



TUDOMÁNYOS DIÁKKÖRI KONFERENCIA

A kukorica és a cirok vizsgálata juvenilis fejlődési szakaszban különböző abiotikus stresszorok (víz, UV-B sugárzás) hatása mellett

**Comparison study of maize and sorghum at juvenile developmental stage under
different abiotic stressors (water, UV-B radiation)**

Készítette:

Pitz András
CIXP30
Agrármérnök osztatlan képzés
Nappali tagozat
Kaposvári Campus

Témavezetők:

Dr. Somfalvi-Tóth Katalin
Egyetemi adjunktus
Növénytermesztési-tudományok Intézet,
Agronómia tanszék

Dr. Hoffmann Richárd
Egyetemi docens
Növénytermesztési-tudományok Intézet,
Agronómia tanszék

OTDK szekció:

Agrártudományi szekció

**Kaposvár
2023**

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés	2
2. Célkitűzés	3
3. Irodalmi áttekintés	4
3.1. A kukorica és a szemes cirok termesztésének volumene	4
3.2. A kukorica és a cirok morfológiai tulajdonságai	5
3.3. A kukorica és a szemes cirok egyes takarmányozási paramétereinek összehasonlítása	6
3.4. Két kultúrnövény termesztési adatainak összehasonlítása	7
3.5. Abiotikus stresszorok hatása a cirok és a kukorica fejlődésére	8
3.6. Vízszükséglet és a különböző vízellátottsági szintek hatása a kukorica és a szemes cirok fejlődésére	9
3.7. UV-B sugárzás hatása a kukorica és a cirok fejlődésére	11
3.7.1. Gamma-sugárzás hatása a növények csírázására	13
3.8. A növényi stressz detektálása in vivo, non-invazív módszerrel	14
4. Anyag és módszer	16
4.1. A kísérlet beállítása, elrendezése	16
4.1.1. Vízellátottsággal kapcsolatos kísérlet beállítása	17
4.1.2. UV-B sugárzással kapcsolatos kísérlet beállítása	18
4.2. A vizsgálat során felhasznált talajok jellemzése	18
4.3. Adatok gyűjtésének és feldolgozásának módszertana	20
5. Eredmények és értékelésük	23
5.1. Eredmények	23
5.2. Eredmények értékelése	35
6. Összefoglalás	38
7. Irodalomjegyzék	41
8. Köszönetnyilvánítás	49

1. Bevezetés

A kukorica (*Zea mays* L.) sokoldalúságának köszönhetően az emberiség egyik legfontosabb kultúrnövényévé vált, melynek köszönhetően a legnagyobb termőterülettel rendelkező kultúrák közé sorolhatjuk (Nagy, 2021).

A hazánkban termesztett növények közül leginkább a kukorica fejlődését érintik a klímaváltozás okozta szélsőségek, mint az aszály, az egyenlőtlen csapadékeloszlás és a jégesők növekvő gyakorisága. A gyakorlatban alkalmazott hibridek kiválasztásában változások figyelhetők meg a növekvő hőmérséklet hatására. Korábban a hosszabb tenyészidővel rendelkező hibridek csak melegebb területeken értek be biztonságban (Buhiniček és mtsai., 2021), azonban napjainkban az előbb említett tényező hatására szinte bárhol nagy biztonsággal termesztethetők a nagyobb FAO számú éréscsoportok is (Somfalvi-Tóth, 2020). A különböző éghajlati övek eltolódásának köszönhetően a kukorica vízigénye nem elégíthető ki, így előtérbe kerülnek különböző alternatívák, ezek közül is a hasonló igényekkel rendelkező, de nagyobb mértékben stressztűrő szemes cirok (*Sorghum bicolor* (L.) Moench.) (Rooney, 2014).

A kukorica termésbiztonságát a virágzáskori magas hőmérséklet és csapadékhány csökkenti a legnagyobb mértékben. E stresszhatásoknak köszönhetően jelentős termés kiesésre számíthatunk. Ezzel szemben a cirok hőstressz és csapadékhány esetében is fenntartja termelékenységét, ezzel növelve a termésbiztonságot. (Bean és mtsai, 2013).

A szemes cirok sok tekintetben hasonló takarmányértékekkel és termesztéstechnológiával rendelkezik, mint a kukorica. Továbbá alkalmazkodó- és stressztűrő képessége is jobb, ezért a globális klímaváltozásnak köszönhetően fontos alternatíva lehet a kukorica kiváltására. A vetési adatok alakulását tekintve jól látható, hogy a kukorica vetésterületének fokozatos csökkenésével párhuzamosan egyre nagyobb arányt képvisel a szemes cirok. Tavaly, 2022-ben 983 ezer hektárra csökkent hazánk kukorica termőterülete, ezzel szemben a cirok vetésterülete 2020-ra meghaladta a 35000 hektárt megháromszorozva a 2017-es évet (KSH, 2022).

2. Célkitűzés

Az összehasonlító kísérlet beállításával célom, hogy megvizsgáljam a kukorica és a cirok csírázási képességének és kezdeti fejlődési szakaszának, egészségi állapotának alakulását eltérő külső stresszfaktorok (vízellátottsági fok, UV-B sugárzás) és különböző talajtípusok mellett. A vizsgálat előtanulmánynak tekinthető a későbbi doktori kutatásomhoz.

3. Irodalmi áttekintés

3.1. A kukorica és a szemes cirok termesztésének volumene

A kukorica fontosságát, széleskörű felhasználhatóságát jól tükrözi, hogy világviszonylatban a legnagyobb termőterülettel (kb. 204,74 millió hektár) és termésátlaggal (kb. 5,98 t/ha) rendelkező kultúrák közé sorolható. A megtermelt kukorica mennyiségét tekintve a legnagyobb termelők az Egyesült Államok, Kína és Brazília. Együttesen, a világon megtermelt kukorica mennyiségének több mint 60%-át állítják elő, ezzel jelentősen hozzájárulva az állati takarmányozáshoz és az emberi ételmezéshez. A magas termelési volumen az éghajlatnak, a jó talajösszetételnek és a megfelelő agrotechnikának köszönhető (Keszthelyi, 2014; USDA, 2023).

Hazánk kiváló termesztési adottságokkal rendelkezik a kukoricatermesztés szempontjából. Ebből adódóan a szántóterületeink kb. 27%-án termesztettek kukoricát (KSH, 2022). Azonban napjainkra lassú, fokozatos csökkenés figyelhető meg, annak ellenére, hogy talajaink megfelelő adottságokkal rendelkeznek (KSH, 2022).

A korábbi években a vetésforgó és az időjárás hatására alakultak ki kisebb-nagyobb ingadozások a termőterület tekintetében, míg napjainkban főleg a trendszerű, negatív hatású klimatikus tényezőkre vezethető vissza a csökkenés (Kovács, 2021). Ennek oka, hogy a vetés megkezdésekor talajaink víztartalma nem képes fedezni a megfelelő csírázáshoz szükséges nedvességet. A növény generatív szakaszában egyre gyakrabban fellépő aszály, kötődési és termékenyülési problémákat eredményez, ezzel csökkentve a várható termésmennyiséget (Allaga és Bódis, 2014).

A cirok termőterületét tekintve a kukorica csökkenésével párhuzamosan lassú növekedés figyelhető meg. Jelenleg kb. 41,74 millió hektáron vetettek cirkot világszinten, ez az előző évekhez képest 1 millió hektáros növekedést jelent. Legnagyobb termőterülettel rendelkező országok Nigéria, Szudán, India és az Egyesült Államok, azonban a megtermelt mennyiséget is figyelembe véve az előbbi három ország jelentősen elmarad az Egyesült Államok 10,44 millió tonnájával szemben (USDA, 2023).

Nem csupán világszinten, de hazánkban is megfigyelhető a cirok termőterületének intenzívebb növekedése. A 2000-es évek elején a vetésterülete 3-5 ezer hektár között ingadozott, majd a fokozatosan növekvő kereslet hatására 2020-ra több mint 35000 hektáron termesztettek szemes cirkot, azonban egyes felmérések szerint vetésterülete potenciálisan elérheti a 100 ezer hektárt. A termőterület növekedése főleg az elmúlt évekre tehető, mivel a

klímaváltozás okozta negatív hatások egyre erőteljesebben jelennek meg, ezáltal befolyásolva a növénytermesztést (Csajbók, 2014).

A termőhely megoszlása tekintetében jól látható, hogy a szemes cirok a melegebb, szárazabb éghajlattal rendelkező régiókban (afrikai országok) jelentős termőterülettel bír (Smith és Frederiksen, 2000). A klímaváltozás hatására kialakult magasabb hőmérséklet és egyenetlen csapadékeloszlás okozta kedvezőtlen termesztési körülmények áthidalására potenciális alternatívaként jelenhet meg hazánkban is a szemes cirok.

3.2. A kukorica és a cirok morfológiai tulajdonságai



1. ábra: A) Szemes cirok állományban; B) Kukorica állományban (Saját ábra, 2023)

A cirok (1/A. ábra) nemzetség tagjai rendkívül változatos megjelenésűek lehetnek, viszont genetikailag és botanikailag egyaránt konzisztensnek tekinthetők. A természetben előforduló különböző genomok, változó növekedési szokásokkal rendelkeznek, így szükség esetén a genetikai variabilitás fenntartásához szükséges forrást képviselhetik. Genetikáját tekintve diploid, a kromoszóma száma $n=10$. A genom méretét figyelembe véve a rizs és a kukorica között helyezkedik el, azonban a kukoricától vagy az egyéb fűféléktől jelentősen elmarad (Paterson és mtsai, 2009).

A gyökérzetet tekintve bojtos gyökérzettel rendelkezik, amely kifejlett növény esetében legalább 1,5-2,5 méter mélyre hatol, így a vízszükségletének kb. 90%-át 0-1,65 méteres talajmélységből nyeri (Stone és mtsai, 2002). Rendkívül fejlett mellékgyökérzetének köszönhetően sűrűn átszövi a talajt, jól hasznosítva a rendelkezésre álló tápanyagokat, illetve a talajnedvességet, ezzel átvészelve az aszályos időszakokat (Escalada és Plucknett, 1975). A

fejlett gyökérrendszer méretét jól szemlélteti, hogy a cirokfélék gyökértömege elérheti az 5-10 t/ha-t (Birkás, 2006)

A különböző típusok főbb jellemzőjeként jelenik meg a szár vastagsága és összetétele. Az energia- és szemes cirkokat a vastagabb szár, míg a takarmány cirkot inkább a vékonyabb szár jellemzi (Nelson és Moser, 1994).

A kukorica (1/B. ábra) hajtásrendszere egy domináns főhajtásból (növekedési tengely) és többnyire fejletlen mellékajtásokból áll, illetve genotípustól függően 8-40 db nódusz tagolja. Az innen eredő levelek plagiofil állásúak, azaz megközelítőleg egymással szemben helyezkednek el (Nagy, 2021).

A gyökérzete jól fejlett, nagy volumenű vízforgalom lebonyolítására alkalmas bojtos gyökérzet. A felszín felett kifejlődő támasztógyökerek csak minimálisan járulnak hozzá a vízfelvételhez. A mellék- és koronagyökerek oldalirányban 70-180 cm-es távolságba is eljuthatnak, míg a kisebb részük akár 3-4 m mélyre is képes lehatolni. Azonban a gyökérzetük jelentős része a felső 25-30 cm-es talajrétegben található (Bocz és Nagy, 1978). A vízfelvételének 62-81%-a a felső 60 cm-es rétegből származik, míg az ennél mélyebben elhelyezkedő gyökerek esetében intenzív visszaesés figyelhető meg (Mendez-Millan és mtsai, 2012; Xia és mtsai, 2013).

3.3. A kukorica és a szemes cirok egyes takarmányozási paramétereinek összehasonlítása

A kukorica széleskörű felhasználhatóságának köszönhetően tett szert az egyik legnagyobb vetésterületre világszinten. Felhasználható emberi- és állati élelmezésben és ipari nyersanyagként egyaránt. Ebből kifolyólag fontos minőségmeghatározó tényező a kukorica beltartalmi értéke. A kereskedelembe kapható takarmány kémiai összetételének alapját az 1. táblázat tartalmazza.

1. táblázat: A):A kukorica kémiai elemzése; B) A cirok kémiai elemzése (Saját ábra Eckhoff és Watson, (2009) nyomán)

Frakciók (%)	A		B	
	Tartomány	Átlag	Tartomány	Átlag
Keményítő	64-78	71,3	60-77	74,1
Fehérje	8-14	9,91	6,6-16	11,1
Zsír	3,1-5,7	4,45	1,4-6,1	3,7
Hamu	1,1-3,9	1,42	1,2-7,1	1,5
Pentoglikánok (xilóz formájában)	5,8-6,6	6,2	1,8-4,9	2,5
Nyersrost	1,8-3,5	2,66	0,4-13,4	2,6
Rost	8,3-11,9	9,5	-	-
Cellulóz+lignin	3,3-4,3	3,3	-	-
Összes cukor (glükóz formájában)	1,0-3,0	2,58	0,5-2,5	1,8

Az 1/A táblázatban szereplő értékek a kukoricaszemen belül eltérő koncentrációban találhatók meg. Az endospermium a keményítő 98%-át, a fehérje 74%-át és a zsír 16%-át tartalmazza, míg termés csíra részében található 22% fehérje, 82% hamu, valamint az összes cukortartalom 65%-a. A csíra zsírtartalma szinte teljes egészében triglicerid, míg az endospermiumban nem éri el a zsírtartalom ötöd részét sem. A rost 90%-a a pericarpiumban, míg a fennmaradó 10% főleg a szem csúcsi részében van jelen. A fehérje tartalmat figyelembe véve jól látható, hogy valamelyest elmarad a többi gabona féléitől, mivel ezek fehérje tartalma 11-13% között mozog (Carson és Edwards, 2009). Az 1960-as években több kutatást is folytattak a magasabb és jobb fehérjeösszetételű kukorica kinemesítésére, azonban kereskedelmileg elfogadható hibrideket még nem tudtak kifejleszteni (Anon, 1985).

Annak köszönhetően, hogy a cirok és a kukorica beltartalmi értéke csupán kismértékben tér el egymástól, hasonló módon kerülhet felhasználásra, mint pl.: etanol előállítás, élelmezés, műanyaggyártás stb. (Taylor és mtsai, 2006). A kukoricához képest a keményítő- és a fehérjetartalom 1-2%-kal magasabb, ezzel szemben a zsírtartalom minden esetben alacsonyabb marad. Ennek az az oka, hogy a csíra kisebb hányadát teszi ki a szemnek (Mokrane és mtsai, 2010). Az 1. táblázat B. részében szereplő adatok eloszlása a kukoricához hasonlóan alakul. Azonban, a cirok esetében az endospermiumot követően a mezocarpiumban található nagyobb mennyiségben (3,7%) keményítő. Maxon és Rooney (1972) szerint minden cirok faj eltérő mennyiségben tartalmaz tannint. Ezek közül is a madár-rezisztens és a sötétbarna cirok olyan mértékben tartalmazza, hogy már jelentősen csökkentik az emészthetőséget, problémát okozva a felhasználás során. Ezt a megállapítást 2006-ban Dykes és Rooney (2006) megcáfolta, miszerint csak néhány, pigmenttel rendelkező fajtánál figyelhető meg túlzottan magas tannin tartalom. A nemesítésnek köszönhetően a modernkori hibridek általában teljesen tanninmentesek, javítva a cirok takarmányozásban betöltött szerepét. A kedvező élettani hatásai mellett (rákmegelőző, gyulladáscsökkentő stb.) rendkívül előnyös tulajdonságaként jelenik meg, hogy nem tartalmaz glutént, így a belőle készült lisztet gluténérzékenyek is fogyaszthatják (Taylor és mtsai, 2014).

3.4. Két kultúrnövény termesztési adatainak összehasonlítása

Ahogy a 2. táblázat is mutatja, a kukorica és a szemes cirok életformája, vetési adatai, valamint tápanyagszükséglete gyakorlatilag megegyeznek, ebből adóan a cirok termesztése jól beilleszthető a kukorica termesztéstechnológiájába. E tulajdonságnak köszönhetően a gazdálkodók könnyedén a vetésforgójuk részévé tehetik a szemes cirkot.

2. táblázat: A kukorica és a cirok termesztési adatai (Saját szerkesztés: Gerik és mtsai, 2003; Bender és mtsai, 2013; Popescu és Condei, 2014; Rajki és Palágyi, 2017 nyomán)

	Cirok	Kukorica
Életforma	C4	C4
Vetési idő	IV.15.-V.15.	IV.15 - V.30.
Sortávolság	45-76,2 cm	70-76,2 cm
Vetésmélység	2-5 cm	5-6 cm
Csiraszám (db/ha)	250-300 (-500) ezer	65-80 ezer(FAO 200<); 55-65 ezer(FAO 400<)
Ezerszemtömeg	30-35 g	100-400 g
Szükséges talajhőmérséklet	10-12-(14) °C	10 °C
N szükséglet (1t szemterm/ha)	15,2-29 kg	25-28 kg
P szükséglet (1t szemterm/ha)	7,5-10 kg	11-32 kg
K szükséglet (1t szemterm/ha)	3,9-31 kg	17-22 kg
Vízszükséglet	400-500mm	530-710 mm
Talajigény	kevésbé igényes	igényes
Virágzáskori hőmérséklet	min. 23°C	24-26°C
optimális talaj pH	6,5-7,5	6,6-7,5

Legjelentősebb különbség a vízszükségletben és a talajigényben nyilvánul meg. A szemes cirok az alacsonyabb vízszükségletének is köszönhetően vált egy lehetséges alternatívává a klímaváltozás negatív hatásai okozta termés kiesés mérséklésére. A 2. táblázat szerinti adatok alapján, a tenyészidőszak során felhasznált víz mennyisége közel 130-210 mm-rel kevesebb a kukoricához képest, ezzel is jobban alkalmazkodva a szélsőséges csapadékeloszláshoz. A másik legjelentősebb különbség a talajigényben nyilvánul meg. A cirok a kukoricával szemben igénytelenebb a talaj tekintetében, azonban Gerik és mtsai (2003) és Tao és mtsai (2020) szerint a túlzottan savanyú vagy lúgos kémhatású talajokon (szikeseken) a rossz csírázáson és kelésen túl szignifikáns termés kiesés is tapasztalható.

