E30 és E45 kezeléseknél pedig a legmagasabb (56 mg/kg sz.a.). A következő évet koncentráció növekedés jellemezte. A legalacsonyabb Na érték 63 mg/kg sz.a. volt a K45 kezelésnél, a legmagasabb pedig az öntözetlen kontroll mintákban (73 mg/kg sz.a.). Az előző évekhez képest 2019-ben jelentősebb koncentráció csökkenés (41-49 mg/kg sz.a.) figyelhető meg a mintákban. A 2020-as termesztési évben minden kezelésnél (46 és 54 mg/kg sz.a.) emelkedtek a Na értékek, azonban nem haladták meg az előző két évben mért koncentrációkat. Ugyanakkor a statisztikai kiértékelés során nem mutatkozott szignifikáns különbség.

A szemtermésben mért Na tartalom szintje hasonlóan alakult a 'GK Emese' hibridnél is. 2016-ban minden kezelésnél kiegyensúlyozott nátriumszintet mértünk, ahol a koncentráció nem haladta meg a 26 mg/kg sz.a.-t. A termesztés második évében a Körös holtág vizével öntözött mintáknál magasabb Na szintet jelentkezett (43-52 mg/kg sz.a.). 2019-ben azonban az elfolyóvízzel öntözött minták magasabb értékeket mutattak (53 és 57 mg/kg sz.a.). Mindemellett kiemelendő az utolsó két termesztési évben az E45 kezelésnél mért Na értékek, melyek az öntözetlen kontrollhoz képest 21%-os koncentráció emelkedést mutattak. Ebben az esetben is a statisztikai kiértékelés során a kezelések között nem tapasztaltam szignifikáns különbséget.

3.7. A szemescirok cukortartalmának változása

Az 'Alföldi 1' cirokhibrid cukortartalma 7-11,4 Brix-fok között alakult. A legalacsonyabb K45 kezeléshez képest szignifikánsan magasabb ($p=0,013$) cukortartalom jellemezte a K30-as kezelésben. Az elfolyóvízzel öntözött minták cukortartalma közel azonos értéket adott. A K45 kezelés kivételével, minden kezelés cukortartalma meghaladta a 7,1 Brix-fok értéket.

A 'Farmsugro 180' hibridnél a cukortartalom magasabb volt, mint az 'Alföldi 1' hibrid esetében. A legalacsonyabb cukortartalma az öntözetlen kontroll C kezelésnek volt (9 Brix-fok), a legmagasabb pedig az E30 kezelés esetében, ahol ez az érték 13 Brix-fok körül alakult. A statisztikai kiértékelés során a C kezeléshez képest szignifikánsabb több cukortartalmat eredményeztek a K45 ($p=0,022$) és az E30 ($p=0,007$) kezelések.

A 'GK Emese' cirok hibrid rendelkezett a legmagasabb cukorértékekkel. A legalacsonyabb 10,7 Brix értéket a K30 kezelésnél, amíg a legmagasabbat az E45 kezelésnél (14,1 Brix-fok) mértünk. A K30 kezelés kivételével minden öntözött minta cukortartalma meghaladta az öntözetlen kezelés értékét. Habár a statisztikai kiértékelés során nem mutatkozott szignifikáns különbség a kezelések között. Az szennyvízzel öntözött mintáknál minimálisan magasabb cukorszint érték emelkedést figyeltünk meg.

3.8. Az öntözés hatása a termesztett növények biomassza produktumára

A rövid vágásfordulójú energiafűzek termesztése során a 2015-ös év mérési adata mutatta a legnagyobb biomassza tömeget, ahol a K60 kezelés elérte a 864 g/növény száraz tömeget. Mindhárom kísérleti évben a kontroll növények biomassza produktuma volt a legalacsonyabb. Továbbá a letermelt biomassza tömege évről-évre csökkenő tendenciát mutat. A kísérleti évek kontroll értékeit tekintve ez 56%-os termésnövekedést eredményezett. Ezt a csökkenést a liziméterek fizikai korlátai is okozták. Az 1 m³-es térfogat ugyanis gátolta a két- és a hároméves fűzek gyökernövekedését. Megjelenik az a tendencia is a kontroll értékekhez viszonyítva, hogy az öntözés pozitív hatással volt a biomasszára. A kísérlet során az elfolyóvízzel kezelt növények átlagosan magasabb g/növény száraztömeg értékkel rendelkeztek. 2015-ben 554-734 g/növény, 2016-ban 298-482 g/növény, az utolsó évben pedig 313-447 g/növény száraz tömeget mutatnak vizsgálataink. A Körös holtág vizével öntözött minták esetében a betakarított száraz tömeg alacsonyabb értékekkel rendelkeztek. Az egyes kísérleti években a kezelések közötti különbségeket vizsgálva megállapítható, hogy a kontroll növények biomassza produktumához képest minden öntözött kezelésnél szignifikánsan magasabb ($p = 0,000$) értékek jelentkeztek.

Az 'Alföldi 1' hibrid szemtermésének súlyváltozása az első és a második termesztési évben mért értékei azonos lefutást mutatnak. Mindkét esetben a C kezelés rendelkezett a legkevesebb szemterméssel az elő évben mindössze 82

g/növény, a második évben 104 g/növény értéket mértünk. A 2019-es kísérleti időszakban takarítottuk be a legkevesebb szemtermést, melynek súlya 67-91 g/növény között mozgott. Az utolsó termesztési évben gyarapodott a növényenkénti szemtermés mennyisége, ugyanakkor nem érte el az első két év mértékét. A négy termesztési év közül szignifikánsan a legmagasabb szemtermés értékeket 2016-ban mértünk, ahol az K45 kezelés elérte a 128 g/növény értéket az E30 minták pedig a 138 g/növény súlyt ($p \leq 0,001$).

A kísérlet során a 'Farmsugro 180' hibridnél mértük a legkevesebb növényenkénti szemtermés mennyiséget. 2016-ban a mért értékek mindössze 70-87 g/növény súly között alakultak. A következő két termesztési évben minimális növekedés figyelhető meg, ekkor a kezelések értékei 81-105 g/növény között mozogtak. Az utolsó 2020-as kísérleti évben detektáltuk a legalacsonyabb szemtermést, ahol a K45-ös kezelés mindössze 57 g/növény volt. A vizsgálat során a legmagasabb értéket 2017-ben mértük a K45 (105 g/növény) kezelésnél. Egyik termesztési évben sem volt igazolható a szignifikáns különbség a kezelések között.

Az 'Alföldi 1' fajtához hasonlóan a 'GK Emese'-nél is az első két termesztési évben magasabb szemtermést takarítottunk be. Az első évben kimagasló eredményt hozott a K30 kezelés, ahol a szemtermés mennyisége elérte a 140 g/növény súlyt. A második évben 98 és 112 g/növény értéket mértünk. A 2019-es és a 2020-as termesztési évek évenkénti kezeléseinek összehasonlítása során a csökkenő tendencia a jellemző, ahol a mért értékek 73 és 110 g/növény között alakultak, azonban a különbségek statisztikailag nem alátámaszthatók.

