



Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem

Növénytudományi Doktori Iskola

DOKTORI ÉRTEKEZÉS

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

DOI: 10.54598/006230

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

TARTALOMJEGYZÉK

TARTALOMJEGYZÉK	3
Jelölések, rövidítések jegyzéke	5
1. BEVEZETÉS	7
2. CÉLKITŰZÉSEK	10
3. IRODALMI ÁTTEKINTÉS	11
3.1. A magyar rizstermesztés és -nemesítés rövid története	11
3.2. A magyar rizsfajták általános jellemzői és nemesítésük rövid története	13
3.3. Haploidia története; haploidok előállítása, felhasználása a nemesítésben	15
3.3.1. Az androgenezis felhasználása nemesítési törzsek előállításában	16
3.3.2. A rizs <i>in vitro</i> androgenezise	16
3.3.3. Portoktenyésztésre használt táptalajok	20
3.3.4. A rediploidizáció folyamata és a DH növények felnevelése	22
3.4. A rizstermesztés módszereinek értékelése a vízfelhasználás alapján.....	24
3.4.1. A hagyományos, árasztott rizstermesztés jellemzői és az előnyös fajtatulajdonságok	24
3.4.2. A víztakarékos rizstermesztés lehetőségei	26
3.4.2.1. Időszakos árasztás a gyakorlatban.....	27
3.4.2.2. Az aerob rizstermesztés előnyei és hátrányai	28
3.5. Az aerob rizstermesztés példái a világon	29
3.6. Szelekciós módszerek az aerob rizstermesztésre alkalmas rizsfajták kiválasztására	31
4. ANYAG ÉS MÓDSZER	35
4.1. A magyar hagyományos rizsnemesítési program felépítése és a DH növények beillesztése a folyamatba	35
4.2. A kísérletekhez felhasznált növényanyag.....	39
4.3. A hagyományos termesztési körülmények között végzett kísérletek bemutatása	41
4.3.1. Termesztéstechnológia a kispárcellás teljesítmény összehasonlító kísérletek során ...	42
4.4. Előkísérletek az aerob termesztetőségre alkalmas törzsek szelekciójára	43
4.5. Az aerob termesztési körülmények között végzett kísérletek bemutatása és az alkalmazott termesztéstechnológia.....	44
4.5.1. Szelekciós módszerek a DH törzsek szárazságtűrésének meghatározására aerob körülmények között	44
4.6. A rizs vízfelhasználásának és szárazságtűrésének vizsgálata nagyméretű súlylíziméterekben.....	45
4.6.1. A MATE ÖVKI Liziméter Telep általános bemutatása	45

4.6.2. A nagyméretű, precíziós szabadföldi súlyliziméterek jellemzése	46
4.6.3. Az ETc és Kc meghatározás módszere és a környezeti körülmények jellemzése	47
4.6.4. A liziméterekben felnevelt aerob rizs termesztési körülményei	49
4.7. A növények általános állapotának jellemzése levélspektroszkópia segítségével vízhiányos környezetben.....	49
4.8. A kísérletek értékelése, az eredmények ábrázolása	50
5. EREDMÉNYEK ÉS MEGVITATÁSUK.....	52
5.1. A DH törzsek előállításának hatékonysága és felhasználásuk a nemesítési programban 52	
5.2. Előszelektált DH törzsek teljesítményének összehasonlítása hagyományos termesztési körülmények között	55
5.3. A DH törzsek felhasználása az aerob rizstermesztés fejlesztésére.....	61
5.3.1. Előkísérletek a szárazságstressz esetén alkalmazható szelekciós módszerekkel	62
5.3.2. DH ₁ törzsek terméseredményeinek összehasonlítása áraszott és aerob termesztésben	63
5.4. A rizs genotípusok evapotranspirációjának meghatározása nagyméretű súlyliziméterekben.....	66
5.4.1. A rizs fejlődési állapotaihoz kötött növényi koefficiens (Kc) meghatározása.....	68
5.5. A rizs szárazságtűrésének vizsgálata aerob termesztési feltételek között	70
5.6. A levél spektroszkópia eredményeinek felhasználása a DH törzsek értékelésére vízhiányos környezetben	72
6. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK	75
6.1. További vizsgálatok és a fejlesztési irányai (javaslatok).....	76
6.2. Új tudományos eredmények	78
7. AZ EREDMÉNYEK GYAKORLATI HASZNOSÍTHATÓSÁGA	80
8. ÖSSZEFOGLALÁS	82
9. SUMMARY.....	84
IRODALOMJEGYZÉK.....	86
MELLÉKLETEK.....	98
Köszönetnyilvánítás	106

Jelölések, rövidítések jegyzéke

2,4-D:	2,4-Diklórfenoxi-ecetsav
AWD:	Alternate Wetting and Drying – a rizstermesztésben alkalmazott időszakos áraszításokra épülő víztakarékos technológia
CNDVI:	Chlorophyll Normalized Difference Vegetation Index
CCI:	Chlorophyll Content Index (Parry et al., 2014)
CRI 1:	Carotenoid Reflectance Index (Gitelson et al., 2001)
DAS:	A vetéstől eltelt napok száma a rizs fejlődési állapotának és tenészsídejének jellemzésére az angol (days after sowing) kifejezésből
DCNI:	Double-peak Canopy Nitrogen Index (Chen et al., 2010)
DH:	Doubled haploid - kettőzött haploid, vagy más néven dihaploid növény
DH ₀ , DH ₁ , DH ₂ :	a DH előállítás folyamatának különböző generációi, ahol a DH ₀ a közvetlenül <i>in vitro</i> előállított növényeket jelöli, majd azok utódait DH ₁ és DH ₂ megnevezéssel jelöljük
ET _c :	Növény specifikus evapotranspiráció értéke (Allen et al., 1998)
ET _o :	Referencia evapotranspiráció értéke (Allen et al., 1998)
GK:	Gabonakutató Nonprofit Közhasznú Kft., Szeged
HI:	Harvest index – a termés aránya a teljes felszín feletti biomasszában belül (Fischer and Kertész, 1976)
IAA:	Indol-3-ecetsav
IAD:	Absorbance Difference Index (Ziosi et al., 2008)
IRRI:	International Rice Research Institute - Nemzetközi Rizskutató Intézet, Los Baños, Fülöp-szigetek
IWUE:	Egységnyi vízfelhasználással (csapadék és öntözés) előállított növényi produktum mennyisége
KC _(ini,mid,end) :	Növényi koefficiens, ami az adott növény ET _c értéke és a referencia evapotranspiráció (ET _o) közötti arányt határozza meg a növény fejlődési szakaszaihoz kötötten. Segítségével a referencia evapotranspiráció ismeretében közvetlen mérések nélkül számítható az ET _c becsült értéke
KÖTI:	Környezettudományi Intézet

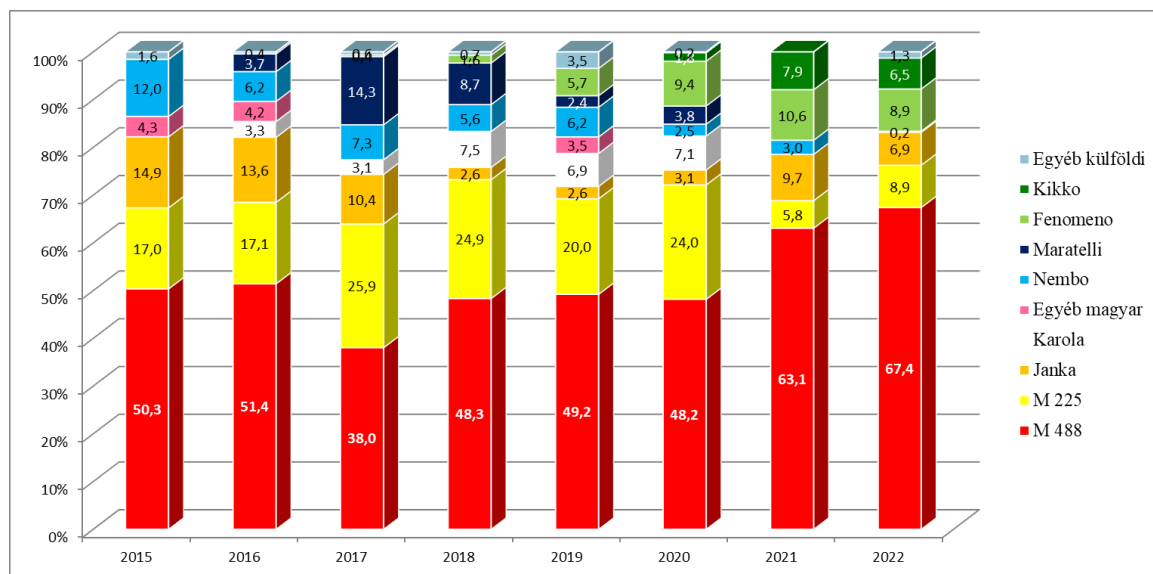
MATE:	Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem
NAA:	Naftil-ecetsav
ÖVKI:	Öntözési és Vízgazdálkodási Kutatóközpont, Szarvas
PEG:	Polietilén glikol az ozmotikus stressz kiváltására (Michel, 1983; Singh et al., 2017)
PRI:	Fotokémiai reflektancia-index - Photochemical Reflectance Index (Gamon et al., 1992)
Rizs Szövetség:	Magyarországi Rizstermesztők és Feldolgozók Országos Szövetsége
RWC:	Relatív víztartalom (González and González-Vilar, 2001; Smart and Bingham, 1974)
SES:	Standard Evaluation System for Rice, az IRRI által vezetett nemzetközi szakértői bizottság által kialakított egységes szántóföldi értékelési rendszer a különböző növénytulajdonságok jellemzésére (IRRI, 2013)
WBI:	Water Band Index (Peñuelas et al., 1994)
WUE:	Vízhasznosítási hatékonyság – egységnyi növényi biomassa előállításához szükséges víz mennyisége, amely a transzpiráción és az evaporáción keresztül hasznosul a növény élete folyamán (Sinclair et al., 1984)

1. BEVEZETÉS

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 ársztásos 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 evapotranszpirációs 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.



1. ábra A Magyarországon termelt rizsfajták megoszlása a vetésterület alapján
(Forrás: Rizs Szövetség adatgyűjtése alapján saját szerkesztés, 2023)

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 tőkeerősebb külföldi nemesítő cégek – elsősorban Olaszországból – új, korszerű fajtákat hoztak be a hazai termelők számára (1. ábra).

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 tenyésztő 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 természetességének teszteléséhez a tenyészerti körülmények mellett üvegházi és kontrollált, mesterséges körülmények közötti szelekciós vizsgálatokat is indítottunk.

A hagyományos nemesítés hatékonyságának növeléséhez a szegedi Gabonakutató Nonprofit Közhasznú Kft. (GK) munkatársaival együttműködve felhasználjuk az *in vitro* androgenezis módszerét (Pauk et al., 2009) a magyar rizsfajták általános stressztoleranciájának növelése érdekében, hogy új, a termelési gyakorlatban versenyképes fajtákat állíthassunk elő. Ebben az értekezésben ezt a kutatási és nemesítési programot és annak néhány kiemelt eredményét foglaltam össze.

2. CÉLKITŰZÉSEK

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 androgenézis 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.

3. IRODALMI ÁTTEKINTÉS

3.1. A magyar rizstermesztés és -nemesítés rövid története

A rizs (*Oryza sativa* L.) különleges eleme a magyar agráriumnak, amelynek legfőbb oka, hogy termesztése speciális körülményeket igényel, öntözése hagyományosan árasztásos technikával történik. A sikeres rizstermesztés így hosszú időn keresztül elképzelhetetlen volt az árasztásra alkalmas területek kialakítása nélkül. A kezdeti termesztési próbálkozások így nemcsak a szűken vett rizstermesztés szempontjából voltak meghatározóak, hanem azzal együtt a magyar öntözéses gazdálkodás meghonosodása és az öntözéshez szükséges infrastruktúrák (rizstelepek, csatornák, víztározók) kiépítése miatt is (Obermayer, 1958; Simonné Kiss, 1983).

Mivel a rizs nem őshonos Magyarországon, ezért a termesztés először honosított fajtákkal kezdődött el. Az első próbálkozások a rizs termesztésére a történelmi Magyarországon valószínűleg már a török időkben elkezdődtek. A korabeli „magyar” rizstermesztő területek a Temesvár környéki mocsaras vidéken és a Dunántúl déli részén lehettek (Obermayer, 1958). A hódoltság idejéből azonban nem maradt ránk egyértelmű írásos bizonyíték a rizs termesztéséről, csak a feldolgozás bizonyította a hódítók számára alapvetően fontos élelmiszer kapcsán.

A rizs magyarországi termesztéséről az első, történelmileg hitelesített és dokumentumokkal is bizonyított adatok az ország visszafoglalása és újraterelítése idejéből származnak. A rizstermesztést olasz telepesek kezdték el a Temesvár melletti Dettán 1724-ben. Ezt követően is főleg a Béga és a Ferenc csatorna mentén termeltek rizst kisebb-nagyobb területeken. A termelést hol támogatta az uralkodóház a gazdasági előnyök miatt, hol tiltotta a mocsaras termesztési körülmények veszélyei – elsősorban a maláriát terjesztő szúnyogok nagy száma – miatt.

A mai Magyarország területén a rizstermesztés csak később szerzett nagyobb jelentőséget, elsősorban az első világháború utáni kényszerűségből a magyar rizstermesztés területe északabbra szorult. Ezeken a vidékeken azonban már biztonságosan nem lehetett a korábbi olasz és amerikai eredetű, hosszabb tenyészidejű fajtákkal gazdálkodni (Simonné Kiss, 1983).

Az új rizsfajták tudományos alapokon nyugvó honosítása az 1930-as években kezdődött Szegeden, ahol 103 rizsfajtából álló – Koreából származó - nemzetközi gyűjtemény több éves

termeszthetőségi vizsgálata mellett a munka kiterjedt a talajtani és termesztés-technológiai kutatásokra is (Obermayer, 1958; Somorjai and Járányi, 1954). A rizs köztermesztése Obermayer Ernő, Herke Sándor, Szelényi Ferenc és Somorjai Ferenc fajtahonosító és nemesítő munkájának eredményeként 1939-ben kezdődött meg a Dunghan Shali rizsfajtaival a szegedi Magyar Királyi Alföldi Mezőgazdasági Intézetben (a GK jogelődjében), a Kopács környéki árasztható területeken (Petrasovits, 1969).

A Dunghan Shali fajta koraisága és kiváló főzési minősége miatt szinte egyeduralkodó lett az ezt követő két évtizedben és 1955-re a hazai rizstermő terület elérte az 55 ezer hektárt (Simonné Kiss, 1983). A fajta azonban érzékeny volt a rizs járványos barnulás vagy más néven bruzóne (pirikuláriózis) betegségére (Ruzsányi, 1996). Így a kedvezőtlen időjárás és a kezdetleges agrotechnika a fajtatulajdonságokkal együtt a valaha mért legalacsonyabb országos termésátlagot (0,8 t/ha) eredményezte ugyanabban az évben, amikor a hazai termőterület elérte a maximumát (Simonné Kiss, 2001).

Ez a termesztési mélypont adott ugyanakkor új lendületet a hazai rizsnemesítésnek, amelynek központját Szeged után Szarvason alakították ki az Öntözési és Rizstermesztési Kutatóintézetben, de számos más tudományos műhely is közreműködött a fajták fejlesztésében (Agrobotanikai Intézet, Tápiószele, Sajó Zoltán; Haltenyésztési Kutatóintézet, Szarvas, Litauszky István) (Kapás, 1997). Először külföldi fajták (Precoce Allorio, Uz-Rosz 17, Dubovszkij 129) honosításával próbálkoztak, majd az 1964-ben minősített Kákai 203 rizsfajtaival (Lajtos János nemesítő) elindult korszakban a hazai nemesítvények szinte egyeduralkodók lettek a magyar rizsföldeken (Kákai 162, 1965; Szarvasi korai, 1967; Szarvasi 70, 1975; Szarvasi karcsú, 1976; Nucleoryza, 1977; Mutashali, 1980). Már ez utóbbi két név is mutatja, hogy a hazai rizsnemesítésben folyamatosan az adott korban elfogadott legújabb technikák alkalmazására törekedtek a nemesítők. Ebben a munkában alapvetően fontosak voltak az együttműködések az egyetemi és más kutatóintézeti tudományos műhelyekkel (Heszky et al., 1996; Pauk et al., 2009). Először az indukált mutagenézist (pl. Mutashali, M 225), majd a 70-es évek közepétől az androgenézisben rejlő lehetőségeket használták fel az új fajták előállítására. A teljesség igénye nélkül a korszak jelentős nemesítői Frank Melanie, Kállay Kornél, Lajtos János, Sajó Zoltán, Simon József, Litauszky István, Árvai Zsuzsanna, Bartolák Zoltán, Pauk János és Simonné Kiss Ibolya voltak.

Az 1990 utáni időkben az átalakult birtokszerkezet és a vetésterület folyamatos csökkenésével párhuzamosan a rizsnemesítés is veszített lehetőségeiből, bár számos kiváló

minőségű és a különböző felhasználási céloknak (pl. bio termesztés) megfelelő rizsfajta kapott ezután is állami elismerést (1. táblázat). A rendszerváltás után a nemesítői munkát tovább segítette Prof. Heszky László és Dr. Pauk János biotechnológiai fejlesztéseikkel. A hazai rizsnemesítéshez kapcsolódik az első olyan államilag elismert növényfajta is, a Dáma (1992), amelynek nemesítése során a biotechnológia módszereit (haploid szomaklón technika) alkalmazták (Heszky and Simon-Kiss, 1992).

1. táblázat Magyarországon az utóbbi 40 évben állami elismerést kapott rizsfajták és főbb tulajdonságaik összefoglalója
(Forrás: Simonné Dr. Kiss Ibolya bemutatója alapján kiegészítve, saját szerkesztés, 2024)

FAJTA	ÁM éve	Tenyészdő, nap ¹	Növény magasság, cm	EMT ² , g	Szem profil ²	Járványos barnulás rezisztencia ³	Amilóz %
ORYZELLA*	1983	125-128	75	32-33	2,8	6	25-26
M-225	1985	125-130	68	28-30	1,9	6	20-21
RINGOLA*	1990	125-128	75	33-34	2,8	6	24-25
KARMINA*	1990	128-132	78	31-32	2,6	6	21-22
KÖRÖSTÁJ 333*	1990	128-134	68	29-31	2,2	5	22-23
AGUSTA*	1992	118-124	75	32-33	2,7	6	23-24
DÁMA*	1992	135-140	80	32-33	2,9	1	22-23
SANDORA*	1993	130-136	78	32-33	2,8	6	24-25
M 488	1996	128-134	75	28-30	2,2	6	22-23
RISABELL*	1997	142-148	83	29-31	3,4	5	23-24
BIORYZA H*	2002	126-130	80	32-33	2,6	5	20-22
JANKA	2002	133-137	75	27-30	2,8	6	23-24
M 60*	2002	130-134	75	32-34	2,4	6	24-25
ÁBEL	2005	110-115	70	28-30	2,1	6	21-22
FRUzsina M	2010	130-134	78	32-33	2,8	6	22-23
SZV SZELLŐ	2020	134-138	75	27-29	3,4	2	24-25
SZV TÜNDE	2021	135-140	80	29-31	2,2	1	21-22

* állami elismerés visszavonva

¹Tenyészdő, nap (talajba vetés esetén)

²Ezerszemtömeg (pelyvában), szemprofil (cargo)

³ Járványos barnulás (levél és buganyak) rezisztencia értékelése (Roumen et al., 1997) alapján (1-6 skála, ahol 1 – teljesen rezisztens, 6 – nagyon érzékeny)

3.2. A magyar rizsfajták általános jellemzői és nemesítésük rövid története

Hazánk a rizstermesztés északi határán fekszik Európában, ezért a magyar rizsfajtáknak alkalmazkodniuk kellett a különleges klimatikus adottságokhoz. Magyarországon csak a rövid tenészdőjű, hosszúnappalos és a jó hidegtűréssel rendelkező fajták termesztethetők

eredményesen (Simonné Kiss, 2001). Ezekre a tulajdonságokra a nemesítők a kezdetek óta nagy hangsúlyt fektetnek. Az országunk klímája pedig rendszeresen biztosított természetes szelekciós körülményeket a legellenállóbb genotípusok szelekciójára.

Éppen ezért a hazánkban nemesített genotípusok közül több nemzetközi kontroll fajtának minősül az abiotikus stresszekkel szembeni tolerancia fokozása területén. Ilyen kiemelkedő rizsfajta a hidegtűréssel kapcsolatos kutatásokban a HSC55, amelyet Magyarországon Sandora néven ismertek el (Jancsó et al., 2017; Székely et al., 2022; Unan et al., 2022). Az utóbbi években, az átlaghőmérséklet emelkedésével párhuzamosan egyre eredményesebb lett a külföldi, elsősorban olasz nemesítésű fajták termesztése is (lásd 1. ábra), amelyek azonban a még mindig gyakori hidegebb időszakok miatt csak nagyobb kockázattal termesztethők hazánkban.

A jelenleg Magyarországon köztermesztésben lévő hét hazai rizsfajta (M 488, Ábel, Janka, M 225, SZV Szellő, SZV Tünde és Fruzsina M) biztosítja, hogy a hazai termelők mind a hagyományos, mind az organikus (bio) termesztési rendszerben kiváló minőségű élelmiszer alapanyagot állítsanak elő a hazai és az európai piac számára. A mai rizstermesztő gazdaságokat a Nagyunságban (Kisújszállás, Mezőtúr, Besenyszög) és a Körösök-völgyében (Szarvas, Gyomaendrőd, Csárdaszállás, Köröstarcsa, Békés, Vésztő) találhatjuk meg. Az éves vetésterület 3 ezer hektár közelében mozog.

A jelenleg köztermesztésben lévő fajtákat két csoportra oszthatjuk aszerint, hogy melyik korábbi nemesítő intézmény munkájának eredményei. Az M 488, az M 225 és a Fruzsina M a korábbi Haltenyésztési Kutatóintézet (HAKI) munkatársai által bejelentett fajták. A genetikai háttérüket meghatározza, hogy alapvetően a Balilla olasz rizsfajta és különböző nemesítési törzsanyagok keresztezése utáni mutációs kezelésekből származtak azok a populációk, amelyekből a nemesítők (Litauszky István és Árvai Zsuzsanna vezetésével) kiválogatták a legmegfelelőbb vonalakat. Ezek közé tartozik az utóbbi évtizedek legsikeresebb magyar rizsfajtája az M 488, amely bár nem kiemelkedő az egyes tulajdonságaiban (terméshozam, szemforma, járványos barnulás rezisztencia, hidegtűrés), mégis kiegyenlített terméseredményeket biztosított a különböző évjáratokban.

A másik csoport a Janka és az Ábel fajtákat tartalmazza, amelyek a volt Öntözési Kutató Intézet (ÖKI) nemesítvényei. E fajták esetében szélesebb genetikai háttérből kiindulva, a hagyományos pedigree nemesítés módszerei mellett a nemesítők (Simonné Dr. Kiss Ibolya és

Dr. Pauk János vezetésével) már felhasználták az *in vitro* haploid indukció módszerét is a szelekcióra alkalmas törzsek előállítására (Pauk et al., 2009).

Az utóbbi fajták csoportjából indult ki az SZV Szellő és az SZV Tünde nemesítése is, amelyek már a 2014 után egyesített hazai rizsnemesítési és fajtafenntartási programban születtek a Nemzeti Agrárkutatási és Innovációs Központban, valamint a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetemen (Jancsó et al., 2022b).

3.3. Haploidia története; haploidok előállítása, felhasználása a nemesítésben

A legtöbb növénynemesítési eljárás a növényekben rejlő nagyfokú változatosságon és az ebből a sokféleségből történő szelekción alapszik (Bálint, 1976). Klasszikus módszerekkel egy-egy új növényfajta csak hosszú évek alatt állítható elő. A mai felgyorsult világban a növénynemesítésnek is új, gyorsabb módszereket kell alkalmaznia, ehhez adhat eszközt a DH törzsek alkalmazása.

A haploid növények, illetve az azok spontán vagy indukált megkettőzésével kialakuló DH növények a nemesítés és a genetikai kutatások fontos eszközei, hiszen segítségükkel egy generáció alatt lehet homozigóta vonalakat előállítani (Bajaj, 1990) számos mezőgazdaságilag fontos növényfaj esetében (Barnabás et al., 2005, 1999; Broughton et al., 2014; Lantos et al., 2018, 2005; Lantos and Pauk, 2021). A legegyszerűbb, de a legkiszámíthatatlanabb módszer a haploid növények felhasználására a spontán előforduló (*in vivo*) haploidok azonosítása. Már több mint száz éve, hogy az első természetes módon kialakuló haploid növényről a *Datura stramonium* esetében beszámoltak (Blakeslee et al., 1922). Mivel a haploid növények természetes előfordulása meglehetősen ritka, tervezett felhasználásuk nem gazdaságos, ezért a kutatók figyelme az indukált, *in vivo* és *in vitro* technikák felé fordult.

A portoktenyésztést, az izolált mikrospóra tenyésztést, az ovárium tenyésztést, az ovulum tenyésztést (Maheshwari, 1958), a bulbosum technikát (Ozdemir et al., 1990), a phureja technikát, a marker módszert (Chase, 1952, 1947), valamint az ikercsírás módszert is sikerrel alkalmazták. A leghatékonyabb technikák alapvetően az androgenezisen, a ginogenezisen és a távoli keresztezéseken (Kasha and Kao, 1970) alapulnak. Guha és Maheshwari (1964) dolgozták ki a *Datura innoxia* esetében a protoktenyésztés módszerét (Guha and Maheshwari, 1964).

3.3.1. Az androgenezis felhasználása nemesítési törzsek előállításában

Eddig több mint 300 növényfaj esetében bizonyították be azt, hogy *in vitro* létrehozhatók mikrospóra eredetű haploidok. Ennek ellenére még mindig számos olyan gazdaságilag jelentős faj létezik, amelyek esetében az előállítási hatékonyság alacsony (Hale et al., 2022). A sikeres portoktenyésztés egyik alapfeltétele így a megfelelő válaszadó képességgel (reszponzivitással) rendelkező donor növények kiválasztása. Természetes körülmények között, a mikrospórák gametofita fejlődési útja determinált a portokokban. Az androgenezis indukciójához, ezt a fejlődési utat meg kell szakítani, és biztosítanunk kell a mikrospórák sporofitikus fejlődésének a feltételeit.

A mikrospórák egy sejtmagvas vakuólumos, illetve korai két sejtmagvas állapotban alkalmasak az androgenezis indukciójára (Reynolds, 1997). Napjainkban egyre inkább bizonyított, hogy az androgenezist különböző stressztényezőkkel eredményesen indukálhatjuk (Lantos et al., 2018), ilyen tényezőnek számít a mikrospórák esetében a hideg előkezelés, az éheztetés, a 2,4-D sokk, a magas NaCl koncentráció, a hő és az ozmotikus stressz is (Shariatpanahi et al., 2006).

A portoktenyésztés jelentőségét számos elismert hazai búzafajta is mutatja. A búza fajták közül a GK Délibáb (1992), GK Szindbád (1996) és GK Tündér (2001) fajtákat Szegeden nemesítették (Pauk et al., 2003, 1995), míg az Mv Szigma (1994) és Mv Madrigál (1996) fajták martonvásári nemesítésűek (Barnabás et al., 2001; Zamani et al., 2000).

3.3.2. A rizs *in vitro* androgenezise

Az egyszikűek osztályán belül a rizs volt az első olyan faj, amelynél az *in vitro* androgenezist leírták. Az első sikeres *in vitro* haploid indukciós eljárásról Niizeki és Oono (1968) japán kutatók számoltak be (Niizeki and Oono, 1968). Később több kutató is publikálta a közvetett úton regenerált haploidok előállítását (Chen, 1977; Cornejo-Martin and Primo-Millo, 1981; Reinert and Bajaj, 1977). A tenyésztő tápközegben 2,4-D hormont, a regeneráló táptalajban pedig indol-3-ecetsavat (IAA) és kinetint alkalmaztak. Chu 1975-ben számolt be az N₆ táptalajról, ami az egyik legfontosabb felfedezés volt a rizs *in vitro* androgenezisének kutatása során (Chu et al., 1975). Reiffers és Freire (1990) 1mg/l NAA-val kiegészített N₆

táptalajt és módosított MS regeneráló táptalajt (3mg/l Kinetin and 0,5mg/l NAA) használtak sikeres kísérleteikben, de beszámoltak az albínó növények magas arányáról is (a regenerált növények 27%-a) (Reiffers and Freire, 1990). Lentini *et al.* (1995) a maltóz és az ezüst-nitrát előnyös szerepéről számoltak be az androgenezis indukálása során (Lentini et al., 1995). A portoktenyésztés esetén is bizonyították a genotípus alapvető szerepét az androgenezis indukciójának sikerességében, az indica alfajhoz tartozó növények esetében a zöld növény regenerálási hatékonyság lényegesen alacsonyabb volt a japonica genotípusokhoz hasonlítva (Guiderdoni et al., 1992).

