



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

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

TARTALOMJEGYZÉK

TARTALOMJEGYZÉK	3
1. BEVEZETÉS	6
2. CÉLKITŰZÉSEK	8
3. IRODALMI ÁTTEKINTÉS	9
3.1. Az öntözés összefüggései a globális vízhiány és a változó éghajlat tükrében	9
3.1.1. Az öntözés helyzete a világban	9
3.1.2. Az öntözés helyzete Magyarországon	11
3.1.2.1. Az öntözött terület nagysága, vízfelhasználása	12
3.2. A növények vízigénye és a tápanyagellátás kapcsolata az öntözés tükrében	14
3.3. Alternatív vízforrások öntözési célú felhasználása	16
3.3.1. A szennyvízöntözés helyzete, jogi háttere	17
3.3.2. A szennyvizek minőségi jellemzői és egészségügyi előírásai	18
3.3.3. A talaj és a szennyvíz kapcsolata	19
3.3.4. Szennyvízzel öntözhető növények	20
3.4. Mikroöntözés	21
3.4.1. Csepegtető-rendszeres öntözési mód	24
3.4.2. Mikroszórófejes öntözési mód	25
3.5. Az energiafűz, mint megújuló energiaforrás	26
3.5.1. A fehér fűz rendszertana, származása, morfológiája és biológiai tulajdonságai	27
3.5.2. A fehér fűz ökológiai igénye	29
3.6. A cirok, mint a jövő alternatív takarmány és gabona növénye	30
3.6.1. A cirok rendszertana, származása, morfológiája, biológiai tulajdonságai	31
3.6.2. A cirok ökológiai igénye	34
3.7. Összefoglaló megállapítások a felhasznált szakirodalom alapján	35
4. ANYAG ÉS MÓDSZER	38
4.1. A kísérleti terület bemutatása	38
4.2. A termesztőközeg jellemzése	39
4.3. A kísérlet során használt növényanyag bemutatása	41
4.4. Az öntözővizek kémiai paraméterei	43
4.5. A kísérlet elrendezése	46
4.5.1. Liziméteres vizsgálatok	46
4.5.2. Szabadföldi vizsgálatok	50
4.6. A vizsgálatok módszerei és eszközei	51
4.6.1. Fenológiai és növényfiziológiai mérések	51
4.6.2. A növényi részek makroelem és nátrium meghatározása	52

4.6.3. A szemescirok cukortartalmának meghatározása	53
4.6.4. Biomassza produktum meghatározása	53
4.7. Statisztikai értékelés	53
5. EREDMÉNYEK	55
5.1. Rövid vágásfordulójú energiafűzök öntözéses termesztésének tapasztalatai liziméteres körülmények között	55
5.1.1. Az öntözés hatása az energiafűz klorofilltartalom változására és fenológiai paraméterére.....	55
5.1.1.1. Relatív klorofilltartalom változása.....	55
5.1.1.2. A tesztnövények növekedése a tenyészidőszak során	57
5.1.2. Az öntözés hatása az energiafűz növényi részeinek nitrogén, foszfor, kálium és nátrium tartalmára	59
5.1.2.1. A növényi részek nitrogéntartalma	59
5.1.2.2. A növényi részek foszfortartalma	61
5.1.2.3. A növényi részek káliumtartalma	62
5.1.2.4. A növényi részek nátriumtartalma	63
5.1.3. Az öntözés hatása az energiafűz biomassza produktumára	65
5.1.4. Az öntözés hatása a talaj nátrium és nitrogéntartalmára.....	66
5.2. Szabadföldi, kisparcellás körülmények között termesztett szemescirok fajták öntözéses termesztésének tapasztalatai	68
5.2.1. Az öntözés hatása a szemescirok relatív klorofilltartalom változására és fenológiai paraméterére.....	68
5.2.1.1. A klorofilltartalom változása a vegetációs idő során	68
5.2.1.2. A szemescirok hibridek magasságának alakulása az öntözés során	70
5.2.2. Az öntözés hatása a szemescirok szemtermés nitrogén, foszfor, kálium és nátrium tartalmára	72
5.2.2.1. A szemtermés nitrogéntartalma	72
5.2.2.2. A szemtermés foszfortartalma	74
5.2.2.3. A szemtermés káliumtartalma.....	77
5.2.2.4. A szemtermés nátriumtartalma	79
5.2.3. A szemescirok cukortartalmának változása	81
5.2.4. Az öntözés hatása a szemescirok biomassza produktumára	82
5.2.5. A talajparaméterek változása az öntözési kísérlet során	85
6. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK	87
7. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK	89
8. ÖSSZEFOGLALÁS.....	96
9. SUMMARY	100
10. MELLÉKLETEK.....	103

M.1. Irodalomjegyzék	103
M.2. Táblázatok és ábrák jegyzéke	112
M.3. Kiegészítő táblázatok.....	114
M.4. Kiegészítő fényképfelvételek.....	121
11. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS.....	123

1. BEVEZETÉS

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 megnövekedett kutatások ellenére is felmerülnek aggályok az újrahasznosított víz minőségének hatásaival kapcsolatban, mint a növény, mint pedig humán egészségügy területén. A mezőgazdaságban, valós vagy vélt problémákat okozó vízminőségi kérdések közé tartozik a tápanyag- és nátriumkoncentráció, a nehézfémek, valamint az olyan szennyező anyagok jelenléte, mint az emberi és állati patogén mikroorganizmusok, a gyógyszerek és az endokrin rendszert károsító xenobiotikumok. Az újrahasznosított vízzel öntözött növények felhasználása során a társadalmi hozzáállás és a növények piaci értékére gyakorolt hatás szintén fontos szempontként említhető meg. 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.

Magyarországon a megújuló energiaforrások közül a biomassának 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. Hazánkban jelenleg közel 5,8 millió hektáron folyik mezőgazdasági termelés, ebből mintegy 4,13 millió hektáron szántóföldi növénytermesztés zajlik. A kedvezőtlen termőhelyi tulajdonságokkal rendelkező területek aránya meghaladja a több százezer hektárt is, ahol a rövid vágásfordulójú fás energiaültvények telepítése ugyanakkor megvalósítható. Ezeken a területeken a biomassza előállítása és hasznosítása hozzájárulhat a megújuló energiaforrások szélesebb körű alkalmazásához, valamint a fenntartható energiaellátáshoz és a mezőgazdasági tevékenységek diverzifikációjához.

Hazánk éghajlatát tekintve a nedves kontinentális klíma zónájába tartozik. Előrejelzések szerint az éghajlatváltozás miatt gyakoriak lesznek az aszályos, száraz és forró nyarak, amelyek

miatt nagyobb figyelmet kell szentelni talajaink vízmegetartó képességének javítására, a szárazságtűrő fajták nemesítésére, valamint az öntözésfejlesztésre egyaránt. A klímaváltozás nagymértékben befolyásolja a növénytermesztés során alkalmazott kultúrák termesztésének létjogosultságát. Ennek tükrében 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. Ezen változások egyaránt hatással vannak a biodiverzításra is. A színesebb növénypaletta alkalmazása során mérséklődik az agrárökoszisztéma érzékenysége.

Hazánkban az utóbbi három termesztési év is jól mutatja, hogy a klímaváltozás következtében a kukoricatermesztők számára újabb kihívásokkal kell szembenézni. A jelenlegi kutatások szerint a kukorica csak mintegy 1 Celsius-fokos további hőmérséklet-emelkedésig lesz képes alkalmazkodni a melegedő éghajlathoz. Annak érdekében, hogy ideiglenesen orvosolni tudjuk ezeket a problémákat, a kukoricát tápanyagban és vízben gazdagabb területeken, például völgyekben lenne célszerű termesztetni, és fokozott figyelmet kell fordítani a víztakarékos talajművelési módszerekre is. Ugyanakkor az éghajlati előrejelzések és termésmodellek szerint hosszú távon akár 25 százalékos kukoricatermés-csökkenés is várható a század végére. Ezért fontos az alternatív növények kutatása és termesztése, amelyek képesek tolerálni a megváltozott klimatikus viszonyokat. Ennek tükrében a cirok termesztése kiváló választásnak bizonyul főképp a tehenészetek számára, szilázsként 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 szembenézniük.

2. CÉLKITŰZÉSEK

Kutatásomban a rövid vágásfordulójú energiafűz és a szemescirok természetességét 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?

3. IRODALMI ÁTTEKINTÉS

3.1. Az öntözés összefüggései a globális vízhiány és a változó éghajlat tükrében

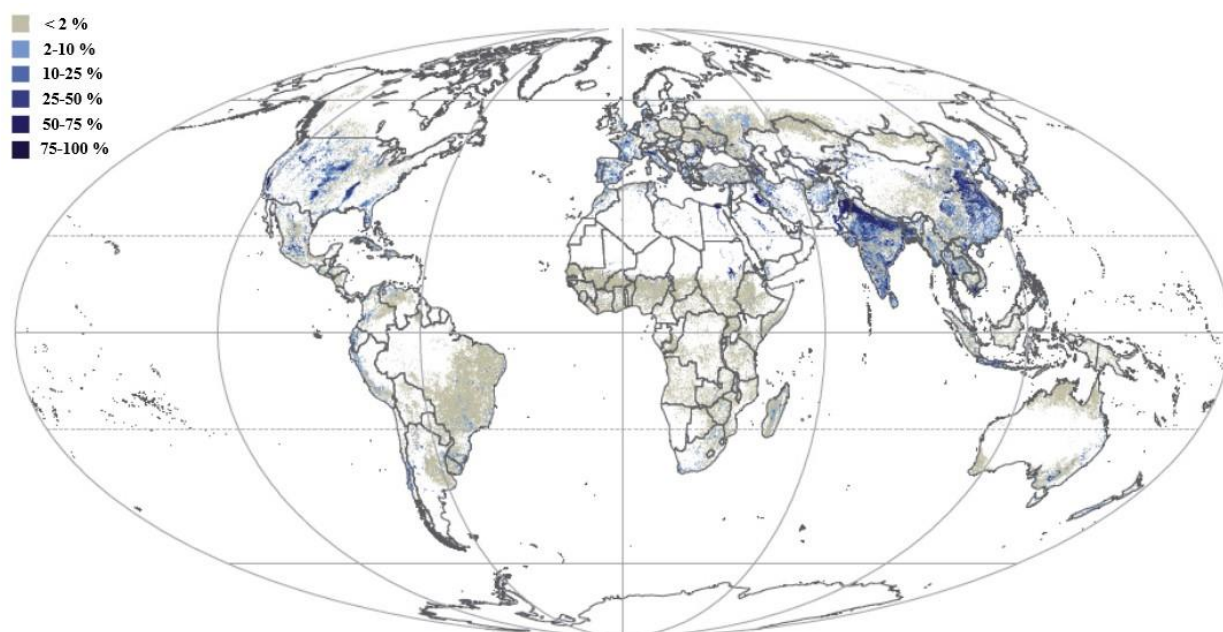
3.1.1. Az öntözés helyzete a világban

A föld- és vízkészletekre nehezedő nyomás még soha nem volt ilyen intenzív, és ezek felhalmozódása a föld- és vízrendszerek termelési kapacitását a végsőkig feszíti. A termőterület 2000 és 2019 között 4-al (63 millió hektárral) nőtt. A szántóterületek növekedése, főként az öntözött növények esetében megduplázódott, míg az esőztető öntözéses termesztés ugyanebben az időszakban mindössze 2,6%-kal nőtt.

A globális felmelegedés és a népességnövekedés fokozott nyomást gyakorol a megújuló természeti erőforrásokra, különösen az felszíni vízkészletekre. Az agrár-és élelmiszertermelő szektoroknak egyre nagyobb az ivóvízigényük. A Nemzetközi Vízgazdálkodási Intézet (International Water Management Institute, IWMI) tanulmánya szerint 2025-re 1,8 milliárd ember fog abszolút vízhiánnyal küzdeni, amely során ezen régiók vízkészlete nem haladja meg a 100 m³/lakos/év értéket. Napjainkban a Közel-Kelet és Észak-Afrika legtöbb országa már ezzel a problémával szembesült (He et al., 2021), ami igen nagy terhet ró a vízkészletekre, tovább súlyosbítva a helyzetet a végfelhasználók között verseny alakul ki a vízért. A mediterrán térség tagállamai az éghajlatváltozás hatásaival szemben a legsebezhetőbbek közé tartoznak, mivel a vízkészleteik mennyisége folyamatosan csökken, valamint a minőségi paramétereik is változnak (túlhasználat, szennyezés, szikesedés). A mezőgazdaság számít a legnagyobb vízfelhasználónak. Az ENSZ 2017-es Víz Világjelentése (World Water Development Report, WWDR) szerint a növények öntözésére szolgáló vízfogyasztás átlagosan a világ vízigényének 70%-át teszi ki, amely helyenként elérheti a források 90%-át. A fennmaradó 30%-ból, amelyet a városok és az ipar használ fel, körülbelül 6%-át hasznosítják újra, a többit pedig a környezetbe bocsátják, amelyből csak 5% tekinthető tisztítottnak; a fennmaradó 19% pedig minimális vagy kezeletlen formában jut a környezetbe (Unesco, 2017).

Az 1970-es évektől (184 millió hektár) gyors növekedésnek indult meg a világ öntözött területeinek száma. 1990-re 74 millió hektárral több terület volt alkalmas az öntözésre, míg napjainkban ez az érték eléri a 324 millió hektárt. Globálisan az összes megművelhető területhez képest 21% az öntözhető területek nagysága, amelyből Ázsia rendelkezik a legtöbb területtel (41%), ezt követi Észak és Dél Amerika 13%-kal, majd Európa 9%-kal, Ausztrália és Óceánia 7%-kal, és végül Afrika 5%-kal (1. ábra). A legnagyobb öntözhető területtel Kína (69,4 millió hektár)

és India (66,7 millió hektár) rendelkezik, melynek oka az árasztásos művelési ágban termesztett rizsültetvények nagyarányú száma (FAO, 2021).



1. ábra: A világ öntözésre berendezett területeinek százalékos megoszlása (FAO, 2021)

Az éghajlatváltozás világszerte jelentős negatív hatással van a vízkészletek minőségére és elérhetőségére, az élelmiszerbiztonságra és az emberek egészségére. Az Éghajlatváltozási Kormányközi Testület (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) tanulmánya szerint 2017-ben az emberi tevékenység miatt a globális felmelegedé átlagosan 1 °C-kal haladta meg az iparosodás előtti szintet (Allen et al., 2018). 2100-ra a globális átlaghőmérséklet 3,5 °C-kal emelkedhet a fent említett időszakhoz képest, továbbá a globális hőmérsékletek regionális átlagos ingadozása 1,4-5,8 °C körül alakulhat. A predikciók szerint a klímaváltozás a vízhiány globális növekedésének mintegy 20%-át teszi majd ki, amely gazdasági szempontból világszerte egyaránt hatással lesz a közösségek fejlődésére és működésére.

A Földön megközelítőleg 1351 millió km³ víz található, amelynek mindössze 3%-a az édesvízkészlet, amely alkalmas közvetlen fogyasztásra és öntözésre. A FAO jelentése szerint, ideális helyzetben, amely során, a Földön található vízkészletek eloszlása egyenletes lenne a populációk között, minden ember évente 5000-6000 m³ édesvízhez juthatna. A tanulmány leírja azt is, hogy az emberek 1700 m³/fő küszöbérték alatt vízhiányt tapasztalnak. Az optimális helyzet azonban az lenne, ha minden ember számára bőséges édesvízkészlet állna rendelkezésre.

Ugyanakkor világszerte, sem az édesvízkészletek, sem pedig a népesség eloszlása nem egyenletesen (FAO, 2007).

A világ népessége folyamatosan növekszik, amely várhatóan a jelenlegi 8,1 milliárdról 2050-re eléri a 9,7 milliárdot, és 2100-ra pedig a 11 milliárd főt (United Nations, 2019). Ez a népességnövekedés körülbelül 60%-kal több élelmiszer előállítás igényét eredményezi (FAO, 2021). Ebben az összefüggésben a vízkészletek fenntarthatósága kritikus kérdéssé válik a különböző versenyszektorok növekvő vízigényének kielégítése érdekében (Singh, 2015). Mindemellett egyre nagyobb kihívást jelent az urbanizáció, a szennyezések és az éghajlatváltozás hatásai miatt fogyatkozó erőforrás-bázisok elérhetősége is. A javuló életszínvonal és a változó étkezési szokások még súlyosabbá teszik ezt a problémát (Mariolacos 2007). Ugyanakkor, a megfelelően irányított öntözéses mezőgazdaság a jövőben több élelmiszer előállítását biztosíthatja, mivel pozíciója a világ élelmiszertermelésében 2030-ra 45% fölé emelkedhet (Faures et al., 2007) a jelenlegi 40%-ról. A megfelelő tervezés és irányítás nélkül azonban az öntözéses mezőgazdaság intenzifikálása a biodiverzitás csökkenéséhez és más környezeti problémákhoz vezethet az agrár-ökoszisztémában (Krebs et al., 1999; Singh, 2010; Tilman et al., 2002). Például a világ öntözött földterületének több mint egyharmadát érinti a szikesedés vagy a belvíz, és ezen állapotok hasonlóképpen veszélyt jelentenek az élelmiszerbiztonságra és a környezetvédelemre (Singh, 2013; Wichelns és Oster, 2006).

A fenntartható fejlődés értékelése szempontjából az öntözővíz minőségét komoly környezeti tényezőnek tekintik (Córdoba et al., 2010). A használt vagy elfolyóvizek növénytermesztésre történő felhasználása napjainkra szükségessé vált, mivel a jobb minőségű víz időbeli és térbeli rendelkezésre állása nem biztos, hogy elegendő a növények teljes vízigényének kielégítésére (Guo et al., 2014; Harmancioglu et al., 2012; Harou és Lund, 2008). Mindemellett a jó és a rosszabb minőségű öntözővizek együttes használata során csökken a befogadók tápanyagterheltsége is.

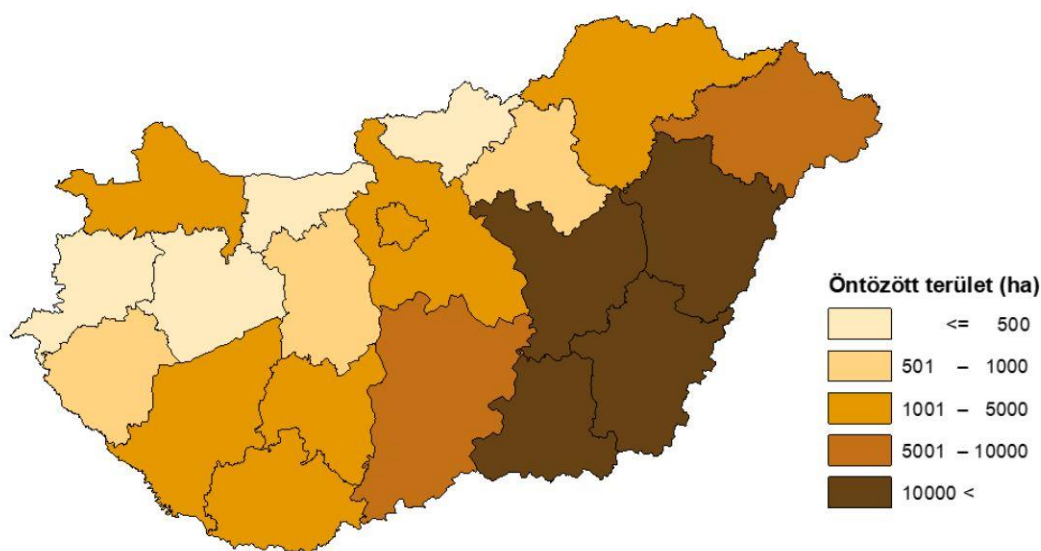
3.1.2. Az öntözés helyzete Magyarországon

A rendszerváltást követően nagymértékben csökkent az öntözéses gazdálkodók száma. Mindamellett, hogy az öntözéses növénytermesztés során a hazai termőtalajok minőségi paraméterei és az egyre szélsőségesebb klimatikus viszonyok mellett az intenzív művelésű növénykultúráknál jelentősebb terméshozam és profit érhető el. A hazai termőterületekhez képest alacsony az öntözött területek aránya, melynek oka a szétdarabolódott birtokszerkezetek, a termelői kooperáció hiánya, a szerteágazó vízjogi engedélyezési rendszer, a rövid távú bérleti

szerződések, az öntözésfejlesztéshez szükséges támogatási rendszer- és forráshiány, valamint a nem megfelelő mennyiségű öntözővizek hozzáférhetősége (Bíró et al. 2011, Szűcs és Apáti 2011).

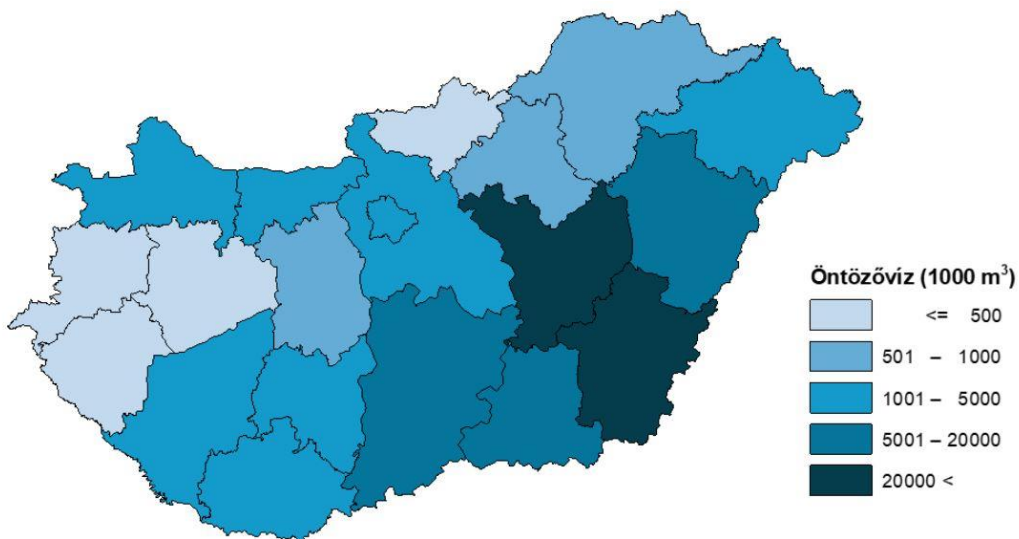
3.1.2.1. Az öntözött terület nagysága, vízfelhasználása

Magyarországon az összes vízjogilag engedélyezett öntözhető területek nagysága eléri a 170 ezer hektárt, amely magában foglalja a halastavi üzemi rendszereket is. Európában a mezőgazdaság számára rendelkezésre álló vízkészletek közel 80%-át hasznosítják, amíg Magyarországon mindössze 30%-ot. Csekély az öntözhető területek erőforrás kihasználtsága is, mivel 2021-ben mindössze 85 ezer hektáron történt öntözés, amely során összesen 118,4 millió m³ öntözővíz került kijuttatásra. Az öntözött területek jelentős rész az Alföldön helyezkedik el (2. ábra), ahol a kijuttatott öntözővízmennyiség 86%-át öntözik ki (3. ábra).



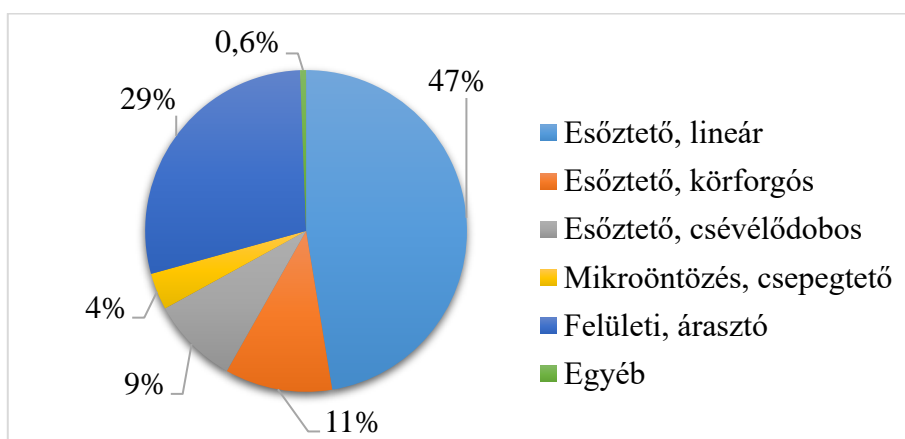
2. ábra: Öntözésre berendezett területek megoszlása megyei bontásban (AKI, 2021)

A legtöbb vízjogi engedéllyel az alföldi megyék rendelkeztek átlagosan 21 ezer hektárral, amíg Szabolcs-Szatmár-Bereg megyében mindössze 12 ezer hektár kapott vízjogi engedélyt. Ugyanakkor a legkevesebb engedélyt Nógrád megyében található 210 hektárra (AKI, 2021).



3. ábra: Öntözéssel kijutatott vízmennyiség alakulása megyénként (AKI, 2021)

A termőterületekre kijutatott vízmennyiség 86%-a az alföldi területeken összpontosult, ahol a termelők összesen 101 millió m³ öntözővizet öntöztek ki. A gazdálkodók hazánkban jellemzően az öntözött területek jelentős részét felszíni vízzel öntözik (87,6%), ezt követi a felszín alatti vizek (12%) és a parti szűrésű vizek (0,4%) használata. A vízadagolás módját tekintve (4. ábra) a legelterjedtebb öntözési mód az esőztető öntözőberendezéssel történő vízkijuttatás volt, ezen belül a gazdálkodók 47%-a lineárral, 11%-a körforgós rendszerre, 9%-a csévélődobbal öntözött. Emellett jelentősebb vízmennyiség került kijuttatásra a rizstermesztés során alkalmazott felületi és árasztó öntözéssel (29%) is. A termelők mindössze 4%-a használt víztakarékos mikroöntöző rendszert (AKI, 2021).



4. ábra: A kijuttatott öntözővízmennyiség megoszlása a víz kiadagolásának módja szerint 2021-ben

3.2. A növények vízigénye és a tápanyagellátás kapcsolata az öntözés tükrében

A víz szerepe a növények életében nélkülözhetetlen. A biokémiai folyamatokat, különös tekintettel a fotoszintézis intenzitását, a szervesanyag-felhalmozódás sebességét, valamint a termésátlagok mértékét jelentősen szabályozza az életfolyamatokat végző fehérjék hidratáltsági foka. Mindemellett a növény vízmérlege, vízfelvételétele és vízleadása nagymértékben befolyásolja a szervesanyagok hidratáltságát. Ezt a két ambivalens folyamatot főképp a növény anatómiája és élettani sajátosságai, illetve a levegő és a talaj nedvességtartalma határozza meg (Szalai, 1989). Az egyre szélsőségesebb időjárási körülmények miatt, hazánkban a köztermesztésben lévő növények termesztéséhez szükséges vízmennyiséget a természetes csapadék már nem tudja fedezni, valamint ennek időbeli eloszlása termőhelyenként is eltérő. A víz párolgása (evaporáció) állandó folyamatnak tekinthető, ezzel ellentétben a természetes (csapadék) vízutánpótlás minden esetben időszakos, amely során mennyiségi különbségek adódhatnak. Ugyanakkor a növény kompenzálja ezen folyamatokat gyökérrendszere gyors növekedésével, azonban a talaj elégtelen vízmegtartó képessége miatt, sérülhetnek az asszimilációs folyamatok és a növények növekedésének üteme. Ez sok esetben termés-csökkenéshez és terméskieséshez vezethet (Kemény et al., 2018). Következésképp észszerűbben kell gazdálkodni a csapadékkal, a talajvízzel, valamint a talajnedvesség készlettel is. A helyes vízgazdálkodási gyakorlat elengedhetetlen eleme a megfelelő agrotechnika alkalmazása, a vízveszteség csökkentése, a vízkészletek hatékonyabb felhasználása, a víz produktivitásának fokozása, valamint a célzott vízellátottság szabályozása. Továbbá ismerni kell a növények vízigényét, életterének kiterjedését, valamint vízháztartási folyamatait (Szalai, 1989).

A vízellátottság befolyásolja a növények és a talaj hőháztartását, a talaj oxigénellátottságát és a tápanyagok mineralizációját. A napfény és a hőmérséklet szabályozza a növények vízforgalmát és vízellátottságát. A növények leginkább a virágzás idején a legérzékenyebbek a légkör nedvességtartalmára. A vízháztartás szabályozásával a gyökérszóna nedvességartalma befolyásolható. A szerves trágyák hozzáadásával növelhető a talaj szervesanyag-tartalma, amely elősegíti a talaj optimális víztároló kapacitását, csökkenti a talaj térfogatsűrűségét, ezáltal megfelelő feltételeket biztosít a gyökérszövet mélyebb rétegbe való lejutását. Mind a szerves, mind pedig a műtrágyák alkalmazása erős gyökérszövet kialakítását eredményezi, valamint nő a tápanyagok és a vízfelhasználásra alkalmas nagyobb kapacitással rendelkező gyökerek száma, és gyökértevékenysége. A különböző tápanyagok eltérő hatással vannak a gyökérszövet növekedésére és annak eloszlására. A tápanyagbevitel elengedhetetlen a növény élettani tevékenységének javításához.

A nitrogén ellátottsági szint növelése csökkenti a vízhiányos növények nitrogén anyagcsere zavarát, és növeli a növények aszályal szembeni ellenálló képességét. Vízstressz esetén a nitrogén ellátás hatására a búza leveleiben magas nitrátreduktáz-aktivitás, magas fehérjeszint és jobb vízállapot alakulhat ki (Arora et al., 2001). A kálium hozzáadásával a levelek sztómái gyorsan záródnak száraz és forró szélviszonyok között (Zhang és Li, 2005). Normál vízellátás esetén a transzspirációs sebességet a trágyázás növeli, míg vízhiány esetben csökkenést eredményez. A célzott tápanyagutánpótlás erőteljes növekedést, intenzív levélfejlődést, és nagy levélfelületet biztosít, melynek következtében megnő a talajborítás aránya, így csökken a talajfelszín evaporációja és megnő a növény transzspirációja (Li et al., 2009). A nitrogén felvétele összességében fokozódik, amikor a talaj nedvességtartalma ismét megemelkedik. Ekkor erőteljesebbé válik a szervesanyagok mineralizációja, amely során megnő a talaj könnyen felvehető nitrogéntartalma, ugyanakkor a foszfor mennyiségében csökkenés jelentkezik. Ezzel ellentétben a száraz és meleg klíma a foszfor és a kálium mennyiségének növekedését eredményezi. A hosszantartó vagy hirtelen nagy mennyiségű csapadék a tápanyagok kimosódását, illetve az anaerob körülmények között kialakuló káros kémiai folyamatok (denitrifikáció) megjelenését okozza. A talajok nitrogénforgalmát elsősorban az ammonifikációs és a nitrifikációs folyamatok határozzák meg. Az előbbi aerob és anaerob körülmények között is végbe mehet, melynek sebességét befolyásolja a talaj nedvességtartalma, hőmérséklete és a szervesanyag C:N aránya. Ezt követően az ammónia először a talajvízben oldódik, majd a talajkolloidokon megkötődik vagy nitrogénvesztességet okozva gázhalmazállapot formájában elillan, különös tekintettel a lúgos közegű meszes talajok esetén. A gáz halmazállapotú ammónia toxikus hatást gyakorol a talaj élőlényekre és a növények gyökereire egyaránt. Ugyanakkor az ammónia vízben oldott ammónium ion formáját a növények már közvetlenül is képesek felvenni a talajból. A nitrifikációs folyamatokért aerob körülmények között a nitrifikáló baktériumok működése a felelős, ahol a növények számára könnyen felvehető nitrit és nitrát ionok képződnek (Csajbók, 2004). A talaj összes foszfortartalmának mindössze 15-20%-a érhető el a növények számára felvehető formában, amely szerves kötésben lévő foszfátok mineralizációjának a sebességétől és a szerves foszforvegyületek mozgásától függ. A csapadék vagy az öntözés hiányában a foszforvegyületek oldhatósága csökken, mivel a mineralizációt végző baktériumok aktivitása lelassul vagy leáll. Következésképp a víz jelenléte a talajban fokozza a foszfor mobilizációját és a növények általi foszforfelvételt, amennyiben szerves formában (fitin, inozit-hexafoszfát, foszfolipidek, nukleinsav, foszforproteidek, cukorfoszfátok) van jelen a talajban (Debreczeni és Debreczeni 1983, Fülek Gy. 2004). A növények számára hozzáférhető és felvehető kálium mennyisége a talajban nem haladja meg a 5-8%. Az átmedvesedett talajban hatékonyabb a kálium mobilizációja. A makroelemek közül, különösen a kálium hozzáadásával növelhető a klorofilltartalom, amely megvédi a fotoszintetizáló szerveket a kiszáradástól, amely

aszályos körülmények között a terméshozam csökkenését eredményezi. A hatékony vízgazdálkodás növelheti a talajban lévő tápanyagok hozzáférhetőségét vagy a műtrágyákból származó tápanyagok átalakulását (Zhang és Li, 2005).

3.3. Alternatív vízforrások öntözési célú felhasználása

Az alternatív vízforrásokat (a felszíni vagy felszín alatti vizek kivételével), mint például az újrahaznosított vizet, a brakkvizet, a tengervizet, vagy a csapadékvizet, a világ számos régiójában alkalmazzák a növénytermesztéshez, a golfpályákhoz vagy erdők öntözéséhez. Az éghajlatváltozás miatt a változó csapadékviszonyok, a növekvő népesség nyomása és az aszály veszélye miatt a világ egyes részein jól megfogalmazott igény formálódik további és megbízhatóbb vízforrások feltárására a mezőgazdaság jövőbeli vízigényének kielégítése érdekében (Devkota et al., 2015; Ghermandi és Messalem, 2009; Lahav és Birnhack, 2007; Qin és Horváth, 2020).

Napjainkban a nem hagyományos vízforrások, mint a kommunális szennyvíz, vagy a sótalanított víz mennyisége eléri a 380 km³ és 35 km³. Ez a fajta víz visszanyerés 2030-ra várhatóan eléri a 470 km³-t, 2050-re pedig a 574 km³-at (Al-Jamal et al., 2002; Qadir et al., 2020). Az ilyen jellegű forrásokhoz való hozzáférés segíti enyhíteni a vízhiányt a száraz területeken (UN Water 2021). A fenntartható mezőgazdaság és az alternatív energiaforrások egyre fontosabbá válnak a fenntartható fejlődés elősegítése érdekében. Az elfolyóvíz hasznosítása az energiafűz ültetvények és szántóföldi kultúrák öntözésére egy kiváló példa erre. Ebben a fogalmazásban megvizsgáljuk, hogyan lehet hatékonyan hasznosítani az elfolyóvizet, különös tekintettel a szemes cirok termesztésére. Az elfolyóvizet, például halastavak vagy akvakultúra létesítmények vízkibocsátásai, gyakran gazdagok tápanyagokban, például nitrogénben és foszforban. Ezek a tápanyagok rendkívül hasznosak lehetnek a mezőgazdaságban, mivel növelhetik a növények növekedését és hozamát.

Az energiafűz ültetvények például kiválóan alkalmazhatók az elfolyóvizet kezelésére és a tápanyagok visszaforgatására a mezőgazdaságban. Az energiafűz olyan növény, amely gyors növekedésű és könnyen kezelhető. Az elfolyóvizet felhasználva a fűz ültetvények öntözhetőek, így a termesztésre használt területet hatékonyan kihasználhatjuk. Ezen kívül az elfolyóvizekben található tápanyagok hozzájárulnak a fűz növekedéséhez, ami nagyobb biomassza előállítását teszi lehetővé. A fűzből nyert biomassza pedig energianövényként hasznosítható, például faapríték vagy pellet formájában, így hozzájárulva a megújuló energiaforrások előállításához (Gyuricza et al., 2008).