3.9. A talajparaméterek változása az öntözési kísérlet során

A liziméteres energiafűz kísérlet során az öntözővíz minőségének a talaj kicserélhető nátriumtartalmára gyakorolt hatása minden talajmélységben és öntözővíz mennyiségben igazolható (mindamelllett, hogy a 15 mm-es kezelésnél a 40-60 cm-es talajrétegben jelentősebb eltérés mutatkozott). Az elfolyóvíz magasabb nátriumkoncentrációja miatt növekvő nátriumtartalom jellemzi az öntözött talajt, amely kimutathatóan függ az öntözővíz mennyiségétől. Mérésünk alapján a legmagasabb érték a felszíni rétegben az E60 kezelésnél volt $\Delta ESP_{2015-2017}$ (+6,85%). Ez a megfigyelés a Körös holtág öntözővizére is igaz, de a K60 kezelés esetében már negatív a változás, ami azt jelenti, hogy az öntözés hatására csökkent a talaj kicserélhető Na tartalma. A különböző mélységű talajrétegekben mért eredményeket megvizsgálva azt találtuk, hogy az elfolyóvízes öntözés során a nátrium akkumulációja a felszíni rétegekhez képest a mélyebb talajrétegekben halmozódott fel, azonban ez a megállapítás csak az E30 kezelés $\Delta ESP_{2015-2017}$ értéke 0–20 cm és 40–60 cm-es ($n=3$, $p=0,041$, független t-próba) talajrétegek esetében igazolható. Az öntözővíz javításának eredményeként minden talajmélységben sikerült csökkenteni a talaj Na-tartalmának emelkedését. Az elfolyóvíz nitrogéntartalmának megfelelően a talaj

felvehető nitrogéntartalma a Körös holtág vizével öntözött mintákhoz képest minden elfolyóvízzel öntözött minta esetében magasabbnak bizonyult. A 30 és 60 mm-es öntözővízzel végzett kezeléseknél statisztikailag igazoltuk a N értékek közötti különbséget. A hígított kezelést (7,52 mg/kg) összehasonlítva a Körös holtág vizével (2,96 mg/kg) magasabb felvehető nitrogén értékeket mutattunk ki.

A kisparcellás szabadföldi szemescirok öntözési kísérlete során a talaj kémiai paramétereit két talajrétegben (0-30 cm és 30-60 cm) vizsgáltuk. A talaj mélyebb rétegeiben (30-60 cm) a nátriumtartalom kivételével nem volt szignifikáns különbség a különböző kezelések között. A felső talajréteg tulajdonságai öt paraméter esetében változtak az öntözés vagy az öntözővíz minősége miatt. A pH-értékek szignifikánsan magasabbak voltak az elfolyóvízzel öntözött mintáknál, mint a K30, K45 és a kontroll kezeléseknél. A legmagasabb EC-értékeket a kontrollban mértük, ahol a kezelések között nem volt szignifikáns különbség. A két makroelem, a foszfor és a kálium tekintetében a C kezelésben mértük a legmagasabb koncentrációkat, amely a P esetében 2300 mg/kg, a K tartalomnál pedig 509 mg/kg érték volt. Mindemellett az E30 és az E45 kezeléseknél kevesebb volt a talajban felvehető mennyiség, mint a Körös holtág vizével öntözött mintáknál. Az AL-Na-tartalom a K45 kezelésben (86,8 mg/kg) volt a legalacsonyabb; az elfolyóvízzel öntözött minták esetében az E45-ös kezelésben (122,9 mg/kg), ahol az érték szignifikánsan magasabb volt, mint a többi kezelésben ($p < 0,01$).

4. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK

Rövid vágásfordulójú energiafűz

Mezőgazdasági eredetű elfolyóvízként egy intenzív afrikai harsanevelő telep szennyvizének öntözéses alkalmazhatóságát vizsgáltam rövid vágásfordulójú energiafűz növényeken a 2015–2017 termesztési években. A mezőgazdasági vízfelhasználás során ideális megoldást nyújthat a vízkészletek megőrzésében, mivel az édesvízi akvakultúra rendszerekből származó tápanyagban gazdag elfolyóvíz használata számos növénykultúránál és ültetvényben alkalmazható (Castro et al., 2006; Miranda et al., 2008). Mindemellett a természetes befogadók szervesanyag terhelése és a termesztés során kijuttatott műtrágya adagok is csökkenthetők (Al-Jaloud et al., 1993). Dhawan és Sehdev (1994) kutatásaikban leírták, hogy a halgazdaságokból származó elfolyóvízzel végzett öntözési kísérletek magasabb terméshozamot generáltak (Dhawan és Sehdev, 1994).

A klorofilltartalom az egyik olyan mutató, amely az ültetvény egészségi állapotáról adhat információt. A tesztnövények lombozatának klorofilltartalom vizsgálata pontosabb képet ad a természetes és az antropogén stresszorok okozta változásokról, mivel ezek befolyásolják a klorofill mennyiségét. A növény nitrogéntartalmának változása a levelek klorofilltartalmában is megmutatkozik. Emiatt lineáris összefüggés figyelhető meg a levelek klorofill és nitrogéntartalma között (Carter, 1994; Yoder és Pettigrew-Crosby, 1995). A vizsgálat során az energiafűzek nitrogéntartalmának változása ($r=0,351$, Pearson-korreláció) a levélzet klorofilltartalom változását okozta. Peng és Gitelson (2011) kutatási eredményeivel összhangban méréseimmel is alátámasztható a lineáris összefüggés a levelek SPAD-értéke és a nitrogéntartalom között (Peng és Gitelson, 2011). Ugyanakkor megállapítható, hogy az öntözővíz minősége is befolyásolta ezt az értéket. Az elfolyóvízzel öntözött növények SPAD értéke meghaladta a Körös holtág vizével öntözött mintákét. Az öntözés három évében a 60 mm elfolyó vízzel öntözött fűzek levelei rendelkeztek a legmagasabb klorofilltartalommal.

A vizsgálat eredménye arra is rávilágít, hogy a fűzfák magassága évről-évre csökkent. Az öntözés ugyanakkor pozitívan befolyásolta a növények növekedését, mivel az utolsó mérés során magasabb értékeket mértünk minden öntözött kezelésnél. 2015-ben a D kezelés növényei elérték a 428 cm-t, 2016-ban szintén a D kezelés növényei rendelkeztek a legmagasabbak értékkel (414 cm), az utolsó termesztési évben pedig az E60 kezelés esetében mértük a legnagyobb magassági adatokat (370 cm). Az átlagos legmagasabb és legalacsonyabb növénymagassági adatokat összevetve 2015-ben 141 cm, 2016-ban 124 cm, 2017-ben 120 cm volt az állományok közötti különbség, ami a biomassa produktumban is megnyilvánult.

Ez a tendencia az energiafűz klónok levélzetének N-szintjén is megfigyelhető. A nitrogénhiány és stressz a levelek klorofilltartalom csökkenését

eredményezik (Evans, 1989; Niinemets és Tenhunen, 1997). Ez a megállapítás a fás szárú növények esetében is megbízható eredményként szolgál (Chang és Robison, 2003; Pinkard et al., 2006). Ugyanakkor a kutatás során az elfolyóvíz nitrogéntöbblete miatt az öntözött növényi részek magasabb N-koncentrációja figyelhető meg.

A magasabb P tartalmú elfolyóvíz negatívan korrelált ($r = -0,579$, Pearson korreláció) a növények P tartalmával. A fűz növényekben a foszfor többnyire a szárban, kisebb mértékben a levélrészben halmozódott fel. A különbség leginkább az öntözővíz mennyiségénél figyelhető meg, ahol a vizsgált növényi részek P tartalma az öntözővíz mennyiségének növekedésével csökkent.

