



Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem

Növénytudományi Doktori Iskola

PhD Dolgozat

A SÓSTRESSZ ÉS AZ ALACSONY HŐMÉRSÉKLET HATÁSAINAK VIZSGÁLATA A RIZS (ORYZA SATIVA L.) FEJLŐDÉSÉRE

DOI: 10.54598/004000

Székeley Árpád

Gödöllő
2023

A doktori iskola:

Megnevezése: Növénytudományi Doktori Iskola

Tudományága: Növénytermesztési és Kertészeti tudomány

Vezetője: Dr. Helyes Lajos
egyetemi tanár, MTA levelező tagja
MATE, Kertészettudományi Intézet

Témavezető: Dr. Lantos Csaba
laborvezető, Biotechnológiai Laboratórium
Gabonakutató Nonprofit Közhasznú Kft.

A doktori iskola- és a témavezető jóváhagyó aláírása:

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

.....
Az iskolavezető jóváhagyása

.....
A témavezető jóváhagyása

TARTALOMJEGYZÉK

TARTALOMJEGYZÉK	3
1. JELÖLÉSEK ÉS RÖVIDÍTÉSEK JEGYZÉKE	5
2. BEVEZETÉS	7
3. CÉLKITŰZÉSEK	9
4. IRODALMI ÁTTEKINTÉS	10
4.1 A rizs eredete, taxonómiája és hatása a só és hidegtűrésre	10
4.2 A marginális élőhelyek szerepe	10
4.3 A sóstressz, és hatásai a rizs fejlődésére	11
4.3.1 A magas sótartalmú talajok definíciója	11
4.3.2 A magas sótartalom hatása a rizs fejlődésére	12
4.3.3 A sótartalom hatása a csírázás, a csíranövény- és a vegetatív szakaszra és a sóstressz hatásának fenotipizálási lehetőségei.....	14
4.3.4 A sótartalom hatása a reprodukciós szakaszra és fenotipizálási lehetőségeik	15
4.3.5 A sótürés adaptív mechanizmusai	16
4.4 A hidegstressz, és hatásai a rizs fejlődésére.....	17
4.4.1 Az alacsony hőmérséklet hatása a csírázás, a csíranövény- és a vegetatív szakaszra és fenotipizálási lehetőségeik.....	18
4.4.2 Az alacsony hőmérséklet hatása a generatív szakaszra és fenotipizálási lehetőségeik .	20
4.4.3 A hidegtűrés adaptív mechanizmusai	21
5. ANYAG ÉS MÓDSZER.....	23
5.1 Sótűrés vizsgálatok	23
5.1.1 A felhasznált növényanyag.....	23
5.1.2 Csírázáskori sótürés	24
5.1.3 Csíranövénykori tesztelés	25
5.1.4 A sótürés vizsgálata a reprodukciós fázisban.....	25
5.2 Hidegtűrés vizsgálatok.....	26
5.2.1 A felhasznált növényanyag.....	26
5.2.2 Csírázáskori tesztelés.....	26
5.2.3 Csíranövénykori tesztelés	27
5.3 Statisztikai értékelés.....	28
6. EREDMÉNYEK ÉS MEGVITATÁSUK.....	30
6.1 Sótűrés vizsgálatok	30
6.1.1 Csírázáskori sótürés	30
6.1.2 Csíranövénykori sótürés	34
6.1.3 Reprodukciós kori sótürés	36

6.1.3.1 Morfo fiziológiai paraméterek	36
6.1.3.2 A termés mennyiségét meghatározó paraméterek	38
6.1.3.3 A nátrium és kálium koncentráció eloszlása a különböző szervekben, rövid (S2) és hosszú távú (S1) stressz esetén	38
6.1.4 A különböző paraméterek, és a fejlődési fázisok közötti összefüggések vizsgálata	41
6.2 Hidegtűrési vizsgálatok	42
6.2.1 Csírázaskori hidegtűrés	42
6.2.2 Csíranövénykori hidegtűrés	46
7. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK	53
8. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK	54
9. ÖSSZEFOGLALÁS	55
10. SUMMARY	57
11. A DOLGOZAT GYAKORLATI HASZNOSÍTHATÓSÁGA	58
12. MELLÉKLETEK	60
12.1 Irodalomjegyzék	60
12.2 Táblázatok, Ábrák	72
12.3 Köszönetnyilvánítás	94

1. JELÖLÉSEK ÉS RÖVIDÍTÉSEK JEGYZÉKE

ABA - Abszcizinsav

APX - Aszkorbát-peroxidáz

AsA - Aszkorbinsav

BSTI - Biomass based stress tolerance index; biomasza alapú stressz tolerancia index

CAT - Kataláz

CL, RL - Coleoptil length, radicle length; koleoptil és gyökér hossz

C%, R% - > 5mm hosszabb koleoptilú és gyökerű növények %-os aránya

CPHLT - Total chlorophyll; összklorofill tartalom ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$)

DF - Days to flowering; virágzásig eltelt idő (nap)

DT - Dormancy time; nyugalmi periódus hossza. Az inkubálás kezdetétől a csírázás elindulásáig eltelt napok száma.

EC - Elektromos vezetőképesség; mértékegysége $d\text{S}/\text{m}$

ESP - Exchangeable sodium percentage; nátrium százalékos aránya

FGP - Final germination percentage; a kísérlet végén rögzített csírázási százalék

F% - Fertility; fertilitás (%),

GI - Germination index; csírázási index (%)

GP - Germination percentage; csírázási százalék (%)

GR - Germination rate; a csírázási sebesség, az MGT reciproka

GSH – Glutation

IC10, IC50 – Inhibition conductivity; 10%-os és 50%-os csírázási sebesség csökkenést okozó vezetőképességi érték

IRRI - International Rice Research Institute; Nemzetközi Rizskutató Intézet, Fülöp-szigetek

KW - 100 kernel weight; 100 szem tömeg (g)

LTS - Low temperature stress; alacsony hőmérsékleti stressz

MDA - Malonil-aldehyd

MGT - Median germination time; 50%-os csírázási idő

MSI - Membrane stability index; membrán stabilitási index, a növényi sejtekből kiáramló ionok aránya

NaG - Sodium of grain; a szem nátrium tartalma ($\mu\text{mol}/\text{g}$)

NP - Number of panicle/plant; bugaszám (buga/növény)

NofF - Number of filled grains; telt szemek száma

NofUF - Number of unfilled grains; üres szemek száma

PH - Plant height; növény magasság (cm)

PL - Panicle length; bugahossz (cm)

POD - Peroxidáz

ROS - Reactive oxygen species; reaktív oxigénfajták

RV - Root viability; gyökér életképesség

S1 - Folyamatos sóterhelés

S2 - A reprodukciós fázis sóterhelése

SDW, RDW, TDW - Shoot/root/total dry weight, hajtás, gyökér és a teljes biomassza száraz tömege (g/növény)

$S_{K,Na}$ - K/Na szelektivitási érték

SNa, SK, RNa, RK – Hajtás nátrium, hajtás kálium, gyökér nátrium és gyökér kálium tartalma (mmol/g vagy $\mu\text{mol/g}$)

SOD - Szuperoxid-dizmutáz

TA - Tillering ability; bokrosodási képesség

TF – Trimetil-formazán

TTC – Trifenil-tetrazólium-klorid

Y - Yield; termés (g/növény)

2. BEVEZETÉS

A világ gabonatermelése az 1960-as években leírt 876,8 millió tonnáról 2000-re 2,06 milliárd tonnára nőtt (FAO 2006), a rizstermelés pedig 200 millió tonnáról 2000-re mintegy háromszorosára, 600 millió tonnára emelkedett, azonban a rizstermesztésre használt földterület nem nőtt jelentősen (Maclean *et al.* 2002). Így az a kihívás, hogy a gyorsan növekvő népesség számára több élelmiszert termeljünk ugyanazon vagy csökkenő termőterületen, nehéz feladatot jelent. A világ rizstermelésének mintegy 90%-át Ázsiában állítják elő - azon a kontinensen, ahol ez a növény a legfontosabb alapélelmiszer, és a világ egyik legnagyobb népességnövekedési rátája jellemzi ezen országokat. A rizs területének bővítésére rendelkezésre álló források a legtöbb ázsiai országban már majdnem kimerültek. Több rizs előállítására három lehetőség maradt: az öntözött területek vagy a magas termelékenységgű kedvező környezetek bővítése, a rizs termelékenységének növelése a kedvezőtlen ökoszisztémákban, valamint a kedvezőtlen, élelmiszertermelésre alkalmas területek hasznosítása. Az első lehetőség meglehetősen valószínűtlen, az utóbbi két lehetőség közül mindkettőhöz elengedhetetlen a nagy hozamú és az abiotikus stressztűrő növényfajták rendelkezésre állása.

A magyarországi rizsnemesítés az 1930-as években indult útnak, 103 külföldi rizsfajta tesztelésével (Palov 1985). Azóta számos nemzetközileg is kiemelkedő fajta/genotípus került előállításra. Napjainkban is számottevő a 'Dunghan Shali' erőteljes vegetatív vigora (Abe *et al.* 2012), merüléstűrése (Ohta *et al.* 2004), vastűrése (Nozoe *et al.* 2009) és hidegtűrése (Saruyama és Tanida 1995). A hazai nemesítésű 'Sandora' fajta 'HSC 55' néven hidegtűrési sztenderdként a világ 20 leghidegtoleránsabb fajtájaként szerepel (Basuchaudhuri 2014), amelyet több ország is felhasznált (Törökország, Ausztrália) a nemesítési programjában. A 'Rotundus' egykori vonal az *indica* csoporthoz közeli sótoleranciát mutatott (Frouin *et al.* 2018). Ezen irodalmak is bizonyítják, hogy magyarországi rizsnemesítés számos olyan vonalat állított elő, amelyek kiváló tulajdonságait a nemzetközi kutatóműhelyek is felhasználták.

Az abiotikus stresszek általában összetettek és ritkán fordulnak elő elszigetelten. A sóstressz és a hidegstressz is rendszerint ásványi tápanyaghiányokkal párosulnak, amelyek tovább súlyosbítják a problémát (Gregorio *et al.* 2002, Singh *et al.* 2004, Ismail *et al.* 2007). A növényi abiotikus stresszek olyan külső tényezők, amelyek káros hatással vannak a növényekre. Hátrányosan és jelentősen befolyásolják a növény teljesítményét vagy a fiziológiáját (D. Vinebrooke *et al.* 2004). Az abiotikus stresszek a növények növekedését és termelékenységét világszerte leginkább károsító tényezők közé tartoznak (Gao *et al.* 2007, Witcombe *et al.* 2007), amelyek 10%-tól 100%-ig terjedő termésnövekedést eredményeznek (Wang *et al.* 2003). Akkor a legkárosabbak, ha más abiotikus stresszhatásokkal együtt jelentkeznek (Mittler 2006). A terméshozamra gyakorolt hatásuk a jövőben várható éghajlati változásokkal csak romlani fog (Lane és Jarvis 2007). A kultúrnövényeket érintő legfontosabb abiotikus stresszhatások a szárazság, a sótartalom, a szélsőséges hőmérséklet, az árvizek, a nehézfém szennyezések, valamint a magas vagy alacsony pH-értékek.

A hazai fajtagyűjtemény a korábbi széles genetikai alapoknak, továbbá a termőhely marginális elhelyezkedése miatt érvényesülő erőteljes abiotikus tényezőknek köszönhetően széles genetikai variabilitás keletkezett. Az így létrejött genotípusok tulajdonságainak megismeréséhez robusztus, megismételhető és megbízható szűrési technikát kell alkalmazni, mivel a genotípus \times környezet ($G \times E$) kölcsönhatása sokszor nagymértékű (Singh *et al.* 2010), ami nagyon megnehezíti

egy genotípus valódi értékének értékelését. Bár a szűrési technikák általában a növekedési szakasztól és a stressz típusától függően változnak, az ideális módszernek, gyorsnak, reprodukálhatónak, könnyen használhatónak és megfizethetőnek kell lennie.

Hazánkban jelenleg a sikeres termesztetőség legnagyobb korlátozó faktora az alacsony hőmérséklet. Mind a korai vegetatív fázisban, mind a virágzáskor egyaránt felléphet. E hatás egészül ki egy alacsony-közepes mértékű sóstresszel, mivel jellemzően másodlagos szikesedés által érintett területeken folyik a termesztés. Így a dolgozatban ezen kihívásokra választ adva egyrészt a MATE-ÖVKI teljes fajtagyűjteményének részletes jellemzését kívánom bemutatni hidegstresszre adott válaszreakciójuk alapján, másrészt nyolc kiválasztott rizsfajta sóstresszre adott válaszát a csírázástól egészen a termésérésig.

3. CÉLKITŰZÉSEK

Célul tűztük ki hazai és nemzetközi rizs genotípusok abiotikus stressztoleranciájának (só és hidegtűrés) tesztelését és szűrését, hogy a hazai nemesítés és termesztés számára értékes génforrásokat azonosítsunk.

I. Sótolerancia vizsgálatok:

- 1) Kísérletekkel meghatározni a *japonica* és az *indica* csoportokba tartozó genotípusok sótoleranciájának paramétereit.
- 2) Hazai marginális élőhelyen szelektált rizsfajták sótoleranciájának összehasonlító vizsgálata egyéb *japonica* fajtákkal.
- 3) A sóstressz káros hatásainak megállapítása három fejlődési állapotban (csírázás, 3-4 leveles csíranövény és reprodukciós fázis).
- 4) A rövid és a hosszútávú stresszválaszok azonosítása, elsősorban a nátrium és a kálium különböző növényi részekben (gyökér, zászlóslevél, szem) lévő koncentrációja alapján.
- 5) Annak megállapítása, hogy a korai fejlődési állapotban érzékelt tolerancia hatással van-e a későbbi fejlődési állapotban meghatározott paraméterekkel.

II. Hidegtűrés tesztelése:

- 1) Szarvasi rizs fajtagyűjtemény csírázókéességének meghatározása alacsony hőmérsékleten, és a hazai nemesítésű fajták összehasonlítása a nemzetközi standard fajtákkal.
- 2) Fajtagyűjteményünk csíranövénykori (3-4 leveles) hidegtűrésének megállapítása, az alacsony hőmérséklet okozta klorofilldegradáció vizsgálatával.

4. IRODALMI ÁTTEKINTÉS

4.1 A rizs eredete, taxonómiája és hatása a só és hidegtűrésre

A rizs a világ legfontosabb élelmiszernövénye, amely a világ népességének több mint fele számára alapvető élelmiszer. A termesztett rizs és a vadon élő rizsfajok közötti evolúciós kapcsolatokat a rizsnek a világ mezőgazdaságában betöltött jelentősége miatt talán a legtöbbet tanulmányozták a kultúrnövények közül. A rizs evolúciójának feltárására számos megközelítést alkalmaztak, a régészeti, biokémiai, molekuláris és genetikai vizsgálatokon keresztül. Régészeti bizonyítékok arra utalnak, hogy a *japonica* rizs termesztése i. e. 9 000 év körül kezdődött a Jangce-völgy alsó részén (Fuller *et al.* 2009), míg az *indica* rizs termesztése i. e. több mint 5 000 évvel ezelőtt kezdődött a Gangesz-völgy alsó részén (Silva *et al.* 2018). Ezért az i.e. 4200 körül kezdődő klímaváltozás, amely hűvösebb és szárazabb időjárást eredményezett, erőteljes szelektációs nyomást fejtett ki a *japonica* csoportra (Gutaker *et al.* 2020). Ennek eredményeként az északi területeken a *temperate japonica*, míg a déli területeken a *tropical japonica* lett sikeresebb. Az *indica* csoportra ilyen szelektációs nyomás nem érvényesült, így ők a mai napig hidegérzékenyebbek. Domesztikációjuk elsősorban a tengerparti területekre korlátozódott, így sótoleranciájuk viszont magasabb a *japonica*-nál (Gutaker *et al.* 2020).

A két termesztett rizsfajon (*Oryza sativa* L. és *Oryza glaberrima* L.) kívül az *Oryza* nemzetségnek 22 vadon élő rokona van (Vaughan *et al.* 2003), amelyek a két domesztikált fajhoz hasonlóan széles agroökológiai viszonyokhoz alkalmazkodtak (Khush 1997). Kezdetben az *Oryza sativa* két fő alfaját (*subsp. indica* és *subsp. japonica*) morfológiai alapokon jól elkülönítették (Chang és Bardenas 1965). Ezután jelentős különbségeket írtak le az egyes csoportokon belüli genotípusok, fajták között is (Yeo és Flowers 1986, Yeo *et al.* 1990, Zeng *et al.* 2002). Az újabb molekuláris vizsgálatok alapján a rizs összesen 6 csoportját (*temperate japonica*, *tropical japonica*, *indica*, *aus* és *aromatic*) különítjük el (Glaszmann 1987, Garris *et al.* 2005, Zhao *et al.* 2011). Ezen csoportok morfológiai, fiziológiai, és sokszor metabolikus útvonalai alapján is (Hu *et al.* 2014) szétválaszthatók egymástól.

4.2 A marginális élőhelyek szerepe

Az éghajlatváltozás miatt a fajok olyan új környezeti nyomást tapasztalnak, ami az elterjedésükben változásokhoz vezet, és befolyásolja az ökológiai fiúkét is (Davis és Shaw 2001). A faj elterjedési területén belül különböző helyeken élő populációkban olyan környezeti változékonyság tapasztalható, amely alapvető genetikai és fenotípusos különbségeket okoz közöttük (Pironon *et al.* 2017).

A központi területeket olyan környezeti feltételekkel rendelkező helyszínekhez lehet rendelni, ahol a faj populációi a leggyakrabban fordulnak elő, mivel ezeken a területeken a környezeti feltételek feltehetően optimálisak a faj számára. Hasonlóképpen a peremterületekhez rendelhetők azok a területek, amelyek megfelelnek azoknak a környezeti feltételeknek, ahol a populációk ritkábban fordul elő, és amelyek valószínűleg kedvezőtlenebbek a faj számára (Brown 1984). Ezek a közösségek várhatóan kisebbek, ritkábbak és töredezetlenebbek lehetnek, mint a központi populációk (Pironon *et al.* 2017). Az éghajlatváltozás természetes populációkra gyakorolt hatásai attól függően változhatnak, hogy a faj elterjedésének optimális vagy marginális területein fordulnak-e

elő, és a marginális környezeti feltételek mellett erősebb szelekciós nyomást okoznak (Kawecki 2008). A perifériás populációkkal kapcsolatos számos állítás azon a régóta fennálló tézisen alapul, hogy a perifériás populációk alacsony genetikai diverzitást és nagyobb genetikai differenciáltságot mutatnak, ami a kisebb effektív populációméret és a nagyobb földrajzi elszigeteltség következménye a földrajzilag központi populációkhoz képest (Eckert *et al.* 2008). Ezek a populációk azonban adaptív értékkel is bírhatnak, és különösen értékesek lehetnek az éghajlatváltozással összefüggésben. Ezt a szemléletet támasztja alá Morente-López *et al.* kísérlete is, ahol vetési kísérletekben a palánták túlélési aránya magasabb volt, ha a magforrás peremterületről származott (Morente-López *et al.* 2021). A marginális populációk adaptációs potenciáljára a szelekció erősségén, a genetikai variáció elérhetőségén és a génáramláson (Kawecki és Ebert 2004) kívül a környezeti tényezők ugyanolyan fontos szerepet játszanak (Bin Rahman és Zhang 2018). Ezért, bármilyen genetikai alapja is legyen egy adott stressztűrő fajtának, a tolerancia egy adott földrajzi-klimatikus területen az adott stressznek való ismétlődő kitétség és az irányított szelekció révén alakul ki, akár a nemesítők, akár spontán, a természet segítségével jött létre (Bin Rahman és Zhang 2018).

4.3 A sóstressz, és hatásai a rizs fejlődésére

4.3.1 A magas sótartalmú talajok definíciója

Az abiotikus stresszhatások közül az aszály és a sótartalom is jelentős hatással van számos növény, köztük a rizs termelékenységére. A rizs esetében a sótartalom a termelékenységet korlátozó tényezők közül csak a szárazság után következik. Ugyanis, a vízkészletek csökkenése miatt gyakran előforduló aszály és a sótartalom kombinációja - gyakran a rossz öntözéskezelés miatt (Raes *et al.* 1995) - olyan helyzetet teremtett, amelyben a rizs ökoszisztémái ma már rendkívül érzékenyek az éghajlatváltozásra. Emellett a tengervíz behatolása a tengerparti területeken a szántóföldeket sós talajokká alakítja át, miközben az éghajlati viszonyok, például a levegő páratartalma is befolyásolja a sótartalom súlyosságát (Asch *et al.* 1995). A talajok esetében a sótartalom az oldható sók egy tetszőleges határérték feletti jelenlétére utal, amelyet általában a telített talaj elektromos vezetőképessége (EC) határoz meg. Agronómiai szempontból a talaj sótartalmát úgy határozzák meg, hogy a talajban elegendő oldható só van jelen ahhoz, hogy csökkentse a növények normális növekedését (Bockheim és Gennadiyev 2000), de ez a koncentráció növényenként és fajon belül a különböző fajták esetében is eltérő. A felesleges sók általában nátrium és magnézium kloridok és szulfátok formájában vannak jelen. A sók miatti problémás talajokat általában sós, szódás és sós-szódás talajoknak nevezik az EC, a kicserélhető nátrium százalékos aránya (ESP) és a pH alapján (1. táblázat; Allison *et al.* 1954).

1. táblázat: A különböző típusú sóval terhelt talajok osztályozása a 25°C-on mért elektromos vezetőképesség (EC_e), a kicserélhető Na⁺ tartalom (ESP) és az 1:2 arányú talaj:víz keverék pH-ja alapján, Allison *et al.* 1954 nyomán.

Só terhelés típusa	EC _e (dS/m)	ESP (%)	pH _{1:2}
Sós	>4	<15	<8,8
Szódás	<4	>15	8,5-10,7
Sós-szódás	>4	>15	Változó

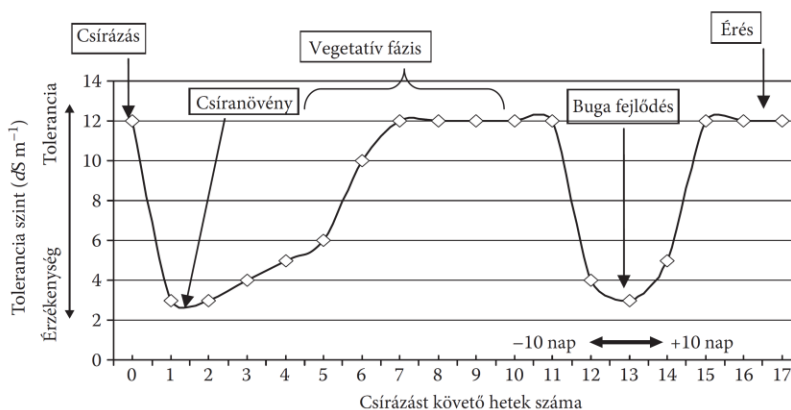
A magas sótartalmú talajok a Föld területének mintegy 20%-át teszik ki (Ghassemi *et al.* 1995), a száraz és felszáraz éghajlatú területeken viszonylag jobban elterjedt, mint a nedves régi-

ókban. A szárazsággal való összefüggés az öntözéssel való kapcsolata miatt következik be: a szikesedés világszerte az öntözött területek mintegy 50%-át érinti. Napjainkban már a becslések szerint a termőterületek 23%-a sós és 37%-a szódás (Shahid *et al.* 2018), és igen gyors ütemben növekszik. Egyes országokban az öntözött területek több mint felén előfordulnak sóval szennyezett talajok (Metternicht és Zinck 2003).

4.3.2 A magas sótartalom hatása a rizs fejlődésére

Néhány genotípus vizsgálatára alapozva a rizst az érzékeny gabonafélék közé sorolták, ahol a 3 dS/m az a küszöbérték, ahonnan fiziológiai károsodás következik be (Maas és Hoffman 1977). Ma már azonban tudjuk, hogy a rizs nagyfokú variabilitással rendelkezik a sótűrés tekintetében (Singh és Flowers 2010, Negrão *et al.* 2011, De Leon *et al.* 2015) amely variabilitás csak a Nemzetközi Rizskutató Intézetben (IRRI) több mint 129000 különböző genotípust jelent, amelyek között több toleránsnak azonosított genotípus van. Ezért manapság a rizst a sótűréssel szemben inkább mérsékelt toleránsnak minősítik (Singh *et al.* 2021).

A rizsnövények a különböző növekedési szakaszokban eltérő módon reagálnak a sóstresszre (1. ábra).



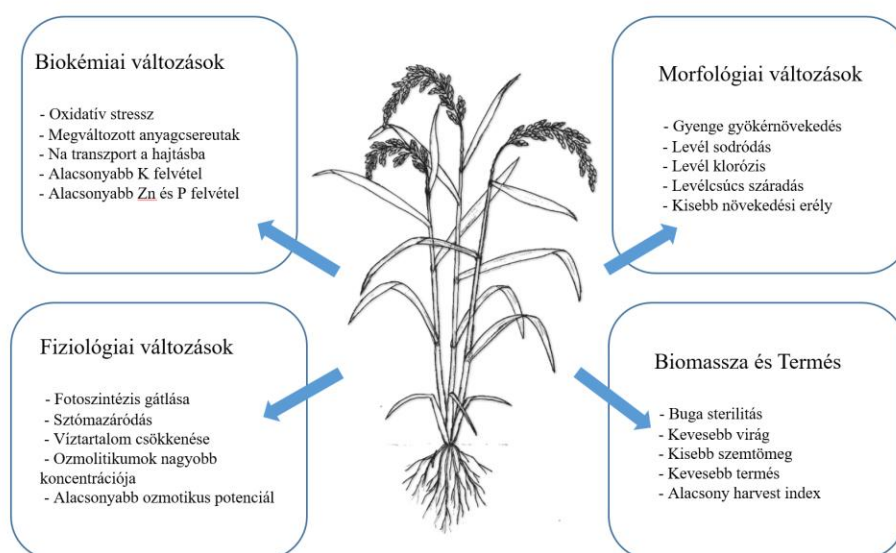
1. ábra: A rizs sótartalomra való érzékenysége változása az ontogenezis során, Singh és Flowers 2010 nyomán.

A teljes növekedési időszak alatt a rizs csírázáskor viszonylag toleráns, de a növekedés alatt nagyon érzékennyé válik a korai csíranövény-stádiumban (1-3 hét), majd az aktív bokrosodás során toleránsabbá válik. A termés szempontjából a legérzékenyebb szakasz a bugaképződés, virágzás és a megtermékenyítés időszaka (1. ábra). Az éréskor a növények ismét viszonylag toleránsabbak. Ennek alapján a rizs csíranövénykori- és a bugafejlődés stádiumában való tolerancia alapvető fontosságú a sótűrő rizsfajták nemesítése és a rizs termőképességének szántóföldi kezelése szempontjából (Zeng *et al.* 2001, Hussain *et al.* 2017). A tolerancia fok (alacsony, közepes és magas) meghatározása eltérő só-, és szódataralom mellett következik be (2. táblázat).

2. táblázat: A rizs különböző növekedési szakaszainak relatív sótűrése Singh *et al.* 2021 nyomán. A táblázatban szereplő értékek egy telített talajminta elektromos vezetőképességét (sós) és egy 1:2 arányú talaj:víz pH-értékét (szódás) mutatják.

Sóstressztípusai	Fejlődési állapot	Alacsony	Közepes	Magas
Sós; EC _e (dS/m)	Csíranövény	<6	6-10	>10
	Reprodukció	<6	6-8	>8
Szódás; pH _{1:2}	Csíranövény	<9,2	9,2-9,8	>9,8
	Reprodukció	<9,2	9,2-9,6	>9,6

A két érzékenységi maximum miatt mindkét fejlődési állapotban létezik tesztelési protokoll. Mindkét fázisban mért tolerancia ismerete nagyon fontos. Az egyes genotípusok csíranövénykori és reprodukciós szakaszban való toleranciája között nagyon gyenge korreláció tapasztalható (Moradi et al. 2003; Moradi és mtsai. 2007; Moradi és Ismail 2007; Singh et al. 2008; Singh és Flowers 2010; Mohammadi et al. 2014) ami arra utal, hogy a toleranciát e két szakaszban különböző gének szabályozzák, így pl. a csíranövénykori jó toleranciájú genotípus érzékennyé válhat a reprodukciós szakaszban. Az egyik sótűrő sztenderd ('FL478'), valamint a 'Sadri' genotípus ilyen viselkedését már igazolták (Mohammadi *et al.* 2014, Ahmadizadeh *et al.* 2016). A magas sótartalmú körülmények között a növény morfológiai változásai közé tartozik a gyökér károsodása, a levelek sodródása, klorózisa, a növényenkénti kevesebb hajtás, a csökkent biomassza, a kisebb növénymagasság, az alacsonyabb ezer szem tömeg, több steril virág, ami végső soron a szemtermés csökkenéséhez vezet (Hakim *et al.* 2014b). A sóstressz a csírázástól az öregedésig minden fejlődési szakaszban hatással van a növények fiziológiájára és biokémiájára (2. ábra; Razzaq *et al.* 2020).



2. ábra: A sóstressz hatására bekövetkező változások összefoglalása Razzaq et al. 2020, és Jancsó et al. 2021 nyomán.

A sóstressznek mind ozmotikus, mind ionos vagy iontoxikus hatása van a növényekre, ami végső soron oxidatív stresszt és tápanyagsökkenést okoz a növényi sejtekben (Lodeyro és Carrillo 2015, Zhu 2016). A folyamatos sóstressz csökkenti a növényi sejtek turgornyomását, ami viszont csökkenti a sejtnövekedést, így a növényeknek ozmotikusan alkalmazkodniuk kell a sejtek terjeszkedésének és növekedésének fenntartásához (Hakim *et al.* 2014b). Az ozmotikus stresszt a növény röviddel a sós körülményeknek való kitettséget követően érzékeli, ami a növény víz- és oldott anyag hiányához vezet (Zhao *et al.* 2020). Az ozmotikus stressz a sztómák gyors záródását is eredményezi, ez pedig csökkenti a növény CO₂-asszimilációs képességét és gátolja a fotoszintézist. A sztómák gyors záródása a xilémnyomás gyors csökkenésével magyarázható (Zhao *et al.* 2020).

Az ionstressz során a Na^+ és a Cl^- ionok felhalmozódása figyelhető meg a növényi sejtekben. A Na^+ toxicitás leggyakoribb magyarázata, hogy gátló hatással van az enzimaktivitásra. A citoszolikus kompartment például számos olyan enzimet tartalmaz, amelyek részt vesznek az elsődleges anyagcserében, a Calvin-ciklusban, a glikolízisben, valamint a poliamin- és keményítőszintézisben. Ezen enzimek közül sok K^+ vezérelt. Tekintettel a Na^+ és a K^+ szerkezeti hasonlóságára (Benito *et al.* 2014), a Na^+ hajlamos helyettesíteni a K^+ -t ezekben az enzimatis reakciókban, de sokkal kisebb hatékonysággal (Wu *et al.* 2018). A citoplazmában lévő túlzott Na^+ szintén zavarja a K^+ és más makro- és mikrotápanyagok, köztük a N, P, Ca^{2+} és Zn^{2+} felvételét és szállítását (Munns *et al.* 2016, Razzaq *et al.* 2020).

A nátrium károsító hatásán túl további kérdés a kloridionok toxicitása. A jelenlegi felfogás szerint a Cl^- kizárása a hajtásból döntő fontosságú a sótűrés szempontjából (Geilfus 2018). Ezt a következtetést támasztják alá egyes sóérzékeny fajok esetében azok a megállapítások, amelyek szerint a hajtás magas Cl^- szintje pozitívan korrelál a súlyos fiziológiai működési zavarokkal (Teakle és Tyerman 2010). Újabb vizsgálatok szerint azonban a Cl^- káros hatása nem önmagában a toxicitás miatt következik be, hanem inkább a kulcsfontosságú makroelemek Cl^- által kiváltott hiánya miatt (N és S), mivel az NO_3^- és SO_4^{2-} felvételét ugyanazok a nem szelektív aniontranszporterek közvetítik, mint a Cl^- -ét (Bazihizina *et al.* 2019). Az ozmotikus és ionos stressz mellett a sóstressz a reaktív oxigénfajok (ROS) felhalmozódását okozza a sejtekben, amelyek súlyosan károsíthatják a sejtstruktúrákat és a makromolekulákat, például a DNS-t, a lipideket és az enzimeket (Miller *et al.* 2010). Ezért a sóstressz alatt a növényeknek be kell állítaniuk az ion- és ozmotikus homeosztázis, az oxidatív stressz és a tápanyagegyensúly szabályozásában részt vevő fiziológiai és biokémiai folyamatokat (Yang és Guo 2018).

4.3.3 A sótartalom hatása a csírázás, a csíranövény- és a vegetatív szakaszra és a sóstressz hatásának fenotipizálási lehetőségei

Bár a rizs nagyon érzékeny csíranövény- és a reprodukciós fázisban, más növekedési szakaszokban viszonylag toleráns, beleértve a csírázási időszakot is (1. ábra). Balkan *et al.* (2015) kísérlete alapján 4 dS/m kezelés mellett nem tapasztalható csökkenés a csírázási rátában, míg 5 dS/m esetén mind a toleráns, mind az érzékeny genotípusok már csak 90 százalékos csírázást érnek el (Ologundudu *et al.* 2014). 10 dS/m esetén pedig 80%-os csírázóképeség tapasztalható a toleránsoknál, azonban az érzékeny genotípusoknál a csírázás 50%-ra csökkent (Ologundudu *et al.* 2014). Ezzel szemben 16 dS/m-es határértéket írt le Heenan *et al.* (1988) akik szerint egészen eddig a koncentrációig nincs szignifikáns csökkenés a csírázási paraméterekben (Heenan *et al.* 1988). Újabb vizsgálatok alapján azonban a sóstressz genotípustól függetlenül csökkenti a csírázási arányt (Khan *et al.* 1997, Asch és Wopereis 2001, Hakim *et al.* 2010, Ologundudu *et al.* 2014), a csírázási százalékot, a csíranövények friss-, és száraz tömegét is (Abbas *et al.* 2013, Ghoneim *et al.* 2015).

A csíranövény és korai vegetatív szakasz fenotipizálási protokolljai nagyon jól szabványosítottak és megismételhetők. A szűrés többnyire morfológiai paramétereken alapul, és viszonylag könnyen elvégezhető. A hidrokultúra a rendelkezésre álló legjobb módszer, amely biztosítja az egyenletes stresszt és a bőséges tápanyagellátást. A Gregorio és mtsai. (1997) által javasolt Yoshida tápoldaton alapuló módszert széles körben használták nagyszámú genotípus/populáció szűrésének gyors módszereként. A Na^+ -nak a Yoshida-tápoldatban lévő egyéb tápanyagokra gyakorolt káros hatásainak ellensúlyozására (Yoshida *et al.* 1976) módosított tápoldatot dolgoztak ki. A

módosítás lényege, hogy a mikroelemeket savas helyett semleges oldatban oldották fel, így elkerülhető a pH beállítás (Flowers és Yeo 1981), és ezt tartják a legmegfelelőbbnek a rizs növekedéséhez (Singh *et al.* 2010).

4.3.4 A sótartalom hatása a reprodukciós szakaszra és fenotipizálási lehetőségeik

Szántóföldi körülmények között a sóstressz hatása a reprodukciós fázisban jelentősebb, mint a vegetatív szakaszban (Rao *et al.* 2008). A terméshozamra a legnagyobb mértékű károsodást a bugaképződés alatti stressz gyakorolja. Ha a stressz megjelenése a bugaképződés előtt megtörténik, akkor jelentős csökkenés figyelhető meg az egy növényre jutó oldalhajtások számában is (Zeng *et al.* 2001). Viszont, ha csak a bugaképződéskor következik be a stressz, akkor 50%-tól (Zeng *et al.* 2002), 80%-ig (Asch és Wopereis 2001) terjedően csökkenhet a terméshozam. Asch és Wopereis (2001) az érzékeny genotípusok esetében egységnyi EC (dS/m) emelkedés után ($2 dS/m$ határértéktől) 1 t/ha termésvesztést, míg a toleráns fajták esetében mindösszesen 0,6 t/ha csökkenést tapasztalt. Zeng és mtsai. (2002) mérései szerint $3 dS/m$ küszöbérték felett $1 dS/m$ -enként 12%-os termés-csökkenés következik be. A szemtermés csökkenését elsődlegesen az alábbi paraméterek negatív változása okozza: az elsődleges és másodlagos elágazások száma, a bugánkénti szemszám, a buga tömege, az 1000 szem tömeg, valamint a bugasterilitás (Asch és Wopereis 2001). A legközvetlenebb hatása a Na^+ jelenlétének, hogy csökkenti a pollen termékenységet (Khatun *et al.* 1995), ami a reprodukciós szakaszban a sótűrés fontos paramétere, és a termés közvetlen meghatározója. Ezért a pollentermékenységet megbízható fenotipizálási módszerként fogadták el, viszont a meghatározása meglehetősen nehézkes és időigényes (Sarhadi *et al.* 2012). Ennek kiküszöbölésére mind szántóföldi, mind ellenőrzött körülmények közötti protokoll került kifejlesztésre, azonban ezek továbbra is időigényesek és munkaigényesek, szemben a csíranövény szakasz viszonylag egyszerű fenotipizálási protokolljaival (Jena és Mackill 2008). Először a reprodukciós stádiumban való tolerancia szűrését mikroparcellákban, szabadföldi körülmények között sós vízzel öntözött cserepes, tenyészedényes módszerrel kívánták elérni (Gregorio *et al.* 1997), azonban a szabadföldi körülmények között a talaj térbeli változékonysága, valamint az eltérő fenológiájú genotípusokból álló populációra az egységes stressz kivitelezése nehéznek bizonyult (Ahmadizadeh *et al.* 2016). Ennek kiküszöbölésére az IRRI-ben kidolgoztak egy olyan technikát, amellyel az egyes genotípusokat a zászlóslevél megjelenésekor sózzák, ami körülbelül 1 héttel a legérzékenyebb reproduktív stádium és a pollenképződés előtt van. Ily módon az egyes genotípusok a legérzékenyebb szaporodási szakasz kezdetéig normálisan, stressz nélkül növekedhetnek, függetlenül a növekedésük időtartamától. Az IRRI-ben kifejlesztett módszer azon a tényen alapul, hogy a rizsnövényekben az idősebb levelek elnyelőként működnek, ahol a Na^+ felhalmozódik, így a terhelés kaszkádszerűen halad az alsó levelektől a felső levelek felé (Yeo és Flowers 1982), és végül a zászlóslevél felé, amelynek hozzájárulása a szemek fejlődéséhez nagyobb, mint a többi levél. E módszer továbbfejlesztése, hogy az alsó levelek levágásával, a só transzlokációját felgyorsítható, így élesebb szétválást lehet biztosítani a genotípusok között (Singh *et al.* 2021). Azonban e fenotipizálási módszereknél is figyelembe kell venni a környezeti körülményeket, különösen a hőmérsékletet és a relatív páratartalmat (Wang *et al.* 2021, Nahar *et al.* 2022). Szabályozott körülmények között ($29\text{ }^{\circ}C / 21\text{ }^{\circ}C$ és 70%-os relatív páratartalom mellett) 50-120 mM NaCl elegendő a rizs toleráns és érzékeny genotípusainak megkülönböztetéséhez a csíranövény szakaszban, és 30-100 mM a reprodukciós fázisban. Magas hőmérséklet és alacsony relatív páratartalom ($34\text{ }^{\circ}C / 25\text{ }^{\circ}C$ és 50% relatív páratartalom) mellett azonban a transzspiráció mértéke

megnö, így több só jut a növényi szövetekbe, ami végül súlyos károsodáshoz vagy elhaláshoz vezet (Singh *et al.* 2006). A környezeti feltételek, az optimális stressz-szint, valamint a növény aktuális növekedési szakaszának ismerete elengedhetetlen a pontos és precíz vizsgálatokhoz.

4.3.5 A sótürés adaptív mechanizmusai

A magas sókoncentráció miatt fellépő alacsony ozmotikus potenciál miatti dehidratáció kiküszöbölésére a növények kompatibilis oldott anyagokat, úgynevezett ozmolitikumokat szintetizálnak, hogy fenntartsák a sejt turgorát, és aktiválják a vízcsatornákat, az aquaporinokat, amelyek szabályozzák a vízfelvételt. Számos kompatibilis ozmolitikum, például a trehalóz és a glicin-beta-in bizonyítottan hatékony a sejtek dehidratációjának megelőzésében a sóstressz során (Rontein *et al.* 2002). Így az ozmolitok exogén alkalmazását a rizs sótürésének fokozására használták (Abdallah *et al.* 2016). Ezenkívül a trehalóz bioszintéziséért felelős kulcsenzimek (trehalóz-6-foszfát-foszfátáz és a trehalóz-6-foszfát-szintáz) génei (*OsTPP1*, *OsTPS1* és *OsTPS8*) pozitívan szabályozzák a sótürést nemcsak a trehalóz hanem a prolin felhalmozódásának növelésével (Ge *et al.* 2008). A kedvezőtlen ozmotikus körülmények közötti turgor fenntartásához a vízfelvétel növelésén is hozzájárul. Az aquaporinok membrán-lokalizált csatornák, amelyek elsősorban a víztranszportban és a homeosztázisban vesznek részt (Chaumont és Tyerman 2014). A rizsnek eddig 33 aquaporinját azonosították (Sakurai *et al.* 2005), amelyek szervespecifikus expressziójuk alapján összehangoltan irányítják a vízhomeosztázis fenntartását. Közülük domináns az *OsPIP1* és az *OsPIP2*. Az előbbi a levélben, utóbbi a gyökérben expresszálódik döntően (Ponce *et al.* 2021). A PIP géneken kívül számos tonoplast intrinsic protein (TIP) gén is fontos szerepet játszik a só okozta ozmotikus stressz kivédésében (Kawasaki *et al.* 2001).

A nátrium nemcsak szimplasztikus, hanem apoplastikus úton is közlekedik a gyökér epidermisztől a xylemig (Craig Plett és Møller 2010). Ezt az apoplastikus áramlást a Caspary-csík és egyéb szuberin berakódások gátolhatják (Gong *et al.* 2006). Bizonyos esetekben azonban a Na^+ az apoplastikus útvonalon keresztül kerülő áramlással mégis eljuthat a xylemig. Ez az úgynevezett bypass-áramlás azokon a helyeken fordul elő, ahol az apoplastikus gátak fejletlenek vagy hiányoznak, mint például a fiatal gyökerekben és a gyökércsúcsokban. A Na^+ -nak a hajtásba való szállítása ilyen passzív transzporttal, bypass-áramlással igen jelentős rizsben (Yeo *et al.* 1987). Ezen okokból a glikofiták, mint például a rizs is a Na^+ hajtásból történő kizárása kizárólag aktív transzportfolyamatok segítségével valósulhat meg. Ilyen például a gyökerekből a rizoszférába történő Na^+ transzport, a Na^+ xylembe/xylemből történő transzportfolyamatok és a vakuoláris kompartmentáció. Az első esetért a H^+ -ATPázokkal párosuló *SOS1* Na^+ efflux transzporter a felelős (Blumwald *et al.* 2000). A rizs *SOS1* ortológja (*OsSOS1*) az Arabidopsis *AtSOS1*-hez hasonlóan az epidermális sejtekben a gyökérsapkában és a xylem körüli sejtekben expresszálódik (Wu *et al.* 1996). További vizsgálatok kimutatták, hogy az *OsSOS1* funkcióvesztéses mutánsa nagyon magas Na^+ felvételt és károsodott Na^+ transzportot mutatott a xylembe (El Mahi *et al.* 2019). Így az *OsSOS1* kritikus szerepet játszik a Na^+ kiáramlásában a gyökér epidermális sejteiből a rizoszférába.

A xylembe és onnan történő Na^+ be- és kiráramlását a nagy affinitású K^+ transzporterek (HKT) szabályozzák. A HKT-k a legjobban jellemzett Na^+ és K^+ növényi transzporterek közé tartoznak, amelyeket számos növényben azonosítottak, és központi szerepet játszanak a sótürésben (Horie *et al.* 2001, Garcideblás *et al.* 2003). A gyökér xylembe a nem szelektív kationcsatornán (NSCC) keresztül bejutó Na^+ -ionok az *OsHKT1;5/SKCI*-en keresztül jutnak vissza a parenchi-

mába (Suzuki *et al.* 2016). A hajtás felé továbbjutó ionokat az *OsHKT1;4* szállítja vissza a xylembe a levélből. Szintén az *OsHKT1;4* felelős a levélhüvelyből a levélbe történő transzportért is. Egy másik *HKT1* gén, az *OsHKT1;1* szintén a Na⁺ kizárását szabályozza, a xylemből történő Na⁺ kilépésén túl, a phloembe történő Na⁺ belépését is. Ez különösen fontos mechanizmus, hiszen így a Na⁺ a hajtásokból a gyökerekbe vagy a fiatal levelekből az idősebb levelekbe kerülhet, ezáltal csökkentve a só okozta sérüléseket az újonnan megjelenő levelekben (Wang *et al.* 2015). Ezt támasztja alá Campbell *et al.* (2017) tanulmánya is, aki mérsékelt sóstressz hatására az *ssp. indica* gyökerekben magasabb Na⁺ tartalmat tapasztalt, mint a *ssp. japonica* esetében. A két csoport közötti különbség okaként a különböző *OsHKT1;1* izoformákat jelölték meg (Campbell *et al.* 2017). A legújabb vizsgálatok kimutatták, hogy az *O. sativa ssp. indica* és a *ssp. japonica* alfajokban nyolc, illetve négy különböző hosszúságú *HKT1* gén variációja létezik. Ez a nyolc variáció az *O. sativa ssp. indica*-ban eltérő expressziós szintet és transzportaktivitást mutat sókezelés hatására, ami különböző transzportmechanizmusok létezésére utal, és ez magyarázhatja a *ssp. japonica*-nál magasabb sótoleranciáját is (Imran *et al.* 2020). A harmadik módja, hogy a hajtásból a felesleges Na⁺-ot kizárja a növény, az a kompartmentalizáció, amit szöveti toleranciának is neveznek. Ez a transzportmechanizmus teszi lehetővé, hogy a növény a Na⁺ ionokat a vakuólumba szállítsa Na⁺/H⁺ antiporter révén. Rizsben négy vakuoláris *NHX* gént - *OsNHX1*, *OsNHX2*, *OsNHX3* és *OsNHX5* - azonosítottak (Fukuda *et al.* 2011). E gének nagyon magas transzkripcióját figyelték meg zászlólevélben, és bugában is (Fukuda *et al.* 2011). Ez arra utal, hogy potenciális szerepük van a sótűrés fokozásában a reproduktív szakaszban.

