

DEBRECENI EGYETEM

KERPÉLY KÁLMÁN DOKTORI ISKOLA

Doktori Iskola vezető:

Dr. Holb Imre
egyetemi tanár, az MTA doktora

Témavezető:

Dr. Zsombik László, Ph.D.
Tudományos tanácsadó

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

Készítette:

Hanász Alexandra
doktorjelölt

Debrecen
2025

BURGONYA GENOTÍPUSOK OZMOTIKUS STRESSZTŰRÉSÉNEK LABORATÓRIUMI ÉS SZABADFÖLDI VIZSGÁLATA

Értekezés a doktori (Ph.D.) fokozat megszerzése érdekében
a Növénytermesztési és kertészeti tudományágban

Írta: Hanász Alexandra okleveles agrármérnök

Készült a Debreceni Egyetem Kerpely Kálmán Növénytermesztési és Kertészeti
Tudományok Doktori Iskolája
(Növénytermesztési tudományok doktori programja) keretében

Témavezető: Dr. Zsombik László, tudományos tanácsadó

Az értekezés bírálói:

név	fokozat	aláírás
_____	_____	_____
_____	_____	_____

A bírálóbizottság:

név	fokozat	aláírás
elnök: _____	_____	_____
tag: _____	_____	_____
titkár: _____	_____	_____

TARTALOMJEGYZÉK

1. BEVEZETÉS.....	6
2. CÉLKITŰZÉS.....	9
3. IRODALMI ÁTTEKINTÉS	10
3.1 Az ozmotikus stressz és annak hatása a burgonyára.....	10
3.2 A szárazságstressz és annak hatása a burgonyára.....	14
3.3 A növényi stresszmemória szerepe a stressztolerancia növelésében	22
3.4 Az <i>in vitro</i> szövettenyésztés jelentősége a burgonya minigumó szaporítóanyag előállításban	24
3.5 A burgonya szárazságtűréséhez kapcsolható szelekció	27
4. ANYAG ÉS MÓDSZER.....	30
4.1 <i>In vitro</i> ozmotikus stressztűrési kísérletek burgonya nemesítési vonalakon	30
4.1.1 A kísérlet körülményei és a növényi anyag	30
4.1.2 Explantátumok, kezelések és kísérleti körülmények	30
4.2 Különböző ozmotikus stressztoleranciájú burgonya genotípusok első és második generációs gumóinak <i>in vivo</i> kísérlete (akklimatizált és szabadföldi körülmények között)	33
4.2.1 A kísérlet körülményei és a növényi anyag	33
4.2.2 Explantátumok, kezelések és termesztési körülmények	33
4.2.2.1 <i>In vitro</i> szakasz	33
4.2.2.2 Izolált szakasz	34
4.2.2.3 Fóliasátorba ültetés szakasza	37
4.2.3 A fóliasátorba ültetett növényi anyagon (primer gumókon) végzett mérések menete, kivitelezése, időpontjai	37
4.2.3.1 A fóliasátorba ültetett növényi anyagon végzett klorofill tartalom mérése levélzeten	37
4.2.3.2 A fóliasátorba ültetett növények leveleinek klorofill fényemissziójának elemzése.....	38
4.3 <i>In vivo</i> szárazságtűrési kísérlet, a vízhiány és a gumóméret hatása burgonya nemesítési vonalak agronómiai tulajdonságaira	38
4.3.1 A kísérlet helyszíne és a növényi anyag	38
4.3.2 Szárazságstressz kezelések és a termesztés módszere	40
4.3.3 Az <i>in vivo</i> szárazságtűrési kísérletben végzett megfigyelések, mérések menete, kivitelezése, időpontjai	41
4.4 Statisztikai analízis.....	42
5. EREDMÉNYEK	43
5.1 <i>In vitro</i> ozmotikus stressztűrési kísérletek burgonya nemesítési és referencia vonalak hajtástenyészetein	43

5.1.1 A burgonya nemesítési és referencia vonalak morfo-fiziológiai paramétereire vonatkozó stressz index átlagok a különböző ozmotikumok hatására.....	43
Megjegyzés: μ : átlag	44
5.1.2 PEG 6000 által kiváltott ozmotikus stressz hatása a burgonya nemesítési és referencia vonalak <i>in vitro</i> hajtástenyészteteire	44
5.1.3 A PEG 600 által kiváltott ozmotikus stressz hatása az <i>in vitro</i> hajtástenyésztetekre	49
5.1.4 D-mannit által kiváltott ozmotikus stressz hatása az <i>in vitro</i> hajtástenyésztetekre	54
5.2 <i>In vivo</i> kísérletek eltérő ozmotikus stressztoleranciával rendelkező burgonya genotípusok első és második generációs gumóin	63
5.2.1 Az <i>in vitro</i> hajtástenyésztetetről származó primer és szekunder gumók hozamára vonatkozó eredmények	63
5.2.2 Az <i>in vitro</i> hajtástenyésztetetről származó primergumók méreteloszlására vonatkozó eredmények	64
5.2.3 A fóliasátorban nevelt növényekről származó szekunder gumók méreteloszlására vonatkozó eredmények	65
5.3 A szárazság és a vetőgumó méretének hatása burgonya nemesítési vonalak agronómiai tulajdonságaira <i>in vivo</i> körülmények között	66
5.3.1 A 2021-ben végzett kísérleti eredmények.....	66
5.3.1.1 A vetőgumó méretének hatása a burgonya növények kelésére	67
5.3.1.2 Vetőgumó méret hatása a különbözően öntözött parcellákon fejlődött burgonyanövények NDVI-eredményeire.....	69
5.3.1.3 A vetőgumó méret hatása betakarított gumók számára, hozamára, méret szerinti eloszlására eltérő vízellátási körülmények között.....	70
5.3.2 2022-ben végzett kísérleti eredmények	76
5.3.2.1 Az előző évi (2021) kezelés hatása a burgonya növények kelésére	76
5.3.2.2 Az előző évi (2021) kezelések és a szárazságstressz (W2) hatása a növény magasságára	77
5.3.2.3 Az előző évi (2021) kezelések és a szárazságstressz hatása az friss földfeletti biomassa (FFB) és száraz földfeletti biomassa (SzFB) mennyiségére.....	79
5.3.2.4 Az előző évi (2021) kezelések és a szárazságstressz hatása a gumók számára (GSZ), hozamára (GT) és méret szerinti eloszlására	81
5.3.2.5 A szárazságstressz hatása a gumók méret szerinti eloszlására	84
5.3.2.6 Az előző évi (2021) kezelések és a szárazságstressz hatása a gumók méret szerinti eloszlására	88
6. KÖVETKEZTETÉSEK, JAVASLATOK.....	94
7. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK	103
8. GYAKORLATBAN ALKALMAZHATÓ EREDMÉNYEK	104
9. ÖSSZEFOGLALÁS.....	105
10. SUMMARY	108
11. IRODALOM.....	111

PUBLIKÁCIÓK AZ ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉBEN.....	127
KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS	131
NYILATKOZATOK	132
MELLÉKLETEK	133

1. BEVEZETÉS

Az emberiség egyik legégetőbb problémája az éghajlatváltozás és az abból eredő olyan szélsőséges időjárási anomáliák, mint az erős hőhullámok, vagy a hosszú aszályos periódusok. A növénytermesztési ágazat éghajlati tényezőknek kiszolgáltatottsága közvetve veszélyezteti az élelmiszerellátás biztonságát és még megközelítő becsléseket sem tudunk a várható termés alakulásával kapcsolatban kalkulálni. Az élet minden területén érzékelhetővé válik ez a negatív hatás, mely ellen csak mérséklő lépéseket tehetünk. Az ágazat globális éghajlatváltozással szembeni szerepvállalása kiemelten fontos. A modern növénynevelés célja az, hogy az adott mikroklímához igazodó, kiváló stressztoleranciával rendelkező növényfajok, fajták nevelésével 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. Számos kutatás született már a szárazság stressz illetve az azzal szorosan összefüggő ozmotikus stressz témakörben. A növény szárazságtűrése, ozmotikus stressztűrése a sajátos morfológiai, fiziológiai és biokémiai tulajdonságaitól függ.

A burgonya hosszú ideje már töretlen népszerűségű. Felhasználási lehetőségei éppoly sokszínűek, mint amilyen színesek tudnak lenni a különböző fajták. Több ezer burgonyafajta ismert, nemzetközi szinten az emberiség egyik közkedvelt élelemforrása. Ennek ellenére hazánkban csak körülbelül 8 ezer hektáron folyik a termesztés, jelentős importra szorulunk. 2030-ra a magyar kormány kitűzött célja az önellátóság, a magyar piac teljes lefedése a hazai burgonyából. Magyarországon a termőterületeken az öntözés alkalmazása nem általános, a területeink csupán 1–2 %-án alkalmazzák. 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.

A burgonyát (*Solanum tuberosum* L., *Solanaceae*) 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 (FAO, 2023). Előkelő helyét indokolja magas termőképessége és tápértéke (ZHANG et al., 2017), valamint gumójában lévő keményítő mellett az értékes vitaminok (C, B₁, B₂, B₆, B₉), nyomelemek, ételmi rostok és fehérje (körülbelül 2 %) (BEALS, 2019; TOLESSA, 2018), antioxidáns vegyületek,

például karotinoidok (lutein, zeaxantin, violaxantin). Biológiaiilag aktív vegyületeinek köszönhetően, mint funkcionális élelmiszer szerepe kiemelkedő (KHALID et al., 2020).

Az elmúlt években a termőterületek Magyarországon 8 ezer hektár alá zsugorodtak és bár a hektáronkénti termésátlag növekedést mutat, az összes betakarított termésmennyiség a 2013-as (487 359 tonna) évhez képest kevesebb, mint felére (209 954 tonna) csökkent 2024-ben (KSH, 2024). A területi csökkenés a megnehezedett termesztési körülmények, mint a kiszámíthatatlan időjárás és a fogyasztói kíváncságnak való megfelelés, valamint a külföldről beáramló burgonya együttes hatásaként valószínűsíthető.

KÓSA (1980) jó néhány évtizeddel ezelőtt még úgy írt a Nyírség területéről, mint a legjelentősebb burgonyatermesztő tájegység, a „szabolcsi krumpli”-ként emlegeti az erről a vidékről származó burgonyát. Feltehetően már a 18. század végén megindulhatott a burgonyatermesztés ezen a vidéken. Az első világháború utáni időszakban a Nyírséget „krumpliország”, a burgonyát magát a „Nyírség jó hírének hordozója” megnevezéssel illették. A '40-es évek kezdetén a Nyírségnek kiemelkedő szerepe volt a főváros élelmiszerellátásában, melynek egyik fő tétele a burgonya volt. Ezen a területen csoportosult az ipar java, 1938-ban 72 szeszfőzde, ipari szeszgyár és keményítőgyár üzemelt. Mindezek ellenére sosem válhatott igazán húzó ágazattá a burgonya termesztése, hiszen akkoriban a talajelőkészítési hibák, a nem megfelelő trágyázás, a vetőburgonya minőségi gondjai és a növény fejlődési igényeihez igazított termesztés mind alapvető hiányosságként jelentkeztek. A burgonya növénykultúra fejlesztését a nyíregyházi Homokjavító Kísérleti Gazdaság létrehozásával igyekeztek segíteni, 1927-ben erre a célra Nyíregyháza város 50 hold földterületet adományozott és a telep létrehozása 1929-ben valósult meg.

A mai nevén Debreceni Egyetem Agrár Kutató Intézetek és Tangazdaság Nyíregyházi Kutatóintéztében beállított, Westsik Vilmos nevéhez köthető homoki vetésforgó kísérlet a régióban nagy jelentőségű, mely az évtizedeken át és napjainkban is fenntartott, a Nyírség specifikus ökológiai és edafikus viszonyaihoz történő alkalmazkodás jó példája. Szabolcs-Szatmár-Bereg vármegye termőterületeire a kedvezőtlen ökológiai tulajdonságú homoktalaj jellemző, mely termőképességi szempontból gyenge adottságú és ez jelentősen szűkíti a rajta gazdaságosan termesztendő növényfajok körét. Európa második legrégebbi vetésforgó jellegű kísérletében a parlagoltatás, a szalma, istálló- és zöldtrágyázás, valamint a műtrágyázás talajtermékenységre kifejtett hatását kísérhetjük figyelemmel. Westsik Vilmos munkásságához köthető az intézet szakmai alapjainak és hírnevének megalapozása, a homoktalajok racionális hasznosításának gyakorlata, és a szakmai tanácsadás fejlesztése. A vetésforgó egyik meghatározó növénye a burgonya volt (ZSOMBIK, 2012).

Fontos még megemlíteni az első magyar növénynemesítő generáció egyik fontos alakját Teichmann Vilmost is, akinek a nevéhez a hazai burgonyanemesítés megalapítása köthető. A Kisvárdán 1943-ban megalakult Növénynemesítő Telepen folytatott nemesítési tevékenysége a burgonya mellett más növényfajokra, mint a rozs, csillagfürt, homoki lucerna, szösös bükköny, napraforgó is kiterjedt. Elkötelezett burgonya nemesítési munkájának első jelentős gyümölcse a Gülbaba (1929-ben állami elismerést nyert) volt, melyet később a Margit (1935), az Aranyalma (1940), a Boldogító (1955), a Lilla (1955), a Kisvárdai Rózsa (1955), a Mindenes (1960) és a Somogyi sárga kifli (1960) burgonya fajták követtek (KOVÁCS, 1998; BORUS, 2003).

A Nyíregyházi Kutatóintézet szerepe elvitathatatlan a térségi és hazai növénytermesztésben. Az intézet fajtanemesítés és fenntartás szempontjából kiemelkedő jelentőséggel bír a régióban, 21 növényfaj fenntartó nemesítésén felül közel 38 elismert fajtával rendelkezik. A fajtarepertoárban a klasszikus, térségre adaptált fajták megléte mellett fontos feladat a biológiai alapok folyamatos fejlesztése, a biológiai diverzitás megőrzése, valamint a nagyüzemi növényektől eltérő, tájspecifikus fajok termesztési gyakorlatának kidolgozása is. A gumós növények és azon belül is a burgonya esetében a hazai ökológiai viszonyok között is biztonságosan termeszthető, kórokozókkal szemben ellenálló, piaci igényeknek megfelelő fajta/fajták fenntartása a mérvadó. A nemesítési tevékenységbe beletartozik az elismert burgonya fajta/fajták ('Boglárka') nemesítése és termesztéstechnológiai korszerűsítés, a génanyagok fenntartása, megfigyelése, a piaci igényeket kielégítő vonalak kiemelése, *Fusarium infestans* elleni hatékonyabb növényvédelmi technológiák kidolgozása és vírusmentes szaporítóanyag előállítása is.

2. CÉLKITŰZÉS

A kutatás során végzett munka 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 három különböző vízmennyiség kijuttatásával és különböző méretű vetőgumók felhasználásával
- Fejlődési, morfológiai és termésjellemzők (gumók száma, tömeg- és méreteloszlása) összehasonlítása szárazságstressz alatt;
- A szárazság utóhatásainak kimutatása a következő tenyészidőszakban;
- A vizsgált burgonya nemesítési vonalak fejlődési, morfológiai és termésjellemzőinek összehasonlítása ismert szárazságtűrő kontroll fajtákkal ('Desiree', 'Boglárka').

