

Doktori (PhD) értekezés tézisei

**BURGONYA GENOTÍPUSOK OZMOTIKUS
STRESSZTŰRÉSÉNEK LABORATÓRIUMI ÉS
SZABADFÖLDI VIZSGÁLATA**

Hanász Alexandra

doktorjelölt

Témavezető:

Dr. Zsombik László

Tudományos tanácsadó



DEBRECENI EGYETEM

**Kerpely Kálmán Növénytermesztési és Kertészeti Tudományok Doktori
Iskola**

Debrecen, 2025

1. A DOKTORI ÉRTEKEZÉS ELŐZMÉNYEI ÉS CÉLKITŰZÉSEI

A növénytermesztési ágazat éghajlati tényezőknek kiszolgáltatottsága közvetve veszélyezteti az élelmiszerellátás biztonságát és még megközelítő becsléseket sem tudunk a várható termés alakulásával kapcsolatban kalkulálni. A modern növénynemesítés célja az, hogy az adott mikroklímához igazodó, kiváló stressztűrő toleranciával rendelkező növényfajok, fajták nemesítésével és alkalmazásával támogassa a megnehezedett körülményekhez történő hatékony alkalmazkodást. A stressz az egyik legfontosabb fogalom, melynek a növény életében, a fejlődésében és növekedésében is meghatározó, befolyásoló szerepe van. Az egyik ilyen abiotikus stresszor a szárazság. A növény szárazságtűrése, ozmotikus stressztűrése a sajátos morfológiai, fiziológiai és biokémiai tulajdonságaitól függ. A burgonyát (*Solanum tuberosum* L.) szinte az egész világon termesztik, és a világszerte megtermelt termésmennyiség alapján a burgonya a kukorica, a búza és a rizs után a negyedik legfontosabb élelmiszernövény. A burgonya termesztése hazánkban csak körülbelül 8 ezer hektáron folyik, jelentős importra szorulunk. A területi csökkenés a megnehezedett termesztési körülmények, mint a kiszámíthatatlan időjárás és a fogyasztói kívánalmaknak való megfelelés, valamint a külföldről beáramló burgonya együttes hatásaként valószínűsíthető. Az öntözéssel ugyan jobb eséllyel csökkenthető a termésvesztés kockázata, de egyben a költségek is jelentősen növekednek. Ezért még ha van is lehetőség öntözéses gazdálkodásra, lehetőségekhez mérten célszerű olyan kiemelkedő stressztűrő tulajdonsággal rendelkező növényfajtákat választani, melyekkel a termesztési nehézségeket minimalizálhatjuk. Biológiailag aktív vegyületeinek köszönhetően, mint funkcionális élelmiszer is fontos szerepe van a szív- és érrendszeri betegségek megelőzésében. A kutatás során végzett nemesítési program elsődleges célja a burgonya genotípusok fejlődési stádiumainak és termőképességének vizsgálata optimális vízellátási és aszályos viszonyok között, valamint az extrém időjárási viszonyoknak ellenálló nemesítési vonalak kiválasztásának és termesztésének elősegítése. Emellett kerestük az egyszerű, de hatékony módját az *in vitro* kísérleteink eredményeinek *in vivo* körülmények közötti validálására.

Pontokba foglalva a következő vizsgálati célok valósultak meg:

1. Burgonya nemesítési vonalak ozmotikus stressztűrésének tesztelése in vitro

- Egyszerű morfológiai paraméterekből számolt stressz index (SI) alapján 27 nemesítési vonal összehasonlítása a szárazságtűrő referencia vonalakkal;
- Különböző ozmotikus ágensek alkalmazása, leghatékonyabb módszer kiválasztása az ozmotikus stressz *in vitro* modellezésére és genotípusok közötti szelekcióra stressztűrő képességük alapján. Az *in vitro* körülmények között megkezdett, célzott tulajdonságspecifikus szelekció jelentősen csökkentheti az új fajta létrehozásához szükséges időt, így a szabadföldi kísérletet megelőző laboratóriumi vizsgálatok eredményei jó alapot jelenthetnek a növénynemesítés további szakaszaihoz.

2. Burgonya nemesítési vonalak izolált és fóliasátras körülmények közötti tesztelése

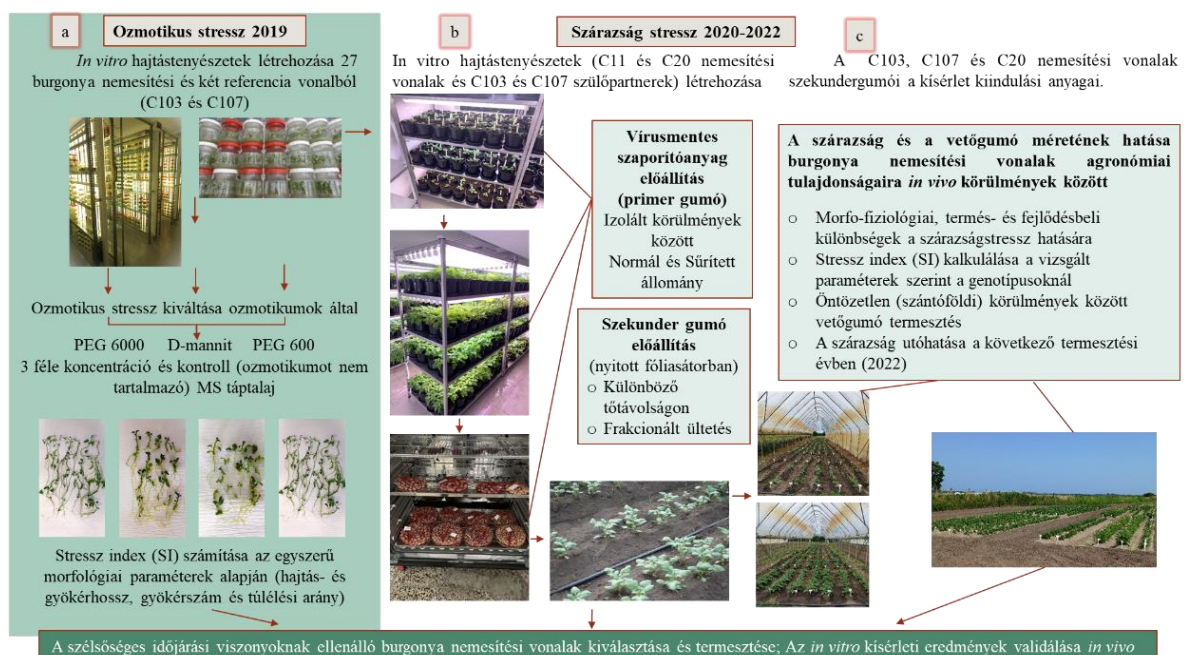
- Az állománysűrítés és a gumóméret szerinti ültetés, mint befolyásoló tényezők hatása a nemesítési vonalak fiziológiai állapotára.

3. A kiemelt burgonya nemesítési vonalak további in vivo tesztelése

- A burgonya genotípusok szárazságtűrésének vizsgálata *in vivo* körülmények között különböző vízmennyiségek kijuttatásával és különböző méretű vetőgumók felhasználásával
- Fejlődési, morfológiai és termésjellemzők (gumók száma, tömeg- és méreteloszlása) összehasonlítása szárazságstressz alatt;
- A szárazság utóhatásainak kimutatása a következő tenyészedőszakban;
- A vizsgált burgonya nemesítési vonalak fejlődési, morfológiai és termésjellemzőinek összehasonlítása ismert szárazságtűrésű kontroll fajtákkal ('Desiree', 'Boglárka').

2. ANYAG ÉS MÓDSZER

A laboratóriumi (*in vitro*) ozmotikus stressztűrés tesztek (1. ábra a) helyszíne a Debreceni Egyetem Mezőgazdaság- Élelmiszertudományi és Környezetgazdálkodási Kar Agrár Genomikai és Biotechnológiai Központja, valamint a Debreceni Egyetem Agrár Kutatóintézetek és Tangazdaság Nyíregyházi Kutatóintézete volt. A kísérletben 29 burgonya genotípust, közülük 27 nemesítési vonalat vizsgáltunk 2019-ben. Ezeknek a referencia genotípusoknak a kiválasztása korábbi *in vivo* kísérletek során történt, ahol szárazságtűrésüket is teszteltük. Az *in vitro* hajtástenyészeteket magról indítottuk, felületi sterilizálás majd Murashige–Skoog táptalajra (MURASHIGE és SKOOG, 1962) továbbiakban MS) helyezés után, mely tartalmazott sókat és vitaminokat, 3 % szacharózt és 0,7 % agar-agart sötétben inkubáltuk őket 24 °C hőmérsékleten, 5 napig. Ez idő letelte után növénynevelő helyiségbe kerültek 22/15 ± 2 °C nappali/éjszakai hőmérsékleten és 16 óra napi megvilágításon (65 μmol m⁻² s⁻¹ PPF) fejlődtek tovább. A referencia és nemesítési vonalak növényi alapanyagait 4 hét elteltével ismét MS táptalajra ültették.



1. ábra: A disszertáció alapjául szolgáló kísérletek (Nyíregyháza, 2019-2022)

Az *in vitro* 4 hetes hajtástenyészetekből explantátumként egy-egy hónaljrügyet tartalmazó nodális szegmentekeket használtunk. Az explantátumokat általános MS táptalajra helyeztük, mely 0,3 %-ban tartalmazott szacharózt, 0,7 %-ban agar-agart és különböző molekulatömegű polietilén glikolt (PEG 600 és PEG 6000) 2,5, 5,0, 7,5 és 5,0, 7,5., 10,0 % koncentrációban, valamint D-mannitot 0,1, 0,2 és 0,3 M koncentrációban, melyeket az

ozmotikus stressz kiváltására alkalmaztunk, míg a kontroll táptalaj ozmotikumokat nem tartalmazott. A kísérletbe bevinni kívánt ozmotikumok (D-mannit, PEG 600 és PEG 6000) ozmolalitását különböző koncentrációban a táptalajalkotórészekkel együtt mértem. A táptalaj típusa a szilárdítóanyag kivételével MS általános táptalaj. A kísérletben alkalmazott koncentrációkat korábbi megalapozó kísérletek alapján választottuk ki (1. táblázat).

1. táblázat: A kísérletben alkalmazott ozmotikumok, azok koncentrációi és ozmolalitása (Forrás: saját szerkesztés, Nyíregyháza, 2019)

PEG 6000 Molekula tömeg: 5400–6600 MS +3% szacharóz		PEG 600 Molekula tömeg: 570–630 MS +3% szacharóz		D–mannit Molekula tömeg: 182,17 MS +3% szacharóz		Kontroll MS +3% szacharóz
% w/v	mOsm kg ⁻¹	% w/v	mOsm kg ⁻¹	M	mOsm kg ⁻¹	mOsm kg ⁻¹
5,0	228,8	2,5	240,0	0,1	350,0	191,3
7,5	251,3	5,0	309,7	0,2	454,0	
10,0	274,0	7,5	417,3	0,3	539,5	

A vizsgálat első lépésében kalibrációs egyenest készítettünk. A kalibrálás 500 mOsmol-os NaCl oldattal történt. Az alapvonal felvételéhez legalább négy ismétlésben kalibráltam.

20 explantátum és 50 ml táptalaj került egy üvegedénybe 5 ismétlésben, összesen 100 darab növényt figyeltünk meg kezelésenként. A teljes kísérlet kétszer lett megismételve. A hajtástenyészetek kontrollált körülmények között növekedtek, a növénynevelő helyiségben 22/15 ± 2 °C nappali/éjszakai hőmérséklet és 16 óra napi megvilágítást alkalmaztunk 65 μmol m⁻² s⁻¹ PPFD fényerőn további 4 héten keresztül.