A Na⁺ kizárási mechanizmusokon túl a citoszolikus K⁺-koncentráció a növények sóstresszhez való alkalmazkodóképességének másik fontos aspektusa, ahol a magas K⁺-koncentráció közvetlenül összefügg a sótűréssel. Négy nagy affinitású K⁺ transzporter (*HAK*) gén - nevezetesen az *OsHAK1*, *OsHAK5*, *OsHAK16* és *OsHAK21* - döntő szerepet játszik a K⁺ homeosztázisban stressz körülmények között (Chen *et al.* 2015). Az *OsHAK1*, *OsHAK5* és *OsHAK16* elsősorban a gyökér epidermiszében expresszálódik (Chen *et al.* 2015), ezzel szemben az *OsHAK21* főként a gyökér xilém parenchimájában fejeződött ki (Feng *et al.* 2019) így az *OsHAK21* valószínűleg a K⁺ xilémbe áramlását közvetítő domináns gén.

4.4 A hidegstressz, és hatásai a rizs fejlődésére

A rizst világszerte változatos ökoszisztémákban termesztik, a tengerszint alatti néhány métertől egészen 2700 méteres tengerszint feletti magasságig, ennek ellenére az abiotikus stresszhatások széles skálájára érzékeny (Ranawake 2011). A klímaváltozás hatására a hőmérséklet-változékonyság eloszlása az egész világon eltolódik. Ezek az eltolódások azt eredményezik, hogy a vegetációs időszakban gyakrabban fordulnak elő a szélsőséges időjárással kapcsolatos stresszek, különösen a szubtrópusi és mérsékelt égövi régiókban, ami kedvezőtlen hatással van a rizstermesztésre. Az alacsony hőmérsékletű stressz (LTS) az egyik legfontosabb abiotikus stressz, amely jelentősen csökkenti a rizs szemtermését, és az LTS a rizs összesen 130 millió hektárnyi termőterületének 10%-án jelentkezik (Mohanty *et al.* 2013). Tovább súlyosbítja a helyzetet, hogy manapság igen nagy területen termesztnek *indica-japonica* hibrideket, és mivel az *indica* alfaj érzékenyebb az LTS-re, mint a *japonica* fajták (Kim és Tai 2013), így az alacsony hőmérséklet által érintett területek is kiterjedtebbek lehetnek. A rizs viszonylag érzékeny a 15 °C alatti hőmérsékletre, ami

a különböző növekedési szakaszokban, például a csírázás, a csíranövény, a vegetatív, és a reprodukív szakaszokban eltérő hatásokat okoz (Andaya és Mackill 2003a, 2003b). Az alacsony hőmérséklet közvetlenül befolyásolja a növény fejlődését. Késleltetett és alacsony csírázási százalékot (Cruz és Milach 2004), a későbbiekben lassú növekedést és csökkent vigort okoz (Ali *et al.* 2006). Csíranövény-stádiumban a hidegstressz megnyilvánulásai közé tartozik a csíranövények alacsony száma, a bokrosodás csökkenése, a növények fokozott pusztulása (Zhang *et al.* 2014). Emellett a vegetatív szakaszban a növekedés lassulásával az LTS megnöveli a növekedési időszakt, ami a levelek elszíneződésével, sárgulásával, vagy sodródásával, hervadásával jár együtt (Lone *et al.* 2018). A virágzás az egyik legérzékenyebb szakasz a rizs fejlődése során. Az alacsony hőmérséklet anomáliákat okoz a pollenfejlődésben, a pollen csírázásának elmaradásához vezet, emellett a pollentömlő is lassabban fejlődik, ami gyenge megtermékenyülést eredményez (Suh *et al.* 2010), így ezek közvetlenül befolyásolják a terméshozamot. Ezen túlmenően az alacsony hőmérséklet a rizs minőségét is befolyásolja (Zhao *et al.* 2013). Ezért a fokozott hidegtűrésű fajták nemesítése kiemelten fontos az LTS-nek kitett régiók számára. A rizsfajták hidegtűrés szempontjából történő értékelését főként a csírázási szakaszban, csíranövény korban, valamint a reprodukív szakaszban végzik. A fajták jó teljesítménye az első két fejlődési állapotban az egységes növényállomány kialakulása érdekében elsősorban a mérsékelt öveken alkalmazott direkt-vetés miatt jelentős (Krishnasamy és Seshu 1989).

4.4.1 Az alacsony hőmérséklet hatása a csírázás, a csíranövény- és a vegetatív szakaszra és fenotipizálási lehetőségeik

Nishiyama (1976) szerint a rizsszemek csírázásához szükséges optimális hőmérséklet körülbelül 18 és 33 °C között van. A csírázás standard hőmérséklete 30 °C, míg a 17 °C már olyan kritikus hőmérséklet, amely alatt a csírázás sebessége és a sejtmegnyúlás is gyorsan csökken. A legalacsonyabb hőmérséklet, amely alatt a rizs már egyáltalán nem csírázik, az 10 °C (Yoshida 1981).

A gabonamagvak csírázása során az aleuronrétegben lévő alfa-amiláz fontos szerepet játszik az endospermium keményítőjének metabolizálható cukorra történő hidrolízisében, amely a gyökerek és hajtások növekedéséhez szükséges energiát biztosítja (Beck és Ziegler 1989). Először a gibberellinek (GA) bioszintézise kezdődik meg az embrióban, és a GA-k az embrióból az aleuronrétegbe szállítódnak (Fincher 1989). Az aktív GA-k transzkripciós szinten az alfa amiláz kifejeződését indukálják (Gubler *et al.* 1995), majd szekretálódnak az aleuronrétegből az endospermiumba, hogy katalizálhassa a keményítő bontását. A keletkező cukrok viszont negatívan szabályozzák az alfa-amiláz expresszióját és a GA bioszintézist is (Perata *et al.* 1997). Ezen kívül az abszcizinsav (ABA) is szabályozza ezt a folyamatot, ugyanis antagonizálja a GA hatását, és elnyomja az alfa-amiláz expresszióját, így biztosítva a korai csírázás megakadályozását (Jacobsen *et al.* 1995). Ennek megfelelően az alfa-amiláz kifejeződése a csírázó magvakban többféle szabályozási módnak van kitéve. A gibberellin és cukorhiány indukálják, míg többlet cukrok és az abszcizinsav gátolják azt (Perata *et al.* 1997). Az alacsony hőmérséklet hatására az ABA szintézise fokozódik, ami csökkenti az alfa-amiláz mennyiségét, alacsonyabb cukor szintet eredményezve. Ezen kívül az alfa-amiláz aktivitása erőteljes hőmérséklet függést is mutat. 10 °C-on a relatív aktivitás mindösszesen kb. 20-30%-a a 37 °C-on mért maximumnak (Divakaran *et al.* 2011). Alacsony hőmér-

sékleti stressz ezen kívül számos ponton hatással van az enzimaktivitásokra, a metabolikus útvonalakra, mind a reaktív oxigén fajták, mind az aszkorbinsav, mind a poliaminok szintjének befolyásolásával (Zhang *et al.* 2012).

A későbbi szakaszokban, 3-5 héttel a vetés után a hőmérséklet hatása már kisebb a növény fejlődésére, kivéve a legalacsonyabb, 12 °C-os körüli hőmérsékletet (Basuchaudhuri 2014). A magas sótartalom melletti csírázással ellentétben, ahol a csírázási paraméterek és a későbbi fejlődési állapotok között nincs összefüggés (Hakim *et al.* 2010), az alacsony hőmérsékleten mért csírázási paraméterek és a későbbi fejlődési állapot között statisztikailag szignifikánsak korreláció tapasztalható (Sasaki 1986). Ez elsősorban a növekedés, különösen a gyökernövekedés jelentős gátlása miatt (Kato-Noguchi 2007, Suzuki *et al.* 2008, Arai-Sanoh *et al.* 2010) alakul ki. Az alacsony talaj hőmérséklet (13 °C) jelentősen csökkenti a gyökér vízfelvételi képességét, ami így egy gyorsabb melegedést követően, vagy erős szél és alacsony páratartalom esetében komolyabb szárazság-stresszt is kiválthat (Basuchaudhuri 2014, Li *et al.* 2022). A *japonica* rizsnek általában vastag és kicsi levelei vannak, viszonylag alacsony sztómasűrűséggel, ami megkönnyíti a vízháztartás fenntartását alacsony hőmérsékleten (Yoshida és Ono 1978). A hidegstressz károsítja a fotoszintetikus pigmenteket, és erősen negatív hatással van a fotoszintetikus aktivitásra (Freitas *et al.* 2019). A levelek klorózisát, amely a lehüléskárosodás gyakori tünete, a protoklorofill-képződés gátlódása és a meglévő klorofill pusztulása okozza (Kaimori és Takahashi 1981). Az alacsony hőmérséklet a plasztokinon csökkenését is kiváltja, és a PSII reakcióközpontok fotoinhibítorikus károsodását eredményezi. Ezért a változó fluoreszcencia és a maximális klorofill-fluoreszcencia aránya (Fv/Fm), amely a II-es fotorendszer fotokémiai kapacitását tükrözi, értékes mutató, amelyet általában a növények hidegstresszel szembeni toleranciájának értékelésére használnak (Kim *et al.* 2009).

Bokrosodáskor az alacsony hőmérséklet elsősorban a tápanyagok felszívódási zavarairát okozzák. 17 °C alatt a foszfor, a kálium és a kalcium esetében kisebb, míg a mangán esetében erőteljesebb abszorpció figyelhető meg. 16,5 °C alatt viszont már a nitrogén felvételi sebessége is csökken, így e fejlődési szakaszban inkább az alacsonyabb tápanyag-transzlokáció miatt kevesebb oldalág képződés a jellemző (Basuchaudhuri 2014).

A rizs hidegtűrésének értékelésére leggyakrabban használt paraméter a csírázáskor a vigor. A magok csírázási vitalitását/vigorát a csírázást követő 7, 11, 14 és 17 napon, 14 °C-on, sötétben történő csíráztatást követően rögzítették (Han *et al.* 2006). A csírázási vigort a kicsírázott szemek számának és az összes szemszám hányadosaként értelmezték, ami tulajdonképpen egy csírázási százalék. A csírázási százalékot viszont számos szerző használja a hidegtűrés értékelésére: Schläppi *et al.* (2017) 30 napig 10°C-on, Shakiba *et al.* (2017) 35 napig csíráztatott 12°C-on. A csírázási százaléknál több információt szolgáltat a csírázási index (Cruz és Milach 2004), ami figyelembe veszi a 14. és 21. napi csírázási százalékot is. Napjainkban az egyik legszélesebb körben használt index a csírázás leírására (Sharifi 2010, Sales *et al.* 2017).

A rizs csíranövénykori stádiumában a hidegtűrés értékelésére vizuális és fiziológiai mutatókat egyaránt használnak. A vizuális értékelés során leginkább négy kritériumot alkalmaznak, köztük a friss tömeget, a túlélési arányt, a csíranövény és a levelek növekedését (Zhang *et al.* 2014). A friss tömeg változása azon alapul, hogy az alacsony hőmérséklet miatti vízfelvétel-gátlás, a csökkenő turgorral, és a transzpirációból adódó vízvesztéssel a biomassza csökkenéséhez vezet (Bonnecarrère *et al.* 2011). A vízvesztés azonban nem mindig pontos mutatója a hidegstressznek, mivel azt olyan tulajdonságok is befolyásolhatják, mint a genotípus és a levélméret, valamint egyéb stresszorok. A túlélési arány kifejezetten alkalmas a fajták közötti toleranciafokok

meghatározására. Rendszerint 4 °C-os kezelést követően határozzák meg a 6. napon (Zhang *et al.* 2011).

A csíranövény növekedési skála a Nemzetközi Rizskutató Intézet által a rizsre kidolgozott szabványos értékelési módszer (IRRI 2013). A 9 °C-on végzett 14 napos hidegkezelés után a csíranövényeket a következők szerint pontozzuk: 1 = sötétzöld, 3 = világoszöld, 5 = sárga, 7 = barna, 9 = elhalt (Kim és Tai 2011). Hasonló vizuális skálázást alkalmaz a levélnövekedési skála, ami a levélfonnyadás mértékén alapul, és 1-3 (toleráns, minden levél normális, nincs látható vizuális sérülés) valamint 4-9 (érzékeny, minden levél fonnyadt, a növények láthatóan elhaltak) közötti skálán pontozzák (Suh *et al.* 2012). A növekedési skálával ellentétben azonban, amelyben a növényeket közvetlenül az alacsony hőmérsékleti kezelés után vizsgálják, a levélnövekedési vizsgálat a regenerálódási időszak 7. napján látható tüneteken alapul (Suh *et al.* 2012). A mérsékelt kezelés (9-10 °C) miatt a csíranövények növekedési skáláját és a levélnövekedési vizsgálatot gyakran használják a fajták közötti kisebb különbségek kimutatására. Továbbá, mivel a 25°C-on a regenerálódási időszak 7 napig tart, a levélnövekedési próba jobban megkülönbözteti a hasonló hidegtűrő fajtákat, mint a növekedési skála (Zhang *et al.* 2014).

Mivel a vizuális értékeléseket korlátozza a szubjektivitás, a fiziológiai paraméterek meghatározása kiegészítik a rizs hidegtűrésének vizsgálatát. A fiziológiai változások nyomon követését lehetővé tevő pontosabb mérések viszont nagyobb számban, akár nemesítési anyagok szűrésére, jelenleg még nehezen kivitelezhetőek. Ezek közül kivételt képező módszer a levelek klorofill tartalmát relatív klorofill tartalomban kifejező SPAD érték mérése. Az alacsony hőmérséklet nemcsak a klorofill degradációját fokozza, hanem gátolja a szintézisét is, ami a nitrogénfelvétel lassulásával (Basuchaudhuri 2014) még erőteljesebben változtatja meg a levél színét. A klorofilltartalom laboratóriumi meghatározása általában szerves oldószeres extrakcióval történik (Porra *et al.* 1989), szántóföldi körülmények között viszont a gyors mérésekre általánosan használt egyik eszköz a SPAD mérő (pl. Konica Minolta SPAD 502). A SPAD értékek erősen korrelálnak mind a fotoszintetikus rátával (Kato *et al.* 2004, Kumagai *et al.* 2009) mind a klorofilltartalommal (Wakiyama 2016), ezért a SPAD mérő alkalmas a fajtagyűjtemények tesztelésére, az abiotikus stresszek okozta levélszínváltozások nyomon követésére (Huang és Peng 2004). A laboratóriumi paraméterek közé tartozik az MSI (Bertin *et al.* 1996), a prolin, az MDA, az AsA és a GSH mérése (Tian *et al.* 2011, Zhang, Li, *et al.* 2011, Yang *et al.* 2012), amelyek változásai a hidegre reagáló anyagcserének tulajdoníthatók. A *japonica* fajták például kevesebb MSI-t mutatnak, míg az *indica* fajták hajlamosak magasabb prolin-, malonil-aldehid (MDA), aszkorbinsav (AsA) és glutation (GSH)-szintet felhalmozni (Kim és Tai 2011). Ezen kívül az antioxidáns enzimek, mint a peroxidáz (POD), a szuperoxid-dizmutáz (SOD), a kataláz (CAT) és az aszkorbát-peroxidáz (APX) aktivitása is használható a rizs hidegtűrésének értékelésére.

4.4.2 Az alacsony hőmérséklet hatása a generatív szakaszra és fenotipizálási lehetőségeik

Számos öntermékenyítő növény különösen érzékeny az abiotikus stresszre a szaporodási szakaszban. A rizs és a búza esetében is például a meiózis és a fiatal mikroszóra stádiumában fellépő abiotikus stressz jelentős hatást gyakorol mind a pollen, mind a petesejt képződésére. A legnagyobb érzékenységűnek a mikrosporogenezis alatt a tapétum szövete bizonyul (Basuchaudhuri 2014). A mikrosporogenezist a bugaképződés szakaszában a zászlólevél és az utolsó előtti levél ligulája közötti távolság alapján határozzák meg (Yoshida 1981). Általában, -3 és +10 cm (a

zászlóslevél ligulusa az utolsó előtti levél ligulusa felett) közötti távolság jelzi ezt a stádiumot, de a mikrosporogenezis maximuma a genotípusoktól függően változhat.

Egyes genotípusoknál -3 cm-nél, másoknál nulla cm-nél, de akár +8 cm-nél is bekövetkezhet. Ez azt is jelzi, hogy mind a genotípus, mind a reproduktív stádium aktuális fázisa és a hidegnek való kitettség időtartama egyaránt befolyásolja a buga sterilitásának mértékét 17 °C alatt. Az alacsony hőmérsékleti stressz a szárazságstresszhez hasonlóan fejlődési rendellenességet okoz. Mindkettő tapetális hipertrófiát, és a programozott sejthalál késését vagy gátlódását okozza. A tapétum olyan kiválasztó szövet, amely biztosítja a pollen fejlődéséhez szükséges tápanyagokat. Stressz hatására a sejtfall invertáz szintje csökken, ezért a tapétumba és a mikrospórákba kevesebb hexóz kerül. Így pedig a fejlődő pollenszemeknek kevesebb tápanyag áll rendelkezésükre, így nagyobb arányban pusztulnak el (Parish *et al.* 2012). Rizsben és búzában is negatív korrelációt azonosítottak az abszcizinsav (ABA)-szint és a hideg-, illetve a szárazságtűrés között (Ji *et al.* 2011). A toleráns és az érzékeny vonalakban a portok ABA-szintje a stresszkezelést követő első órákban emelkedik, és bár az érzékeny vonalakban tovább emelkedik, a toleráns vonalakban csökken. A csökkent ABA-szint azt eredményezi, hogy a sejtfall invertáz gén (*OsINV4*) expressziója a hidegkezelés alatt is fennmarad, és így a hexózellátás is megfelelő szinten marad (Ji *et al.* 2011).

Az ivarsejtek kialakulásának zavarán túl az alacsony hőmérséklet a virágzás szinkronizálását is befolyásolja. A rizs önbeporzó, a virág kinyílása előtt legtöbbször már megtörténik a megporzás és megtermékenyítés is, így a pollenszemek és a bibék érésének időzítése is kulcsfontosságú a sikeres megtermékenyítéshez. A hidegstressz hatására, ha a pollenszemek még egészségesek is, de lassabban fejlődnek, ezért a szinkron az ivarszervek között megbomlik, így elmaradhat a megtermékenyítés, és az idegen megporzás valószínűsége nő (Basuchaudhuri 2014).

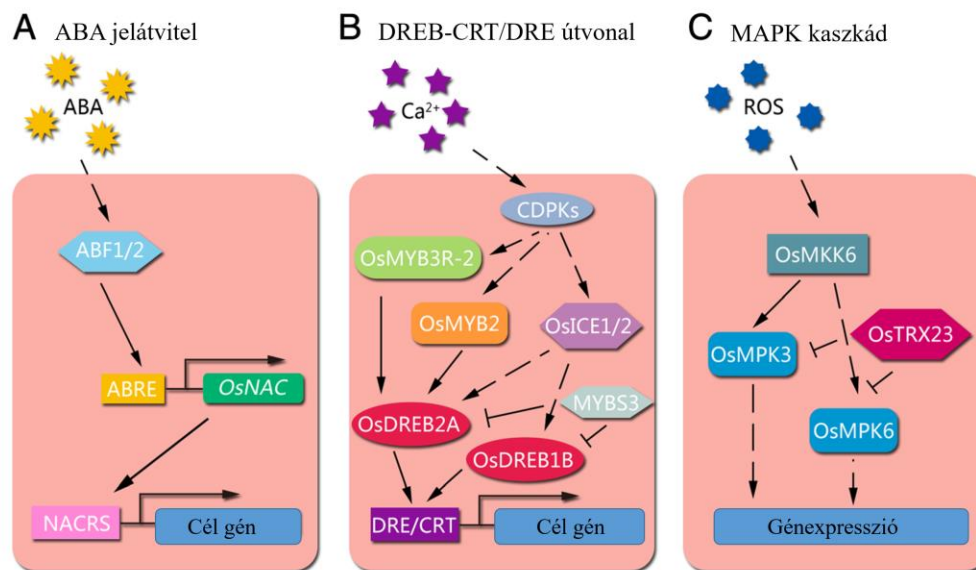
A fenotipizálás ebben a szakaszban a bugák sterilitásával értékelhető. Két fő fenotipizálási protokollt alkalmaznak. Mindkét módszer lényege, hogy üvegházi körülmények között neveljük a növényeket. Ahhoz, hogy szinkronizáljuk a bugafejlődést, csak a főhajtáson hagyjuk meg a bugát, a többi eltávolítjuk. Ezután vagy egy hat napig tartó 12 °C-os kezelést (Sato *et al.* 2011) vagy hideg vizes öntözést (18-19 °C) tartunk fenn a tenyészidőszak végéig (Shirasawa *et al.* 2012). Mindkét módszer használható a hidegtűrőbb rizsfajták kiválasztására, de az utóbbi mérsékelt kezelési hőmérsékletnek és hosszabb kezelési időszaknak teszi ki a növényeket.

4.4.3 A hidegtűrés adaptív mechanizmusai

A környezeti hőmérséklet változásai leggyorsabban a sejtmembránok fluiditását változtatják meg, azáltal, hogy a folyadékkristályos állapotból a gél állapotba kerül, bár ez egy reverzibilis folyamat (Sangwan *et al.* 2002). Az alacsony hőmérséklet a membrán merevségének növekedését eredményezi, ami megnövekedett ionkiáramláshoz és anyagcsere-zavarhoz vezet. A telítetlen lipidek nagyobb aránya csökkenti a lipidek fázisátalakulási hőmérsékletét, így a membrán alacsony hőmérsékleten is folyékony maradhat és szabályosan működhet. Ezért a lipidanyagcsere megváltozása, beleértve a membránlipid- és zsírsavanyagcserét, fontos tényező lehet a rizs hidegtűrésében. Az egyik ilyen lipid, ami növeli a toleranciát az a foszfatidil-glicerin, a tilakoid membrán egyik fő fosfolipidje. A *japonica* rizs membránja több telítetlen foszfatidil-glicerint tartalmaz, mint az *indica*, és így toleráns a lehülés okozta fotoinhibícióval szemben (Murchie *et al.* 2015). Hualong és mtsai (2022) 397 olyan lipidanyagcserével kapcsolatos gént azonosítottak, amiknek az expressziója a hidegstressz alatt megváltozik. Az egyik a 1,2-diacil-glicerin 3-béta-galaktozil-transzferáz (MGD), ami a monogalaktozil-diacil-glicerin megnövekedett szintjét eredményezi

(Liu *et al.* 2022). Ez szintén hozzájárul a fotoszintetikus membrán fluiditás fenntartásához. Így csak a lipidanyagcsere megváltozásával fenntartható a normális fotoszintézis szintje.

Ezen túlmenően a membrán merevsége a három fő hidegstressz kiváltotta jelátviteli útból kettőt, a MAPK jelátviteli kaszkádot (Sangwan *et al.* 2002) és a Ca^{2+} beáramlását is (Chinnusamy *et al.* 2007) aktiválja (3. ábra). A Ca^{2+} a legkorábbi hírvivő molekula, amely koncentrációja másodpercekkel a külső alacsony hőmérséklet érzékelése után megváltozik. Az így megnövekedett Ca^{2+} koncentráció a citoplazmában aktiválja a hidegre reagáló géneket (*OsDREB1B* és az *OsDREB2A*,) a kalciumfüggő fehérje kinázokon (*OsCDPK*) keresztül. A DREB transzkripciósfaktorok fontos szerepet játszanak a stresszel kapcsolatos gének szabályozásában. Az *OsDREB2A* részt vesz nemcsak az alacsony hőmérséklet, de a szárazság és a só okozta stressz kivédésében is (Zhang *et al.* 2013).



3. ábra: **A** - Az ABA jelátvitelt az ABA felhalmozódása indítja el, és az ABF és az ABRE-tartalmú *OsNAC* gén közvetíti, amely egy *NACRS*-tartalmú célgén kifejeződését szabályozza a hidegtűrés növelése érdekében. **B** - A DREB-CRT/ DRE útvonala egy Ca^{2+} -beáramlási jel indítja el, amelyet kalciumfüggő fehérje kinázokon (CDPK-k) keresztül, az *OsMYB3R-2*, *OsMYB2* és *OsICE1/2* közvetítenek. Az *OsDREB1B* és az *OsDREB2A* expresszióját a *MYBS3* lefelé szabályozza. **C** - A MAPK kaszkádot (*OsMKK6*-*OsMPK3* és *OsMPK6*) ROS aktiválja, és az *OsTRX23* negatívan szabályozza. A folytonos nyilak közvetlen aktiválódást jeleznek; a szaggatott nyilak közvetett aktiválódást; a vonalak, amelyek egy vonallal végződnek, negatív szabályozást jeleznek. Az ábra Zhang *et al.* 2014 nyomán készült.

A ROS-ok (szuperoxid $-O^{2-}$, hidrogén-peroxid $-H_2O_2$, hidroxilgyök $-OH^{\cdot}$), olyan kémiai-lag reaktív, oxigént tartalmazó molekulák, amelyek kis mennyiségben a növényi sejtek anyagcsere-jének normális melléktermékeként keletkeznek, főként olyan organelumokban, mint a kloroplasztisz, a mitokondrium és a peroxiszóma. Azonban mind a biotikus, mind az abiotikus stressz-hatások túlzott ROS-termeléshez vezethetnek, amelyek aztán gyorsan reagálhatnak a fehérjékkel, a DNS-sel és a lipidekkel, így oxidatív károsodást okozva (Mittal *et al.* 2012). A kloroplasztiszokban a ROS az elektrontranszportlánc túlzott redukcióját okozhatja, korlátozhatja a CO_2 -fixálást, és zavarhatja a fotoszintetikus folyamatot. A ROS-ok a mitokondriumokban lévő elektrontranszport-láncre gyakorolnak hatást, míg a többszörösen telítetlen lipideket lebontva MDA-t, egy reaktív aldehidet képeznek, amely toxikus stresszt indít el a sejtekben, és ezt követően sejtműködési zavarokat és szövetkárosodást okoz (Mittler 2002). Így minden olyan folyamat, ami a keletkezett

szabadgyököket megköti/eliminálja, a növény adaptív mechanizmusa közé tartozik. A különböző peroxidázok (pl. guajakol-peroxidáz, aszkorbát peroxidáz, glutation peroxidáz), glutation-S-transzferázok, valamint a kataláz növekvő aktivitása a növény enzimatikus védelmi rendszerét képezik. A nem enzim jellegű antioxidánsok általában alacsony molekulású anyagok, melyek az enzimes rendszer működését hatékonyan egészítik ki. Ide tartozik a zsírdékony E-vitamin, ami a hidroxilgyök és a lipidperoxidok kiiktatásában vesz részt, de kulcsfontosságú a vízdékony redukált glutation és az aszkorbinsav, valamint a flavonoidok, karotinoidek is (Szöllősi 2012).

Az alacsony hőmérsékleti stressz a kompatibilis ozmolitikumok (prolin és oldható cukrok) felhalmozódását is előidézi, amelyek hozzájárulnak az ozmotikus alkalmazkodáshoz (Zhang *et al.* 2014). A prolin olyan aminosav, ami a stressz fellépésekor sokféle funkciót betölt, többek között a nitrogén tárolásában, a sejtmembrán védelmében és a ROS-ok semlegesítésében. A prolin jelátviteli molekulaként is működik, amely stressz hatására szabályozza a sejtproliferációt, a sejthalált és a génextpressziót (Szabados és Savouré 2010). Az oldható cukrok (szacharóz, hexóz, raffinóz, glükóz, fruktóz és trehalóz) szintén számos módon védik a növényi sejteket a károsodástól, többek között azáltal, hogy ozmoprotektánsként működnek, szénvázat és energiát biztosítanak más szerves vegyületek szintéziséhez, és a lipid kettősréteggel való kölcsönhatás révén védik a membránokat (Liu *et al.* 2018). Számos tanulmány kimutatta, hogy a cukorfelhalmozással kapcsolatos gének expressziója növeli a hidegtűrészt (Rosa *et al.* 2009, Kim és Tai 2011).

5. ANYAG ÉS MÓDSZER

5.1 Sótűrésési vizsgálatok

5.1.1 A felhasznált növényanyag

A kísérletekhez a növényi anyagokat a MATE, KÖTI-ÖVKI Galambosi Rizskísérleti Telepe által fenntartott rizsfajtagyűjtemény szolgáltatta. Hét *japonica* fajtát ('Dunghan Shali', 'Risabell', 'M 488', 'Janka', 'Dáma', 'Nembo' és 'Sprint') és egy *indica*-t ('Dular') választottunk ki a tesztelésre. A kiválasztás főbb szempontjai az alábbiak voltak: A 'Dunghan Shali' a gyors vegetatív fejlődésének köszönheti, hogy számos környezeti stressz mellett is képes fenntartani növekedési erélyét. Emiatt külföldön is számtalan helyen alkalmazzák referenciaként (Saruyama és Tanida 1995, Ohta *et al.* 2004, Abe *et al.* 2012). Az 'M 488' és a 'Janka' napjaink legnépszerűbb fajtái hazánkban, a magyar rizsföldek több mint 70 százalékán termesztik. Ismereteink azonban erről a két fajtáról többnyire szóbeli közlésekre/tapasztalatokra korlátozódnak. A 'Dáma' az első biotechnológiai módszerrel (portoktenyésztéssel előállított dihaploid) előállított rizsfajta (Heszky *et al.* 1996). A 'Nembo' és a 'Sprint' olasz nemesítésű intenzív fajták, amelyekről Frouin *et al.* 2018 megállapította, hogy az utóbbi toleráns, míg az előbbi érzékenynek mondható sótűrésük szempontjából. A fajták csoportosítása eredetük és alfaj szerint történt. Az *indica* alfajba a trópusi eredetű 'Dular', a *japonica_1* csoportba a magyarországi *japonica* fajták ('Dunghan Shali', 'Risabell', 'M 488', 'Janka', 'Dáma'), míg a *japonica_2*-be az olaszországi fajták kerültek ('Nembo' és 'Sprint').

5.1.2 Csírázáskori sóttűrés

Vizsgálatunkban összesen 5760 magot vizsgáltunk a csírázási szakaszban (8 fajta, 6 kezelés és 3 ismétlés, ismétlésenként 40 szem). A csírázási tesztet klímakamrában (Binder Climatic/Photostability Test Chamber KBWF 240, Németország) végeztük. Mivel az *indica* alfajba tartozó rizsfajták magasabb nyugalmi idővel rendelkeznek, mint a *japonica* rizsfajták (Ellis és Roberts 1978, Ellis *et al.* 1983, Nasim *et al.* 2000) különösen a Dular fajta esetében (Seshu és Dadlani 1991), így ennek megfelelően a magvak kétnapos előkezelését alkalmaztuk 50°C-on, hogy megtörjük a magvak nyugalmi állapotát (Gregorio *et al.* 1997). A szemeket 10%-os NaCl-os oldatban szétválasztottuk egészséges és léha szemekre, majd ezután az egészséges szemek felületét fertőtleníttük 5%-os NaClO oldattal 10 percig. A csíráztatást Petri csészében végeztük el, 2 db szűrőpapír segítségével. A klímakamrát 30°C-os nappali, és 25°C-os éjszakai hőmérsékletre állítottunk be 12 órás ciklusokban. A sós kezelést desztillált vízzel és NaCl-dal végeztük el a következő koncentrációkban: 0 mM, 30 mM, 60 mM, 90 mM, 120 mM és 150 mM. Az elkészült oldatok pH-ját, elektromos vezetőképességét (EC) és hőmérsékletét az 3. táblázat tartalmazza.

3. táblázat: A kezelésként használt oldatok fizikai paramétereit: az oldat vezetőképessége (EC), pH, hőmérséklet (T).

	EC (dS/m)	pH	T (°C)
0mM	0,19	6,76	21,9
30mM	3,33	6,83	21,5
60mM	6,26	6,58	21,2
90mM	9,08	6,51	21,9
120mM	11,82	6,49	21,8
150mM	14,52	6,51	21,8

Kísérletünk során a magot kicsírázottként tekintettük, ha a gyököcske hossza elérte az 1 mm-t. A kicsírázott magvak számát négy napon keresztül minden hatodik órában regisztráltuk.

A vizsgálat során az alábbi paramétereket használtunk fel a kiválasztott rizsfajták csírázási dinamikájának leírására:

- Csírázási százalék (GP): a negyedik napon kicsírázott magvak száma/összes magszám *100
- A nyugalmi időszak hossza (DT): a magvak nyugalmi időszaka, a napok száma a csírázás elindulásáig
- Medián csírázási idő (MGT): a csírázás 50%-ához szükséges idő (Czabator 1962, Thompson 1970, Simon *et al.* 1976, Coolbear *et al.* 1984, Drake 1993, Ranal 1999):

$$MGT = t_i + (N/2 - n_i) - (t_j - t_i) / (n_j - n_i),$$

ahol N a kicsírázott vagy kikelt magvak végső száma, n_j és n_i pedig az egymást követő számlálások alkalmával kicsírázott magok összesített száma t_j (nap), illetve t_i (nap) időpontokban, amikor $n_i < N/2 < n_j$.

- Csírázás sebessége: $R_{50} = 1/MGT$ (Labouriau 1983, Gombos 2008)
- A csírázás sebességének gátlásának küszöbértéke: $IC_{10,50} = R_{50} * 0,9; 0,5$. Az a koncentráció, ahol az R_{50} a kontrollhoz képest 10%-kal és 50%-kal csökken (Bertazzini 2014, Bertazzini *et al.* 2018).

- Gyökér- és hajtáshosszmérés (RL, CL): a csíranövényeket a 7. napon, vonalzó segítségével mértük meg.

5.1.3 Csíranövénykori tesztelés

A csíranövény kori sótűrési tesztet az IRRI módszere alapján végeztük el (Gregorio *et al.* 1997). A növényeket Yoshida tápoldatban (Yoshida *et al.* 1976) neveltük 4 leveles állapotáig, majd ezt követően 12 dS/m NaCl-os tápoldatra cseréltük a tápoldatot. A kiértékelés a kezelést követő 10. napon történt meg. A vizsgálat során 17 paramétert használtunk a kiválasztott rizsfajták fiziológiai változásának leírására:

- Biomassza paraméterek: hajtás (SDW), gyökér (RDW) és teljes (TDW) biomassza száraz tömeg
- Membránstabilitási index (MSI) meghatározásához Mishra *et al.* 2018 protokollját követtük, ahol $MSI = (1 - EC_1 / EC_2) * 100$. Az EC_1 a kezdeti ionkiáramlást, EC_2 pedig a teljesen roncsolt szövet ionkiáramlását jelenti.
- Gyökér életképesség (RV): A gyökér életképességi indexet a gyökér dehidrogenáz aktivitása alapján számítottuk ki, a trifenil-tetrazólium-klorid (TTC) reakciója alapján (Szalai 2009). A kalibrációs görbét a trifenil-formazán (TF) koncentrációjának 484 nm-en végzett abszorbancia mérései adták.
- A pigmenttartalom meghatározása Sims és Gamon 2002 módszere szerint történt. Az antocianin tartalom $\mu\text{mol/g}$ -ban, a klorofill és karotinoid tartalom pedig mg/g -ban van kifejezve.
- A nátrium- és káliumtartalmat (mmol/g) Thermo Scientific Solaar M6 atomabszorpció s spektrofotométerrel mértük. A Na és K koncentrációja alapján kiszámítottuk a Na/K arányt és a K/Na szelektivitás értékét $S_{K,Na} = (K \text{ tartalom} / [K] \text{ oldat}) / (Na \text{ tartalom} / [Na] \text{ oldat})$ (Zeng 2005), valamint a hajtás és gyökér nátrium tartalmának hányadosát (S_{Na}/R_{Na}) (De Costa *et al.* 2012).

5.1.4 A sótűrés vizsgálata a reprodukciós fázisban

A reprodukciós fázis alatti sótolerancia mértékét egy tenyészedényes üvegházi kísérlettel határoztuk meg. A kísérlet előkészítése során Gregorio *et al.* 1997 módszerét követtük. A vizsgálat a fajták rövid-, és hosszútávú stresszválaszaira egyaránt koncentrált. A rizs teljes élettartama alatti sótolerancia a hosszabb távú adaptációs lehetőség miatt közelebb áll a termelési gyakorlathoz, és nagyobb gyakorlati jelentőséggel bír, mint az egyes fejlődési stádiumok különböző eredményei (Qin *et al.* 2020). A kísérletben 90 literes műanyag ládákat használtunk, melybe 50 kg kezeletlen talajt töltöttünk, ami reprezentálja a mai Magyarországi rizsföldek minőségét. Ezt a talajt kontrollként használtuk, hogy szimuláljuk a fajták szántóföldi teljesítményét. A sókezelést húsz liter 12 dS/m NaCl-os vízzel hajtottuk végre, mivel az enyhe sóstressz nem eredményez jelentős változást az *indica* csoportban (Ahmadi *et al.* 2011, Frouin *et al.* 2018, Rohila *et al.* 2019). Az első kezelést (S1) a folyamatos sóstressz érdekében 4 leveles állapotban indítottuk el, a másodikat (S2) pedig reprodukciós fázis alatt (BBCH 37-43) A vízszintet a tenéyzsidőszak alatt a talajfelszín felett 1 cm-rel tartottuk (Gregorio *et al.* 1997). A talaj- és vízjellemzőket az 4. táblázat foglalja össze.

4. táblázat: Az árasztóvíz (EC25) és a talajkivonat (ECe25) 25°C-ra korrigált elektromos vezetőképessége, valamint a talaj Na tartalma a kontroll és a kezelt tenyészedényekben.

Víz		Talaj			
EC25(dS/m)		ECe25 (dS/m)		Na ⁺ (mg/kg)	
Kontroll	Stresszelt	Kontroll	Stresszelt	Kontroll	Stresszelt
1,41	4,27	3,80	8,39	344	1000

A talaj elektromos vezetőképességet hetente ellenőriztük 1:5 arányú talaj : víz mintákban. A talajkivonat 25°C-on mért vezetőképességét (EC₂₅) használtuk a talaj sótartalmának kifejezésére (Bado et al, 2016). A kísérlet során a vegetatív és a terméshozamhoz kapcsolódó paramétereket határoztunk meg, összesen 25 különböző paramétert (M7-M9. táblázat): A hajtás (SDW) és gyökér (RDW) biomassza adatokon túl az MSI- és pigmenttartalmat a zászlóslevél alatti levélből, a Na- és K-tartalmat zászlóslevelekből, szemekből és gyökerekből határoztuk meg. Továbbá a bugák hosszát (PL), a növényenkénti bugaszámot (NP), a kitelt szemek számát (NofF), az üres szemek számát (NofUF), a termékenységet (F%), a termés mennyiséget, és a 100 szem tömeget (KW) számítottuk ki.

5.2 Hidegtűrési vizsgálatok

5.2.1 A felhasznált növényanyag

Az előkísérlethez 7 fajtát választottunk ki ('Dunghan Shali', 'Dular', 'IRAT 109', 'Janka', 'Nembo', 'Sandora', 'Sprint') hogy a hidegstresszre adott válaszok széles skáláját képviseljék. Különösen a következő kiválasztási ismérveket vettük figyelembe: hidegtűrés/érzékenység, származási ország és alfajok (*indica*, *japonica*, *tropical japonica*, 5. táblázat).

5. táblázat: A hidegtűrési előkísérlet során felhasznált fajták nevei, származási országa, fajtacsoportja és toleranciafoka alacsony hőmérséklettel szemben.

Fajta	Eredet	Fajtacsoport	Hidegtűrés
Dunghan Shali	Magyarország	<i>japonica</i>	Toleráns
Dular	India	<i>indica</i>	Érzékeny
IRAT 109	Elefántcsontpart	<i>tropical japonica</i>	Mérsékelten érzékeny
Janka	Magyarország	<i>japonica</i>	nincs adat
Nembo	Olaszország	<i>japonica</i>	Toleráns
Sandora	Magyarország	<i>japonica</i>	Toleráns
Sprint	Olaszország	<i>japonica</i>	nincs adat

Az előkísérlet után a MATE-ÖVKI 164 darab genotípust tartalmazó fajtagyűjteményét teszteltük alacsony hőmérsékleti csírázóképessegre és csíranövénykori klorofill degradációra. A fajták részletes adatait (származási ország, fajtacsoport besorolás) az M10-es táblázat tartalmazza.

5.2.2 Csírázáskori tesztelés

A különböző genotípusok hidegtűrésének meghatározásához először a megfelelő tesztelési hőmérséklet kiválasztása szükséges. Ennek megállapításához egy előkísérletet végeztünk el: 10°C, 12°C, 13°C és 15°C-on, ami Najeeb *et al.* 2021 szerint az a határ, amelyen a rizs csírázása gátlódik. Az előkísérlet során 3 ismétlésben 40 felületsterilizált magot két szűrőpapír között Petri csészében

csíráztattunk 28 napig egy Lovibond TC 256 G típusú 0,1°C-os pontosságú hűthető termosztátban. A megfelelő nedvességet desztillált vízzel biztosítottuk. Az összehasonlításához a medián csírázási időt (MGT) vettük alapul.

Az előkísérlet után 13°C-on csíráztattuk a genotípusokat, ugyanolyan körülmények között. A szemek előkezelése a sótűrési vizsgálatoknál ismertettek szerint történt. 10% NaCl-ot tartalmazó oldatban szétválasztottuk az egészséges és léha szemeket. Az elválasztás után 5%-os NaOCl oldatban 10 percig felület sterilizáltuk, majd a fentebb említett hűthető termosztátban 3 ismétlésben 40 szemet helyeztünk el Petri csészékbe. A kísérlet 28 napig tartott, és minden 7. napon történt a szemek felvételezése. Kicsírázottnak 1mm-es gyököcskével rendelkező szemeket tekintettünk. Az összehasonlításához használt paraméterek a következők voltak:

- Medián csírázási idő (MGT): A sótűrésnél említett számolás módot alkalmaztuk.
- Csírázási százalék (GP): a negyedik héten kicsírázott magvak száma/összes magszám *100
- Csírázási Index (GI): $GI = (N_{14} + N_{21} / 2) / 40 \times 100$, ahol N_{14} és az N_{21} a kicsírázott szemek száma a 14. és a 21. napon, 40 a teljes szemszám genotípusonként és ismétlésenként (Cruz és Milach 2004).
- Gyökér- és hajtáshosszmérés (R%, C%) Az 5mm-nél hosszabb hajtások és gyököcskék százalékos aránya (Cruz és Milach 2004).