3. IRODALMI ÁTTEKINTÉS

3.1 Az ozmotikus stressz és annak hatása a burgonyára

A „stressz” kifejezés eredete angol, jelentése nyomás vagy feszültség, mely egy nem specifikus ingerként definiálható és három periódusból - egy kezdeti alarm vagy vészreakció, az ellenállás és végső soron a teljes kimerülés állapotából - tevődik össze (SELYE, 1956). Számos kísérletet végeztek a szárazságstresszhez köthető tulajdonságok azonosítására és a kívánt tulajdonságú genotípusok kiválasztására különböző növényfajoknál. Például marker-értékelésen keresztül történő szelekcióval búza, kukorica, rizs, szója, cukornád és dohány növényfajoknál; vetőmag előkezelés (priming) alkalmazásával rizs, kukorica, szója, pamut, napraforgó, búza növényfajoknál; különböző fitohormonok használatával burgonyánál (jázmonsav, JA), vagy szójánál, rizsnél, kukoricánál (abszcizinsav, ABA); ozmoprotektánsokat (mint a mannit) alkalmaztak kukorica, rizs, árpa, dohány, cukorrépa esetében; szilíciumot paradicsom, napraforgó és búza növényfajoknál; káliumot búza, napraforgó, rizs, kukorica, árpa növényfajoknál (SELEIMAN et al., 2021; BANDURSKA, 2022) és burgonyánál is (SPITTERS és SCHAPENDONK, 1990; HILL et al., 2021; NASIR és TÓTH, 2022). SPITTERS és SCHAPENDONK (1990) szimulációs kísérletében a termés szárazanyag felhalmozódása és a talajnedvesség kapcsolatát vizsgálták. Rámutattak arra, hogy szoros kapcsolat van a növényi párologtatás és a növekedés üteme között és a genotípuson felül a növényt érő egyéb hatásoknak is jelentős befolyásoló szerepe volt a termés alakulásában.

A stressztűrési tulajdonságok egy része sejt- és/vagy szöveti szinten is kimutatható, például ozmotikumok (mint stresszorok) alkalmazásával, amely laboratóriumi, *in vitro* (HURA et al., 2010, SAKTHIVELU et al., 2008; BAJJI et al., 2000) feltételek mellett tesztelhető/modellezhető. HURA et al. (2010) kutatócsoportja a PEG 6000 ozmotikum által kiváltott ozmotikus stressz hatását vizsgálta tritikálé növényfajban. A levelek relatív víztartalmát (RWC) és klorofill-fluoreszcencia értékeket mértek 12 különböző tritikálé fajtánál. Mivel az ozmoreguláció fenntartása fontos szerepet játszik a növény stressztűrésében, és az ozmotikus tolerancia valamint a szárazságtűrés közötti kapcsolat igen szoros, így a szelekciós folyamat laboratóriumi körülmények között bizonyítottan kivitelezhető. Az ozmoreguláció segítő szerepet tölt be a növény életében, hiszen amikor vízhiány lép fel, a növény vízháztartása szinten tartása érdekében olyan helyettesítő vegyületeket termel, mint a polialkoholok vagy szénhidrátok. Ezek képződése növényfajonként vagy akár fajtánként is igen eltérő. HUDÁK et al. (2009) kutatócsoportja

megállapította, hogy a szacharóz növekedése a 0,8 M koncentrációjú mannit alkalmazásával indukált szárazságstresszre, toleráns fajták esetében kisebb mértékű volt, mint az érzékenyebbek esetében, tehát a szacharóz mint biokémiai marker is alkalmazható az ozmotikus stressz tolerancia kutatások során. SAKTHIVELU et al. (2008) szója *in vitro* kallusz tenyészeteken vizsgálta a PEG 6000 ozmotikum (4 és 6 % koncentrációk) hatását. A legmagasabb dózisban alkalmazott PEG 57,8 és 68,5 %-os csökkenést okozott a 'Hardee' és 'JS335' genotípusok hajtásindukációjában. BAJJI et al. (2000) kutatócsoportja durum búza kallusz tenyészeteken vizsgálta a PEG hatását különböző koncentrációkban. Mérték a relatív növekedés sebességét, a száraz tömeget (%), az ozmotikus potenciált, a regenerálódási szakasz végén a szervetlen és szerves oldott anyagok változását a stressz hatására. A regenerálódási szakaszban az ozmotikus potenciál kivételével minden vizsgált paraméter normális tartományba állt vissza. Vizsgálataik alátámasztják a sejtszintű ozmotikus stresszre adott válaszok jelentőségét.

GOPAL és IWAMA (2007) a PEG és a szorbit hatását tanulmányozta a burgonya *in vitro* hajtástenyészetek morfológiai fejlődésére. Három burgonya genotípust vizsgáltak meg, melyeknek korábban tesztelték a szántóföldi gyökérnövekedésési teljesítményét. Az *in vitro* tesztben MS (MURASHIGE és SKOOG, 1964) táptalajhoz különböző koncentrációban (0.1-0,4 M és 0,003-0,012 M) szorbitot és PEG-et adagoltak és vizsgálták 90 nap elteltével a növénymagasságot, a friss hajtások tömegét, a teljes gyökérhosszt, a gyökérátmérőt, a gyökér kiterjedtséget és a gyökér száraz tömegét. Eredményeikből arra következtettek, hogy az *in vitro* tesztek hasonlóan alakultak, mint a szabadföldi körülmények között végzetek.

Az ozmotikus stressz által érintett morfológiai és fiziológiai tulajdonságokban bekövetkezett változások *in vivo* körülmények között hasonlóak az *in vitro* szövettenyészetekben megfigyeltekhez. A túlélési arány, a hajtáshossz, a friss és száraz tömeg, valamint a gyökerek száma és hossza a leggyakrabban érintett jellemzők (LAHLOU és LEDENT, 2005; BOGUSZEWSKA-MANÍKOWSKA et al., 2020; ALBISKI et al., 2012; SIRAIT és CHARLOQ, 2017). A kallusztenyésztés a hajtástenyésztés mellett genotípusok ozmotikus stressztűrő képességének vizsgálatára is alkalmas volt, és az eredmények szoros összefüggést mutattak genotípusok szárazság alatti szántóföldi teljesítményével (DOBRÁNSZKI et al., 2003). Az *in vitro* modell jó alapot nyújtott a genotípusok szárazságtűrésének értékeléséhez más kísérletekben is (ZAKI és RADWAN, 2022; GELMESA et al., 2017). A morfológiai tényezők, köztük a gyökérfejlődési karakterek (RYAN et al., 2016), nagy jelentőséggel bírnak a szöveti károsodás megelőzése és a vízvesztés megakadályozása és csökkentésének folyamatában (OBIDIEGWU et al., 2015,

ALICHE et al., 2018). A növény földalatti része, a gyökérrendszer szerepe komplex, hiszen a rögzítésen kívül a víz- és tápanyagfelvétel mellett fontos feladata van az abiotikus stresszreakciók kialakulásában is (BANDURSKA, 2022; RYAN et al., 2016). A tartós szárazság adaptív reakciókat indíthat el a növényben, melyek a gyökerek szerkezeti és működési tulajdonságaiban is változást indukálhatnak (RYAN et al., 2016), ami a vízstressz kezelésében is fontos szerepet játszik (HILL et al., 2021; LAHLOU és LEDENT, 2005; NASIR és TÓTH, 2021a). Általánosságban a szárazság a burgonya földfeletti növényi részeire fokozottabb hatást gyakorol, mint a föld alatt elhelyezkedőkre (BOGUSZEWSKA-MAŃKOWSKA et al., 2020; NASIR és TÓTH 2021b), de más növénykultúrák esetében is megfigyelhető ez az állítás (BOUDIAR et al., 2020; XU et al., 2015; KHAN et al., 2010). A gyökér alapvetően nagyon változatos lehet morfológiai, funkció, sőt szövettani szempontból is mind szabadföldön, termesztő konténerekben, hidrokultúrák rendszerekben, és *in vitro* növények esetében is (RYAN et al., 2016, JÁMBOR-BENCZÚR et al., 2001). A gyökeresedési jellemzők alapján történő csoportosítás a genotípusok egyes tulajdonságaira laboratóriumi körülmények között kivitelezhető és általánosan alkalmazott nemesítési technika (RAO et al., 2016). A gyökérnövekedés és a gyökér vízfelvétele közti egyenes irányú összefüggéseket IWAMA (2008) *in vitro* és szántóföldi körülmények között tesztekkel is bizonyította. Beszámoltak ezzel ellentétes eredményekről is a gyökérnövekedési paraméterekkel kapcsolatban (gyökérhossz és száraz tömeg, gyökérszám) ami azzal magyarázható, hogy egyes toleráns fajták megnövekedett gyökérhosszal tudtak a stresszre reagálni, míg más, érzékenyebb fajtáknál a gyökérhossz nem változott vagy csökkent a referencia vonalakkal összehasonlítva (HILL et al., 2021, NASIR és TÓTH, 2022, BOGUSZEWSKA-MAŃKOWSKA et al., 2020). Mindezek mellett az eredmények variabilitásához a genotípusok különbözőségein túl a kísérletek beállítása valamint a környezeti tényezők is hozzájárulhatnak (HILL et al., 2021).

Ozmotikusan aktív vegyületeket, mint például az inert és nem penetráló különböző molekulaméretű polietilénlikolt (PEG), vagy a cukoralkoholokat, mint a D-mannitot és a szorbitot, általánosan alkalmazzák a növényeknél ozmotikus stressz kiváltására (PÉREZ-CLEMENTE és GÓMEZ-CADENAS, 2012). Bár a cukrok és származékaik jelentősen növelhetik a felhasznált közeg ozmózisnyomását, azt is figyelembe kell venni, hogy az *in vitro* növények felvehetik és metabolizálhatják őket, valamint a magas cukortartalom (8 %) révén fokozódhat a gumófejlődés burgonya növényfajnál is (VREUGDENHIL et al., 1998). A PEG egy semleges polimer, nagy molekulatömege alkalmassá teszi a táptalajhoz adva vízhiány

indukálására, mert nem tud átjutni a növény sejtfalán (CARPITA et al., 1979; ZGALLAI et al., 2005; KAYDAN és YAGMUR, 2008; VERSLUES et al., 1998).

ZGALLAI et al. (2005) hidropóniás termesztési rendszerben fejlődő paradicsom kultúrán tesztelte a PEG 6000 által kiváltott ozmotikus stressz hatását az élettani és biokémiai folyamatokra. Megállapította, hogy az alkalmazott közepes és erős szintű vízstressz (-0,51 és -1,22 Mpa) hatással volt a vizsgált paraméterekre (nettó fotoszintetikus ráta (pn), transzspirációs sebesség (Pn), a vízfelhasználás hatékonysága (Pn/E), a levél víz és ozmotikus potenciálja és klorofill-fluoreszcencia esetén csökkenést, prolin tartalom esetén tízszeres növekedést tapasztalt. Az ozmotikum toxicitási hatását nem találták a vizsgált növénykultúránál. Egy másik kísérletben (KAYDAN és YAGMUR, 2008) különböző magméretű tritikálé kelési (4. és 8. napon) és fejlődési (hajtás és gyökérhossz, száraz hajtás és gyökértömeg, gyökér/hajtás arányt, és a hajtások relatív víztartalmát (RWC)) képességét vizsgálták NaCl és PEG 6000 különböző vizes oldatainak (-0,45, -0,77, -1,03, -1,44 MP ozmotikus potenciálon) hatására. Megállapították, hogy a PEG 6000 negatív hatása a tritikálé magvak kelési arányára magasabb volt, mint a NaCl-dal kezeltkére. A nagyobb magvaknál magasabb kelési rátát figyeltek mind a kontrollnál, mind a PEG-gel kezeltéknél. A magasabb és alacsonyabb ozmotikus szinten a PEG és a NaCl-dal kezelt magvak esetében is a nagyméretű magvak voltak képesek magasabb toleranciára. VERSLUES et al. (1998) kutatása a PEG 6000 és az O₂ kölcsönhatásait vizsgálta kukorica növényfajon, ugyanis a PEG csökkenti az oxigén mozgását és növeli a viszkozitást az oldatban. Megfigyelték a kukorica növények gyökérnövekedését és anyagcsere folyamatait és megállapították, hogy csökkent a gyökérnövekedés sebessége, valamint nőtt a prolin és alanin koncentráció a gyökérvégeken és gyökércsúcsokon, ami a hypoxiára adott válaszként értelmezhető. Azoknál a növényeknél, ahol a PEG-gel kiegészített oldatba oxigént adagoltak, ott a hypoxia tünetei mérséklődtek. A szárazság- és sótűrési tulajdonságok kutatásában a szomatikus hibridek (SH), MOLNÁR et al. (2021) kutatása alapján a *Solanum chacoense* (vad) és a *Solanum tuberosum* keresztezések alkalmazása is figyelemre méltó. Az ilyen hibridek a kívánt tulajdonságra (például stressztűrés) a megnövekedett genetikai változások következtében nagyobb eséllyel szelektálhatóak. Az MMR-hiányos (Mismatch Repair-deficiency) hibridekben a DNS hibajavításért felelős része nincs jelen, ezzel magyarázható a genetikai variabilitás, illetve a stressztűrés vagy jobb alkalmazkodóképesség kifejlődése. A kutatás során megvizsgálták *in vitro* és *ex vitro* körülmények között a hibridek alkalmazkodóképességét a különböző stressz szintekhez (PEG 6000, 5, 15 % koncentrációk és NaCl, 40-160 mM töménységek alkalmazásával). A morfológiai paramétereken kívül vizsgálták a prolin tartalmat, valamint

klorofill fluoreszcencia mértékét és a fotoszintetikus hatékonyságot is. A szülői vonalak érzékenyek voltak a vízhiányra. Az MMR-hiányos hibridek jobb ellenállóképességet mutattak nemcsak só és vízstresszel, hanem biotikus faktorról (*Leptinotarsa decemlineata*) szemben is, azokhoz a hibridekhez képest, amelyeknél nem hiányzott az MMR. A D-mannitot bizonyos növényfajok képesek előállítani és metabolizálni. TRIP et al. (1964) 26 növényfajt vizsgált, ezek közül a fehér kőris és a közönséges orgona a fruktózhoz vagy glükózhoz hasonlóan hasznosította az ozmotikumot. Ennek ellenére az ozmotikus stressztűrési kísérletekben a D-mannitot általában hatékonyan tudják alkalmazni (PÉREZ-CLEMENTE és GÓMEZ-CADENAS, 2012). GORJI (2011) például *in vitro* ozmotikus stressz-szelekciós vizsgálataiban az ozmotikum 0,15 és 10 M közötti töménységét alkalmazta, ahol a 0,3 M koncentráció esetében tapasztalt a vizsgált burgonya genotípusok között ozmotikus stresszre szignifikáns különbséget a gyökérfejlődési paraméterekben.

A vizsgált növények növekedési paramétereit a stresszrezisztencia-kísérletek során erősen befolyásolta az ozmotikus stressz, sőt leggyakrabban gátolta. A genotípusokat stressztűrőképességük szerint megfelelően csak stresszindex kialakításával lehetett megkülönböztetni a mért növekedési paraméterek alapján (DOBRÁNSZKI et al., 2003; EVERS et al., 2007; HASSANPANAH, 2010), hiszen így a genotípusra jellemző sajátos tulajdonságok figyelembevételével célzottan történhet az ozmotikus stressztoleranciára irányuló összehasonlító elemzés és kiértékelés. Bár a morfo–fiziológiai karaktereken alapuló stresszindex használható a burgonya genotípusok megkülönböztetésére (DOBRÁNSZKI et al., 2003; LAHLOU és LEDENT, 2005; STECKEL és GRAY, 1979; GORJI et al., 2012; LAISINA et al., 2021), a mennyiségi tulajdonságok lókuszainak (QTL) azonosításával a morfológiai karakterek meghatározása (ANITHAKUMARI et al., 2011; GORJI et al., 2012), valamint molekuláris és biokémiai markerek alkalmazása, mint a szárazságtűrés vizsgálatának eszköze, egyre elterjedtebb módszerek (ANITHAKUMARI et al., 2011).

3.2 A szárazságstressz és annak hatása a burgonyára

A változó éghajlat és a globális felmelegedés hatására egyre rendszeresebbé válnak az aszályos periódusok a vegetációs időszakban (ANITHAKUMARI et al., 2011). Az olyan területeken, ahol nem megoldható az öntözőrendszer kialakítása (THIELE et al., 2010), vagy ahol jellemzőek a hosszú, csapadékmentes periódusok, a vízhiány okozta stressz fokozottan jelen van. Az olyan abiotikus stresszek, mint a szárazság, a só-, hő- vagy hideg stressz akár 50–70 %-os termés kiesést is okozhat a növénytermesztésben világszerte minden évben.