A kísérlet végén megfigyeltük az explantátumok túlélési arányát (TA), a hajtáshosszát (HH), valamint a gyökerek számát (GYSZ) és hosszait (GYH) a túlélő egyedeken. Az értékelés előtt, az eredményeket százalékos formában fejeztük ki, a kontroll táptalajon mért egyedek eredményeivel összevetve (2. táblázat)

A kísérlet következő szakaszában (1. ábra b) eltérő ozmotikus stressztűrési tulajdonságokkal rendelkező nemesítési vonalak primer és szekunder gumóit vizsgáltuk izolált és növénynevelő házban. A laboratóriumban kivitelezett (*in vitro*) akklimatizációs kutatási ciklus a Debreceni Egyetem MÉK Agrár Genomikai és Biotechnológiai Központban történt, a szabadföldi fóliasátorban végzett kísérleti szakasz a Debreceni Egyetem Nyíregyházi Kutatóintézetben került kivitelezésre. A teszt alapjául szolgáló növényanyag burgonya (*Solanum tuberosum* L.) hajtástenyészetek voltak, C103 és C107 jelölésű szülő vonalak, valamint C11 és C20 nemesítési vonalaik. Ezen genotípusok kiválasztása korábbi *in*

in vitro ozmotikus stressztűrés kísérlet során kapott eredmények alapján történt (HANÁSZ et al., 2022).

2. táblázat: Stressz indexek meghatározása a különböző paraméterekre

Az SI képzés metodikája
SI_HH = Kezelt növények hajtáshosszai (mm)/kezeletlen (kontroll) növények hajtáshosszai (mm) × 100
SI_GYH = Kezelt növények leghosszabb gyökere (mm)/Kezeletlen (kontroll) növények leghosszabb gyökere (mm) × 100
SI_GYSZ = Kezelt növények gyökereinek száma/Kezeletlen (kontroll) növények gyökereinek száma × 100
SI_TA = Kezelt növények túlélési aránya (üvegenként)/Kezeletlen (kontroll) növények túlélési aránya (üvegenként) × 100

Az *in vitro* reprodukció első szakasza a burgonya gumóról származó hajtásrügyek fertőtlenítése. A hajtásrügyeket 12%-os Ca(OCl)₂ oldatban tartottuk 5-8 percen keresztül, desztillált vízzel öblítettük, etanolban (70 %-os) áztattuk fél percig, háromszor ismételt desztillált vizes öblítés követte. A záró lépés a merisztéma preparálás, melynek során 0,1 és 0,3 mm közötti méretű darabokat metszettünk, melyek ezt követően alaptáptalajra lettek helyezve (DOBRÁNSZKI, 2006). A laboratóriumi körülmények között létrehozott burgonya hajtástenyészetek esetén használt MS alapú táptalaj makro- és mikroelemeket, vitaminokat, szacharózt (3 %) és agar-agart (0,7 %) tartalmazott (MURASHIGE és SKOOG, 1962). A táptalajokat sterilizálási folyamatnak vetettük alá, de előtte sor került a pH értékek 5,7-re állítására. A sterilizálási folyamat 30 percet vett igénybe és 121 °C hőmérsékleten, 105 Pa nyomáson ment végbe ST-124/2 autokláv modellben. A merisztémaizolálást követő 1-2 hónap elteltével a 7-8 leveles állapotot elérő növények vírusmentes vonalaiból mikroszaporítással, egyrügyes nodális szegmenteket (hajtás darabokat) táptalajra tettünk (20 db tenyésztőüvegenként). A tenyésztőüveg űrtartalma 400 ml volt, alakja hengeres, melyek 50 ml táptalajt tartalmaztak. A nevelési körülmények a következők szerint lettek beállítva a nevelés időtartama (4 hét) alatt: megvilágított órák száma 16, 22/15+2°C nappal/éjszaka hőmérséklet, valamint 65 μmol m⁻²s⁻¹ PPFD fényerő. A szükséges növényanyag 10 tenyésztőüveg, vagyis 200 darab *in vitro* növény volt.

A kísérlet következő szakaszára a felnevelt 4 hetes növények akklimatizáló helyiségben további 3 hónapig fejlődtek. Az ebben a ciklusban alkalmazott tápközeg általános virágföld volt. A fejlődés 3 hónapjából az első hónapban hosszú (16 óra), a második 2 hónapban rövidebb (12 órás) megvilágítást biztosítottunk 21 °C hőkfokon és 55 % vízgőz-koncentráción (RH %). A növények öntözése heti két alkalommal történt, 500 ml/cserép (3 l)

dózzissal. Tíz cserépbe egyetlen növény került, a további 97 cserépbe két növényt ültettünk nemesítési vonalanként, ami összesen 428 db cserepet jelentett. A növények lombozata a betakarítás előtt 7 nappal került eltávolításra. Az egyenként ültetett növények alól származó gumók külön kerültek betakarításra (10 cserép genotípusonként). A gumók számát az egyenként és a kettesével ültetett növények esetében is megvizsgáltuk. A nyugalmi időszak (ami 60 napot jelentett ez esetben) a betakarított gumók Memmert HPP 750 típusú klímakamrába kerültek, 12 °C állandó hőmérsékletre. A dormancia ideje nem volt ismert a vizsgált burgonya nemesítési vonalaknál, így a nyugalmi időszak megtörésére a gumókat gibberellinsavas kezelésnek (5 mg l⁻¹) vetettük alá (COLEMAN ÉS COLEMAN, 2000; SASANI et al., 2009).

A kísérlet következő szakaszában, a klímakamrából kikerült primer gumók (*in vitro* hajtástenyészetekről származó 1. generációs gumók) fedett fóliasátras környezetben kerültek kiültetésre 2020. július 27-én. A gumók nagyságuk szerint két csoportba lettek szortírozva 20-45 mm közötti (d₁) és 19 mm alatti (d₂) méret csoportokra, 2 különböző sortávolságon, d₁ méretű gumók 25 cm (T₁), d₂ méretű gumók 15 cm (T₂) sortávolságra, 300 cm hosszúságú és 75 cm szélességű kísérleti parcellákba, randomizált blokkokba, 18 ismétlésben. A növények öntözését esőztető berendezéssel biztosítottuk, ami DAP 78-ig (Day After Planting, ültetés után eltelt napok száma) 5, DAP 79-93 között 2,5 l m⁻² napi vízmennyiséget jelentett.

Megfigyeléseink során a különböző méretcsoportba tartozó gumók kelési tulajdonságait, a növények morfológiai paramétereit, mint a magasság és lombtömeg adatokat, klorofill-fluoreszcencia mérést végeztünk a szülő vonalakon, klorofill-tartalomra vonatkozó (A, B és összes klorofill) fotometriás méréseket végeztünk és a termésparaméterekre vonatkozóan a betakarított gumók tömegét és a méretfrakciók eloszlását is vizsgáltuk.

A spektrofotometriás mérésen alapuló klorofill-tartalom mérés és az értékek számolása során FELFÖLDY (1987) módszere szerint jártunk el. A vizsgált nemesítési vonalak (C103 és C107 szülő és keresztezéseik C11, C20 vonalak) T₁ és T₂ tőtávolságra ültetett állományokból 4 ismétlésben szedtünk mintát a lombozatból, 500 mg levélapríték formájában. A levél izolátumok ultramélyhűtve (-80 °C) kerültek tárolásra a klorofill tartalom vizsgálat elvégzéséig. A vizsgálat napján a növényi apríték mechanikai roncsolása MgO kvarchomok, dörzsmozsár és abszolút etanol oldószer használatával történt és a roncsolási, szűrési folyamat után az oldószerbe elegyített szűrleteket 653, 666, és 750 nanométer fényhullámhossz tartományokon Jenway 6705 spektrofotométerrel vizsgáltuk az abszorbancia mértékét. A 750 nanométer fényhullámhossz tartományban mért abszorbancia

értékeket a 653 és 666 fényhullámhosszokon mért abszorbancia értékekből levontuk, hiszen azok az oldat zavarosságát fejezték ki. A klorofill-A ($17.12 A_{666} - 8.68 A_{653}$), klorofill-B ($32.23 A_{653} - 14.55 A_{666}$) és az összes-klorofill ($2.57 A_{666} + 23.6 A_{653}$) tartalom került meghatározásra $\mu\text{g g}^{-1}$ friss levéltömeg, FW mértékegység szerint.

Klorofill-fluoreszcencia mérést (OS5p modulált fluoriméter, Opti–Sciences, USA) a C103 és C107 nemesítési vonalak T₁ és T₂ tőtávolságra ültetett parcelláin fejlődött növények levélzetén végeztük 4 ismétlésben. A mérés folyamata úgy történt, hogy egy teljesen kifejlett levelet vettünk mintaalapnak növényenként. A fényt elzáró takaróklipszek felhelyezése után 30 perccel a fluoriméterrel elvégezhetjük az Fv/Fm arány szoftveres mérését, ami a PSII rekációcenter potenciális quantum hatásfokát adja. Ez az arány az elnyelt energia hasznosítási hatásfokát jelenti, és ahogyan más hatásfok-paraméternek, ennek sincs mértékegysége.

Az *in vivo* szárazságtűrési kísérlet (1. ábra c), mely során a szárazság és a gumóméret hatását vizsgáltuk a kiválasztott burgonya nemesítési vonalak agronómiai tulajdonságaira, a Debreceni Egyetem Agrár Kutatóintézetek és Tangazdaság Nyíregyházi Kutatóintézetben történt. Az *in vivo* kísérleteket két egymást követő évben, 2021-ben és 2022-ben végeztük. A helyi meteorológiai adatokról a Pessl Instruments μMetos meteorológiai állomása szolgáltatott információt. A talaj típusa humuszos homok volt (1,52 % humusz; pH 6,32; P₂O₅: 231 mg kg⁻¹, K₂O 131 mg kg⁻¹, NO₃+NO₂ 8,1 mg kg⁻¹).

A 2021-ben végzett *in vivo* kísérlet során 10-35 mm mérettartományú, vírusmentes vetőgumó (minigumó) második generációját használtuk, melyek *in vitro* hajtástenyészetekből származtak. Három burgonya nemesítési vonal (C103, C107, C20) került a fóliasátras kísérletbe, melyeket a fentebb taglalt kísérleti fázisok alapján választottunk ki. Ugyanezen nemesítési vonalak nagyobb gumóméreteit (≥ 25 mm) szántóföldi körülmények között szaporítottunk és figyeltünk meg. A C20 nemesítési vonalat, amely a C103 és C107 keresztezése, ozmotikus stresszre adott magas túlélési képessége miatt választottuk ki. Az ültetés előtt a gumókat méretük szerint a következő kategóriákba soroltuk: 25-35, 20-24, 15-19, 10-14 mm. Az ültetésre 2021. május 5-6 között került sor, a betakarításra 2021. szeptember 27-én.

A 2022-ben végzett *in vivo* kísérlet során tesztelt nemesítési vonalak (C103, C107 és C20) mellett a 'Boglárka' és a 'Desiree' fajtákat, mint referencia fajtákat vontuk be a kísérletbe. A minigumókat (25-35 mm átmérőjű gumók) 2022. május 30-án ültettük el, a betakarítást szeptember 30-án végeztük.

A 2021-ben végzett fóliasátras kísérletben a burgonya nemesítési vonalak minigumóit ültettük el, és három ismétlésben vizsgáltuk a gumó méretének és három vízkezelésnek (beleértve az optimális vízellátást is) hatását.

A 2022-ben végzett *in vivo* kísérletben az előző évi (2021-ben) fóliasátras kísérletben betakarított burgonya minigumókat (C103, C107 és C20) a korábbi vízkezelés szerint csoportosítottuk. Az ültetésre csak 25-35 mm-es méretkategóriájú gumókat használtunk, és négy ismétlésben két vízkezelést alkalmaztunk. A gumókat 3,0 m × 0,75 m-es parcellákba ültettük 0,25 m tőtávolsággal, randomizált blokk elrendezésben. Parcellánként tizenkét minigumót ültettünk a korábban előkészített bakhátakba. A termesztés a burgonyánál rendszeresen alkalmazott protokoll szerint, növényvédelem alkalmazásával történt.