5.2.3 Csíranövénycori tesztelés

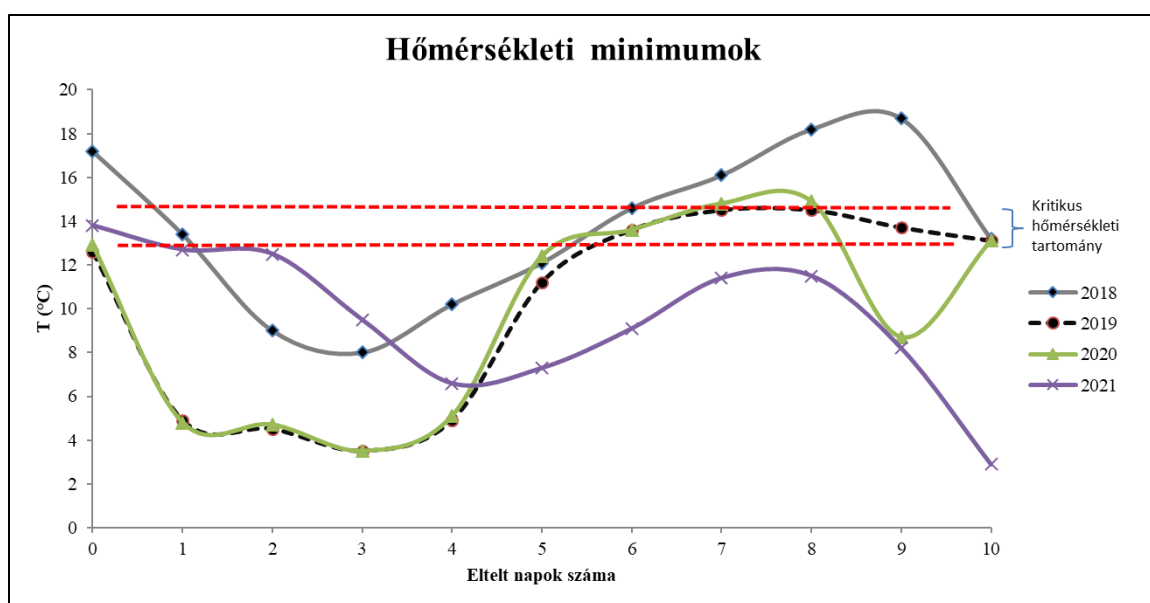
A hidegtolerancia mértékét egy természetes lehülési periódus ideje alatt fellépő klorofill-tartalom változásával követtük nyomon szántóföldi körülmények között, összesen négy év alatt. A mérésekhez egy Konika Minolta SPAD 502 eszközt (2018, 2019 és 2020-ban), és CID Bio-Science levél spektrométert (2021-ben) használtunk. A meteorológiai adatokat Boreas Agromet-Solar automata meteorológiai állomások biztosították (4. ábra), a talaj hőmérsékleti viszonyait pedig DeltaT SM150T (Cambridge, Egyesült Királyság) talajnedvesség és hőmérsékletérzékelő szondák szolgáltatták, GP1 adatrögzítővel. A hidegtűrési vizsgálatok során genotípusonként 60-60 db szem került elvetésre egy-egy 1 méteres sorba. Az alkalmazott növénytermesztési technológia az általános üzemi technológiát követte (3–4 cm vetésmélység, preemergens gyomirtás és kelesztő árasztások). A kísérlet során 164 genotípust használtunk fel (M10.táblázat). A méréseket a növények 2-3 leveles állapotában végeztük el. Minden genotípus esetén 10 biológiai ismétléssel dolgoztunk. A kísérlet 10 napig tartott, a nulladik időpont a természetes lehülési periódus kezdete, egyben a kísérlet kezdetét is jelentette, az 5. napon történt az első mérés, közvetlenül a lehülési periódus után, míg újabb öt nap után a 10. napon. A kísérlet négy éve alatt fennálló napi hőmérsékleti minimumok az 4. ábrán láthatóak. 2021-ben a levélspektrométerrel a klorofilltartalom mennyiségét az alábbi képlet segítségével számoltuk ki Parry *et al.* 2014 nyomán:

CPHLT – Chlorophyll TOTAL ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$): $CPHLT = (8,2 * A663) + (20,2 * A645)$

A fajtákat a klorofillváltozás mértéke alapján öt kategóriába soroltuk (6. táblázat). Az esetleges mérési bizonytalanság elkerülése végett 1 egységnyi változást nem tekintettünk jelentős különbségnek. Az így nyert reakciókat és eloszlásokat a kísérletünkben is szereplő, a szakirodalom által is bizonyított, hideg toleráns fajták ('M202', 'Sandora') értékeihez viszonyítottuk.

6. táblázat: A relatív klorofill tartalom (SPAD, 2018,2019, 2020) és a klorofilltartalom ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$; 2021) változása alapján felállított kategóriák az egyes genotípusokreakcióinak elkülönítésére

Kategória	Változás	Magyarázat
1.	>+1	Klorofilltartalom emelkedés legalább 1 egységgel
2.	+1(-1)	Nem tapasztalható jelentős változás
3.	-1(-2)	Klorofilltartalom csökkenés 1-2 egységgel
4.	-3(-5)	Klorofilltartalom csökkenés 3-5 egységgel
5.	>-5	Klorofilltartalom csökkenés > 5 egységgel



4. ábra: A kísérlet négy éve alatt mért minimum hőmérsékleti viszonyok, valamint a kritikus hőmérsékleti tartomány (13-15 °C) viszonya.

5.3 Statisztikai értékelés

A matematikai alapelemzések kiszámítását Microsoft Excel (2016) segítségével végeztük el. A csíráztatási kísérletekben (só és hideg) 3 ismétlést használtunk. A csíranövény kori sótűrési vizsgálatokban 5 ismétlés, a hidegtűrés esetén 10 mérés átlagainak szignifikancia szintjeit „IBM SPSS 22” szoftverrel elemeztük. A kezelések (só, hideg) hatásait MANOVA módszerrel vizsgáltunk meg. Szignifikáns kezeléshatás detektálása után a genotípus, a kezelés és a genotípus x kezelés interakciós hatásait kéttényezős varianciaanalízissel, ANOVA-val teszteltük. Szignifikáns eredmény esetén a kezelési átlagok közötti különbségeket post hoc Tukey, vagy Games-Howell módszerrel állapítottuk meg. A paraméterek közötti korrelációt Pearson módszerrel számoltunk a különböző tulajdonságok közötti kapcsolat erősségének becslésére. A csíranövénykori hidegtűrés esetén a kezelés szignifikáns különbözőségét a kontroll időponthoz viszonyítva a Dunnett próbával

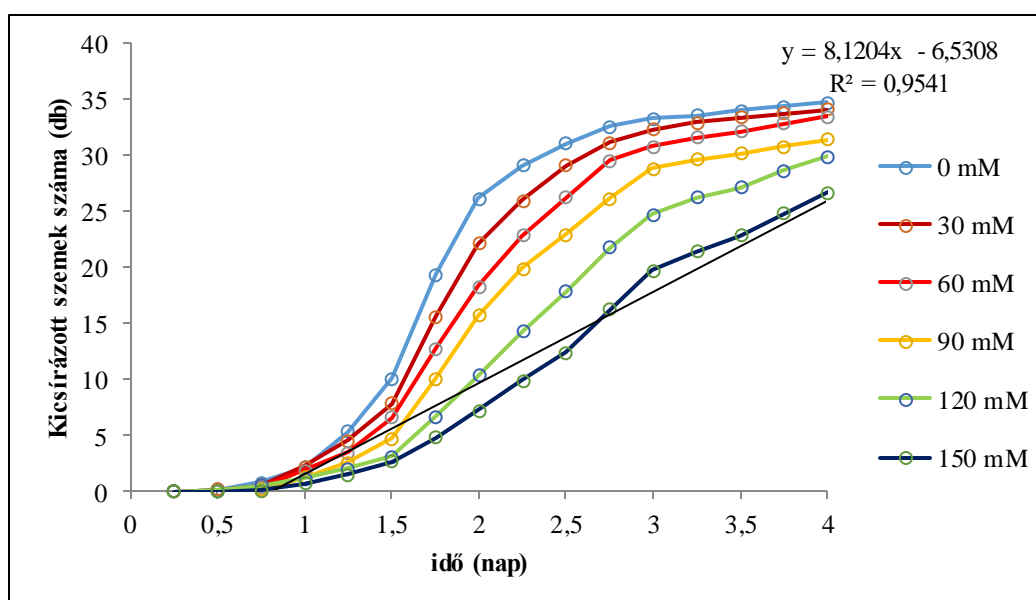
állapítottuk meg. A kezelések, a fajták és a vizsgált évek további összehasonlításához főkomponens-analízist alkalmaztunk, az adatok standardizálása után. A fajtacsoportok összehasonlításakor azon genotípusokat, amelyekről nem állt irodalmi adat a csoportbesorolásról, kizártuk az elemzésből. Az adatok vizualizációját a korrelációs adatok esetén, a szabadon felhasználható DisplayR online platformmal jelenítettük meg, a többi diagram esetén Microsoft Excelt (2016) és a Tableau (2020) programot használtuk.

6. EREDMÉNYEK ÉS MEGVITATÁSUK

6.1 Sótűrési vizsgálatok

6.1.1 Csírázáskori sótűrés

A csírázási százalék a kontroll esetében a gyors felütást követően egy telítési görbét ír le. Ez alátámasztja Gombos 2008 méréseit, aki megállapította, hogy a matematikai modellek közül a csírázás időben a Gompertz eloszlást követi. A növekvő sókoncentráció hatására ez az eloszlás laposabbá vált, olyannyira, hogy a legmagasabb koncentráció esetén az összefüggés a csírázási százalék és az idő között csaknem lineáris volt ($y = 20,301x - 16,327$; $R^2 = 0,9541$; 5. ábra).



5. ábra: A kicsírázott szemek számának alakulása a kísérlet során 6 különböző NaCl koncentráció esetén.

A csírázási adatok sokváltozós ANOVA elemzésének alapján, mind a sókoncentrációnak (Wilks' Λ =0,077; $F(20;306)=17,817$; $p=0,000$), mind a fajtának (Wilks' Λ =0,000; $F(28;333)=87,696$; $p=0,000$) valamint interakciójuknak is (Wilks' Λ =0,019; $F(140;369)=4,451$; $p=0,000$) szignifikáns hatása van a csírázás folyamatára. Továbbá, az egyes csírázási paraméterekre vonatkoztatva is hasonló megállapítást tehetünk, tehát szignifikáns kezeléshatást detektálhatunk minden esetben (M1 táblázat). Ezen kívül a csírázási paramétereken külön-külön végzett fő komponens analízis eredményei is megerősítik mindezt. A változók számának csökkentésével két fő komponenset azonosítottunk, amelyek együtt a variancia 82,32%-át magyarázzák (KMO = 0,659; Sig:0,000; M2 ábra). Erre a megállapításra jutott Farid *et al.* 2021, akik 120mM-os koncentrációnál igazolta a szignifikáns stresszhatást.

A növekvő sókoncentráció hatására a fajták átlagában a nyugalmi periódus (DT) és a medián csírázási idő (MGT) szignifikáns mértékben növekszik, míg a csírázási százalék (GP), a csírázási sebesség (GR), a koleoptil (CL) és a gyököcske hossz (RL) szignifikáns mértékben csökken.

Ez megerősíti a korábbi tapasztalatokat, hogy az emelkedő sóstressz késlelteti a csírázást (Rahman *et al.* 2001), továbbá negatívan befolyásolja a GP, GR, CL és RL paramétereket is (Abbas *et al.* 2013, Ghoneim *et al.* 2015). A Pearson korreláció mértéke a sókoncentráció és a vizsgált paraméterek között laza vagy közepes (7. táblázat), ami arra utalhat, hogy az egyes fajták között jelentős különbségek várhatóak. Ezt alátámasztja a fajták főkomponens elemzése is, hisz a fajták között nincs átfedés, jól elkülöníthetők egymástól (KMO = 0,800, Sig:0,000, M3 ábra).

7. táblázat: A vizsgált paraméterek Pearson-féle korrelációs együtthatói, a sókoncentráció növekedésével. A ** szignifikáns különbséget mutat $p < 0,01$ szinten.

	DT	GP	MGT	GR	PL	RL
Koncentráció	0,386**	-0,419**	0,433**	-0,446**	-0,684**	-0,513**

A nyugalmi periódus a koncentráció növekedésével a 90mM-os értékig nem változik jelentősen, utána viszont szignifikáns mértékben növekszik (8. táblázat). A legrövidebb nyugalmi periódussal a 'Dunghan Shali' fajta rendelkezik, átlagosan 0,42 napra volt szüksége a csírázás megindulásához, és csak a legnagyobb koncentráció esetében volt jelentősen magasabb (0,75). Azonban ez az érték például a 'Nembo' vagy az 'M 488' kontroll értékének felel meg. A leghosszabb DT-vel a 'Sprint' (1,51 nap) és a 'Dular' (2,19 nap) fajták rendelkeznek.

8. táblázat: A nyugalmi periódus hossza (DT, nap) a sókoncentráció függvényében. A kisbetűk szignifikáns különbséget jeleznek a koncentrációk között, míg a nagybetűk a fajták közötti szignifikáns különbséget jelentik $p < 0,05$ szinten.

Fajta	Koncentráció						Átlag
	0mM	30mM	60mM	90mM	120mM	150mM	
Dáma	0,92a	1,00a	1,00a	1,33a	1,42b	1,25a	1,15B
Dular	1,42a	1,75ac	1,92abc	2,08abc	2,92bc	3,08c	2,19D
D. Shali	0,33ab	0,25a	0,42ab	0,42ab	0,33ab	0,75b	0,42A
Janka	0,92a	1,08a	0,92a	1,25a	1,42a	1,25a	1,14B
M 488	0,75a	0,92a	0,75a	0,83a	1,17a	1,00a	0,90B
Nembo	0,75a	0,75a	0,92a	0,75a	1,25ab	1,50b	0,99B
Risabell	0,83a	0,92ab	0,83a	0,92ab	1,33bc	1,42c	1,04B
Sprint	1,42a	1,25a	1,42a	1,50ab	1,58ab	1,92b	1,51C
Átlag	0,99a	0,99ab	1,02ab	1,14abc	1,43bc	1,52c	

A csírázási százalék esetében szintén csak a magasabb koncentrációknál látunk szignifikáns csökkenést a fajták átlagában (9. Táblázat). A fajták közötti összehasonlítás során kiderül, hogy két fajtánál ('Sprint' és 'Dular') a többihez viszonyítva jelentős a só csírázásgátló hatása, három fajta esetében ('M 488', 'Janka' és 'Dunghan Shali') viszont a 150mM sem okozott gátlást. Nemzetközi összehasonlításban ezen értékek igen magasnak mondhatók. Mivel 4000ppm (68mM) sóterhelés mellett a toleráns genotípusok 67-71%-ot, míg az érzékenyek 27-31%-ot teljesítenek Diaguna *et al.* (2017) szerint, addig 12 dS/m stressz esetében a toleránsok már csak 60,5%-ot (Hakim *et al.* 2010). Viszont Ologundudu *et al.* (2014) 15 dS/m-nél 68,4%-ot tapasztalt. A leginkább sótűrő fajtának számító Pokkali, amit rendszeresen használnak sótűrési sztenderdként, 36 különböző vonalainak tesztelése alapján Senanayake (2017) szintén 71% -os csírázást tapasztalt 12 dS/m mellett. Ez a koncentráció méréseink szerint 120mM-nak feleltethető meg (3. táblázat),

így ezen a szinten mért csírázási százalékot számos fajta meghaladta ('Risabell', 'M 488', 'Janka', 'Dunghan Shali' és 'Nembo', 9. táblázat).

9. táblázat: A csírázási százalék (GP, %) a koncentráció függvényében. A kisbetűk szignifikáns különbséget jeleznek a koncentrációk között, míg a nagybetűk a fajták közötti szignifikáns különbséget jelentik $p < 0,05$ szinten.

Fajta	Koncentráció						Átlag
	0mM	30mM	60mM	90mM	120mM	150mM	
Dáma	95,00a	94,17a	86,67ab	84,17ab	78,33b	65,83c	84,03A
Dular	67,50a	72,50a	42,50ab	22,50ab	30,00b	17,50c	20,83C
D. Shali	87,50a	95,83a	95,00a	92,50a	89,17a	86,67a	91,11A
Janka	89,17a	81,67a	82,50a	85,83a	84,17a	81,67a	84,17A
M 488	88,33a	88,33a	89,17a	83,33a	81,67a	79,17a	85,00A
Nembo	96,67a	90,83a	90,83ab	87,50ab	85,00b	66,67c	86,25A
Risabell	95,83ab	97,50a	97,50a	88,33bc	88,33bc	82,50c	91,67A
Sprint	89,17a	85,83a	75,00ab	70,83b	60,83bc	47,50c	71,53B
Átlag	84,79a	83,02ab	80,94ab	76,35ab	71,56ab	64,27b	

A medián csírázási idő és csírázás sebessége (M2 és M3 táblázat) is alátámasztja azt a következtetést, amit az előbbi két paraméterrel (DT és GP) állapítottunk meg. A 'Dunghan Shali' rendkívül rövid nyugalmi idővel rendelkezik, gyors medián csírázási idejével nagy csírázási százalékot képes elérni a lehető legkisebb károsodással. Így jelentős mértékben emelkedik ki a vizsgált fajták közül: GR értéke 0,94 volt a kontrollnál és 0,72 a legmagasabb sókoncentráció esetében. A fajták átlagában azonban a GR 0,58 (kontroll) és 0,37 (150mM) között változott. Basmati rizsszel végzett kísérlet során (Khan *et al.* 2014) hasonló eredmény született: 0,65 volt kontroll körülmények között, míg 150 mM mellett ez 0,4-re csökkent.

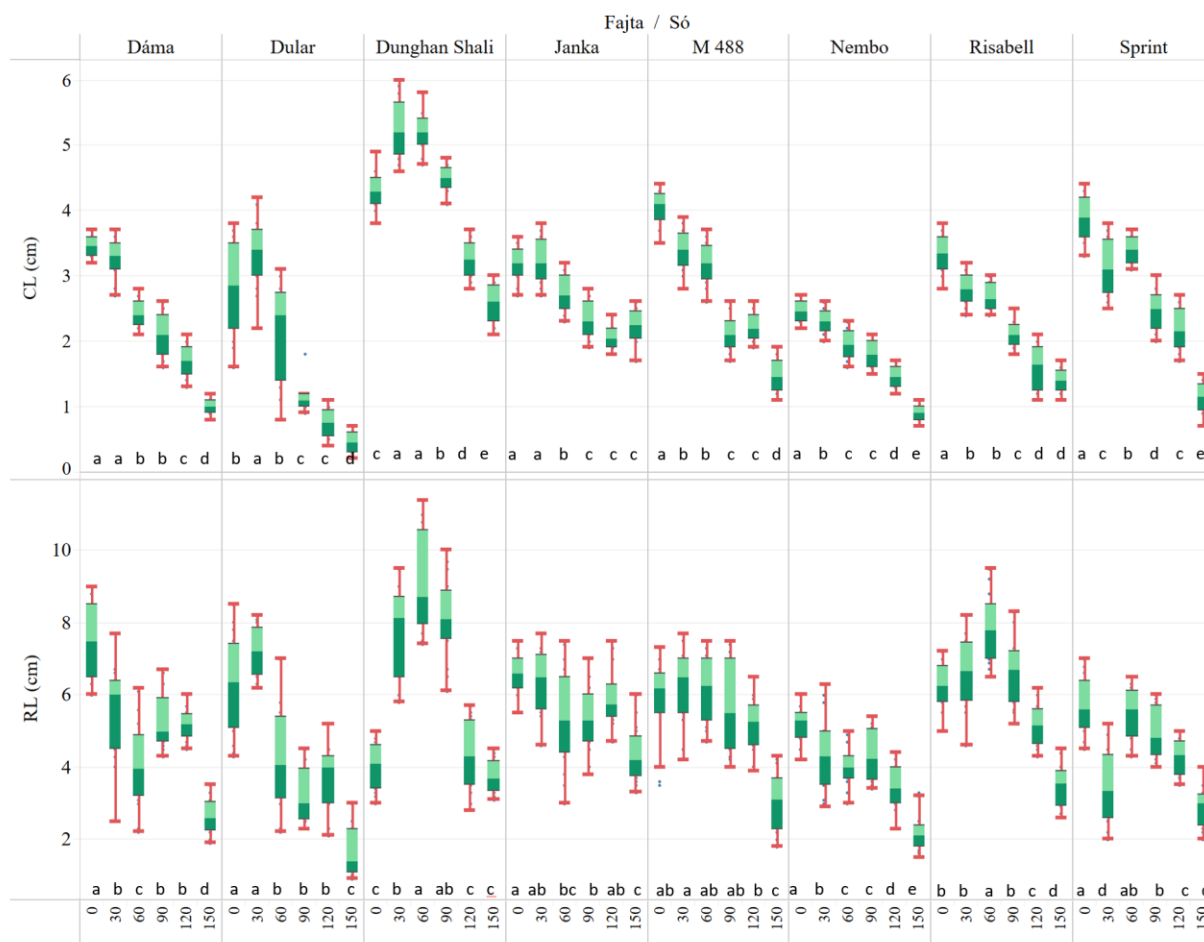
A sóstressz csírázásgátló és károsító hatásainak pontos meghatározásához a károsodás küszöbértékét is ismerni kell a fajták pontos összehasonlításához (Hoang *et al.* 2016). A küszöbérték alatt 10%-os, és 50%-os károsodást értünk, ami a kontroll 90%-nak és 50%-nak felel meg (Bertazzini 2014, Bertazzini *et al.* 2018, Zhang *et al.* 2021). Az M3 táblázat alapján, a kontroll értéket 100%-nak tekintve meghatározható az a küszöbkoncentráció, ami 10%-os, és 50%-os gátlást okoz a csírázás sebességében (6. táblázat). Az átlagos küszöbérték 4,86 dS/m volt, ami alátámasztja Asch és Wopereis (2001) eredményét, akik nem tapasztaltak nagyobb csökkenést 4 dS/m sótartalomig. Bertazzini (2014) osztályozása alapján az érzékeny vonalak 50%-os károsodási küszöbértéke 14-16 dS/m, míg a toleráns fajtáké 18-20 dS/m. Ennek alapján a következő besorolást alkalmazhatunk az általunk vizsgált fajták esetében: 'Dáma'; 'Dular'; 'Nembo' és a 'Sprint' az érzékenyek csoportjába, míg 'Janka', 'M 488', 'Risabell' és különösen a 'Dunghan Shali' a toleránsok közé sorolható (10. táblázat).

10. táblázat: 10%-os és 50%-os károsodási sókoncentrációk a különböző fajták esetében.

Fajta	Károsodási küszöbérték (dS/m)	
	10%	50%
Dáma	3,48	14,31
Dular	3,30	12,96
D. Shali	7,58	29,76
Janka	5,29	22,44
M 488	4,87	24,15
Nembo	4,79	16,22
Risabell	4,51	20,20

Sprint	5,05	17,74
Átlag	4,86	19,72

A csírázást követően nemcsak a csírázási képesség néhány paraméterét határoztuk meg, hanem a növekedési paramétereket is, hiszen e paraméterek változatos sóstresszek esetén is jó indikátoroknak bizonyultak (Reddy *et al.* 2014). Ennek leírásához a hajtás (Koleoptil hossz - CL) és gyökérhossz (Radicula hossz - RL) méréseket végeztünk (6. ábra).



6. ábra: A különböző fajták koleoptil (CL) és radicula (RL) hossza (cm) a növekvő sókoncentráció függvényében (0mM-150mM). A különböző betűk szignifikáns különbséget jelentenek a koncentrációk között.

Megfigyelésünk alapján mind a koleoptil, mind a radicula növekedése az emelkedő sóstressz hatására csökken. Ezt számos korábbi publikáció jelentette (Hakim *et al.* 2010, Girma *et al.* 2016, Diagona *et al.* 2017, Tran Thi Huong Sen *et al.* 2017). Viszont a 'Dunghan Shali' fajta esetében, szignifikánsan nagyobb értéket mértünk még 90mM-nál is mind a hajtás ($4,57 \pm 0,21$), mind a gyökerek esetében ($8,27 \pm 1,11$, 6. ábra). Hasonló jelenséget tapasztunk a 'Risabell' fajtánál is, viszont az erőteljes gyökernövekedés nem járt a koleoptil növekedésével. Koncentráció független gyökernövekedés volt megfigyelhető az 'M 488' és a 'Janka' fajtáknál is, de itt sem jelentett erőteljesebb koleoptil növekedést. Jelentősebb növekedésgátlás a 'Dáma', 'Dular', 'Nembo' és 'Sprint' fajtáknál volt kimutatható, mind CL, mind RL esetében. Balkan *et al.* (2015) adatai alapján a CL és az RL a toleráns fajtáknál nem csökken egészen 8 dS/m-ig. Ennek alapján a 'Dunghan Shali' extrém toleráns, mérsékeltén sótűrő a 'Risabell', 'M 488' és a 'Janka', az érzékenyek közé sorolható pedig a 'Dáma', 'Dular', 'Nembo' és a 'Sprint'.

A fajtacsoportok közötti különbségeket tekintve szignifikáns különbséget detektáltunk az *indica* és *japonica* csoportok között (M1. ábra). Mind a négy paramétereknél (DT, GP, MGT és R50) koncentrációtól függetlenül az *indica* gyengébb teljesítménye figyelhető meg. A mediterrán fajtákat tartalmazó *japonica_2* és a magyarországi fajtákat összefogó *japonica_1* csoport között kontroll és az alacsonyabb sóstressz esetében nincs jelentős különbség, viszont a stressz növekedésével a különbség is növekszik (DT, MGT, GP). Legnagyobb különbség a két csoport között a csírázás sebességében és a gyökerek hosszában tapasztalható (M1 ábra).

6.1.2 Csíranövénykori sótürés

A rizsfajták reakciója a 12 dS/m NaCl-os tápoldatra nagy változékonyságot mutatott a csíranövénykori állapotában (M4. táblázat). Az *indica* típusú rizs teljes biomassza tömege magasabb volt (4,61 g), mint a *japonica* fajtáé (2,64 g). Ezen kívül statisztikailag szignifikáns különbségek voltak a két *japonica*-csoport között is (3,09 g a *japonica_1* és 1,83 g a *japonica_2* esetében). Általában a magasabb gyökértömeg magasabb sótartalom toleranciát eredményez (Platten *et al.* 2013). A fajták között a legnagyobb gyökértömeget a 'Dular' (1,29 g) és a 'Dunghan Shali' (0,79 g) fajta produkált (M4. táblázat). Több szerző is beszámolt arról, hogy a nagyobb biomassza, a gyorsabb növekedés miatt hígító hatással van a Na⁺ koncentrációra (Yeo *et al.* 1990, Pires *et al.* 2015). Eredményeink szintén alátámasztják ezt, hiszen a 'Dunghan Shali' esetében mutattuk ki az egyik legnagyobb biomasszát és a legalacsonyabb Na⁺ koncentrációt is.

A magasabb biomassza érték magasabb gyökéréletképességgel is társult a fajták többségénél, kivéve a 'Dular'-t. A gyökér dehidrogenáz aktivitása szignifikánsan magasabb volt a *japonica_1*-ben, mint a többiben. A fajták között a legmagasabb gyökéréletképességet a 'Dunghan Shali'-nál találtunk (83,19). Az MSI, amely a levelek sóstressz alatti membránsérülés által bekövetkezett ionkiáramlását fejezi ki, nem volt szignifikáns a csoportok között; viszont fajtakülönbségeket észleltünk. A legalacsonyabb értéket a 'Risabell' (70,5), a legmagasabbat a 'Dáma' érte el (90,94). Az összes klorofill és karotinoid tartalom *japonica_1* és *indica* között nem volt szignifikáns, de a *japonica_2* értéke volt a legalacsonyabb. Ezzel szemben az antocianintartalom szignifikánsan alacsonyabb volt a *japonica_1* csoportban, mint a másik két csoportban.

Eredményeink azt mutatják (10. táblázat), hogy a legalacsonyabb Na⁺ tartalom gyökérben 4 fajtánál ('Janka', 'M 488', 'Nembo' és 'Risabell'), hajtás esetében csak a 'Dunghan Shali'-nál volt. Legmagasabb értéket a 'Dular' (gyökér) és a 'Nembo' mutatott (hajtás; 10. táblázat). Ez alátámasztja Campbell és mtsai (2017) munkáját, akik magasabb gyökér Na⁺ tartalmat tapasztaltak az *indica* fajták esetében. Okaként az eltérő *HKT1;1* variációt jelölték meg, ami erőteljesebb transzportfolyamatot eredményezett (Campbell *et al.* 2017). A Na⁺ kizárása a hajtásból a talajoldattól a növény leveléig vezető út két pontján fordulhat elő (Schubert és Läuchli 1986). Az első, hogy a külső közegben lévő Na⁺-felesleg egy része a gyökérfelületen kizárható, és ezáltal megakadályozható, hogy a gyökérbe kerüljön. Ezért a gyökér Na⁺-koncentrációja jó indikátor a sóstressz alatt a gyökérfelület Na⁺-kizárásának mértékének becslésére. Ezenkívül a gyökérbe már bejutott Na⁺ megakadályozható, hogy elérje a hajtást a gyökérxilém parenchimánál, ennek megfelelően a hajtás és a gyökér Na⁺ (SNa/RNa) aránya alkalmas a hajtásból való Na⁺-kizáródás mértékének mérésére (De Costa *et al.* 2012). A toleráns rizsfajták több nátriumot köthetnek meg a gyökerekben (Cotsaftis *et al.* 2012).

A nátrium toxicitásának meghatározásához nem elegendő csak a hajtás Na⁺ koncentrációját meghatározni, annak ellenére, hogy a hajtások érzékenyebbek a sótartalomra, mint a gyökerek

(Munns és Tester 2008). Mind a gyökér, mind hajtás nátrium koncentrációja mellett azok kálium koncentrációja is kiemelten fontos. (Negrão *et al.* 2017). Ennek megfelelően 3 különböző arányt számoltunk ki: moláris alapon a Na/K arányát, ami az egyik leggyakoribb szelekciós index (Gregorio *et al.* 1997), a K/Na szelektivitási értéket (Zeng 2005) és a SNa/RNa arányt (De Costa *et al.* 2012). Vizsgálataink alapján legmagasabb Na/K arányt a 'Nembo' és a 'Sprint' fajtákban detektáltunk, míg legalacsonyabbat a 'Dunghan Shali' fajtánál. Így tehát a *japonica_2* csoportban szignifikánsan magasabb nátrium és alacsonyabb kálium jelenik meg a levelekben, mint a másik két csoportban. A 'Nembo' és a 'Sprint' nátrium tartalma (2,77 és 1,96 mmol/g) azért is kiemelkedőnek számít, mert Pires *et al.* (2015), 12 dS/m sóterhelés mellett 56 fajta alapján, az érzékeny fajtáknál sem tapasztalt 1,8 mmol/g-nál nagyobb nátrium tartalmat. A K/Na szelektivitási értékek és a SNa/RNa index szintén igazolták a 'Nembo' érzékenységét. De Costa *et al.* (2012) 102 fajtára kiterjedő vizsgálatában a legmagasabb SNa/RNa arány 2,25 volt, míg a vizsgálatunkban 2,54 volt ('Nembo'; 11. táblázat).

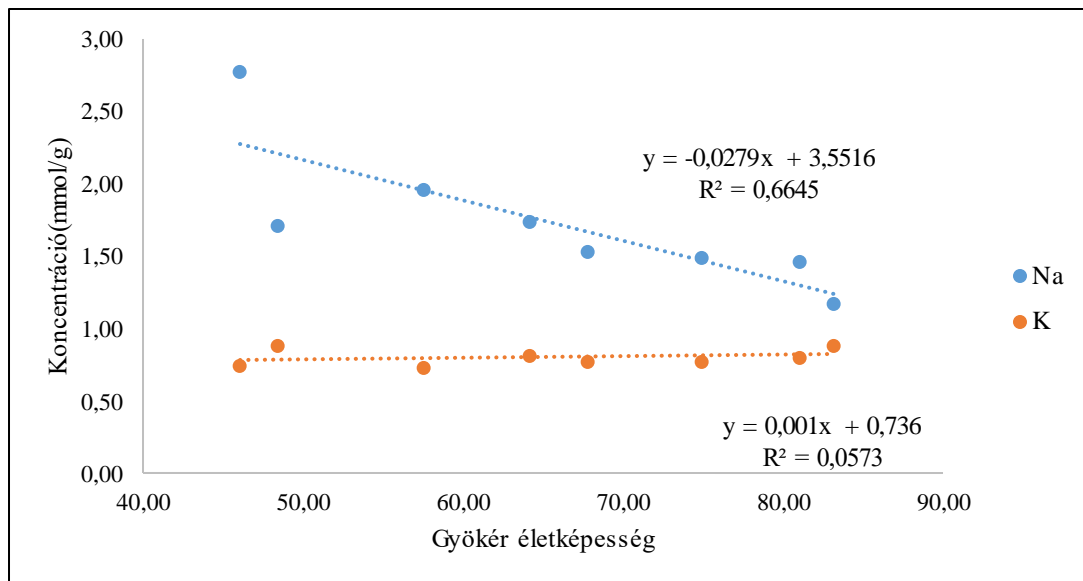
11. táblázat: A hajtás és a gyökér nátrium és kálium koncentrációja, és a belőlük számolt paraméterek egymáshoz viszonyított értékei. A kisbetűk szignifikáns különbséget jeleznek a fajták, míg a nagybetűk a fajtacsoportok között $p < 0,05$.

Fajta	Hajtás				Gyökér				
	Na (mmol/g)	K (mmol/g)	Na/K	K/Na szelektivitás	Na (mmol/g)	K (mmol/g)	Na/K	K/Na szelektivitás	SNa/RNa
Dáma	1,53b	0,77a	1,99b	30,65bc	1,06ab	0,65cde	1,64ab	36,07bc	1,44
Dular	1,71bc	0,88a	1,96b	30,66bc	1,37c	0,38a	3,60c	16,43a	1,25
D. Shali	1,17a	0,89a	1,31a	45,29d	1,17bc	0,67de	1,76ab	33,73bc	1,00
Janka	1,49b	0,77a	1,93b	52,05bc	0,96a	0,58bcd	1,65ab	35,96bc	1,55
M 488	1,74bc	0,82a	2,13bc	27,78bc	1,06ab	0,55b	1,91b	31,11b	1,64
Nembo	2,77d	0,75a	3,68d	16,09a	1,09ab	0,64cde	1,70ab	34,88bc	2,54
Risabell	1,46b	0,80a	1,82ab	32,61c	0,99ab	0,71e	1,39a	42,83c	1,47
Sprint	1,96c	0,73a	2,69c	22,02ab	1,17b	0,56bc	2,07b	28,53b	1,68
Japonica_1	1,48A	0,81A	1,84A	37,68B	1,05A	0,63B	1,67A	35,94B	1,42
Japonica_2	2,37B	0,74A	3,18B	19,06A	1,13A	0,60B	1,89A	31,71B	2,11
Indica	1,71A	0,88A	1,96A	30,66AB	1,37B	0,38A	3,60B	16,43A	1,25

Platten *et al.* (2013) vizsgálatai alapján a toleráns fajták (4 SES pontszám alatt) levelében 1,1-1,5 mmol/g, míg a nagyon toleránsokéban (3 SES alatt) 1,1 mmol/g Na⁺-koncentráció figyelhető meg. Eredményeink szerint a *japonica_1* csoport négy fajtája ('Dunghan Shali', 'Janka', 'Risabell' és 'Dáma') tartozik ebbe az intervallumba, és a 'Dunghan Shali' a második kategóriát is megközelíti. Lee *et al.* (2003) szerint a *japonica* csoportban a hajtás K⁺koncentrációja nem korrelál a biomassa jellemzőkkel. Ezzel szemben kísérletünk erős, statisztikailag szignifikáns pozitív kapcsolatot tárt fel a hajtás K⁺ koncentrációja, és a gyökér (0,743*) valamint a hajtás (0,864**) biomasszája között. Ez az eredmény megerősíti Reddy *et al.* 2017-ben publikált eredményét (Reddy *et al.* 2017).

A Pearson-féle korrelációs mátrix szerint a hajtás biomassa ezen kívül még a klorofill tartalommal (0,794*), valamint annak Na/K arányával (-0,718*) is korrelál. A gyökér biomassa tömege pedig a gyökér Na/K arányával (0,772*), de ez nem korrelált a gyökér dehidrogenáz aktivitásával (-0,093) (M5.táblázat). Közepes, de nem szignifikáns korrelációt észleltünk a gyökér életképessége és a gyökér Na⁺ (-0,532) és K⁺ (0,618) koncentrációja között. Viszont a gyökér életképessége és a levél Na⁺ tartalma között erős összefüggés van. A gyökér életképességének

növekedése csökkentette a levelek nátrium koncentrációját ($-0,805^*$, $R^2 = 0,6645$), de nem befolyásolta a levelek K^+ koncentrációját (7. ábra).



7. ábra: A levél Na^+ és K^+ koncentrációja a gyökér életképességének függvényében.

A felfebb részletezett gyökér összefüggéseken túl a fajták között is szignifikáns különbséget tapasztaltunk a gyökér kálium tartalmában, hiszen értéke 0,38 és 0,71 mmol/g között változott. Ekkora különbséget korábban sem De Leon *et al.* (2015), sem Pires *et al.* (2015) nem mért. Utóbbi szerző ráadásul 0,3 mmol/g kálium tartalmat határozott meg 56 genotípus átlagaként 12dS/m kezelés után, ami a kísérleti méréseink átlagának ($0,6 \pm 0,06$ mmol/g) mindösszesen a fele. A K/Na -szelektivitás alapján a genotípusokat három csoportba tudtuk besorolni Zeng (2005) munkája alapján. Alacsony ($S_{K,Na}=12,9-17,7$), közepes ($S_{K,Na}=17,7-25,1$) és magas toleranciájú ($S_{K,Na}=25,1-41,8$) fajtákra. E rendszer alapján a vizsgált fajták közül magas toleranciájú a 'Dunghan Shali' és a 'Janka'; köztes az 'M 488', 'Dáma', 'Risabell' és a 'Dular'; és érzékeny pedig a 'Sprint' és a 'Nembo'.

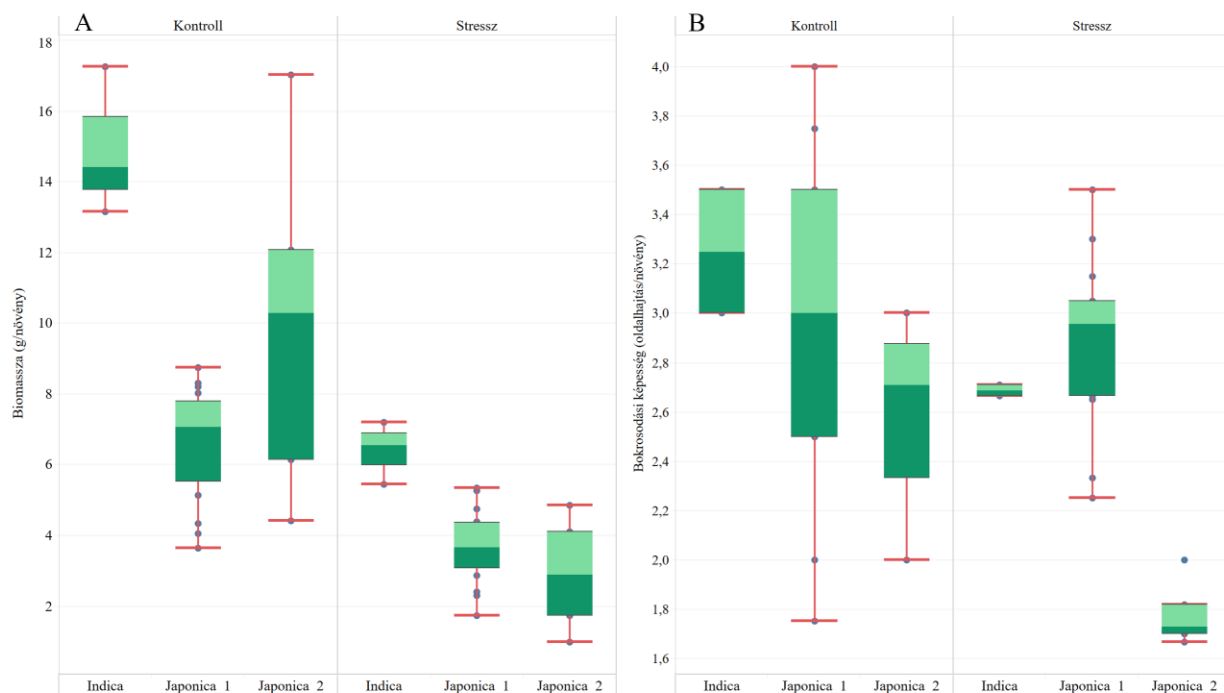
6.1.3 Reproductív kori sótűrés

A vizsgált tulajdonságokra vonatkozó varianciaanalízis részletes eredményeit az M6 táblázat tartalmazza. Eredményeink azt mutatják, hogy a magas sótartalom szignifikánsan befolyásolja a vizsgált paramétereket, kivéve a növényenkénti bugaszámot. Mind a genotípus, mind a sótartalom \times genotípus kölcsönhatása szignifikáns volt, kivéve a szem nátrium tartalmát.

6.1.3.1 Morfofiziológiai paraméterek

Kontroll körülmények között a rizsfajták normális növekedésűek voltak. Rövid távú stresszhatás alkalmazásakor (S2) nem tapasztaltunk változást a kezeletlen növényekhez képest,

hiszen egészen a BBCH 37-41-ig kezeletlen kontroll volt. Így a továbbiakban csak a kontroll és az S1 kezelés összehasonlítását fejtem ki részletesen. Folyamatos sóstressz esetén (S1) a növények csökkent növénymagasságot és biomasszát mutattak. A teljes biomassza az *indica*-nál (kontroll és stressz) volt a legmagasabb abszolút értékben, viszont a kezelések közötti különbségek a *japonica_1* csoportban volt a legalacsonyabb (8/A. ábra).



8. ábra: A biomassza (5/A) és a bokrosodási képesség (5/B) változása sóstressz (S1) alatt a különböző fajtacsoportok között.

A legnagyobb hajtás- és gyökércsökkenést a *japonica_2* esetében figyeltük meg (73,51%, illetve 65,51%). A növény magassága szignifikánsan ($p < 0,001$) csökkent sós körülmények között, a legkisebb csökkenés (2,62%) a 'Dáma', a legnagyobb a 'Janka' (14,07%) fajtánál volt, viszont a fajtacsoportok között nem volt szignifikáns különbség (M7 táblázat). Bár szignifikáns különbségek voltak a kezelések között ($p < 0,05$), a bokrosodási képesség stressz körülmények között széles skálán mozgott a fajták tekintetében (8/B. ábra). Míg a *japonica_1* képes volt megőrizni a bokrosodási képességét, addig az *indica* és a *japonica_2* értéke 15%-kal, és 35%-kal volt alacsonyabb, mint a kontroll. Ráadásul az 'M 488' 26,89%-kal több oldalágat fejlesztett stressz alatt, mint kontroll körülmények között. A *japonica_1* erőteljesebb bokrosodása figyelemreméltó, hiszen több szerző a bokrosodás erőteljes csökkenéséről számolt be (Zeng és Shannon 2000, Kranto *et al.* 2016). A virágzásig eltelt napok száma szignifikánsan emelkedett minden genotípusban ($p < 0,001$). A legkisebb időbeli késést az *indica* (3,45%) szenvedte el, majd a *japonica_2* 6,43%-kal, a *japonica_1* pedig 8,60%-kal később virágzott. A pigmentek mindegyike, az antocianinok, a klorofill és a karotinoidok szintje is megemelkedett a sóterhelés hatására ($p < 0,001$, M8 táblázat). Kanawapee (2012), és Kranto *et al.* (2016) is hasonló megfigyelésről számoltak be. A legtöbb faj-

takülönbséget a kontroll kezelésben figyeltük meg, hiszen a *japonica_1* szignifikánsan alacsonyabb antocianin-, klorofill- és karotinoid-tartalommal rendelkezett, és ezek a sóstressz hatására növekedtek, mígnem elérték a többi csoport szintjét (M8 táblázat).

6.1.3.2 A termés mennyiségét meghatározó paraméterek

A sóstressz szignifikáns hatást gyakorolt a termés összetevőkre (M9 táblázat), ahogy azt a korábbi publikációk előrejelítették (Zeng és Shannon 2000, Rubel *et al.* 2014), különösen a hosszútávú stressz esetén (M9 táblázat). Viszont a fajtákat/fajtacsoportokat nem egységes mértékben érintette. Az S2 kezelésnél nem figyeltünk meg szignifikáns bugahossz csökkenést, viszont S1-nél nagy változatosságot tapasztaltunk a fajták között. Átlagosan 1,33-27,48%-kal csökkent a bugák hossza ebben a kezelésben, legjelentősebben a 'Janka' esetében (27,48%), a 'Nembo' nem változott, a 'Dular' pedig nőtt (+5,21%), de nem szignifikáns mértékben. Ali *et al.* (2014) megfigyelései szerint, a bugák hossza 12 dS m⁻¹ sóterhelés mellett 2,87-14,6% közötti mértékben csökkent. A bugák számát nem befolyásolta a fajták átlagában a sóstressz, sem S1, sem S2 kezelés hatására, viszont a fajták és a fajtacsoportok között jelentős különbségek tapasztalhatóak. Jelentős csökkenést tapasztaltunk 2 fajtánál ('Risabell', 'Sprint'), 4 fajta stabil maradt ('Dáma', 'Dular', 'M 488' és a 'Nembo'), és 2 fajta esetében ('Janka' és 'Dunghan Shali') növekedett a bugaszám. A magasabb bugaszám az erőteljesebb bokrosodás eredménye, ami a két fajta esetében még a rövidtávú stressz esetében is szignifikáns volt. A termés mennyisége szintén statisztikailag igazolhatóan alacsonyabb volt ($p < 0,001$) mindkét kezelés (S1 és S2) esetében, hiszen mind a fertilitás, mind a telt szemek száma csökkent, ezzel összhangban pedig a steril szemek száma növekedett. Az S2 a kisebb mértékű károsításával kedvezőbb paramétereket eredményezett, mint az S1 esetében. Tran Thi Huong Sen *et al.* (2017) a telt szemek számának 11,88–68,88%-os csökkenését, a steril szemek számának növekedését pedig 12,95–57,95% közöttinek jelentette 8 dS m⁻¹ mellett. Kísérletünkben hasonló arányokat tapasztaltunk a telt szemek tekintetében (7,83-66,17%), azonban a steril szemek számában jóval nagyobb fajtakülönbséget tapasztaltunk (0,49-256,54%). Az 'M 488', 'Janka' és a 'Dáma' esetében nem volt szignifikáns növekedés, addig a többi fajtánál igen, olyannyira, hogy a 'Nembo' 256,54%-kal kiemelkedett a fajták közül. A termés mennyiségét az alacsonyabb ezer szem tömeg is tovább csökkentette. A szemtömeg a legkisebb mértékben az *indica*-nál (4,02%); a legnagyobb mértékben pedig a *japonica_2*-nél (26,09%) volt tapasztalható. A termés mennyisége 28,23-77,35% között csökkent. A legkisebb csökkenés a 'Dular' esetében, legnagyobb pedig a 'Sprint' fajtánál volt tapasztalható. Tran Thi Huong Sen *et al.* (2017) szerint a terméscsökkenés egy toleráns fajtában ('Pokkali') átlagosan 31%, az érzékeny vonaloknál pedig (IR29) 83%. Ennek alapján a vizsgálatba bevont genotípusok közül toleráns a 'Dular', közepesen toleráns a 'Dunghan Shali', 'M 488' és a 'Dáma', míg érzékeny a 'Sprint', 'Nembo', 'Risabell' és a 'Janka'.