Magyarország területei is erősen érintettek, a csapadékhiány és az aszály jelentős károkat okozott 2021-ben az Alföld területein. A Debrecen környéki csapadék 133,9 mm-rel maradt el a 30 éves átlagtól. Az éves hőmérséklet 1,1 °C-kal magasabb volt, de a nyári hónapokban akár 4-5 °C-kal is meghaladta az átlagot. A magasabb hőmérséklet és a vízhiány különösen a burgonyatermesztést érintette, ahol a termésingadozás akár 60%-ot is elérhet (SÁRVÁRI, 2022). Látóképen végzett kísérlet során ÁBRAHÁM és SÁRVÁRI (2006) 'Desiree', 'Hópehely', 'White Lady', 'Lilla', 'Szászszorszép', 'Kondor', 'Goliat' és 'Kuroda' burgonya fajtákat vizsgált. A kísérlet célja az volt, hogy feltérképezzék a fajták közötti különbségeket, az évjáratok hatását (2004 és 2005 években), valamint az öntözés hatását a termés mennyiségére és minőségére. A kutatás eredményeként megállapították, hogy megfelelő öntözés mellett a hozamok és minőségi paraméterek (különösen a 'Lilla' és 'Desiree' fajták esetében) javultak, de a környezeti tényezők és a fajták alkalmazkodó képessége is jelentős hatással voltak az eredményekre.

A globális éghajlatváltozás egy egyre súlyosbodó probléma, ezért kiemelt feladat a többszörös stresszhatásnak ellenálló növények nemesítése (VERMA és DEEPTI, 2016). A növény életében az egyik meghatározó abiotikus stressz a szárazság. Az ökológiai tényezők közül a víz szerepe a növekedésben és fejlődésben vitathatatlan. A vízhiány, vagy aszály egy olyan állapotként írható le, mikor a növény fejlődéshez és növekedéshez a létfontosságú vízmennyiség hiányzik (LATIF, 2014).

A burgonya egy alapvetően jó vízgadálkodású növényfaj, azonban a sekély gyökérrendszere miatt a hosszú, víznélküli periódusokat nehezen viseli. A szárazság jellemzően limitáló faktor a gumótermés mennyiségét tekintve (HARRIS, 1978; MONNEVEUX et al., 2013), valamint a magas hőmérsékletre is (BURTON, 1981) kifejezetten érzékeny növényfaj a burgonya, habár a genotípusok között tűrőképességben nagy különbségek lehetnek (PAOLETTI et al., 1999). A növényt természetes közegében biotikus és abiotikus stresszhatások érik. A növények alkalmazkodása a megváltozott környezeti feltételekhez élettani és morfológiai módosulásokkal történik, melyeket sejt és molekuláris szintű változások kísérnek és előznek meg (SELEIMAN et al., 2021; OBIDIEGWU et al., 2015; ANSARI et al., 2019). Ez a komplex, többtényezős, szárazságtűrés kialakulásában részt vevő folyamat és maga az érzékenység és változékonyság is fajonként, sőt akár az egyes burgonya fajták között is igen eltérő lehet (PAOLETTI et al., 1999). GERVAIS et al. (2021) kutatócsoportja kísérletében 56 burgonya genotípust (melyekből 54 kereskedelembe is kapható fajta és 2 nemesítési vonal) vizsgált üvegházi termesztési körülmények között. Keresték azokat a vizsgálati paramétereket, melyekkel sikeres lehet a

szárazságstresszre történő szelekció. A kezelt állomány gumótermése alapján kiemelték 6 burgonya genotípust, melyek különféleképpen reagáltak a szárazságstresszre. További vizsgálataikból és eredményeikből megállapították, hogy a fotoszintézis aránya, a pillanatnyi vízfelhasználási hatékonyság (WUE) és a levél fehérjetartalom szelekciós kritériumként használható a burgonya genotípusoknál.

A növénytermelők körében előtérbe kerül az olyan kiváló szárazságtűrési tulajdonsággal rendelkező növényfajok és fajták iránti igény, mellyekkel a jövőbeni biztonságos élelmiszerellátást képesek lesznek kiszolgálni (GOPAL és IWAMA, 2007; IMPA et al., 2012; HANDAYANI et al., 2019). A különböző precíziós növénytermesztési technikák alkalmazásával hatékonyan mérsékelhető az abiotikus stresszek negatív hatása. Az ültetési időpont adott mikroklímájú területhez és növényfajhoz történő helyes megválasztása hasznos lehet a növényt érő hatások (például alacsony a levegő páratartalma és magas a hőmérséklet) elkerülése érdekében. A termesztési környezet drónnal történő ellenőrzése (levegő hőmérséklete, talaj hőmérséklete, talaj nedvességtartalma, talaj tápanyag státusza) a termesztési időszak alatt segítség lehet a cselekvési terv kidolgozásában (például az öntözésben, műtrágyázásban vagy talajtakarás alkalmazásában). A jó mezőgazdasági gyakorlat mellett a helyesen megválasztott, stabil abiotikus stressztűréssel rendelkező burgonya fajták kiválasztása elengedhetetlen a kívánt maximális terméshozam eléréséhez. A morfológiai és fiziológiai (pl. gázcseré folyamatokon, fotoszintetikus rátán, relatív víztartalmon, klorofill-tartalmon alapuló értékek) szelekciós markerek kiválasztása is fontos eleme a nemesítési munkának. A fenotipizálás genetikai ismeretekkel párosítva szintén hatékonyan használható. A különböző gyökérfenotipizálási módszerek, mint az RGB vagy hiperspektrális képalkotás, alkalmazhatóak burgonya és más növényfajok esetében is. A burgonya gyökérzete és a szárazságtűrése között erős korreláció van. A vad fajok/fajták bevonásával is lehetőség van az abiotikus stressztolerancia javítására, például introgresszióval, azaz egy faj tulajdonságainak hozzáadódásával egy másikéhoz, keresztezések révén. A géntechnológiai kutatások (transzgénikus vagy genomszekesztési módszerek) az abiotikus stressz témában tovább fejlődnek, az abiotikus stresszre és terméshozam javításra irányuló egyidejű genetikai vizsgálatok szükségszerűek az ellenálló, sikeresen termesztendő burgonya fajták nemesítéséhez (HANDAYANI et al., 2019). A burgonya termesztésében a fő akadályozó tényező a szárazságra való érzékenysége (NASIR és TÓTH, 2022), ezért a elsőrendű nemesítési irány a fajták szárazságtűrésének és vízhasznosítási hatékonyságának javítása a termésvesztés csökkentése érdekében.

A burgonya fejlődési szakaszaiban (vegetatív növekedés, virágzás, gumóképzés, gumókialakulás, érettség) a vízhiány időben és időtartamban is változást, valamint elhúzódó kelést eredményezhet, melyek következményeként nagy eséllyel jelentős terméseszkökenés és minőségi romlás jelentkezik (HOELLE et al., 2023; IBRAHIM et al., 2023; MARTÍNEZ et al., 2021). HOELLE et al. (2023) stressz súlyossági indexet (SSI) számolt 13 burgonya genotípusnál, mely a talajmátrix változásai mellett figyelembe veszi a stressz időtartamát a növény adott fejlődési stádiumában. A kísérletben 4 féle vízádagot juttattak ki, valamint 2 talajtípuson (homok és agyag) vizsgálták a burgonya genotípusokat a különböző fejlődési stádiumokban 2 éven át. A vízhiány idejétől (a fejlődés korai vagy későbbi stádiuma) és a fajták tulajdonságaitól (korai vagy kései) függően a szárazság akár 95 %-os terméseszkökenést is eredményezett. Más kutatások is megerősítik azt a tényt, hogy a szárazság és a hőstressz együttes hatásaként a növény fejlődése oly mértékben akadályozottá válhat, hogy az akár 50–70 %-os terméseszkökenést is eredményezhet (BOYER, 1982; MITTLER, 2006).

IBRAHIM et al. (2023) kutatása 29 burgonya genotípus morfológiai és fiziológiai tulajdonságait vizsgálta szárazságstressz hatására. Megállapította, hogy a kísérletben szereplő genotípusok mindegyike eltérően reagált a szárazságstresszre. Az eredmények alapján 7 genotípust emelt ki hozambeli teljesítményük szerint a nemesítési program folytatására. MARTÍNEZ et al. (2021) 7 burgonya fajtán vizsgálta a termőképességet a környezeti tényezők változásának hatására öntözött és öntözetlen körülmények között. A termésalakulás az öntözetlen területen 27 és 34 %-os csökkenést mutatott, valamint a vízhiány negatívan befolyásolta a gumó méret eloszlást is (a 65 mm feletti gumók 50-60 %-kal csökkentek). Az öntözetlen területeken a 'Porvenir', 'Patagonia-INIA', 'Yaike', és a 'Puyehue-INIA' burgonya fajták mutattak jó szárazságtűrést. A legmegfelelőbbnek 6 indexet közölt, melyek alkalmasnak bizonyultak a kísérleti szempontoknak (TOL, MP, GMP, Harm, STI és HMP). A kísérlet Chile déli részén történt, ahol ideálisak a körülmények a növénytermesztésre, azonban a kutató az eredményekből arra következtetett, hogy még az ilyen kivételes területeken is fontos a jó szárazságtűrésű burgonya fajta kiválasztása, illetve javasolta még a kiegészítő öntözést is (60–120 DAP között) a kívánt terméseszkökenés elérése érdekében.

A kelés időszakában a burgonya a gumóban felhalmozódott víz miatt kevésbé érzékeny a szárazságra (HUNTENBURG et al., 2023), az 50 grammot meghaladó gumók elegendő vizet tartalmaznak a hajtásnövekedéshez (RIDWAN et al., 2019). Néhány szárazságérzékeny burgonya genotípus esetében a szárazság a kelés késleltetését idézheti elő (IBRAHIM et al., 2023). HUNTENBURG et al. (2023) kutatása a burgonya gumó térfogat növekedését és víztartalmának változását vizsgálta szárazság okozta stressz alatt mágneses

magrezonancia képalkotás (MRI) segítségével. A mérések 4 óránként történtek a talaj kiszáradása és öntözése között eltelt időszakban. A jól öntözött növények növekedési mintázata és a gumók átlagos térfogata napi szintű növekedést mutatott, míg vízhiányos környezetben a levelek sztómazárodása és a hajtások száradása volt jellemző, valamint csökkent a gumók víztartalma és térfogata is. A talaj nedvességétől függetlenül a gumók a levélzet napi ellátásához szükséges vizet felvették, és a gumók víztartalma és térfogata minimális csökkenést mutatott. Az öntözés hatására ez a két paraméter helyreállt. A kísérlet eredményeiből arra következtettek, hogy a burgonya a gumóban raktározott víz segítségével képes ellátni a hajtásokat vízzel, azonban a növény éjszakai vízfelvételének meg kell haladnia a nappali vízfelhasználás mértékét a gumó nettó térfogat-növekedéséhez. A RIDWAN et al. (2019) által közölt kísérletben két burgonya fajta ('Russet Burbank' és 'Atlantic') eredményeiről számolt be, melyben különböző fiziológiai érettségű gumókat használtak különböző talajhőmérsékletű (10, 15 és 20 °C) és különböző vízpotenciálú (-0,2 és -0,6 Mpa közötti) termesztőközegben (vermikulit). A vízpotenciál csökkenése 10 °C-os talajhőmérséklet mellett a kelési szakasz meghosszabbodását (20-ról 23 napra) idézte elő a vizsgált fiatalabb és idősebb gumóknál egyaránt ('Atlantic' fajtánál), azonban gyenge interakciót figyeltek meg a fajta-talajhőmérséklet-vízpotenciál tekintetében. Az eredményekből azt a konklúziót vonták le, hogy a kísérletben szereplő fajták lassú kezdeti növekedést mutattak, melyet gyors lineáris növekedés követett, amit a talajhőmérséklet befolyásolhatott (az emelkedett hőmérséklet lerövidíti a kelési időszakot), valamint az ültetési talajnedvesség szintje jobban mérhető különbségeket okozott magas hőmérsékleten (pl. szárazabb körülmények között fejlődött gumóknál lassabb ütemben történt a kelés).

A virágzás idejét és dinamikáját is befolyásolhatja a szárazság okozta stressz, jellemzően késleltetett virágzást figyeltek meg (HOELLE et al., 2023; LI et al., 2023; RODRÍGUEZ et al., 2016). A fejlődés korai stádiumában jelentkező szárazságstressz főként a szárnövekedés gátlásával jár (HILL et al., 2021), melyet a stresszhatás korán látható tüneteként értelmezhetünk (NASIR és TÓTH, 2022). A virágzási idő hossza és a mértéke elsősorban a nappalhossztól függ, a magasabb hőmérséklet és a hosszabb megvilágítás növeli a virágok számát (ALMEKINDERS és STRUIK, 1996). Más tényezők, mint például a növény-sűrűség (ALMEKINDERS, 1991) szintén hatással vannak a virágzásra, de az éjszakai hőmérséklet (MARKAROV, 2002), a tápanyagellátás (ZELALEM et al., 2009), és a genotípus is befolyásolja azt (EBRAHIM et al., 2018, ALMEKINDERS és WIERSEMA,

1991, TEKALIGN és HAMMES, 2005). A gumóméret hatásáról is beszámoltak, mely szerint minél nagyobb a gumó, annál rövidebb idő telik el a virágzásig (EBRAHIM et al., 2018).

Számos alkalommal a növénymagasság csökkenéséről számoltak be (NASIR és TÓTH, 2021b; LI et al., 2023; HILL et al., 2021), de esetenként ez csak a szárazságstresszre érzékeny fajtáknál volt jellemző (BOGUSZEWSKA-MANIKOWSKA et al., 2022), és egyes esetekben ennek ellenkezőjéről is közöltek eredményeket (LI et al., 2023). A növénymagasság csökkenésével a teljes földfeletti biomassa és ezáltal a friss és száraz hajtástömeg egyaránt redukálódhat (ZAKI és RADWAN, 2022; LAHLOU et al., 2003). A növénymagasság a szárazságtűrési kísérletekben egy fontos morfológiai paraméter lehet, mivel a növényeknek a magasságuk függvényében több nódusza fejlődhet, több levéllel, mely nagyobb asszimilációs felületet jelent (NASIR és TÓTH, 2021b). Más kutatásokban arról számoltak be, hogy a gumó méret növekedésével jelentősen nőtt a növénymagasság 'Desiree' burgonya fajta (ADHIKARI, 2005) valamint 'Jalene', 'Gudeine' és 'Kellacho' fajtáknál is, azonban a genotípus hatás nem volt számottevő a végső növénymagasságban (EBRAHIM et al., 2018). Az, hogy a nagyobb gumókból jellemzően magasabb növények fejlődnek, azzal függhet össze, hogy ezek a gumók nagyobb tápanyagkapacitással rendelkeznek, mint kisebb társaik (ASNAKE et al., 2023). Általánosságban a burgonya növények a szárazságra csökkent növénymagassággal reagálhatnak (NASIR és TÓTH, 2022). Közölt publikációk szerint a szárazságra érzékeny 'Demon' burgonya fajta szárazságstressz hatására kisebb növényeket fejlesztett (NASIR és TÓTH, 2021b), hasonlóan a 'Russet Burbank' (RIDWAN et al., 2019) fajtához. Más kutatásokban leírták azt is, hogy a burgonya növények magassága igen változatos volt és a szárazságstressz hatására legtöbbször csökkent, de esetenként a végső növénymagasság magasabb volt a vízhiányos parcellákon fejlődött növényeknél, mint a kontroll növényeknél (LI et al., 2023). Arról is beszámoltak, hogy a kísérletben szereplő burgonya fajták közül a szárazságra legérzékenyebb esetében ('Lawenda') mértek szignifikánsan kisebb hajtásokat (BOGUSZEWSKA-MANIKOWSKA et al., 2022). Natív andoki burgonya fajták tesztelése során megállapították, hogy a burgonya növénymagassága a genotípussal erősebben összefüggő kapcsolatot mutat, mint a vízhiány mértékével (RODRÍGUEZ et al., 2016).