A 2021-ben végzett kísérletben a fejlődés korai szakaszában a fejlődésileg egyenletes növénykultúra elérése érdekében a növények optimális mennyiségben (naponta 5 mm) kaptak vizet. A víz csepegtető vízadagoló rendszeren (csepegtető öntözőszalag, 1,6 l h⁻¹ áramlási sebesség) keresztül került kijuttatásra. Az ültetést követő (DAP) 38. naptól megkezdtük a vízadagok csökkentését. Egyedi vízmérő eszközzel: napi 5 mm (W1, 100 %: kontroll), napi 3 mm (W2, 60 %) és napi 1 mm (W3, 20 %) vizet adagoltunk a DAP 62-ig. DAP 63-tól 50 %-kal (2,5, 1,5, 0,5 mm naponta) tovább csökkentettük a víz mennyiségét, a szárazságstressz indukálása céljából. Ezt a mennyiséget további 25 napig kapták a növények. A minigumókat a szántóföldi parcellákon öntözés nélkül szaporítottuk, 10 m × 0,75 m parcellamérettel és 0,25 m tőtávolsággal (40 gumó parcella⁻¹).

A 2022-ben végzett kísérletben az optimális vízmennyiséget kapták (5 mm nap⁻¹) a burgonya gumók a kívánt kezdeti fejlettségi szint eléréséig (DAP 37). Ezután megkezdtük a csökkentett vízadagok kijuttatását, napi 5 mm-rel (W1: kontroll) és 1 mm-rel naponta (W2). A gumóérés szakaszában tovább csökkentettük a víz mennyiségét 50 %-kal (2,5 és 0,5 mm naponta) – az előző évi módszerrel.

Ugyanazon megfigyeléseket hajtottuk végre a 2021 és 2022 évben végzett kísérletek során. A kelés arányát (%-os formában) a DAP 20, DAP 23, DAP 28 és DAP 30 napokon, a virágzás arányát (%-os formában) a DAP 48, DAP 51 és DAP 54 napokon figyeltük meg. A növények fiziológiai állapotát az NDVI-érték mérésével (parcellánként 4 méréssel) értékeltük Trimble® GreenSeeker kézi szenzorral. A méréseket a növény lombzatától 50 cm-es távolságban, azonos időpontokban végeztük. Megvizsgáltuk a vízhiány hatását a növények fotoszintetikus aktivitására adott fejlődési szakaszban (DAP 35, DAP 45, DAP 75 napokon).

A növény magasságát (NM, cm) a DAP 76 napon mértük (4 mérés parcellánként), és mintákat gyűjtöttünk a föld feletti biomassza friss és száraz tömegének (FFB és SzFB, g

növény¹⁾ meghatározásához. A megmaradt lombotatot vágással távolítottuk el, majd a termést a DAP 102 napon betakarítottuk. Feljegyeztük a növényenkénti gumók számát (GSZ) és a friss gumótermést (GT, g növényenként). Ezután a stressz indexeket (SI) kiszámítottuk a kontroll parcellákon kapott eredmények százalékában (3. táblázat), hogy összehasonlítsuk a nemesítési vonalak válaszát a különböző szintű szárazságstresszre. A képlet szerint a stresszindex (SI) általában maximum 100, és minél magasabb az érték, annál jobb a fajta stressztűrése. Vizsgáltuk továbbá a tenyészvonalak betakarított gumóinak vízhiány miatti méretváltozásait (számlálás és súlymérés alapján). A kutatási programban végzett kísérletek egyes szakaszaiban begyűjtött adatok statisztikai értékelését az 4. táblázat-ban összefoglaltak szerint végeztük el.

3. táblázat: Stressz idexek meghatározása (Forrás: KPOGHOMOU et al., 1990, saját szerkesztés)

Az SI képzés metodikája	
SI_ FFB =	Kezelt növények friss föld feletti biomassa tömege (g/parcella; W2, W3)/Kezeletlen (kontroll) növények friss föld feletti biomassa tömege (g/parcella; W1) × 100
SI_ SzFB =	Kezelt növények száraz föld feletti biomassa tömege (g/parcella; W2, W3)/Kezeletlen (kontroll) növények száraz föld feletti biomassa tömege (g/parcella; W1) × 100
SI_ NM =	Kezelt növények magassága (cm; W2,W3)/Kezeletlen (kontroll) növények magassága (cm; W1) × 100
SI_ GSZ =	Kezelt növények gumóinak száma (db; W2, W3)/Kezeletlen (kontroll) növények gumóinak száma (db; W1) × 100
SI_ GT =	Kezelt növények termése (g; W2, W3)/Kezeletlen (kontroll) növények termése (g; W1) × 100

4. táblázat: Statisztikai módszerek az egyes kutatási fázisokban

Kísérleti szakasz	<i>In vitro</i> ozmotikus stressztűrési kísérlet	<i>In vivo</i> kísérlet (aklimatizált és szabadföldi)	<i>In vivo</i> szárazságtűrési kísérlet
Adatkezelés	SPSS Statistics 27,0 (IBM, USA, New York)		
Alkalmazott tesztek	ANOVA, LSD, Tukey-B (p < 0,05)	LSD, Tukey-B (p < 0,05)	ANOVA, Tukey-B (p < 0,05), Spearman-féle korreláció

3. EREDMÉNYEK

A korábban taglalt kísérleti fázisokban vizsgált paraméterek eredményei közül a disszertáció szempontjából leglényegesebbeket foglalja össze a fejezet. A HANÁSZ et al. (2022), HANÁSZ et al. (2023) és a HANÁSZ et al. (2024) publikációk tartalmazzák a többi kísérleti eredményt.

3.1 *In vitro* ozmotikus stressztűrési kísérletek burgonya nemesítési és referencia vonalak hajtástenyészetein

A többparaméteres stressz indexben (SI) való interpretáció, mely a kontroll állományhoz történő százalékos arány hasonlításon alapszik, lehetővé teszi a genotípusok közötti különbségek világosabb értelmezését egyedi stressztűrő képességük szerint. Ennek megfelelően eredményeinkből minden vizsgált kezelésre stressz indexet határoztunk meg és a vizsgált genotípusokat azok SI-értékei alapján értékeltük (5. táblázat). A disszertáció vizsgálati alapját e paraméterek (hajtás és a gyökér hossz (HH, GYH), a gyökerek száma (GYSZ) és a túlélési arány (TA)) ozmotikus stresszre adott morfo-fiziológiai válaszai képezik, melyek az alkalmazkodási és károsodási reakciókat összefoglalóan prezentálják. Az SI értékek kiszámítása után 27 nemesítési vonal és 2 szárazságtűrő referencia burgonya genotípus ozmotikus stressz toleranciáját és válaszreakcióját hasonlítottuk össze egymással.

5. táblázat: A különböző ozmotikus ágensek és stressz szintek hatása a morfo-fiziológiai paraméterekre a stressz index (SI) értékek alapján (Forrás: saját, Nyíregyháza, 2019)

Paraméter (SI, %)	PEG 6000			PEG 600			D-mannit			Összes μ
	5 %	7,5 %	10 %	2,5 %	5,0 %	7,5 %	0,1M	0,2M	0,3M	
Túlélési arány	87,8	87,8	78,4	85,9	56,1	21,7	98,5	92,2	78,5	76,0
μ	83,7			54,6			89,8			
Hajtáshossz	45,1	39,3	38,2	55,7	32,3	18,3	68,9	39,1	23,7	40,1
μ	40,9			35,4			43,9			
Gyökérhossz	61,5	64,9	58,0	76,4	47,5	30,1	90,5	70,0	48,3	60,8
μ	61,5			51,3			69,6			
Gyökérszám	96,6	99,4	105,2	80,8	62,2	41,5	93,9	88,3	75,8	82,6
μ	100,4			61,5			86,0			
Összes μ	71,6			50,7			72,3			64,9

Megjegyzés: μ : átlag

A kalkulált stressz index értékekből, mely minden kezelés és vizsgált nemesítési és referencia vonal átlagait veszi alapul, arra következtettünk, hogy a hajtásnövekedés inhibíciója (40,1) magasabb volt, mint a gyökérrendszeré (60,8, és 82,6). A kísérlet során megállapítottuk azt is, hogy a kezelések minden morfo-fiziológiai paramétert befolyásoltak, és különbségeket

találtunk a genotípusok között. Szignifikáns kölcsönhatásokat is kimutattunk a genotípusok és az ozmotikus ágens típusa és koncentrációja között.

A túlélési arány (TA) stressz index (SI) értékeit 6. táblázat) szignifikánsan csökkentette vagy leggyakrabban nem befolyásolta az 5 %-os PEG 6000. Néhány nemesítési vonalnál szignifikánsan alacsonyabb TA SI értéket kaptunk, mint a referencia vonalak esetében. A PEG 6000 emelkedése (7,5 %) kevés esetben csökkentette szignifikánsan a TA SI értékeit, míg más nemesítési vonalak hasonlóan reagáltak az 5 % PEG-nél megfigyeltékhez. A PEG 6000 10 %-os koncentrációja hét burgonya nemesítési vonal (C2, C17, C20, C28, C41, C42 és C57) TA SI értékeinek szignifikáns csökkenését eredményezte a 7.5 %-os értékekhez képest. Bár a C103 referencia vonalnál, valamint C8 (100 %) és C30 nemesítési vonalnál kaptuk a legjobb TA eredményeket, további nyolc (C2, C10, C11, C12, C14, C20, C21, C22) nemesítési vonal esetében is hasonló SI értékeket figyeltünk meg. A C107 referencia vonal TA SI értéke azonban jelentősen csökkent.

Minden burgonya nemesítési vonal és mindkét referencia vonal csökkent hajtáshosszal (HH) reagált a PEG 6000 jelenlétére a vizsgált koncentrációkban. Általánosságban elmondható, hogy a hajtásnövekedés gátlása nőtt a PEG 6000 koncentrációjának 7,5 %-ra emelkedésével, de a magasabb PEG dózisok nem eredményeztek további jelentős csökkenést. A legjobb eredményt (76,8 %) a C9 nemesítési vonalban értük el, bár egyes vonalak HH SI értékei nagyon hasonlóak voltak (C2, C22 (73,7 %), C30 és C41 (68,0 %)). Emelt PEG 6000 koncentrációnál (7,5 %) öt nemesítési vonal (C2, C9 (64,1 %), C12, C30 és C32 (54,2 %)) szignifikánsan magasabb SI értékeket mutatott mindkét referencia vonalhoz képest. A PEG 6000 legmagasabb szintjén (10 %) csak egy nemesítési vonal (C2) ért el szignifikánsan magasabb SI értéket mindkét referencia vonalhoz képest, de a nemesítési vonalak többségénél magasabb stressz index értéket mértünk, mint a C107 referencia vonal esetében.

Az 5 %-os PEG 6000 táptalajon történő alkalmazása csökkentette a gyökérhosszt (GYH) minden nemesítési vonalban és a referencia vonalakban egyaránt. 10 nemesítési vonal (C5, C8, C9 (87,7 %), C10 (88,2 %), C14 (88,1 %), C19 (67,5 %), C22 (74,7 %), C30, C35 (89,0 %), C63) GYH SI értékei szignifikánsan magasabbak voltak, mint a referencia vonalaké. A 7,5 %-os PEG 6000 alkalmazásakor egyes nemesítési vonalakban megnövekedett SI értékeket kaptunk, négy nemesítési vonal (C10 (87,9 %), C14 (111,8 %), C22 (90,0 %) és C30) értékei pedig szignifikánsan magasabbak voltak, mint a két referencia vonalé. Amikor 10 % PEG 6000-ret adtunk a táptalajhoz, csak a C22 (95,9 %) és C5 nemesítési vonal GYH SI értéke volt magasabb, mint a C103 referencia vonalé, valamint a C107 genotípus GYH SI értéke alacsonyabb volt, mint a legtöbb nemesítési vonalé.