6.1.3.3 A nátrium és kálium koncentráció eloszlása a különböző szervekben, rövid (S2) és hosszútávú (S1) stressz esetén

Sóstressz hatására a gyökérben a nátrium koncentrációja az S2 kezelés hatására szignifikánsan növekedett (396.55 $\mu\text{mol/g}$; $p < 0,001$). Ezt számos korábbi tanulmány is igazolta (Hakim *et al.* 2014a, Pires *et al.* 2015). Azonban ez a szint a hosszabb távú stressz (S1) esetén lecsökkent

(12. táblázat). A kálium koncentráció az irodalmak szerint viszont maradhat stabil (Pires *et al.* 2015), vagy csökkenhet is (Hakim *et al.* 2014a, Wang *et al.* 2018). Tapasztalatunk szerint mindkettő megvalósulhat egy rövid távú stresszhatás (S2) esetén. A 'Janka', 'Risabell' és 'Sprint' kálium koncentrációja stabil maradt, míg a többieké csökkent. Hosszabbtávú stressz alkalmazásakor viszont minden fajtánál csökkenés tapasztalható. Kivéve a 'Dáma' fajtát, ahol nem különbözik szignifikánsan az S1 a kontroll értéktől. Ennek a fajtának a nátrium koncentrációja is stabil volt a különböző stresszkezelés ellenére. Ennek eredményeként mind a rövid, mind a hosszútávú stressz esetén a legalacsonyabb Na/K aránnyal rendelkezik ez a fajta. A fajtacsoportok közötti jelentősebb különbséget, csak az S2 kezelés esetén kaptunk. Szignifikánsan alacsonyabb Na és K értékeket a *japonica_1* csoport esetében tapasztaltunk (12. táblázat), ami esetleg egy erőteljesebb hajtás irányába történő transzportot jelezhet.

12. táblázat: A gyökér Na és K mennyisége $\mu\text{mol/g}$ -ban két kezelésben (S1 és S2) fajtánként és fajtacsoportonként. Az S1 a folyamatos sóterhelés mellett mért értékeket, az S2 a reprodukciós fázisban tapasztaltakat mutatja. Az ezekből számolt, Na/K értékek. A kisbetűk szignifikáns különbséget jeleznek a fajták, míg a nagybetűk a fajta-csoportok között, míg a * a kezelés és a kontroll közötti különbséget (* - $p < 0,05$; ** - $p < 0,01$; *** - $p < 0,001$).

Fajta	Na ($\mu\text{mol/g}$)			K ($\mu\text{mol/g}$)			Na/K		
	Kontroll	S1	S2	Kontroll	S1	S2	Kontroll	S1	S2
Dáma	227,93ab	212,70cd	287,74a	168,16abc	142,58d	122,33b*	1,36	1,49	2,35
Dular	289,40bcd	234,88d*	483,25d***	145,10ab	108,82bc**	166,07c*	1,99	2,16	2,91
D. Shali	235,10ab	205,89cd*	366,25ab***	141,82ab	124,30cd*	91,05a**	1,66	1,66	4,02
Janka	192,98a	144,63ab*	418,88bcd***	183,89c	81,97b**	165,09c	1,05	1,76	2,54
M 488	226,33ab	135,49a**	315,35a***	135,04a	48,08a**	79,2a**	1,68	2,82	3,98
Nembo	338,84d	244,16d*	471,08cd*	309,08d	183,76e*	163,43c**	1,10	1,33	2,88
Risabell	270,77bc	195,01c*	396,48bc**	154,99abc	92,84b***	158,91c	1,75	2,10	2,49
Sprint	304,05cd	176,16bc*	448,16cd**	172,76bc	107,54bc**	161,64c	1,76	1,64	2,77
Átlag	255,37	198,89**	396,55***	173,98	112,00***	139,41*	1,54	1,87	2,99
Japonica_1	227,19A	182,36A*	353,16A***	158,89A	100,35A***	122,58A*	1,50	1,97	3,08
Japonica_2	321,45B	216,96A**	457,33B***	240,92B	145,65A*	162,53B	1,43	1,48	2,83
Indica	289,40B	234,89B*	483,25B***	145,10A	108,83A**	166,07B*	1,99	2,16	2,91

A zászlóslevelek átlagos nátriumtartalmát mindkét stresszkezelés (S1 és S2) a kontroll mennyiség kétszeresére emelte (13. táblázat). A megemelkedett Na mellett a K koncentráció is szignifikánsan növekedett. Az S2 kezelés mindösszesen csak két fajtánál az 'M 488' és a 'Dular' esetében nem emelte meg a zászlóslevelek Na tartalmát, noha a gyökerekben jelentős mértékűek voltak. Az 'M 488' esetében kiemelendő az extrém magas Na koncentráció, függetlenül a kezeléstől. A 234-272 $\mu\text{mol/g}$ -os érték Ahmadizadeh *et al.* (2016) mérései szerint jellemzően a harmadik és a negyedik levélre jellemzőek, hiszen szisztematikusan, kaszkádszerűen csökken a Na^+ mennyisége az idősebb levelektől a fiatalabb levelekig. Ezért a 'Dular' esetében az idősebb levelekbe történő só felhalmozódás eredményezhette az alacsonyabb zászlóslevél koncentrációját. Míg a 'Dáma' és a 'Dunghan Shali' esetében a hosszú távú alkalmazkodás a nátrium csökkenését eredményezte, addig a 'Janka' esetében magas szinten maradt, míg a 'Nembo', 'Risabell' és a 'Sprint' esetében még növekedett is. Ez a jelenség vélhetőleg a fajták tenyésztésével függ össze, hiszen az előbbiek rövid, az utóbbiak hosszú tenyésztésűek. A kálium mennyisége, a 'Risabell', a 'Dunghan Shali' és a 'Dular' esetében szignifikánsan megemelkedett S2 kezelésnél, a többi fajtánál a kontroll érték körül mozgott. A hosszú távú reakciók (S1) viszont jelentősen különböznek fajtánként. A kontroll

érték szintjére csökken a 'Dular' és a 'Sprint' K tartalma, a 'Dunghan Shali' és a 'Nembo' még ez a szint alá is esik. Viszont a 'Janka', 'M 488' és a 'Risabell' magas szinten képes a kálium koncentrációt tartani. Ez ellentmond Lee *et al.* (2003) vizsgálatának, akik szerint a *japonica* nem rendelkezik magas K felvétellel. Ennek ellenére kontroll körülmények között is szignifikáns különbségek tapasztalhatóak, a koncentrációsorrend *indica* < *japonica_2* < *japonica_1*. Sókezelés hatására (S1, S2) az *indica-japonica_2* közötti különbség megmarad, de nem lesz szignifikáns, míg a *japonica_1* magas kálium szintje szignifikánsan különbözik minden kezelés esetében (13. táblázat). Mind a két kezelésben a legmagasabb Na tartalmat a *japonica_1* csoport mutatott, majd a *japonica_2*, végül az *indica* következett. Viszont a kontrollhoz viszonyítva az emelkedés az S1 kezelés esetén, akár 8-9-szeres is lehet (*japonica_2*).

13. táblázat: A zászlólevél Na és K mennyisége $\mu\text{mol/g}$ -ban két kezelésben (S1 és S2) fajtánként és fajtacsoportonként. Az S1 a folyamatos sóterhelés mellett mért értékeket, az S2 a reprodukciós fázisban tapasztaltakat mutatja. Az ezekből számolt, Na/K értékek szintén leolvashatóak. A kisbetűk szignifikáns különbséget jeleznek a fajták, míg a nagybetűk a fajtacsoportok között, míg a * a kezelés és a kontroll közötti különbséget (* - $p < 0,05$; ** - $p < 0,01$; *** - $p < 0,001$).

Fajta	Na ($\mu\text{mol/g}$)			K ($\mu\text{mol/g}$)			Na/K		
	Kontroll	S1	S2	Kontroll	S1	S2	Kontroll	S1	S2
Dáma	21,03c	29,73ab	86,56b**	411,42de	433,25cd	404,73bc	0,05	0,07	0,21
Dular	11,59abc	14,81a	11,75a	267,52a	288,41a	347,57ab**	0,04	0,05	0,03
D.Shali	17,31abc	39,60ab*	83,3b**	434,10e	344,76ab**	520,21d*	0,04	0,11	0,16
Janka	19,53bc	89,60b**	90,91b**	452,17e	520,97e**	481,72cd	0,04	0,17	0,19
M 488	271,86e	250,54c	233,8c	362,79bc	454,39de*	428,39c	0,75	0,55	0,55
Nembo	6,71ab	54,37ab**	22,00a**	317,73b	280,48a*	316,71a	0,02	0,19	0,07
Risabell	11,44abc	93,95b***	55,25a**	370,16cd	503,32de**	517,4d**	0,03	0,19	0,11
Sprint	4,41a	41,13ab*	25,00a*	375,45cd	367,26bc	414,15bc	0,01	0,11	0,06
Átlag	43,20	87,09***	76,07**	374,40	393,19***	417,9***	0,12	0,18	0,17
Japonica_1	68,23AB	112,25B	109,96C	409,23C	447,37B	470,49B*	0,18	0,22	0,24
Japonica_2	5,79A	47,75B***	23,49B**	346,59B	315,19A	365,43A	0,02	0,15	0,06
Indica	11,59B	14,81A	11,75A	267,52A	288,41A	347,57A**	0,04	0,05	0,03

A szemek Na tartalmára is jelentős hatással volt mindkét típusú sóstressz. Átlagban a $3,84 \mu\text{mol/g}$ -ról, $5,31$ és $5,86 \mu\text{mol/g}$ -ra nőtt az S1 és S2 kezelés hatására. Kiemelendő az 'M 488'-as fajta, amely kontroll körülmények között is jóval magasabb $9,16 \mu\text{mol/g}$ -ja tovább emelkedik a sókezelés hatására ($13,57$ -S1, $18,33$ -S2, 14. táblázat). Kontroll és S2 kezelés hatására is az *indica* és a *japonica_2* között nincs szignifikáns különbség, az csak a hosszabb távú stresszkezelés (S1) hatására valósul meg. Azonban a *japonica_2* esetében jelentősebb nátrium felhalmozódást tapasztaltunk mind a stressz hatására, mind kontroll körülmények között (14. táblázat).

14. táblázat: A rizszemek Na mennyisége $\mu\text{mol/g}$ -ban két kezelésben (S1 és S2) fajtánként és fajtacsoportonként. Az S1 a folyamatos sóterhelés mellett mért értékeket, az S2 a reprodukciós fázisban tapasztaltakat mutatja. A betűk szignifikáns különbséget jeleznek a fajták és a fajtacsoportok között, míg a * a kezelés és a kontroll közötti különbséget (* - $p < 0,05$; ** - $p < 0,01$; *** - $p < 0,001$)

Fajta	Kontroll	S1	S2
Dáma	4,88c	6,85e**	5,63b

Dular	2,00ab	2,41a*	2,54a*
D.Shali	5,04c	4,56d	6,58b*
Janka	4,64c	7,28e***	6,04b**
M 488	9,16d	13,57f**	18,33c***
Nembo	2,54ab	3,01b*	2,95a
Risabell	2,63b	3,56bc*	2,89a
Sprint	1,85a	3,77c***	1,9a
Átlag	3,84	5,31***	5,86***
Japonica_1	5,02b	6,87b	7,89b
Japonica_2	2,19a	3,39ab*	2,43a
Indica	2,00a	2,41a*	2,54a*

6.1.4 A különböző paraméterek, és a fejlődési fázisok közötti összefüggések vizsgálata

A rizs viszonylag toleráns a sóstresszel szemben a csírázás, a bokrosodás és az érés során, de nagyon érzékeny a korai csíranövény- és a reprodukciós szakaszban (Singh *et al.* 2008, Singh és Flowers 2010). Feltételezték, hogy ez a két érzékeny szakasz független egymástól, vagyis a reprodukciós szakaszban tapasztalható tolerancia nem feltétlenül korrelál a csíranövény szakaszában tapasztalható toleranciával és fordítva. Ha összehasonlítjuk a kísérletünkben a két fejlődési szakaszt, a legnagyobb összbiomassza az *indica* esetében volt kimutatható mind a csíranövény mind a reprodukciós szakaszban, ami megerősíti Lee *et al.* (2003) eredményeit. A *japonica_1* értéke azonban minden fejlődési szakaszban közelebb volt az *indica* értékéhez, mint a *japonica_2* értékéhez. Megerősítjük továbbá a biomassa hígító hatását (Reddy *et al.* 2017) a nátriumkoncentrációra mindkét fejlődési szakaszban. A magas biomassa-termelést produkáló fajták – a 'Dunghan Shali' és 'Dular' – alacsonyabb nátriumkoncentrációval rendelkeztek. Bár Aslam *et al.* (1993) erős korrelációt talált a palánták friss tömege és a termésmennyiség között, mind cserepes kísérletben (0,77), mind szabadföldi körülmények között (0,78), Singh és Flowers (2010) nem szignifikáns korrelációról számolt be e két fejlődési szakasz között. Adataink alapján azonban szignifikáns összefüggést észleltünk a gyökér száraztömeg és a termésmennyiség között. Emellett a gyökér életképessége is pozitív korrelációt mutatott a zászlós levelek káliumtartalmával (15. táblázat).

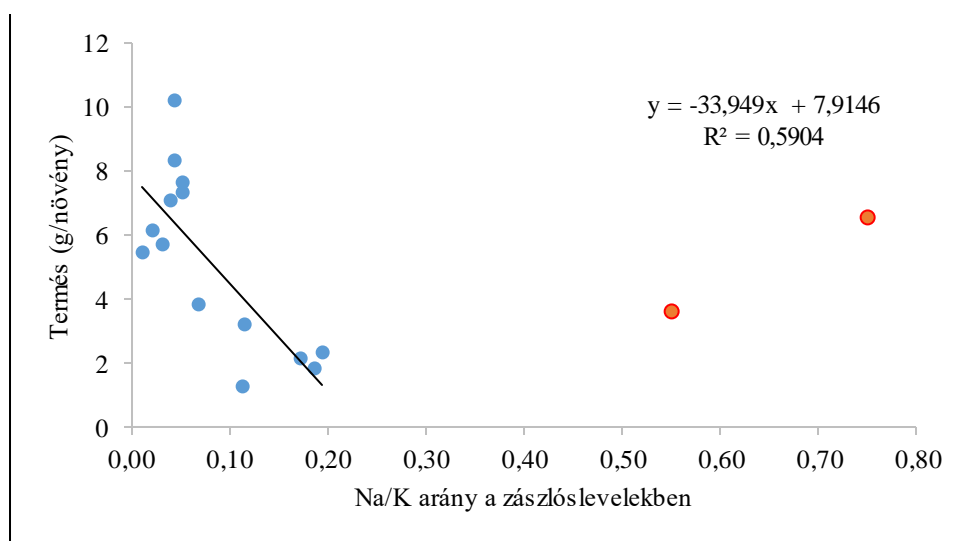
15. táblázat: A csíranövénykori és a reprodukciós időszak főbb paramétereinek Pearson kor-relációs együtthatói. SDW - hajtás biomassa, RDW - gyökér biomassa, RV - gyökér élet-képesség, Na, K - nátrium és kálium koncentráció a zászlóslevélben, PH - növénymagasság, NoUF - steril szemek száma, Y - termés, NaG - szemek nátrium tartalma.* - szignifikáns $p < 0,05$, ** - szignifikáns $p < 0,01$

		Reproduktív szakasz					
		PH (cm)	NoUF	Y	Na	K	NaG
Csíranövény	SDW	0,933**	-0,386	0,595	-0,315	-0,213	-0,097
	RDW	0,815**	-0,146	0,849**	-0,364	-0,331	-0,208

RV	0.322	-0,865**	-0.496	0.139	0,743*	0.203
Na	-0,594	0,747*	-0,019	-0,030	-0,521	-0,197
K	0,759*	-0,082	0,644	-0,043	-0,254	-0,047

Ezek az eredmények azt mutatják, hogy a gyökérjellelzők a fejlődés korai szakaszában fontosabbak lehetnek, mint ahogy a korábbi jelentések sugallták (Lee *et al.* 2003, Singh és Flowers 2010). Annak ellenére, hogy a vegetatív és a generatív fázis között gyenge a kapcsolat, mégis a bokrosodási képességet tartják az egyik legérzékenyebb paraméternek (Zeng *et al.* 2002), ami a bugaszámon keresztül közvetlenül befolyásolja a termés mennyiségét. Eredményeink is ezt bizonyítják, hiszen a *japonica_1* csoport stabil vagy fokozott bokrosodású volt, és kevésbé csökkent a gyökér száraz tömege is (42,59%) sóstressz alatt, mint a többi csoporté (M7 táblázat).

Ezen kívül a sótolerancia a reprodukciós szakaszban kritikus fontosságú, mivel ebben a szakaszban történik a megtermékenyítés és a szemképződés, így a szaporodási szakasz közvetlenül befolyásolja a termés mennyiségét. Ezért a nagy teljesítményű sótüdő rizsfajtáknak toleranciával kell rendelkezniük a reprodukciós fázisban is (Palao *et al.* 2013, Hossain *et al.* 2015). A tolerancia mértékével a termés mennyisége és a zászlóslevelek Na/K aránya is korrelál (Singh és Krishnamurthy 2014). Ezt adataink is alátámasztják, hiszen 59%-os pontossággal lineáris az összefüggés a zászlóslevelek Na/K aránya és a termésmennyiség között. A narancssárga ponttal a korrelációtörő 'M 488' fajta látható (9. ábra).



9. ábra: A zászlóslevelek Na/K aránya és a termés mennyiség közötti összefüggés. Az adatok a nyolc fajta kontroll és kezelt adatait mutatják.

6.2 Hidegtűrési vizsgálatok

6.2.1 Csírázáskori hidegtűrés

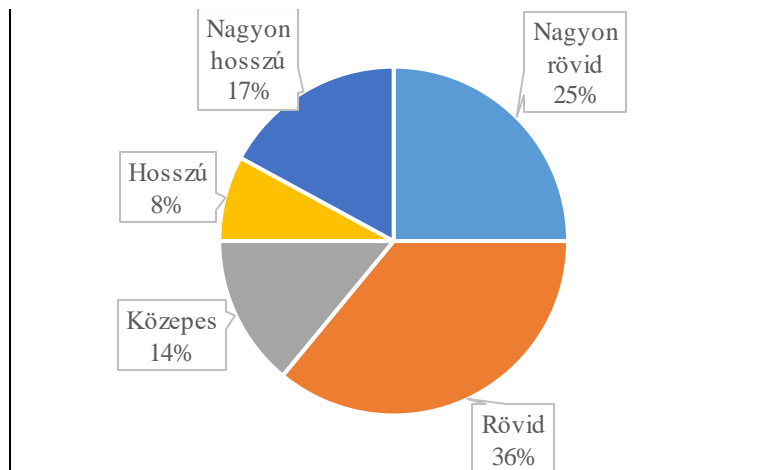
Mivel a kísérlet során különböző eredetű fajtákat akartunk összehasonlítani, ezért a pontos hőmérséklet kiválasztásához egy előkísérletet állítottunk be (16. táblázat), mert az irodalom szerint

a rizs csírázaskori minimumhőmérséklete széles határok között mozog. Míg 15 °C alatt egyértelműen csökken a csírázás sikeressége (Thapa *et al.* 2020), addig Ali *et al.* (2003) 12,6-13,9 °C-ban állapítja meg a csírázási minimumhőmérsékletet, viszont Gombos és Simon-Kiss (2008) szerint 9.8 és 10.9 °C között mozog. Eredményeink arra mutatnak, hogy 10 °C-on nem elegendő hőmérséklet a csírázás elindulásához, 12 °C-on csak a mérsékelt övi japonica (*temperate japonica*) fajták indulnak meg, a trópusi japonica-k (*tropical japonica*) és az *indica* továbbra sem. Eredményünket megerősíti Singh *et al.* (2022) kísérlete, akik elsősorban *indica* fajtákat csíráztattak 10 °C-on és mindösszesen 1-2 százalékos csírázást tapasztaltak. A 13 °C és a 15 °C viszont egyaránt alkalmas a csoportok közötti különbségek ábrázolására, viszont az utóbbi hőmérsékleten a *temperate japonica* fajták olyan gyorsan kicsíráznak, hogy nehéz jelentős különbséget detektálni közöttük. Így a hidegtűrés kísérletek 13 °C-on folytatódtak, ahogy számos szerző is ezt a hőmérsékletet alkalmazta korábban (Cruz és Milach 2004, Cong Dien és Yamakawa 2019, Thapa *et al.* 2020).

16. táblázat: Csírázaskori minimumhőmérséklet meghatározása medián csírázási idő (MGT) felhasználásával, különböző hőmérsékleten. Az n.a jelzés a csírázás elmaradásából fakadó adathiányt mutatja.

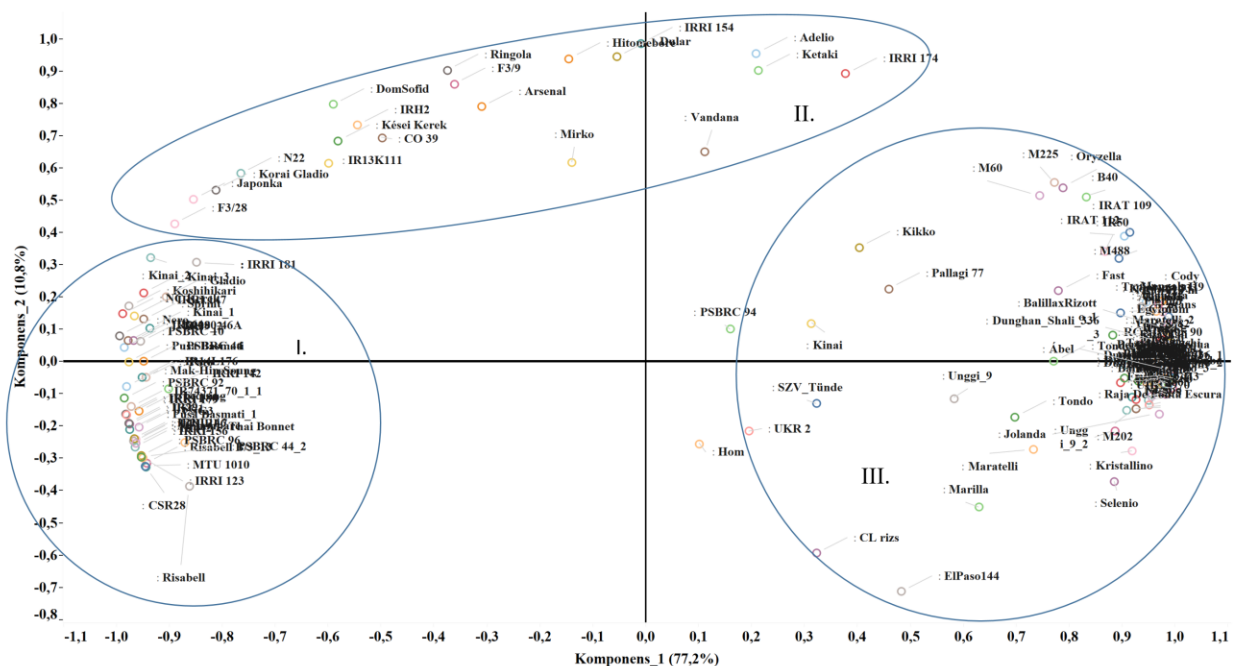
Fajta	10°C	12°C	13°C	15°C
D. Shali	n.a.	14,43 ± 0,61	9,46 ± 0,39	5,11 ± 0,22
Dular	n.a.	n.a.	17,15 ± 0,95	14,89 ± 2,20
Irat 109	n.a.	n.a.	13,09 ± 0,00	12,10 ± 0,78
Janka	n.a.	20,86 ± 1,52	10,82 ± 0,06	6,68 ± 0,14
Nembo	n.a.	17,92 ± 1,65	11,77 ± 0,37	6,46 ± 0,34
Sandora	n.a.	11,49 ± 0,14	10,83 ± 0,18	7,20 ± 0,02
Sprint	n.a.	n.a.	21,70 ± 1,82	10,96 ± 0,58

Méréseink azt mutatták, hogy a medián csírázási idő (MGT) 7-28 nap között változott. A legrövidebb idő alatt a 'H33' fajta csírázott ki a vizsgált 164 db fajta közül, míg a leghosszabbak 28 nap alatt sem, összesen 20 vonal volt ilyen (M11. táblázat). A nagyon rövid MGT-vel rendelkező fajták (41db), a fajtagyűjtemény 25%-át alkotják (10. ábra). Ebbe a csoportba zömmel hazai fajták és régi nemesítési vonalak tartoznak, azonban néhány külföldi eredetű genotípus is bekerült, például az olasz fajták közül a 'Sfera' és a 'Baldo' vagy Chile-ből származó 'Basmati' és a 'Zafiro' fajták. Mindkét tájegységre jellemző az alacsony hőmérséklet, az előbbinél az Alpokból származó hideg árasztóvíz miatt, az utóbbinál a hegyvidéki rizstermesztő körzet miatt. Így nem meglepő a fajták jó teljesítménye.



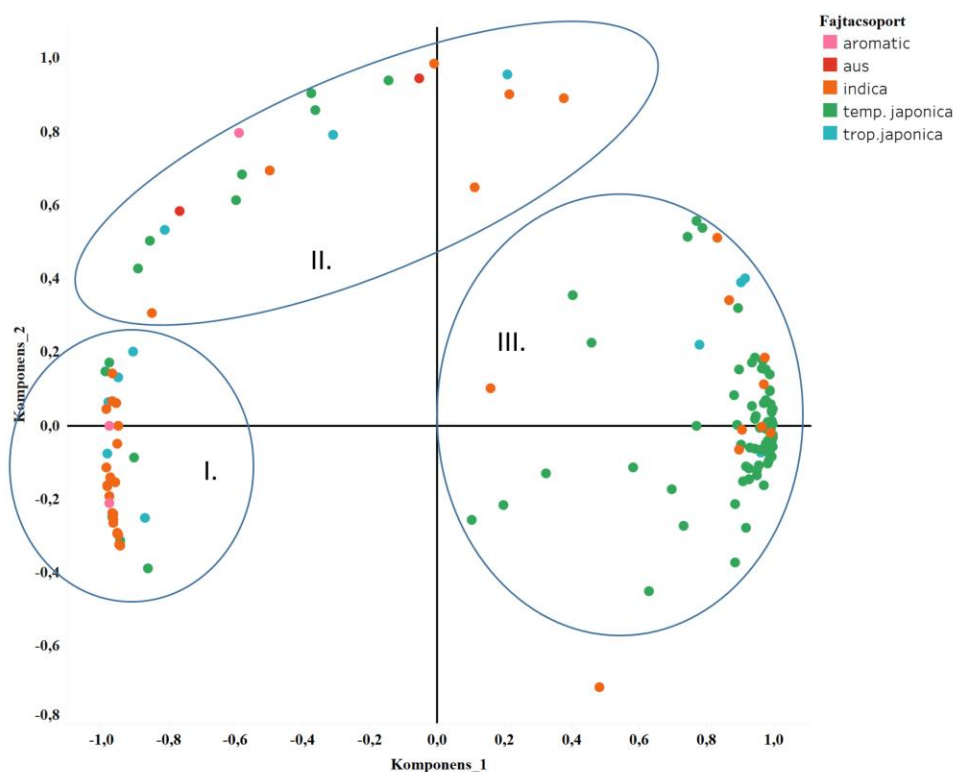
10. ábra: A fajtagyűjtemény 164 genotípusának medián csírázási ideje, a nagyon rövid csírázási idővel rendelkezőtől, a lassan vagy egyáltalán nem csírázó vonalakig.

A kísérlet végi csírázási százalék (FGP, M12. ábra) és a csírázási index (GI, M13. ábra) alapján magas csírázási százalékot (>80%) a fajtagyűjteményünk 33%-a ért el. Ez igen kiemelkedőnek számít, hiszen Cong Dien és Yamakawa (2019) 181 fajta alapján, mindösszesen 13 fajtát (7,18%) azonosított, ami az 50%-os GI-t meghaladta. A legnagyobb GI értéket a régebbi magyar fajták, (pl. a 'Dunghan Shali' és különböző vonalai, a 'Nucleoryza', és a 'Kákai 203') érték el, de napjaink ismert fajtái ('Janka', 'Ábel') is 90% feletti teljesítményt nyújtottak. A nemzetközi irodalomban jól ismert Koshihikari magas hidegtűréssel rendelkezik, elsősorban reprodukciós fázisban (Kobayashi *et al.* 2018). Csírázáskor viszont érzékenyebb, ugyanis 35-40% csírázási indexet jelentettek korábban (Cruz és Milach 2004, A. Lone *et al.* 2018). Kísérletünkben azonban még ennél is alacsonyabb (19,58%) értéket regisztráltunk (M11. táblázat). Ráadásul a növekedése is rendkívül alacsony, az 5mm-es koleoptil hosszúságot egyáltalán nem érte el, ami nem erősíti meg Cruz és Milach (2004) által közölt közel 100%-os értéket.



11. ábra: A fajták eloszlása a csírázási paraméterek alapján főkomponens analízis segítségével.

A 3 csírázási paraméter (MGT, FGP, GI) főkomponensanalízise során a két azonosított komponens a teljes variancia 88%-át magyarázza, amelynek során 3 csoportot lehet azonosítani (11. ábra). Az I. csoportba a nem, vagy nagyon lassan csírázó, magas MGT-vel rendelkező fajták tartoznak. A csoporton belül megfigyelhető egy gradiens a II. komponens mentén, ahol a negatív tartomány az egyáltalán nem csírázó fajtákat, míg a pozitív része a nagyon lassan csírázó vonalakat tartalmazza. A II. csoport már az alacsony és közepes MGT-vel rendelkező fajtákat tartalmazza, szintén egy gradiens mentén. Az I. komponens negatív tartományára a közepes MGT és alacsony FGP jellemző, a pozitív részére pedig szintén közepes MGT, magas FGP értékkel. A III. csoportba pedig mindhárom paraméter alapján a legkedvezőbb értékkel rendelkező fajták tartoznak. A növekedési paraméterek (>5mm hosszabb koleoptilek és radícula-k aránya) figyelembevételével hasonló eredményt kapunk. (M14. ábra).



12. ábra: A fajtacsoportok eloszlása a csírázási paraméterek alapján főkomponens analízis után.

A fajtacsoportok elhelyezkedését a 12. ábra szemlélteti. Az *indica* és *temperate japonica* vonalak élesen elkülönülnek egymástól, az előbbi lényegesen érzékenyebb, ahogy korábban jelentették (Mackill és Lei 1997, Pan *et al.* 2015). Az I. csoportba leginkább az *indica* fajták tartoznak. A *temperate japonica*-k közül a hosszú szemű két 'Risabell' genotípus, a kerek szemű 'NC kerek', 'F3/28' és a 'Japonka' került ebbe a csoportba. A hosszúszeműség azért lehet fontos, mert ez a tulajdonság a *temperate japonica*-ban eredetileg nem fordul elő, az a *tropical japonica* csoporttal való keresztezésből származik. Így hosszúszeműség mellett a hidegérzékenységet is hozhatta a csoportból. A II. csoportban a hidegtűrőbb *indica*-k, az *aromatic*, *aus* és a *tropical japonica* mellett a *temperate japonica* fajtái is megtalálhatóak. A III. csoportban viszont túlnyomó többségben a hidegtűrő *temperate japonica* genotípusok vannak. Erőteljesebben hidegtűrő *indica* vonalak közül

ebben a csoportban szerepel az 'IR14 L231', 'Mangala', 'IR43', 'B40' és az 'IR50'. Ez utóbbi csíranövénykorban nagyon érzékeny az alacsony hőmérsékeltre (Andaya és Mackill 2003a). A fajtacsoportok szerint tehát egyértelműen különböznek a csírázási paraméterek, amelyet a MANOVA vizsgálatok (Wilks' Λ =0,376; $F(8;462)=7,927$; $p=0,000$) és a leíró statisztika is alátámasztanak (17. táblázat). A legrövidebb csírázási idővel a *temperate japonica*, a leghosszabbal az *aromatic* rendelkezik. A lassú csírázás következménye az alacsony csírázási index (GI), ami az *aromatic* csoportnál a legalacsonyabb és a legmagasabb a *temperate japonica*-nál. Az alacsony hőmérsékleten történő hajtás és gyökérnövekedés hasonló tendenciát mutat (M12. táblázat), viszont szignifikáns különbség a három trópusi eredetű csoport (*aromatic*, *aus* és *indica*) között nincs.

17. táblázat: Az öt különböző fajtacsoport csírázási paraméterei. Az N a forrásadatok alapján az adott csoportba sorolható genotípusok számát jelenti. A különböző betűk szignifikáns különbséget jelentenek a csoportok között. MGT = medián csírázási idő, FGP = végső csírázási százalék, GI = csírázási index, C% = > 5mm koleoptilek %-os aránya, R% = > 5mm radícula-k %-os aránya.

Fajtacsoport	N	MGT	FGP	GI	C%	R%
		Átlag				
aromatic	3	22,73c	52,22a	20,69a	8,56a	2,72a
aus	2	19,20ab	86,67b	40,83ab	1,83a	2,67a
indica	37	20,73ab	56,27ab	39,78ab	9,60a	3,33a
temp. japonica	94	12,86a	85,34ab	74,96c	57,39b	52,04b
trop.japonica	12	17,23ab	77,08ab	54,51ab	24,96ab	14,54ab

6.2.2 Csíranövénykori hidegtűrés

Számos a MATE ÖVKI fajtagyűjteményében is rendelkezésre álló fajtát használnak hidegtűrés standardként a világon. Az 'M202'-t (Andaya és Mackill 2003a), a 'Nipponbare'-t (Yang *et al.* 2013), a 'Hitomebore'-t (Nakagomi 2013) és a 'HSC 55'-öt ('Sandora') (Basuchaudhuri 2014) toleránsként, míg az 'IR50'-et (Andaya és Mackill 2003a), az 'IR 29'-et (Zhang, Zhao, Wang, *et al.* 2012) és a 'Teqing1-et (Zhi-Hong *et al.* 2005) érzékenyként. Az előbbieket kivétel nélkül a *japonica* csoportba tartoznak, míg az utóbbiak az *indica* csoportba. A csíranövénykori küszöbhőmérséklet, amelyen már jelentős károsodást figyelhetünk meg, szerzőnként és az alkalmazott fajtától függően változik. 13,5-15,5°C közötti tartományt állapított meg Bonnacarrère *et al.* (2011) *japonica* fajták, míg *japonica* x *indica* keresztezés utódpopulációjának tesztelésekor 15,0°C-ot tapasztalt Wang *et al.* (2011). A hidegstressz megjelenésekor a növényben számtalan fiziológiai változás játszódik le. Ezek közül az egyik legegyszerűbben nyomon követhető a levélszínváltozások detektálása, (Huang és Peng 2004), hiszen a levélszíneződésre érzékeny genotípusok többségét hidegre érzékenynek is találták, és fordítva (Singh *et al.* 2022). A szántóföldi kísérlet alatti, és az azt megelőző hőmérsékleti viszonyokat a 16. táblázat mutatja. A legmagasabb hőmérséklet, mind a lehülési periódus előtti, mind a regenerációs fázisban a 2018-as évben volt. A 2019, 2020 és a 2021-es év hasonló pentád hőmérséklettel jellemezhető a mérések kezdete előtti időszakban, ezen években még a kontroll időpont is a kritikus hőmérsékleti tartomány alatt maradt (18. táblázat). Így a három év adatai a fajták közötti összehasonlítást teszi lehetővé. Továbbá a 2019 és a 2020-as év hőmérséklet lefutása szinte azonos, így a különböző genotípusok hasonló mértékű stressznek voltak kitéve.

18. táblázat: A kísérlet alatt, és az azt megelőző napok minimum hőmérséleti értékei, valamint a belőlük számolható pentád hőmérséleti adatok a kísérlet négy éve alatt.

	2018		2019		2020		2021	
	Min.	Pentád	Min.	Pentád	Min.	Pentád	Min.	Pentád
-4	17,8		13		13,1		9,3	
-3	16,4		8,8		9,6		9,9	
-2	17,2		10,6		10,8		13,1	
-1	19,6		16,1		16,8		16,2	
0	17,2	17,64	12,6	12,22	12,9	12,64	13,8	12,46
1	13,4		4,9		4,8		12,7	
2	9		4,5		4,7		12,5	
3	8		3,5		3,5		9,5	
4	10,2		4,9		5,1		6,6	
5	12,1	10,54	11,2	5,8	12,4	6,1	7,3	9,72
6	14,6		13,6		13,6		9,1	
7	16,1		14,5		14,8		11,4	
8	18,2		14,5		14,9		11,5	
9	18,7		13,7		8,7		8,2	
10	13,2	16,16	13,1	13,88	13,1	13,02	2,9	8,62

A vizsgálat teljes időtartama alatt minden vizsgált tényező (év, fajtacsoport, kezelés) és ezek kölcsönhatásai is szignifikáns hatást gyakoroltak a klorofill tartalomra (19. táblázat).

19. táblázat: A relatív klorofill tartalom egyszempontos varianciaanalízisének eredményei.

Faktor	SS	df	MS	F	Sig.
Év	14469,90	3	4823,30	623,70	0,000
Fajtacsoport	3127,38	5	625,48	80,92	0,000
Kezelés	247,45	2	123,73	16,01	0,000
Év * Fajtacsoport	457,15	15	30,48	3,94	0,000
Év * Kezelés	701,49	4	175,37	22,69	0,000
Fajtacsoport * Kezelés	381,55	10	38,16	4,94	0,000
Error	10674,66	1381	7,73		

2018-ban a fajták SPAD értéke a kontroll időpontban 29,9-43,1 között változott (M13. táblázat). Legmagasabb az 'UKR 5' volt, míg a legalacsonyabb a 'Koshihikari'. A fajták 68%-ára nem hatott jelentősen az alacsony hőmérséklet (10,54°C). A klorofill tartalom ezeknél a genotípusoknál kis mértékben emelkedtek, vagy maximum 1 egységgel csökkentek (20. táblázat, I. és II. kategória). Egynél nagyobb mértékű csökkenést 32%-ban tapasztaltunk. Ebben a 32%-ban elsősorban az *indica*, *aus* és *aromatic* típusokhoz tartozó trópusi eredetű fajták találhatók. Ezen csoportok átlagos SPAD értéke 3,0-3,7 értékkel csökkent (21. táblázat), kivétel a 'CO 39', aminek SPAD értéke nem változott az 5. napon. A *tropical japonica* csoport mérsékelt csökkenést mutatott (-0,1), míg a *temperate japonica* típus értékei még növekedtek is a kontrollhoz képest. Kivétel egy *temperate japonica* vonal ('Japonka'), amelynél átlagosan 3,28 SPAD csökkenést mértünk az 5. napon. A 10. napon az érzékeny genotípusok aránya 15%-ra csökkent (3., 4. és 5. kategória együttesen). Ezek azok a fajták, amelyek a regenerációs fázisra sem érték el a hidegstressz előtti SPAD érték szintet.

Ezek kizárólag az *indica*, *aus* és *aromatic* fajtakörbe tartoznak. A *temperate japonica* és *tropical japonica* csoport tagjai regenerálódni tudtak. A kísérletünkben szereplő fajták közül a legérzékenyebb az 'IR74371-70-1-1' fülöp-szigeteki nemesítési anyag, ami kiugróan magas, 12 SPAD csökkenést szenvedett el a 10. napra, ezzel abszolút értelemben is a legalacsonyabb SPAD értéket (20,7) ért el. A fajtacsoportokban a 10. napra a legmagasabb relatív klorofill tartalommal a 'Nembo' (*temperate japonica*), az 'Arsenal' (*tropical japonica*), 'Tequing' (*indica*), a 'Dular' (*aus*) és a 'Dom Sofid' (*aromatic*) rendelkezett.

20. Táblázat: A vizsgált fajták százalékos megoszlása az egyes kategóriák között a kísérlet 5. és 10. napján, a vizsgált évek alatt a relatív klorofilltartalom (SPAD, 2018,2019) és a klorofilltartalom ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$; 2021) változása alapján.

Kategória	Klorofilltartalom változás a kontroll időponthozképest	2018		2019		2021	
		5. nap	10. nap	5. nap	10. nap	5. nap	10. nap
1.	>+1	33%	61%	1%	30%	11%	10%
2.	+1(-1)	35%	24%	19%	30%	40%	24%
3.	(-1)-(-3)	16%	13%	43%	18%	35%	30%
4.	(-3)-(-5)	12%	1%	17%	9%	11%	26%
5.	>-5	4%	1%	20%	13%	3%	11%

2019-ben az erőteljesebb hidegstressz (5,8°C) eredményeként alacsonyabb SPAD értékeket figyelhettünk meg, mint 2018-ban. A SPAD értékek 16,8-30,8 között ingadoztak a kontroll időpontban (M13. táblázat). Legmagasabbak közé továbbra is az 'UKR 5', 'Nembo' és a 'Premium' fajták kerültek. A természetes lehülés hatására a fajták 80%-a klorofill csökkenést mutatott már az 5. napra (20. táblázat), függetlenül attól, hogy melyik fajtakörbe tartoznak. Viszont a fajták 20%-a egyáltalán nem mutatott jelentős károsodást az 5. napra. Ezen fajták mindegyike *japonica* volt. A regeneráció fázisában csökkent az érzékeny reakciót mutató növényfajták száma, de még így is a fajták 40%-a a 10. napra sem tudta kiküszöbölni a hidegstressz károsító hatásait. Ezek többségében az *indica*, *aus* és *aromatic* fajtakörbe tartoznak, kivétel az *indica* csoportból a 'CO 39' és a 'Tequing' fajta, a *tropical japonica*-ból pedig az 'Arsenal'. A legérzékenyebb csoport 2019-ben az *aromatic* volt, ide tartoznak a 'Basmati' fajtakörbe tartozó genotípusok, amelyek SPAD értéke átlagosan 5,6-el csökkent (21. táblázat). A legkisebb csökkenést 2019-ben is a *temperate japonica* csoportnál mértünk (0,7). A legérzékenyebb vonal szintén az 'IR74371-70-1-1' volt, amelynek SPAD értéke a 10. napra 13,95 csökkenést mutatott, ami abszolút értelemben továbbra is a legalacsonyabb (5,7). A *temperate japonica* csoportban a 'Nembo', a *tropical japonica*-k közül az 'Arsenal', az *indica*-k esetében a 'PSB RC 10' és a 'CO 39', az *aus* csoportban a 'Dular', míg az *aromatic* közül a 'Dom Sofid' érte el a legmagasabb értéket a saját csoportján belül.

21. táblázat. Az átlagos relatív klorofill tartalom (SPAD, 2018,2019) és a klorofilltartalom ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$; 2021) változása a kontroll időponthozképest fajtacsoportonként, 2018, 2019 és 2021-ben. A különböző betűk szignifikáns különbséget jelentenek a fajtacsoportok között.