Az aszályos körülmények hatására az élettani folyamatok (mint a levelek relatív víztartalmának csökkenése, sztóma vezetőképesség, párologtatási sebesség, vagy a nettó fotoszintézis csökkenés) és a morfológiai változások együttesen járulnak hozzá a terméscsökkenéshez (AL-TAEY és HUSSAIN, 2023; ANSARI et al., 2019). A fotoszintetikus pigmentnek a növény fejlődési ciklusaiban és a benne lejátszódó komplex biokémiai változásokban egyaránt lényeges funkciója van. A klorofill fluoreszcencia mérés

során olyan, a növényi életben bekövetkező események, mint a szárazság stressz okozta károsodottság hatását még látens állapotban, a tünetek látható formája nélkül lehetséges detektálni. A szárazság befolyásoló hatással van a fotoszintézis sebességére, a folyamat lassul és a CO₂ koncentráció is redukálódik. A klorofill fluoreszcencia méréssel előjelezhető a fotoszintézis aktivitás változása (SCHREIBER et al., 1995; MAUROMICALE et al., 2006). Optimális fejlődési feltételek mellett a szántóföldi növényfajok átlagos értéke 0,79 és 0,84 között változik (BOLHAR–NORDENKAMPF et al., 1989; TRIQUES et al., 1997). A SEVDA és MAHMOOD (2014) által közölt szakirodalomban burgonya mikrogumók fejlődési paramétereit vizsgálták különböző termesztési közegekben. A növények magasságán, a leveleinek számán, a szár átmérőjén, valamint a levélfelület nagyságán kívül a levelek klorofill tartalom változását is megfigyelték a különböző burgonya fajták esetében. A növény magasság vizsgálatban a 'Sante' burgonya fajtát emelték ki tőzegmoha és zeolit azonos arányú ültetőközegeiben. A levelek számát tekintve a 'Spirit' és 'Agria' burgonya fajták esetében felvételezték a legtöbbet. Az ültetőközegek közül általánosan a vizsgált paramétereinek értékeit tekintve a maximum és minimum értékeket egyaránt a zeolit és mohatőzeg azonos arányánál (1:1) mérték. MAUROMICALE et al. (2006) kísérletében négy különböző burgonya genotípuson ('Spunta', 'Sieglinde', 'Daytona' és 'Igea' fajtákon) vizsgálta a klorofill szint (SPAD) és a klorofill-fluoreszcens jellemzők (F_v/F_m , F_v , F_m , F_0 , T_{max}) értékeit (heti rendszerességgel egészen a növény öregedésének kezdetéig), valamint a termésparaméterek változását különböző nitrogén ellátottság (0, 10, 20, 30, 40 g m⁻²) mellett. A legmagasabb klorofill-tartalmat (és F_m , F_v , F_v/F_m értéket) a 'Spunta' burgonya fajtánál mérték, legalacsonyabbat pedig a 'Sieglinde' fajtánál. A kísérlet során mért adatokból arra következtettek, hogy a klorofill mérésre vonatkozó értékek alapján a nitrogén ellátás különbségei kimutathatóak a genotípusok között és a mérésekkel előre jelezhető a növény aktuális kora és a termőképessége szántóföldi környezetben. A gumók termésjellemzői a növekedési paraméterekhez képest nagyobb variabilitást mutattak (ZAKI és RADWAN, 2022), ezek közül is a gumóméret eloszlás változása volt a legjelentősebb (MARTÍNEZ et al., 2021).

Kiemelt feladat a következő generációk táplálékellátásának biztosítása, amelyet a növénynemesítők is támogathatnak olyan, kiváló stressztűrő tulajdonságokkal rendelkező genotípusok nemesítésével, amelyek ellenállnak az extrém környezeti tényezőknek, mint az állandó vízhiány vagy a rendkívül magas hőmérséklet (MUTHONI és SHIMELIS, 2020; GOPAL és IWAMA, 2007; IMPA et al., 2012; MONNEVEUX et al., 2013; HARKNESS et al., 2019). HARKNESS et al. (2019) szimulációs kísérlete őszi búzán szemlélteti számos

kedvezőtlen időjárási modell (10 kedvezőtlen időjárási mutató gyakoriság, nagyság, térbeli mintázat változásait) hatását a termesztésre 25 Egyesült Királyságban lévő helyszínen, éghajlati forgatókönyveket (CMIP5 és GCMs) és két üvegházhatású gáz kibocsátási modellt (RCP4.5 és RCP8.5) alapul véve. A kísérlet szerint az őszi búza termesztésére a 21. század második felére a szóban forgó területek alkalmasak lehetnek, a kedvezőtlen mutatók hatása csökkenhet, forróbb szárazabb nyarakat (mely a vetés és betakarítás idején kedvező) jósol, a késői fagy és hőstressz esélye kevés, csapadékosabbá válik a tél és a tavasz időszaka, a szárazságstressz esélye kicsi, valamint a nagymennyiségű víz által okozott stressz mértéke sem fog nőni. A CMIP5 modell alkalmasabbnak bizonyult a lehetséges, növénytermesztési szempontból jelentős, összes kedvezőtlen időjárási történés modellezésére a szimulációs kísérlet szerint. A jövőbeni növénytermesztés szempontjából fontos a lehetőségek felmérése, melyekhez ilyen és ehhez hasonló modellek segítségével hatékonyabban alkalmazkodhatunk.

A növényekben a szárazságstresszre adott specifikus válaszok értelmezése nem egyszerű feladat, mert rendkívül változatos alkalmazkodási lehetőségekkel próbálják enyhíteni és elkerülni a stresszt (STARK et al., 2013). A termésparaméterek nagyon fontos jellemzők a burgonya genotípusok szárazság stressz vizsgálataiban (ZAKI és RADWAN, 2022). STARK et al. (2013) kutatása 6 különböző növekedési dinamikájú burgonya fajta ('Russet Burbank', 'Alturas', 'GemStar Russet', 'Ranger Russet', 'Summit Russet' és 'Russet Norkotah') hozambeli különbségeit vizsgálta különböző szezonális vízellátási variációk mellett 2 éves szántóföldi kísérletben. Az eredményekből megállapításra került, hogy a hasonló érési csoportba tartozó fajtákat is különbözően befolyásolhatja a vízhiány. A szárazság által kiváltott élettani, morfológiai, sejtes és molekuláris változások együttesen támogatják a növény leghatékonyabb alkalmazkodását a szárazságstresszhez (OBIDIEGWU et al., 2015). Ezek az abiotikus határértékek kihívást jelentenek a burgonyanövények számára életciklusuk különböző szakaszaiban (GEORGE et al., 2017).

A termesztett burgonya sekély gyökérrendszere miatt érzékeny a vízhiány okozta stresszre, ugyanakkor vízfelhasználás szempontjából gazdaságos szántóföldi növényként tartják számon (SCHAFLEITNER et al., 2009; VAN LOON, 1981). VAN LOON (1981) kísérlete a burgonya morfológiai, termés és hozambeli különbségeit vizsgálta vízstressz hatására. A növény levelének relatív víztartalmát (RWC), a levélpotenciált (LWP), a sztóma diffúziós ellenállást és a fotoszintézis kapcsolatát tárgyalta. Megállapította, hogy a termesztéshez szükséges vízmennyiség a talaj- és éghajlati adottságoktól, valamint a növény tulajdonságaitól egyaránt függ. A burgonya a korai növekedés szakaszában és a gumóképződés idején rendkívül érzékeny a vízhiány okozta stresszre (ZAKI és RADWAN,

2022), ebből kifolyólag a genotípusok között tapasztalható eltérések részben az érési csoportjukhoz köthető, mert nagyon fontos interakciók figyelhetők meg a növény fenológiai stádiumai és a gumóképződés időpontja között (VOS és HAVERKORT, 2007). Egyes kutatások szerint az ebben az időszakban fellépő szárazság okozta a legnagyobb mértékű terméseszkökenést, a többi növekedési szakaszhoz képest (VAN LOON, 1981). Nem csak a vízhiány időtartama, de a súlyossága is befolyásoló szereppel bír a genotípusok szárazságra adott reakcióiban (VOS és HAVERKORT, 2007).

A stresszkutatások során a tudósok fő célja meghatározni azokat a tényezőket, melyek befolyásoló szereppel bírnak a növény sejszintű anyagcseréjében stresszkörülmények között. A stresszválasz értelmezése az új, stressztoleráns genotípusok létrehozásához elengedhetetlen. A szárazság idején a növekedés, a termelékenység és a fotoszintézis egyaránt gátoltá válik. A laboratóriumi szárazságtűrési modellkísérletekben a kutatók a növény ozmotikus stresszre adott válaszát és a szárazságtűrésben szerepet játszó folyamatokat vizsgálják, hiszen az ozmotikus stressztűrés szervesen kapcsolódik a növény szárazságtűrési képességeihez (PIWOWARCYK et al., 2014; SANGWAN et al., 2001; ANJUM et al., 2011; SÁNCHEZ et al., 2004).

3.3 A növényi stresszmemória szerepe a stressztolerancia növelésében

A szárazságstressz káros hatásainak mérséklésére többféle taktika létezik, melyeket molekuláris (pl. stresszhez kapcsolódó gének aktivitása), biokémiai (pl. kompatibilis oldott anyagok felhalmozódása) és fiziológiai (pl. intenzív gyökérfejlődés), vagy akár az egész növényben (pl. vízfelhasználás hatékonysága) bekövetkező változások szintjén lehet megvalósítani (AL-TAEY és HUSSAIN, 2023). Ezen stratégiák hatékonyságának növelése fokozható a szárazságra felkészítő előkezeléssel, ami a szárazság stressz által kiváltott tünetek csökkenéséhez vezethet (PISSOLATO et al., 2024).

Ismert technológia a növények stresszre történő felkészítése, előkezelése (a „priming” vagy „hardening”). A biotikus vagy abiotikus ismétlődő stressz hatására a növények reakciója idővel változhat, melynek következményeként gyorsabb vagy hatékonyabb védekező mechanizmus indulhat el (BRUCE et al., 2007). Különböző szinteken (szervezetten belül, sejtek között vagy sejten belül) valósulhatnak meg ezek a változások, melyek a növény hatékonyabb reakcióját segítik elő a generációkon átívelő, ismétlődő stresszre (LIU et al., 2022). Ez a védekező mechanizmus a stressz által előidézett epigenetikai változásokkal magyarázható, melyek „transzgenerációs emlékezetként” maradnak fent a következő nemzedékekben (SHANKER et al., 2020; BHAR et al., 2022).

Az előkezelés történhet mag (hidro-, halo-, ozmo-, hormon-, bio-, szilárd-mátrix-stb.) (RHAMAN et al., 2020), növény és akár a vegetatív szervek (szárazság, meleg, hideg, vízterhelés stb.) (WANG et al., 2017; LIU et al., 2017), mint a gumó szintjén is (PISSOLATO et al., 2024). A vízterheléssel történő előkezelést már a '60-as években alkalmazták, a hajtásnak indult gumókat az ültetés előtt kezelték szárazságtűrésük növelése érdekében (MAY et al., 1962). Azonban a burgonya gumójának abiotikus stresszel szembeni védekezés-fokozással kapcsolatos *in vivo* előkezeléses kísérletről szóló szakirodalmi forrás viszonylag kevés lelhető fel (CAVAGNARO et al., 1971).

KUŹNICKI et al. (2019) kísérletében bizonyította, hogy burgonyánál az előkezelés által az R3a rezisztenciagén promóterének metiltát régiójában a fitoftóra megbetegedés (*Phytophthora infestans*) elleni módosult rezisztencia alakult ki a védekezési folyamat elindulásával.

A priminghoz az egyik ismert nem fehérje aminosavat, a BABA-t (a β -amino-vajsav) használta SÓS-HEGEDŰS et al. (2014) kutatócsoportja burgonya szárazságstressz rezisztencia vizsgálatára irányuló kísérletében. Eredményeik szerint a BABA 0,3 mM koncentrációja a burgonya szárazságtűrését javítja. A kezelt növényeknél a levelek vízmegtartó képessége és a hozamparaméterek is növekedtek. A gumók metabolit összetétele az aszály hatására kisebb mértékben változott, és az etilénre reagáló gének kifejeződése hosszabb ideig maradt fenn a kezelt egyedeken, melyek együttes hatásaként hozambeli növekedést és levél kondíciójának átmeneti javulását publikálták.

LIU et al. (2017) kutatómunkája búza (*Triticum aestivum*) növényfajon vizsgálta a szárazság előkezelés hatását 5 leveles fejlettségi szintű növényeken. Vizsgálatai a hő és szárazságstressz hatásaira együtt és külön-külön is kiterjedtek. Az előkezelt (D, szárazság; H, hő; DH, szárazság és hő-stressz) növényeknél magasabb klorofill-tartalmat, magasabb levélvíz-potenciált, magasabb fotoszintetikus rátát és nagyobb mennyiségű termést mértek, valamint a nitrogénfelhasználás hatékonysága is magasabb volt (NUE) a poszt-antézis időszakában, mint a nem előkezelt növények esetében. A vizsgálatok során feltárt adatok értékelése alapján azt a következtetést közölték, hogy az előkezelések (szárazság, hő és annak kombinációja) a búza vegetatív stádiumában befolyásolták a szén asszimilációt és a nitrogén felhasználást is. Megállapították, hogy az előkezelések eredményesen hasznosíthatóak lehetnek a későbbiekben a búza stressztűrésének fokozására a növényre ható többszörös stresszhatással szemben szántóföldi körülmények között.

PISSOLATO et al. (2024) tudományos összefoglalója betekintést nyújt a molekuláris, biokémiai, fiziológiai és morfológia szinteken történő előkezelések

jelentőségébe, mindazonáltal egy átfogó képet kaphatunk az eddig elért kutatási eredményekről, valamint a még feltáratlan, vagy nem megfelelő részletességgel értelmezett, a témához kapcsolódó kutatási szegmensekről. Ezek közül megemlítsre került a stresszmemória hosszútávú hatásának vizsgálata; az előkezelés időzítésének és intenzitásának meghatározása; a genotípus-specifikus stresszmemória reakciók megértése (kiváló stresszmemóriájú genotípusok azonosítása molekuláris technikákkal); a stresszre aktiválódó gének és az azokat szabályozó elemek azonosítása, melyek a növény cirkadián órájával és a stresszmemóriájával hozhatók összefüggésbe; molekuláris és fiziológiai markerek vizsgálatai univerzális azonosítási technika hiánya; szántóföldi tesztelés a szabályozott körülmények között végzett stresszmemória kísérletek validálására; a stresszhatást követő helyreállási időszak fontos pont a növényi stresszmemória kialakulásában és megerősítésében, mivel a legtöbb információ ekkor integrálódik; az epigenetikai módosulások, a stresszmemória kialakulásáért felelős kódok azonosítása szintén fontos további vizsgálati téma lehet, ahogyan az inter- és transzgenerációs emlékezettel kapcsolatos tanulmányok számának növelése is.

3.4 Az *in vitro* szövettenyésztés jelentősége a burgonya minigumó szaporítóanyag előállításban

A kereskedelmi burgonyaszaporítás legelterjedtebb módszere a vegetatív szaporítás, azonban az egészséges és kórokozómentes burgonya szaporítóanyag előállítása legtöbbször *in vitro* növényeszaporítási technikákkal (STRUIK és WIERSEMA, 1999), hajtástenyészetek létrehozása pedig általában egyrügyes nóduszok explantációjával történik (ROCA et al., 1978; VEEKEN és LOMMEN, 2009; ASAKAVICIUTE, 2011).