A kálium a növényekben a legnagyobb mennyiségben előforduló kation. A növények nagy mennyiségű káliumot akkumulálnak, és már kis koncentrációjú oldatból is jelentős mennyiséget képesek felvenni. Nagyobb mennyiségben az élénk anyagcserével rendelkező szervek merisztémáiban található. Az idősebb szervek K tartalma csökken. A növények K igénye és K tartalma tehát a vegetációs időszakban változik (Gierth és Mäser, 2007). A fűz klónok növényi részeiben mért K-szintek esetében évről-évre növekvő tendencia figyelhető meg. Ugyanakkor a levélrészekre jellemzőbb a magasabb elemtartalom, melynek okát a Na^+/K^+ aránnyal lehet magyarázni (Freitas et al., 2019).

A nátrium nem aktivál specifikusan sok enzimet, azonban K elemmel helyettesíthető; ekkor már hatása specifikusnak tekinthető (Nieves-Cordones et al., 2016). A C_4 -es növények mikroelem mennyiségű Na-t igényelnek, a C_3 növényekben (energiafűz) pedig nem okoz hiánytűnetet (Maathuis, 2014). A nátrium még az extrém halofiták számára sem esszenciális, mindössze mikroelem mennyiségű felvételt igényelnek a C_4 és a CAM típusú növények. A nátrium toxikussá válik a glikofitonokra, amennyiben jelentős mennyiségben transzlokálódik a csirába (Pethő 2006, Kronzucker et al., 2013). A növények Na-koncentrációjának alakulását szoroson nyomon követtem, mivel az intenzív afrikai harcanevelő telep elfolyóvizével történt öntözés során nagyobb mennyiségű Na került az öntözött területre. Az elfolyóvízzel öntözött fűz klónok esetében a Na-tartalom leginkább a szárrészekben lokalizálódott, amely során évről-évre növekedés figyelhető meg. Kiemelendő a 2017-es termesztési évben az E60 kezelésnél mért Na érték (114 mg/kg sz.a.), amely 50%-kal meghaladta a kontrollban mért értékeket. Ez a mennyiség azonban nem bizonyult toxikusnak az energiafűzek számára.

A szakirodalmi adatoknak megfelelően vizsgálatunk során tapasztaltuk, hogy az öntözés pozitív hatással van az energiafűz biomassza tömegére. Mindkét öntözővíz minőség esetében a biomassza produktum meghaladta a nem öntözött kontroll fűz klónok értékét (Aasamaa et al., 2010; Jerbi et al., 2020). Liziméteres körülmények között a biomassza és az öntözővíz minősége nem korrelál egymással. A biomassza produktumban azonban évről-évre némi csökkenés figyelhető meg. Ez a csökkenés szintén a korlátozott élettérnek köszönhető, mivel a liziméterek 1 m^3 -es edénymérete az évek során limitált méretűnek bizonyult (Oddiraju et al., 1994). A csökkent élettér és rendelkezésre álló vízmennyiség (a

magasabb öntözővíz dózis mellett is) csökkenést eredményezett a biomassa tömegében. Az öntözött energiafüvek biomasszája az első évben 493-864 g/növény száraztömeg, a második évben 226-482 g/növény száraztömeg, a harmadik évben 268-553 g/növény száraztömeg között alakult. Ugyanakkor ezen értékek 170-250%-kal magasabbak, mint a nem öntözött kontroll minták termésátlaga.

Várakozásunknak megfelelően, az elfolyóvízzel öntözött talaj nátrium tartalma mindhárom öntözővízmennyiség mellett emelkedett valamennyi vizsgált talajrétegben. Jahany és Rezapour (2020) hasonló megállapítást tettek, ahol az elfolyóvíz magas nátrium és hidrogén-karbonát koncentrációja a kicserélhető komplexek nátrium felhalmozódását idézte elő (Jahany és Rezapour, 2020). Az öntözésből és az evapotranszpirációs folyamatból származó hidrogén-karbonát növekedés együttes hatásai elősegítik a Ca^{2+} és Mg^{2+} ionok kicsapódását, miközben a jobban oldódó nátrium oldatban marad, amely a kicserélhető nátrium felhalmozódását és az ESP értékek növekedését eredményezte. A talaj nátrium növekedésének mérséklése érdekében az elfolyó vizet a Körös holtág vizével hígítottuk és gipsszel javítottuk. Az eredmények szerint a javított öntözővíz minőségében kisebb volt a nátrium akkumuláció a nyers vízzel összehasonlítva. Megállapításainkkal összhangban (Malash et al., 2005; Shilpi et al., 2018; Yu et al., 2011) a vízjavítás (kalcium tartalmú anyaggal) eredményes megoldást nyújthat az elfolyóvíz öntözési célú alkalmazásakor (Hopkins et al., 2007; Purves, 1985; Sheoran et al., 2021).

A talajban felvehető N-tartalmat pozitívan befolyásolta az elfolyóvíz öntözéses hasznosítása. A halgazdaságból származó víz nitrogénkoncentrációja mellett az öntözés nitrogén mineralizációra gyakorolt hatása is okozhatja az ásványi elemtartalom növekedését (Truu et al., 2009). Mindez elősegíti a mezőgazdasági újrahasznosítást, így az öntözés támogatja a vízvisszatartást és a vízmegőrzést, valamint segít megvédeni a felszíni vizeket a tápanyagterheléstől. A kontroll talajban megfigyelt magas N-tartalom (a Körös holtág vízzel öntözött kezelésekhez képest) egyik oka a csökkent tápanyagfelvétel lehet, amely során korlátozó tényező volt a víz és a fűz gyökereinek előfordulása (Kun et al., 2018). Az elfolyóvíz hígítása a talaj nitrogéntartalmának jelentős növekedését is eredményezte.

Szemescirok

A szemescirok fajták öntözési kísérlete 2016 és 2020 között zajlott. Vizsgálatunk során a magasabb sótartalmú elfolyóvíz öntözés hasonló eredményeket hozott, mint Guimarães et al. (2016) kutatása, ahol leírták, hogy a cirok sikeresen termeszthető jelentősebb sótartalmú elfolyóvíz öntözése mellett (Guimarães et al., 2016).

Sixto et al. (2005) kimutatták, hogy a sótartalom növekedésével a vegetatív fejlődési paraméterek csökkenése figyelhető meg (Sixto et al., 2005). A sóstressznek kitett növényekben a hajtás, a szár és a gyökérfejlődés, a friss és

száraz szár- és gyökértömeg, a levélterület, a levélszám, a relatív klorofilltartalom, valamint termésnövekedés figyelhető meg (Chookhampaeng, 2011; Padilla et al., 2018; Sevengor et al., 2011; Shannon és Grieve, 1998). Mindhárom hibrid esetében a levelek átlagos SPAD értéke alacsonyabb volt az utolsó két termesztési évben. Ugyanakkor a 45 mm elfolyóvízzel öntözött minták szignifikánsan magasabb SPAD értékkel rendelkeztek. Az a következtetés vonható le, hogy a cirok jól hasznosította az elfolyóvíz többlet tápanyagtartalmát, valamint nem alakult ki sóstresszes állapot. A szemtermés nitrogéntartalma és a klorofill érték között pozitív korrelációt ($r = 0,737$, Pearson korreláció) figyeltünk meg a vizsgálat során.