A portoktenyésztés mellett az izolált mikrospóra eredetű rizs DH vonalak előállításáról (Cho and Zapata, 1990, 1988) is publikáltak japonica és indica rizs genotípusok esetében, bár az előállítás hatékonysága meglehetősen alacsony volt.

A rizs öntermékenyülő növény, de a hagyományos nemesítés eredményeként számos változata alakult ki a világban, az IRRI génbankjában például több mint 124 ezer genotípust őriznek (Jancsó, 2016). A hagyományos nemesítés hosszadalmas folyamata azonban nem kedvez a gyorsan változó kihívásokhoz való alkalmazkodásnak. A nemesítés folyamatát több módszerrel lehet gyorsítani (géntechnológia, shuttle breeding, generáció gyorsítás) és ezáltal hatékonyabbá tenni, ezek között találjuk a dihaploid módszereket is. Az *in vitro* androgenezis a hagyományos nemesítés folyamatába integrálva növeli annak hatékonyságát, egy generáció alatt juthatunk el egy hasadó nemesítési anyagból a homogén törzsekig (Patra et al., 2019).

A rizs portoktenyésztés, az *in vitro* androgenezis kétlépcsős folyamat, melynek kezdeti lépése a kallusz képződése, majd a kalluszból történő szervorganizáció (organogenezis) (Silva, 2010). Az *in vitro* androgenezis bekövetkeztéhez az alapanyagon különböző stresszkezeléseket alkalmaznak, melyek közül rizsnél a hidegkezelés a leggyakrabban választott eljárás, melynek mértéke és hossza változó lehet. A rizs haploidoknál jellemző a spontán diploidizáció a folyamat során. Azonban a keletkezett zöld növények és a dihaploidok arányának növeléséhez általánosan használt technika egy antimitotikus szerrel, a kolchicinnel történő kezelés. (Rukmini et al., 2013).

Ahogy más növényeknél, úgy rizs dihaploidok előállításánál is az egyik legfontosabb befolyásoló tényező a genotípus. A fajták rezponzivitását, a DH előállítási technikák hatékonyságát alapvetően az alfajokhoz való tartozás határozza meg (Lantos et al., 2023). A termesztésben elterjedt *O. sativa* esetében két alfajba tartozik a termesztett genotípusok döntő többsége, ezek az indica, illetve a japonica alfajok. Az indica fajták elsősorban a trópusi

éghajlathoz alkalmazkodtak, hosszú szeműek és főzés után kevésbé ragadnak össze a szemeik. A japonicák esetében a szentípus kevésbé hosszú, az amilóz tartalom általában kisebb és a mediterrán valamint a mérséklet égővben elsősorban ezek a fajták terjedtek el (Patra et al., 2019). A DH előállítás szempontjából az igazi különbség a két alfaj között, hogy az indica típusok reszponzivitása jóval gyengébb, mint a japonicáké.

Thaiföldön végeztek indica fajtákkal kísérleteket arra vonatkozóan, hogy a különböző alaptáptalajok mennyiben befolyásolják a sikeres kallusz indukciót, majd az azt követő zöld növény regenerációt (Sripichitt et al., 2000). Vizsgálataikkal bizonyították, hogy a megfelelő táptalaj kiválasztásával nagymértékben csökkenthető az elhalt kalluszok és albínó növények aránya, így jóval több regenerált zöld növényt nyerhetünk. Hosszú távú megoldást jelentene az indica fajták alacsony reszponzivitására, ha sikerülne a portokkultúrák hatékonyságát javítani a kevésbé válaszadó indica genotípusoknál (Bishnoi et al., 2000). Ehhez részletesebben meg kell ismerni a válaszadóképességet meghatározó tulajdonságok genetikai szabályzását is (Bishnoi et al., 2000).

A mikorspórák csak rövid ideig vannak a megfelelő, egy sejtmagvas vakuólumos, illetve korai két sejtmagvas állapotban ahhoz, hogy az androgenikus fejlődést kiválthassuk. Ezért nagyon fontos, hogy a tervezett DH előállításhoz ismerjük a genotípusok tenyésztési idejét és azon belül a bugahányás idejét. Az azt megelőző rövid időszakban a portoktenyésztés sikeresen alkalmazható a DH növények előállítására (Marassi et al., 2006). A megfelelő fejlettségi állapotú rizsnövényekről a bugákat begyűjtik, majd az androgenezis indukciójának érdekében általában hidegkezelésnek vetik alá. A kezelés után a protokolloknak megfelelően elvégzik a portokok izolálását, majd táptalajra helyezését. A több hetes inkubálást követően a rizs *in vitro* androgenezis következő lépcsője a kalluszokból történő növényregenerálás. A keletkezett kalluszokat ilyenkor az indukciós táptalajról regeneráló táptalajra kell áthelyezni (Lantos et al., 2022, 2005).

Számos ország kutatói számoltak be az *in vitro* androgenezis eredményes használatáról a rizs nemesítésében. Indonéziában a DH törzseket felhasználták a termelésben is hatékonyan alkalmazható vonalak szelekciójában, miközben a szárazságtűrés fokozására is kiemelt figyelmet fordítottak (Akbar et al., 2018). A Koreai Köztársaságban több magas minőségű és kiemelkedő termőképességű fajtát állítottak elő portok tenyésztéssel, köztük a 'Hwaseongbyeon' fajtát (Moon et al., 1986).

A rizs DH vonalak korábbi, magyarországi sikeres nemesítési felhasználását bizonyítja, hogy Simonné Kiss Ibolya, Heszky László és Pauk János vezetésével több rizsfajta (Dáma, Risabell, Janka és Ábel) kapott állami elismerést Magyarországon (Heszky and Simon-Kiss, 1992; Pauk et al., 2009). Kutatócsoportunk pedig sikeresen alkalmazta a módszert különböző nemesítési célok elérésre érdekében indica és japonica genotípusok esetében egyaránt (Lantos et al., 2023, 2022).

Az androgenezisen alapuló technikák közül a portoktenyésztés a rizsnemesítés széles körében elterjedt eljárásnak számít (Lantos et al., 2005). Azonban számos tényező befolyásolja az alkalmazhatóságát (Mayakaduwa and Silva, 2018):

- az indukcióra használt rizs alfaj: a japonica rizsekkel szemben az indica rizsek esetében a válaszadóképesség lényesen alacsonyabb és erősen genotípus függő (Bishnoi et al., 2000)
- a donor növények felnevelése
- a mikrospórák fejlettségi állapota
- az előkezelések:
 - alacsony hőmérséklet (8-10°C) több napon keresztül
 - ozmotikus stressz
 - éheztetés
 - besugárzás
- a tenyésztő tápoldatok összetétele (maltóz, nitrát és ammónium ion arány, exogén hormonok)
- a tenyésztő tápközeg fizikai tulajdonságai (szilárd vagy folyékony halmazállapot)
- tenyésztési környezet
- a növényregenerálás rutinszerű alkalmazhatósága

Az izolált mikrospóra tenyésztésnek a lényegesen nehezebb kivitelezés ellenére számos olyan előnye van a portoktenyésztéssel szemben, ami miatt a nemesítésben rendkívül fontos szerephez juthat a jövőben:

- A tenyésztetben csak meiotikus eredetű haploid sejtek vannak, így a regeneránsok haploid eredete biztos, még akkor is, ha a regenerálást követően ploidfoka magasabb, szemben a portoktenyésztéssel, ahol meglehetősen nehéz a nem haploid sejtek pollen eredetét bizonyítani.
- Az izolált mikrospórákból regenerált növénykéek garantáltan egy sejt eredetűek.

- A sejteket tápoldatban tenyésztjük, ezért nem érvényesül a portok falának biológiai szűrő szerepe, ami fokozza a folyamat megismerésének nehézségeit, és komoly bizonytalansági tényező.
- Haploid szinten végezhető a szelekció (HSC módszer), ami felszínre hozza az esetleges gametoklonális variabilitást, és lehetővé teszi a recesszív gének hatásának fenotípusos megjelenését.
- Lehetővé válhat nagyszámú hímvarsejt izolálása az *in vitro* termékenyítéshez, amennyiben nem androgenezist indukálunk, hanem a mikrogametogenezist tartjuk fenn.
- Genetikai transzformációban használva a technikát, homozigóta transzformánsokat állíthatunk elő egy lépésben.
- Krioprezervált, és hosszú ideig tárolt pollenből lehetővé válhat haploid növények regenerálása, több éves vagy évtizedes megőrzés után is.

3.3.3. Portoktenyésztésre használt táptalajok

Nemcsak a genotípus, az előkezelések, vagy a donor növények állapota van lényeges hatással a sikeres *in vitro* androgenezisre, hanem a portoktenyésztésre használt különböző táptalajok, tápoldatok összetétele is (Jancsó, 2004). A táptalajoknak általánosságban az alábbi összetevőket kell tartalmazni: makro- és mikroelemek, vitaminok, növekedésszabályozó anyagok, szénhidrátok, és egyéb különböző komponensek. Megkülönböztetünk indukciós és regenerációs táptalajokat; az androgenezis kétlépcsős folyamat, ahol először mikrosporából történik a kallusz indukció, majd az indukált kalluszból a zöld növény regenerálása (Sakina et al., 2020).

Az első portoktenyésztésre használt táptalaj a Miller által kidolgozott (Miller et al., 1955) IAA kiegészítéssel készült táptalaj volt (Amasino, 2005), majd 10 évvel utána következett az egyik legáltalánosabban használt Murashige-Skoog által még 1962-ben megalkotott MS táptalaj (Murashige and Skoog, 1962), bár gabonaféléknél, így a rizsnél is inkább jellemző az N₆ táptalaj használata. Az N₆ táptalajt Chu írta le 1978-ban, ő foglalkozott a N kiegészítők optimalizálásával (Chu, 1978). Chu és munkatársai különböző, portoktenyésztésre alkalmas táptalajokat hasonlítottak össze kísérleteikben (Chu et al., 1975). Az MS táptalaj és az N₆ táptalaj összehasonlításánál 3 különböző rizsfajtával dolgoztak, és mindhárom fajtánál jóval nagyobb arányú volt a kallusz indukció frekvenciája az N₆ táptalajon, mint az MS táptalajon. Rizzsel

végzett kísérletükben 5% szacharóz koncentrációt használtak, ami a pollen kallusz indukciójára kevésbé hatékony, mint a 3%, de a kalluszból történő hajtás-differenciációt tekintve kedvezőbb, és összességében hatékonyabb.

Sakina és munkatársai (2020) japonica rizsfajtaival végeztek kísérletet, melyben 3 különböző táptalajt használtak az androgenezis, majd a növényregenerálás egyes fázisaiban. A kísérletben használt N_6 és módosított N_6 (N_{6m}) táptalajok egyaránt kaptak maltóz és etilén-inhibitor kiegészítést (Sakina et al., 2020). Az N_6 táptalajt ezen kívül kiegészítették NAA-val és 2,4-D-vel, kinetinnel, ciszteinnel, triptofánnal is, míg az N_{6m} táptalajba NAA-t, 2,4-D-t, kinetint adtak, majd 5%-os agarózzal szilárdították meg. Regenerációra több különböző MS táptalajt használtak 3% szacharóz, BAP (benzilaminopurin), kinetin és NAA kiegészítéssel, 8%-os agarózzal szilárdítva. Az N_{6m} táptalaj számos makro-és mikro komponensében is eltér az eredeti N_6 táptalaj összetételétől. Az ammónia alacsonyabb koncentrációját az N_{6m} táptalajban előnyösnek találták a rizs portokkultúráknál.

Az *in vitro* androgenezis indukciója és a zöld növény regeneráció is nagyban függ a genotípustól. A kiterjedt kutatási programok ellenére a rizs esetében a japonica alfajhoz tartozó genotípusok esetében még mindig jelentősen hatékonyabb a módszer alkalmazása az indica eredetű genotípusokhoz képest (Visarada et al., 2002). Visarada és munkatársai (2002) ötféle indica rizsfajtát teszteltek 4-féle indukciós táptalajon (NBKNB, MSTC, PP és GH). A regenerációra pedig MS táptalajt használtak. Megerősítették, hogy a különböző talajokon a kalluszból történő növényregeneráció nagyban függ a genotípustól, a táptalajtól és azok kölcsönhatásától. Az NBKNB táptalaj hatékonyan bizonyult a portokkultúrában fejlődő kalluszok számának növelésére, majd a regenerációs táptalajon is fenntartották a gyorsabb ütemű fejlődésüket (Sivamani et al., 1996). Az NBKNB talaj növelte a regenerált növények mennyiségét, így indica genotípusoknál is előnyösnek bizonyulhat ez a táptalaj a továbbfejlesztése esetében.

A magyarországi haploidia kutatás az 1970-es években indult és először dohány portokkultúra sikerességéről számoltak be a kutatók (Heszky and Paál, 1972). A rizs esetében az első jelentős gyakorlati eredmény a Dáma rizsfajta állami elismerése volt 1992-ben, amely Simonné Dr. Kiss Ibolya és Heszky László professzor közös kutatási és nemesítési programjának sikerét bizonyította. Az ezt követő években Pauk János és munkatársai segítették tovább a magyar rizsnemesítést a biotechnológia eszközeivel. Több rizsfajta is állami elismerést kapott az

ezredforduló környékén. Ezek közül a Janka és az Ábel jelenleg is köztermesztében van, míg a Risabell rizsfajta elismerését időközben visszavonták (Pauk et al., 2009).

Az *in vitro* androgenezis indukciójára N₆-os táptalajt használtak, ahol 1 mg/l NAA kiegészítést, 30 g/l szacharózt, 1,8 g/l Phytagelt alkalmaztak. Ezeken kívül kolchicin és DMSO kezelést is végeztek, hogy a fertilis DH növények számát megnöveljék.

3.3.4. A rediploidizáció folyamata és a DH növények felnevelése

A portokkultúrák haploid sejtekből indulnak ki, a növényregeneráció során is jelentős lehet a haploid növények aránya. Gyakorlati szempontból azonban a dihaploid növényeknek van jelentőségük, hiszen azok alkalmasak a továbbtermesztésre és a belőlük nevelt homogén DH törzsek lehetnek a nemesítési programokban sikeresen kiválasztott fajtajelöltek alapjai. A haploid növények általában kisebbek, több oldalhajtást fejlesztenek, mint a diploid növények, de ami a legfontosabb, fertilis szemeket nem nevelnek (Gosal et al., 1997). A haploid regeneránsok növekedési erélye kisebb, degenerált virágokkal vagy portokokkal, többnyire sterilek, vagy nagymértékben csökkent a termékenységük.

Ezzel szemben a DH növények fejlettségben általában hasonlítanak a donor növényekre, fertilisek (Tripathy et al., 2019). A ploid szint további növekedésével részben növekednek a fejlettségi tulajdonságok, a növények erőteljesebbek, a szemek mérete nagyobb. De a tetraploid növények esetében is limitálja azok alkalmazhatóságát az általában alacsony fertilitás (Székely et al., 2023a). A potenciálisan nagyobb termés hozam azonban jelenleg is kiemelt figyelmet biztosít a tetraploid rizsek fejlesztésének, amelyek esetében a fertilitás növelése esetében reálisan elérhető lenne a termelés növelése.

A DH növények előnye a nemesítésben közvetlenül használható homogén törzsek előállításával, hogy bennük a recesszív mutációk és egyéb genetikai változások könnyebben azonosíthatóak. Amennyiben egy-egy keresztezési kombinációból nagyszámú DH törzset tudunk előállítani, akkor azok felhasználhatóak genetikai analízisre, géntérképezésre és célzott génbevitel után a transzgének rögzítésére is (Kahrizi et al., 2011).

Nemesítési szempontból azonban az igazi előnyük, hogy egy generáción belül tudjuk azokat a homogén törzseket előállítani, amelyeket hagyományos módszerekkel csak lényegesen hosszabb idő alatt és nagyobb ráfordítással hozhatnánk létre (Hooghorst et al., 2021).

A rediploidizáció a természetben spontán is előforduló folyamat, a kromoszómaszerelvény megduplázódását jelenti. A regenerált haploid növények spontán meg többszörözhetik a kromoszómaszámukat az embriogenezis korai szakaszában és ez eredményezhet spontán DH és tetraploid, de ritkán polyploid növényeket is (Ahmadi and Ebrahimzadeh, 2020). A spontán genom duplikáció fellépése a rizsnél átlagosan 50-60%-os arányban sikeres (Gosal et al., 1997).

Ez a spontán rediploidizáció a jó válaszadóképességű genotípusok esetében elegendő lehet arra, hogy a nemesítési programok számára megfelelő számú DH törzset szolgáltatson, de az alacsony rezponzivitású genotípusok esetében mindenképpen törekedni kell arra, hogy a fertilis DH törzsek aránya a lehető legnagyobb legyen. A kromoszóma-duplikáció folyamata mesterségesen is kiváltható, és nemcsak az *in vitro* androgenezis indukálásához, de a kromoszómaszám duplikálásához is különböző stresszkezeléseket alkalmaznak, melyek közül az ún. antimitotikus kezelések a leggyakoribbak.

Az antimitotikus szerek hatásának háttere, hogy félbeszakítják a növény sejtciklusát, meggátolva a metafázist, ahol az alfa-és béta-tubulinok a kromoszómák migrációját okozzák, így a folyamat doubled haploid sejteket eredményez (Hooghorst et al., 2020, 2018).

A rediploidizáció klasszikus módja a haploid növények, illetve azok hajtás-vagy virágrügyeinek, virágzatának kolchicin kezelése (Dudits and Heszy, 2003). Az antimitotikus szerek közül ezt alkalmazzák a leggyakrabban. A kolchicin egy mérgező növény, az őszi kikerics (*Colchicum autumnale*) alkaloidja, és számos növényfajnál alkalmazzák kromoszóma-duplikációra *in vitro*. Ilyenkor a kolchicint a táptalajba azelőtt kell injektálni, hogy a mikrospórában az első mitózis hozzájárulna a gametofita kromoszómaszám növekedéséhez (Datta, 2005). Kolchicin kezelés egyébként nem csak kromoszóma duplikálására használható. Hooghorst és munkatársai (2018) japonica fajtákkal végeztek különböző kísérleteket, többek között arra vonatkozóan is, hogy a kolchicin kezelés milyen hatással van a kallusz indukcióra és a növények regenerációjára (Hooghorst et al., 2018). Az összes genotípuson többféle paraméterrel is mérték a kolchicin hatását: regenerált doubled haploid növények, zöld/albínó növények aránya, és a regenerált zöld növények aránya. A regenerált DH növények aránya például minden genotípusnál magasabb volt a kolchicinnel kezelt növényeken, mint a kezelés

nélkülieken. A kolchicinen kívül más antimitotikus szer is használható diploidizációra: az oryzalin, pronamide, trifuralin és az amyprophos-methyl szintén kiválóan alkalmazhatóak (Ren et al., 2017).

A kromoszóma-duplikáció nem csak antimitotikus szerek által váltható ki, egyszerű stresszkezeléssel is elérhető a növények spontán diploidizációja. Rizs 3 napos 10 Celsius fokos hidegkezelése 50-60% dihaploid növényt eredményezhet. Premvaranon és munkatársai (2011) indica hibrid rizsfajtánál vizsgálták a kolchicin és a hormonsokk hatását a kromoszóma-duplikációra, valamint az embrioid indukcióra (Premvaranon et al., 2011). Kísérletükben LS táptalajt használtak kiegészítve 0,2 g/L kolchicinnel, és 100 mikro M 2,4-D-vel. A kísérlet 6 héten belül 70%-nál is több életképes doubled haploid növényt eredményezett, bizonyítva a kolchicin és a hormon diploidizáló hatékonyságát.

Ploidia-fok meghatározására ma már általában áramlási (flow) citométert alkalmaznak a laboratóriumokban. Ezek a műszerek alkalmasak sejtszámlálásra, illetve DNS-tartalom mérésére, amiből megállapíthatjuk, hogy a vizsgált növény haploid, diploid vagy tertaploid. Más kevésbé biztos módszerek is használhatóak a ploidfok vizsgálatára. Ezek közül az egyik legegyszerűbb technikai háttérrel igénylő módszer a sztóma-zárósejtek mikroszkópos vizsgálata, ahol a zárósejtek hossza alapján lehet elkülöníteni a haplois és diploid növényeket. A diploid növények esetében a sztómák nyílásai nagyobbak, mint a haploid növényeknél (Pauk, 2005).

3.4. A rizstermesztés módszereinek értékelése a vízfelhasználás alapján

3.4.1. A hagyományos, árasztott rizstermesztés jellemzői és az előnyös fajtatulajdonságok

A rizstermesztésben az árasztásnak élettani, klimatológiai és agrotechnikai szempontból is egyaránt nagy jelentősége van és a minőségi tulajdonságokat is döntően befolyásolhatja a növény vízellátottsága. Az érés során például a korábban lecsapolt árasztóvíz hiányában jelentősen nőhet a gipszes szemek aránya.

A víz a gyökérzónából fontos anyagokat old ki és szállít a növényi szervekbe, ezen felül, mint hőszabályozó hűti a növényi szöveteket, hiszen magas hőmérsékleten a víz párologtatása biztosítja, hogy a növényi ne melegedjék a kritikus érték fölé. Közvetve növényi tápanyagként is szolgál a víz hiszen 2-5 %-a a víznek alkotóelemeire bontva beépül a növény szervezetébe is. A

vízréteg klimatológiai szerepe az egész tenyészidő folyamán jelentős. Hőháztartási tulajdonságai miatt különösen nagy a szerepe a bugadifferenciálódás és a virágzás időszakában, amikor gyakoriak az éjszakai lehűlések. A vízréteg magasságától függően csökken a gyökérzóna hőingadozása (Jancsó, 2024). A vízréteg agrotechnikai szerepének a gyomosodás elleni védekezésben van nagy jelentősége, hiszen hazai rizstermő területeink erősen fertőzöttek különböző kakaslábűfajokkal. Irtásuk vegyszerekkel megoldott, azonban azokon a helyeken, ahol a terepegyenetlenségek következtében időszakosan van csak vízborítás a kakaslábű újra kikel (Simonné Kiss, 1983).

A kelesztés 1-2 napos átfutó árasztással történik, melynek célja, hogy a talaj művelt rétege teljesen átitatódjék vízzel. Utána a felesleges vizet lecsapolják. A kikelt rizst fokozatosan kell elárasztani, úgy, hogy a növény alsó 1/3-a mindenkor vízben legyen. A nyár folyamán 20-25 cm-es vízmagasságot kell tartani. Ez a tenyészidőszak alatt átlagos termőhelyi viszonyok között hazánkban kb. 10-12 ezer m³ öntözővíz kijuttatását jelenti hektáronként. A rizstermesztés sikere azon is múlik, hogy a lecsapolások, az árasztások, a vízcserék, a vízpótlások ne tartsanak 48-72 óránál tovább (Antal, 2000).

A tenyészidő utolsó hónapjában a vizet nem pótoljuk. Amikor a rizs fő termőszárain a szemek a viaszérés kezdetén vannak, előbb fokozatosan, majd felgyorsítva megkezdjük a lecsapolást, ennek ideje általában augusztus utolsó harmadára esik.

A rizs betakarításának ideje évről-évre változik. Optimális vetésidő és kedvező nyári időjárás esetén az átlagos tenyészidejű fajták esetében szeptember második dekádjára esik az aratási munkák kezdete (Jancsó et al., 2022b).

Régen a rizst szinte csak kézi erővel aratták, a levágott rizst kúpokba rakták, majd kellő száradás után a cséplés helyére szállították és kicsépelelték. Ez a módszer hosszú, nagy munkaerő-igényű és hatalmas termésvesztéssel járt (Somorjai and Járányi, 1954). 1970-es évekkel vált általánossá a gépi betakarítás. Ezzel az aratás ideje és költsége is csökkent, azonban a nagy nedvességtartalom miatt problémaként jelentkezett a rizs minőségének megőrzése. Napjainkban azok a rizsfajták lehetnek sikeresek a magyar termőterületeken, amelyeknek a virágzása július végén augusztus elején biztonságosan megtörténik, mert ebben az esetben várható a teljes érés szeptember közepére-végére. Ekkor a betakarítás bár az időjárástól erősen függően, de általában biztonsággal és alacsony szemnedvesség mellett elvégezhető.

A teljes érés kezdetén kerülhet sor az állományszárításra, s ezt követően 5-8 napra féllánc talpas vagy lánc talpas kombájnnal a betakarításra. Az állományszárítás súlyos minőségi problémákat okozhat, ezért ha nem feltétlenül szükséges, akkor ne alkalmazzuk. Gazdaságossági okokból a gyakorlatban nem is igen használják már. A rizst minél előbb be kell takarítani, mert az őszi időjárás, elsősorban a nagy hőingás a minőséget jelentősen ronthatja. A nyers termést előtisztítás után 35°C-os hőmérsékleten 15% nedvességtartalomra kell szárítani, hogy hántolásig károsodásmentesen tárolható legyen.

A termés mennyisége és minősége szempontjából tehát egyaránt fontos, hogy a terület nagyobb részén a biológiailag optimális időben kerüljön sor a rizs betakarítására. Az optimális érésállapot az állomány elvirágzása után 35-45 napra következik be, ami a szem sárga pelyvaszíne, nedvességtartalma (20-25%) és keménysége alapján állapítható meg (Simonné Kiss, 1983).

A túlérett rizs minősége gyengébb lesz (repedezett), csépléskor könnyen pereg, sérül. Ezért a betakarítást a lehető legrövidebb idő alatt célszerű befejezni. A pontos időzítés nagyon fontos hiszen már 9-15 napos késésnél a termésveszteség jelentősen növekszik (Simonné Kiss, 1983).

3.4.2. A víztakarékos rizstermesztés lehetőségei

A világon körülbelül 11 millió hektáron terülnek el olyan rizsföldek, amelyek esetében rövidebb, hosszabb időszakokra a túl magas vízborítás, az áradások okoznak gondokat. A legkedvezőtlenebb helyzetben viszont azok a gazdák dolgoznak, akik a természetes csapadéokra alapozott, dombvidéki (upland) körülmények között (14 millió ha) termelnek (Bouman et al., 2002). Ezeken a területeken a növények zömében extenzív termelési körülmények között, rossz minőségű és sokszor az erózióknak erősen kitett talajokon kénytelenek fejlődni. A szegény kistermelők számára a tápanyag-utánpótlás csak korlátozott mértékben áll rendelkezésre. A csapadékeloszlás kiszámíthatatlansága miatt, amit az előrejelzések szerint számos régióban erősíteni fog a klímaváltozás (Orge, 2015), az itt termesztett rizsfajták egyre fontosabb tulajdonsága lesz a szárazságtűrés (Dixit et al., 2015).

A vízhiány az egyik legjelentősebb terméslimitáló tényező a világ rizstermesztésében. A szárazságstressz előfordulása elsősorban a kizárólag a természetes csapadékra alapozott

termelési rendszerek jellemzője, amelyek rendkívül érzékenyek a klímaváltozás hatásaira. Ezért, és az alternatív termelési rendszerek fejlesztése miatt is fontos a rizs szárazságtűrésének fokozása (Simonné Kiss and Ipsits, 1992). A környezettudatosabb gondolkodásmód terjedése és a klímaváltozás következményei miatt is kulcsfontosságú a víztakarékos rizstermesztés kidolgozása. Elsősorban az értékes édesvíz készletek megóvása és hatékony felhasználása érdekében (Bouman et al., 2002), de ugyanúgy fontos lehet számos országban a metánkibocsátás csökkentése miatt is (Runkle et al., 2019). A metán fontos szerepet játszik az általános felmelegedésben, mint üvegházhatású gáz, amelynek kialakulását árasztott körülmények között a talajtulajdonságok, a rendelkezésre álló szervesanyagok és a bugahányás időszakát követően a növények gyökérzetének megváltozó környezete is fokozni képes (Wassmann et al., 1993; Neue et al., 1997).

A szigorúan vett árasztott rizstermesztés (79 millió ha) mellett, a természetes csapadékra alapozott termelés is jelentős területeket foglal magába (54 millió ha). Ez utóbbi területeken a természetes csapadék ingadozása miatt már előfordulhatnak rövidebb-hosszabb vízhiányos időszakok is (GRiSP, 2013).

Ázsia legnagyobb rizstermesztő országaiban a termőterület majd 50%-a (rainfed systems) veszélyeztetett a vízhiánytól a természetes csapadék kiszámíthatatlansága és a klímaváltozás szélsőségeket fokozó hatásai miatt (Fisher et al., 2003).