A mikroszaporítás egy általánosan alkalmazott eljárás vírus- és betegségmentes növényi szaporítóanyag előállítására (BADONI és CHAUHAN, 2009), ezenkívül az *in vitro* körülmények jó lehetőséget biztosítanak a különböző élettani folyamatok és kölcsönhatások tanulmányozására és a megfelelő genotípusok kiválasztására (PÉREZ-CLEMENTE és GÓMEZ-CADENAS, 2012). A laboratóriumi körülmények között (*in vitro*) végzett biotechnológiai reprodukció során sem morfológiai, sem biokémiai változás nem kimutatható. Módszerei közül a merisztémából kiinduló mikroszaporítás esetében más reprodukciós technikához képest a létrehozott *in vitro* növények genetikai stabilitása magasabb (ROCA et al., 1978; SLACK, 1980).

Más szakirodalmi forrás alapján is megerősítést nyert ez az állítás (ROSENBERG et al., 2007), kiegészítve azzal, hogy különböző paraméterekben, mint a virágzás mértéke, intenzitása, valamint a szármagasság tapasztaltak eltéréseket. A teszt során 'Agrie Dzeltenie'

és 'Juku' burgonya fajtákból merisztéma izolálással előállított és mikroszaporítással, egynódusos szárdarabkák explantációjával felszaporított, vírusmentes 1-4. generációs burgonya gumók szántóföldi termőképességi és fejlődési paramétereit vizsgálta. Konklúzióként kiemelte, hogy a merisztéma izolátumokról származó klónok variabilitási tulajdonsága az egyes burgonya fajták hozam és egyéb tulajdonságok javítására lehetséges eszközként használható. PEPÓ ÉS TÓTH (2005) burgonya hajtás- és kallusztényészetek fejlődési tulajdonságait vizsgálták sót (NaCl) és 2,4-D-t különböző koncentrációkban tartalmazó MS táptalajon növekedett *in vitro* kultúrákban. A vizsgált genotípusoknál megállapították, hogy a NaCl kisebb koncentrációja (40 mM) kismértékű csökkenést okozott a hajtásnövekedésben és biomassza tömegében, ami feltehetően a genotípusok sótűrési rezisztenciájából adódhat. Írásukban közölték még, hogy a 2,4-D optimális koncentrációja különböző szöveti részekben (szár, levél) és körülmények között (sötétben és fényben) eltérő volt. A sötétben nevelés mellett a szár és levél indukciója csökkent a 2,4-D töménységének növekedésével, fényben nem találtak különbséget a kontroll állományhoz képest, valamint az 5-10 mM koncentráció jelentős növekedést eredményezett.

A szaporítási ciklus időtartama általában körülbelül 4 hét (MILINKOVIC et al., 2012; ASAKAVICIUTE, 2011). MILINKOVIC et al. (2012) szövettenyésztéssel előállított 'Coliban' és 'Russet Burbank' burgonya fajtákat vizsgált. A laboratóriumi körülmények között létrehozott növényeket 4, 10 és 12 hétig három hőmérsékleti tartományon (22/18 °C, 16/10 °C és 10/2 °C nappali/éjszaka) valamint 16, 12 és 8 órás fotoperióduson (megvilágításon) nevelték. A nevelés ideje, a hőmérséklet és az *in vitro* fotoperiódus befolyásolta a növények morfológiai jellemzőit, valamint az összes betakarított minigumó számát. A fejlődési idő hosszának növelése és az alacsonyabb hőmérsékleti tartomány (16/10 °C nappali/éjszaka) a 'Coliban' és a 'Russet Burbank' burgonya fajták minigumó hozamát tekintve pozitív irányú változást indukált (a kutató 97 és 71 %-os emelkedést közölt a kontroll növények hozambeli teljesítményéhez képest) valamint a 16 órás fotoperiódushoz képest a rövidebb megvilágítás nem okozott a gumószámban szignifikáns különbségeket. Eredményeik alapján az *in vitro* kultúra fejlődési idejének növelésével és az alacsony hőmérsékleti tartományon nevelésével a vizsgált fajták esetében jelentős hozambeli különbségeket lehet elérni a minigumó termesztésben.

A burgonya termesztés során a mikrogumók és az *in vitro* szaporítási technikával létrehozott növények általánosan elfogadott kiindulási formák. A laboratóriumi növények és mikrogumók első generációs gumóit minigumóként jegyzik. Izolált környezetben, mint üvegház, műanyag alagutak, fóliasátor történik előállításuk. A labor körülmények között

létrehozott burgonya vetőgumó múltja évtizedekre nyúlik vissza, jelentősége azonban napjainkban is kiemelkedő. Genotípustól függően 5–10-szeres szaporítási szorzóval számolhatunk; merisztéma izolátum preparálása az első lépés, ahol a hajtáscsúcs merisztematikus régiójából kerül kimetszésre a szövet. Az ebből a régióból származó növényi szövet és a felszaporított növények jelentős része (40 %) nagy valószínűséggel vírusmentes lesz (PRUSKI, 2007). Előállításuk 100 nap, de egyes esetekben 70-121 nap is lehet (OTROSHY, 2006; ROY et al., 1994).

Különböző kiegészítő vírusmentesítési eljárásokat alkalmazhatnak a merisztémáról származó *in vitro* növények további vírusmentesítésére, mint a hő-, kemo-, elektro- vagy krioterápia. Ezek a módszerek a növény életfolyamatait meglehetősen befolyásolják, alacsony túlélési arány, gátolt növekedés, vagy rendellenes és hiányos fejlődés alakulhat ki hatására. A víruseliminációt követő regenerálási folyamat szintén egy fontos területe az eljárásnak. A regenerálódási képesség erősen genotípusfüggő, ugyanakkor maga a kezelés időtartama, annak intenzitása és az egyéb külső tényezők, mint a hőmérséklet, megvilágítás, az alkalmazott vegyszerek és azok kombinációja és koncentrációja, valamint az elektromos áram intenzitása is befolyásoló szereppel bír. MAGYAR-TÁBORI et al. (2021) az Adefovir (ADE) fitotoxikus és antivirális hatását tesztelte két PVS-sel és PVM-mel (Potato Virus S és Potato Virus M) fertőzött burgonya nemesítési vonal esetében 0 és 100 mg·l⁻¹ közötti koncentráció tartományban. A két vizsgált nemesítési vonal (014PS és 06RF) különbözően reagált az alkalmazott kemoterápiás szerre, a 014PS nemesítési alanynál ugyanis az 50 mg·l⁻¹ koncentrációnál magasabb dózis az explantátumok teljes mortalitásával járt, míg a 06RF klón esetében a legnagyobb (100 mg l⁻¹) dózist az explantátumok 15 %-a túlélte. A táptalajhoz adagolt 50 mg l⁻¹ koncentrációjú ADE a 014PS klónnál már az első kezelési hét letelte után 80 %-os pusztulást eredményezett, míg a 06RF klón esetében fokozatosan csökkenő (75, 70, 65 és 50 %-os; 1-4. vizsgálati hét végéig) mortalitással járt. Az antivirális szer jelentős csökkenést váltott ki a hajtásnövekedésben (az adagolt 50 mg·l⁻¹ feletti dózis a 014PS klón esetében teljesen gátoltá vált; 25 mg l⁻¹ dózis 38 %-os csökkenést váltott ki a kontrollhoz képest; a 06RF esetében a 25 és 50 mg l⁻¹ dózis 52,3 és 80 %-os csökkenést eredményezett). A gyökérfejlődés a 25 mg l⁻¹-nél magasabb dózis alkalmazásakor teljesen megszűnt, azonban már ez a dózis is jelentős változást okozott (014PS klónnál a kezelt növények 20 %-án, 06RF klónnál a kezelt növények 45 %-án alakult ki gyökér; gyökérszám 3,7 és 2,5 a 9,6 és 3,6 kontrollhoz képest). A regenerálási fázis jellemzően 35-25 %-ban volt maximum sikeres a magas túlélési arány ellenére ugyanennél a dózissal.

A reprodukciós mód és a gumó mérettartománya egyaránt lényeges jellemző, a gumók mérete általánosan 5-25 mm közötti intervallumba esik (STRUIK ÉS WIERSEMA, 1999). A minigumó termesztést különböző paraméterek befolyásolhatják, ilyenek például az minigumó szám/*in vitro* növény, minigumó szám/egységnyi terület, átlagos tömeg/minigumó, hozam/*in vitro* növény, hozam/egységnyi terület (LOMMEN és STRUIK, 1992). A minigumó termesztésben a sikeresség egyik mérhető paramétere a betakarított gumók száma (AHLOOWALIA, 1994). A burgonya termés méret eloszlására a százalékos formában történő kifejezés a legáltalánosabb a gumó száma és tömege tekintetében egyaránt (GEORGAKIS et al., 1997; FULLADOLSA et al., 2018). A gumó mérete a benne lévő tartalékok szempontjából igazán fontos pont a növény kiegyensúlyozott fejlődését illetően, azonban korábban említett reprodukciós módon és a gumó mérettartományán kívül befolyásoló hatása lehet még az állomány sűrítésének, a különböző termesztési körülmények és az alkalmazott műtrágyáknak is (WURR et al., 1993).

3.5 A burgonya szárazságtűréséhez kapcsolható szelekció

A burgonyanemesítés esetében is a célkitűzés a piaci igényeknek és a termés felhasználási módjának megfelelően kerül meghatározásra. Az első 5 burgonyával kapcsolatos kísérleti téma konkrétan a nemesítéshez kapcsolódik, ezek közül a szárazságtolerancia a második helyen szerepel. A nemesítési feladatok közé tartozik perspektívikus, a nemesítési céloknak megfelelő fajtajelöltek kiválasztása a nagy variabilitású állományból. A magas abiotikus stressztűréssel rendelkező fajták keresésekor a szelekciónak több tényező értékelésén keresztül kell megvalósulnia (BONIERBALE et al., 2020).

A hagyományos nemesítés során azokat a morfológiai és fiziológiai tulajdonságokat használták, mint szelekciós feltétel, melyeket a stresszfaktorként ható szárazság jelentősen befolyásolhat (OBIDIEGWU et al, 2015; MUTHONI és KABIRA, 2016; QIN et al., 2019). Ilyenek lehetnek például a fényelnyelés hatékonysága, a levélöregedés mértéke, a fajlagos levélfelület nagysága, bár ezek szerepe a végső termés alakulásában kevésbé meghatározó (VOS és HAVERKORT, 2007).

QIN et al. (2019) kutatócsoportja burgonya genotípusokat tesztelt (10 perspektívikusnak ítélt klón és 2 Kínában népszerű, szárazságtűrő burgonya fajta) szárazság toleranciára, illetve vizsgálta a kiválasztás folyamatára legalkalmasabb, legegyszerűbb és leghatékonyabb lehetőségeket/paramétereket (gázcsere, klorofill-tartalom, fajlagos levélfelület (SLA), a levél szárazanyag-tartalma (LDM), betakarított termésre vonatkozó paraméterek: gumószám és gumóhozam) 20, 40 és 60 nappal a vízkorlátozás után. A vizsgálati

eredmények alapján 4 szárazságtűrési szempontból kiemelkedő klónt (C93, C11, C46 és C82) emelt ki, melyek a 'Tacna' burgonya fajtát mind felülmúlták a vizsgált paraméterek értékei alapján. A kutatás szerint a vizsgált genotípusok közötti szelekcióra hatékony indikátornak bizonyultak a levélfelület nagyságára és a levél-szárazanyag tartamára vonatkozó mérések. A növények fiziológiai állapotának felmérésére számos vegetációs index került alkalmazásra (GONZALEZ-DUGO et al., 2015). ROMERO et al. (2017) 'Diacol Capiro' és 'Perla Negra' lila és piros héjszínnel rendelkező burgonya fajtákon vizsgálta fiziológiai szempontból a vízhiány okozta stressz hatását. Két vízkorlátozási stratégiát alkalmazott, a virágzástól számított 10 és 15 napig nem kaptak a vizsgált növények öntözést. A fiziológiai változások nyomkövetéséhez különböző reflektancia indexeket határozott meg és az eredményekből arra következtetett, hogy a fényvisszaverődésből nyert információk korreláltak az olyan paraméterekkel, mint a lombterület (FA), a teljes víztartalom (H_2O_t), a burgonya gumók relatív növekedési rátája (RG_{Ttub}), a levélterület aránya (LAR) és a levélfelület index (AFI). A klorofill koncentráció általában magasabb volt a szárazságstressznek kitett növények leveleiben. A 'Perla Negra' burgonya fajta a teszt alapján szárazságtűrőnek bizonyult, mivel nem mutatott a vizsgált fiziológiai paraméterek tekintetében eltérést a stresszkezelés hatására. A virágzást követő 15 napos szárazság kezelés mindkét vizsgált burgonya fajta esetében befolyásolta a gumóhozamot. A közölt eredmények alapján a reflektancia indexeket a burgonya fenotipizálásra és a szelekcióra alkalmasnak találta a kutató.

Az egészséges és stresszhatás alatti növények kategorizálására a multispektrális képelemzések közül a közeli infravörös (NIR) sávokat használó módszerek bizonyultak a leghatékonyabbnak (RAHMAN et al., 2022). A normalizált különbségi vegetációs index, azaz NDVI, gyakran alkalmazott mutató, mely a látható és közeli infravörös (NIR) fényt alkalmazza és a növényekről történő fényvisszaverődés különbség alapján kalkulál (HUANG et al, 2021). Az eltérés a növény klorofill tartalmával függ össze, mivel a látható tartományban magas, a közeli infravörös tartományban pedig alacsony a klorofill sugárzás elnyelése (KNIPLING, 1970). Ez alapján az NDVI segítségével a szárazság (SARAVIA et al, 2016; MAESTRINI et al., 2020), a betegségek (ATHERTON et al., 2017; KUNDU et al, 2021), a növények tápanyagellátási problémái (SARAVIA et al., 2016), vagy a herbicid fitotoxicitás (ANDIDI, 2023) is kimutatható. A mezőgazdaságban az egyik legáltalánosabban használt index, mely információval szolgál a levelek aktuális állapotáról, emiatt alkalmas eszköz lehet a termés hozam előrejelzésére is. A hosszabb ideig tartóan fennálló szárazság a növények kiszáradásához és a fejlődés intenzitás csökkenéséhez vezethet, így az NDVI egyfajta indikátorként szolgál a fotoszintetikusan aktív biomassza állapotának felmérésében. A

módszer non-invazív, amely a burgonya növény állapotának megfigyelésére alkalmas különböző termesztési közegekben, illetve megfelelőnek ítélték a korai fejlődési stádiumban bekövetkező szárazság, mint abiotikus stresszfaktor kimutatására (PUIU et al., 2012; HERMEZIU et al., 2022). A stratégiai módszerek kidolgozásában a szárazság, mint stressztényező burgonyatermesztésre gyakorolt hatásának mérséklését támogató eszköz lehet az NDVI (HERMEZIU et al., 2022). Szakirodalmi források alapján a burgonyánál az NDVI értékek korrelációja az egy növényre jutó gumók számával jó volt ($R^2 = 0,67$), de a későbbiekben már a gumóterméssel is jó korrelációt közöltek (TANABE et al., 2019). Az NDVI értékeket tartalmazó burgonyatermés-előrejelzési modell korrelációja ($R^2 = 0,84$) volt a legmagasabb a többi vizsgált modellhez képest BALA és ISLAM (2009) kutatása szerint. A korai szárazságstressz jó indikátoraként számolt be az NDVI értékről szántóföldi kísérletek kapcsán SARAIVA et al. (2016). Az egyes termésnövekedési szakaszokban is megfelelő előrejelzőnek bizonyultak az NDVI adatok a terméshozam modellekben LI et al. (2020) kutatása alapján.