3.5. Abiotikus stresszorok hatása a cirok és a kukorica fejlődésére

A növények természetüknél fogva ki vannak téve a különböző biotikus és abiotikus stressz hatásoknak. Az utóbbi középpontjában a víz található, mivel az aszályos időszakoktól egészen a heves esőzések, áradásokig egyaránt okozhat kellemetlenséget a növények számára (Mustroph, 2018). Napjainkban az egyik leginkább károsító tényezők közé sorolható az aszály és a talajok magas sótartalma. Ezen hatások jelentős mértékben befolyásolják a termés hozamok alakulását, mivel különböző biokémiai hatásokat eredményeznek, mint a különböző sejtmétabolizmusokból származó melléktermékek felhalmozódása (ROS) (Pan és mtsai, 2006). Ezek az anyagcsere melléktermékek jelentős gátlóhatást mutathatnak a növekedésben és a fejlődésben. A sejtkárosodás elkerülése érdekében a növények különböző enzimikus és nem enzimikus úton előállított antioxidánsokkal próbálnak védekezni az oxidatív stressz ellen, mint pl.: a prolin (Mittova és mtsai, 2003). A prolin egy aminosav szerkezetű ozmolit, melynek

koncentrációja a kedvezőtlen környezeti feltételek során (vízhiány, magas hőmérséklet stb.) megemelkedik a növényi sejtekben és a belső ozmotikus potenciál csökkentésével hozzájárul a stressztoleranciához (Yoshida és mtsai, 1995).

Nxele és munkatársai (2017) vizsgálataik során kimutatták, hogy a hosszútávú vízhiány jelentősen csökkentheti a növények fejlődését, valamint jelentősen gátolja a hajtás- és a gyökérképződést. Ezeket az eredményeket a korábbi vizsgálatok során már tapasztalták és a stressztűrés egyik legfontosabb mutatójának állították be (Parida és Das, 2005). Az említett vizsgálatban kimutatták, hogy szárazság és sóstressz hatására jelentősen lecsökken a cirok klorofill tartalma. Ezt a megállapítást alátámasztja Foyer (1994) vizsgálata is, miszerint vízhiány hatására hidrogén peroxid (H_2O_2) és szuperoxid (O_2^-) képződik, és klorofill pusztuláshoz vezet a lipidperoxidáció hatására.

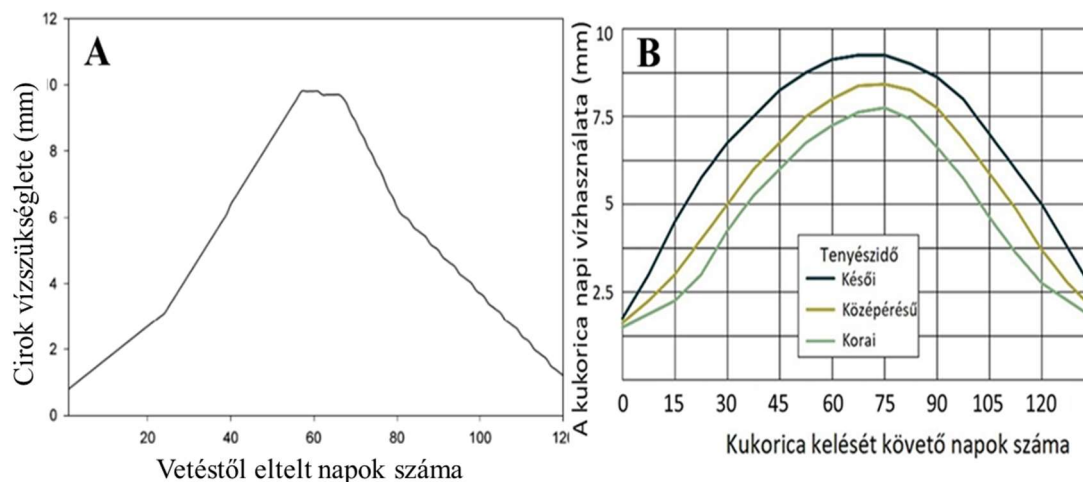
A klímaváltozás hatására napjainkban nem csak csapadékhiányra, hanem annak szélsőséges eloszlására, vagy az esetenként rövid idő alatt nagy mennyiségben lehulló csapadékokra is számítanunk kell. Az így kialakuló áradások és a nagy területet lefedő vízállások káros hatással vannak a növények élettani folyamataikra (Voisenek és Bailey-Serres, 2015). Az árvizes eseményeknek két típusa különböztethető meg: egyrészt a talaj vízzel telített állapotba kerül, másrészt pedig a felszín feletti növényi részek is vízborítás alá kerülnek. A legnagyobb problémát az oxigénhiány kialakulása jelenti az elárasztott növényi részekben, melynek hatására energiahiány alakul ki a növényi sejtekben. Az elárasztott növényi részek oxigénkoncentrációja intenzíven csökkenni kezd, mivel gátolttá válik a fotoszintézis folyamata (Vashisht és mtsai, 2011).

3.6. Vízszükséglet és a különböző vízellátottsági szintek hatása a kukorica és a szemes cirok fejlődésére

A növények számos abiotikus stresszhatásnak vannak kitéve, ezek közül is nagy jelentőséggel bír a vízellátottsági szint (Bray és mtsai, 2000). Mint minden kultúránál, így a kukorica és cirok esetében is fontos az optimális vízellátottság a megfelelő hozamok elérés érdekében (Stone és mtsai, 2006).

A termés és a vízmennyiség közötti kapcsolat összetett, mivel a fejlődés egyes szakaszaiban a növény érzékenyebben reagál a vízhiányára, ami termés kieséshez vezethet (Assefa és mtsai, 2010). A középérésű szemes cirok 400-500 mm vizet igényel a tenyészidőszak során. A kukorica esetében az optimális csapadék mennyiséget Bocz (1988) 420-440 mm között határozta meg, míg Bender és mtsai (2013) szerint 530-710 mm között mozog. Az eltérés oka lehet, hogy a napjainkban rendelkezésre álló hibridek nagyobb hozamuk mellett, nagyobb

vízigénnyel is rendelkeznek. Azonban a vízszükséglettől függetlenül a csapadék eloszlása nagymértékben befolyásolja a várható termésmennyiséget.



2. ábra: Vízszükséglet A) középérésű szemes cirok feltételezett vízigénye (Assefa és mtsai, 2010); B) Különböző tenyészedejű kukorica hibridek vízigénye (Saját szerkesztés, Corteva Agriscience adatai alapján)

A cirok (2/A. ábra) és a kukorica (2/B. ábra) keléséhez megközelítőleg azonos mennyiségű víz szükséges. A cirok kezdeti fejlődési szakaszában (7 leveles állapotig) naponta megközelítőleg 1-2,5 mm-nek felel meg a vízfelvétele, majd a virágzás időszakára 7-10 mm/napra emelkedik (Tolk és Howell, 2001). Ezt követően a napi szükséglet fokozatos csökkenése figyelhető meg (McWilliams, 2003). A kukorica tekintetében az optimális fejlődés biztosítása érdekében a kelés után intenzívebb vízfelvételbe kezd. Mindkét növény esetében a legnagyobb vízigény a generatív szakasz elérésekor figyelhető meg, melyet a vetéstől számított kb. 55-70. napon érnek el, majd a szemek telítődését követően fokozatosan csökken a vízszükséglet az érési folyamatok előrehaladtával (Assefa és mtsai, 2010; Xiao és mtsai, 2020).

A szélsőséges vízellátottságú időszakok, mint a túlzott mennyiségű csapadék, de még inkább a túlzott vízhiány, aszály jelentősen visszaveti a cirok és a kukorica termelékenységét, ezért szükséges szárazságtűrőbb genotípusok kinemesítése (Okot és mtsai, 2022; Yahaya és mtsai, 2022). A dehidratáció hatására megváltoznak a különböző biokémiai- és élettani folyamatok, valamint a sejtmembrán szerkezete. Aszály esetén a jobb vízfelvétel érdekében a gyökerek valamelyest intenzívebb növekedést mutatnak. Az aszályhoz hasonlóan a feleslegben fellépő víz által kiváltott stresszhatás mértéke függ a növény fejlettségi szintjétől, a genotípustól és a stresszhatás időtartamától. Negatívan befolyásolja a növények fejlődését, a fotoszintézist, a szárazanyag felhalmozódást és a hozamot. (Mangani és mtsai, 2018).

A cirok juvenilis fejlődési szakaszában kialakult vízhiánynak nincs hatása a hozamra, míg ha ez a stresszhatás kitolódik a vetéstől számított 35-40 napra, akkor jelentős visszaesés

tapasztható a termésben. A vegetatív szakasz végén kialakult aszály a korai fenológiai stádiumhoz képest nagyobb mértékű kiesét eredményez. A vegetatívból a generatív szakaszba történő átmenet során kialakult vízhiány gátolja a növényi ivarsejtek fejlődését és a virágzást (Djanaguiraman és mtsai, 2021).

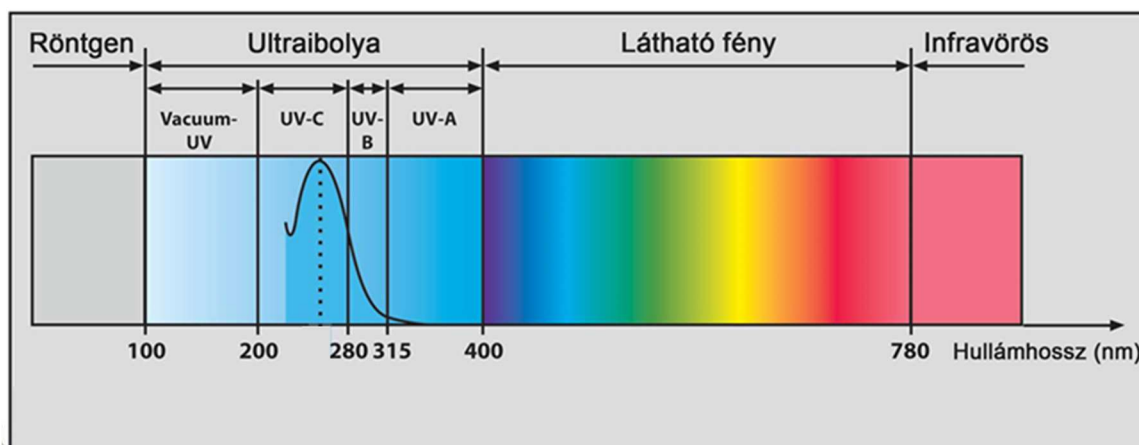
A belvizek kialakulására 5 leveles állapotban a legérzékenyebb a cirok. Ekkor csökkenés figyelhető meg a fotoszintézisben, valamint a klorofill tartalomban. A túlzott mértékű nedvesség elnyomja a fotoszintetikus enzimaktivitást, csökkenti a klorofill tartalmat és a biomassa mennyiségét, mely termés kieséshez vezet (Zhang és mtsai, 2023).

A kukorica csírázásakor fellépő aszály jelentősen csökkenti a csíranövények túlélési esélyeit (Mao és mtsai, 2015). A vegetatív időszakban fellépő vízhiány kisebb méretű leveleket és levélsodródást („furulyázást”) eredményez, továbbá csökken a fotoszintézis hatékonysága és a klorofill tartalom. Ezen hatások együttese negatívan hat a várható hozam alakulására (Bunce, 2010). A virágzáskor fellépő vízhiány során nem tud megfelelően kötődni a pollen és elmarad a termékenyülés. A kötődést követően az aszály hatására a termékenyült embriók elhalnak, ami végső soron hozam csökkenést eredményez (Chen és mtsai, 2015).

A csíranövény fejlődésének kezdetétől a címerhányásig a kukorica kifejezetten érzékeny a túlzott vízellátottságra (Ren és mtsai, 2014). Ezen stádiumokban fellépő belvizek elszívargását követően némi regenerálódás figyelhető meg, míg ez a regeneráció az aszály megszűnése után nem tapasztalható (Mangani és mtsai, 2018).

3.7. UV-B sugárzás hatása a kukorica és a cirok fejlődésére

A növények anyagcserefolyamatait számos környezeti tényező befolyásolja, mint az UV-B sugárzás, a peszticidek és a különböző vízellátottsági szintek. Ahogy a 3. ábra is szemlélteti, az UV-B besugárzás tartománya 280-315 nm. A légkör kémiai összetételének változása az ózonréteg elvékonyodásához vezet, melynek köszönhetően a megemelkedett ultraibolya sugárzás hatással van a növények életfolyamataira (Kakani és mtsai, 2003; McKenzie és mtsai, 2011).



3. ábra: A fény spektruma (germicidlamp.hu; 2022)

Már az 1990-es években vizsgálták a különböző mértékű UV-B besugárzások hatásait eltérő szántóföldi kultúrák esetében. Rao és munkatársai (1996) szerint a besugárzás oxidatív stresszt okoz a növényekben, bár az aktív oxigénfajták keletkezésének mechanizmusa még nem volt ismert. A növekvő sugárzás hatására megváltozik a génexpresszió a DNS károsodása miatt, a membránszerkezet felbomlása révén hatással van a sztómaszabályozásra, valamint a morfológiai és fiziológiai jellemzőket is jelentősen befolyásolja (Kakani és mtsai, 2004). A besugárzás okozta stresszhatás ugyanazon fajok fajtái között is jelentős eltéréseket mutat, azonban a C4-es növények ellenállóbbnak bizonyultak a C3-asokhoz képest (Krupa és Kickert, 1993). Az UV-B sugárzás kismértékű növekedése is hatással van a növények fejlődésére. A legtöbb tanulmány szerint negatív hatás figyelhető meg a besugárzás hatására, bár egyes növényfajoknál nem volt hatása vagy pozitívan reagáltak rá (Papadopoulos és mtsai, 1999; Kakani és mtsai, 2003). Az esetünkben nagyobb fontossággal bíró két kultúra (kukorica és szemes cirok) közül az UV-B kukoricára gyakorolt hatását több esetben is vizsgálták, míg a cirokra korábban nem állt rendelkezésre ilyen információ (Kataria és Guruprasad, 2012). Az eredményeik szerint a besugárzás növekedésének hatására intenzív stresszhatás érvényesül, így csökken a növény növekedése, illetve a biomassza felhalmozódása. Kataria és Guruprasad (2012) későbbi eredményei is az utóbbi hatásokat mutatta ki, azonban a biomassza csökkenést a rövidebb internódiumoknak tudták be. Több kultúra esetében is hasonló eredményeket írtak le, mint kukoricánál, búzánál és szójánál (Li és mtsai, 2000). Az UV sugárzás további negatív hatásai közé sorolható a levélvastagság csökkenése is. Ennek hatására megnő az UV-B penetráció a leveleken, így csökkentve a fotoszintézis sebességét és a száraz tömeg felhalmozását. A kiváltó ok az UV-B okozta klorofill tartalom csökkenés (Yao és mtsai, 2007). Az UV-B sugárzás kizárása esetén megemelkedik a klorofill- és a karotinoid szint, alacsonyabb lesz a klorofill-A/B arány, így intenzívebb növekedés és magasabb hozam figyelhető meg cirok

esetében. A besugárzás nincs jelentősebb negatív hatással a karotinoid tartalomra, azonban hatására a klorofill szint csökkenése figyelhető meg (Dehariya és mtsai, 2012).

Wijewardana és munkatársai (2016) vizsgálták a kukorica UV-B sugárzásra adott reakcióit. A kísérletük során cirokkal megegyező elváltozásokat figyeltek meg, mint az alacsonyabb fotoszintetikus sebesség, valamint a csökkent levélfelület és biomassa.

3.7.1. Gamma-sugárzás hatása a növények csírázására

A gamma-sugárzás okozta káros hatásokkal természetes körülmények között nem találkozunk annak köszönhetően, hogy ezt a tartományt az ózonréteg kiszűri, ezáltal védelmet biztosít az élővilág számára. A teljesség kedvéért azonban áttekintem az ehhez kapcsolódó kutatásokat és növényélettani hatásokat is.

A gamma-sugárzás biológiai rendszerekre gyakorolt káros hatásait az ionizáció, valamint ennek a közvetett hatásai okozzák, azaz nagyon reaktív oxigénfajtákat generálnak (ROS) (Gudkov és mtsai, 2019). Azonban az ionizáló sugárzás hatásának vizsgálata a biológiai rendszerekre jelentős módon hozzájárult a különböző tudományágak fejlődéséhez, mint pl.: orvostudomány, mezőgazdaság (Moussa, 2006). A gamma-sugárzásnak való kitétel számos fizikai és kémiai folyamatot aktivál, a kezdeti energiaeinyeléstől egészen a biológiai sérülések kialakulásáig. A sugárzás során keletkezett szabadgyökök károsítják és módosítják a növényi sejteket és az azokban végbemenő biokémiai folyamatokat (Hameed és mtsai, 2008; Gudkov és mtsai, 2019). A sugárzás hatására kialakult oxidatív stressz elleni védekezés érdekében a növények antioxidánsokat termelnek, mint pl.: a kataláz, peroxidáz, aszkorbát-peroxidáz (Gudkov és mtsai, 2019). A morfológiai-, szerkezeti- és élettani elváltozások mértékét nagyban befolyásolja a gamma-sugárzás erőssége és időtartama (Marcu és mtsai, 2013; Amirikhah, 2021), azonban általánosságban elmondható, hogy 10-1000 Gy (Gray) tartományba eső dózis alkalmazása esetén a növények elpusztulnak (Caplin és Willey, 2018). Egyes vizsgálatok kimutatták, hogy a vetőmagokban a nagyobb dózisú gamma-sugárzás megzavarja a fehérjeszintézist, az enzimaktivitást és a hormonháztartást, ezáltal negatívan befolyásolva a csírázási mutatókat (Hameed és mtsai, 2008). Azonban Hussain és munkatársai (2017) által végzett kísérletek bizonyították, hogy az alacsonyabb dózisban használt gamma-sugárzás fokozza a magvak csírázását és a csíranövények növekedését, míg Brewer (2008) vizsgálatai szerint az eltarthatóság is kitolható kismértékű sugárzás esetében.

A gamma-sugárzás egyik nagy előnye, hogy mutagén hatású. Ennek köszönhetően széleskörben használják mutagén ágensként a növénynemesítésen belül az új genetikai variációk létrehozására. A sugárzás hatására a kromoszómák transzlokációját, abberációját

eredményezik (Shu és mtsai, 2012; Wolabu és mtsai, 2016). Ezen mutációk lehetőséget biztosítanak arra, hogy olyan variációkat hozzunk létre, melyek ellenállóbbak a különböző abiotikus stresszorok okozta hatásokkal szemben (Moussa és mtsai, 2022; Du és mtsai, 2022).

