

DOKTORI ÉRTEKEZÉS TÉZISEI

Jancsó Mihály

Gödöllő

2024



Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem

Növénytudományi Doktori Iskola

DOKTORI ÉRTEKEZÉS TÉZISEI

**DIHAPLOID VONALAK FELHASZNÁLÁSA A MAGYAR RIZS ÁLTALÁNOS
STRESSZTOLERANCIÁJÁNAK NÖVELÉSÉRE HAGYOMÁNYOS ÉS AEROB
TERMESZTÉSI RENDSZERBEN**

Az értekezés szerzője:

Jancsó Mihály

Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem
Környezettudományi Intézet
Öntözési és Vízgazdálkodási Kutatóközpont

Témavezető:

Prof. Dr. Pauk János

az MTA doktora, egyetemi magántanár
Gabonakutató Nonprofit Közhasznú Kft., Szeged

**Szarvas - Szeged
2024**

A doktori iskola

megnevezése: **Növénytudományi Doktori Iskola**

tudományága: növénytermesztési és kertészeti tudományok

vezetője: **Prof. Dr. Helyes Lajos**
egyetemi tanár, az MTA levelező tagja
Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem
Kertészettudományi Intézet, Doktori és Habilitációs Központ

Témavezető: **Prof. Dr. Pauk János**
az MTA doktora, egyetemi magántanár
Gabonakutató Nonprofit Közhasznú Kft., Szeged

.....
Az iskolavezető jóváhagyása

.....
A témavezető jóváhagyása

A MUNKA ELŐZMÉNYEI, CÉLKITŰZÉSEK

A magyar agrárium és növénynevelés különleges eleme a rizs (*Oryza sativa* L.). Ez a növény az emberiség egyik alapvető élelmiszere, termesztésének határa a déli szélesség 35 fokától, az északi szélesség 50 fokáig terjed, a tengerparti mocsaraktól a hegyvidéki területekig széles ökológiai körülményekhez alkalmazkodtak az egyes genotípusok. Magyarország a rizstermesztés északi határa Európában, ezért a növények számára marginális klimatikus adottságok meghatározzák a termesztendő rizsfajták körét. Hazánkban leginkább az időszakosan alacsony hőmérséklet, a talajok magas sótartalma és egyre inkább a nyári forróság csökkentheti a termés mennyiségét az abiotikus stresszfaktorok közül. Bár a rizstermesztés az árasztásos öntözés alkalmazása miatt előnyös, hiszen sekély vizes élőhelyt biztosít a legmelegebb nyári hónapokban. De világszinten kiemelten fontos cél az öntözővíz-felhasználás hatékonyságának javítása, a metán felszabadulás csökkentése és az aerob („szárazrizs”) termelési körülmények között termesztendő növények szárazságtűrésének fejlesztése is.

A rizsállományok evapotranspirációs értékei 500-800 mm között változnak a világon, és csak ritkán haladják meg az 1000 mm-t. Az öntözővíz-felhasználás viszont még Magyarországon is 1000 mm felett van, de vannak a Földön olyan vidékek, ahol ez az érték meghaladja a 3000 mm-t (Simonné Kiss and Ipsits, 1992). Mindezekből következik, hogy az összes felhasznált öntözővíznek a 35-45%-át használják fel a rizsföldeken (Bouman et al., 2006). Ezekből az értékekből is jól látszik, hogy az öntözővíz mennyiségének csökkentése rendkívül jelentős hatással járna.

Európában a világ rizstermő területeinek mindössze 0,4%-a található, amelynek 64%-án két ország osztozik (Olaszország 229,5 ezer ha; Oroszország 180,2 ezer ha). Az európai rizsfogyasztási átlag is viszonylag alacsony, mindössze 4,6 kg/fő/év. Magyarország jelenleg kis országnak számít a rizstermelő országok között, a hazai termelők valamivel több, mint 3.000 hektáron gazdálkodnak.

Magyarországnak az Európai Unióba történt felvétele után a hazai termelők és nemesítők egy nagyobb piacon, egy élesebb versenyhelyzetben kell, hogy helyt álljanak. A nagyobb rizstermesztő területekkel rendelkező (Kraehmer et al., 2017) és ezért tökeerősebb külföldi nemesítő cégek – elsősorban Olaszországból – új, korszerű fajtákat hoztak be a hazai termelők számára.

Ezek a rizsfajták időről időre kiemelkedő terméseredményeket nyújtanak a magyar termőterületeken is, azonban a hosszú távú termeszthetőségüket erősen befolyásolják a tenyészidőszak egészében, de különösen a kora tavaszi és kora őszi időszakokban bekövetkező lehűlések. A jelenlegi magyar nemesítésű fajtáknál hosszabb tenyészidővel rendelkező fajták esetében gyakori a minőségromlás, de akár a termés részleges vagy teljes elvesztése is. Mindazonáltal a klímaváltozás hazánkat is érintő előrejelzései alapján (IPCC, 2023) – az időjárási szélsőségek gyakoriságának növekedése ellenére – a melegedő klíma miatt a rizs termesztési feltételei javulhatnak a jövőben.

A legtöbb hagyományos növénynemesítési eljárás valamely populációban a nagyfokú változatosság kialakításán, majd az abból történő szelekción alapul. Klasszikus módszerekkel egy-egy új növényfajta csak hosszú évek, akár évtizedek alatt állítható elő. A hatékony doubled haploid (DH) vagy kettőzött haploid módszerek nagy előnye, hogy általuk a nemesítési program bármely szakaszában egy generáció alatt lehet homozigóta törzseket/vonalakat előállítani. Ezeket a módszereket a klasszikus nemesítésbe bevonva lerövidíthető egy fajta vagy hibrid szülőpartner nemesítési ideje.

Ez az idő pedig különösen fontos lehet akkor, amikor az új kihívásokra a lehető legrövidebb időn belül kell válaszolniuk a nemesítőknek. Az új génforrások (Jena, 2010) bevonása a nemzetközi kapcsolatokon keresztül hatékonyan megoldható nálunk is, azonban a legtöbb genotípus közvetlen felhasználása a tenyészidő hossza vagy a legtöbb esetben a fotoperiodusos érzékenységük miatt már falakba ütközik, ha nagyobb távolságokat szeretnénk áthidalni. A hazai keresztezések hatékonyságának növelése érdekében bevezettük a vákuumos kasztráló alkalmazását a Nemzetközi Rizskutató Intézet (IRRI) ajánlásai alapján (Jennings et al., 1979). Az elmúlt években nagyszámú, változatos genetikai háttérrel rendelkező szegregáló populációt hoztunk létre, amelyek termeszthetőségének teszteléséhez a tenyészkerti körülmények mellett üvegházi és kontrollált, mesterséges körülmények közötti szelekciós vizsgálatokat is indítottunk.

Kutató-nemesítő munkánk alapvető célja, hogy a hazai rizstermesztés és ezen keresztül a fogyasztók számára korszerű, kiváló minőségű rizsfajtákat hozzunk létre. Ehhez a hagyományos nemesítés eszköztára mellett a biotechnológia módszereit és a modern szelekciós lehetőségeket is felhasználjuk. Kísérleteinkben célul tűztük ki a hazai klimatikus körülmények között is hatékonyan alkalmazható genotípusok komplex vizsgálatát és a kiválasztás módszertanának fejlesztését mind a hagyományos, mind a víztakarékos (aerob) termesztési rendszerekben az alábbiak szerint:

1. A rendelkezésünkre álló magyar és nemzetközi **genotípusok általános stressztoleranciájának előzetes elemzése és azok keresztezéséből** olyan széles genetikai háttér kialakítása, amely lehetővé teszi a hatékony szelekciót a környezeti stresszekkel szemben ellenálló genotípusok kiválogatására.

A hazai rizs keresztezési módszer fejlesztése és automatizálása a **vákuumos kasztráló** berendezés alkalmazásával.

2. A jó válaszadó képességgel rendelkező rizsfajtákból és azok utódaiból az androgenezis indukciójával (portok kultúra) létrehozott **homogén (DH) törzseket integráljuk a rizsnemesítés folyamatába** és ezáltal növeljük annak hatékonyságát.
3. Indítsunk a DH törzsek felhasználásával **többéves szántóföldi kísérleteket a hagyományos és az aerob rizstermesztésben**, az eredményeket komplex teljesítményvizsgálatokban elemezzük.
4. Az aerob termesztéstechnológia fontos lehetőség a rizs víztakarékos termesztéséhez. Határozzuk meg a különböző **rizsfajták és fajtajelöltek tényleges vízfelhasználásában mutatkozó különbségeket** nagyméretű precíziós szántóföldi súlyliziméterek felhasználásával.
5. Az általános stressztűrésre vonatkozó tudományos eredményeinket használjuk fel a gyakorlat számára közvetlenül is hasznosítható **új, államilag elismert rizsfajták** nemesítésére.

ANYAG ÉS MÓDSZER

A magyar hagyományos rizsnemesítési program felépítése és a DH növények beillesztése a folyamatba

A kísérleteink megtervezése során alapvető célunk volt, hogy az új tudományos eredmények közvetlenül is felhasználhatóak legyenek a rizsnemesítési programunkban és ezáltal a gyakorlat számára is minél hamarabb elérhetővé váljanak.

A hagyományos keresztezési programunkban felhasználjuk a MATE KÖTI ÖVKI rizs fajtagyűjteményének legperspektivikusabb anyagait, azért, hogy a hazai körülmények között is hatékony, jó általános alkalmazkodóképességgel rendelkező vonalakat szelektálhassunk.

A hagyományos rizsnemesítés folyamata Magyarországon alapvetően a klasszikus Pedigree módszert követi, amely az öntermékenyülő növények esetében a legelterjedtebb nemesítési módszer. Alapvetően egy változatos kiinduló populáció felhasználásával több generáción keresztül történő egyedkiválogatásra épülő technika, amelynek során az egymást követő generációk során az állományok homogenitása nő és végül a törvényi előírásoknak megfelelő kiegyenlített populációk jönnek létre, amelyek alapjai lehetnek egy új fajta bejelentésének. Ez a folyamat a mérséklet éghővi rizstermesztés esetén, ahol egy évben egy generáció felnevelése lehetséges hagyományos módszerekkel, több évet (akár 9-10 év) is felölel. A gyorsan változó környezeti (klímaváltozás) és gazdasági (fogyasztói és feldolgozóipari igények) körülmények megkövetelik az előrelátó nemesítői tervezést és a folyamat lehetőségekhez mért rövidítését. Ennek több lehetséges módszere ismert, mint a több ökológiai környezetben végzett nemesítés (shuttle breeding), ahol akár a különböző kontinensek eltérő évszakaiban rejlő lehetőséget is ki lehet használni; a molekuláris markerek alkalmazása a hagyományos módon nehezen tesztelhető tulajdonságok (pl. beltartalmi értékek, illatosság) szelektálására; a generációgyorsítás (rapid generation advance, RGA) technikája és a DH technika alkalmazása a homogén vonalak előállítására.

A nemesítés folyamata esetünkben hagyományos módon, ivaros keresztezéssel előállított szegregáló populációk kialakításával indul. A szülőpárok felnevelésének, illetve a keresztezések kivitelezésének helyszíne a MATE ÖVKI Galambosi Rizskísérleti Telep Szarvason. Ez a telep Magyarországon egyedülálló módon, a rizs nemesítésére és a vetőmag előállítás folyamatára lett

kialakítva. Legfőbb jellemzője, hogy a hazai gazdaságokban általános kalitka méretétől jóval kisebb (átlagosan 2500-5000 m²) területeken folytatható a rizs tesztelése és felnevelése.

Az IRRI rizsnemesítési képzésén elsajátított ismeretek alapján 2015-ben megépítettük saját vákuumos kasztráló berendezésünket, amelynek segítségével a korábbiaknál lényegesen gyorsabban tudjuk keresztezni a kívánt tulajdonságokkal rendelkező genotípusokat. A széles genetikai háttérrel ehhez a munkához a MATE KÖTI ÖVKI rizs fajtagyűjteménye szolgáltatja.

Munkánk során a nemesítési folyamat különböző szintjein (F₁-F₆) az *in vitro* androgenezis felhasználásával dihaploid növényeket hoztunk létre a szegedi GK Biotechnológiai Laboratóriumában. A haploid előállítás kiindulópontja a megfelelő fejlettségi állapotban lévő portokok. Az *in vitro* androgenezis (portok- és mikrospóra tenyésztés) folyamatát és a szükséges feltételeket korábban részletesen ismertettük. A még nagy biztonsággal beérő rizs genotípusok természetes virágzási ideje Magyarországon július közepétől augusztus közepéig tart. A kísérletekhez a donor növényeket – kivéve az F₁ generáció esetében – a MATE ÖVKI Galambosi Rizskísérleti Telepén neveltük fel, korábbi hazai tapasztalatok alapján a szántóföldi körülmények között fejlődő, jó általános állapotban lévő egészséges növények esetében az *in vitro* portoktenyésztés hatékonysága magasabb, mint üvegházi vagy laboratóriumi nevelés esetében.

Az előállított zöld növénykéket február végéig *in vitro* körülmények között, tenyésztő kamrában nevelik, majd üvegházi akklimatizációt követően a nevelés folytatódik május végéig. A tenyészkeri kiültetésre ezután kerül sor Szarvason. A DH₀ generáció egyedi növényeit előzetes szelekciónak vetjük alá, ahol a célunk a közvetlenül szelektálható tulajdonságok (pl. szálkasság, szemtípus, növényhabitus, növénymagasság, megdőlés, koraiság, rezisztencia, stb.) alapján az állomány előszűrése. A hatékonyabb növénynevelés érdekében a MATE ÖVKI Liziméter Telepen kialakítottunk egy kisebb méretű (300 m²), időszakos árasztásra alkalmas kalitkát, ahol a lehető legtovább tudjuk a növényeket nevelni a minél nagyobb mennyiségű magfogatás érdekében. A növényhabitus, a bugák és a szemek formája, valamint a fertilitás mértéke alapján ekkor történik a növények ploidia fokának szántóföldi ellenőrzése is.

A haploid (n) rizs növények magassága az azonos eredetű diploid növényekhez mérten alacsonyabb, a bugák mérete kisebb és a legfontosabb, hogy a bugák fertilis szemeket nem tartalmaznak. A növények megjelenését emellett jelentősen meghatározza, hogy több oldalhajtsást fejlesztenek (akár 30-40 db/tő), mint a diploid és a tertaploid növények (1. ábra).