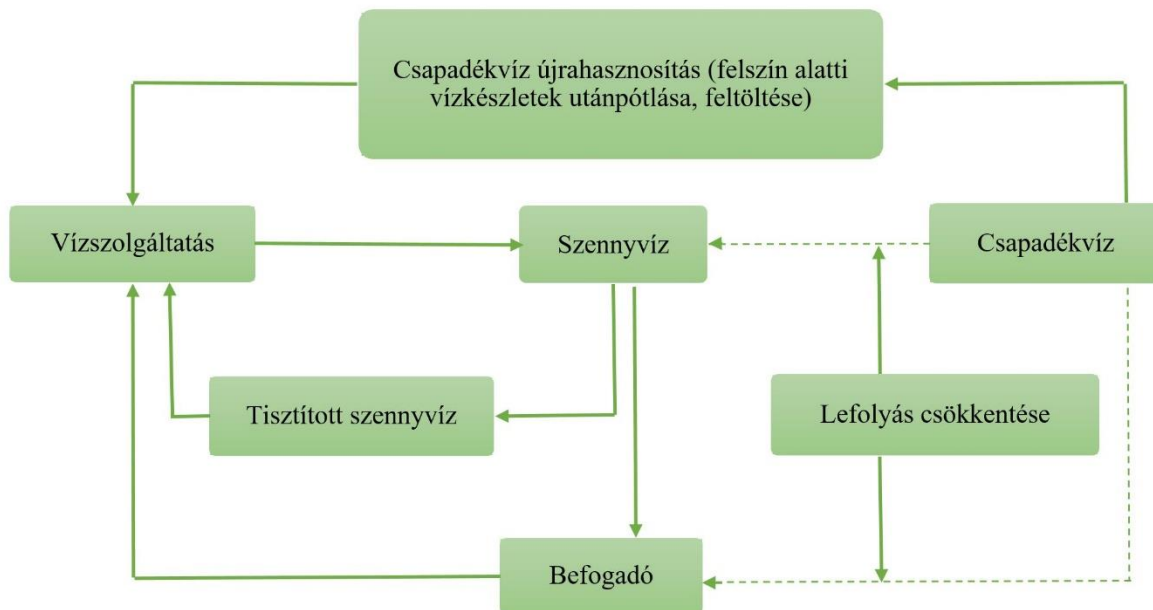
A szemes cirok termesztése is kiválóan illeszkedik ebbe a környezetbarát mezőgazdasági rendszerbe. A cirok olyan növény, amely jól alkalmazkodik a változó körülményekhez és relatíve alacsony vízigényű. Az elfolyóvízből származó tápanyagok hozzájárulhatnak a cirok tápanyagszükségleteinek fedezéséhez, így növelve a termés mennyiségét és minőségét (Guimarães et al., 2016).

Az elfolyóvizek hasznosítása az energiafűz ültetvényekben és a szemes cirok termesztésében nemcsak a mezőgazdasági termelés hatékonyságát növeli, hanem a környezetvédelmet is elősegíti. Az elfolyóvizekben található tápanyagok és szennyező anyagok újrahasznosítása csökkentheti a vízszennyezést és a környezeti terhelést.

Összességében az elfolyóvizek hasznosítása energiafűz ültetvényekben és szántóföldi kultúrákban, különös tekintettel szemes cirok termesztésére, előnyös mind a mezőgazdaság, mind a környezet szempontjából. Ez a fenntartható megközelítés hozzájárulhat a vidékfejlesztéshez és az alternatív energiaforrások előállításához, így elősegítve a fenntartható jövőt.

3.3.1. A szennyvízöntözés helyzete, jogi háttere

A 2010-es évektől megfigyelhető az Európai Unió tagállamaiban, hogy csökken a vízpazarló – a tisztított szennyvizek, a belvizek és a termálvizek felszíni vizekbe engedése – tevékenységek száma. 2016-ban az Európai Bizottság megjelentette a körforgásos gazdaság modelljét magába foglaló intézkedését, amely szabályozza a szerves és a hulladék alapú trágyák használatát, valamint a biohulladék újrafeldolgozását és annak tápanyagként való alkalmazását. Az integrált vízgazdálkodás (5. ábra) elsődleges célja a tisztított szennyvizek, technológiai vizek visszatartása és a keletkezés közelében való felhasználása. Ezáltal csökkenthető a felszíni vizek eutrofizációja, növelhető a rendelkezésre álló vízkészletek száma, és felhasználható az öntözéses mezőgazdasági termelés során az újrahasznosított vizekben lévő tápanyagtartalom (Kendrovics, 2017; Xu et al., 2010).



5. ábra: Integrált vízgazdálkodási modell (Juhász és Major, 2016)

Magyarországon a szennyvizek mezőgazdasági felhasználását az 50/2001. (IV.3.) Kormányrendelet és módosításai – 354/2001(XII.30.) és 40/2008 (II.26) – szabályozzák, amely magában foglalja a szennyvizek öntözési célú felhasználást is. Minden esetben a szennyvízöntözés jogosultág engedélyét a Megyei Kormányhivatal állítja ki. Az engedélyezési eljárást minden esetben talajtani vizsgálat előz meg a 10/200 (VI.2.) KöM-EüM-FVM-KHVM rendelet és a 6/2009 (IV.14.) EüM-FVM módosítása szerint. Továbbá a 219/2004. (VII.21.) Korm. rendelet – a felszín alatti vizek védelméről – meghatározza a különböző vizsgálati kötelezettségekhez tartozó szennyezettségi határértékeket is.

3.3.2. A szennyvizek minőségi jellemzői és egészségügyi előírásai

A mezőgazdasági célú öntözéses hasznosításra elsődlegesen a természetes eredetű szerves és ásványi anyagokkal szennyezett, mérgező és radioaktív anyagoktól mentes, valamint határértéken belüli káros sótartalommal rendelkező elfolyó és szennyvizek alkalmasak (M.3.1. melléklet). Mindemellett a szennyvíznek meg kell felelnie az 50/2001. (IV.3.) Korm. rendeletben meghatározott mikrobiológiai paramétereknek egyaránt, mivel kórokozó baktériumokat és élősködő mikroorganizmusokat is tartalmazhat (Czikkely et al., 2012). Különösen a települési szennyvizekre jellemző a patogén kórokozók jelenléte, amely közegészségügyi szempontból jelentős szabályozással bír. A mezőgazdasági hasznosítás során ismerni kell a talaj (M.3.2. melléklet) és a szennyvíz (M.3.3. melléklet) minőségi jellemzőit, amelyet laboratóriumi

vizsgálatokkal kell ellenőrizni. Mivel a mezőgazdasági felhasználás során a szennyvizek nem tartalmazhatnak a talajra, a növényekre, az állatokra és az emberekre káros, toxikus elemeket. Az ipari szennyvizek alkalmazása esetén kizárólag az előtisztított szennyvizek használhatóak, amelyeket még a csatornahálózatba engedésük előtt mentesítenek a gazdaságosan visszanyerhető anyagoktól (zsírok, olajok, kátrány, szén, cellulóz, benzin), és az élő szervezetekre veszélyes anyagoktól (lúgok, szulfátok, erős savak, nehézfémek, foszforsavészterek, xenobiotikumok) (Szalai, 1989).

A magyarországi jogi szabályozás a szennyvíz alkalmazhatóságát higiéniai szempontok szerint csoportosítja (Vermes, 2001):

- Egészségügyi korlátozás nélkül hasznosíthatók:
 - toxikus elemtartalma nem haladja meg a megengedett határértéket
 - patogén baktériumoktól, életképes bélféregpetéktől, protozoa cisztáktól és sugárzó anyagoktól mentes (fekáliamentes ipari szennyvizek – konzervipar, cukorgyártás szennyvize)
- Egészségügyi korlátozással hasznosíthatók:
 - mérgező sugárzó anyagoktól mentes
 - kórokozó mikroorganizmusok határértéken felüli megjelenése (tejüzemek, húsüzemek szennyvize)
- Talajrendszerben elhelyezhető és tisztítható, de a mezőgazdasági termelés során nem hasznosítható szennyvizek:
 - kémiai vagy mikrobiológiai szempontból kifogásolható minőségi mutatókkal rendelkeznek, kezelés és ártalmatlanítást követően csakis faültetvényben való elhelyezése engedélyezett
- Mezőgazdaság területén nem hasznosítható:
 - a megengedett határértéken felül sugárzó és mérgező anyagot tartalmaz
 - fertőző betegeket ellátó intézményekből és állati termékeket feldolgozó üzemekből kikerülő szennyvizek.

3.3.3. A talaj és a szennyvíz kapcsolata

A talaj az anyagforgalomban mobilizáló, tároló, lebontó és transzformáló, az energia forgalomban pedig tároló, transzformáló és puffer szerepet játszik (Stefanovits, 1977). A szennyvíz elhelyezése során az ökológiai rendszerek remediációs képessége kerül előtérben. A talajvíz szennyeződését elkerülve az öntisztuló folyamatokhoz elengedhetetlen a megfelelő minőségű talaj és a kellő hosszú expozíciós idő. A szennyvízkijuttatás során a talaj mintegy

összetett szűrőrendszerként funkcionál, amely során fizikai, kémiai és biológiai folyamatok mennek végbe.

A fizikai szűréskor a nagy lebegő anyagtartalommal rendelkező víz részecskéi fennakadnak az eltérő méretű talajszemcséken, miközben a víz tovább szivárog a mélyebb rétegekbe. Ez a szűrőfunkció talajtípusonként eltérő. Ugyanakkor a túlzott igénybevétel a szűrőképesség csökkenéséhez vezet. A kémiai szűrés során ioncsere, adszorpció, kicsapódás és kémiai átalakulás megy végbe. Az ioncserekor anioncsere és kation kötődés történik a talajban. Az adszorpció során a szilárd anyagokhoz gázmolekulák, oldott anyagok, valamint folyadékok kötődése megy végben. A kicsapódáskor az oldat kikristályosodása történik. A kémiai átalakuláskor pedig oxidációs és redukációs folyamatok következnek be. A biológiai szűrést a talaj flórája és faunája végzi. Kiváltképp a baktériumok, a gombák, az eukarióták, az algák, a növényi és az állati szervezetek. A talaj általi szűrés végtermékei a humusz és a különféle szerves sók. A vízminőségi paraméterek közül főképp a toxikus anyagtartalom és az összes oldott só koncentrációja – a talaj sótartalmának emelkedése a szikesedés kiváltó oka – az, ami meghatározza a szennyvizek öntözésre való jogosultságát (Szalai, 1989).

3.3.4. Szennyvízzel öntözhető növények

Elsősorban azok a növények öntözhetőek szürkevízzel vagy szennyvízzel, amelyek nagy tápanyagszükséglettel és vízigénnyel rendelkeznek. Továbbá a rendszeres öntözést nagy terméstartalommal hálálják meg. A szennyvízzel öntözhető növények megválasztásánál egyaránt figyelembe kell venni az egészségügyi, az állategészségügyi és növénytermelési szempontokat. Az egészségügyi szempontok esetében nem alkalmazható a szennyvízöntözés azon növényeknél, melyek gyümölcse, szára vagy bármely része nyersen fogyasztható. Ugyanakkor altalajöntözés esetén és a tenyészidőn kívül alkalmazható a zöldségféléknél, a bogyós és magvas gyümölcsöknél (kivétel a szamóca) a szennyvízkijuttatás.

A köztermesztésben lévő szántóföldi kultúrák közül az alábbi növények termesztése javasolható (Szalai, 1989) szennyvízzel való öntözés mellett:

- gyökér- és gumós növények: cukorrépa, takarmányrépa, ipari és takarmányozási célra termesztett burgonya
- pillangósok: lucerna, vörös here és fehér here
- szálatakarmányok: silókukorica, takarmánycirok, szudánifű, őszi és tavaszi takarmánykeverékek
- gabonafélék: kukorica, búza, árpa, rozs, tritikálé
- olaj- és rostonnövények: napraforgó, repce, kender, len

- hüvelyesek: szója takarmányborsó, takarmánybab, csillagfűrt
- gyógynövények: ricinus, gyűszűvirág, borsos menta, sáfrányszeklice, maszlag
- évelő gyepek: kaszálónak hasznosított, intenzív, mesterséges gyepek
- ültetvények: haszonfaültetvények (nyár, fűz), csemetekertek, szőlőoltványok, termő szőlők és gyümölcsösök (külön engedéllyel)
- meglévő erdők, faültetvények.

Libutti et al. (2018) paradicsom és brokkoli termesztéséhez három különböző öntözővíztípust használtak (szennyvíz, tisztított szennyvíz és édesvizet). Az eredmények magasabb talajkémiai értékeket mutattak szennyvízöntözés esetében. A nátrium- és nitrátion-koncentrációk ugyan kis mértékben meghaladták a zöldségfélék számára ajánlott határértékeket, azonban a vízhiányos mediterrán régiókban a megfelelően kezelt szennyvíz biztonságosan felhasználható a termesztéshez (Libutti et al., 2018). Al-Jaloud (2010) kutatása során arról számolt be, hogy Szaúd-Arábiában a szennyvízzel öntözött lucerna és búza termesztése során tíz százalékkal nőtt a betakarított biomassa tömege és a termés mennyisége (Al-Jaloud, 2010).

A debreceni szennyvízöntözési kísérletek során silókukorica és szudánifű termesztés eredményei azt mutatták, hogy a több éves szennyvízöntözés nem volt negatív hatással a zöldtömeg alakulására. A silókukorica 35-52 t/ha biomasszát produkált, amíg a szudánifű 1,5-2 m-es magassággal hektáronként 10 t zöldtömeget (Szalai, 1989). Mind a hazai, mind pedig a nemzetközi szennyvízelhelyezési gyakorlatban jelentős szerephez jutottak a faültetvények (nyár, fűz) és erdők öntözése. Előnyük a mezőgazdasági növénykultúrákkal szemben, abban rejlik, hogy nagyobb mennyiségű szennyvíztömeg elhelyezését teszik lehetővé a vegetációs időn kívül is, valamint sem egészségügyi, sem pedig állategészségügyi engedélyezések sem korlátozzák a szennyvízhasznosítást. A rövid vágásfordulójú energiaültetvények elsősorban a biomasszatermelést szolgálják (Aronsson és Perttu, 2001; Börjesson és Berndes, 2006; Gyuricza et al., 2008; Ildikó Kolozsvári et al., 2021; Truu et al., 2009).

3.4. Mikroöntözés

A mikroöntözési módok jellemzője, hogy a fixen telepített vízkiadagoló elemek kis nyomáson (<2,5 bar), időegység alatt kevés (<50 l/h) öntözővizet juttatnak ki az öntözendő növények közvetlen közelébe. A kijuttatás során kis mennyiségű vizet osztanak szét a növényállományban (Szalai, 1989).

A mikroöntözés előnyei Reddy (2016) és Tóth (2011) alapján:

- **Vízmegetakarítás, egyenletes növényfejlődés:** A kiöntözött vízmennyiség kisebb más öntözési módokhoz képest. Mivel a gyökérszóna folyamatosan nedvesen és levegőzötten tartható, ezáltal a talajfelszín párolgása is csökken. A mikroöntözés lehetővé teszi a pontos vízszabályozást, vízadagolást
- **Vízhatékonyság:** A mikroöntözés során egyenletes a vízkijuttatás mértéke, mivel az öntözőrendszer sok adagolóelemmel rendelkezik. Az esőszerű lineár öntözéshez képest 25-40%-kal, a csévéldobos öntözéshez képest pedig 45-60%-kal kevesebb a rendszer vízfelhasználása. A víztakarékos öntözőrendszer 95% fölötti hasznosulással működtethető, ugyanakkor a vízmegetakarítás nagymértékben függ a terület mikroklímájától, talajtani paramétereitől és a termesztett növény fajától. A kismértékű vízszükséglet főként az átnedvesített felület méretével van összefüggésben, ahonnan az evaporáció által alacsonyabb a vízvesztesség. Ezeket a rendszerelemeket alacsonyabb áramlási sebességre lehet méretezni és hosszabb ideig lehet használni. A mikroöntöző rendszereket úgy tervezték, hogy egy-egy növény vízszükségletét napi adagolással biztosítsák.
- **A vízkijuttatás egyenletessége:** A mikroöntöző rendszerek alkalmasak az egyenletes vízkijuttatásra, ezért minden növény ugyanannyi vizet kap. Az egyenletesség hatékonyabb öntözést eredményez, ami víz-, energia- és műtrágya megtakarítást eredményez. Továbbá a rendszer biztonságosabb, tervezhetőbb termést is generál, mivel minden növény pontosan annyi vizet és tápoldatot kap, amennyire az optimális növekedéshez szüksége van. Egyszerűbb és pontosabb a mikroelemek kijuttatása az átnedvesedett zónába, ahol a gyökerek sűrűsége a legnagyobb. Ezáltal csökken a kilúgzás, amely tápanyagvesztéshez és a környezet szennyezéséhez vezethet.
- **Energiatakarékosság:** Az öntözőrendszer könnyen telepíthető és üzemeltetése is egyszerű. Alacsony nyomáson (0,5 bar) is üzemeltethető, ezáltal a szivattyúk maximális teljesítménye kihasználható. Mivel a sorközökben nem történik öntözés, így könnyebben elvégezhető a betakarítás.
- **Növényvédelem, tápanyagutánpótlás:** A mikroöntözés során a tápanyagok és a növényvédőszeresek kijuttatása közvetlenül a gyökérszónába történik, ezáltal átlagosan 25-50%-os költségmegtakarítás érhető el a felhasznált inputanyagok területén. Ez a kijuttatási módszer gazdaságosabb, a tápanyagok jobb eloszlását biztosítja a vegetációs időszakban, és csökkenti a talajvíz szennyezését, valamint a vegyszerek kimosódását.
- **Gyomnövények és betegségek csökkentése:** A víztakarékos öntözés miatt a termesztett kultúrák levélfelülete szárazon marad, következésképp csökken a kórokozók, a patogén

baktériumok és gombák megjelenése. A részlegesen átnedvesített termeszőközeg további előnye, hogy csökken a sorközök gyomborítása, amellyel költségmegtakarítás érhető el a mechanikai és a vegyszeres gyomirtás területén.

- Gyengébb minőségű, rossz vízgazdálkodású területek öntözése: A alacsony intenzitású öntözés lehetőséget nyújt a gyengébb vízkapacitású homoktalajokon és kötött agyagtalajokon történő intenzív növénytermesztésre.
- A magasabb sótartalommal rendelkező öntözővizek használata: A mikroöntözés csökkenti a legtöbb kultúrnövény sós vízzel szembeni érzékenységét a gyökérszóna nedvességtartalmának fenntartása mellett. A gyakori vízkijuttatás folyamatosan pótolja a növény által eltávolított nedvességet és az öntözővízben található sók a gyökérszóna alá lúgozódnak ki.
- Automatizálás: A rendszer könnyen automatizálható, ezáltal munkaerőigény takarítható meg.

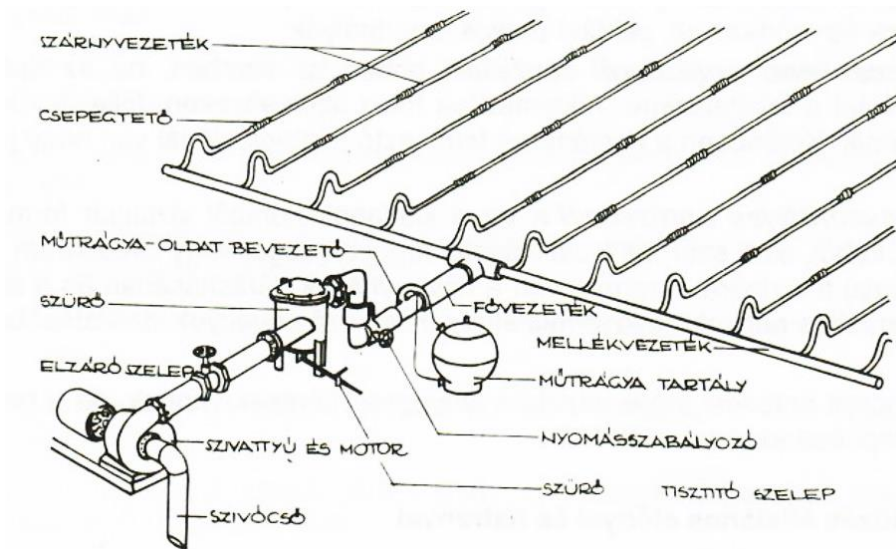
A mikroöntözés hátrányai Reddy (2016) és Tóth (2011) alapján:

- Magas beruházási költségek: A kezdeti beruházási és karbantartási költségek magasabbak lehetnek, mint más öntözési módoké. A szűrők, szivattyúk, szabályozók, szelepek, mérőműszerek, vegyszerinjektorok és az esetleges automatizálási alkatrészek növelik a mikroöntözőrendszer költségeit. Ugyanakkor a jól megtervezett, telepített és karbantartott rendszer víztakarékos és jelentős agronómiai, környezeti és gazdasági előnyökkel jár.
- Eltömődés: A mikroöntöző rendszerek nagyobb karbantartást igényelnek az eltömődött szórófejek miatt. A kis nyílásokat könnyen eltömíthetik a talajrészecskék, a szerves anyagok, a baktériumok, az algák vagy a kicsapódó sók megjelenése. A jó minőségű vízellátás mellett is hatékony szűrést igényel a rendszer (leggyakrabban ajánlott 200-as szűrési fok). A szűrőrendszert a víz fizikai, kémiai vagy biológiai jellemzői alapján kell kiválasztani.
- Nyomás alatti üzemeltetés: Az öntözővizet nyomás alá kell helyezni, ami energiaköltségeket eredményez. A szükséges nyomás általában kisebb, mint az esőztető öntözőrendszereknél, de nagyobb, mint az árasztásos öntözésnél.
- Sófelhalmozódás a gyökérszóna közelében: A felszíni és az esőztető öntözőrendszerekkel ellentétben, amelyek a sókat a növény gyökérszónája alá is le tudják mosni, a mikroöntöző rendszerek hajlamosak a sókat a talaj nedvesített térfogatának és a talajfelszínnek a külső szélére mozgatni. Az elégtelen csapadék miatt a sók ismét a gyökérszónába jutnak vissza, ahol kárt okozhatnak.

- Nedvességelosztás: A nedvességelosztás nagymértékben függ a talajtípustól. Egyes talajokban, pl. mély homokokban a nagyon kevés oldalsó vízmozgás (alacsony kapilláris erő) sok problémát okozhat. Ilyen körülmények között nehéz a gyökérszóna jelentős részét nedvesen tartani. A növényenkénti szórófejek számának növelése javíthatja a víz eloszlását a talajban, azonban jelentősebb beruházási költséggel jár.

3.4.1. Csepegtető-rendszeres öntözési mód

A csepegtető öntözést főként a kertészeti kultúrákban és ültetvényekben alkalmazzák (Incrocci et al., 2017). Az öntözővíz a termőterületre nyomás alatt lévő csővezetéken kerül kijuttatásra, ahol a növények tövéhez közvetlenül elhelyezett csepegtetőtestekből cseppenként jut a víz a természetközeg felszínére. A csepegtetőtestek nyomásszabályozás elvén működnek, ahol a víz a csepegtetőtesten belül egy spirálcsővön keresztülhalad, ezáltal a nyomás lecsökken és az elem alján cseppenként távozik a víz. Ez az öntözési mód közvetlenül a növények gyökérszónájához juttatja el az öntözővizet, így a növény számára folyamatos az optimális talajnedvesség tartalom. A csepegtetőtestekből típustól függően általában 1-9 l/h intenzitással történik a vízleadás, amely során a beázási zónák nem érnek össze, mert a csepegtető elemek elhelyezkedése a beázási körnél nagyobb távolságra található (Ravikumar, 2023a, 2023b). Optimális esetben a növényállomány egyedenként azonos vízádaghoz jut, melynél a napi vízádagot minden esetben a növény napi vízfogyasztása alapján szükséges beállítani. Ennek következtében a rendszer alkalmas a tápanyagok kijuttatására is, ekkor egy tápoldat adagolót kell a rendszerhez hozzáépíteni, melynek vezérlése automatizálható (6. ábra). Víztakarékos és magas, 90-95%-os öntözési hatékonysággal működő rendszer alkalmazása során minimális az erózióveszély (Incrocci et al., 2017). Ugyanakkor hátrányként megemlíthető, hogy a lebegő anyagoktól mentes, kiváló minőségű öntözővizet kell biztosítani, mivel a csepegtető testek könnyen eltömődhetnek. A mechanikai szennyeződések eltávolításához finom szűrőrendszer alkalmazható. A csepegtető öntözési technika fejlődésével eltérő (furatos, járatos csepegtető és vízádagoló testek, nyomáskiegyenlítő, valamint öntisztító vízádagoló testek) működési elvvel bíró csepegtetőtestek alakultak ki (Csajbók, 2004; Lelkes és Ligetvári, 1991).

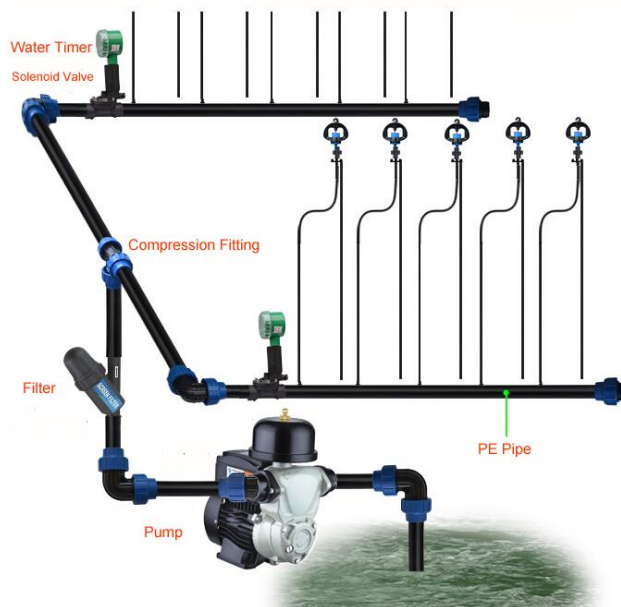


6. ábra: A csepegtető öntözőrendszer működési elve (Lelkes és Ligetvári, 1991)

3.4.2. Mikroszórófejes öntözési mód

A rendszer kiépítése hasonlóan alakul, mint a csepegtető öntözésnél. Az öntözővíz kijuttatását kis méretű szórófejek biztosítják, amely során az esőszerű öntözéshez hasonlóan a víz porlasztott formában kerül kiöntözésre a növények és a talaj felszínére (7. ábra). Ugyanakkor alacsonyabb a vízkijuttatás intenzitása és a cseppmérete. A szórófejeket elhelyezése közvetlenül a növényállományba, a talajfelszínre történik, ahol jelentősen csökken a párolgási veszteség. A víztakarékos öntözési módként a természet kultúrától függően a szórófejek beázási zónái nem érnek össze. A vízkiadagolás a növények vízigénye szerint ütemezhető. Ez a rendszer is automatizálható, és egyaránt alkalmas a tápanyagok kijuttatására is (Csajbók, 2004; Incrocci et al., 2017; Ravikumar, 2023c). Kiemelt jelentőséggel bír ez esetben is a vízminőség, a szórófejek eltömődése miatt. A mikroszórófejes vízadagolókat két csoport jellemző. Az egyik az ütközőlapos a másik a forgóelemes mikroszórók (Lelkes és Ligetvári, 1991).

A víztakarékos mikroöntözést a nagy téralással rendelkező növények vagy fák, valamint a sorközök öntözésére alkalmazható, azonban a kis sor-és tőtávolságú kultúrák, mint a rizs vagy más gabonafélék öntözésére kevésbé használják. Emiatt a főként gabonafélék termesztésével foglalkozó régiók gazdálkodói nem tudják kellő hatékonysággal kihasználni a mikroöntözés előnyeit. A technológia fejlődésével azonban a mikroöntözést egyre többféle növénykultúrához igazítják. Ennek célja a vízhiányos régiókban és a fejlődő országokban a vízfelhasználás hatékonyságának és az élelmezésbiztonságnak a növelése, ahol a gabonafélék alapvető táplálékként szolgálnak (Madramootoo és Morrison, 2013).



7. ábra: A mikroszórófejes öntözőrendszer felépítése (Internet 1.)

3.5. Az energifűz, mint megújuló energiaforrás

A fehér fűzként ismert *Salix alba* L. az egyik legnagyobb és legismertebb fűzfa. Közismert nevét jellegzetes, halvány ezüstös színű leveleiről kapta. A fűzfafélék egyik olyan faja, amelyet biomasszája miatt termesztnek. Továbbá hajlékony ágak és keskeny levelek jellemzik. Elterjedési területe széles, Európától Közép-Oroszországon át egészen a kínai határig terjed.

Napjainkban ismét felértékelődik a biomassza-energia felhasználása, így várhatóan a jövőben is megőrzi a világ energiafogyasztásának közel 10%-os részesedését (Bai et al., 2002). A bioenergia hasznosítás optimális esetben a biomassza eredeti állapotában vagy ahhoz közeli energia felhasználása. A közvetlen égetésre megfelelőek az erdészeti és a mezőgazdasági növények és melléktermékeik, valamint a fás- és lágyszárú energianövények biomassza produktuma (Vancsó, 2010).

A fűz, különösen a bokros növekedésű fajok, boreális éghajlati körülmények között igen magas fiatalkori növekedési eréllyel rendelkezik (Christersson et al., 1993; Labrecque és Teodorescu, 2003), valamint a dugványokból erőteljesen hajtanak ki (Ceulemans et al., 1996). Ezek a tulajdonságok vonzóvá tették őket a bioenergia és a fitoremediáció alkalmazás területén (Kuzovkina és Quigley, 2005), illetve ezek kombinációjában (Mirck et al., 2005; Ruttens et al., 2011).

Salix spp. felhasználható a feldolgozó ipar számára, energiatermelésre és gyógyászati célokra (Shara és Stohs 2015). A fűz termesztése esetén akár 25-30 t/ha/év (10-15 t/száraz tömeg/év) termés is elérhető. Mivel a fűz jól tolerálja a talajok rossz levegő-víz arányát, ezért a

rendszeresen előntött területeknél (árterek, belvizes területek) a legalkalmasabbnak tekinthető. Gyors növekedésének és nagy szervesanyag-produkciójának köszönhetően a rövid vágásfordulójú (short rotation coppice - SRC) fűz klónokat évente vagy 2-3 évente lehet betakarítani, mely során termesztésük akár 15-20 évig is jövedelmező maradhat (Gyuricza et al., 2008). Ebben az esetben a tápanyag-utánpótlásról gondoskodni kell a jó talajállapot kialakítása és a kielégítő biomassza-hozam elérése érdekében (Gyuricza, 2008; Smart és Cameron, 2012).

A felszíni vizek eutrofizációjának csökkentésére alternatív megoldást jelenthet a szennyvízöntözés. Az SRC növények, mint biofilterek, csökkenthetik az elfolyóvizek magas szervesanyag-tartalmát, mikro- és makroelemeit, különösen a nitrogén (N) és foszfor (P) koncentrációját. A szennyvízöntözés lehetőséget nyújt a termesztés során a kisebb adag műtrágya kijuttatására, vagy akár a konvencionális tápanyag utánpótlás kiváltását is biztosíthatja (Aronsson és Perttu, 2001).

3.5.1. A fehér fűz rendszertana, származása, morfológiája és biológiai tulajdonságai

Rendszertana

A fehér fűz a fűzfafélék (*Salicaceae*) családjába tartozó fűz nemzetség legismertebb képviselője. Gyorsan növekvő kétlaki, széles levelű fa (Gyuricza és Borovics, 2018). Európában az *Alba* osztálynak az egyedüli képviselője, következésképp taxonómiaiilag könnyen elkülöníthető a többi fűzfajtól. Tetraploid faj ($2n=76$). Ugyan meghatározott termőhelyeken nő, azonban a szélesség miatt a specializálódás és a genetikai izolálódás lehetősége kismértékű. A populáció jelentősebb izolációja a délkeleti területeken figyelhető meg, itt két alfaji taxonra bonthatók (Gencsi és Vancsura, 1992; Isebrands és Richardson, 2013).

Származása

Az *S. alba* dél-eurázsiai flóraelem, amely széles körben elterjedt Európában az 55. szélességi foktól délre található területeken. Megtalálható Kis-Ázsiától és Közép-Oroszországtól a kínai határokig, mindemellett Észak-Afrika mediterrán partvidékein és Észak-Indiában is fellelhető. Északon az elterjedési területe magában foglalja a Brit-szigeteket, Hollandiát és a Balti-tenger keleti partvidékét (Lettország és Litvánia). Természetes elterjedési területét nehéz meghatározni, mivel kiterjedten termesztik (Isebrands és Richardson, 2013; Praciak, 2013).

Magyarország egész területén megtalálható, nagyobb állományszerű előfordulásai a Duna és a Dráva, illetve a Tisza és mellékfolyói árterén vannak. Emellett a középhegységek medencéiben is fellelhető egészen a 600 méter tengerszint magasságig (Gencsi és Vancsura, 1992).

Morfológiája és biológiai tulajdonságai

A fűzfajok közül az egyik legnagyobb, magassága elérheti a 30 métert, átmérője pedig 1 vagy annál több métert is. Más fajfajokhoz képest rövid élettartammal rendelkezik, ami nem haladja meg a 20-30 évet (Isebrands és Richardson, 2013). Sűrű állományban a törzse megnyúlik és többnyire szabálytalanul hajlott formát vesz fel. Emiatt nem számít gyakorinak az egyenes és a hengeres törzsek megjelenése. A koronarendszere fajtától függetlenül megnyúlt kúp alakú, amelyet hegyes szögben felálló seprűszerűen elágazódó ágak jellemeznek. A nagyobb térállású egyedek zömök törzset és szabálytalan gömb alakú koronaformát növesztenek. Az ágak végei ekkor kissé lehajlók. A törzskéreg barnásszürke, hosszant repedezett, szabályos lefutású kéregcserepekkel (Gencsi és Vancsura, 1992). A gyökérszónában található periferikus gyökérágak sűrűn szétágazók, a talajfelszínhez közel pedig nagyszámú oldalgyökerekkel rendelkeznek. A gyökfő és a törzs fogékony a járulékos gyökérképződésre. A levelek hosszúak és keskenyek (lándzsa alakúak), felső oldalon ezüstszürkék, a levélfonákon sűrű, selymesfehér szőrök találhatók, ami a fának jellegzetes halvány megjelenést kölcsönöz (Mitchell, 1974). A kétéves hajtások felülete tar, színük vörösesbarna, fényes felrepedező szürke peridermával. A rügyei aprók, amely nem haladja meg a 4-5 mm hosszt, megnyúltak és szárhoz simulók, vörössárga rügyepikkellyel. Virágzata a leveles hajtások csúcsi részén jelenik meg. A lombosodással párhuzamosan indul be a virágzás. A sárga porzós barka legfeljebb 5 cm hosszú és vastagabb felépítésű, a termős füzérek alacsonyabbak, sárgás rövid bibékkal rendelkeznek és a murvapikkelyeik virágzás után lehullanak (8. ábra). A porzós virágokban kettő, a termős füzérekben egy mézfertő található. A június elején érő fehér fűz termése tojásdad alakú, kis méretű és két kopáccsal nyíló tok jellemez (Gencsi és Vancsura, 1992).



8. ábra: A fehér fűz (*Salix alba* L.) levélzete és virágzata (Internet 2)

3.5.2. A fehér fűz ökológiai igénye

A mintegy 400 gyorsan növény és rövid vágásfordulójú fás szárú növényfaj nagy része a Föld északi felén él. A fűzfa a holarktikus birodalom jellegzetes fás szárú nemzetsége. A mérsékelt éghajlatú, enyhe télű, meleg nyarú, rövid aszályos időszakokkal jellemezhető folyóparti fajok közé tartozik. Jellemzően víz közelében, folyók és tavak partján, illetve tavak, patakok, nedves üregek és árkok mellett nő. Elterjedési területének legdélebbi részein a tengerszint feletti magasságtól 2 400 méterig fordul elő. Éghajlati optimumát a sztyeppeken, az erdős sztyeppeken és a félsivatagos övezetben éri el. Hőigényes, higrofiton faj, amely a magas talajnedvességet kedveli. A hosszan tartó szárazságot is elviseli, amikor a gyökerek elérik a talajvizet. A gyors növekedéshez nyár elején folytonos vízborítottságra van szüksége. Az állandó nyári áradást is elviseli. Ilyenkor törzsének vízbe merülő szakaszán légzőgyökerek alakulnak ki (Gencsi és Vancsura 1992). Sokféle talajtípust elvisel, azonban a laza hordalékos talajon megfelelően fejlődik. A kötött agyagos talajon a vontatott kezdeti növekedés jellemzi (Koop, 1987). A gyors fiatalkori növekedése és jelentős fényigénye miatt mérsékelt a társulásképesége. Ökológiai jelentősége, hogy pionír fajként kevésbé érzékeny a termőhely abiotikus tényezőivel szemben (Schmidt és Tóth, 2006).

Szaporításukat tekintve történhet generatív (beporzás) vagy vegetatív (dugványozható) úton. Könnyen szaporodik járulékos gyökérrendszerrel is. A fehér fűz kifejlett példányai jelentős toleranciát mutatnak a belvízzel szemben, még az olyan árvíztűrő taxonokkal, mint a vénic szillel

(*Ulmus laevis*), a mezei szillel (*Ulmus minor*) és a kocsányos tölgygel (*Quercus robur*) összehasonlítva (Koop, 1987; Schnitzler, 1997).