6. táblázat: A kiemelt 9 nemesítési- és 2 referencia vonalhoz tartozó stressz index értékek (kékkel jelölt cellák: a szelektációs kritérium szerint kiemelkedő SI értékek) (Forrás: HANÁSZ et al., 2022, szerkesztett)

Paraméter	Nemesítési vonal	PEG 6000			PEG 600			D-mannit		
		5%	7,5%	10%	2,5%	5%	7,5%	0,1M	0,2M	0,3M
TA (túlélési arány)	C2	100	99	92	100	63	24	100	100	100
	C5	93	92	83	92	58	36	100	95	89
	C8	100	100	100	100	77	34	100	100	100
	C11	100	99	96	100	47	27	100	95	92
	C12	99	100	96	100	57	34	100	97	74
	C14	87	100	96	89	57	34	100	94	77
	C30	100	100	100	100	64	13	100	100	100
	C58	79	83	89	93	95	40	87	73	70
	C63	98	54	80	84	78	34	100	100	100
	C103	95	100	100	99	87	53	100	100	68
	C107	93	96	74	74	69	45	90	85	44
HH (hajtáshossz)	C2	65,9	62,4	56,7	57,9	48,1	17,4	54,4	34,6	23,0
	C5	24,9	26,9	30,3	61,4	28,6	16,0	65,4	29,2	24,5
	C8	62,2	22,8	35,4	68,7	21,9	5,0	93,2	46,8	24,2
	C11	41,4	36,5	41,8	61,4	22,7	14,0	68,3	36,1	19,0
	C12	52,3	49,2	57,8	24,2	29,3	20,4	119,7	51,8	36,1
	C14	34,7	40,3	34,2	45,3	28,7	19,3	89,0	52,6	40,9
	C30	67,8	62,5	41,5	42,0	9,5	2,8	67,8	35,0	17,7
	C58	38,1	34,8	37,0	67,6	44,1	23,5	81,2	46,5	24,7
	C63	52,3	26,0	37,0	54,9	33,6	12,5	89,3	42,5	25,1
	C103	37,5	42,6	52,3	70,4	49,3	43,5	60,6	41,1	23,3
	C107	26,1	31,5	24,4	62,7	35,6	25,6	51,0	34,9	13,2
GYH (gyökérhossz)	C2	50,7	69,5	46,8	57,7	31,1	8,5	97,9	61,0	37,6
	C5	69,4	84,2	85,1	99,5	92,3	46,7	86,5	73,3	78,5
	C8	83,8	58,4	72,3	73,9	26,0	3,7	101,9	84,6	70,0
	C11	47,4	33,7	48,0	93,4	25,5	14,5	90,0	79,3	60,3
	C12	47,2	76,7	58,8	51,8	66,1	27,4	94,5	69,3	56,5
	C14	88,1	111,8	57,0	92,4	25,4	9,3	93,7	50,6	21,7
	C30	91,0	106,3	81,5	49,0	8,9	2,5	74,7	68,9	39,8
	C58	63,2	79,5	82,4	81,7	59,0	44,1	88,6	78,9	52,0
	C63	71,2	43,0	53,7	131,1	107,8	73,4	119,9	96,5	53,0
	C103	56,5	73,6	84,7	98,6	87,1	64,2	108,8	103,7	44,2
	C107	55,4	67,1	46,3	84,9	59,7	54,2	85,4	77,9	68,4
GYSZ (gyökérszám)	C2	108,1	111,9	135,1	109,3	103,0	58,9	91,4	74,4	67,6
	C5	77,6	76,9	80,3	74,2	72,2	56,7	113,2	93,1	97,5
	C8	98,2	154,9	121,2	70,7	47,4	22,5	108,0	100,9	77,0
	C11	110,2	89,7	113,9	96,7	48,9	35,3	80,5	121,2	121,7
	C12	101,9	117,7	110,8	50,7	43,2	28,4	80,5	67,7	45,0
	C14	90,2	87,9	80,6	81,5	59,8	35,7	108,5	94,7	70,6
	C30	70,7	67,2	110,2	91,9	32,4	25,4	105,3	119,4	96,5
	C58	84,8	96,8	112,4	80,2	73,3	41,6	105,1	104,8	87,7
	C63	78,8	66,4	71,3	84,8	58,6	28,8	84,2	83,3	91,4
	C103	149,7	173,0	180,3	94,3	73,0	72,2	100,9	82,4	68,8
	C107	138,2	161,0	220,0	83,6	61,4	57,7	90,5	76,6	67,0

A PEG 6000 alkalmazása a vizsgált nemesítési vonalak gyökérhosszaira (GYH) kevés kivételtől eltekintve (C14, C30) a koncentráció emelkedésével párhuzamban csökkenő tendenciát mutatott. A hajtástenyészetek gyökérhosszaira vonatkozó szignifikánsan magasabb stressz index értékeket a C22, C30, valamint C5 és C58 genotípusoknál ugyan nem minden esetben szignifikánsan, de magasabb értékeket kalkuláltunk.

A PEG 6000 kezelések erőteljesen növelték a gyökerek számát (GYSZ) a referencia vonalakban és néhány nemesítési vonal esetében is, azonban a legjobb GSZ SI értékeket a referencia genotípusoknál kaptuk. A táptalajhoz adagolt 5 % PEG 6000 csökkent gyökérszámot eredményezett egy tucat nemesítési vonalban. Egyes vonalak megnövekedett SI értékekkel válaszoltak a megemelkedett (7,5 %) PEG-koncentrációra. A PEG 6000 koncentrációjának 10 %-ra emelése négy nemesítési vonalban (C8, C26, C41 és C57) szignifikánsan csökkent SI értékeket, a vonalak körülbelül egynegyedében (C2, C3 (82,7 %), C11, C30, C35 (111,8 %), C37 (129,0 %) és C58) pedig jelentősen megnövekedett értékeket eredményezett. A PEG 6000 ozmotikum általánosan a genotípusok 1/3-ában csökkent gyökérszámot (GYSZ) eredményezett, azonban a többi esetben magas stressz index értékeket kalkuláltunk. A C103 és C107 referencia vonalakon kívül, a C2, C4, C8, C11, C12, C19, C30, C32, C37, C42, C57 és C58 nemesítési vonalak esetében kaptunk magas SI értékeket.

A túlélési arány (TA) SI értékei a PEG 600 szint emelkedésével csökkentek. A legalacsonyabb (2,5 %) PEG 600 koncentrációnál a túlélési arányok SI értékei általában 70-nél magasabbak voltak, és egyes nemesítési vonalak elérték a 100-at is. Csak a C9 és C32 nemesítési vonalak explantátumai maradtak életben szignifikánsan alacsonyabb arányban, mint a referencia vonalak. A PEG 600 5 %-os szintje jelentős csökkenést eredményezett több vizsgált nemesítési vonal és a referencia vonal túlélési arányában is. A referencia vonalakhoz képest magasabb értékeket kaptunk a C57 (94 %), C58 és C19 (88 %) vonalak esetében, bár az eredmények csak a C107 referencia vonalhoz viszonyítva tértek el szignifikánsan. Emellett a C19 (88 %) és C20 (87 %) nemesítési vonalak is nagyon jó túlélési képességet mutattak. Hasonlóképpen szignifikánsan magasabb túlélési arányt kaptunk a C20 nemesítési vonal esetében mindkét referencia vonalhoz képest, bár a legmagasabb PEG 600 koncentráció (7,5%) szignifikánsan csökkentette a TA SI értékeket minden genotípusnál. Ezzel szemben a legtöbb nemesítési vonal alacsonyabb túlélési arányt mutatott a referencia vonalakhoz képest, és a különbségek legtöbbször szignifikánsak voltak.

Mindegyik nemesítési vonal és mindkét referencia vonal szignifikánsan csökkent hajtáshosszal (HH) reagált a PEG 600 jelenlétére 2,5 %-os koncentrációban, és a hajtásnövekedés gátlása nőtt a PEG 600 koncentrációjának növekedésével. A referencia

genotípusok nagyon jó stressztűrést mutattak a nemesítési vonalakhoz képest. A C103 SI értékei magasabbak voltak, mint a C107 értékei a PEG 600 minden koncentrációjánál, és a referencia vonalak SI értékei közötti különbségek a PEG 600 szint emelkedésével nőttek. Amikor 2,5 %-os PEG 600-at alkalmaztunk, csak a C6 (75,7 %) és C42 (79,5 %) SI értéke volt szignifikánsan magasabb, mint a két referencia vonalé. Rajtuk kívül a C19 nemesítési vonal mindkét kezelésben nagyon jó SI eredményeket mutatott (2,5 % és 5,0 % PEG; 75 és 53,9 %). A PEG 600 kezelés legmagasabb koncentrációjánál a C103 referencia vonal érte el a szignifikánsan legjobb SI eredményt, ezt követi a C107 referencia vonal.

Az *in vitro* burgonya hajtástenyészetek a PEG 600 kezelésre a gyökérhossz (GYH) csökkenésével reagáltak, és a gátlás mértéke nőtt a PEG 600 koncentráció növekedésével. A 2,5 %-os PEG 600 négy nemesítési vonal (C5, C20 (105,6 %), C57 (105,6 %) és C63) gyökérhosszára gyakorolt stimuláló hatást a referencia vonalakhoz képest, a legmagasabb SI értéket a C63 vonalban kaptuk. A gyökérhosszra vonatkozó SI értékeket figyelembe véve a C63 nemesítési vonal volt a legjobb minden vizsgált PEG 600 koncentrációnál. Ozmotikus stresszre adott válasza szerint a C5 nemesítési vonal jól tolerálta a PEG 600 kezeléseket által kiváltott stresszt.

A PEG 600-at tartalmazó táptalajoknál a nemesítési vonalak többségében a gyökerek száma (GYSZ) csökkent, az SI értékek pedig a PEG 600 szint növekedésével csökkentek. A 2,5 %-os PEG 600-as kezelésben azonban a C2 és C3 (108,0 %) nemesítési vonaloknál 100-nál magasabb SI értékeket kaptunk, és eredményeik szignifikánsan magasabbak voltak a referencia vonaléhoz és a többi nemesítési vonalhoz képest 2,5 és 5,0 % PEG 600 alkalmazásánál. Amikor 7,5 % PEG 600-at adtunk a táptalajhoz, a C103 referencia vonal esetében mértük a szignifikánsan legjobb eredményt, míg a másik referencia vonal (C107) SI értéke szignifikánsan alacsonyabb volt, mint a C103 referencia vonal, de szignifikánsan magasabb, mint a legtöbb nemesítési vonal SI értéke.

A nemesítési vonalak mintegy 41 %-ánál a hajtástenyészetek túlélési arányát nem befolyásolta szignifikánsan a D-mannit semmilyen koncentrációja, sőt, öt nemesítési vonalnál (C2, C8, C20, C30 és C63) minden explantátum túlélte az összes kezelést. A D-mannit 0,1 M koncentrációban alacsonyabb túlélést eredményezett a C9, C21 és C58 nemesítési vonaloknál valamint a C107 referencia vonalnál is alacsonyabb értéket kalkuláltunk, mint a C103 referencia vonal esetében. A nemesítési vonalak jelentős része szignifikánsan magasabb SI értéket mutatott, mint a C107 referencia vonal. A 0,2 M D-mannittal végzett kezelés során három nemesítési vonal (C6 és C22) és a C107 referencia vonal esetében szignifikánsan alacsonyabb SI értékeket figyeltünk meg a 0,1 M és 0,2 M D-mannit koncentrációnál kapott

értékekhez képest. 0,3 M D-mannit alkalmazásakor csökkent az SI érték 12 nemesítési vonalnál és a C103 referencia vonalnál is. Ezenkívül minden vizsgált genotípus szignifikánsan magasabb SI értéket mutatott a C107 referencia vonalhoz képest.

A D-mannit jelenléte 0,1 M koncentrációban a táptalajban szinte minden genotípus hajtásnövekedését (HH) gátolta, és általában az SI értékek szignifikánsan csökkentek a D-mannit koncentráció növekedésével. A C12 vonal SI értéke 100-nál magasabb volt a 0,1 M D-mannittal végzett kezelésben, valamint C3 (67,4 %), C5, C8, C11, C14, C17 (74,1 %), C19 (87,4 %), C22 (71,4 %), C26 (70,8 %), C30, C32 (75,1 %), C58 és C63 nemesítési vonalak szignifikánsan magasabb SI értéket értek el, mint a két referencia vonal. Hasonlóan, 0,2 M és 0,3 M D-mannit koncentrációnál, több nemesítési vonal SI értéke szignifikánsan magasabb volt, mint a referencia vonalaké. A koncentráció növekedése a stressz index értékek csökkenésével járt, valamint a legmagasabb SI értékeket a C12, C14 és C17 nemesítési vonalak esetében kalkuláltunk.