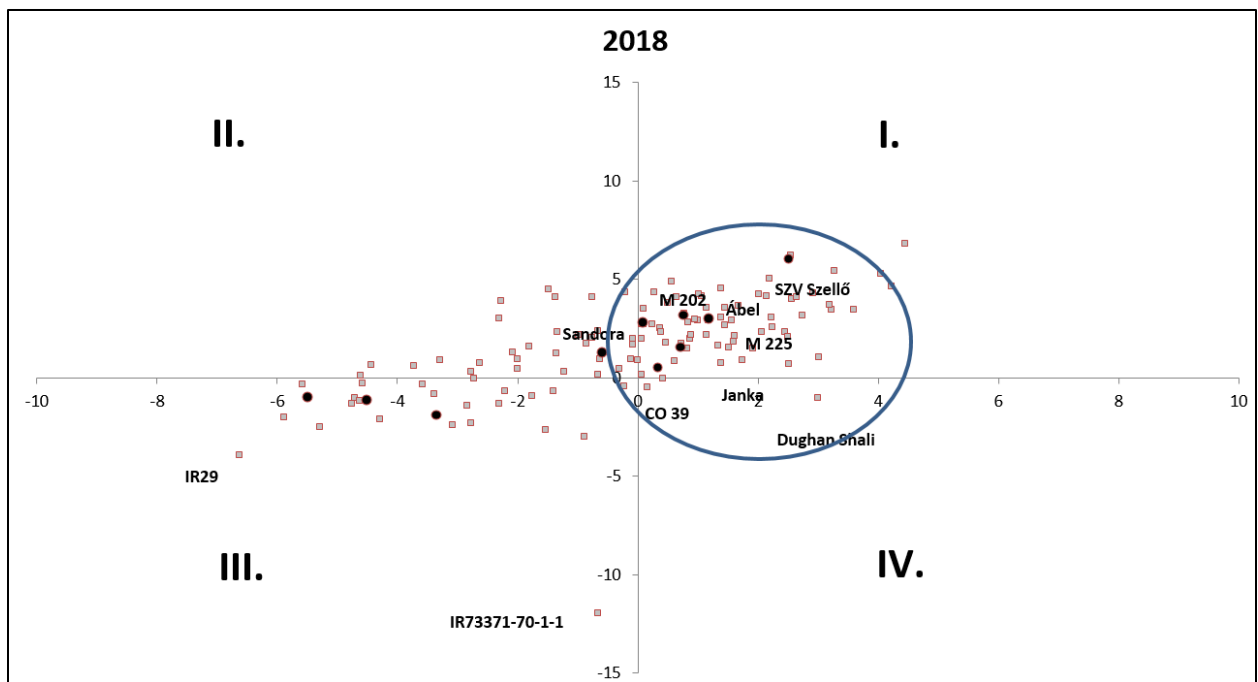
	Kontroll	2018		Kontroll	2019		Kontroll	2021	
		5. nap	10. nap		5. nap	10. nap		5. nap	10. nap
aromatic	34,85ab	31,85ab (-3,0)	33,00ab (-1,9)	23,70a	18,50ab (-5,2)	18,10a (-5,6)	19,85a	16,35a (-3,5)	15,85a (-4,0)
aus	32,60a	29,00a	31,80a	21,20a	17,30a	17,10a	18,35a	1,80ab	15,85a

		(-3,6)	(-0,8)		(-3,9)	(-4,1)		(-1,4)	(-2,5)
indica	34,91ab	31,24a	33,59abc	20,83a	16,95a	17,76a	18,86a	17,04ab	15,78a
		(-3,7)	(-1,3)		(-3,9)	(-3,1)		(-1,8)	(-3,1)
temp.japonica	35,25ab	36,29bc	37,98bc	24,04a	22,02b	24,72c	22,54a	21,79b	21,14b
		(1,0)	(2,7)		(-2,0)	(0,7)		(-0,8)	(-1,4)
trop.japonica	36,83b	36,70c	38,37c	22,69a	19,29ab	21,38b	20,05a	18,18ab	16,47a
		(-0,1)	(1,5)		(-3,4)	(-1,3)		(-1,9)	(-3,6)

2021-ben a fajták klorofill tartalma a lehülés előtt 11,9-26,2 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ között változott (M13. táblázat). Legmagasabb a 'Nucleoryza' és a 'Sandora' volt, míg a legalacsonyabb az 'IRRI 146'. A 2021-es évben a 2018-hoz hasonló mértékű lehülést tapasztaltunk az 5. napra (18. táblázat), viszont a regenerációs fázisban mért hőmérséklet (8,62°C) a legalacsonyabb volt a vizsgált évek közül. A fajták 49%-a szenvedett klorofilltartalom csökkenést az 5. napra, annak ellenére, hogy a már a természetes lehülési periódus előtt is a kritikus hőmérsékleti tartomány alatt volt a hőmérséklet. Ebbe a csoportba minden fajtacsoport szerepel, de elsősorban az *aromatic* csoport fajtái érintettek. Az átlagos klorofill tartalom csökkenés ennél a csoportban -3,5 volt. A legkevésbé érintett csoport a *temperate japonica*, míg a *tropical japonica*, *indica* és az *aus* csoport hasonló mértékű klorofill degradációt szenvedett el (1,4-1,9). A regenerációs fázisban tovább növekedett az érzékeny genotípusok száma (67%), ami a megmaradt alacsony hőmérséklet következménye. Összesen a fajták 10%-a volt képes az alacsony hőmérséklet ellenére növelni a klorofill koncentrációt (20. táblázat, 1. kategória). Ide szinte kizárólag a *temperate japonica*-k kerültek, az *indica*-k közül csak a 'CO 39' került bele.

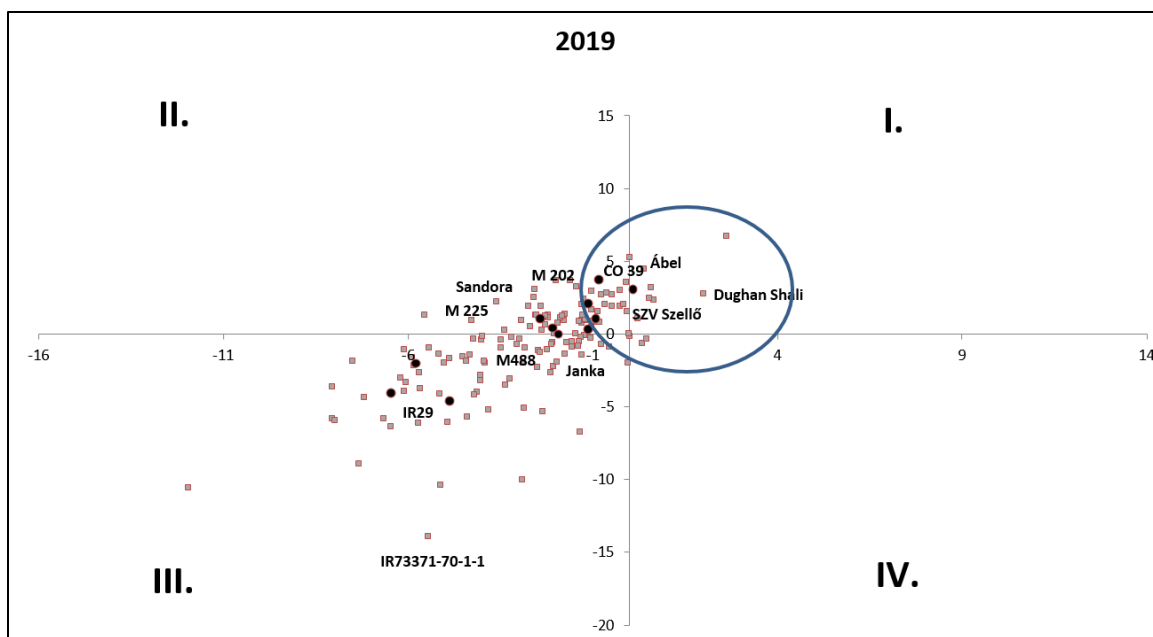
A legmagasabb klorofill tartalmat a kísérlet végére a *temperate japonica* esetében ismét a 'Nembo', és a 'Dáma K' ért el. A *tropical japonikák* közül a 'Korai Gladio', az *indica*-k között pedig a 'Teqing' és a 'CO 39', az *aus* csoportban az 'N22', míg az *aromatic* esetében a 'Dom Sofid' volt a legtoleránsabb.

A fajták teljesítményeinek további összehasonlítása érdekében a hideg hatására bekövetkezett klorofill változásokat koordináta rendszerben ábrázoltuk (13-15. ábra). 2018-ban az enyhébb stressz (10,54°C) következtében 55 fajta került az I. negyedbe (13. ábra). A hidegtűrő standard, az 'M202' több Magyarországon államilag elismert rizsfajtaival ('Janka', 'M 225', 'M 488', 'Oryzella', 'SZV Szellő') együtt ebben a negyedben vannak. A II. negyedbe olyan fajták tartoznak, mint a 'Japonka', 'Sprint', 'Selenio' és a 'Teqing', de a 'Sandora', mint hidegtűrő is ide került. A legérzékenyebb fajtának az 'IR74371-70-1-1' és az 'IR 29' bizonyult, így azok a III. csoportba kerültek.



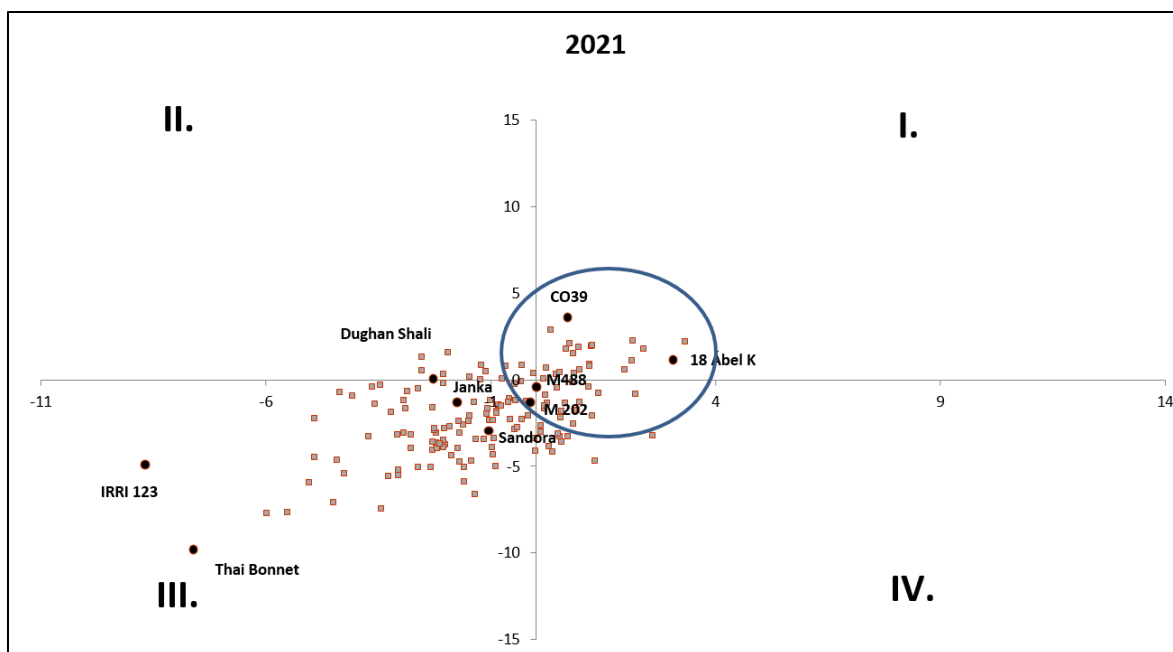
13. ábra: A relatív klorofill tartalom (SPAD) változás a kiindulási értékekhez képest 2018-ban. Az x tengely az 5. napi változást, az y tengely pedig a 10. napi változást mutatja. A bekeretezett rész a sztenderdekkel elérő ('M202' és 'Sandora') vagy meghaladó teljesítményt mutatja.

2019-ben az alacsonyabb hőmérséklet (5,8°C) következtében jóval kevesebb fajta került az I. negyedbe (14. ábra), ezek (8 vonal) mindegyike a japonica típusúhoz tartozik ('Dughan Shali', 'Ábel', 'Oryzella', 'Pallagi 77', 'Risabell/2', 'Tzjao-Bu-zshi', 'Jolanda', 'Kikko'). A II. negyedbe került az előző évhez hasonlóan a 'Japonka', 'Sprint', 'Selenio' és a 'Teqing'. A legérzékenyebbek (III. negyed) ebben az évben is az 'IR74371-70-1-1' bizonyult, klorofill tartalma közel 14 egységnyivel csökkent a 10. napra. A IV. negyedbe pedig összesen 4 fajta került. Az utóbbi három kategóriában a *japonica* és *indica* vonalak vegyesen fordulnak elő. A sztenderdként használt 'M202' és 'Sandora' SPAD értéke is 1 egységgel csökkent az 5. napra, amit a regeneráció alatt a hidegperiódus előtti szintre tudtak növelni. A szigorúan az első negyedben levő nyolc genotípus mellett ezért a nemesítési szempontokat is figyelembe véve kiterjeszthetjük a toleráns genotípusok körét az 'M202' és 'Sandora' értékeinél jobbakra, így a nyolc vonal mellé még 11 vonal kerülhet, ami a két standard fajtánál jobban teljesített.



14. ábra: A relatív klorofill tartalom (2021) változás a kiindulási értékekhez képest 2019-ban. Az x tengely az 5. napi változást, az y tengely pedig a 10. napi változást mutatja. A bekeretezett rész a sztenderdekét elérő ('M202' és 'Sandora') vagy meghaladó teljesítményt mutatja.

2021-ben az I. negyedbe 22 vonal került, többségében *temperate japonica*-k, de három *indica* genotípus is bekerült: 'CO 39', 'IRRI 147' és a 'PSB RC 44'. Ezen vonalak teljesítménye a sztenderdként használt 'M202' és 'Sandora' fajták eredményeit is felülmúlja (15. ábra). A legnagyobb károsodást ebben az évben az 'IRRI 123' (*indica*) és a 'Thai Bonnet' (*tropical japonica*) szenvedte el.



15. ábra: A klorofill tartalom ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$) változás a kiindulási értékekhez képest 2021-ben. Az x tengely az 5. napi változást, az y tengely pedig a 10. napi változást mutatja. A bekeretezett rész a sztenderdekét elérő ('M202' és 'Sandora') vagy meghaladó teljesítményt mutatja.

A vizsgált négy év alapján kijelenthető, hogy a *japonica* erőteljesebb hidegtoleranciával rendelkezik, mint az *indica*. Ezt a tudományos irodalom is alátámasztja (Mackill és Lei 1997, Cruz *et al.* 2013). Hidegtűrő *indica* vonalat eddig csak Biswas publikált (Biswas *et al.* 2017). A legkisebb mértékű stresszt okozó évben is az 5. napra 2 genotípus kivételével ('CO 39' és az 'IR74371-70-1-1') az *indica* csoport (*indica+aromatic+aus*) összes tagjának csökkent a klorofill tartalma. A regenerációs fázisra viszont kizárólag az *indica* csoportba tartozóaknak csökkent tovább a klorofill tartalma. A *tropical japonica* csoport hidegtoleranciája gyengébbnek mutatkozott a *temperate japonica* csoporthoz képest két évben (2019 és 2021) is, habár szignifikáns különbséget csak a stressz előrehaladottabb állapotában, a 10. napon detektáltunk. Megfigyelésünk részben alátámasztja (Mackill és Lei 1997) eredményeit, akik azt tapasztalták, hogy a *tropical japonica* az *indica* és a *temperate japonica* közötti értékeket vesz fel, de szignifikánsan nem különböznek egymástól. Eredményeink alapján ez az állítás elfogadható azzal a kiegészítéssel, hogy erőteljesebb stressz esetében, viszont már szignifikánsan különbözik a két csoport. Az *indica* csoporton belül a 'Teqing' és 'CO 39' fajtáknál tapasztaltuk a legnagyobb hidegtoleranciát, az 5. napon mért klorofill csökkenést a regeneráció alatt képesek voltak a kezelés előtti szintre emelni. Habár a 'Teqing' rendszerint negatív kontrollként, érzékeny genotípusként szerepel (Zhi-Hong *et al.* 2005). Ráadásul az 'CO 39' a sztenderdek ('M202' és 'Sandora') teljesítményét is elérte, így ez a fajta az egyetlen *indica* csoportba tartozó genotípus a fajtagyűjteményünkben, amely jelentős hidegtoleranciát mutatott.

7. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

- 1) Két fajta (Janka, M 488) a növekvő sókoncentráció ellenére stabil gyökérnövekedést mutatott egészen 120mM-ig, további kettő (Risabell és Dunghan Shali) erőteljesebb gyökérnövekedést produkált, mint a kontroll, egészen 90mM-ig.
- 2) A *japonica_1* csoport klorofill tartalma folyamatos sóstressz mellett szignifikánsan alacsonyabb, mint a másik két csoporté. Antocianin és karotinoid tartalma stresszmentes körülmények között szintén alacsonyabb, koncentrációjuk sóterhelésre megemelkedik, az antocianinok szintje az *indica* szintjével megegyező szintre.
- 3) A csíranövény korban mért gyökérparaméterek, elsősorban annak tömege és K koncentrációja szignifikánsan korrelál a reprodukciós fázis alatti biomasszával és a későbbi termés mennyiségével az S1 kezelés esetében.
- 4) A 'Dáma' fajta a *japonica* csoporton belül egyedülálló módon az *indica*-val egyenértékű sótoleranciát mutat. Kiemelkedő toleranciájú fajta ritka a *japonica*-k között, mivel bizonyos tolerancia mechanizmusok hiányoznak a csoportból.
- 5) A 'Risabell' fajta magas kálium koncentrációt mutat, mind gyökérben, mind zászlóslevélben, ami nem magyarázható csak a remobilizációval.
- 6) Csírázaskor és csíranövénykorban erőteljesebb hidegstressz esetén a *tropical japonica* csoport hidegtoleranciája gyengébb a *temperate japonica* csoportéhoz képest, mint ahogy a szakirodalom alapján várható.
- 7) Az általánosan hidegérzékenyként leírt *indica* csoportból korábban egy hidegtűrő genotípust azonosítottak. Vizsgálataink alapján hidegtűrőként azonosítottuk a 'CO 39' fajtát. E genotípus minden vizsgált évben elérte a sztenderdek ('M202' és 'Sandora') teljesítményét mind csírázaskor, mind csíranövény korban.

8. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK

Magyarország az európai rizstermesztés északi határán fekszik, így elsősorban a tenyészidőszak elején és a virágzás környékén igen gyakoriak az alacsony hőmérsékletek. További adottság, hogy mind a hazai fajtaelőállítás, mind a termesztés, szikes, vagy szikes jellegű területeken zajlik. Az abiotikus stressztolerancián belül ezért főként a fajták hideg-, és sótűrését tanulmányoztuk.

Eredményeim alátámasztották, hogy a Magyarországon nemesített fajták általában jó abiotikus stressztűrő képességgel rendelkeznek. Számos hazai fajta/genotípus teljesítménye jelentősen felülmúlta a nemzetközi sztenderdeket. Mivel a hazánkban előállított rizsek nemzetközi felhasználására csak elvétve akad példa (Sandora), így ezek a vonalak további nemesítési programokban való felhasználása javasolt. Manapság a klímaváltozás miatt is egyre nagyobb az érdeklődés az olyan génforrások iránt, ami hozzájárulhat az abiotikus stressztűréshez. Ehhez az igényhez szeretne hozzájárulni ez a dolgozat is, ami támpontot nyújthat további nemesítés alapanyagául, valamint olyan genetikai vizsgálatokhoz, ami alapján mélyebben igazolható e vonalak kiválósága.

A dolgozatban felhasznált genotípusokat több fejlődési állapotban vizsgáltuk a magas sókoncentráció, és az alacsony hőmérséklet által kiváltott stresszhatásra. A szakirodalmi adatok alapján a rizs genotípusok sótűrését 12 dS/m-es vezetőképességű (~120 mM) oldatban vizsgálják, mind csírázás, mind csíranövény, mind a reprodukciós fázis alatt. Vizsgálataink kimutatták, hogy a jelenleg is köztermesztésben lévő két fajta az 'M 488' és a 'Janka' gyökernövekedése tartós maradt egészen a 90 mM-os koncentrációig. A 'Risabell' és a 'Dunghan Shali' fajták esetében pedig egyfajta serkentő hatást is kimutattunk. E két fajta gyökernövekedése erőteljesebb volt a só jelenlétében. Az utóbbi fajtánál ez a növekedési erély a hajtás esetében is fennállt. A vegetatív fejlődés alatt a Magyarországon nemesített fajták (*japonica_1*) vizuális megfigyelés alapján világosabb levelűek. A kísérletek alátámasztották, hogy ez alacsonyabb klorofill, karotinoid és antocianin tartalmat jelent. Stressz hatására az antioxidánsként is funkcionáló karotinoidok és antocianinok szintje jelentősen megemelkedik. A *japonica_2* és az *indica* esetében viszont stressz hatására nem változik az antocianinok szintje, a karotinoidok koncentrációja kismértékben emelkedik. Ezen eredmények a *japonica_1* nem enzimikus antioxidáns rendszerének gyors válaszát igazolják. Továbbiakban egyéb, ide tartozó anyag, aszkorbinsav, glutation mennyiségét is érdemes lenne megvizsgálni. A csíranövénykori tesztelés során kimutattuk, hogy a gyökérparaméterek, elsősorban annak tömege és kálium koncentrációja szignifikáns hatással van a későbbi fejlődési állapotra. A kálium koncentráció a 'Janka', 'M 488' és a 'Risabell' fajták képesek magas szinten tartani a zászlóslevelében, még erőteljes sóstressz alatt is. A szakirodalom szerint a *japonica* csoport nem rendelkezik magas K felvételi képességgel stressz alatt. Ezt igazolhatja a fajták többsége, hiszen az S2 kezelés hatására a kálium koncentráció nem tud a kontroll szintre visszaállni. A 'Janka' és az 'M 488' esetében a mért magas K szintet a gyökér K tartalmának remobilizációjával éri el. Viszont a 'Risabell' esetében teljesen helyreáll a hosszú távú stressz alkalmazásakor.

Az 'M 488' gyors kálium mobilizációja még kontroll körülmények között is megvalósul, magas sóterheléskor pedig extrém magas nátrium koncentrációt mértünk. A 234-272 $\mu\text{mol/g}$ -os érték jellemzően a harmadik és a negyedik levélnél figyelhető meg. A nátrium gyors transzportja akadálytalanul valósul meg ennél a fajtánál, hiszen a szemek Na^+ tartalma is kiemelkedően magas. A magas Na^+ koncentráció ellenére fiziológiai károsodást nem mutattunk ki a kontroll esetében,

annak ellenére, hogy közel azonos Na^+ koncentrációt figyeltünk meg. Az erőteljesebb kompartmentalizáció meglétét a négy vakuoláris *NHX* gén (*OsNHX1*, *OsNHX2*, *OsNHX3* és *OsNHX5*) expressziójának vizsgálatával lehetne biztosan eldönteni.

A dolgozatban továbbá azonosítottuk azokat a genotípusokat, amelyeknek az alacsony hőmérsékleti csírázóképesége kiemelkedő. Ez a tulajdonság a mérsékelt övi rizstermesztés esetében elsődleges fontosságú, hiszen ezen a területeken a közvetlen földbevetés az alkalmazott technika. A szakirodalmi adatok alapján a *tropical japonica* vonalak hidegtűrése jelentősen nem különbözik a *temperate japonica*-tól. Méréseink négy éve alatt azonban kimutatható, hogy alacsonyabb stressz esetén ez valóban így van, de jelentős hőmérséklet csökkenés esetében a különbség statisztikailag is igazolható. A csoportok közötti különbség feltárását nehezíti, hogy a fajták között olykor jelentős különbségek figyelhetők meg, különösen a *temperate japonica* vonalaknál. Ezen csoportnál megfigyelhető, hogy a hosszúszemű genotípusok ('Risabell'; 'Ringola'; 'Oryzella' és 'Risabell B-3/13') gyengébb teljesítményt mutatnak csírázáskor. Ugyanakkor az *indica* csoportba tartozó vonalak közül a lehidegtűrőbbnek bizonyult 'CO 39' kerek szemű. Úgy tűnik tehát, hogy a szemhosszúság és a hidegtűrés között erőteljes kapcsolat van. Így a jövőben a hosszúszemű vonalak előállításakor különösen fontos a hidegtűrés tesztelése.

9. ÖSSZEFOGLALÁS

A rizs (*Oryza sativa* L.) a világ egyik legfontosabb gabonanövénye, amely a világ népességének több mint fele esetében alapvető élelmiszernek számít. A növekvő népességgel az előállított gabonafélék mennyiségét is szükséges növelni. Ez részben a termőterületének növelésével érhető el. A rizstermesztés a trópusi és szubtrópusi régiók kedvezőtlenebb területeire (magasan fekvő régiók, tengerparti területek) való kiterjesztésével nő az abiotikus stressz okozta károk valószínűsége. Napjainkban a termés növelésének másik módja, hogy *indica x japonica* keresztezésből származó vonalakat és hibrideket állítanak elő, ami ugyan erőteljes terméstöbbletet eredményez, ugyanakkor hidegérzékenyebbek. Az abiotikus stresszek általában összetettek és ritkán fordulnak elő elszigetelten. A sóstressz és a hidegstressz is rendszerint ásványi tápanyaghiánnyal párosulnak, amelyek tovább súlyosbítják a problémát. A magyarországi fajták az ország elhelyezkedéséből és klimatikus adottságaiból adódóan jó abiotikus stressztűrő képességgel rendelkeznek. Hiszen a rizstermesztés elsősorban szikes vagy szikes jellegű területen folyik, továbbá a termesztési technológia megköveteli a fajták gyors, egyenletes csírázását és növekedését is. A hazai fajták sikerességét, több nemzetközi tanulmány is alátámasztotta. A dolgozat célja ezért a rendelkezésre álló genotípusok toleranciájának kísérletes megállapítása. Mivel mind az alacsony hőmérséklet, mind a magas sókoncentráció hatása erőteljesen függ a növény fejlődési állapotától, ezért a tolerancia meghatározásához a növény érzékeny periódusai alatti válaszokat vettük figyelembe. A magas sókoncentráció a rizs csírázására viszonylag kevésbé hat, de a növekedés korai szakaszában nagyon érzékennyé válik (1-3 hét), majd a bokrosodás során ismét toleránsabb. A termés szempontjából a legérzékenyebb szakasz a bugaképződés, virágzás és a megtermékenyítés időszaka. Az alacsony hőmérséklet viszont jelentősen gátolja a csírázás előrehaladását, és a korai vegetatív és korai generatív fázisokban szintén jelentős hatást gyakorolnak.

A sótűrési vizsgálatokat rendszerint 12 dS/m-es vezetőképességű (~120 mM) sóoldatban végzik, fejlődési fázistól függetlenül. A hidegtűrési vizsgálatok esetében azonban nincs ilyen szé-

les egyértelmű konszenzus. Különböző hőmérsékleteket alkalmaznak fejlődési állapottól, fajtacsoporttól függően 2 °C-19 °C között. Ezért egy előkísérlettel határoztuk meg, mely hőmérséklet alkalmas különböző alfajba tartozó genotípusok együttes összehasonlítására csírázáskor. A csíranövénykori hidegtolerancia megállapítására a levélszín változását rögzítettük, hiszen a levélszínzöldésre érzékeny genotípusok többségét hidegre érzékenynek is találták, és fordítva.

Eredményünk alapján megállapítható, hogy a növekvő sókoncentráció hatására a fajták átlagában a nyugalmi periódus (DT) és a medián csírázási idő (MGT) szignifikáns mértékben növekszik, míg a csírázási százalék (GP), a csírázási sebesség (GR), a koleoptil (CL) és a gyököcske hossz (RL) szignifikáns mértékben csökken. Ennek ellenére néhány fajta esetében ezzel ellentétes megállapításra jutottunk. Az 'M 488' és a 'Janka' gyökérnövekedése tartós maradt egészen a 90 mM-os koncentrációig. A 'Risabell' és a 'Dunghan Shali' fajták esetében pedig erőteljesebb volt a só jelenlétében a gyökér növekedése, mint a kontroll esetében. Az utóbbi fajtánál ez a növekedés a hajtás esetében is megfigyelhető volt. A csíranövénykorban a biomassa hígító hatását igazolva, alacsonyabb Na⁺ koncentrációt mutattunk ki a nagyobb gyökér és hajtástömeget produkáló fajtánál. A *japonica*-k esetében szignifikánsan alacsonyabb Na⁺ és szignifikánsan magasabb K⁺ tartalmat mutattunk ki. A magasabb kálium hozzájárul a gyökerek kedvezőbb Na/K arányához, és fenntartja a növekedést, ami kedvezőbb életképességi paraméterben mutatkozik meg. A korreláció a gyökér ezen tulajdonsága és a hajtás Na⁺ koncentrációja között szignifikánsnak mutatkozott. A gyökér kedvező kálium szintje a későbbi fejlődési állapotban is kimutatható. A szakirodalmi adatok ellenére korrelációt tapasztaltunk a csíranövények gyökerének kálium tartalma, biomassa értéke és a reprodukciós fázis alatti növénymagassággal és terméssel is. Ez a 'Risabell' esetében erőteljes kálium felvétellel, a többi fajtánál a már korábban felhalmozottak gyors remobilizációjával magyarázható. Az 'M 488' erőteljes hajtásba irányuló Na⁺ transzportját igazolja a kontroll esetében a gyökérben a többi fajtával megegyező nátrium szint, valamint az extrém magas nátrium jelenléte a zászlólevélben és a szemben. A rövid stresszhatás (S1) alatt gyökérben mért alacsonyabb nátrium szintén alátámasztja ezt. A 'Dáma' az *indica*-val megegyező toleranciát mutat. Mind a rövid (S1), mind a hosszabb (S2) stresszhatás alatt a kontroll szintjén maradt a gyökér nátrium koncentrációja. Mivel a káros ionok beáramlása leginkább passzív transzporton kerülnek be a gyökérsejtekbe, ezért a gyökerekből a rizoszférába történő Na⁺ transzportért felelős H⁺-AT-Pázokat kódoló *SOS1* gén expressziójának vizsgálatával lehetne maradéktalanul alátámasztani a 'Dáma' sókizárási mechanizmusát.

Ezen túlmenően a fenti fajtákat magában foglaló *japonica_1* csoportra általánosan jellemző az alacsonyabb klorofill, karotinoid és antocianin tartalom. Stressz hatására azonban a karotinoidok és antocianinok szintje jelentősen megemelkedik, viszont a *japonica_2* és az *indica* esetében nem változik az antocianinok szintje, a karotinoidok koncentrációja pedig kismértékben emelkedik. Ezen eredmények a *japonica_1* nem enzimatisz antioxizáns rendszerének gyors aktivizálását igazolják. Összességében az adatok alátámasztják, hogy a *japonica_1* csoport eltérő válaszokkal rendelkezik a *japonica_2* csoporthoz képest.

Vizsgálatunk során igazoltuk, hogy bár a *tropical japonica* hidegtűrési paraméterei közel állnak a *temperate japonica* csoporthoz, jelentős hőmérséklet csökkenés esetén a két csoport szignifikánsan szétválasztható egymástól. Mind a csírázási, mind a négyéves szántóföldi vizsgálat eredménye alapján azonosíthatóak azok a genotípusok, melyek lehetséges forrásai lehetnek a jövő abiotikus stressz rezisztens fajtáinak. Különösen az *indica* csoportba tartozó 'CO 39' teljesítménye kiemelkedő, hiszen hidegtűrő *indica* vonalról eddig csak egy forrás számolt be. Amennyiben bebizonyosodik egyéb stressztűrési képessége is, akkor potenciális szülőpartnerként alkalmazható az abiotikus rezisztencia nemesítés során.

10. SUMMARY

Rice (*Oryza sativa* L.) is one of the world's most important cereal crops, a staple food for more than half the world's population. With a growing population, there is a need to increase the amount of cereal produced. This can be achieved in part by increasing the cultivation area. Expanding rice production to less favourable areas of tropical and subtropical regions (high altitude regions, coastal areas) increases the likelihood of damage from abiotic stresses. Nowadays, another way to increase yields is to produce *indica x japonica* hybrids, which give a significant yield increase but one of its parental lines is an *indica rice*, which has weak cold tolerance. Abiotic stresses are usually complex and rarely occur independently. Both salt stress and cold stress are usually associated with mineral nutrient deficiencies, which exacerbate the problem. Hungarian varieties have a good abiotic stress tolerance due to the location and climatic conditions of the country. Rice is grown mainly in saline or salt affected areas, and the cultivation technology also requires rapid and uniform germination and growth of the varieties. The abiotic stress tolerance of the Hungarian rice varieties has been confirmed by several studies. The aim of this thesis is to provide experimental findings about the tolerance of the genotypes. Since the effects of low temperature and high salt concentration are strongly dependent on the developmental stage of the plant, the responses during the sensitive periods of the plant were considered to determine tolerance. High salinity has relatively little effect on rice germination, but rice is very sensitive in the early growth stages (1-3 weeks) and then becomes more tolerant again during active tillering. The most sensitive period is the period of panicle initiation, and flowering. However, low temperatures significantly inhibit the progress of germination and also have a significant effect during the early vegetative and early reproductive stages.

Salinity tolerance tests are usually performed in a saline solution with a conductivity of 12 dS/m (~120 mM), regardless of the developmental stage. However, no such wide consensus exists for cold tolerance tests. Different temperatures between 2 °C and 19 °C are used, depending on the developmental stage and variety group. Therefore, a preliminary experiment was conducted to determine which temperature is suitable for comparing different genotypes of different subspecies at germination stage. To determine cold tolerance of the germplasm at seedling stage, leaf discoloration was recorded, because most of the genotypes sensitive to leaf discoloration were also found to be sensitive to cold, and vice versa.

Our results show that the average dormancy period (DT) and median germination time (MGT) significantly increase with increasing salt concentration, while germination percentage (GP), germination rate (GR), coleoptile (CL) and radicle length (RL) significantly decrease. However, for some varieties the opposite finding was obtained. The root growth of 'M 488' and 'Janka' remained stable, up to a concentration of 90 mM. In 'Risabell' and 'Dunghan Shali', root growth was more pronounced in the presence of salt than in the control. In the latter variety, this growth was also observed in the shoot. At the seedling stage, lower Na⁺ concentrations were observed in the cultivars with higher root and shoot biomass, confirming the dilutive effect of biomass. In *japonica*, significantly lower Na⁺ and significantly higher K⁺ were detected. Higher potassium

contributes to a more favourable Na/K ratio in roots and sustains growth, which is reflected in a more favourable root viability parameter. The correlation between this root trait and shoot Na⁺ concentration was found to be significant. The favourable potassium level in the root was also detected at the later developmental stage. Despite the previous published data, a correlation was observed between the root potassium content, biomass value of the seedlings and the plant height and yield. This can be explained by a strong uptake of potassium in the case of 'Risabell' and by a rapid remobilization of previously accumulated potassium at the other cultivars. A strong Na⁺ transport into the shoot of 'M 488' was confirmed by the same root sodium levels of the control as in the other cultivars and by the presence of extremely high sodium in the flag leaf and in the seed. This is also supported by the lower sodium level, measured in the root during the short time stress (S1). 'Dáma' shows same tolerance like *indica*. Under both short time (S1) and long time (S2) stress conditions, root sodium levels remained at control levels. Since the influx of toxic ions into root cells occurs mainly via passive transport, it could be prove by examining the expression of the *SOS1* gene encoding H⁺-ATPases responsible for the transport of Na⁺ from roots to the rhizosphere.

In addition, the *japonica_1* group, which includes the above mentioned varieties, is generally characterised by lower chlorophyll, carotenoid and anthocyanin content. However, under stress condition, carotenoids and anthocyanins levels increase significantly, whereas in *japonica_2* and *indica*, anthocyanins levels remain unchanged and carotenoids concentrations increase slightly. These results indicate a rapid activation of the non-enzymatic antioxidant system in *japonica_1*. Overall, the data support that the *japonica_1* has different responses to salinity compared to the *japonica_2*.

We have demonstrated that although the cold tolerance parameters of *tropical japonica* are close to those of *temperate japonica*, the two groups can be significantly separated when temperatures decreased strongly. The results of both the germination and four-year field trials identify genotypes that could be potential sources of future breeding activity. In particular, the performance of the *indica* 'CO 39' is outstanding, as only one cold tolerant *indica* line has been reported so far. If its other stress tolerance abilities are demonstrated, it could be used as a potential parental line for breeding.

11. A DOLGOZAT GYAKORLATI HASZNOSÍTHATÓSÁGA

A tolerancia vizsgálatok rámutattak arra, hogy a magyar rizsfajták sikeresen alkalmazhatóak mind kísérletekben új sztenderdként, mind a további nemesítésben, mind a köztermesztésben.

Az 'M 488' fajta a többi fajtától eltérően kimagasló mértékben halmozza fel a nátriumot minden szervében. A magas, szembe felhalmozott nátrium a többi magyar fajtára is általánosan jellemző még stresszmentes körülmények között is. Ez a tulajdonságuk befolyásolhatja a rizsszemek főzés utáni ízét is, amit a régebbi közlemények rendszeresen meg is említenek.

A 'Dáma' fajta szintén alkalmas további sótűrési vizsgálatok pozitív kontrolljaként, hiszen a vizsgált fajták közül még erőteljes stressz fellépésekor is a legkisebb károsodást szenvedte el. *Indica*-hoz közeli kedvező nátrium és kálium koncentrációt képes fenntartani, ami további magyarázatot igényelne, hiszen bizonyos transzportfolyamatok teljesen hiányoznak a *japonica* csoportból.

A hidegtűrési vizsgálatok bemutatták, hogy a rizsnemesítés rendelkezésére álló jelenlegi génállomány milyen széles variabilitású alacsony hőmérséklettel szemben. A vizsgálatok igazolták, hogy a köztermesztésben népszerű fajták: Ábel, M 488, Janka, és az M 225 kiváló hidegtoleranciával rendelkeznek a korai fejlődés során. A jövőbeli nemesítésnek így tehát rendelkezésre állnak a nemzetközi sztenderdek meghaladó hidegtoleranciájú genotípusok.

Az irodalmi adatok azt sugallják, hogy a hosszúszemű rizsfajták gyengébb hidegtoleranciával rendelkeznek. Mivel ez a tulajdonság a *tropical japonica* csoportból származik, ezért ezt további vizsgálatokkal lehetne eldönteni. Ennek hiányában viszont különös figyelmet kell fordítani a hosszú szemtípussal rendelkező nemesítés vonalak tesztelésére. Ígéretes azonban, hogy az a kevés számú hosszú szemű fajtával rendelkező fajta (Pallagi 77, Risabell, Karola, SZV Szellő), amivel a fajtagyűteményünk rendelkezik, magas toleranciát mutat.

12. MELLÉKLETEK

12.1 Irodalomjegyzék

- ABBAS, M. *et al.*, (2013): Salt Tolerance Study of Six Cultivars of Rice (*Oryza sativa* L.) During Germination and Early Seedling Growth. *Journal of Agricultural Science*, 5 (1), 250-259 p.
- ABDALLAH, M.M.-S. *et al.*, (2016): Alleviation of the adverse effects of salinity stress using trehalose in two rice varieties. *South African Journal of Botany*, 103, 275–282 p.
- ABE, A. *et al.*, (2012): OsGA20ox1, a candidate gene for a major QTL controlling seedling vigor in rice. *TAG. Theoretical and applied genetics. Theoretische und angewandte Genetik*, 125 (4), 647–657 p.
- AHMADI, N. *et al.*, (2011): Targeted association analysis identified japonica rice varieties achieving Na⁺/K⁺ homeostasis without the allelic make-up of the salt tolerant indica variety Nona Bokra. *Theoretical and Applied Genetics*, 123 (6), 881–895 p.
- AHMADIZADEH, M. *et al.*, (2016): Reproductive stage salinity tolerance in rice: a complex trait to phenotype. *Indian Journal of Plant Physiology*, 21 (4), 528–536 p.
- ALI, A.J. *et al.*, (2006): Hidden diversity for abiotic and biotic stress tolerances in the primary gene pool of rice revealed by a large backcross breeding program. *Field Crops Research*, 97 (1), 66–76 p.
- ALI, Md.N. *et al.*, (2014): Screening of rice landraces for salinity tolerance at seedling stage through morphological and molecular markers. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 20 (4), 411–423 p.
- ALI, M.G., *et al.*, (2003): Effect of a Range of Constant Temperatures on Germination of Fifteen Bangladeshi Rice (*Oryza sativa* L.) Cultivars. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 6 (12), 1070–1076 p.
- ALLISON, L.E. *et al.*, (1954): Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. in: *Agricultural Handbook*, United States Department of Agriculture
- ANDAYA, V. és D. MACKILL, (2003a): QTLs conferring cold tolerance at the booting stage of rice using recombinant inbred lines from a japonica × indica cross. *Theoretical and Applied Genetics*, 106 (6), 1084–1090 p.
- ANDAYA, V. és D. MACKILL, (2003b): Mapping of QTLs associated with cold tolerance during the vegetative stage in rice. *Journal of Experimental Botany*, 54 (392), 2579–2585 p.
- ARAI-SANO, Y. *et al.*, (2010): Effects of Soil Temperature on Growth and Root Function in Rice. *Plant Production Science*, 13 (3), 235–242 p.
- ASCH, F., *et al.*, (1995): Response of rice varieties to soil salinity and air humidity: A possible involvement of root-borne ABA. *Plant and Soil*, 177 (1), 11–19 p.
- ASCH, F. és M.C.S. WOPEREIS, (2001): Responses of field-grown irrigated rice cultivars to varying levels of floodwater salinity in a semi-arid environment. *Field Crops Research*, 70 (2), 127–137 p.
- ASLAM, M., *et al.*, (1993): A rapid screening technique for salt tolerance in rice (*Oryza sativa* L.). *Plant and Soil*, 150 (1), 99–107 p.
- BADO, S. *et al.*, (2016): Prediction of Salt Tolerance in Rice (*Oryza Sativa*) Based on Shoot Ion Content under Non-Stressed Conditions. *Journal of Materials Science and Engineering*, 6 (1–2), 1–16 p.
- BALKAN, A. *et al.*, (2015): Response of rice (*Oryza sativa* L.) to salinity stress at germination and early seedling stages. *Pakistan Journal of Agricultural Sciences*, 52 (2), 455–461 p.
- BASUCHAUDHURI, P., (2014): *Cold Tolerance in Rice Cultivation*. CRC Press, 1-200 p.
- BAZIHIZINA, N. *et al.*, (2019): Friend or Foe? Chloride Patterning in Halophytes. *Trends in Plant Science*, 24 (2), 142–151 p.

- BECK, E. és P. ZIEGLER, (1989): Biosynthesis and Degradation of Starch in Higher Plants. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 40 (1), 95–117 p.
- BENITO, B. *et al.*, (2014): The twins K⁺ and Na⁺ in plants. *Journal of Plant Physiology*, 171 (9), 723–731 p.
- BERTAZZINI, M., (2014): Biochemical and molecular analyses of key enzymes controlling salt stress response in Italian rice (*Oryza sativa* L.) varieties. *Doktori értekezés*, 159 p.
- BERTAZZINI, M., *et al.*, (2018): A differential tolerance to mild salt stress conditions among six Italian rice genotypes does not rely on Na⁺ exclusion from shoots. *Journal of Plant Physiology*, 226, 145–153 p.
- BERTIN, P., *et al.*, (1996): Evaluation of chilling sensitivity in different rice varieties. Relationship between screening procedures applied during germination and vegetative growth. *Euphytica*, 89 (2), 201–210 p.
- BIN RAHMAN, *et al.*, (2018): Preferential Geographic Distribution Pattern of Abiotic Stress Tolerant Rice. *Rice*, 11 (10), 1–16 p.
- BISWAS, P.S. *et al.*, (2017): Mapping and validation of QTLs for cold tolerance at seedling stage in rice from an indica cultivar Habiganj Boro VI (Hbj.BVI). *3 Biotech*, 7 (6), 359.
- BLUMWALD, E., *et al.*, (2000): Sodium transport in plant cells. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Biomembranes*, 1465 (1), 140–151 p.
- BOCKHEIM, J.G. és A.N. GENNADIYEV, (2000): The role of soil-forming processes in the definition of taxa in Soil Taxonomy and the World Soil Reference Base. *Geoderma*, 95 (1), 53–72 p.
- BONNECARRÈRE, V. *et al.*, (2011): Response to photooxidative stress induced by cold in japonica rice is genotype dependent. *Plant Science*, 180 (5), 726–732 p.
- BROWN, J.H., (1984): On the Relationship between Abundance and Distribution of Species. *The American Naturalist*, 124 (2), 255–279 p.
- CAMPBELL, M.T. *et al.*, (2017): Allelic variants of OsHKT1;1 underlie the divergence between indica and japonica subspecies of rice (*Oryza sativa*) for root sodium content. *PLOS Genetics*, 13 (6), e1006823.
- CHANG, T.T. és BARDENAS E.A. (1965): The morphology and varietal characteristics of the rice plant. *Technical Bulletin of International Rice Research Institute*, 4, Los Baños, Philippines.
- CHAUMONT, F. és S.D. TYERMAN, (2014): Aquaporins: Highly Regulated Channels Controlling Plant Water Relations. *Plant Physiology*, 164 (4), 1600–1618 p.
- CHEN, G. *et al.*, (2015): Rice potassium transporter OsHAK1 is essential for maintaining potassium-mediated growth and functions in salt tolerance over low and high potassium concentration ranges. *Plant, Cell & Environment*, 38 (12), 2747–2765 p.
- CHINNUSAMY, V., *et al.*, (2007): Cold stress regulation of gene expression in plants. *Trends in Plant Science*, 12 (10), 444–451 p.
- CONG DIEN, D. és T. YAMAKAWA, (2019): Phenotypic Variation and Selection for Cold-Tolerant Rice (*Oryza sativa* L.) at Germination and Seedling Stages. *Agriculture*, 9 (8), 162 p.
- COOLBEAR, P., *et al.*, (1984): The Effect of Low Temperature Pre-Sowing Treatment on the Germination Performance and Membrane Integrity of Artificially Aged Tomato Seeds. *Journal of Experimental Botany*, 35 (11), 1609–1617 p.
- COTSIFTIS, O. *et al.*, (2012): A Two-Stage Model of Na⁺ Exclusion in Rice Explained by 3D Modeling of HKT Transporters and Alternative Splicing. *Plos One*, 7(7), e39865 p.
- CRAIG PLETT, D. és I.S. MØLLER, (2010): Na⁺ transport in glycophytic plants: what we know and would like to know. *Plant, Cell & Environment*, 33 (4), 612–626 p.
- CRUZ, R.P. da és S.C.K. MILACH, (2004): Cold tolerance at the germination stage of rice: methods of evaluation and characterization of genotypes. *Scientia Agricola*, 61 (1), 1–8 p.
- CRUZ, R.P. da *et al.*, (2013): Avoiding damage and achieving cold tolerance in rice plants. *Food and Energy Security*, 2 (2), 96–119 p.