3.8. A növényi stressz detektálása in vivo, non-invazív módszerrel

A különböző sejtek és a szövetek fotonokat bocsájtanak ki, az elektromágneses spektrum látható és az infravörös spektrális tartományában (Cifra és Pospíšil, 2014). Az elmúlt évtizedekben a növények stresszállapotának non-invazív módon történő meghatározása egyre nagyobb fontosságúvá vált. Ezen módszerek közé tartozik a biofoton-emisszió detektálása (Hennecke és Brück, 2012; Pónya és mtsai, 2021). A méréshez minden esetben mélyhűtésű, rendkívül érzékeny CCD kamerával rendelkező eszközre van szükség, mint pl.: a Berthold NightSHADE LB 985 modell (Flor-Henry és mtsai, 2004). A növények bizonyos körülmények között fotonokat bocsájtanak ki. A fotonok főbb forrása lehet a PSII rendszer, illetve a különböző mitokondriális folyamatok (Bodemer és mtsai, 2000; Benett és mtsai, 2005). A II. fotokémiai rendszer esetében az elektronláncban nem hasznosított fotonok kerülnek kibocsátásra a fotoszintetikus készülékből származó energiafelszabadulás esetében. Ez a késleltetett fluoreszcencia, amely csak fotoszintetikus szövetekben fordul elő és csak az egészséges növények bocsájtják ki (Bodemer és mtsai, 2000). Annak köszönhetően, hogy csupán a megfelelő egészségi állapotban lévő növények bocsájtják ki, ezért a késleltetett-fluoreszcencia (Delayed fluorescence, DF) mértéke, illetve a bomlási dinamikája alkalmas a stressz mértékének a meghatározására (Hennecke és Brück, 2011; Sánchez-Moreiras és mtsai, 2020). Az eltérő abiotikus stresszhatásokra válaszul az ultragyenge biolumineszcencia (UltraWeak-Luminescence Emission, UWLE) kibocsátása figyelhető meg.

A késleltetett fluoreszcencia és az ultragyenge biolumineszcencia (UWLE) jeleinek erőssége különbözik az abiotikus stresszoroknak köszönhetően kialakult elváltozások hatására. Az UWLE-t használták a sóstressz (Hennecke és Brück, 2012), az árvíz (Kamal és Komatsu, 2016) és akár az ozmotikus stressz (Rui-Rui és mtsai, 2015) meghatározására is. Az intenzitása általában 1000 foton/cm² alatti tartományba esik (Flor-Henry és mtsai, 2004; Pitzschke és mtsai, 2006), ami korrelál a reaktív oxigénfajok (ROS) második kitörésével (Torres és mtsai, 2006).

A korábbi tanulmányok szerint, a biofoton-emisszió szorosan kapcsolódik a stresszt okozó hatás által kiváltott oxidációs folyamatokhoz (Hossain és mtsai, 2013). A ROS kialakulása általános jelenség a növények életfolyamataiban (Kováčik és mtsai, 2017), azonban mind biotikus, mind abiotikus stressz által létrejött reakciókban kulcsszerepet játszik az

enzimatis és nem enzimatis rendszerekkel közösen (Czarnocka és Karpiński, 2018). A reaktív fajok közé sorolhatók a hidroxilgyökök, a szuperoxid aniongyökök és a hidrogén-peroxid, melyek oxidálják a környezetüket és időközben fotonokat bocsátanak ki, ami fotolumineszcencia növekedéséhez vezet. A spontán végbemenő foton kibocsátás rendkívül gyenge, így alacsony tartományban mozog (10^1 - 10^4 foton $s^{-1} cm^{-2}$) (Pospíšil, 2012; Tsuchida és mtsai, 2019).

4. Anyag és módszer

4.1. A kísérlet beállítása, elrendezése

A vizsgálatunk központi témája a kukorica és a cirok csírázási és stresszreakcióinak vizsgálata, melynek első lépését a vetőmag beszerzése tette ki. A vetőmagot a KWS Magyarország Kft. biztosította számunkra. Mind a kukorica, mind a cirok esetében ügyeltünk, hogy azonos éréscsoportba sorolható vetőmagokat használjunk, így esett a választásunk a KWS® KASHMIR kukorica hibridre és a KWS® SO MSN190 szemes cirok hibridre. A KWS® KASHMIR 350-400-as FAO számmal rendelkező középkorai hibrid. Korai és gyors fejlődési eréllyel, kiemelkedő aszálytűréssel és a betegségekkel szemben is jó ellenállóképességgel rendelkezik. A kiváló adaptációs képességeinek köszönhetően, minden termőhelyre és technológiai szinthez ajánlják. A vetőmag csávázására felhasznált szerek: M+Protinus+Force+Korit50TK. Az általunk használt szemes cirok hibrid is középkorai éréscsoportba tartozik. A vetőmag csávázása során felhasznált szerek: Redigo M+Concep III.

A vetőmagok beszerzését a különböző talajtípusok begyűjtése követte. Ezt követően a talajok bevizsgálásra kerültek a MATE akkreditált laborközpontjában a jobb beazonosíthatóság érdekében, valamint, hogy megkapjuk a felhasználni kívánt vízmennyiség meghatározásához szükséges értékeket. A talajok kiszárítását követően megkezdődött a csírázási képesség vizsgálatához kapcsolódó munkakörnyezet kialakítása és a vetés. Ahogy a 3. táblázatban is látható mindkét faj esetében 3 vízellátottsági fok (kontroll, árasztás, szárazság), és 5+1 talajtípus (barna erdőtalaj, csernozjom, szikes, lúgos homok, savanyú homok, hagyományos virágföld, ez utóbbi, mint kontroll csoport) mellett került megvalósításra a csíráztatás, amit két ütemben állítottunk be. Lehetőség volt eltérő dózisú UV-B besugárzásnak is kitenni az állományt, ekkor 1; 2; 3 és 4 órás időintervallumokat alkalmaztunk. Ebben az esetben talajként virágföldet használtunk, illetve a különböző stresszhatások egymásra rakódásának az elkerülése érdekében a növények fejlődéséhez szükséges optimális vízmennyiséget biztosítottunk. Az elemszám minden esetben 10 cserép $\times$ 3 növény, míg a vetésmélység 2 cm volt. Így összesen 380 cserépbe, fajonként 570 db vetőmag került elvetésre.

A beállítást követően nyomon követtem a kelés alakulását a csírázási% meghatározásához. A vetés utáni 7. és 14. napon (későbbiekben 1. és 2. vizsgálati nap) biofoton-emisszió kibocsátást vizsgálva határoztuk meg a növények élettani folyamataiban, a stressz hatására bekövetkező változásokat, különbségeket. Ezt követte a nyers adatok előkészítése és adatbázisba rendezése a statisztikai vizsgálatok végrehajtásához. Az

adatbáziskezelést és a statisztikai vizsgálatokat Microsoft® Excel, valamint az R statisztikai program segítségével végeztük el.

3. táblázat: A csírázási kísérletünk során felhasznált cserepek eloszlása (Saját szerkesztés, 2023)

	Kontroll		Árasztás		Szárasság		
Talajtípus	Kukorica	Cirok	Kukorica	Cirok	Kukorica	Cirok	Σ
barna erdőtalaj	10	10	10	10	10	10	60
csernozjom	10	10	10	10	10	10	60
homokos talaj (bázikus)	10	10	10	10	10	10	60
homokos talaj (savanyú)	10	10	10	10	10	10	60
szikes	10	10	10	10	10	10	60
virágföld (kontroll)	10	10	10	10	10	10	60
virágföld (UV)	10	10	-	-	-	-	20

4.1.1. Vízellátottsággal kapcsolatos kísérlet beállítása

Az első kísérleti beállítás során a kontroll, illetve a szárasságstressz került beállításra. Az eltérő kötöttségű és textúrájú talajok különböző víztartó képességgel rendelkeznek, ezért talajspecifikus öntözési tervet dolgoztunk ki matematikai formulákra alapozva. A vízmennyiség meghatározáshoz az $Mn = (M\% * Msz / 100) + Msz$ képletet használtuk fel, ahol az Mn: a talaj nedves tömegét, az M%: a tömegszázalékos talajnedvességet, az Msz: a talaj száraz tömegét jelentette.

A talajtípusonként egységes mennyiségű talajjal töltöttük meg a cserepeket a beöntözés és a szinten tartás megkönnyítése érdekében. A számításaink során kapott eredmények alapján végeztük el a beöntözést. A beöntözés során felhasznált víz mennyiségét a 4. táblázat mutatja be.

4. táblázat: A felhasznált víz mennyisége talajtípusonként (Saját szerkesztés, 2023)

Talajtípus	Kontroll	Aszály	Árasztás
barna erdőtalaj (950 g)	+145 g	+58 g	+310 g
csernozjom (950g)	+210 g	+135 g	+310 g
homokos talaj (bázikus) (1150 g)	+142 g	+100 g	+340 g
homokos talaj (savanyú) (1080 g)	+110 g	+36 g	+280 g
szikes (1050 g)	+195 g	+100 g	+275 g
virágföld (kontroll)	+ 1 dl/nap	+ 1dl/2nap	+2dl/nap

A megfelelő nedvesség fenntartása érdekében többször ellenőriztem digitális mérleg segítségével az elpárolgás mértékét, szükség esetén pedig pótoltam a hiányzó víz mennyiséget.

A felszámolást követően beállításra került a következő vízellátottsági szint, az áraszítás. Ekkor a vetést követően csak a csírázási folyamatok beindításához szükséges vízmennyiséget juttattam ki a felső talajrétegbe, majd a továbbiakban az öntözés a tálcás elrendezésnek köszönhetően alulról történt, így a talaj a kapillárisokon keresztül vette fel a megfelelő mennyiségű nedvességet.

4.1.2. UV-B sugárzással kapcsolatos kísérlet beállítása

Lehetőségünk volt UV-B sugárzásnak is kitenni a növényeinket. Ebben a kísérletben a különböző stresszhatások elkülönülése érdekében csak virágföldet használtunk fel, mind a négy UV-B dózis esetében. Ekkor a kontroll csoporttal megegyező mennyiségű vizet juttattunk ki (4. táblázat).

A vetést követően a 2.; a 4.; a 8.; és a 10., valamint a 12. napon végeztük a besugárzást, azonos időpontokban. Az általunk felhasznált sugárzás 280-315 nm-es hullámhossz tartományon belül helyezkedett el.

4.2. A vizsgálat során felhasznált talajok jellemzése

A hazánkban található termőterületek sokszínűsége miatt fontosnak tartottuk, hogy a kísérletet több talajtípuson végezzük el, annak érdekében, hogy egy sokkal átfogóbb képet kapjunk a kukorica és a szemes cirok csírázási tulajdonságairól. Ebből adódóan 5 (+1 kontroll) egymástól eltérő talajtípust gyűjtöttünk be. A szikes talajt Fülöpszállásról (46.821052, 19.206805), a bázikus homokot Fülöpházáról (46.865305, 19.398247), a csernozjom talajt Tamásiból (46.648951, 18.272295), míg a barna erdőtalajt és a savanyú homokot Kaposvár (46.371887, 17.811380) és Kaposfő (46.371819, 17.619180) területéről sikerült begyűjteni. A települések elhelyezkedését a 4. ábra mutatja be. A mintavétel mélysége mindegyik esetben 30 cm volt.



4. ábra: A különböző talajtípusok begyűjtési helyei (Saját szerkesztés, 2023)

A talajvizsgálat során kapott eredmények alapján a talajaink hordozták a tőlük elvárt tulajdonságokat. A homoktalajok esetében az Arany-féle kötöttségi szám (K_A) 26-27 volt, jellemzően alacsony humusz tartalommal, ami a bázikus homok esetében 0,54%, a savanyú homok esetében 0,98% volt.

A szikes talajunk kötöttsége (K_A) 30 volt, valamint e talajtípusra jellemzően rendkívül magas Na tartalommal rendelkezett, ami 228 mg/kg értéket mutatott.

A barna erdőtalajnál és a csernozjomnál volt megfigyelhető a legnagyobb kötöttség (36 és 46), valamint a magasabb humusz tartalom. Ez esetben a barna erdőtalaj 1,78%, míg a csernozjom 3,62%-os humusztartalommal rendelkezett.

Kontroll talajként Florimo® általános virágföldet használtunk, mely *Sphagnum* moha tözeget, síklápi tözeget, komposztált marhatrágyát és némi agyagot tartalmaz. Összetételének köszönhetően egy laza szerkezetű és jó víztartó képességű termeszti közeg biztosít számunkra. A talaj pH-ja 6,53, valamint a kezdeti fejlődés biztosításához minimális makroelem tartalommal is rendelkezik.



5. ábra: Kukorica állomány eltérő talajtípusoknál (Saját ábra, 2023)

Ahogy az 5. ábra is jól mutatja az általunk alkalmazott talajtípusok szín és szemcseméret szerint is jól elkülöníthetők voltak egymástól.

A vizsgálatok, az eredmények értékelése és ábrázolása során a különböző talajtípusoknak megfelelő rövidítéseket alkalmaztunk, melyeket az 5. táblázat tartalmaz.

5. táblázat: A különböző talajtípusok jelölésére használt rövidítések (Saját szerkesztés, 2023)

	Talajtípus					
	Barna erdőtalaj	Csernozjom	Savanyú homok	Bázikus homok	Szikes	Virágföld
Jelölés	BET	CSER	HOMOK_S	HOMOK_B	SZIKES	VF

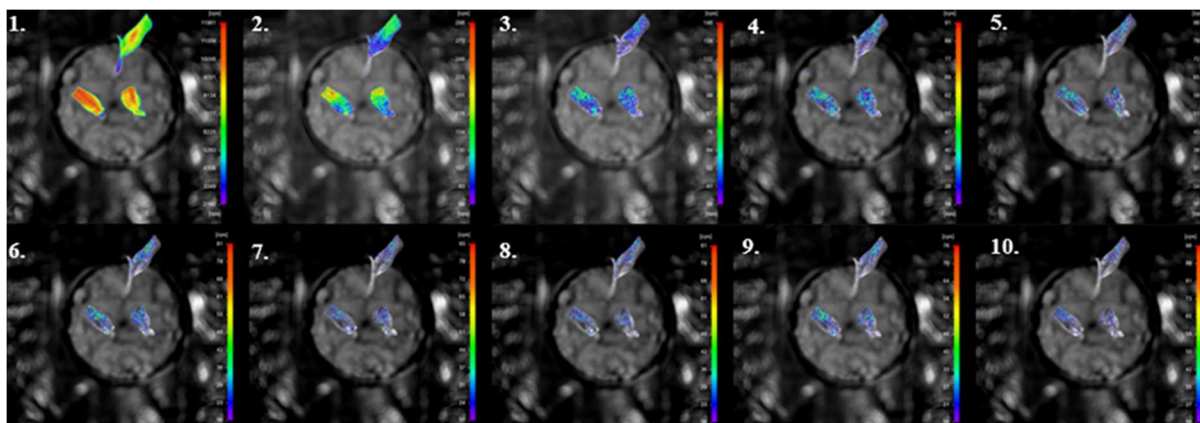
4.3. Adatok gyűjtésének és feldolgozásának módszertana

A mérések minden kezelésben azonos módon és azonos fenológiai stádiumban történtek. Annak érdekében, hogy a növények azonos mértékű hatásoknak legyenek kitéve.

Az elvetett magokat akkor tekintettük kikeltnek, amikor azok elérték a legalább 1 mm-es magasságot. A kelést a vizsgálat során folyamatosan nyomon követtük. A csírázási adatokból talajtípusonként és kezelésenként meghatároztuk a csírázási%-ot.

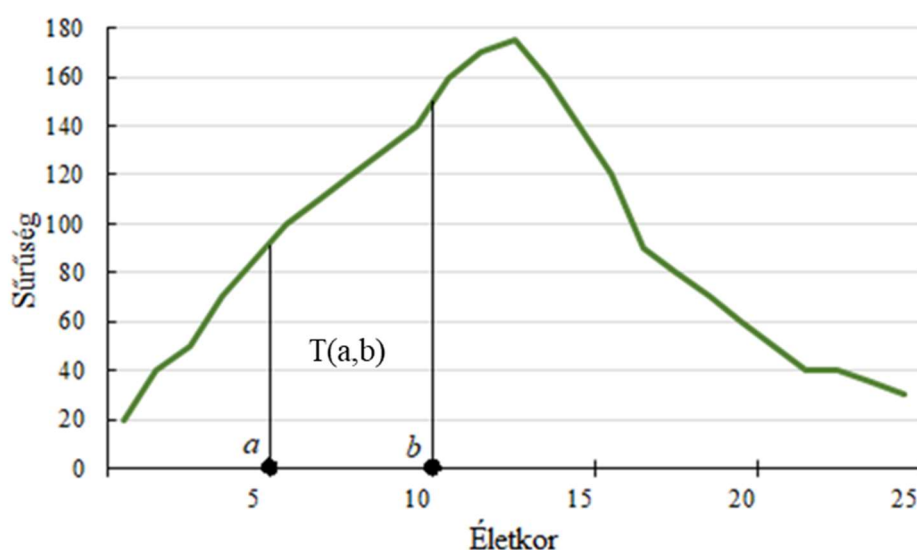
A vetést követően minden nap ellenőriztük, nyomon követtük a kelés alakulását a későbbi számítások érdekében, majd a vetéstől számított 7. és 14. napon laboratóriumi vizsgálatoknak vetettük alá az állományt. Ekkor a biofoton-emisszió intenzitásának a mérését végeztük el.

A biofoton-emisszió méréséhez a NightShade® LB 985 in vivo Plant Imaging System (Berthold Technologies GmbH & Co. KG, 75323 Bad Wildbad, Germany) készüléket alkalmaztuk. A mérőműszer termoelektronikusan hűtött, lassú letapogatású NightOwlcam CCD készülékkel van felszerelve. A berendezést az IndiGo® 2.0.5.0. szoftverről irányítottuk. A 10 perces mérések során talajtípusonként és növényenként 2-2 cserepet, azaz 6 növényt mértünk. Az első percekben még az exponenciális lecsengés zajlik, majd ezt követően figyelhető meg a késleltetett biolumineszcencia (6. ábra). A kezdeti biofoton-emisszió intenzitásának nagyságából következtetni tudunk a növényeket ért stresszhatások mértékéről, mivel minél magasabb a kezdeti intenzitás, annál kisebb volt a stresszfaktorok okozta negatív hatás. Tehát információt biztosít a növény egészségi állapotáról. A lecsengés során, minél magasabban értéket ad az ultragyenge biolumineszcencia, annál intenzívebben érvényesültek a növényeket érő stresszhatások.