A tetraploid ($4n$) növények nemesítési lehetőségeit egyre nagyobb figyelem övezi világszerte, azonban számos olyan tulajdonsággal rendelkeznek, amelyek felhasználásukat mindeddig akadályozta. A tetraploid rizs növények hasonlóak vagy magasabbak, mint a diploidok. Sok esetben a szárszilárdságuk gyengébb, ezért általános a megdőlés veszélye a tenyészidőszak során. Az oldalhajtások száma általában hasonló vagy kevesebb, mint a diploidoké. A bugákban általában kevesebb szem található, a sterilitás foka jelentős, de a fertilis szemek mérete meghaladja a diploid növények szemméretét. Gyakori a szálkasság, ami a hazai termesztésben hátrányos tulajdonság.

A nemesítés számára jelenleg gyakorlati jelentősége a diploid ($2n$) növényeknek van, amelyek közül kiválaszthatjuk a termelési gyakorlatnak és a fogyasztói igényeknek megfelelő genotípusokat.



1. ábra Tetraploid (A), diploid (B) és haploid (C) DH_0 növények bugáinak összehasonlítása a tenyészkertben (Szarvas, 2019)

A DH_1 generáció esetében a vetőmagmennyiség általában már lehetővé teszi a mikro parcellás vizsgálatok indítását. Ez a programunk esetében árasztott és aerob körülmények között is 1,5 méteres sorokat jelent 2-3 ismétlésben. A nagy mennyiségű genotípusszám, a keveredés csökkentése és egyes vizsgálatok (pl. felszínhőmérséklet elemzés) levélfelületigénye miatt az egyes ismétlések általában közvetlenül egymás mellé kerülnek. Ebben a generációban az általános szelekciós felmérések mellett előzetes termés és minőségvizsgálatokat tudunk elvégezni.

A DH₂₋₃ generációkban több ismétléses, kisparcellás teljesítmény összehasonlító vizsgálatokat végzünk elsősorban hagyományos körülmények között a korábban legjobbnak értékelt törzsekkel. Az új genotípusok agronómiai jellemzőit és általános stressztoleranciáját a legnagyobb területen termesztett rizsfajtákhoz, illetve a szülő genotípusokhoz hasonlítjuk. Az értékelés alapja a komplex vizsgálati módszerünk, ahol a kiemelkedő termésmennyiség, a magas harvest index, a hazai körülmények között is biztonságos virágzási idő és az intenzív termesztési körülményekre való alkalmasság kiemelt szerepet kap.

A vizsgálatokhoz a rendelkezésünkre álló mérőműszereket (CI-710s levél spektrométer, Testo 885 hőkamera, SSR1 SunScan, talajnedvesség mérő szenzorok, stb.) használtuk fel. Ezek segítségével a genotípusok tápanyaghasznosítási hatékonyságát, valamint szárazság- és hidegtűrési jellemzőit is leírhatjuk. A szárazságtűrési képesség meghatározásánál egyszerű, a nemesítésben is könnyen használható élettani vizsgálatokat használunk (pl. IRRI SES értékelés, relatív víztartalom meghatározása).

A kísérletekhez felhasznált növényanyag

A kísérleteink végrehajtásához alapvetően a MATE KÖTI ÖVKI rizs fajtagyűjteményére támaszkodtunk. A gyűjteményben szerepel a legtöbb Magyarországon korábban honosított vagy nemesített rizsfajta (pl. Dunghan shali, Kákai 203, Oryzella, Sandora), számos világszinten elismert kontroll genotípus (pl. Nipponbare, M202, Mangala) és további, a világ számos országából származó vonal.

A munkánk során számos genotípust teszteltünk annak érdekében, hogy a DH előállítás hatékonyságát növelni tudjuk és a továbbfejlesztett módszertant eredményesen alkalmazzuk keresztezett növények utódgeneráción is. Az értekezés érdemi részét a korábbi előkísérletekben kiválasztott rizsfajták és azok ivaros keresztezése után előállított DH törzsek szántóföldi alkalmazkodóképességének részletes elemzése teszi ki.

Öt olyan genotípust emelhetünk ki, amelyek a legfontosabbak voltak a kísérletek kivitelezése és az ivaros keresztezések, majd az androgenezis indukciójával előállított DH törzsek létrehozásában (Dáma, Marilla, IRAT 109, Sandora, SZV Tünde).

A Dáma vagy a nemzetközi szakirodalomban HSC-2 néven jegyzett rizsfajta 1992-ben kapott állami elismerést Magyarországon, mint az első biotechnológiai eszközök felhasználásával

előállított növényfajta. Állami elismerését a termelésben betöltött egyre csökkenő szerepe miatt visszavonták. A Dáma a hazai körülmények között a hosszú tenészedejű fajták között szerepelt. Kiemelkedő terméseredményekre képes, de tápanyagreakciója kedvezőtlen és főleg nagyobb dózisú nitrogén kijuttatás hatására megdőlésre hajlamos. Járványos barnulás rezisztenciája és jó általános stressztűrő képessége miatt azonban értékes génforrás, bár az árasztás nélküli körülmények között nem versenyképes. Több keresztezésben felhasználtuk (pl. 1087 keresztezési kombináció). Az SZV Tünde új rizsfajtánk is a Dáma és a GB2005 genotípus keresztezéséből származik.

A Marilla egy korábbi fajtajelölt, amely Simonné Dr. Kiss Ibolya gyűjteményéből származik. Hosszú szemű, korai genotípus, amellyel a nemesítői cél a Risabell fajtához hasonló minőségű, de annál lényegesen koraibb anyag előállítása volt. Az előzetes vizsgálatok alapján a Marilla aerob körülmények között, vízhiány hatására az egyik leghamarabb aszály tüneteket mutató stresszérzékeny genotípus. Vizsgálatainkban szárazságérzékeny kontroll genotípusként, illetve szülőpartnerként használtuk fel (pl. 1080 keresztezési kombináció).

Az IRAT 109 Elefántcsontpartról származó genotípus, amely Brigitte Courtois (CIRAD, Montpellier) jóvoltából került a gyűjteményünkbe. A magyar éghajlati viszonyok között kései rizsfajta, amely azonban rendkívül hatékonyan használja fel a rendelkezésére álló vízkészleteket. Erőteljes a gyökérféjlesztése és a rendelkezésünkre álló génforrások közül az egyik leginkább szárazságtoleráns anyag. Vizsgálatainkban szárazságtűrő kontroll genotípusként, illetve szülőpartnerként használtuk fel (pl. 1080 és 1087 keresztezési kombinációk).

A Sandora vagy a nemzetközi szakirodalomban HSC55 néven jegyzett rizsfajta 1993-ban kapott állami elismerést Magyarországon, majd a termelésben betöltött egyre csökkenő szerepe, illetve a hasonló minőségi tulajdonságokkal bíró, de kedvezőbb agronómiai alkalmazhatósággal jellemezhető Janka rizsfajta elismerése miatt az állami elismerését visszavonták. Kiemelkedő szerepe abban rejlik, hogy mind a Simonné Dr. Kiss Ibolya és munkatársai által kifejlesztett Sanoryza árasztás nélküli rizstermesztési rendszerben, mind a nemzetközi nemesítési és kutatási programokban sikeresen alkalmazták koraisága és kiemelkedő hidegtűrési tulajdonságai okán.

Az SZV Tünde a MATE KÖTI ÖVKI legújabb államilag elismert rizsfajtája (2021). A fajta a mérséklet égövi *japonica* rizsek közé tartozik. A tenészedőszak hossza alapján Magyarországon a közepes-késői csoportba tartozik. A magassága 75-80 cm és rezisztens a járványos barnulás Magyarországon előforduló törzseire. Kiemelhető ezek mellett, hogy termőképessége kiemelkedő a magyar rizsfajták között, korábbi kísérletek alapján kisparcellás

feltételek mellett a termése meghaladja a 7 t/ha értéket, de egyes gazdaságokban 10 t/ha feletti értékeket is mértek.

A portok eredetű DH törzsek több rizsfajta, illetve keresztezési kombinációk utódgenerációiból származtak. A DH törzsek előállítására a szegedi Gabonakutató Nonprofit Kft. Biotechnológia Laboratóriumában került sor Dr. Pauk János és Dr. Lantos Csaba vezetésével. Az ott felnevelt homogén DH növényeket és az azokból származó törzseket Szarvason, árasztott körülmények között szaporítottuk fel. A törzsek egyszerű fenotípusos szelekcióján túl, amikor a szálkás és a megdőlésre hajlamos anyagokat eltávolítottuk, nem történt jelentős kiválogatás.

A vizsgálataimban felhasznált kombinációk az 1009 (Köröstáj 333/Nembo), a Tünde (Dáma/GB2005), az 1080 (Marilla/IRAT 109) és az 1087 (Dáma/IRAT 109) voltak.

Az 1080 és 1087 DH törzsekkel a MATE ÖVKI Liziméter Telepén 2022-ben és 2023-ban, aerob (árasztás nélküli) körülmények között állítottunk be mikroparcellás kísérletet. A részletes vizsgálatokhoz 18 darab véletlenszerű kiválasztással meghatározott 1087 kombinációból származó DH törzset használtunk fel, amelyek 1_28, 2_22, 2_35, 2_40, 3_30, 3_57, 3_8, 4_3, 4_43, 4_60, 6_26, 6_33, 6_46, 6_49, 7_70, 8_33, 8_40 és 8_55 megjelöléseket kapták.

A hagyományos termesztési körülmények között végzett kísérletek bemutatása

A rizstermesztés hagyományos helyszíne a beépített rizstelep, amelynek főbb elemei a gátaakkal körülvett szántó és az oda vizet szállító öntözőcsatornák és a víz elvezetését szolgáló lecsapoló csatornák. A vízszint szabályozását a műtárgyak (egyszerű tiltók) nyitásával és zárásával tudjuk szabályozni. A szántóterület legfontosabb jellemzője a lehetőségekhez mérten egységes terepszint, hogy az árasztóvíz mélysége a terület egészen egységesen szabályozható legyen. Minderre azért van szükség, hogy az öntözővíz egységesen, a növényállomány fejlettségi állapotának megfelelő mélységben biztosítható legyen a teljes területen.

A hagyományos termesztési környezetben folytatott kísérleteink helyszíne a MATE ÖVKI Galambosi Rizskísérleti Telep volt Szarvason. A telep teljes területe 20 hektár, amelyből 15 hektár a berendezett rizstelep. Az öntözési lehetőségek szabályozása miatt a terület két nagyobb egységre osztható, egy 10 hektáros részre és egy 5 hektáros részre. Ezek használata évről évre váltakozik. A telep Magyarországon egyedülálló módon, kisparcellás körülmények között teszi lehetővé a rizzzel kapcsolatos kutatási és vetőmagelőállítási feladatok elvégzését.

A DH₂₋₃ összehasonlító kísérleteket a MATE ÖVKI fajtafenntartásban alkalmazott B-törzs kísérleti parcellák méretében (3,6 m²) vetettük el. Törzsenként 4 ismétlésben.

Előkísérletek az aerob termesztetőségre alkalmas törzsek szelekciójára

A kutatási program kezdeti fázisában számos előkísérletet végeztünk. Ezek alapvetően a már államilag elismert rizsfajták közötti szárazságtűrésben megnyilvánuló különbségek kimutatását, illetve a kutatásban használt módszerek összehasonlítását szolgálták.

Az üvegházi összehasonlító tesztek elvégzésére Szegeden, a GK üvegházában került sor. Ekkor az ott felépített komplex stresszdiagnosztikai rendszert, illetve kis méretű zárható tenyészedenyeket használtunk a korábban kiválasztott két rizsfajta, a Sandora és a Marilla tulajdonságainak összehasonlítására. A megszerzett tapasztalatok, illetve Simonné Dr. Kiss Ibolya tesztjeinek eredményeként (nem publikált adatok) kisparcellás szántóföldi összehasonlító kísérleteket indítottunk aerob termesztési körülmények között.

A tesztek során kidolgoztuk a termesztéstechnológia legfontosabb lépéseit és a szárazságtűrés összehasonlítására kiválasztott legfontosabb módszereket is (SES, RWC, WUE).

Az aerob termesztési körülmények között végzett kísérletek bemutatása és az alkalmazott termesztéstechnológia

Kísérleteinket a MATE ÖVKI Liziméter Telepén (46°51'44.7"É 20°31'35.5"K, 81 m) árasztás nélküli, aerob (korábban „szárazrizs” elnevezésű) rizstermesztési rendszerben végeztük. E technológia előnye a szelekció során, hogy a vízhiány mellett, az alacsony hőmérséklet negatív hatásai is fokozottan érvényesülnek. A technológia kritikus pontjai az egyenletes vetés, a hatékony gyomirtás és a növények igényéhez szabott öntözés biztosítása. Az abiotikus stresszekkel szembeni tolerancia fokozása kiemelt nemesítési célunk, hiszen hazánkban a rövid tenyészidőszak, a változékony időjárás (hideg periódusok a korai vegetatív és a generatív szakaszban) és a gyengébb termőhelyi adottságok (erősen kötött, szikes talajok) miatt elsősorban e stressz faktorok csökkenthetik a termelés hatékonyságát.

A mikroparcellás összehasonlító kísérleteinkben csepegtető öntözéssel biztosítottuk a vízellátást. Az öntözővíz forrása a Holt-Körös volt, amely az elemzések alapján kiválóan megfelel

öntözési célokra. A sortávolság 25 cm, a tőtávolság 2-3 cm volt. A talaj nedvességtartalmát SM300 (Delta-T Devices, Cambridge, Egyesült Királyság) talajnedvesség- és hőmérsékletmérő érzékelőkkel követtük nyomon. A törzsek kézi aratása, cséplése, tisztítása (LD 350, Wintersteiger AG, Ried im Innkreis, Ausztria) és szárítása után a terméseket laboratóriumi körülmények között (THU laboratóriumi hántoló és csiszoló, Satake, Japán) vizsgáltuk a rizs esetében legfontosabb malomipari tulajdonságokra (hántolt barna rizs (%), egész és tört csiszolt fehér rizs (%)).

Szelekciós módszerek a DH törzsek szárazságtűrésének meghatározására aerob körülmények között

A legfontosabb tulajdonság az aerob körülmények közötti termeszethetőség szempontjából az időszakos vízhiány tolerálása, amely befolyásolja az alkalmazott szelekciós módszereket is. A legegyszerűbb ilyen módszer a korai vegetatív fejlődés periódusában a levelek sodródásának és elhalásának felvételezése. Az IRRI által kifejlesztett egységes értékelési skála alapján a legtoleránsabb genotípusok (0) nem mutatnak a vízhiányra utaló tüneteket, a levéllemez ép. A legérzékenyebb növények esetében pedig a levelek teljesen összesodródznak és elhalnak (9).