4. ANYAG ÉS MÓDSZER

4.1 *In vitro* ozmotikus stressztűrési kísérletek burgonya nemesítési vonalakon

4.1.1 A kísérlet körülményei és a növényi anyag

A kísérlet helyszíne a Debreceni Egyetem Mezőgazdaság-, Élelmiszertudományi és Környezetgazdálkodási Kar, Agrár Genomikai és Biotechnológiai Központ, valamint a Debreceni Egyetem Agrár Kutatóintézetek és Tangazdaság, Nyíregyházi Kutatóintézet volt. A kísérletben 29 burgonya (*Solanum tuberosum* L.) genotípust, közülük 27 nemesítési vonalat (C63, C58, C57, C42, C41, C37, C35, C32, C30, C28, C26, C22, C21, C20, C19, C17, C14, C12, C11, C10, C9, C8, C6, C5, C4, C3 és C2) és a két szárazságtűrő referencia vonalat (C103 és C107) vizsgáltunk 2019-ben. Ezeknek a referencia genotípusoknak a kiválasztása korábbi *in vivo* kísérletek során történt, ahol szárazságtűrésüket is teszteltük. A C103 referencia vonal középérésű csoportba tartozik, a gumója kerek-ovális, héja piros színű, a gumó húsa sárga. A C107 referencia vonal kései érési csoportba tartozik, hosszúkas gumó, lilás rózsaszín gumóhéj és fehér gumóhús jellemzi. Mindkét genotípus toleráns a fitoftórás megbetegedésre (*Phytophthora infestans*). A felsorolt nemesítési vonalak közül mind a referencia vonalak keresztezései. Az *in vitro* hajtástenyészeteket magról indítottuk, felületi sterilizálást kaptak (NaOCl) 4 percre, majd steril desztillált vizes öblítést három alkalommal. Murashige–Skoog táptalajra (továbbiakban MS, (MURASHIGE és SKOOG, 1962) helyezés után, mely tartalmazott vitaminokat és sókat, 3 % szacharózt (VWR Chemicals) valamint 0,7 %-ban agar agart (Sigma–Aldrich, A1296) sötétben inkubáltuk őket 24 °C hőmérsékleten, 5 napig. Ez idő letelte után növénynevelő helyiségbe (3. ábra) kerültek 22/15 ± 2 °C nappali/éjszakai hőmérsékleten és 16 óra napi megvilágításon (65 μmol m⁻² s⁻¹ PPFD) fejlődtek tovább. A referencia és nemesítési vonalak növényi alapanyagait 4 hét elteltével ismét MS táptalajra ültettük.

4.1.2 Explantátumok, kezelések és kísérleti körülmények

Az *in vitro* 4 hetes hajtástenyészetekből explantátumként egy-egy hónaljrügyet tartalmazó nodális szegmenteket használtunk, a hajtáscsúcs és a fiatal hajtások bazális részét nem hasznosítottuk. Az explantátumokat általános MS táptalajra helyeztük, mely 0,3 % -ban tartalmazott szacharózt, 0,7 %-ban agar-agart és különböző molekulatömegű polietilén glikolt

(Alfa Aesar, Germany, PEG 600 és PEG 6000) 2,5, 5,0, 7,5 és 5,0, 7,5., 10,0 % koncentrációban, valamint D-mannitolt 0,1, 0,2 és 0,3 M koncentrációban (Merck, USA, Burlington), melyeket az ozmotikus stressz kiváltására alkalmaztunk, míg a kontroll táptalaj ozmotikumokat nem tartalmazott. A Gonotec Osmomat 070 gőznyomás ozmométer (Gonotec, Németország) polimerek átlagos molekulatömegének és vizes oldatok ozmolalitásának meghatározására alkalmas műszer (1. ábra). A műszer a Debreceni Egyetem Fizikai Kémiai Tanszék tulajdonát képezi és Dr. Novák Levente engedélyével használtam. A kísérletbe bevonni kívánt ozmotikumok (D-mannit, PEG 600 és PEG 6000) ozmolalítását különböző koncentrációban a táptalajalkotórészekkel együtt mértem. A táptalaj típusa a szilárdítóanyag kivételével MS burgonyás táptalaj. A kísérletben alkalmazott koncentrációkat korábbi megalapozó kísérletek alapján választottuk ki (1. táblázat).

1. táblázat: A kísérletben alkalmazott ozmotikumok, azok koncentrációi és ozmolalítása
(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	



1. ábra: Gonotec Osmomat 070 gőznyomás ozmométer (Forrás: saját, Debrecen, 2019)

A vizsgálat első lépésében kalibrációs egyenest kell készíteni. A kalibrálás 500 mOsm·kg⁻¹ ozmolalítású NaCl oldattal történt. Az alapvonal felvételéhez legalább négy

ismétlésben kalibráltam. A vizsgálni kívánt oldatokat orvosi ellátásban használatos injekciós fecskendővel juttattam a mérés helyére.

20 explantátum és 50 ml táptalaj került egy üvegbe (hengeres forma, 450 ml), 5 ismétlésben dolgoztunk és összesen 100 darab növényt figyeltünk meg kezelésenként. A teljes kísérlet kétszer lett megismételve. A hajtástenyészetek kontrollált körülmények között növekedtek, a növénynevelő helyiségben (2. ábra) $22/15 \pm 2$ °C nappali/éjszakai hőmérséklet és 16 óra napi megvilágítást alkalmaztunk $65 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ PPFD fényerőn további 28 napon keresztül.



2. ábra: Növénynevelő helyiség (Forrás: saját, Nyíregyháza, 2019)

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 (úgynevezett stresszindexet képezve, (SI, (KPOGHOMOU et al., 1990), 2. táblázat) fejeztük ki, a kontroll táptalajon mért egyedek eredményeivel összevetve.

2. táblázat: Stressz indexek meghatározása a különböző paraméterekre

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

4.2 Különböző ozmotikus stressztoleranciájú burgonya genotípusok első és második generációs gumóinak *in vivo* kísérlete (akklimatizált és szabadföldi körülmények között)

4.2.1 A kísérlet körülményei és a növényi anyag

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 vitro* ozmotikus stressztűrés kísérlet során kapott eredmények alapján történt (HANÁSZ et al., 2022). A kísérletben különböző koncentrációban táptalajhoz adagolt háromféle ozmotikum (PEG 600, PEG 6000 és D-mannit) morfológiai paraméterekre gyakorolt hatását vizsgáltuk. A kalkulált stressz index (SI) értékek alapján 27 nemesítési vonal közül 9 kiváló szárazságtűrésűnek bizonyult, ebben a felsorolásban szerepel C11 genotípus is. A C20 nemesítési vonalat kiváló túlélési arányra vonatkozó stressz index eredményei miatt választottuk ki a kísérlet következő szakaszához.

A C103 jelölésű burgonya szülői vonal gumóalakja kerek-ovális, a héjszín vörös, a hússzíne fehér és középkorai éréscsoportba sorolható. A C107 jelölésű szülői vonal gumóalakja hosszúkás, a héjszín lila-rózsaszín, a hússzín fehér és késői éréscsoportba sorolható. A szülővonalak toleránsak a *Phytophthora infestans* betegségre. A C11 és C20 nemesítési vonalak pedig az előbbi két genotípustól származtatható keresztezések (HANÁSZ et al., 2022).

4.2.2 Explantátumok, kezelések és termesztési körülmények

4.2.2.1 *In vitro* szakasz

Az *in vitro* reprodukció első szakasza a burgonya gumóról származó hajtásrügyek fertőtlenítése. A hajtásrügyeket 12%-os $\text{Ca}(\text{OCl})_2$ 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 darab 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 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ PPFD fényerő. A szükséges növényanyag 10 tenyésztőüveg, vagyis 200 darab in vitro növény volt.

4.2.2.2 Izolált szakasz

A kísérlet következő szakaszára a felnevelt 4 hetes növények (3. *ábra*) akklimatizáló helyiségben (4. *ábra*) 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 hőfokon és 55 % vízgőz-koncentráción (RH %). A növények öntözése heti két alkalommal történt, 500 ml cserép⁻¹ (3 l) dózissal. 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/genotípus). A gumók számát az egyenként és a kettesével ültetett növények esetében is megvizsgáltuk (5. *ábra*). A nyugalmi időszak (ami 60 napot jelentett ezesetben) leteltével a betakarított gumók Memmert HPP 750 típusú klímakamrába kerültek, 12 °C állandó hőmérsékletre (6. *ábra*). 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).



3. ábra: Fiatal burgonya *in vitro* hajtástenyészet (Forrás: saját, Nyíregyháza, 2020)



4. ábra: Akklimatizáló helyiségben fejlődő burgonya növények (Forrás: saját, Nyíregyháza, 2020)



5. ábra: Az akklimatizáló helyiségben nevelt növényekről származó primer gumók (Forrás: saját, Nyíregyháza, 2020)



6. ábra: A betakarított primer gumók nyugalmi idejét töltik a klímakamrában (Forrás: saját, Nyíregyháza, 2020)

4.2.2.3 Fóliasátorba ültetés szakasza

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 (d_1) és 19 mm alatti (d_2) méret csoportokra, 2 különböző sortávolságon, d_1 méretű gumók 25 cm (T_1), d_2 méretű gumók 15 cm (T_2) 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 l m^{-2} , DAP 79-93 között $2,5 \text{ l m}^{-2}$ 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.

4.2.3 A fóliasátorba ültetett növényi anyagon (primer gumókon) végzett mérések menete, kivitelezése, időpontjai

4.2.3.1 A fóliasátorba ültetett növényi anyagon végzett klorofill tartalom mérése levélzeten

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 keresztezései C11, C20 vonalak) T_1 és T_2 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 fénnyhullámhossz tartományokon Jenway 6705 spektrofotométerrel vizsgáltuk az abszorbancia mértékét. A 750 nanométer fénnyhullámhossz tartományban mért abszorbancia értékeket a 653 és 666 fénnyhullámhosszokon 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.

4.2.3.2 A fóliasátorba ültetett növények leveleinek klorofill fényemissziójának elemzése

Klorofill-fluoreszcencia mérést (OS5p modulált fluoriméter, Opti-Sciences, USA) a C103 és C107 nemesítési vonalak T_1 és T_2 tőtávolságra ültetett parcelláin fejlődött növények levélzetén végeztük 4 ismételtsben. A mérés folyamata úgy történt, hogy egy teljesen kifejlett levelet vettünk mintalapnak 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.

4.3 *In vivo* szárazságtűrési kísérlet, a vízhiány és a gumóméret hatása burgonya nemesítési vonalak agronómiai tulajdonságaira

4.3.1 A kísérlet helyszíne és a növényi anyag

A vizsgálat a Debreceni Egyetem Agrár Kutatóintézetek és Tangazdaság Nyíregyházi Kutatóintézetében 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 (3. táblázat). A talaj típusa humuszos homok volt (1,52 % szerves anyag; pH 6,32; P_2O_5 : 231 mg kg^{-1} ; K_2O 131 mg kg^{-1} ; NO_3+NO_2 8,1 mg kg^{-1}).

3. táblázat: Helyi meteorológiai adatok (Forrás: Nyíregyháza, 2021-2022)

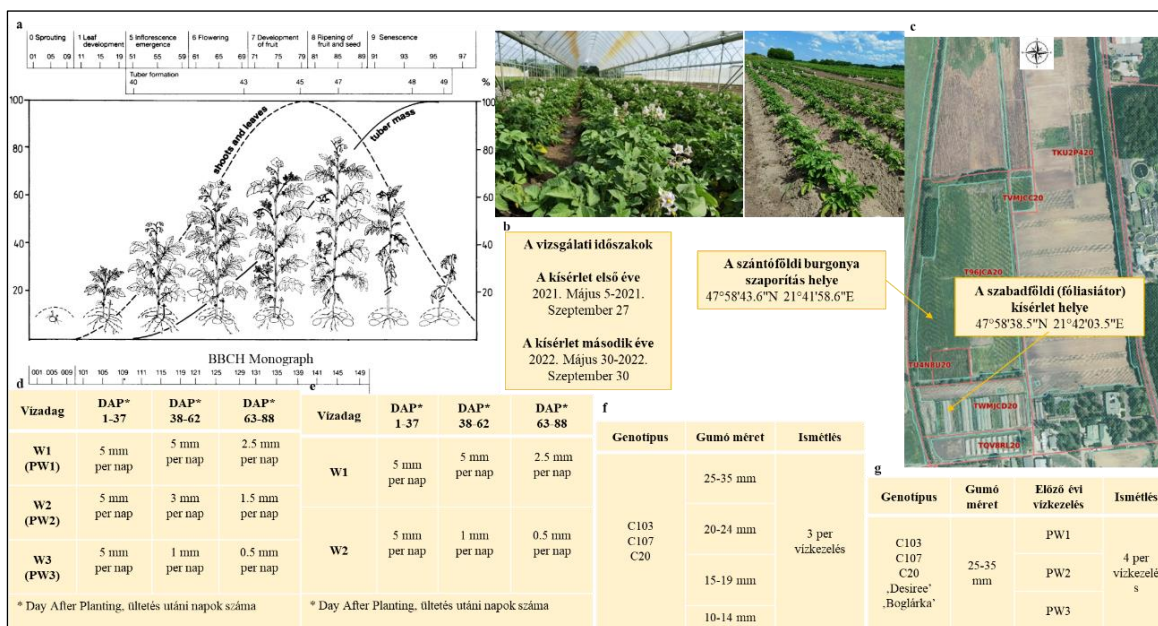
Meteorológiai paraméter	2021					
	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.
Csapadék mennyisége (mm)	59,7	90,6	14,9	45,4	59,3	21,5
Átlagos havi hőmérséklet ($^{\circ}\text{C}$)	9,0	14,9	22,1	24,1	20,2	15,7
	2022					
	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.
Csapadék mennyisége (mm)	42,1	3,9	21,9	35,4	20,3	149,6
Átlagos havi hőmérséklet ($^{\circ}\text{C}$)	9,2	17,4	22,2	23,4	23,4	15,4

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. A hagyományos nemesítési munkánk különböző szárazsággal és vírusokkal szemben toleráns vad *Solanum* fajok keresztezésén alapszik. 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 (HANÁSZ et al., 2022). 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 pedig 2021. szeptember 27-én. (7. ábra,b)

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 'Desiree' (1969-ben bejegyzett) holland burgonyafajta, vörös héjú, sárga húsú, oválistól hosszúig terjedő gumó alakú és közepesen szárazságtűrő fajta (ZAKI és RADWAN, 2022). A 'Boglárka' (2011-ben elismert) piros héjú, világossárga húsú, hosszú-ovális gumóformájú magyar burgonyafajta, melynek sajátossága, hogy öntözött körülmények között is megbízhatóan terem. A minigumókat (25-35 mm átmérőjű gumók) 2022. május 30-án ültettük el, a betakarítást szeptember 30-án végeztük (7. ábra, b).

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 minigumókat használtunk, és négy ismétlésben két vízkezelést alkalmaztunk. A minigumókat 300 cm $\times$ 75 cm-es parcellákba ültettük 25 cm tőtávolsággal, randomizált blokk elrendezésben. Parcellánként tizenkét minigumót ültettünk a korábban előkészített bakhátakba. A termesztés a burgonyánál rendszeresen alkalmazott protokoll szerint, a megfelelő növényvédelem figyelembevételével történt.



7. ábra: A burgonya fejlődési szakaszai (Forrás: HACK et al., 1993, saját szerkesztés) és az *in vivo* kísérlet körülményei (2021-2022, Nyíregyháza)

Megjegyzés: a burgonya fejlődési szakaszai (a), burgonya nemesítési vonalak a virágzási szakaszban (b), burgonya szaporítóanyag előállítás helye szántóföldön/ fóliasátorban végzett kísérletek helye (c), Az első évben (2021) kijuttatott vízmennyiségek (d), a nemesítési vonalak gumó méret kategóriái és ismétlésszám az első kísérleti évben (2021) (e) a második évben (2022) kijuttatott vízadagok (f), a nemesítési vonalak előkezelései (az előző évben, 2021-ben alkalmazott vízmennyiségek) és ismétlésszám (g).