A növénymagasság esetében megállapítható, hogy a legmagasabb növényeket (149-236 cm) az első kísérleti évben mértük, ami elsősorban a maximálisan felvehető vízmennyiséggel (csapadék + öntözés) magyarázható. Ezt követően mindhárom hibridnél (133-181 cm) csökkenés tapasztalható az éves vízmennyiségtől függően, mivel a növénymagasságot elsősorban a csapadék és a hőmérséklet befolyásolja. A kísérletben a 'Farmsugro 180' az első termesztési év során elérte a 180-220 cm-es átlagos magasságától, azonban a vizsgálat többi évében 18-25%-os csökkenés jelentkezett. Az 'Alföldi 1' (140-160 cm), és kiváltképp a 'GK Emese' (130-150 cm) hibrid magassági értékei kiegyenlített lefutást mutattak, ami azt jelenti, hogy jól alkalmazkodtak a kísérleti stressz körülményekhez.

A cirok növények nitrogéntartalmának növekedése egyenesen arányos a magasabb nyersfehérje-tartalommal, ami magasabb tápértékű takarmányt jelenthet az állatok számára. Az alacsonyabb nitrogéntartalom befolyásolja azon növényi folyamatok fiziológiáját, amelyek során a szem makrotápanyag tartalma megváltozik, különös tekintettel a Ca, Mg és S felvételére (Campos et al., 2021). Az első két termesztési évben mindhárom hibrid esetében szignifikánsan magasabb nitrogén tartalmat mértünk a további kísérleti évek értékeihez képest. A kísérlet egyes éveiben a 'GK Emese' hibridnél azt tapasztaltuk, hogy az elfolyóvíz magasabb N tartalma jól hasznosult a szemtermésben.

A vegetációs időszak során jelentős a növények P igénye, kiváltképp a generatív szervek fejlődése során, azonban a vegetatív szervek fejlődéséhez is nélkülözhetetlen. A foszfor a termésképzés esszenciális makroeleme (Malhotra et al., 2018). A nitrogén és a foszfor fiziológiai hatásukat tekintve egymás antagonistái, ahol az N a vegetatív szervek növekedését, míg a foszfor a generatív szervek megjelenését és a termésérést serkenti (Gordon és Whitney, 2000). A foszfor tekintetében nem volt szignifikáns különbség a fajták és az öntözött kezelések között. Az 'Alföldi 1' és 'GK Emese' cirok hibridek viszont – különösen az utolsó két termesztési évben – jobban tudták hasznosítani az elfolyóvíz magasabb P-tartalmát.

A kálium a növekedés elengedhetetlen eleme, és a növényi szervekben az egyik leggyakrabban előforduló kation. Más elemekkel ellentétben, mint például a nitrogén, a foszfor, a magnézium, a kalcium és a kén, a kálium nem épül be a szerves anyagokba. Idővel az idősebb szervek K tartalma csökkenő tendenciát

mutat (Marschner és Marschner, 2012). A kísérletben a cirok növények szemtermése magas, 3500 és 5000 mg/kg sz.a. közötti K szinttel rendelkezett. Ugyanakkor nem volt szignifikáns különbség a fajták között. A Na^+/K^+ arányt tekinthető a növények sótűrő képességének alapjaként, ez az arány a sótartalom növekedésével egyenes arányban növekszik (Chhipa és Lal, 1995). Ahmad et al. (2002) és Iqbal et al. (2006) vizsgálatai szerint a magasabb sótartalmú elfolyóvíz öntözés nem csökkentette a K^+ felhalmozódását a növényi szövetekben (Ahman et al., 2002; Iqbal et al., 2006).

A növények magas sótartalma hiperionos és hiperozmotikus stresszhatásokat, valamint korlátozott növekedést okoz. A nátrium még az extrém sótűrő növények számára sem nélkülözhetetlen, csak kis mennyiségben igénylik a C_4 növények (Pethő, 2006; Rao, 2002; Rout és Shaw, 2001). Ennek köszönhetően a cirok a sóstressz mellett képes megőrizni fotoszintetikus aktivitását és szárazanyag-termelését (Calone et al., 2020). A szemtermés nátriumtartalma a termesztés első évében volt a legalacsonyabb. A fajták nátrium felhalmozódása között különbség mutatkozott, ahol a 'Farmsugro 180' hibridnél magasabb Na-szintet, míg a 'GK Emese' mintáknál alacsonyabb koncentrációt mértük. Az évek között a szemtermés Na szintje emelkedő tendenciát mutatott, azonban ez a három cirokhibrid esetében eltérő mértékű volt. Kiemelendő, hogy a szemtermésben mért 73 mg/kg sz.a. Na érték nem volt toxikus hatással a cirok fejlődésére. Egy vegetációs időszakban – az éves öntözés mennyiségének arányában – a 30 mm-es elfolyóvíz öntözésnél 26-53 g/m² Na-ot, 45 mm-es elfolyóvíz esetén 39-79 g/m² Na-ot juttattunk ki a kísérleti területre.

Mindhárom hibrid esetében kimutatható, hogy az öntözés pozitívan befolyásolta a cukortartalom alakulását. Az öntözetlen mintákhoz képest a felszíni és elfolyóvízzel öntözött minták magasabb Brix értékekkel rendelkeztek. Az elfolyóvízzel öntözött 'Alföldi 1' és a 'Farmsugro 180' fajtáknál a cirok szárrészének cukortartalma szignifikánsan magasabb volt. Ezzel ellentétben El-Kady et al. (2019) kutatásuk során azt tapasztalták, hogy a halnevelőtelep elfolyóvíze főként a vegetatív szövetek fejlődését segítette, magasabb cukorértékeket azonban a felszín alatti öntözővíz használatnál mértek (El-Kady et al., 2019).

Hussein et al. (2010) kimutatták, hogy az öntözővíz magasabb Na-koncentrációja negatív hatással volt a cirok növekedési profiljára (Hussein et al., 2010). A 2017-es évben az öntözővíz mennyisége pozitív korrelációt mutatott ($r=0,026$, Pearson korreláció) mind a zöldtömeg, mind a szemtermés tekintetében, ugyanakkor az utolsó termesztési évben alacsonyabb biomassza értékeket mértünk. A cirok mérsékelten sótűrő növény (Ayers és Westcot, 1985), és 4,5 dS/m EC és 6,8 dS/m talaj sótartalom esetén nem várható termésnövekedés. A talajban mért EC értékek alapján nem bizonyított, hogy a sótartalom felelős a csökkenésért, ezért tovább indokolt a talaj kicserélhető nátrium százalékos arányának részletesebb elemzése. Mindazonáltal minden kezelésnél bekövetkezett a csökkenés, ezért nem lehet teljes bizonyossággal a vízminőséggel összefüggésbe hozni. Kiemelendő például a 'Farmsugro 180' érzékenysége, amely

során az utolsó termesztési évben a Körös holtág vizével öntözött mintáknál a szemtermés értéke mindössze 57-67 g/növény között volt.

Az öntözővíz magas Na^+ és HCO_3^- koncentrációja közismerten felelős a talaj szikesedéséért. A szikes talajokban a Na^+ és H^+ közötti ioncsere a talajoldatban lévő víz disszociációját okozza, ami a NaOH koncentrációjának növekedéséhez vezet és ekkor a talaj pH értéke 10,5 fölé emelkedhet (Sou/Dakouré et al., 2013; Wang et al., 2019). Az elfolyóvízzel öntözött talajok lúgosodásának másik oka lehet a bázikus légzés és a pH közötti negatív kapcsolat (Yang et al., 2020). Az összes karbonát tartalom, az összes szerves széntartalom és a N értékek esetében nem volt szignifikáns különbség a kezelések között.