6. ábra: Biofoton-emisszió intenzitásának percenkénti alakulása a mérések során (Saját ábra, 2023)

A kapott eredményeken minden esetben statisztikai analíziseket végeztünk, mint a többtényezős ANOVA, a Duncan-teszt és a PCA (főkomponens-analízis). A jobb áttekinthetőség és jellemezhetőség érdekében sűrűségfüggvényt is készítettünk. A sűrűségfüggvényről elmondható, hogy a görbe alatti terület minden esetben egységnyi értéket képvisel, ami a valószínűséget reprezentálja. A függvény által mutatott értékeket nem lehet konkrét valószínűségként értelmezni, mivel csak a valószínűség sűrűsödéséről ad információt. Ebből adódóan a felvett érték nem tarthat a negatív számok halmazába.



7. ábra: Sűrűségfüggvény magyarázó ábra (Saját szerkesztés, 2023)

Vegyünk alapul egy X sűrűségű populációt, melynek tagjai 1 és 25 év között helyezkednek el (7. ábra). Ha meg szeretnénk határozni az 5 (7. ábra, a pont) és 10 (7. ábra, b pont) év közöttiek arányát, akkor a függvény azon szakaszát kell figyelembe venni, amely az a és a b vonallal jelzett terület között helyezkedik el. Vagyis ebben az esetben, ha $T=0,2998$, akkor a populáció 29,98%-a esik ebbe az életkori sávba, azaz ennyi a valószínűsége annak, hogy egy véletlenszerű választás során ennyi idős embert választok ki.

A Duncan-teszt a post-hoc tesztek közé sorolható, melyet a varianciaanalízisek elkészítését követően futtattunk le. Feladata, hogy megmutassa, hogy az ANOVA-n belül hol találhatók meg a különbségek, melyek jelöléséhez betűket használunk. Szignifikáns különbségeket mutató eredmények esetén egymástól eltérő betűjeleket találunk, míg azoknál az értékeknél, melyek egymással azonos jelekkel rendelkeznek nem tekinthetők eltérőnek. A Duncan-teszt hátránya, hogy egyszerre csak egy tényezőre végezhető el a vizsgálat, hiába beszélünk többtényezős varianciaanalízisről.

A főkomponens analízis (PCA) jelentős szerepet tölt be a többváltozós adatstruktúra feltárásában. Az eljárás során lineáris transzformáció segítségével több független változót alakít át új független változókká úgy, hogy a megőrzött információ mennyisége a lehető legnagyobb legyen az adott dimenzióra az összes lehetséges lineáris transzformáció körében. Az első főkomponens rendelkezik a legnagyobb variációval az adatok közül, majd ezt követően megkeresi azt a tengelyt, ami az előbbire merőleges tengelyek közül, rávetítve a legnagyobb variációval rendelkezik. Ebből adódóan a tengelyek csökkenő „fontossági” sorrendben fogják követni egymást.

A mérések során kapott eredmények, összefüggések az Eredmények fejezetben (5.1. fejezet) kerülnek részletes kifejtésre.

A vizsgálatokat és az ábrák egy részét az R statisztikai program (R Core Team, 2017) segítségével készítettem el.

5. Eredmények és értékelésük

5.1. Eredmények

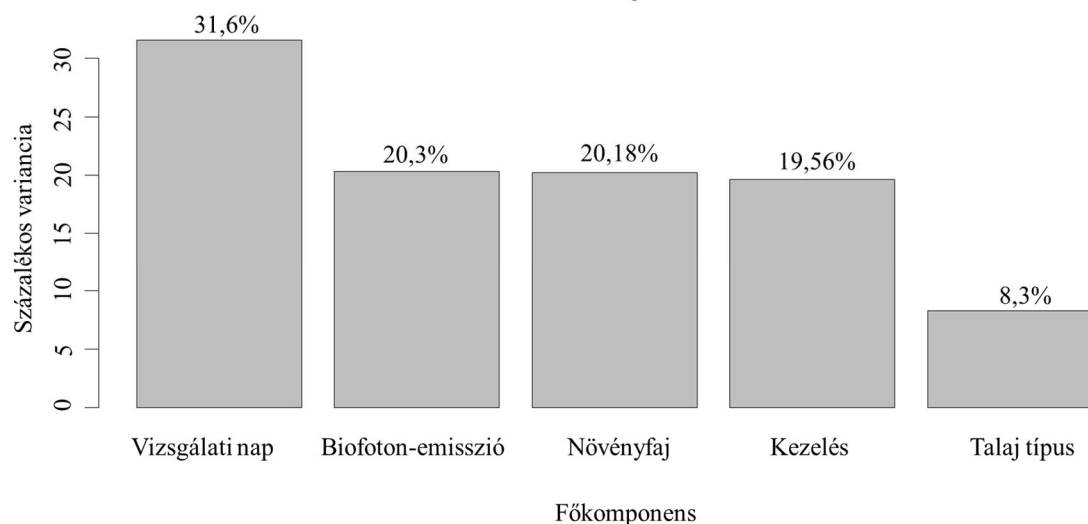
A kapott eredményeken minden esetben statisztikai analíziseket végeztünk, annak érdekében, hogy megfelelő pontossággal tudjuk elvégezni a kiértékelésüket. A statisztikai adatokat a helytállás érdekében több esetben is alátámasztottuk a kezelések általi hatások értékelésével.

A csírázás alakulását eltérő talajtípusoknál és vízellátottságoknál a 6. táblázat szemlélteti. A legnagyobb különbségek az árasztási kísérletnél figyelhetők meg. A cirok esetében a szélsőértékek 46,67% és 90%, míg kukorica esetében 30% és 76,67%. A savanyú homok (homok_s) kivételével mindegyik esetben jobb kelést produkált a szemes cirok a kukoricához képest. Összességében elmondható, hogy mindegyik vízellátottsági foknál biztosabb kelést mutat a cirok a kukoricához képest.

6. táblázat: A csírázási% alakulása a különböző talajtípusok esetében (Saját szerkesztés, 2023)

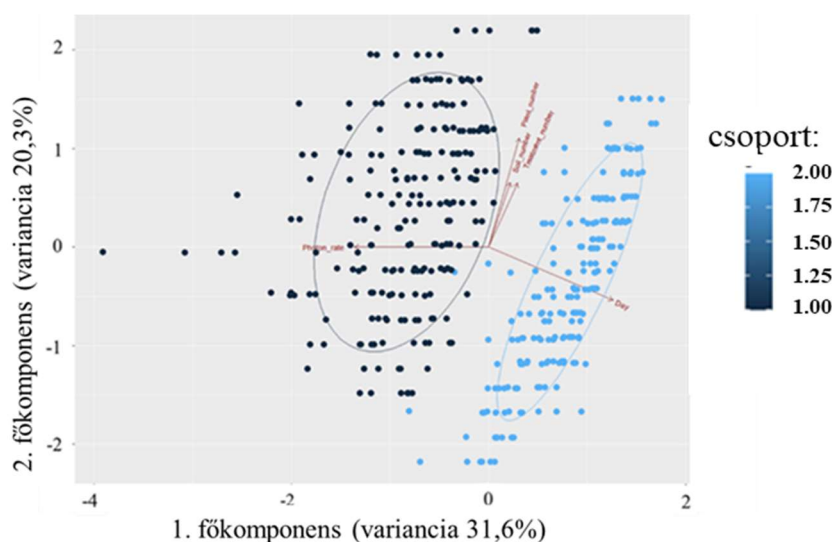
		BET	CSER	HOMOK_S	HOMOK_B	SZIKES	VF
Cirok csírázási %	Kontroll	93,33	96,67	96,67	80	93,33	90
	Szárazság	90	96,67	100	96,67	83,33	93,33
	Árasztás	83,33	90	76,67	63,33	46,67	86,67
Kukorica csírázási %	Kontroll	90	93,33	93,33	100	90	86,67
	Szárazság	93,33	96,67	86,68	96,68	93,33	93,33
	Árasztás	76,67	53,33	86,67	63,33	30	73,33

Annak érdekében, hogy átfogó képet kapjunk arról, hogy a különböző változóink (Vizsgálati nap, Növényfaj, Kezelés, Talajtípus) mekkora hatást gyakoroltak az eredményeinkre, azaz melyek hordozzák a legtöbb információt, főkomponens-analízist végeztünk. Ennek első eredményét láthatjuk a 8. ábrán, ahol a különböző változók százalékos hozzájárulását látjuk az adatok varianciájához. A főkomponens-analízis módszere szerint minél nagyobb az adatok varianciához való hozzájárulása, annál több információt hordoznak, és annál kevésbé hagyható ki a statisztikai vizsgálatokból.

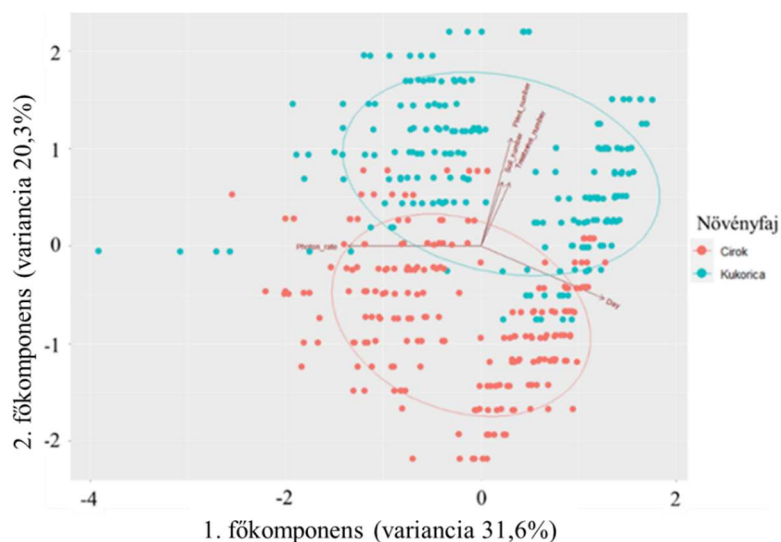


8. ábra: Különböző változók hozzájárulása az adatok szórásához (Saját szerkesztés, 2023)

A legnagyobb mértékben a Vizsgálati nap (31,6%-ban) járult hozzá az adatok varianciájához, majd ezt követően megegyező súllyal a Kezdeti biofoton-emisszió intenzitása (20,3%-ban), a Növényfaj (20,18%), illetve a Kezelés (19,5%) járult hozzá az adatok szórásához, azaz ezek az adatok hordozzák a legtöbb információt a statisztikai vizsgálatok során. A 9. ábrán az első két főkomponens x-y ábrája látható. Az x-tengely mentén a legnagyobb szórást a Vizsgálati nap okozta. A jobb értelmezhetőség kedvéért ezt színezéssel és csoportosítással is alátámasztottuk. A 10. ábrán a Növényfaj varianciára gyakorolt hatása látható. Ez a komponens a kapott adatok y tengelyen való szórásáért felel.

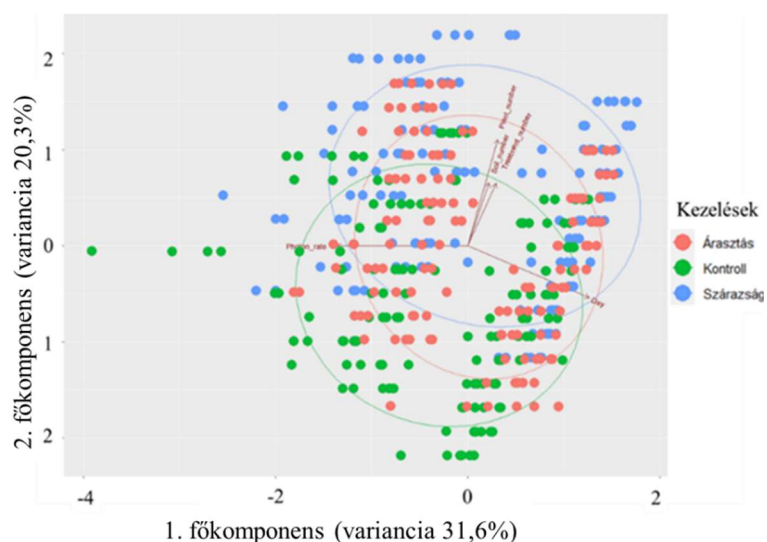


9. ábra: Első főkomponens – Vizsgálati nap (Saját szerkesztés, 2023)

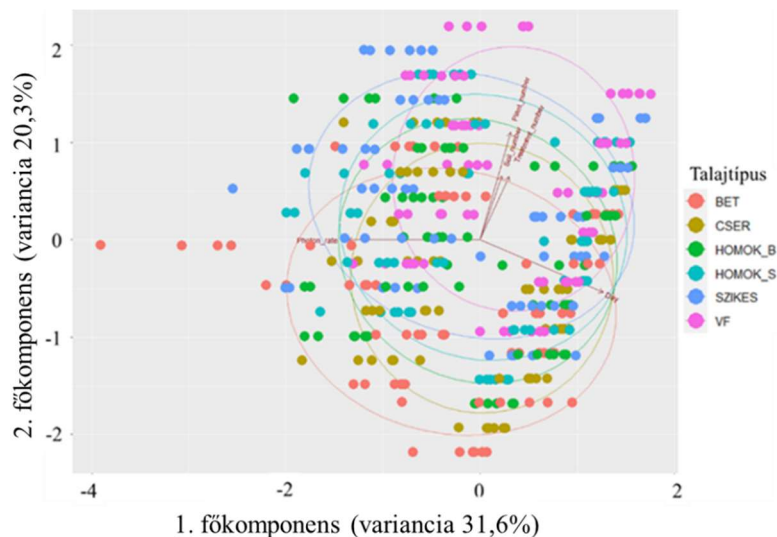


10. ábra: Második főkomponens – Növényfaj (Saját szerkesztés, 2023)

A 11. ábrán a harmadik főkomponensként meghatározott Kezelések szerinti színbeli és térbeli csoportosítás látható. Ezen is kitűnik, hogy hasonló a szórás mértéke az y-tengely mentén, mint a Növényfaj változó esetében alátámasztva a 8. ábrán kapott variancia-százalékokat. A legkisebb a variancia a Talajtípusok esetében (12. ábra), amely grafikusan is szemléletesen megjelenik, hiszen a csoportosításra használt ellipszisek nagy felületen átfedésben vannak egymással, így a Talajtípus kevésbé játszott szerepet az adatok varianciájának alakításában, ennek ellenére hatásuk nem hagyható figyelmen kívül, mivel nagy fontossággal bíró adatoktól és így módon eredményektől esnénk el, amelyet az ANOVA vizsgálatok is alátámasztottak.



11. ábra: Harmadik főkomponens – Kezelés (Saját szerkesztés, 2023)



12. ábra: Negyedik főkomponens – Talajtípus (Saját szerkesztés, 2023)

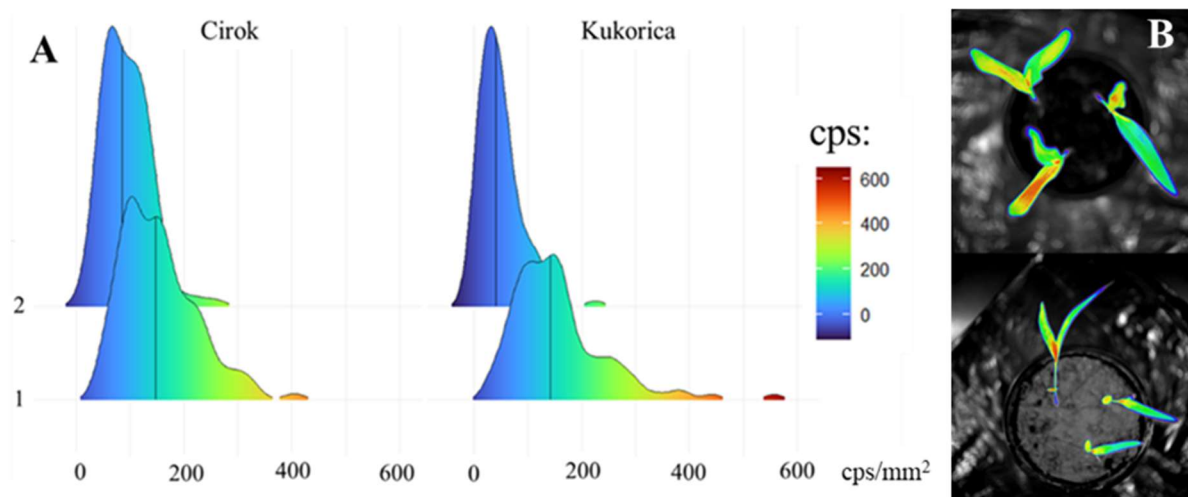
A PCA után szeretnénk volna kiszámítani, hogy a kezdeti biofoton-emisszió intenzitására melyik tényező vagy ezek kombinációja van hatással, ezért többváltozós variancia-analízist alkalmaztunk (ANOVA). Ennek eredményeit a 7. táblázatban foglaltuk össze.