3.4.2.1. Időszakos árasztás a gyakorlatban

A mezőgazdasági vízfelhasználásban a rizstermesztés jelentős szerepet tölt be a világ számos országában. A termelés vízigényének csökkentése ezért világszinten is fontos cél. Más-más okok miatt (természetes csapadékra alapozott technológia, metán kibocsátás csökkentése, öntözőrendszerek hiánya) az aerob termesztésre alkalmas rizsfajták nemesítése és a hozzá kapcsolódó technológiafejlesztés az utóbbi évtizedekben felgyorsult (Champness et al., 2023; Kadiyala et al., 2012; Kato et al., 2009; Nie et al., 2012; Samoy-Pascual et al., 2022).

Az időszakos árasztás (alternate wetting and drying, AWD) technológiája az egyik legperspektivikusabb módszer, amely jelentősen hozzájárulhat a rizstermesztés vízigényének csökkentéséhez. Mivel a rizs termesztése során jelentős a vízfelhasználás, ezért a módszerrel elérhető 25-70%-os vízmegtakarítás hatása is jelentős (Ishfaq et al., 2020). A módszer előnye, hogy nem igényel új beruházást a termelők részéről, csak az árasztások gyakoriságát kell

csökkenteni és az esetlegesen kialakuló vízhiányos időszakokra alkalmas fajtákat kiválasztani (Yao et al., 2012). Lampayan et al. áttekintése alapján az AWD alkalmazásával a hagyományos rizstermesztéshez képest 38% öntözővíz takarítható meg anélkül, hogy a termésmennyiség csökkenne (Lampayan et al., 2015). A termelők bevételei pedig növekedtek a technológia bevezetése után, amelynek legfontosabb oka az öntözővíz mennyiségének csökkenése, a szivattyúk működtetésének rövidülése és az öntözésre szánt idő más tevékenységekre fordítása (Enriquez et al., 2021).

Mivel a rizstermő területek a tenyészidőszak egy részében kiszáradnak, ezért a metánkibocsátás is jelentősen csökkenthető a technológia alkalmazásával (Ishfaq et al., 2020; Neue et al., 1997). A rizs evapotranspirációját a nagyobb biomassza, levélfelület és termésmennyiség által a jövőben várhatóan emelkedő széndioxid koncentráció is tovább növelheti (Kumar et al., 2017)

3.4.2.2. Az aerob rizstermesztés előnyei és hátrányai

A rizstermesztés vízigényének csökkentésére dolgozták ki azt a viszonylag új, intenzív termesztéstechnológiát (aerob termesztés), amely során nem alkalmaznak folyamatos árasztást, hanem az AWD technikánál rövidebb ideig tartó időszakos árasztással, vagy precíziós öntözéssel biztosítják a magas terméseredményeket. Ehhez nélkülözhetetlen a talaj nedvességtartalmának nyomon követése, a precíz öntözéstechnika és az erre alkalmas rizsfajták alkalmazása is (Bouman et al., 2006; Prasad, 2011).

Az aerob rizstermesztés során a rizstermő területeken nem végeznek hosszú ideig tartó árasztást, így a technológia sokkal inkább hasonlít az egyéb gabonák termesztéséhez (Prasad, 2011), amelyet sikeresen használnak a mérséklet éghővi rizstermesztésben. Trópusi, szubtrópusi körülmények között a részben aerob körülmények között (AWD) nevelt növények termesztése a meglévő technológiai elemekhez jobban illeszkedik és így gazdaságilag is kifizetődőbb (Peng et al., 2006). A teljesen aerob körülmények között termesztett rizs esetében a termés csökkenéséről számoltak be, amelynek legfőbb okaként Peng et al. (2006) a gyengébb bokrosodási hajlamot jelölték meg és nem elsősorban a csökkent ezerszemtömeget vagy a megnövekedett sterilitást.

A technika további fontos jellemzője, hogy a növények termesztése intenzív körülmények között, tápanyagutánpótlás és növényvédelem alkalmazásával történik, szemben a természetes csapadékra alapozott rizstermesztéssel (Belder et al., 2005).

Az aerob rizstermesztés tehát alapvetően abban különbözik a korábban ismertetett természetes csapadékra alapozott (rainfed upland) termesztéstől, hogy a felhasznált termőterületek minősége általában kedvezőbb, a termesztéstechnológia alapvetően az intenzív gazdálkodást jellemző elemekből áll (gépesítés magas foka, modern öntözés, tápanyagutánpótlás) és speciálisan ezek közé a körülmények közé nemesített, potenciálisan magas termőképességű és szárazságtűrő rizsfajtákat alkalmaz (Nie et al., 2012). Az aerob rizstermesztésnek és az AWD alkalmazásának a termés minőségére is kedvező hatása lehet, hiszen pl. az arzéntartalom jelentősen mérséklődhet, ha ezt a termesztési módot alkalmazzuk (GRiSP, 2013).

3.5. Az aerob rizstermesztés példái a világon

A mezőgazdasági vízfelhasználásban a rizstermesztés jelentős szerepet tölt be a világ számos országában. A termelés vízigényének csökkentése ezért világszinten is fontos cél. Más-más okok miatt (természetes csapadékra alapozott technológia, metán kibocsátás csökkentése, öntözőrendszerek hiánya, új területek rizstermesztésbe vonása) az aerob termesztésre alkalmas rizsfajták nemesítése és a hozzá kapcsolódó technológiafejlesztés az utóbbi évtizedekben felgyorsult.

A legnagyobb aerob rendszer Brazíliában működik, ahol a Cerrado régióban 250 ezer hektáron termelnek aerob rizst (3-4 t/ha termés) szójával és más takarmánynövényekkel kombinálva. A vízpótlást pedig esőztető öntözéssel oldják meg (GRiSP, 2013). Jelentős aerob rizsfajtákról (5 t/ha termés) és azok elterjedéséről (80000 ha) Észak-Kínából számoltak be (Bouman et al., 2002), de Indiában is jelentős erőfeszítéseket tesznek a fejlesztések érdekében. Várhatóan a jövőben ezekben az országokban tovább fog nőni az aerob rizs termőterülete. Kisebb területeken, de legalább olyan látványosan folytatnak aerob rizstermesztést például Madagaszkáron és Mauritiuson is („mighty rice”).

Európában Facchi et al. számoltak be olaszországi tapasztalataikról az aerob és az árasztott rizstermesztés különbségeiről (Facchi et al., 2013). Vizsgálataik során meghatározták az

aerob körülmények között termesztett rizs ET értékeit is (Facchi et al., 2017). Ragaglini et al. vizsgálatai alapján a hagyományos, olasz nemesítésű rizsfajták aerob körülmények között jelentősen kisebb termést hoztak (Ragaglini et al., 2012). Mindkét esetben futóárasztásokkal érték el az aerob feltételeket.

Indiában elsősorban a vízfelhasználás csökkentése érdekében végeztek több kísérletet is Parthasarati et al. (2013), ahol az öntözés legjobb módszerének az egymástól 80 cm távolságban elhelyezkedő csepegtető szalagokat találták. Ekkor a növények intenzív fejlődése biztosított volt és a vízfelhasználás is a legkedvezőbb értékeket mutatta (Parthasarathi et al., 2013).

Magyarországon az első árasztás nélküli rizstermesztéssel kapcsolatos próbálkozások egészen korán, már az 1940-es években elkezdődtek. Ezek a kísérletek elsősorban a nagy vízáteresztő-képességű homoktalajokon való rizstermesztésre alkalmas fajták felkutatására és a technológiai alapok megteremtésére törekedtek, nem pedig a víztakarékosság közvetlen megteremtésére. E próbálkozások bár találtak az árasztás nélküli környezetben is hatékonyabban alkalmazható genotípusokat, végül átütő siker nélkül záródtak (Máthé, 1950).

Jogelőd intézményünkben a szarvasi ÖKI-ben majd 40 éves múlta tekint vissza az árasztás nélküli (aerob) rizstermesztéssel kapcsolatos kutatómunka (Jancsó, 2019; Simonné Kiss and Ipsits, 1992). 1984-ben kezdődtek el az első kísérletek a rizs árasztás nélküli termesztésére, amelynek már az alapvető célja az egyre költségesebb öntözővízzel való takarékoskodás volt (Simonné Kiss, 1986). Ennek a munkának az eredményeképpen született meg a rizs árasztás nélküli termesztését leíró szabadalom Sanoryza néven 1992-ben (Simonné Kiss, 2001).

A rendelkezésre álló fajták közül ki kellett választani azokat, amelyek aerob körülmények között is megfelelő termésmennyiséget produkálnak, miközben megőrzik jó minőségi paramétereiket. A legújabb nemesítési törekvések eredményeként megszülettek azok a fajták, amelyek alkalmasak lehetnek az aerob termesztésre is, ezek a Ringola, a Sandora, az Ábel, a Janka és az Augusztá voltak. A fajták kiválogatása Simonné Dr. Kiss Ibolya vezetésével még a hagyományos, árasztott körülmények között folyt, majd a már jelentős szelekción átesett nemesítési anyagokat tesztelték az árasztás nélküli termesztésben. A nemesítői munka mellett kiterjedt nagyüzemi kísérletek is indultak, amelyek azonban a rendszerváltoztatás idején megszakadtak. Több esetben értek el a hagyományos árasztott körülményekhez hasonló terméseredményeket, de általánosan elmondható, hogy a kor technikai feltételei között és a szakszerű felügyelet hiányában a termelés kudarccal végződött (forrás: Simonné Kiss nem publikált jegyzőkönyvei).

A szelektált rizsfajták azonban ténylegsen megteremtették a lehetőséget a mérséklet égövi klímánk alatt is a rizs aerob termesztésére. Elsősorban a koraiság és a jó minőség kombinációja miatt az Ábel és a Janka volt sikeres. Ezekkel a rizsfajtákkal a 2010-es évektől kezdődően nem Magyarországon, hanem Ausztriában termesztettük sikeresen (3-4 t/ha termés) a partnereinkkel együttműködve a magyar rizsfajtákat (Jancsó, 2021).

3.6. Szelekciós módszerek az aerob rizstermesztésre alkalmas rizsfajták kiválasztására

A rizs vízigényes növény, termesztése erősen függ a rendelkezésre álló természetes csapadék és az öntözővíz mennyiségétől (Bouman et al., 2002). Amennyiben vízhiány lép fel a növény érzékeny fejlődési periódusaiban, különösen a virágzás időszakában, akkor jelentős termés kieséssel számolhatunk (Lafitte et al., 2006). Ezért világszerte folynak fejlesztések a rizstermesztés vízfelhasználásának csökkentése és az alkalmazott rizsfajták szárazságtűrésének fejlesztése érdekében (Tabbal et al., 2002). A mérséklet égövi rizstermesztés esetében e feladat különösen komplex, hiszen általában a növények is komplex stressz hatásoknak vannak kitéve (Courtois et al., 2012; Raboin et al., 2016; Sulmon et al., 2015).

A mérséklet égöv körülményei között a rizstermesztésnek számos környezeti hatáshoz kellett alkalmazkodnia. A növények sokszor egyidőben több környezeti terhelésnek vannak kitéve (magas sótartalom, alacsony hőmérséklet, toxikus elemek, mechanikai sérülések, stb.) (Courtois et al., 2012; Gregorio et al., 2013; Lafitte et al., 2006).

A legfontosabb szelekciós szempontok a sikeres aerob termesztés érdekében – a hagyományos rizstermesztésben elvárt tulajdonságok mellett – a rövid tenyészidő és az időszakos vízhiány tolerálása, amely meghatározza az alkalmazott szelekciós módszerek körét is. A legegyszerűbb – éppen ezért a nagy szelekciós populációk esetében hatékonyan alkalmazható – ilyen módszer a korai vegetatív fejlődés periódusában a levelek sodródásának és elhalásának felvételezése (2. táblázat). Az IRRI által kifejlesztett egységes értékelési rendszer alapján a legtoleránsabb genotípusok (0) nem mutatnak a vízhiányra utaló tüneteket, a levéllemez ép (IRRI, 2013). A legérzékenyebb növények esetében pedig a levelek teljesen összesodródznak és hosszabb idejű stressz hatás esetén elhalnak (9). E módszer általánosan elterjedt a nemesítők és a kutatók között a nagy méretű populációk gyors és költséghatékony ellenőrzésére (Akbar et al., 2018). A módszer fontos eleme, hogy az egyes genotípusokat egymáshoz viszonyítva ítéljük

meg, ezért előnyös, ha ismert szárazságtűrési tulajdonságokkal rendelkező kontroll genotípusokat is alkalmazunk.

2. táblázat A szárazságstressz vegetatív növényi részekre gyakorolt hatásának felmérésére javasolt általános értékelési rendszer (SES) kategóriái a levelek sodródásának és elszáradásának mértéke alapján (IRRI, 2013)

Értékelés	Levél sodródás mértéke	Levél száradás mértéke
0	Levelek nem sodródnak	Nincsenek tünetek
1	Enyhe sodródás látható	Enyhe levélcsőcs száradás
3	V-alakú sodródás	Levélcsőcs száradás a levél 25%-ig
5	U-alakú sodródás	Levélcsőcs száradás a levél 50%-ig
7	A levélszélek összeérnek	Levélcsőcs száradás a levél 75%-ig
9	Erős sodródás érzékelhető	Teljes elhalás

3. táblázat A szárazságstressz generatív növényi részekre gyakorolt hatásának felmérésére javasolt általános értékelési rendszer (SES) kategóriái a növények újbóli vízellátása utáni regenerálódás és a termékenyülés alapján (IRRI, 2013)

Értékelés	Regenerációs képesség (recovery) a vizsgált növények száma alapján	Bugafertilitás mértéke
1	90-100%	80% felett
3	70-89%	61-80%
5	40-69%	41-60%
7	20-39%	11-40%
9	0-19%	11% alatti

A módszer használható a generatív szakaszban is a szelekciós populációk jellemzésére, de ekkor már a terméseredményeket közvetlenül befolyásoló sterilitás (3. táblázat) a döntő jellemző (IRRI, 2013).

A vízhiány növényekre gyakorolt hatásának ellenőrzésére további roncsolásmentes eljárás a lombzat felszínhőmérsékletének ellenőrzése magas környezeti hőmérséklet mellett (Jackson et al., 1981). A levelek hőmérséklete közvetlenül összefügg a növények vízellátottságával és a transpiráció mértékével, így alkalmas lehet az egyes növények stresszállapotának leírására. A módszer alkalmazása során azonban mindenképpen figyelembe kell venni, hogy a besugárzás mértéke, a levegő hőmérséklete, a páratartalom, a szélmozgás és a lombzat felépítése is befolyásolhatja a levélfelszín hőmérsékletét (Fuchs, 1990). Számos növényfaj esetében használták sikeresen a felszínhőmérséklet felvételezését a genotípusok elkülönítésére (Han et al., 2016; Taghvaeian et al., 2014). A módszer legnagyobb előnye a roncsolásmentes eljárás mellett az, hogy kézi vagy légi úton történő felvételezés esetén is nagy

menyiségű adat gyűjthető rövid időn belül (Graß et al., 2020; Winterhalter et al., 2011). Az adatok pedig szoros genotípus függőséget és erős összefüggést mutattak a szárazságstressz hatására bekövetkező termés csökkenés mértékével (Graß et al., 2020).

A felszínhőmérséklet vizsgálatát sikeresen alkalmazták rizs esetében is a vízhiány kimutatására aerob és időszakos árasztás esetén (Gong et al., 2023; Jiang et al., 2023). Mivel azonos időjárási viszonyok között a felszínhőmérséklet alapvetően a genotípustól, illetve a rizstermesztés módjától függ, ezért alkalmas lehet nagyméretű nemesítési anyagok elválasztására is (Jiang et al., 2023). A nemesítési-kutatási alkalmazhatóságot számos szerző bizonyította az utóbbi időben (Fukai and Mitchell, 2022; Melandri et al., 2020).

Ugyancsak viszonylag egyszerűen és így nagy növényanyagon alkalmazható módszer a relatív víztartalom meghatározása (RWC), amely közvetlen adatokat szolgáltat a növények vízellátottságáról. A módszer hátránya, hogy a vizsgálathoz be kell gyűjteni a növények leveleit és azok laboratóriumi elemzéséig nagy körültekintéssel kell kezelni a mintákat (González and González-Vilar, 2001). De nagy előnye, hogy nem szükséges különleges laboratóriumi felszerelés, nincs speciális vegyszerigénye és különleges műszerek (távhőmérő, hőkamera) beszerzése sem indokolt (Smart and Bingham, 1974). Ez a módszer pontosabb képet ad a növények vízellátottságáról, mint az egyszerű szárazanyag meghatározások, így alkalmas a genotípusok közötti különbségek kimutatására. A módszer tudományos és nemesítési alkalmazhatóságát számos szerző bizonyította (Ali, 2016; Courtois et al., 2000; Cseuz et al., 2002; Sinha et al., 2020). Rizs esetében az RWC meghatározás és kombinált molekuláris genetikai vizsgálatok alapján sikeresen szelektáltak szárazságtűrésre nagyméretű populációk egyedei között is (Manickavelu et al., 2006). A módszer előnyei mellett azonban Lafitte (2002) felhívta arra a figyelmet, hogy a reprodukív fázisban kialakuló vízhiány esetén már nem egyértelmű az összefüggés az RWC, a tényleges termés és a bugasterilitás mértéke között (Lafitte, 2002).

A tenyészedőszakban felhasznált vízmennyiség és az annak segítségével előállított növényi produktum (felszín feletti és alatti biomassa), különös tekintettel a termésre általánosan elterjedt jellemző, amely vízhasznosítási hatékonyság (WUE) néven széles körben alkalmazott mérőszám. A WUE számítása azonban nem egységes, mert a fogalom alatt mást és mást értenek a fizikusok, a növényélettannal és növényi evapotranspiráció méréssel foglalkozó szakemberek és mást a nemesítők, valamint a gazdálkodók (Sinclair et al., 1984). A legelterjedtebb értelmezések az egységnyi evapotranspirációval előállított biomassa mennyiség (WUE,

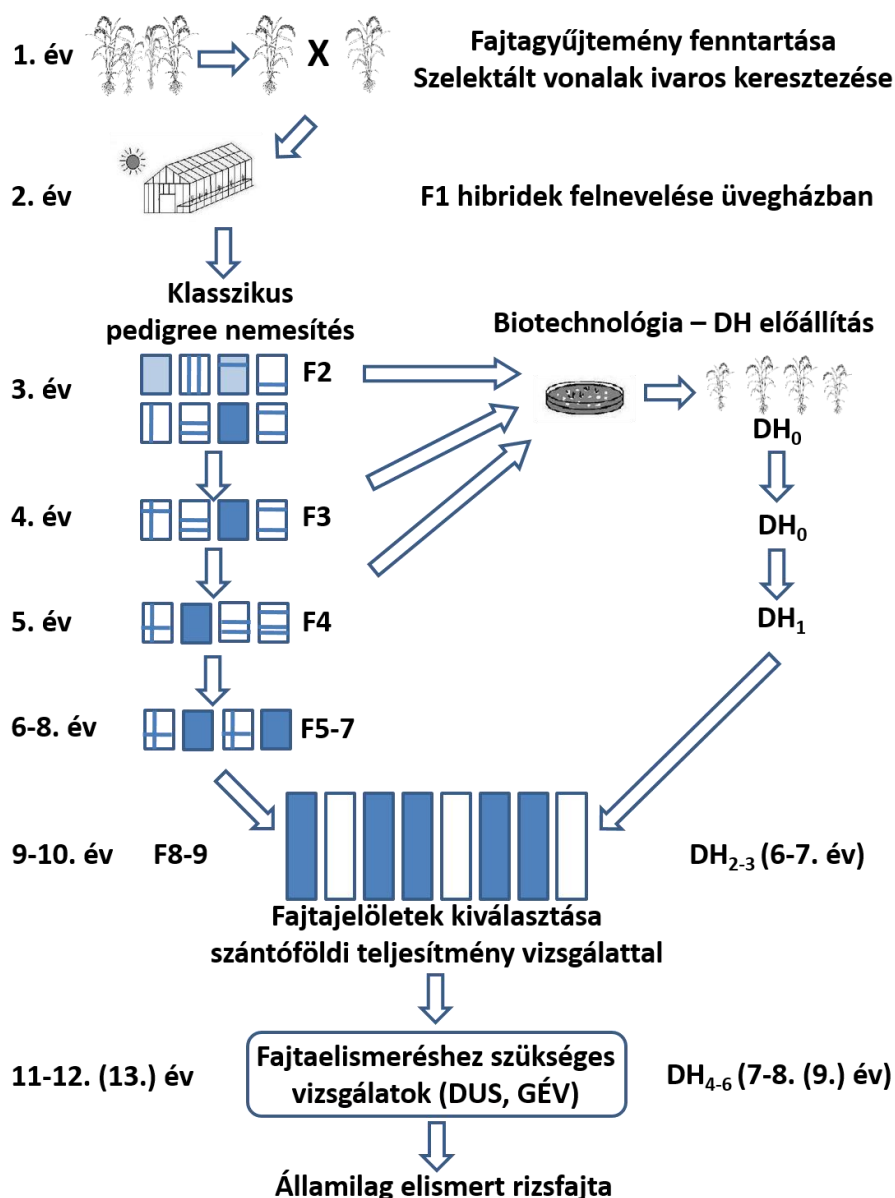
transpirációs együttható) és az egységnyi vízfelhasználással előállított biomassza mennyiség (IWUE). Az első esetben csak a növény által a transzpiráción keresztül elvesztett és a talajfelszínről elpárolgott vízmennyiség a számítás alapja, a második esetben ennél lényegesen egyszerűbb módon a termelési rendszerbe bejutó (öntözés és csapadék) teljes vízmennyiség a felhasznált víz számításának alapja. Ez utóbbi esetben az IWUE számításban megjelenik a közvetlenül nem hasznosult víz mennyisége is. Egyes kutatók szerint a WUE meghatározásnál hatékonyabb módszer vízhiányos területeket érintő nemesítési programok esetében a hatékony vízfelhasználásra (EUW) történő nemesítés, amely alapján az elérhető víz minél nagyobb részét kell a növényeknek hasznosítani, nem pedig egységnyi vízmennyiséggel nagyobb termést elérni (Blum, 2009).

Mindezek alapján célunk olyan új tudományos eredmények elérése volt, amelyek kibővítik a mérsékelt égövi rizstermesztésben hatékonyan használható, széles alkalmazkodóképességgel bíró genotípusokkal kapcsolatos ismereteket, miközben a DH törzseket eredményesen felhasználjuk a nemesítési folyamatban. Végző soron pedig a komplex kiválogatási módszertannak köszönhetően olyan genotípusokat azonosítunk, amelyek felhasználhatóak a hazai rizstermesztés versenyképességének fokozására, illetve megőrzésére.

4. ANYAG ÉS MÓDSZER

4.1. 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 (2. ábra) és ezáltal a gyakorlat számára is minél hamarabb elérhetővé váljanak.



2. ábra A rizsnemesítés folyamata a MATE KÖTI ÖVKI-ben (Jancsó et al., 2022b) alapján (Szarvas), 2023

A hagyományos keresztezési programunkban felhasználjuk a MATE KÖTI ÖVKI rizs fajtagyűjteményének legperspektivikusabb anyagait (Székely et al., 2021, 2019), 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 (Collard et al., 2017; Pauk et al., 2009). 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 égvövi rizstermesztés esetén, ahol egy évben egy generáció felnevelése lehetséges hagyományos módszerekkel, több évet (akár 9-10 év) is felölel (2. ábra). A gyorsan változó környezeti (klímaváltozás) és gazdasági (fogyasztói és feldolgozóipari igények) körülmények megkövetelik az előrelátó nemesítői tervezést és a folyamat lehetőségeihez mért rövidítést. 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 (Lenaerts et al., 2019; Pradhan et al., 2021); a molekuláris markerek alkalmazása a hagyományos módon nehezen tesztelhető tulajdonságok (pl. beltartalmi értékek, illatosság) szelektálására (Shabir et al., 2017); a generációgyorsítás (rapid generation advance, RGA) technikája (Collard et al., 2017) és a DH technika alkalmazása a homogén vonalak előállítására (Bajaj, 1990).

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 (Jancsó, 2016) 2015-ben megépítettük saját vákuumos kasztráló berendezésünket (Coffman, 1979; Sha, 2013), amelynek segítségével a korábbiaknál lényegesen gyorsabban tudjuk keresztezni a kívánt tulajdonságokkal

rendelkező genotípusokat. A széles genetikai hátteret ehhez a munkához a MATE KÖTI ÖVKI rizs fajtagyűjteménye szolgáltatja.

Munkánk során a nemesítési folyamat különböző szintjein (F_1 - F_6) 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 (Lantos et al., 2022, 2005). A még nagy biztonsággal beérő rizs genotípusok természetes virágzási ideje Magyarországon július közepétől augusztus közepéig tart. A kísérletekhez a donor növényeket – kivéve az F_1 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 tenyészerti kiültetésre ezután kerül sor Szarvason. A DH_0 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 m^2), időszakos árasztásra alkalmas kalitkát, ahol a lehető legtovább tudjuk a növényeket nevelni a minél nagyobb mennyiségű magfogás érdekében. A növényhabitus, a bugák és a szemek formája, valamint a fertilitás mértéke alapján ekkor történik a növények ploidia fokának szántóföldi ellenőrzése is (3. ábra).

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 oldalhajtást fejlesztenek (akár 30-40 db/tő), mint a diploid és a tetraploid növények.

A tetraploid ($4n$) növények nemesítési lehetőségeit (Koide et al., 2020; Székely et al., 2023a) 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.



3. 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 DH_{2-3} 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 (Henry, 2006).

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).

4.2. 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 (Lantos et al., 2023, 2022). 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 (Heszky and Simon-Kiss, 1992). Állami elismerését a termelésben betöltött egyre csökkenő szerepe miatt visszavonták. A Dáma a hazai körülmények között a hosszú tenyészidejű fajták között szerepelt. Kiemelkedő terméseredményekre képes, de tápanyagreakciója kedvezőtlen és főleg nagyobb dózisu 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 (Jancsó et al., 2022a).

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 korábbi anyag előállítása volt (1. táblázat). 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 (Rahab et al., 2019), amely Brigitte Courtois (CIRAD, Montpellier) jóvoltából került a gyűjteményünkbe (Courtois et al., 2012). A magyar éghajlati viszonyok között kései rizsfajta, amely azonban rendkívül hatékonyan használja fel a rendelkezésére álló vízkészleteket. Erőteljes a gyökérszétfejlése 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 (Simonné Kiss, 1986), mind a nemzetközi nemesítési és kutatási programokban sikeresen alkalmazták koraisága és kiemelkedő hidegtűrési tulajdonságai okán (Székely et al., 2021).

Az SZV Tünde a MATE KÖTI ÖVKI legújabb államilag elismert rizsfajtája (2021). A fajta a mérséklet égvövi *japonica* rizsek közé tartozik, a legfontosabb tulajdonságait az 1. táblázatban mutatjuk be. A tenyészidőszak 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 (Szula, 2021) 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 (Lantos et al., 2023, 2022; Pauk et al., 2009). 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.

4.3. 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 egészén 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 rizzsel 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.

4.3.1. Termesztéstechnológia a kisparcellás teljesítmény összehasonlító kísérletek során

Az általunk alkalmazott termesztéstechnológia hagyományos, árasztott öntözés mellett alapvetően az általános üzemi technológia lépéseit követte azért, hogy a kapott eredmények alapján megbízható következtetéseket lehessen levonni az egyes törzsek gazdasági körülmények közötti teljesítményéről is.

A MATE ÖVKI Galambosi Rizskísérleti Telep alapvető funkciója a vetőmagelőállítás, ahol a törvényi előírások alapján a rizs nem termesztendő monokultúrában (Jancsó et al., 2022b). A szántóterületeinken ezért általános az rizs és az ugar évenkénti váltakozása az előző fejezetben ismertetett méreteken. A területek előkészítését őszi középmező szántással kezdjük meg, amit a talaj minél alaposabb kiszáritása érdekében nyitva hagyunk. Tavasszal a területek előkészítése a talaj állapota alapján kiválasztott módon tárcsával és kombinátorral történik. Törekedni kell a minél kedvezőbb, aprómorzsás magágy kialakítására, ami azonban a talajok magas agyagtartalma miatt sok esetben nehézségekbe ütközik. A területekre a magágy előkészítésével egy menetben alaptrágyát juttatunk ki, amely nitrogén pótlást (60 kg/ha) és igény esetén foszfor kiegészítést jelent (30 kg/ha).

A kísérleti parcellák kialakítása során a keveredés megakadályozása érdekében közvetlen, talajba vetést alkalmazunk. A mikroparcellák esetében a vetés kézzel történik, míg a nagyobb parcellák esetében önjáró parcellavetőgépet használunk (Plotseed TC, Wintersteiger AG, Ausztria).

A vetés után közvetlenül preemergens gyomirtószerral védekezünk a magról kelő gyomok ellen (pendimetalin hatóanyag). Szükség esetén a tenyészidőszak folyamán újabb gyomirtást végzünk a rendelkezésre álló növényvédőszeresek segítségével (penoxszulám vagy fluorpyrauxifen-benzyl hatóanyag).