Eredményeink szerint a nem öntözött kezelésnél a legmagasabb EC értéket a talaj 0-30 cm-es rétegében mértük. Szoros összefüggést találtunk a talaj felszíni rétegben mért EC, P és K tartalma között (Pearson-korrelációs együtthatók 0,824 és 0,823, szig. <0,01), ugyanakkor az mélyebb talajrétegben nem korreláltak az értékek. Feltételezésünk szerint a talaj 0-30 cm mélységében az EC eltérések a felvehető magasabb koncentrációjú tápanyagtartalom (P, K) miatt következtek be.

Az öntözés és a vízminőség hatását a talaj felvehető foszfortartalmára a felszíni talajrétegben igazoltuk, ahol a legalacsonyabb átlagos P tartalmat az E30 és az E45 kezelésekben mértük. Feltételezésünk szerint a talaj aggregátumok felbomlása a talaj szikesedése miatt következik be, melynek során a felszabadult kolloid méretű agyagszemcsék jelentős szerepet játszottak a P-fixálásban. Ugyanakkor feltételezésünk bizonyításához további vizsgálatok elvégzése szükséges. Arienzo et al. (2009) vizsgálatukban kimutatták, hogy a kálium elérhetőségét erősen befolyásolja az újrahasznosított víz pH szintje, valamint a befogadó talaj pH-ja (Arienzo et al., 2009). Optimális esetben a kálium elérhetősége a legtöbb növény számára semleges vagy enyhén savas talajban fenntartható. Kutatásunkban a Körös holtág vizével öntözött talaj pH szintje szignifikánsan alacsonyabb volt, mint az elfolyóvízzel öntözött mintákban.

A savas extrahálószer, az ammónium-laktát (AL, pH=3,7) oldatot, Egner et al. (1960) vezették be, ami Európában általánosan használatos (Egner et al., 1960). Amennyiben a talajt AL extrakciós oldattal kezeljük, az oldható anyag részben feloldódással, részben ioncserével kerül az oldatba, és az AL extrakciós oldat a karbonátokat is lebonthatja. Az elfolyóvízzel öntözött talajok magasabb nátriumkoncentrációja szikesedési folyamatok beindulását jelzi.

5. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

Kutatásom elsődleges célkitűzése volt egy szarvasi telephellyel rendelkező intenzív üzemű afrikai harcsanevelő telep termálvíz eredetű elfolyóvizének növénytermesztési célú öntözéses hasznosítása. Két eltérő gazdasági jelentőségű kultúrában alkalmaztuk az elfolyóvíz öntözést, amely során figyelemmel kísértem a növények fiziológiai, fenológiai paramétereiben bekövetkezett változásokat, valamint a köztermesztésben is hasznosított biomassza és szemtermés makroelem tartalmának alakulását, valamint a nátrium esetleges akkumulációját. Az előbbiekben felsorolt paraméterek és a talaj kémiai összetételében bekövetkezett változások mentén javaslatot tettem az elfolyóvíz hatékony felhasználásának módjára. Az összehasonlítás alapja mind az energiafűz, mind pedig a szemescirok esetében az elfolyóvízzel azonos öntözővíz dózis mellett a Körös holtág felszíni vize, továbbá egy öntözetlen kontroll beállítása volt. Ezek alapján az alábbi új tudományos eredményeket fogalmaztam meg:

1. A rövid vágásfordulójú energiafűz öntözési kísérlet során bizonyítottam, hogy a Körös holtág vizével öntözött mintákhoz képest a heti 60 mm elfolyóvíz öntözés a klónok növényi részeiben 13%-kal magasabb relatív klorofilltartalmat eredményezett. Ez annak köszönhető, hogy a magasabb tápanyagtartalommal rendelkező elfolyóvizet a fűz eredményesen hasznosította és építette be a növényi szövetekbe.
2. Igazoltam, hogy az elfolyóvíz öntözés nem gátolta sem az energiafűz, sem pedig a szemescirok növénymagasságának alakulását. Különös tekintettel az energiafűz utolsó termesztési évében, ahol a 60 mm heti elfolyóvíz dózissal (Σ 540 mm) öntözött egyedek nőttek a legmagasabbra, ami 43%-al meghaladta az öntözetlen kontroll minták értékét.
3. Bizonyítottam, hogy mindkét növénykultúra esetében az elfolyóvízzel öntözött növények (10-25%-kal) több nitrogént akkumuláltak növényi részeikben, szöveikben, mint a Körös holtág felszíni vizével öntözött minták. Az energiafűz esetében a heti 30 mm elfolyóvízzel öntözött kezelések levél- és szárrészek nitrogéntartalma 25%-kal meghaladta a felszíni vízzel öntözött minták értékét. A vizsgált szemescirok hibridek közül a heti 45 mm elfolyóvízzel öntözött 'GK Emese' 10%-kal több nitrogént lokalizált a szemtermésébe, mint a felszíni vízzel öntözött kezelések.
4. Az energiafűz termesztése során bizonyítottam, hogy a szárrészek foszfortartalma az öntözővíz mennyiségének növelésével csökkenő tendenciát mutat. A heti 30 mm öntözéshez képest a heti 60 mm-es kezelésnél az első termesztési évben 13%-kal, a második évben 18%-kal, a harmadik évben pedig 12%-kal csökkent a szárrészek foszfortartalma.
5. Igazoltam, hogy a szemescirok fajtákban az elfolyóvízzel kijuttatott Na (heti 30 mm: 26-53 g/m², heti 45 mm: 39-79 g/m²) nem okozott káliumszint csökkenést a szemtermésben. Továbbá bizonyítottam, hogy az energiafűz

évről-évre növekvő mennyiségű káliumot akkumulál növényi részeibe (levélrész esetében átlagosan 36%-ot, a szárrésznél pedig 42%-ot).

6. Mindkét kultúra esetében igazoltam, hogy egy vegetációs idő alatt az elfolyóvízzel kijuttatott Na mennyiség (15 mm: 19-46 g/m², 30 mm: 26-53 g/m², 45 mm: 39-79 g/m², 60 mm: 79-186 g/m²) mellett a növényi minták elemtartalmában növekedés figyelhető meg. Az energiafűz esetében a szárrész lokalizált több nátriumot, melynek értéke 114 mg/kg sz.a., amely az öntözetlen kontroll értékeket 50%-kal meghaladta. A szemescirok fajtáknál is Na akkumuláció figyelhető meg a szemtermésben, különösképp a 'Farmsugro 180' hibridnél, mely érzékenyebben reagált a magasabb sótartalmú vízre, ahol a szemtermés Na értéke elérte a 68 mg/kg sz.a.-t, ami a Körös holtág vizével öntözött mintákhoz képest 7%-os növekedést eredményezett.
7. Az utolsó termesztési év vizsgálatai alapján bizonyítottam, hogy az öntözés az 'Alföldi1' és a 'Farmsugro 180' hibridek esetében növelte a cirok szárrészének cukortartalmát az öntözetlen kezelésekhez képest. Mindemellett a 'Farmsugro180' hibridnél az elfolyóvízzel öntözött minták rendelkeztek a legmagasabb Brix (13%) fokkal.
8. Megállapítottam, hogy az elfolyóvíz öntözés pozitív hatással van az energiafűz biomassa mennyiségére. A magasabb nátrium tartalommal (222 mg/L) rendelkező termálvízeredetű elfolyóvíz nem okozott termésdepressziót, valamint a nem öntözött kontroll értékekhez viszonyítva ugyan olyan hatékonynak bizonyult, mint a Körös holtág vizével öntözött kezelések, ahol a 60 mm elfolyóvízzel öntözött minták esetében a biomassa produktum átlagosan 230%-kal meghaladta a kontroll fűz klónok értékét, amely növényenként 253 g többlet száraz biomaszátömeget eredményezett.
9. Megállapítottam, hogy a vizsgált talajszintekben az öntözetlen és a Körös holtág vizével öntözött kezelésekhez képest az elfolyóvíz öntözés esetén minimális Na felhalmozódás (átlagosan 36 mg/kg AL-Na többlet) figyelhető meg, amely azonban hosszú távon a talaj szikesedéséhez vezethet. A jövőben emiatt indokoltá válik a talaj fizikai-, kémiai- és biológiai változásainak nyomon követése.