7. táblázat: Többváltozós ANOVA eredmények (Saját szerkesztés, 2023)

		F-érték	p-érték	Szignifikancia
1-tényezős ANOVA	Talaj	11.659	<0.001	***
	Vizsgálati nap	327.532	<0.001	***
	Vízhatás	25.755	<0.001	***
	Növény	19.567	<0.001	***
2-tényezős ANOVA	Talaj : Vizsgálati nap	5.090	0.000161	***
	Talaj : Vízhatalás	3.062	0.000966	***
	Vizsgálati nap : Vízhatalás	11.716	<0.001	***
	Talaj : Növény	1.384	0.229459	
	Vizsgálati nap : Növény	27.448	<0.001	***
	Vízhatalás : növény	7133	0.043059	*
3-tényezős ANOVA	Talaj : Vizsgálati nap : Vízhatalás	7378	0.000444	***
	Talaj : Vizsgálati nap : Növény	3.390	0.005274	**
	Talaj : Vízhatalás : Növény	14090	<0.001	***
	Vizsgálati nap : Vízhatalás : Növény	15646	0.001085	**
4-tényezős ANOVA	Talaj : Vizsgálati nap : Vízhatalás : Növény	14401	<0.001	***
Szignifikancia szint		0 '****'	0.001 '***'	0.01 '**'
		0.05 '.'	0.1 ' '	1

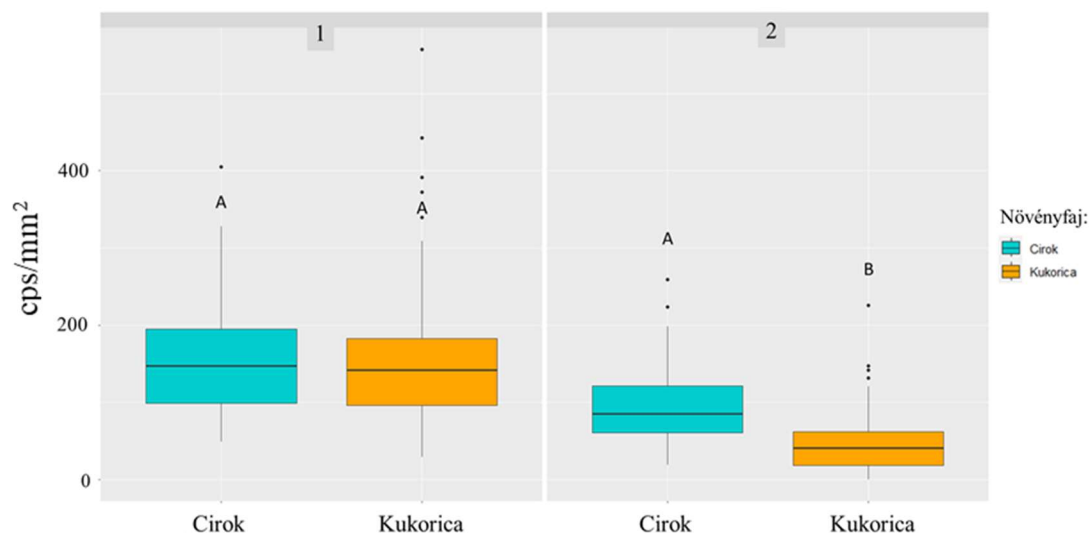
Jól megfigyelhető, hogy a Talaj:Növény együttes hatásán kívül gyakorlatilag minden tényező hatással volt a Kezdeti biofoton-emisszió intenzitására. Ezek közül is kiemelném a 4-tényezős ANOVA eredményeit, miszerint, mind a talaj, a mérési nap, a vízhatás, valamint a növény faja is hatással volt a biofoton kibocsátásra együttesen. Az ANOVA eredményeit illusztrálja a 13/A. ábra, ahol a kezdeti biofoton-emisszió (13/B. ábra) intenzitás sűrűségfüggvényeit láthatjuk az első és a második mérési nap során. Mindegyik esetben

megfigyelhető, hogy a biofoton-emisszió a vetéstől számított 14. napra (2. mérési nap) lecsökkent. A csökkenés élettani okokra vezethető vissza, miszerint a fejlődés előrehaladtával némi csökkenés figyelhető meg a biofoton kibocsátásban. Ez az élettani jelenség a mi esetünkben is megfigyelhető volt. A kukorica esetében megfigyelhető nagyobb csökkenést a növényre ható intenzívebb stresszhatás válthatta ki. Azonban fontos megemlíteni, hogy a két növény kezdeti fejlődési üteme eltérő tendenciát mutat, ebből adódóan közvetlenül nem hasonlíthatók össze egymással.



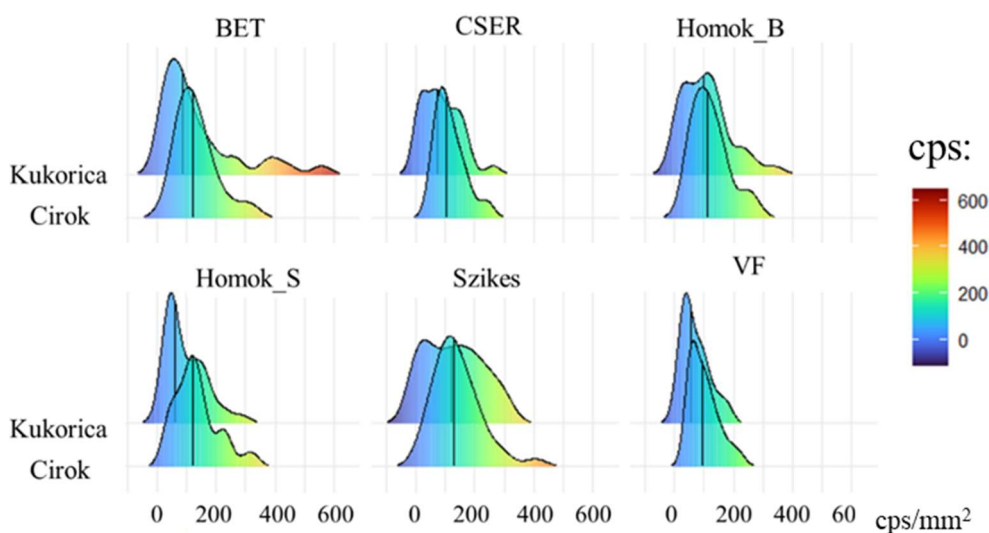
13. ábra: A) A kezdeti biofoton-emisszió intenzitás alakulása eltérő a kukorica és a szemes cirok esetében (Saját szerkesztés, 2023); B) Kezdeti biofoton-emisszió a kukorica és a cirok esetében (Saját szerkesztés, 2023)

Ezt követően az ANOVA eredményei alapján megvizsgáltuk, hogy az egyes mérési napokon volt-e különbség a növények biofoton kibocsátása között (14. ábra). Az 1. mérési nap esetében a Duncan-teszt által kapott eredmények szerint nem figyelhető meg különbség a két növény esetében. Ennek oka az lehetett, hogy a vetéstől számított 7. napon még nem tudtak érvényesülni a stresszhatások. A 2. mérési napra (vetéstől számított 14. napra) mind a cirok, mind a kukorica esetében csökkenés figyelhető meg a kezdeti biofoton-emisszió intenzitás szintjében. A kukoricánál a megnövekedett stresszállapot következtében nagyobb mértékű visszaesés figyelhető meg a biofoton kibocsátásban, tehát az esetében a stresszhatások jobban érvényesültek a cirokhoz képest. A szignifikáns különbséget alátámasztja a Duncan-teszt eredménye is.



14. ábra: Növények összehasonlítása a 2 mérési napon (Saját szerkesztés, 2023)

Kutatásunk során vizsgáltuk, hogy az általunk alkalmazott növényfajok esetében van-e különbség a kezdeti biofoton-emisszió intenzitásában különböző talajtípusok között, melynek eredményeit a 15. ábra mutatja be. A kukorica esetében jól látható, hogy nagyobb a változékonyság az eltérő talajtípusok között, míg ezzel szemben a ciroknál kevésbé játszott fontos szerepet a talaj, mint tényező a növény-stresszállapotának az alakításában. Ezt alátámasztja a Duncan-teszt és a kéttényezős ANOVA eredményei is, mivel a p -érték = 0,229459, így a két tényezőnek együttesen nincs hatása a kezdeti biofoton-emisszió intenzitás értékeire.



15. ábra: Biofoton-emisszió alakulása növényfajonként, különböző talajtípusok mellett (Saját szerkesztés, 2023)

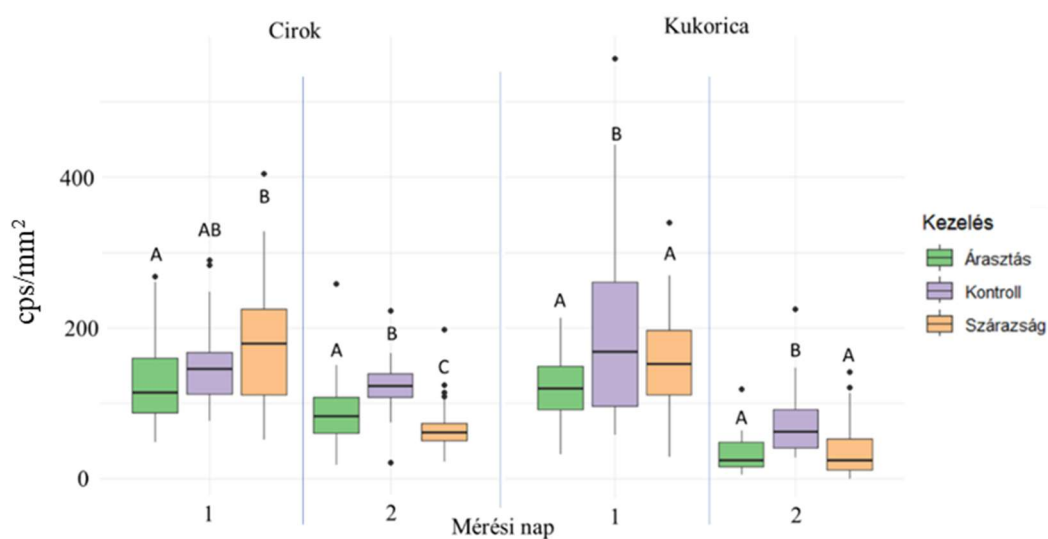
A Kezelések, a Mérési nap és a Növényfajok hatását a Kezdeti biofoton kibocsátás intenzitására a 16. ábra mutatja be. A cirok esetében jól megfigyelhető, hogy a kontroll vízmennyiséghez képest a szárazság magasabb biofoton kibocsátással rendelkezett az 1. mérési

napon. Azonban az utóbbi értékekben nagyobb szórás figyelhető meg, ennek ellenére az általunk lefutatott Duncan-teszt szerint az ársztás és a szárazság okozta stresszhatás jól elkülöníthető egymástól, míg a kontroll csoport statisztikailag megegyezik a másik két vízellátottsági szinttel. A 2. mérési napra már jobban tudtak érvényesülni a stresszhatások, így a kezdeti biofoton-

intenzitás is lecsökkent, azaz a növényekre jobban hatottak a különböző stresszhatások. A legnagyobb változás a szárazság esetében figyelhető meg, így a három különböző vízellátottsági szint közül a szárazság okozta stresszhatás érvényesült a legnagyobb mértékben.

A kukorica esetében a három kezelés közül a kontroll csoportnál figyelhető meg a legnagyobb szintű kezdeti biofoton kibocsátás. A kontroll és a szárazság okozta stressz mértéke statisztikailag megegyezik egymással. A 2. mérési napra ebben az esetben is megfigyelhető a stressz hatás érvényesülése, így a kezdeti biofoton-emisszió intenzitás mindegyik esetben lecsökkent.

Összehasonlítva a két kultúrnövényt elmondhatjuk, hogy mindegyik esetben a kukorica egy intenzívebb stresszállapotot mutatott a cirokkal szemben.

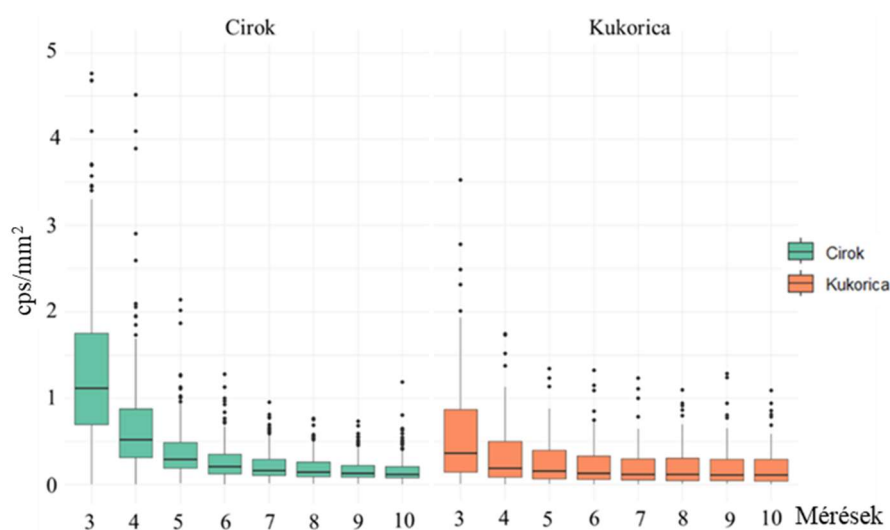


16. ábra: A mérési nap, a vízmennyiség és a növényfaj hatása a kezdeti biofoton-emisszió intenzitásra. A betűk a Duncan-teszt eredményét szemléltetik (Saját szerkesztés, 2023)

A kezdeti biofoton-emisszió intenzitás vizsgálata után áttérünk a biofoton-emisszió intenzitás változásának, lecsengésének tárgyalásába. Minél gyorsabb a biofoton-emisszió jelintenzitás csökkenése, annál nagyobb stresszhatásnak van kitéve a növény.

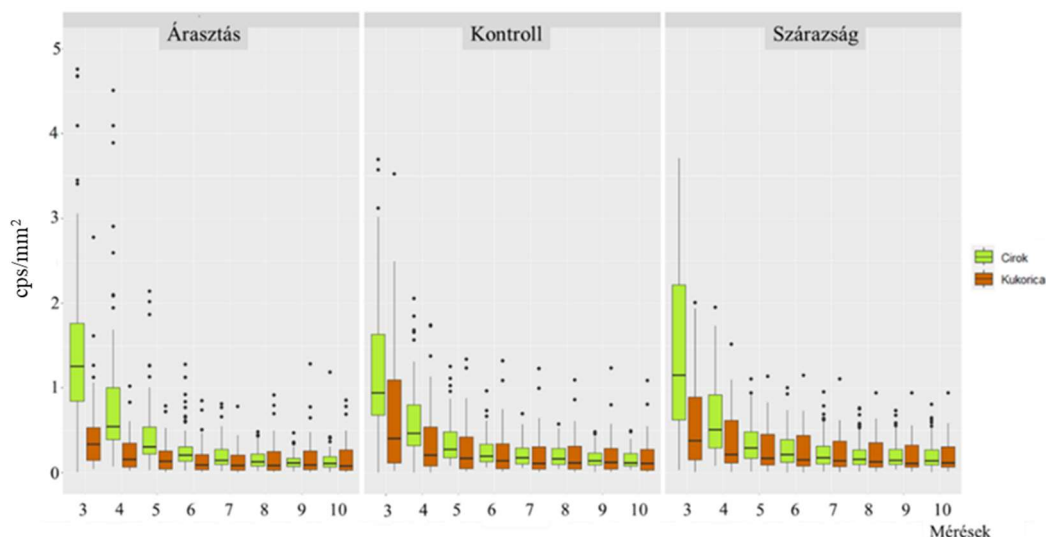
A 17. ábrán a lecsengés alakulását szemléltetjük a 3. méréstől. A lecsengés esetében a biofoton-emisszió egy kezdeti gyors, majd egy lassuló csökkenésen megy keresztül az idő előrehaladtával. Abban az esetben, ha a meredekség magasabb értéket képvisel, akkor magasabb a növényt érő stresszhatás. A lecsengés vége már átmenetet képez az oxidatív

folyamatokba és inkább már az Ultragyenge-lumineszcenciát értjük alatta. A cirok esetében a biofoton kibocsátás intenzitása lassabb csökkenést mutatott, majd elérve az UWPE szakaszt, alacsonyabb kibocsátási szintet mutatott. Ebből arra következtethetünk, hogy a cirok ellenállóbb volt a különböző stresszhatásokkal szemben. Ezzel szemben a kukorica biofoton-emisszió intenzitása gyorsabban lecsökkent, majd elérve az UWPE szakaszát és ezzel együtt magasabb kibocsátási szinten maradt. Ezek együtt utalnak arra a megállapításra, hogy a kukoricát nagyobb stresszhatások érhetnék.



17. ábra: A lecsengés alakulása a 3. méréstől (Saját szerkesztés, 2023)

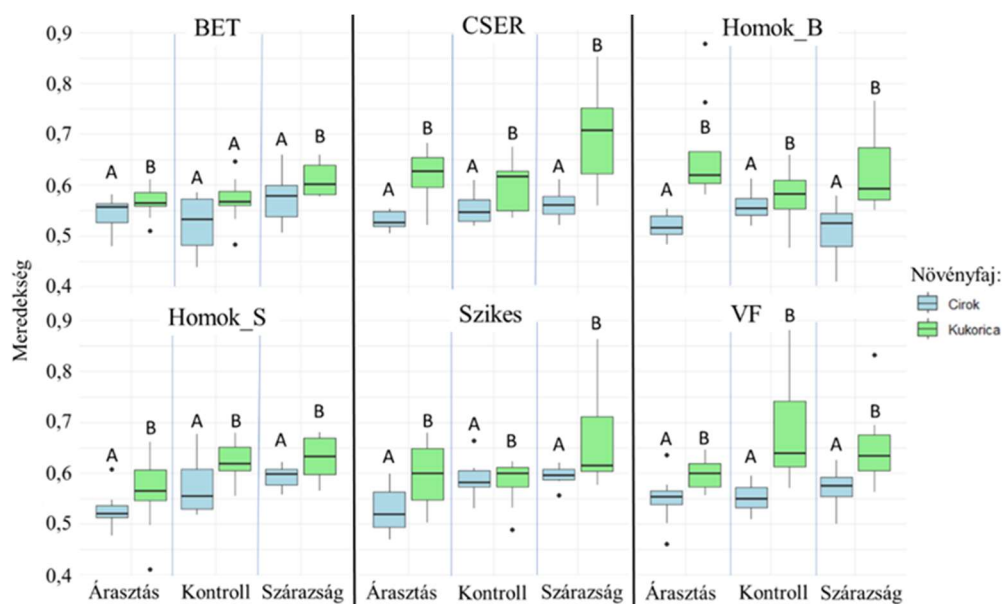
A 18. ábrán a különböző vízellátottsági szintek esetében az exponenciális lecsengés figyelhető meg a biofoton-emisszió intenzitás tekintetében. Az árasztás során kapott eredményeken jól megfigyelhető, hogy a cirok esetében magasabb volt a kezdeti biofoton-emisszió intenzitása a kukoricához képest. Azonban utóbbinál kisebb szórás figyelhető meg a 3. mérés esetében is, amiből arra következtethetünk, hogy az állományt egységesen jobban érintette a stresszhatás. A kontroll kezelés során is megfigyelhető, hogy a szemes cirok magasabb kezdeti biofoton-emissziós intenzitással rendelkezett, míg a lecsengésnél szinte azonos intenzitású ultragyenge lumineszcencia van jelen a két kultúra esetében. Az adatok szórását figyelembe véve a cirok esetében kisebb mértékű, mint a kukoricánál. Azonban az átlagok gyakorlatilag megegyeznek egymással, így egységesnek mondhatók. Alacsony vízellátottsági szint (szárazság) tekintetében a kezdeti biofoton-emisszió intenzitása hasonlóan alakult az előző két beállításhoz képest, azonban a szórásban nagyobb eltérés figyelhető meg a cirok esetében, aminek az oka a stresszfaktor okozta negatív hatás. Az ultragyenge biolumineszcencia kibocsátása során kisebb szórás figyelhető meg a szemes cirok esetében, így a szárazság okozta stresszhatás egységesebben érintette, a kukoricához képest.