Árasztott körülmények között a vetés után futóárasztásokkal biztosítjuk az egyenletes keléshez szükséges vízmennyiséget. A terület tartós elárasztására a rizs bokrosodása után, június első felében kerül sor.

A tenyészedőszakban osztott kezeléssel, két alkalommal összesen 60-80 kg/ha hatóanyagtartalmú nitrogén műtrágyát juttatunk ki fejtrágyaként. Általános esetben egyéb agrotechnikai beavatkozásokra nincs szükség. A járványos barnulás ellen a szelekció érdekében ezeken a parcellákon nem védekezünk. A területek lecsapolása a növények fejlettségi állapotától függően augusztus végén – szeptember elején történik.

Az aratásra a genotípusok teljes érettségi állapotában kerül sor. A nemesítési és kutatási céloktól függően a mikroparcellák növényeit kézzel aratjuk, a kisparcellák esetében vagy kézi vagy gépi aratást alkalmazhatunk (Wintersteiger Nursery Master Elite, Wintersteiger AG., Ausztria). Kézi aratás esetében a törzseket kévekbe gyűjtjük, majd a telep üvegházában szárítjuk. A cséplésre Wintersteiger LD350 nagyméretű laboratóriumi cséplőgépet (Wintersteiger AG., Ausztria) használunk, amely lehetővé teszi a gyors és keveredésmentes munkát.

4.4. Előkísérletek az aerob termeszthetőségre 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).

4.5. 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 tenészedőszak, 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 (Kun et al., 2018; Ibadzade et al., 2021). 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 (%)).

4.5.1. Szelekciós módszerek a DH törzsek szárazságtűrésének meghatározására aerob körülmények között

A legfontosabb tulajdonság az aerob körülmények közötti termesztetheőség 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 (lásd 2. és 3. táblázat). Az IRRI által kifejlesztett egységes értékelési skála alapján a legtoleránsabb genotípusok (0) nem mutatnak a vízhiányra utaló tüneteket, a levéllemez ép (IRRI, 2013). 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):

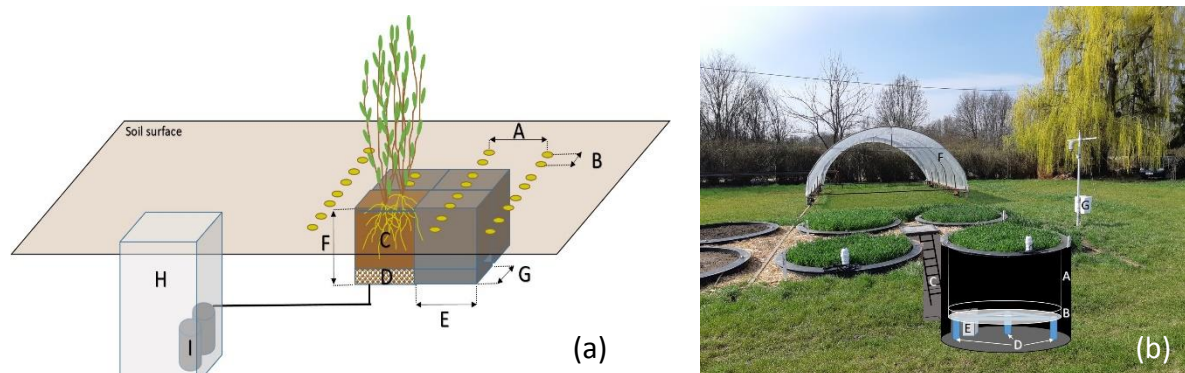
$$RWC = \frac{\text{friss tömeg (g)} - \text{száraz tömeg (g)}}{\text{víztelített (turgescens)tömeg} - \text{száraz tömeg}} * 100$$

4.6. A rizs vízfelhasználásának és szárazságtűrésének vizsgálata nagyméretű súlyliziméterekben

4.6.1. A MATE ÖVKI Liziméter Telep általános bemutatása

A MATE ÖVKI Liziméter Telep 1971-ben kezdte meg működését, és legutóbb 2018-ban esett át jelentős, a műszereket is érintő felújításon (Jancsó et al., 2019). Az egy hektáron elterülő telepen 320 darab, 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



4. 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

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.

4.6.2. A nagyméretű, precíziós szabadföldi súlyliziméterek jellemzése

A MATE ÖVKI Liziméter Telepen 320 db gravitációs/kompenzációs liziméter (4.a ábra (Koloszvári et al., 2021) alapján) 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 (4.b 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 a 4. táblázat mutatja be. A talaj mélysége 100 cm, amely alatt egy 10 cm-es kavicsréteg helyezkedik

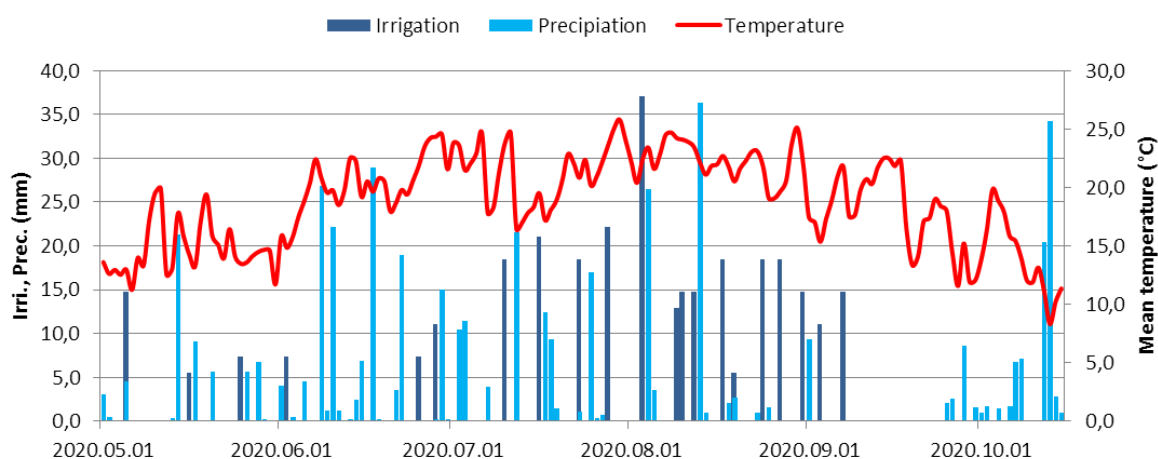
el az esetlegesen kialakuló szivárgó víz összegyűjtésére. A talajoszlopon átszivárgó víz egy-egy tartályban gyűlik össze a mérőpincében (4.b ábra/E). A referencia ET meghatározásához egy súlyliziméterben gye, egy súlyliziméterben növényzetmentes talajfelszínt tartunk fent.

4. 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

4.6.3. 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 (1. melléklet). Mivel az SZV Tünde ET meghatározással kapcsolatos eredményeket részletesen is ismertetem, ezért ennek az évnek az időjárási körülményeit is részletesen bemutatom az adatok könnyebb értelmezése érdekében.



5. ábra A napi átlaghőmérséklet, a csapadék és a felhasznált öntözővíz mennyisége az aerob rizs tenyészidőszakában (Szarvas, 2020)

A 2020-as tenyészidőszak meteorológiai jellemzőit az 5. ábra és az 5. táblázat mutatja be. 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 szélesebbesség (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.

5. táblázat Az aerob rizs tenyészidőszakának jellemzése a relatív légnedvesség, az átlagos szélesebbesség és a besugárzás 10-napos átlagértékei alapján (Szarvas, 2020)

Hónap	Dekád	RH %	Szélesebbesség m/s	Besugárzás MJ/m ² /nap
Május	1	70,1	2,0	22,4
	2	70,8	1,9	19,3
	3	69,6	2,7	21,6
Június	1	76,3	1,6	20,2
	2	86,5	1,6	18,6
	3	78,6	1,2	20,9
Július	1	74,0	1,4	23,7
	2	76,9	1,8	21,8
	3	78,8	1,2	21,6
Augusztus	1	71,9	2,0	23,7
	2	76,9	1,4	21,2
	3	67,5	1,5	22,0
Szeptember	1	72,8	1,4	19,8
	2	66,2	1,9	18,8
	3	78,6	1,4	13,0
Október	1	84,0	2,3	12,0

Az ET_o kiszámítására az ET_oCalculator 64bit 3.2 verziószámú szoftvert (FAO) használtuk, ami a Penman-Monteith egyenlet alapján a meteorológiai adatok felhasználásával adja meg az ET_o értékét (Raes, 2012). Az ET_o és az ET_c 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 ET_c értékeket, valamint számítottuk ki a növényi koefficiens is.

A növényi koefficiens kiszámításánál a kezdeti fejlődési szakasz (K_{c_{ini}}), az intenzív fejlődési szakasz (K_{c_{mid}}), valamint a tenyészidőszak végének (K_{c_{end}}) 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 tenyésztési időszak vizsgált szakaszában.

4.6.4. A liziméterekben felnevelt aerob rizs termesztési körülményei

A súlyliziméterekben folytatott ET meghatározás során is törekedtünk arra, hogy a növénytermesztés módszere kövesse a gazdaságokban folytatott technológiát. Néhány elemet, például a forgatásos talajelőkészítést kézi szerszámokkal oldottunk meg.

Vetés előtt a liziméterek talajába komplex műtrágyát dolgoztunk be (COMPLEX 15/15/15 +7SO₃ +Zn, Borealis L.A.T. Kft., Ausztria) 60 kg/ha N hatóanyagnak megfelelő mennyiségben. Az elővetemény a kísérletben napraforgó volt. A vetésre 2020. május 5-én került sor, a sortávot 25 cm-re állítottuk be. A parcella öntözésére mikroszórófejeket alkalmaztunk, ezzel a módszerrel a tenyésztési időszak folyamán összesen 315,6 mm öntözővizet juttatunk ki 21 részletben. Az utolsó öntözésre szeptember 7-én került sor. Az aratást 2020. október 9-én végeztük. A biomassa és a terméseredmény meghatározására Sartorius PMA7500 mérleget használtunk (Sartorius AG., Németország). A növényi részek nedvességtartalmának meghatározására Kern MLS 50-3 (Kern&Sohn GmbH., Németország) laboratóriumi gyorsnedvességmérő berendezést alkalmaztunk.

4.7. 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 ismételtségen. 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.

4.8. A kísérletek 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, ahol a -1 érték a tökéletes negatív összefüggés, a +1 pedig a tökéletes pozitív korreláció értéke. A nullához közeli értékek esetében a lineáris összefüggés az adatpárok között nem volt bizonyítható (Kotu and Deshpande, 2019). Az összefüggés erősségének meghatározásához az 6. táblázatban bemutatott kategóriákat alkalmaztuk (Mukaka, 2012).

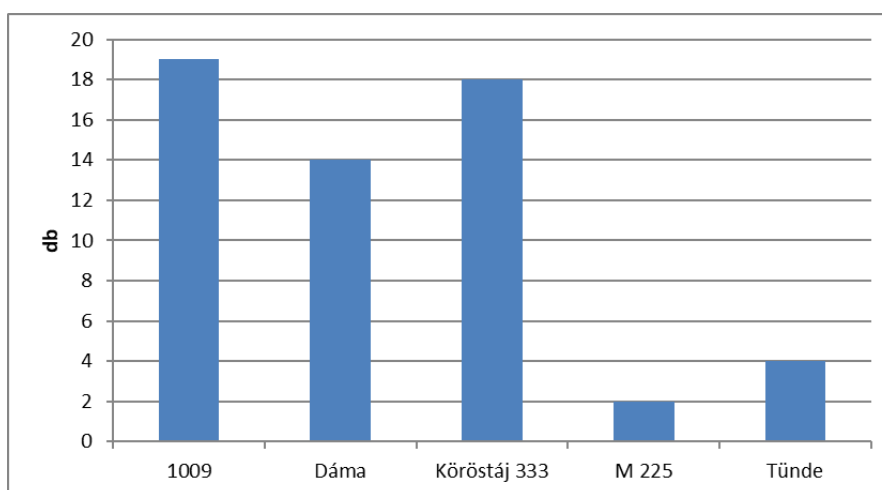
6. táblázat A Pearson korreláció értéke alapján meghatározott összefüggések erőssége

Korreláció értéke	Korreláció erőssége
0,90-1,00	nagyon erős pozitív összefüggés
0,70-0,90	erős pozitív összefüggés
0,50-0,70	közepes pozitív összefüggés
0,30-0,50	gyenge pozitív összefüggés
0,00-0,30	nincs lineáris összefüggés

5. EREDMÉNYEK ÉS MEGVITATÁSUK

5.1. 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.



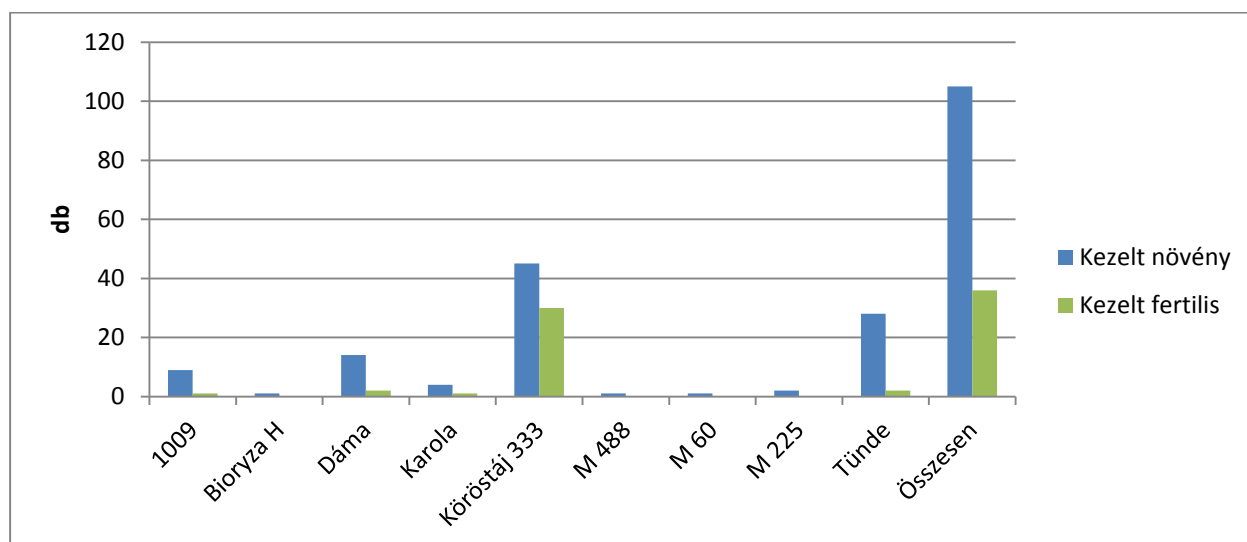
6. ábra Spontán diploidok azonosítása a kísérletek korai szakaszában a tenyészkertben (Szarvas, 2017)

A tenyészkerti ellenőrzések 2017-ben még viszonylag alacsony számú spontán kialakuló diploidot mutattak a DH₀ generációban (6. 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 kolchicin kezelést végeztünk az ott már azonosított haploid növényeken, amelynek eredményeként sikerült növelni a későbbi tesztekben felhasználható fertilis növények számát (7. ábra).

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).



7. ábra A kolchicin kezelés hatékonysága a diploidok számának növelésére a kísérletek korai szakaszában (Szarvas, 2017)

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 (7. táblázat). 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.

7. táblázat A DH₀ tenyészkertbe kiültetett növények szántóföldi ploidfok ellenőrzése alapján történő felosztás (Szarvas, 2019)

Genotípus megnevezése	Zöld növények száma (db)	Fertilis DH növények (db)	Steril haploidok (db)	A spontán diploidok aránya (%)
Karola	17	9	8	52,9
Dáma	19	11	8	57,9
1009	444	169	275	38,1
Mirko/Karola	531	234	297	44,1
Ábel/Dular	37	18	19	48,6
Összesen	1048	441	607	42,1

A fejlesztések eredményeként 2020-ban már 1412 db növény került a szarvasi tenyészkert DH₀ kalitkájába (8. 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.

8. 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 (Székely et al., 2023b).

5.2. Előselektált 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 (9. táblázat). 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.

9. táblázat Portok eredetű DH törzsek (DH₁) teljesítményének ellenőrzése mikroparcellás kísérletben (Szarvas, 2018)

DH törzs	Teljes felszíni biomassza g/parcella	Termés g/parcella	A DH törzsek megoszlása a terméseredmények alapján	
			kontrollnál kisebb (db)	kontrollnál magasabb (db)
Köröstáj (F6)	588,6 (333,3-800,0)	346,9 (208,7-474,0)	11	23
Tünde (F6)	654,6 (513,3-773,3)	361,0 (288,3-436,7)	2	6
1009 (F1)	638,1 (433,3-933,3)	311,3 (216,0-407,0)	9	7
Kontroll átlag	604,8 (483,0-806,7)	326,3 (260,0-459,3)	-	-

A DH₁ törzsek terméseredményei és a szántóföldi felmérések alapján a legjobb törzsekkel további kisparcellás teljesítmény összehasonlító kísérleteket indítottunk az elmúlt években. 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 (8. ábra).



8. ábra DH₂₋₃ törzsek kisparcellás teljesítményvizsgálata a szarvasi MATE ÖVKI Galambosi Rizskísérleti Telepen (Szarvas, 2023)

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 (10. táblázat).

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.

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

Genotípus	Termés¹	Min	Max	Kontroll	Szelekció²
	(kg/ha)	(kg/ha)	(kg/ha)	fajták %-a	
Janka kontroll	5597,2 ^a	5027,8	6444,4	84,3	nem releváns
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 releváns
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 releváns
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 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 (11. és 12. táblázat).

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 (12. táblázat), 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 keletkezhet 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.

11. táblázat Portok eredetű DH₂ törzsek agronómiai jellemzőinek összehasonlítása kisparcellás kísérletben (Szarvas, 2019-2020)

Portok eredetű DH ₂ törzs neve	Növény magasság	Biomassza	Szemtermés	Szemtermés	Kontroll fajták átlagához viszonyítva ¹
	(cm)	(g/parcella)	(g/parcella)	(t/ha)	(%)
1009 42.I. 1	52,6±2,9 ^d	3761,3±723,4 ^a	1364,9±124,5 ^{a,b}	3,79±0,35 ^{a,b}	97,4
1009 22.III. 1	54,0±2,8 ^d	2981,3±1196,3 ^{a,b,c}	1243,0±376,9 ^b	3,45±1,05 ^b	88,7
Köröstáj 14.III. 2	53,9±3,8 ^d	3072,5±329,7 ^{a,b,c}	1543,5±132,2 ^{a,b}	4,29±0,37 ^{a,b}	110,1
Köröstáj 17.II. 1	47,5±3,3 ^e	2905,0±298,9 ^{a,b,c}	1413,9±124,0 ^{a,b}	3,93±0,35 ^{a,b}	100,8
Tünde 16.II. 2	66,0±3,0 ^{a,b}	3010,0±348,3 ^{a,b,c}	1479,8±156,3 ^{a,b}	4,11±0,43 ^{a,b}	105,5
Tünde 25.I. 1	66,4±2,4 ^{a,b}	2810,0±363,8 ^{b,c}	1459,8±108,0 ^{a,b}	4,06±0,30 ^{a,b}	104,1
Tünde 16.II. 1	68,5±2,9 ^a	3086,3±466,2 ^{a,b,c}	1564,3±178,9 ^{a,b}	4,35±0,50 ^{a,b}	111,6
Tünde 17.I. 1	66,0±1,7 ^{a,b}	2805,0±261,6 ^{b,c}	1343,6±115,6 ^{a,b}	3,73±0,32 ^{a,b}	95,8
Tünde 14.VIII. 1	70,4±2,3 ^a	2730,0±372,3 ^{b,c}	1391,6±153,5 ^{a,b}	3,87±0,43 ^{a,b}	99,3
1009 9.II. 1	58,8±2,9 ^c	3241,3±750,8 ^{a,b}	1386,9±268,0 ^{a,b}	3,85±0,74 ^{a,b}	98,9
M 488 kontroll	51,6±1,8 ^{d,e}	2327,5±404,9 ^c	1218,4±246,6 ^b	3,39±0,69 ^b	86,9
Janka kontroll	59,4±2,9 ^c	2621,3±402,9 ^{b,c}	1351,5±250,7 ^{a,b}	3,75±0,69 ^{a,b}	96,4
Dáma kontroll	62,3±2,8 ^{b,c}	3126,3±503,8 ^{a,b,c}	1636,0±266,8 ^a	4,55±0,74 ^a	116,7
Kontroll fajták átlaga	57,8	2691,7	1402,0	3,9	-

¹ A DH parcellák (n=8) és a kontroll fajták átlagtermésének aránya %-ban kifejezve

12. táblázat Portok eredetű DH₂ törzsek agronómiai jellemzőinek összehasonlítása kisparcellás kísérletben (Szarvas, 2019-2020)

Portok eredetű DH ₂ törzs neve	Szár- szilárdság ¹	Rezisztencia ²	Ezer szem tömeg	Malomipari minőség					Szelekció ³
				Hántolt barna rizs	Fehér rizs (egész)		Fehér rizs (tört)		
					2019	2020	2019	2020	
	%		(g)	(%)	(%)	(%)			
1009 42.I. 1	0,0	3-4	25,4±1,2 ^h	77,1±0,9 ^g	54,1±3,9 ^{b,c,d}	59,8±0,7 ^{a,b}	11,2±3,2 ^{c,d,e}	6,1±1,3 ^f	++
1009 22.III. 1	0,0	1-2	31,6±0,9 ^d	79,2±0,7 ^{e,f}	59,4±1,0 ^{a,b}	57,0±3,0 ^{a,b,c}	7,9±0,6 ^{e,f}	10,7±3,1 ^{c,d,e}	+
Köröstáj 14.III. 2	25,0	6	31,8±1,2 ^d	78,8±0,9 ^f	45,6±2,0 ^{e,f}	56,8±1,1 ^{a,b,c}	19,6±2,0 ^a	10,9±1,3 ^{c,d}	-
Köröstáj 17.II. 1	0,0	1-2	28,1±1,0 ^{f,g}	79,2±0,7 ^{e,f}	51,0±0,5 ^{c,d,e,f}	55,7±1,2 ^{b,c}	14,3±0,5 ^{a,b,c,d,e}	11,4±0,8 ^c	+
Tünde 16.II. 2	25,0	3-4	33,4±1,1 ^{b,c}	82,4±0,5 ^{a,b}	55,3±4,0 ^{a,b,c}	62,8±1,0 ^a	14,3±3,8 ^{a,b,c,d,e}	8,5±1,6 ^{c,d,e,f}	-
Tünde 25.I. 1	12,5	5-6	33,6±1,3 ^b	81,8±0,5 ^{a,b,c}	60,0±1,9 ^{a,b}	62,4±4,0 ^a	9,3±2,1 ^{d,e,f}	6,9±1,9 ^{d,e,f}	-
Tünde 16.II. 1	12,5	1-2	33,9±1,1 ^{a,b}	82,6±0,9 ^a	52,1±4,5 ^{c,d,e}	61,4±2,0 ^{a,b}	17,5±4,3 ^{a,b,c}	8,7±1,3 ^{c,d,e,f}	++
Tünde 17.I. 1	0,0	1	29,3±0,7 ^{e,f}	81,2±0,5 ^c	54,5±2,2 ^{a,b,c}	62,6±1,6 ^a	14,8±2,1 ^{a,b,c,d}	6,8±1,4 ^{e,f}	+
Tünde 14.VIII. 1	0,0	5-6	29,6±1,2 ^e	80,1±0,6 ^{d,e}	47,6±2,1 ^{d,e,f}	61,0±0,9 ^{a,b}	20,8±2,6 ^a	7,9±0,9 ^{c,d,e,f}	-
1009 9.II. 1	0,0	3-4	29,6±0,8 ^e	77,6±0,6 ^g	60,9±1,1 ^a	62,2±5,6 ^a	4,4±1,2 ^f	1,8±0,4 ^g	+
M 488 kotroll	0,0	5-6	27,5±0,5 ^g	80,0±0,6 ^e	53,8±1,0 ^{b,c,d}	61,2±1,1 ^{a,b}	12,2±1,0 ^{b,c,d,e}	7,7±0,6 ^{c,d,e,f}	
Janka kontroll	25,0	6	35,0±0,5 ^a	81,1±1,2 ^{c,d}	45,0±2,6 ^f	46,1±3,3 ^d	19,6±2,6 ^a	21,5±3,0 ^a	
Dáma kontroll	50,0	1-2	32,1±1,0 ^{c,d}	81,5±0,5 ^{b,c}	50,7±4,0 ^{c,d,e,f}	52,9±1,0 ^c	17,8±4,1 ^{a,b}	15,6±1,3 ^b	
Kontroll fajták átlaga	-	-	-	80,9	49,8	53,4	16,5	14,9	

¹ A megdőlés felvételezése a SES alapján történt

² Járványos barnulás rezisztencia felvételezése Roumen *et al.* 1997 alapján (1-6 skála, ahol az 1 a rezisztens, a 6 az érzékeny növényeket jelenti)

³ Komplex szelekciós értékelés a korai vegetatív vigor, a hidegtűrés, a járványos barnulás rezisztencia, a koraiság, a fenotípus és a malomipari minőség alapján

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 mikroepedéseknek 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 (1. melléklet).

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.

5.3. A DH törzsek felhasználása az aerob rizstermesztés fejlesztésére

Az aerob rizstermesztés a rizs termelésének egy különleges módszere, ahol a rizs a tenészedőszak 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 következőkben ezeknek a vizsgálatoknak és a DH törzsek aerob rizstermesztési feltételek közötti szelekciójának eredményeiből mutatok be néhányat.

5.3.1. Előkísérletek a szárazságstressz esetén alkalmazható szelekciós módszerekkel

Mivel az aerob termesztési feltételek között a szárazságtűrés az egyik legfontosabb olyan tulajdonság, amely az abiotikus stresszekkel kapcsolatos, ezért széleskörű vizsgálatokat indítottunk a Magyarországon újdonságnak számító, közvetlenül az aerob termesztési feltételek között végzett nemesítési program megalapozására és a bevont nemesítési anyagok minél hatékonyabb szűrésére. Több módszert is kipróbáltunk, ezek közül az első az RWC meghatározás volt, amit a megelőző szántóföldi vizsgálatokkal együtt felhasználtunk a későbbi nemesítési programunk kiinduló genotípusainak azonosítására (13. táblázat).

Összesen hat fajtát és egy korábbi fajtajelöltet vizsgáltunk meg 2017-ben egy kisparcellás kísérletben a MATE ÖVKI Liziméter Telepén aerob körülmények között. A vizsgálatokat öt ismétlésben végeztük el, és ezek alapján a 7 napon át tartó vízmegvonást a legjobban az IRAT 109 Elefántcsontparti eredetű genotípus tolerálta, amelynek RWC értéke a legkisebb mértékben csökkent a kísérletbe bevont fajták közül (93,9%-ról 91,9%-ra). Míg a jó vízellátottság mellett a genotípusok nem mutattak jelentős különbségeket, addig a stressz hatására az Ábel (85,9%) és a Janka (86,7%) fajták is jelentős mértékben veszítettek víztartalmukból.