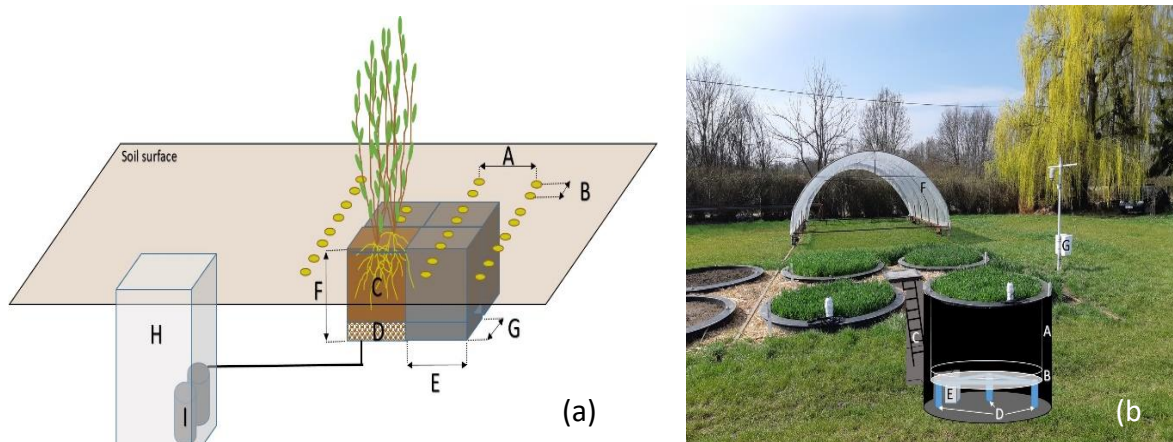
A felszínhőmérséklet vizsgálatát sikeresen alkalmazták rizs esetében is a vízhiány kimutatására aerob termesztés és AWD esetén is. Mivel azonos időjárási viszonyok között a levélfelszín hőmérséklet alapvetően a genotípustól, a rizstermesztés módjától és az esetlegesen kialakuló vízhiánytól függ, ezért alkalmas lehet nagyméretű nemesítési anyagok esetében a szárazságtűrés fokának meghatározására. Esetünkben a levélfelszín hőmérséklet különbségek meghatározására a különböző években a nyár folyamán került sor, amikor a természetes csapadék hiánya lehetővé tette a szelekciót, egy-egy legalább 7 napos vízmegvonást követően, amikor a nappali hőmérséklet maximuma meghaladta a 30°C-t. A vizsgálatokra Testo 885 hőkamerát (Testo SE & Co. KGaA, Titisee-Neustadt, Németország) használtunk. Az adatok kinyerésére minden esetben a gyártó által biztosított szoftvereket alkalmaztuk.

A vízhiány fokának meghatározására az egyszerűen és így nagy növényanyagon is alkalmazható relatív víztartalom meghatározást (RWC) követtük, amely közvetlen adatokat szolgáltat a növények vízellátottságáról. González és González-Vilar protokollját követve az alábbiak szerint számoltuk ki az RWC értékét (González and González-Vilar, 2001):

$$RWC = \frac{\text{friss tömeg (g)} - \text{száraz tömeg (g)}}{\text{víztelített (turgescens)tömeg} - \text{száraz tömeg}} * 100$$

A rizs vízfelhasználásának és szárazságtűrésének vizsgálata nagyméretű súlyliziméterekben

A MATE ÖVKI Liziméter Telep 1971-ben kezdte meg működését, és legutóbb 2018-ban esett át jelentős, a műszereket is érintő felújításon. Az egy hektáron elterülő telepen 320 darab,



2. ábra Gravitációs liziméter (a) és súlyliziméter (b) vázlatos bemutatása. a/A-B: sor/tőtávolság, C: talajoszlop a liziméterben, D: kavicsréteg, E-G: liziméter szélesség (1m), F: liziméter magasság (1m), H: mérőpince, I: gyűjtő/kiegyenlítő edény; b/A: talajoszlop a súlyliziméterben, B: kavicsréteg, C: mérőpince, D: tömeg-mérőcellák, E: gyűjtőedény, F: mozgatható esőárnyékoló, G: meteorológiai és talajfizikai mérőállomás

nagyméretű gravitációs/kompenzációs liziméter található, amelyek 5 mérőpincéhez csatlakoznak, így ez Európa legnagyobb ilyen jellegű kutatási infrastruktúrája (lysimeter.at). Egy-egy gravitációs liziméter térfogata 1 m³, amelynek 80%-át a vizsgált talajoszlop tölti ki, ami egy 10 cm-es kavicsrétegen nyugszik a rendszeren esetlegesen átfolyó víz precíz összegyűjtéséhez. A gravitációs/kompenzációs liziméterek segítségével a szántóföldi körülményekhez hasonlóan, de részben zárt – így pontosan nyomon követhető módon – lehet vizsgálni a különböző anyagok mozgását a talajban és felvételüket a liziméterekbe telepített növényekben (pl. tápanyagok, növényvédő-szerek, nehézfémek, stb.). A liziméterek egyedi mérőedényekhez csatlakoznak a mérőpincékben, amelyek segítségével a szivárgó víz összegyűjthető és mennyisége, valamint minősége meghatározható. A talajnedvesség nyomonkövetésével korlátozott módon, de ezek a rendszerek is alkalmasak az evapotranspirációs vizsgálatokhoz, amely mérések pontosságát modern szenzorokkal és a liziméterek kompenzációs rendszerben való használatával javíthatunk.

A MATE ÖVKI Liziméter Telepen 320 db gravitációs/kompenzációs liziméter mellett megtalálható 8 db nagyméretű (2,7 m² felület, 1,2 m mélység) precíziós súlyliziméter (Type S 6048, Metrisystems Kft.), amelyeket 2018-ban, egyedi tervezés alapján építettek fel (2. ábra). A súlyliziméterek segítségével 100 g felbontásban (0,05% pontossággal) lehet nyomon követni a tömegváltozást, amely lehetőséget ad az evapotranspiráció pontos mérésére és ezáltal a növények vízigényének precíz meghatározására. Az automatikus adatgyűjtés gyakoriságát 1 órában határoztuk meg, az adatok tárolását az EMX100 típusú elektronikus tömegmérő főegység Windows PC alapú egyedi szoftvere végzi.

A súlyliziméterekben a talajoszlopokat feltöltéssel hoztuk létre 2018-ban. A feltöltésre agyagos vályog fizikai féleségű talajt alkalmaztunk, amelynek legfontosabb paramétereit az 1. táblázat mutatja be. A talaj mélysége 100 cm, amely alatt egy 10 cm-es kavicsréteg helyezkedik el az esetlegesen kialakuló szivárgó víz összegyűjtésére. A talajoszlopon átszivárgó víz egy-egy tartályban gyűlik össze a mérőpincében. A referencia ET meghatározásához egy súlyliziméterben gyeppel, egy súlyliziméterben növényzetmentes talajfelszínt tartunk fent.

1. táblázat A súlyliziméterekben alkalmazott talaj főbb jellemzői a kísérletek kezdetekor (Szarvas, 2020)

	pH (H ₂ O)	K _a (cm ³)	Összes oldható só (%)	Mész (%)	Humusz (%)	N (KCl) mg/kg	P (AL) mg/kg	K (AL) mg/kg
Átlag	7,34	42	0,045	2,57	2,16	14,9	362,2	365,2
szórás	0,1	2,4	0,007	0,68	0,25	11,95	85,91	73,05

Az ET_c és K_c meghatározás módszere és a környezeti körülmények jellemzése

Az értekezésben két ET_c meghatározásra irányuló kísérletet mutatok be. A vizsgálatokra az SZV Tünde rizsfajtaival 2020-ban került sor, míg három kontroll fajtaival (Dáma, Marilla, IRAT 109) 2022-ben dolgoztunk természetes időjárási körülmények között. Mivel az SZV Tünde ET meghatározással kapcsolatos eredményeket részletesen is ismertetem, ezért ennek az évnél az időjárási körülményeit is részletesen bemutatom az adatok könnyebb értelmezése érdekében.

A meteorológiai adatok gyűjtésére a MATE ÖVKI Liziméter Telepen elhelyezett automata meteorológiai mérőállomás (Agromet Solar, Boreas Kft., Érd) szolgált. A tenyészidőszak során a csapadék mennyisége 460,9 mm volt. A referencia evapotranspiráció (ET_o) értékek kiszámítására a napi átlaghőmérséklet (°C), a napi átlagos relatív páratartalom

(RH%), az átlagos szélsősebesség (m/s) és a napi besugárzás (MJ/m²/nap) szolgáltak. Az adatok gyűjtése 10 perces gyakorisággal történt, majd ezekből az alapadatokból kiszámítottuk az óránkénti és napi átlagokat és összegeket.

Az ETo kiszámítására az EToCalculator 64bit 3.2 verziószámú szoftvert (FAO) használtuk, ami a Penman-Monteith egyenlet alapján a meteorológiai adatok felhasználásával adja meg az ETo értékét (Raes, 2012). Az ETo és az ETc értékeit 5-napos átlagokban adtuk meg, hogy a nagyobb napok közötti változásokat kiegyenlítsük és áttekinthetőbbek legyenek az adatsorok. Ezek alapján határoztuk meg az aerob rizs különböző fejlődési állapotaihoz köthető ETc értékeket, valamint számítottuk ki a növényi koefficiens is.

A növényi koefficiens kiszámításánál a kezdeti fejlődési szakasz (K_{Cini}), az intenzív fejlődési szakasz (K_{Cmid}), valamint a tenyészidőszak végének (K_{Cend}) értékeit Allen et al. (1998) munkája alapján számítottuk ki (Allen et al., 1998)

$$Kc = \frac{ETc}{ETo}$$

ahol a Kc a növényi koefficiens, az ETc az aktuális evapotranspiráció, míg az ETo a referencia evapotranspiráció értéke a tenyészidőszak vizsgált szakaszában.

A növények általános állapotának jellemzése levélspektroszkópia segítségével vízhiányos környezetben

A vizsgálatainkat 2021-től kiegészíthettük egy CI-710s típusú hordozható levélspektrométerrel (CID-Bioscience, USA). A fényelnyelés, a transzmittancia és a reflektancia mértékét 400-1100 nm-es tartományban határoztuk meg genotípusonként minimum 10 ismételtsben. E dolgozatban az előzetesen kiválasztott 18 db DH törzs jellemzőit mutatom be egy hosszabb vízmegvonás utáni mérés (2022. augusztus 3.) eredményein keresztül. Több általánosan elterjedt indexet (CCI, CNDVI, CRI 1, DCNI, IAD, PRI, SPAD és WBI) is kiszámítottunk a rendelkezésünkre álló adatokból, majd a statisztikai elemzést követően úgy találtuk, hogy a PRI, CRI 1 és CCI indexek mutattak jelentős különbségeket az egyes genotípusok és kezelések között, ezért azok részletes bemutatásra kerülnek.

A fotokémiai reflektancia-indexet (PRI) a következő képlettel számoltuk ki: $PRI = (R_{531} - R_{570}) / (R_{531} + R_{570})$ (Gamon et al., 1992), ahol az R_n érték a reflektancia mért értéke az n nanométer mérési tartományban.

A karotinoid tartalomra utaló karotinoid reflektancia-indexet (CRI 1) (Gitelson et al., 2001) alapján határoztuk meg: $CRI\ 1 = (1/R_{510}) - (1/R_{550})$, ahol az R_n érték a reflektancia mért értéke az n nanométer mérési tartományban.

A klorofill tartalom indexét a transzmittancia értékek alapján, a $CCI = T_{931}/T_{653}$ képlettel számoltuk (Parry et al., 2014), ahol a T_n érték a transzmittancia mért értéke az n nanométer mérési tartományban.

A kísérletek statisztikai értékelése, az eredmények ábrázolása

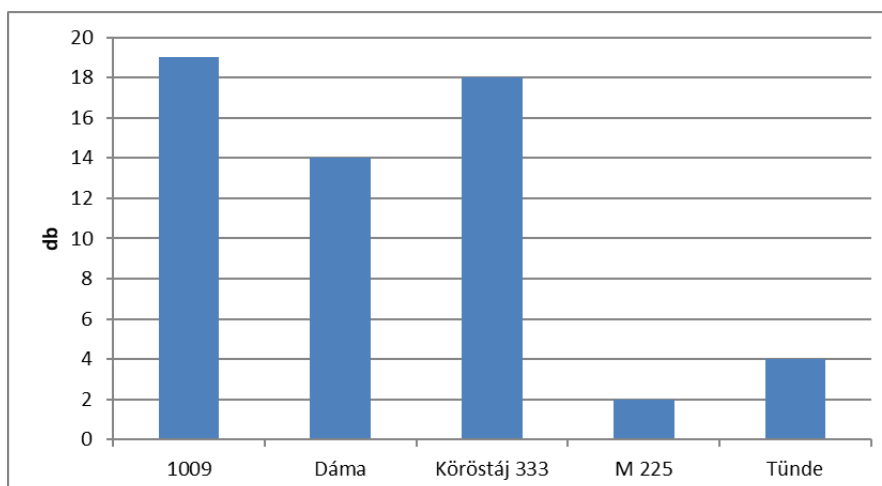
Valamennyi kísérlet esetében az adatgyűjtés módszerétől függetlenül a begyűjtött adatokat táblázatokban összegeztük, amelyek létrehozására és az azokban elvégzett egyszerű matematikai műveletek elvégzésére a Microsoft Excel Professional Plus 2021 programot alkalmaztuk. Az értekezésben közölt diagrammok és táblázatok ugyancsak ezzel és a Microsoft PowerPoint Professional Plus 2021 szoftverrel készültek.

Az eredmények ellenőrzésére, ahol az adatmennyiség azt lehetővé tette, ott statisztikai elemzéseket végeztünk, amelyhez az IBM SPSS Statistics 22 szoftvert használtuk. Az adatok normál eloszlását ellenőriztük (szóráshomogenitás – Levene teszt), majd az egyes genotípusok, illetve a kezelések közötti különbségeket varianciaanalízissel határoztuk meg (ANOVA). A genotípusok közötti különbségek meghatározására Tukey Post Hoc tesztet használtuk. Ennek eredményeit az ábrákon az oszlopok felett feltüntetett kis- és nagybetűk mutatják, ahol a különböző betűk szignifikánsan eltérő értékeket jelölnek. Az egyes vizsgálati paraméterek közötti lineáris összefüggések vizsgálatára a Pearson korreláció módszerét alkalmaztuk.