4.3.2 Szárazságstressz kezelések és a termesztés módszere

A 2021-ben végzett kísérletben a fejlődés korai szakaszában (hajtás, levélfejlődés; 8a ábra) a fejlődésük szempontjából egyenletes növénykultúra elérése érdekében a növények optimális mennyiségben (naponta 5 mm) kaptak vizet (HAVERKORT, 1982). A víz csepegtető vízadagoló rendszeren (csepegtető öntözőszalag, 1,6 l·h⁻¹ áramlási sebesség és Conrad vízmérő, EU) keresztül került kijuttatásra, mely a tapasztalatok szerint a burgonya leghatékonyabb öntözési módszere (AL-TAEY és HUSSAIN, 2023). Az ültetést követő 38. naptól (DAP) megkezdtek 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. Mivel a burgonya a gumóérés szakaszában (BBCH 81) (IQBAL et al., 1999) legkevésbé érzékeny a vízstresszre, a DAP 63-tól 50%-kal (2,5, 1,5, 0,5 mm naponta) tovább csökkentettük a víz mennyiségét, hogy fenntartsuk a szárazságstresszt. 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 megkezdtek a csökkentett vízádagok 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 $0,5 \text{ mm}$ naponta) – az előző évi módszerrel.

4.3.3 Az *in vivo* szárazságtűrési kísérletben végzett megfigyelések, mérések menete, kivitelezése, időpontjai

Ugyanazon megfigyeléseket hajtottuk végre a 2021 és 2022 évben végzett kísérletek során. A kelés arányát (%-os formában) az ültetés utáni (DAP) 20, 23, 28 és 30 napokon, a virágzás arányát (%-os formában) az ültetés utáni (DAP) 48, 51 és 54 napokon figyeltük meg. A növények fiziológiai állapotát az NDVI érték mérésével (parcellánként 4 méréssel) értékeltük a Trimble® GreenSeeker (Trimble Inc., Sunnyvale, CA, USA) kézi műszerrel. A készülék a növény felületére vörös (RED) és közeli infravörös (NIR) fényt bocsát ki, és a visszaverődés mértékétől függően kiszámítja az NDVI értéket ($0,00$ és $0,99$ között). A méréseket a növény lombzatától 50 cm -es távolságban, azonos napszakban 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, azaz a föld feletti biomassza friss és száraz tömegének (FFB és SzFB, g növény^{-1}) meghatározásához. A megmaradt lombzatot 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 (4. 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).

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

Az SI képzés metodikája	
SI_FFB =	$\frac{\text{Kezelt növények friss föld feletti biomassa tömege (g/parcella; W2, W3)}}{\text{Kezeletlen (kontroll) növények friss föld feletti biomassa tömege (g/parcella; W1)}} \times 100$
SI_SzFB =	$\frac{\text{Kezelt növények száraz föld feletti biomassa tömege (g/parcella; W2, W3)}}{\text{Kezeletlen (kontroll) növények száraz föld feletti biomassa tömege (g/parcella; W1)}} \times 100$
SI_NM =	$\frac{\text{Kezelt növények magassága (cm; W2, W3)}}{\text{Kezeletlen (kontroll) növények magassága (cm; W1)}} \times 100$
SI_GSZ =	$\frac{\text{Kezelt növények gumóinak száma (db; W2, W3)}}{\text{Kezeletlen (kontroll) növények gumóinak száma (db; W1)}} \times 100$
SI_GT =	$\frac{\text{Kezelt növények termése (g; W2, W3)}}{\text{Kezeletlen (kontroll) növények termése (g; W1)}} \times 100$

4.4 Statisztikai analízis

A kutatási programban végzett kísérletek egyes szakaszaiban begyűjtött adatok statisztikai értékelését az 5. táblázat-ban összefoglaltak szerint végeztük el.

5. táblázat: Statisztikai módszerek az egyes kutatási fázisokban

Kísérleti szakasz	<i>In vitro</i> ozmotikus stressztűrési kísérlet	<i>In vivo</i> kísérlet (akklimatizált 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

5. 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.

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

5.1.1 A burgonya nemesítési és referencia vonalak morfo-fiziológiai paramétereire vonatkozó stressz index átlagok a különböző ozmotikumok hatására

Az ozmotikus stressz *in vitro* modellezésével foglalkozó kutatások során szignifikáns változásokat közöltek a burgonya minden vizsgált egyszerű morfológiai és fiziológiai tulajdonságában, mint a túlélési arány, a hajtások hossza, a friss és száraz tömeg, a gyökérszám és a gyökerek hossza (ALBISKI et al. 2012; SIRAIT és CHARLOQ, 2017). A genotípusok közötti különbségek kimutatása azonban összetettebb, mint hogy a mért paraméterek egyszerű összehasonlítása elegendő legyen, még ha szignifikáns eltérések vannak, akkor sem elég reprezentatív (DOBRÁNSZKI et al., 2003; EVERS et al., 2007). A többparaméteres stressz indexben (SI) való interpretáció, mely a kontroll állományhoz történő százalékos arány hasonlításán alapszik, lehetővé teszi a genotípusok közötti különbségek világosabb értelmezését egyedi stressztűrő képességük szerint (DOBRÁNSZKI et al., 2003; HASSANPANA, 2010).

Ennek megfelelően eredményeinkből minden vizsgált kezelésre stressz indexet határoztunk meg és a vizsgált genotípusokat azok SI-értékei alapján értékeltük. A fentiekből következően az eredmények értelmezésére minden kezelés minden vizsgált paraméterét stressz index értékben fejeztük ki és az alapján történt az adatok értékelése is. A kutatások szerint az egyszerű morfológiai tulajdonságok alkalmasnak bizonyultak a genotípusok ozmotikus stressztűrési tulajdonságra történő szelekciójára (DOBRÁNSZKI et al., 2003; LAHLOU és LEDENT, 2005; STECKEL és GRAY, 1979; GORJI et al., 2012; LAISINA et al., 2021). 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. Burgonyával végzett korábbi *in vitro* kutatások alapján a hajtás és gyökérrendszer változás eredményei az ozmotikus stressz hatására hasonlóságot mutathatnak (DOBRÁNSZKI et al., 2003, GELMESA et al., 2017). A kalkulált stressz index értékekből (6. táblázat), 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.

6. 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

5.1.2 PEG 6000 által kiváltott ozmotikus stressz hatása a burgonya nemesítési és referencia vonalak *in vitro* hajtástenyészeteire

A túlélési arány (TA) SI értékeit szignifikánsan csökkentette vagy leggyakrabban nem befolyásolta az 5 %-os PEG 6000 (7A-C. táblázat, 1-3. mellékletek). Néhány nemesítési vonalnál szignifikánsan alacsonyabb TA SI értéket kaptunk, mint a referencia vonalak esetében.

7A. táblázat: A PEG 6000 által kiváltott ozmotikus stressz hatása a burgonya genotípusok (C2–C11 nemesítési vonalig) paramétereire stressz indexben (SI, %) kifejezve (Forrás: HANÁSZ et al., 2022, átszerkesztett)

Nemesítési vonal	Paraméter	5% PEG 6000		7,5% PEG 6000		10% PEG 6000		μ
C2	TA	100	A	99	A	92	B	97
	HH	65,9	A	62,4	A	56,7	A	62
	GYH	50,7	B	69,5	A	46,8	B	56
	GYSZ	108,1	B	111,9	A	135,1	A	118
C3	TA	87	A	75	A	75	A	79
	HH	35,2	B	32,3	B	43,5	A	37
	GYH	56,6	B	52,4	B	63,6	A	58
	GYSZ	65,6	A	58,6	B	82,7	A	69
C4	TA	97	A	75	AB	60	B	77
	HH	34,5	A	33,9	A	32,7	A	34
	GYH	51,1	A	53,7	A	51,3	A	52
	GYSZ	101,8	A	95,3	A	102,6	A	100
C5	TA	93	A	92	A	83	A	89
	HH	24,9	A	26,9	A	30,3	A	27
	GYH	69,4	B	84,2	A	85,1	A	80
	GYSZ	77,6	A	76,9	A	80,3	A	78
C6	TA	63	A	60	A	74	A	66
	HH	32,0	B	41,5	A	42,0	A	39
	GYH	48,1	B	71,4	A	51,8	B	57
	GYSZ	60,3	A	55,9	A	55,9	A	57
C8	TA	100	A	100	A	100	A	100
	HH	62,2	A	22,8	B	35,4	C	40
	GYH	83,8	A	58,4	B	72,3	C	72
	GYSZ	98,2	C	154,9	A	121,2	B	125
C9	TA	41	A	48	A	28	A	39
	HH	76,8	A	64,1	A	65,1	A	69
	GYH	87,7	A	62,8	B	63,2	B	71
	GYSZ	113,8	A	90,1	B	82,4	B	95
C10	TA	95	A	97	A	92	A	95
	HH	40,9	A	31,6	B	28,3	B	34
	GYH	88,2	A	87,9	A	57,7	B	78
	GYSZ	75,9	A	80,8	A	78,8	A	79
C11	TA	100	A	99	A	96	A	98
	HH	41,4	A	36,5	B	41,8	A	40
	GYH	47,4	A	33,7	B	48,0	A	43
	GYSZ	110,2	A	89,7	B	113,9	A	105

Megjegyzés: TA: túlélési arány, HH: hajtáshossz, GYH: gyökérhossz, GYSZ: gyökérszám; az eltérő nagybetűk a szignifikánsan eltérő átlagokat jelzik egy nemesítési vonalon belül a Tukey–B teszt szerint. A kék színnel és annak halvány árnyalatával kiemelt nemesítési és referencia vonalak a szelekciós kritérium szerint kiemelkedőek; μ: átlag.

7B. táblázat: A PEG 6000 által kiváltott ozmotikus stressz hatása a burgonya genotípusok (C12–C30 nemesítési vonalig) paramétereire stressz indexben (SI, %) kifejezve (Forrás: HANÁSZ et al., 2022, átszerkesztett)

Nemesítési vonal	Paraméter	5 % PEG 6000		7,5 % PEG 6000		10 % PEG 6000		μ
C12	TA	99	A	100	A	96	A	98
	HH	52,3	A	49,2	A	57,8	A	53
	GYH	47,2	A	76,7	B	58,8	C	61
	GYSZ	101,9	B	117,7	A	110,8	A	110
C14	TA	87	A	100	A	96	A	94
	HH	34,7	B	40,3	A	34,2	B	36
	GYH	88,1	A	111,8	B	57,0	C	86
	GYSZ	90,2	A	87,9	A	80,6	A	86
C17	TA	64	A	59	A	17	B	47
	HH	28,6	A	25,6	AB	21,9	B	25
	GYH	44,0	A	25,2	B	17,3	B	29
	GYSZ	75,3	A	70,2	AB	40,3	B	62
C19	TA	72	A	80	A	89	A	80
	HH	46,1	A	46,9	A	30,5	B	41
	GYH	67,5	A	54,8	B	39,2	C	54
	GYSZ	115,8	A	101,0	B	107,9	A	108
C20	TA	100	A	100	A	93	B	98
	HH	19,6	C	31,4	B	37,2	A	29
	GYH	66,6	A	45,0	B	44,8	B	52
	GYSZ	90,4	A	79,3	A	78,9	A	83
C21	TA	84	B	87	B	98	A	90
	HH	42,1	A	31,0	B	33,0	B	35
	GYH	57,3	A	65,4	A	51,4	B	58
	GYSZ	88,9	A	97,4	A	94,9	A	94
C22	TA	76	B	99	A	93	A	89
	HH	73,7	A	46,3	B	44,8	B	55
	GYH	74,7	B	90,0	A	95,9	A	87
	GYSZ	96,6	A	90,0	A	82,5	A	90
C26	TA	92	A	92	A	88	A	91
	HH	49,5	A	47,9	A	31,1	B	43
	GYH	49,8	A	51,1	A	24,1	B	42
	GYSZ	75,4	B	86,9	A	70,2	B	78
C28	TA	90	A	84	A	64	B	79
	HH	40,5	A	27,3	B	25,1	B	31
	GYH	54,2	A	41,0	B	34,5	B	43
	GYSZ	81,5	A	57,8	B	57,7	B	66
C30	TA	100	A	100	A	100	A	100
	HH	67,8	A	62,5	A	41,5	B	57
	GYH	91,0	B	106,3	A	81,5	B	93
	GYSZ	70,7	B	67,2	B	110,2	A	83

Megjegyzés: TA: túlélési arány, HH: hajtáshossz, GYH: gyökérhossz, GYSZ: gyökérszám; az eltérő nagybetűk a szignifikánsan eltérő átlagokat jelzik egy nemesítési vonalon belül a Tukey–B teszt szerint. A kék színnel és annak halvány árnyalatával kiemelt nemesítési és referencia vonalak a szelekciós kritérium szerint kiemelkedőek; μ: átlag.

7C. táblázat: A PEG 6000 által kiváltott ozmotikus stressz hatása a burgonya genotípusok (C32–C107 nemesítési vonalig) paramétereire stressz indexben (SI) kifejezve (Forrás: HANÁSZ et al., 2022, átszerkesztett)

Nemesítési vonal	Paraméter	5% PEG 6000		7,5% PEG 6000		10% PEG 6000		μ
C32	TA	98	A	96	A	89	A	94
	HH	45,0	A	54,2	A	44,9	A	48
	GYH	45,9	A	53,8	A	36,9	B	46
	GYSZ	100,8	B	134,7	A	122,7	A	119
C35	TA	89	A	77	A	86	A	84
	HH	60,2	A	32,8	C	47,5	B	47
	GYH	89,0	A	61,5	C	75,6	B	75
	GYSZ	99,5	A	75,5	B	111,8	A	96
C37	TA	73	A	50	B	64	B	62
	HH	38,9	A	34,0	B	31,3	B	35
	GYH	55,6	A	39,8	B	50,3	A	49
	GYSZ	120,9	AB	102,1	B	129,0	A	117
C41	TA	94	A	79	A	44	B	72
	HH	68,0	A	48,1	B	40,4	B	52
	GYH	52,1	A	37,5	B	25,7	B	38
	GYSZ	85,6	A	77,9	A	51,6	B	72
C42	TA	94	A	96	A	57	B	82
	HH	46,9	A	40,1	B	34,5	B	41
	GYH	63,6	A	72,2	A	32,6	B	56
	GYSZ	95,9	B	111,9	A	120,9	A	110
C57	TA	98	A	84	A	62	B	81
	HH	46,9	A	40,9	A	20,7	B	36
	GYH	45,8	A	55,8	A	20,9	B	41
	GYSZ	124,4	A	129,8	A	106,3	B	120
C58	TA	79	A	83	A	89	A	84
	HH	38,1	A	34,8	A	37,0	A	37
	GYH	63,2	B	79,5	B	82,4	A	75
	GYSZ	84,8	C	96,8	B	112,4	A	98
C63	TA	98	A	54	B	80	A	77
	HH	52,3	A	26,0	C	37,0	B	38
	GYH	71,2	A	43,0	B	53,7	B	56
	GYSZ	78,8	A	66,4	B	71,3	AB	72
C103	TA	95	B	100	A	100	A	98
	HH	37,5	B	42,6	B	52,3	A	44
	GYH	56,5	B	73,6	B	84,7	A	72
	GYSZ	149,7	B	173,0	A	180,3	A	168
C107	TA	93	A	96	A	74	A	88
	HH	26,1	B	31,5	A	24,4	B	27
	GYH	55,4	B	67,1	A	46,3	B	56
	GYSZ	138,2	B	161,0	B	220,0	A	173

Megjegyzés: TA: túlélési arány, HH: hajtáshossz, GYH: gyökérhossz, GYSZ: gyökérszám; az eltérő nagybetűk a szignifikánsan eltérő átlagokat jelzik egy nemesítési vonalon belül a Tukey–B teszt szerint. A kék színnel és annak halvány árnyalatával kiemelt nemesítési és referencia vonalak a szelekciós kritérium szerint kiemelkedőek; μ: átlag.

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 vonal és két nemesítési vonalnál (C8, C30) kaptuk a legjobb TA eredményeket, nyolc nemesítési vonal esetében is hasonló eredményeket figyeltünk meg. A C107 referencia vonal TA SI értéke azonban jelentősen csökkent, így számos nemesítési vonal megelőzte.

Minden burgonya nemesítési vonal és mindkét referencia vonal csökkent hajtáshosszal (HH) reagált a PEG 6000 jelenlétére a vizsgált koncentrációkban (7A-C. táblázat, 1-3. mellékletek).

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, C30 és C41). Emelt PEG 6000 koncentrációnál (7,5 %) öt nemesítési vonal (C2, C9, C12, C30 és C32) 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 többsége jobban teljesített, mint a C107 referencia vonal.