A nemesítési vonalak közül C4, C6, C21, C22 és C30 reagált a 0,1 M D-mannitra a gyökérhossz (GYH) szignifikáns csökkenésével a referencia vonalokhoz hasonlóan, ezzel szemben három nemesítési vonal (C41 (112,7 %), C57 (104,8 %) és C63) SI értéke nőtt. Egyikük (C63) szignifikánsan magasabb eredményt mutatott, mint a C103 referencia vonal, bár a C103 referencia vonal is megnövekedett gyökérhosszal válaszolt az ozmotikus stresszre. A D-mannit koncentrációjának növekedésével azonban az SI értékek csökkentek, többnyire szignifikánsan. 0,2 M D-mannit alkalmazásakor csak a C103 referencia vonal mutatott 100-nál magasabb SI értéket, a C17 és C63 nemesítési vonalaknál kalkulált értékek nem tértek el szignifikánsan. Csökkent SI értékeket számoltunk ezen a D-mannit szinten szinte minden nemesítési vonalnál. A C17 (97,7 %) és C63 nemesítési vonalak SI értékei szignifikánsan magasabbak voltak, mint a C107 referencia vonalé. A legmagasabb D-mannit szintnél (0,3 M) a kísérletbe bevont genotípusok mindegyike csökkent SI értéket mutatott, és a nemesítési vonalak több mint harmadában (C5, C8, C11, C12, C20 (55,9 %), C32 (57,9 %), C57 (64,3 %), C58, C63) szignifikánsan magasabb SI értékeket találtunk a C103 referencia vonalhoz képest. A legkisebb (0,1 M) koncentráción fejlődött hajtástenyészetek 6 genotípus (C8, C10, C41, C57, C63 és C103 nemesítési és referencia vonalak) esetében meghaladták a kontroll állomány értékeit, a koncentráció növekedésével azonban a stressz index értékek maximuma visszaesett 78,5 %-ra (C5 nemesítési vonal).

A nemesítési vonalak közül C4, C6, C9, C11, C12, C20, C21, C35, C37, C41, C42, C57 és C63 csökkent, többségében szignifikánsan kisebb gyökérszám (GYSZ) SI értékekkel reagált 0,1 M D-mannit kezelésre a referencia vonalokhoz hasonlóan. A C5, C17, C19 és C32

nemesítési vonal (100,9 és 134,0 % közötti) mindkét referencia vonalhoz képest szignifikánsan magasabb SI értékeket mutatott. Általánosságban az SI értékekben csökkenő tendenciát tapasztaltunk a D-mannit szint emelkedésével (0,2 M), és a nemesítési vonalak többségében szignifikáns csökkenést igazoltunk, azonban az SI értékek C8, C11, C14, C17, C22, C26, C28, C30, C35 és C58 nemesítési vonalaknál emelkedtek és a C32 nemesítési vonal esetében (0,2 M, 173,2 %) maximum stressz index értéket mértünk. 0,3 M D-mannit koncentráción C5, C11, C17, C19, C30, C32, C57, C58 és C63 nemesítési vonalak esetében kalkuláltunk a referencia vonalak értékeihez képest szignifikánsan magasabb értékeket. A vizsgált nemesítési vonalak gyökérszámára vonatkozó vizsgálatok alapján a hatékony szelekcióra a táptalajhoz adagolt magasabb, 0,2 és 0,3 M D-mannit dózis volt alkalmas.

3.2 *In vivo* kísérletek eltérő ozmotikus stressztoleranciájú burgonya nemesítési vonalak primer és szekunder gumóin

A betakarított primer és szekunder gumók hozama egyaránt jelentősen csökkent a kisebb tőtávolságra ültettek esetében (7. táblázat). A betakarított primer gumók mennyiségében három nemesítési vonal esetében mértünk szignifikánsan eltérő eredményeket (C103, C107 és C20), míg a szekunder gumóknál két nemesítési vonal (C103 és C20) volt kiemelhető.

7. táblázat: Tőszámváltozás hatása az gumóhozamra különböző tőtávolságú állományban (Forrás: HANÁSZ et al., 2023, szerkesztett)

Primer gumó		Nemesítési vonal	Szekunder gumó	
*N (darab növény ⁻¹)	**S (darab növény ⁻¹)		*** T ₁ /d ₁ (darab növény ⁻¹)	****T ₂ /d ₂ (darab növény ⁻¹)
5,2 bc	3,5 d	C103	7,2 A	3,4 B
6,9 a	5 bc	C107	2,1 D	1,1 D
3,9 c	4 c	C11	0,7 EF	0,2 F
6,3 ab	5,2 bc	C20	5,9 AB	2,1 C

Megjegyzés: *normál: 1 db gumó, **sűrített: 2 db gumó tenyészedenként; ***25 cm tőtávolság és 20-45 mm közötti gumóátmérő, ****15 cm tőtávolság és 19 mm-nél kisebb gumóátmérő. A jelölések során alkalmazott kis- és nagybetűk az ültetett primer és szekunder gumók termés eredményeinek statisztikai eltéréseit mutatják a genotípusok és tőszám-növelés szerint (p<0,05).

A gumók száma alapján számolt (%_{GSZ}) méret eloszlást figyelembe véve (8. táblázat) a C103 (20–24 mm: +14 %) és C20 (15–19 mm: +44 %) genotípusok esetében a növelt tőszámú állományban magasabb értékeket mértünk, azonban a C107 (15–19 mm: -10 %) és C11 (15–19 mm: -3 %) burgonya vonalaknál kismértékű csökkenést jegyeztünk fel.

A gumók tömege szerint (%_{GT}) számolt eloszlást tekintve (8. táblázat) C107, C11 (15–19 mm: -21 %; -17 %) genotípusok csökkenő tendenciát mutattak a tőszám növelés hatására a legnagyobb arányban előforduló gumóméretet tekintve, azonban az arányok megváltoztak és a nagyobb méretű gumók (20-24 mm) megoszlási aránya növekedett. A C20 burgonya nemesítési vonalnál megfigyelhető ez a tendencia, azonban itt a többségében jelen lévő gumó méret a növelt tőszámú állományban is megmaradt, még hozzá magasabb arányban (15–19: +17 %).

8. táblázat: Normál (1 db gumó tenyészedenyenként) és sűrített (2 db gumó tenyészedenyenként) laboratóriumi (*in vitro*) hajtástenyészetekről származó primer gumók méret eloszlása (Forrás: HANÁSZ et al., 2023, szerkesztett)

Gumó méret (mm)	Normál állomány							
	C103		C107		C11		C20	
	% _{GSZ}	% _{GT}	% _{GSZ}	% _{GT}	% _{GSZ}	% _{GT}	% _{GSZ}	% _{GT}
36–45	0	0	0	0	0	0	0	0
25–35	16	43	0	0	0	0	2	8
20–24	28	32	14	26	11	18	0	0
15–19	34	20	65	67	62	71	29	50
10–14	20	4	17	7	24	11	52	38
-10	2	1	3	2	3	0	2	4
Gumó méret (mm)	Sűrített állomány							
	C103		C107		C11		C20	
	% _{GSZ}	% _{GT}	% _{GSZ}	% _{GT}	% _{GSZ}	% _{GT}	% _{GSZ}	% _{GT}
36–45	1	0	0	0	0	0	0	0
25–35	8	43	1	2	1	2	1	3
20–24	42	32	26	47	23	39	11	26
15–19	23	20	55	46	59	54	73	67
10–14	18	4	14	4	14	5	11	3
-10	8	0	5	1	3	0	3	0

Megjegyzés: %_{GSZ}: gumók száma szerinti méreteloszlás; %_{GT}: gumók tömege szerinti méreteloszlás; A cella színe jelzi az arány növekedését: minél sötétebb a színárnyalat, annál magasabb az adott gumóméret aránya.

A 9. táblázat a burgonya genotípusok betakarított szekunder gumóinak méreteloszlását ábrázolja. C103 szülő vonalnál az arányok csökkenésének sorrendjében a 25 és 35 mm közötti (a-c), a 10 mm alatti (a-d, -3,9 %), a 10 és 14 mm közötti (a-d, -4,7 %), valamint a 20 és 24 mm közötti (a-e, -8,8 %) gumók voltak többségben. Kevesebb arányban fordultak elő a 36 és 45 mm közötti (a-e, -23,6 %), a 15 és 19 mm közötti (a-e, -34,1 %), valamint a nagyobb (étkezési méretű) 46 mm fölötti (b-e, -50,3 %) gumóméret a normál (T1) tőtávolságokon fejlődött növényeknél. Összességében általánosak a kisebb méretű gumók, de a gumók számát tekintve a többi nemesítési vonalhoz képest többet mértünk. A tőszám változása (T2) a 10 és 14 mm közötti (a, +41,5 %) méretű gumók arányának növekedésével járt, míg a 10 mm alatti, a 36 és 45 mm közötti és a 46 mm feletti gumó méretek arányaiban voltak ugyan különbségek,

de nem szignifikáns mértékben. A C107 szülő vonalnál az arányok csökkenésének sorrendjében elsőként a 10 mm alatti (b–e) és a 20–24 mm közötti (b–e, -30 %) gumók említhetők. Kevesebb arányban fordultak elő a 25–35 mm (c–e), 15–19 és 10–14 mm (c–e) és 36–45 mm (c–e) közötti gumók 30, 36,9, 38,8 és 48,8 % -os különbséggel. A tőszám növelése (T2) a gumók méreteloszlására nem gyakorolt szignifikáns hatást, azonban kismértékű növekedés figyelhető meg a 10–14 mm közötti gumók esetében, míg a 10 mm alatti, a 25–35 mm, a 36–45 mm és a 46 mm feletti méretek esetében csökkenés volt tapasztalható. A nemesítési vonalak közül a C11 esetében kevesebb gumót takarítottunk be, mint C103 és C107 genotípusok esetében. A gumóméret eloszlásra az arányok csökkenésének sorrendjében a 10–14 mm (b–e), a 20–24 mm (c–e), a 15–19 mm (c–e) és a 10 mm alatti (c–e) méretek voltak jellemzőek 24,5, 33,2 és 36,8 % -os különbséggel. A tőszám növelése (T2) az egységnyi területről betakarított gumók számára és mérettartományára redukáló hatással volt és általánosan 10–14 és 10 mm alatti gumókat mértünk. A C20 burgonya genotípus esetében a gumók méretbeli eloszlásának csökkenő sorrendjében a 20–24 mm (ab), a 25–35 mm (a–d), a 10–14 mm (a–e), a 15–19 mm (a–e), a 10 mm alatti (a–e) és a 36–45 mm (b–e) méret kategóriák voltak jellemzőek 19,1 %, 24,7 %, 37 %, 46,7 % és 62,3 % csökkenési tendenciával. A tőszám növelése (T2) a különböző méretű gumók redukációját eredményezte, a 20–35 mm méretű gumók egységnyi területről betakarított mennyisége szignifikánsan csökkent. A szülő vonalaknál (C103 és C107) az összes vizsgált gumó méret és tőszám szerinti (T1 és T2) adatok összehasonlításakor statisztikailag mérhető jelentős különbségeket mértünk. A C103 genotípus egységnyi területről betakarított termése minden esetben magasabb értékeket mutat, mint a C107 szülő termés eredményei.