EREDMÉNYEK ÉS MEGVITATÁSUK

A DH törzsek előállításának hatékonysága és felhasználásuk a nemesítési programban

Egy nemesítési módszer általános alkalmazhatóságát jelentősen befolyásolja a hatékonysága és a kivitelezés munkaigénye és egyéb költségei. A munkánk során ezért először több különböző genotípussal kezdtünk el dolgozni az *in vitro* DH előállítás hatékonyságának javításán, hogy a későbbi kísérleteink során nagy mennyiségű DH növényt tudjunk előállítani a tervezett keresztezési kombinációk utódgenerációiból kiindulva. A kezdeti időszakban a DH előállítás laboratóriumi fejlesztése közben túlnyomórészt hagyományos módon előállított rizsfajtákkal, kisebb részben korábbi keresztezések különböző fokú utódgenerációival dolgoztunk, mindaddig, amíg a megfelelő szegregáló populációkat előállítottuk az ivaros keresztezések során.



3. ábra Spontán diploidok azonosítása a kísérletek korai szakaszában a tenyészkertben (Szarvas, 2017)

A tenyészkerti ellenőrzések 2017-ben még viszonylag alacsony számú spontán kialakuló diploidot mutattak a DH₀ generációban (3. ábra). Összesen 57 darab fertilis növényt azonosítottunk, amelyek közül 19 db az 1009-es kombinációból (Köröstáj 333/Nembo), míg 4 db a Tünde nevű F₈ generációban lévő törzsből, a később államilag elismert fajtából származott. Az erős genotípus függőséget mutatta, hogy míg a Dáma és a Köröstáj 333 rizsfajták esetében 14 és 18 db fertilis DH növényt azonosítottunk, addig az M 225 fajta esetében mindössze 2 db-ot.

A DH növények számának növelése érdekében a szegedi laboratóriumban kolhicin kezelést végeztünk az ott már azonosított haploid növényeken, amelynek eredményeként sikerült növelni a későbbi tesztekben felhasználható fertilis növények számát. A Bioryza H, az M 488, az

M 60 és az M 225 rizsfajták esetében a kezelés ellenére sem voltak fertilis növények, míg az 1009, a Dáma, a Karola és a Tünde esetében alacsony hatékonyságot értünk el. Egyedül a Köröstáj 333 haploidok kezelése hozott eredményt, ahol a spontán diploidok mellett előállítottunk további 36 db fertilis növényt.

A kezdeti eredményekből is látszik, hogy a módszer hatékonyságát fejleszteni kellett, hogy a nemesítési gyakorlatban már érdemben felhasználható nagyságrendben álljanak a DH törzsek rendelkezésünkre. Ezt a feladatot a laboratóriumi kísérletek sorának lefolytatásával később sikerrel elvégezte a szegedi kutatócsoport (Lantos et al., 2022).

Évről évre nőtt az androgenezis indukciójával létrehozott DH növények száma. A 2019-es évben kiültetett növények eredményei már azt mutatják, hogy a vizsgált genotípusok esetében az előállítás hatékonysága jelentősen megnőtt. Két fajta esetében a spontán diploidok aránya meghaladta az 50%-ot. A Dáma esetében 57,9%, a Karola esetében 52,9% volt ez az arány, bár az előállított növények száma alacsony volt. A három ivaros keresztezésből származó genotípusnál, különösen az 1009 kombináció (444 db) és a Mirko/Karola (531 db) esetében az előállított zöld növények száma jelentős volt, amelyek 38,1 és 44,1%-a volt fertilis.

A fejlesztések eredményeként 2020-ban már 1412 db növény került a szarvasi tenyészkert DH₀ kalitkájába (2. táblázat). Ez a növényszám már megfelelő háttérrel biztosított nemcsak a nemesítési feladatok hatékonyabb elvégzéséhez, hanem a későbbi aerob körülmények között végzett szárazságtűrési vizsgálatok kivitelezéséhez is.

2. táblázat A DH₀ tenyészkertbe kiültetett növények szántóföldi ploidfok ellenőrzése alapján történő felosztása (Szarvas, 2020)

Ploidfok	Haploid	Diploid	Tetraploid	Mixoploid	Összesen
Mennyiség (db)	710	600	80	22	1412
Arány (%)	50,3	42,5	5,7	1,6	100

A teljes DH₀ populációban a haploid növények aránya továbbra is magasnak mondható (50,3%), de ezen az arányon a kolhicinkezelés hatékonyságának növelésével tovább lehet javítani. A nemesítési felhasználás szempontjából lényeges diploidok aránya elérte a 42,5%-ot, amely 600 db DH növényt jelentett. Ez a nagyságrend egy közepes méretű nemesítési program számára már megfelelő biztonsággal képes a későbbi szelekciós eljárásokban sikerrel felhasználható, előnyös tulajdonságokkal rendelkező törzseket biztosítani. Az előállított növények kisebb része (5,7%) a tetraploidok jellemzőit mutatták (magasabb növények, nagy ezerszemtömeg és részleges fertilitás

a bugán belül) a szántóföldi ellenőrzések során. Ezek a hagyományosan alacsony fertilitással rendelkező növények az utóbbi időben egyre nagyobb figyelmet kapnak a rizsnemesítésben is, a bennük rejlő fejlesztési potenciálnak (nagy szemméret, nagy ezerszemtömeg, erős szár) köszönhetően, amelyet kutatócsoportunk is intenzíven vizsgál az elmúlt időszakban.

Előszelektált DH törzsek teljesítményének összehasonlítása hagyományos termesztési körülmények között

A DH₀ generáció növényeit egyszerű szelekciónak vetettük alá, ahol kiszűrtük a termelés és a feldolgozóipar számára nemkívánatos habitusú (80 cm-nél magasabb növény, kései) és szemtípusú (szálkásság) növényeket. Ez a feladat lényeges lépés azért, hogy a DH₁ generáció törzseit kezelhető és gazdaságos méretű kísérletekben lehessen összehasonlítani.

A DH₁ generációk szűrése folyamatos a nemesítési programunkban, ennek a lépésnek a bemutatására a 2018-as mikroparcellás kísérletünk eredményeit mutatom be. Ekkor már a fertilis DH törzsekből elegendő növény áll rendelkezésünkre összefüggő sorok vetésére több ismételtsben (általában 3 sor/DH törzs).

A termelési gyakorlatban az egyik legfontosabb tulajdonság a termésmennyiség, amely meghatározza a termelés gazdaságosságát. A DH₀ generációban a hagyományos nemesítés eszközeivel nehéz megbecsülni a későbbi terméseredményeket, ezt jól mutatja, hogy a kontroll fajták átlagához viszonyítva a DH törzsek 37,9%-a alacsonyabb terméseredményeket mutatott.

A DH₁ törzsek terméseredményei és a szántóföldi felmérések alapján a legjobb törzsekkel további kisparcellás teljesítmény összehasonlító kísérleteket indítottunk az elmúlt években (3. táblázat). A szántóterületek korlátozott elérhetősége miatt a négy ismétléses vizsgálatokba csak az előzetesen legjobban teljesítő DH törzsek kerülnek be, ez kombinációként ma már általában csak 2-3 törzset jelent.

A kísérletekben a nemesítési céloktól és a kiinduló szülőpároktól függően, valamint a hazai termőterületi részarány alapján választjuk ki a kontroll fajtákat. A 2018-as összehasonlító kísérletben ez a három kontroll fajta a Janka, az M 488 és az M 225 voltak. A termelési gyakorlatban elérhető terméseredményekhez való egyszerűbb összehasonlíthatóság érdekében az adatokat hektárra vetítve mutatom be.

3. táblázat DH₂ törzsek terméseredményeinek összehasonlítása kisparcellás kísérletben, hagyományos árasztott körülmények között (Szarvas, 2018)

Genotípus	Termés ¹	Min	Max	Kontroll	Szelekció
	(kg/ha)	(kg/ha)	(kg/ha)	fajták	²
				%-a	
Janka kontroll	5597,2 ^a	5027,8	6444,4	84,3	nem
Tünde 19.II/1	5663,0 ^a	4611,1	6200,0	85,3	-
Tünde 14.VIII/1	6290,7 ^{ab}	5877,8	6722,2	94,7	+
Tünde 14.I/1	6437,1 ^{ab}	5877,8	7266,7	96,9	-
Tünde 17. I/1	6659,3 ^{ab}	6016,7	7500,0	100,3	+ + +
Tünde 14.VII	6864,8 ^{ab}	6244,4	7205,6	103,4	+
M 488 kontroll	7037,0 ^{ab}	6875,0	7291,7	106,0	nem
Tünde 19.III.	7053,7 ^{ab}	6483,3	7355,6	106,2	-
Tünde 17.II.	7233,3 ^{ab}	6400,0	8805,6	108,9	-
M 225 kontroll	7287,0 ^{ab}	7027,8	7750,0	109,7	nem
1009/1/17	8470,4 ^{ab}	7383,3	10227,	127,6	+ + +
1009/1/12	8644,4 ^b	6988,9	10961,	130,2	+ +
Karola 11.I.	8688,9 ^b	8500,0	9222,2	130,8	+ +
Karola 11.I/3.	8835,2 ^b	8505,6	9094,4	133,1	+ + +
Karola 11. I/1	8872,2 ^b	7988,9	9238,9	133,6	+ + +
Kontroll átlag	6640,4	5027,8	7750,0	100,0	

¹ DH₂ törzsek átlagos terméseredményei (n=3), a táblázatban feltüntetett eltérő betűk a törzsek közötti szignifikáns különbségekre utalnak p=0,05 megbízhatósági szinten (ANOVA Tukey post hoc teszt)

² A törzsek komplex szelekciós vizsgálata (korai vegetatív vigor, hidegtűrés, járványos barnulás rezisztencia, koraiság, fenotípus, malomipari minőség) alapján meghatározott érték, ahol a “+” a pozitív kiválasztást, a “-” a törzs selejtezését jelenti

A terméseredmények áttekintése alapján elmondhatjuk, hogy a kísérlet körülményei a hazai termelési viszonyok között jónak számítottak. A termésátlagok alapján a leggyengébb genotípusnak a Janka fajta bizonyult, amely akkor még szélesebb körben volt jelen a hazai köztermesztésben. Kiváló minősége ellenére a fajta ekkor már jelentős járványos barnulás érzékenységet mutatott, ezért egyre kisebb szerepet játszik a hazai rizstermesztésben.

A terméseredményeket azért is emelem ki, mert az elsődleges szempont a termelők fajtaválasztása esetében a biztos és magas terméshozam. A vizsgált DH törzsek közül nyolc bizonyult jobbnak a kontroll fajták termésátlagánál (6640,4 kg/ha). Öt DH törzs ráadásul a legjobb kontroll fajta, az M 225 termésátlagát (7287,0 kg/ha) is meghaladta.

Bár az eredmények kisparcellás körülmények között születtek, a 8 t/ha feletti potenciális termésátlagok kiemelkedőnek számítanak hazánkban. Az átlagos üzemi terméseredmények

évjáratoktól függően 3 és 4 t/ha között mozogtak az elmúlt években, és csak a legeredményesebb termelők üzemi terméseredményei haladták meg az 5 t/ha-t.

Az agronómiai tulajdonságok alapján további szelekciót végeztünk a tenyésztidőszak folyamán, amelynek alapja a korai vegetatív vigor, a hidegtűrés, a járványos barnulás rezisztencia, a koraiság, a növények habitusa, a szárszilárdság és a buga és szemtípus volt. Mindezek alapján hat DH törzs kapott pozitív értékelést: a Tünde 14.VII, 1009/1/17, 1009/1/12, Karola 11.I., Karola 11.I/3. és a Karola 11. I/1. Ezek a törzsek a korábbi tapasztalatok és Simonné Kiss (2001) korábbi meghatározásai alapján eredményesen hasznosíthatóak lesznek vagy közvetlenül a fajtabejelentés folyamatában vagy további keresztezések szülőpartnereként.

Az ezt követő években tovább folytattuk kutató-nemesítő munkánkat, amelyhez újabb és újabb keresztezési kombinációkból származó DH törzseket használunk fel. Hasonló elrendezésben, egy kétéves négy ismétléses kísérletben vizsgáltuk tíz DH₂₋₃ törzs teljesítményét 2019-ben és 2020-ban.

A kísérlet eredményeinek elemzése alapján szignifikáns évjáráthatást csak a malomipari minőség esetében, az egész és a törzs csiszolt fehér rizs mennyiségében találtunk. Ezeket az adatsorokat külön-külön elemeztük, míg az egyéb tulajdonságok esetében a két év adatait egyben vizsgáltuk meg.

E vizsgálatok alapján hat DH törzset választottunk ki további szelekcióra érdemes genotípusként, illetve a nemesítési programunkban további potenciális szülői genotípusként alkalmazzuk ezeket. A növénymagasság paraméterét elemezve látható, hogy bár van statisztikailag igazolható különbség az egyes DH törzsek között, az előzetes szelekció eredményeként a Köröstáj 17.II. 1 kivételével valamennyi genotípus a termelési gyakorlatban elvárt mérettartományban mozgott (50-75 cm). Ez a mérettartomány a gépi betakarítás és a megdőlés veszélye miatt fontos; a kisebb növények között az egyenetlen talajfelszín esetében keletkezhetsz betakarítási veszteség, a túl nagy növények esetében pedig fokozódik a megdőlés veszélye és a harvest index (HI) értéke csökken.

A túlzott biomassza fejlődés ezért és a járványos barnulás nagyobb veszélye miatt sem kívánatos tulajdonság. A vizsgált genotípusok közül az 1009 kombinációk esetében a HI értéke alacsonyabb volt (36,3%, 41,7% és 42,8%), mint a kontroll fajták átlagos értéke (52,1%). A többi genotípus esetében ez az érték 47,9% és 52,0% között változott.

A szemtermések eredményei azt mutatták, hogy a kísérletek tápanyagellátása közepes volt, a hektárra vetített terméshozam az üzemi átlagok közelében mozgott. A DH törzsek között a legmagasabb termésátlagokat a Köröstáj 14.III. 2, a Köröstáj 17.II. 1, a Tünde 16.II. 2, a Tünde 25.I.1 és a Tünde 16.II. 1 törzsek esetében mértünk. A legmagasabb terméseredményt közülük a Tünde 16.II. 1 érte el, ami a kontroll fajták termésátlagához képest 111,6%-ot ért el.

Az előző generációkban végzett egyedi és mikroparcellás szelekció eredményeként több genotípus is alacsony fertőzöttségi szintet mutatott, közülük kiemelhetjük a Tünde 16.II.1 törzset, ami emellett magas ezerszemtömeg értékkel is jellemezhető (33,9g).

Bár számos felhasználási lehetősége van a rizsnek, az egyik legfontosabb minőségi tulajdonság a malomipari feldolgozáshoz kötődik. A rizsfajták esetében a magas kihozatal mind a barna, mind a csiszolt, fehér rizs mennyiségénél alapvető kritérium. A hántolt barna rizs kihozatalban ugyancsak a Tünde 16.II. 1 volt a legnagyobb értékkel bíró genotípus. A különbség a kontroll fajtákhoz képest szignifikáns volt.