6. Irodalomjegyzék

- Aasamaa, K., Heinsoo, K., Holm, B., 2010. Biomass production, water use and photosynthesis of *Salix* clones grown in a wastewater purification system. *Biomass and Bioenergy* 34, 897–905. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2010.01.035>
- Ahman, S., Islam Khan, N., Iqbal, M.Z., Hussain, A., Hassan, M., 2002. Salt Tolerance of Cotton (*Gossypium hirsutum* L.). *Asian J. of Plant Sciences* 1, 715–719. <https://doi.org/10.3923/ajps.2002.715.719>
- Al-Jaloud, A.A., Hussain, G., Alsadon, A.A., Siddiqui, A.Q., Al-Najada, A., 1993. Use of aquaculture effluent as a supplemental source of nitrogen fertilizer to wheat crop. *Arid Soil Research and Rehabilitation* 7, 233–241. <https://doi.org/10.1080/15324989309381353>
- Arienzo, M., Christen, E.W., Quayle, W., Kumar, A., 2009. A review of the fate of potassium in the soil–plant system after land application of wastewaters. *Journal of Hazardous Materials* 164, 415–422. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.08.095>
- Ayers, R.S., Westcot, D.W., 1985. Water quality for agriculture, FAO irrigation and drainage paper. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- Calone, R., Sanoubar, R., Lambertini, C., Speranza, M., Vittori Antisari, L., Vianello, G., Barbanti, L., 2020. Salt Tolerance and Na Allocation in *Sorghum bicolor* under Variable Soil and Water Salinity. *Plants* 9, 561. <https://doi.org/10.3390/plants9050561>
- Campos, F.S., Araújo, G.G.L., Simões, W.L., Gois, G.C., Machado Guimarães, M.J., da Silva, T.G.F., Rodrigues Magalhães, A.L., Oliveira, G.F., de Almeida Araujo, C., Silva, T.S., Macedo, A. de, 2021. Mineral and Fermentative Profile of Forage *Sorghum* Irrigated with Brackish Water. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 52, 1353–1362. <https://doi.org/10.1080/00103624.2021.1885682>
- Carter, G.A., 1994. Ratios of leaf reflectances in narrow wavebands as indicators of plant stress. *International Journal of Remote Sensing* 15, 697–703. <https://doi.org/10.1080/01431169408954109>
- Castro, R.S., Borges Azevedo, C.M.S., Bezerra-Neto, F., 2006. Increasing cherry tomato yield using fish effluent as irrigation water in Northeast Brazil. *Scientia Horticulturae* 110, 44–50. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2006.06.006>
- Chang, S.X., Robison, D.J., 2003. Nondestructive and rapid estimation of hardwood foliar nitrogen status using the SPAD-502 chlorophyll meter. *Forest Ecology and Management* 181, 331–338. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(03\)00004-5](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(03)00004-5)
- Chhipa, B., Lal, P., 1995. Na/K ratios as the basis of salt tolerance in wheat. *Aust. J. Agric. Res.* 46, 533. <https://doi.org/10.1071/AR9950533>
- Chookhampaeng, S., 2011. The effect of salt stress on growth, chlorophyll content proline content and antioxidative enzymes of pepper (*Capsicum Annum* L.) seedling. *European Journal of Scientific Research* 103–109.
- Dhawan, A., Sehdev, R.S., 1994. Present status and scope of integrated fish farming in the north-west plains of India. CRC Press, Boca Raton. New York.
- Egner, H., Riem, H., Domingo, W., 1960. Untersuchungen über die chemische Bodenanalyse als Grundlage für die Beurteilung des Nährstoffzustandes der Böden. II. Chemische Extraktionsmethoden zur Phosphor und Kaliumbestimmung. *Kunigliga Lantbrukshögskolans Annaler* 199–215.

- El-Kady, M.S., Helmy, S.A.M., El-Zeny, Maha.M., 2019. The Influence of Gibberellic Acid and Different Irrigation Resources on Morphological, Quality and Yield Parameters of some Sweet Sorghum Varieties in New Reclaimed Area. *Alexandria Science Exchange Journal* 40, 585–598. <https://doi.org/10.21608/asejaiqjsae.2019.62605>
- Evans, J.R., 1989. Photosynthesis and nitrogen relationships in leaves of C3 plants. *Oecologia* 78, 9–19. <https://doi.org/10.1007/BF00377192>
- Freitas, W.E. de S., Oliveira, A.B. de, Mesquita, R.O., Carvalho, H.H. de, Prisco, J.T., Gomes-Filho, E., 2019. Sulfur-induced salinity tolerance in lettuce is due to a better P and K uptake, lower Na/K ratio and an efficient antioxidative defense system. *Scientia Horticulturae* 257, 108764. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108764>
- Gierth, M., Mäser, P., 2007. Potassium transporters in plants - Involvement in K⁺ acquisition, redistribution and homeostasis. *FEBS Letters* 581, 2348–2356. <https://doi.org/10.1016/j.febslet.2007.03.035>
- Gordon, W.B., Whitney, D.A., 2000. Effects of phosphorus application method and rate on furrow-irrigated ridge-tilled grain sorghum. *Journal of Plant Nutrition* 23, 23–34. <https://doi.org/10.1080/01904160009381994>
- Guimarães, M.J.M., Simões, W.L., Tabosa, J.N., Santos, J.E. dos, Willadino, L., 2016. Cultivation of forage sorghum varieties irrigated with saline effluent from fish-farming under semiarid conditions. *Rev. bras. eng. agríc. ambient.* 20, 461–465. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v20n5p461-465>
- Hopkins, B.G., Horneck, D.A., Stevens, R.G., Ellsworth, J.W., Sullivan, D.M., 2007. Managing Irrigation Water Quality for Crop Production in the Pacific Northwest. Oregon State University Extension Service: Corvallis, OR, USA.
- Hussein, M.M., Abdel-Kader, A.A., Kady, K.A., Youssef, R.A., Alva, A.K., 2010. Sorghum Response to Foliar Application of Phosphorus and Potassium with Saline Water Irrigation. *Journal of Crop Improvement* 24, 324–336. <https://doi.org/10.1080/15427528.2010.499042>
- Iqbal, N., Ashraf, M.Y., Javed, F., Martinez, V., Ahmad, K., 2006. Nitrate Reduction and Nutrient Accumulation in Wheat Grown in Soil Salinized with Four Different Salts. *Journal of Plant Nutrition* 29, 409–421. <https://doi.org/10.1080/01904160500524852>
- Jahany, M., Rezapour, S., 2020. Assessment of the quality indices of soils irrigated with treated wastewater in a calcareous semi-arid environment. *Ecological Indicators* 109, 105800. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105800>
- Jerbi, A., Brereton, N.J.B., Sas, E., Amiot, S., Lachapelle-T., X., Comeau, Y., Pitre, F.E., Labrecque, M., 2020. High biomass yield increases in a primary effluent wastewater phytofiltration are associated to altered leaf morphology and stomatal size in *Salix miyabeana*. *Science of The Total Environment* 738, 139728. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139728>
- Kronzucker, H.J., Coskun, D., Schulze, L.M., Wong, J.R., Britto, D.T., 2013. Sodium as nutrient and toxicant. *Plant and Soil* 369, 1–23.
- Kun, Á., Bozán, C., Oncsik Bíróné, M., Barta, K., 2018. Calculation nitrogen and sodium budget from lysimeter-grown short-rotation willow coppice experiment. *Columella* 5, 43–51. <https://doi.org/10.18380/SZIE.COLUM.2018.5.2.43>