13. táblázat Rizsfajták relatív víztartalom (RWC) értékei jól öntözött körülmények és 7 napon át történő vízmegvonás hatására (Szarvas, 2017)

Genotípus neve	Relatív víztartalom (RWC)	
	Jól öntözött (%)	Vízmegvonás (%)
Ábel	93,7±1,1	85,9±2,1
Janka	93,2±1,1	86,7±1,5
Bioryza H	93,0±0,4	87,2±0,7
Sandora	93,9±0,9	87,3±2,7
Marilla	93,6±0,4	89,9±1,7
IRAT 109	93,9±2,4	91,9±1,1

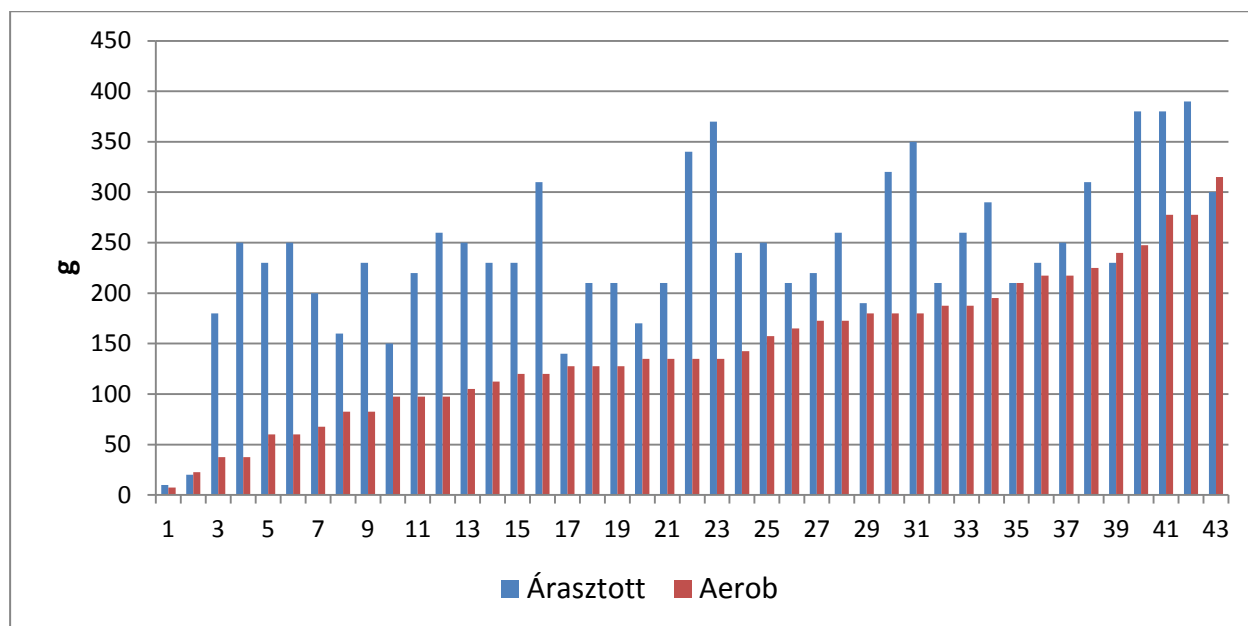
Ezzel párhuzamosan a levélfelület hőmérséklet változását is megvizsgáltuk, és a júliusi forró (>33°C) koradélután történt felvételezések is megerősítették, hogy az IRAT 109 rizsfajta tolerálja leginkább a vízhiányt az azonos körülmények között nevelt genotípusok közül. A Marilla fajta esetében mértük a legmagasabb értékeket (34°C), amely a magasabb RWC érték ellenére a legerősebb levélsodródás tüneteket mutatta (SES: 8).

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.

5.3.2. 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

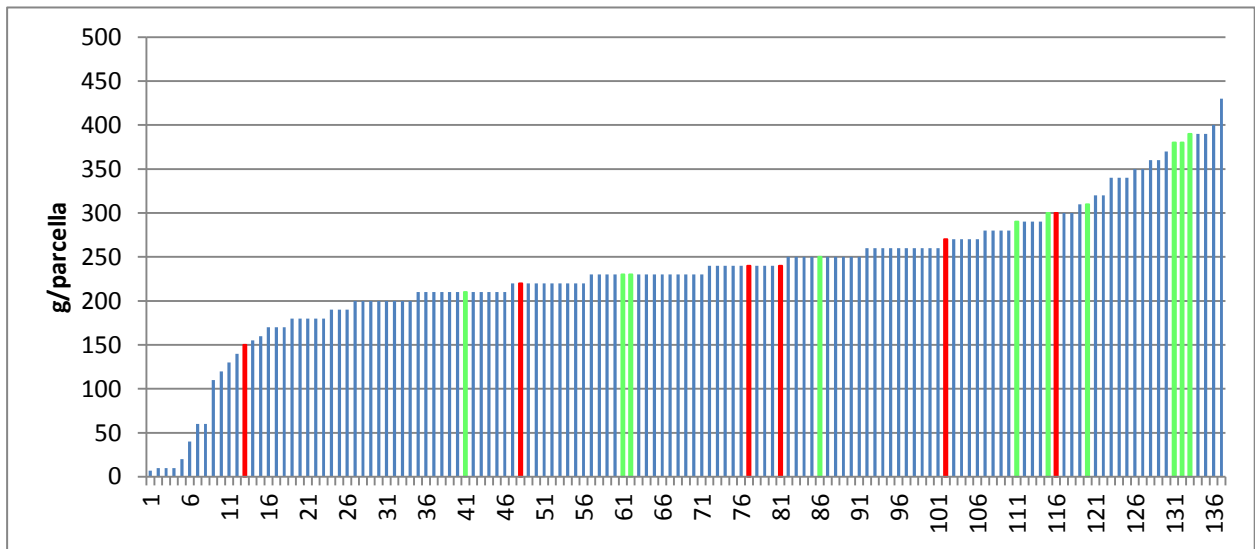
teljesítményének összehasonlítása volt a két eltérő termesztési mód esetén. A vizsgálat részletes eredményeit a 2. melléklet tartalmazza.



9. ábra DH₁ törzsek terméseredményeinek (g/parcella) összehasonlítása áraszott 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 (9. ábra). Összehasonlítva az egyes DH törzsek terméseredményeit az aerob termesztésben 8 g és 315 g között változtak a szemtermések, míg a hagyományos, áraszott területen 10 g és 390 g közötti eredményeket mérhettünk. Általánosan elmondható, hogy a vizsgált törzsek döntő többsége nagyobb szemtermést produkált az áraszott körülmények között. Azonban a Tünde 19.III. és Tünde 14.I. törzseknél az aerob termesztés esetén sem csökkent jelentősen a termés mennyiség.



10. ábra DH₁ törzsek terméseredményeinek (g/parcella) összehasonlítása aerob termesztésben (Szarvas, 2017) pirossal jelölve a kontroll fajták, zölddel a termés és az egyéb szelekciós paraméterek alapján pozitív genotípusok eredményei (részletesen lásd 3. melléklet)

A különböző DH₁ törzseket sztenderd fajtákhoz is hasonlítottuk az árasztás nélküli körülmények között (10. ábra). 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.

5.4. 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 termés mennyiséget ($506,7 \text{ g/m}^2$) 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).

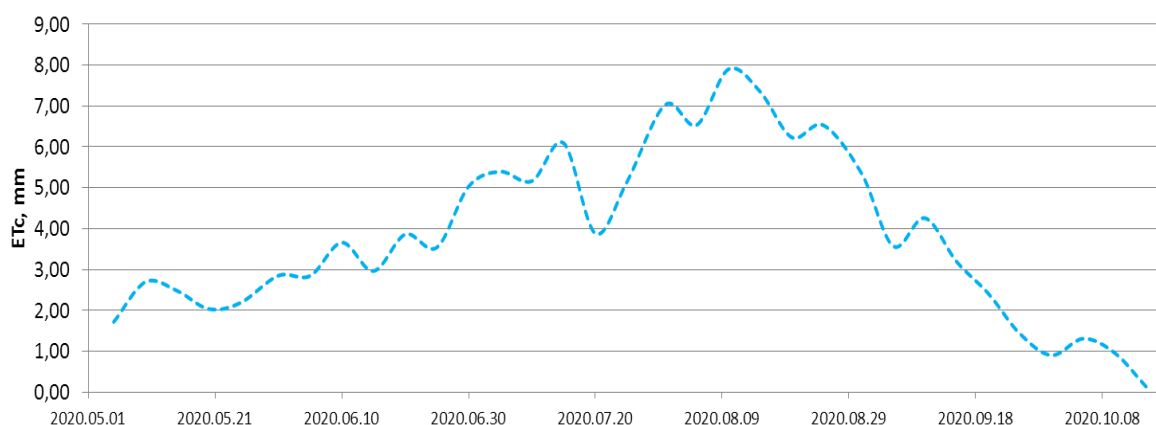
A tenyészidőszakban felhasznált öntözővíz mennyisége $315,6 \text{ mm}$ volt, ami ugyancsak alacsony értéknek számít a szakirodalmi adatokkal összevetve (Avila et al., 2015; Pimentel et al., 2004). A tenyészidőszak folyamán folyamatosan nyomon követtük az ET értékének változásait (11. ábra). A tenyészidőszakot 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

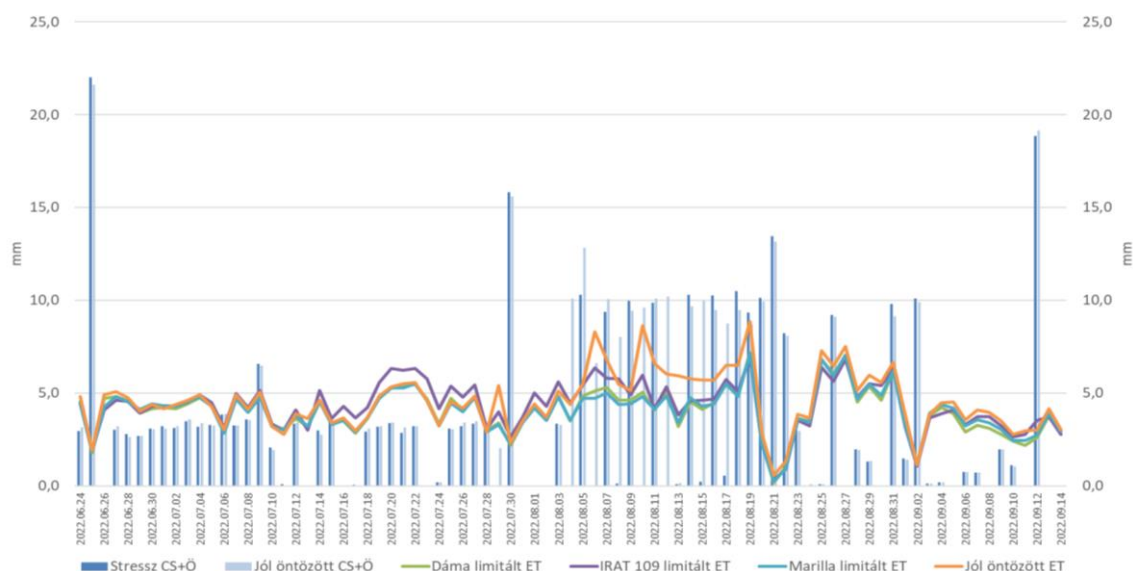
időjárási viszonyok változása miatt is. Ebben a szakaszban az átlagos ET_c 0,90 és 4,26 mm/nap értékek között változott.

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).



11. ábra A rizs evapotranspiráció (ET_c) 5 napos átlagértékei a tenyészidőszak alatt, aerob termesztési feltételek között, nagyméretű súlyliziméterekben mérve (Szarvas, 2020)

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). A tenyészidőszak kiemelkedően száraz és forró időjárással jellemezhető (1. melléklet). Az evapotranspirációs adatok gyűjtése folyamatos volt, amelyet a 12. ábra szemléltet.



12. ábra Az aerob termesztési feltételek között nevelt rizsfajták napi ET_c értékei a tenyészidőszakban lehullott csapadék és öntözővíz mennyiségének feltüntetésével (Szarvas, 2022)

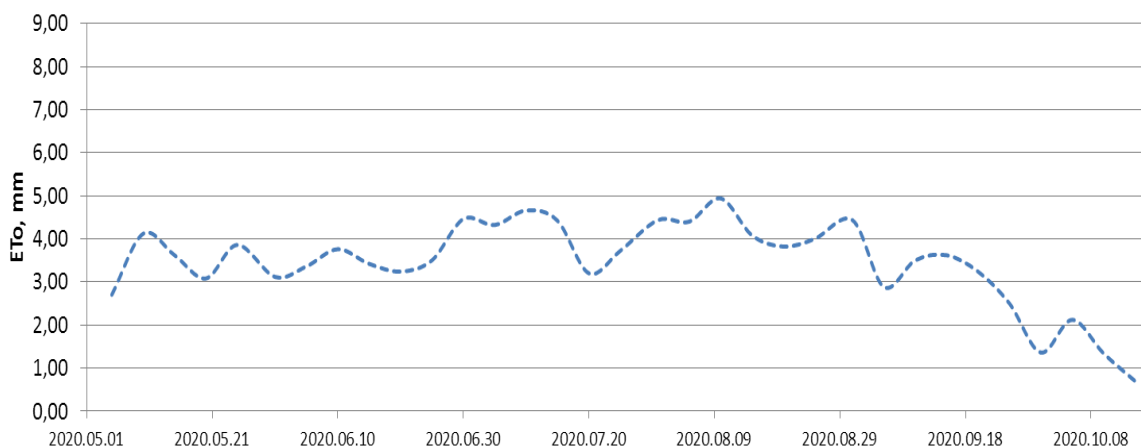
Eredményeink alapján a három rizsfajtát együtt tartalmazó súlyliziméterben a bőséges vízellátás hatására az összes ET értéke 1022,4 mm volt június 25. és szeptember 14 között. A csökkentett vízellátás mellett mindhárom rizsfajta esetében ennél az értéknél alacsonyabb ET_c-t mértünk. Kiemelhető, hogy 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).

5.4.1. 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 ETo 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).



13. ábra A termőhelyre jellemző számított referencia evapotranspiráció (ET_o) 5-napos átlagértékei a tenyészidőszak meteorológiai adatai alapján (Szarvas, 2020)

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 ET_o meghatározásra használt gyeppel levélfelületétől. 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 biomassza és levélfelület, valamint a magas hőmérséklet fokozta a növények vízfelhasználását, ezért ebben az időszakban a referencia evapotranspirációhoz képest jelentősen magasabb ET_c értékeket mérhettünk.

A tenyészidőszak végén, ahogy a növények életciklusa a végéhez közeledett, és a napi átlaghőmérséklet is csökkent, az ET_c 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 égvövi aerob rizstermesztés feltételeinek megfelelően.

5.5. A rizs szárazságtűrésének vizsgálata aerob termesztési feltételek között

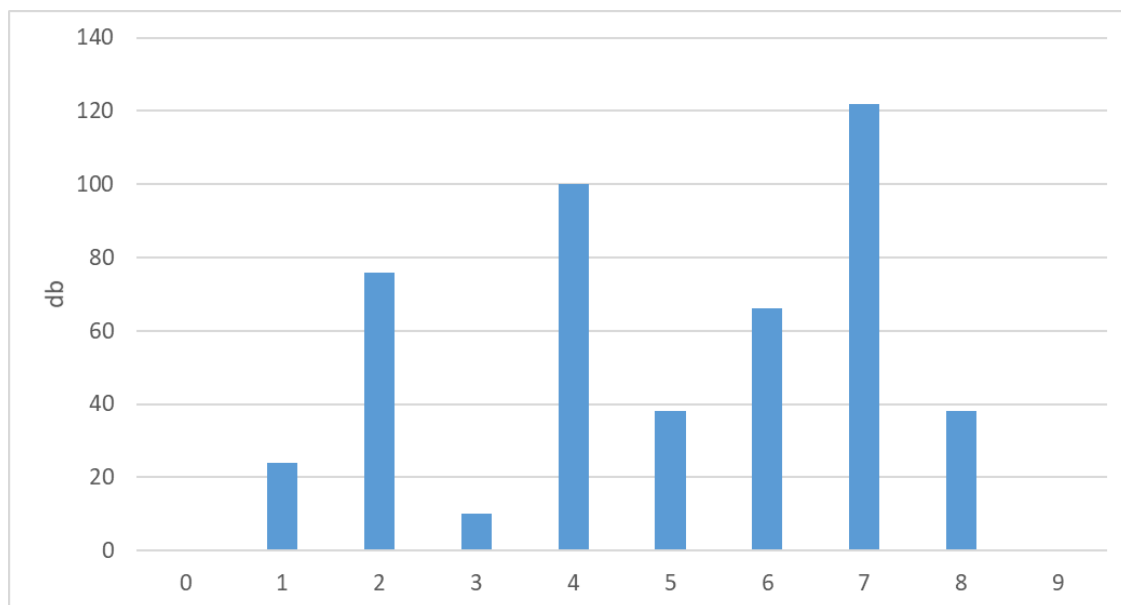
A 2022-es és a 2023-as tenyésztidőszakban a MATE ÖVKI Liziméter Telepén két keresztezési kombinációból származó DH törzseket vizsgáltunk meg mikroparcellás kísérletben. Az 1080 DH-k (Marilla x IRAT109) magjaiból 60 parcella, az 1087 DH-k (Dáma x IRAT109) magjaiból 230 parcella került elvetésre. A 2022-es évben az állomány kiegyenlítettsége az elhúzódó 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 (14. ábra).



14. ábra DH törzsek összehasonlító mikroparcellás kísérlete a MATE ÖVKI Liziméter Telepén (Szarvas, 2023)

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

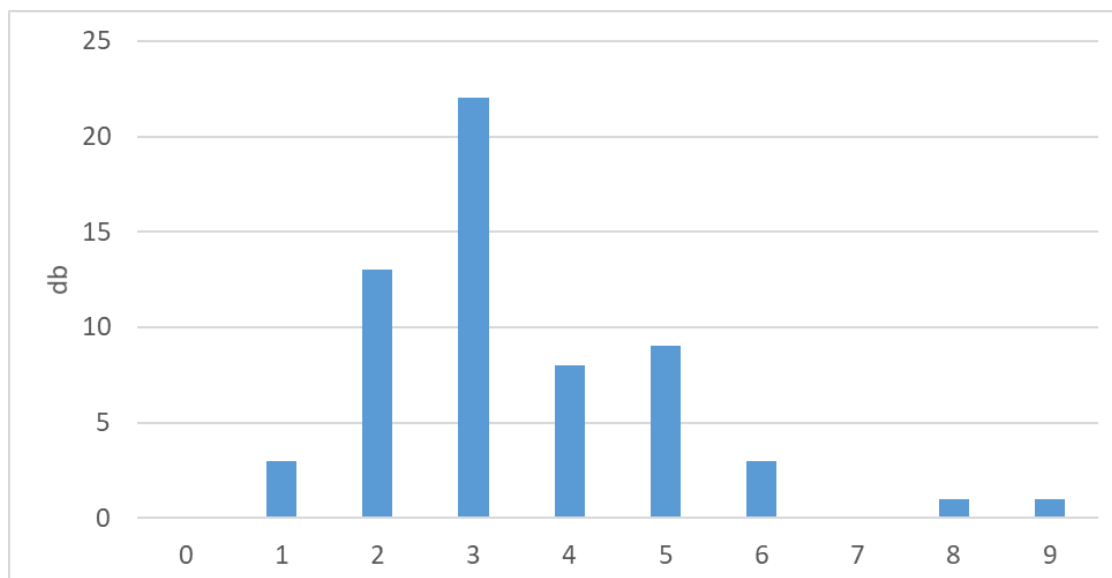
Az 1087 DH-k átlagos érésideje hosszabb volt, mint az 1080 DH-k esetében megfigyelt értékek. Az indukált vízhiány (9 nap öntözés nélküli időszak) és egy extrém meleg periódus (36-38°C napi maximum hőmérséklet) hatására meghatároztuk a különböző DH törzsek vízhiányra adott reakcióit.



15. 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 (15. 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 (16. ábra). 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 égvövi aerob rizstermesztésre alkalmas genotípusok kiválasztására.

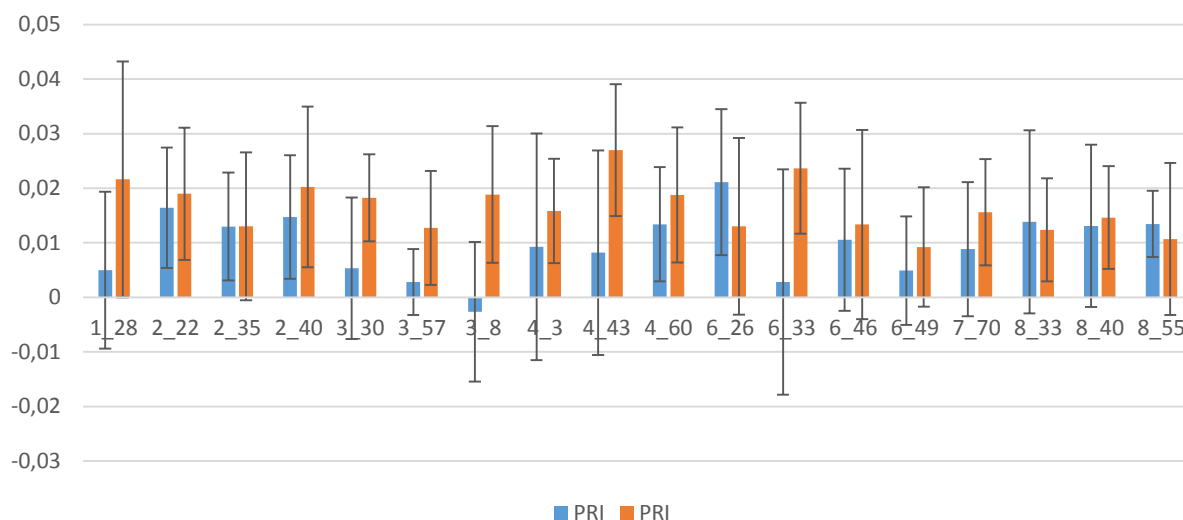


16. ábra Az 1080-as keresztezésből (Marilla X IRAT 109) származó DH törzsek toleranciája a vízhiányra (IRRI SES) a MATE ÖVKI Liziméter Telepén aerob termesztési rendszerben, jelentős vízmegvonást követően (Szarvas, 2023)

5.6. A levél spektroszkópia eredményeinek felhasználása a DH törzsek értékelésére vízhiányos környezetben

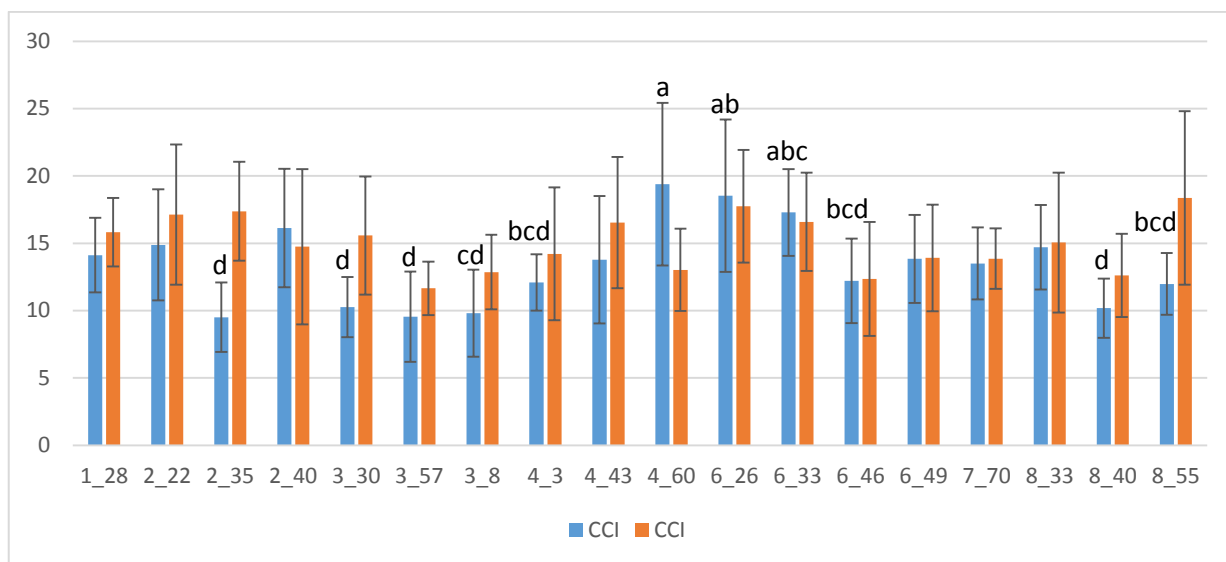
A hatékonyabb szelekciós módszerek használata érdekében a rendelkezésünkre álló 1087 DH nemesítési törzsek közül 18-at jellemeztünk spektrális indexek alapján is a virágzás időszakában. Az indexek közül a PRI, CRI 1 és a CCI esetében mértünk szignifikáns különbségeket.

A PRI esetében általánosságban elmondható, hogy a vízmegvonás hatására az index értéke a legtöbb törzs esetében megnőtt (17. táblázat). 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.

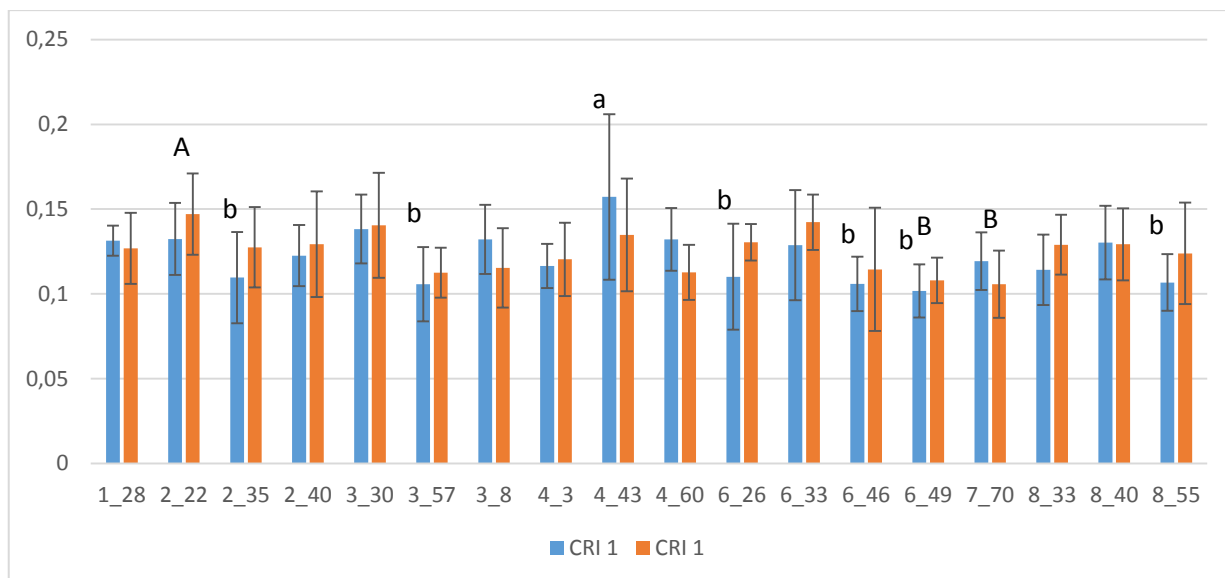


17. ábra Rízs DH törzsek fotokémiai reflektancia-index értékei a virágzás időszakában jól öntözött körülmények között, valamint vízmegvonás hatására, Szarvas, 2022

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 (18. ábra).



18. ábra Rízs DH törzsek klorofill tartalom index értékei a virágzás időszakában jól öntözött körülmények között, valamint vízmegvonás hatására, (Szarvas, 2022) Az eltérő kisbetűk a genotípusok közötti szignifikáns különbségeket mutatják a jól öntözött kezelésben $p=0,05$ esetén. A betűvel nem jelzett oszlopok értékei egyik genotípustól sem különböztek.



19. ábra Rizs DH törzsek karotinoid reflektancia-index értékei a virágzás időszakában jól öntözött körülmények között, valamint vízmegvonás hatására (Szarvas, 2022) Az eltérő kis és nagy betűk a genotípusok közötti szignifikáns különbségeket mutatják a jól öntözött (a és b) és a vízhiányos (A és B) kezelésekben $p=0,05$ esetén. A betűvel nem jelzett oszlopok értékei egyik genotípustól sem különböztek.

A harmadik vizsgált index a CRI 1 volt (19. ábra), 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.

Ezeket a vizsgálatokat az ezt követő tenyésztidőszakban is folytattuk és terveink szerint összehasonlítjuk az eredményeket a csírákori és szántóföldi szárazságtűréshez kapcsolódó egyéb paraméterekkel.

6. 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* portoktenyészeteket, 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.

6.1. További vizsgálatok és a fejlesztési irányai (javaslatok)

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 (Jancsó et al., 2022c), 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 (Rowshon et al., 2014; 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 éghővi rizstermesztés feltételei között (Raes, 2012).

6.2. 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 végezhessük 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 súlylízimétereket 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 fajtakínálatból.

7. 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 reményeink 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 (Szalóki et al., 2024, 2023). 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 vízigényről. 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.

8. ÖSSZEFOGLALÁS

A rizs világszinten az egyik legjelentősebb gabonaféle, amelynek nemesítése más gabonafélékhez hasonlóan hosszú folyamat. Egy-egy új fajta állami elismerése átlagosan több mint tíz év a kiindulási keresztezési kombinációk létrehozása után. A termelési körülmények és a piaci igények azonban gyors ütemben változnak, a nemesítésre fordítható erőforrások pedig korlátozottak. Ezért a magyar rizstermesztés fejlesztése érdekében egy új nemesítési programot indítottunk, amelyben munkatársaimmal közösen kiemelkedő abiotikus (hideg, szárazság, só) és biotikus (járványos barnulás) stressztűréssel rendelkező genotípusokat keresünk a termelési gyakorlat és további kutatási programok számára.

Munkatársaimmal együtt 2016 óta több mint 100 keresztezési kombinációt hoztunk létre. Elsősorban a termelésben sikerrel használt korábbi magyar rizsfajták (pl. Dáma, M 488, Janka, Ábel) előnyös tulajdonságait (koraiság, hidegtolerancia, jó minőség) terveztük ötvözni a legújabb nemzetközi génforrásokkal. A korábban rendkívül munkaigényes keresztezési folyamat meggyorsítására Magyarországon elsőként használjuk a rizsnemesítésben a vákuumos kasztráló berendezést.