3.6. A cirok, mint a jövő alternatív takarmány és gabona növénye

Hazánkban az éghajlatváltozás miatt gyakoribbá válnak az aszályos időszakok és az egyenetlen csapadékeloszlások. Nemzetközi viszonylatban a cirok a termőterületét tekintve, valamint a köztermesztésben lévő gabonafélék közül az ötödik helyen áll. Globális szinten 98 országban összesen 42 millió hektáron történik a termesztése. A legnagyobb arányban Afrikában (59%), ezt követően Ázsiában (25%), utána Észak- és Közép Amerikában (11%), majd Dél-Amerikában (4%), és végül Európában (1%) termesztik (Jevcsák és Sipos, 2016).

Számos tanulmányban leírták, hogy a cirok kiváló szárazságtűrő képességgel rendelkezik, ami miatt nagyobb terméshozammal és biztonságosabban termesztendő. A csapadékhiányos területeken nagyobb terméshozammal bír és hatékonyabb tápanyagfelvétellel, mint a kukorica (Assefa et al., 2010; Plénet és Cruz, 1997; Staggenborg et al., 2008). Mindemellett jelentőségét tovább növeli, hogy nem igényel olyan intenzív növényvédelmet és tápanyagutánpótlást, mint a kukorica (Tsuchihashi és Goto, 2004). Kevésbé érzékeny a terület minőségére, eredményesen termesztendő olyan termőterületeken is, ahol más növények termesztése nem jövedelmező. Sokrétű felhasználási területtel rendelkezik. Szemtermése állati takarmánnyá is ártalmasítható, főként sertés és baromfi takarmánykeverékként és madáreleségként. A nagy biomassza tömeget adó takarmánycirok fajták szilázskészítésére alkalmasak. Beltartalmi paraméterei közül 6-16% fehérjetartalommal rendelkezik. Az alacsony tannintartalmú fehér fajták/hibridek a humán élelmezés területén is felhasználhatók. Örleménye lisztként hasznosítható, amely gluténmentes, így a speciális étrendet igénylők is bátran fogyaszthatják. Emellett rendkívül magas rost- és antioxidáns tartalommal rendelkezik. Az energiaelőállítás területén is jelentős szerepet tölt be, különös tekintettel az etanol és a műanyaggyártásnál (Al-Jaloud et al., 1995; Taylor et al., 2014; Vasilakoglou et al., 2011).

C4-es fiziológiás növényként a cirok szén-dioxid megkötése négy szénatomos dikarbonsavakon keresztül valósul meg. Fénytelítődési pont hiányában, magasabb fényintenzitáson tovább nő fotoszintézisének sebessége. A C3-as növényekkel ellentétben jelentősebb a szén-dioxid megkötése egységnyi levélfelületre bontva (Kismányoky, 2021; Mace et al., 2013)

3.6.1. A cirok rendszertana, származása, morfológiája, biológiai tulajdonságai

Rendszertana

Persoon rendszertani besorolása szerint az összes termesztett cirok egy fajt alkot (*Sorghum vulgare* PERS.), amelyen belül különböző változatok (*varietas*) különíthetők el (Siklósne Rajki és Harmati, 2001):

- *Monocotyledonopsida* Egyszikűek osztálya
- *Poales* Pelyvások rendje
- *Poaceae (Gramineae)* Pázsitfűfélék családja
- *Sorghum* Cirok nemzetség
- *Sorghum vulgare* (PERS.) Cirok faj és változatai
 - *Sorghum vulgare* (PERS.) *var. frumentaceum* Szemes cirok
 - *Sorghum vulgare* (PERS.) *var. saccharatum* Cukorcirok
 - *Sorghum vulgare* (PERS.) *var. sudanense* Szudánifű
 - *Sorghum vulgare* (PERS.) *var. technicum* Seprűcirok

A nemzetközi szakirodalommal történő egyeztetés során új rendszertani besorolást vezettek be hazánkban is, amely alapján a termesztett cirok típusok eltérő fajokba oszthatók (Siklósne Rajki és Harmati, 2001):

- *Sorghum bicolor* (L.) MOENCH Szemes cirok
- *Sorghum bicolor* (L.) MOENCH Silócirok
- *Sorghum dochna* (FORSSK.) Cukorcirok
SNOWDEN *provar. dochna*
- *Sorghum dochna* (FORSSK.) Seprűcirok
SNOWDEN *provar. technicum*
- *Sorghum sudanense* (L.) Szudánifű
PIPER/STAPF

Származása

Géncentruma Afrika, azon belül is a Szahara déli régiójából származik. Ezen a területen számos vad rokon faja is előfordul, melyek termesztése kb. 5000 évvel ezelőtt kezdődött. Ezt követően Afrika többi régiójában, valamint a Közel-Keleten, Indiában, Kínában és Európában is elkezdték a cirok termesztését (Murray et al., 2009). Amerikába valószínűleg a rabszolgák behurcolásával jelent meg a cirok, azonban termesztésének elterjedése csak 1853 után vált jelentősebbé. Ugyanakkor a száraz övezetek leginkább termesztett növénye közé tartozott.

Európában a seprűcirok termesztés már a 15. század végén jelen volt. Magyarországon szintén először a seprűcirok fajtákat kezdték el termesztani, majd ezt követően az 1920-as évektől kezdődően már a takarmánycirok fajták termesztése is megjelent (Jevcsák és Sipos, 2016; Palágyi, 2021; Siklósné Rajki és Harmati, 2001).

Morfológiája és biológiai tulajdonságai

Vetést követően, optimális körülmények között a csírázás már a 6. és a 7. nap között megindul, amelyet a gyököcske és száracska gyors növekedése jellemez. Az egyszikű növényekhez hasonlóan legelőször egy levél jelenik meg a talajfelszínen, azonban melegebb tavaszi időjárás esetén az első levéllel egyidőben a második levél is megjelenhet. A csíranövény színét befolyásolhatja a fajtajelleg és az időjárás, ugyanakkor általában zöld vagy lilás árnyalatot vesz fel. Az első tíz napban mérete megegyezik a szemtermésével. A gyökérváltás idején a csírázás során kifejlődött főgyökér szerepét az alap- és mellégyökerek veszik át. Ekkor a növény növekedési üteme lelassul és egy vontatott fejlődési fázis kezdődik (Roozeboom és Prasad, 2019; Siklósné Rajki és Harmati, 2001).

Erős, bojtos gyökérrzettel rendelkeznek, amely a talaj mélyebb rétegeiből is képes a víz- és tápanyagfelvételre (9. ábra). A mellégyökerek sűrűn behálózzák a felszínhez közeli talajréteget. Ezen tulajdonságai is hozzájárulnak a kimagasló szárazságtűrő képességéhez. A gyökér a szár és a buga növekedése minden fajtánál a centrális tengely mentén történik.



9. ábra: A cirok különböző fejlődési stádiumokban (Wani et al., 2012)

A szára hengeres felépítésű, kóróyszerű, belül tömött, rostos állományú, hosszabb ízekre és szártagokra osztható. A cukorcirok fajták esetében a lédús szár a szemtermés érésekor sem válik szivacsos szerkezetűvé. A nagymértékű cukorlerakódás miatt a refrakciós érték eléri a 17-20%-ot. A szár fajtától függően genetikailag meghatározott számú internódiumból épül fel, melyet az érési gén és a hő- és fotoperiódusos tényezők befolyásolnak. A szemes, a siló- és a cukorcirok szárátmérője 2-5 cm körül alakul. A szudánifű szárátmérője ennél vékonyabb (1 cm vagy annál kisebb).

A levelei lefelé hajló kissé hullámos széllel rendelkeznek, melyek szélessége 4-8 cm. A nóduszok mentén egy levél jelenik meg. A levél levélhüvellyel kapcsolódik a szárhoz, az pedig a nyelvecskén keresztül illeszkedik a levéllemezhez. A főér rendszerint erőteljes. Egy növényen 8-10 nódusz és levél található, azonban az oldalhajtásokkal együtt akár 40 levél is fellelhető. A Magyarországon termesztett fajták/hibridek esetében összesen 15-30 darab levél a jellemző.

Mind a szárat, mind pedig a levéllemez viaszréteg borítja, amely védelmet nyújt a kiszáradással szemben. A cirok magasságát genetikailag 4 gén határozza meg. A legmagasabb fajtáknál és hibrideknél (2-5 m) minden nódusz domináns gént, vagy egy lókuszban recesszív gént tartalmaz. A legalacsonyabb fajtáknál három vagy négy lókuszban csak recesszív gének találhatók, melynek következtében a növénymagasság akár 50 cm is lehet (Siklósné Rajki és Harmati, 2001).

Buga virágzatú, ami a buganyélen helyezkedik el. A cirokbugák felépítése és a buganyél hossza, valamint az átmérője fajtánként eltérhet. A cirokbuga fürtösen összetett fürtvirágzatú, amely első-, másod- és harmadrendű oldalágakkal rendelkezik. Itt találhatóak a hímnős virágok és mellettük 1-2 darab fejletlen hímvirág is. A virágok pelyvavelei a virágzás idején zöld vagy antociános, lilás színűek. A generatív fázis végére kialakul a fajtára jellemző pelyvavelelészín. Nyitva virágzó, amely során felülről lefelé és kívülről befelé történik a virágzás. A hímnős virág egy bibét és három portokot tartalmaz. A cirok termesztésének elterjedését növelte a citoplazmás hímszterilitás technológiája, amely lehetővé tette a hibridek előállítását hímnős virágzatú növényből.

A szemtermése egy magból alakul ki, ahol a termés- és a maghéj szorosan összenőtt. A termést két pelyvavelel és toklász fogja közre (9. ábra). A szemtermés alakja általában gömbölyded vagy megnyúlt. A termés mérete apró, átmérője nem haladja meg a 3-5 mm-t. Ezerszemtömege 25-35 gramm között alakul. Felülete sima és fénytelen, színét a terméshéj, a maghéj, valamint az endospermium színe határozza meg, amely fajtától függően lehet fehér, sárga, barna vagy vörös. Az érés során módosul a szemtermés színe. A vörös és a barna színnel rendelkező fajták csersavtartalma (tannintartalma) meghaladja a fehér vagy a világos szemű terméseket. Napjainkban a köztermesztésben lévő fajták tannintartalma nem haladja meg az 1%-

ot, ugyanakkor jelen vannak a tanninmentes hibridek is, melyek jellemzően fehér vagy sárga színűek (Artschwager, 1948; Palágyi, 2021; Siklósne Rajki és Harmati, 2001).

Egyedfejlődése

A cirok vetésétől a betakarításáig tartó időszak jellegzetes fenofázisokra osztható. Az optimális vetésideje a talaj hőmérsékletétől függ. A csírázást követően vontatott kezdeti fejlődés jellemzi a csíranövényt. A szárbaindulás során először a földalatti gyökérrendszer kezd el fejlődni, ezt követően egy intenzív szárnövekedési szakasz veszi kezdetét, amely egészen a bugahányás idejéig tart. A tápanyagfelvétel a szárbaindulás és a virágzás közötti szakaszban a legjelentősebb, ahol a növény eléri a teljes növénymagasságának 90%-át. A hőigény tekintetében a legintenzívebb felvétel a bugahányás és a teljesérés során történik. A bugaérés felülről lefelé történik, amely során megkülönböztetünk tejes-, viasz- és teljesérést. A teljesérés során a szemtermés víztartalma 20-25% körül mozog, ekkor már biztonságosan megkezdhető a betakarítás (Palágyi, 2021).

3.6.2. A cirok ökológiai igénye

A cirok a gyengébb termőképességgel rendelkező talajtípusokon is sikeresen termesztendő, a talajjal szemben nem igényes. A közép-kötött vályogtalajok vagy a humuszos barna homoktalajok megfelelőek, azonban a kötöttebb talajtípusok is alkalmasak lehetnek. Lehetőség szerint a talaj humusztartalma haladja meg a 2%-ot. Ugyanakkor kerülendők az erősen sós, szikes, erősen kötött, hideg agyag, futóhomok, erősen savanyú, valamint a felszínközeli vízzáró réteggel rendelkező talajtípusok. A cirok termesztéséhez leginkább a laza, jó vízáteresztő képességgel, kevésbé savanyú és jó tápanyagellátottsággal bíró ásványi talajok a megfelelőek, ahol a gyökernövekedésnek és mélyre hatolásának nincs akadálya. A cirokfélék talajigénye között különbség mutatkozik, ahol a legigényesebb a szemescirok, utána a silócirok és végül a szudánifű fajták. A pH érték optimális tartománya 6,5-8,2. (Siklósne Rajki és Harmati, 2001; Wani et al., 2012).

Magyarországon termesztett szántóföldi növények közül a cirok az egyik leghőigényesebb faj, innen származik rendkívüli szárazságtűrő képessége. A vegetációs időszakban 2800-3000 °C a hőigénye. A vetés 13-14 °C hőmérsékletű talajban kezdődhet meg, mivel a csírázása ebben a hőtartományban a legerőteljesebb. Gyökérváltáskor 16 °C, a bugahányáskor és a virágzáskor 20 °C feletti talajhőmérséklet, az éréshez pedig egyenletes, száraz időjárás szükséges. A csapadékos, hideg és hűvös őszi időjárás megneveli a gombás fertőzések száma. Hazánkban emiatt ajánlott a 140-160 napos tenyészidejű fajták termesztése (Horváth és Mikes, 1981).

A csapadék mennyisége iránt nem igényes a mélyre hatoló bojtos gyökérzete miatt, azonban azokon a területeken természetesen eredményesen, ahol a csapadék mennyisége eléri az 500-580 mm/év értéket. A cirok transzspirációs együtthatója 150-250 l/kg szárazanyag, amely lényegesen kevesebb, mint a kukoricáé. A tenyészidőszak első felében – a keléstől egészen a bugahányásig – vízigényesebb. A kellően átnedvesedett talajállapot kedvezőbb tápelemfelvételt tesz lehetővé. Ugyanakkor a túlzott vízellátás csökkenti a nátrium, a kalcium és a magnézium felvételét, valamint kinyújtja a tenyészidőszakot, teret adva a kórokozók megjelenésének (Loch és Nosticzius, 1992; Palágyi, 2021). A szántóföldi növények közül a cirokfélék kiváló szárazságtűrését elősegíti, hogy a szár és a levélfelület felszínét vékony viaszréteg fedi, ami védi a kiszáradástól és elősegíti a víztartalékok megtartását. Továbbá a mélyre hatoló, nagy kiterjedésű és a talajt sűrűn behálózó gyökérzete képes a talaj mélyebb rétegéből felvenni a más növények számára hozzáférhetetlen vizet és tápanyagot (Bárdossy et al., 1985).

3.7. Összefoglaló megállapítások a felhasznált szakirodalom alapján

A témával kapcsolatos gazdag hazai és nemzetközi szakirodalom áttekintése után az alábbi következtetések vonhatók le:

A globális nyomás a föld- és vízkészletekre rendkívül súlyos, az erőforrások gyors kimerülése válik egyre valószínűbbé. A vízkészletek fenntarthatósága kulcsfontosságú kérdéssé válik, mivel a vízhiány egyre súlyosabb problémát jelent. Az öntözéses mezőgazdaságban az öntözés minősége és rendelkezésre állása kritikus tényezővé válik. Az újrahasznosított víz használata az öntözés során egy fontos lehetőség a vízkészletek hatékonyabb kihasználására. Az újrahasznosított víz lehetőséget nyújt arra, hogy csökkentsük az édesvíz kivételt és csökkentsük az ökológiai terhelést.

Magyarországon az öntözéses mezőgazdaság visszaesett a rendszerváltás után. Ennek hátterében számos tényező áll, beleértve a birtokszerkezet fragmentáltságát, a termelői kooperáció hiányát, a szerteágazó vízjogi engedélyezési rendszert és a támogatási hiányt. Emellett az öntözött területek mérete alacsonyabb, mint az elérhető potenciál, és a megfelelő minőségű víz hozzáférhetősége is korlátozott. Az integrált vízgazdálkodás és az újrahasznosított víz használata segíthet a vízkészletek fenntarthatóbb kezelésében és az agrár termelés hatékonyságának növelésében. Az újrahasznosított víz alkalmas lehet az öntözéses növénytermesztésre, különösen olyan területeken, ahol a jó minőségű víz hiányzik. Az öntözés hatékonyabbá teheti a mezőgazdasági termelést, és hozzájárulhat az élelmiszerbiztonság fenntartásához.

Magyarországon az öntözhető területek nagy potenciállal rendelkeznek, de jelenleg csak kis részüket használják ki. Az öntözhető területek nagysága 170 ezer hektár, amelybe beleértendő

a halastavi üzemi rendszerek is. Ezzel szemben az európai országokban a mezőgazdaság számára rendelkezésre álló vízkészletek közel 80%-át hasznosítják, míg Magyarországon mindössze 30% kerül kihasználásra. Az öntözhető területek kismértékű kihasználtságának részben a vízforrásokhoz való korlátozott hozzáférésnek, a szétdarabolódott birtokszerkezeteknek, és a támogatási rendszer hiányának is tulajdonítható. Emellett a vízkészletek hatékonyabb felhasználásának szükségessége is felvetődik, különösen a klímaváltozás miatt, amely egyre inkább kiszámíthatatlan időjárási viszonyokat hoz magával. Az Európai Unióban az utóbbi években csökkentek a vízpazarló tevékenységek, és egyre inkább előtérbe kerül a körkörös gazdaság modellje, amely magában foglalja a szerves és hulladék alapú trágyák használatát, valamint a biohulladék újrahasznosítását és tápanyagként való felhasználását. Az integrált vízgazdálkodás célja a tisztított szennyvizek és technológiai vizek visszatartása, valamint azok felhasználása a keletkezés helyén. Ez segíthet csökkenteni a felszíni vizek eutrofizációját, növelni a rendelkezésre álló vízkészleteket, és hasznosítani az újrahasznosított vízben lévő tápanyagokat az öntözéses mezőgazdasági termelésben.

A biomassa-energia hasznosítása valóban egy fontos tényező a fenntartható energiaellátásban és a környezetvédelemben. Mind az energiafűz, mind pedig a cirok kiváló választás lehet biomassa-energia forrásaként, különösen olyan területeken, ahol a csapadékhiány miatt más növények nehezen termeszthetők.

Az elfolyóvizek, például halastavak vagy akvakultúra létesítmények vízkibocsátásai, gyakran gazdagok tápanyagokban, például nitrogénben és foszforban. Ezek a tápanyagok rendkívül hasznosak lehetnek a mezőgazdaságban, mivel növelhetik a növények növekedését és hozamát. Az energiafűz ültetvények például kiválóan alkalmazhatók az elfolyóvizek kezelésére és a tápanyagok visszaforgatására a mezőgazdaságban.

Az energiafűz olyan növény, amely gyors növekedésű és könnyen kezelhető. Az elfolyóvizeket felhasználva a fűültetvények öntözhetőek, így a termesztésre használt területet hatékonyan hasznosíthatjuk. Ezen kívül az elfolyóvizekben található tápanyagok hozzájárulnak a fűz növekedéséhez, ami nagyobb biomassa előállítását teszi lehetővé. A fűzből nyert biomassa pedig energianövényként hasznosítható, például faapríték vagy pellet formájában, így hozzájárulva a megújuló energiaforrások előállításához.

A szemes cirok termesztése is kiválóan illeszkedik ebbe a környezetbarát mezőgazdasági rendszerbe. A cirok olyan növény, amely jól alkalmazkodik a változó körülményekhez és relatíve alacsony vízigényű. Az elfolyóvízből származó tápanyagok hozzájárulhatnak a cirok tápanyagszükségleteinek fedezéséhez, így növelve a termés mennyiségét és minőségét.

Fontos hangsúlyozni, hogy az öntözési mezőgazdaság hatékony vízgazdálkodási rendszerekkel és környezetbarát megoldásokkal lehetővé teheti a vízkészletek fenntartható használatát és az agrár termelés növekedését.

4. ANYAG ÉS MÓDSZER

4.1. A kísérleti terület bemutatása

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.

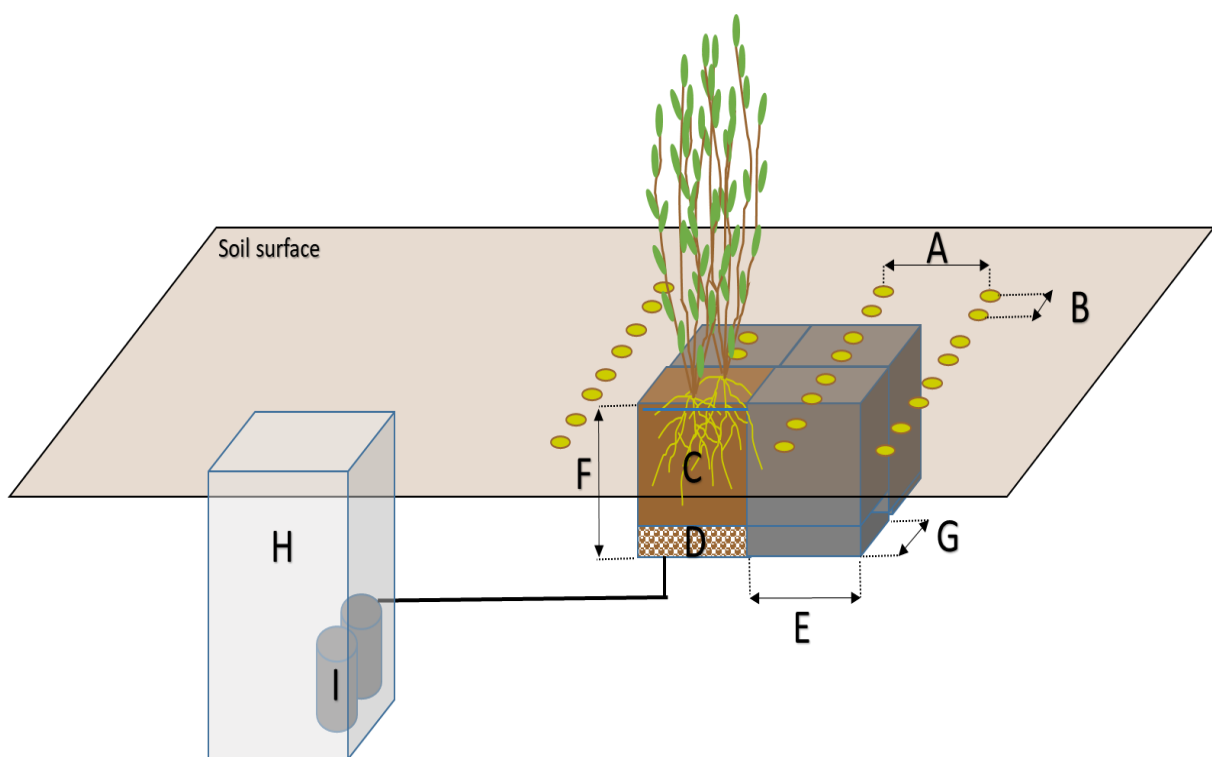
Szarvas Magyarország egyik legmelegebb és legszárazabb vidékén található. Az Alföld klímáját tekintve nagy éves és napi hőmérsékletingadozások, késő tavaszi és kora őszi fagyok, sok napfény, viszonylag alacsony páratartalom és rendkívül szeszélyes csapadékviszonyok jellemzik. Az éves átlagos léghőmérséklet a 1981 és 2010 közötti időszakban 10,8 °C volt (1. táblázat). Az éghajlatváltozás negatív hatásaként érzékelhető a légkör hőmérsékletének emelkedése, amelyet a kísérlet során mért meteorológiai adatok is alátámasztanak. Az 1. táblázat szerint 2015-től az átlaghőmérséklet növekedése figyelhető meg, ahol 1981-2010 közötti időszakhoz képest 2019-ben 3,1 °C-kal emelkedett az éves átlaghőmérséklet. Az éves átlagos csapadékmennyiség 1921-2010 között 515,2 mm volt. 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.

1. táblázat: Meteorológiai adatok 1981 és 2010, illetve 2015 és 2020 között

	Átlagos léghőmérséklet (°C)						Csapadék mennyisége (mm)					
	1981–2010	2015	2016	2017	2019	2020	1981–2010	2015	2016	2017	2019	2020
Január	-1,0	2,2	-0,9	-6,7	-0,5	-1,0	29,1	58,8	61,6	28,3	44,1	11,1
Február	0,5	2,4	6,0	2,6	4,6	5,3	29,9	17,3	88,5	30,2	9,5	54,8
Március	5,6	7,4	7,3	9,4	12,7	7,0	27,8	25,5	20,0	13,4	1,6	48,7
Április	11,5	11,5	13,4	11,0	18,3	11,8	42,0	8,2	12,3	49,7	0,6	15,6
Május	16,8	17,1	16,6	17,2	17,8	14,7	50,6	53,7	18,8	40,9	48,7	39,0
Június	19,8	21,2	21,3	22,1	23,5	20,7	61,3	21,0	124,4	69,3	162,4	123,8
Július	21,9	24,4	22,5	22,8	22,2	22,1	57,5	31,4	123,6	31,8	68,1	92,6
Augusztus	21,4	24,2	21,1	23,7	24,1	23,7	50,7	40,9	50,5	33,3	24,5	44,6
Szeptember	16,6	18,7	18,3	16,6	17,8	19,2	47,8	64,0	9,8	74,2	46,1	26,5
Október	11,2	10,4	9,8	11,6	12,7	12,3	32,4	105,2	72,7	33,7	18,1	89,7
November	5,0	6,3	5,0	6,0	9,4	5,2	41,3	3,2	49,6	39,6	52,6	16,5
December	0,3	2,6	-1,2	2,7	3,6	4,2	44,8	4,5	1,0	89,2	40,1	48,7
Átlag/Összesen	10,8	12,4	11,6	11,6	13,9	12,1	515,2	433,7	632,8	533,6	516,4	611,6

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.

A rövid vágásfordulójú energiafű vizsgálata során hatvannégy átfolyásos liziméterrel határoztam meg az öntözés növényre és talajra gyakorolt hatását. Az átfolyásos liziméterek mérete 1 m^3 , melyek felülete 1 m^2 , mélységük pedig 1 m, ahol csak a felszín nyitott. Minden liziméterben 80 cm-es talajréteg és az alján 10 cm-es finom kavicsréteg található, melynek elsődleges feladata a csurgalékvíz összegyűjtése. A liziméter alján egy kivezető nyíláson jut el a szivárgó víz egy csövön keresztül az egyes blokkokhoz tartozó pincékhez, ahol a csurgalékvíz edényekben összegyűjthető. A cirok hibridek termesztéséhez szabadföldi kisparcellás területkijelölés történt összesen 165 m^2 -en.



10. ábra: A rövid vágásfordulójú energiafű kísérleti elrendezése egy liziméterben (Kolozsvári *et al.*, 2021)

Megjegyzés: A: tőtávolság 50 cm, B: sortávolság 100 cm, C: termőtalaj 80 cm, D: kavicsréteg 10 cm, F: edény mélysége 100 cm, E: edény szélessége 100 cm, G: edény hosszúság 100 cm, H: csurgalékvíz gyűjtő pince, I: csurgalékvíz gyűjtő edényzet

4.2. A termeszőközeg jellemzése

Liziméteres energiafű kísérlet talajának jellemzése

A rövid vágásfordulójú energiafű kísérletnél a telepítést megelőzően 2014-ben mind a 64 darab liziméterben talajcsere történt. Ennek oka az 1990-es évek óta tartó tápanyagutánpótlási

kísérletek, melyek jelentősen túltelítették a természetközeg mikro-, mezo-, és makroelem tartalmát. Az ülepedést követően (mintavétel ideje: 2015. 05. 13.) a feltöltött liziméterek talajából 0-30 és 30-60 cm-es rétegben kompozit mintát vettem 3 ismétlésben. Továbbá minden öntözési ciklus előtt 2016-ban és 2017-ben is mintavétel történt – kezelésként 3 ismétléssel – és ezt hasonlítottam össze az öntözés utáni állapottal. A talajanalízist a Magyar Szabványnak megfelelően a MATE ÖVKI Környezetanalitikai Vizsgálólaboratóriuma végezte el a M.3.4. mellékletben meghatározott módszerek szerint. A begyűjtött mintákból teljes körű kémiai analízis történt (2. táblázat, 3. táblázat, 4. táblázat). A vizsgálati paraméterek alapján a talaj 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, 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.

2. táblázat: A liziméterek talajának makroelem tartalom vizsgálat paraméterei

Mintavétel mélysége (cm)	pH (KCl)	K _A	Összes só	CaCO ₃	Humusz	KCl-NO _{2,3} -N	AL-P ₂ O ₅	AL-K ₂ O
			m/m%			mg/kg száraz talaj		
0-30	6,82	62	0,05	<0,5	1,63	2,55	520	415
30-60	6,97	52	0,06	<0,5	1,82	2,9	812	465

A talajok AL-oldható Na tartalma szikesedési hajlamra utal, amely a szokásos 30 mg/kg száraz talaj értéket meghaladja (3. táblázat). A liziméterekben mért AL-Na tartalom 70-77 mg/kg között alakult. Az EDTA-oldható mikroelemek mennyisége Cu és Mn esetében jó, a Zn mennyisége a jó ellátottság határértékén mozgott. Az 1M-os KCl-oldható szulfáttartalom gyenge, viszont a KCl-Mg igen jó ellátottságot mutatott.

3. táblázat: A liziméterek talajának mikroelem tartalom vizsgálat paraméterei

Mintavétel mélysége (cm)	AL-Na	EDTA-Cu	EDTA-Mn	EDTA-Zn	KCl-SO ₄ ²⁻	KCl-Mg
	mg/kg száraz talaj					
0-30	70	9	241	3,03	9,48	897
30-60	77	8,34	258	3,68	10,6	830

Szabadföldi cirok kísérlet talajának jellemzése

A szabadföldi cirok vetésterületén 2016. április 24-én történt meg az első talajmintavétel 0-30 és 30-60 cm mélységben. Ebben az esetben is kompozitmintát vettem (főparcellánként 3

különböző hely kombinált talajmintája alkotott egy ismétlést) 6 ismétlésben. A talajminták fontosabb agrokémiai tulajdonságainak átlagértékét a 4. táblázat, az alkalmazott laboratóriumi módszereket pedig az M.3.4. melléklet szemlélteti. 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. A talaj AL-Na tartalma megfelelő szinttel rendelkezett. Ez utóbbi paraméter alakulását kiemelt figyelemmel követtem a magasabb Na-tartalommal rendelkező elfolyóvíz öntözése miatt.

4. táblázat: A szabadföldi cirok kísérlet talajának fontosabb agrokémiai tulajdonságai

Mintavétel mélysége (cm)	pH (KCl)	K _A	Összes só	CaCO ₃	Humusz	KCl-NO _{2,3} -N	AL-P ₂ O ₅	AL-K ₂ O	AL-Na
			m/m%			mg/kg száraz talaj			
0-30	7,36	37	<0,02	2,47	1,73	3,79	2724	629	23,2
30-60	7,27	41	<0,02	2,05	1,93	4,58	3726	818	39,1

4.3. A kísérlet során használt növényanyag bemutatása

Rövid vágásfordulójú energiafűz (*Salix alba* L.)

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. Egyenes hengeres törzssel rendelkezik, amely kiválóan alkalmas a rönk és a vékony erdei választékok előállítására. Finom ágrendszerrel gazdagabbá teszi betakarítását és elősegíti a gépesített fahasználati technológiák alkalmazását. Energetikai és iparifa ültetvény felhasználására egyaránt alkalmas. Hagyományos erdőszerű ültetéssel is jól termesztendő. Szaporítása vegetatív úton simadugvánnyal történik. Jelentősebb betegsége, kártevője eddig nem ismert. Termőhelyigényét tekintve ültetése ártereken, mélyfekvésű öntés-, hordalék-, réti és láptalajokon ajánlott. Belvizes termőhelyeken is jól hasznosítható. Az éves biomassa produktuma a telepítés hálózatától függően 12,2-45,7 t/ha között alakul.

Szemescirok (*Sorghum bicolor* L. Moench)

'Alföldi 1'

A hazai köztermesztésben lévő középkorai érésű szemescirok hibridek közül az egyik legnagyobb termést adó hibrid. Kiemelkedő szárazságtűrővel és alkalmazkodó képességgel rendelkezik. Gyengébb minőségű talajokon is sikeresen termesztendő. A betegségekre toleráns. A szemtermését vörös színű és alacsony tannintartalmú, amely kiváló sertés és szárnyas abrakarmány. Fehérjetartalma eléri a 10-12%-ot. Termőképessége 9,5-10,5 t/ha között alakul. Kedvező környezeti körülmények között tömör és nagyméretű bugákat növeszt. A vetés ideje április végétől egészen május közepéig terjed.

'Farmsugro 180'

Középkései fehérmagvú kettős hasznosítási célra nemesített cirokhibrid, amely bő termőképességgel rendelkezik. Emellett kiemelkedő a szárazságtűrése és az állóképessége, valamint a betegségekre is toleráns. Szemtermésének hasznosítása leginkább takarmánykeverékekben és madáreleség előállításánál élvez előnyt. A humánélelmezés területén alternatív gabonaként gluténmentes termékek előállítására is alkalmas. Silóként betakarítva jó minőségű, kiemelkedő energiatartalommal rendelkező szilázs készíthető belőle, amely potenciális alapanyaga a biogáz előállítás területén, kiváltképp magas 4500 m³/ha feletti metán kizozatal értéke miatt. Optimális termőterületei hazánkban a gyorsan felmelegedő déli területek. Genetikai termőképessége 10,0-11,0 t/ha körül alakul. A vegetációs időben nagy és tömör bugákat növeszt, melyek tanninmentesek. Fehérjetartalma eléri a 10-12% értéket, míg ezermagtömege 27-31 g-ot. A vetés időpontja megegyezik a többi szemescirok fajtáéval.

'GK Emese'

A korai érésű szemescirok hibridek közé tartozik, melynek köszönhetően kimagasló hidegtűrő képességgel rendelkezik. Mindemellett a hibridre jellemző a bő termőképesség és a szárazságtűrés. Rendkívüli alkalmazkodó és megújuló képességének köszönhetően a rosszabb tulajdonsággal rendelkező termőterületeken is biztonsággal termesztendő. Állományában érik szemtermése, ezért nincs szükség érésyorsító használatára. Ez a hibrid is jó betegségellenálló képességgel rendelkezik. Rövid tenyészideje miatt vetése április végétől egészen május közepéig tart, emiatt akár másodvetésként is termesztendő. Genetikai termőképesség 9,0-10,0 t/ha. Bugáira jellemző a nagy méret és a fellazuló szerkezet. A szemtermése vörös színű, jó beltartalmi mutatókkal rendelkezik, valamint alacsony tannintartalom jellemzi. Fehérjetartalma 10,5-12,5% körül mozog, az ezermagtömege pedig 30-32 g.

4.4. Az öntözővizek kémiai paraméterei

Az öntözővizek minősítése és mezőgazdasági alkalmazása témakörben hatályos műszaki irányelv (MI-08-1780-1988) a talaj-növény-víz komplex rendszerén túl a víz szétosztási technológiájához szükséges vízminőségi mutatókat is tartalmazza. A csepegtetőtestek eldugulásának lehetősége miatt nélkülözhetetlen a fizikai (hőmérséklet, lebegő anyagok, oldott oxigén), kémiai (keménység, vas- és mangántartalom, hidrogén-szulfid tartalom) és biológiai (vas- és szulfát baktériumok) vizsgálatok elvégzése. A felszíni vizek öntözővíz minősítése műszaki irányelv (MI-10-179/9-1990) a részletes kémiai elemzést követően az osztályozást az öntözővíz-növény kölcsönhatásokra alapozza. A kultúrnövények besorolása a sótűrő képességük szerint valósul meg (Rácz, 2007).

Az öntözővíz minőségét elsősorban a következő jellemzők alapján lehet megítélni (Filep, 1999):

- az összes oldott sótartalom, a víz elektromos vezetőképessége (EC) és sókoncentrációja (c) között lineáris az összefüggés, azaz (ha $EC < 4$):

$$c \text{ mg/L} = 640 \text{ EC (elektromos vezetőképesség)}$$

- az effektív Ca + Mg-tartalom:

$$(Ca+Mg)_{eff} = (Ca+Mg)_{mért} - 0,25(HCO_3 + CO_3)$$

- a víz relatív Na-tartalma (Na%):

$$Na\% = \frac{Na}{Ca+Mg+Na+K} * 100$$

- a Na-adszorpciós arány (SAR= Sodium Adsorption Ratio):

$$SAR = \frac{Na}{\sqrt{\frac{Ca^{2+} + Mg^{2+}}{2}}}$$

- a lúgosan hidrolizáló alkáli sók összmenyisége (Sze),

$$Sze \text{ (mgeé/L)} = (HCO_3^- + CO_3^{2-}) - (Ca^{2+} + Mg^{2+})$$

- a Mg-ionoknak a Ca + Mg-hoz viszonyított relatív mennyisége (Mg%)

$$Mg\% = \frac{Mg}{Ca+Mg} * 100$$

A kutatás során használt öntözővizek kémiai analízise a MATE Környezetanalitikai Laboratóriumában történt, az M.3.5. mellékletben feltüntetett paraméterek és módszerek mentén.