A csiszolt fehér rizs mennyiségét két fő frakcióra osztja a feldolgozóipar, amelyből az egész szemek az értékesebbek, ezek a fogyasztók által keresettebb magasabb minőséget képviselik, ezért a termelés gazdaságosságát az arányuk alapvetően befolyásolja. Amint a mi eredményeinkből is látszik, az csiszolt egészszem kihozatal a genotípus mellett erősen függ az évjáratok hatásától is. Elsősorban az érés idején bekövetkező hőmérsékletváltozások és a csapadékviszonyok befolyásolják azoknak a mikrorepedéseknek a kialakulását, amelyek miatt később a feldolgozás során a szemek összetörhetnek. Esetünkben is ez látható, hiszen a 2019-es egész szem értékek lényegesen alacsonyabbak, mint a 2020-as évben mértek. A szeptemberi magasabb hőmérséklet és a kevesebb csapadék segítette az érés folyamatát.

Összességében a Tünde 16.II. 1 DH törzs bizonyult a leginkább perspektivikusnak a későbbi nemesítői kutató feladatokhoz. A DH törzsek bizonyították, hogy a módszerrel egy generáció alatt tudunk előállítani homogén nemesítési anyagokat, amelyek előszelekció és felszaporítás után közvetlenül felhasználhatóak a fajtajelöltek kiválasztására összehasonlító kísérletekben. A DH törzsek egyöntetűek voltak, az egyes paraméterek estében az adatok szórása nem mutatott különbséget a már államilag elismert kontroll rizsfajtákhoz képest.

A DH törzsek felhasználása az aerob rizstermesztés fejlesztésére

Az aerob rizstermesztés a rizs termelésének egy különleges módszere, ahol a rizs a tenyészidőszak nagy részében (legalább 80%-ban) nincs anaerob körülmények között és a technológia alapvető jellemzője az intenzív tápanyaggazdálkodás és növényvédelem.

Az aerob termesztés esetén az árasztóvíz gyomelnyomó képességéről és hőmérséklet szabályozó pufferhatásáról le kell mondani. Így különösen fontos a gyors kezdeti fejlődés és a jó hidegtűrő képesség, valamint a növények nagyobb valószínűséggel kerülhetnek vízhiányos állapotba is, ha öntözéstechnikai problémák lépnek fel. Ezért a biztonságos termelés és a vízigény csökkentése érdekében a szárazságtűrés és a minél hatékonyabb vízhasznosítás kiemelt nemesítési szempont.

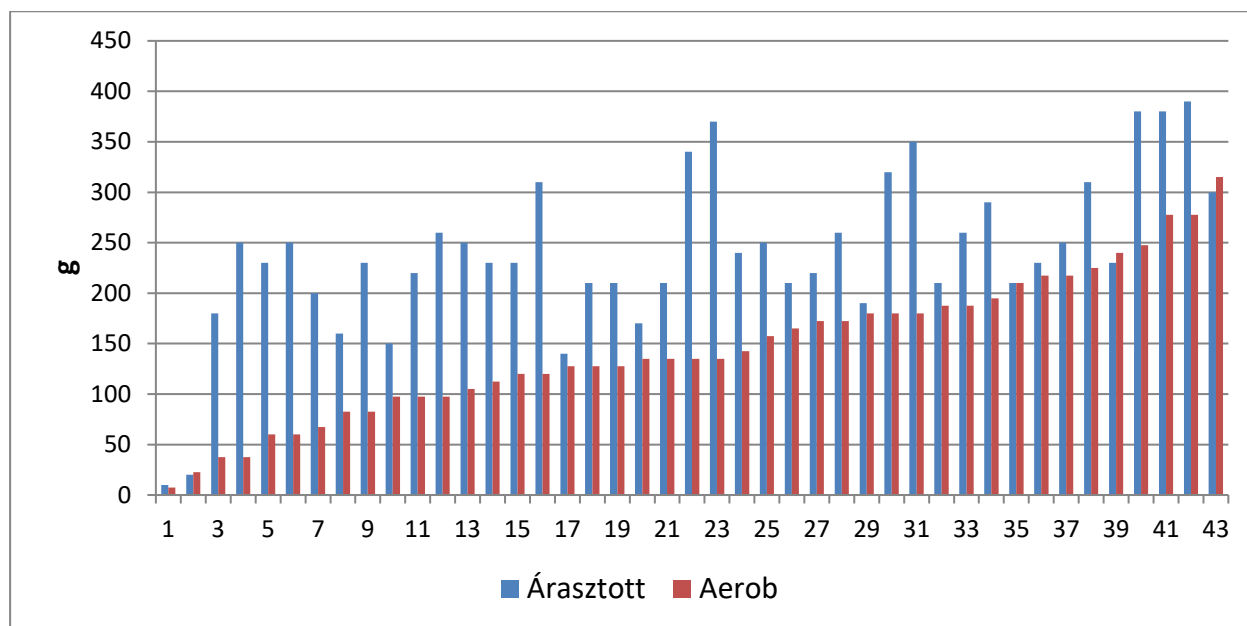
A DH törzsek aerob nemesítési programunkba történt beillesztése során ezért különös figyelmet fordítottunk a törzsek vízhiányra adott reakcióinak vizsgálatára (műszeres és fenológiai vizsgálatok), az aerob körülmények közötti termésbiztonság fokozására és a vízigény meghatározására a különböző törzsek esetében (evapotranspiráció mérés súlyliziméterekben). A dolgozatban ezeknek a vizsgálatoknak és a DH törzsek aerob rizstermesztési feltételek közötti szelekciójának eredményeiből mutatok be néhányat.

Mindezek alapján úgy döntöttünk, hogy a későbbi nemesítési-kutatási céljainkhoz leginkább illeszkedő genotípusok felhasználásával ivaros keresztezéssel hibrid növényeket és hasadó populációkat hozunk létre azért, hogy a hazai körülmények között is eredményesen felhasználható korai és szárazságtűrő törzseket szelektálhassunk. Több sikeres keresztezés mellett az aerob termesztési körülmények között legperspektivikusabb, legnagyobb változatossággal bíztató két kombinációnak a Marilla/IRAT 109 (1080) és a Dáma/IRAT 109 (1087) keresztezéseket találtuk. Ezek korai utódgenerációiban gyűjtöttük be azokat a bugákat, amelyekből a portokok izolálását és tenyésztését követően Szegeden létrehozták az általunk szántóföldön és laboratóriumban vizsgált DH törzseket.

DH₁ törzsek terméseredményeinek összehasonlítása árasztott és aerob termesztésben

A korábbi kísérleteinkre építve mikroparcellás kísérleteket állítottunk be a MATE ÖVKI Liziméter Telepén aerob körülmények között, valamint a MATE ÖVKI Galambosi Rizskísérleti

Telepén hagyományos, árasztott termesztésben. Célunk az új DH törzsek teljesítményének összehasonlítása volt a két eltérő termesztési mód esetén.



4. ábra DH₁ törzsek terméseredményeinek (g/parcella) összehasonlítása árasztott és aerob termesztésben (Szarvas, 2017)

A szelekciós vizsgálatok kiterjedtek a tenyésztési időszak során a vízhiány és az alacsony hőmérséklet káros hatásainak felmérésére is. A tünetek leírására a Nemzetközi Rizskutató Intézet általános szelekciós irányelveit alkalmaztuk.

A vizsgált törzsek terméseredményeiben nagy eltéréseket találtunk (4. ábra). Összehasonlítva az egyes DH törzsek terméseredményeit az aerob termesztésben 8 g és 315 g között változtak a szemtermések, míg a hagyományos, árasztott területen 10 g és 390 g közötti eredményeket mérhettünk. Általánosan elmondható, hogy a vizsgált törzsek döntő többsége nagyobb szemtermést produkált az árasztott körülmények között. Azonban a Tünde 19.III. és Tünde 14.I. törzseknél az aerob termesztés esetén sem csökkent jelentősen a termés mennyiség.

A különböző DH₁ törzseket sztenderd fajtákhoz is hasonlítottuk az árasztás nélküli körülmények között. A terméseredmények alapján az Ábel és az Augusztia fajták teljesítettek jól. A legértékesebb keresztezési kombinációkból született DH törzsek közül a Tünde 19. II/1 (380 g/parcella) és a Karola 11. I (390 g/parcella) voltak a legeredményesebbek. Ezek a törzsek az árasztott rizsföldeken is kiemelkedően teljesítettek 660 g/parcella és 640 g/parcella eredménnyel.

Az előzetes vizsgálati eredményeink alapján a két, eltérő vízellátási módszer kombinációja a szelekciós munkában nagyobb hatékonysággal vezethet az aerob termesztésben is sikeres genotípusok kiválasztásához, miközben a potenciális magas terméshozam az árasztott körülmények között is biztosítható. Ez különösen azért fontos a gyakorlatban, mert a hazai rizstermesztés mérete miatt a fenntartott fajták számát is fenntartható határok között kell tartani.

A rizs genotípusok evapotranspirációjának meghatározása nagyméretű súlyliziméterekben

A termesztés során az egyik legfontosabb feladat a megfelelő mennyiségű öntözővíz biztosítása. Hazánkban a rizs számára a természetes csapadék mennyisége csak rendkívüli években elegendő a normál fejlődés fenntartásához. Azért, hogy pontosabb adatokhoz juthassunk az aerob rizs hazai körülmények közötti vízigényéről és meghatározhassuk a vízigény jelentkezésének legfontosabb fejlődéshez kötött periódusait, először egy rizs fajtajelöltet (SZV Tünde 2021 óta államilag elismert rizsfajta), majd előszelektált DH törzseket vetettünk el nagyméretű precíziós súlyliziméterekben a MATE ÖVKI Liziméter Telepén.

Az első rizs evapotranspiráció mérésekre az SZV Tünde fajtaival 2020-ban került sor. A növények vízigényét a természetes csapadék és öntözés biztosította, amely folyamatos és egyenletes volt. A növényeken a tenyészidőszak alatt nem jelentkeztek a vízhiányra utaló tünetek (IRRI, 2013). A tenyészidőszak végén megmértük az elért termésmennyiséget ($506,7 \text{ g/m}^2$) és a felszín feletti biomaszatömeget ($1140,4 \text{ g/m}^2$) is. A WUE értéke $0,65 \text{ g/l}$ volt, amely a szakirodalmi adatok alapján alacsony értéknek számít (Tabbal et al., 2002).

A tenyészidőszakban felhasznált öntözővíz mennyisége $315,6 \text{ mm}$ volt, ami ugyancsak alacsony értéknek számít a szakirodalmi adatokkal összevetve (Avila et al., 2015; Pimentel et al., 2004). A tenyészidőszak folyamán folyamatosan nyomon követtük az ET értékének változásait. A tenyészidőszakot három nagyobb részre oszthatjuk a rizs fejlődési állapota alapján. A kezdeti szakasz a vetéstől a bokrosodás végéig tartott (DAS 52), a június 25-ig tartó időszakban az ET_c értéke $2,04$ és $3,86 \text{ mm/nap}$ értékek között változott.

A középső szakasz a legintenzívebb biomasszafejlődés és intenzív párologtatás időszaka, amely esetünkben szeptember 5-ig tartott (DAS 124). Ebben az időszakban az 5-napos ET_c átlagok $3,57$ és $7,90 \text{ mm/nap}$ között változtak. A legmagasabb ET_c értékeket a virágzás időszakában,

augusztus közepén mértük. Ez rávilágít arra, hogy miért olyan alapvető a termésbiztonság szempontjából a bugaképződés és az virágzás időszakában a növények vízigényéhez illeszkedő vízellátás.

A magasabb ET_c értékek azért is jelentkeztek, mert a növények vízellátását nem korlátoztuk és az egyenletes vízellátás érdekében gyakran öntöztünk. A tenyészidőszak végén, a termésérés időszakában a növények vízigénye folyamatosan csökkent az érés folyamata és az időjárási viszonyok változása miatt is. Ebben a szakaszban az átlagos ET_c 0,90 és 4,26 mm/nap értékek között változott.

Összeségében a tenyészidőszak során az ET_c értéke 648,3 mm volt. Ez az érték megfelel a más szerzők által közölt adatoknak, Tabbal et al. eredményei alapján a modern, rövid tenyészidejű rizsfajták ET értékei átlagosan 600-700 mm voltak a száraz évszakban (Tabbal et al., 2002). Az előzetes tesztjeink alapján a kiváló szárazságtűréssel rendelkező IRAT 109 elefántcsontparti genotípust és a szárazság-érzékeny magyar genotípusokat, a Marilla és a Dáma fajtákat vetettük el 2022-ben. Három súlyliziméterben (Dáma, IRAT 109 és Marilla) az optimális vízellátásnál kevesebbet biztosítottuk (816,1 mm, 820,3 mm és 823,1 mm öntözés és csapadék), ekkor az érzékeny növényeken már szemmel látható tünetek jelentek meg a vízhiány hatására (levélsodródás, csökkent növekedés). Élettani kontrollként mindhárom rizsfajtát elvetettük egy negyedik súlyliziméterbe, ahol az optimális fejlődési körülményeket biztosítottuk (989,3 mm öntözés és csapadék).

Eredményeink alapján a három rizsfajtát együtt tartalmazó súlyliziméterben a bőséges vízellátás hatására az összes ET értéke 1022,4 mm volt június 25. és szeptember 14 között. A csökkentett vízellátás mellett mindhárom rizsfajta esetében ennél az értéknél alacsonyabb ET_c-t mértünk. Kiemelhető, hogy az IRAT 109 fajta esetében (973,7 mm) az ET csökkenés mindössze 49 mm volt, míg a Dáma és a Marilla fajták szinte azonos mértékben, 904,7 és 904,6 mm-t párologtattak. Ez az eredmény megerősíti Blum következtetését, hogy azonos körülmények között a rendelkezésre álló vízmennyiség hatékonyabb felhasználása kiemelkedő jelentőségű (Blum, 2009).

A rizs fejlődési állapotaihoz kötött növényi koefficiens (K_c) meghatározása

A gyakorlatban ritkán áll a kutatók és még inkább ritkábban a termelők rendelkezésre a növények közvetlen vízfelhasználását jellemző ET érték. Ahhoz, hogy adott termesztési feltételek

(időjárás, művelésmód, fajtaválasztás) mellett nagyobb pontossággal tudjuk megbecsülni az aktuális ET értékét a különböző növények fejlődési állapotaihoz kapcsolódó növényi koefficiens (K_c) ismerete szükséges. Ennek minél pontosabb leírása által a viszonylag egyszerűen elérhető és meghatározható E_{To} modellek felhasználásával kiszámítható a növények aktuális vízigénye (Raes, 2012). Ezzel végső soron hozzájárulhatunk a növények vízigényéhez igazodó öntözővíz-kijuttatáshoz és ezáltal a vízfelhasználás csökkentéséhez. Ez különösen akkor fontos a rizs esetében, ha a hagyományos, árasztott feltételektől eltérő módon, időszakos árasztással vagy aerob termesztési feltételek között történik a rizs termelése.