A hatékonyság további növelése érdekében az *in vitro* androgenezist alkalmazzuk a homogén DH törzsek előállítására, ezzel a teljes nemesítési folyamat 2-4 évvel lerövidíthető és jelentősen csökkenthető a törzsek helyigénye is. A módszer hatékonyságát mutatja, hogy jelenleg éves szinten, a nemesítői igényeknek megfelelően 500-1400 db homogén DH törzset biztosít a GK szegedi laboratóriuma a szántóföldi tesztekhez. Bár az *in vitro* androgenezis hatékonysága esetében továbbra is megfigyelhető a genotípus függőség, azonban a jelenleg hazánkban termesztett *japonica* genotípusoknál a diploidok aránya az összes *in vitro* növényen belül már eléri a 38,1-57,9%-ot. Az általában alacsony rezponzivitással jellemezhető indica genotípusok esetében előrelépést értünk el, de a zöld növények száma még alacsony.

A DH törzseket sikerrel integráltuk a hagyományos rizsnemesítés folyamatába. A DH₀ növények egyedi előszelekcióját (habitus, növénymagasság, szárszilárdság, szemtípus alapján) követően a DH₁ törzsekkel már mikroparcellás teljesítmény értékelő kísérleteket indíthatunk, amelynek eredményei alapján a DH₂₋₃ utódgenerációban (15-17 genotípus/év) több ismétléses teljesítmény összehasonlító kísérleteket tudunk indítani árasztott körülmények között. A 2019-2020-ban folytatott kisparcellás kísérleti összehasonlítás alapján öt DH törzs terméseredménye haladta meg a kontroll fajták átlagát, közülük a Tünde 16.II. 1 a kontroll fajták termésátlagához

képest 111,6%-ot teljesített. A szelekció komplex értékelés, a termésmennyiség mellett figyelembe veszi a szárszilárdságot, a járványos barnulás rezisztenciát, a szemtípust és a malomipari tulajdonságokat is.

A hazai nemesítésben először alkalmaztuk a DH törzseket az aerob rizstermesztés körülményei között végzett közvetlen szelekcióra. A legellenállóbb törzsek kiválogatásához a tenyészkerti megfigyelések mellett felhasználtuk a levél spektrometria és a hőképalkotás módszerét is. A módszerek gyakorlati alkalmazhatóságát két keresztezési kombinációból (1080 és 1087) származó DH törzseken teszteltük. Az 1080 DH törzsek esetében 63,4%, az 1087 DH törzsek esetében 21,1% mutatott enyhe tüneteket vízhiányos körülmények között. Az 1087 DH törzsek közül 18-at részletesen is megvizsgáltunk üvegházi és szántóföldi kísérletekben. E törzsek esetében a PRI, a CRI 1 és a CCI indexek vizsgálatával találtunk különbségeket a törzsek között. További elemzések után a jövőben hatékony nemesítői eszköz lehet a levélspektrometria is.

Az aerob termesztés optimalizálása és a vízhiány következtében kialakuló stresszállapot elkerülése, vagy éppen szelekciós célú felhasználása érdekében lényeges, hogy a törzsek tenyészidőszak folyamán mérhető evapotranspirációjáról pontos adatokkal rendelkezünk. A hazai éghajlati körülmények között először használtunk nagy méretű súlylizimétereket rizs genotípusok (Dáma, Marilla, IRAT 109) evapotranspirációjának jellemzésére ($ET_c=904,7-973,7\text{mm/tenyészidőszak}$) a különböző fejlődési fázisokban az aerob termesztési körülmények között. Meghatároztuk az egyes fejlődési fázisokhoz köthető K_c értékeket, amelyek közül a $K_{c_{ini}}$ értéke átlagosan 0,82, a $K_{c_{mid}}$ értéke 1,40, míg az átlagos $K_{c_{end}}$ értéke 0,77 volt.

Nemesítői 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 fajtakínálatból. Reményeink szerint ezek az új fajták és a kutatómunkánk során előállított további DH törzsek közül több a jövőben eredményesen felhasználható lesz a hagyományos vagy az árasztás nélküli rizstermesztésben is.

9. SUMMARY

Rice is one of the most significant cereals globally, and its breeding, similar to other cereals, is a long process. It takes more than ten years on average for a new variety to gain state recognition after creating the initial crossing combinations. However, cultivation conditions and market demands are rapidly changing, and the resources available for breeding are limited. Therefore, to improve the market opportunities of the Hungarian rice, we have launched a new breeding program where we are searching for genotypes with outstanding abiotic (cold, drought, salt) and biotic (epidemic browning) stress tolerance. This can promote the Hungarian rice production and related research programs.

Since 2016, our team has created over 100 crossing combinations. We primarily aimed to combine the advantageous traits (earliness, cold tolerance, good quality) of previously successful Hungarian rice varieties (e.g., Dáma, M 488, Janka, Ábel) with the latest international gene sources. To speed up the previously highly labor-intensive crossing process, we are the first in Hungary to use a vacuum emasculator in rice breeding.

To further increase efficiency, we use *in vitro* androgenesis to produce homogeneous DH lines, which can shorten the breeding process by 2-4 years. The method's effectiveness is shown by the fact that, annually, the GK laboratory in Szeged provides 500-1400 homogeneous DH lines for the field experiments, depending on the breeder's requirements. Although genotype dependence is still observed in the effectiveness of the use of *in vitro* androgenesis, the proportion of diploids among all *in vitro* plants for currently cultivated *Japonica* genotypes in Hungary has reached 38.1-57.9%. We have also made progress with *Indica* genotypes, which are generally characterized by low responsiveness, but the number of green plantlets remains low.

We have successfully integrated the new DH lines into the traditional rice breeding process in Hungary. Following the individual pre-selection of DH₀ plants (based on plant habit, plant height, lodging resistance, grain type), we are starting on-field microplot performance evaluation experiments with the DH₁ lines. Based on the results, selected DH lines in the DH₂₋₃ generation (15-17 genotypes/year) are screened in small-plot performance experiments under paddy conditions. Based on a small plot experimental comparison conducted in 2019-2020, the yield results of five DH strains exceeded the average of control varieties, with Tünde 16.II. 1 achieving 111.6% compared to the yield average of control varieties. The complex evaluation of

selection considers not only yield quantity but also lodging resistance, rice blast resistance, grain type, and milling quality.

We applied the DH lines for direct selection under aerobic cultivation conditions. To select the most tolerant lines, we used leaf spectrometry and thermal imaging methods in addition to nursery observations based on the IRRI SES method. We tested the practical applicability of these methods on DH lines derived from two crossing combinations (1080 and 1087). Among the 1080 DH lines, 63.4% showed low drought sensitivity under drought-prone conditions, while 21.1% of the 1087 DH lines did. We examined 18 DH lines from the 1087 combination in detail in a greenhouse and field experiment. For these lines, we found differences using PRI, CRI 1, and CCI indices. After further analyses, leaf spectrometry combined with other selection methods may become an effective breeding tool in the future.

To optimize aerobic cultivation under temperate climate and avoid or use stress conditions caused by water deficiency for selection purposes, it is essential to have accurate data on evapotranspiration during the growing season of the lines. Therefore, we used large-scale weighing lysimeters to characterize the evapotranspiration ($ET_c = 904.7\text{--}973.7$ mm/growing season) of selected rice genotypes (Dáma, Marilla, IRAT 109) at various growth stages. We determined the K_c values associated with specific growth phases, with an average $K_{c_{ini}}$ value of 0.82, a $K_{c_{mid}}$ value of 1.40, and an average $K_{c_{end}}$ value of 0.77.

As a result of our research and breeding work, two new rice varieties received state approval, SZV Szellő in 2020 and SZV Tünde in 2021. The former stands out for its outstanding quality traits, while the latter for its high yield capacity under the Hungarian climatic conditions. We hope that these new varieties and several other DH lines produced during our research will be successfully used in both traditional and aerobic rice cultivation in the future.

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>
- Ahmadi, B., Ebrahimzadeh, H., 2020. In vitro androgenesis: spontaneous vs. artificial genome doubling and characterization of regenerants. *Plant Cell Rep* 39, 299–316. <https://doi.org/10.1007/s00299-020-02509-z>
- 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.
- Ali, M., 2016. Estimation of Some Breeding Parameters for Improvement Grain Yield in Yellow Maize under Water Stress. *Journal of Plant Production* 7, 1509–1521. <https://doi.org/10.21608/jpp.2016.47111>
- 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.
- Amasino, R., 2005. 1955: Kinetin Arrives. The 50th Anniversary of a New Plant Hormone. *Plant Physiology* 138, 1177–1184. <https://doi.org/10.1104/pp.104.900160>
- 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>
- Antal, J., 2000. Növénytermesztők zsebkönyve, Falugazdász könyvek. Mezőgazda Kiadó, Budapest.
- 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>
- Bajaj, Y.P.S. (Ed.), 1990. Haploids in Crop Improvement I, Biotechnology in Agriculture and Forestry. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-61499-6>
- Bálint, A., 1976. A növénynemesítés alapjai. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.
- Barnabás, B., Obert, B., Kovács, G., 1999. Colchicine, an efficient genome-doubling agent for maize (*Zea mays* L.) microspores cultured in anthero. *Plant Cell Reports* 18, 858–862. <https://doi.org/10.1007/s002990050674>
- Barnabás, B., Spitkó, T., Jäger, K., Pintér, J., Marton, L.C., 2005. Strategy for improvement of doubled haploid production in maize. *Acta Agronomica Hungarica* 53, 177–182. <https://doi.org/10.1556/AAgr.53.2005.2.6>
- Barnabás, B., Szakács, É., Karsai, I., Bedő, Z., 2001. In vitro androgenesis of wheat: from fundamentals to practical application. *Euphytica* 119, 211–216. <https://doi.org/10.1023/A:1017558825810>
- Belder, P., Bouman, B.A.M., Spiertz, J.H.J., Peng, S., Castañeda, A.R., Visperas, R.M., 2005. Crop performance, nitrogen and water use in flooded and aerobic rice. *Plant Soil* 273, 167–182. <https://doi.org/10.1007/s11104-004-7401-4>
- Bishnoi, U., Jain, R.K., Rohilla, J.S., Chowdhury, V.K., Gupta, K.R., Chowdhury, J.B., 2000. Anther culture of recalcitrant indica × Basmati rice hybrids. *Euphytica* 114, 93–101. <https://doi.org/10.1023/A:1003915331143>

- Blakeslee, A.F., Belling, J., Farnham, M.E., Bergner, A.D., 1922. A Haploid Mutant in the Jimson Weed, “*Datura stramonium*.” *Science* 55, 646–647. <https://doi.org/10.1126/science.55.1433.646>
- 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., Hengsdijk, H., Hardy, B., Bindraban, P., Tuong, T., Ladha, J.K., 2002. Water-wise rice production. *Proceedings of the International Workshop on Water-wise Rice Production*. International Rice Research Institute, Los Baños, Philippines.
- 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>
- Broughton, S., Sidhu, P.K., Davies, P.A., 2014. In vitro Culture for Doubled Haploids: Tools for Molecular Breeding, in: Fleury, D., Whitford, R. (Eds.), *Crop Breeding, Methods in Molecular Biology*. Springer New York, New York, NY, pp. 167–189. https://doi.org/10.1007/978-1-4939-0446-4_14
- Champness, M., Ballester, C., Hornbuckle, J., 2023. Effect of Soil Moisture Deficit on Aerobic Rice in Temperate Australia. *Agronomy* 13, 168. <https://doi.org/10.3390/agronomy13010168>
- Chase, S.S., 1952. Monoploids in maize. *Heterosis* 389–399.
- Chase, S.S., 1947. Techniques for isolating monoploid maize plants. *J Bot* 34, 582.
- Chen, C.-C., 1977. In vitro development of plants from microspores of rice. *In Vitro* 13, 484–489. <https://doi.org/10.1007/BF02615140>
- Chen, P., Haboudane, D., Tremblay, N., Wang, J., Vigneault, P., Li, B., 2010. New spectral indicator assessing the efficiency of crop nitrogen treatment in corn and wheat. *Remote Sensing of Environment* 114, 1987–1997. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2010.04.006>
- Cho, M.S., Zapata, F.J., 1990. Plant Regeneration from Isolated Microspore of Indica Rice. *Plant and Cell Physiology* 31, 881–885. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.pcp.a077992>
- Cho, M.S., Zapata, F.J., 1988. Callus formation and plant regeneration in isolated pollen culture of rice (*Oryza sativa* L. cv. Taipei 309). *Plant Science* 58, 239–244. [https://doi.org/10.1016/0168-9452\(88\)90014-3](https://doi.org/10.1016/0168-9452(88)90014-3)
- Chu, C., Chu, W.C., San, S.C., Chen, H., Chu, Y.K., Yin, C.C., 1975. Establishment of an efficient medium for anther culture of rice through comparative experiments on the nitrogen sources. *Sci. Sin.* 18, 659–668.
- Chu, C.C., 1978. The N6 medium and its applications to anther culture of cereal crops. *Proceedings of Symposium on Plant Tissue Culture*, Science Press, Peking 45–50.
- Coffman, W.R., 1979. Portable vacuum emasculator. *International Rice Research Newsletter* 4, 2–3.
- Collard, B.C.Y., Beredo, J.C., Lenaerts, B., Mendoza, R., Santelices, R., Lopena, V., Verdeprado, H., Raghavan, C., Gregorio, G.B., Vial, L., Demont, M., Biswas, P.S., Iftekharruddaula, K.M., Rahman, M.A., Cobb, J.N., Islam, M.R., 2017. Revisiting rice breeding methods – evaluating the use of rapid generation advance (RGA) for routine rice breeding. *Plant Production Science* 20, 337–352. <https://doi.org/10.1080/1343943X.2017.1391705>
- Cornejo-Martin, M.J., Primo-Millo, E., 1981. Anther and pollen grain culture of rice (*Oryza sativa* L.). *Euphytica* 30, 541–546. <https://doi.org/10.1007/BF00038780>
- Courtois, B., Frouin, J., Greco, R., Bruschi, G., Droc, G., Hamelin, C., Ruiz, M., Clément, G., Evrard, J.-C., van Coppenole, S., Katsantonis, D., Oliveira, M., Negrão, S., Matos, C., Cavigiolo, S., Lupotto, E., Piffanelli, P., Ahmadi, N., 2012. Genetic Diversity and

- Population Structure in a European Collection of Rice. *Crop Science* 52, 1663–1675. <https://doi.org/10.2135/cropsci2011.11.0588>
- Courtois, B., McLaren, G., Sinha, P.K., Prasad, K., Yadav, R., Shen, L., 2000. Mapping QTLs associated with drought avoidance in upland rice. *Molecular Breeding* 6, 55–66. <https://doi.org/10.1023/A:1009652326121>
- Cseuz, L., Pauk, J., Kertész, Z., Matuz, J., Fónad, P., Tari, I., 2002. Wheat breeding for tolerance to drought stress at the Cereal Research Non-Profit Company. *Acta Biologica Szegediensis* 46, 25–26.
- 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>
- Datta, S.K., 2005. Androgenic haploids: Factors controlling development and its application in crop improvement. *Current Science* 89, 1870–1878.
- Dixit, S., Grondin, A., Lee, C.-R., Henry, A., Olds, T.-M., Kumar, A., 2015. Understanding rice adaptation to varying agro-ecosystems: trait interactions and quantitative trait loci. *BMC Genet* 16, 86. <https://doi.org/10.1186/s12863-015-0249-1>
- Dudits, D., Heszky, L., 2003. DUDITS, D. & HESZKY, L., 2003. Növényi biotechnológia és géntechnológia 2nd ed. Agroiinform Kiadó, Budapest.
- Enriquez, Y., Yadav, S., Evangelista, G.K., Villanueva, D., Burac, M.A., Pede, V., 2021. Disentangling Challenges to Scaling Alternate Wetting and Drying Technology for Rice Cultivation: Distilling Lessons From 20 Years of Experience in the Philippines. *Front. Sustain. Food Syst.* 5, 675818. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.675818>
- Facchi, A., Gharsallah, O., Chiaradia, E.A., Bischetti, G.B., Gandolfi, C., 2013. Monitoring and Modelling Evapotranspiration in Flooded and Aerobic Rice Fields. *Procedia Environmental Sciences* 19, 794–803. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2013.06.088>
- Facchi, A., Masseroni, D., Miniotti, E.F., 2017. Self-made microlysimeters to measure soil evaporation: a test on aerobic rice in northern Italy. *Paddy Water Environ* 15, 669–680. <https://doi.org/10.1007/s10333-016-0566-7>
- Fischer, R.A., Kertész, Z., 1976. Harvest Index in Spaced Populations and Grain Weight in Microplots as Indicators of Yielding Ability in Spring Wheat ¹. *Crop Science* 16, 55–59. <https://doi.org/10.2135/cropsci1976.0011183X001600010014x>
- Fisher, K.S., Lafitte, R., Fukai, S., Atlin, G., Hardy, B., 2003. Breeding rice for drought-prone environments. International Rice Research Institute, Los Banos, The Philippines.
- Fuchs, M., 1990. Infrared measurement of canopy temperature and detection of plant water stress. *Theor Appl Climatol* 42, 253–261. <https://doi.org/10.1007/BF00865986>
- 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>
- Fukai, S., Mitchell, J., 2022. Role of canopy temperature depression in rice. *Crop and Environment* 1, 198–213. <https://doi.org/10.1016/j.crope.2022.09.001>
- 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.
- Gong, W., Proud, C., Fukai, S., Mitchell, J., 2023. Low canopy temperature and high stomatal conductance contribute to high grain yield of contrasting japonica rice under aerobic conditions. *Front. Plant Sci.* 14, 1176156. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1176156>
- 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

- Gosal, S.S., Sindhu, A.S., Sandhu, J.S., Sandhu-Gill, R., Singh, B., Khehra, G.S., Sidhu, G.S., Dhaliwal, H.S., 1997. Haploidy in rice, in: Jain, S.M., Sopory, S.K., Veilleux, R.E. (Eds.), *In Vitro Haploid Production in Higher Plants, Current Plant Science and Biotechnology in Agriculture*. Springer Netherlands, Dordrecht, pp. 1–35. https://doi.org/10.1007/978-94-017-1862-2_1
- Graß, R., Böttcher, U., Lilienthal, H., Wilde, P., Kage, H., 2020. Is canopy temperature suitable for high throughput field phenotyping of drought resistance of winter rye in temperate climate? *European Journal of Agronomy* 120, 126104. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2020.126104>
- Gregorio, G.B., Islam, M.R., Vergara, G.V., Thirumeni, S., 2013. Recent advances in rice science to design salinity and other abiotic stress tolerant rice varieties. *Sabroo J Breed Genet* 45, 31–41.
- GRiSP, 2013. *Rice Almanac: Source Book for One of the Most Important Economic Activities on Earth (Fourth Edition)*. IRRI, Los Baños, Philippines.
- Guha, S., Maheshwari, S.C., 1964. In vitro Production of Embryos from Anthers of *Datura*. *Nature* 204, 497–497. <https://doi.org/10.1038/204497a0>
- Guiderdoni, E., Galinato, E., Luistro, J., Vergara, G., 1992. Anther culture of tropical japonica × indica hybrids of rice (*Oryza sativa* L.). *Euphytica* 62, 219–224. <https://doi.org/10.1007/BF00041756>
- Hale, B., Ferrie, A.M.R., Chellamma, S., Samuel, J.P., Phillips, G.C., 2022. Androgenesis-Based Doubled Haploidy: Past, Present, and Future Perspectives. *Front. Plant Sci.* 12, 751230. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.751230>
- Han, M., Zhang, H., DeJonge, K.C., Comas, L.H., Trout, T.J., 2016. Estimating maize water stress by standard deviation of canopy temperature in thermal imagery. *Agricultural Water Management* 177, 400–409. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.08.031>
- Henry, A., 2006. Breeding Efficient Crops and Varieties for Dryland Conditions, in: Trivedi, P.C. (Ed.), *Advances in Plant Physiology*. International Publishing House, New Delhi, pp. 22–43.
- Heszky, L., Paál, H., 1972. Haploid növények felnevelése pollenekből a *Nicotiana tabacum* L. portokkultúrájában. *Botanikai Közlemények* 59, 125–127.
- Heszky, L.E., Simon-Kiss, I., 1992. Dama, the first plant variety of biotechnology origin in Hungary registered in 1992. *Hungarian Agricultural Research* 1, 30–33.
- Heszky, L.E., Simon-Kiss, I., Binh, D.Q., 1996. Release of the Rice Variety Dama Developed by Haploid Somaclone Breeding, in: Bajaj, Y.P.S. (Ed.), *Somaclonal Variation in Crop Improvement II, Biotechnology in Agriculture and Forestry*. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, pp. 46–54. https://doi.org/10.1007/978-3-642-61081-3_3
- Hooghvorst, I., Ferreres, I., Nogués, S., 2021. Anther Culture and Chromosome Doubling in Mediterranean Japonica Rice, in: Segui-Simarro, J.M. (Ed.), *Doubled Haploid Technology, Methods in Molecular Biology*. Springer US, New York, NY, pp. 333–341. https://doi.org/10.1007/978-1-0716-1315-3_19
- Hooghvorst, I., Ramos-Fuentes, E., López-Cristofannini, C., Ortega, M., Vidal, R., Serrat, X., Nogués, S., 2018. Antimitotic and hormone effects on green double haploid plant production through anther culture of Mediterranean japonica rice. *Plant Cell Tiss Organ Cult* 134, 205–215. <https://doi.org/10.1007/s11240-018-1413-x>
- Hooghvorst, I., Torrico, O., Hooghvorst, S., Nogués, S., 2020. In situ Parthenogenetic Doubled Haploid Production in Melon “Piel de Sapo” for Breeding Purposes. *Front. Plant Sci.* 11, 378. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00378>
- 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.). CEREAL RESEARCH COMMUNICATIONS 49, 493–501.
<https://doi.org/10.1007/s42976-020-00117-x>
- 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.
- Ishfaq, M., Farooq, M., Zulfiqar, U., Hussain, S., Akbar, N., Nawaz, A., Anjum, S.A., 2020. Alternate wetting and drying: A water-saving and ecofriendly rice production system. Agricultural Water Management 241, 106363.
<https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106363>
- Jackson, R.D., Idso, S.B., Reginato, R.J., Pinter, P.J., 1981. Canopy temperature as a crop water stress indicator. Water Resour. Res. 17, 1133–1138.
<https://doi.org/10.1029/WR017i004p01133>
- Jancsó, M., 2024. Vízgazdálkodás a fenntartható rizstermesztésért.
- Jancsó, M., 2021. A magyar rizs általános alkalmazkodóképességének javítása hagyományos és aerob termesztésben, in: Karsai, I., Bóna, L., Veisz, O.B., Polgár, Z., Mihály, R., Balla, K. (Eds.), XXVII. Növénynevelési Tudományos Napok. ELKH Agrártudományi Kutatóközpont, Mezőgazdasági Intézet, Martonvásár, pp. 26–30.
- Jancsó, M., 2019. Nemzeti Agrárkutatási és Innovációs Központ Öntözési és Vízgazdálkodási Kutatóintézet (NAIK ÖVKI) Szarvas, in: Karsai, I. (Ed.), A magyar növénynevelés az ezredfordulón (1990-2018). Agroinform Kiadó, Budapest, pp. 73–74.
- Jancsó, M., 2016. A Rizskutatás Szívében. AGROFÓRUM - A NÖVÉNYTERMESZTŐK ÉS NÖVÉNYVÉDŐK HAVILAPJA 27, 36–40.
- Jancsó, M., 2004. A rizs (*Oryza sativa* L.) mikroszóratermesztés vizsgálata hazai fajtákkal, in: Diplomadolgozat. Szent István Egyetem, Gödöllő, p. 59.
- Jancsó, M., Kun, Á., Székely, Á., Szalóki, T., Ibadzade, M., Bozán, C., 2019. New developments at the Lysimeter Station in Szarvas, in: 18. Gumpensteiner Lysimetertagung. pp. 155–156.
- Jancsó, M., Szalóki, T., Székely, Á., Lantos, C., Pauk, J., 2022a. 'SZV TÜNDE', az új, nagy termőképességű magyar rizsfajta, in: Polgár, Z., Karsai, I., Bóna, L., Matuz, J., Taller, J. (Eds.), XXVIII. Növénynevelési Tudományos Napok. Magyar Növénynevelők Egyesülete, Keszthely, pp. 115–115.
- Jancsó, M., Székely, Á., Pauk, J., 2022b. Rizs, in: Izsáki, Z., Kruppa, J. (Eds.), Szántóföldi növények vetőmagtermesztése 3. Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, Gödöllő, pp. 88–98.
- 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, 83-88. <https://doi.org/10.18380/SZIE.COLUM.2017.4.1.suppl>
- Jancsó, M., Székely, Á., Szalóki, T., Lantos, C., Valkovszki, N.J., Bozán, C., Pauk, J., 2022c. Evapotranspiration of a Hungarian rice variety, 'SZV Tünde' in large weighing lysimeter. Columella 9, 5–12. <https://doi.org/10.18380/SZIE.COLUM.2022.9.2.5>
- 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>
- Jiang, M., Guo, K., Wang, J., Wu, Y., Shen, X., Huang, L., 2023. Current status and prospects of rice canopy temperature research. *Food and Energy Security* 12, e424. <https://doi.org/10.1002/fes3.424>
- Kadiyala, M.D.M., Mylavarapu, R.S., Li, Y.C., Reddy, G.B., Reddy, M.D., 2012. Impact of Aerobic Rice Cultivation on Growth, Yield, and Water Productivity of Rice–Maize Rotation in Semiarid Tropics. *Agronomy Journal* 104, 1757–1765. <https://doi.org/10.2134/agronj2012.0148>
- Kahrizi, D., Mahmoodi, S., Khaniki, G.B., Mirzaei, M., 2011. Effect of genotype on androgenesis in barley (*Hordeum vulgare* L.). *Biharean Biologist* 5, 132–134.
- Kapás, S., 1997. Rizs. Növényfajták és növénynevelők. Országos Mezőgazdasági Minősítő Intézet, Budapest, pp. 141–146.
- Kasha, K.J., Kao, K.N., 1970. High Frequency Haploid Production in Barley (*Hordeum vulgare* L.). *Nature* 225, 874–876. <https://doi.org/10.1038/225874a0>
- Kato, Y., Okami, M., Katsura, K., 2009. Yield potential and water use efficiency of aerobic rice (*Oryza sativa* L.) in Japan. *Field Crops Research* 113, 328–334. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2009.06.010>
- Koide, Y., Kuniyoshi, D., Kishima, Y., 2020. Fertile Tetraploids: New Resources for Future Rice Breeding? *Front. Plant Sci.* 11, 1231. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.01231>
- 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, 457. <https://doi.org/10.3390/f12040457>
- Kotu, V., Deshpande, B., 2019. Classification, in: *Data Science*. Elsevier, pp. 65–163. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814761-0.00004-6>
- 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
- Kumar, U., Quick, W.P., Barrios, M., Sta Cruz, P.C., Dingkuhn, M., 2017. Atmospheric CO₂ concentration effects on rice water use and biomass production. *PLoS ONE* 12, e0169706. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0169706>
- Kun, Á., Bozán, C., Oncsik, M.B., Barta, K., 2018. Evaluating of wastewater irrigation in lysimeter experiment through energy willow yields and soil sodicity. *Carpath. J. Earth Environ. Sci.* 13, 77–84. <https://doi.org/10.26471/cjees/2018/013/008>
- Lafitte, H., Yongsheng, G., Yan, S., Li, Z.-K., 2006. Whole plant responses, key processes, and adaptation to drought stress: the case of rice. *Journal of Experimental Botany* 58, 169–175. <https://doi.org/10.1093/jxb/erl101>
- Lafitte, R., 2002. Relationship between leaf relative water content during reproductive stage water deficit and grain formation in rice. *Field Crops Research* 76, 165–174. [https://doi.org/10.1016/S0378-4290\(02\)00037-0](https://doi.org/10.1016/S0378-4290(02)00037-0)
- Lampayan, R.M., Rejesus, R.M., Singleton, G.R., Bouman, B.A.M., 2015. Adoption and economics of alternate wetting and drying water management for irrigated lowland rice. *Field Crops Research* 170, 95–108. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2014.10.013>
- Lantos, C., Bóna, L., Nagy, É., Békés, F., Pauk, J., 2018. Induction of in vitro androgenesis in anther and isolated microspore culture of different spelt wheat (*Triticum spelta* L.) genotypes. *Plant Cell Tiss Organ Cult* 133, 385–393. <https://doi.org/10.1007/s11240-018-1391-z>
- Lantos, C., Jancsó, M., Pauk, J., 2005. Microspore culture of small grain cereals. *Acta Physiol Plant* 27, 631–639. <https://doi.org/10.1007/s11738-005-0067-6>

- 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>
- Lantos, C., Pauk, J., 2021. In Vitro Anther Culture for Doubled Haploid Plant Production in Spelt Wheat, in: Segui-Simarro, J.M. (Ed.), Doubled Haploid Technology, Methods in Molecular Biology. Springer US, New York, NY, pp. 257–266. https://doi.org/10.1007/978-1-0716-1315-3_13
- Lenaerts, B., Collard, B.C.Y., Demont, M., 2019. Review: Improving global food security through accelerated plant breeding. Plant Science 287, 110207. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2019.110207>
- Lentini, Z., Reyes, P., Martínez, C.P., Roca, W.M., 1995. Androgenesis of highly recalcitrant rice genotypes with maltose and silver nitrate. Plant Science 110, 127–138. [https://doi.org/10.1016/0168-9452\(95\)04180-3](https://doi.org/10.1016/0168-9452(95)04180-3)
- 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>
- Maheshwari, N., 1958. *In vitro* Culture of Excised Ovules of *Papaver somniferum*. Science 127, 342–342. <https://doi.org/10.1126/science.127.3294.342>
- Manickavelu, A., Nadarajan, N., Ganesh, S.K., Gnanamalar, R.P., Chandra Babu, R., 2006. Drought tolerance in rice: morphological and molecular genetic consideration. Plant Growth Regul 50, 121–138. <https://doi.org/10.1007/s10725-006-9109-3>
- Marassi, M.A., Scocchi, A., Gonzalez, A.M., 2006. Plant regeneration from rice anthers cryopreserved by an encapsulation/dehydration technique. In Vitro Cell. Dev. Biol. - Plant 42, 31–36. <https://doi.org/10.1079/IVP2005746>
- Máthé, I., 1950. Adatok a rizsfajták szárazon termesztéséhez az 1949. évi pallagi kísérletek és megfigyelések alapján, in: Agrártudományi Egyetem Mezőgazdaságtudományi Karának Évkönyve. Alföldi Nyomda, Debrecen, pp. 26–31.
- Mayakaduwa, D.M.R.G., Silva, T.D., 2018. Anther Culture as a Supplementary Tool for Rice Breeding, in: Shah, F., Khan, Z.H., Iqbal, A. (Eds.), Rice Crop - Current Developments. InTech, pp. 1–15. <https://doi.org/10.5772/intechopen.76157>
- Melandri, G., Prashar, A., McCouch, S.R., Van Der Linden, G., Jones, H.G., Kadam, N., Jagadish, K., Bouwmeester, H., Ruyter-Spira, C., 2020. Association mapping and genetic dissection of drought-induced canopy temperature differences in rice. Journal of Experimental Botany 71, 1614–1627. <https://doi.org/10.1093/jxb/erz527>
- Michel, B.E., 1983. Evaluation of the Water Potentials of Solutions of Polyethylene Glycol 8000 Both in the Absence and Presence of Other Solutes. Plant Physiol. 72, 66–70. <https://doi.org/10.1104/pp.72.1.66>
- Miller, C.O., Skoog, F., Von Saltza, M.H., Strong, F.M., 1955. Kinetin, a cell division factor from deoxyribonucleic acid1. Journal of the American Chemical Society 77, 1392–1392.
- Moon, H.P., Cho, S.Y., Son, Y.H., Jun, B.T., Lim, M.S., Choi, H.C., Park, N.K., Park, R.K., Chung, G.S., 1986. An anther-derived new high quality and high yield rice variety" Hwaseongbyeon". Research Reports of the Rural Development Administration-Crops (Korea R.).