Az öntözési kísérlet során évenként az öntözővízzel kijutatott N, P, K és Na mennyiségét (kg/ha) vízminőségenként és kezelésenként az M.3.6. és az M.3.7. mellékletek tartalmazzák.

Az elfolyóvíz jellemzése

Az elfolyóvíz kémhatása megfelelő. Az elektromos vezetőképességből (5. táblázat) számított összes sótartalom az elfolyóvízre 845 mg/L. A hazai éghajlati és talajviszonyok között, általában nem következik be sófelhalmozódás akkor, ha az öntözővíz só koncentrációja nem haladja meg az 500 mg/L (0,781 mS/cm) értéket. Mély talajvizű, laza talajokon azonban ennél nagyobb 800–1000 mg/L (1,25–1,56 mS/cm) sótartalmú víz használata is megengedhető. Az öntözési kísérletek kötött talajokon folynak, ezért a megengedett 500 mg/l koncentrációt meghaladó sótartalomra nagyobb figyelmet kell szentelni.

5. táblázat: A kutatás során használt öntözővizek átlagos főbb vízminőségi paraméterei

Vizsgált paraméterek	Elfolyóvíz	Körös holtág vize	Hígított+gipsz
pH	7,59	7,6	7,6
EC (μS/cm)	1320	440	1050
p-lúgosság (mg/L)	0	0	0
m-lúgosság (mg/L)	15,6	3,8	7,8
NH ₄ N (mg/L)	22,5	0,6	8,6
Összes N (mg/L)	29,2	2,1	11,1
PO ₄ ³⁻ P (mg/L)	1,3	0,3	1,9
Összes P (mg/L)	3,9	0,2	2,0
Cl ⁻ (mg/L)	28,6	21,3	26,5
SO ₄ ²⁻ (mg/L)	43,1	33,4	216,0
HCO ₃ ⁻ (mg/L)	949,0	232,0	591,0
Ca (mg/L)	22,6	36,8	104,0
K (mg/L)	11,3	4,7	5,3
Mg (mg/L)	9,9	10,7	12,2
Na (mg/L)	222,0	40,6	150,0
SAR	12,1	1,2	3,1

Az elfolyóvíznek jelentős a hidrogén-karbonát tartalma, amely a talajok szikesedésére hajlamosító paraméter. Környezeti változás (töményedés, hígulás, pH-emelkedés) hatására a nagy karbonát, hidrokarbonát tartalmú vizekből a Ca- és Mg-ionok egy része kicsapódik, így megnő az oldatban a Na ionok részaránya, ezáltal szikesítő hatású lesz a víz.

A halnevelőtelep elfolyóvizének K, Ca és Mg tartalma megfelelő, azonban a Na koncentráció jelentős. A magas Na tartalom miatt kedvezőtlenül alakul a Na% értéke is, ez a tulajdonság már az öntözési hasznosítást is korlátozza. A Na% értéke 83,5%. Megengedhető értéke

a víz sótartalmától és az öntözendő talaj tulajdonságaitól függ. Magyarországon kis sótartalmú vizeknél a Na% átlagosan mintegy 40–50% körüli lehet.

Az öntözővíz kation összetétele akkor kedvező, ha kevés Na-iont tartalmaz. A víz szikesítő hatása szempontjából azonban nem a Na-ionok abszolút mennyisége, hanem a többi kationhoz viszonyított részaránya a döntő. Leggyakrabban a várható szikesítő hatást a Na% és/vagy a nátrium adszorpciós arány (SAR) fejezi ki. Az elfolyóvízre számított Na-adszorpciós arány (SAR érték) 12,1, amely kedvezőtlen érték, mindenképpen szikesedésre hajlamosít az ilyen öntözővizek használata.

A jó minőségű öntözővízben nem lehetnek fenolftalein-lúgosságot okozó sók. A fenolftalein-lúgosságot nem mutató vizek is tartalmazhatnak azonban erősen szikesítő hatású Na-sókat (elsősorban NaHCO_3). Ennek mennyisége, az ún. szódaegyenérték, amely a következőképpen becsülhető:

$$S_{ze} \text{ (mgeé/L)} = (\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-}) - (\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})$$

Nagy magnéziumtartalmú öntözővízből jelentős mennyiségű Mg-ion adszorbeálódhat a talajkolloidokon, ezért kívánatos, hogy a Mg-ionok mennyisége jóval kisebb legyen, mint a Ca-ionoké. A vízben a magnéziumkoncentrációt, tehát nem az összes kation tartalomhoz, hanem csak a két vegyértékű fémek össz mennyiségéhez viszonyítva értékelendő. Amennyiben a Mg% 40–50 körüli, néhány talajon (pl. kötött réti talajokon) kérdéses a víz alkalmazhatósága. Az vizsgált elfolyóvíz Mg% értéke 42%, amely még éppen elfogadható érték.

Mikroöntözés szempontjából a Fe és a Mn koncentrációját meg kell határozni, mivel az eltömődés veszélye jelentkezhet, amennyiben 0,2 mg/L koncentrációt meghaladja valamilyen kezelést kell alkalmazni. A 0,3-1,5 mg/L mennyiség esetén a baktériumok elszaporodása várható, 1,5 mg/L mennyiség fölött, pedig a vaslerakódás várható. Az elfolyóvíz vastartalma kis mértékben meghaladja az ajánlott határértéket, ezért előfordulhat a mikroöntöző rendszer eltömődése. A mangán tartalom viszont kiváló minden szempontból.

Kedvező az elfolyóvíz tápanyag tartalma N vonatkozásában, amely főként ammónium-ion formájában van jelen, a vízminősítés szempontjából szennyezett kategória szinten. A foszfát és az összes foszfor tartalom vízminősítés alapján kiváló. A klorid és szulfát tartalom a növénytermesztés szempontjából nem kifogásolt érték.

A toxikus elemek közül az As (0,085 mg/L) koncentrációja jelentős, a felszíni vizekre határérték szerint a szennyezett kategóriát jelenti a 0,1 mg/L koncentráció szint. A további vizsgált toxikus elemek – Cd, Ni, Pb, Zn (<0,001 - <0,050 mg/L) – koncentrációja alacsony, növénytermesztés szempontjából nem okoz problémát. A Cr (0,13 mg/L) mennyisége vízminősítés alapján szennyezett kategóriába esik. A toxikus elemek további vizsgálata indokolt

az arzén és a króm vonatkozásában. Feltehető, hogy ezek az elemek a haltenyésztés technológiai folyamata során kerülnek be a rendszerbe.

A Körös holtág felszíni öntözővíz jellemzése

Az összes oldott sótartalom 281mg/L, amely az öntözés szempontjából kiváló érték. A Körös víz ammónium tartalma a vizsgált időszakban kissé emelkedett értéket mutatott (5. táblázat). A vízminősítés szempontjából mind a nitrát, mind a foszfát tartalom kiváló kategóriába sorolható.

Az öntözővíz effektív Ca+Mg tartalma a számított érték szerint 1,765 mgeé/L. A víz relatív Na%-a 38%, öntözésre ajánlott kategóriát jelent. A Na adszorpciós arány értéke (SAR): 1,2, a víz kifogástalan, bármilyen típusú talajon használható öntözésre.

A lúgosan hidrolizáló alkáli sók összmenyisége, a számított szóda-egyenérték (Sze) szerint 1,09 mgeé/L, amely az öntözővíz minősítés szempontjából szintén megfelelő.

A Mg% értéke 32%, amely a javasolt 40% alatt van, így kedvezőnek tekinthető ezen tulajdonsága is.

4.5. A kísérlet elrendezése

4.5.1. Liziméteres vizsgálatok

A liziméteres kísérlet során az alábbi nyolc kezelés került beállításra rövid vágásfordulójú energiafűz jelzőnövény mellett:

1. Körös holtág vizével öntözött kezelés heti 15 mm-rel (K15)
2. Körös holtág vizével öntözött kezelés heti 30 mm-rel (K30)
3. Körös holtág vizével öntözött kezelés heti 60 mm-rel (K60)
4. Elfolyóvízzel öntözött kezelés heti 15 mm-rel (E15)
5. Elfolyóvízzel öntözött kezelés heti 30 mm-rel (E30)
6. Elfolyóvízzel öntözött kezelés heti 60 mm-rel (E60)
7. Javított vízzel öntözött kezelés heti 60 mm-rel (D)
8. Öntözetlen kontroll (C)

Az energiafűzek minimum öntözővíz szükségletének meghatározása során elsősorban a hazai éghajlati viszonyok mellett megjelent szakirodalmi adatokat vettem 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.

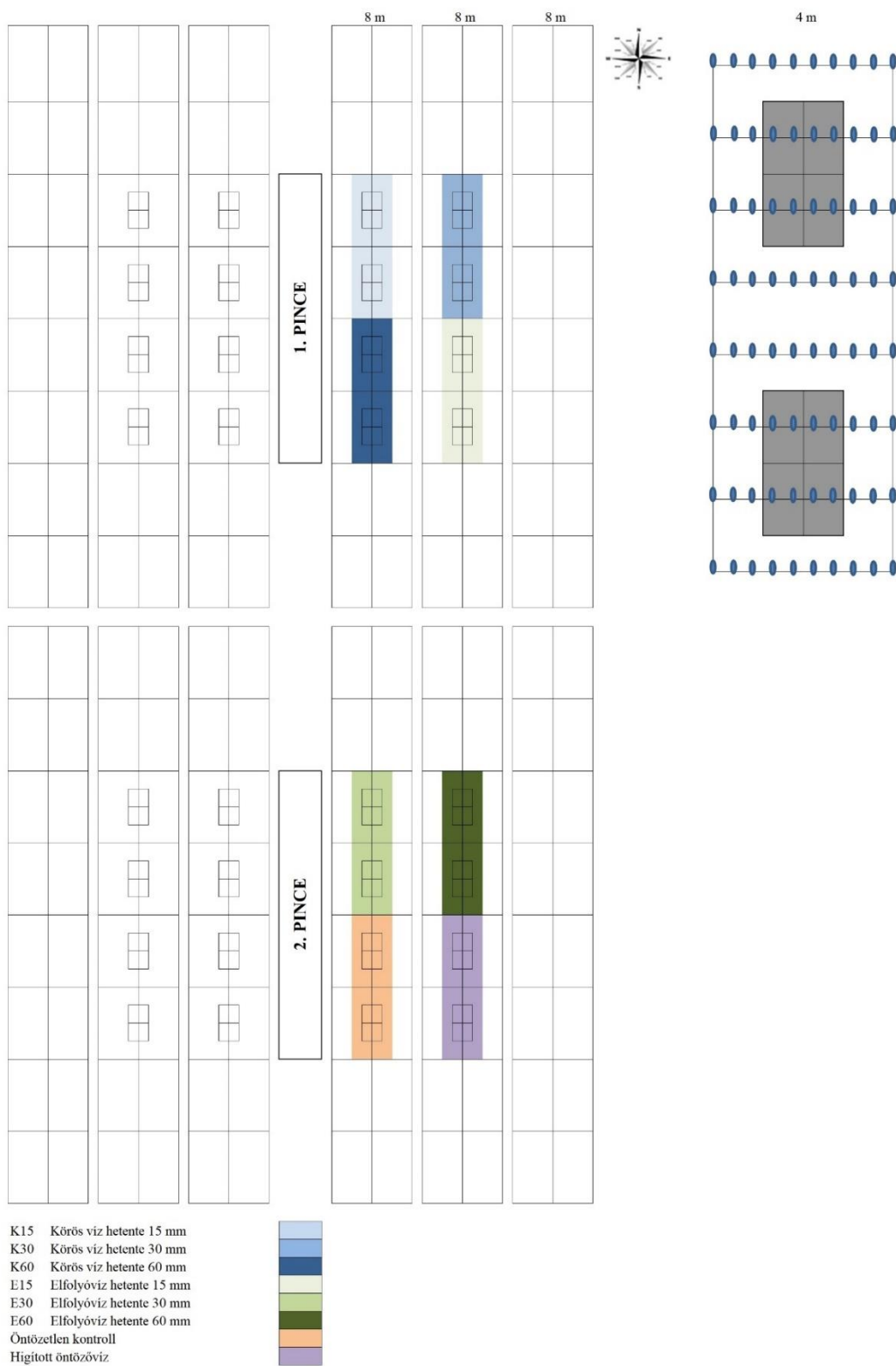
Az öntözési fordulók száma időjárástól függően eltérően alakultak a három vizsgálati évben. A 2015-ös vizsgálati évet aszályosabb tél és tavasz jellemezte, melynek következtében egységesen 100 mm öntözővíz kijuttatása valósult meg április és május hónapokban (6. táblázat).

6. 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 vizsgálat 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.

Kezelésenként összesen nyolc liziméter edényt használtunk (11. ábra). 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.



11. ábra: A rövid vágásfordulójú energiafűz liziméteres kísérlet vázrajza

Az energiafűz klónok öntözési kísérletéhez két különböző víztípust és ezek kombinációit alkalmaztuk. A Szarvas városában található intenzív afrikai harcsafarm kezeletlen 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 öntöttünk. A halnevelő medencék átfolyásos rendszerrel működnek, amelyet egy geotermikus kút támogat. Ennek a rendszernek a fő szerepe a hőmérséklet és a vízminőség fenntartása. Az afrikaiharcsákat magas fehérjetartalmú táplálékkal etetik és meleg, 22-24 °C-os vízre van szükségük a növekedésükhöz. A gazdaságból a napi elfolyó víz mennyisége meghaladja az 1000 m³-t. Az elfolyóvíz a halnevelési technológiától függően nagy mennyiségben tartalmaz metabolitokat, például halürüléket, szerves anyagokat és ritkán antibiotikumokat is. A geotermikus eredet miatt az elfolyóvíz magas összes oldott sótartalommal – beleértve a magas nátrium tartalmat is – rendelkezik (5. táblázat). Ebből adódik, hogy a rétegvíz nátrium-hidrogén-karbonátos víznek felel meg. Az öntözött kontrollként a Körös holtág (46°51'38,6" É 20°31'28.0" K, Szarvas, Magyarország) édesvizét alkalmaztuk. Az öntözővizet heti 15 mm-es (K15), 30 mm-es (K30) és 60 mm-es (K60) adagokban juttattuk ki, nyolc ismétlésben (6. táblázat). Ezen kívül egy nem öntözött kontroll (C) kezelés is beállításra került, szintén nyolc ismétlésben.

A magas sótartalom negatív hatásainak csökkentése érdekében az elfolyóvizet előkezeltük 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 (5. táblázat). Minden öntözési kezeléshez mikroszórófejes öntözőrendszert alkalmaztunk (M.4.1. melléklet).

A talajmintákat a 2015. 07. 03-i első öntözés előtt és az utolsó öntözési időszak után 2017. október 5-én gyűjtöttük, minden kezelés esetében három talajmélységből (0-20 cm, 20-40 cm, 40-60 cm), három ismétlésben. A talajjellemzéseket a Magyar Szabvány szerint végeztük el a következő öt paraméter tekintetében: a növények számára felvehető nitrogén, kalcium, kálium, magnézium és kicserélhető nátrium (M.3.4. melléklet). A talaj felvehető nitrogéntartalmát a talaj nitrit- és nitráttartalmának (KCL-NO₂⁻ + NO₃⁻-N) összegével jellemeztük. A nitritet és a nitrátot kálium-kloriddal extraháltuk, majd a koncentrációját FIA spektrofotométerrel (MSZ 20135:1999) határoztuk meg. A kicserélhető kationokat (K, Na, Ca, Mg) bárium-kloriddal és trietanol-aminnal extraháltuk, és koncentrációjukat lángfotométerrel (MSZ-08-0214-2:1978) mértük.

A kicserélhető bázisok összes mennyiségéből kiszámoltuk a kicserélhető nátrium relatív mennyiségét (exchangeable sodium percentage, ESP) a következő egyenlet alapján:

$$ESP \text{ (kicserélhető nátrium százalék, \%)} = (Na / (Na + K + Ca + Mg)) \times 100$$

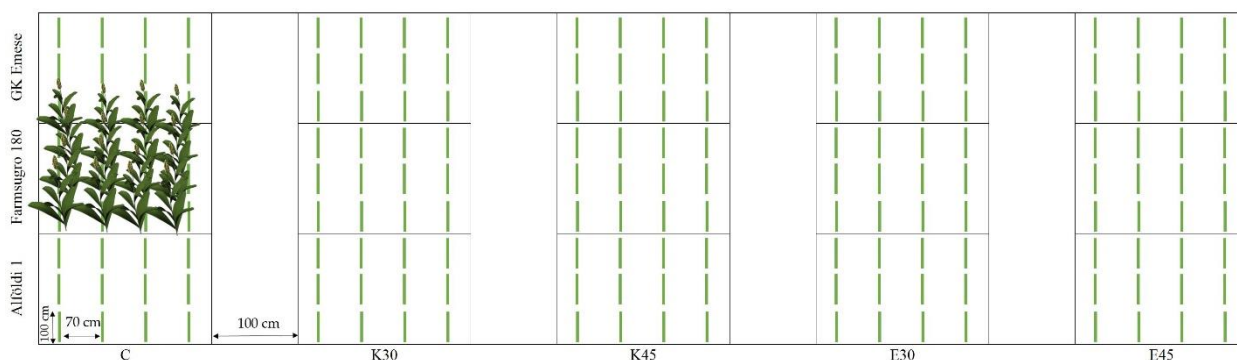
ahol, Na⁺, K⁺, Ca₂⁺ és Mg₂⁺ koncentrációkat milliekvivalensben fejeztük ki 100 g talajra vonatkoztatva (Richards, 1954).

A kísérlet során az ESP értékben bekövetkező változásokat a kutatás kezdő és záró évében mért értékek különbségein vizsgáltuk (delta ESP) az alábbi egyenlet szerint:

$$\Delta ESP_{2015-2017} \text{ (kicserélhető nátrium százalék, \%)} = ESP_{2017} - ESP_{2015}.$$

4.5.2. Szabadföldi vizsgálatok

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. Az M.3.8. melléklet mutatja be kellő részletességgel a termesztés során alkalmazott agrotechnikai lépéseket és a kiegészítő műtrágyaadag mennyiségét. A vetés során az alkalmazott sortávolság 70 cm, az állománysűrűség 190-230 ezer tő/hektár (parcellánként 114-138 tő) volt (12. ábra). 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 (12. ábra). Kezelésként 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 kezelésként. Sváb (1981) szerint az ilyen típusú sávos kísérlet elrendezés esetén tényezőnként külön, egytényezős kísérletként kell a matematika-statisztikai értékelést elvégezni (Sváb, 1981).



12. ábra: A szemescirok öntözési kísérlet vázrajza

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 (M.4.2. melléklet). 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 (7. táblázat). Az évenkénti öntözővízzel kijuttatott N, P, K és Na mennyiségét (kg/ha) az M.3.7. melléklet tartalmazza.

7. 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

4.6. A vizsgálatok módszerei és eszközei

4.6.1. Fenológiai és növényfiziológiai mérések

A növénymagasság és a relatív klorofilltartalom meghatározása

A tenyészidőszakban mind az energiafűz, mind pedig a cirok növények fenológiai és fiziológiai paramétereinek értékelése a vegetációs időben heti rendszerességgel történt, ahol a növénymagasságot és a SPAD értékeket jegyeztük fel. A magasságméréshez mérőrudat használtunk (13. ábra), ahol kezelésenként hat növényt választottunk ki, és ezek átlagából határoztuk meg az aktuális magasságértéket. A relatív klorofilltartalom meghatározáshoz a Konica

Minolta SPAD-502 kézi mérőműszert alkalmaztuk, ahol a SPAD értékeket 3-3 mérés átlagából határoztuk meg. Ebben az esetben az alsó, középső és felső ágak leveleinek klorofilltartalmát vizsgáltuk szintén hat ismételtsben.



13. ábra: A szemescirok növénymagasságának mérése (Saját felvétel)

4.6.2. A növényi részek makroelem és nátrium meghatározása

A növényi részek ásványi elem tartalmát a tenyészidőszak végén elemeztük. A mintákat fajtánként, kezelésként és ismétlésként gyűjtöttük (kezelésként és főparcellánként 3 ismételtsben). Minden esetben a Magyar és az ISO szabvány módszereit használtuk (M.3.9. melléklet). A mintákat a nátrium, a foszfor és a kálium meghatározásához salétromsav+hidrogén-peroxiddal extraháltuk, és koncentrációjukat induktív csatolású plazma-optikai emissziós spektrometriával (ICP-OES) az MSZ 08 1783 28-30:1985 szabványnak megfelelően mértük. A nitrogén meghatározáshoz az ISO 5983 2:2009 (Nitrogéntartalom meghatározása és

nyersfehérjetartalom kiszámítása 2. rész: Blokkroncsolás és gőzdesztillációs módszer) vizsgálati módszert alkalmaztuk. Az analitikai vizsgálatok során hat ismétléssel dolgoztunk.

4.6.3. A szemescirok cukortartalmának meghatározása

Az utolsó termesztési évben a növényállomány tejesérésének állapotában történt a szárrészek cukortartalmának vizsgálata a 3. internódium részről, amelyet a Reichert AR 200 típusú digitális kézi refraktométer műszerrel határoztuk meg (M.4.1. melléklet). A refraktométer alkalmas az áttetsző oldatok és présnedvek oldott szárazanyagtartalmának meghatározására, mely értékkel (Brix-fok) kifejezzük a megközelítő cukortartalmat. A minták vizsgálata először a refraktométer kalibrálásával kezdődött, amihez desztillált vizet használtunk. A növényminták kiválasztása minden hibrid és kezelés esetében megegyezett. Az analízishez szükséges növényi présnedv mennyiségét manuálisan juttattuk a refraktométer prizmájára. A mérőműszer által mért eredményt rögzítettük és desztillált vízzel átmostuk a műszer érzékelőjét. Mindhárom fajtánál a méréseket kezelésként hat ismétléssel végeztük el.

4.6.4. Biomassza produktum meghatározása

Az energiafűz letermelését a vegetációs időt követően teljes nyugalmi állapotban végeztük el, amikor a legalacsonyabb a fűz víztartalma. Kezelésként és ismétlésként kézi erővágó segítségével 10 cm-es csonk meghagyásával történt a letermelés. A biomassa tömeget g/növény egységre számoltuk. A zöld tömeg méréséhez MetripondPlus SC típusú mérleget használtunk.

A szemescirok esetében teljes érskor takarítottuk be a növényeket kezelésként 6 ismétléssel. Ebben az esetben is kézi erővágót használtunk a növények levágásához, majd a zöldtömeg meghatározás a szintén az MetripondPlus SC típusú mérleggel történt. A bugák szemtermését manuálisan gyűjtöttük be.

4.7. Statisztikai értékelés

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.

5. EREDMÉNYEK

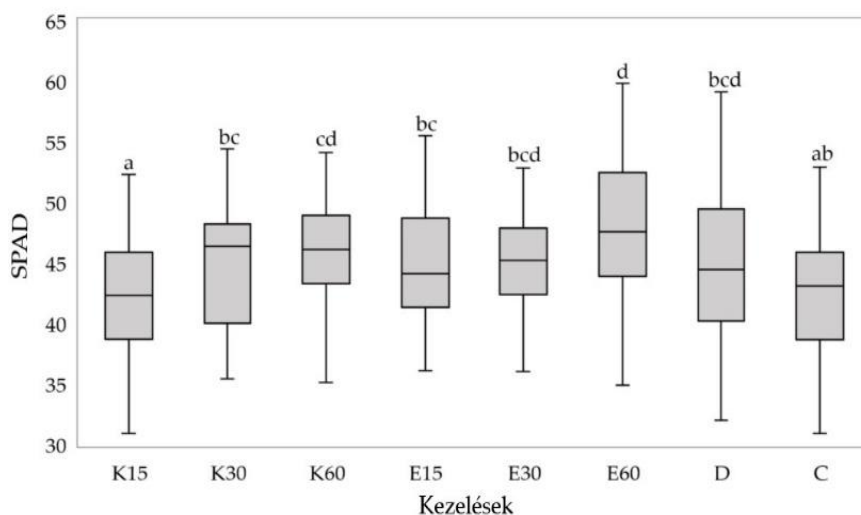
5.1. Rövid vágásfordulójú energiafüzek öntözéses termesztésének tapasztalatai liziméteres körülmények között

5.1.1. Az öntözés hatása az energiafűz klorofilltartalom változására és fenológiai paraméterére

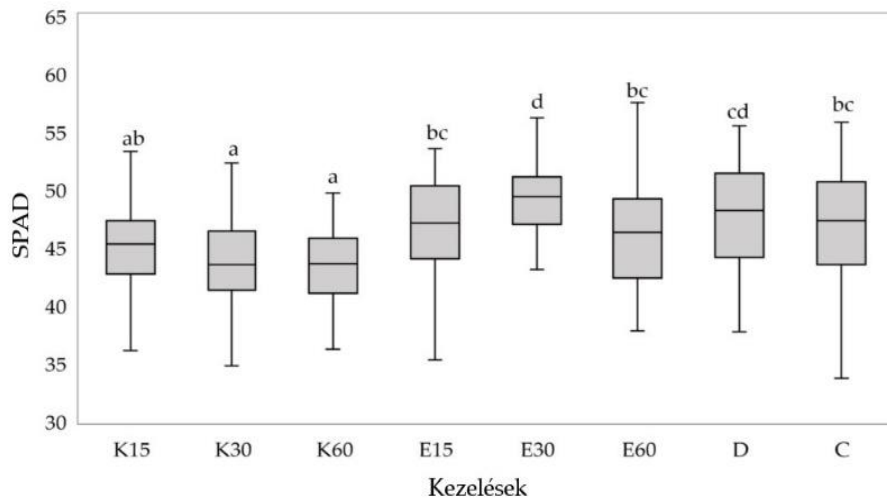
5.1.1.1. Relatív klorofilltartalom változása

A 14. a, b, c ábrák mutatják be az energiafűzek relatív klorofilltartalmát az öntözési ciklus alatt. A SPAD átlagos értékei 42,3 és 47,5 között mozogtak az első termesztési évben. A legmagasabb értéket az E60 kezelésnél mértük. A legkisebb SPAD értékeket pedig a K15 kezelésben regisztráltuk. A K15 kezelés kivételével minden kezelés meghaladta a C kezelés SPAD értékeit.

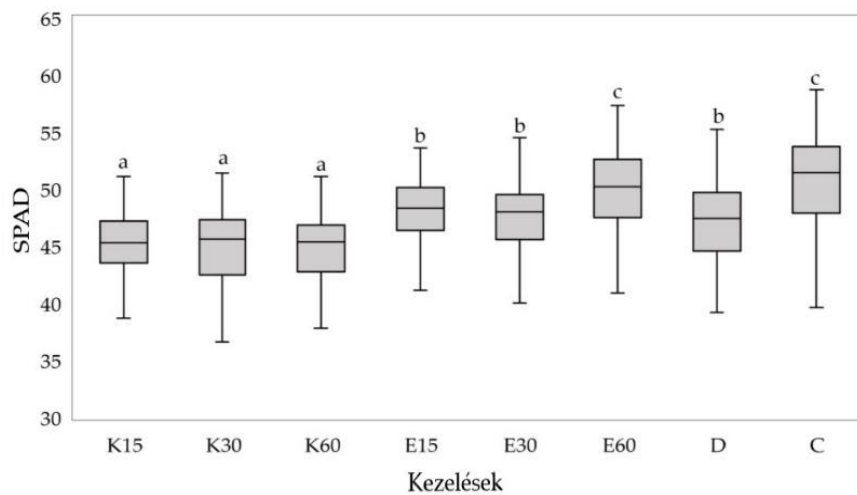
A következő kísérleti évre jellemző (14. b ábra), hogy az öntözött kezelések klorofill értékei nem érték el a kontrollt. A legmagasabb SPAD-átlag az E30 kezelésnél 51,5, míg a legalacsonyabb a K60 kezelésnél 43,3 volt. Ugyanakkor, az első év kivételével, a Körös holtág vizével öntözött kezelésekhez képest magasabb értékeket találtunk az elfolyó vízzel öntözött mintákban. Ez a különbség az elfolyóvíz magasabb tápanyagtartalmából adódhat.



(a) 2015-ben



(b) 2016-ban



(c) 2017-ben

14. ábra: A klorofill értékek a 2015-2017-es termesztési években: (a) *S. alba* energiafűz növény SPAD értékei 2015-ben; b) a *S. alba* energiafűz növény SPAD értékei 2016-ban; c) *S. alba* energiafűz növény SPAD értékei 2017-ben.

Megjegyzés: Az ábra a nyolc kezelés átlagos klorofilltartalmát mutatja (átlagok \pm SD, $n = 6$ szerint). A különböző betűk szignifikáns különbségeket mutatnak az öntözővíz minősége között a három vegetációs időszakra vonatkozóan, 2015-ben és 2016-ban a Tukey-próbával $p \leq 0,05$, 2017-ben pedig a Games-Howell-teszt alapján $p \leq 0,05$ -nél történt a kiértékelés.

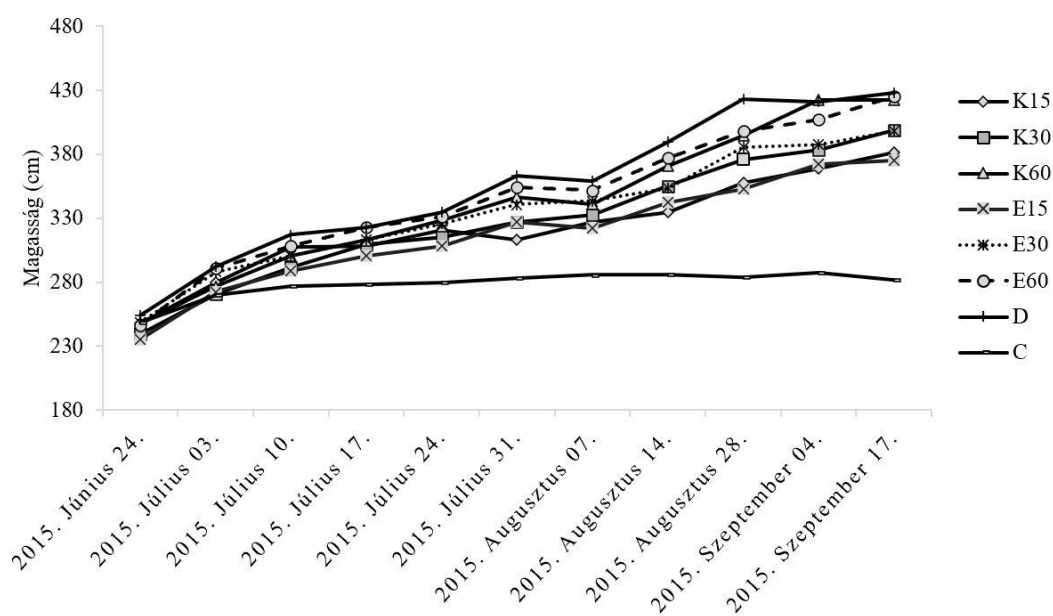
Ez a tendencia 2017-ben már nem volt megfigyelhető (14. c ábra). A kontroll SPAD-értékekhez képest a felszíni vízzel öntözött minták alacsonyabb értéket mutatnak. Ebben az esetben a K30 növényeknél volt a legalacsonyabb a klorofilltartalom átlagos értéke 43,5, amíg az E60 és a C kezeléseknél a legmagasabb 52,1.

A 2015-ös termesztési év egytényezős varianciaanalízise során a fűz K15-ös kezelés SPAD értékei szignifikáns különbséget mutattak a többi öntözési kezelés klorofill értékeihez képest (K30 $p=0,021$, K60 $p=0,001$, E15 $p=0,030$, E30 $p=0,003$, E60 $p=0,000$, D $p=0,019$). A C

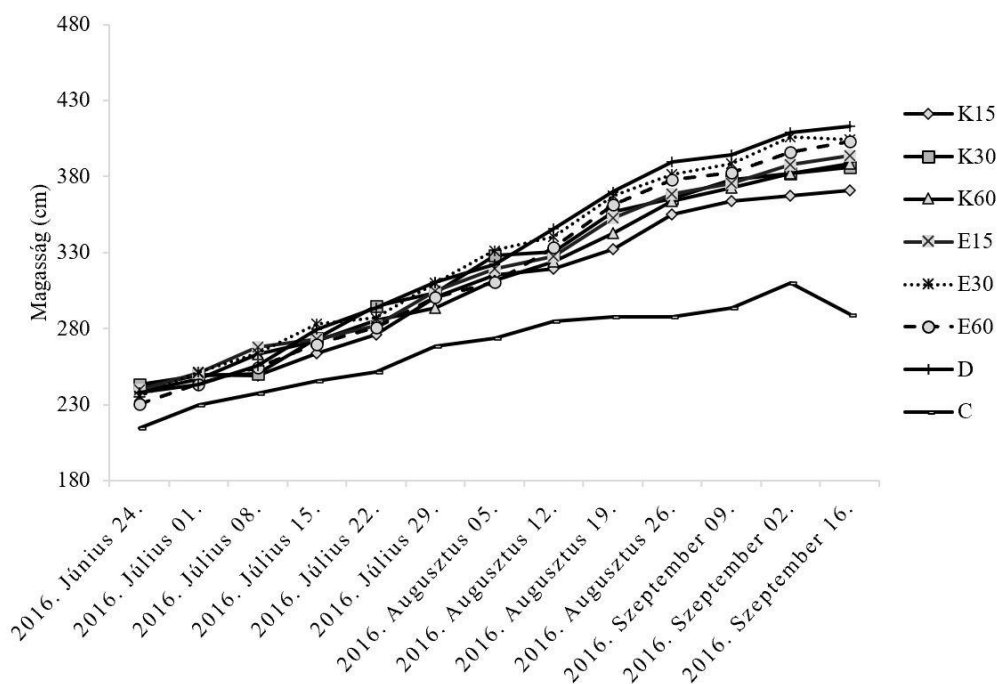
kezeléshez képest szignifikánsan magasabb SPAD értéket mértünk az E60 ($p=0,000$), D ($p=0,000$) és K60 ($p=0,022$) kezeléseknél. 2016-ban a kezelések SPAD értékei szignifikáns különbséget mutattak. Erős szignifikáns különbséget ($p<0,001$) detektáltunk az E30 kezelés és a Körös holtág vizével öntözött kezelések között, ahol az K15, K30 és a K60 kezelések szignifikánsan kevesebb klorofillt tartalmaztak (14.b ábra). 2017-ben a K15 és K30 minták kivételével a K60-as kezeléssel öntözött növények SPAD értékei szignifikánsan alacsonyabb értéket mutattak a többi kezeléshez képest. Az E60 kezelés $p=0,003$, szignifikánsan magasabb ($p<0,001$) klorofill értékkel rendelkezett, mint az előbbieken felsorolt minták. Az öntözött kezeléseket a kontroll értékekkel összehasonlítva megfigyelhető, hogy az E30 ($p=0,042$) kezelésnél szignifikánsan magasabb volt a SPAD, míg a K30 ($p=0,001$) és K60 ($p=0,000$) kezeléseknél szignifikánsan alacsonyabb volt a klorofill érték.

5.1.1.2. A tesztnövények növekedése a tenyésztidőszak során

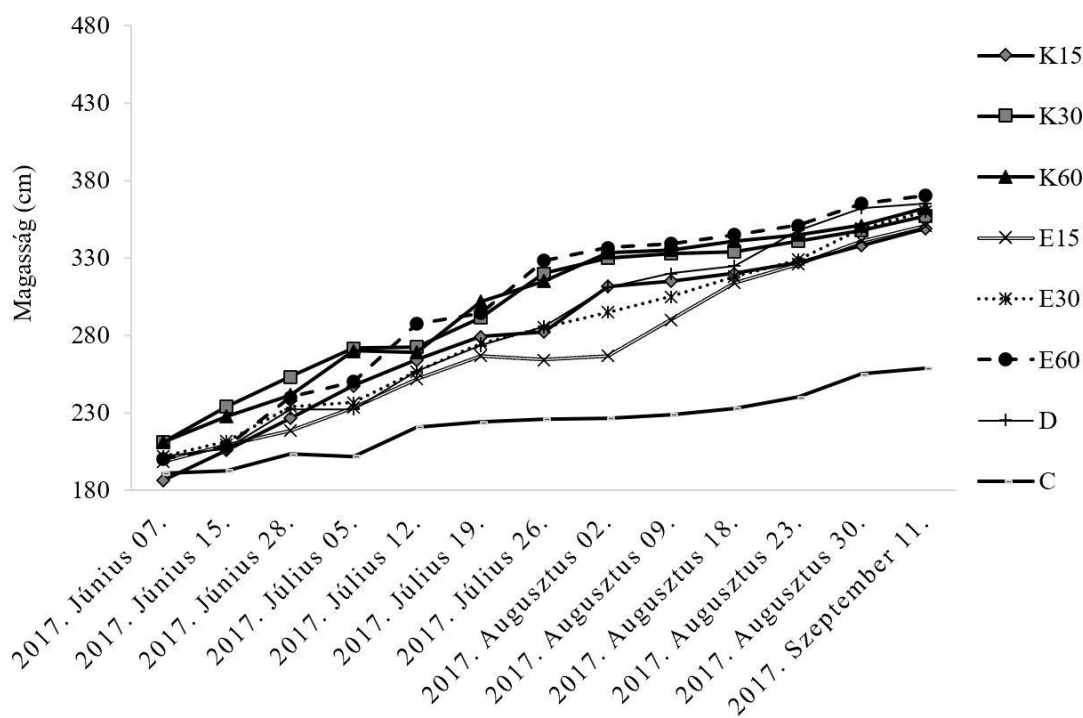
A 2015-ös termesztési év adatai azt mutatják, hogy az öntözött kezeléseknél mért magasságértékek meghaladták a kontroll növények magasságát (15. ábra). A szeptember 17-én mért adatokból megállapítható, hogy a legutolsó méréskor a legmagasabb energiafűzék a D kezelésnél voltak (428 cm), míg a legalacsonyabbak 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. Az utolsó magasságmeghatározás során az adatok egytényezős varianciaanalízisekor minden kezelés szignifikánsan magasabbnak bizonyult ($p=0,00$) a kontroll növényekhez képest ($n=6$, Tukey teszt).