18. ábra: A lecsengések alakulása a különböző vízellátottsági szintek között (Saját szerkesztés, 2023)

Ahogy a 17. ábrán és a 18. ábrán is látható, exponenciális lecsengés figyelhető meg a biofoton-emisszió tekintetében. Ennek a lecsengésnek a meredekségéből következtetést tudunk levonni, hogy milyen mértékű stresszhatásnak vannak a növények kitéve. A következőkben azokat az eredményeket mutatjuk be, ahol növényenként minden egyes mérés esetében a biofoton-emisszió intenzitás értékeire exponenciális függvényt illesztve meghatároztuk a lecsengés meredekségének értékét.

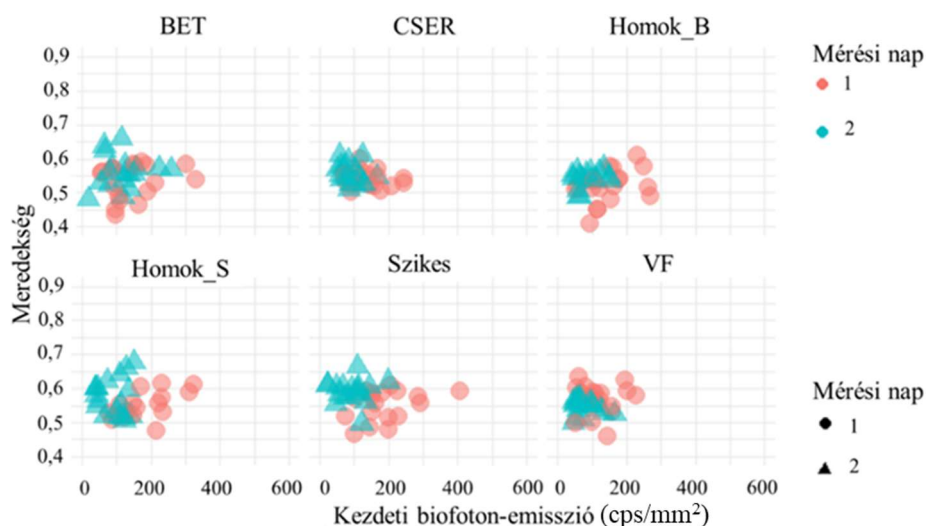
Ennek megfelelően megvizsgáltuk, hogy az egyes talajtípusok és kezelések esetében megfigyelhető-e különbség a növények tekintetében a biofoton-emissziós görbék lecsengésének meredeksége között (19. ábra). A barna erdőtalaj (BET) kontroll csoportjának a kivételével mindegyik vízellátottsági szint esetében különbség figyelhető meg a lecsengés meredekségének az alakulásában. Minél nagyobb mértékű a lecsengés, feltételezhetően annál nagyobb a növényeket érő stresszhatás. A növényfajok közül a kukoricánál szinte mindegyik esetben magasabb értéket képviselt a biofoton kibocsátás meredeksége a cirokhoz képest a lecsengés során, ebből adódóan intenzívebben érintette a stresszhatás.



19. ábra: A merekségek összehasonlítása különböző talajtípusok esetén (Saját szerkesztés, 2023)

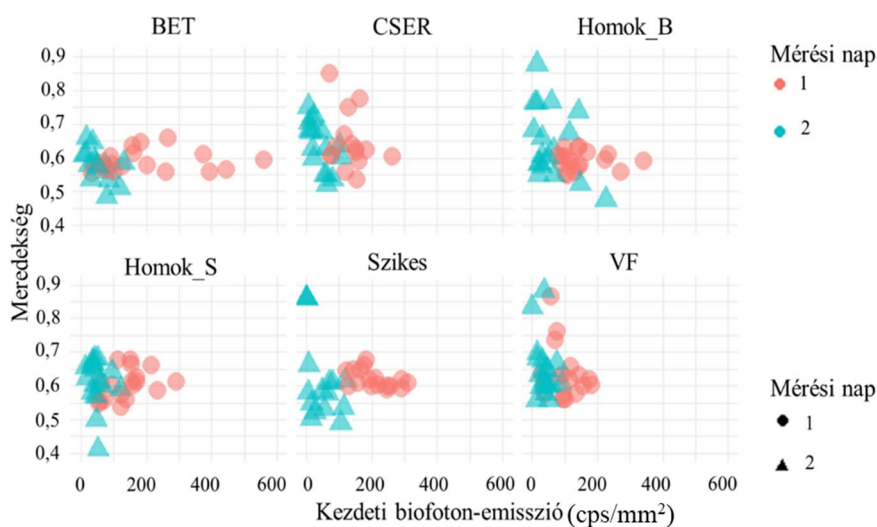
Korábbi tanulmányok kimutatták, hogy kapcsolat van a kezdeti biofoton-emisszió intenzitása és a lecsengés mereksége között különböző stresszhatások alatt (Pónya és Somfalvi-Tóth, 2022). Ezt felismerve próbáltuk elkülöníteni a különböző stresszhatásokat e két tényező segítségével, amit a 18. és 19. ábrán ábrázoltunk.

A 20. ábrán a cirok esetében a biofoton-emissziós görbék lecsengésének a mereksége látható a kezdeti biofoton-emisszió intenzitás függvényében különböző talajtípusok esetében. A színezés az első és második mérési napra utal, hiszen korábbi eredményeink szerint ez volt a legjelentősebb hatás a vizsgálatok során. A két vizsgálati nap közti eltérés mindegyik talajtípusnál jól megfigyelhető, mivel a 2. napra jobban érvényesültek a cirkot érő stresszhatások. A kontroll állományon kívül (VF) mindegyik talajnál a 2. nap során kapott biofoton-emisszió lecsengésének nagyobb a mereksége. A csernozjom (CSER) esetében mind a két vizsgálati napon kapott eredmények tekintetében alacsony szórás figyelhető meg. Így elmondhatjuk, hogy a növényeket érő stresszfaktorok egységesebben hatottak állomány szinten, hasonlóan a kontroll csoporthoz. Az adatokban a barna erdő- (BET) és a szikes talajnál figyelhető meg a legnagyobb szórás, azaz e talajtípusoknál eltérőbben hatottak a különböző stresszhatások a növényekre. Mivel a savanyú homoknál és a szikes talajnál figyelhető meg a legnagyobb értékek, ezért ezeknél a talajoknál intenzívebben érvényesültek a különböző stresszfaktorok.



20. ábra: A merekség a kezdeti biofoton-emisszió intenzitás függvényében különböző mérési napokon a **cirok** esetében (Saját szerkesztés, 2023)

A 21. ábrán látható a kukorica biofoton-emissziós görbéinek lecsengésének a mereksége eltérő talajok esetében. A cirokhoz képest (20. ábra) jóval magasabb értékek figyelhetők meg a kukorica esetében, mindegyik talajtípusnál. Az eredmények eloszlásából és alakulásából adódóan mindegyik mérési napon ráilleszthető egy jól elkülönülő, szinte egymásra merőleges lineáris regressziós egyenes, mely helyzetéből következtetni lehet a stresszhatás érvényesülésére. Míg az első mérési napon a magasabb kezdeti biofoton-emisszió intenzitás értékekhez kis szórással kapcsolódtak a merekség adatok, főképpen a BET, a Homok-B, és a Szikes talajok esetében, addig a második mérési napon szignifikánsan alacsonyabb volt az átlagos kezdeti biofoton-emisszió kibocsátás kis szórással, azonban a merekség jelentősen szórt minden talaj esetében, kivéve a barna erdőtalajt (BET).

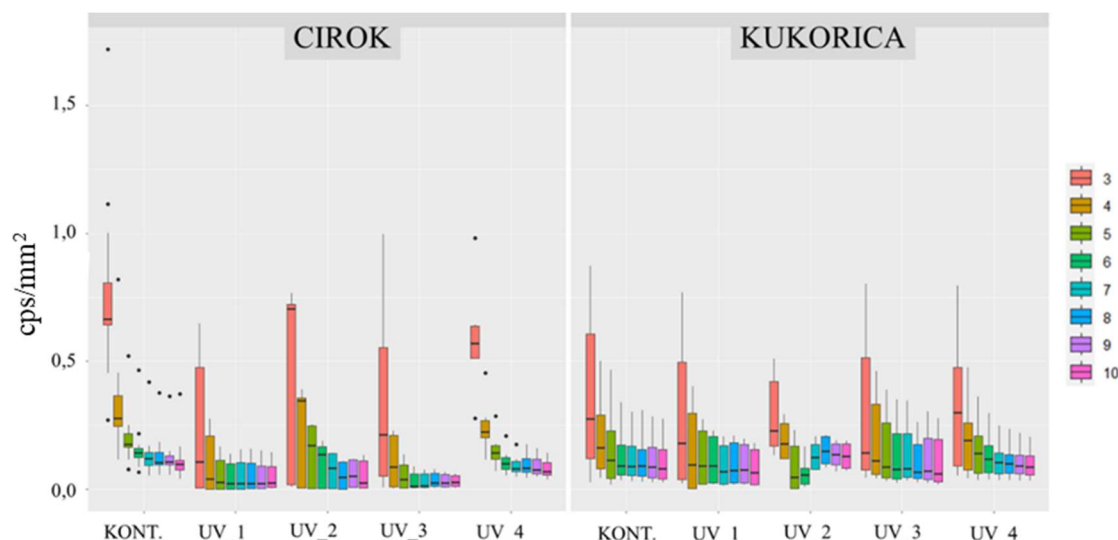


21. ábra: A merekség alakulása különböző mérési napokon a **kukorica** esetében (Saját szerkesztés, 2023)

Végül, de nem utolsó sorban bemutatjuk az UV-B sugárzás hatásait, és ezen vizsgálatok eredményeit. A kísérletet a kontroll csoportnak számító virágföld talajtípussal végeztük el, optimális vízellátottság mellett, hogy kizárjuk az egyéb stresszhatásokat a növény környezetéből. Az UV-B sugárzást különböző dózisban kapták a növények, 1 órás, 2 órás, 3 órás és 4 órás kitettség mellett.

A 22. ábrán látható a különböző dózisu UV-B besugárzás hatása a biofoton-emisszió intenzitására a lecsengés során. Az 1 órás UV-B besugárzásnak kitett szemes cirok tekintetében a kontrollhoz képest alacsonyabb a kezdeti biofoton-emisszió intenzitása, míg a későbbi mérések során az ultragyenge biolumineszcencia esetében nagyobb szórás figyelhető meg a kapott eredményekben. Ebből arra következtethetünk, hogy az 1 órás besugárzás enyhe stresszhatásként érte a növényeket. Ezzel szemben a 2 órás kezelés szórásának a mértéke, illetve a medián is megemelkedett, ami feltételezhetően a nagyobb stresszhatásnak köszönhető. Azonban a 3 és 4 órás besugárzás során a növény életfolyamataira pozitív hatással bíró reakciók játszódhattak le, mivel a 3 órás kezelésnél lecsökkent az adatok szórása, illetve a biofoton-emisszió intenzitása is. Majd a 4 órás besugárzás során a kezdeti biofoton-kibocsátás intenzitása magasabb lett, míg az eredmények szórása tovább csökkent.

A kukorica esetében a besugárzás dózisének a növelésével kezdetben a szórás mértékének az emelkedése látható. Majd a 4 órás időintervallumhoz érve a szórás mérséklődött, azonban a medián magasabb értékeket kezdett felvenni. Ennek oka lehetett, hogy az UV-B sugárzás negatívan befolyásolja a kukorica életfolyamatait, azonban ennek mértékét 1 és 3 óra között a növények ellenállóképessége mérsékeli. Majd az általunk alkalmazott legmagasabb besugárzás okozta stresszhatás egységesen hatott a növényekre, ezzel magyarázható a medián emelkedése és a szórás csökkenése. Összehasonlítva a két növény UV-B besugárzásra adott reakcióit, elmondhatjuk, hogy e stresszfaktor a kukoricában nagyobb stresszhatásként érvényesült a szemes cirokhoz képest. Sőt a cirok esetében a 2 óránál nagyobb besugárzásnál pozitívabb reakciókat váltott ki, mint az 1 és 2 órás besugárzásnál.



22. ábra: A biofoton-emisszió intenzitás lecsengésének alakulása a különböző dózisu UV-B besugárzásoknak kitett növényeken a 3. időlépcsőtől tekintve (Saját szerkesztés, 2023)

5.2. Eredmények értékelése

A kukoricát és a szemes cirkot vizsgáltuk juvenilis fejlődési stádiumban, különböző abiotikus stresszorok mellett. Ezek a hatások mind a növény pillanatnyi állapotára, mind a fejlődésére is statisztikailag kimutatható hatással voltak.

Az öt különböző mérsékelt éghajlatra jellemző talajtípus esetében vizsgált csírázókéesség során kapott eredmények alapján az optimális vízellátottsági szintnél volt a legmagasabb a csírázási%. Az általunk kapott eredmények ezen része megegyezik Khaeim és mtsai (2022) által publikált eredményekkel, ahol kukorica csírázását és növekedési sebességét vizsgálták eltérő vízellátottsági szintek mellett. Az árasztás során kialakult magas víztartalom következtében oxigén hiányos állapot alakult ki, ami csökkentette a csírázási százalékot. Ezen eredményeink megegyeznek Yasin és Andreasen (2016) zöldség fajokon végzett kísérletüknek az eredményeivel, mivel bizonyították, hogy a talaj alacsonyabb oxigéntartalma a csírázókéesség csökkenéséhez vezet. Gerik és mtsai (2003), valamint Tao és mtsai (2020) által végzett vizsgálatok alapján a cirok csírázása szikes talajtípus esetében jelentősen visszaesik a kukoricához képest. Azonban a kapott eredményeink alapján nálunk nem volt megfigyelhető ez a visszaesés. A szemes cirok szinte mindegyik talajtípusnál és vízellátottsági szintnél közel azonos vagy magasabb csírázási%-val rendelkezett, mint a kukorica. Következtetés képpen elmondhatjuk, hogy a szemes cirok csírázókéessége kontroll talajban, barna erdőtalajban, szikes-, valamint csernozjom talajban magasabb volt szélsőséges vízellátottságok (szárazság, árvíz) mellett.

A főkomponens analízisnek köszönhetően bebizonyosodott, hogy az általunk vizsgált paraméterek közül mindegyik releváns, vagyis a további vizsgálatból egyik tényező sem hagyható el jelentősebb információ-vesztés nélkül. Tehát mindegyiknek fontos szerepe volt az általunk kapott eredmények alakulásában. A legjelentősebb hatása a vizsgálati napnak volt, de ez a tényező az, amely esetében a természetes növényélettani folyamatok és a stresszhatások együtt, egy irányba hatnak, ezért következtetésképpen ez a paraméter jelenik meg vizsgálatainkban a legszignifikánsabb tényezőként.

A növény juvenilis fejlődési szakaszában a stresszhatások megfelelő érvényesüléséhez egy hétnél több idő szükséges annak érdekében, hogy a biofoton-emisszió alakulásában számottevő különbséget lehessen megfigyelni.

Mivel a kukoricánál nagyobb szerepet játszott a talaj hatása a stresszfaktorok érvényesülésében, mint a cirok esetében, azaz a cirok termesztése során kialakuló vízhiány vagy víztöbblet okozta növényi stressz mértékét nem fokozzák a különböző talajtípusok.

A három vízellátottsági szint közül az aszály esetében voltak megfigyelhetők a legjelentősebb különbségek a szemes cirok és a kukorica kezdeti biofoton kibocsátásának vizsgálata során. A kukorica esetében a szikes, a csernozjom, valamint a barna erdőtalajnál a 14. npra szignifikánsabb csökkenés volt megfigyelhető a kontroll csoporthoz képest. Ezzel szemben a szemes cirok kezdeti biofoton-emisszió intenzitásában a homoktalajoknál volt megfigyelhető jelentősebb csökkenés. Ebből megállapítható, hogy a cirok száraz körülmények között stressztűrőbb. Ez az eredmény megegyezik a Tari és mtsai (2012), valamint Salih és mtsai (1999) eredményeivel. A kapott értékek alapján a kukoricánál statisztikailag azonos mértékűnek tekinthető mind az aszály, mind pedig az ársztás hatása. Azonban a két növény esetében a ciroknál nem érvényesültek olyan intenzíven a nedvesség okozta stresszfaktorok, szemben a kukoricával.

A lecsengés meredekségében volt megfigyelhető a legnagyobb különbség az általunk vizsgált két növényfaj tekintetében. Mindkét kultúránál élettani okok miatt a második vizsgálati napon nagyobb volt a lecsengés meredeksége. A kukorica a kontroll talaj szárazság, a csernozjom, a szikes talaj és a homoktalajok (mind az aszály, mind a szárazság) esetében nagyobb meredekséggel rendelkezett, azaz nála volt megfigyelhető a legnagyobb csökkenés a kezdeti biofoton-emisszióban. Ebből arra következtethetünk, hogy ezen talajtípusok fokozták a kukoricát érő stresszhatások érvényesülését. A két növényfaj között szignifikáns különbség csak a barna erdőtalaj esetében nem volt megfigyelhető, így ezeknél a talajtípusoknál jobban érvényesültek a negatív hatások. A lecsengés meredekségének a vizsgálata során kapott eredmények alapján arra következtethetünk, hogy az egyes talajtípusokon (csernozjom, szikes,

homoktalajok) érvényesülő stresszhatásokkal szemben a szemes cirok ellenállóbb a kukoricához képest.