A K_c értékek meghatározására a 2020-ban folytatott közvetlen ET mérések eredményeit használtuk fel. A különböző fejlődési állapotokra jellemző növényi koefficiens kiszámításánál Allen et al. módszertanát követtük (Allen et al., 1998).

A kezdeti fejlődési állapotban (DAS 52) a $K_{c_{ini}}$ értéke 0,57 és 1,19 között változott, az átlagos érték 0,82 volt. Ez a gyakorlatban azt jelenti, hogy a kezdeti fejlődési állapotban a rizs vízhiánystressz-mentes termesztéséhez kevesebb víz szükséges, mint amekkora mennyiséget a referencia evapotranspiráció meghatároz. Ez természetes jelenség, hiszen ebben a fejlődési állapotban a fejlődő növények levélfelülete még elmarad az E_{To} meghatározásra használt gyeplévélfelületétől. Ezek az értékek megfelelnek az Allen et al. (1998) által közölt adatokkal.

Az intenzív fejlődés szakaszában (DAS 124-ig) már magasabb K_c értékeket mértünk, a $K_{c_{mid}}$ 1,11 és 1,80 között változott, míg az átlagos értéke ebben a fejlődési szakaszban 1,40 volt. A nagy biomassa és levélfelület, valamint a magas hőmérséklet fokozta a növények vízfelhasználását, ezért ebben az időszakban a referencia evapotranspirációhoz képest jelentősen magasabb E_{Tc} értékeket mérhettünk.

A tenyészidőszak végén, ahogy a növények életciklusa a végéhez közeledett, és a napi átlaghőmérséklet is csökkent, az E_{Tc} értéke is jelentősen lecsökkent. Ennek következtében a $K_{c_{end}}$ értéke 0,57 között 0,88 mozgott, az átlagos $K_{c_{end}}$ érték pedig 0,77 volt.

Munkánkat a későbbi évek adatainak feldolgozásával folytatni fogjuk, hogy ezen értéket tovább pontosíthassuk a mérséklet égvöi aerob rizstermesztés feltételeinek megfelelően.

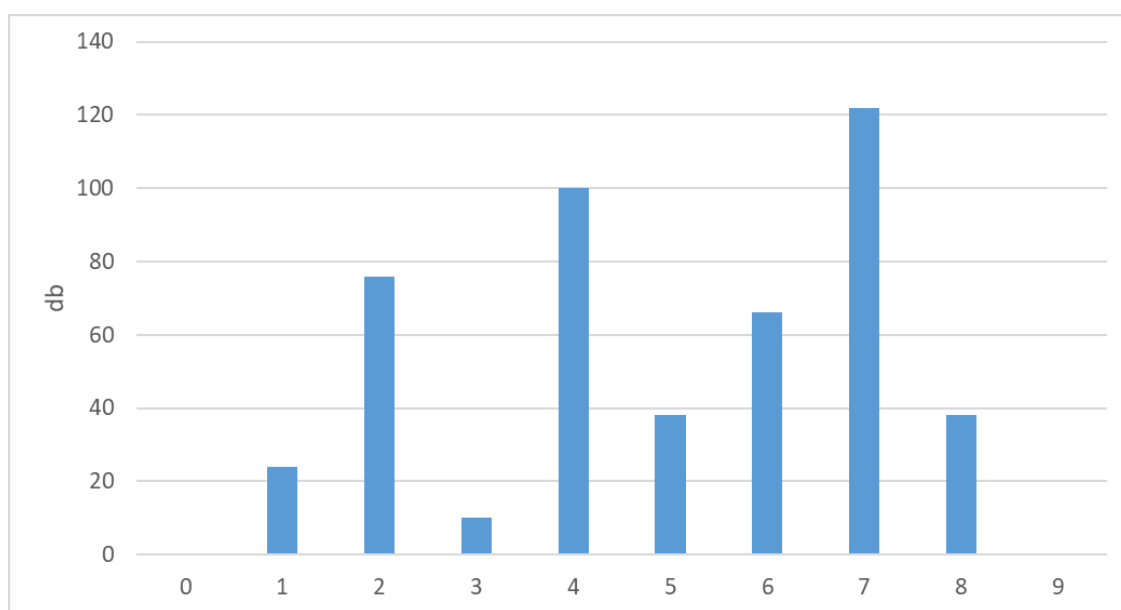
A rizs szárazságtűrésének vizsgálata aerob termesztési feltételek között

A 2022-es és a 2023-as tenyészidőszakban a MATE ÖVKI Liziméter Telepén két keresztezési kombinációból származó DH törzseket vizsgáltunk meg mikroparcellás kísérletben. Az 1080 DH-k (Marilla x IRAT109) magjaiból 60 parcella, az 1087 DH-k (Dáma x IRAT109)

magjaiból 230 parcella került elvetésre. A 2022-es évben az állomány kiegyenlítetttsége az elhúzó kelés és az időközben fellépő rovarkártétel miatt nem tette lehetővé a teljes állomány részletes vizsgálatát, de 2023-ban már a teljes DH törzs sor szántóföldi reakcióit fel tudtuk mérni aerob termesztés mellett is.

A tenyésztésidőszakban több alkalommal szántóföldi felvételezéseket (IRRI SES szárazság érzékenység – 4. és 5. melléklet) és méréseket (Testo 885 hőkamera, CI-710s levélspektrométer) folytattunk.

Az 1087 DH-k átlagos érésideje hosszabb volt, mint az 1080 DH-k esetében megfigyelt értékek. Az indukált vízhiány (9 nap öntözés nélküli időszak) és egy extrém meleg periódus (36-38°C napi maximum hőmérséklet) hatására meghatároztuk a különböző DH törzsek vízhiányra adott reakcióit.



5. ábra Az 1087 kódjelű keresztezésből (Dáma x IRAT 109) származó DH törzsek eltérő szárazságérzékenysége (IRRI SES) a MATE ÖVKI Liziméter Telepén aerob termesztési rendszerben, jelentős vízmegvonást követően (Szarvas, 2023)

A felvételezéseink szerint az 1087 DH-k esetében a vizsgált genotípusok 21,1%-a mutatott enyhe tüneteket (nem vagy nagyon kevés levél enyhén sodródott). Továbbá 31,3%-a közepes toleranciával rendelkezett, míg 47,7%-a erősen károsodott a jelentős mértékben a hő- és vízhiány stressz hatására (5. ábra).

A másik vizsgált kombinációból származó DH törzsek esetében a stressztünetek megjelenése sokkal alacsonyabb volt. A vizsgált növények 63,4%-a mutatott enyhe tüneteket a vízmegvonás hatására. Közepesen erős tüneteket a növények 33,2%-a esetében tapasztaltunk. A súlyos tünetekkel jellemezhető törzsek aránya mindössze 3,4% volt. Így az 1080-as kombináció DH törzseinek további szelekciójára jelentősebb vízmegvonást használhatunk a jövőben, valamint a két kombináció közül ez utóbbi használható nagyobb valószínűséggel a mérséklet égví aerob rizstermesztésre alkalmas genotípusok kiválasztására.

A levél spektroszkópia eredményeinek felhasználása a DH törzsek értékelésére vízhiányos környezetben

A hatékonyabb szelekciós módszerek használata érdekében a rendelkezésünkre álló 1087 DH nemesítési törzsek közül 18-at jellemeztünk spektrális indexek alapján is a virágzás időszakában. Az indexek közül a PRI, CRI 1 és a CCI esetében mértünk szignifikáns különbségeket. A PRI esetében általánosságban elmondható, hogy a vízmegvonás hatására az index értéke a legtöbb törzs esetében megnőtt. A nagy szórásértékek miatt azonban a DH törzsek között a kezeléseken belül nem, de a kezelések között ki tudtunk mutatni szignifikáns különbségeket. A legkisebb átlagos PRI változást az 1087 2_35 jelű DH törzs esetében mértünk.

A legmagasabb CCI értékeket a jól öntözött körülmények között az 1087 4_60 DH törzs mutatta. Jól öntözött körülmények között a DH törzsek között több esetben is kimutattuk a statisztikailag igazolható különbségeket. A vízmegvonás hatására az 1087 2_22, 1087 2_35, 1087 6_26 és az 1087 8_55 DH törzs esetében mértük a kiemelkedő CCI eredményeket, azonban ebben a kezelésben szignifikáns különbségeket nem tudtunk kimutatni. A harmadik vizsgált index a CRI 1 volt, amelynek legmagasabb értékét a stresszmentes körülmények között az 1087 4_43 DH törzsnél mértük, míg a vízmegvonásnak kitett parcellák esetében az 1087 2_22 DH törzs bizonyult a legmagasabbnak.

KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK

Eredményeink alapján az androgenezis indukciója mind a hazánkban általánosan elterjedt japonica, mind a jövőben várhatóan egyre nagyobb szerephez jutó indica genotípusok esetében eredményesen felhasználható DH törzsek előállítására és nemesítési célú felhasználására.

Ezek a DH törzsek az eredményes keresztezések különböző utódgenerációiból hozhatóak létre a nemesítési és a kutatási célkitűzéseknek megfelelően. Amennyiben a minél változatosabb, genetikailag minél inkább eltérő DH törzsek létrehozása a cél, például térképező populációk létrehozása, recesszív tulajdonságok megjelenítése és szelektálása esetében, akkor ajánlott a korai generációkból (F_1 - F_2) indítani az *in vitro* portoktenyészteteket, ezzel érhető el a legnagyobb időmegtakarítás a nemesítés folyamatában, a legnagyobb genetikai variabilitás, de a nemesítés számára kedvezőtlen tulajdonságok előfordulásának aránya is magasabb lehet.

A nemesítési előrehaladás és a pozitív DH törzs előállítás hatékonysága is növelhető, ha az első és második hasadó generációban előzetes szelekciót végzünk a könnyen szelektálható tulajdonságokra (pl. növényhabitus, szemtípus, betegségrezisztencia) és a laboratóriumi munkát már a szelektált törzsek donor növényeivel indítjuk el. Ez a gyakorlatban az F_3 - F_4 generációt jelenti, ekkor a hagyományos nemesítéshez képest még mindig elérhető a 2-3 éves gyorsítása a folyamatnak.

A későbbi generációk (F_5 - F_8) esetében a technika előnye már nem elsősorban a folyamat gyorsításában jelenik meg, hanem az előnyös tulajdonságok rögzítésében és a populációk kiegyenlítetttségének kialakításában. Ezzel a lépéssel a legjobb nemesítési anyagokból fajtajelölt törzseket hozhatunk létre egy lépésben.

A tapasztalataink alapján az *in vitro* előállított DH törzsek sikeresen felhasználhatóak a hagyományos rizstermesztés és a víztakarékos, aerob rizstermesztés esetében is, ha a megfelelő szelekciós módszerek rendelkezésre állnak. A DH_0 generáció esetében ezek a módszerek a hagyományos nemesítés eszköztárából csak korlátozottan alkalmazhatóak, hiszen ekkor még csak egy-egy olyan növény áll rendelkezésünkre, amelyeken a vizsgálatokat elvégezhetjük.

Eredményeink alapján az aerob termesztési körülmények és a magyar termesztési feltételek között is eredményesen használható genotípusok szelekciója komplex megközelítést igényel. A hazaihoz hasonló rövid tenyészidőszakkal jellemezhető területeken a fiziológiai szárazságtűrés mellett lényeges szempont az is, hogy a stressz hatására a virágzás és azzal együtt

a termésérés ne tolódjon ki, hiszen abban az esetben a kora őszi lehűlések miatt versenyképes terméseredmény már nem várható, amit jól mutat a Marilla genotípus példája is.

A DH törzsek előállítása eredményesen beilleszthető a hagyományos nemesítés folyamatába, értékes eszköz az új fajtajelöltek előállításához (Akbar et al., 2018; Pauk et al., 2009). A DH előállítás hatékonyságának fokozása érdekében a jövőben mindenképpen növelni kell az indica alfajhoz tartozó genotípusok esetében is az androgenezis indukciójának eredményességét, amelyben kutatócsoportunk a közelmúltban már sikeresen előrelépett (Lantos et al., 2023).

A nemesítési folyamat egyik legfontosabb eleme, hogy a nemesítési célokat leghatékonyabban szolgáló szelekciós módszereket alkalmazzunk a törzsek kiválogatása során. A termelés szempontjából a rizs esetében is a legfontosabb cél a magas terméseredmények és a jó élelmezési minőség biztosítása. A nagyméretű nemesítői anyagok hatékony szelekciója a gyakorlatban sokszor nehézségekbe ütközik a nagy munkaigény vagy a nehezen kivitelezhető és sokszor eltérő szelekciós feltételek (pl. aerob és hagyományos termesztéstechnológia) kialakítása miatt.

A jövőben mindenképpen érdemes lenne a MATE rizsnemesítési programjában is a legfontosabb célkitűzések (Sub1, SalTol, Pi9) elérése érdekében bevonni a markerekre alapozott szelekcióban (MAS) rejlő lehetőségeket, amelyek lehetővé teszik a korai DH generációkban az értékes tulajdonságok előszűrését (Das et al., 2017; Jiang et al., 2020). Így az általában jelentősebb ráfordítást követelő indukált szelekciós körülmények kialakításában és a tesztelésbe vont genotípusok számában jelentős megtakarítás érhető el. A módszer hatékonyságáról számos szerző beszámolt a hidegtűrés (Fujino et al., 2019), a járványos barnulás rezisztencia (Xiao et al., 2019), az amilóztartalom befolyásolása (Yang et al., 2019), a szárazságtűrés fokozása (Anilkumar et al., 2023) és számos egyéb tulajdonság esetében.

A szelekció hatékonyságának növelésére további lehetőségeket kínálnak a napjainkban már rutinszerűen használt és egyre több vizsgálati lehetőséggel (kibővített kamerarendszerekkel, felhasználóbarát feldolgozó szoftverekkel és a mesterséges intelligencia felhasználásával) ellátott távérzékelési eszközök (Adak et al., 2021; Shakoore et al., 2019). A drónok alkalmazásával lehetőség nyílik a több száz törzset tartalmazó nemesítési anyagok közel egyidejű vizsgálatára és szűrésére a különböző vegetációs indexek (Liu et al., 2023), a növényállomány felszínhőmérséklete (Jang et al., 2020), a különböző betegségek és stresszállapotok tünetei (Lin et al., 2023) és a növénymagasság vagy a megdőlésre való hajlam (Su et al., 2022) alapján is.