(a) 2015-ben



(b) 2016-ban



(c) 2017-ben

15. ábra: Növénymagasság értékek 2015-2017-es termesztési években: (a) az *S. alba* energiafűz növények magassági értékei 2015-ben; b) az *S. alba* energiafűz növények magassági értékei 2016-ban; c) az *S. alba* energiafűz növények magassági értékei 2017-ben.

A 15. b ábrán látszik, hogy a 2016-os termesztési év növénymagasság értékei hasonlóan alakultak, mint 2015-ben. Az utolsó mérés ideje alatt a kontroll bizonyult a legalacsonyabbnak (289 cm), míg a D kezelés a legmagasabbnak (413 cm). Az elemzési időszakban a kontroll fűzek 75 cm-rel, a 60 mm-es elfolyóvízzel öntözött növények pedig 176 cm-rel növekedtek nagyobbra. A 2016-os évben az utolsó mérés során a kontroll növények magasságához képest az öntözött kezelések szignifikánsan magasabbra nőttek ($p < 0,001$, $n = 6$, Tukey teszt).

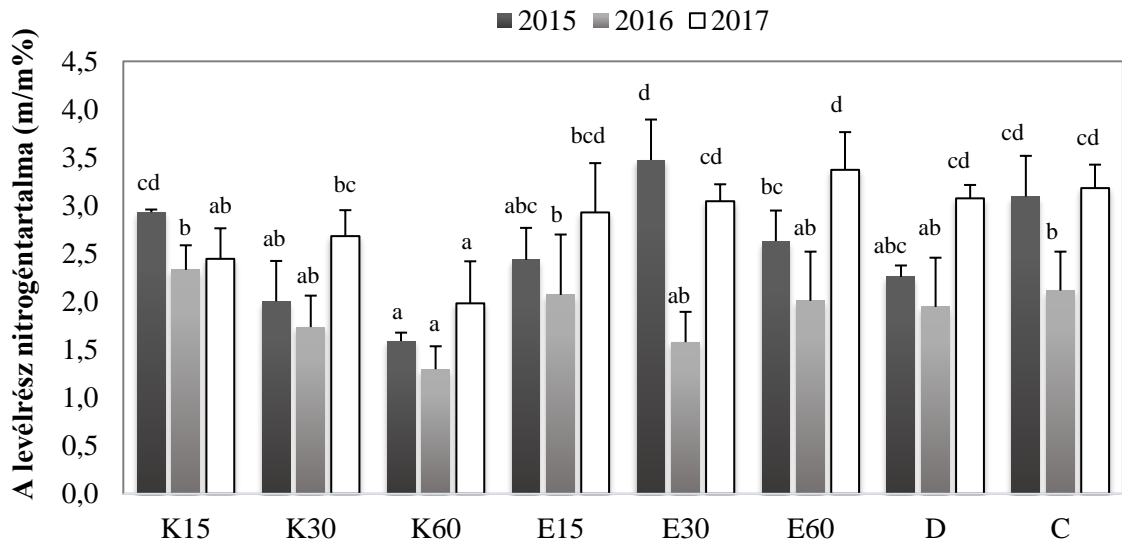
A 2017-es termesztési évben a növények növekedésének lassulása figyelhető meg (15. c ábra). A kontroll fűzek növekedési üteme alacsonyabb volt, mint az öntözött növényeké. Az utolsó méréskor a kontroll növények magassága mindössze a 259 cm-t volt. A legmagasabb növényeket ebben az esetben is az E60 kezelésnél figyeltük meg (370 cm). A szeptember 11-i mérések varianciaanalízise során szignifikáns különbség detektáltunk a kontroll és az öntözött kezelések között ($p = 0,000$, $n = 6$, Tukey teszt).

5.1.2. Az öntözés hatása az energiafűz növényi részeinek nitrogén, foszfor, kálium és nátrium tartalmára

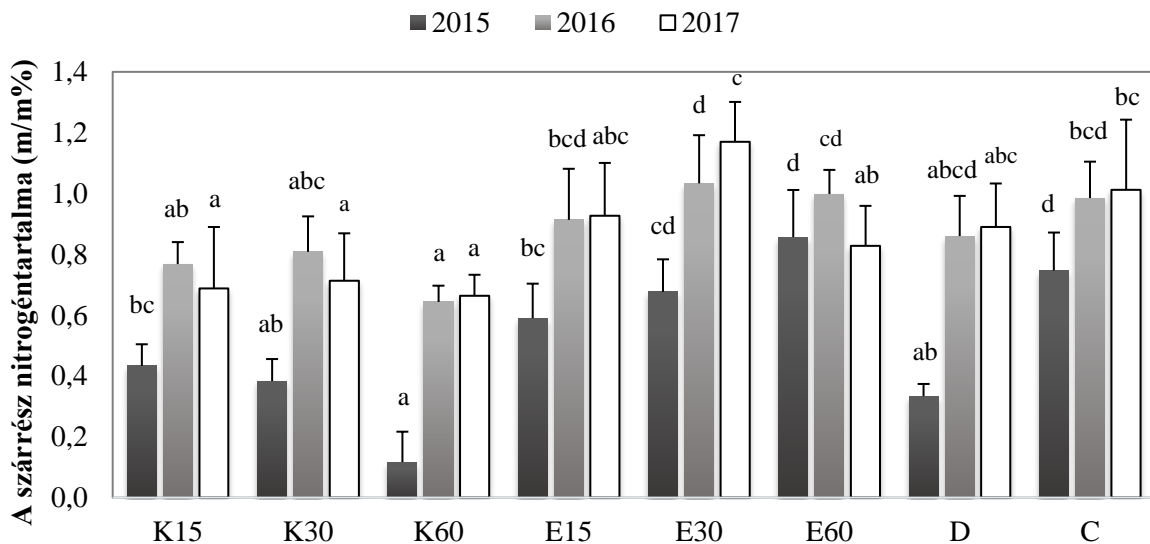
A kutatás során a liziméterek használata lehetővé tette a xenobiotikumok mozgásának, a talaj-növény-tápanyag- és az öntözés hatásának in situ vizsgálatát. A csurgalékvíz kémiai monitoringja során meghatározásra kerültek a talajvíz kémiai paraméterei, különös tekintettel a nitráatterhelés és a nátrium kilúgozás mértéke, melyet Kun (2018) doktori disszertációja tartalmaz (Kun, 2018).

5.1.2.1. A növényi részek nitrogéntartalma

A 2015-ös termesztési év kezeléseinek összehasonlításakor (16. a ábra) megfigyelhető, hogy az energiafűz levélrészeinek 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 ($p = 0,001$) kezelésekből. 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 kezelések szignifikánsan több nitrogént tartalmaztak ($p < 0,001$). Ugyanakkor a legmagasabb N-tartalmat az E60 (0,9 m/m%) kezelésnél detektáltuk.



(a) Kezelések a 2015-2017-es termesztési években



(b) Kezelések a 2015-2017-es termesztési években

16. ábra: A levél- és szárrészek nitrogéntartalmának értékei 2015-től 2017-ig: (a) a levélrészek nitrogéntartalom értékei 2015–2017-ben; (b) a szárrészek nitrogéntartalom értékei egy 2015–2017-es évben.

Megjegyzés: Az ábra a nyolc kezelés átlagos nitrogéntartalmát mutatja be. Az eredmények bemutatása: átlagok \pm SD, n = 6 szerint. A kezeléseket évente hasonlítottuk össze. A különböző betűk a szignifikáns különbségeket mutatják az öntözővíz minősége és mennyisége között a három vegetációs időszakban, amely során a statisztikai kiértékeléshez a Tukey-tesztet $p \leq 0,05$ alkalmaztuk.

A kezelések 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 megfigyelhető (16. b ábra), hogy 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.

5.1.2.2. 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 (8. táblázat). 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 energiafűzek szárrészében 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.

8. táblázat: Az intenzív afrikai harcsanevelő telepről származó elfolyóvízzel öntözött fűz klónok növényi részeiben mért foszfortartalom

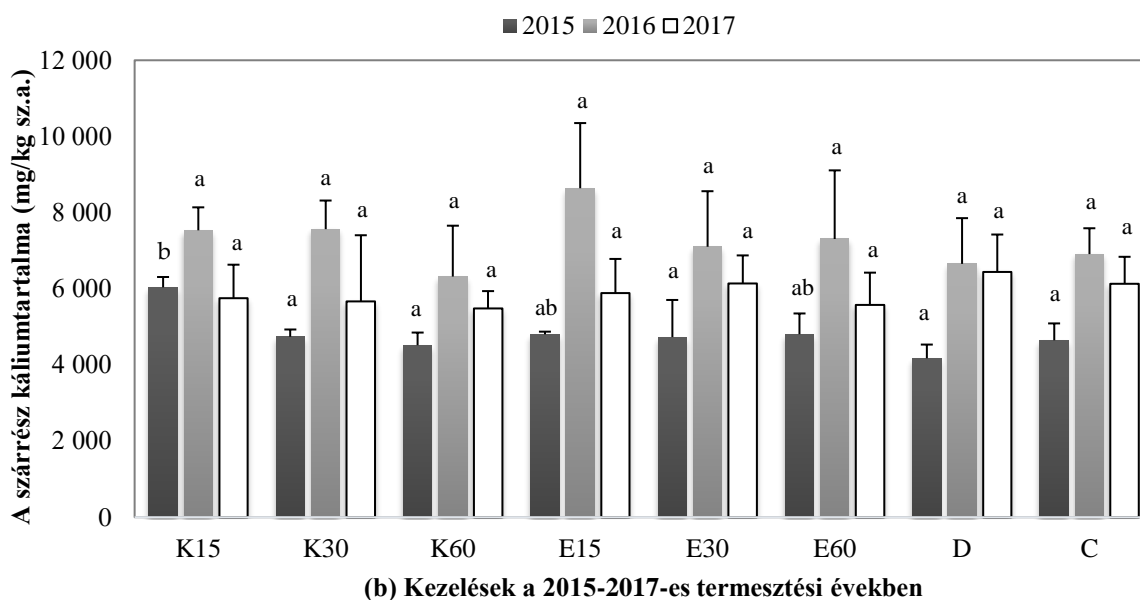
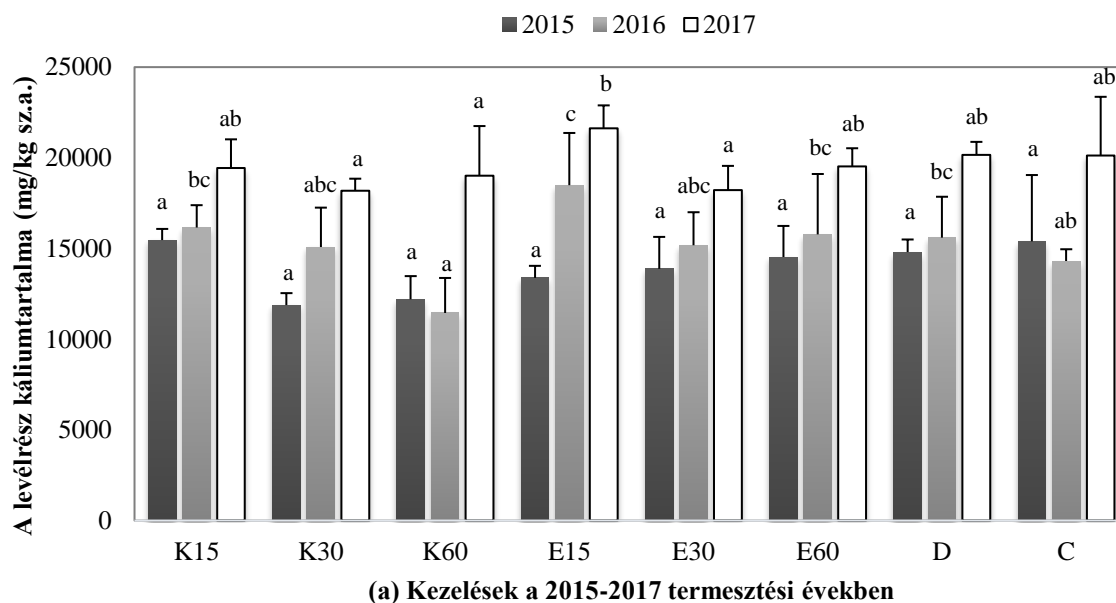
	E15	E30	E60	D	C
2015	3023 ± 241 b	2737 ± 95 ab	2180 ± 370 a	1990 ± 144 a	3340 ± 419 b
2016 levél	2643 ± 57 ab	1865 ± 210 a	2007 ± 519 ab	2850 ± 365 b	1855 ± 219 a
2017	2428 ± 19 ab	2272 ± 127 ab	2532 ± 196 ab	2723 ± 118 b	2123 ± 66 a
2015	1537 ± 35 c	1050 ± 221 ab	1330 ± 193 bc	813 ± 79 a	1647 ± 146 c
2016 szár	2192 ± 201 bc	2010 ± 172 ab	1788 ± 244 a	2457 ± 201 c	1740 ± 146 a
2017	1616 ± 209 a	1596 ± 169 a	1422 ± 266 a	2003 ± 239 b	1693 ± 90 ab

Megjegyzés: Öt kezelés átlagos foszfortartalmát mutatja be. Amely során az eredmények bemutatása: átlagok ± SD, n = 6 szerint valósult meg. A különböző betűk szignifikáns különbségeket mutatnak az öntözővíz minősége között a három vegetációs időszakra vonatkozóan, a statisztikai kiértékelés során a Tukey tesztet $p \leq 0,05$ alkalmaztuk.

A második évben a fűzek szárrészében 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.

5.1.2.3. A növényi részek káliumtartalma

Az energiafűz klónok növényi részeinek makroelem vizsgálata során a legtöbb K a levelekben koncentrált (17. ábra). 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.



17. ábra: A levél- és szárrészek káliumtartalmának értékei 2015-től 2017-ig: (a) a levélrészek káliumtartalom értékei 2015–2017-ben; (b) a szárrészek káliumtartalom értékei 2015–2017-ben.

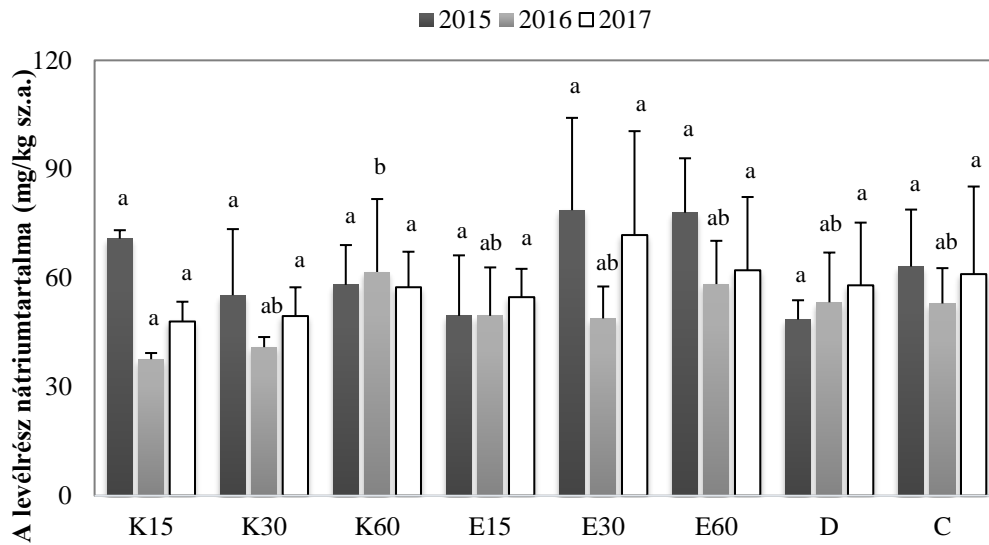
Megjegyzés: Az ábra a nyolc kezelés átlagos káliumtartalmát mutatja be. Az eredmények bemutatása: átlagok \pm SD, n = 6 szerint. A kezeléseket évente hasonlítottuk össze. A különböző betűk a szignifikáns különbségeket mutatják az öntözővíz minősége között a három vegetációs időszakban, amely során a statisztikai kiértékeléshez a Tukey-tesztet $p \leq 0,05$ alkalmaztuk.

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.

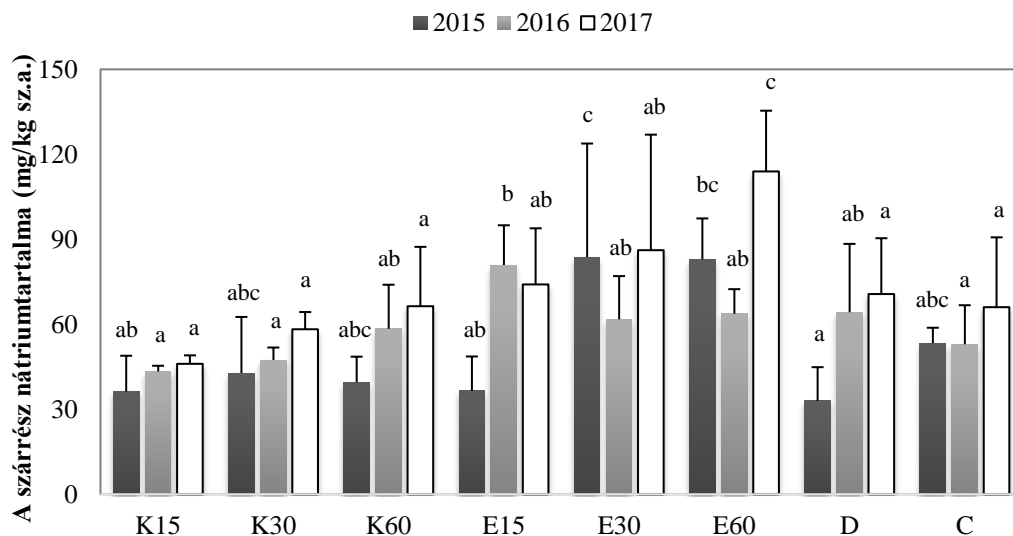
A levélrészekhez hasonlóan a szárrész esetében is ez tendencia figyelhető meg. A 2016-os év adatai közül a szárrészek K szintje magasabb tartományban mozgott, amely során az E15 kezelés elérte a 8640 mg/kg sz.a. értéket. Az első és az utolsó öntözési évben az energiafűz klónok szárrészeinek K-tartalma 4100 és 6400 mg/kg sz.a. között (17. b ábra) 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.

5.1.2.4. A növényi részek nátriumtartalma

Az első kísérleti évben a vizsgált növények levélrészében mért Na-tartalom 49-79 mg/kg sz.a. (18. a. ábra) között alakult. A legalacsonyabb értéket a D kezelésnél, míg a legmagasabb értéket az E30 mintánál mértük (18. b ábra). 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) Kezelések a 2015-2017-es termesztési években



(b) Kezelések a 2015-2017-es termesztési években

18. ábra: A levél- és szárrészek nátriumtartalmának értékei a 2015-2017-es termesztési évek között: (a) a levélrészek nátriumtartalmának értékei 2015–2017-ben; (b) a szárrészek nátriumtartalmi értékei 2015–2017-ben.

Megjegyzés: A 2015-ös átlagos nátriumtartalom meghatározása során nyolc ismétléssel dolgoztunk. Az eredmények bemutatása: átlagok \pm SD, $n=8$ szerint. A betűk a kezelések közötti szignifikáns különbséget mutatják a három vegetációs időszakban, amely során a statisztikai kiértékeléshez a Tukey-tesztet $p \leq 0,1$ alkalmaztuk. A 2016-os és 2017-es évi átlagos nátriumtartalom adatait kezeléenként hat ismétléssel határoztuk meg. Az eredmények bemutatása: átlagok \pm SD, $n = 6$ szerint. A különböző betűk a szignifikáns különbségeket mutatják az öntözővíz minősége között a három vegetációs időben, a statisztikai kiértékeléshez a Games-Howell tesztet $p \leq 0,05$ alkalmaztuk.

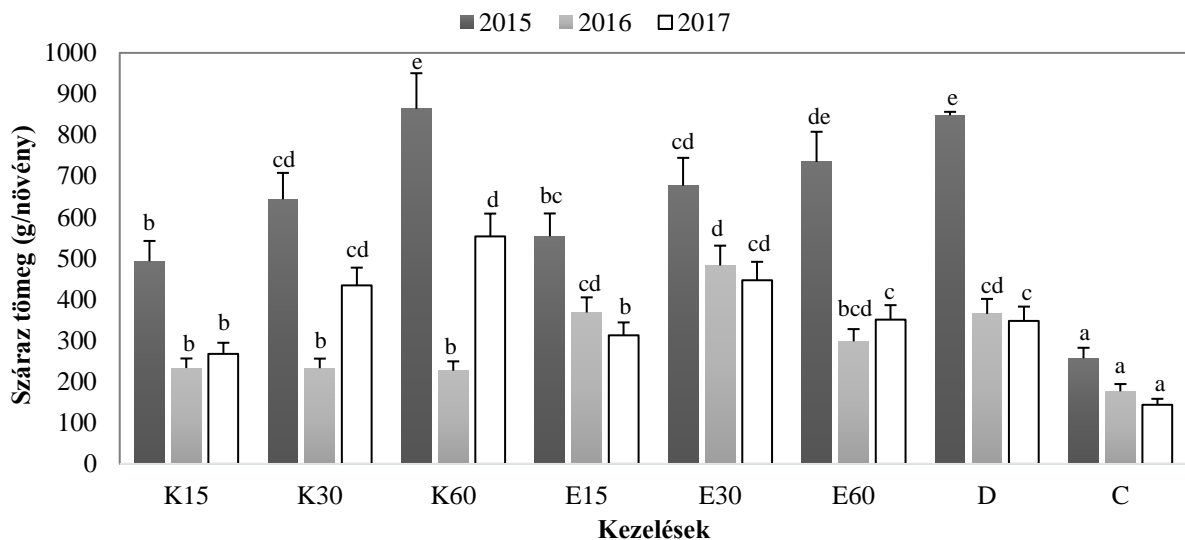
A szárrészek esetében megfigyelhető, hogy 2015 kivételével a legalacsonyabb Na szintet a K15 kezelésben, míg a legmagasabb értéket az E30 mintákban mértük (18. b ábra). A kezelések

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 tartalmazott.

5.1.3. Az öntözés hatása az energiafűz biomassa produktumára

A 2015-ös év mérési adata mutatta a legnagyobb biomassa tömeget, ahol a K60 kezelés elérte a 864 g/növény száraz tömeget (19. ábra). Megfigyelhető, hogy mindhárom kísérleti évben a kontroll növények biomassa produktuma a legalacsonyabb. Mindemellett az is látható, hogy a letermelt biomassa tömege évről-évre csökkenő tendenciát mutat.

A kísérleti évek kontroll értékeit tekintve ez 56%-os terméscsökkenést eredményezett. Ezt a csökkenést a liziméterek fizikai korlátai is okozták. Az 1 m³-es térfogat ugyanis gátolta a két- és a hároméves fűzek gyökérnövekedését (6. ábra). Megjelenik az a tendencia is a kontroll értékekhez viszonyítva, hogy az öntözés pozitív hatással volt a biomasszára. Megfigyelhető, hogy minden évben 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.



19. ábra: A rövid vágásfordulójú fűz klónok száraz tömege 2015-től 2017-ig.

Megjegyzés: Az ábra a nyolc kezelés betakarítás utáni átlagos száraztömeg adatait mutatja be. Az eredmények bemutatása: átlagok \pm SD, $n=8$ szerint. A különböző betűk a szignifikáns különbségeket mutatják az öntözővíz minőségek között a három vegetációs időszakra vonatkozóan, ahol a statisztikai kiértékelés során a Games-Howell tesztet $p \leq 0,05$ alkalmaztuk.

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.

5.1.4. Az öntözés hatása a talaj nátrium és nitrogéntartalmára

Az öntözővíz minőségének a talaj kicserélhető nátriumtartalmára gyakorolt hatása minden talajmélységben és öntözővíz mennyiségben igazolható (mindamellet, hogy a 15 mm-es kezelésnél a 40-60 cm-es talajrétegben jelentősebb eltérés mutatkozott) (9. táblázat). 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 Δ ESP2015–2017 (+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 (9. táblázat), azonban ez a megállapítás csak az E30 kezelés Δ ESP2015–2017 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 (9. táblázat).

9. táblázat: A kicserélhető nátrium adszorpciós arányának változása 2015 (kísérlet előtt) és 2017 (kísérlet után) között

Kicserélhető nátrium százalék értéke Δ ESP (2015–2017)							
A talajréteg mélysége	Öntözővíz	Öntözővíz mennyisége					
		15 mm	p-érték ¹	30 mm	p-érték ¹	60 mm	p-érték ²
Átlag \pm Std. szórás							
0–20 cm	Elfolyóvíz	4,66 \pm 0,6	***	5,9 \pm 0,77	***	6,85 \pm 0,10 c	Öntözetlen
	Körös holtág vize	0,05 \pm 0,1		0,5 \pm 0,35		-0,62 \pm 0,16 a	***
	Hígított víz	-	-	-	-	2,19 \pm 0,30 b	0,36 \pm 0,2
20–40 cm	Elfolyóvíz	2,85 \pm 1,1	*	3,5 \pm 1,10	**	5,82 \pm 0,64 c	Öntözetlen
	Körös holtág vize	0,14 \pm 0,1		0,4 \pm 0,36		-0,68 \pm 0,08 a	***
	Hígított víz	-	-	-	-	1,85 \pm 0,45 b	0,33 \pm 0,1
40–60 cm	Elfolyóvíz	1,02 \pm 0,8	n.s.	1,8 \pm 0,05	***	4,38 \pm 0,74 c	Öntözetlen
	Körös holtág vize	0,02 \pm 0,2		0,4 \pm 0,09		-0,53 \pm 0,23 a	***
	Hígított víz	-	-	-	-	1,19 \pm 0,13 b	0,32 \pm 0,4

Megjegyzés: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$. A negatív értékek a három kísérleti év alatti csökkenést jelentik. Minden kezeléshez három (0-20, 20-40, 40-60 cm) mélységi szintről vettünk talajmintát. A statisztikai kiértékelés során a 15 mm-es és 30 mm-es öntözött mintáknál független t-próbát (1), a 60 mm-es mintáknál ANOVA (2) tesztet alkalmaztunk. Az eredmények átlagok \pm SD, $n = 3$. A különböző betűk szignifikáns eltérést mutatnak a Tukey-féle post hoc tesztet $p \leq 0,05$ -nél.

Az elfolyóvíz nitrogéntartalmának megfelelően a talaj felvehető nitrogéntartalma a Körös holtág vizével öntözött mintákhoz képest minden elfolyóvízzel öntözött minta esetében magasabbnak bizonyult (10. táblázat). 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.

10. táblázat: A talaj felvehető nitrogén (KCl-NO₂⁻+NO₃⁻-N) tartalma 2017-ben

Felvehető N ₂₀₁₇ (mg/kg)			
Öntözővíz	Öntözővíz mennyiség		
	15 mm	30 mm	60 mm
	Átlag ± Std. szórás		
Elfolyóvíz	13,43 ± 7,71 a	16,65 ± 4,04 b	15,46 ± 3,29 c
Hígított víz	-	-	7,52 ± 3,85 b
Körös holtág vize	7,02 ± 3,85 a	3,65 ± 0,78 a*	2,96 ± 0,28 a*
Öntözetlen kontroll	11,70 ± 4,53		

Megjegyzés: Minden kezeléshez három (0-20, 20-40, 40-60 cm) mélységi szintről vettünk talajmintát. A statisztikai kiértékelés során a 15 és 30 mm-es öntözött mintákhoz független t-próbát (1), a 60 mm-es mintákhoz ANOVA (2) tesztet alkalmaztunk. Az eredmények bemutatása: átlagok ± SD, n = 9 (a különböző mélységű minták értékeit egymás ismétlődésének tekintettük) szerint. A különböző betűk szignifikáns különbséget jelentenek a különböző kezelések között, amely során a statisztikai kiértékeléshez a Tukey-tesztet $p \leq 0,05$ alkalmaztuk a 60 mm-es kezelésnél. A csillagok a szignifikáns különbséget jelzik a nem öntözött kontrollhoz képest ($p < 0,01$).

5.2. Szabadföldi, kisparcellás körülmények között termesztett szemescirok fajták öntözési termesztésének tapasztalatai

5.2.1. Az öntözés hatása a szemescirok relatív klorofilltartalom változására és fenológiai paraméterére

5.2.1.1. A klorofilltartalom változása a vegetációs idő során

A 11. táblázat az adott termesztési év kezeléseinek átlagos klorofill értékeinek összehasonlítását mutatja. Az első kísérleti év mérési adatai közül a legalacsonyabb SPAD értéket az 'Alföldi 1' hibridnél az E45 (50) kezelésnél mértük, míg a legmagasabbat a C (52,8) kezelésnél. A következő termesztési évben mért adatok közül minden kezelésnél csökkenést figyeltünk meg. Az utolsó két termesztési évben mért SPAD értékek minden kezelés tekintetében hasonlóan alakultak, ahol a legalacsonyabbat a K30 kezelésnél, a legmagasabbat pedig az E45 kezelésnél mértük. 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.

11. táblázat: A szemescirok fajták SPAD értékeinek alakulása a kísérleti években

Szemescirok hibridek	Kezelések	Átlagos SPAD értékek			
		2016	2017	2019	2020
'Alföldi 1'	K30	50,7±5,8 a	51,7±6,2 a	42,8±6,7 a	42,5±6,1 a
	K45	52,6±7,5 a	52,1±11,6 a	48,5±9,0 bc	49,9±8,8 bc
	E30	52,6±8,0 a	49,0±6,7 a	44,0±7,2 ab	44,5±7,7 ab
	E45	50,0±6,1 a	49,1±6,7 a	52,4±4,5 c	53,2±4,7 c
	C	52,8±9,1 a	49,8±7,8 a	44,3±9,2 ab	45,3±9,4 ab
'Farmsugro 180'	K30	46,3±7,3 a	49,8±5,7 a	44,8±5,1 b	45,6±5,5 b
	K45	50,0±9,0 a	51,0±5,8 a	39,1±5,4 a	41,0±5,6 a
	E30	49,5±10,1 a	50,7±6,2 a	38,9±5,0 a	41,1±4,6 a
	E45	47,7±8,8 a	52,5±6,9 a	47,1±5,1 b	48,0±4,9 b
	C	47,6±10,2 a	49,8±7,4 a	46,8±5,0 b	47,7±4,6 b
'GK Emese'	K30	51,9±7,0 a	49,2±5,7 a	45,7±6,3 b	45,5±6,2 b
	K45	56,5±7,3 a	50,1±7,3 a	40,0±7,3 a	37,8±8,0 a
	E30	52,4±7,2 a	47,3±7,6 a	41,0±6,9 ab	38,0±10,2 a
	E45	53,1±7,1 a	48,6±6,8 a	44,8±6,8 b	45,0±7,5 b
	C	55,8±7,3 a	48,4±7,5 a	42,8±6,7 ab	43,0±6,6 ab

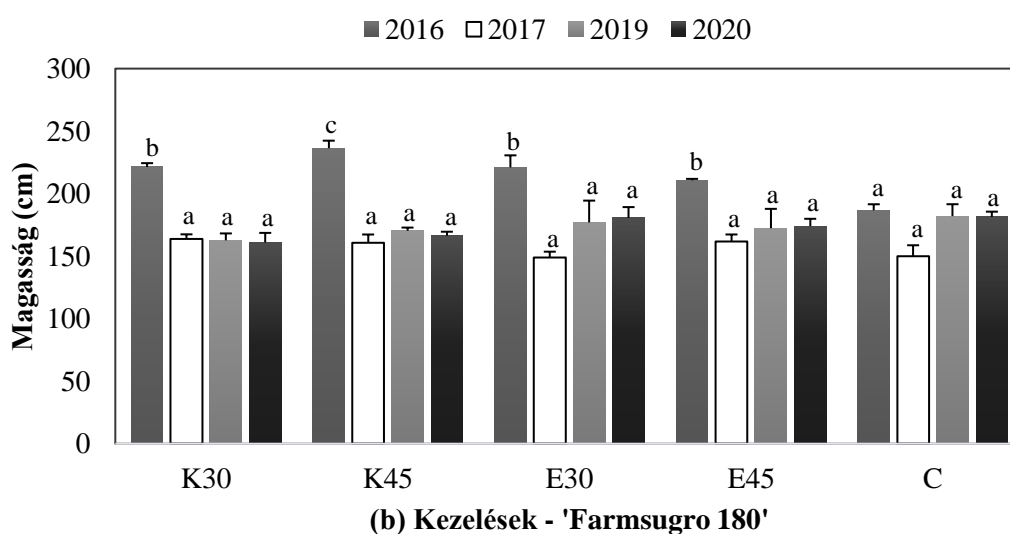
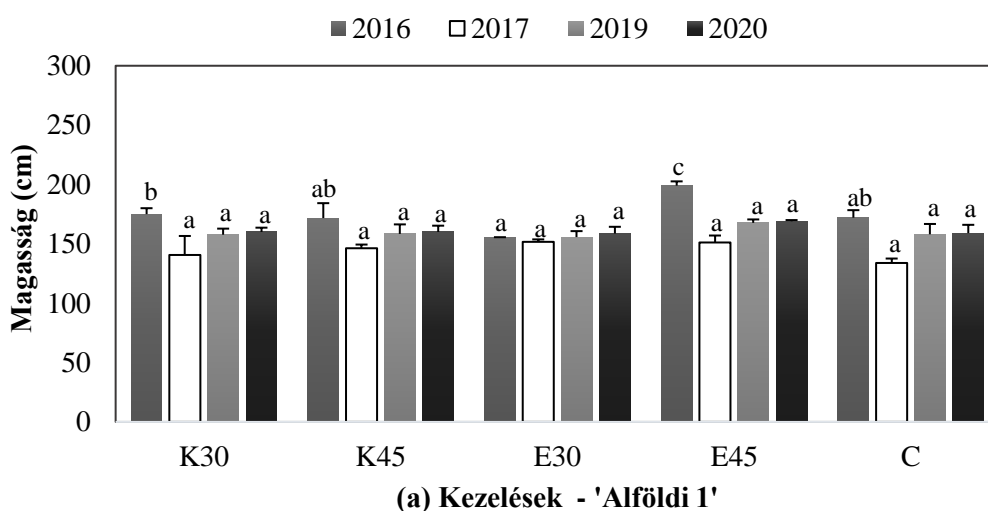
Megjegyzés: Az átlagos SPAD értékek öt kezelésből származnak. Az eredmények átlagok \pm SD, $n=30$. Különböző betűk szignifikáns különbségeket javasolnak az öntözővíz minősége között a négy termesztési évre vonatkozóan, ami alátámasztja a Tukey-féle tesztet $p \leq 0,05$ -nél.