- Mukaka, M.M., 2012. Statistics Corner: A guide to appropriate use of Correlation coefficient in medical research. *Malawi medical journal : the journal of Medical Association of Malawi* 24, 69–71.
- Murashige, T., Skoog, F., 1962. A Revised Medium for Rapid Growth and Bio Assays with Tobacco Tissue Cultures. *Physiologia Plantarum* 15, 473–497. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1962.tb08052.x>
- 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>
- Neue, H.U., Wassmann, R., Kludze, H.K., Bujun, W., Lantin, R.S., 1997. Factors and processes controlling methane emissions from rice fields. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 49, 111–117. <https://doi.org/10.1023/A:1009714526204>
- Nie, L., Peng, S., Chen, M., Shah, F., Huang, J., Cui, K., Xiang, J., 2012. Aerobic rice for water-saving agriculture. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 32, 411–418. <https://doi.org/10.1007/s13593-011-0055-8>
- Niizeki, H., Oono, K., 1968. Induction of Haploid Rice Plant from Anther Culture. *Proceedings of the Japan Academy* 44, 554–557. <https://doi.org/10.2183/pjab1945.44.554>
- Obermayer, E., 1958. A magyar rizs, in: Kocsis, F. (Ed.), *A Tudomány Világából*. Bibliotheca Kiadó, Budapest, pp. 278–281.
- Obirih-Opareh, J., 2023. Abiotic stress tolerance of DH rice lines for the development of aerobic rice production systems (MSc.). Hungarian University of Agriculture and Life Sciences, Szarvas-Gödöllő.
- Orge, R.F., 2015. Coping with Climate Change Program. 2015 National Rice R&D Highlights. Philippine Rice Research Institute, Science City of Munoz (Philippines).
- Ozdemir, E., Inagaki, M.N., Tahir, M., 1990. Effect of Alien Cytoplasm on Wheat Haploid Production through Crosses with *Hordeum bulbocum*. *Cereal Research Communications* 185–189.
- 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>
- Parthasarathi, T., Mohandass, S., Senthilvel, S., Vered, E., 2013. Effect of various micro irrigation treatments on growth and yield response of aerobic rice. *International Agricultural Engineering Journal* 22, 49–62.
- Patra, S., Mohanty, P., K. Tripathy, S., 2019. Scope of androgenesis for genetic improvement in rice. *ELSR* 5, 23–28. <https://doi.org/10.31783/elsr.2019.512328>
- Pauk, J., 2005. Az androgenezis és a genetikai transzformáció vizsgálata egyszikű gabonafélékben, in: *MTA Doktori Értekezés*. Szeged, p. 139.
- 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
- Pauk, J., Kertész, Z., Beke, B., Bóna, L., Csősz, M., Matuz, J., 1995. New Winter Wheat Variety: “GK Délibáb” Developed via Combining Conventional Breeding and In Vitro Androgenesis. *Cereal Research Communications* 23, 251–256.
- Pauk, J., Mihály, R., Puolimatka, M., 2003. Protocol for wheat (*Triticum aestivum* L.) anther culture, in: Maluszynski, M., Kasha, K.J., Forster, B.P., Szarejko, I. (Eds.), *Doubled Haploid Production in Crop Plants*. Springer Netherlands, Dordrecht, pp. 59–64. https://doi.org/10.1007/978-94-017-1293-4_10

- Peng, S., Bouman, B., Visperas, R.M., Castañeda, A., Nie, L., Park, H.-K., 2006. Comparison between aerobic and flooded rice in the tropics: Agronomic performance in an eight-season experiment. *Field Crops Research* 96, 252–259. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2005.07.007>
- Peñuelas, J., Gamon, J.A., Fredeen, A.L., Merino, J., Field, C.B., 1994. Reflectance indices associated with physiological changes in nitrogen- and water-limited sunflower leaves. *Remote Sensing of Environment* 48, 135–146. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(94\)90136-8](https://doi.org/10.1016/0034-4257(94)90136-8)
- Petrasovits I., 1969. Rizs, in: Kapás Sándor: Magyar Növénynevelés. Akadémiai Kiadó, Budapest, pp. 157–173.
- 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)
- Pradhan, S.K., Das, S.R., Patra, B.C., 2021. Advances in Rice Breeding :Stress Tolerance, Climate Resilience, Quality & High Yield. ICAR-National Rice Research Institute, Cuttack, Odisha, India.
- Prasad, R., 2011. Aerobic Rice Systems, in: *Advances in Agronomy*. Elsevier, pp. 207–247. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-387689-8.00003-5>
- Premvaranon, P., Vearasilp, S., Thanapornpoonpong, S., Karladee, D., Gorinstein, S., 2011. In vitro studies to produce double haploid in Indica hybrid rice. *Biologia* 66, 1074–1081. <https://doi.org/10.2478/s11756-011-0129-8>
- Raboin, L.-M., Ballini, E., Tharreau, D., Ramanantsoanirina, A., Frouin, J., Courtois, B., Ahmadi, N., 2016. Association mapping of resistance to rice blast in upland field conditions. *Rice* 9, 59. <https://doi.org/10.1186/s12284-016-0131-4>
- Raes, D., 2012. ETo Calculator.
- Ragaglini, G., Triana, F., Roncucci, N., Tozzini, C., Vered, E., Bonari, E., Puggioni, 2012. Rice suitability to drip irrigation in Northern Italy, in: *Abstracts of the 12th Congress of the European Society for Agronomy*, University of Helsinki, Department of Agricultural Sciences Publication Series. University of Helsinki, Helsinki, pp. 552–553.
- Rahab, M., Kikuta, M., Chemining'wa, G., Kinama, J., Kimani, J., Samejima, H., Gicheru, P., Makihara, D., 2019. Growth of Rice Varieties in Different Kenyan Soil Types Under Water-Deficit Conditions. *JAS* 11, 1. <https://doi.org/10.5539/jas.v11n6p1>
- Reiffers, I., Freire, A.B., 1990. Production of doubled haploid rice plants (*Oryza sativa* L.) by anther culture. *Plant Cell Tiss Organ Cult* 21, 165–170. <https://doi.org/10.1007/BF00033437>
- Reinert, J., Bajaj, Y.P.S. (Eds.), 1977. *Applied and Fundamental Aspects of Plant Cell, Tissue, and Organ Culture*. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-02279-5>
- Ren, J., Wu, P., Trampe, B., Tian, X., Lübberstedt, T., Chen, S., 2017. Novel technologies in doubled haploid line development. *Plant Biotechnology Journal* 15, 1361–1370. <https://doi.org/10.1111/pbi.12805>
- Reynolds, T.L., 1997. Pollen embryogenesis. *Plant Molecular Biology* 33, 1–10. <https://doi.org/10.1023/A:1005748614261>
- Roumen, E., Levy, M., Notteghem, J.L., 1997. Characterisation of the European pathogen population of *Magnaporthe grisea* by DNA fingerprinting and pathotype analysis. *European Journal of Plant Pathology* 103, 363–371. <https://doi.org/10.1023/A:1008697728788>

- Rowshon, M.K., Amin, M.S.M., Mojid, M.A., Yaji, M., 2014. Estimated evapotranspiration of rice based on pan evaporation as a surrogate to lysimeter measurement. *Paddy Water Environ* 12, 35–41. <https://doi.org/10.1007/s10333-013-0356-4>
- Rukmini, M., Rao, G.J.N., Rao, R.N., 2013. Effect of cold pretreatment and phytohormones on anther culture efficiency of two indica rice (*Oryza sativa* L.) hybrids: Ajay and Rajalaxmi. *Journal of Experimental Biology and Agricultural Sciences* 1, 69–76.
- Runkle, B.R.K., Suvočarev, K., Reba, M.L., Reavis, C.W., Smith, S.F., Chiu, Y.-L., Fong, B., 2019. Methane Emission Reductions from the Alternate Wetting and Drying of Rice Fields Detected Using the Eddy Covariance Method. *Environ. Sci. Technol.* 53, 671–681. <https://doi.org/10.1021/acs.est.8b05535>
- Ruzsányi, L., 1996. Rizs, in: Bócz, E. (Ed.), *Szántóföldi Növénytermesztés*. Mezőgazda Kiadó, Budapest, pp. 331–354.
- Sakina, A., Mir, S., Najeeb, S., Zargar, S.M., Nehvi, F.A., Rather, Z.A., Salgotra, R.K., Shikari, A.B., 2020. Improved protocol for efficacious in vitro androgenesis and development of doubled haploids in temperate japonica rice. *PLoS ONE* 15, e0241292. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0241292>
- Samoy-Pascual, K., Lampayan, R.M., Remocal, A.T., Orge, R.F., Tokida, T., Mizoguchi, M., 2022. Optimizing the lateral dripline spacing of drip-irrigated aerobic rice to increase water productivity and profitability under the water-limited condition. *Field Crops Research* 287, 108669. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2022.108669>
- Sha, X., 2013. Rice Artificial Hybridization for Genetic Analysis, in: Yang, Y. (Ed.), *Rice Protocols, Methods in Molecular Biology*. Humana Press, Totowa, NJ, pp. 1–12. https://doi.org/10.1007/978-1-62703-194-3_1
- Shabir, G., Aslam, K., Khan, A.R., Shahid, M., Manzoor, H., Noreen, S., Khan, M.A., Baber, M., Sabar, M., Shah, S.M., Arif, M., 2017. Rice molecular markers and genetic mapping: Current status and prospects. *Journal of Integrative Agriculture* 16, 1879–1891. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(16\)61591-5](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(16)61591-5)
- 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>
- Shariatpanahi, M.E., Bal, U., Heberle-Bors, E., Touraev, A., 2006. Stresses applied for the re-programming of plant microspores towards in vitro embryogenesis. *Physiologia Plantarum* 127, 519–534. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.2006.00675.x>
- Silva, T.D., 2010. Indica rice anther culture: can the impasse be surpassed? *Plant Cell Tiss Organ Cult* 100, 1–11. <https://doi.org/10.1007/s11240-009-9616-9>
- Simonné Kiss, I., 2001. Six Decades of Rice Cultivation and Varietal Improvement in Hungary. *Hungarian Agricultural Research* 10, 4–7.
- Simonné Kiss, I., 1986. Beszámoló „A rizs nemesítése és termesztése” c. tárcaszintű alprogram 1986. évi munkájáról. *Öntözési Kutató Intézet, Szarvas*, pp. 27–34.
- Simonné Kiss, I., 1983. A rizs termesztése. *Mezőgazdasági Kiadó, Budapest*.
- Simonné Kiss, I., Ipsits, C.M., 1992. Áttekintés a rizs (*Oryza sativa* L.) árasztás nélküli termesztésének történetéről és lehetőségeiről. *Növénytermelés* 41, 365–371.
- Sinclair, T.R., Tanner, C.B., Bennett, J.M., 1984. Water-Use Efficiency in Crop Production. *BioScience* 34, 36–40. <https://doi.org/10.2307/1309424>
- Singh, B., Reddy, K.R., Redoña, E.D., Walker, T., 2017. Developing a Screening Tool for Osmotic Stress Tolerance Classification of Rice Cultivars Based on In Vitro Seed Germination. *Crop Science* 57, 387–394. <https://doi.org/10.2135/cropsci2016.03.0196>
- Sinha, P., Singh, V.K., Saxena, R.K., Khan, A.W., Abbai, R., Chitikineni, A., Desai, A., Molla, J., Upadhyaya, H.D., Kumar, A., Varshney, R.K., 2020. Superior haplotypes for

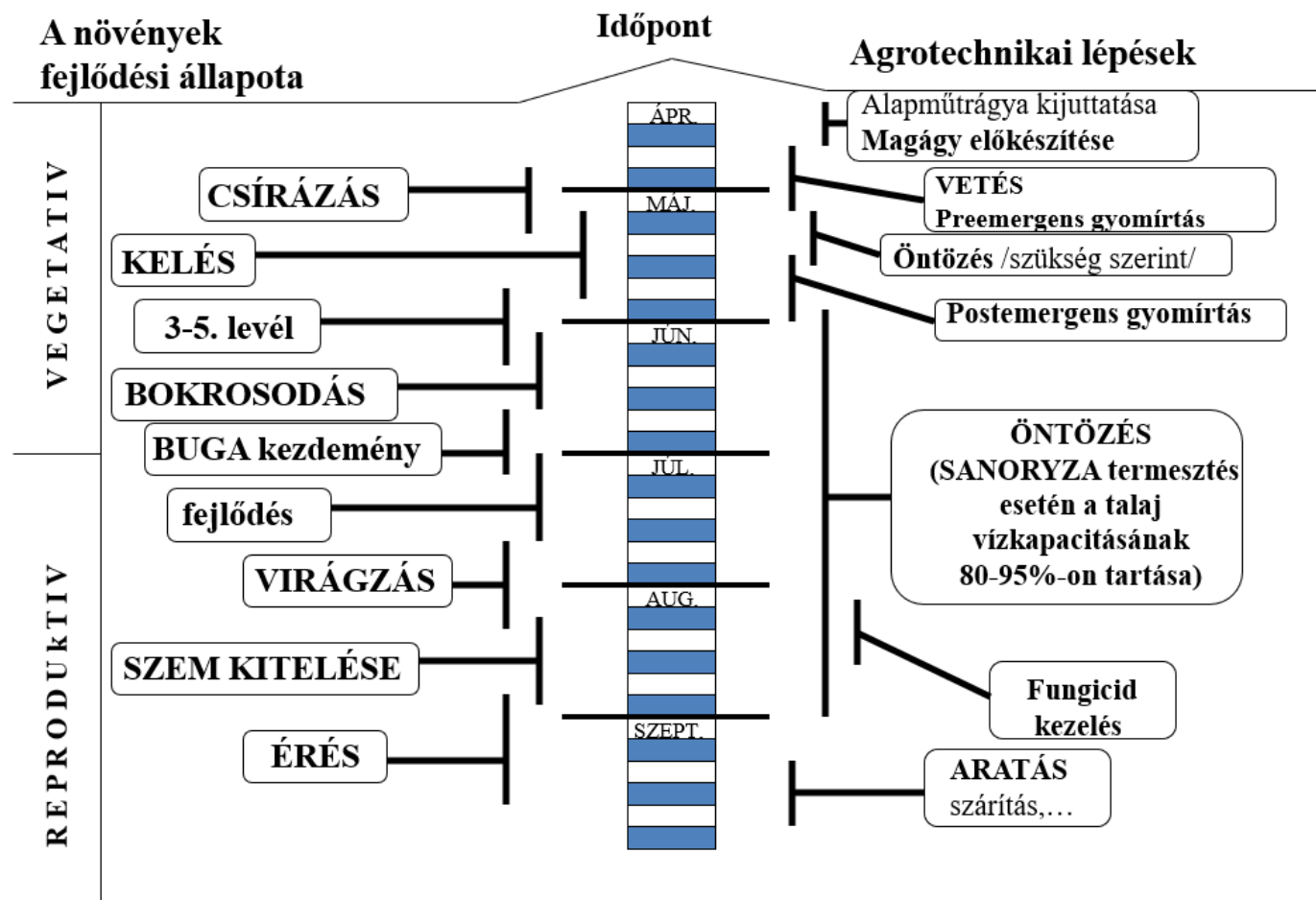
- haplotype-based breeding for drought tolerance in pigeonpea (*Cajanus cajan* L.). *Plant Biotechnology Journal* 18, 2482–2490. <https://doi.org/10.1111/pbi.13422>
- Sivamani, E., Shen, P., Opalka, N., Beachy, R.N., Fauquet, C.M., 1996. Selection of large quantities of embryogenic calli from indica rice seeds for production of fertile transgenic plants using the biolistic method. *Plant Cell Reports* 15, 322–327. <https://doi.org/10.1007/BF00232364>
- Smart, R.E., Bingham, G.E., 1974. Rapid Estimates of Relative Water Content. *Plant Physiol.* 53, 258–260. <https://doi.org/10.1104/pp.53.2.258>
- Somorjai, F., Járányi, Gy., 1954. Rizstermesztés. *Mezőgazdasági Kiadó*.
- Sripichitt, P., Ozawa, T., Otani, M., Shimada, T., 2000. Improved Method for Anther Culture of an Indica Rice Cultivar of Thailand. *Plant Production Science* 3, 254–256. <https://doi.org/10.1626/pp.3.254>
- 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>
- Sulmon, C., van Baaren, J., Cabello-Hurtado, F., Gouesbet, G., Hennion, F., Mony, C., Renault, D., Bormans, M., El Amrani, A., Wiegand, C., Gérard, C., 2015. Abiotic stressors and stress responses: What commonalities appear between species across biological organization levels? *Environmental Pollution* 202, 66–77. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2015.03.013>
- 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* 13, 1253. <https://doi.org/10.3390/plants13091253>
- Szalóki, T., Székely, Á., Valkovszki, N.J., Tarnawa, Á., Jancsó, M., 2023. Strategies for Reducing Arsenic Content in Rice: a review. *J CENT EUR GREEN INNOV* 11, 55–66. <https://doi.org/10.33038/jcegi.4492>
- Székely, Á., Szalóki, T., Ibadzade, M., Pauk, J., Lantos, C., Jancsó, M., 2021. Magyarországi rizs (*Oryza sativa* L.) fajtagyűjtemény hidegtűrésének vizsgálata természetes körülmények között. *NÖVÉNYTERMELES* 70, 125–142.
- Székely, Á., Szalóki, T., Jancsó, M., 2019. Rizsszemek a világból - a hazai rizstermesztés versenyképességének javítása a nemesítés eszközeivel, in: *Lendületben az agrárinnováció. Nemzeti Agrárkutatási és Innovációs Központ (NAIK), Gödöllő*, pp. 81–94.
- Székely, Á., Szalóki, T., Lantos, C., Pauk, J., Jancsó, M., 2023a. Data of germination ability of tetraploid rice lines under multiple stress factors. *DATA BRIEF* 48. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2023.109235>
- 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 BRIEF* 41. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2022.107929>
- Székely, Á., Szalóki, T., Pauk, J., Lantos, C., Jancsó, M., 2023b. Portoktenyésztéssel előállított tetraploid genotípusok összehasonlító vizsgálata. *NÖVÉNYTERMELES* 72, 113–126.
- Szula, A., 2021. SZV Tünde, egy új rizsfajta jellemzőinek összehasonlítása a széles körben termesztett fajtákkal. *Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, Szarvas*.
- 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)

- Taghvaeian, S., Comas, L., DeJonge, K.C., Trout, T.J., 2014. Conventional and simplified canopy temperature indices predict water stress in sunflower. *Agricultural Water Management* 144, 69–80. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2014.06.003>
- Tripathy, S.K., Lenka, D., Prusti, A.M., Mishra, D., Swain, D., Behera, S.K., 2019. Anther culture in rice: Progress and breeding perspective. *Appl. Biol. Res.* 21, 87. <https://doi.org/10.5958/0974-4517.2019.00012.0>
- 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)
- Unan, R., Genctan, T., Pedroso, R.M., 2022. Cold stress reduces rice grain yield in temperate conditions. *Rev. bras. eng. agríc. ambient.* 26, 947–952. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v26n12p947-952>
- Visarada, K.B.R.S., Sailaja, M., Sarma, N.P., 2002. Effect of Callus Induction Media on Morphology of Embryogenic Calli in Rice Genotypes. *Biologia plant.* 45, 495–502. <https://doi.org/10.1023/A:1022323221513>
- Wassmann, R., Papen, H., Rennenberg, H., 1993. Methane emission from rice paddies and possible mitigation strategies. *Chemosphere* 26, 201–217. [https://doi.org/10.1016/0045-6535\(93\)90422-2](https://doi.org/10.1016/0045-6535(93)90422-2)
- Winterhalter, L., Mistele, B., Jampatong, S., Schmidhalter, U., 2011. High throughput phenotyping of canopy water mass and canopy temperature in well-watered and drought stressed tropical maize hybrids in the vegetative stage. *European Journal of Agronomy* 35, 22–32. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2011.03.004>
- 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>
- Yao, F., Huang, J., Cui, K., Nie, L., Xiang, J., Liu, X., Wu, W., Chen, M., Peng, S., 2012. Agronomic performance of high-yielding rice variety grown under alternate wetting and drying irrigation. *Field Crops Research* 126, 16–22. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2011.09.018>
- Zamani, I., Kovacs, G., Gouli-Vavdinoudi, E., Roupakias, D.G., Barnabas, B., 2000. Regeneration of fertile doubled haploid plants from colchicine-supplemented media in wheat anther culture. *Plant Breeding* 119, 461–465. <https://doi.org/10.1046/j.1439-0523.2000.00538.x>
- Ziosi, V., Noferini, M., Fiori, G., Tadiello, A., Trainotti, L., Casadoro, G., Costa, G., 2008. A new index based on vis spectroscopy to characterize the progression of ripening in peach fruit. *Postharvest Biology and Technology* 49, 319–329. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2008.01.017>

MELLÉKLETEK

1. melléklet Meteorológiai adatok a MATE ÖVKI Liziméter Telepéről (Szarvas, 2016-2022)

2016	Csapadék (mm)	T átl. (°C)	T min. (°C)	T max. (°C)
Január	61,6	-0,9	-11,9	12,3
Február	88,5	6,0	-3,0	17,5
Március	20,0	7,3	-1,8	22,7
Április	12,3	13,4	0,2	26,0
Május	18,8	16,6	3,0	31,0
Június	124,4	21,3	8,9	35,6
Július	124,4	22,5	9,9	34,5
Augusztus	50,5	21,1	9,2	32,4
Szeptember	9,8	18,3	4,2	32,0
Október	72,7	9,8	-0,9	26,2
November	49,6	5,0	-6,2	16,4
December	1,0	-1,2	-9,2	11,0
2016 teljes	633,6	11,6	-11,9	35,6
2017	Csapadék (mm)	T átl. (°C)	T min. (°C)	T max. (°C)
Január	28,3	-6,7	-19,6	3,4
Február	30,2	2,6	-5,6	19,8
Március	13,4	9,4	-1,2	23,9
Április	49,7	11,0	0,0	25,0
Május	40,9	17,2	4,2	30,5
Június	69,3	22,1	10,5	33,3
Július	31,8	22,8	11,0	36,4
Augusztus	33,3	23,7	8,2	39,2
Szeptember	74,2	16,6	5,4	34,3
Október	33,7	11,6	0,8	25,5
November	39,6	6,0	-4,6	16,4
December	89,2	2,7	-6,0	13,3
2017 teljes	533,6	11,6	-19,6	39,2
2018	Csapadék (mm)	T átl. (°C)	T min. (°C)	T max. (°C)
Január	18,3	3,0	-4,6	14,6
Február	70,3	0,7	-9,7	12,7
Március	75,2	3,8	-10,9	21,4
Április	11,2	16,4	4,9	29,7
Május	37,4	20,1	10,0	31,2
Június	31,0	21,4	8,0	32,8
Július	69,8	22,8	8,3	33,3
Augusztus	43,9	24,4	13,6	35,2
Szeptember	14,5	18,4	2,5	33,2
Október	10,6	13,6	1,2	25,5
November	36,3	7,7	-4,7	23,6
December	26,5	1,2	-11,9	11,0
2018 teljes	445,0	12,8	-11,9	35,2
2019	Csapadék (mm)	T átl. (°C)	T min. (°C)	T max. (°C)
Január	44,1	-0,5	-11,7	11,0
Február	9,5	4,6	-6,3	21,4
Március	1,6	12,7	4,5	22,8
Április	0,6	18,3	15,2	29,9
Május	48,7	17,8	8,0	26,0
Június	162,4	23,5	14,2	34,0
Július	68,1	22,2	10,3	34,1
Augusztus	24,5	24,1	10,8	36,3
Szeptember	46,1	17,8	3,5	33,6
Október	18,1	12,7	-0,9	27,4
November	52,6	9,4	-2,5	20,3
December	40,1	3,6	-4,8	14,9
2019 teljes	516,4	13,8	-11,7	36,3
2020	Csapadék (mm)	T átl. (°C)	T min. (°C)	T max. (°C)
Január	11,1	-1,0	-7,6	11,0
Február	54,8	5,3	-6,5	18,5
Március	48,7	7,0	-4,2	22,2
Április	15,6	11,8	-5,0	25,5
Május	39,0	14,7	1,5	28,2
Június	123,8	20,7	8,6	32,4
Július	92,6	22,1	11,5	33,3
Augusztus	44,6	23,7	12,4	35,8
Szeptember	26,5	19,2	6,8	31,7
Október	89,7	12,3	2,6	29,2
November	16,5	5,2	-4,0	14,7
December	48,7	4,2	-6,0	14,8
2020 teljes	611,6	12,1	-7,6	35,8
2021	Csapadék (mm)	T átl. (°C)	T min. (°C)	T max. (°C)
Január	48,9	1,8	-8,4	11,6
Február	33,9	3,1	-12,1	19,7
Március	10,3	6,0	-7,0	19,4
Április	62,5	9,1	-4,8	25,1
Május	65,1	14,8	2,3	28,8
Június	1,2	22,7	7,6	37,5
Július	48,3	25,1	14,5	37,5
Augusztus	31,1	21,7	9,3	37,2
Szeptember	27,6	17,3	4,5	30,9
Október	12,2	9,9	-1,3	25,0
November	42,8	5,4	-4,9	20,4
December	50,0	1,7	-5,8	14,4
2021 teljes	433,9	11,5	-12,1	37,5



2. melléklet A magyarországi rizstermesztésben általánosan használt agrotechnológia elemei a rizs fejlettségi állapotához igazítva hagyományos és aerob termesztési körölmények között (Forrás: Simon Kiss oktatási diái alapján saját szerkesztés)

3. melléklet DH₁ törzsek összehasonlító vizsgálatának terméseredményei árasztott és aerob termesztési körülmények között (MATE ÖVKI Galambosi Rizskísérleti Telep, MATE ÖVKI Liziméter Telep, Szarvas, 2017)