9. táblázat. A burgonya nemesítési vonalak gumóméret eloszlása T₁ (25 cm) és T₂ (15 cm) tőtávolság szerint (Forrás: HANÁSZ et al., 2023, szerkesztett)

GM (mm)	C103		C107		C11		C20	
	T1	T2	T1	T2	T1	T2	T1	T2
45–	3,29 b–e	1,07 c–e	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
36–45	5,06 b–e	3,38 b–e	1,64 c–e	0,58 e	0,00	0,00	2,98 b–e	0,00
25–35	6,62 a–c	5,82 a–e	2,02 c–e	0,98 de	0,00	0,00	6,4 a–d*	1,6 cde*
20–24	6,04 a–e	5,91 a–e	2,24 b–e	1,38 c–e	1,91 c–e	0,00	7,91 ab*	3,64 a–e*
15–19	4,36 a–e	4,58 a–e	1,96 c–e	1,87 c–e	1,69 c–e	0,00	4,98 a–e	3,56 a–e
10–14	6,31 a–d *	8,93 a*	1,96 c–e	2,48 b–e	2,53 b–e	1,33 c–e	5,96 a–e	5,78 a–e
–10	6,36 a–d	4,93 a–e	3,2 b–e	3,24 b–e	1,6 c–e	0,76 de	4,22 a–e	4,18 a–e

Megjegyzés: GM: gumó méret; Az ábrán lévő kisbetűk a különböző genotípusokhoz tartozó statisztikailag jelentős eltéréseket jelzik a T1 és T2 tőtávolságok esetén. A „*” szimbólum az azonos burgonya genotípusok között, különböző tőtávolságoknál tapasztalt szignifikáns különbséget jelöli (p<0,05). A cella színe jelzi az arány növekedését: minél sötétebb a színárnyalat, annál magasabb az adott gumóméret aránya. Mértékegység: darab m⁻²

A C11 genotípus szülő vonalakkal történő elemzés során a gumók méretei szerinti összehasonlításban szignifikáns különbségeket mértünk, mégpedig magasabb értékeket a C103 szülő vonal javára. A C20 genotípushoz képest is jelentős szignifikáns különbségeket mértünk mind a C103 és C107 szülővonalak, mind a C11 nemesítési vonalak termésmennyiségére vonatkozóan.

3.3 A szárazság és a vetőgumó méretének hatása burgonya nemesítési vonalak agronómiai tulajdonságaira *in vivo* körülmények között

A kísérlet során 2. generációs vírusmentes vetőgumók szárazságtűrési képességeit vizsgáltuk három különböző burgonya genotípus esetében (C103, C107 és C20). A vízhiányt különböző mértékű (W1, W2 és W3, 5, 3 és 1 mm m⁻² nap⁻¹) víz kijuttatásával indukáltuk, melyet az ültetéstől számított 38. naptól kezdtünk meg, addig egységesen W1 vízdózist kapta az állomány. A kísérlet során kerestük a szárazságtűrési kísérlet értékeléséhez alkalmas minigumó méretet és a burgonya nemesítési vonalaknál a szárazságstressz kiváltásához szükséges vízmegvonás mértékét adott agroklimatikus és talajviszonyok között.

A minigumók kelését jelentősen befolyásolta a gumó méret. Általában a nagyobb, 20 és 35 mm közötti gumóknál magasabb arányú kelés volt tapasztalható (C103: 86,1–98,2 %; C107: 95,4–100 %; C20: 98,2 %), mint a kisebb, 10-19 mm nagyságú gumók esetében. Kísérletünkben a legkisebb kelési arányt a C20 nemesítési vonal 10 és 19 mm közötti gumói esetében mértünk (67,6–75,0 %), legmagasabb kelési arány pedig a C103 és C107 nemesítési vonalakra volt jellemző, de inkább a gumó méret hatása volt kiemelhető, a genotípusok között kevésbé volt érezhető különbség. Szántóföldi körülmények között, ahol 25 mm-nél nagyobb gumókat ültettünk, gyors kelést figyeltünk minden genotípusnál magas százalékban (95,3, 99,7 és 98,8%) a C103, C107 és C20 nemesítési vonalak esetében egyaránt.

A három különböző időpontban mért (DAP: 35, 45 és 75) NDVI értékek a burgonyanövények fejlődésével együtemben nőttek. A különböző gumóméretekből származó növényeknél, melyek kontroll (W1) kezelést kaptak, az első és második megfigyelés (DAP 35 és 45) során különbséget lehetett kimutatni. A 20 mm-nél nagyobb gumóból fejlődő növényeken mért értékek szignifikánsan magasabbak voltak, mint a kisebb gumók növényein mérték. Kerestük az összefüggéseket az NDVI eredmények és a termésparaméterek (gumószám (GSZ) és a gumótömeg (GT)) között a vizsgált nemesítési vonalaknál. Leginkább a C103 és a C107 burgonya nemesítési vonal esetében találtunk szignifikáns összefüggéseket. A mérések időpontja, a genotípus és a vízkezelések azonban szintén jelentős befolyásoló

hatással voltak a gumók számára (GSZ) és a termésmennyiségre (GT). Az NDVI mérések a termés előrejelzésében biztatóak ugyan, de a vizsgálataink során az eredmények nem voltak minden nemesítési vonal és vízkezelés esetében konzekvensek.

A vízmegvonás a gumó szám csökkenését okozta, és az SI értékekre változatosság volt jellemző, de nem volt egyértelmű tendencia. A gumó szám (GSZ) SI értékeiből kiindulva a C20 nemesítési vonal volt a szárazságra legérzékenyebb genotípus. A legkevesebb vízadagot (W3 kezelés) kapott növényekről betakarított gumók SI értéke nem érte el a 40,0 %-ot és a legkisebb gumó méretből (10–14 mm) fejlődött növényekből nem lehetett gumót betakarítani. Ugyanennél a vízadagnál fejlődött növényeknél a betakarított termés SI (GT) értékei a gumók számához képest alacsonyabbak voltak. A kísérletben vízmegvonást alkalmaztunk amint fejlődésileg homogén növényállomány alakult (a gumóképzés kezdeti fázisát (iniciáció) is beleértve), melynek igen fontos szerepe van a végső termés alakulásában. A kísérlet során azt tapasztaltuk, hogy már a kisebb mértékű szárazság stressz is jelentősen csökkentette mind a gumó számot (GSZ), mind a gumóhozamot (GT). Az összes ültetett gumó méret átlagát tekintve a gumószámra vonatkozó stressz index értéke a következők: 74, 86 és 64,7 % a C103, C107 és C20 nemesítési vonalaknál. A hozamra vonatkozó indexek hasonlóan alakultak. A szárazságstressz emelkedésével (W3) a C107 és C20 nemesítési vonalaknál csökkentek a GSZ SI értékek, míg a C103 vonal esetében növekedett gumószámot eredményezett (84,7 % volt az SI, míg W2 kezelést kapott parcellák adataiból 74 volt a kalkulált érték). Azonban a gumótermést (GT) SI értékeit vizsgálva a C103 nemesítési vonal W3 kezelésben 67,9 % értéket adott, ami kevesebb volt, mint a W2 parcellákon mért értékekből kalkulált SI. Tehát ez azt mutatja, hogy ugyan növekedett a gumók száma, de méretük nagy eséllyel csökkent a szárazságstressz hatására, mint ahogy arról már korábban mások is beszámoltak (NASIR és TÓTH, 2022).

A termésparaméterek vizsgálata során (10. táblázat) megállapításra került, hogy a C20 nemesítési vonal bizonyult a legérzékenyebbnek a szárazság okozta stresszre, ugyanis nagyon alacsony SI értékeket (GSZ: 22,6 % és GT: 23,6 %) mutatott. A termésveszteség okai lehetnek a kisebb gumók, vagy kevesebb számban betakarított gumók, vagy a kettő hatása együttesen (SCHAFLEITNER et al., 2007). A mérsékelt szárazság (W2) hatására a GSZ minden nemesítési vonalnál a GT-vel azonos mértékben csökkent, azonban a nagyobb mértékű szárazság (W3) hatására a GT csökkenése szignifikánsan nagyobb mértékű volt, mint a GSZ csökkenése a C103 és C107 nemesítési vonalaknál, míg a C20 esetében azonos volt a redukció mértéke.

10. táblázat: A gumók számának és tömegének SI értékei (% , ± sztenderd hiba) az összes vetőgumó méret átlagában (Forrás: HANÁSZ et al., 2024, szerkesztett)

Nemesítési vonal	W2		W3	
	GSZ (SI, %)	GT (SI, %)	GSZ (SI, %)	GT (SI, %)
C103	73,98 ± 6,13	73,03 ± 3,32	84,7 ± 8,16 a	67,93 ± 6,84 a
C107	86,0 ± 6,64	83,33 ± 7,08	78,2 ± 5,99 a	65,58 ± 7,37 a
C20	64,7 ± 10,74	65,88 ± 16,11	22,6 ± 3,73 b	23,6 ± 9,41 b

Megjegyzés: A különböző kisbetűk szignifikáns különbségeket jeleznek a különböző genotípusok SI értékeinek átlagainál (Tukey-féle poszthoc teszt, ahol $p < 0,05$)

A termés (GT) SI értékeit vizsgálva (10. táblázat) a C103 nemesítési vonal W3 kezelésben 67,9 értéket adott, ami kevesebb volt, mint a W2 parcellákon mért értékekből kalkulált SI. Tehát ez azt mutatja, hogy ugyan növekedett a gumók száma, de méretük nagy eséllyel csökkent a szárazságstressz hatására. A termésparaméterek vizsgálata során megállapításra került, hogy a C20 nemesítési vonal bizonyult a legérzékenyebbnek a szárazság okozta stresszre, ugyanis nagyon alacsony SI értékeket (GSZ: 22.6 és GT: 23.6) mutatott. A mérsékelt szárazság (W2) hatására a GSZ minden nemesítési vonalnál a GT-vel azonos mértékben csökkent, azonban a nagyobb mértékű vízhiány (W3) hatására a GT csökkenése szignifikánsan nagyobb mértékű volt, mint a GSZ csökkenése a C103 és C107 nemesítési vonalaknál, míg a C20 esetében azonos volt a redukció mértéke.

A betakarított gumók méretbeli eloszlását nagymértékben befolyásolta a genotípus, a szárazságstressz és a gumó méret is. A C103 és C107 nemesítési vonalnál a vízhiány növekedése a nagyobb gumók számának (GSZ) és tömegének (GT) csökkenését idézte elő (11. és 12. táblázat). A C20 nemesítési vonal esetében 35 mm-nél nagyobb gumót nem takarítottunk be. Az ültetett méretfrakciótól függetlenül (tehát összevonva az ültetett gumók méretkategóriáit) vizsgálva a gumó méret eloszlást, a vízadagok csökkenésével a nagyméretű gumók száma kismértékben csökkent, a betakarított gumók méreteloszlása pedig nagymértékben függött a genotípustól. A nagyméretű gumók arányának nagyobb csökkenését a vízhiány hatásának tudhatjuk be, ha nemcsak a gumók számát, hanem tömegét is figyelembe vesszük.