Az UV-B besugárzás esetében mind a négy dózisonál alacsonyabban érvényesülő stresszhatás volt jelen a szemes ciroknál, szemben a kukoricával. Az 1 és 2 órás besugárzás során egy enyhébb stresszhatás volt megfigyelhető a ciroknál, majd a 3-4 órás UV-B besugárzás során az adatok szórásának a csökkenése és a magasabb kezdeti biofoton kibocsátás volt megfigyelhető. Így az eredményeinkből arra következtethetünk, hogy az UV-B hiányos állapot stresszhatásként érvényesül, míg az optimális ellátottsághoz közeledve fokozatosan csökken a stresszhatás érvényesülése, azaz a kezdeti biofoton-emisszió intenzitása emelkedik. Ambasht és Agrawal (1998), valamint Kataria és Guruprasad (2012) vizsgálataik során magasabb stresszhatást tapasztaltak a növekvő UV-B besugárzás esetén, azonban a vizsgálatunk során csökkenő stresszhatást tapasztaltunk a szemes cirok esetében. Ezen eredményünk megegyezik Papadopoulos és mtsai. (1999) és Kakani és mtsai. (2003) kutatásaik során tapasztaltakkal, miszerint egyes növények élettani folyamataira pozitív hatással van a megnövekedett UV-B besugárzás. A kukorica tekintetében mind a négy UV-B dózisonál nagyobb szórás és alacsonyabb kezdeti biofoton kibocsátás figyelhető meg. Ebből arra következtethetünk, hogy a kukoricát érő UV-B besugárzás okozta stresszhatás a dózisok növelésével egyre intenzívebb lesz, azaz a kukorica kevésbé ellenálló ezen abiotikus stresszorral szemben, ellentétben a szemes cirokkal.

Javaslatként elmondható, hogy a továbbiakban érdemes lehet vizsgálni a 4 óránál magasabb dózisú UV-B besugárzás hatásait a szemes ciroknál, valamint kukorica és a cirok esetében is a stresszhatások kombinálódását, kombinálódó képességét (különböző talajtípusok, eltérő vízellátottsági szintek és különböző UV-B besugárzási dózisokkal). Érdemes lenne szántóföldi kísérlet formájában is megismételni a vizsgálatot természetes körülmények között, ahol az évjárat hatását és egyéb természetes sugárzási tényezőket is figyelembe lehet venni.

6. Összefoglalás

A kukorica (*Zea mays* L.) sokoldalúságának köszönhetően az emberiség egyik legfontosabb kultúrnövényévé vált, melynek köszönhetően a legnagyobb termőterülettel rendelkező kultúrák közé sorolhatjuk. A hazánkban termesztett növények közül leginkább a kukorica fejlődését érintik a klímaváltozás okozta szélsőségek, mint az aszály, az egyenlőtlen csapadékeloszlás és a jégesők növekvő gyakorisága. A gyakorlatban alkalmazott hibridek kiválasztásában változások figyelhetők meg a növekvő hőmérséklet hatására. A különböző éghajlati övek eltolódásának köszönhetően a kukorica vízigénye nem elégíthető ki, így előtérbe kerülnek a különböző alternatívák, ezek közül is a hasonló igényekkel rendelkező, de nagyobb mértékben stressztűrő szemes cirok (*Sorghum bicolor* (L.) Moench.). Ennek oka, hogy a szemes cirok közel azonos beltartalmi értékekkel és termesztéstechnológiával rendelkezik, mint a kukorica. Továbbá alkalmazkodó- és stressztűrőképessége is jobb, ezért a globális klímaváltozásnak köszönhetően fontos alternatívája lehet a kukorica kiváltására.

Az összehasonlító kísérlet beállításával célom, hogy megvizsgáljam a kukorica és a cirok csírázási képességének és kezdeti fejlődési szakaszának, egészségi állapotának alakulását eltérő külső stresszfaktorok (vízellátottsági fok, UV-B sugárzás) és különböző talajtípusok mellett. A vizsgálat előtanulmányának tekinthető a későbbi doktori kutatásomhoz.

A kukorica és cirok vetőmagok beszerzését követte a különböző talajtípusok begyűjtése. Ezt követően a talajok bevizsgálásra kerültek a MATE akkreditált laborközpontjában a jobb beazonosíthatóság, valamint a szükséges vízmennyiség meghatározása érdekében. A talajok kiszáritását követően megkezdődött a csírázási képesség vizsgálatához kapcsolódó munkakörnyezet kialakítása és a vetés. Mindkét faj esetében 3 vízellátottsági fok (kontroll, árasztás, szárazság), és 5+1 talajtípus (barna erdőtalaj, csernozjom, szikes, lúgos homok, savanyú homok, hagyományos virágföld, mint kontroll csoportok) mellett került megvalósításra a csíráztatás, amit két ütemben valósítottunk meg. Lehetőség volt eltérő dózisu UV-B besugárzásnak is kitenni az állományt, ekkor 1; 2; 3 és 4 órás időintervallumokat alkalmaztunk. Az elemszám minden esetben 10×3 növény, míg a vetésmélység 2 cm volt. Így összesen 380 cserépbe, fajonként 570 db vetőmag került elvetésre. Kísérletünk során talajspecifikus öntözési tervet dolgoztunk ki matematikai formulákra alapozva. A beállítást követő 7. és 14. napon Biofoton-emissziót, valamint klorofill-tartalmat vizsgálva határoztuk meg a növények élettani folyamataiban, a stressz hatására bekövetkező változásokat, különbségeket. Ezt követte a nyers adatok előkészítése és adatbázisba rendezése a statisztikai vizsgálatok végrehajtásához. Az adatbáziskezelést és a statisztikai vizsgálatokat Microsoft®

Excel, valamint az R statisztikai program segítségével végeztük el. Mind a kukorica, mind a cirok esetében ügyeltünk, hogy azonos éréscsoportba sorolható vetőmagokat használjunk, így esett a választásunk a KWS® KASHMIR kukorica hibridre és a KWS® SO MSN190 szemes cirok hibridre.

A csírázás során a kontroll és az árasztás esetében sem volt jelentősebb eltérés a két növény között, azonban az árasztásnál már szignifikáns különbség volt megfigyelhető a cirok javára. Összességben elmondhatjuk, hogy a csírázás szempontjából minden vízellátottság mellett jobb kelést produkál a szemes cirok. A PCA szerint kapott eredmények alapján az általunk vizsgált 5 tényezőtől egyik sem hagyható figyelmen kívül, mivel fontos információktól esnénk el.

A kapott eredményeken minden esetben statisztikai analíziseket végeztünk, annak érdekében, hogy megfelelő pontossággal tudjuk elvégezni a kiértékelésüket. A Talaj és Növény, valamint a Vízhatalás és Növény együttes hatásán kívül gyakorlatilag minden tényező befolyásolta a kezdeti biofoton-emissziót. Ezek közül is kiemelném a 4-tényezős ANOVA eredményeit, miszerint a talaj, a mérési nap, a vízhatás, valamint a növény faja is hatással volt a biofoton kibocsátásra. A vetéstől számított 14. napra (2. mérési nap) a biofoton-emisszió csökkenése volt megfigyelhető. Ez növényélettani okokra vezethető vissza, miszerint a fejlődés előrehaladtával némi csökkenés figyelhető meg a biofoton kibocsátásban. A kukorica esetében megfigyelhető nagyobb mértékű visszaesést a növényre ható intenzívebb stresszhatás válthatta ki. A mérésekből kiderült, hogy a különböző talajtípusok fontos szerepet játszottak a kukorica növények biofoton-emissziójában, míg a ciroknál ez a hatás nem volt megfigyelhető. A cirok esetében az 1. mérési napon a kontroll vízmennyiséghez képest a szárazság magasabb biofoton kibocsátással rendelkezett. Azonban a Duncan-teszt alapján statisztikailag azonosnak tekinthetők. A 2. mérési napra már jobban tudtak érvényesülni a stresszhatások, így a biofoton-emisszió mindkét növény esetében lecsökkent. A két kultúrnövényről elmondható, hogy mindegyik vízellátottságnál a kukorica egy intenzívebb stresszállapotot mutatott a cirokkal szemben. A lecsengés esetében a ciroknál a mérés végére minimálisra csökkent a biofoton kibocsátás. Ezzel szemben kukorica végig magasabb szintet képviselt, ami arra enged következtetni, hogy a különböző abiotikus stresszhatások jobban érintették ezen növényeket. Mindegyik növény esetében a legnagyobb stresszhatást a szárazság okozta, azonban ennek mértéke fajoként eltért, mivel a kukoricánál szinte mindegyik esetben magasabb értéket képviselt a biofoton kibocsátás a cirokhoz képest. Ez annak volt köszönhető, hogy intenzívebben érintette a stresszhatás. A 3 és 4 órás besugárzásnak kitett cirkokra pozitívabban hatott az UV-B sugárzás, míg ezzel szemben a kukoricánál mindegyik esetben magasabb

értéket figyelhetünk meg. A két növény UV-B besugárzásra adott reakcióiról, elmondhatjuk, hogy a kukoricában nagyobb stresszhatás érvényesült a cirokhoz képest.

Következtetésképpen elmondható, hogy a talaj, az eltérő vízmennyiség és az UV-B besugárzás okozta stresszhatás jelentősebb mértékű volt a kukorica esetében, míg a cirok ellenállóbbnak bizonyult.

7. Irodalomjegyzék

1. ábra: Assefa, Y.; Staggenborg, S.A.; & Prasad, V.P.V. (2010): *Grain Sorghum Water Requirement and Responses to Drought Stress: A Review*. Cm, 9(1), 0. doi:10.1094/cm-2010-1109-01-rv.
2. ábra: germicidlampa.hu (2023): *UV technológia – A germicidlámpa működése*. [UV Technológia - Germicid - Hollandimpex \(germicidlampa.hu\)](https://www.germicidlampa.hu). Letöltve: 2023. 10. 19.
- Allaga, J.; Bódis, J. (2014): *Növénytan-Növényélettan*. Kaposvári Egyetem- Pannon Egyetem- Szegedi Gabonakutató Nonprofit Kft. Veszprém.
- Ambasht, N. K.; Agrawal, M. (1998): *Physiological and biochemical responses of Sorghum vulgare plants to supplemental ultraviolet-B radiation*. Canadian Journal of Botany, 76(7), 1290-1294. doi:10.1139/b98-137.
- Amirikhah, R.; Etemadi, N.; Sabzalian, M. R.; Nikbakht, A.; Eskandari, A. (2021): *Gamma radiation negatively impacted seed germination, seedling growth and antioxidant enzymes activities in tall fescue infected with Epichloë endophyte*. Ecotoxicology and Environmental Safety, 216, 112169. doi:10.1016/j.ecoenv.2021.112169.
- Anon. In (1984): *ACIMMT Research Highlights*. International Maize and Wheat Improvement Center; 1985:29–35.
- Assefa, Y.; Staggenborg, S.A.; & Prasad, V.P.V. (2010): *Grain Sorghum Water Requirement and Responses to Drought Stress: A Review*. Cm, 9(1), 0. doi:10.1094/cm-2010-1109-01-rv.
- Bean, B.W.; Baumhardt, R.L.; McCollum, F.T.; McCuiston, K.C. (2013): *Comparison of sorghum classes for grain and forage yield and nutritive value*. Field Crops Research, 142(2), 20-26.
- Bender, R.R.; Haegele, J.W.; Ruffo M.L.; Below F. E.(2013): *Modern corn hybrids' nutrient uptake patterns*. Better Crops, 97(1); 7-10.
- Bennett, M.; Mehta, M.; Grant, M. (2005): *Biophoton imaging: a non-destructive method for assaying R gene responses*. Mol. Plant Microbe Interact. 18, 95–102. doi:10.1094/MPMI-18-0095.
- Birkás, M. (2006): *Földművelés és földhasználat*. Mezőgazda Kiadó. Budapest.
- Bocz, E. (1988): *Vízellátottsági és öntözési jelzés*. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.
- Bocz, E.; Nagy, J. (1978): *A klasszifikációs módszerek alkalmazása a növénytermesztési kísérleti adatok kiértékelésében*. Debreceni Agrártudományi Egyetem Tud. Közl. 21(2): 185-198.p.
- Bodemer, U.; Gerhardt, V.; Yacobi, Y. Z.; Zohary, Z.; Friedrich, G.; Pohlmann, M. (2000): *Phytoplankton abundance and composition of freshwaters systems determined by DF excitation spectroscopy and conventional methods*. Arch. Hydrobiol. Spec. Issues Adv. Limnol. 55(1), 101–120.

- Bray, E.A.; Bailey-Serres, J.; Weretilnyk, E. (2000): *Responses to abiotic stresses*. In: W. Gruissem, B. Buchanan and R. Jones (Eds.). 1158-1249.
- Brewer, M. S. (2009): *Irradiation effects on meat flavor: A review*. *Meat Science*, 81(1), 1–14. doi:10.1016/j.meatsci.2008.07.011.
- Buhiniček, I.; Kaučić, D.; Kozić, Z.; Jukić, M.; Gunjača, J.; Šarčević, H.; Stepinac, D.; Šimić, D. (2021): *Trends in Maize Grain Yields across Five Maturity Groups in a Long-Term Experiment with Changing Genotypes*. *Agriculture*, 11, 887. doi:10.3390/agriculture11090887.
- Bunce, J.A. (2010): *Leaf transpiration efficiency of some drought-resistant maize lines*. *Crop Sci.* 50(4):1409.
- Caplin, N.; Willey, N., (2018): *Ionizing radiation, higher plants, and radioprotection: from acute high doses to chronic low doses*. *Front. Plant Sci.* 9, 847. doi:10.3389/fpls.2018.00847.
- Carson, G.R.; Edwards, N.M. (2009): *Criteria of wheat and flour quality. Wheat: chemistry and technology*, (Ed. 4), 97-118.
- Chen, D.; Wang, S.; Cao, B.; Cao, D.; Leng, G.; Li, H.; Yin, L.; Shan, L.; Deng, X. (2015): *Genotypic variation in growth and physiological response to drought stress and re-watering reveals the critical role of recovery in drought adaptation in maize seedlings*. *Front Plant Sci.* 6:1241.
- Cifra, M.; Pospíšil, P. (2014): *Ultra-weak photon emission from biological samples: definition, mechanisms, properties, detection and applications*. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 139, 2-10.
- Corteva Agriscience (2022): *A kukorica vízgazdálkodása*. <https://www.corteva.hu/agronomiai-kozpont/A-kukorica-vizgazdalkodasa.html>. Letöltve: 2023. 10. 21.
- Czarnocka, W.; Karpiński, S. (2018): *Friend or foe? Reactive oxygen species production, scavenging and signaling in plant response to environmental stresses*. *Free Radical Biology & Medicine*, 122, 4–20. doi:10.1016/j.freeradbiomed.2018.01.011.
- Csajbók, J. (2014): *A szemes és seprűcirok termesztése*. *Agroapló*. 2014(10): 24.
- Deharia, P.; Kataria, S.; Pandey, G.P.; Guruprasad, K.N. (2012): *Photosynthesis and yield in cotton (Gossypium hirsutum L.) var. vikram after exclusion of ambient solar UV-B/A*, *Acta Physiol. Plant.* (34) 1133–1144.
- Djanaguiraman, M.; Prasad, P.V.; Ciampitti, I.A.; Talwar, H.S. (2020): *Impacts of abiotic stresses on sorghum physiology. Sorghum in the 21st century: Food–Fodder–Feed–Fuel for a rapidly changing world*, 157-188.
- Du, Y.; Feng, Z.; Wang, J.; Jin, W.; Wang, Z.; Guo, T.; Chen, Y.; Feng, H.; Yu, L.; Li, W.; Zhou, L. (2022): *Frequency and Spectrum of Mutations Induced by Gamma Rays Revealed by Phenotype*

Screening and Whole-Genome Re-Sequencing in Arabidopsis thaliana. International Journal of Molecular Sciences, 23(2), 654. doi:10.3390/IJMS23020654.

Dykes, L.; Rooney, L. W. (2006): *Sorghum and millet phenols and antioxidants*. Journal of Cereal Science. 237.

Eckhoff, S.R.; Watson, S.A. (2009): *Corn and Sorghum Starches*. Starch, 2009, 373-439. doi:10.1016/b978-0-12-746275-2.00009-4

Escalada, R.G.; Plucknett, D.L. (1975): *Ratoon cropping of sorghum: I. Origin, time of appearance, and fate of tillers*. Agronomy Journal, 67(4), 473–478.

Flor-Henry, M.; McCabe, T. C.; De Bruxelles, G. L.; Roberts, M. R. (2004): *Use of a highly sensitive two-dimensional luminescence imaging system to monitor endogenous bioluminescence in plant leaves*. BMC Plant Biology, 4, 1-8.

Foyer, C.H.; Lelandais, M.; Kunert, K.J.; (1994): *Photooxidative stress in plants*. Physiologia Plantarum 92, 696–717.

Gerik, T.; Bean, B.; Vanderlip R. (2003): *Sorghum growth and development*. Texas AfriLife Extension Service.

Gudkov, S.V.; Grinberg, M.A.; Sukhov, V.; Vodeneev, V., (2019): *Effect of ionizing radiation on physiological and molecular processes in plants*. J. Environ. Radioact. 202, 8–24. doi:10.1016/j.jenvrad.2019.02.001.

Hameed, A.; Mahmud, T.S.; Atta, B.M.; Haq, M.A.; Sayed, H. (2008): *Gamma irradiation effects on seed germination and growth, protein content, peroxidase and protease activity, lipid peroxidation in desi and kabuli chickpea*. Pak. J. Bot. 40, 1033–1041.

Hennecke, M.; Brück, A. (2011): *Measurement of Delayed Fluorescence in Plants - a Monitoring System for Stress Factors*. Berthold Technologies AN985_003

Hennecke, M.; Brück, A. (2012): *Measurement of biophoton emission in plants—an alternative monitoring system for stress factors*. Berthold Technologies, AN985_005v1.

Hossain, M.A.; Mostofa, M.G.; Fujita, M. (2013): *Cross protection by cold-shock to salinity and drought stress-induced oxidative stress in mustard (Brassica campestris L.) seedlings*. Molecular Plant Breeding, 4.