A jövőben mindenképpen fontosnak tartom a különböző rizs genotípusok esetében a további részletes elemzéseket az eltérő fejlettségi állapotokra jellemző vízigénnyel kapcsolatban. A legelőnyösebb tulajdonságokat mutató törzsek esetében a liziméteres vizsgálatok olyan alapvető információkat biztosíthatnak, amelyek segítségével lényegesen csökkenthető lesz a rizstermesztés vízigénye, miközben a termelés biztonsága megmarad (Bouman et al., 2006). A vízhiány okozta stresszállapot kialakulása ellen komplex megoldások védhetik meg a növényeket, amelyek magukban foglalják a víztakarékos és nedvességmegőrző termeléstechológiák fejlesztését és a genetikai alapok javítását is (Nemali and Stephens, 2014). A rizs evapotranspirációjának mérésére több nemzetközi példa is született (Tyagi et al., 2000), de ezek elsősorban trópusi és szubtrópusi körülmények között lefolytatott vizsgálatok voltak. Így a tervezett mérések további előnye lehet az ET meghatározására használt modellek validációja és további pontosítása a mérséklet égví rizstermesztés feltételei között (Raes, 2012).

ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

Kutatócsoportunk a magyar rizsnemesítés hatékonyságának növelése érdekében a modern szelekciós eljárások mellett hosszú évek óta felhasználja az *in vitro* androgenezis indukciójában rejlő lehetőségeket is. A DH törzsek előállítása lényegesen lerövidítheti a nemesítés folyamatát és lehetőséget biztosít arra, hogy a szelekciót már homogén populációkon végezhesük el. Természetesen a módszer hatékonysága, illetve az elérhető időmegtakarítás függ a kiinduló növényanyag keresztezés utáni generációjától és a DH törzsek tesztelésére használt szelekciós módszerek hatékonyságától is. Hagyományos rizstermesztésben a szelekciós módszerek elsősorban a malomipari minőség és a termésmennyiség fokozására fókuszálnak beleértve az abiotikus stressztoleranciát (hideg-, szárazság- és sótűrés). Az aerob rizstermesztésben pedig mindezek mellett fokozott szerepet kap a szárazságtűrés javítása is. Kísérleteink során az alábbi új és újszerű eredményeket értük el:

1. A magyar rizsnemesítés eredményességének javítása érdekében ivaros keresztezéssel létrehoztunk több kombinációt. Ezekkel a korábbi magyar rizsfajták előnyös tulajdonságainak (koraiság, hidegtolerancia, jó minőség) megőrzése mellett - elsősorban külföldi génforrások bevonása által – az abiotikus (hideg, szárazság, só) és biotikus (járványos barnulás) stresszorok elleni tolerancia további fokozása volt a célunk. Ehhez Magyarországon elsőként alkalmaztuk a rizsnemesítésben a vákuumos kasztráló berendezést a hatékonyság fokozása érdekében.
2. A hagyományos **rizsnemesítés folyamatába integráltuk a DH törzseket**, segítségükkel több előszelekció után, már a DH₂ utódgenerációban több ismétléses teljesítmény összehasonlító kísérleteket tudtunk indítani árasztott körülmények között.
3. A hazai nemesítésben **először alkalmaztuk a dihaploid technikával előállított homogén törzseket az aerob rizstermesztés körülményei között végzett közvetlen szelekcióban**. A legellenállóbb törzsek szelekciójához felhasználtuk a levél spektrometria és a hőképalkotás módszerét is, hogy a szárazságstressznek leginkább ellenálló genotípusokat hatékonyan tudjuk kiválasztani.
4. A hazai éghajlati körülmények között először használtunk **nagy méretű súlylizimétereket több rizs genotípus evapotranspirációjának jellemzésére a különböző fejlődési fázisokban az aerob termesztési körülmények között**. Egyúttal meghatároztuk e genotípusok esetében az egyes fejlődési fázisokhoz köthető specifikus evapotranspirációs

együtthatókat. Mindez felhasználható a jövőben a növények optimális, vízigényhez köthető öntözésének tervezéséhez, illetve a célzott vízhiányos állapotok kialakításához a hatékonyabb szelekciós módszerek alkalmazása érdekében.

5. Munkánk eredményeként **két új rizsfajta** kapott állami elismerést, 2020-ban az SZV Szellő, majd 2021-ben az SZV Tünde. Előbbi kiemelkedő minőségi tulajdonságaival, míg utóbbi nagy termőképességével emelkedik ki a hazai fajtakinálattól.

AZ EREDMÉNYEK GYAKORLATI HASZNOSÍTHATÓSÁGA

Kísérleteink során megerősítettük azt, hogy a DH törzsek eredményesen használhatóak a nemesítési programokban. A *japonica* és *indica* rizsekkel elvégzett kísérleteink alapján a szegedi Gabonakutató Nonprofit Kft munkatársai hatékony DH előállítási protokollokat dolgoztak ki, amelyek nemzetközi szinten is figyelemre méltó módon segíthetik a nemesítési célok gyorsabb elérését (Lantos et al., 2023, 2022).

A magyar rizsnemesítés hatékonyságának növelése érdekében a különböző generációkban lévő nemesítési vonalakból DH növényeket állítottunk elő. Az ezek utódaiból kialakított homogén DH törzseket beépítettük a hagyományos nemesítés folyamatába, ahol a termelés számára legfontosabb tulajdonságokra tudtuk szelektálni az állományokat. A hagyományos, árasztott termesztés esetén az agronómiai tulajdonságok mellett a magas termőképesség és a malomipari minőség voltak a kiemelt szelekciós paraméterek. Az általunk vizsgált DH törzsek közül több jelentősen meghaladta a már állami elismerésben részesült rizsfajták teljesítményét, így ezek a közeljövőben közvetlenül felhasználhatóak fajtajelöltként vagy új keresztezési kombinációk szülőpartnereként. Az új fajták termelésbe vonása pedig reményeik szerint növelni fogja a hazai termelők piaci lehetőségeit és versenyképességét.

Kutatómunkám során a nemesítési célok elérése érdekében tudományos igényű szelekciós módszereket használtam, amelyek amellet, hogy segítenek kiválasztani a magyar termelési körülmények között leghatékonyabban alkalmazható genotípusokat, részletes eredményeket szolgáltatnak a teljes rendelkezésünkre álló növénygyűjteményről is. Ezeknek az ismereteknek a birtokában a jövőben célzottan tudunk a hazai és nemzetközi partnereinknek alapanyagot biztosítani nemesítési és kutatási programokhoz (térképező populációk) is.

Bár hazánkban a hagyományos, árasztott körülmények biztosítása nemcsak a termelés, de a természeti környezet számára is előnyös (sekély vizes élőhely), mégis új lehetőséget jelenthet a rizstermesztők számára az árasztás nélküli rizstermesztés technológiája. Ezzel a hagyományos rizstelepek mellett szinte bármelyik öntözhető terület alkalmassá válik a rizs termesztésére is. Az aerob körülmények közötti termesztés azonban növeli az abiotikus stresszek gyakoriságát és erősségét is. Az árasztóvíz hiányában gyorsabban kialakulhatnak vízhiányos körülmények, növekszik a hideg időszakok negatív hatása és a talajok káros sótartalma is kifejezettebb lehet. Azonban az árasztás nélküli technológiákkal jelentősen lehet mérsékelni a felhasznált víz mennyiségét és a rizs esetében kiemelten vizsgált nehézfém, az arzén mennyisége is csökkenthető a növényekben. Ehhez azonban megfelelő fajták is szükségesek. Az általunk végzett kutatómunka segít kiválasztani az aerob körülmények között is biztonságosan használható genotípusokat. Ennek az egyik gyakorlati példája az ausztriai partnerünk sikere, aki a korai magyar rizsfajtákra alapozva több éve gazdasági értelemben is eredményes termelést folytat Bécs közelében (ÖsterReis, Gerasdorf bei Wien, Ausztria).

A további, még hatékonyabb nemesítési munka megalapozásához több mint száz keresztezési kombinációt állítottunk elő az elmúlt 8 évben. Ezek közül kiemelhetjük az IRAT 109 és a Dáma (1087), valamint az IRAT 109 és a Marilla (1080) genotípusok kombinációit, amelyek utódai között több olyan DH törzset is azonosítottunk, amelyek hasonló szárazságtűrési tulajdonságokkal rendelkeznek, mint az IRAT 109, de annál lényegesen korábbi érésűek, így a magyar körülmények között is biztonsággal termelhetőek lehetnek. Ezeket a törzseket a következő években részletes üvegházi és szántóföldi kísérletekbe tervezzük bevonni, amelyeket molekuláris genetikai vizsgálatokkal is kiegészítünk.

A rizstermesztés biztonsága és a természeti erőforrások védelme érdekében is fontos, hogy minél részletesebb adatokkal rendelkezünk a rizs különböző fejlődési állapotaira jellemző vízigénről. Az általunk elindított precíziós szabadföldi súlyliziméterekkel végzett evapotranspiráció mérések alapján az öntözővízigény pontosabb meghatározása válik lehetővé a Magyarországi környezeti feltételek között. Valamint további információkat nyerhetünk a növények különböző fejlődési állapotaiban, illetve különböző környezeti stresszorok fellépése esetén jellemző evapotranspiráció változásáról.

IRODALOMJEGYZÉK

- Adak, A., Murray, S.C., Božinović, S., Lindsey, R., Nakasagga, S., Chatterjee, S., Anderson, S.L., Wilde, S., 2021. Temporal Vegetation Indices and Plant Height from Remotely Sensed Imagery Can Predict Grain Yield and Flowering Time Breeding Value in Maize via Machine Learning Regression. *Remote Sensing* 13, 2141. <https://doi.org/10.3390/rs13112141>
- Akbar, M.R., Purwoko, B.S., Dewi, I.S., Suwarno, W.B., Sugiyanta, 2018. Agronomic and drought tolerance evaluation of doubled haploid rice breeding lines derived from anther culture. *SABRAO J. Breed. Genet.* 50, 115–128.
- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M., 1998. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. *FAO irrigation and drainage paper* 56, 326.
- Anilkumar, C., Sah, R.P., Beena, R., Azharudheen Tp, M., Kumar, A., Behera, S., Sunitha, N., Pradhan, S., Reshmi Raj, K., C, P., Marndi, B., Singh, A.K., 2023. Conventional and contemporary approaches for drought tolerance rice breeding: Progress and prospects. *Plant Breeding* 142, 418–438. <https://doi.org/10.1111/pbr.13119>
- Avila, L.A., Martini, L.F.D., Mezzomo, R.F., Refatti, J.P., Campos, R., Cezimbra, D.M., Machado, S.L.O., Massey, J.H., Carlesso, R., Marchesan, E., 2015. Rice Water Use Efficiency and Yield under Continuous and Intermittent Irrigation. *Agron.j.* 107, 442–448. <https://doi.org/10.2134/agronj14.0080>
- Blum, A., 2009. Effective use of water (EUW) and not water-use efficiency (WUE) is the target of crop yield improvement under drought stress. *Field Crops Research* 112, 119–123. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2009.03.009>
- Bouman, B.A.M., Yang, X., Wang, H., Wang, Z., Zhao, J., Chen, B., 2006. Performance of aerobic rice varieties under irrigated conditions in North China. *Field Crops Research* 97, 53–65. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2005.08.015>
- Das, G., Patra, J.K., Baek, K.-H., 2017. Insight into MAS: A Molecular Tool for Development of Stress Resistant and Quality of Rice through Gene Stacking. *Front. Plant Sci.* 8, 985. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00985>
- Fujino, K., Hirayama, Y., Kaji, R., 2019. Marker-assisted selection in rice breeding programs in Hokkaido. *Breed. Sci.* 69, 383–392. <https://doi.org/10.1270/jsbbs.19062>
- Gamon, J.A., Peñuelas, J., Field, C.B., 1992. A narrow-waveband spectral index that tracks diurnal changes in photosynthetic efficiency. *Remote Sensing of Environment* 41, 35–44.
- Gitelson, A.A., Merzlyak, M.N., Zur, Y., Stark, R., Gritz, U., 2001. Non-destructive and remote sensing techniques for estimation of vegetation status. *Papers in Natural Resources* 273, 205–210.
- González, L., González-Vilar, M., 2001. Determination of Relative Water Content, in: Reigosa Roger, M.J. (Ed.), *Handbook of Plant Ecophysiology Techniques*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp. 207–212. https://doi.org/10.1007/0-306-48057-3_14
- IPCC, 2023. *Climate Change 2022 – Impacts, Adaptation and Vulnerability: Working Group II Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, 1st ed. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009325844>
- IRRI, 2013. *Standard Evaluation System (SES) for Rice (5th Edition)*. International Rice Research Institute, Manila, Philippines.
- Jang, G., Kim, J., Yu, J.-K., Kim, H.-J., Kim, Y., Kim, D.-W., Kim, K.-H., Lee, C.W., Chung, Y.S., 2020. Review: Cost-Effective Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Platform for Field Plant Breeding Application. *Remote Sensing* 12, 998. <https://doi.org/10.3390/rs12060998>
- Jena, K.K., 2010. The species of the genus *Oryza* and transfer of useful genes from wild species into cultivated rice, *O. sativa*. *Breed. Sci.* 60, 518–523. <https://doi.org/10.1270/jsbbs.60.518>
- Jennings, P.R., Coffman, W.R., Kauffman, H.E., 1979. *Rice Improvement*. International Rice Research Institute, Los Baños, Philippines.
- Jiang, H., Feng, Y., Qiu, L., Gao, G., Zhang, Q., He, Y., 2020. Identification of Blast Resistance QTLs Based on Two Advanced Backcross Populations in Rice. *Rice* 13, 31. <https://doi.org/10.1186/s12284-020-00392-6>