11. táblázat: A genotípus, az ültetett gumó mérete és a különböző vízadagok hatása a mérettartományok szerint ültetett gumókról betakarított termés méret szerinti arányára gumó szám alapján (GSZ %) (Forrás: HANÁSZ et al., 2024, szerkesztett)

Genotípus	Betakarított gumó méret (mm)	Ültetett gumó méret (mm)											
		25–35			20–24			15–19			10–14		
		W1	W2	W3	W1	W2	W3	W1	W2	W3	W1	W2	W3
C103	>45	21,52	17,77	10,37	14,27	20,26	9,06	21,07	20,33	9,77	15,35	10,88	7,01
C103	36–45	25,82	25,73	30,02	24,86	17,62	26,63	26,82	26,45	23,14	23,65	27,2	27,1
C103	25–35	24,81	28,39	29,47	26,47	33,93	35,13	26,44	28,39	32,55	33,2	24,26	28,98
C103	20–24	11,39	15,12	12,28	15,42	12,33	11,34	12,64	11,93	11,39	12,86	16,32	15,88
C103	15–19	7,85	7,42	6,55	9,2	7,49	10,2	6,52	8,06	9,04	4,98	9,2	8,41
C107	>45	2,6	1,79	1,94	3,38	0	3,81	3,38	5,54	4,39	0	0	4,17
C107	36–45	15,84	17,47	9,84	15,09	11,01	11,42	16,1	22,63	17,4	17,27	13,5	11,57
C107	25–35	33,54	31,64	34,49	31,6	37,98	33,41	41,71	35,1	32,04	31,59	35,54	29,01
C107	20–24	19,93	21,71	18,7	23,93	20	18,82	18,84	19,17	17,22	22,04	23,97	20,06
C107	15–19	12,62	11,52	15,51	10,14	11,63	12,05	9,82	6,93	11,02	10,23	10,74	13,27
C20	25–35	19,18	9,22	25,25	28,71	21,79	0	0	0	20	10,73	3,81	0
C20	20–24	27,9	21,67	38,38	43,07	34,64	0	38,33	16,26	35,83	26,84	52,46	0
C20	15–19	19,78	40,11	18,18	17,7	27,94	0	38,33	55,83	29,17	42,95	26,62	0

Megjegyzés: A cella színe jelzi az eloszlás mértékét: minél sötétebb zöld színárnyalat, annál magasabb az eloszlási arány (%); G: genotípus

12. táblázat: A genotípus, az ültetett gumó mérete és a különböző vízadagok hatása a mérettartományok szerint ültetett gumókról betakarított termés méret szerinti arányára gumó tömeg (GT %) (Forrás: HANÁSZ et al., 2024, szerkesztett)

Genotípus	Betakarított gumó méret (mm)	Ültetett gumó méret (mm)											
		25–35			20–24			15–19			10–14		
		W1	W2	W3	W1	W2	W3	W1	W2	W3	W1	W2	W3
C103	>45	58,17	49,71	32,79	42,66	53,54	31,48	54,02	44,75	34,11	46,79	32,31	26,73
C103	36–45	28,59	31,93	46,78	35,61	23,94	41,65	30,47	27,65	38,06	30,97	41,48	45,54
C103	25–35	10,3	14,91	17,05	16,7	18,96	22,76	12,47	13,64	22,98	19,11	18,78	21,78
C103	20–24	1,99	2,68	2,4	3,62	2,66	2,91	2,22	13,1	3,23	2,31	5,24	4,46
C103	15–19	0,66	0,57	0,66	1,01	0,67	0,97	0,61	0,73	1,08	0,43	1,31	0,99
C107	>45	58,58	7,89	9,87	42,66	0	17,82	54,02	16,48	17,8	46,79	0	19,32
C107	36–45	28,3	42,72	26,99	35,61	30,98	27,15	30,47	40,89	38,04	30,97	35,69	26,4
C107	25–35	10,2	35,05	46,72	16,7	50,5	40,31	12,47	33,26	33,72	19,11	46,06	37,35
C107	20–24	1,97	10,51	11,03	3,62	13,94	9,76	2,22	7,32	7,01	2,31	13,82	11,59
C107	15–19	0,66	2,63	3,77	1,01	3,1	2,97	0,61	1,37	2,16	0,43	2,88	3,86
C20	25–35	49,79	26,53	49,69	53,83	49,21	0	0	0	44,98	30,61	11,11	0
C20	20–24	33,2	31,51	39,34	38,28	35,15	0	64,61	39,02	36,33	20,41	69,44	0
C20	15–19	11,62	36,48	8,28	6,34	12,83	0	28,09	52,44	15,57	43,37	16,67	0

Megjegyzés: A cella színe jelzi az eloszlás mértékét: minél sötétebb zöld színárnyalat, annál magasabb az eloszlási arány (%).

2022-ben a növénymagasságban nem volt szignifikáns eltérés a kontroll fajták és szárazság stressznek kitett növények között. A 2021-ben csökkentett vízmennyiséget kapott (PW2 és PW3) és kontroll (PW1, optimális) gumók növénymagasságaiban szintén nem volt szignifikáns eltérés (62,5 és 83,3 cm közötti értékeket mértünk). A különböző nemesítési vonalak között azonban volt különbség mindkét vizsgálati év eredményében. A stressz index értékek 80,0 fölött voltak minden nemesítési vonalnál. A 'Boglárka' és 'Desiree' kontroll fajták esetében ennél valamivel alacsonyabb értéket kaptunk. A C103 nemesítési vonal SI értékei az előző évi szárazságstressz kezelések növelésével párhuzamosan növekedtek, azonban a C107 nemesítési vonalnál pont ellenkező irányú változás történt az SI értékekben. A C20 nemesítési vonal SI értékei nagymértékben nem változtak, 87,0 és 90,6 között mozogtak. A kísérlet során megállapításra került, hogy az előkezelésnek szignifikáns utóhatása nem volt a termésparaméterekre (GT és GSZ), a kontroll parcellákon az előkezelést kapott gumókból fejlődött növények termése a C107 és C20 (18,9 és 16,8 db növény⁻¹) nemesítési vonal esetében több volt. Az erősebb szárazságstressz (PW3, 1 mm nap⁻¹) szintén enyhe növekedést eredményezett a termésparaméterekben (GT alapján) a kontroll (PW1, 5 mm nap⁻¹) és enyhe stresszt kapott (PW2, 3 mm nap⁻¹) növények terméséhez viszonyítva. A szárazságstresszre (W2, 1 mm nap⁻¹) sem mutattak emelkedett toleranciát a stressz indexek alapján (13. táblázat). Nem tapasztaltunk szignifikáns hatást sem a kontroll (optimális vízádagot kapott, W1, 5 mm nap⁻¹), sem a szárazságstressznek kitett (W2, 1 mm nap⁻¹) parcellákon fejlődött növények és betakarított termés eredményeiben.

Az összes 2021 évi kezelés (PW1, PW2, PW3) átlagában a különböző méretű betakarított gumók száma alapján számított (GSZ) méretbeli eloszlásában (%) a szárazságstressz hatása statisztikailag kimutatható mértékű volt és a vízmegvonás hatására a többségben lévő gumóméret aránya csökkent, valamint a kisebb méretkategóriákkal bővült. A betakarított termés (GT) alapján számolt méreteloszlást vizsgálva hasonló tendencia volt tapasztalható. Általában a kontroll (W1, 5 mm nap⁻¹) területekről betakarított gumók legnagyobb arányú méretkategóriája a szárazságstressz (W2, 3 mm nap⁻¹) hatására kisebb vagy nagyobb mértékű csökkenést mutatott és a kisebb méretű gumók mennyisége emelkedett.

Az előkezeléseknek (PW1, PW2, PW3) általában nem volt szignifikáns hatása a genotípusok gumó számára (GSZ) sem a kontroll (W1), sem a vízmegvonással sújtott (W2) állományban, azonban a vízmegvonás okozott különbségeket, mely általánosan a nagyobb gumóméret arányának csökkenését okozta. Legmagasabb mérettartományú gumókat a C103 nemesítési vonalnál (25 mm feletti) mértünk, majd a C107 (25-45 mm) és a C20 (20-45 mm) következett.

13. táblázat: Az előző évben (2021) szárazságstressznek kitett gumókból fejlődött növényekből származó gumók számából (GSZ) és hozamából (GT) kalkulált SI értékek a nemesítési vonalaknál, valamint a kontroll fajtáknál ('Boglárka' és 'Desiree') (Forrás: HANÁSZ et al., 2024, átszerkesztett)

Paraméter	Vízadag (2021)	C103	C107	C20	'Boglárka'	'Desiree'
GSZ (SI)	PW1 (5 mm m ⁻² nap ⁻¹)	100,2 ± 8,71 ab	120,8 ± 2,34 a	78,2 ± 3,85 bc	80,2 ± 11,51 bc	54,6 ± 5,31 c
	PW2 (3 mm m ⁻² nap ⁻¹)	96,7 ± 11,2 ab	110,9 ± 5,84 ab	98,7 ± 3,96 ab	–	–
	PW3 (1 mm m ⁻² nap ⁻¹)	110,1 ± 10,53 ab	73,1 ± 9,76 bc	73,5 ± 8,85 bc	–	–
	Átlag	102,8 ± 5,58 a	101,6 ± 7,12 a	82,5 ± 4,56 a	80,2 ± 11,51 ab	54,6 ± 5,31 b
GT (SI)	PW1 (5 mm m ⁻² nap ⁻¹)	61,7 ± 7,35	73,1 ± 4,03	41,9 ± 0,82	57,7 ± 11,63	41,2 ± 8,75
	PW2 (3 mm m ⁻² nap ⁻¹)	52,8 ± 12,48	74,0 ± 4,92	62,2 ± 5,8	–	–
	PW3 (1 mm m ⁻² nap ⁻¹)	56,5 ± 3,91	43,1 ± 4	51,1 ± 10,88	–	–
	Átlag	57,0 ± 4,65	63,4 ± 4,88	51,7 ± 4,49	57,7 ± 11,63	41,2 ± 8,75

Megjegyzés: GSZ: gumószám, GT: gumó tömeg; a kisbetűk szignifikánsan eltérő átlagokat jeleznek a gumóméreték között az egyes nemesítési vonalakban (Tukey-féle poszthoc teszt, ahol $p < 0,05$).

A betakarított termés (GT) alapján sem volt egyértelműen mérhető szignifikáns különbség a genotípusoknál az előkezelt gumók arányát tekintve, azonban a szárazságstressz (W2) általános csökkenést okozott, és bővült a többségében lévő gumók mérettartománya a kisebb méretekkel. A C103 nemesítési vonal esetében a legmagasabb (45 mm feletti) méret, a C107 és C20 nemesítési vonalnál (36 mm feletti és 25-45 mm közötti) méretek voltak jellemzőek.

4. AZ ÉRTEKEZÉS ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEI

A kísérleti célkitűzéseknek megfelelően az alábbi, új tudományos eredményként értelmezhető megállapításokat tettük:

1. A vizsgált genotípusokon az ozmotikus stressz növekedésgátló hatásán alapuló szelekciót a PEG 6000 7,5 és 10 %-os és a D-mannit 0,2 és 0,3 M-os töménysége tette lehetővé.
2. A 27 burgonya genotípus *in vitro* stressz index szerinti szelekciója során a C2 (80 %), C5 (76 %), C8 (88 %), C11 (77 %), C12 (84 %), C14 (81 %), C30 (84 %), C58 (80 %) és C63 (72 %) nemesítési vonalak bizonyultak ozmotikus stressztűrési szempontból kiemelkedő, nemesítési célunknak megfelelő perspektívikus vonalaknak.
3. A szabadföldi vizsgálatokban gumóméret és a genotípus minden vizsgált növekedési és fejlődési paraméterre hatással volt, főként a korai fejlődési fázisokban (kelés) volt lényegesen nagy különbség a genotípusok és a különböző méretű gumók vizsgált paramétereiben. A 20 mm feletti és alatti gumók értékmérő paraméterei között mértük a legjelentősebb fejlődésbeli különbségeket, 20 mm alatt 87 %-ot, 20 mm gumóméret felett 69 %-os átlagos kelési arányt mértünk.
4. A vízmegvonásnak a virágzási arányra és NDVI értékekre nem volt kimutatható hatása, viszont szignifikáns hatása volt a termésmennyiség alakulására (a gumó számra és tömegre, valamint a gumók méretbeli eloszlására). A vizsgálatba vont nemesítési vonalak 'Desiree' és 'Boglárka' kontroll burgonya fajtákhoz képest mért teljesítménye és szárazságtűrési stressz index értéke (SI) a legtöbb vizsgált paraméterben hasonló vagy magasabb szintű volt. Az *in vitro* és *in vivo* eredmények alapján stabil szárazságtűrési képességet igazoltunk a C103 és C107 nemesítési vonalak esetében.
5. A szekunder gumókon 2021-ben alkalmazott vízmegvonás a következő termelési évben nem okozott statisztikailag mérhető, szignifikáns különbségeket sem a morfo-fiziológiai, sem a termésparaméterekben a vizsgált genotípusoknál.

5. AZ EREDMÉNYEK GYAKORLATI HASZNOSÍTHATÓSÁGA

1. A laboratóriumi körülmények között, ozmotikumok segítségével végzett szelekciós eljárás jelentősen felgyorsíthatja a nemesítői munkát, mely az elsődleges cél, a szárazságtűrő burgonya fajták létrehozását segíti.
2. Az izolált környezetben és a szabadföldi körülmények között végzett kísérletek során a vetőgumó méretet lényeges tényező fejlődési és szárazságtűrési aspektusból. A vizsgált nemesítési vonalaknál a 20 mm feletti gumóméretet találtuk növénytermesztési szempontból a kevésbé optimális vízellátottságú körülmények között is alkalmas vetőgumó méretnek.
3. A szárazságtűrési vizsgálatok során az NDVI és a termésparaméterek közötti összefüggést genotípus specifikusan fenofázisok szerint célszerű végezni, valamint kifejezetten a hozambeli különbségeket elemezni, mellyel idő és költséghatékonyabbá is válik a folyamat.
4. Vetőgumó termesztés esetén vizsgálataink alapján a vízhiányos évjáratból származó vetőgumók értéke nem változik az optimális vízellátási körülmények közül származó gumókhoz viszonyítva.