- CZABATOR, F.J., (1962): Germination Value: An Index Combining Speed and Completeness of Pine Seed Germination. *Forest Science*, 8 (4), 386–396 p.
- D. VINEBROOKE, R. *et al.*, (2004): Impacts of multiple stressors on biodiversity and ecosystem functioning: the role of species co-tolerance. *Oikos*, 104 (3), 451–457 p.
- DAVIS, M.B. és R.G. SHAW, (2001): Range Shifts and Adaptive Responses to Quaternary Climate Change. *Science*, 292 (5517), 673–679 p.
- DE COSTA, J., *et al.*, (2012): Identification of Sri Lankan rice varieties having osmotic and ionic stress tolerance during the first phase of salinity stress. *Journal of the National Science Foundation of Sri Lanka*, 40, 251–280 p.
- DE LEON, T.B. *et al.*, (2015): Genetic variation in Southern USA rice genotypes for seedling salinity tolerance. *Frontiers in Plant Science*, 6: 374.
- DIAGUNA, R., *et al.*, (2017): Testing Method for Salinity Tolerance at Germination Stage on Rice Genotypes, 7 (3), 8 p.
- DIVAKARAN, D., *et al.*, (2011): Comparative study on production of α -Amylase from *Bacillus licheniformis* strains. *Brazilian Journal of Microbiology*, 42 (4), 1397–1404 p.
- DRAKE, D.R., (1993): Germination Requirements of *Metrosideros polymorpha*, the Dominant Tree of Hawaiian Lava Flows and Rain Forests. *Biotropica*, 25 (4), 461–467 p.
- ECKERT, C.G., *et al.*, (2008): Genetic variation across species' geographical ranges: the central–marginal hypothesis and beyond. *Molecular Ecology*, 17 (5), 1170–1188 p.
- EL MAHI, H. *et al.*, (2019): A Critical Role of Sodium Flux via the Plasma Membrane Na^+/H^+ Exchanger *SOS1* in the Salt Tolerance of Rice. *Plant Physiology*, 180 (2), 1046–1065 p.
- ELLIS, R.H. és E.H. ROBERTS, (1978): Towards a rational basis for testing seed quality. *Proceedings - Easter School in Agricultural Science, University of Nottingham*, 605–635 p.
- ELLIS, R.H. *et al.*, (1983): Procedures for the safe removal of dormancy from rice seed. *Seed Science and Technology (Netherlands)*, 11 (1), 77–112 p.
- FAO, ed., (2006): The state of food insecurity in the world. *Eradicating world hunger: taking stock ten years after the World Food Summit*, Food and Agriculture Organization of the United Nations Viale delle Terme di Caracalla, 00153 Rome, Italy, 1–40 p.
- FARID, M. *et al.*, (2021): Interaction of rice salinity screening in germination and seedling phase through selection index based on principal components. *Chilean journal of agricultural research*, 81 (3), 368–377 p.
- FENG, H. *et al.*, (2019): Rice OsHAK16 functions in potassium uptake and translocation in shoot, maintaining potassium homeostasis and salt tolerance. *Planta*, 250 (2), 549–561 p.
- FINCHER, G.B., (1989): Molecular and Cellular Biology Associated with Endosperm Mobilization in Germinating Cereal Grains. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 40 (1), 305–346 p.
- FLOWERS, T.J. és A.R. YEO, (1981): Variability in the Resistance of Sodium Chloride Salinity Within Rice (*Oryza Sativa* L.) Varieties. *New Phytologist*, 88 (2), 363–373 p.
- FREITAS, G.M. *et al.*, (2019): Cold tolerance response mechanisms revealed through comparative analysis of gene and protein expression in multiple rice genotypes. *Plos One*, 14 (6), e0218019 p.
- FROUIN, J. *et al.*, (2018): Tolerance to mild salinity stress in japonica rice: A genome-wide association mapping study highlights calcium signaling and metabolism genes. *Plos One*, 13 (1), e0190964 p.
- FUKUDA, A. *et al.*, (2011): Molecular and functional analyses of rice NHX-type Na^+/H^+ antiporter genes. *Planta*, 233 (1), 175–188 p.
- FULLER, D. Q. *et al.*, (2009): Water management and labour in the origins and dispersal of Asian rice. *World Archaeology*, 41 (1), 88–111 p.
- GAO, J.-P., *et al.*, (2007): Understanding Abiotic Stress Tolerance Mechanisms: Recent Studies on Stress Response in Rice. *Journal of Integrative Plant Biology*, 49 (6), 742–750 p.
- GARCIADEBLÁS, B. *et al.*, (2003): Sodium transport and HKT transporters: the rice model. *The Plant Journal*, 34 (6), 788–801 p.

- GARRIS, A.J. *et al.*, (2005): Genetic structure and diversity in *Oryza sativa* L. *Genetics*, 169 (3), 1631–1638 p.
- GE, L.-F. *et al.*, (2008): Overexpression of the trehalose-6-phosphate phosphatase gene *OsTPP1* confers stress tolerance in rice and results in the activation of stress responsive genes. *Planta*, 228 (1), 191–201 p.
- GEILFUS, C.-M., (2018): Review on the significance of chlorine for crop yield and quality. *Plant Science*, 270, 114–122 p.
- GHASSEMI, F., *et al.*, (1995): Salinisation of land and water resources: human causes, extent, management and case studies. *CAB International*, Wallingford, UK, 544 p.
- GHONEIM, A. *et al.*, (2015): Effect of NaCl Induced Stress on Germination and Seedling Growth of Various *Oryza sativa* L. Genotypes. *Advances in Research*, 5 (2), 1–8 p.
- GIRMA, B., *et al.*, (2016): The effect of salinity on germination, vegetative and final growth stage of different rice (*Oryza sativa* L.) genotypes. *Journal of Animal and Plant Sciences*, 29 (3), 4651–64 p.
- GLASZMANN, J.C., (1987): Isozymes and classification of Asian rice varieties. *TAG. Theoretical and applied genetics. Theoretische und angewandte Genetik*, 74 (1), 21–30 p.
- GOMBOS, B., (2008): A hazai rizstermesztés agrometeorológiai vonatkozásai. *Doktori értekezés*, 150 p.
- GOMBOS, B. és I. SIMON-KISS, (2008): Study and Modelling the Emergence of Five Hungarian Rice Cultivars. *Cereal Research Communications*, 36 (3), 501–510 p.
- GONG, H.J., *et al.*, (2006): Silicon deposition in the root reduces sodium uptake in rice (*Oryza sativa* L.) seedlings by reducing bypass flow. *Plant, Cell & Environment*, 29 (10), 1970–1979 p.
- GREGORIO, G., *et al.*, (1997): Screening rice for salinity tolerance, *IRRI discussion paper series* vol 22. International Rice Research Institute, Los Banos, Fülöp-szigetek
- GREGORIO, G. *et al.*, (2002): Progress in breeding for salinity tolerance and associated abiotic stresses in rice. *Field Crops Research*, 76 (2), 91–101 p.
- GUBLER, F. *et al.*, (1995): Gibberellin-Regulated Expression of a myb Gene in Barley Aleurone Cells: Evidence for Myb Transactivation of a High-pl α -Amylase Gene Promoter. *The Plant Cell*, 7 (11), 1879–1891 p.
- GUTAKER, R.M. *et al.* (2020): Genomic history and ecology of the geographic spread of rice. *Nature Plants*, 6, 492–502 p.
- HAKIM, M.A. *et al.*, (2010): Effect of salt stress on germination and early seedling growth of rice (*Oryza sativa* L.). *African Journal of Biotechnology*, 9 (13), 1911–1918 p.
- HAKIM, M.A. *et al.*, (2014a): The effect of salinity on growth, ion accumulation and yield of rice varieties. *Journal of Animal and Plant Sciences*, 24 (3), 874–885 p.
- HAKIM, M.A. *et al.*, (2014b): Biochemical and anatomical changes and yield reduction in rice (*Oryza sativa* L.) under varied salinity regimes. *BioMed Research International*, 2014:208584, 1–11 p.
- HAN, L.-Z. *et al.*, (2006): Genetic and QTL Analysis for Low-Temperature Vigor of Germination in Rice. *Acta Genetica Sinica*, 33 (11), 998–1006 p.
- HEENAN, D.P., *et al.*, (1988): Salinity tolerance in rice varieties at different growth stages. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 28 (3), 343–349 p.
- HESZKY, L.E., *et al.*, (1996): Release of the Rice Variety Dama Developed by Haploid Somaclone Breeding. In: Y.P.S. BAJAJ, ed. *Somaclonal Variation in Crop Improvement II*. Berlin, Heidelberg: Springer, 46–54 p.
- HOANG, L. *et al.*, (2016): Improvement of Salinity Stress Tolerance in Rice: Challenges and Opportunities. *Agronomy*, 6, (54) 1–23 p.
- HORIE, T. *et al.*, (2001): Two types of HKT transporters with different properties of Na⁺ and K⁺ transport in *Oryza sativa*. *The Plant Journal*, 27 (2), 129–138 p.
- HOSSAIN, H. *et al.*, (2015): Mapping of Quantitative Trait Loci Associated with Reproductive-Stage Salt Tolerance in Rice. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 201 (1), 17–31 p.

- HU, C. *et al.*, (2014): Metabolic variation between japonica and indica rice cultivars as revealed by non-targeted metabolomics. *Scientific Reports*, 4 (1), 5067 p.
- HUANG, J. és S. PENG, (2004): Comparison and Standardization among Chlorophyll Meters in their Readings on Rice Leaves. *Plant Production Science*, 7 (1), 97–100 p.
- HUSSAIN, S. *et al.*, (2017): Effects of salt stress on rice growth, development characteristics, and the regulating ways: A review. *Journal of Integrative Agriculture*, 16 (11), 2357–2374 p.
- IMRAN, S., *et al.*, (2020): Expression and Ion Transport Activity of Rice OsHKT1;1 Variants. *Plants*, 9 (1), 16 p.
- IRRI, (2013): *Standard evaluation system for rice (SES)*. 5th edition. International Rice Research Institute, Los Baños, Fülöp-szigetek
- ISMAIL, A.M. *et al.*, (2007): Genetic and genomic approaches to develop rice germplasm for problem soils. *Plant Molecular Biology*, 65 (4), 547–570 p.
- JACOBSEN, J.V., *et al.*, (1995): Gibberellin Action in Germinated Cereal Grains. In: P.J. DAVIES, ed. *Plant Hormones: Physiology, Biochemistry and Molecular Biology*. Dordrecht: Springer Netherlands, 246–271 p.
- JANCSÓ, M., *et al.*, (2021): Rizs. In: Z. IZSÁKI and J. KRUPPA, eds. *Szántóföldi növények vetőmagtermesztése 2*. Gödöllő: Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, 88–98 p.
- JENA, K.K. és D.J. MACKILL, (2008): Molecular Markers and Their Use in Marker-Assisted Selection in Rice. *Crop Science*, 48 (4), 1266–1276 p.
- JI, X. *et al.*, (2011): Control of Abscisic Acid Catabolism and Abscisic Acid Homeostasis Is Important for Reproductive Stage Stress Tolerance in Cereals1. *Plant Physiology*, 156 (2), 647–662 p.
- KAIMORI, N. és N. TAKAHASHI, (1981): Genecological studies on chlorotic behaviors of rice plants at low temperature. *Bulletin of the Institute of Agricultural Research; Tohoku University*, 32, 73–79 p.
- KANAWAPEE, N. *et al.*, (2012): Evaluation of salt tolerance at the seedling stage in rice genotypes by growth performance, ion accumulation, proline and chlorophyll content. *Plant and Soil*, 358, 235–249 p.
- KATO, M. *et al.*, (2004): Photosynthesis and Dry-Matter Production during Ripening Stage in a Female-Sterile Line of Rice. *Plant Production Science*, 7 (2), 184–188 p.
- KATO-NOGUCHI, H., (2007): Low temperature acclimation to chilling tolerance in rice roots. *Plant Growth Regulation*, 51 (2), 171–175 p.
- KAWASAKI, S. *et al.*, (2001): Gene Expression Profiles during the Initial Phase of Salt Stress in Rice. *The Plant Cell*, 13 (4), 889–905 p.
- KAWECKI, T.J. és D. EBERT, (2004): Conceptual issues in local adaptation. *Ecology Letters*, 7 (12), 1225–1241 p.
- KAWECKI, T.J., (2008): Adaptation to Marginal Habitats. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 39 (1), 321–342 p.
- KHAN, M. *et al.*, (2014): The Effect of Sodium Chloride (NaCl) stress on Seed germination and Seedling Growth of Rice (*Oryza Sativa* L.). *Journal of Bio-Molecular Sciences*, 2, 100–107 p.
- KHAN, M.S.A., *et al.*, (1997): Effect of Sodium Chloride on Germination and Seedling Characters of Different Types of Rice (*Oryza sativa* L.). *Journal of Agronomy and Crop Science*, 179 (3), 163–169 p.
- KHATUN, S., *et al.*, (1995): Genotypic variation in the effect of salinity on fertility in rice. *Plant and Soil*, 173 (2), 239–250 p.
- KHUSH, G.S., (1997): Origin, dispersal, cultivation and variation of rice. In: T. SASAKI and G. MOORE, eds. *Oryza: From Molecule to Plant*. Dordrecht: Springer Netherlands, 25–34 p.
- KIM, S.-I. és T.H. Tai, (2011): Evaluation of seedling cold tolerance in rice cultivars: a comparison of visual ratings and quantitative indicators of physiological changes. *Euphytica*, 178 (3), 437–447 p.

- KIM, S.-I. és T.H. Tai, (2013): Identification of SNPs in closely related Temperate Japonica rice cultivars using restriction enzyme-phased sequencing. *PLoS One*, 8 (3), e60176 p.
- KIM, S.-J. *et al.*, (2009): Ectopic expression of a cold-responsive OsAsr1 cDNA gives enhanced cold tolerance in transgenic rice plants. *Molecules and Cells*, 27 (4), 449–458 p.
- KOBAYASHI, A. *et al.*, (2018): Koshihikari: a premium short-grain rice cultivar – its expansion and breeding in Japan. *Rice*, 11 (1), 15 p.
- KRANTO, S. *et al.*, (2016): Evaluation for salt tolerance in rice using multiple screening methods. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 18, 1921–1931 p.
- KRISHNASAMY, V. és D.V. SESHU, (1989): Seed Germination Rate and Associated Characters in Rice. *Crop Science*, 29 (4), cropscl1989.0011183X002900040012x p.
- KUMAGAI, E., *et al.*, (2009): Correlation of Chlorophyll Meter Readings with Gas exchange and Chlorophyll Fluorescence in Flag Leaves of Rice (*Oryza sativa* L.) Plants. *Plant Production Science*, 12 (1), 50–53 p.
- LABOURIAU, L.G., (1983): A Germinação das sementes. *Secretaria-Geral da Organização dos Estados Americanos, Programa Regional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico*, Washington, D.C., 174 p.
- LANE, A. és A. JARVIS, (2007): Changes in Climate will modify the Geography of Crop Suitability: Agricultural Biodiversity can help with Adaptation. *Journal of SAT Agricultural Research*, 4
- LEE, K.-S. *et al.*, (2003): Salinity tolerance of Japonica and indica rice (*Oryza sativa* L.) at the seedling stage. *Planta*, 216, 1043–6 p.
- LI, J. *et al.*, (2022): Chilling tolerance in rice: Past and present. *Journal of Plant Physiology*, 268, 153576 p.
- LIU, C.-T. *et al.*, (2018): Cold stress tolerance in rice: physiological changes, molecular mechanism, and future prospects. *Yi Chuan = Hereditas*, 40 (3), 171–185 p.
- LIU, H. *et al.*, (2022): An integrated analysis of the rice transcriptome and lipidome reveals lipid metabolism plays a central role in rice cold tolerance. *BMC Plant Biology*, 22 (1), 91 p.
- LODEYRO, A.F. és N. CARRILLO, (2015): Salt Stress in Higher Plants: Mechanisms of Toxicity and Defensive Responses. In: B.N. TRIPATHI and M. MÜLLER, eds. *Stress Responses in Plants: Mechanisms of Toxicity and Tolerance*. Cham: Springer International Publishing, 1–33 p.
- LONE, A. J. *et al.*, (2018): Cold Tolerance at Germination and Seedling Stages of Rice: Methods of Evaluation and Characterization of Thirty Rice Genotypes under Stress Conditions. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 7 (1), 1103–1109 p.
- MAAS, E.V. és G.J. HOFFMAN, (1977): Crop salt tolerance - current assessment. *Journal of the Irrigation and Drainage Division*, 103 (2), 115–134 p.
- MACKILL, D.J. és X. LEI, (1997): Genetic Variation for Traits Related to Temperate Adaptation of Rice Cultivars. *Crop Science*, 37 (4), cropscl1997.0011183X003700040051x p.
- MACLEAN, J.L., *et al.*, (2002): *Rice almanac: source book for the most important economic activity on earth*. 3rd ed. Oxon, U.K: CABI Pub
- METTERNICHT, G.I. és J.A. ZINCK, (2003): Remote sensing of soil salinity: potentials and constraints. *Remote Sensing of Environment*, 85 (1), 1–20 p.
- MILLER, G. *et al.*, (2010): Reactive oxygen species homeostasis and signalling during drought and salinity stresses. *Plant, Cell & Environment*, 33 (4), 453–467 p.
- MISHRA, S.S. *et al.*, (2018): Physiological characterization and allelic diversity of selected drought tolerant traditional rice (*Oryza sativa* L.) landraces of Koraput, India. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 24 (6), 1035–1046 p.
- MITTAL, D., *et al.*, (2012): Genome-Wide Transcriptional Profiles during Temperature and Oxidative Stress Reveal Coordinated Expression Patterns and Overlapping Regulons in Rice. *Plos One*, 7 (7), e40899 p.
- MITTLER, R., (2002): Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. *Trends in Plant Science*, 7 (9), 405–410 p.

- MITTLER, R., (2006): Abiotic stress, the field environment and stress combination. *Trends in Plant Science*, 11 (1), 15–19 p.
- MOHAMMADI, R. *et al.*, (2014): Genetic analysis of salt tolerance at seedling and reproductive stages in rice (*Oryza sativa*). *Plant Breeding*, 133 (5), 548–559 p.
- MOHANTY, S. *et al.*, (2013): *Rice and climate change: significance for food security and vulnerability*. Report No. 49, International Rice Research Institute, Fülöp-szigetek.
- MORENTE-LÓPEZ, J. *et al.*, (2021): Gene flow effects on populations inhabiting marginal areas: Origin matters. *Journal of Ecology*, 109 (1), 139–153 p.
- MUNNS, R. és M. TESTER, (2008): Mechanisms of Salinity Tolerance. *Annual Review of Plant Biology*, 59 (1), 651–681 p.
- MUNNS, R. *et al.*, (2016): Tissue tolerance: an essential but elusive trait for salt-tolerant crops. *Functional Plant Biology*, 43 (12), 1103–1113 p.
- MURCHIE, E.H., *et al.*, (2015): Photoprotection as a Trait for Rice Yield Improvement: Status and Prospects. *Rice*, 8 (31)
- NAHAR, L. *et al.*, (2022): Impact of Single and Combined Salinity and High-Temperature Stresses on Agro-Physiological, Biochemical, and Transcriptional Responses in Rice and Stress-Release. *Plants*, 11 (4), 501 p.
- NAJEEB, S. *et al.*, (2021): Genetics and Breeding of Low-Temperature Stress Tolerance in Rice. In: J. ALI and S.H. WANI, eds. *Rice Improvement: Physiological, Molecular Breeding and Genetic Perspectives*. Cham: Springer International Publishing, 221–280 p.
- NAKAGOMI, K., (2013): Selection of New Check Rice Varieties for Evaluating High Cold Tolerance and the Development of Breeding Lines with High Cold Tolerance in the Tohoku Region of Japan. *Japan Agricultural Research Quarterly: JARQ*, 47 (1), 1–7 p.
- NASIM, S. *et al.*, (2000): Varietal differences of seed dormancy among Japonica, Indica and Chinese Indica (hsien) rice [*Oryza sativa*] ecotypes. *Journal of Agricultural Science*, 44 (4), 315–329 p.
- NEGRÃO, S. *et al.*, (2011): Recent Updates on Salinity Stress in Rice: From Physiological to Molecular Responses. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 30 (4), 329–377 p.
- NEGRÃO, S., *et al.*, (2017): Evaluating physiological responses of plants to salinity stress. *Annals of Botany*, 119 (1), 1–11 p.
- NISHIYAMA, I., (1976): Effects of temperature on the vegetative growth of rice plants. In: *Proceedings of the Symposium on Climate & Rice*. International Rice Research Institute, Fülöp-szigetek, 159–185 p.
- NOZOE, T. *et al.*, (2009): Effects of ferrous iron (Fe) on the germination and root elongation of paddy rice and weeds. *Weed Biology and Management*, 9 (1), 20–26 p.
- OHTA, H. *et al.*, (2004): Breeding of rice for a high seedling emergence rate in direct seeding under a submerged soil condition. *Japanese Journal of Crop Science*, 73 (4), 450–456 p.
- OLOGUNDUDU, F., *et al.*, (2014): Effect of Salt Stress on Germination and Growth Parameters of Rice (*Oryza sativa* L.). *Notulae Scientia Biologicae*, 6 (2), 237–243 p.
- PALAO, C. *et al.*, (2013): A new phenotyping technique for salinity tolerance at the reproductive stage in rice. *Oryza*, 50 (3), 199–207 p.
- PALOV J., (1985): *Az öntözések múltja a dél-tiszántúlon*. A Békés Megyei Múzeumok Közleményei 8, Békéscsaba.
- PAN, Y. *et al.*, (2015): Genetic Analysis of Cold Tolerance at the Germination and Booting Stages in Rice by Association Mapping. *Plos One*, 10 (3), e0120590 p.
- PARISH, R.W. *et al.*, (2012): Tapetal development and abiotic stress: a centre of vulnerability. *Functional plant biology*, 39 (7), 553–559 p.
- PARRY, C., *et al.*, (2014): In situ measurement of leaf chlorophyll concentration: analysis of the optical/absolute relationship. *Plant, Cell & Environment*, 37 (11), 2508–2520 p.
- PERATA, P. *et al.*, (1997): Sugar Repression of a Gibberellin-Dependent Signaling Pathway in Barley Embryos. *The Plant Cell*, 9 (12), 2197–2208 p.

- PIRES, I. *et al.*, (2015): Comprehensive phenotypic analysis of rice (*Oryza sativa*) response to salinity stress. *Physiologia plantarum*, 155 (1), 43–54 p.
- PIRONON, S. *et al.*, (2017): Geographic variation in genetic and demographic performance: new insights from an old biogeographical paradigm. *Biological Reviews*, 92 (4), 1877–1909 p.
- PLATTEN, J.D., J *et al.*, (2013): Salinity tolerance, Na⁺ exclusion and allele mining of HKT1;5 in *Oryza sativa* and *O. glaberrima*: many sources, many genes, one mechanism? *BMC plant biology*, 13 (1), 32 p.
- PONCE, K.S. *et al.*, (2021): Advances in Sensing, Response and Regulation Mechanism of Salt Tolerance in Rice. *International Journal of Molecular Sciences*, 22 (5), 2254 p.
- PORRA, R.J., *et al.*, (1989): Determination of accurate extinction coefficients and simultaneous equations for assaying chlorophylls a and b extracted with four different solvents: verification of the concentration of chlorophyll standards by atomic absorption spectroscopy. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Bioenergetics*, 975 (3), 384–394 p.
- QIN, H., *et al.*, (2020): Advances and Challenges in the Breeding of Salt-Tolerant Rice. *International Journal of Molecular Sciences*, 21, 8385
- RAES, D., *et al.*, (1995): Water requirements for salt control in rice schemes in the Senegal river delta and valley. *Irrigation and Drainage Systems*, 9 (2), 129–141 p.
- RAHMAN, M., *et al.*, (2001): Effect of Sodium Chloride Salinity on Seed Germination and Early Seedling Growth of Rice (*Oryza sativa* L.). *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 4 (3), 351–355 p.
- RANAL, M.A., (1999): Effects of Temperature on Spore Germination in Some Fern Species from Semideciduous Mesophytic Forest. *American Fern Journal*, 89 (2), 149–158 p.
- RANAWAKE, L., (2011): Cold tolerance of an inbred line population of rice (*Oryza sativa* L.) at different growth stages. *Tropical Agricultural Research and Extension*, 14 (2), 25–33 p.
- RAO, P.S. *et al.*, (2008): Reproductive stage tolerance to salinity and alkalinity stresses in rice genotypes. *Plant Breeding*, 127 (3), 256–261 p.
- RAZZAQ, A. *et al.*, (2020): Salt stress induces physiochemical alterations in rice grain composition and quality. *Journal of Food Science*, 85 (1), 14–20 p.
- REDDY, I.N.B.L. *et al.*, (2017): Salt Tolerance in Rice: Focus on Mechanisms and Approaches. *Rice Science*, 24 (3), 123–144 p.
- REDDY, M. *et al.*, (2014): Breeding for tolerance to stress triggered by salinity in rice. *International Journal of Applied Biology and Pharmaceutical Technology*, 5 (1), 167–176 p.
- ROHILA, J.S. *et al.*, (2019): Identification of Superior Alleles for Seedling Stage Salt Tolerance in the USDA Rice Mini-Core Collection. *Plants*, 8 (11), 472 p.
- RONTEIN, D., *et al.*, (2002): Metabolic Engineering of Osmoprotectant Accumulation in Plants. *Metabolic Engineering*, 4 (1), 49–56 p.
- ROSA, M. *et al.*, (2009): Soluble sugars—Metabolism, sensing and abiotic stress. *Plant Signaling & Behavior*, 4 (5), 388–393 p.
- RUBEL, M. *et al.*, (2014): Evaluation of rice genotypes under salt stress at the seedling and reproductive stages using phenotypic and molecular markers. *Pakistan Journal of Botany*, 46 (2), 423–432 p.
- SAKURAI, J. *et al.*, (2005): Identification of 33 rice aquaporin genes and analysis of their expression and function. *Plant & Cell Physiology*, 46 (9), 1568–1577 p.
- SALES, E. *et al.*, (2017): Genome wide association analysis of cold tolerance at germination in temperate japonica rice (*Oryza sativa* L.) varieties. *Plos One*, 12 (8), e0183416 p.
- SANGWAN, V. *et al.*, (2002): Opposite changes in membrane fluidity mimic cold and heat stress activation of distinct plant MAP kinase pathways. *The Plant Journal: For Cell and Molecular Biology*, 31 (5), 629–638 p.
- SARHADI, E. *et al.*, (2012): Proteomic analysis of rice anthers under salt stress. *Plant Physiology and Biochemistry*, 58, 280–287 p.

- SARUYAMA, H. és M. TANIDA, (1995): Effect of chilling on activated oxygen-scavenging enzymes in low temperature-sensitive and -tolerant cultivars of rice (*Oryza sativa* L.). *Plant Science*, 109 (2), 105–113 p.
- SATO, Y. *et al.*, (2011): Enhanced chilling tolerance at the booting stage in rice by transgenic overexpression of the ascorbate peroxidase gene, OsAPXa. *Plant Cell Reports*, 30 (3), 399–406 p.
- SCHLÄPPI, M.R. *et al.*, (2017): Assessment of Five Chilling Tolerance Traits and GWAS Mapping in Rice Using the USDA Mini-Core Collection. *Frontiers in Plant Science*, 8, 957.
- SCHUBERT, S. és A. LÄUCHLI, (1986): Na⁺ Exclusion, H⁺ Release, and Growth of Two Different Maize Cultivars under NaCl Salinity. *Journal of Plant Physiology*, 126 (2), 145–154 p.
- SENANAYAKE, R.M.N.H., (2017): Identification of salinity tolerant accessions of traditional rice variety ‘Pokklai’. *Annals of Sri Lanka Department of Agriculture*, 19 (2) 1–15 p.
- SESHU, D.V. és M. DADLANI, (1991): Mechanism of seed dormancy in rice. *Seed Science Research*, 1 (3), 187–194 p.
- SHAHID, S.A., *et al.*, (2018): Soil Salinity: Historical Perspectives and a World Overview of the Problem. In: M. ZAMAN, S.A. SHAHID, and L. HENG, eds. *Guideline for Salinity Assessment, Mitigation and Adaptation Using Nuclear and Related Techniques*. Cham: Springer International Publishing, 43–53 p.
- SHAKIBA, E. *et al.*, (2017): Genetic architecture of cold tolerance in rice (*Oryza sativa*) determined through high resolution genome-wide analysis. *Plos One*, 12 (3), e0172133 p.
- SHARIFI, P., (2010): Evaluation on Sixty-eight Rice Germplasms in Cold Tolerance at Germination Stage. *Rice Science*, 17 (1), 77–81 p.
- SHIRASAWA, S. *et al.*, (2012): Delimitation of a QTL region controlling cold tolerance at booting stage of a cultivar, ‘Lijiangxintuanheigu’, in rice, *Oryza sativa* L. *TAG. Theoretical and applied genetics. Theoretische und angewandte Genetik*, 124 (5), 937–946 p.
- SILVA, F. *et al.*, (2018): A tale of two rice varieties: modelling the prehistoric dispersals of *japonica* and *proto-indica* rices. *Holocene* 28 (11), 1745–1758 p.
- SIMON, E.W. *et al.*, (1976): The Low Temperature Limit for Seed Germination. *New Phytologist*, 77 (2), 301–311 p.
- SIMS, D.A. és J.A. GAMON, (2002): Relationships between leaf pigment content and spectral reflectance across a wide range of species, leaf structures and developmental stages. *Remote Sensing of Environment*, 81 (2), 337–354 p.
- SINGH, B. *et al.*, (2022): Screening of rice germplasms (*Oryza sativa* L.) for seedling stage cold tolerance utilizing morphological and molecular markers. *Ecological Genetics and Genomics*, 24, 100128.
- SINGH, R. *et al.*, (2004): Harnessing plant salt tolerance for overcoming sodicity constraints: An Indian experience. *Advances in Sodic Land Reclamation*, In: *Concept Paper for the International Conference on “Sustainable Management of Sodic Soils”*. International Conference on “Sustainable Management of Sodic Soils”. Lucknow, India: UP Land Development Corporation, 81–120 p.
- SINGH, R.K. *et al.*, (2006): Temperature and relative humidity affect salinity tolerance in rice. In: *Proceedings of the 36th CSSP Scientific Conference "Value Added Crop Science for Sustainable Agricultural Development*. Crop Science Society of the Philippines, Puerto Princesa, Philippines.
- SINGH, R.K., G. GREGORIO and A.M. ISMAIL, (2008): Breeding rice varieties with tolerance to salt stress. *Journal of the Indian Society of Coastal Agricultural Research*, 26, 16–21 p.
- SINGH, R.K., *et al.*, (2010): Varietal Improvement for Abiotic Stress Tolerance in Crop Plants: Special Reference to Salinity in Rice. In: A. PAREEK, S.K. SOPORY, and H.J. BOHNERT, eds. *Abiotic Stress Adaptation in Plants: Physiological, Molecular and Genomic Foundation*. Dordrecht: Springer Netherlands, 387–415 p.

- SINGH, R.K. és T.J. FLOWERS, (2010): The physiology and molecular biology of the effects of salinity on rice. *Handbook of Plant and Crop Stress*, 901–942 p.
- SINGH, R.K., *et al.*, (2021): Salt tolerance in rice: seedling and reproductive stage QTL mapping come of age. *TAG. Theoretical and Applied Genetics. Theoretische Und Angewandte Genetik*, 134 (11), 3495–3533 p.
- SINGH, Y.P. *et al.*, (2014): Grouping of Advanced Rice Breeding Lines Based on Grain Yield and Na:K Ratio under Alkaline Conditions. *Journal of Soil Salinity and Water Quality*, 6 (1), 21–27 p.
- SUH, J.P. *et al.*, (2012): Identification of quantitative trait loci for seedling cold tolerance using RILs derived from a cross between japonica and tropical japonica rice cultivars. *Euphytica*, 184 (1), 101–108 p.
- SUH, J.P. *et al.*, (2010): Identification and analysis of QTLs controlling cold tolerance at the reproductive stage and validation of effective QTLs in cold-tolerant genotypes of rice (*Oryza sativa* L.). *Theoretical and Applied Genetics*, 120 (5), 985–995 p.
- SUZUKI, K. *et al.*, (2016): OsHKT1;4-mediated Na⁺ transport in stems contributes to Na⁺ exclusion from leaf blades of rice at the reproductive growth stage upon salt stress. *BMC Plant Biology*, 16 (1), 22 p.
- SUZUKI, K., *et al.*, (2008): The chilling injury induced by high root temperature in the leaves of rice seedlings. *Plant & Cell Physiology*, 49 (3), 433–442 p.
- SZABADOS, L. és A. SAVOURÉ, (2010): Proline: a multifunctional amino acid. *Trends in Plant Science*, 15 (2), 89–97 p.
- SZALAI G., (2009): A szalicilsav szerepe gazdasági növények stressztűrő képességében. *Doktori értekezés*. Martonvásár: MTA Mezőgazdasági Kutatóintézete, 139 p.
- SZŐLLŐSI, R., (2012): Nehézfémkezelés által kiváltott oxidatív stressz vizsgálata csírázó indiai mustár (*Brassica juncea* L.) magvakban. *Doktori értekezés*. SZTE TTIK Környezettudományi Doktori Iskola, 132 p.
- TEAKLE, N.L. és S.D. TYERMAN, (2010): Mechanisms of Cl⁻ transport contributing to salt tolerance. *Plant, Cell and Environment*, 33 (4), 566–589 p.
- THAPA, R. *et al.*, (2020): Genome-Wide Association Mapping to Identify Genetic Loci for Cold Tolerance and Cold Recovery During Germination in Rice. *Frontiers in Genetics*, 11, 22.
- THOMPSON, P.A., (1970): Characterization of the Germination Response to Temperature of Species and Ecotypes. *Nature*, 225 (5235), 827–831 p.
- TIAN, Y. *et al.*, (2011): Overexpression of ethylene response factor TERF2 confers cold tolerance in rice seedlings. *Transgenic Research*, 20 (4), 857–866 p.
- TRAN THI HUONG SEN, *et al.*, (2017): Salinity Effect at Seedling and Flowering Stages of Some Rice Lines and Varieties (*Oryza sativa* L.). *Journal of Agricultural Science and Technology A*, 7(10), 32–39 p.
- VAUGHAN DA *et al.*, (2008): The evolving story of rice evolution. *Plant Science* 174:394–408
- WAKIYAMA, Y., (2016): The Relationship between SPAD Values and Leaf Blade Chlorophyll Content throughout the Rice Development Cycle. *Japan Agricultural Research Quarterly: JARQ*, 50 (4), 329–334 p.
- WANG, H., *et al.*, (2018): Screening and Evaluation of Saline–Alkaline Tolerant Germplasm of Rice (*Oryza sativa* L.) in Soda Saline–Alkali Soil. *Agronomy*, 8 (10), 205 p.
- WANG, R. *et al.*, (2015): The Rice High-Affinity Potassium Transporter1;1 Is Involved in Salt Tolerance and Regulated by an MYB-Type Transcription Factor. *Plant Physiology*, 168 (3), 1076–1090 p.
- WANG, W., és A. ALTMAN, (2003): Plant responses to drought, salinity and extreme temperatures: towards genetic engineering for stress tolerance. *Planta*, 218 (1), 1–14 p.
- WANG, W. *et al.*, (2021): Effects of humidity-cold combined stress at the seedling stage in direct-seeded indica rice. *Environmental and Experimental Botany*, 191, 104617 p.
- WANG, Z. *et al.*, (2011): Identification of quantitative trait loci for cold tolerance during the germination and seedling stages in rice (*Oryza sativa* L.). *Euphytica*, 181(3), 405–413 p.

- WITCOMBE, J. r *et al.*, (2007): Breeding for abiotic stresses for sustainable agriculture. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 363 (1492), 703–716 p.
- WU, H. *et al.*, (2018): It is not all about sodium: revealing tissue specificity and signalling roles of potassium in plant responses to salt stress. *Plant and Soil*, 431 (1), 1–17 p.
- WU, S.-J., *et al.*, (1996): SOS1, a Genetic Locus Essential for Salt Tolerance and Potassium Acquisition. *The Plant Cell*, 8 (4), 617–627 p.
- YANG, A., *et al.*, (2012): A R2R3-type MYB gene, OsMYB2, is involved in salt, cold, and dehydration tolerance in rice. *Journal of Experimental Botany*, 63 (7), 2541–2556 p.
- YANG, Z. *et al.*, (2013): Mapping of Quantitative Trait Loci Underlying Cold Tolerance in Rice Seedlings via High-Throughput Sequencing of Pooled Extremes. *Plos One*, 8 (7), e68433
- YANG, Y. és Y. GUO, (2018): Unraveling salt stress signaling in plants. *Journal of Integrative Plant Biology*, 60 (9), 796–804 p.
- YEO, A.R. és T.J. FLOWERS, (1982): Accumulation and localisation of sodium ions within the shoots of rice (*Oryza sativa*) varieties differing in salinity resistance. *Physiologia Plantarum*, 56 (3), 343–348 p.
- YEO, A.R. és T.J. FLOWERS, (1986): Salinity Resistance in Rice (*Oryza sativa* L.) And a Pyramiding Approach to Breeding Varieties for Saline Soils. *Functional Plant Biology*, 13 (1), 161–173 p.
- YEO, A.R., *et al.*, (1987): The Contribution of an Apoplastic Pathway to Sodium Uptake by Rice Roots in Saline Conditions. *Journal of Experimental Botany*, 38 (7), 1141–1153 p.
- YEO, A.R. *et al.*, (1990): Screening of rice (*Oryza sativa* L.) genotypes for physiological characters contributing to salinity resistance, and their relationship to overall performance. *Theoretical and Applied Genetics*, 79 (3), 377–384 p.
- YOSHIDA, S. *et al.*, (1976): Routine procedures for growing rice plants in culture solution. *Laboratory Manual for Physiological Studies of Rice*
- YOSHIDA, T. és T. ONO, (1978): Environmental Differences in Leaf Stomatal Frequency of Rice. *Japanese journal of crop science*, 47 (4), 506–514 p.
- YOSHIDA, S., (1981): Fundamentals of rice crop science. *International Rice Research Institute*, Los Banos, Fülöp-szigetek.
- ZENG, L. és M. SHANNON, (2000): Salinity Effects on Seedling Growth and Yield Components of Rice. *Crop Science*, 40, 996-1003 p.
- ZENG, L., *et al.*, (2001): Timing of salinity stress affects rice growth and yield components. *Agricultural Water Management*, 48 (3), 191–206 p.
- ZENG, L., *et al.*, (2002): Evaluation of salt tolerance in rice genotypes by multiple agronomic parameters. *Euphytica*, 127, 235-245 p.
- ZENG, L., (2005): Exploration of relationships between physiological parameters and growth performance of rice (*Oryza sativa* L) seedlings under salinity stress using multivariate analysis. *Plant Soil*, 268, 51–59 p.
- ZHANG, J. *et al.*, (2011): OVP1, a Vacuolar H⁺-translocating inorganic pyrophosphatase (V-PPase), overexpression improved rice cold tolerance. *Plant Physiology and Biochemistry*, 49 (1), 33–38 p.
- ZHANG, L. *et al.*, (2012): Molecular characterization of 60 isolated wheat MYB genes and analysis of their expression during abiotic stress. *Journal of Experimental Botany*, 63 (1), 203–214 p.
- ZHANG, Q. *et al.*, (2014): Rice and cold stress: methods for its evaluation and summary of cold tolerance-related quantitative trait loci. *Rice*, 7 (1), 24 p.
- ZHANG, R. *et al.*, (2021): Comprehensive Evaluation of Salt Tolerance in Rice (*Oryza sativa* L.) Germplasm at the Germination Stage. *Agronomy*, 11 (8), 1569 p.
- ZHANG, T. *et al.*, (2012): Comparative Transcriptome Profiling of Chilling Stress Responsiveness in Two Contrasting Rice Genotypes. *Plos One*, 7 (8), e43274 p.

- ZHANG, X. *et al.*, (2011): Overexpression of SICZFP1, a Novel TFIIIA-type Zinc Finger Protein from Tomato, Confers Enhanced Cold Tolerance in Transgenic Arabidopsis and Rice. *Plant Molecular Biology Reporter*, 29 (1), 185–196 p.
- ZHANG, X. *et al.*, (2013): OsDREB2A, a Rice Transcription Factor, Significantly Affects Salt Tolerance in Transgenic Soybean. *Plos One*, 8 (12), e83011 p.
- ZHAO, C. *et al.*, (2020): Mechanisms of Plant Responses and Adaptation to Soil Salinity. *The Innovation*, 1 (1), 100017 p.
- ZHAO, K. *et al.*, (2011): Genome-wide association mapping reveals a rich genetic architecture of complex traits in *Oryza sativa*. *Nature Communications*, 2, 467.
- ZHAO, W.-G. *et al.*, (2013): Association analysis of physicochemical traits on eating quality in rice (*Oryza sativa* L.). *Euphytica*, 191(1), 9–21 p.
- ZHI-HONG, Z. *et al.*, (2005): A major QTL conferring cold tolerance at the early seedling stage using recombinant inbred lines of rice (*Oryza sativa* L.). *Plant Science*, 168 (2), 527–534 p.
- ZHU, J.-K., (2016): Abiotic Stress Signaling and Responses in Plants. *Cell*, 167 (2), 313–324 p.

12.2 Táblázatok, Ábrák

M1 táblázat: A fajta, a kezelés (só), és kölcsönhatásuk hat csírázási paraméterre. SS= Sum of squares -négyzetösszeg, MS= Mean Squares - Variancia, F érték és Sig.- a szignifikancia szintje

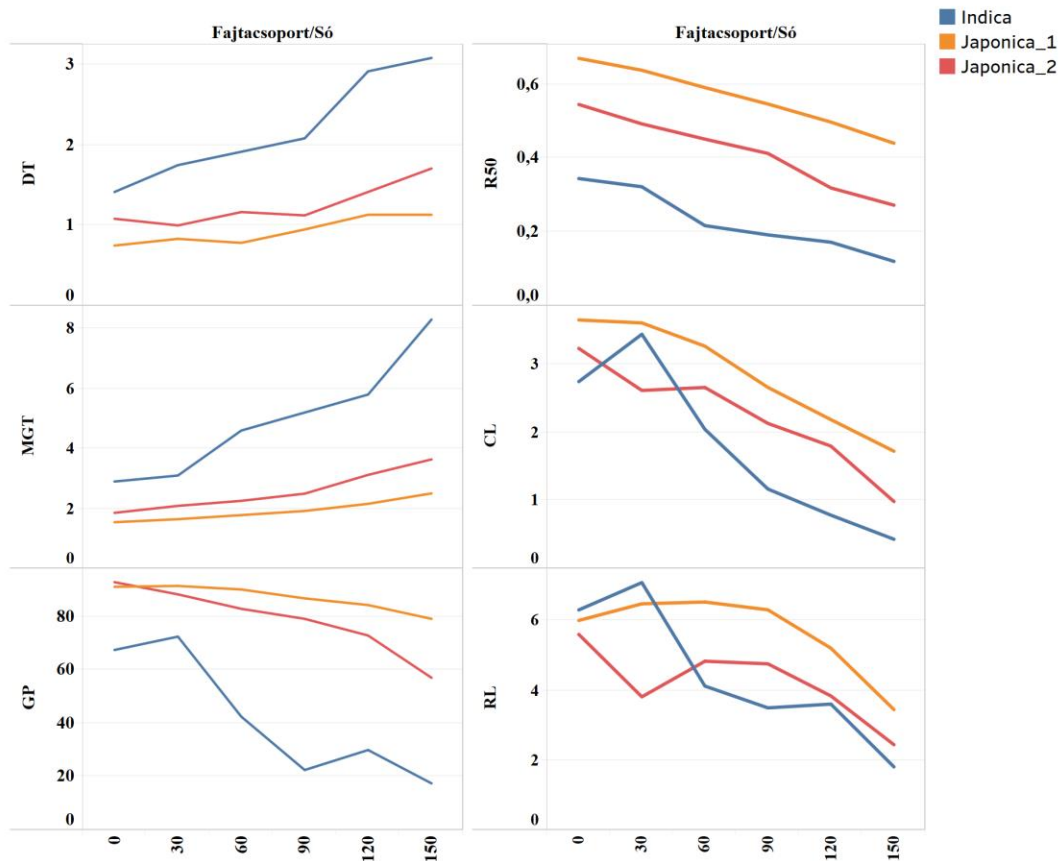
		SS	df	MS	F	Sig.
Fajta	DT	31,500	7	4,500	111,523	0,000
	GP	64637,540	7	9233,934	356,233	0,000
	MGT	399,972	7	57,139	666,591	0,000
	R50	4,519	7	0,646	470,416	0,000
	CL	410,067	7	58,581	597,084	0,000
	RL	480,815	7	68,688	86,156	0,000
Só	DT	7,082	5	1,416	35,100	0,000
	GP	7018,915	5	1403,783	54,156	0,000
	MGT	50,111	5	10,022	116,921	0,000
	R50	0,857	5	0,171	124,965	0,000
	CL	464,669	5	92,934	947,222	0,000
	RL	892,699	5	178,540	223,945	0,000
Fajta * Só	DT	4,105	35	0,117	2,907	0,000
	GP	3819,641	35	109,133	4,210	0,000
	MGT	39,626	35	1,132	13,208	0,000
	R50	0,086	35	0,002	1,796	0,013
	CL	94,071	35	2,688	27,395	0,000
	RL	480,815	35	22,283	27,950	0,000
Hiba	DT	3,833	95	0,040		
	GP	2462,500	95	25,921		
	MGT	8,143	95	0,086		
	R50	0,130	95	0,001		
	CL	77,606	791	0,098		
	RL	630,624	791	0,797		

M2 táblázat: A medián csírázási idő (MGT, nap) a koncentráció függvényében. A kisbetűk szignifikáns különbséget jeleznek a koncentrációk között, míg a nagybetűk a fajták közötti szignifikáns különbséget jelentik $p < 0,05$ szinten.