- Maathuis, F.J.M., 2014. Sodium in plants: perception, signalling, and regulation of sodium fluxes. *Journal of Experimental Botany* 65, 849–858. <https://doi.org/10.1093/jxb/ert326>
- Malash, N., Flowers, T.J., Ragab, R., 2005. Effect of irrigation systems and water management practices using saline and non-saline water on tomato production. *Agricultural Water Management* 78, 25–38. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2005.04.016>
- Malhotra, H., Vandana, Sharma, S., Pandey, R., 2018. Phosphorus Nutrition: Plant Growth in Response to Deficiency and Excess, in: Hasanuzzaman, M., Fujita, M., Oku, H., Nahar, K., Hawrylak-Nowak, B. (Eds.), *Plant Nutrients and Abiotic Stress Tolerance*. Springer Singapore, Singapore, pp. 171–190. https://doi.org/10.1007/978-981-10-9044-8_7
- Marschner, H., Marschner, P. (Eds.), 2012. *Marschner's mineral nutrition of higher plants*, 3rd ed. ed. Elsevier/Academic Press, London ; Waltham, MA.
- Miranda, F.R., Lima, R.N., Crisóstomo, L.A., Santana, M.G.S., 2008. Reuse of inland low-salinity shrimp farm effluent for melon irrigation. *Aquacultural Engineering* 39, 1–5. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2008.04.001>
- Nieves-Cordones, M., Al Shiblawi, F.R., Sentenac, H., 2016. Roles and Transport of Sodium and Potassium in Plants, in: Sigel, A., Sigel, H., Sigel, R.K.O. (Eds.), *The Alkali Metal Ions: Their Role for Life, Metal Ions in Life Sciences*. Springer International Publishing, Cham, pp. 291–324. https://doi.org/10.1007/978-3-319-21756-7_9
- Niinemet, U., Tenhunen, J.D., 1997. A model separating leaf structural and physiological effects on carbon gain along light gradients for the shade-tolerant species *Acer saccharum*. *Plant Cell Environ* 20, 845–866. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3040.1997.d01-133.x>
- Oddiraju, V.G., Beyl, C.A., Barker, P.A., Stutte, G.W., 1994. Container Size Alters Root Growth of Western Black Cherry as Measured via Image Analysis. *HortSci* 29, 910–913. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.29.8.910>
- Padilla, F.M., de Souza, R., Peña-Fleitas, M.T., Gallardo, M., Giménez, C., Thompson, R.B., 2018. Different Responses of Various Chlorophyll Meters to Increasing Nitrogen Supply in Sweet Pepper. *Front. Plant Sci.* 9, 1752. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01752>
- Peng, Y., Gitelson, A.A., 2011. Application of chlorophyll-related vegetation indices for remote estimation of maize productivity. *Agricultural and Forest Meteorology* 151, 1267–1276. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2011.05.005>
- Pethő, M., 2006. *Mezőgazdasági növények élettana*, 2., átdolg. kiad., változatlan utánn. ed. Akadémiai, Budapest.
- Pinkard, E.A., Patel, V., Mohammed, C., 2006. Chlorophyll and nitrogen determination for plantation-grown *Eucalyptus nitens* and *E. globulus* using a non-destructive meter. *Forest Ecology and Management* 223, 211–217. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2005.11.003>
- Purves, D., 1985. *Trace-element contamination of the environment*, 2nd ed. ed. Elsevier, Amsterdam.
- Rao, D.L.N., 2002. The Effects of Salinity and Sodicity upon Nodulation and Nitrogen Fixation in Chickpea (*Cicer arietinum*). *Annals of Botany* 89, 563–570. <https://doi.org/10.1093/aob/mcf097>

- Rout, N.P., Shaw, B.P., 2001. Salt tolerance in aquatic macrophytes: possible involvement of the antioxidative enzymes. *Plant Science* 160, 415–423. [https://doi.org/10.1016/S0168-9452\(00\)00406-4](https://doi.org/10.1016/S0168-9452(00)00406-4)
- Sevengor, S., Yasar, F., Kusvuran, S., Ellialtioglu, S., 2011. The effect of salt stress on growth, chlorophyll content, lipid peroxidation and antioxidative enzymes of pumpkin seedling. *African Journal of Agricultural Research* 6, 4920–4924. <https://doi.org/10.5897/AJAR11.668>
- Shannon, M.C., Grieve, C.M., 1998. Tolerance of vegetable crops to salinity. *Scientia Horticulturae* 78, 5–38. [https://doi.org/10.1016/S0304-4238\(98\)00189-7](https://doi.org/10.1016/S0304-4238(98)00189-7)
- Sheoran, P., Basak, N., Kumar, A., Yadav, R.K., Singh, R., Sharma, R., Kumar, S., Singh, R.K., Sharma, P.C., 2021. Ameliorants and salt tolerant varieties improve rice-wheat production in soils undergoing sodification with alkali water irrigation in Indo-Gangetic Plains of India. *Agricultural Water Management* 243, 106492. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106492>
- Shilpi, S., Seshadri, B., Sarkar, B., Bolan, N., Lamb, D., Naidu, R., 2018. Comparative values of various wastewater streams as a soil nutrient source. *Chemosphere* 192, 272–281. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.10.118>
- Sixto, H., Grau, J.M., Alba, N., Alía, R., 2005. Response to sodium chloride in different species and clones of genus *Populus* L. *Forestry* 74, 93–104. <https://doi.org/10.1093/forestry/cpi009>
- Sou/Dakouré, M.Y., Mermoud, A., Yacouba, H., Boivin, P., 2013. Impacts of irrigation with industrial treated wastewater on soil properties. *Geoderma* 200–201, 31–39. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2013.02.008>
- Sváb, J., 1981. *Biometriai módszerek a kutatásban*. Mezőgazdasági Kiadó.
- Truu, M., Truu, J., Heinsoo, K., 2009. Changes in soil microbial community under willow coppice: The effect of irrigation with secondary-treated municipal wastewater. *Ecological Engineering* 35, 1011–1020. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2008.08.010>
- Wang, M., Chen, S., Chen, L., Wang, D., Zhao, C., 2019. The responses of a soil bacterial community under saline stress are associated with Cd availability in long-term wastewater-irrigated field soil. *Chemosphere* 236, 124372. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.124372>
- Yang, C., Wang, X., Miao, F., Li, Z., Tang, W., Sun, J., 2020. Assessing the effect of soil salinization on soil microbial respiration and diversities under incubation conditions. *Applied Soil Ecology* 155, 103671. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2020.103671>
- Yoder, B.J., Pettigrew-Crosby, R.E., 1995. Predicting nitrogen and chlorophyll content and concentrations from reflectance spectra (400–2500 nm) at leaf and canopy scales. *Remote Sensing of Environment* 53, 199–211. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(95\)00135-N](https://doi.org/10.1016/0034-4257(95)00135-N)
- Yu, Y., Wen, B., Yang, Y., Lu, Z.H., 2011. The Effects of Treated Wastewater Irrigation on Soil Health. *AMR* 393–395, 1545–1549. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.393-395.1545>
- Zsembeli, J., Kovács, G., Deák, D., 2013. Water use efficiency of energy willows determined in weighing lysimeters. *15. Gumpensteiner Lysimetertagung* 181–184.