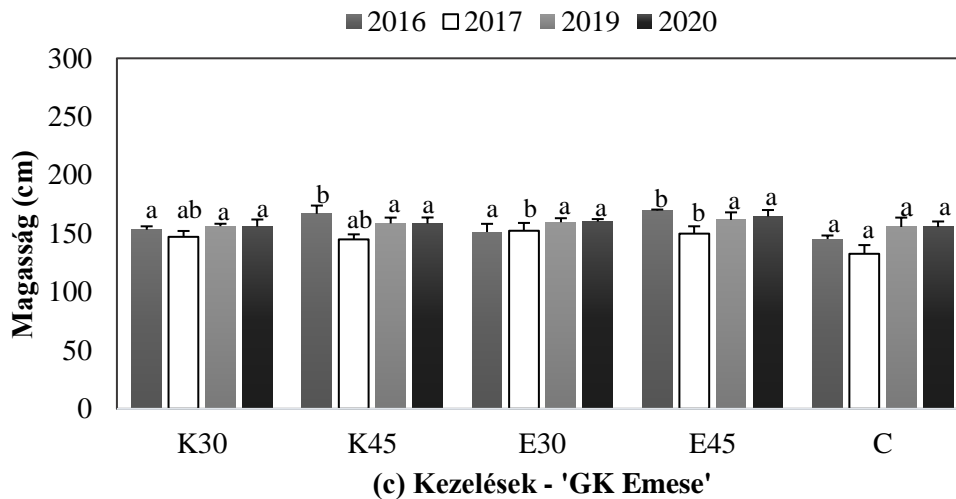
A 'Farmsugro 180' hibridnél megfigyelhető, hogy az első év kivételével minden esetben az E45 kezelésnél volt a legmagasabb a SPAD érték, különösen 2017-ben, ahol elérte az 52,5-öt. A négy kísérleti év közül a legalacsonyabb átlagos klorofillértéket 2019-ben (38,9–47,1), míg a legmagasabbat 2017-ben (49,8–52,5) 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 (11. táblázat).

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 klorofillértékekkel. 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.

5.2.1.2. A szemescirok hibridek magasságának alakulása az öntözés során

Az 'Alföldi 1' hibridnél a 20. ábra alapján az első termesztési év mérési adatai közül az az E30-as kezelésű növények nőttek a legalacsonyabbra (155 cm), míg az E45 kezelés magasságértékei bizonyultak a legmagasabbnak (199 cm). A 2016-os termesztési évben az E30 kezelés növényei nőttek a legalacsonyabbra (155 cm), ezzel ellentétben a legmagasabbra pedig az E45 kezelés növényei, melyek elérték a 199 cm-t. Az ezt követő évben minden kezelésnél magasságsökkenés figyelhető meg. A 2019-től 2020-ig terjedő időszakban a magassági értékek közel azonos tartományban mozogtak. A korábbi évekhez hasonlóan itt is az E30-as kezelések egyedei nőttek kisebbre, az E45-ös kezelésnél, pedig a legnagyobb (156-169 cm). 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 ($p \leq 0,01$).





20. ábra: A szemescirok utolsó vizsgálati időpontjában mért növénymagassági adatok 2016-tól 2020-ig. (a) Az 'Alföldi 1' hibrid magasságértékei; (b) a 'Farmsugro 180' hibrid magasságértékei; (c) a 'GK Emese' hibrid magasságértékei.

Megjegyzés: Mindhárom hibrid esetében öt kezelést alkalmaztunk. Az eredmények bemutatása: átlagok \pm SD, n= 3 szerint. A különböző betűk a szignifikáns különbségeket mutatják az öntözővíz minősége között a négy termesztési évre vonatkozóan, ahol a statisztikai kiértékelés során a Tukey tesztet ($p \leq 0,005$) alkalmaztuk.

A 'Farmsugro 180' hibridnél (20. b ábra) a termesztés első évének mérési adatai közül a legalacsonyabb növények a C kezelésben (187 cm), a legmagasabbak pedig a K45 kezelésben (236 cm) voltak. A következő termesztési években minden kezelésnél alacsonyabb növénymagassági értékeket jegyeztünk fel. A 2017-es évben a 'Farmsugro 180' hibrid magassága 149 és 164 cm között mozgott. Ehhez képest, 2019-ben és 2020-ban 10%-os növekedést detektáltunk, amely során a magasság 161-182 cm körül alakult. A 2016-ban szignifikáns különbséget mértünk, ahol a legmagasabb növénymagasság értékkel rendelkező K45 kezeléshez képest a többi kezelés növényei szignifikánsan alacsonyabbra ($p \leq 0,05$) nőttek.

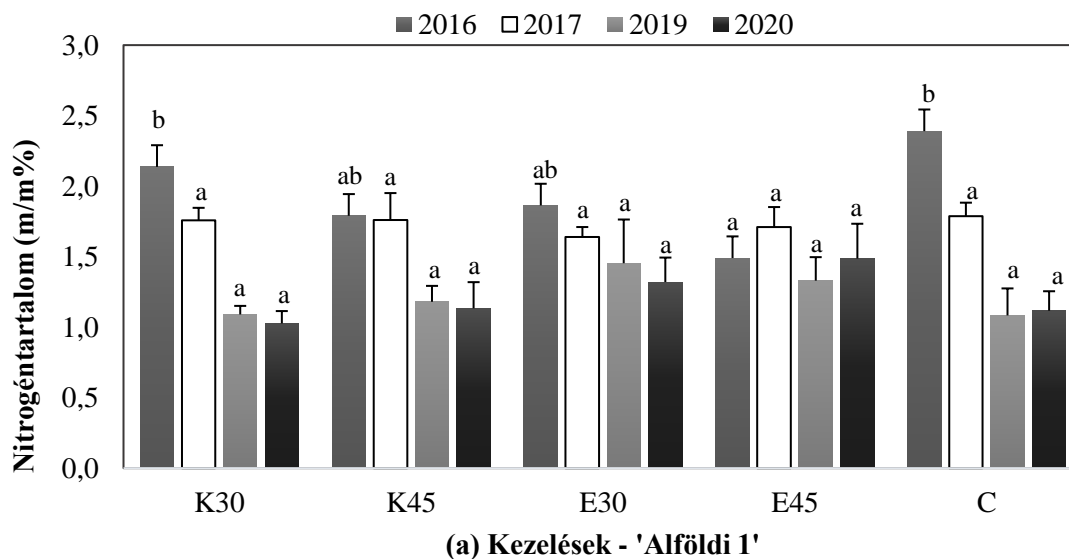
A 'GK Emese' hibridre jellemző, hogy a 2016-os termesztési évben mért magassági értékek összehasonlításakor a legalacsonyabb magassági paraméterrel a C kezelés, a legmagasabbal pedig az E45 kezelés rendelkezett (20. c ábra). A magassági adatok az első évben 140-170 cm, a második évben 133-152 cm között alakultak. Hasonlóan az első termesztési évhez a további három termesztési évében az évenkénti kezelések összehasonlításakor a C kezelésnél mértük a legalacsonyabb paramétereket, az E45 kezelésnél pedig a legmagasabbat. Az utolsó két termesztési évben a mért értékek 156-162 cm között mozgottak. 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

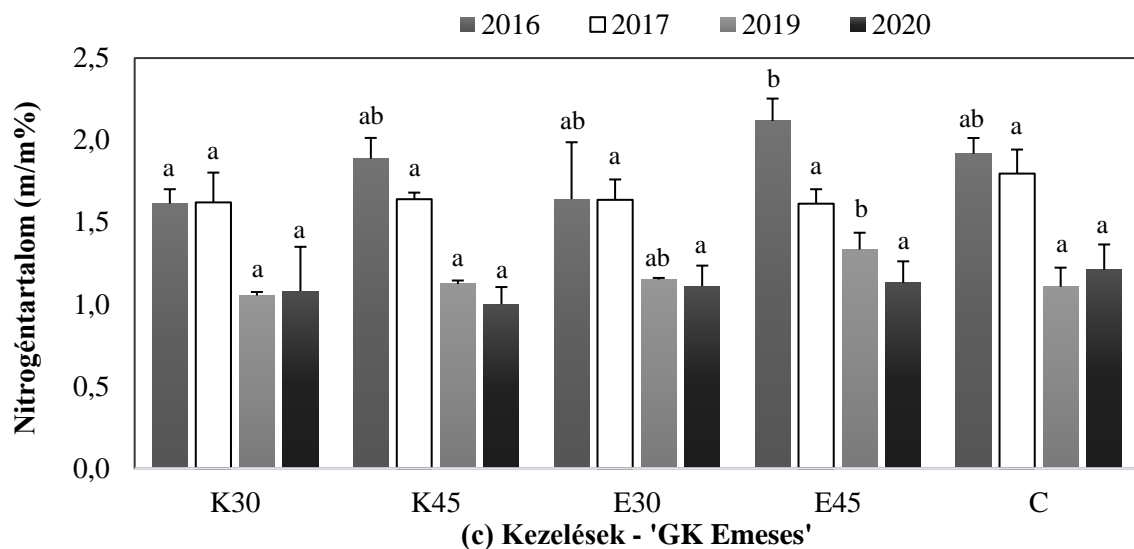
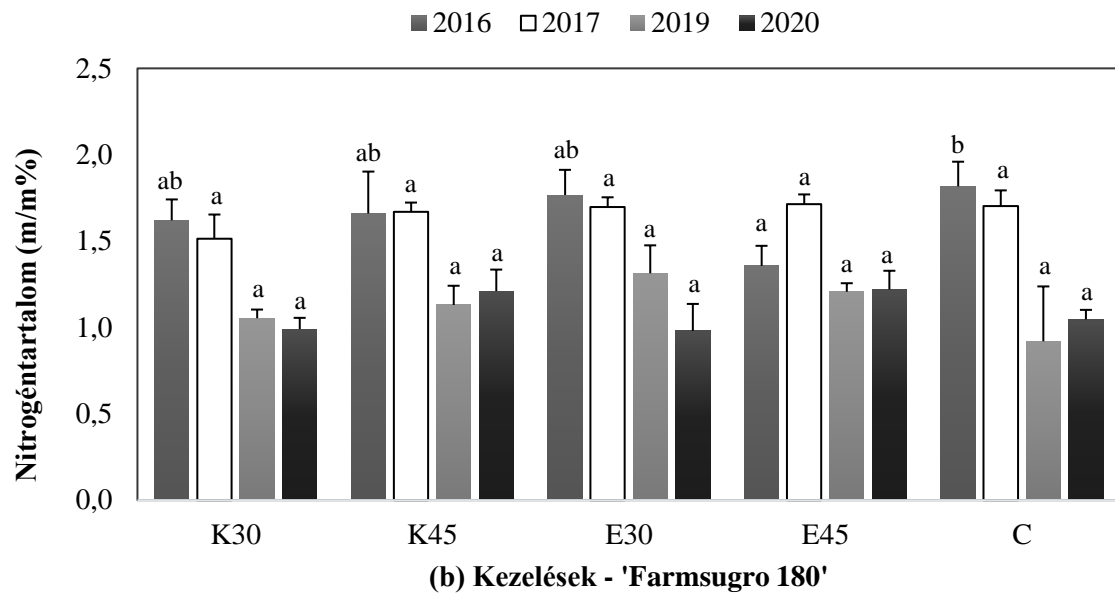
szignifikánsan alacsonyabb értékeket detektáltunk a C-kezelésnél ($p=0,018$) a legmagasabb E30-as kezeléshez képest.

5.2.2. Az öntözés hatása a szemescirok szemtermés nitrogén, foszfor, kálium és nátrium tartalmára

5.2.2.1. A szemtermés nitrogéntartalma

A 21. a ábra az 'Alföldi 1' hibrid szemtermésének nitrogéntartalmát mutatja a kísérlet négy éve során. 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 tenyésztést a kezelések összehasonlítása során kiegyensúlyozott N értékek jellemezték. A következő két évben kapott mérési eredmények közel azonos lefutást mutatnak, ahol látható, hogy 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 kezelésekhöz képest az E45 minta ($p= 0,005$) szignifikánsan alacsonyabb N tartalommal bírt.





21. ábra: A szemtermés nitrogéntartalmának alakulása 2016-tól 2020-ig. (a) Az 'Alföldi 1' hibrid nitrogéntartalma; (b) a 'Farmsugro 180' hibrid nitrogéntartalma; (c) a 'GK Emese' hibrid nitrogéntartalma.

Megjegyzés: Mindhárom hibrid esetében öt kezelést alkalmaztunk. Az eredmények bemutatása: átlagok \pm SD, n= 3 szerint. A különböző betűk a szignifikáns különbségeket mutatják az öntözővíz minősége között a négy termesztési évre vonatkozóan, ahol a statisztikai kiértékelés során a Tukey tesztet ($p \leq 0,005$) alkalmaztuk

A 21. b ábra a 'Farmsugro 180' hibrid esetében az első két tenyészév évenkénti kezelése 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-

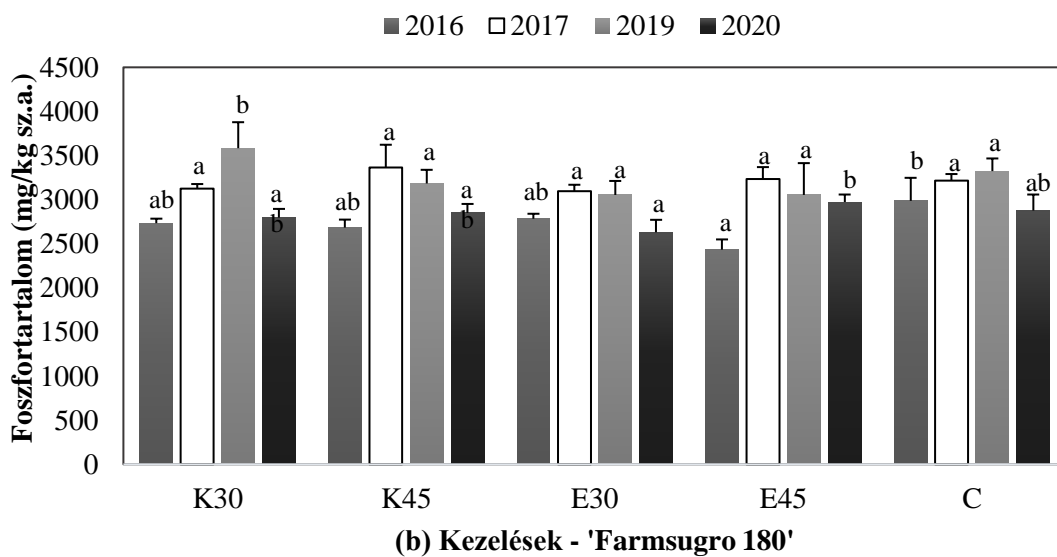
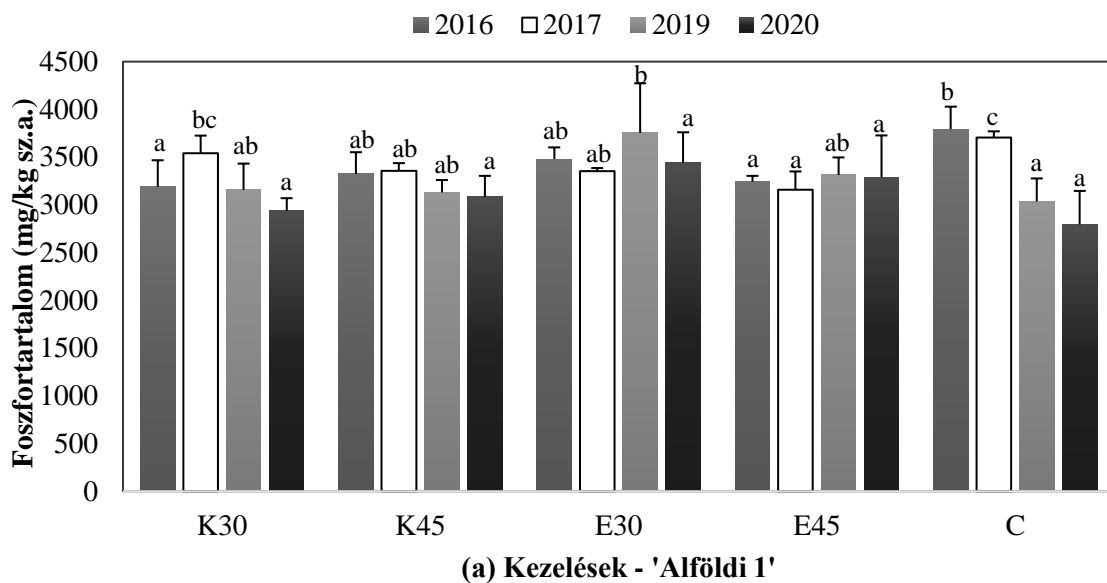
kezeléshez képest az E45-ös kezelésben ($p=0,035$) szignifikánsan alacsonyabb N-tartalmat mértünk.

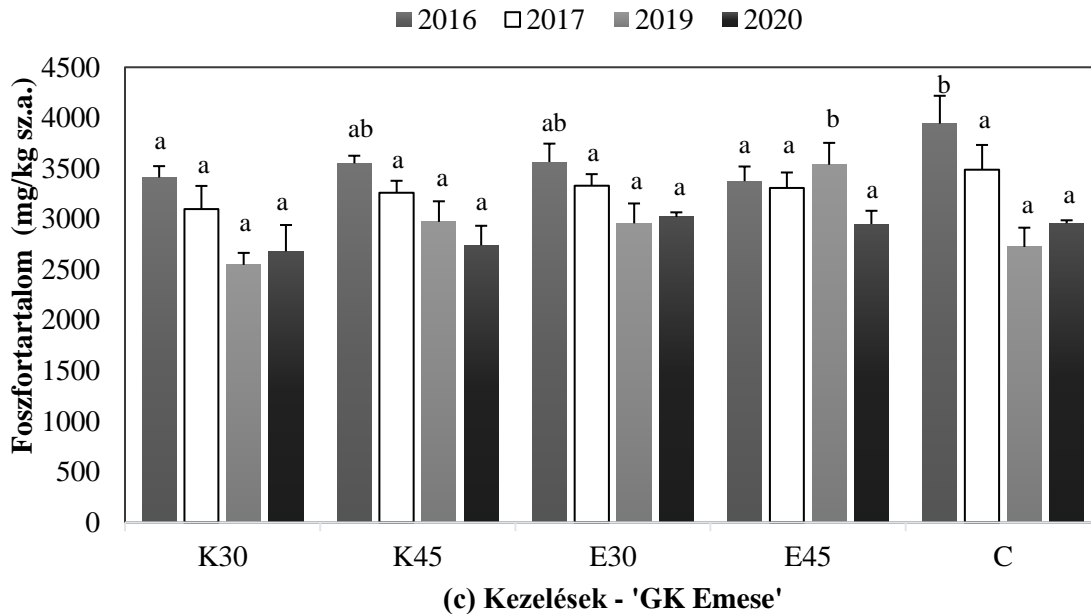
Az első termesztési évben a 'GK Emese' hibrid szemtermésében lokalizálódott a legtöbb nitrogén (21. c ábra). A legalacsonyabb értékeket a K30 mintánál (1,6 m/m%), a legmagasabbat pedig az E45 kezelésnél (2,1 m/m%), mértük. A 2017-es kísérleti évben valamennyi kezelés esetében kismértékű N csökkenés figyelhető meg. Az utolsó két termesztési év évenkénti kezeléseik 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.

5.2.2.2. A szemtermés foszfortartalma

A 22. a ábra az 'Alföldi 1' szemescirok hibrid szemtermés foszfortartalmát mutatja. A foszforértékek 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 években az évenkénti kezeléseik 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 kezeléseik között az utolsó év kivételével szignifikáns különbségeket mértünk. 2016-ban a K30 ($p=0,028$) és az E45 ($p=0,046$) a kezeléseik 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 ($p=0,045$).





22. ábra: A szemtermés foszfortartalmának alakulása 2016-tól 2020-ig. (a) az 'Alföldi 1' hibrid foszfortartalma, (b) a 'Farmsugro 180' hibrid foszfortartalma, (c) a 'GK Emese' hibrid foszfortartalma.

Megjegyzés: Mindhárom hibrid esetében öt kezelést alkalmaztunk. Az eredmények bemutatása: átlagok \pm SD, $n = 3$ szerint. A különböző betűk a szignifikáns különbségeket mutatják az öntözővíz minősége között a négy termesztési évre vonatkozóan, ahol a statisztikai kiértékelés során a Tukey tesztet ($p \leq 0,005$) alkalmaztuk

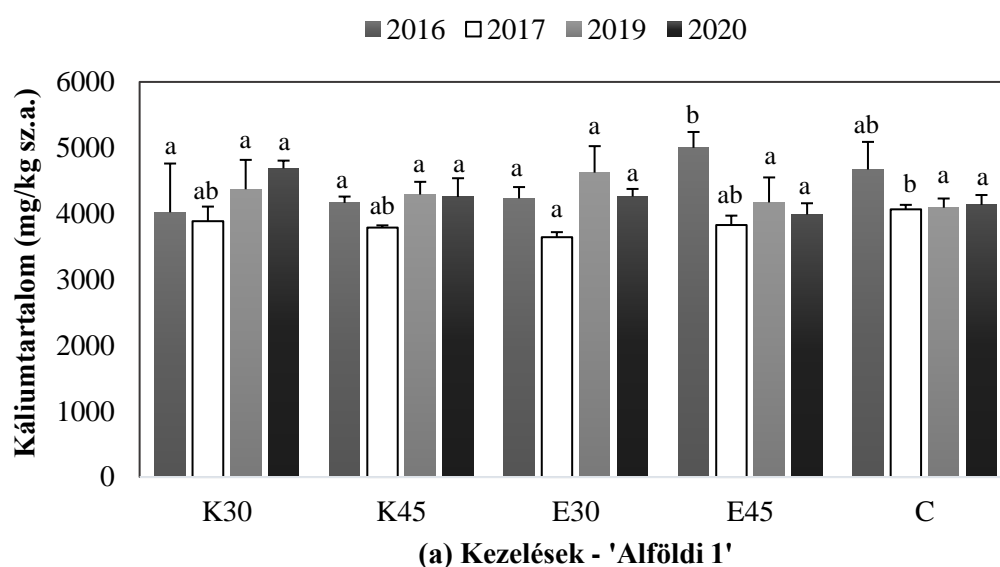
A 'Farmsugro 180' hibridnél az első kísérleti évben alacsonyabb foszfor értékeket mértünk a többi évhez képest (22. b ábra). A legalacsonyabb értéket az E45 kezelés (2430 mg/kg sz.a.) érte el legmagasabbat pedig a C kezelés (2987 mg/kg sz.a.). A következő két kísérleti évben az értékek emelkedő tendenciát 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.

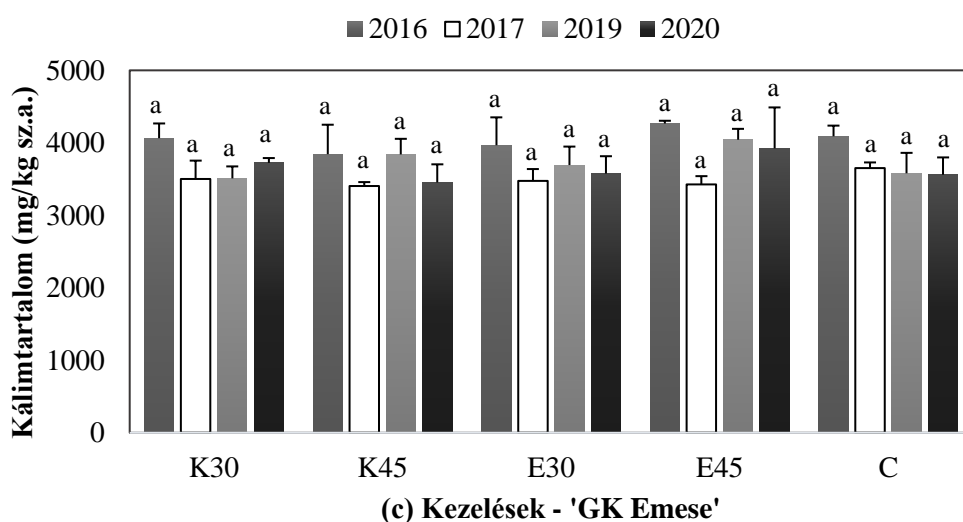
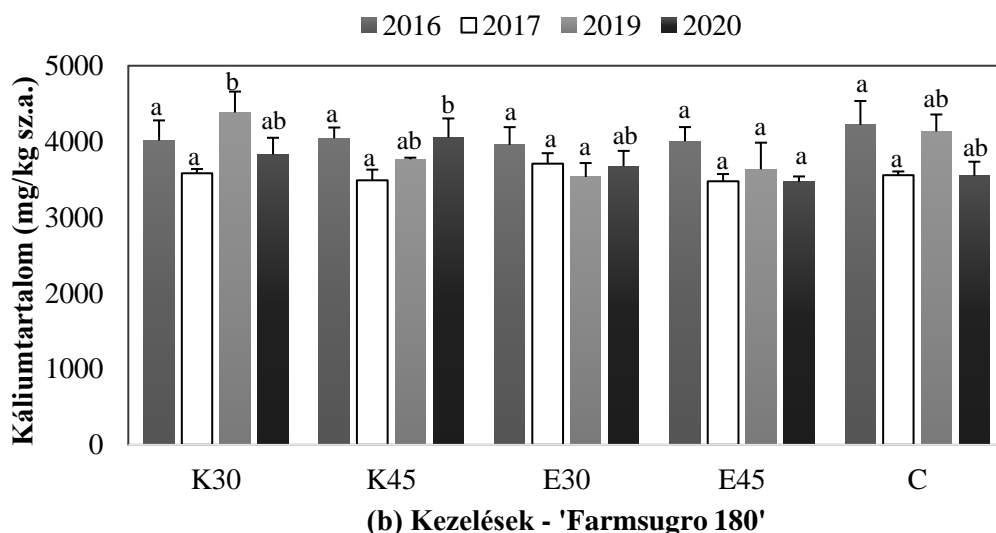
A 22. c ábrán a 'GK Emese' hibrid szemtermésének foszforértéke 2540-3950 mg/kg sz.a. között alakult. Az első termesztési évben az E45 (3373 mg/kg sz. a.) kezelés volt a legalacsonyabb, míg a C (3943 mg/kg sz.a.) kezelés rendelkezett a legmagasabb koncentrációval. A mért értékek közötti különbség meghaladta 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.

5.2.2.3. A szemtermés káliumtartalma

Az 'Alföldi 1' hibrid szemtermésének kálium szintje a termesztés első évében 4020-5000 mg/kg sz.a. között alakult (23. a. ábra), 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 megfigyelhető, hogy 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.





23. ábra: A szemtermés káliumtartalmának alakulása 2016-tól 2020-ig. (a) az 'Alföldi 1' hibrid káliumtartalma, (b) a 'Farmsugro 180' hibrid káliumtartalma, (c) a 'GK Emese' hibrid káliumtartalma.

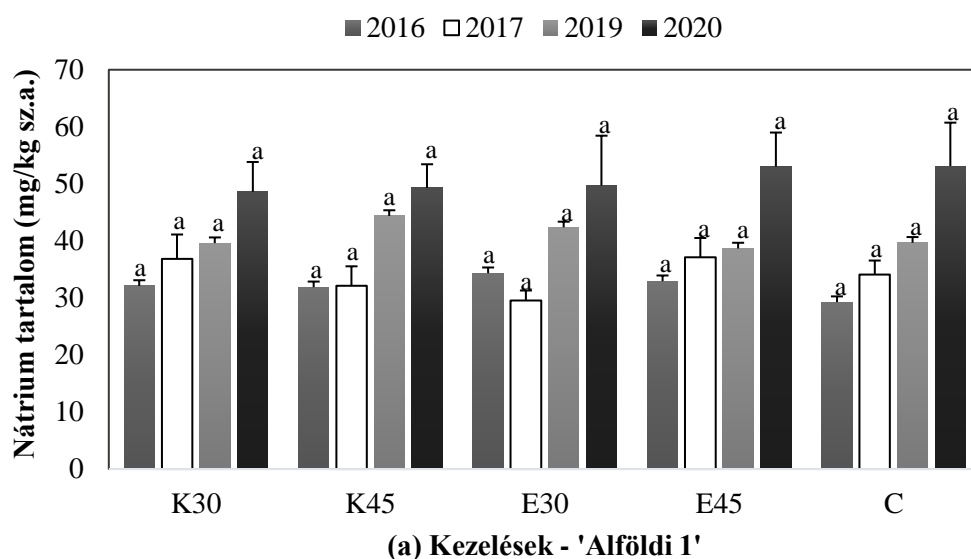
Megjegyzés: Mindhárom hibrid esetében öt kezelést alkalmaztunk. Az eredmények bemutatása: átlagok \pm SD, $n = 3$ szerint. A különböző betűk a szignifikáns különbségeket mutatják az öntözővíz minősége között a négy termesztési évre vonatkozóan, ahol a statisztikai kiértékelés során a Tukey tesztet ($p \leq 0,005$) alkalmaztuk

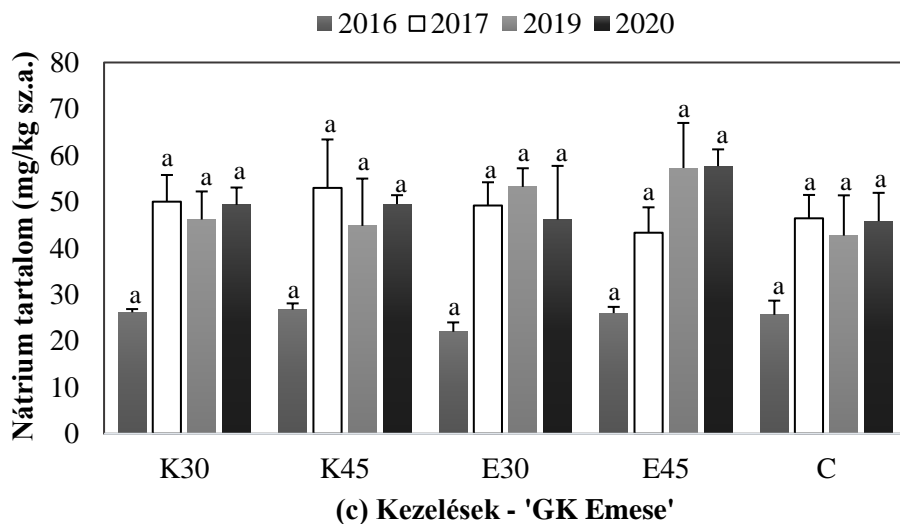
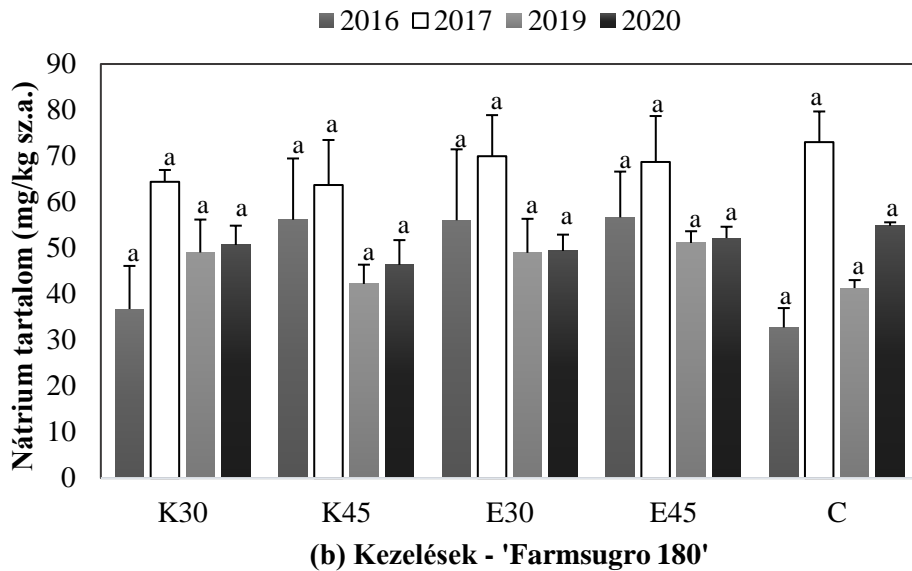
A 'Farmsugro 180' hibrid esetében is leírható, hogy a kezelések mintáit az első évben magasabb K-szint jellemezte (23. b ábra). 2017-ben a káliumszint 3490-3580 mg/kg sz.a. között alakult. A 2019-es és 2020-as minták káliumtartalma kezelésenként igazolható szignifikáns különbséggel rendelkezett. A 2019-es 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 akumulált 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 (23. c ábra). 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.

5.2.2.4. A szemtermés nátriumtartalma

A 24. a ábrán 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 (24. a ábra). 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 kezelésekben 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.





24. ábra: A szemtermés nátriumtartalmának alakulása 2016-tól 2020-ig. (a) az 'Alföldi 1' hibrid nátriumtartalma, (b) a 'Farmsugro 180' hibrid nátriumtartalma, (c) a 'GK Emese' hibrid nátriumtartalma.

Megjegyzés: Mindhárom hibrid esetében öt kezelést alkalmaztunk. Az eredmények bemutatása: átlagok \pm SD, $n=3$ szerint. A különböző betűk a szignifikáns különbségeket mutatják az öntözővíz minősége és mennyisége között a négy termesztési évre vonatkozóan, ahol a statisztikai kiértékelés során a Tukey tesztet ($p \leq 0,005$) alkalmaztuk

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.) (24. b ábra). 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

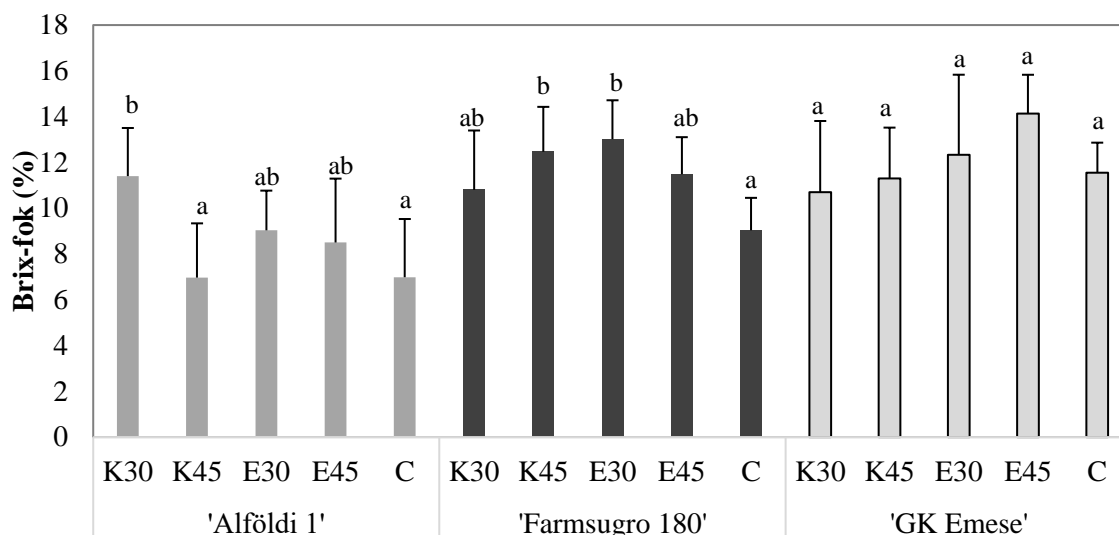
meg a mintákban. A 2020-as termesztési évben minden kezelésnél (46 és 54 mg/kg sz.a.) emelkedtek a Na értékek, azonban nem haladták meg az előző két évben mért koncentrációkat. Ugyanakkor a statisztikai kiértékelés során nem mutatkozott szignifikáns különbség.

A szemtermésben mért Na tartalom szintje hasonlóan alakult a 'GK Emese' hibridnél (24. c ábra) 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.

5.2.3. A szemescirok cukortartalmának változása

Az 'Alföldi 1' cirokhibrid cukortartalma 7-11,4 Brix-fok között alakult (25. ábra). 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 (25. ábra). A statisztikai kiértékelés során a C kezeléshez képest szignifikánsabb több cukortartalmat eredményeztek a K45 ($p=0,022$) és az E30 ($p=0,007$) kezelések.



25. ábra: A három szemescirok hibrid cukortartalmának alakulása a 2020-as termesztési évben

A 'GK Emese' cirok hibrid rendelkezett a legmagasabb cukorértékekkel (25. ábra). A legalacsonyabb 10,7 Brix értéket a K30 kezeléskor, míg a legmagasabbat az E45 kezeléskor (14,1 Brix-fok) mértük. 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.

5.2.4. Az öntözés hatása a szemescirok biomassa produktumára

A szemescirok nedves zöldtömegének alakulása hibridenként eltérést mutat (12. táblázat). Az 'Alföldi 1' hibridnél az első tenyésztési évek kezeléseinek összehasonlítása során az E30 kezelés (296 g/növény) zöldtömege bizonyult a legalacsonyabbnak, a legnagyobb tömegű pedig az E45-ös kezelés (365 g/növény) volt. A 2017-es termesztési év bizonyult a legtermékenyebbnek nedves zöldtömeg tekintetében, amely során az E45-ös kezelés elérte a 476 g/növény értéket (12. táblázat). Ugyanebben az évben a C kezeléskor mértük a legalacsonyabb súlyt, amely mindössze 349 g/növény volt. Statisztikailag bizonyítható szignifikáns különbséget nem tapasztaltam a tenyésztési évek kezeléseinek összehasonlításakor.