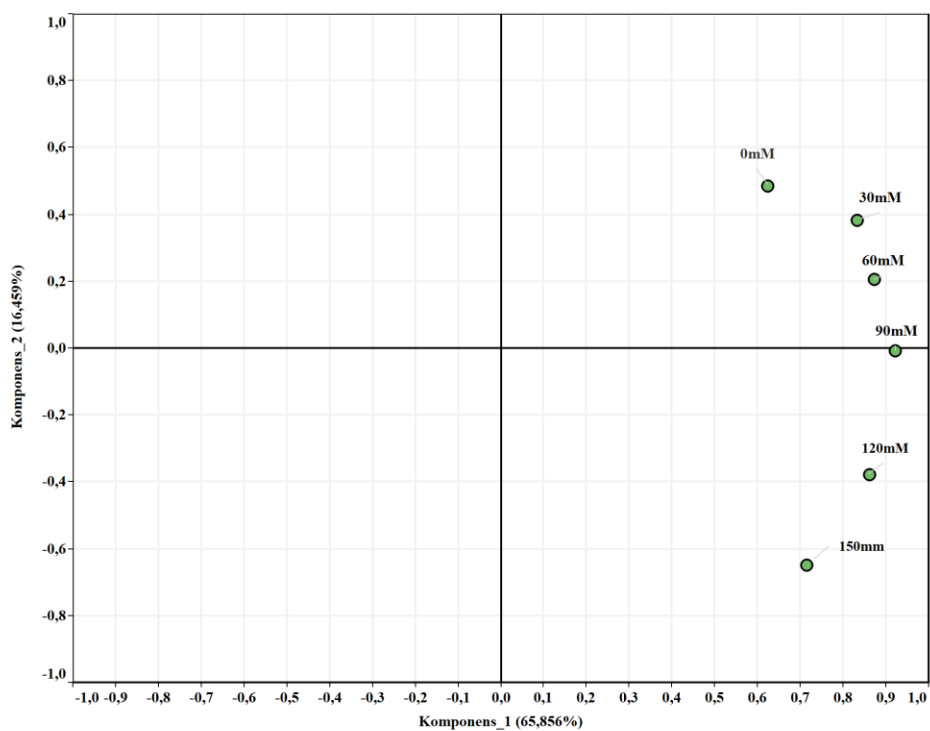
Fajta	Koncentráció						Átlag
	0mM	30mM	60mM	90mM	120mM	150mM	
Dáma	1,72a	1,87ab	2,1ab	2,53b	2,78b	3,67c	2,44BC
Dular	2,90a	3,10ab	4,60abc	5,20bc	5,80b	8,30c	7,13D
D. Shali	1,08a	1,05a	1,13ab	1,29ab	1,27ab	1,39b	1,20A
Janka	1,65a	1,72ab	1,93bc	1,94bc	2,19cd	2,52d	1,99ABC
M 488	1,70a	1,88ab	1,94ab	1,93b	2,35c	2,44c	2,04ABC
Nembo	1,67a	1,77a	2,00ab	2,15ab	2,73bc	3,29c	2,27BC
Risabell	1,57a	1,69ab	1,81ab	1,91bc	2,18cd	2,50d	1,94AB
Sprint	2,04a	2,40ab	2,51bc	2,84c	3,51d	3,98e	2,88C
Átlag	2,03a	2,21ab	2,41ab	2,80ab	3,24ab	3,73b	

M3 táblázat: A csírázás sebessége (R50) a koncentráció függvényében. A kisbetűk szignifikáns különbséget jeleznek a koncentrációk között, míg a nagybetűk a fajták közötti szignifikáns különbséget jelentik p<0,05 szinten.

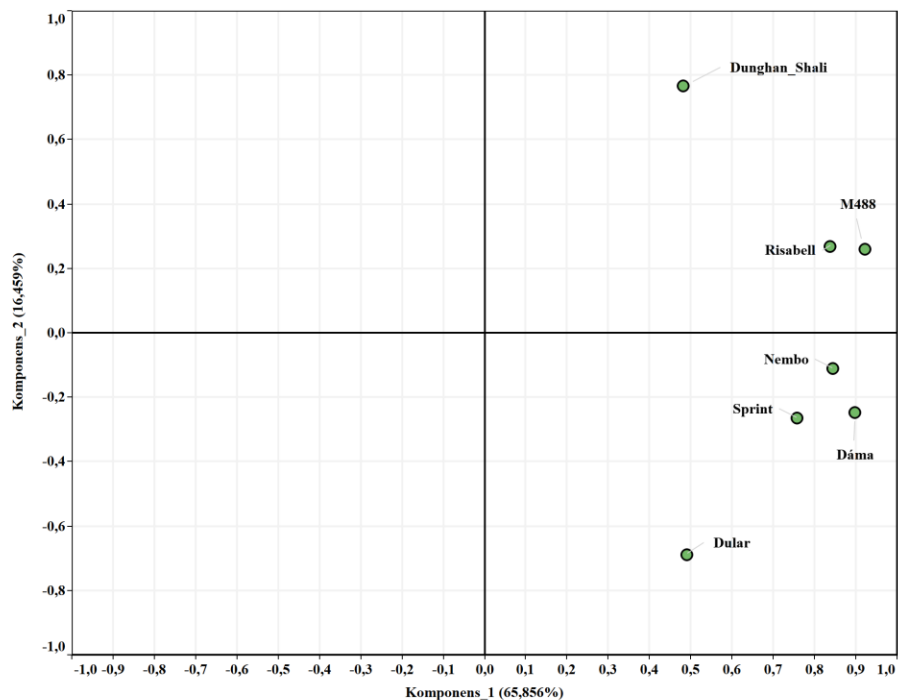
Fajta	Koncentráció						Átlag
	0mM	30mM	60mM	90mM	120mM	150mM	
Dáma	0,58a	0,53a	0,48b	0,40c	0,36c	0,27d	0,44C
Dular	0,34a	0,32ab	0,22ab	0,19b	0,17b	0,12b	0,16D
D.Shali	0,94a	0,95a	0,89ab	0,78ab	0,79ab	0,72b	0,84A
Janka	0,60a	0,58a	0,52b	0,52b	0,46c	0,40d	0,51B
M 488	0,59a	0,53ab	0,52b	0,52b	0,42c	0,41c	0,50B
Nembo	0,60a	0,57a	0,50ab	0,47ab	0,37b	0,30b	0,47B
Risabell	0,64a	0,59ab	0,55b	0,53b	0,46c	0,40c	0,53B
Sprint	0,49a	0,42b	0,40b	0,35b	0,27c	0,2c	0,36C
Átlag	0,58a	0,55a	0,50b	0,46c	0,41d	0,37e	



M1 ábra: A 3 fajtacsoport csírázási (DT, MGT, GP és R50) és növekedési paramétere (CL, RL) különböző sóstresszmellett.



M2 ábra: A csirázási paraméterek (DT, MGT, GP, R50, CL és RL) főkomponens analízise a különböző sóstressz szintek összehasonlításához.



M3 ábra: A csirázási paraméterek (DT, MGT, GP, R50, CL és RL) főkomponens analízise a különböző fajták összehasonlításához az összes koncentráció figyelembe vételével.

M4 táblázat: A fajták és fajtacsoportok különböző paramétereit csíranövénykori 12 dS/m sóterhelés mellett. MSI – Membrán stabilitási index, RV – gyökér életképesség. A kisbetűk szignifikáns különbséget jeleznek a fajták, míg a nagybetűk a fajtacsoportok között

Fajta	Biomassza (g/növény)			MSI	RV	Antocianinok ($\mu\text{mol/g}$)	Chl a+b (mg/g)	Karotinoidok (mg/g)
	Hajtás	Gyökér	Total					
Dáma	2,50cd	0,65bc	3,15b	90,94b	67,79abc	0,60ab	2,92bc	0,67d
Dular	3,32de	1,29d	4,61c	72,77a	48,42a	1,06cd	3,26cd	0,60cd
D. Shali	3,62e	0,79c	4,41c	86,7b	83,19c	0,84bc	3,56d	0,64cd
Janka	2,41bcd	0,70bc	3,12b	69,03a	74,84bc	0,53a	2,26a	0,44ab
M 488	2,00abc	0,47ab	2,47ab	72,77a	64,08abc	0,64ab	3,06cd	0,61cd
Nembo	1,53ab	0,36a	1,89a	70,72a	46,00a	1,13d	2,43ab	0,45ab
Risabell	1,84abc	0,43ab	2,27ab	70,50a	81,02bc	0,92cd	2,79abc	0,55bc
Sprint	1,45a	0,32a	1,77a	87,39b	57,55ab	0,97cd	2,19a	0,40a
Japonica_1	2,47AB	0,61B	3,09B	77,99A	74,18B	0,71A	2,92AB	0,58B
Japonica_2	1,49A	0,34A	1,83A	79,06A	51,78A	1,05B	2,31A	0,43A
Indica	3,32B	1,29C	4,61C	72,77A	48,42A	1,06B	3,26B	0,60B

M5 táblázat: Csíranövény kori Pearson korreláció a vizsgált paraméterek között. (Ant. - Antocianinok, Chl a+b - klorofill a+b, Kar. - karotinoidok)

	SDW	RDW	TDW	MSI	RV	Ant	Chl	Car	S_Na	S_K	S_Na_K	S_K_Na	RNa	RK	RNa_K	R_K_Na
SDW	1															
RDW	0,855**	1														
TDW	0,988**	0,924**	1													
MSI	0,208	-0,052	0,143	1												
RV	0,287	-0,093	0,186	0,165	1											
Ant	-0,134	0,032	-0,096	-0,136	-0,563	1										
Chl	0,794*	0,591	0,758*	0,204	0,257	0,001	1									
Car	0,649	0,468	0,619	0,317	0,302	-0,278	0,887**	1								
S_Na	-0,634	-0,397	-0,586	-0,283	-0,815*	0,566	-0,516	-0,544	1							
S_K	0,864**	0,743*	0,852**	-0,04	0,239	0,071	0,918**	0,681	-0,540	1						
S_Na_K	-0,718*	0,500	-0,677	-0,217	-0,760*	0,501	-0,627	-0,617	0,987**	-0,666	1					
S_K_Na	0,612	0,409	0,572	-0,047	0,738*	-0,614	0,234	0,192	-0,789*	0,404	-0,774*	1				
RNa	0,489	0,658	0,55	0,211	-0,532	0,584	0,451	0,204	0,074	0,527	-0,025	-0,249	1			
RK	-0,27	-0,648	-0,387	0,205	0,618	-0,182	-0,1	0,03	-0,110	-0,293	-0,027	0,096	-0,716*	1		
RNa_K	0,44	0,772*	0,548	-0,096	-0,585	0,405	0,319	0,135	0,054	0,481	-0,051	-0,137	0,896**	-0,927**	1	
R_K_Na	-0,383	-0,666	-0,475	-0,031	0,639	-0,348	-0,259	-0,068	-0,122	-0,397	-0,031	0,185	-0,898**	0,939**	-0,960**	1

M6 táblázat: A felnőttkori folyamatos sóterhelés (S1) varianciaanalízis eredménye a sókoncentráció, a fajta és a kettő kölcsönhatásának paraméterei a különböző növénytulajdonságok mellett

	SDW			RDW		TDW		Plant_height		DF	
	df	MS	Sig.	MS	Sig.	MS	Sig.	MS	Sig.	MS	Sig.
Só	1	171,01	0,00	8,20	0,00	254,10	0,00	825,02	0,00	279,50	0,00
Fajta	7	24,06	0,00	2,29	0,00	37,87	0,00	1553,35	0,00	278,50	0,00
Só*Fajta	7	7,32	0,00	0,91	0,00	12,65	0,00	30,33	0,00	8,14	0,00
	TA			Ant,		Chl		Car,		PL	
	df	MS	Sig,	MS	Sig,	MS	Sig,	MS	Sig,	MS	Sig,
Só	1	1,25	0,00	0,10	0,00	17,97	0,00	1,00	0,00	46,41	0,00
Fajta	7	0,96	0,00	0,03	0,00	2,72	0,00	0,10	0,00	77,19	0,00
Só*Fajta	7	0,46	0,00	0,02	0,00	0,41	0,00	0,02	0,00	6,60	0,00
	NP			NofF		NofUF		F%		Y	
	df	MS	Sig,	MS	Sig,	MS	Sig,	MS	Sig,	MS	Sig,
Só	1	0,00	0,92	19241,22	0,00	483,68	0,00	2144,82	0,00	186,84	0,00
Fajta	7	3,04	0,00	2758,08	0,00	98,61	0,00	58,56	0,00	16,79	0,00
Só*Fajta	7	1,36	0,00	493,83	0,00	50,36	0,00	49,33	0,00	1,60	0,00
	KW			NaG		SNa		SK		RNa	
	df	MS	Sig,	MS	Sig,	MS	Sig,	MS	Sig,	MS	Sig,
Só	1	1,58	0,00	22,02	0,08	8324,56	0,00	6766,48	0,00	43167,86	0,00
Fajta	7	0,74	0,00	20,86	0,01	31583,64	0,00	26958,33	0,00	7866,90	0,00
Só*Fajta	7	0,07	0,00	5,12	0,56	1354,20	0,00	7416,98	0,00	1565,25	0,00
	RK										
	df	MS	Sig.								
Só	1	37005,92	0,00								
Fajta	7	8278,12	0,00								
Só*Fajta	7	1572,60	0,00								

M 7 táblázat: A felnőttkori folyamatos sóterhelés (S1) biológiai paramétereit (SDW-hajtás, RDW-gyökér, TDW-összbiomassza), növénymagassága (PL), bokrosodási képessége (TA) és virágzási ideje (DF). A kisbetűk szignifikáns különbséget jeleznek a fajták, míg a nagybetűk a fajtacsoportok között. A csillagok pedig a két kezelés között (Kontroll-Stressz) $p < 0.05$ (*), $p < 0.01$ (**), és $p < 0.001$ (***) szinteken.

Fajta	SDW (g/növény)			RDW (g/növény)			TDW (g/növény)			PH (cm)			TA (db)			DF (nap)		
	Kontroll	Stressz	(%)	Kontroll	Stressz	(%)	Kontroll	Stressz	(%)	Kontroll	Stressz	(%)	Kontroll	Stressz	(%)	Kontroll	Stressz	(%)
Dáma	5,20a	3,55bcd*	-31,73	1,23c	0,85c**	-31,06	6,43a	4,40c*	-31,60	108,17c	105,33f**	-2,62	2,42a	2,42b	0,00	75,50a	84,67b**	12,14
Dular	12,58d	5,417d**	-56,95	2,353e	0,98cd***	-58,35	14,94b	6,40d**	-57,17	125,00e	112,00g*	-10,40	3,17a	2,68bc*	-15,28	87,00b	90,00c	3,45
D.Shali	6,25ab	3,75cd*	-40,00	1,08bc	0,70b	-35,19	7,33a	4,45cd*	-39,29	118,50de	115,00h	-2,95	3,17a	3,22d	1,58	72,50a	81,00ab**	11,72
Janka	5,63a	3,25bc*	-42,30	0,81ab	0,61b**	-24,78	6,44a	3,86bc*	-40,11	110,17cd	94,67e***	-14,07	3,33a	2,79bcd	-16,20	73,00a	78,00a*	6,85
M 488	3,35a	1,68ab**	-49,76	0,65a	0,45a**	-30,31	4,00a	2,14ab**	-46,60	85,17a	79,50b**	-6,65	2,42a	3,07cd	26,89	71,50a	78,67a*	10,02
Nembo	10,07bc	3,18bc*	-68,38	3,563f	1,13d***	-68,37	13,63b	4,31c**	-68,38	88,83a	82,00c**	-7,69	2,56a	1,76a*	-31,29	90,00b	94,33d*	4,81
Risabell	6,6ab	3,07abc***	-53,53	1,82d	0,69b***	-61,86	8,42a	3,76bc***	-55,33	98,67b	90,33d***	-8,45	3,33a	3,00cd	-10,08	89,00b	91,00cd	2,25
Sprint	5,62a	1,2a*	-78,64	0,83abc	0,31a***	-62,65	6,45a	1,51a*	-76,58	80,33a	69,67a*	-13,28	2,92a	1,79a**	-38,53	87,00b	94,00cd*	8,05
Átlag	6,91	3,14***		1,54	0,72***		8,45	3,85***		101,85	93,56***		2,91	2,59*		81,06	86,46***	
Japonica_1	5,41A	3,06A	-43,47	1,12A	0,66A	-36,64	6,52A	3,72A	-42,59	104,13B	96,97B	-6,95	2,93A	2,90B	0,44	76,30	82,67	8,60
Japonica_2	7,84A	2,19A	-73,51	2,20AB	0,72AB	-65,51	10,04B	2,91A	-72,48	84,58A	75,83A	-10,48	2,74A	1,78A	-34,91	88,50	94,17	6,43
Indica	12,58B	5,42B	-56,95	2,35B	0,98B	-58,35	14,94C	6,40B	-57,17	125,00C	112,00C	-10,40	3,17A	2,68B	-15,28	87,00	90,00	3,45

M8 táblázat: A felnőttkori folyamatos sóterhelés (S1) pigmenttartalom változásai (Ant. - Antocianinok, Chl a+b - klorofill a+b, Kar. - karotinoidok). A kisbetűk szignifikáns különbséget jeleznek a fajták, míg a nagybetűk fajta-csoportok között. A csillagok pedig a két kezelés között (Kontroll-Stressz) $p < 0.05$ (*), $p < 0.01$ (**) és $p < 0.001$ (***) szinteken.

	Ant. ($\mu\text{mol/g}$)			Chl a+b (mg/g)			Kar. (mg/g)		
	Kontroll	Stressz	Változás (%)	Kontroll	Stressz	Változás (%)	Kontroll	Stressz	Változás (%)
Dáma	0,37c	0,48ab**	28,38	1,68c	2,76bc***	64,17	0,44cd	0,75bc***	69,77
Dular	0,52d	0,50b	-3,28	1,87c	3,46c***	84,87	0,47de	0,85cd***	79,70
D.Shali	0,24a	0,48ab***	102,94	0,82a	2,53ab***	207,41	0,25a	0,67ab***	169,20
Janka	0,28ab	0,52b**	84,75	1,25b	3,38c***	170,40	0,38bc	0,83cd***	119,59
M 488	0,30b	0,38a*	27,09	1,20b	1,97a***	63,51	0,34b	0,60a***	76,47
Nembo	0,59e	0,50b	-15,99	3,26e	4,26d*	30,67	0,79f	0,95d	19,42
Risabell	0,42c	0,49ab*	17,99	2,13d	2,97bc**	39,10	0,48de	0,67ab**	40,46
Sprint	0,41c	0,50b*	21,65	2,11d	2,80bc*	32,75	0,51e	0,66ab**	28,82
Átlag	0,39	0,48***		1,79	3,02***		0,46	0,75***	
Japonica_1	0,32A	0,47A	52,23	1,42A	2,72A	108,92	0,378A	0,70A	95,10
Japonica_2	0,50B	0,50A	2,83	2,68B	3,53B	31,71	0,65B	0,80AB	24,12
Indica	0,52B	0,50A	-3,28	1,87B	3,46B	84,87	0,47B	0,85B	79,70

M9 táblázat: Kontroll, a folyamatos sóterhelés (S1) és a virágzáskori sóterhelés (S2) alatt a termést meghatározó főbb paraméterek (PL- bugahossz, NP -bugák száma, NofF- telt szemek száma, NofUF - üres szemek száma, F% - fertilitás, Y - termésmennyiség) változásai fajtánként, fajtacsoportonként. A kisbetűk szignifikáns különbséget jeleznek a fajták, míg a nagybetűk a fajtacsoportok között. A csillagok pedig a kezelések között (Kontroll-S1; Kontroll-S2) $p < 0.05$ (*), $p < 0.01$ (**) és $p < 0.001$ (***) szinteken.

Fajta	PL (cm)			NP			NofF			NofUF			F (%)			Y (g/növény)		
	Kontroll	S1	S2	Kontroll	S1	S2	Kontroll	S1	S2	Kontroll	S1	S2	Kontroll	S1	S2	Kontroll	S1	S2
Dáma	20,60d	16,32d**	20,67d	2,75a	2,95bc	3,25ab	125,87bc	64,87d**	106,17d	11,78cd	12,17ab	16,19b*	91,38b	84,20d***	86,80e***	7,59bc	3,82e***	7,14b
Dular	23,61e	24,84f*	24,13e	4,50d	4,35e	4,48cd	136,89d	107,11f**	97,37d***	14,22d	20,97cd***	27,73c***	90,57b	83,63d***	77,85b***	10,20d	7,32f***	6,61b***
D.Shali	18,50c	15,68cd**	19,53d	3,83c	5,35f**	4,62d*	79,08a	36,69a**	79,24c	5,58a	10,40a**	10,55a**	93,33b	77,92bc***	88,21e*	7,06abc	3,15d***	7,57b
Janka	18,38c	13,33b***	17,70c	3,33bc	4,21de**	4,17cd**	97,88ab	33,12a***	85,23c*	9,02abc	10,73a	16,64b**	91,56b	75,38b***	83,65cd**	8,30c	2,09bc***	7,20b**
M 488	12,74a	11,77a*	13,43a	3,33bc	3,50cd	3,65abc	102,00ab	64,51d**	99,61d	19,31e	19,40c	23,47c	84,04a	76,90bc**	80,94bcd	6,48ab	3,57de**	6,51b
Nembo	14,76b	14,56bc	13,77a	3,00ab	2,72ab	2,85a	90,28a	83,21e	66,68b***	5,94ab	21,19cd***	11,76ab**	93,83b	79,70c***	84,98de***	6,10ab	2,32c**	3,50a**
Risabell	20,54d	18,07e***	16,47bc***	3,42bc	2,77abc**	3,95bcd**	76,97a	42,87b***	31,51a***	6,58ab	14,64b**	16,57b***	92,11b	74,54b***	65,52a***	5,70a	1,79b***	2,75a***
Sprint	16,41b	15,24cd**	15,27b**	3,67c	2,04a***	2,83a**	94,11a	50,35c**	58,03b**	9,78bc	23,50d***	15,28ab*	90,59b	68,18a***	79,23bc***	5,41a	1,23a**	2,80a**
Átlag	18,19	16,23***	17,62ns	3,48	3,49ns	3,72ns	100,38	60,34***	77,98**	10,28	16,63***	17,27***	90,93	77,56***	80,90***	7,11	3,16***	5,51**
Japonica_1	18,15A	15,03A	17,51A	3,33A	3,76B	3,93B	96,36A	48,41A	80,35AB	10,45A	13,47A	16,68A	90,48A	77,79A	81,02A	7,03A	2,88B	6,23B
Japonica_2	15,58A	14,90A	14,52A	3,33A	2,38A	2,84A	92,19A	66,78B	62,36A	7,86A	22,35B	13,52A	92,21A	73,94A	82,10A	5,76A	1,77A	3,16A
Indica	23,61B	24,84B	24,13B	4,50B	4,35B	4,48B	136,89B	107,11C	97,37B	14,22B	20,97B	27,73B	90,57A	83,63B	77,85A	10,20B	7,32C	6,61B

M10. táblázat: A hidegtűrési kísérletek során felhasznált növényanyagok neve, fajtacsoport és származási országa.

Genotípus	Fajtacsoport	Származási ország	Genotípus	Fajtacsoport	Származási ország
18 Ábel K	temp. japonica	Magyarország	Karmina	temp. japonica	Magyarország
Ábel	temp. japonica	Magyarország	Karola	temp. japonica	Magyarország
Adelino	trop. japonica	Olaszország	Karola_2	temp. japonica	Magyarország
Arsenal	trop. japonica	Olaszország	Kazer 6	n.a	Kazahsztán
Augusztá	temp. japonica	Magyarország	Kazniir 5	n.a	Kazahsztán
Azsuka	temp. japonica	Japán	Kései Kerek	temp. japonica	Magyarország
B 40	indica	Indonézia	Ketaki	indica	India
Baldo	temp. japonica	Olaszország	Kikko	temp. japonica	Olaszország
Balilla x Rizotto_1	temp. japonica	Magyarország	Kínai	n.a	Kína
Balilla x Rizotto_2	temp. japonica	Magyarország	Kínai 1	n.a	Kína
Balilla x Rizotto_3	temp. japonica	Magyarország	Kínai 2	n.a	Kína
Balilla x Sesia_1	temp. japonica	Magyarország	Kínai 3	n.a	Kína
Balilla x Sesia_2	temp. japonica	Magyarország	Kitashali	temp. japonica	Magyarország
Berthone x Cirqua	temp. japonica	Magyarország	Korai Gladio	trop. japonica	Olaszország
Bioryza	temp. japonica	Magyarország	Koshihikari	temp. japonica	Japán
Cigalon	temp. japonica	Franciaország	Köröstáj 333	temp. japonica	Magyarország
CL 62	n.a	n.a	Kristallino	temp. japonica	Olaszország
CL rizs	n.a	n.a	Loto	temp. japonica	Olaszország
CO 39	indica	Fülöp-szigetek	M 202	temp. japonica	USA
Cody 220 mutáns	n.a	USA	M 225	temp. japonica	Magyarország
D.Shali	temp. japonica	Magyarország	M 488	temp. japonica	Magyarország
D.Shali 336	temp. japonica	Magyarország	M 60	temp. japonica	Magyarország
D.Shali 336_2	temp. japonica	Magyarország	Mak-Hin-Soung	trop. japonica	Laosz
D.Shali 336_3	temp. japonica	Magyarország	Mangala	indica	India
D.Shali x Kubáni 140	temp. japonica	Magyarország	Maratelli	temp. japonica	Olaszország
Dáma	temp. japonica	Magyarország	Maratelli_2	temp. japonica	Olaszország
Dáma_2	temp. japonica	Magyarország	Marilla	temp. japonica	Magyarország
Dáma K	temp. japonica	Magyarország	Marilla_2	temp. japonica	Magyarország
Diamante	temp. japonica	Chile	Mirco	trop. japonica	Olaszország
Dom Sofid	aromatic	Irán	N22	aus	India
Dular	aus	India	NC Kerek	temp. japonica	Magyarország
Egyiptom	n.a	Egyiptom	Nembo	temp. japonica	Olaszország
F3/28	temp. japonica	Magyarország	Nipponbare	temp. japonica	Japán
F3/9	temp. japonica	Magyarország	Nucleoryza	temp. japonica	Magyarország
Fast	trop. japonica	Olaszország	Opál	temp. japonica	Olaszország
Fekete	japonica	Olaszország	Oryzella	temp. japonica	Magyarország
Fruzsina	temp. japonica	Magyarország	P 153	temp. japonica	Magyarország
Fruzsina GH3	temp. japonica	Magyarország	Pallagi 77	temp. japonica	Magyarország
Góliát	temp. japonica	Magyarország	Pato	n.a	Olaszország
H33	temp. japonica	Magyarország	PSB RC 10	indica	Fülöp-szigetek
Hitomebore	temp. japonica	Japán	PSB RC 44	indica	Fülöp-szigetek
Homály	n.a	Magyarország	PSB RC 44_2	indica	Fülöp-szigetek
Hoshinoyume	temp. japonica	Japán	PSB RC 92	indica	Fülöp-szigetek
I/7	temp. japonica	Magyarország	PSB RC 94	indica	Fülöp-szigetek
IE-5593	n.a	Görögország	Pusa Basmati	aromatic	India
IR 43	indica	Fülöp-szigetek	Raja De Ponta Escura	temp. japonica	Portugália
IR 50	indica	Fülöp-szigetek	RB_2	temp. japonica	Magyarország
IR 60080-46A	trop. japonica	Fülöp-szigetek	RCAT 010 590	temp. japonica	Bulgária
IR 64	indica	Fülöp-szigetek	Ringola	temp. japonica	Magyarország
IR13K111	temp. japonica	Fülöp-szigetek	Risabell	temp. japonica	Magyarország

IR14 L176	n.a	Fülöp-szigetek	Risabell B-3/13	temp. japonica	Magyarország
IR14 L226	n.a	Fülöp-szigetek	Sandora	temp. japonica	Magyarország
IR14 L231	n.a	Fülöp-szigetek	Selenio	temp. japonica	Olaszország
IR14 L231_2	n.a	Fülöp-szigetek	Sfera	temp. japonica	Olaszország
IR-29	indica	Fülöp-szigetek	Sprint	trop. japonica	Olaszország
IR-29_2	indica	Fülöp-szigetek	Tápioryza x H9	temp. japonica	Magyarország
IR74371-70-1-1	indica	Fülöp-szigetek	Teqing	indica	Kína
IRAT 109	trop. japonica	Elefántcsontpart	Thai Bonnet	trop. japonica	USA
IRAT 112	trop. japonica	Elefántcsontpart	Tondo	temp. japonica	Olaszország
IRH 1	n.a	Irán	Tondo_2	temp. japonica	Olaszország
IRH 2	n.a	Irán	Torino	temp. japonica	Olaszország
IRRI 123	indica	Fülöp-szigetek	Tzjao-Bu-zshi	temp. japonica	Magyarország
IRRI 142	temp. japonica	Fülöp-szigetek	UIR 8382 (Premium)	temp. japonica	Ukrajna
IRRI 146	indica	Fülöp-szigetek	UIR 2865 (Lazurite)	temp. japonica	Ukrajna
IRRI 147	indica	Fülöp-szigetek	UIR 4970 (Galeon)	temp. japonica	Ukrajna
IRRI 154	indica	Fülöp-szigetek	UKR 2	n.a	Ukrajna
IRRI 156	indica	Fülöp-szigetek	UKR 5	n.a	Ukrajna
IRRI 174	indica	Fülöp-szigetek	Unggi-9	temp. japonica	Korea
IRRI 179	indica	Fülöp-szigetek	Unggi-9_2	temp. japonica	Korea
IRRI 180	indica	Fülöp-szigetek	Unggi-9_3	temp. japonica	Korea
IRRI 181	indica	Fülöp-szigetek	USG 1	n.a	USA
Janka	temp. japonica	Magyarország	USG 3	n.a	USA
Japonka	temp. japonica	Magyarország	Vandana	indica	India
Jirasar 280	temp. japonica	India	Vasco	n.a	Olaszország
Jolanda	temp. japonica	Olaszország	Vosztok	temp. japonica	Ukrajna
Kákai 203	temp. japonica	Magyarország	Yung Feng	temp. japonica	Kína

M11. táblázat: A MATE-ÖVKI fajtagyűjteményének csírázási paraméterei 13°C-os csíráztatás mellett. A Medián csírázási idő (MGT), a végső Csírázási százalék (FGP) és a Csírázási index (GI) 3 ismétlés átlagaként.

Fajta	MGT		Fajta	FGP (%)		Fajta	GI	
	Átlag	Szórás		Átlag	Szórás		Átlag	Szórás
H33	7,00		Berthone x Cirqua	99,17	1,4	Dunghan Shali 336_1	96,67	2,60
Yung Feng	8,30	1,33	IRRI 154	99,17	1,4	Dunghan Shali 336_2	96,67	3,15
Tzjao-Bu-zshi	8,70	0,37	Mangala	99,17	1,4	Kákai 203	96,67	1,91
P 153	9,26	0,66	Balilla x Rizotto_2	98,33	1,4	Balilla x Rizotto_2	96,25	2,17
Dunghan Shali	9,46	0,39	Dunghan Shali 336_1	98,33	2,9	Dunghan Shali	95,83	3,82
Sfera	10,02	0,36	Nucleoryza	98,33	2,9	Nucleoryza	95,42	3,82
Szv Szellő	10,24	0,59	RCAT 010 590	98,33	1,4	Berthone x Cirqua	95,00	0,00
Balilla x Rizotto_2	10,29	0,18	Balilla x Rizotto_1	97,50	0,0	Jirasar 280	95,00	5,00
Dunghan Shali 336_2	10,30	0,09	Dunghan Shali 336_2	97,50	2,5	Balilla x Rizotto_3	94,17	5,05
Dunghan Shali 336_1	10,37	0,05	Kákai 203	97,50	2,5	Balilla x Sesia_1	93,75	2,17
Torino	10,46	0,25	H33	97,50	0,0	Janka	92,92	0,72
Vosztok	10,50	0,15	Balilla x Sesia_1	96,67	2,9	Hoshinoyume	92,08	1,91
Hoshinoyume	10,54	0,06	Balilla x Rizotto_3	95,83	5,2	Torino	92,08	5,20
Balilla x Rizotto_3	10,57	0,16	Cigalon	95,83	2,9	H33	92,08	0,72

RB	10,60	0,52	Dunghan Shali	95,83	3,8	RCAT 010 590	91,67	2,60
Nucleoryza	10,61	0,18	Dáma K	95,83	1,4	Ábel	91,25	2,50
Kákai 203	10,62	0,05	IRAT 112	95,83	1,4	Dáma K	90,83	7,32
Jirasar 280	10,66	0,20	Karmina	95,83	5,2	Karmina	90,83	5,20
Balilla x Sesia_1	10,67	0,06	Torino	95,83	5,2	I/7	90,42	2,60
RCAT 010 590	10,73	0,23	Ábel	95,00	4,3	Tzjao-Bu-zshi	90,42	7,94
Ábel	10,77	0,12	Agusta	95,00	5,0	Fruzsina	90,00	3,31
UIR 4970 (Galeon)	10,81	0,36	CL 62	95,00	0,0	Baldo	89,17	6,88
Karmina	10,81	0,30	Fruzsina	95,00	2,5	Sandora (HSC55)	89,17	2,60
Janka	10,82	0,06	Hoshinoyume	95,00	2,5	Szv Szellő	88,75	6,96
Berthone x Cirqua	10,82	0,06	IRRI 174	95,00	2,5	Chilei Basmati	88,75	2,17
Sandora (HSC55)	10,83	0,18	Jirasar 280	95,00	5,0	18 Ábel K	88,33	5,05
I/7	10,84	0,11	Kitashali	95,00	0,0	Balilla x Rizotto_1	88,33	5,20
18 Ábel K	10,87	0,37	Platino	95,00	2,5	Góliát	87,92	0,72
Marilla_2	10,88	0,34	Tzjao-Bu-zshi	95,00	5,0	IR14 L231_2	87,92	3,82
Dáma K	10,99	0,45	Góliát	94,17	3,8	Kitashali	87,92	3,15
Chilei Basmati	11,00	0,13	Janka	94,17	1,4	Kazer 6	87,50	9,92
IR14 L231_2	11,02	0,28	Oryzella	94,17	2,9	Balilla x Sesia_2	87,08	1,91
Fruzsina	11,03	0,13	Szv Szellő	94,17	5,8	Dunghan Shali x Kubáni 140	87,08	5,20
Kitashali	11,07	0,22	IRAT 109	93,33	1,4	IRH 1	86,67	3,15
Baldo	11,07	0,33	Kazer 6	93,33	7,2	Sfera	86,67	3,82
Zafiro	11,10	0,25	Sandora (HSC55)	93,33	2,9	Yung Feng	86,67	4,39
Dunghan Shali x Kubáni 140	11,11	0,16	Chilei Basmati	93,33	1,4	RB	86,25	8,20
Balilla x Sesia_2	11,13	0,09	Baldo	92,50	6,6	P 153	86,25	7,60
Góliát	11,13	0,12	Balilla x Sesia_2	92,50	2,5	Fruzsina GH3	85,83	4,39
Raja De Ponta Escura	11,15	0,66	Dular	92,50	4,3	Mangala	85,83	3,15
Kazer 6	11,20	0,55	I/7	92,50	4,3	Zafiro	85,83	3,82
IRH 1	11,21	0,19	IE-5593	92,50	2,5	Azsuka	84,17	10,78
M 202	11,21	0,47	IR14 L231_2	92,50	2,5	CL 62	84,17	3,61
Balilla x Rizotto_1	11,22	0,40	Köröstáj 333	92,50	2,5	IE-5593	84,17	3,61
Fruzsina GH3	11,24	0,40	M 225	92,50	2,5	Karola_2	84,17	0,72
Azsuka	11,26	0,59	M 488	92,50	6,6	Marilla_2	84,17	5,20
IE-5593	11,32	0,39	18 Ábel K	91,67	5,2	M 202	83,75	8,75
Karola_2	11,38	0,04	IRH 1	91,67	5,2	Cigalon	83,33	2,60
Vasco	11,43	0,52	B 40	90,83	2,9	Platino	83,33	0,72
UIR 8382 (Premium)	11,46	0,38	Cody 220 mutant	90,83	1,4	Agusta	82,92	4,02
CL 62	11,61	0,44	Dunghan Shali 336_3	90,83	6,3	UIR 4970 (Galeon)	82,92	5,91
IR 43	11,72	0,18	M 60	90,83	3,8	Vosztok	81,25	3,31
Agusta	11,73	0,25	Sfera	90,83	2,9	Dunghan Shali 336_3	80,83	2,60
Nembo	11,77	0,37	Dunghan Shali x Kubáni 140	90,00	6,6	Cody 220 mutant	80,42	3,82
Cody 220 mutant	11,78	0,25	Fast	90,00	8,7	IR 43	79,17	3,82
Cigalon	11,79	0,35	Karola_2	90,00	2,5	Köröstáj 333	78,75	3,31
Mangala	11,86	0,46	Zafiro	90,00	2,5	Vasco	78,33	3,82
Dunghan Shali 336_3	11,86	0,51	Azsuka	89,17	10,4	UIR 8382 (Premium)	77,50	5,73
Platino	11,89	0,27	Fruzsina GH3	89,17	1,4	IR14 L226	77,08	7,11
IR14 L231	11,91	0,37	RB	89,17	10,1	UIR 2865 (Lazurite)	77,08	7,94
IR14 L226	11,92	0,44	Yung Feng	89,17	2,9	Diamante	76,67	7,22
Kazniir 5	11,96	0,38	Ketaki	88,33	3,8	IR14 L231	76,25	6,96

UIR 2865 (Lazurite)	12,00	0,75	Marilla_2	88,33	3,8	IRAT 112	75,83	3,61
Loto	12,07	0,29	Dom Sofid	87,50	6,6	Loto	75,83	3,61
Diamante	12,09	0,80	Hitomebore	87,50	4,3	Dáma	75,42	7,53
Dáma_2	12,09	0,47	IR 43	87,50	6,6	Dáma_2	75,42	6,29
UKR 5	12,11	0,28	Karola	87,50	9,0	Nembo	75,42	5,05
Maratelli_2	12,19	0,56	Ringola	87,50	2,5	Raja De Ponta Escura	75,42	8,32
Jolanda	12,19	0,19	Tápioryzax H9	87,50	2,5	Karola	75,00	6,61
Dáma	12,22	0,49	UIR 8382 (Premium)	87,50	2,5	M 488	74,17	3,15
Karola	12,26	0,74	Adelio	86,67	1,4	Maratelli_2	74,17	6,88
Köröstáj 333	12,28	0,48	Arsenal	86,67	8,8	IRAT 109	73,75	1,25
Egyiptom	12,33	0,30	Maratelli_2	86,67	8,8	Kazniir 5	73,75	4,51
Kristallino	12,37	0,15	Vasco	86,67	1,4	Fast	73,33	10,03
Opale	12,38	0,71	Vosztok	86,67	5,2	Opale	73,33	7,11
Marilla	12,41	0,87	P 153	86,67	7,2	Tápioryzax H9	73,33	5,05
Unggi-9_2	12,41	0,84	Dáma	85,83	7,6	Egyiptom	72,50	3,75
Tondo_2	12,51	1,02	Loto	85,83	7,2	Jolanda	72,50	3,31
Selenio	12,55	0,23	M 202	85,83	7,6	UKR 5	70,00	3,31
Tápioryzax H9	12,69	0,58	UIR 4970 (Galeon)	85,83	7,6	Oryzella	69,58	8,51
M 488	12,70	0,47	Dáma_2	85,00	2,5	Bioryza	69,17	3,82
Fast	12,85	1,16	Diamante	85,00	4,3	M 225	69,17	4,02
Tondo	12,91	0,31	Egyiptom	85,00	2,5	B 40	68,75	2,50
Bioryza	13,02	0,88	F3/9	85,00	6,6	M 60	68,75	4,33
Maratelli	13,08	0,27	IR14 L226	85,00	8,7	Tondo_2	67,50	8,75
IRAT 109	13,09	0,00	Opale	85,00	2,5	Unggi-9 szegély: közepes	67,50	5,73
IRAT 112	13,35	0,85	Pallagi 77	85,00	9,0	Pallagi 77	67,08	11,20
El paso 144	13,36	0,76	IRH 2	84,17	8,0	Selenio	67,08	2,89
B 40	13,42	0,73	UIR 2865 (Lazurite)	84,17	5,2	Kristallino	65,83	0,72
IR 50	13,48	0,47	Bioryza	83,33	1,4	Marilla	65,83	7,64
UKR 2	13,62	1,08	IR14 L231	82,50	9,0	Maratelli	65,00	3,75
M 225	13,76	0,93	Kazniir 5	81,67	5,2	IR 50	64,17	1,44
SZV Tünde	13,76	2,12	Kikko	81,67	9,5	Unggi-9 (csak kerek)	64,17	12,52
Unggi-9	13,93	3,11	IR 50	80,83	3,8	IRRI 174	63,33	3,82
Oryzella	14,01	1,82	N22	80,83	7,6	Tondo	63,33	4,02
Hom	14,14	2,79	Nembo	80,83	3,8	PSB RC 94	62,08	11,20
M 60	14,17	1,22	Kései Kerek	80,00	9,0	Kikko	61,25	5,73
Pallagi 77	14,18	1,79	Tondo_2	80,00	7,5	Kínai	60,00	16,39
Kikko	14,48	1,41	Jolanda	79,17	1,4	Ketaki	59,58	3,15
PSB RC 94	14,63	1,93	Raja De Ponta Escura	79,17	6,3	Hom	59,58	11,34
Kínai	15,50	3,48	PSB RC 94	78,33	9,5	Adelio	59,17	2,60
Mirco	15,69	0,59	Vandana	78,33	3,8	UKR 2	59,17	7,94
Ketaki	15,74	0,74	CO 39	77,50	2,5	El paso 144	58,75	3,31
IRRI 174	15,74	0,69	IR13K111	77,50	5,0	SZV Tünde	57,50	13,17
CO 39	15,74	0,90	Korai Gladio	77,50	4,3	CO 39	56,25	2,50
Vandana	15,82	2,81	UKR 5	77,50	5,0	Mirco	56,25	3,75
Adelio	15,96	0,45	Mirco	76,67	5,2	Hitomebore	55,42	4,02
Thai Bonnet	16,57	1,41	Japonka	75,00	2,5	IRRI 154	55,00	2,50
Hitomebore	16,88	0,40	Kínai	75,00	10,0	Dular	53,75	8,20
IR13K111	17,06	0,76	Unggi-9_2	75,00	2,5	Vandana	53,75	9,44