7. A JELÖLT AZ ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉHEZ KAPCSOLÓDÓ PUBLIKÁCIÓI

Tudományos közlemények

Kolozsvári, Ildikó, Kun, Ágnes, Jancsó Mihály, Palágyi, Andrea, Bozán, Csaba, Gyuricza, Csaba. (2022) Agronomic Performance of Grain Sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) Cultivars under Intensive Fish Farm Effluent Irrigation. *AGRONOMY* 12 : 5 p. 1185 – IF: 3,7

Kolozsvári, Ildikó, Kun, Ágnes, Jancsó Mihály, Bakti, Beatrix, Bozán, Csa., Gyuricza, Cs. (2021) Utilization of Fish Farm Effluent for Irrigation Short Rotation Willow (*Salix alba* L.) under Lysimeter Conditions. *FORESTS* 12 : 4 Paper: 457 , 18 p. – IF: 2,9

Kolozsvári, Ildikó ; Kun, Ágnes ; Jancsó, Mihály ; Bozán, Csaba ; Gyuricza, Csaba (2022): Macro-, mesoelement and sodium content of plant parts of energy willows irrigated with effluent water of agricultural origin. *COLUMELLA: Journal of agricultural and environmental sciences* 9 : 2 pp. 91-99. , 9 p.

Kolozsvári, Ildikó ; Kun, Ágnes ; Jancsó, Mihály ; Bíróné, Oncsik Mária ; Bozán, Csaba ; Gyuricza, Csaba. (2021) Silócirok (*Sorghum bicolor* L. Moench) öntözéses termesztési lehetőségeinek lizimetriai vizsgálata egy intenzív halnevelő telep lefolyóvizével. *NÖVÉNYTERMELÉS* 70 : 1 pp. 81-104. , 24 p.

Rafael, Ildikó ; Kun, Ágnes ; Végh, K. Ágnes ; Csiha, Imre ; Bozán, Csaba (2015) Intensive fish farm effluent for wastewater irrigation on energy crop production. *NÖVÉNYTERMELÉS Supplement* pp. 179-182. , 4 p.

Konferencia részvétel

Kolozsvári, Ildikó ; Kun, Ágnes ; Gyuricza, Csaba. (2023) Halnevelő telep elfolyóvizével öntözött silócirok állomány cukortartalmának alakulása. *HALÁSZATFEJLESZTÉS* 40 pp. 139-144., 6 p.

Kolozsvári, Ildikó ; Kun, Ágnes ; Gyuricza, Csaba. (2023) Alternatív öntözővízként hasznosított halnevelő telep elfolyóvizének hatása a szemescirok makroelem tartalmára. *HALÁSZATFEJLESZTÉS* 40 pp. 131-138., 8 p.

Kolozsvári, Ildikó ; Kun, Ágnes ; Valkovszki, Noémi Júlia ; Jancsó, Mihály ; Bozán, Csaba ; Gyuricza, Csaba. (2023) Szennyvízöntözés hatása a szemescirok fajták cukortartalmának alakulására. In: Karsai, Ildikó; Pauk, János; Veisz, Ottó; Polgár, Zsolt; Bóna, Lajos (szerk.) XXIX. Növénynevelési Tudományos Napok: Összefoglaló kötet. Martonvásár, Magyarország: MTA Agrártudományi Kutatóközpont (2023) 158 p. pp. 68-71. , 4 p.

Kolozsvári, Ildikó ; Kun, Ágnes ; Bakti, Beatrix ; Jancsó, Mihály ; Bozán, Csaba ; Gyuricza, Csaba. (2022) Intenzív üzemű halnevelőtelep elfolyóvizével öntözött energiafűz állomány növényi részeinek N, P, K és Na tartalom meghatározása lizimetriai körülmények között. HALÁSZATFEJLESZTÉS 39 pp. 147-151. , 5 p.

Kolozsvári, Ildikó ; Kun, Ágnes ; Bozán, Csaba ; Gyuricza, Csaba. (2022) Afrikai harcsanevelő telep elfolyóvizével öntözött szemescirok fajták fenológiai paramétereinek alakulása. HALÁSZATFEJLESZTÉS 39 pp. 152-156. , 5 p.

Kolozsvári, Ildikó ; Kun, Ágnes ; Jancsó, Mihály ; Bozán, Csaba ; Gyuricza, Csaba. (2021) Afrikai harcsanevelő-telep elfolyóvizével öntözött energiafűz növények fenológiai paramétereinek és biomassza produktuma. HALÁSZATFEJLESZTÉS 38 : 1 pp. 80-83. , 4 p.

Kolozsvári, Ildikó ; Kun, Ágnes ; Jancsó, Mihály ; Bakti, Beatrix ; Valkovszki, Noémi Júlia ; Bíróné, Oncsik Mária ; Bozán, Csaba ; Gyuricza, Csaba. (2022) Intenzív üzemű halnevelő telep el folyóvizével öntözött energiafűz ültetvény növényi részeinek makroelem és nátrium tartalma. In: Polgár, Zsolt; Karsai, Ildikó; Bóna, Lajos; Matuz, János; Taller, János (szerk.)XXVIII. Növénynevelési Tudományos Napok : Összefoglaló kötet. Keszthely, Magyarország : Magyar Növénynevelők Egyesülete p. 106 , 1 p.

Kolozsvári, I. ; Kun, Á. ; Bakti, B. ; Valkovszki, N.J. ; Jancsó, M. ; Bozán, Cs. ; Gyuricza, Cs. (2021) Macroelement and sodium analysis of willow (*Salix alba* L.) irrigated with effluent water of agricultural origin. In: Kiss, Orsolya (szerk.)18th Wellmann International Scientific Conference : Book of Abstracts. Hódmezővásárhely, Magyarország : University of Szeged Faculty of Agriculture 84 p. pp. 48-48. , 1 p.

Kun, Ágnes ; **Kolozsvári, Ildikó ;** Bozán, Csaba ; Végh, K. Ágnes ; Barta, Károly. (2016) Irrigation with intensive fish farm effluents – changes of the electric conductivity of soil and the Na content of energy plant. NÖVÉNYTERMELEK 1 : 65 p. 1

Kun, Ágnes ; **Kolozsvári, Ildikó** ; Bozán, Csaba ; Bíróné, Oncsik Mária ; Barta, Károly. (2016) Kísérleti fás szárú energiaültetvények talajtani jellemzése szennyvízöntözés hatására . Magyar Öntözési Egyesület “Kutatások a mezőgazdasági vízgazdálkodás fejlesztéséért” előadó ülés, éves közgyűlés. Szarvas, Megjelenés: Magyarország,

Kun, Ágnes ; **Kolozsvári, Ildikó** ; Bozán, Csaba ; Bíróné, Oncsik Mária ; Barta, Károly. (2016) Kísérleti fásszárú energiaültetvények talajtani jellemzése szennyvízöntözés hatására. In: Erdeiné, Késmárki-Gally Szilvia; Szabó, A K; Ölvedi-Vázsonyi, Melinda; Várallyay, Éva (szerk.)Kutatói utánpótlást elősegítő program I. szakmai konferenciája : Publikációk Gödöllő, Magyarország : Nemzeti Agrárkutatási és Innovációs Központ (NAIK) 148 p. pp. 48-52. , 5 p.