6. IRODALOM

1. Coleman, W. K. – Coleman, S. E. 2000. Modification of potato microtuber dormancy during induction and growth in vitro or ex vitro. *Am. J. Pot. Res.* 77, 103–110. DOI: 10.1007/BF02853737
2. Dobránszki, J.: 2006. A biotechnológia alkalmazási lehetőségei a modern mezőgazdaságban. [In: Varga (szerk.) Versenyképes növénytermesztés I., Tantárgyi segédlet.] NYF MMFK. ROP–3.3.1.–05/1.–2005–08–005/37 P. 123–155
3. Felföldy, L.: 1987. Biological water qualification. Water Management Institute. 190.
4. Hanász, A. – Dobránszki, J. – Mandler–Drienyovszki, N. – Zsombik, L. – Magyar–Tábori, K. 2022. Responses of Potato (*Solanum tuberosum* L.) Breeding Lines to Osmotic Stress Induced in in vitro Shoot Culture. *Hortic.* 8, 591. DOI: 10.3390/horticulturae8070591
5. Hanász, A. – Dobránszki, J. – Mandler–Drienyovszki, N. – Zsombik, L. – Magyar–Tábori, K. 2022. Responses of Potato (*Solanum tuberosum* L.) Breeding Lines to Osmotic Stress Induced in in vitro Shoot Culture. *Hortic.* 8, 591. DOI: 10.3390/horticulturae8070591
6. Hanász, A. – Dobránszki, J. – Zsombik, L. 2023. Eltérő ozmotikus stressztoleranciájú burgonya szülő és nemesítési vonalak primer és szekunder gumóinak tesztelése izolált és fóliasátras termesztési közegben. *Növénytermelés.* 72 (4), 37-61, 2023.
7. Hanász, A. – Zsombik, L. – Magyar–Tábori, K. – Mandler–Drienyovszki, N. 2024. Effect of Drought and Seed Tuber Size on Agronomical Traits of Potato (*Solanum tuberosum* L.) under In Vivo Conditions. *Agron. Basel.* 14 (6), 1-41, 2024.
8. Kpoghomou, B. K. – Sapra, V.T. – Beyl, C. A. 1990. Sensitivity to drought stress of three soybean cultivars during different growth stages. *J. Agron. Crop Sci.* 164, 104–109.
9. Murashige, T. – Skoog, F. 1962. A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue cultures. *Phys. Plant.* 15, 473–497.
10. Nasir, M. W. – Tóth, Z. 2022. Effect of Drought Stress on Potato Production: A Review. *Agronomy.* 12, 635. <https://doi.org/10.3390/agronomy12030635>.
11. Sasani, R. – Khazaei, H. R. – Nezami, A. 2009. Effects of gibberellin, benzyl adenine, zeatine hormones and temperature on dormancy breaking of potato minituber (*Solanum tuberosum*). *J. Hortic. Sci.* 23, 2, 61–67.
12. Schafleitner, R. – Gutierrez, R. – Legay, S. – Evers, D. – Bonierbale, M. 2009. Drought Stress Tolerance Traits of Potato [In Proceedings of the 15th International Symposium of the International Society for Tropical Root Crops (ISTRIC)]. Lima, Peru, 2009. November 2–7.

6. PUBLIKÁCIÓK AZ ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉBEN



**DEBRECENI
EGYETEM**

**DEBRECENI EGYETEM
EGYETEMI ÉS NEMZETI KÖNYVTÁR**

H-4002 Debrecen, Egyetem tér 1, Pf.: 400
Tel.: 52/410-443, e-mail: publikaciok@lib.unideb.hu

Nyilvántartási szám: DEENK/385/2024.PL
Tárgy: PhD Publikációs Lista

Jelölt: Hanász Alexandra
Doktori Iskola: Kerpely Kálmán Doktori Iskola
MTMT azonosító: 10062963

A PhD értekezés alapjául szolgáló közlemények

Magyar nyelvű tudományos közlemények hazai folyóiratban (1)

1. **Hanász, A.**, Dobránszki, J., Zsombik, L.: Eltérő ozmotikus stressztoleranciájú burgonya szülő és nemesítési vonalak primer és szekunder gumóinak tesztelése izolált és fóliasátras termesztési közegben.
Növénytermelés. 72 (4), 37-61, 2023. ISSN: 0546-8191.

Idegen nyelvű tudományos közlemények külföldi folyóiratban (3)

2. **Hanász, A.**, Zsombik, L., Magyarné Tábori, K., Mendlerné Drienyovszki, N.: Effect of Drought and Seed Tuber Size on Agronomical Traits of Potato (*Solanum tuberosum* L.) under In Vivo Conditions.
Agronomy-Basel. 14 (6), 1-41, 2024. EISSN: 2073-4395.
DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/agronomy14061131>
IF: 3.3 (2023)
3. **Hanász, A.**, Dobránszki, J., Mendlerné Drienyovszki, N., Zsombik, L., Magyarné Tábori, K.: Responses of Potato (*Solanum tuberosum* L.) Breeding Lines to Osmotic Stress Induced in In Vitro Shoot Culture.
Horticulturae. 8 (7), 1-24, 2022. EISSN: 2311-7524.
DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/horticulturae8070591>
IF: 3.1
4. Magyarné Tábori, K., Mendlerné Drienyovszki, N., **Hanász, A.**, Zsombik, L., Dobránszki, J.: Phytotoxicity and Other Adverse Effects on the In Vitro Shoot Cultures Caused by Virus Elimination Treatments: Reasons and Solutions.
Plants-Basel. 10 (4), 1-62, 2021. ISSN: 2223-7747.
DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/plants10040670>
IF: 4.658





Idegen nyelvű absztrakt kiadványok (2)

5. Magyarné Tábori, K., **Hanász, A.**, Mendlerné Drienyovszki, N., Zsombik, L., Dobránszki, J.: Study of osmotic stress tolerance of potato breeding clones in vitro shoot cultures.
In: 20th EAPR Triennial Conference : "Potato facing global challenges" : Keynote lectures and abstracts, European Association for Potato Research, Paris, [278] (P098), 2017.
6. **Hanász, A.**, Magyarné Tábori, K., Zsombik, L., Dobránszki, J.: Effect of antiviral chemicals on the morphological traits of in vitro potato shoots.
In: International Conference "Climatic changes, a permanent challenge for agricultural research on potato, sugar beet, cereals and medicinal plants" Abstract of Papers and Posters. Ed.: S. C. Chiru, Minister of National Education and Scientific Research, Brasov, Románia, 17, 2016.

Szabadalmak (1)

7. Magyarné Tábori, K., Dobránszki, J., **Hanász, A.**, Zsombik, L.: Burgonya vírusmentesítése kemoterápiás eljárással. 2021
Hatáskör: Magyarország
Bejelentés ideje: -
Ügyiratszám: P1700238/10 ()
Szabadalmi szám: 320
Szabadalom státusza: Oltalom fennáll - Végleges oltalom alatt áll

További közlemények

Idegen nyelvű tudományos közlemények hazai folyóiratban (1)

8. Zsombik, L., **Hanász, A.**, Sipos, T., Basal, O., Magyarné Tábori, K.: Seedling morphology of different wheat genotypes at early stages under hydrocultural conditions.
Agrártud. közl. 1, 249-254, 2021. ISSN: 1587-1282.
DOI: <http://dx.doi.org/10.34101/actaagrar/1/8301>

Magyar nyelvű absztrakt kiadványok (4)

9. **Hanász, A.**, Zsombik, L., Dobránszki, J.: Burgonya (*Solanum tuberosum* L.) kallusz kultúrák ozmotikus stressztűrésének vizsgálata különböző ozmotikumokkal.
In: XXIII. Tavasz Szél Konferencia 2020: Nemzetközi Multidiszciplináris Konferencia.
Absztrakt kötet I.. Szerk.: Barna Boglárka Johanna, Kovács Petra, Molnár Dóra, Pató Viktória Lilla, Doktoranduszok Országos Szövetsége, Budapest, 36, 2020. ISBN: 9786155586705





10. Magyarné Tábori, K., **Hanász, A.**, Zsombik, L., Dobránszki, J.: Exogén citokininnek hatása őszi búza in vitro hajtástenyészeteinek növekedési paramétereire.
In: Maróti Mihály emlékülés Budapest 2017. április 21, [s.n.], Budapest, 13, 2017.
11. **Hanász, A.**, Magyarné Tábori, K., Zsombik, L., Dobránszki, J.: Őszi búza tájfajták in vitro hajtástenyészeteinek ozmotikus vizsgálatai.
In: Maróti Mihály emlékülés Budapest 2017. április 21, [s.n.], Budapest, 14, 2017.
12. **Hanász, A.**, Magyarné Tábori, K., Dobránszki, J.: Burgonya nemesítési klónok ozmotikus stressztűrésének vizsgálata in vitro hajtástenyészeteken.
In: XXII. Növénynemesítési Tudományos Nap : Összefoglalók. Szerk.: Veisz Ottó, Polgár Zsolt, Magyar Tudományos Akadémia, Budapest, 85, 2016. ISBN: 9789633960851

Idegen nyelvű absztrakt kiadványok (5)

13. Mendlerné Drienyovszki, N., Magyarné Tábori, K., **Hanász, A.**, Dobránszki, J.: In vitro osmotic stress tolerance experiments with buckwheat shoot cultures.
In: Abstract Book of 12th International Congress on Plant Biotechnology and Agriculture, [s.n.], [s.l.], 43, 2019. ISBN: 9789591642608
14. **Hanász, A.**, Magyarné Tábori, K., Zsombik, L., Dobránszki, J.: Osmotic stress tolerance experiments on in vitro shoot cultures.
In: Fiatal Biotechnológusok Országos Konferenciája. Szerk.: Tamás László, Zelenyánszki Helga, JATEPress, Szeged, 121, 2018. ISBN: 9789633153703
15. Magyarné Tábori, K., **Hanász, A.**, Mendlerné Drienyovszki, N., Zsombik, L., Dobránszki, J.: Evaluating of phytotoxicity and antiviral activity of two nucleoside analogues in potato.
In: 20th EAPR Triennial Conference : "Potato facing global challenges" : Keynote lectures and abstracts, European Association for Potato Research, Paris, [230] (P055), 2017.
16. Magyarné Tábori, K., **Hanász, A.**, Mendlerné Drienyovszki, N., Zsombik, L., Dobránszki, J.: Combined application of Virasole and Zidovudine for elimination of PVM and PVS viruses from in vitro potato plantlets.
In: "XII Simposio Internacional de Biotecnología Vegetal" : Cayo Santa María, Cuba, del 5 al 8 de abril del 2016 : Libro Resumen, Instituto de Biotecnología d las Planta, Santa Clara, 6-7, 2016.





17. Seres, E., Erdős, Z., **Hanász, A.**, Magyarné Tábori, K., Zsombik, L.: Evaluation of osmotic stress tolerance of winter wheat landraces.

In: International Conference "Climatic changes, a permanent challenge for agricultural research on potato, sugar beet, cereals and medicinal plants" Abstract of Papers and Posters. Ed.: S. C. Chiru, Minister of National Education and Scientific Research, Brasov, Románia, 30, 2016.

A közlő folyóiratok összesített impakt faktora: 11,058

A közlő folyóiratok összesített impakt faktora (az értekezés alapjául szolgáló közleményekre): 11,058

A DEENK a Jelölt által az iDEa Tudóstérbe feltöltött adatok bibliográfiai és tudományometriai ellenőrzését a tudományos adatbázisok és a Journal Citation Reports Impact Factor lista alapján elvégezte.

Debrecen, 2024.06.25.