Sorszám	DH törzs	Árasztott g/parcella	Aerob g/parcella
1	Tünde 19. I/1	10	8
2	Tünde 17. I. fn.	20	23
3	DH2016 106	180	38
4	DH2016 110	250	38
5	Köröstáj 2. II. fn.	230	60
6	DH2016 111	250	60
7	DH2016 105	200	68
8	Tünde 14. IV/1	160	83
9	DH2016 103	230	83
10	DH2016 108	150	98
11	Tünde 20. II. fn.	220	98
12	DH2016 107	260	98
13	Köröstáj 2. VI. fn.	250	105
14	Tünde 14. IX. fn.	230	113
15	DH2016 109	230	120
16	Karola 11. I/2	310	120
17	Köröstáj 2. II/3	140	128
18	Janka 15. I. fn.	210	128
19	Tünde 19. II. fn.	210	128
20	Köröstáj 2. II/1	170	135
21	Tünde 14. II. fn.	210	135
22	DH2016 113	340	135
23	DH2016 118	370	135
24	Tünde 14. III/1	240	143
25	Tünde 14. VIII/2	250	158
26	Tünde 14. III/2	210	165
27	DH2016 104	220	173
28	Tünde 14. VIII/1	260	173
29	Köröstáj 8. III. fn.	190	180
30	DH2016 112	320	180
31	Tünde 14. I/1	350	180
32	Köröstáj 2. I/1	210	188
33	Köröstáj 2. I. fn.	260	188
34	Karola 11. I/3	290	195
35	Tünde 14. VII. fn.	210	210
36	Karola 11. I/1	230	218
37	Tünde 17. II. fn.	250	218
38	DH2016 117	310	225
39	Tünde 19. III. fn.	230	240
40	Köröstáj 3. III/5	380	248
41	Tünde 19. II/1	380	278
42	Karola 11. I. fn.	390	278
43	Tünde 17. I/1	300	315

4. melléklet DH₁ törzsek összehasonlító vizsgálatának terméseredményei árasztott és aerob termesztési körülmények között (MATE ÖVKI Galambosi Rizskísérleti Telep, MATE ÖVKI Liziméter Telep, Szarvas, 2017)

Sorsz.	DH törzs		Árasztott g/parcella	Aerob g/parcella	Sorsz.	DH törzs		Árasztott g/parcella	Aerob g/parcella
1	Tünde	19. I. fn.	200	7	71	Tünde	14. VIII. fn.	430	230
2	Tünde	19. I/1	210	10	72	Tünde	14. III/1	470	240
3	M60	19. I. fn.	200	10	73	Fruzsina	8. I. A/2	440	240
4	M60	7. II/1	250	10	74	Janka	14. III. M/2	440	240
5	Tünde	17. I. fn.	310	20	75	Janka	14. III. M/3	400	240
6	Janka	14. II. M/1	-	40	76	Kristallino	6. IV. A/1	490	240
7	Janka	14. II. M/2	190	60	77	M60		440	240
8	Janka	14. II. M/3	220	60	78	Tünde	17. IV. fn.	520	240
9	Kristallino	6. II. A/2	360	110	79	Tünde	14. I/3	460	240
10	Kristallino	6. II. A/3	370	120	80	Tünde	14. III. fn.	460	240
11	Kristallino	9. I. A/2	270	130	81	Unggi-9		490	240
12	Köröstáj	2. II/3	310	140	82	DH2016	110	580	250
13	DH2016	108	340	150	83	DH2016	111	540	250
14	Marilla		316	155	84	Köröstáj	2. VI. fn.	490	250
15	Tünde	14. IV/1	340	160	85	Tünde	14. VIII/2	490	250
16	Köröstáj	2. II/1	310	170	86	Tünde	17. II. fn.	480	250
17	Kristallino	11. I. A	340	170	87	DH2016	109	560	250
18	Kristallino	12. II. A/1	320	170	88	Kristallino	4. I. A/3	500	250
19	DH2016	106	440	180	89	Kristallino	11. III. A/1	480	250
20	Janka	14. I. M/3	330	180	90	M60	20. I. fn.	500	250
21	Kristallino	6. V. A	370	180	91	Tünde	14. XI. fn.	480	250
22	Sprint	9. III. A	370	180	92	DH2016	107	560	260
23	Tünde	14. XI/2	400	180	93	Tünde	14. VIII/1	520	260
24	Köröstáj	8. III. fn.	370	190	94	Köröstáj	2. I. fn.	500	260
25	Kristallino	6. IV. A/3	370	190	95	Janka	14. III. M/9	480	260
26	Kristallino	4. I. A/2	380	190	96	Köröstáj	2. II/2	460	260
27	DH2016	105	440	200	97	Kristallino	4. III. A/3	480	260
28	Köröstáj	2. VI/1	370	200	98	Kristallino	11. III. A/3	500	260
29	Kristallino	4. IX. A/1	410	200	99	Kristallino	6. I. A/1	490	260
30	Kristallino	6. I. A/2	390	200	100	Tünde	14. IV. fn.	530	260
31	Kristallino	4. IX. A/2	380	200	101	Tünde	14. VI. fn.	530	260
32	Kristallino	12. I. A/2	400	200	102	Augusztá		480	270
33	Kristallino	4. III. A/2	370	200	103	Janka	14. III. M/2	400	270
34	Tünde	14. IX. fn.	400	200	104	Janka	14. I. M/2	440	270
35	Janka	15. I. fn.	430	210	105	Kristallino	12. I. A/4	480	270
36	Tünde	19. II. fn.	440	210	106	Kristallino	4. VII. A/1	530	270
37	Tünde	14. II. fn.	460	210	107	Fruzsina	8. I. A/1	500	280
38	Tünde	14. III/2	450	210	108	Janka	14. III. M/8	460	280
39	Köröstáj	2. I/1	390	210	109	Janka	14. I. M/1	-	280
40	Tünde	14. VII. fn.	460	210	110	M60	7. III/1	490	280
41	Janka	14. I. M/8	360	210	111	Karola	11. I/3	510	290

42	Kristallino	12. I. A/1	410	210	112	Janka	14. I. M/5	490	290
43	Kristallino	6. III. A/1	430	210	113	Janka	14. I. M/6	530	290
44	Kristallino	9. I. A/1	410	210	114	Tünde	14. I./2	570	290
45	Kristallino	12. I. A/3	380	210	115	Tünde	17. I/1	590	300
46	M60	7. IV. fn.	360	210	116	Ábel	14. III.	530	300
47	Tünde	20. II. fn.	420	220	117	Janka	M/11	540	300
48	DH2016	104	450	220	118	Tünde	11. I/1	570	300
49	DH2016	102	480	220	119	Karola	11. I/2	570	310
50	IRAT 109	14. IV.	489	220	120	DH2016	117	550	310
51	Janka	M/1	380	220	121	DH2016	112	570	320
52	Köröstáj	2. II/2	420	220	122	Janka	14. III. M/5	530	320
53	Köröstáj	3. III/1	400	220	123	DH2016	113	570	340
54	Kristallino	4. I. A/1	380	220	124	Janka	14. I. M/4	560	340
55	Tünde	17. I/2	490	220	125	Janka	14. III. M/1	600	340
56	Tünde	14. XI/1	430	220	126	Tünde	14. I/1	670	350
57	Köröstáj	2. II. fn.	480	230	127	M60	7. I/1	600	350
58	DH2016	103	480	230	128	Janka	14. III. M/7	600	360
59	Tünde	14. IX. fn.	440	230	129	Janka	M/10	630	360
60	DH2016	109	490	230	130	DH2016	118	630	370
61	Karola	11. I/1	410	230	131	Köröstáj	3. III/5	650	380
62	Tünde	19. III. fn.	450	230	132	Tünde	19. II/1	660	380
63	Fruzsina	8. I. A/3	410	230	133	Karola	11. I. fn.	640	390
64	Fruzsina	6. I. A/1	410	230	134	Janka	14. I. M/7		390
65	Fruzsina	6. I. A/2	440	230	135	Kristallino	3. I. A/1	730	390
66	Janka	M/4	410	230	136	Janka	14. III. M/6	690	400
67	Janka	M/2	410	230	137	Janka	15. I/1	750	430
68	Janka	15. I/2	400	230					
69	Kristallino	12. II. A/2	440	230					
70	Kristallino	6. III. A/2	450	230					

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

1087/1/5	1087/1/45	1087/2/23	1087/2/61	1087/3/25	1087/4/5	1087/4/46	1087/6/5	1087/6/42	1087/7/11	DÁMA	1087/8/21
2	3	7	3	5	3	3	2	5	7	8	7
1087/1/5	1087/1/45	1087/2/23	1087/2/61	1087/3/25	1087/4/5	1087/4/46	1087/6/5	1087/6/42	1087/7/11	DÁMA	1087/8/21
2	3	7	3	5	3	3	2	5	7	8	7
1087/1/7	1087/1/51	1087/2/25	1087/2/61	1087/3/34	1087/4/6	1087/4/41	1087/6/6	1087/6/43	1087/7/12	MARILLA	1087/8/24
3	3	5	3	6	3	3	7	8	9	7	8
1087/1/7	1087/1/51	1087/2/25	1087/2/61	1087/3/34	1087/4/6	1087/4/41	1087/6/6	1087/6/43	1087/7/12	MARILLA	1087/8/24
3	3	5	3	6	3	3	7	8	9	7	8
1087/1/10	1087/1/54	1087/2/28	1087/2/64	1087/3/35	1087/4/7	1087/4/42	1087/6/9	1087/6/44	1087/7/13	1087/7/50	1087/8/25
5	8	8	2	8	3	8	8	3	7	7	7
1087/1/10	1087/1/54	1087/2/28	1087/2/64	1087/3/35	1087/4/7	1087/4/42	1087/6/9	1087/6/44	1087/7/13	1087/7/50	1087/8/25
5	8	8	2	8	3	8	8	3	7	7	7
1087/1/14	1087/1/57	1087/2/29	1087/2/67	1087/3/36	1087/4/8	1087/4/43	1087/6/10	1087/6/45	1087/7/14	1087/7/55	1087/8/28
8	8	8	9	5	5	5	6	8	6	6	7
1087/1/14	1087/1/57	1087/2/29	1087/2/67	1087/3/36	1087/4/8	1087/4/43	1087/6/10	1087/6/45	1087/7/14	1087/7/55	1087/8/28
8	8	8	9	5	5	5	6	8	6	6	7
1087/1/18	1087/1/58	1087/2/31	1087/2/68	1087/3/37	1087/4/13	1087/4/44	1087/6/11	1087/6/46	1087/7/19	1087/7/57	1087/8/29
5	9	9	8	2	7	5	7	7	7	7	7
1087/1/18	1087/1/58	1087/2/31	1087/2/68	1087/3/37	1087/4/13	1087/4/44	1087/6/11	1087/6/46	1087/7/19	1087/7/57	1087/8/29
5	9	9	8	2	7	5	7	7	7	7	7
1087/1/20	1087/1/60	1087/2/33	1087/2/70	1087/3/38	1087/4/15	1087/4/46	1087/6/13	1087/6/50	1087/7/22	1087/7/60	1087/8/33
6	8	9	9	3	8	8	8	5	2	5	8
1087/1/20	1087/1/60	1087/2/33	1087/2/70	1087/3/38	1087/4/15	1087/4/46	1087/6/13	1087/6/50	1087/7/22	1087/7/60	1087/8/33
6	8	9	9	3	8	8	8	5	2	5	8
1087/1/22	1087/1/62	1087/2/35	1087/2/72	1087/3/40	1087/4/17	1087/4/48	1087/6/15	1087/6/52	1087/7/24	1087/7/62	1087/8/35
5	5	8	9	5	7	9	9	7	5	7	5
1087/1/22	1087/1/62	1087/2/35	1087/2/72	1087/3/40	1087/4/17	1087/4/48	1087/6/15	1087/6/52	1087/7/24	1087/7/62	1087/8/35
5	5	8	9	5	7	9	9	7	5	7	5
1087/1/26	1087/1/66	1087/2/39	1087/2/76	1087/3/44	1087/4/21	1087/4/52	1087/6/19	1087/6/56	1087/7/28	1087/7/66	1087/8/39
8	8	8	9	7	5	8	8	7	8	8	8
1087/1/26	1087/1/66	1087/2/39	1087/2/76	1087/3/44	1087/4/21	1087/4/52	1087/6/19	1087/6/56	1087/7/28	1087/7/66	1087/8/39
8	8	8	9	7	5	8	8	7	8	8	8
1087/1/30	1087/1/70	1087/2/43	1087/2/80	1087/3/48	1087/4/25	1087/4/56	1087/6/23	1087/6/60	1087/7/32	1087/7/70	1087/8/43
8	8	8	9	7	5	8	8	7	8	8	8
1087/1/30	1087/1/70	1087/2/43	1087/2/80	1087/3/48	1087/4/25	1087/4/56	1087/6/23	1087/6/60	1087/7/32	1087/7/70	1087/8/43
8	8	8	9	7	5	8	8	7	8	8	8
1087/1/34	1087/1/74	1087/2/47	1087/2/84	1087/3/52	1087/4/29	1087/4/60	1087/6/27	1087/6/64	1087/7/36	1087/7/74	1087/8/47
8	8	8	9	7	5	8	8	7	8	8	8
1087/1/34	1087/1/74	1087/2/47	1087/2/84	1087/3/52	1087/4/29	1087/4/60	1087/6/27	1087/6/64	1087/7/36	1087/7/74	1087/8/47
8	8	8	9	7	5	8	8	7	8	8	8
1087/1/38	1087/1/78	1087/2/51	1087/2/88	1087/3/56	1087/4/33	1087/4/64	1087/6/31	1087/6/68	1087/7/40	1087/7/78	1087/8/51
8	8	8	9	7	5	8	8	7	8	8	8
1087/1/38	1087/1/78	1087/2/51	1087/2/88	1087/3/56	1087/4/33	1087/4/64	1087/6/31	1087/6/68	1087/7/40	1087/7/78	1087/8/51
8	8	8	9	7	5	8	8	7	8	8	8
1087/1/42	1087/1/82	1087/2/55	1087/2/92	1087/3/60	1087/4/37	1087/4/68	1087/6/35	1087/6/72	1087/7/44	1087/7/82	1087/8/55
8	8	8	9	7	5	8	8	7	8	8	8
1087/1/42	1087/1/82	1087/2/55	1087/2/92	1087/3/60	1087/4/37	1087/4/68	1087/6/35	1087/6/72	1087/7/44	1087/7/82	1087/8/55
8	8	8	9	7	5	8	8	7	8	8	8
1087/1/46	1087/1/86	1087/2/59	1087/2/96	1087/3/64	1087/4/41	1087/4/72	1087/6/39	1087/6/76	1087/7/48	1087/7/86	1087/8/59
8	8	8	9	7	5	8	8	7	8	8	8
1087/1/46	1087/1/86	1087/2/59	1087/2/96	1087/3/64	1087/4/41	1087/4/72	1087/6/39	1087/6/76	1087/7/48	1087/7/86	1087/8/59
8	8	8	9	7	5	8	8	7	8	8	8
1087/1/50	1087/1/90	1087/2/63	1087/2/100	1087/3/68	1087/4/45	1087/4/76	1087/6/43	1087/6/80	1087/7/52	1087/7/90	1087/8/63
8	8	8	9	7	5	8	8	7	8	8	8
1087/1/50	1087/1/90	1087/2/63	1087/2/100	1087/3/68	1087/4/45	1087/4/76	1087/6/43	1087/6/80	1087/7/52	1087/7/90	1087/8/63
8	8	8	9	7	5	8	8	7	8	8	8
1087/1/54	1087/1/94	1087/2/67	1087/2/104	1087/3/72	1087/4/49	1087/4/80	1087/6/47	1087/6/84	1087/7/56	1087/7/94	1087/8/67
8	8	8	9	7	5	8	8	7	8	8	8
1087/1/54	1087/1/94	1087/2/67	1087/2/104	1087/3/72	1087/4/49	1087/4/80	1087/6/47	1087/6/84	1087/7/56	1087/7/94	1087/8/67
8	8	8	9	7	5	8	8	7	8	8	8
1087/1/58	1087/1/98	1087/2/71	1087/2/108	1087/3/76	1087/4/53	1087/4/84	1087/6/51	1087/6/88	1087/7/60	1087/7/98	1087/8/71
8	8	8	9	7	5	8	8	7	8	8	8
1087/1/58	1087/1/98	1087/2/71	1087/2/108	1087/3/76	1087/4/53	1087/4/84	1087/6/51	1087/6/88	1087/7/60	1087/7/98	1087/8/71
8	8	8	9	7	5	8	8	7	8	8	8
1087/1/62	1087/1/102	1087/2/75	1087/2/112	1087/3/80	1087/4/57	1087/4/88	1087/6/55	1087/6/92	1087/7/64	1087/7/102	1087/8/75
8	8	8	9	7	5	8	8	7	8	8	8
1087/1/62	1087/1/102	1087/2/75	1087/2/112	1087/3/80	1087/4/57	1087/4/88	1087/6/55	1087/6/92	1087/7/64	1087/7/102	1087/8/75
8	8	8	9	7	5	8	8	7	8	8	8
1087/1/66	1087/1/106	1087/2/79	1087/2/116	1087/3/84	1087/4/61	1087/4/92	1087/6/59	1087/6/96	1087/7/68	1087/7/106	1087/8/79
8	8	8	9	7	5	8	8	7	8	8	8
1087/1/66	1087/1/106	1087/2/79	1087/2/116	1087/3/84	1087/4/61	1087/4/92	1087/6/59	1087/6/96	1087/7/68	1087/7/106	1087/8/79
8	8	8	9	7	5	8	8	7	8	8	8
1087/1/70	1087/1/110	1087/2/83	1087/2/120	1087/3/88	1087/4/65	1087/4/96	1087/6/63	1087/6/100	1087/7/72	1087/7/110	1087/8/83
8	8	8	9	7	5	8	8	7	8	8	8
1087/1/70	1087/1/110	1087/2/83	1087/2/120	1087/3/88	1087/4/65	1087/4/96	1087/6/63	1087/6/100	1087/7/72	1087/7/110	1087/8/83
8	8	8	9	7	5	8	8	7	8	8	8
1087/1/74	1087/1/114	1087/2/87	1087/2/124	1087/3/92	1087/4/69	1087/4/100	1087/6/67	1087/6/104	1087/7/76	1087/7/114	1087/8/87
8	8	8	9	7	5	8	8	7	8	8	8
1087/1/74	1087/1/114	1087/2/87	1087/2/124	1087/3/92	1087/4/69	1087/4/100	1087/6/67	1087/6/104	1087/7/76	1087/7/114	1087/8/87
8	8	8	9	7	5	8	8	7	8	8	8
1087/1/78	1087/1/118	1087/2/91	1087/2/128	1087/3/96	1087/4/73	1087/4/104	1087/6/71	1087/6/108	1087/7/80	1087/7/118	1087/8/91
8	8	8	9	7	5	8	8	7	8	8	8
1087/1/78	1087/1/118	1087/2/91	1087/2/128	1087/3/96	1087/4/73	1087/4/104	1087/6/71	1087/6/108	1087/7/80	1087/7/118	1087/8/91
8	8	8	9	7	5	8	8	7	8	8	8
1087/1/82	1087/1/122	1087/2/95	1087/2/132	1087/3/100	1087/4/77	1087/4/108	1087/6/75	1087/6/112	1087/7/84	1087/7/122	1087/8/95
8	8	8	9	7	5	8	8	7	8	8	8
1087/1/82	1087/1/122	1087/2/95	1087/2/132	1087/3/100	1087/4/77	1087/4/108	1087/6/75	1087/6/112	1087/7/84	1087/7/122	1087/8/95
8	8	8	9	7	5	8	8	7	8	8	8
1087/1/86	1087/1/126	1087/2/99	1087/2/136	1087/3/104	1087/4/81	1087/4/112	1087/6/79	1087/6/116	1087/7/88	1087/7/126	1087/8/99
8	8	8	9	7	5	8	8	7	8	8	8
1087/1/86	1087/1/126	1087/2/99	1087/2/136	1087/3/104	1087/4/81	1087/4/112	1087/6/79	1087/6/116	1087/7/88	1087/7/126	1087/8/99
8	8	8	9	7	5	8	8	7	8	8	8
1087/1/90	1087/1/130	1087/2/103	1087/2/140	1087/3/108	1087/4/85	1087/4/116	1087/6/83	1087/6/120	1087/7/92	1087/7/130	1087/8/103
8	8	8	9	7	5	8	8	7	8	8	8
1087/1/90	1087/1/130	1087/2/103	1087/2/140	1087/3/108	1087/4/85	1087/4/116	1087/6/83	1087/6/120	1087/7/92	1087/7/130	1087/8/103
8	8	8	9	7	5	8	8	7	8	8	8
1087/1/94	1087/1/134	1087/2/107	1087/2/144	1087/3/112	1087/4/89	1087/4/120	1087/6/87	1087/6/124	1087/7/96	1087/7/134	1087/8/107
8											

6. melléklet Az 1080 kódjelű keresztezésből (Marilla x IRAT 109) származó DH törzsek eltérő szárazságérzékenysége a MATE ÖVKI Liziméter Telepén aerob termesztési rendszerben, jelentős vízmegvonást követően (Szarvas, 2023)

1080/10/6	1080/10/40	1080/11/8T	1080/11/43
2	3	3	6
1080/10/7	1080/10/41	1080/11/9	1080/11/44
3	5	3	2
1080/10/13	1080/10/42	1080/11/13	1080/11/45
3	2	3	5
1080/10/15	1080/10/45	1080/11/14	1080/11/46
5	3	2	4
1080/10/19	1080/10/47	1080/11/15	1080/11/49
4	5	4	5
1080/10/22	1080/10/48	1080/11/16	1080/11/50T
3	3	6	1
1080/10/23	1080/10/49	1080/11/23	1080/11/53
3	1	5	3
1080/10/25	1080/10/51	1080/11/25	1080/11/54
4	8	3	2
1080/10/26T	1080/10/52	1080/11/26	1080/11/55
5	1	2	3
1080/10/27	1080/10/57	1080/11/27	1080/11/56
2	3	3	4
1080/10/29	1080/11/1	1080/11/28	1080/11/58
2	4	4	2
1080/10/30	1080/11/3	1080/11/29	1080/11/59
2	3	3	2
1080/10/34	1080/11/4	1080/11/32	1080/11/62
3	5	5	6
1080/10/35	1080/11/5	1080/11/34	IRAT 109
3	3	3	4
1080/10/36	1080/11/6	1080/11/36	MARILLA
2	3	2	9

7. melléklet A csírákori ozmotikus stressz (20% PEG) hatása szelektált 1087 DH törzsek fejlődésére laboratóriumi körülmények között (Szarvas, 2022) Módosítva (Obirih-Opareh, 2023) alapján.

Genotípus megnevezése	20% PEG FGP (%)	0% PEG FGP (%)	20%PEG/ 0%PEG FGP arány (%)	20%PEG t50% (nap)	0%PEG t50% (nap)	A csírázási idő növekedése 20% PEG hatására (nap)
1087 1 20	86,7	94,2	92,03	5,8	2,3	3,4
1087 1 28	65,0	95,8	67,82	5,3	2,3	3,0
1087 1 31	35,8	95,0	37,71	8,2	2,3	5,9
1087 2 22	55,0	95,0	57,89	9,0	2,7	6,3
1087 2 35	39,2	91,7	42,72	9,1	3,0	6,1
1087 2 40	71,7	93,3	76,78	6,1	2,3	3,8
1087 3 30	94,2	96,7	97,41	5,8	2,3	3,4
1087 3 57	29,2	87,5	33,33	7,5	3,0	4,5
1087 3 8	29,2	90,8	32,11	6,8	2,3	4,4
1087 4 3	51,7	93,3	55,35	7,4	3,0	4,3
1087 4 43	55,0	92,5	59,45	5,0	1,8	3,3
1087 4 60	79,2	98,3	80,50	5,4	2,2	3,2
1087 6 26	60,0	94,2	63,71	6,2	2,6	3,6
1087 6 33	79,2	95,8	82,60	6,6	2,1	4,5
1087 6 46	24,2	90,0	26,85	5,2	2,2	3,0
1087 6 49	71,7	94,2	76,10	5,6	2,3	3,4
1087 7 70	44,2	95,0	46,49	5,2	2,3	2,9
1087 8 33	70,0	99,2	70,58	7,9	2,7	5,1
1087 8 40	89,2	97,5	91,45	5,9	2,4	3,5
1087 8 55	75,0	97,5	76,92	6,8	2,4	4,4
Dáma	70,8	95,0	74,56	8,5	1,9	6,7
Irat 109	93,3	98,3	94,91	6,8	2,3	4,5
Marilla	90,0	96,7	93,10	6,4	1,5	4,9

Köszönetnyilvánítás

Ahhoz, hogy ez a dolgozat elkészülhessen sokan és sokféleképpen – tanácsaikkal, tapasztalatukkal, illetve közvetlenül a kísérleteket segítő munkájukkal – járultak hozzá munkatársaim, hazai és nemzetközi partnereink, barátaim és családtagjaim közül. Köszönöm mindannyiuknak, hogy velem tartottak ezen az úton, amely a növénynemesítés izgalmas, de sokszor kihívásokkal teli világába vezetett.

Külön köszönöm témavezetőmnek, Dr. Pauk Jánosnak, a Gabonakutató Nonprofit Kft. tudományos tanácsadójának szakmai és baráti támogatását, aki nélkül nem indulhattam volna el a tudományos-nemesítői munka megismerésének útján. Iskolateremtő munkássága, a kutatómunka iránti alázata és hite a dolgok jobbá tételében fontos sorvezető az életemben.

Hálával tartozom néhai témavezetőmnek, munkatársamnak és barátomnak, Simonné Dr. Kiss Ibolyának, a magyar rizstermesztés és nemesítés megkerülhetetlen úttörőjének, hogy bevezetett a rizs lenyűgöző világába. Amit neki köszönhetek, azt képtelenség pár mondatban összefoglalni.

Köszönöm Prof. Heszký László akadémikusnak, hogy munkatársaival együtt erős szakmai és emberi alapokat adtak nekünk az egyetemi évek alatt.

Külön köszönöm közvetlen munkatársaim, Dr. Lantos Csaba (Gabonakutató Nonprofit Kft.), Dr. Székely Árpád, Szalóki Tímea, Babák Imre és az „öntözős-rizses” csoport (MATE KÖTI ÖVKI) szakmai és baráti segítségét, az egymást erősítő folyamatos fejlődést.

Köszönet illeti Dr. Bartolák Zoltánt, aki tudásával és kísérletező kedvével folyamatosan segíti nemesítő és kutató munkánkat.

Köszönöm a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, Környezettudományi Intézet (KÖTI) és azon belül külön az Öntözési- és Vízgazdálkodási Kutatóközpont (ÖVKI), a MATE Genetika és Biotechnológia Intézet (GBI), a korábbi Halászati és Öntözési Kutatóintézet (HAKI), a korábbi Nemzeti Agrárkutatási és Innovációs Központ (NAIK), a szegedi Gabonatermesztési Nonprofit Kft., a Szegedi Biológiai Kutatóközpont és a Magyarországi Rizstermesztők és Feldolgozók Országos Szövetsége (Rizs Szövetség) valamennyi vezetőjének és munkatársának a támogatást, amellyel kisebb vagy nagyobb mértékben hozzájárultak munkám sikeréhez. Hálás vagyok nekik mindezért.

Köszönöm a támogatást a rizskutatáshoz kapcsolódó külföldi partnerkapcsolataink elindításához és megerősítéséhez a Külgazdasági és Külügyminisztériumnak és az Agrárminisztériumnak. A Nagykövetségek, a NAIK és a MATE külkapcsolati vezetői és munkatársai nagyban hozzájárultak eredményeinkhez. Külön köszönet Dr. Gyuricza Csabának, Dr. Somogyi Norbertnek és Dr. Váradi Lászlónak támogatásukért és kiemelkedő nemzetközi tapasztalataik átadásáért.

Köszönöm a Nemzetközi Rizskutató Intézet (IRRI INGER, Fülöp-szigetek), a Fülöp-szigeteki Rizskutató Intézet (PhilRice, Fülöp-szigetek), Fejlesztési Célú Mezőgazdasági Kutatások Nemzetközi Központja (CIRAD, Franciaország) és valamennyi nemzetközi partnerünk munkatársainak a hasznos információkat, a gyakorlati nemesítési módszerek elsajátítását és a munkánk alapját adó genotípusok beszerzésében nyújtott segítségét.

Köszönöm az Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alap (OTKA FK_138042), a GINOP-2.3.3-15-2016-00042 projekt és az Agrárminisztérium (OD002) anyagi támogatását.

Végül köszönöm családomnak a folyamatos támogatást és szeretetet. Külön köszönöm kisfiamnak, Bencének, hogy mindemellett türelemre és elfogadásra tanít.