12. táblázat: A szemescirok betakarításakor mért nedves zöldtömeg alakulása a 2016–2020-as tenyészidőszakokban

Fajták	Kezelés	2016		2017		2019		2020	
		Zöldtömeg (g/növény) Átlag ± SD	p- ért ék	Zöldtömeg (g/növény) Átlag ± SD	p- ért ék	Zöldtömeg (g/növény) Átlag ± SD	p- ért ék	Zöldtömeg (g/növény) Átlag ± SD	p- ért ék
'Alföldi 1'	K30	301±9 a		422±79 a		315±58 a		379±104 a	
	K45	302±49 a		451±92 a		357±54 a		420±123 a	
	E30	296±62 a	n.s.	436±100 a	n.s.	386±81 a	n.s.	402±31 a	n.s.
	E45	365±108 a		476±117 a		329±93 a		376±173 a	
	C	320±80 a		349±89 a		397±70 a		269±55 a	
'Farmsugro 180'	K30	583±81 b		427±48 a		331±36 a		397±80 a	
	K45	528±96 ab		489±105 a		308±52 a		383±62 a	
	E30	539±91 ab	*	460±65 a	n.s.	346±37 a	n.s.	422±107 a	n.s.
	E45	433±84 a		458±71 a		330±33 a		461±60 a	
	C	540±58 ab		411±74 a		321±60 a		448±53 a	
'GK Emese'	K30	244±70 a		427±98 a		435±74 ab		347±86 a	
	K45	229±47 a		418±74 a		531±83 abc		303±65 a	
	E30	256±20 a	n.s.	401±75 a	n.s.	573±96 c	**	335±70 a	n.s.
	E45	209±25 a		421±61 a		555±59 bc		401±140 a	
	C	227±27 a		339±67 a		421±63 a		330±56 a	

Megjegyzés: * $p < 0,05$, ** $p < 0,01$, n.s.-nem szignifikáns. Az öntözési kísérlet során alkalmazott öt kezelés átlagos zöldtömeg súlyát tartalmazza a táblázat. Az eredmények bemutatása az átlagok ± SD, $n = 6$ szerint történt. A különböző betűk a szignifikáns különbségeket mutatja az öntözővíz minőségek és mennyiségek között a négy termesztési évre vonatkozóan, ahol a Tukey-tesztet $p \leq 0,05$ alkalmaztuk.

A 'Farmsugro 180' hibridnél a legnagyobb zöldtömeget az első termesztési évben mértük, ahol a legalacsonyabb növényssúllyal az E45 kezelés 433 g/növény értékkel rendelkezett, a legnagyobb tömegértéket viszont a K30 kezelésben mértem 583 g/növény értéket, amely a fajták között is kimagaslónak bizonyult (12. táblázat). A második termesztési évben az E45 kezelés (+5%) kivételével csökkent a betakarított zöldtömeg, különös tekintettel a C kezelést illetően, ahol jelentősebb 24%-os terméscsökkenést figyeltünk meg. A 2019-es kutatási évben rendelkeztek a növények a legalacsonyabb zöldtömeg súllyal, ahol a mért értékeik 308-346 g/növény között mozogtak. Az utolsó évben minden kezelést illetően zöldtömeg gyarapodás írható le. Kiváltképp az elfolyóvízzel öntözött mintáknál, ahol az E30 kezelésnél 23%, az E45 mintáknál pedig 40% tömeggyarapodást mértünk. Az egytényezős varianciaanalízis során szignifikáns különbséget az első termesztési év kezelése között mértünk ($p \leq 0,05$).

A vizsgált hibridek között a 2016-os évben a 'GK Emese' rendelkezett a lekevesebb zöldtömegeg (12. táblázat), ahol a legmagasabb mért értékek sem haladták meg a 256 g/növény tömeget. A második és a harmadik termesztési évben 50%-os biomasszanövekedés detektálható. 2019-ben a C kezeléshez képest (421 g/növény) szignifikánsan több zöldtömeget takarítottuk be a K45, az E30 és az E45 kezeléseknél ($p \leq 0,01$). Az utolsó vizsgálati évben ismét csökkenés

figyelhető meg minden kezelésnél, ahol a kezelések között szignifikáns különbségek nem mutatkoztak.

Szemtermés tömegének alakulása

Az 'Alföldi 1' hibrid szemtermésének súlyváltozását a 13. táblázat szemlélteti. Az első és a második termesztési év adatai 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 ($p \leq 0,001$).

13. táblázat: A szemtermés tömegének alakulása betakarításkor 2016-2020 termesztési időszakban

Szemescir ok hibridek	Kezelés	2016		2017		2019		2020	
		Szemtermés (g/növény) Átlag ± SD	P- érték	Szemtermés (g/növény) Átlag ± SD	P- érték	Szemtermés (g/növény) Átlag ± SD	P- érték	Szemtermés (g/növény) Átlag ± SD	P- érték
'Alföldi 1'	K30	125±16 bc		123±18 a		68±17 a		102±38 a	
	K45	128±21 c		115±9 a		83±21 a		109±53 a	
	E30	138±17 c	***	116±17 a	n.s.	91±16 a	n.s.	105±7 a	n.s.
	E45	100±14 ab		120±24 a		67±11 a		106±42 a	
	C	82±10 a		104±22 a		83±11 a		89±46 a	
'Farmsugro 180'	K30	75±6 a		94±11 a		88±16 a		67±13 ab	
	K45	86±2 b		105±25 a		88±13 a		57±12 a	
	E30	88±3 b	***	90±19 a	n.s.	96±17 a	n.s.	64±23 ab	*
	E45	87±3 b		81±8 a		93±16 a		81±21 ab	
	C	70±6 a		86±13 a		94±12 a		91±21 b	
'GK Emese'	K30	140±13 a		109±27 a		80±18 a		94±22 a	
	K45	129±26 a		106±17 a		75±18 a		77±13 a	
	E30	110±52 a	n.s.	112±15 a	n.s.	77±15 a	n.s.	86±19 a	n.s.
	E45	127±15 a		107±17 a		87±9 a		110±46 a	
	C	100±19 a		98±13 a		73±19 a		94±15 a	

Megjegyzés: * $p < 0,05$, *** $p < 0,001$, n.s.-nem szignifikáns. Az öntözési kísérlet során alkalmazott öt kezelés átlagos szemtermés súlyát tartalmazza a táblázat. Az eredmények bemutatása az átlagok ± SD, $n = 6$ szerint történt. A különböző betűk a szignifikáns különbségeket mutatja az öntözővíz minőségek és mennyiségek között a négy termesztési évre vonatkozóan, ahol a Tukey-tesztet $p \leq 0,05$ alkalmaztuk.

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 (13. táblázat). 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.

5.2.5. A talajparaméterek változása az öntözési kísérlet 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 (14. táblázat).

14. táblázat: A kísérleti terület talajparaméterei az öntözési kísérlet utolsó évében vett mintáiban

2020	E30	E45	K30	K45	C	p ¹
	0-30 cm					p ¹
pH _(KCl)	7,28±0,04 ^b	7,30±0,06 ^b	7,22±0,02 ^{ab}	7,25±0,04 ^{ab}	7,18±0,03 ^a	*
EC (µS/cm)	355±38 ^a	352±38 ^a	411±38 ^{ab}	402±38 ^{ab}	464±38 ^b	**
Szénsavas mész (m/m%)	2,31±0,67	2,02±0,93	1,90±0,23	2,35±0,23	1,43±0,24	n.s.
Összes szerves karbonát (m/m%)	1,09±0,08	1,08±0,05	1,18±0,05	1,16±0,04	1,23±0,07	n.s.
KCL-NO ₂ ⁻ +NO ₃ ⁻ -N (mg/kg)	3,01±0,45	3,45±0,81	3,44±0,95	3,85±1,04	3,42±0,64	n.s.
AL-P ₂ O ₅ (mg/kg)	1243±262 ^a	1247±159 ^a	1880±285 ^{ab}	1543±179 ^{bc}	2300±225 ^c	**
AL-K ₂ O (mg/kg)	350±75 ^a	333±45 ^a	475±67 ^{ab}	460±31 ^{ab}	509±41 ^b	**
AL-Na (mg/kg)	113,7±18,9 ^{ab}	122,9±21,3 ^b	89,2±21,0 ^{ab}	82,1±17,9 ^a	86,8±23,3 ^a	**
	30-60 cm					p ¹
pH _(KCl)	7,13±0,10	7,08±0,03	7,16±0,06	7,17±0,07	7,12±0,05	n.s.
EC (µS/cm)	458±38	476±38	464±38	452±38	451±38	n.s.
Szénsavas mész (m/m%)	1,92±1,16	1,41±0,74	1,74±0,52	1,91±1,10	1,40±0,47	n.s.
Összes szerves karbonát (m/m%)	1,30±0,18	1,42±0,06	1,29±0,07	1,30±0,14	1,40±0,06	n.s.
KCL-NO ₂ ⁻ +NO ₃ ⁻ -N (mg/kg)	3,55±0,32	3,37±0,31	3,22±0,92	3,26±0,66	3,53±0,36	n.s.
AL-P ₂ O ₅ (mg/kg)	2100±447	2447±716	2373±234	2127±318	3010±828	n.s.
AL-K ₂ O (mg/kg)	612±114	607±94	635±93	727±66	640±68	n.s.
AL-Na (mg/kg)	122,2±14,7 ^{ab}	127,0±18,2 ^b	88,9±20,3 ^a	95,6±24,2 ^{ab}	89,9±20,0 ^a	**

Megjegyzés: p¹: p-érték. * p < 0,05, ** p < 0,01, n.s.-nem szignifikáns. EC-a talaj elektromos vezetőképessége, KCL-kivonás kálium-klorid-oldattal, AL-kivonás ammónium-laktát-oldattal. Az öntözési kísérlet során alkalmazott öt kezelés talaj kémiai paramétereinek értékét mutatja be a táblázat. Az eredmények szemléltetése: átlagok ± SD, n = 6 szerint történt. A különböző betűk az öntözővizminőségek közötti szignifikáns különbségeket jelzik a négy termesztési évben, a Tukey-tesztnek megfelelően p ≤ 0,05 mellett.

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 kezelésekben. 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 kezelésekben kevesebb volt a talajban felvehető mennyiség, mint a Körös holtág vizével öntözött mintáknál (14. táblázat). 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 ($p < 0,01$).

6. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

Kutatásom elsődleges célkitűzése volt egy szarvasi telephellyel rendelkező intenzív üzemű afrikai harcsanevelő telep termásvíz 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 előbbieken 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 energiafűzek 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 termálvíz eredetű 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 biomasszatömeget 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.

7. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK

Rövid vágásfordulóju energiafűz

Mezőgazdasági eredetű elfolyóvízként egy intenzív afrikai harcsanevelő telep szennyvizének öntözéses alkalmazhatóságát vizsgáltam rövid vágásfordulóju 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 lombzatának 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 szorosan nyomon követtem, mivel az intenzív afrikai harcsanevelő 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 biomassa tömegére. Mindkét öntözővíz minőség esetében a biomassa produktum meghaladta a nem öntözött kontroll fűz klónok értékét (Aasamaa et al., 2010; Jerbi et al., 2020). Liziméteres körülmények között a biomassa és az öntözővíz minősége

nem korrelál egymással. A biomassa produktumban azonban évről-évre némi csökkenés figyelhető meg. Ez a csökkenés szintén a korlátozott élettérnek köszönhető, mivel a liziméterek 1 m³-es edénmérete 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 energiafüzek 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 Ca²⁺ és Mg²⁺ 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 természsökkenés 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 szövetekben 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 szövetek 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 biomassa 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 terméscsökkenés. 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 kezeléseknél 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 újrahasznított 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.

8. ÖSSZEFOGLALÁS

A növénytermesztés során a termesztett kultúrák az elfolyóvízben lévő tápanyagokat hasznosítani tudják. A világ élelmiszertermelésének hatékonysága nagymértékben függ a nitrogén- és foszforműtrágyák elérhetőségétől és használatától. A növekvő nitrogénhasználatnak számos negatív hatása figyelhető meg, mint például a talajvizek szennyeződése, valamint a globális felmelegedés. Az elmúlt évtizedekben ezeknek a tápanyagoknak, különösen a foszfornek a beszerzési ára megemelkedett, melynek kiváltására alternatív megoldást nyújthat a magas szerves- és tápanyagtartalommal rendelkező mezőgazdasági eredetű elfolyóvizek öntözéses hasznosítása. Az előrejelzések szerint az éghajlatváltozás egyaránt jelentős hatással lesz a mezőgazdasági vízkészletek elérhetőségére. Az aszályos időszakok számának növekedése mellett számos kihívást rejt magában, mint például a vízkészletek kimerülése, a növekvő öntözési igény, a termés hozam csökkenése és a felszín alatti vizek vízminőségének romlása.

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 kísértük a növények fiziológiai, fenológiai paramétereiben bekövetkezett változásokat, valamint a köztermesztésben is hasznosított biomassza és szemtermés makroelem tartalmának változását, és a nátrium esetleges akkumulációját. A termesztési kísérletek az energiafűz esetében liziméteres körülmények között valósultak meg, amelyhez 64 darab átfolyásos lizimétert használtuk. A szemescirok vizsgálatok kispárcellás szabadföldi körülmények között történt. Mindkét vizsgálatához az öntözővíz kijuttatása víztakarékos mikro-öntözőrendszerrel történt.

Az öntözési vizsgálatok során az alábbi kérdéskörök megválaszolását tűztem ki célul:

- Miként befolyásolja az eltérő vízminőség és vízmennyiség az energiafűz és a szemescirok fiziológiai és fenológiai paramétereinek (relatív klorofill tartalom, magasság) változását?
- Mutatkozik-e különbség a felszíni, illetve az elfolyóvízzel öntözött növényi minták makroelem tartalmában a nem öntözött kontrollhoz képest?
- Miként befolyásolja az eltérő vízminőség és vízadag a biomassza és a termésmennyiség alakulását?
- Megjelenik-e az elfolyóvízben lévő nátrium akkumulációja az energiafűz földfeletti részeiben, valamint a cirok szemtermésében?
- Miként befolyásolja az elfolyóvízzel való öntözés a talaj nátrium tartalmát, mutatkozik-e különbség az energiafűz és a szemescirok termesztése során?

- Miként befolyásolja az öntözés és a vízminőség a cirok szárrészének cukortartalmát?
- Alkalmos-e az intenzív halnevelő telep elfolyóvizének öntözéses hasznosítása az energiafűz ültetvényben, valamint a szemescirok kultúrákban?

A statisztikai elemzésekhez az IBM SPSS Statistics 25.0 szoftvert használtuk. Az egytényezős varianciaanalízissel (ANOVA) határoztam meg kezelésenként és növényi részenként az öntözővíz minőségének és mennyiségének hatását a fűz klónok és a különböző cirok hibridek fenológiai paramétereire, makroelem és nátrium tartalomára. 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 független t-próbát, a 60 mm-es mintákhoz ANOVA tesztet használtuk. A korreláció elemzéséhez a Pearson-korrelációt alkalmaztuk.

A vizsgálatok során különbség mutatkozott az alkalmazott öntözővízminőségek között, kiváltképp a relatív klorofilltartalom alakulásában. Megfigyelhető, hogy a 45 és 60 mm elfolyóvízzel öntözött kezeléseknél, a Körös holtág vizével öntözött minták esetében szignifikánsan magasabb SPAD értékkel rendelkeztek. Ennek oka az elfolyóvíz többlet tápanyagtartalmában rejlik. Az elfolyóvíz magasabb nitrogéntartalma (29,2 mg/L) pozitív korrelációt ($r=0,579$) mutatott a szemtermés klorofilltartalmára.

A vízminőség és a vízmennyiség kapcsolatát vizsgálva összességében megállapítható, hogy az öntözés pozitívan befolyásolta a vizsgált növényi részek makroelem tartalmát. A nitrogén esetében az öntözött minták szignifikánsan magasabb N szinttel rendelkeztek. A szemescirok fajták között különbség mutatkozott, ahol a többi fajtához képest az 'GK Emese' több nitrogént mobilizált a szemtermésébe. A vegetációs időszak során jelentős a növények foszfor igénye. Az energiafűzeknél a P leginkább a szárrészben halmozódott fel, melyet főképp az öntözővíz mennyiség befolyásolt, ahol a vízmennyiség növelésével a foszforszint csökkenése figyelhető meg. A szemescirok fajták esetében nem volt szignifikáns különbség az öntözött és öntözetlen kezelések között. A kálium a növényekben legnagyobb mennyiségben előforduló kation. A növények nagy mennyiségű kálium akkumulációjára képesek. Az energiafűz klónok növényi részeinek vizsgálatakor évről-évre növekedés figyelhető meg, amely során az vízminőség és a vízmennyiség is pozitívan hatott a K szint növekedésére.

Szakirodalmi adatoknak megfelelően vizsgálataink során azt tapasztaltuk, hogy az öntözés pozitív hatással van a biomasszára. Az energiafűzeknél mindkét öntözővíz minőség esetében a biomassza produktum meghaladta a nem öntözött kontroll fűz klónok értékét. A magasabb sótartalommal rendelkező termálvíz eredetű 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 biomassza produktum átlagosan 230%-kal meghaladta a kontroll fűz klónok értékét, amely növényenként 253 g többlet száraz biomasszatömeget eredményezett. Ugyanakkor kiemelendő, hogy a biomasszaértékben évről-évre csökkenés figyelhető meg, melynek oka a korlátozott élettér, a nagyobb gyökértömeg fokozódó tápanyag- és vízigénye. A szemescirok esetében 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 biomasszát mértem. Minden kezelésnél bekövetkezett ez a csökkenés, ezért nem bizonyított, hogy a talajban mért EC értékek alapján a sótartalom a felelős a csökkenésért. Emiatt a későbbiekben indokolt a talaj kicserélhető nátrium százalékos arányának részletesebb elemzése.

A növények növekedése során a magas sótartalom hiperionos és hiperozmotikus stresszhatásokat generál. Az energiafűz klónoknál a nátrium leginkább a szár részben halmozódott fel, amely során évről-évre történő koncentráció emelkedés figyelhető meg. A 2017-es termesztési évben mért 114 mg/kg sz.a. érték kiemelendő, amelyet a 60 mm elfolyóvízzel öntözött mintákban mértem. Ez az érték 50%-kal meghaladta az öntözetlen kontroll minták értékét, ugyanakkor ez a mennyiségű Na koncentráció érték nem okozott nekrozist a hajtás- és levélrendszerben. A kísérlet során az elfolyóvíz öntözés a szemescirok fajtáknál eltérő módon, de folytonos Na érték (68 mg/kg sz.a.) növekedést eredményezett. Ez esetben is kijelenthető, hogy egy vegetációs időszakban az elfolyóvíz öntözéssel kijuttatott Na (30 mm: 26-53 g/m², 45 mm: 39-79 g/m²) mennyiség nem volt toxikus hatással a cirok fejlődésére.

A talajvizsgálati eredmények 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 30-60 cm-es rétegben nem korreláltak az értékek. Feltételezésünk szerint a talaj 0-30 cm mélységében az EC eltérések az elérhető magasabb koncentrációjú tápanyagtartalom (P, K) miatt következnek be.

Az általunk végzett vizsgálatok célja, hogy jobban megértsük a magasabb Na tartalommal rendelkező elfolyóvizek öntözésének előnyeit és kockázatait, és lehetővé tegyük az optimális öntözési gyakorlatok kialakítását mind az energiafűz, mind pedig a cirok termesztése során. Az eredmények alapján vizsgálataink elsősorban a Vertisolok – nagy agyagtartalmú talajok – esetében relevánsak, azonban más talajtípusoknál ezek eltérőek lehetnek.

Összegzésként elmondható, hogy az agronómiai vonatkozások tekintetében rövid távon vízhiányos vagy kedvezőtlen talajú területeken jó alternatíva lehet az általunk vizsgált intenzív afrikai harcsanevelő telep elfolyóvizének öntözési célú használata rövid vágásfordulójú energiafűz ültetvényben és a szegedi GK szemescirok kultúrákban. Azonban különös figyelmet kell fordítani

a vízminőségi paraméterekre, melyek negatívan befolyásolhatják a talaj (talaj szikesedése, nitrát kimosódása, növények sóstressze stb.) állapotát.

9. SUMMARY

During plant cultivation, the cultivated crops can utilize the nutrients in the effluent water. The efficiency of the world's food production is highly dependent on the availability and use of nitrogen and phosphorus fertilizers. Increasing nitrogen use has a number of negative effects, such as contamination of groundwater and global warming. In recent decades, the purchase price of these nutrients, in particular phosphorus, has increased, and the use of agricultural effluent water with high organic and nutrient content for irrigation can provide an alternative solution. Climate change is also projected to have a significant impact on the availability of agricultural water resources. In addition to an increase in the number of droughts, it poses a number of challenges, such as the depletion of water resources, increased irrigation demand, reduced crop yields and deterioration of groundwater quality.

The primary objective of my research was to investigate the use of thermal water derived effluent water from an intensive African catfish farm in Szarvas for crop irrigation. I applied effluent irrigation in two crops of different economic importance. During which I monitored the changes in the physiological and phenological parameters of the plants, as well as the evolution of the macroelement content of the biomass and grain crops used in public cultivation, and the possible accumulation of sodium. In the case of energy willow, the cultivation experiments were carried out under lysimeter conditions, for which I used 64 flow-through lysimeters. The grain sorghum tests were carried out in small-plot field conditions.

In the irrigation studies I aimed to answer the following questions:

- How does different water quality and water quantity affect the variation of physiological and phenological parameters (relative chlorophyll content, height) of energy willow and grain sorghum?
- Is there a difference in the macroelement content of surface and effluent water irrigated plant samples compared to non-irrigated controls?
- How does different water quality and water dose affect the evolution of biomass and yield?
- What is the extent of sodium accumulation in effluent water in the aboveground parts of the energy grass and in the grain yield of sorghum?
- How does effluent irrigation affect the sodium content of the soil, and is there a difference in the sodium content of the soil in the cultivation of energy willow and grain sorghum?
- Is the irrigation of effluent water from intensive fish farms suitable for energy willow the plantations and the grain sorghum crops?

For the statistical analyses I used IBM SPSS Statistics 25.0 software. One-factor analysis of variance (ANOVA) was used to determine the effect of irrigation water quality and quantity on phenological parameters, macroelement and sodium content of willow clones and different sorghum cultivars per treatment and per plant part. Differences were significant when they reached the limits of Tukey or Games-Howell tests $p \leq 0.05$ or $p \leq 0.01$, respectively. For the statistical evaluation of the soil chemistry tests for energy grass, an independent samples t-test was used for the 15 and 30 mm irrigated samples and an ANOVA test for the 60 mm samples. Pearson correlation was used for correlation analysis.

The results showed differences between the irrigation water qualities used, especially in the evolution of the relative chlorophyll content. It was observed, especially for the treatments irrigated with 45 and 60 mm effluent water, that the samples irrigated with the water from the Körös oxbow lake had significantly higher SPAD values. The reason for this lies in the excess nutrient content of the wastewater. The higher nitrogen content of the effluent (29.2 mg/L) showed a positive correlation ($r=0.579$) to the chlorophyll content of the grain crop.

Examining the relationship between water quality and water quantity, it can be concluded that irrigation had a positive effect on the macroelement content of the plant parts. In the case of nitrogen, the irrigated samples had significantly higher N levels. There was a difference between the grain sorghum varieties, where compared to the other varieties, 'GK Emese' mobilized more nitrogen in its grain yield. The phosphorus demand of plants during the growing season is significant. In the case of energy willows, P accumulated mostly in the stem part, which was mainly influenced by the amount of irrigation water, where a decrease in the phosphorus level can be observed as the amount of water increases. In the case of sorghum varieties, there was no significant difference between the irrigated and non-irrigated treatments. Potassium is the most abundant cation in plants. Plants can accumulate large amounts of potassium. In the study of the energy willow clone plant parts, an increase was observed year after year, with both water quality and water quantity had a positive effect on the increase in K level.

In accordance with literature data, during our investigations we found that irrigation has a positive effect on biomass. In the case of energy willows, for both irrigation water qualities, the biomass product exceeded the value of non-irrigated control willow clones. The higher salinity thermal effluent water did not cause yield depression, and compared to the non-irrigated control values, it proved to be as effective as the treatments irrigated with water from the Körös River water, where in the case of samples irrigated with 60 mm of effluent, the biomass product exceeded the control willow by an average of 230% value of clones, which resulted in an additional dry biomass mass of 253 g per plant. In addition, it should be emphasized that the biomass value is decreasing year by year, the reason for which is the limited living space and the increasing nutrient

and water demand of the larger root mass. In the case of grain sorghum in 2017, the amount of irrigation water showed a positive correlation ($r=0.026$, Pearson correlation) both in terms of green mass and grain yield, but at the same time, I measured a lower biomass in the last year of cultivation. This decrease occurred with all treatments, so it was not proven that salinity was responsible for the decrease based on the EC values measured in the soil. At the same time, a more detailed analysis of the percentage of exchangeable sodium in the soil is justified later on.

During plant growth, high salinity generates hyperionic and hyperosmotic stress effects. In the energy willow clones, sodium accumulated mainly in the stem part, with a year-to-year increase in concentration. The value of 114 mg/kg measured in the 2017 growing year is worth highlighting, which was measured in samples irrigated with 60 mm effluent water. This value exceeded by 50% the value of the non-irrigated control samples, however, this concentration of Na did not cause necrosis in the shoot and leaf system. During the experiment, irrigation with runoff water resulted in a continuous increase of Na (73 mg/kg b.w.), differently for the grain sorghum cultivars. In this case, it can also be stated that the amount of Na (30 mm: 26-53 g/m², 45 mm: 39-979 g/m²) applied by effluent water irrigation during one growing season had no toxic effect on sorghum development.

According to the soil test results, in the non-irrigated treatment, the highest EC value was measured in the 0-30 cm layer of the soil. We found a close correlation between the EC, P and K content measured in the surface layer of the soil (Pearson correlation coefficients 0.824 and 0.823, sig. <0.01), however, the values in the 30-60 cm layer were not correlated. According to our hypothesis, the EC deviations in the 0-30 cm depth of the soil occur due to the available higher concentration of nutrients (P, K).

The aim of our studies is to better understand the benefits and risks of irrigating effluent water with higher Na content and to enable the development of optimal irrigation practices for both energy willow and sorghum cultivation. The results suggest that our studies are primarily relevant to Vertisols – soil with high clay content – but may be different for other soil types.

In conclusion, from agronomic aspects, in areas with water scarcity or poor soils in the short term, the use of effluent water from the intensive African catfish farm on we studied for irrigation in short rotation energy willow plantations and grain sorghum crops could be a good alternative. However, particular attention should be paid to water quality parameters that may negatively affect soil conditions (soil salinisation, nitrate leaching, salt stress on plants, etc.).

10. MELLÉKLETEK

M.1. Irodalomjegyzék

- 50/2001. (IV. 3.) Korm. rendelet, n.d. 50/2001. (IV. 3.) Korm. rendelet a szennyvizek és szennyvíziszapok mezőgazdasági felhasználásának és kezelésének szabályairól - Hatályos Jogszabályok Gyűjteménye [WWW Document]. URL <https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=a0100050.kor> (accessed 2.3.23).
- 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>
- AKI, 2021. Öntözésjelentés, 2021. év. AKI Agrárközgazdasági Intézet. URL <https://www.aki.gov.hu/termek/ontozesjelentes-2021-ev/> (accessed 1.18.23).
- Al-Jaloud, A.A., 2010. Reuse of wastewater for irrigation in Saudi Arabia and its effect on soil and plant. 19th World Congress of Soil Science, Soil Solutions for a Changing World 163–166.
- Al-Jaloud, A.A., Hussain, G., Al-Saati, A.J., Karimulla, S., 1995. Effect of wastewater irrigation on mineral composition of corn and sorghum plants in a pot experiment. *Journal of Plant Nutrition* 18, 1677–1692. <https://doi.org/10.1080/01904169509365013>
- 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>
- Al-Jamal, M.S., Sammis, T.W., Mexal, J.G., Piccioni, G.A., Zachritz, W.H., 2002. A growth-irrigation scheduling model for wastewater use in forest production. *Agricultural Water Management* 56, 57–79. [https://doi.org/10.1016/S0378-3774\(02\)00003-3](https://doi.org/10.1016/S0378-3774(02)00003-3)
- Allen, M.R., Dube, O.P., Solecki, W., Aragon-Durand, F., Cramer, W., Humphreys, S., Kainuma, M., Kala, J., Mahowald, N., Mulugetta, Y., 2018. Framing and Context In Global Warming of 1.5 °C—An IPCC Special Report on the Impacts of Global Warming of 1.5 °C Above Pre-Industrial Levels and Related Global Greenhouse Gas Emission Pathways, in the Context of Strengthening the Global Response to the Threat of Climate Change, Sustainable Development, and Efforts to Eradicate Poverty.
- 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>
- Aronsson, P., Perttu, K., 2001. Willow vegetation filters for wastewater treatment and soil remediation combined with biomass production. *The Forestry Chronicle* 77, 293–299. <https://doi.org/10.5558/tfc77293-2>
- Arora, A., Singh, V.P., Mohan, J., 2001. Effect of Nitrogen and Water Stress on Photosynthesis and Nitrogen Content in Wheat. *Biologia Plantarum* 44, 153–155. <https://doi.org/10.1023/A:1017911513854>
- Artschwager, E., 1948. Anatomy and Morphology of the Vegetative Organs of *Sorghum Vulgare*. United States Department of Agriculture Technical Bulletin, 55. <https://doi.org/10.22004/AG.ECON.170269>
- Assefa, Y., Staggenborg, S.A., Prasad, V.P.V., 2010. Grain Sorghum Water Requirement and Responses to Drought Stress: A Review. *Crop Management* 9, 1–11. <https://doi.org/10.1094/CM-2010-1109-01-RV>
- 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.

- Bai, A., Lakner, Z., Marosvölgyi, B., 2002. A biomassza felhasználása. Szaktudás Kiadó Ház, Budapest.
- Bárdossy, A., Józsa, L., Tóth, J., 1985. A cirok és a szudánifű környezeti igényei és agrotechnikája, in: *A Cirok És a Szudánifű*. Akadémiai Kiadó, Budapest, p. 180.
- Bíró, S., Kapronczai, I., Szekely, E., Szucs, I. (Eds.), 2011. A Nemzeti Vidékstratégia a mezőgazdasági vízgazdálkodás és az öntözésfejlesztés tükrében. *GAZDÁLKODÁS: Scientific Journal on Agricultural Economics*, 55. <https://doi.org/10.22004/ag.econ.119906>
- Börjesson, P., Berndes, G., 2006. The prospects for willow plantations for wastewater treatment in Sweden. *Biomass and Bioenergy* 30, 428–438. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2005.11.018>
- 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>
- Ceulemans, R., McDonald, A.J.S., Pereira, J.S., 1996. A comparison among eucalypt, poplar and willow characteristics with particular reference to a coppice, growth-modelling approach. *Biomass and Bioenergy* 11, 215–231. [https://doi.org/10.1016/0961-9534\(96\)00035-9](https://doi.org/10.1016/0961-9534(96)00035-9)
- 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.
- Christersson, L., Sennerby-Forsse, L., Zsuffa, L., 1993. The role and significance of woody biomass plantations in Swedish agriculture. *The Forestry Chronicle* 69, 687–693. <https://doi.org/10.5558/tfc69687-6>
- Córdoba, B.E., Martínez, C.A., Ferrer, E.V., 2010. Water quality indicators: Comparison of a probabilistic index and a general quality index. The case of the Confederación Hidrográfica del Júcar (Spain). *Ecological Indicators* 10, 1049–1054. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2010.01.013>
- Csajbók, J., 2004. Növénytermesztési tér vízgazdálkodása. Szent István Egyetem, Gödöllő.
- Czikkely, M., Füleky, Gy., Ligetvári, L., 2012. A szennyvízöntözés hatása a talaj tulajdonságaira. Magyar Hidrológiai Társaság, XXX. Országos Vándorgyűlés.
- Debreczeni, B., Debreczeni, Bné., 1983. A tápanyag és a vízellátás kapcsolata. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.
- Devkota, J., Schlachter, H., Apul, D., 2015. Life cycle based evaluation of harvested rainwater use in toilets and for irrigation. *Journal of Cleaner Production* 95, 311–321. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.02.021>

- 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. Kungliga 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>
- FAO, 2021. The State of the World's Land and Water Resources for Food and Agriculture – Systems at breaking point (SOLAW 2021). Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. <https://doi.org/10.4060/cb7654en>
- FAO, 2007. Coping with water scarcity - Challenge of the twenty-first century. Coping with water scarcity 29.
- Faures, J.M., Svendsen, M., Turrall, H., Berkhoff, J., Bhattarai, M., Caliz, A.M., Darghouth, S., Doukkali, M.R., El-Kady, M., Facon, T., Gopalakrishnan, M., Groenfeldt, D., Hoanh, C.T., Hussain, I., Jamin, J.-Y., Konradsen, F., León, A., Meinzen-Dick, R.S., Miller, K., Mirza, M., Ringler, C., Schipper, L., Senzanje, A., Tadesse, G., Tharme, R.E., Hofwegen, P. van, Wahaj, R., Varela Ortega, C., Yoder, R., Zhanyi, G., 2007. Reinventing irrigation.
- Filep, Gy., 1999. Az öntözővizek minősége és minősítése. *Agrokémia és Talajtan* 48, 49–65.
- 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>
- Füleky, Gy., 2004. Tápanyag-gazdálkodás. Mezőgazda, Budapest.
- Gencsi, L., Vancsura, R., 1992. Dendrológia. Mezőgazda Kiadó, Budapest.
- Ghermandi, A., Messalem, R., 2009. The advantages of NF desalination of brackish water for sustainable irrigation: The case of the Arava Valley in Israel. *Desalination and Water Treatment* 10, 101–107. <https://doi.org/10.5004/dwt.2009.824>
- 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>
- Guo, W., Fu, Y., Ruan, B., Ge, H., Zhao, N., 2014. Agricultural non-point source pollution in the Yongding River Basin. *Ecological Indicators* 36, 254–261. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2013.07.012>
- Gyuricza, Cs., 2008. Cukorcirok termesztése energetikai hasznosításra. *Agronapló* 12, 75–76.
- Gyuricza, Cs., Borovics, A., 2018. Agráreredészet. Nemzeti Agrárkutatási és Innovációs Központ, Gödöllő.
- Gyuricza, Cs., Nagy, L., Ujj, A., Mikó, P., Alexa, L., 2008. The impact of composts on the heavy metal content of the soil and plants in energy willow plantations (*Salix* sp.). *Cereal Research Communications Supplement: Proceedings of the VII. Alps-Adria Scientific Workshop*, 279–282.