- Kraehmer, H., Thomas, C., Vidotto, F., 2017. Rice Production in Europe, in: Chauhan, B.S., Jabran, K., Mahajan, G. (Eds.), *Rice Production Worldwide*. Springer International Publishing, Cham, pp. 93–116. https://doi.org/10.1007/978-3-319-47516-5_4
- Lantos, C., Jancsó, M., Székely, Á., Nagy, É., Szalóki, T., Pauk, J., 2022. Improvement of Anther Culture to integrate Doubled Haploid Technology in Temperate Rice (*Oryza sativa* L.) Breeding. *PLANTS-BASEL* 11, 3446. <https://doi.org/10.3390/plants11243446>
- Lantos, C., Jancsó, M., Székely, Á., Szalóki, T., Venkatanagappa, S., Pauk, J., 2023. Development of In Vitro Anther Culture for Doubled Haploid Plant Production in Indica Rice (*Oryza sativa* L.) Genotypes. *PLANTS-BASEL* 12. <https://doi.org/10.3390/plants12091774>
- Lin, S., Yao, Y., Li, J., Li, X., Ma, J., Weng, H., Cheng, Z., Ye, D., 2023. Application of UAV-Based Imaging and Deep Learning in Assessment of Rice Blast Resistance. *Rice Science* 30, 10.
- Liu, X., Wu, X., Peng, Y., Mo, J., Fang, S., Gong, Y., Zhu, R., Wang, J., Zhang, C., 2023. Application of UAV-retrieved canopy spectra for remote evaluation of rice full heading date. *Science of Remote Sensing* 7, 100090. <https://doi.org/10.1016/j.srs.2023.100090>
- Nemali, K., Stephens, M., 2014. Plant Abiotic Stress: Water, in: *Encyclopedia of Agriculture and Food Systems*. Elsevier, pp. 335–342. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-52512-3.00170-4>
- Parry, C., Blonquist, J.M., Bugbee, B., 2014. In situ measurement of leaf chlorophyll concentration: analysis of the optical/absolute relationship: The optical/absolute chlorophyll relationship. *Plant Cell Environ* 37, 2508–2520. <https://doi.org/10.1111/pce.12324>
- Pauk, J., Jancsó, M., Simon-Kiss, I., 2009. Rice Doubled Haploids and Breeding, in: Touraev, A., Forster, B.P., Jain, S.M. (Eds.), *Advances in Haploid Production in Higher Plants*. Springer Netherlands, Dordrecht, pp. 189–197. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-8854-4_16
- Pimentel, D., Berger, B., Filiberto, D., Newton, M., Wolfe, B., Karabinakis, E., Clark, S., Poon, E., Abbett, E., Nandagopal, S., 2004. Water Resources: Agricultural and Environmental Issues. *BioScience* 54, 909. [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2004\)054\[0909:WRAAEI\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2004)054[0909:WRAAEI]2.0.CO;2)
- Raes, D., 2012. ETo Calculator.
- Shakoor, N., Northrup, D., Murray, S., Mockler, T.C., 2019. Big Data Driven Agriculture: Big Data Analytics in Plant Breeding, Genomics, and the Use of Remote Sensing Technologies to Advance Crop Productivity. *Plant phenome j.* 2, 1–8. <https://doi.org/10.2135/tppj2018.12.0009>
- Simonné Kiss, I., Ipsits, C.M., 1992. Áttekintés a rizs (*Oryza sativa* L.) árasztás nélküli termesztésének történetéről és lehetőségeiről. *Növénytermelés* 41, 365–371.
- Su, Z., Wang, Y., Xu, Q., Gao, R., Kong, Q., 2022. LodgeNet: Improved rice lodging recognition using semantic segmentation of UAV high-resolution remote sensing images. *Computers and Electronics in Agriculture* 196, 106873. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2022.106873>
- Tabbal, D.F., Bouman, B.A.M., Bhuiyan, S.I., Sibayan, E.B., Sattar, M.A., 2002. On-farm strategies for reducing water input in irrigated rice; case studies in the Philippines. *Agricultural Water Management* 56, 93–112. [https://doi.org/10.1016/S0378-3774\(02\)00007-0](https://doi.org/10.1016/S0378-3774(02)00007-0)
- Tyagi, N.K., Sharma, D.K., Luthra, S.K., 2000. Determination of evapotranspiration and crop coefficients of rice and sunflower with lysimeter. *Agricultural Water Management* 45, 41–54. [https://doi.org/10.1016/S0378-3774\(99\)00071-2](https://doi.org/10.1016/S0378-3774(99)00071-2)
- Xiao, W., Yang, Q., Huang, M., Guo, T., Liu, Y., Wang, J., Yang, G., Zhou, J., Yang, J., Zhu, X., Chen, Z., Wang, H., 2019. Improvement of rice blast resistance by developing monogenic lines, two-gene pyramids and three-gene pyramid through MAS. *Rice* 12, 78. <https://doi.org/10.1186/s12284-019-0336-4>
- Yang, G., Chen, S., Chen, L., Gao, W., Huang, Y., Huang, C., Zhou, D., Wang, J., Liu, Y., Huang, M., Xiao, W., Wang, H., Guo, T., Chen, Z., 2019. Development and utilization of functional KASP markers to improve rice eating and cooking quality through MAS breeding. *Euphytica* 215, 66. <https://doi.org/10.1007/s10681-019-2392-7>

A szerzőnek az értekezés témaköréhez kapcsolódó publikációi

Teljes tudományos közlemények

- Lantos, C., Jancsó, M.*, Székely, Á., Szalóki, T., Venkatanagappa, S., & Pauk, J. (2023). Development of In Vitro Anther Culture for Doubled Haploid Plant Production in Indica Rice (*Oryza sativa* L.) Genotypes. PLANTS-BASEL, 12(9). <http://doi.org/10.3390/plants12091774> (* első szerző)
- Székely, Á., Szalóki, T., Pauk, J., Lantos, C., & Jancsó, M. (2023). Portoktenyésztéssel előállított tetraploid genotípusok összehasonlító vizsgálata. NÖVÉNYTERMELÉS, 72(2), 113–126.
- Székely, Á., Szalóki, T., Jancsó, M., Pauk, J., & Lantos, C. (2023). Temporal Changes of Leaf Spectral Properties and Rapid Chlorophyll—A Fluorescence under Natural Cold Stress in Rice Seedlings. PLANTS-BASEL, 12(13). <http://doi.org/10.3390/plants12132415>
- Székely, Á., Szalóki, T., Lantos, C., Pauk, J., & Jancsó, M. (2023). Data of germination ability of tetraploid rice lines under multiple stress factors. DATA IN BRIEF, 48. <http://doi.org/10.1016/j.dib.2023.109235>
- Székely, Á., Szalóki, T., Lantos, C., Pauk, J., Marks, I., & Jancsó, M. (2022). Salinity Tolerance Characteristics of Marginally Located Rice Varieties in the Northernmost Rice-Growing Area in Europe. AGRONOMY (BASEL), 12(3). <http://doi.org/10.3390/agronomy12030652>
- Jancsó, M., Székely, Á., Szalóki, T., Lantos, C., Valkovszki, N. J., Bozán, C., & Pauk, J. (2022). Evapotranspiration of a Hungarian rice variety, “SZV Tünde” in large weighing lysimeter. COLUMELLA: JOURNAL OF AGRICULTURAL AND ENVIRONMENTAL SCIENCES, 9(2), 5–12. <http://doi.org/10.18380/SZIE.COLUM.2022.9.2.5>
- Lantos, C., Jancsó, M., Székely, Á., Nagy, É., Szalóki, T., & Pauk, J. (2022). Improvement of Anther Culture to integrate Doubled Haploid Technology in Temperate Rice (*Oryza sativa* L.) Breeding. PLANTS-BASEL, 11(24). <http://doi.org/10.3390/plants11243446>
- Szalóki, T., Székely, Á., Tóth, F., Tarnawa, Á., Valkovszki, N., & Jancsó, M. (2022). Evaluation and Comparative Analysis of Meteorological Data, Moisture Content, and Rice Panicle Threshability. AGRONOMY (BASEL), 12(3). <http://doi.org/10.3390/agronomy12030744>
- Székely, Á., Szalóki, T., Lantos, C., Pauk, J., Venkatanagappa, S., & Jancsó, M. (2022). Data of selected set of rice accessions at the germination stage under cold stress. DATA IN BRIEF, 41. <http://doi.org/10.1016/j.dib.2022.107929>
- Ibadzade, M., Kun, Á., Székely, Á., Szalóki, T., Penksza, K., & Jancsó, M. (2021). The role of effluent water irrigation in the mineral absorption of aerobic rice varieties (*Oryza sativa* L.).

- Székely, Á., Szalóki, T., Ibadzade, M., Pauk, J., Lantos, C., & Jancsó, M. (2021b). Magyarországi rizs (*Oryza sativa* L.) fajtagyűjtemény hidegtűrésének vizsgálata természetes körülmények között. *NÖVÉNYTERMELÉS*, 70(1), 125–142.
- Székely, Á., Szalóki, T., Ibadzade, M., Pauk, J., Lantos, C., & Jancsó, M. (2021a). Germination Dynamics of European Rice Varieties under Salinity Stress. *PAKISTAN JOURNAL OF AGRICULTURAL SCIENCES*, 58(1), 1–5. <http://doi.org/10.21162/PAKJAS/21.464>
- IBADZADE, M., KUN, Á., SZÉKELY, Á., SZALÓKI, T., PENKSZA, K., & JANCÓS, M. (2020). The influence of irrigation with intensive fish farm water on the quality indicators of aerobic rice (*Oryza sativa* L.). *APPLIED ECOLOGY AND ENVIRONMENTAL RESEARCH*, 18(5), 7077–7088. http://doi.org/10.15666/aeer/1805_70777088
- Jancsó, M., Székely, Á., Szalóki, T., Lantos, C., & Pauk, J. (2017). Performance of rice varieties under aerobic conditions in Hungary. *COLUMELLA: JOURNAL OF AGRICULTURAL AND ENVIRONMENTAL SCIENCES*, 4(1), 83–88.
- Székely, Á., Szalóki, T., Pauk, J., & Jancsó, M. (2017). Effect of salinity on rice (*Oryza sativa* L.) in seedling stage. *COLUMELLA: JOURNAL OF AGRICULTURAL AND ENVIRONMENTAL SCIENCES*, 4(1), 79–82.
- Jancsó, M., Lantos, C., Simonné, K. I., & Pauk, J. (2009). Az in vitro androgenézis hatékonyságának növelése rizs (*Oryza sativa* L.) DH-vonalak előállítására. *AGRÁR- ÉS VIDÉKFEJLESZTÉSI SZEMLE*, 4(2), 115–121.
- Zombori, Z., Jancsó, M., Zvara, A., Pauk, J., & Gyoergyey, J. (2008). Investigation of the effect of drought stress on the rice transcriptome. *ACTA BIOLOGICA SZEGEDIENSIS*, 52(1), 143–145.
- Lantos, C., Jancsó, M., & Pauk, J. (2005). Microspore culture of small grain cereals. *ACTA PHYSIOLOGIAE PLANTARUM*, 27(4B), 631–639. <http://doi.org/10.1007/s11738-005-0067-6>

Egyéb tudományos közlemények az értekezés témakörén kívül

- Futó, P., Kutasi, J., Lengyel, E., Futó, M., Murvai, N., Jancsó, M., & Bernát, G. (2024). Straightforward method for brassinosteroid detection in microalgae. *ACTA PHYSIOLOGIAE PLANTARUM*, 46(3). <http://doi.org/10.1007/s11738-024-03649-5>
- Szalóki, T., Székely, Á., Valkovszki, N. J., Tarnawa, Á., & Jancsó, M. (2024). The Reaction of Rice Growth to the Arsenic Contamination under Various Irrigation Methods. *PLANTS-BASEL*, 13(9), 1253. <http://doi.org/10.3390/plants13091253>
- Székely, Á., Szalóki, T., Jancsó, M., Pauk, J., & Lantos, C. (2024). Reference field spectrometric data of albino rice plants. *DATA IN BRIEF*, 54. <http://doi.org/10.1016/j.dib.2024.110319>

- Demelezi, F., Jancsó, M., & Vekerdy, Z. (2023). Aquacrop Model Evaluation for Generation of Irrigation Requirements for Winter Wheat Cultivars. COLUMELLA: JOURNAL OF AGRICULTURAL AND ENVIRONMENTAL SCIENCES, 10(1), 27–34. <http://doi.org/10.18380/SZIE.COLUM.2023.10.1.27>
- Kun, Á., Simon, B., Zalai, M., Kolozsvári, I., Bozán, C., Jancsó, M., ... Bakti, B. (2023). Effect of Mulching on Soil Quality in an Agroforestry System Irrigated with Reused Water. AGRONOMY (BASEL), 13(6). <http://doi.org/10.3390/agronomy13061622>
- Szalóki, T., Székely, Á., Valkovszki, N. J., Tarnawa, Á., & Jancsó, M. (2023). Strategies for Reducing Arsenic Content in Rice: a review. JOURNAL OF CENTRAL EUROPEAN GREEN INNOVATION, 11(1), 55–66. <http://doi.org/10.33038/jcegi.4492>
- Valkovszki, N. J., Szalóki, T., Székely, Á., Kun, Á., Kolozsvári, I., Szalókiné Zima, I., ... Jancsó, M. (2023). Influence of Soil Types on the Morphology, Yield, and Essential Oil Composition of Common Sage (*Salvia officinalis* L.). HORTICULTURAE, 9(9). <http://doi.org/10.3390/horticulturae9091037>
- Valkovszki, N. J., Jancsó, M., Székely, Á., Szalóki, T., Kolozsvári, I., Tavaszi-Sárosi, S., & Kun, Á. (2023). The effect of application of effluent water on sage (*Salvia officinalis* L.) yield and quality in lysimeters. FOLIA HORTICULTURAE, 35(1), 163–177. <http://doi.org/10.2478/fhort-2023-0013>
- Zombori, Z., Török, S., Nagy, B., László, N., Sass, L., Jancsó, M., ... Dudits, D. (2023). Expression of triploid heterosis in the biomass productivity of energy willow plants under salinity stress. BIOMASS & BIOENERGY, 174. <http://doi.org/10.1016/j.biombioe.2023.106852>
- Kolozsvári, I., Kun, Á., Jancsó, M., Palágyi, A., Bozán, C., & Gyuricza, C. (2022). Agronomic Performance of Grain Sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) Cultivars under Intensive Fish Farm Effluent Irrigation. AGRONOMY (BASEL), 12(5). <http://doi.org/10.3390/agronomy12051185>
- Kolozsvári, I., Kun, Á., Jancsó, M., Bakti, B., Bozán, C., & Gyuricza, C. (2021). Utilization of Fish Farm Effluent for Irrigation Short Rotation Willow (*Salix alba* L.) under Lysimeter Conditions. FORESTS, 12(4). <http://doi.org/10.3390/f12040457>
- Marks, I., Árpád, S., Tímea, S., Károly, P., & Mihály, J. (2021). Reuse of wastewater from fish farm for irrigation in aerobic rice (*Oryza sativa* L.) cultivation. COLUMELLA: JOURNAL OF AGRICULTURAL AND ENVIRONMENTAL SCIENCES, 8(2), 17–27. <http://doi.org/10.18380/SZIE.COLUM.2021.8.2.17>
- Cseri, A., Borbély, P., Poór, P., Fehér, A., Sass, L., Jancsó, M., ... Dudits, D. (2020). Increased adaptation of an energy willow cultivar to soil salinity by duplication of its genome size. BIOMASS & BIOENERGY, 140. <http://doi.org/10.1016/j.biombioe.2020.105655>