IRRI 154	17,08	0,20	Maratelli	74,17	7,6	Arsenal	52,50	5,45
Dular	17,15	0,95	Kristallino	73,33	3,8	IR13K111	52,50	4,33
Arsenal	17,22	0,72	Selenio	73,33	2,9	F3/9	50,83	3,82
F3/9	17,40	0,55	Tondo	73,33	8,0	Ringola	50,42	0,72
Ringola	17,44	0,11	Unggi-9	72,50	11,5	Risabell	48,75	5,45
Risabell	17,56	2,28	F3/28	71,67	2,9	Gladio	48,33	7,53
Gladio	17,77	1,44	Gladio	71,67	1,4	Thai Bonnet	47,50	5,73
Kései Kerek	18,07	0,86	Marilla	70,83	8,0	Kései Kerek	47,08	4,39
IRH 2	18,22	0,55	UKR 2	70,83	10,1	IRH 2	45,83	3,15
IRRI 181	18,58	1,08	IRRI 181	70,00	5,0	IRRI 142	42,50	9,92
IRRI 142	19,01	2,06	SZV Tünde	68,33	8,8	IRRI 181	41,25	8,75
Korai Gladio	19,16	0,56	Hom	68,33	8,0	Korai Gladio	40,42	2,89
IRRI 147	19,44	0,92	IRRI 147	65,83	2,9	IRRI 147	40,00	4,33
IR 60080-46A	19,99	0,94	Kínai 1	65,83	7,6	IR14 L176	39,17	4,39
Dom Sofid	19,99	0,88	Kínai 2	65,83	8,0	Kínai 1	39,17	8,13
Kínai 1	20,07	2,14	El paso 144	65,83	2,9	IR 60080-46A	37,08	3,61
Pusa Basmati	20,18	0,49	Sprint	62,50	8,7	IR74371-70-1-1	35,00	6,25
Japonka	20,41	0,29	Thai Bonnet	61,67	3,8	Tequing	34,58	10,10
F3/28	21,05	0,81	IR 29_2	61,67	8,0	Risabell B-3/13	33,75	5,73
N22	21,26	1,28	IR 60080-46A	60,83	5,2	Sprint	33,75	4,51
IR14 L176	21,32	2,83	IRRI 142	60,83	8,8	IR 29_2	33,75	8,20
IR 29_2	21,54	2,72	Kínai 3	60,83	3,8	Japonka	33,33	2,60
Sprint	21,70	1,82	Koshihikari	60,83	5,8	Pusa Basmati	32,08	4,02
IRRI 179	21,75	0,65	IR 64	60,00	6,6	PSB RC 10	31,25	2,50
PSB RC 10	22,04	1,80	IR14 L176	60,00	2,5	IR 64	30,00	5,73
IR 64	23,28	3,12	PSB RC 10	58,33	3,8	IRRI 179	30,00	1,25
PSB RC 44	24,10	3,76	Risabell	57,50	0,0	Dom Sofid	29,58	4,02
Kínai 3	24,21	2,81	PSB RC 44	55,00	4,3	USG 3	29,17	9,55
IR74371-70-1-1	25,32	4,38	Pusa Basmati	55,00	6,6	F3/28	28,75	3,31
Kínai 2	25,34	1,11	Nero	54,17	3,8	PSB RC 44	28,33	8,51
Koshihikari	25,57	1,17	NC Kerek	54,17	2,9	N22	27,92	5,91
Nero	26,42	1,51	IR74371-70-1-1	52,50	4,3	Pato	23,75	7,60
Pato	26,77	5,39	Tequing	49,17	11,3	Mak-Hin-Soung	23,33	3,15
NC Kerek	27,09	0,61	Pato	48,33	3,8	PSB RC 92	21,25	5,00
CL rizs	28,00		IRRI 179	46,67	2,9	Kínai 3	20,83	7,64
IR-29	28,00		Mak-Hin-Soung	45,83	11,8	nero	20,42	1,44
IR 442	28,00		PSB RC 92	43,33	7,6	Koshihikari	19,58	4,39
IRRI 146	28,00		USG 3	40,83	10,1	IR-29	19,17	2,60
IRRI 156	28,00		Risabell B-3/13	37,50	6,6	Nipponbare	17,50	3,31
IRRI 180	28,00		IR-29	34,17	5,8	UPLRI 7	15,42	5,91
Mak-Hin-Soung	28,00		IRRI 180	30,00	5,0	Kínai 2	14,58	4,02
MTU 1010	28,00		USG 1	29,17	5,8	USG 1	14,17	4,73
PSB RC 92	28,00		Nipponbare	27,50	4,3	IRRI 180	12,08	2,60
PSB RC 96	28,00		UPLRI 7	26,67	10,1	NC Kerek	11,67	1,91
Pusa Basmati 1	28,00		IRRI 156	19,17	1,4	IRRI 156	11,25	1,25
Risabell B-3/13	28,00		IRRI 146	18,33	3,8	IRRI 146	7,92	5,64
Tequing	28,00		IR 442	17,50	9,0	IR 442	7,50	4,51
UPLRI 7	28,00		CL rizs	15,00	9,0	PSB RC 96	5,42	1,91

USG 1	28,00	Pusa Basmati 1	14,17	3,8	IRRI 123	4,17	3,15
USG 3	28,00	PSB RC 96	10,00	5,0	PSB RC 44_2	3,33	3,15
IRRI 123	28,00	IRRI 123	9,17	7,6	CL rizs	2,50	3,31
Nipponbare	28,00	PSB RC 44_2	7,50	6,6	Pusa Basmati 1	0,42	0,72
PSB RC 44_2	28,00	CSR28	0,83	1,44	CSR28	0,42	0,72
CSR28	28,00	MTU 1010	0,00	0,0	MTU 1010	0,00	0,00

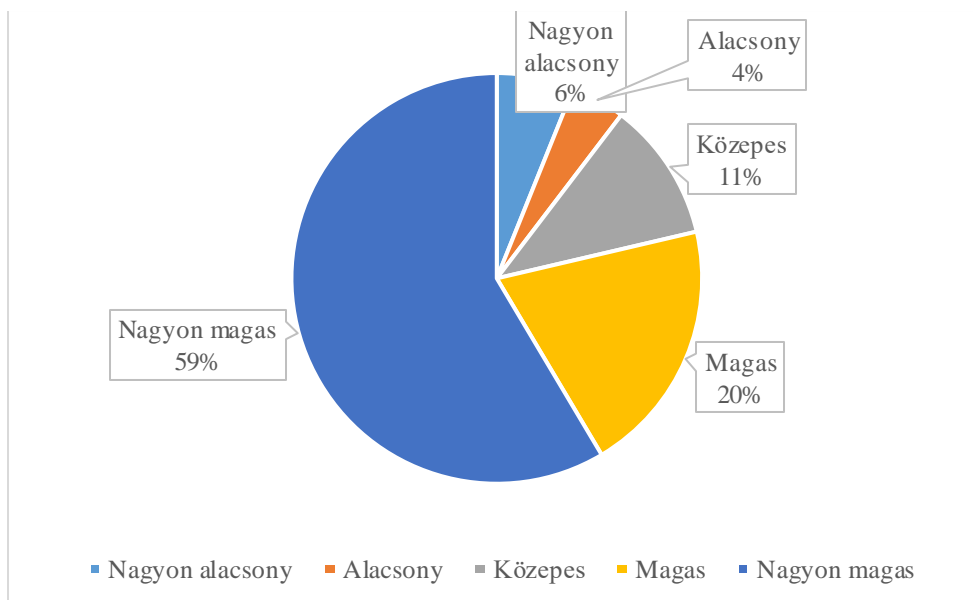
M12. táblázat: A MATE-ÖVKI fajtagyűjteményének növekedési paraméterei (5mm hosszabb koleoptilek %-os aránya és az 5mm hosszabb radícula-k százalékos aránya) 13°C-on

Fajta	> 5mm koleoptil (%)		Fajta	> 5mm radícula (%)	
	Átlag	Szórás		Átlag	Szórás
Balilla x Rizotto_2	93,33	1,44	Balilla x Rizotto_2	92,50	2,50
Dunghan Shali 336_1	93,33	3,82	Berthone x Cirqua	91,67	2,89
Kákai 203	93,33	2,89	Balilla x Rizotto_3	90,00	5,00
Balilla x Rizotto_3	92,50	4,33	Dunghan Shali 336_2	89,17	1,44
Dunghan Shali	91,67	2,89	Balilla x Sesia_1	87,50	2,50
Balilla x Rizotto_1	90,83	3,82	Dunghan Shali 336_1	86,67	6,29
Dunghan Shali 336_2	90,83	1,44	Dunghan Shali	85,83	1,44
Hoshinoyume	90,83	1,44	Fruzsina	85,00	0,00
Baldo	90,00	6,61	I/7	85,00	7,50
Jirasar 280	90,00	5,00	Balilla x Sesia_2	84,17	3,82
Nucleoryza	90,00	7,50	Dunghan Shali x Kubáni 140	84,17	5,20
Balilla x Sesia_1	89,17	2,89	Fruzsina GH3	84,17	1,44
Berthone x Cirqua	89,17	1,44	Góliát	84,17	1,44
Dáma K	89,17	6,29	Torino	83,33	5,20
Fruzsina	89,17	1,44	Ábel	81,67	3,82
Fruzsina GH3	89,17	1,44	Balilla x Rizotto_1	81,67	8,04
Góliát	89,17	1,44	Azsuka	80,83	14,22
IRH 1	87,50	2,50	Baldo	80,83	11,55
H33	87,50	2,50	Hoshinoyume	80,83	1,44
Ábel	86,67	1,44	Agusta	80,00	2,50
Dunghan Shali x Kubáni 140	86,67	5,77	Cody 220 mutant	80,00	4,33
I/7	86,67	5,20	Dáma K	80,00	7,50
Balilla x Sesia_2	85,00	2,50	Kákai 203	80,00	5,00
Torino	85,00	5,00	Nucleoryza	80,00	2,50
Zafiro	85,00	4,33	18 Ábel K	79,17	7,64
Szv Szellő	85,00	4,33	IRH 1	79,17	6,29
Agusta	84,17	5,20	Zafiro	77,50	5,00
Azsuka	84,17	11,27	Dunghan Shali 336_3	75,83	5,20
Cody 220 mutant	84,17	6,29	Jirasar 280	75,83	2,89
Karola_2	83,33	3,82	Yung Feng	75,83	1,44

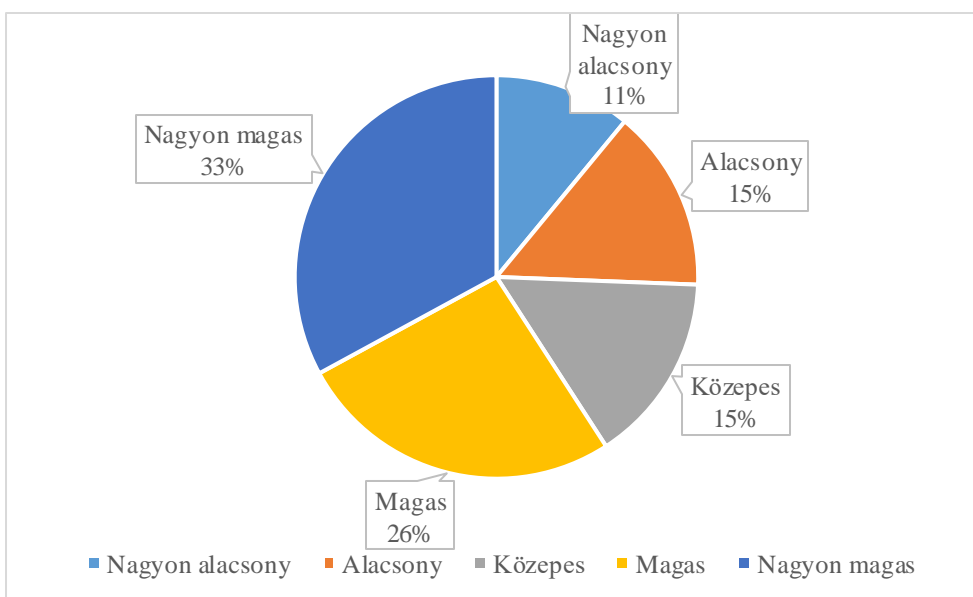
IR14 L231_2	81,67	6,29	Karola_2	75,00	2,50
Janka	81,67	5,77	Cigalon	74,17	1,44
IE-5593	80,00	6,61	UIR4970 (Galeon)	73,33	9,46
Kazer 6	79,17	8,78	Diamante	72,50	7,50
Diamante	77,50	6,61	IE-5593	72,50	9,01
18 Ábel K	76,67	3,82	Platino	70,00	5,00
Dunghan Shali 336_3	76,67	3,82	Janka	69,17	1,44
RB	75,83	3,82	Kazer 6	65,83	8,78
Sfera	75,83	7,22	H33	65,00	10,90
Karmina	74,17	1,44	Karmina	64,17	3,82
Köröstáj 333	74,17	6,29	Köröstáj 333	64,17	1,44
Karola	72,50	10,90	Loto	64,17	8,78
P 153	72,50	11,46	Dáma_2	61,67	5,20
M 202	70,83	5,77	Maratelli	61,67	1,44
Vasco	69,17	3,82	Maratelli_2	60,00	6,61
Kazniir 5	68,33	5,20	RB	60,00	2,50
Cigalon	67,50	4,33	Tápioryzax H9	60,00	10,90
UIR4970 (Galeon)	67,50	9,01	M 202	59,17	8,78
Bioryza	66,67	7,22	Selenio	59,17	2,89
Dáma_2	65,83	5,77	M 488	58,33	1,44
Tzjao-Bu-zshi	65,83	1,44	IRAT 112	57,50	5,00
Dáma	64,17	9,46	Bioryza	56,67	3,82
Maratelli	61,67	2,89	Dáma	55,00	4,33
Selenio	61,67	1,44	Unggi-9 szegély: közepes	55,00	9,01
IR14 L226	58,33	3,82	Sfera	54,17	10,10
Yung Feng	58,33	7,64	Kazniir 5	53,33	9,46
RCAT 010 590	57,50	5,00	Marilla	52,50	4,33
F3/9	56,67	5,77	P 153	52,50	16,39
Maratelli_2	55,83	5,20	Tzjao-Bu-zshi	50,83	11,27
Marilla	55,83	5,20	Unggi-9 (csak kerek)	50,83	13,77
Platino	55,83	1,44	RCAT 010 590	50,00	7,50
Sandora (HSC55)	55,83	3,82	Sandora (HSC55)	50,00	4,33
M 488	55,00	2,50	UIR 8382 (Premium)	50,00	4,33
IR14 L231	54,17	5,77	F3/9	49,17	8,04
Loto	51,67	3,82	Karola	49,17	8,04
Tápioryzax H9	51,67	3,82	Vosztok	48,33	19,09
IRAT 109	50,83	5,20	M 225	47,50	2,50
Tondo_2	49,17	11,81	Hom	46,67	15,07
Vosztok	49,17	3,82	CO 39	41,67	3,82
M 225	48,33	1,44	UKR 5	41,67	3,82
Unggi-9 szegély: közepes	48,33	12,83	Vasco	40,83	2,89
SZV Tünde	46,67	8,78	CL 62	39,17	5,20
Unggi-9 (csak kerek)	46,67	12,83	Jolanda	39,17	5,20
CO 39	43,33	6,29	M 60	37,50	5,00
Jolanda	42,50	4,33	Mangala	32,50	7,50
Hom	38,33	10,10	F3/28	31,67	2,89
Adelio	37,50	2,50	Hitomebore	31,67	3,82
IRAT 112	37,50	2,50	UIR 2865 (Lazurite)	31,67	5,20

CL 62	36,67	2,89	Pallagi 77	30,83	9,46
Ringola	36,67	3,82	Szv Szellő	29,17	5,20
UIR 2865 (Lazurite)	35,83	3,82	Tondo_2	28,33	6,29
F3/28	35,00	4,33	Nero	25,83	5,20
Pallagi 77	30,83	5,20	Fast	24,17	6,29
Kristallino	30,00	2,50	Kitashali	23,33	10,41
Kitashali	26,67	7,64	USG 3	21,67	6,29
Risabell	26,67	8,04	SZV Tünde	15,83	10,10
Raja De Ponta Escura	25,83	3,82	Japonka	14,17	2,89
Dom Sofid	25,00	5,00	Opale	14,17	5,77
Nembo	24,17	5,20	IR13K111	13,33	6,29
USG 3	23,33	7,22	IRRI 142	13,33	3,82
Tondo	22,50	2,50	Kristallino	13,33	5,20
Arsenal	21,67	2,89	Tondo	12,50	2,50
M 60	21,67	2,89	Ringola	11,67	1,44
Marilla_2	21,67	1,44	USG 1	11,67	5,20
IRRI 174	20,00	2,50	El paso 144	11,67	5,20
Pato	20,00	4,33	IRRI 174	9,17	3,82
Nero	19,17	1,44	Dom Sofid	7,50	2,50
Opale	18,33	6,29	Kései Kerek	7,50	2,50
Kikko	18,33	1,44	Kínai	7,50	2,50
Fast	17,50	2,50	Oryzella	7,50	2,50
UIR 8382 (Premium)	17,50	2,50	Raja De Ponta Escura	7,50	2,50
Hitomebore	16,67	2,89	Kikko	6,67	7,22
Kései Kerek	16,67	8,04	Ketaki	5,83	3,82
Risabell B-3/13	16,67	2,89	Dular	5,00	0,00
Gladio	16,67	3,82	IR14 L226	4,17	1,44
IR13K111	15,83	1,44	IRAT 109	4,17	1,44
PSB RC 44	15,00	2,50	Sprint	4,17	1,44
Sprint	15,00	9,01	IRRI 147	3,33	3,82
UKR 5	15,00	4,33	IRRI 180	3,33	3,82
B 40	12,50	2,50	Pato	3,33	2,89
Mangala	12,50	5,00	Risabell B-3/13	3,33	1,44
El paso 144	10,83	2,89	Risabell	2,50	2,50
Oryzella	10,00	4,33	Arsenal	1,67	2,89
Kínai	9,17	2,89	PSB RC 44	1,67	2,89
PSB RC 94	9,17	1,44	IR14 L231_2	0,83	1,44
Egyiptom	7,50	0,00	Marilla_2	0,83	1,44
IRRI 142	7,50	0,00	Nembo	0,83	1,44
Japonka	7,50	2,50	Adelio	0,00	0,00
IR 60080-46A	6,67	1,44	B 40	0,00	0,00
USG 1	6,67	1,44	CL rizs	0,00	0,00
UKR 2	5,83	2,89	Egyiptom	0,00	0,00
Vandana	5,83	3,82	IR 43	0,00	0,00
IR74371-70-1-1	4,17	2,89	IR 50	0,00	0,00
Thai Bonnet	4,17	1,44	IR 64	0,00	0,00
Dular	3,33	3,82	IR 60080-46A	0,00	0,00
UPLRI 7	3,33	2,89	IR14 L176	0,00	0,00

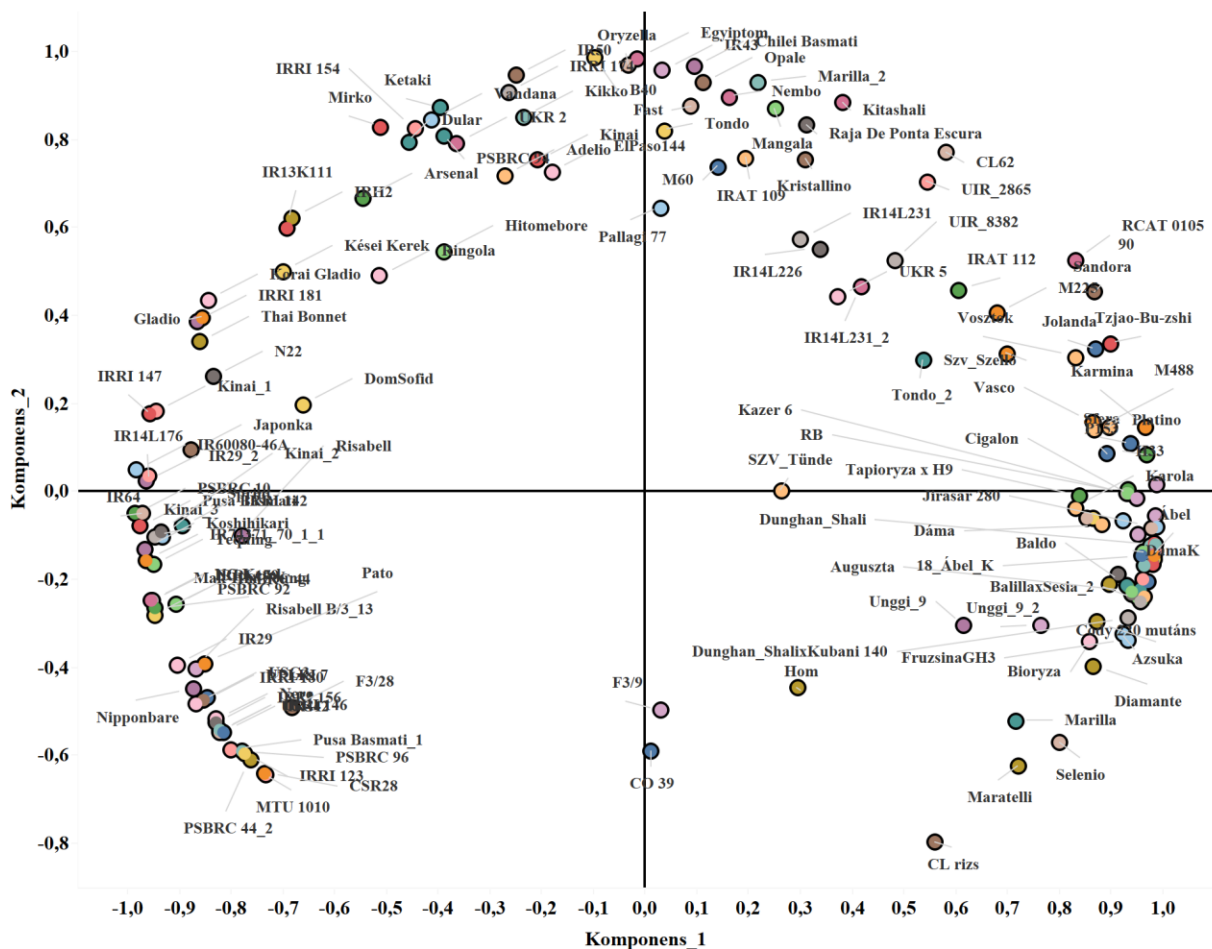
IR 43	2,50	4,33	IR14 L231	0,00	0,00
IR14 L176	2,50	2,50	IR-29	0,00	0,00
IRRI 147	2,50	2,50	IR 442	0,00	0,00
IRRI 180	1,67	1,44	IR74371-70-1-1	0,00	0,00
Korai Gladio	1,67	1,44	IRH 2	0,00	0,00
Ketaki	0,83	1,44	IRRI 146	0,00	0,00
PSB RC 92	0,83	1,44	IRRI 154	0,00	0,00
PSB RC 44_2	0,83	1,44	IRRI 156	0,00	0,00
CL rizs	0,00	0,00	IRRI 179	0,00	0,00
IR 50	0,00	0,00	IRRI 181	0,00	0,00
IR 64	0,00	0,00	Kinai 1	0,00	0,00
IR-29	0,00	0,00	Kinai 2	0,00	0,00
IR 442	0,00	0,00	Kinai 3	0,00	0,00
IRH 2	0,00	0,00	Korai Gladio	0,00	0,00
IRRI 146	0,00	0,00	Koshihikari	0,00	0,00
IRRI 154	0,00	0,00	Mak-Hin-Soung	0,00	0,00
IRRI 156	0,00	0,00	Mirco	0,00	0,00
IRRI 179	0,00	0,00	MTU 1010	0,00	0,00
IRRI 181	0,00	0,00	N22	0,00	0,00
Kinai 1	0,00	0,00	NC Kerek	0,00	0,00
Kinai 2	0,00	0,00	PSB RC 10	0,00	0,00
Kinai 3	0,00	0,00	PSB RC 92	0,00	0,00
Koshihikari	0,00	0,00	PSB RC 94	0,00	0,00
Mak-Hin-Soung	0,00	0,00	PSB RC 96	0,00	0,00
Mirco	0,00	0,00	Pusa Basmati	0,00	0,00
MTU 1010	0,00	0,00	Pusa Basmati 1	0,00	0,00
N22	0,00	0,00	Teqing	0,00	0,00
NC Kerek	0,00	0,00	Thai Bonnet	0,00	0,00
PSB RC 10	0,00	0,00	UKR 2	0,00	0,00
PSB RC 96	0,00	0,00	UPLRI 7	0,00	0,00
Pusa Basmati	0,00	0,00	Vandana	0,00	0,00
Pusa Basmati 1	0,00	0,00	IR 29_2	0,00	0,00
Teqing	0,00	0,00	IRRI 123	0,00	0,00
IR 29_2	0,00	0,00	Gladio	0,00	0,00
IRRI 123	0,00	0,00	Nipponbare	0,00	0,00
Nipponbare	0,00	0,00	PSB RC 44_2	0,00	0,00
Chilei Basmati	0,00	0,00	Chilei Basmati	0,00	0,00
CSR28	0,00	0,00	CSR28	0,00	0,00



M12. ábra: A fajtagyűjtemény 164 genotípusának csírázási százaléka (FGP), a nagyon alacsony csírázási százalékkal rendelkezőtől, a nagyon magas százalékot elérő vonalakig.



M13. ábra: A fajtagyűjtemény 164 genotípusának csírázási indexe (GI), a nagyon alacsony csírázási százalékkal rendelkezőtől, a nagyon magas százalékot elérő vonalakig.



M14. ábra: A fajtagyűjtemény térbeli eloszlása a csírázási (MGT, FGP, GI) és növekedési paraméterek(koleoptil, radícula) főkomponens analízise után.

M13. táblázat: A MATE-ÖVKI fajtagyűjteményének relatív klorofilltartalom (SPAD;2018,2019,2020) és a klorofilltartalom ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$; 2021) változása egy természetes lehűlési periódus során a vizsgált négy évben szántóföldi körülmények között.

Genotípus	2021			2020			2019			2018		
	0.nap	5.nap	10.nap	0.nap	5.nap	10.nap	0.nap	5.nap	10.nap	0.nap	5.nap	10.nap
18 Ábel K	19,8	22,9	20,9	n.a	14,5	n.a	25,6	23,4	24,5	36,3	37,3	39,2
Ábel	23,0	22,2	21,2	n.a	26,9	n.a	23,6	24,0	28,0	36,8	38,8	41,0
Adelino	17,7	16,4	16,4	n.a	24,6	n.a	21,6	20,5	23,6	37,1	37,9	38,7
Arsenal	21,0	22,3	16,3	n.a	24,7	n.a	25,4	24,0	28,6	39,2	40,1	42,0
Augusztá	26,1	26,1	22,0	n.a	25,6	n.a	23,4	22,9	25,3	34,0	37,0	35,0
Azsuka	23,0	20,7	21,3	n.a	24,0	n.a	24,8	23,6	24,7	36,0	38,6	40,0
B 40	20,8	19,9	16,4	n.a	12,9	n.a	24,1	19,9	20,0	35,0	29,2	33,0
Baldo	19,9	19,2	20,6	n.a	12,3	n.a	21,1	20,5	23,8	34,3	37,9	37,7
Balilla x Rizotto_1	18,9	22,2	21,0	n.a	12,2	n.a	22,9	21,2	24,3	33,7	36,3	39,9
Balilla x Rizotto_2	23,2	23,3	20,5	n.a	16,7	n.a	22,5	21,3	24,9	33,7	38,2	40,5
Balilla x Rizotto_3	20,7	18,7	16,9	n.a	15,9	n.a	21,1	18,9	21,7	31,1	35,1	36,3

Balilla x Sesia_1	22,6	25,2	19,3	n.a	17,4	n.a	25,7	25,4	27,6	37,9	40,8	42,2
Balilla x Sesia_2	19,9	21,1	21,8	n.a	18,1	n.a	26,1	24,8	25,8	36,7	38,4	37,5
Berthone x Cirqua	23,4	21,2	20,3	n.a	21,2	n.a	29,0	22,9	27,9	35,1	33,7	34,4
Bioryza	24,8	24,4	23,6	n.a	15,4	n.a	22,3	21,0	23,2	31,9	34,4	34,2
Cigalon	22,6	20,4	19,7	n.a	18,1	n.a	27,0	21,1	25,4	36,9	39,2	39,5
CL 62	21,7	19,7	17,8	n.a	17,8	n.a	22,9	18,9	19,7	34,2	33,3	31,2
CL rízs	16,7	17,5	14,1	n.a	16,7	n.a	20,0	12,9	15,7	35,0	32,4	35,8
CO 39	19,7	20,4	23,2	n.a	18,3	n.a	18,6	17,5	21,5	32,2	32,6	32,7
Cody 220 mutáns	20,8	21,2	16,6	n.a	23,1	n.a	26,2	20,1	22,8	34,6	36,2	37,5
D.Shali	22,3	20,1	22,4	n.a	22,9	n.a	19,3	21,4	22,1	33,2	36,2	32,1
D.Shali 336	22,3	19,3	17,1	n.a	22,6	n.a	23,3	21,3	23,7	33,4	34,6	36,4
D.Shali 336_2	22,8	21,9	19,4	n.a	24,0	n.a	26,3	23,9	26,6	34,9	36,3	36,5
D.Shali 336_3	24,7	23,9	22,8	n.a	23,5	n.a	23,7	22,4	24,4	32,4	33,2	33,9
D.Shali x Kubáni 140	24,9	21,4	24,6	n.a	22,5	n.a	21,8	21,8	19,8	33,4	33,8	35,9
Dáma	23,4	20,8	22,8	n.a	20,6	n.a	23,3	19,3	22,9	34,4	35,9	35,9
Dáma_2	20,5	21,7	21,4	n.a	20,4	n.a	19,1	17,3	20,0	34,4	33,5	36,1
Dáma K	26,2	23,3	25,0	n.a	25,4	n.a	23,8	22,2	23,2	32,9	34,3	33,6
Diamante	22,1	22,4	20,8	n.a	19,0	n.a	23,6	20,9	24,1	n.a	n.a	n.a
Dom Sofid	20,2	16,6	19,7	n.a	16,5	n.a	25,6	17,5	19,7	36,4	34,9	33,8
Dular	18,4	18,6	16,7	n.a	21,7	n.a	24,2	20,2	21,3	33,5	31,5	34,4
Egyiptom	17,4	14,9	18,7	n.a	20,1	n.a	26,0	25,3	25,3	36,3	35,7	36,5
F3/28	21,5	22,3	23,6	n.a	25,1	n.a	25,6	20,5	23,5	34,4	35,1	35,3
F3/9	20,3	22,5	22,5	n.a	21,3	n.a	22,3	21,5	25,0	35,3	35,5	34,8
Fast	20,3	18,7	14,4	n.a	22,1	n.a	21,6	22,3	23,9	37,5	39,7	40,5
Fekete	23,3	21,7	18,2	n.a	20,7	n.a	24,2	21,6	27,2	34,7	34,8	34,8
Fruzsina	22,6	23,0	22,9	n.a	24,6	n.a	27,9	26,6	27,3	34,8	37,6	38,0
Fruzsina GH3	19,8	20,4	20,2	n.a	25,4	n.a	24,9	24,0	26,4	36,4	38,5	38,8
Góliát	24,7	19,6	18,7	n.a	14,5	n.a	23,6	22,3	24,5	36,7	39,9	40,1
H33	24,1	23,3	19,1	n.a	21,6	n.a	27,9	23,1	26,2	37,7	37,6	38,6
Hitomebore	20,3	18,7	17,7	n.a	13,9	n.a	n.a	n.a	n.a	33,7	35,1	37,2
Homály	20,2	21,5	21,0	n.a	22,4	n.a	29,4	23,2	26,4	n.a	n.a	n.a
Hoshinoyume	19,2	19,9	17,8	n.a	21,7	n.a	20,2	19,4	23,8	36,1	36,2	38,8
I/7	23,0	23,3	19,1	n.a	27,7	n.a	25,1	23,5	28,7	38,4	40,1	40,5
IE-5593	22,0	19,8	18,3	n.a	23,9	n.a	22,9	22,5	25,6	37,8	38,7	39,8
IR 43	22,0	17,5	14,9	n.a	17,0	n.a	22,2	19,0	19,1	35,5	32,2	34,7
IR 50	20,9	17,6	15,3	n.a	19,4	n.a	21,2	21,2	21,0	37,1	32,4	36,1
IR 60080-46A	20,5	18,2	16,9	n.a	16,7	n.a	18,9	16,8	16,2	35,9	36,8	38,0
IR 64	20,0	20,2	18,5	n.a	20,5	n.a	26,9	15,0	16,3	33,9	31,6	32,5
IR13K111	18,8	14,8	17,9	n.a	19,6	n.a	18,5	14,6	16,5	32,5	33,6	36,7
IR14 L176	16,2	17,0	17,7	n.a	16,7	n.a	18,6	15,7	13,5	33,5	32,2	34,7
IR14 L226	22,8	17,3	15,1	n.a	19,2	n.a	19,5	14,5	13,4	34,7	31,9	32,4
IR14 L231	20,5	20,6	17,5	n.a	17,1	n.a	21,3	17,1	17,1	35,2	32,4	33,8
IR14 L231_2	17,4	18,0	14,1	n.a	17,8	n.a	17,3	15,6	16,7	n.a	n.a	n.a
IR-29	15,3	12,6	12,1	n.a	11,6	n.a	23,2	18,1	19,1	35,0	28,4	31,0
IR-29_2	23,5	17,5	15,7	n.a	18,5	n.a	20,8	15,1	18,8	36,5	33,2	34,6
IR74371-70-1-1	17,3	17,8	14,1	n.a	16,5	n.a	19,7	14,2	5,7	32,7	32,1	20,7
IRAT 109	23,1	20,7	18,0	n.a	21,0	n.a	22,9	16,4	18,7	39,3	38,7	40,6
IRAT 112	22,4	19,4	16,9	n.a	18,2	n.a	24,3	18,2	20,4	35,6	38,2	36,3

IRH 1	18,9	17,9	16,5	n.a	19,0	n.a	21,4	19,2	22,6	34,3	34,3	35,2
IRH 2	21,1	16,2	18,9	n.a	4,7	n.a	23,2	21,2	21,0	32,6	30,8	34,2
IRRI 123	12,0	3,3	7,0	n.a	5,4	n.a	21,2	16,0	19,8	n.a	n.a	n.a
IRRI 142	18,2	17,0	18,2	n.a	18,7	n.a	19,9	14,1	17,7	33,7	31,7	35,0
IRRI 146	11,9	9,9	12,2	n.a	7,0	n.a	21,7	21,1	20,8	33,1	30,8	36,1
IRRI 147	16,7	17,7	17,3	n.a	11,3	n.a	17,7	13,8	15,8	34,8	30,4	35,5
IRRI 154	19,7	16,9	15,7	n.a	12,9	n.a	18,8	14,5	17,3	33,2	28,6	33,3
IRRI 156	20,5	19,4	18,5	n.a	n.a	n.a	16,8	15,6	17,7	31,4	25,9	31,1
IRRI 174	19,0	16,7	14,9	n.a	15,9	n.a	18,4	17,3	18,1	n.a	n.a	n.a
IRRI 179	18,7	17,3	12,0	n.a	14,4	n.a	21,8	19,4	19,5	34,9	30,3	34,6
IRRI 180	19,0	17,7	15,6	n.a	15,0	n.a	17,6	13,2	11,8	n.a	n.a	n.a
IRRI 181	21,4	16,9	16,7	n.a	17,4	n.a	21,5	15,0	15,0	n.a	n.a	n.a
Janka	24,9	23,2	23,6	n.a	22,2	n.a	22,2	20,8	21,3	33,9	35,5	35,7
Japonka	22,8	23,7	23,2	n.a	17,6	n.a	21,9	17,6	22,8	35,1	31,9	36,0
Jirasar 280	25,3	24,3	23,7	n.a	18,8	n.a	22,5	21,3	24,6	35,1	35,2	37,1
Jolanda	23,9	21,1	23,2	n.a	19,1	n.a	23,8	23,8	29,0	n.a	n.a	n.a
Kákai 203	24,6	23,2	22,5	n.a	22,6	n.a	21,9	19,5	22,9	34,7	34,8	37,4
Karmina	21,5	20,8	21,5	n.a	22,0	n.a	23,3	21,3	22,7	35,8	36,6	39,1
Karola	23,5	21,6	19,1	n.a	17,4	n.a	22,4	22,3	24,4	33,0	35,2	38,0
Karola_2	22,9	22,6	22,8	n.a	19,3	n.a	25,8	20,1	23,1	34,2	34,0	38,5
Kazer 6	21,4	20,2	22,2	n.a	17,9	n.a	24,5	22,7	23,0	36,1	36,1	38,1
Kazniir 5	18,6	18,0	17,5	n.a	20,1	n.a	21,1	21,0	22,6	37,6	38,8	40,5
Kései Kerek	20,5	22,6	21,6	n.a	20,5	n.a	22,3	21,2	22,5	34,5	35,3	37,6
Ketaki	22,3	20,6	17,5	n.a	15,8	n.a	19,5	16,1	15,9	34,0	31,0	31,6
Kikko	25,5	21,2	20,0	n.a	22,2	n.a	21,2	23,9	27,9	n.a	n.a	n.a
Kínai	21,9	19,7	18,0	n.a	21,5	n.a	18,8	16,3	17,6	n.a	n.a	n.a
Kínai 1	19,8	18,8	15,8	n.a	17,9	n.a	20,0	17,1	19,0	35,3	35,0	35,7
Kínai 2	21,8	20,6	18,3	n.a	15,6	n.a	25,2	21,0	24,8	36,4	34,2	35,7
Kínai 3	20,7	20,4	18,3	n.a	18,3	n.a	22,2	20,1	21,5	37,5	33,3	35,4
Kitashali	24,2	24,0	23,0	n.a	17,2	n.a	26,0	24,0	24,0	35,4	39,7	40,1
Korai Gladio	21,5	20,0	21,6	n.a	17,2	n.a	23,7	15,6	20,0	34,4	34,5	37,1
Koshihikari	15,2	12,1	12,0	n.a	14,6	n.a	n.a	n.a	n.a	29,9	30,5	34,8
Köröstáj 333	24,8	24,2	22,5	n.a	21,2	n.a	25,3	24,5	26,1	35,2	37,3	39,3
Kristallino	21,1	23,5	22,9	n.a	21,4	n.a	25,4	24,4	26,2	38,0	39,4	42,5
Loto	24,3	22,3	20,8	n.a	25,8	n.a	29,8	26,3	29,4	n.a	n.a	n.a
M 202	23,9	23,8	22,5	n.a	21,2	n.a	25,4	24,4	28,3	39,1	40,2	42,6
M 225	22,4	21,9	22,1	n.a	18,8	n.a	25,0	24,0	25,9	36,0	37,4	39,0
M 488	24,0	24,1	23,5	n.a	16,8	n.a	22,1	19,1	21,7	37,2	37,6	37,1
M 60	25,6	23,6	22,8	n.a	23,3	n.a	27,8	24,4	28,0	37,8	39,8	39,3
Mak-Hin-Soung	18,6	18,5	15,2	n.a	15,7	n.a	21,0	18,6	19,8	33,5	30,8	33,4
Mangala	21,1	17,4	17,8	n.a	17,8	n.a	22,2	17,3	17,5	38,3	32,9	37,3
Maratelli	23,1	22,0	23,6	n.a	20,0	n.a	26,0	23,4	28,5	35,9	36,8	38,8
Maratelli_2	21,4	21,8	24,3	n.a	25,0	n.a	24,9	23,9	25,9	n.a	n.a	n.a
Marilla	23,2	21,7	20,7	n.a	20,1	n.a	25,1	19,6	26,4	37,3	38,4	39,4
Marilla_2	23,0	24,2	22,6	n.a	18,1	n.a	23,8	22,5	22,4	n.a	n.a	n.a
Mirco	15,4	15,9	14,9	n.a	12,1	n.a	23,4	17,7	17,3	39,4	38,2	39,7
N22	18,3	17,3	17,0	n.a	9,7	n.a	18,2	14,4	12,9	31,7	26,5	29,2
NC Kerek	23,2	22,8	20,4	n.a	21,6	n.a	20,9	19,0	20,8	35,4	33,4	35,8

Nembo	25,4	21,0	24,6	n.a	24,2	n.a	30,6	27,9	32,5	41,1	42,8	44,7
Nipponbare	14,6	12,6	14,4	n.a	17,8	n.a	27,8	20,5	18,8	35,0	33,7	37,3
Nucleoryza	26,1	23,2	23,0	n.a	26,5	n.a	24,6	22,1	25,9	n.a	n.a	n.a
Opál	21,6	21,3	22,3	n.a	24,6	n.a	22,5	22,4	26,0	35,6	38,9	41,0
Oryzella	25,4	23,7	21,4	n.a	22,3	n.a	22,0	22,3	23,0	36,1	36,5	38,4
P 153	21,7	21,9	22,3	n.a	22,0	n.a	26,1	24,5	25,2	34,5	35,9	37,6
Pallagi 77	22,7	22,3	19,9	n.a	20,5	n.a	21,2	21,8	23,6	35,3	34,7	36,2
Pato	19,6	21,9	18,8	n.a	18,7	n.a	24,2	22,2	24,9	36,3	37,3	40,5
PSB RC 10	19,7	18,3	15,0	n.a	16,8	n.a	22,4	20,0	24,2	36,8	33,3	36,5
PSB RC 44	15,1	15,3	15,2	n.a	12,8	n.a	23,7	17,1	17,9	n.a	n.a	n.a
PSB RC 44_2	15,8	16,0	14,9	n.a	13,2	n.a	21,7	13,7	15,7	n.a	n.a	n.a
PSB RC 92	15,5	14,7	14,0	n.a	13,4	n.a	19,0	17,7	12,2	35,3	33,5	34,3
PSB RC 94	20,3	17,7	15,2	n.a	16,8	n.a	20,6	18,6	20,6	33,4	28,7	32,1
Pusa Basmati	19,5	16,1	12,0	n.a	16,9	n.a	21,8	19,5	16,5	33,3	28,8	32,2
Raja De Ponta Escura	21,4	18,5	19,7	n.a	21,2	n.a	22,7	19,8	23,6	35,0	35,8	36,8
RB_2	23,5	24,1	19,9	n.a	22,3	n.a	22,4	23,0	25,6	34,1	35,5	36,7
RCAT 010 590	22,8	22,0	21,2	n.a	21,7	n.a	24,2	22,8	24,2	33,6	33,5	35,3
Ringola	19,0	20,3	21,0	n.a	25,3	n.a	23,6	22,6	25,3	35,7	38,2	37,8
Risabell	20,3	21,5	18,2	n.a	16,8	n.a	23,7	21,5	24,8	36,0	36,1	39,5
Risabell B-3/13	19,8	20,3	17,6	n.a	17,4	n.a	20,6	20,4	23,6	35,4	36,0	39,4
Sandora	26,2	25,1	23,2	n.a	21,9	n.a	22,4	21,4	22,8	33,3	33,6	36,0
Selenio	23,4	21,3	19,7	n.a	21,6	n.a	23,6	22,4	24,6	37,0	36,2	41,0
Sfera	25,7	22,5	23,8	n.a	31,9	n.a	29,2	27,3	30,3	n.a	n.a	n.a
Sprint	18,4	15,9	18,9	n.a	20,8	n.a	24,1	22,8	25,3	36,8	36,1	38,8
Tápioryza x H9	23,2	23,9	25,0	n.a	26,5	n.a	24,4	23,8	26,4	39,0	38,4	41,4
Tequing	22,7	22,1	21,4	n.a	20,4	n.a	20,0	17,5	21,3	38,8	36,0	39,1
Thai Bonnet	21,6	14,0	11,7	n.a	15,3	n.a	n.a	n.a	n.a	36,4	32,7	37,0
Tondo	20,6	20,6	21,0	n.a	19,3	n.a	23,4	21,5	27,1	36,4	36,7	40,7
Tondo_2	21,3	19,6	18,9	n.a	19,0	n.a	25,4	22,2	25,2	n.a	n.a	n.a
Torino	25,9	21,0	21,4	n.a	20,7	n.a	27,0	23,4	29,2	36,1	36,6	39,8
Tzjao-Bu-zshi	23,4	24,0	21,5	n.a	20,9	n.a	22,3	22,5	25,3	34,2	36,8	40,2
UIR 8382 (Premium)	23,2	23,0	21,1	n.a	21,8	n.a	30,8	25,2	27,0	n.a	n.a	n.a
UIR 2865 (Lazurite)	21,0	22,0	19,7	n.a	25,7	n.a	24,2	16,7	22,3	n.a	n.a	n.a
UIR 4970 (Galeon)	24,7	23,0	21,5	n.a	20,7	n.a	22,1	22,5	21,5	n.a	n.a	n.a
UKR 2	18,1	16,1	19,6	n.a	23,0	n.a	21,5	18,7	19,5	35,3	38,5	38,9
UKR 5	23,8	20,3	22,4	n.a	22,7	n.a	30,1	25,6	28,6	43,1	41,7	47,2
Unggi-9	20,0	20,9	18,2	n.a	25,7	n.a	24,7	22,4	25,9	35,1	35,6	36,9
Unggi-9_2	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a
Unggi-9_3	22,7	24,7	23,3	n.a	19,0	n.a	22,9	19,0	22,7	35,0	34,8	34,6
USG 1	21,9	20,9	19,5	n.a	22,2	n.a	24,7	21,6	23,9	n.a	n.a	n.a
USG 3	21,0	21,7	17,7	n.a	21,5	n.a	24,7	20,3	22,9	n.a	n.a	n.a
Vandana	20,1	21,5	19,3	n.a	19,1	n.a	20,2	16,7	19,2	36,2	31,6	35,0
Vasco	16,9	15,0	14,2	n.a	25,4	n.a	27,4	24,5	17,3	36,0	35,0	38,1
Vosztok	25,2	23,0	22,4	n.a	21,4	n.a	22,9	21,1	24,1	36,9	35,5	41,4
Yung Feng	20,7	21,7	22,6	n.a	19,2	n.a	27,6	22,2	26,7	36,1	33,8	40,0

12.3 Köszönetnyilvánítás

Szeretnék köszönetet mondani témavezetőmnek, Lantos Csabának, akinek ösztönzése és jobbitó szándékú kritikai meglátásai nélkül mind a dolgozat, mind pedig az ehhez kötődő publikációk kevesebb tudományos értékűek lettek volna.

Továbbá köszönet illeti kutatócsoportunkat, hiszen szünni nem akaró kitartásával, egy letűntnek gondolt kutatási témát felkarolva ismét bizonyította, hogy a hazai rizskutatásoknak van helye mind a hazai, mind a nemzetközi tudományos világban.

Hálás vagyok az Öntözési és Vízgazdálkodási Kutatóközpontnak, hogy kezdetben fiatal kutatóként, később tudományos segédmunkatársként támogatta kutatási ambícióimat.

A szántóföldi kísérletek előkészítésében Babák Imrének és Jansik Andrásnak, az adatgyűjtésben Komár Évának, Szedlák Mihályné Marikának és Lustyik Pálné Mártikának tartozom köszönettel.

Tudományos gondolkodásom pallérozásáért és a komplex gondolkodásra való sarkallás miatt őszinte köszönet illeti egykori egyetemi témavezetőmet, Bagi Istvánt.

Hálás vagyok édesanyámnak, hiszen mindig teljesen szabadon dönthettem. Nővéremnek, aki helyettem döntve irányított az egyetemi tanulmányok felé, nélküle talán sosem kerülök erre a pályára. Unokahúgomnak, aki idegen országban népszerűsítette a hazai rizskutatások eredményeit. Továbbá feleségemnek, aki sok türelemmel viselte a sokszor estig tartó tudományos ténykedésemet.