- Harmancioglu, N., Barbaros, F., Cetinkaya, C., 2012. Sustainability Issues in Water Management. *Water Resources Management* 27. <https://doi.org/10.1007/s11269-012-0172-4>
- Harou, J.J., Lund, J.R., 2008. Ending groundwater overdraft in hydrologic-economic systems. *Hydrogeol J* 16, 1039. <https://doi.org/10.1007/s10040-008-0300-7>
- He, C., Liu, Z., Wu, J., Pan, X., Fang, Z., Li, J., Bryan, B.A., 2021. Future global urban water scarcity and potential solutions. *Nat Commun* 12, 4667. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-25026-3>
- 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.
- Horváth, A., Mikes, Gy., 1981. Cirok, in: *A Szántóföldi Növények Vetőmagtermesztése És Fajtahasználata*. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, pp. 259–274.
- 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>
- Incrocci, L., Massa, D., Pardossi, A., 2017. New Trends in the Fertigation Management of Irrigated Vegetable Crops. *Horticulturae* 3, 37. <https://doi.org/10.3390/horticulturae3020037>
- 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>
- Isebrands, J.G., Richardson, J. (Eds.), 2013. *Poplars and willows: trees for society and the environment*. CABI; FAO, Boston.
- 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>
- Jevcsák, Sz., Sipos, P., 2016. A cirok és a köles - mint alternatív gabonafélék - táplálkozás-élettani hatásai. *Agrártudományi Közlemények- Acta Agraria Debreceniensis* 91–95.
- Juhász, E., Major, V., 2016. Sanitation in Hungary. *Hidrológiai Közlöny* 96.
- Kemény G., Bozán Cs., Péter K., Vári E., Kiss A., Miskó K., Domán Cs., Keményné Horváth Zs., Gaál M., 2018. Az öntözhetőség természeti-gazdasági korlátainak hatása az öntözhető területekre. *Agrárgazdasági Kutató Intézet*. <https://doi.org/10.7896/ak1801>
- Kendrovics, Bné.R., 2017. A szennyvíz mezőgazdasági felhasználásának indokai és feltételei. *Hírcsatorna, a Magyar Víz-és Szennyvíztechnika Szövetség lapja* 5–23.
- Kismányoky, A., 2021. A szemes cirok egy új korszakot nyit a modern mezőgazdaságban. *Agro Napló* 25, 1.
- Kolozsvári, I., Kun, Á., Bakti, B., Valkovszki, N.J., Jancsó, M., Bozán, Cs., Gyuricza, Cs., 2021. Afrikai harcsanevelő-telep elfolyóvizével öntözött energiafűz növények fenológiai paraméterei és biomassza produktuma. *Halászatfejlesztés* 38, 80–83.
- Kolozsvári, Ildikó, Kun, Á., Jancsó, M., Bakti, B., Bozán, C., Gyuricza, C., 2021. Utilization of Fish Farm Effluent for Irrigation Short Rotation Willow (*Salix alba* L.) under Lysimeter Conditions. *Forests* 12, 457. <https://doi.org/10.3390/f12040457>
- Koop, H., 1987. Vegetative Reproduction of Trees in Some European Natural Forests. *Vegetatio* 72, 103–110.
- Krebs, J.R., Wilson, J.D., Bradbury, R.B., Siriwardena, G.M., 1999. The second Silent Spring? *Nature* 400, 611–612. <https://doi.org/10.1038/23127>

- 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., 2018. Intenzív üzemű halnevelő-telepről származó szennyvíz mezőgazdasági elhelyezésének és hasznosításának vizsgálata energiafűz kísérletben. Szegedi Tudományegyetem, Szeged, Hungary, p. 4171. <https://doi.org/10.14232/phd.4171>
- 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>
- Kuzovkina, Y.A., Quigley, M.F., 2005. Willows Beyond Wetlands: Uses of *Salix* L. Species for Environmental Projects. *Water Air Soil Pollut* 162, 183–204. <https://doi.org/10.1007/s11270-005-6272-5>
- Labrecque, M., Teodorescu, T.I., 2003. High biomass yield achieved by *Salix* clones in SRIC following two 3-year coppice rotations on abandoned farmland in southern Quebec, Canada. *Biomass and Bioenergy* 25, 135–146. [https://doi.org/10.1016/S0961-9534\(02\)00192-7](https://doi.org/10.1016/S0961-9534(02)00192-7)
- Lahav, O., Birnhack, L., 2007. Quality criteria for desalinated water following post-treatment. *Desalination* 207, 286–303. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2006.05.022>
- Lelkes, J., Ligetvári, F., 1991. Öntözés a kisgazdaságokban. Folium, Budapest.
- Li, S.-X., Wang, Z.-H., Malhi, S.S., Li, S.-Q., Gao, Y.-J., Tian, X.-H., 2009. Nutrient and Water Management Effects on Crop Production, and Nutrient and Water Use Efficiency in Dryland Areas of China, in: *Advances in Agronomy*. Elsevier, pp. 223–265. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(09\)01007-4](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(09)01007-4)
- Libutti, A., Gatta, G., Gagliardi, A., Vergine, P., Pollice, A., Beneduce, L., Disciglio, G., Tarantino, E., 2018. Agro-industrial wastewater reuse for irrigation of a vegetable crop succession under Mediterranean conditions. *Agricultural Water Management* 196, 1–14. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2017.10.015>
- Loch, J., Nosticzius, Á., 1992. Agrokémia és növényvédelmi kémia. Mezőgazda Kiadó, Budapest.
- 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>
- Mace, E.S., Tai, S., Gilding, E.K., Li, Y., Prentis, P.J., Bian, L., Campbell, B.C., Hu, W., Innes, D.J., Han, X., Cruickshank, A., Dai, C., Frère, C., Zhang, H., Hunt, C.H., Wang, X., Shatte, T., Wang, M., Su, Z., Li, J., Lin, X., Godwin, I.D., Jordan, D.R., Wang, J., 2013. Whole-genome sequencing reveals untapped genetic potential in Africa's indigenous cereal crop sorghum. *Nat Commun* 4, 2320. <https://doi.org/10.1038/ncomms3320>
- Madramootoo, C.A., Morrison, J., 2013. Advances and Challenges with Micro-Irrigation. *Irrigation and Drainage* 62, 255–261. <https://doi.org/10.1002/ird.1704>
- 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. 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>
- Mirck, J., Isebrands, J.G., Verwijst, T., Ledin, S., 2005. Development of short-rotation willow coppice systems for environmental purposes in Sweden. *Biomass and Bioenergy* 28, 219–228. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2004.08.012>
- Mitchell, A.F., 1974. *A field guide to the trees of Britain and northern Europe*. Collins, London.

- Murray, S.C., Rooney, W.L., Hamblin, M.T., Mitchell, S.E., Kresovich, S., 2009. Sweet Sorghum Genetic Diversity and Association Mapping for Brix and Height. *Plant Genome* 2, plantgenome2008.10.0011. <https://doi.org/10.3835/plantgenome2008.10.0011>
- 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
- Niinemets, 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>
- Palágyi, A., 2021. Cirokfélék, in: *Szántóföldi Növények Vetőmagtermesztése 2. Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, Gödöllő*, pp. 118–131.
- 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>
- Plénet, D., Cruz, P., 1997. Maize and Sorghum, in: Lemaire, G. (Ed.), *Diagnosis of the Nitrogen Status in Crops*. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, pp. 93–106. https://doi.org/10.1007/978-3-642-60684-7_5
- Praciak, A. (Ed.), 2013. *The CABI encyclopedia of forest trees*. Cabi, Wallingford, Oxfordshire, UK.
- Purves, D., 1985. *Trace-element contamination of the environment*, 2nd ed. ed. Elsevier, Amsterdam.
- Qadir, M., Drechsel, P., Jiménez Cisneros, B., Kim, Y., Pramanik, A., Mehta, P., Olaniyan, O., 2020. Global and regional potential of wastewater as a water, nutrient and energy source. *Nat Resour Forum* 44, 40–51. <https://doi.org/10.1111/1477-8947.12187>
- Qin, Y., Horváth, Á., 2020. Use of alternative water sources in irrigation: potential scales, costs, and environmental impacts in California. *Environ. Res. Commun.* 2, 11. <https://doi.org/10.1088/2515-7620/ab915e>
- Rácz, I., 2007. Öntözővizek minősége a hazai vízkultúrák zöldségtermesztésben.
- Rao, D.L.N., 2002. The Effects of Salinity and Sodidity upon Nodulation and Nitrogen Fixation in Chickpea (*Cicer arietinum*). *Annals of Botany* 89, 563–570. <https://doi.org/10.1093/aob/mcf097>
- Ravikumar, V., 2023a. Drip Irrigation Components, in: Ravikumar, V. (Ed.), *Sprinkler and Drip Irrigation: Theory and Practice*. Springer, Singapore, pp. 151–213. https://doi.org/10.1007/978-981-19-2775-1_7
- Ravikumar, V., 2023b. Drip Irrigation - Planning Factors, in: Ravikumar, V. (Ed.), *Sprinkler and Drip Irrigation: Theory and Practice*. Springer Nature, Singapore, pp. 215–246. https://doi.org/10.1007/978-981-19-2775-1_8
- Ravikumar, V., 2023c. Sprinkler Irrigation Types and Components. In: *Sprinkler and Drip Irrigation*. Springer, Singapore.

- Reddy, P.P., 2016. Micro Irrigation. In: Sustainable Intensification of Crop Production. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-981-10-2702-4>
- Richards, L.A., 1954. Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils. AIBS Bulletin 4, 14–14. <https://doi.org/10.1093/aibsbulletin/4.3.14-a>
- Roozeboom, K.L., Prasad, P.V.V., 2019. Sorghum Growth and Development, in: Sorghum. John Wiley & Sons, Ltd, pp. 155–172. <https://doi.org/10.2134/agronmonogr58.c8>
- 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)
- Ruttens, A., Boulet, J., Weyens, N., Smeets, K., Adriaensen, K., Meers, E., Van Slycken, S., Tack, F., Meiresonne, L., Thewys, T., Witters, N., Carleer, R., Dupae, J., Vangronsveld, J., 2011. Short Rotation Coppice Culture of Willows and Poplars as Energy Crops on Metal Contaminated Agricultural Soils. International Journal of Phytoremediation 13, 194–207. <https://doi.org/10.1080/15226514.2011.568543>
- Schmidt, G., Tóth, I., 2006. Kertészeti dendrológia. Mezőgazda Kiadó, Budapest.
- Schnitzler, A., 1997. River dynamics as a forest process: Interaction between fluvial systems and alluvial forests in large European river plains. Bot. Rev 63, 40–64. <https://doi.org/10.1007/BF02857917>
- 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)
- Shara, M., Stohs, S.J., 2015. Efficacy and Safety of White Willow Bark (*Salix alba*) Extracts: Willow Bark Extract Efficacy and Safety. Phytother. Res. 29, 1112–1116. <https://doi.org/10.1002/ptr.5377>
- 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>
- Siklósné Rajki, E., Harmati, I., 2001. Takarmánycirok, in: Alternatív Növények Termesztése. Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó, Budapest, pp. 266–322.
- Singh, A., 2015. Poor quality water utilization for agricultural production: An environmental perspective. Land Use Policy 43, 259–262. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2014.11.015>
- Singh, A., 2013. Groundwater modelling for the assessment of water management alternatives. Journal of Hydrology 481, 220–229. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2012.12.042>
- Singh, A., 2010. Decision support for on-farm water management and long-term agricultural sustainability in a semi-arid region of India. Journal of Hydrology 391, 63–76. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.07.006>
- 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>
- Smart, B.L., Cameron, K.D., 2012. Shrub willow. CRC Press, Boca Raton, FL, USA; London, UK; New York, NY, USA.

- 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>
- Staggenborg, S.A., Dhuyvetter, K.C., Gordon, W.B., 2008. Grain Sorghum and Corn Comparisons: Yield, Economic, and Environmental Responses. *Agronomy Journal* 100, 1600–1604. <https://doi.org/10.2134/agronj2008.0129>
- Stefanovits, P., 1977. Talajvédelem, környezetvédelem. Mezőgazdasági Kiadó.
- Sváb, J., 1981. Biometriai módszerek a kutatásban. Mezőgazdasági Kiadó.
- Szalai, Gy., 1989. Az öntözés gyakorlati kézikönyve. Mezőgazda Kiadó, Budapest.
- Szűcs, I., Apáti, F., 2011. Öntözés ökonómiája, in: Alamültetvények vízkészletgazdálkodása. Debreceni Egyetem Agrár- és Gazdálkodástudományok Centruma, Debrecen, pp. 275–294.
- Taylor, J.R.N., Belton, P.S., Beta, T., Duodu, K.G., 2014. Increasing the utilisation of sorghum, millets and pseudocereals: Developments in the science of their phenolic phytochemicals, biofortification and protein functionality. *Journal of Cereal Science* 59, 257–275. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2013.10.009>
- Tilman, D., Cassman, K.G., Matson, P.A., Naylor, R., Polasky, S., 2002. Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature* 418, 671–677. <https://doi.org/10.1038/nature01014>
- Tóth, Á., 2011. Az öntözés praktikuma. Aquarex'96 Kft.
- 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>
- Tsuchihashi, N., Goto, Y., 2004. Cultivation of Sweet Sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) and Determination of its Harvest Time to Make Use as the Raw Material for Fermentation, Practiced during Rainy Season in Dry Land of Indonesia. *Plant Production Science* 7, 442–448. <https://doi.org/10.1626/pp.7.442>
- UN Water (Ed.), 2021. Valuing water, The United Nations world water development report. UNESCO, Paris.
- Unesco (Ed.), 2017. Wastewater: the untapped resource, The United Nations world water development report. UNESCO, Paris.
- United Nations, 2019. World population prospects Highlights, 2019 revision Highlights, 2019 revision.
- Vancsó, P.J., 2010. A biomassa, mint energiaforrás hsznosítási lehetőségei, különös tekintettel Magyarországra, in: Doktori Értekezés. Budapest.
- Vasilakoglou, I., Dhima, K., Karagiannidis, N., Gatsis, T., 2011. Sweet sorghum productivity for biofuels under increased soil salinity and reduced irrigation. *Field Crops Research* 120, 38–46. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2010.08.011>
- Vermes, L., 2001. Vízgazdálkodás. Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó, Budapest.
- 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>
- Wani, S.P., Albrizio, R., Nageswara Rao, V., 2012. Sorghum, in: Steduto, P., Hsiao, T.C., Fereres, E., Raes, D. (Eds.), . FAO, Rome, pp. 144–151.
- Wichelns, D., Oster, J.D., 2006. Sustainable irrigation is necessary and achievable, but direct costs and environmental impacts can be substantial. *Agricultural Water Management* 86, 114–127. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2006.07.014>
- Xu, J., Wu, L., Chang, A.C., Zhang, Y., 2010. Impact of long-term reclaimed wastewater irrigation on agricultural soils: A preliminary assessment. *Journal of Hazardous Materials* 183, 780–786. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2010.07.094>

- 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>
- Zhang, L.X., Li, S.X., 2005. Effects of Application of Nitrogen, Potassium and Glycinebetaine on Alleviation of Water Stress in Summer Maize.

Internetes hivatkozások

Internet 1. <https://agrorain.com/products/Medium-range-butterfly-sprinkler-for-irrigation/610.html> (elérhető 2023.03.03.)

Internet 2.

https://hu.wikipedia.org/wiki/Feh%C3%A9r_f%C5%B1z#/media/F%C3%A1jl:Thom%C3%A9_Salix_alba_clean.jpg (elérhető: 2023. 03. 06.)

M.2. Táblázatok és ábrák jegyzéke

Ábrák

1. ábra: A világ öntözésre berendezett területeinek százalékos megoszlása (FAO, 2021)	10
2. ábra: Öntözésre berendezett területek megoszlása megyei bontásban (AKI, 2021)	12
3. ábra: Öntözéssel kijuttatott vízmennyiség alakulása megyénként (AKI, 2021)	13
4. ábra: A kijuttatott öntözővízmennyiség megoszlása a víz kiadagolásának módja szerint 2021-ben	13
5. ábra: Integrált vízgazdálkodási modell (Juhász és Major, 2016)	18
6. ábra: A csepegtető öntözőrendszer működési elve (Lelkes és Ligetvári, 1991)	25
7. ábra: A mikroszórófejes öntözőrendszer felépítése (Internet 1.)	26
8. ábra: A fehér fűz (<i>Salix alba</i> L.) levélzete és virágzata (Internet 2)	29
9. ábra: A cirok különböző fejlődési stádiumokban (Wani et al., 2012).....	32
10. ábra: A rövid vágásfordulójú energiafűz kísérleti elrendezése egy liziméterben (Kolozsvári <i>et al.</i> , 2021)	39
11. ábra: A rövid vágásfordulójú energiafűz liziméteres kísérlet vázrajza	48
12. ábra: A szemescirok öntözési kísérlet vázrajza.....	50
13. ábra: A szemescirok növénymagasságának mérése (Saját felvétel)	52
14. ábra: A klorofill értékek a 2015-2017-es termesztési években: (a) <i>S. alba</i> energiafűz növény SPAD értékei 2015-ben; b) a <i>S. alba</i> energiafűz növény SPAD értékei 2016-ban; c) <i>S. alba</i> energiafűz növény SPAD értékei 2017-ben.	56
15. ábra: Növénymagasság értékek 2015-2017-es termesztési években: (a) az <i>S. alba</i> energiafűz növények magassági értékei 2015-ben; b) az <i>S. alba</i> energiafűz növények magassági értékei 2016-ban; c) az <i>S. alba</i> energiafűz növények magassági értékei 2017-ben.....	58
16. ábra: A levél- és szárrészek nitrogéntartalmának értékei 2015-től 2017-ig: (a) a levélrészek nitrogéntartalom értékei 2015–2017-ben; (b) a szárrészek nitrogéntartalom értékei egy 2015–2017-es évben.....	60
17. ábra: A levél- és szárrészek káliumtartalmának értékei 2015-től 2017-ig: (a) a levélrészek káliumtartalom értékei 2015–2017-ben; (b) a szárrészek káliumtartalom értékei 2015–2017-ben.	62
18. ábra: A levél- és szárrészek nátriumtartalmának értékei a 2015-2017-es termesztési évek között: (a) a levélrészek nátriumtartalmának értékei 2015–2017-ben; (b) a szárrészek nátriumtartalmi értékei 2015–2017-ben.	64
19. ábra: A rövid vágásfordulójú fűz klónok száraz tömege 2015-től 2017-ig.....	66
20. ábra: A szemescirok utolsó vizsgálati időpontjában mért növénymagassági adatok 2016-tól 2020-ig. (a) Az 'Alföldi 1' hibrid magasságértékei; (b) a 'Farmsugro 180' hibrid magasságértékei; (c) a 'GK Emese' hibrid magasságértékei.....	71
21. ábra: A szemtermés nitrogéntartalmának alakulása 2016-tól 2020-ig. (a) Az 'Alföldi 1' hibrid nitrogéntartalma; (b) a 'Farmsugro 180' hibrid nitrogéntartalma; (c) a 'GK Emese' hibrid nitrogéntartalma.	73
22. ábra: A szemtermés foszfortartalmának alakulása 2016-tól 2020-ig. (a) az 'Alföldi 1' hibrid foszfortartalma, (b) a 'Farmsugro 180' hibrid foszfortartalma, (c) a 'GK Emese' hibrid foszfortartalma.	76
23. ábra: A szemtermés káliumtartalmának alakulása 2016-tól 2020-ig. (a) az 'Alföldi 1' hibrid káliumtartalma, (b) a 'Farmsugro 180' hibrid káliumtartalma, (c) a 'GK Emese' hibrid káliumtartalma.....	78

24. ábra: A szemtermés nátriumtartalmának alakulása 2016-tól 2020-ig. (a) az 'Alföldi 1' hibrid nátriumtartalma, (b) a 'Farmsugro 180' hibrid nátriumtartalma, (c) a 'GK Emese' hibrid nátriumtartalma.	80
25. ábra: A három szemescirok hibrid cukortartalmának alakulása a 2020-as termesztési évben	82

Táblázatok

1. táblázat: Meteorológiai adatok 1981 és 2010, illetve 2015 és 2020 között	38
2. táblázat: A liziméterek talajának makroelem tartalom vizsgálat paraméterei.....	40
3. táblázat: A liziméterek talajának mikroelem tartalom vizsgálat paraméterei	40
4. táblázat: A szabadföldi cirok kísérlet talajának fontosabb agrokémiai tulajdonságai	41
5. táblázat: A kutatás során használt öntözővizek átlagos főbb vízminőségi paraméterei.....	44
6. táblázat: Az évente kijuttatott öntözővíz mennyisége és a csapadék eloszlása a vizsgált vegetációs időszakban	47
7. táblázat: A szemescirok vetésideje, az öntözések száma, a csapadékmennyiség és a kijuttatott öntözővíz mennyisége a négy kísérleti évben	51
8. táblázat: Az intenzív afrikai harcsanevelő telepről származó elfolyóvízzel öntözött fűz klónok növényi részeiben mért foszfortartalom	61
9. táblázat: A kicserélhető nátrium adszorpciós arányának változása 2015 (kísérlet előtt) és 2017 (kísérlet után) között.....	67
10. táblázat: A talaj felvehető nitrogén (KCl-NO ₂ ⁻ +NO ₃ ⁻ -N) tartalma 2017-ben	68
11. táblázat: A szemescirok fajták SPAD értékeinek alakulása a kísérleti években	69
12. táblázat: A szemescirok betakarításakor mért nedves zöldtömeg alakulása a 2016–2020-as tenyészidőszakokban	83
13. táblázat: A szemtermés tömegének alakulása betakarításakor 2016-2020 termesztési időszakban	84
14. táblázat: A kísérleti terület talajparaméterei az öntözési kísérlet utolsó évében vett mintáiban	85

M.3. Kiegészítő táblázatok

M.3.1. melléklet: A szennyvíz összetevői és minőségi paramétereinek öntözéses hasznosítás során (Kendrovics, 2017)

<i>Paraméter</i>	<i>A paraméter jelentősége a szennyvíztisztítás szempontjából</i>	<i>Szokásos értékek a szennyvíz biológiai tisztítása után</i>	<i>Elérendő hasznosíthatósági érték</i>
kiszűrhető anyagok	összefüggő mikrobiális szennyezéssel	5-50 mgSS/L*	<5-30 mgSS/L
zavarosság	eldugulás, lerakódás veszély, a fertőtlenítés gátlása (pl. UV fertőtlenítésnél)	1-30 NTU**	<0,1-30 NTU
BOI5	szerves szubsztrátum a mikroorganizmusoknak	10-30 mg/L	<10-45 mg/L
KOI	csővezetékben eltömődés és újraszírásodás következhet be	50-150 mg/L	<20-90 mg/L
TOC	csővezetékben eltömődés és újraszírásodás következhet be	5-20 mg/L	<1-10 mg/L
Összes koliform baktérium	fertőzésveszély	<10-107 cfu/100 ml***	<1-200 cfu/100 ml
Fekálkoliform baktériumok	fertőzésveszély	1-106 cfu/100 ml	1-103 cfu/100 ml
Bélféregpete	fertőzésveszély	<1-10/L	0,1-5/L
Vírusok	fertőzésveszély	<1-100/L	1-50/L
Nehézfémek	toxikusak a növényekre (pl. Cd, Zn, Hg, Ni, stb.)		<0,001 mgHg/L <0,01 mgCd/L <0,1-0,02 mgNi/L
Szervetlen anyagok	növénytermesztésben az 1 mg/L-nél nagyobb só és különösen a bórtartalom hátrányos		<450 mgTDS/L****
Maradék klórvegyületek	0,05 mg/L-nél nagyobb klórtartalom az egyes haszonnövényekre káros		<0,5-1 mgCl/L
Nitrogén	öntözéssel bevitt tápanyag	10-30 mgN/L	<1-30 mgN/L

Foszfor	hozzájárul az algásodáshoz, eltömődéshez	0,1-30 mgP/L	<1-20 mgP/L
---------	--	--------------	-------------

Megjegyzés.: *SS –lebegőanyag, **NTU – zavarosság, *** cfu – telepképző egység, ****TDS-összes oldott anyag

M.3.2. melléklet: Szennyvíz, szennyvíziszap, szennyvíziszap komposzt mezőgazdasági felhasználásának megkezdéséhez szükséges talaj- és vízvizsgálatok (50/2001. (IV. 3.) Korm. rendelet, n.d.)

Vizsgálandó paraméter	Szennyvíz, folyékony szennyvíziszap	Szenny- víziszap	Szennyvíz- iszap, komposzt	Vizsgálati szabvány
<i>Talajból:</i>				
pH (H ₂ O)	+	+	X	MSZ-08-0206-2:1978.
Humusztartalom H%	+	+	X	MSZ-08-0210:1977. MSZ 21470-52:1983. MSZ-08-0452:1980.
Összes karbonáttartalom	+	+	X	MSZ-08-0206-2:1978.
Összes vízben oldható sótartalom	+	+	X	MSZ-08-0206-2:1978.
Arany féle kötöttség (KA)	-	-	X	MSZ-08-0205:1978.
Mechanikai összetétel	o	o	-	MSZ-08-0205:1978.
Térfogattömeg	o	-	-	MSZ-08-0205:1978.
pF-sor*	o	-	-	MSZ-08-0205:1978.
Kicszerélhető kationok	o	o	-	MSZ-08-0214-1:1978 MSZ-08-0214-2:1978.
Toxikus elem tartalom (As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mo, Ni, Pb, Se, Zn)	X	X	X	MSZ-21470-50:2006.
Talajtoxicitás-vizsgálat (Azotobacter agilis teszt)	XI	XI	-	MSZ-21978-30:1988.
Felvehető tápanyagtartalom P ₂ O ₅ , K ₂ O, Mg, NO ₃ -NO ₂ ,	X	X	X	MSZ-20135:1999.
Aktuális talajvízszint meghatározása 5 m-ig	szükséges	szükséges	-	MSZ 21464:1998.
<i>Talajvízből:</i>				
pH, EC, KOI, Ca ⁺⁺ , Mg ⁺⁺ , Na ⁺ , K ⁺ , NH ₄ ⁺ CO ₃ ⁻ , HCO ₃ ⁻ , Cl ⁻ , SO ₄ ⁻ , NO ₃ ⁻ , NO ₂ ⁻ , toxikus elemek, ΣPAH**, ΣPCB**, TPH**	XII	XII	-	MSZ-1484-3:2006.

+ Legfeljebb 10 hektáronkénti gyakorisággal 150 cm mélységig feltárt talajszelelvény genetikai szintjeiből vett mintákból kell meghatározni.

o Legfeljebb 50 hektáronkénti gyakorisággal jellemző fizikai, vízgazdálkodási, kémiai tulajdonságú talajfoltokban feltárt talajszelvények genetikai szintjeiből vett talajmintákból kell meghatározni.

X Legfeljebb 5 ha-ként kialakított mintatereken 25 leszúrásból átlagmintát kell képezni 0-25 cm-es talajrétegből, melyekből a jelzett paraméterek vizsgálандók. Injektálás esetén 5 ha-ként 25-60 cm-es talajrétegből is átlagmintát kell venni.

XI Az „X” szerint képzett átlagminták 0-25 cm-es szintjéből vett talajmintákból kell meghatározni.

XII Amennyiben a talajvíz 5 m-en belül elérhető, 50 ha-ként egy vízmintát, ha a talajvíz 3-1,5 m-en belül elérhető, 50 ha-ként két vízmintát kell venni.

** A talaj vízgazdálkodási tulajdonságait jellemző mérésorozat.*

*** Meghatározásuk előzetes hatóságai elvégzése alapján mellőzhető.*

M.3.3. melléklet: Szennyvíz, szennyvíziszap, szennyvíziszap komposzt vizsgálandó komponensei és egyéb jellemzői mezőgazdasági felhasználás előtt (50/2001. (IV. 3.) Korm. rendelet, n.d.)

Vizsgálandó paraméter	Szennyvíz	Szennyvíziszap	Szennyvíziszap komposzt	Vizsgálati szabvány	
				Szennyvíz	Szennyvíziszap + szennyvíziszap komposzt
Mintavétel				MSZ ISO 5667-10:1995	MSZ EN ISO 5667-13:2000
pH	+	+	+	MSZ-260-4:1971	MSZ-318-4:1979 MSZ EN 12176:1998
Elektromos vezetőképesség (sótartalom)	+	-	+	MSZ EN 27888:1998	-
Összes szárazanyag	+	+	+	MSZ-260-3:1973	MSZ-318-3:1979
Összes szerves anyag	+	+	+	MSZ-260-3:1973	MSZ-318-3:1979
Összes oldott anyag/ oldott ásványi anyag	+	-	-	MSZ-260-3:1973	-
Ca ⁺⁺ , Mg ⁺⁺ , Na ⁺ , K ⁺	+	-	-	kiegészítő listán (1)	-
C03 ⁻ , HCO3 ⁻ , Cl ⁻ , SO4 ⁻ , NO3 ⁻ , NO2 ⁻	+	-	-	kiegészítő listán (2)	-
KOI	+	-	-	MSZ ISO 6060:1991 MSZ 12750-21:1971 ISO 15705:2002	-
Összes N	+	+	+	MSZ 448-27:1985 MSZ EN 25663:1998 MSZ-08-0478-3:1987	MSZ-318-18:1981 MSZ-08-1744-1:1988
NH4-N	+	-	-	MSZ-260-9:1988	-

				MSZ EN ISO 11732:2005	
Összes foszfor (P ₂ O ₅)	+	+	+	MSZ-260-20:1980 MSZ-1484-3:2006 MSZ EN ISO 11885:2000 MSZ EN ISO 15681-1:2005 MSZ EN ISO 15681-2:2005	MSZ-318-19:1981
Összes kálium (K ₂ O)	+	+	+	MSZ-1484-3:2006 MSZ EN ISO 15587-2:2002 MSZ EN ISO 11885:2000 MSZ-08-0478- 7:1987	MSZ-318-8:1986 MSZ-08-1744- 3:1988 MSZ-08-1933- 7:1986 MSZ 21470- 50:2006
Pb, Cd, Co, Cr, Cu, Mo, Ni, Hg, Se, Zn, As	+	+	+	MSZ-1484-3:2006 MSZ 260-32:1989 MSZ EN ISO 11969:1998	MSZ-21470- 50:2006 és kiegészítő listán (3)
Fe, Al, Mn, B, Ba	+	-		MSZ-1484-3:2006	-
Anionos felületaktív anyag	+	-	-	MSZ EN 903:1998 MSZ 448-49:1981 MSZ-260-47:1983	-
Állati-növényi zsiradék (szerves oldószer extrakt)*	+	+	+		MSZ-318-6:1979
Összes alifás szén- hidrogén (TPH) *	+	+	+	MSZ 1484-7	MSZ 21470:94
Policiklusos aromás szénhidrogének (ΣPAH) *	+	+	+	MSZ 21978- 90:1999 MSZ 1484-6	MSZ 21978- 90:1999 MSZ 21470:84
Poliklórozott bifenilek (ΣPCB) *	+	+	+	MSZ 1484-11	MSZ 21470:98
Fekál coli és fekál streptococcus	-	+	+	-	MSZ 318-7:1986
Salmonella sp.			+		
Humán parazita bélféreg pete			+		

* Meghatározásuk az engedélyező hatósággal történő előzetes hatósági egyeztetés alapján mellőzhető.

M.3.4. melléklet: Az öntözési kísérlet talajainak vizsgálati módszerei és műszerei

Vizsgált paraméter	A vizsgálat típusa	A vizsgálati módszer	Műszer
Alapvizsgálatok			
pH _(KCl)	potenciometria	MSZ-08-0206- 2:1978	WTW INOLAB pH740
Arany-féle kötöttségi szám (K _A)	Plaszticitás	MSZ-08-0205:1978	

Vízben oldható összes só	konduktometria	MSZ-08-0206-2:1978	WTW INOLAB Cond 740P
CaCO ₃	Volumetria	MSZ-08-0206-2:1978	Scheibler-féle kalciméter
Humusz	Fotometria	MSZ-08-0210:1977	EVOLUTION 300
KCl-NO ₂ ⁻ +NO ₃ ⁻ -N	FIA spektrofotometria	MSZ 20135:1999	LACHAT QC8500
AL-P ₂ O ₅	FIA spektrofotometria	MSZ 20135:1999	
AL-K ₂ O	AAS - láng	MSZ 20135:1999	Thermo SOLAAR M6
AL-Na	AAS - láng	MSZ 20135:1999	Thermo SOLAAR ICAP
Kicserélhető kationok (Na, Ca, Mg, K)*	AAS - láng	MSZ-080214/1-78	6500 DuoView

M.3.5. melléklet: Az öntözővizek laboratóriumi vizsgálatának paraméterei, módszerei és műszerei

Vizsgált paraméter	A vizsgálat típusa	A vizsgálati módszer	Műszer
pH	potenciometria	MSZ EN ISO 10523:2012	INOLAB pH Level 2P
Fajlagos vezetőképesség: EC (μS/cm)	konduktometria	MSZ EN 27888:1998	INOLAB Cond Level 2P
m-lúgosság	acidimetria	MSZ ISO 9963-1:1998	
p-lúgosság	acidimetria	MSZ ISO 9963-1:1998	
Hidrogén-karbonát (mg/L)	számítás	MSZ ISO 9963-1:1998	szabvány szerint számítással
Ammónium-N (mg/L)	FIA spektrofotometria	MSZ EN ISO 11732:2005	LACHAT QC 8500
Nitrát-N (mg/L)	FIA spektrofotometria	MSZ EN ISO 13395:1999	LACHAT QC 8500
Nitrit-N (mg/L)	FIA spektrofotometria	MSZ EN ISO 13395:1999	LACHAT QC 8500
Összes szerves N (mg/L)	számítás	MSZ 12750-20:1972 (visszavont szabvány) 2.2 szakasz	szabvány szerint számítással
Összes szerves N (mg/L)	számítás	MSZ 12750-20:1972 (visszavont szabvány) 2.2 szakasz	szabvány szerint számítással
Összes N (mg/L)	spektrofotometria	MSZ EN ISO 11905-1:2000	LANGE Ganimede N
Ortofoszfát-P (mg/L)	FIA spektrofotometria	MSZ EN ISO 15681-1:2005	LACHAT QC 8500
Összes P (mg/L)	spektrofotometria	MSZ EN 1189:1998 (visszavont szabvány)	LANGE Ganimede P
Klorid (mg/L)	argentometria	MSZ 1484-15:2009	EVOLUTION 300
Szulfát (mg/L)	spektrofotometria	MSZ 12750-16:1988	EVOLUTION 300
Ca (mg/L)	AAS-láng	MSZ 1484-3:2006	Thermo SOLAAR M6
K (mg/L)	AAS-láng	MSZ 1484-3:2006	Thermo SOLAAR M6
Mg (mg/L)	AAS-láng	MSZ 1484-3:2006	Thermo SOLAAR M6
Na (mg/L)	AAS-láng	MSZ 1484-3:2006	Thermo SOLAAR M6
SAR	számítás	MI 10 172-9:1990	

M.3.6. melléklet: Az öntözővizek által kijutatott N, P, K és Na mennyisége (kg/ha) az energiafűz kísérlet esetében

Öntözővíz típus	Öntözés 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

M.3.7. melléklet: 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

M.3.8. melléklet: A szemescirok termesztése során alkalmazott agrotechnikai elemek

	Talajművelés	Művelőeszköz
2015. szeptember	őszi szántás	Goldoni 238 kistraktor - eke kapcsolással
2016. április	talajlazítás	Goldoni 238 kistraktor - kultivátor kapa
2016. október	őszi szántás	Goldoni 238 kistraktor - eke kapcsolással
2017. április	talajlazítás	Goldoni 238 kistraktor - kultivátor kapa
2017. október	őszi szántás	Goldoni 238 kistraktor - eke kapcsolással
2018. október	őszi szántás	Goldoni 238 kistraktor - eke kapcsolással
2019. április	talajlazítás	Goldoni 238 kistraktor - kultivátor kapa
2019. október	őszi szántás	Goldoni 238 kistraktor - eke kapcsolással

2020. április	talajlazítás	Goldoni 238 kistraktor - kultivátor kapa
	Tápanyagutánpótlás	Növényvédelem
2016	Wuxal Super 4 L/ha	Fedona 10 EC
2017	40 kg/ha Na hatóanyag kijutatással dozatronnal	-
2019	40 kg/ha Na hatóanyag kijutatással dozatronnal	-
2020	Wuxal Super 4 L/ha	Decis Mega, Mospilan 20 SG, Mister

M.3.9. melléklet: A növényanalízis során alkalmazott laboratóriumi paraméterek és módszerek

Vizsgált paraméter	A vizsgálat típusa	A vizsgálati módszer
Szárazanyag	tömegmérés	MSZ ISO 6496:2001
Kjeldahl-nitrogén	acidimetria	MSZ EN ISO 5983-2:2005 (visszavont szabvány)
Foszfor	ICP-OES	MSZ-08-1783-28:1985
Kálium	ICP-OES	MSZ-08-1783-29:1985
Nátrium	AAS-láng	MSZ-08-1783-5:1983

M.4. Kiegészítő fényképfelvételek



M.4.1. melléklet: Mikroszórófejes öntözési mód alkalmazása az energiafűz ültetvényben



M.4.2. melléklet: Csepegtető öntözési mód alkalmazása szemescirok kultúrákban



M.4.3. melléklet: A szemescirok fajták cukortartalmának meghatározása

11. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Intenzív üzemű halnevelő telep elfolyóvizének öntözéses hasznosítása rövid vágásfordulójú energiafűz ültetvényben és szemescirok kultúrákban

című

Doktori (PhD) értekezésem elkészítéséhez, a szakmai iránymutatásért, a kísérleti körülmények biztosításáért

köszönettel tartozom témavezetőmnek

Prof. Dr. Gyuricza Csaba

egyetemi tanárnak,

valamint a kísérletek felügyeletében és a statisztikai kiértékelések során nyújtott önzetlen segítségért

Bíróné Dr. Oncsik Mária

Magyar Öntözési Egyesület elnökszónyának,

Dr. Kun Ágnes

tudományos munkatársnak.

Szeretnék továbbá köszönetet mondani

a **Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem Környezettudományi Intézet Öntözési és Vízgazdálkodási Kutatóközpont** vezetőjének

Dr. Bozán Csaba

tudományos főmunkatársnak,

valamint a kutatóközpont munkatársainak, különös tekintettel
Babák Imrének, Jansík Andrásnak, Komár Évának és Lustyik Pálnének,

a **SOE Erdészeti Tudományos Intézet** és a szegedi **Gabonakutató Nonprofit Közhasznú Kft.** munkatársainak, hogy biztosították számomra a kutatás során használt növényanyagokat,

Opponenseimnek, akik szakértő tanácsaikkal segítettek az értekezésem színvonalának emelését.

Megkülönböztetett köszönettel tartozom a **családomnak** a végtelen türelmükért és a kitartó támogatásukért.