Hussain, F.; Iqbal, M.; Shah, S. Z.; Qamar, M. A.; Bokhari, T. H.; Abbas, M.; Younus, M. (2017): *Sunflower germination and growth behavior under various gamma radiation absorbed doses*. Acta Ecologica Sinica, 37, 48–52. doi:10.1016/j.chnaes.2016.09.009

Kakani, V.G.; Reddy, K.R.; Zhao, D.; Gao, W. (2004): *Senescence and hyperspectral reflectance of cotton leaves exposed to ultraviolet-B radiation*. Physiol. Plant. (121) 250–257.

- Kakani, V.G.; Reddy, K.R.; Zhao, D.; Sailaja, K. (2003): *Field crop responses to ultraviolet-B radiation: a review*, *Agric. Forest Meteorol.* (120) 191–218
- Kamal, A.H.M.; Komatsu, S. (2016): *Proteins involved in biophoton emission and flooding-stress responses in soybean under light and dark conditions*. *Mol. Biol. Rep.* 43:73. doi:10.1007/s11033-0153940-4
- Kataria, S.; & Guruprasad, K.N. (2012): *Intraspecific variations in growth, yield and photosynthesis of sorghum varieties to ambient UV (280–400nm) radiation*. *Plant Science*, 196, 85–92. doi:10.1016/j.plantsci.2012.07.011
- Keszthelyi, S. (2014): *Fenntartható növénytermesztés*. Kaposvári Egyetem - Pannon Egyetem - Szegedi Nonprofit Kft.
- Khaeim, H.; Kende, Z.; Jolánkai, M.; Kovács, G.P.; Gyuricza, C.; Tarnawa, Á. (2022): *Impact of Temperature and Water on Seed Germination and Seedling Growth of Maize (Zea mays L.)*. *Agronomy*, 12, 397, doi:10.3390/agronomy12020397.
- Kováčik, J.; Klejdus, B.; Babula, P.; Hedbavny, J. (2017): *Ascorbic acid affects short-term response of *Scenedesmus quadricauda* to cadmium excess*. *Algal Research*, 24 (1), 354-359.
- Kovács, H. (2021): *A főbb szántóföldi növények strukturális változásának alakulása és jövőbeni kialakításai a Dél-Alföld mezőgazdaságában*. *Jelenkori társadalmi és gazdasági folyamatok*. 16(1-2): 149-160.
- Központi Statisztikai Hivatal (2022): *A fontosabb növények vetésterülete, 2022. június 1.* A fontosabb növények vetésterülete, 2022. június 1. (ksh.hu). Letöltve: 2023. 08. 09.
- Krupa, S.V.; Kickert, R.N. (1993): *The greenhouse effect: the impacts of carbon dioxide (CO₂), ultraviolet-B (UV-B) radiation and ozone (O₃) on vegetation (crops)*. *Vegetatio*, 104(105); 224– 238.
- Li, Y.; Zu, Y.Q.; Chen, J.J.; Chen, H.Y. (2002): *Intraspecific responses in crop growth and yield of 20 soybean cultivars to enhanced ultraviolet-B radiation under field conditions*. *Field Crops Res.* (78) 1–8.
- Mangani, R.; Tesfamariam, E.H.; Bellocchi, G.; Hassen, A. (2018): *Growth, development, leaf gaseous exchange, and grain yield response of maize cultivars to drought and flooding stress*. *Sustainability*, 10(10), 3492.
- Mao, H.; Wang, H.; Liu, S.; Li, Z.; Yang, X.; Yan, J.; Li, J.; Tran, L. S.; Qin F.A. (2015): *Transposable element in a NAC gene is associated with drought tolerance in maize seedlings*. *Nat Commun.* 6:8326.
- Marcu, D.; Damian, G.; Cosma, C.; Cristea, V. (2013): *Gamma radiation effects on seed germination, growth and pigment content, and ESR study of induced free radicals in maize (Zea mays)*. *Journal of Biological Physics*, 39(4), 625–634. doi:10.1007/s10867-013-9322-z

- Maxon E. D.; Rooney L. W. (1972): *Cereal Chem.* (49);719.
- McKenzie, R. L.; Aucamp, P. J.; Bais, A. F.; Björn, L. O.; Ilyas, M.; Madronich, S. (2011): *Ozone depletion and climate change: impacts on UV radiation*, *Photochem. Photobiol. Sci.* 10. 182–198
- McWilliams, D. (2003): *Drought strategies for corn and grain sorghum*. Coop Ext. Circ. 580, New Mexico State Univ., Las Cruces, NM.
- Mendez-Millan, M.; Dignac, M.F.; Rumpel, C.; Rasse, D.P.; Bardoux, G.; Derenne, S. (2012): *Contribution of maize root derived C to soil organic carbon throughout an agricultural soil profile assessed by compound specific ¹³C analysis*. *Organic Geochemistry*. 42: 1502-1511.p.
- Mittova, V.; Tal, M.; Volokita, M.; Guy, M.; (2003): *Up-regulation of the leaf mitochondrial and peroxisomal antioxidative systems in response to salt-induced oxidative stress in the wild salt-tolerant tomato species *Lycopersicon pennellii**. *Plant, Cell and Environment* 26, 845–856.
- Mokrane, H.; Amoura, H.; Belhaneche-Bensemra, N.; Courtin, C. M.; Delcour, J. A.; Nadjemi, B. (2010): *Assessment of Algerian sorghum protein quality [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] using amino acid analysis and in vitro pepsin digestibility*. *Food Chemistry*. 719.
- Moussa, J.P. (2006): *Role of gamma irradiation in regulation of NO₃ level in rocket (*Eruca vescaria subsp. sativa*) plants*. *Russ. J. Plant Physiol.* 53, 193–197.
- Moussa, S.M.; Khaled, A.; Salama, E.A.; El-wakil, H.E. (2022): *Gamma Radiation as A Mutagenic Agent for Salinity Tolerance Improvement in Some Sweet Sorghum, (*Sorghum bicolor* L.) Genotypes*. *Egyptian Academic Journal of Biological Sciences, H. Botany*, 13(2), 91-102.
- Mustroph, A. (2018): *Improving Flooding Tolerance of Crop Plants*. *Agronomy*, 8(9), 160. doi:10.3390/agronomy8090160.
- Nagy, J. (2021): *Kukorica. A nemzet aranya. Élelmiszer, takarmány, bioenergia*. Szaktudás Kiadó. Budapest.
- Nelson, C.J. and Moser, L.E. (1994): *Plant Factors Affecting Forage Quality. Forage Quality, Evaluation, and Utilization in Forage Quality, Evaluation, and Utilization* (eds G.C. Fahey, Jr., M. Collins, D.R. Mertens, and L.E. Moser). American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, and Soil Science Society of America, Madison, WI, pp. 115–154.
- Nxele, X.; Klein, A.; Ndimba, B. K. (2017): *Drought and salinity stress alters ROS accumulation, water retention, and osmolyte content in sorghum plants*. *South African Journal of Botany*, 108, 261–266. doi:10.1016/j.sajb.2016.11.003.
- Okot, F.; Laing, M.; Shimelis, H.; de Milliano, W.A. (2022): *Diagnostic appraisal of the sorghum farming system and breeding priorities in Sierra Leone*. *Sustainability*, 14(12), 7025. doi:10.3390/SU14127025.

- Pan, X.; Geng, Y.; Zhang, W.; Li, B.; Chen, J.; (2006): *The influence of abiotic stress and phenotypic plasticity on the distribution of invasive Alternanthera philoxeroides along a riparian zone*. Acta Oecologica 30, 333–341.
- Papadopoulos, Y.A.; Gordon, R.J.; Mcrae, K.; Bush, R.; Belanger, G.; Butler, G.E.; Sherry, A.E., Morrison, F.M. (1999): *Current and elevated levels of UV-B radiation have few impacts on yields of perennial forage crops*. Global Change Biol. (5) 847–856.
- Parida, A.K.; Das, A.B. (2005): *Salt tolerance and salinity effects on plants: a review*. Ecotoxicology and Environmental Safety 60, 324–349.
- Paterson, A.H., Bowers, J.E., Bruggmann, R., et al. (2009): *The Sorghum bicolor genome and the diversification of grasses*. Nature, 457(7229), 6.
- Pitzschke, A.; Forzani, C.; Hirt, H. (2006): *Reactive oxygen species signaling in plants. Antioxidants & redox signaling*, 8(9-10), 1757-1764.
- Pónya, Zs.; Jócsák, I.; Keszthelyi, S. (2021): *Detection of ultra-weak photon emission in sunflower (Helianthus annuus L.) infested by two spotted-spider mite, Tetranychus urticae Koch-research note*. Phytoparasitica 50, 43–50. doi:10.1007/s12600-021-00938-4.
- Pónya, Z.; Somfalvi-Tóth, K. (2022): *Modelling biophoton emission kinetics based on the initial intensity value in Helianthus annuus plants exposed to different types of stress*. Scientific Reports, 12(1), 2317.
- Popescu, A; Condei, R. (2014): *Some consideration the prospects of sorghum crop*. University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine Bucharest. Bucharest.
- Pospíšil, P. (2012): *Molecular mechanisms of production and scavenging of reactive oxygen species by photosystem II*. Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Bioenergetics, 1817(1), 218-231.
- R Core Team (2017): *R. language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing*. Vienna. Austria. <http://www.R-project.org/>
- Rajki, E.; Palágyi A. (2017): *Szemes cirok termesztési technológia*. Szeged.
- Rao, M.V.; Paliyath, G.; Ormrod, D.P. (1996): *Ultraviolet-B and ozone-induced biochemical changes in antioxidant enzymes of Arabidopsis thaliana*. Plant Physiol. 110: 125–136.
- Ren, B.; Zhang, J.; Li, X.; Fan, X.; Dong, S.; Liu, P.; Zhao, B. (2014): *Effects of Waterlogging on the Yield and Growth of Summer Maize under Field Conditions*. Can. J. Plant. Sci. 94, 23–31.
- Rooney, W.L. (2014): *Sorghum. Cellulosic Energy Cropping Systems*, 109-129. doi:10.1002/9781118676332.ch7.
- Rui-Rui, H.; Gang, X.; Kai, L.; and Yan-Yan, Z. (2015): *Effect of extremely low frequency pulsed electric field on delayed biophoton emission of cells in maize seedling root under osmotic stress*. Acta Photon. Sin. 44:0517003. doi:10.3788/gzxb20154405.0517003.

- Salih, A. A.; Ali, I.A.; Lux, A.; Luxová, M.; Cohen, Y.; Sugimoto, Y.; Inanaga, S. (1999): *Rooting, water uptake and xylem structure adaptation to drought of two sorghum cultivars*. Crop Sci., 39, 168–173.
- Sánchez-Moreiras, A.M.; Graña, E.; Reigosa, M.J.; Araniti, F. (2020): Imaging of chlorophyll a fluorescence in natural compound-induced stress detection. *Frontiers in Plant Science*, 11, 583590.
- Shu, Q.Y.; Forster, B.P.; Nakagawa, H.; Nakagawa, H. (2012): *Plant mutation breeding and biotechnology*, CABI. Plant Breeding and Genetics Section. Joint FAO/IAEA Division of Nuclear Techniques in Food and Agriculture. International Atomic Energy Agency, Vienna, Austria. ISBN, 978-2.
- Smith, C.W. and Frederiksen, R.A. (2000): *History of cultivar development in the United States: From “Memoirs of A.B. Maunder – Sorghum Breeder”, in Sorghum: Origin, History, Technology, and Production (eds C.W. Smith and R.A. Frederikson)*. John Wiley & Sons, Inc., New York, pp. 191–223.
- Somfalvi-Tóth, K. (2020): *A kukoricatermesztés feltételeinke változása 1901-től napjainkig*. Agroforum Extra. pp.: 16-18
- Stone, L.R.; and Schlegel, A.J. (2006): *Yield-water supply relationship of grain sorghum and winter wheat*. Agron. J. 98, 1359-1366.
- Stone, L.R.; Dwayne, E.G.; Alan, J.S.; Mahmad, N.J.; and Akhter, H. K. (2002): *Water depletion depth of grain sorghum and sunflower in the central high plains*. Agron. J. 94, 936-943.
- Tao, Y.; Zhao, X.; Wang, X.; Hathorn, A.; Hunt, C.; Cruickshank, A.W.; Jordan, D.R. (2020): *Large-scale GWAS in sorghum reveals common genetic control of grain size among cereals*. Plant Biotechnology Journal, 18(4), 1093-1105
- 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. 258.
- Tari, I.; Laskay, G.; Takács, Z.; Poór, P. (2012): *Response of Sorghum to Abiotic Stresses: A Review*. Journal of Agronomy and Crop Science, 199, 264-274. doi:10.1111/jac.12017.
- Taylor, J.R.N.; Schober, T.J.; Bean, S.R. (2006): *Novel food and non-food uses for sorghum and millets*. Journal of Cereal Science. 253.
- Tolk, J.A.; and Howell, T.A. (2001): *Measured and simulated evapotranspiration of grain sorghum with full and limited irrigation in three high plains soils*. Trans. Of ASAE 44:1553-1558.
- Torres, M.A.; Jones, J.D.; Dangel, J.L. (2006): *Reactive oxygen species signaling in response to pathogens*. Plant physiology, 141(2), 373-378.
- Tsuchida, K.; Iwasa, T.; Kobayashi, M. (2019): *Imaging of ultraweak photon emission for evaluating the oxidative stress of human skin*. Journal of Photochemistry and Photobiology b, Biology, 198, 111562.
- United States Department of Agriculture (2023): *World Agricultural Production*.

- Vashisht, D.; Hesselink, A.; Pierik, R.; Ammerlaan, J.M.H.; Bailey-Serres, J.; Visser, E.J.W.; Pedersen, O.; van Zanten, M.; Vreugdenhil, D.; Jamar, D.C.L.; et al. (2011): *Natural variation of submergence tolerance among Arabidopsis thaliana accessions*. New Phytol. 190, 299–310.
- Voesenek, L.A.C.J.; Bailey-Serres, J. (2015): *Flood adaptive traits and processes: An overview*. New Phytol. 206, 57–73.
- Wijewardana, C.; Henry, W.B.; Gao, W.; Reddy, K.R. (2016): *Interactive effects on CO₂, drought, and ultraviolet-B radiation on maize growth and development*. Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology, 160, 198-209.
- Wolabu, T.W.; Fei Zhang, L.; Niu, S.; Kalve, P.; Bhatnagar-Mathur, M.G.; Muszynski, M. Tadege (2016): *"Three FLOWERING LOCUS T-like genes function as potential florigens and mediate photoperiod response in sorghum."* New Phytologist. 210, 946–959.
- Xia, H.Y.; Zhao, J.H.; Sun, J.H.; Bao, X.G.; Christie, P.; Zhang, F.S.; Li, L. (2013): *Dynamics of root length and distribution and shoot biomass of maize as affected by intercropping with different companion crops and phosphorus application rates*. Field Crops Research. 150: 52-62.p.
- Xiao, D.; Li Liu, D.; Wang, B.; Feng, P.; Bai, H.; Tang, J. (2020): *Climate change impact on yields and water use of wheat and maize in the North China Plain under future climate change scenarios*. Agricultural Water Management. 238, 106238.
- Yahaya, M.A.; Shimelis, H.; Nebie, B.; Ojiewo, C.O.; Danso-Abbeam, G. (2022): *Sorghum production in Nigeria: Opportunities, constraints, and recommendations*. Acta Agriculturae Scandinavica, Section B—Soil and Plant Science, 72(1), 660-672. doi:10.1080/09064710.2022.2047771.
- Yao, Y.; Xuan, Z.; He, Y.; Lutts, S.; Korpelainen, H.; Li, C. (2007): *Principal component analysis of intraspecific responses of tartary buckwheat to UV-B radiation under field conditions*. Environ. Exp. Bot. (61) 237–245.
- Yasin, M.; Andreasen, C. (2016): *Effect of reduced oxygen concentration on the germination behavior of vegetable seeds*. Hortic. Environ. Biotechnol, 57, 453–461. doi:10.1007/s13580-016-0170-1.
- Yoshida, Y.; Kiyoshue, T.; Katagiri, T.; Ueda, H.; Mizoguchi, T.; Yamaguchi-Shinozaki, K.; Wada, K.; Harada, Y., Shinozaki, K. (1995): *Correlation between the induction of a gene for A-I-pyrroline-5-carboxylate synthase and the accumulation of proline in Arabidopsis thaliana under osmotic stress*. Plant J. 7: 751-760.
- Zhang, R.; Yue, Z.; Chen, X.; Huang, R.; Zhou, Y.; Cao, X. (2023): *Effects of waterlogging at different growth stages on the photosynthetic characteristics and grain yield of sorghum (Sorghum bicolor L.)*. Scientific Reports, 13(1), 7212.

8. Köszönetnyilvánítás

Munkám zárásaként köszönetet szeretnék mondani azoknak az embereknek, akik nélkül a tudományos dolgozatom nem jöhetett volna létre.

Először is meg szeretném köszönni Dr. Somfalvi-Tóth Katalinnak és Dr. Hoffmann Richárdnak, akiktől a munkám során sok szakmai tudást sajátíthattam el. Betekintést nyerhettem a kutatási tevékenységek ezen világába, ezzel is motivációt szerezve a további tanulmányaimhoz.

Köszönet illeti a Mamámat és a Testvéreimet a mérések során nyújtott kitartó segítségükért, valamint szüleimet a sok tanácsért és ösztönzésért, amit az évek során kaptam/kapok tőlük.

Külön meg szeretném köszönni Gerbovits Bálint barátomnak a munkám során kapott tanácsokat és támogatást. Bálinthoz a vizsgálatok elvégzése során, valamint a pályamunkám megírásakor is bizalommal fordulhattam tanácsért, mely sok esetben ösztönzőleg hatott.

Végül, de nem utolsósorban köszönettel tartozom a KWS Magyarország Kft.-nek akik az általunk felhasznált vetőmagokkal támogatták a kísérletünk sikeres kimenetelét.

Jelen TDK tevékenység megvalósulása a MATE „TDK- felkészülési ösztöndíj pályázat” című elnyert pályázat támogatta.

A KULTURÁLIS ÉS INNOVÁCIÓS MINISZTERIUM ÚNKP-23-2 KÓDSZÁMÚ ÚJ NEMZETI KIVÁLÓSÁG PROGRAMJÁNAK A NEMZETI KUTATÁSI, FEJLESZTÉSI ÉS INNOVÁCIÓS ALAPBÓL FINANSZÍROZOTT SZAKMAI TÁMOGATÁSÁVAL KÉSZÜLT.