Az 5%-os PEG 6000 táptalajon történő alkalmazása csökkentette a gyökérhosszt (GYH) minden nemesítési vonalban és a referencia vonalakban egyaránt (7A-C. táblázat, 1-3. mellékletek). 10 nemesítési vonal 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, C14, C22 és C30) értékei pedig szignifikánsan magasabbak voltak, mint a két referencia vonalé.

Amikor 10 % PEG 6000-ret adtunk a táptalajhoz, csak a C22 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. 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 (7A-C. táblázat, 1-3. mellékletek).

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, C11, C30, C35, C37 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 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.

5.1.3 A PEG 600 által kiváltott ozmotikus stressz hatása az *in vitro* hajtástenyészetekre

A túlélési arány (TA) SI értékei a PEG 600 szint emelkedésével csökkentek (8A-C. táblázat, 4-6. mellékletek).

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, C58 és C19 vonalak esetében, bár az eredmények csak a C107 referencia vonalhoz (69 %) viszonyítva tértek el szignifikánsan. Emellett a C19 és C20 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. A PEG 600 ozmotikum koncentrációjának emelése a hajtástenyészetek túlélésére általánosan jelentős csökkenést idézett elő. A legkisebb koncentrációban alkalmazva a PEG-et a vizsgált nemesítési és referencia vonalak $\frac{1}{4}$ -énél nem volt csökkenés tapasztalható a túlélésre (TA) vonatkozó stressz index értékekben. A koncentráció növekedésével azonban a genotípusok nagyrésznél meredek visszaesés volt megfigyelhető (esetenként teljes mortalitással reagáltak). Túlélés szempontjából kiemelkedő stressz index értéket a C19, C20, C57, C58 nemesítési és C103 referencia vonalaknál mértünk.

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 (8A-C. táblázat, 4-6. mellékletek). 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 és C42 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, de jócskán lemaradva. A PEG 600 ozmotikum alkalmazása általános csökkenést okozott a hajtástenyészetek hajtáshosszra (HH) vonatkozó stressz index értékekben. Már kis (2,5 %) dózisban is jelentős volt a negatív irányú változás a koncentráció növekedésével párhuzamosan. A C6, C19, C41, C42 nemesítési és C103 referencia vonalak stressz index értékei voltak kiemelkedőek a többi vizsgált genotípushoz képest.

8A. táblázat: A PEG 600 által kiváltott ozmotikus stressz hatása a burgonya genotípusok (C2–C11 nemesítési vonalig) paramétereire stressz indexben (SI, %) kifejezve (Forrás: HANÁSZ et al., 2022, átszerkesztett)

Nemesítési vonal	Paraméter	2,5 % PEG 600		5,0 % PEG 600		7,5 % PEG 600		μ
C2	TA	100	A	63	B	24	C	62
	HH	57,9	A	48,1	B	17,40	C	41
	GYH	57,7	A	31,1	B	8,5	C	32
	GYSZ	109,3	A	103,0	A	58,9	B	90
C3	TA	90	A	55	B	3	C	49
	HH	57,5	A	36,0	B	14,30	C	36
	GYH	54,0	A	35,2	B	13,9	B	34
	GYSZ	108,0	A	90,7	B	62,2	B	87
C4	TA	92	A	32	B	0	C	41
	HH	36,1	A	22,3	B	10,2	C	23
	GYH	64,7	A	27,3	B	0	-	31
	GYSZ	82,6	A	57,9	B	0,0	-	47
C5	TA	92	A	58	B	36	B	62
	HH	61,4	A	28,6	B	16,0	C	35
	GYH	99,5	A	92,3	A	46,7	B	80
	GYSZ	74,2	A	72,2	A	56,7	B	68
C6	TA	75	A	60	A	15	B	50
	HH	75,7	A	46,6	B	21,3	C	48
	GYH	89,9	A	47,9	B	21,0	C	53
	GYSZ	59,2	A	45,1	B	24,2	C	43
C8	TA	100	A	77	B	34	C	70
	HH	68,7	A	21,9	B	5,0	C	32
	GYH	73,9	A	26,0	B	3,7	C	35
	GYSZ	70,7	A	47,4	B	22,5	C	47
C9	TA	46	A	2	B	1	B	16
	HH	55,1	A	27,5	B	24,1	B	36
	GYH	50,3	A	23,1	B	0	-	25
	GYSZ	84,8	-	0,0	-	0,0	-	28
C10	TA	88	A	32	B	5	C	42
	HH	41,8	A	23,5	B	9,7	B	25
	GYH	75,9	A	37,9	B	10,6	B	42
	GYSZ	74,6	A	53,7	B	22,7	C	50
C11	TA	100	A	47	B	27	C	58
	HH	61,4	A	22,7	B	14,0	C	33
	GYH	93,4	A	25,5	B	14,5	C	45
	GYSZ	96,7	A	48,9	B	35,3	60	60

Megjegyzés: TA: túlélési arány, HH: hajtáshossz, GYH: gyökérhossz, GYSZ: gyökérszám; az eltérő nagybetűk a szignifikánsan eltérő átlagokat jelzik egy nemesítési vonalon belül a Tukey–B teszt szerint. A kék színnel és annak halvány árnyalatával kiemelt nemesítési és referencia vonalak a szelekciós kritérium szerint kiemelkedőek; μ: átlag.

8B. táblázat: A PEG 600 által kiváltott ozmotikus stressz hatása a burgonya genotípusok (C12–C30 nemesítési vonalig) paramétereire stressz indexben (SI, %) kifejezve
(Forrás: HANÁSZ et al., 2022, átszerkesztett)

Nemesítési vonal	Paraméter	2,5 % PEG 600	5,0 % PEG 600	7,5 % PEG 600	μ
------------------	-----------	---------------	---------------	---------------	---

C12	TA	100	A	57	AB	34	B	64
	HH	24,2	AB	29,3	A	20,4	B	25
	GYH	51,8	AB	66,1	A	27,4	B	48
	GYSZ	50,7	A	43,2	A	28,4	B	41
C14	TA	89	A	50	B	29	C	56
	HH	45,3	A	28,7	B	19,3	C	31
	GYH	92,4	A	25,4	B	9,3	B	42
	GYSZ	81,5	A	59,8	B	35,7	C	59
C17	TA	93	A	35	B	5	C	44
	HH	48,1	A	28,1	B	22,4	B	33
	GYH	61,7	A	26,2	B	21,4	B	36
	GYSZ	93,9	A	62,7	B	0,0	-	52
C19	TA	75	A	88	A	21	B	61
	HH	75,0	A	53,9	B	14,9	C	48
	GYH	79,0	A	56,4	B	9,7	C	48
	GYSZ	76,2	A	52,7	B	27,7	C	52
C20	TA	98	A	87	AB	70	B	85
	HH	42,0	A	22,5	B	13,7	C	26
	GYH	105,6	A	47,3	B	18,6	C	57
	GYSZ	51,8	A	41,9	B	34,4	51,8	43
C21	TA	88	A	68	A	34	B	63
	HH	63,0	A	21,5	B	17,6	B	34
	GYH	81,3	A	26,9	B	21,7	B	43
	GYSZ	70,9	A	52,9	B	38,4	C	54
C22	TA	92	A	58	B	20	C	57
	HH	51,6	A	14,1	B	12,0	B	26
	GYH	57,5	A	17,5	B	15,4	B	30
	GYSZ	71,5	A	47,8	B	24,2	C	48
C26	TA	67	A	34	B	7	C	36
	HH	39,0	A	11,6	B	12,0	B	21
	GYH	39,2	A	4,8	B	1,6	B	15
	GYSZ	78,3	A	33,5	B	29,9	B	47
C28	TA	60	A	14	B	14	B	29
	HH	53,5	A	15,4	B	12,3	B	27
	GYH	57,9	A	13,5	B	6,1	B	26
	GYSZ	77,2	A	37,2	B	34,5	B	50
C30	TA	100	A	64	B	13	C	59
	HH	42,0	A	9,5	B	2,8	C	18
	GYH	49,0	A	8,9	B	2,5	B	20
	GYSZ	91,9	A	32,4	B	25,4	B	50

Megjegyzés: TA: túlélési arány, HH: hajtáshossz, GYH: gyökérhossz, GYSZ: gyökérszám; az eltérő nagybetűk a szignifikánsan eltérő átlagokat jelzik egy nemesítési vonalon belül a Tukey–B teszt szerint. A kék színnel és annak halvány árnyalatával kiemelt nemesítési és referencia vonalak a szelekciós kritérium szerint kiemelkedőek; μ : átlag.

8C. táblázat: A PEG 600 által kiváltott ozmotikus stressz hatása a burgonya genotípusok (C32–C107 nemesítési vonalig) paramétereire stressz indexben (SI, %) kifejezve (Forrás: HANÁSZ et al., 2022, átszerkesztett)

Nemesítési vonal	Paraméter	2,5 % PEG 600		5,0 % PEG 600		7,5 % PEG 600		μ
C32	TA	40	A	6	B	6	B	17
	HH	18,0	A	5,9	B	7,4	B	10
	GYH	23,6	A	5,2	B	2,8	B	32

	GYSZ	62,1	A	33,6	A	38,4	A	45
C35	TA	99	A	62	B	3	C	55
	HH	52,3	A	18,6	B	10,8	B	27
	GYH	74,8	A	31,1	B	7,1	B	38
	GYSZ	77,7	A	41,7	B	13,6	B	44
C37	TA	94	A	69	B	30	C	64
	HH	51,6	A	38,1	B	16,0	C	35
	GYH	64,9	A	50,0	B	11,5	C	42
	GYSZ	91,8	A	52,5	B	28,8	C	58
C41	TA	74	A	13	B	13	B	33
	HH	45,6	A	48,5	A	25,5	40	40
	GYH	41,1	A	38,0	A	15,8	B	32
	GYSZ	71,6	A	52,8	A	29,5	B	51
C42	TA	100	A	76	B	7	C	38
	HH	79,5	A	48,4	B	21,7	C	50
	GYH	74,5	A	37,8	B	16,2	C	43
	GYSZ	96,7	A	95,9	A	31,3	B	75
C57	TA	100	A	94	A	6	B	67
	HH	52,3	A	46,1	A	9,1	B	36
	GYH	105,6	A	50,9	B	11,7	C	56
	GYSZ	65,5	B	75,5	A	47,3	B	63
C58	TA	93	A	95	A	40	B	76
	HH	67,6	A	44,1	B	23,5	C	45
	GYH	81,7	A	59,0	B	44,1	C	62
	GYSZ	80,2	A	73,3	B	41,6	C	65
C63	TA	84	A	78	A	34	B	65
	HH	54,9	A	33,6	B	12,5	C	34
	GYH	131,1	A	107,8	B	73,4	C	104
	GYSZ	84,8	A	58,6	B	28,8	C	57
C103	TA	99	A	87	B	53	C	80
	HH	70,4	A	49,3	B	43,5	B	54
	GYH	98,6	A	87,1	A	64,2	B	83
	GYSZ	94,3	A	73,0	B	72,2	B	80
C107	TA	74	A	69	A	45	B	63
	HH	62,7	A	35,6	B	25,6	C	41
	GYH	84,9	A	59,7	B	54,2	B	66
	GYSZ	83,6	A	61,4	B	57,7	B	68

Megjegyzés: TA: túlélési arány, HH: hajtáshossz, GYH: gyökérhossz, GYSZ: gyökérszám; az eltérő nagybetűk a szignifikánsan eltérő átlagokat jelzik egy nemesítési vonalon belül a Tukey–B teszt szerint. A kék színnel és annak halvány árnyalatával kiemelt nemesítési és referencia vonalak a szelekciós kritérium szerint kiemelkedőek; μ : átlag.

Az *in vitro* burgonya hajtástenyészetek a PEG 600 kezelésre a gyökérhossz (GYH)

csökkenésével reagáltak, és a gátlás mértéke nőtt a PEG 600 koncentráció növekedésével (8A-C. táblázat, 4-6. mellékletek).

A 2,5 %-os PEG 600 négy nemesítési vonal (C5, C20, C57 és C63) gyökérhosszára gyakorolt stimuláló hatást a referencia vonalakhoz képest, a legmagasabb SI értéket a C63 vonalban kaptuk (131,1 %). 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 kezelések által

kiváltott stresszt, míg a C57 és C20 nemesítési vonalak csak az enyhe stresszt (2,5% PEG 600) tolerálták a gyökérhosszra vonatkozó SI értékeik szerint.

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 (8A-C. táblázat, 4-6. mellékletek). A 2,5 %-os PEG 600-as kezelésben azonban a C2 és C3 nemesítési vonalaknál 100-nál magasabb SI értékeket kaptunk, és eredményeik szignifikánsan magasabbak voltak a referencia vonalakéhoz és a többi nemesítési vonalhoz képest 2,5 és 5,0 % PEG 600 alkalmazásánál.

Ezen kívül a C42 nemesítési vonal is szignifikánsan magasabb SI eredményeket mutatott az 5,0 % PEG kezelésben.

Amikor 7,5 % PEG 600-at adtunk a táptalajhoz, a C103 referencia vonal esetében mértük a szignifikánsan legjobb eredményt (72,2 %), míg a másik referencia vonal (C107) SI értéke szignifikánsan alacsonyabb (57,7 %) volt, mint a C103 referencia vonal, de szignifikánsan magasabb, mint a legtöbb nemesítési vonal SI értéke. Ezenkívül a C2 és C3 nemesítési vonalak a C107 referencia vonalhoz nagyon hasonló eredményeket mutattak.

5.1.4 D-mannit által kiváltott ozmotikus stressz hatása az *in vitro* hajtástenyészetekre

A nemesítési vonalak mintegy 41%-ánál a hajtástenyészetek túlélési arányát (TA) nem befolyásolta szignifikánsan a D-mannit semmilyen koncentrációja, sőt, öt nemesítési vonalnál (C2, C8, C20, C30 és C63) minden explantátum túlélte az összes kezelést (9A-C. táblázat, 7-9. mellékletek). 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 értékeket 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 (9A-C. táblázat, 7-9. mellékletek).

A C12 vonal SI értéke 100 %-nál magasabb volt a 0,1 M D-mannittal végzett kezelésben, valamint C3, C5, C8, C11, C14, C17, C19, C22, C26, C30, C32, 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 vonalakhoz hasonlítva, ezzel szemben három nemesítési vonal (C41, C57 és C63) SI értéke nőtt (9A-C. táblázat, 7-9. mellékletek). 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 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 értékeket mutatott, és a nemesítési vonalak több mint harmadában (C5, C8, C11, C12, C20, C32, C57, 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).

9A. táblázat: A D-mannit által kiváltott ozmotikus stressz hatása a burgonya genotípusok (C2–C11 nemesítési vonalig) paramétereire stressz indexben (SI, %) kifejezve (Forrás: HANÁSZ et al., 2022, átszerkesztett)

Nemesítési vonal	Paraméter	0,1 M D-mannit		0,2 M D-mannit		0,3 M D-mannit		μ
C2	TA	100	A	100	A	100	A	100
	HH	54,4	A	34,6	B	23,0	C	37
	GYH	97,9	A	61,0	B	37,6	C	66
	GYSZ	91,4	A	74,4	B	67,6	B	78
C3	TA	100	A	100	A	74	B	100
	HH	67,4	A	37,2	B	21,1	C	42
	GYH	86,8	A	59,0	B	37,6	C	61
	GYSZ	91,2	A	75,6	B	43,2	C	70
C4	TA	96	A	91	A	54	B	80
	HH	65,4	A	32,4	B	11,7	C	37
	GYH	74,0	A	48,8	B	18,4	C	47
	GYSZ	88,3	A	75,7	B	50,7	C	72
C5	TA	100	A	95	AB	89	B	95
	HH	65,4	A	29,2	B	24,5	B	40
	GYH	86,5	A	73,3	B	78,5	B	79
	GYSZ	113,2	A	93,1	B	97,5	B	101
C6	TA	100	A	67	B	54	B	74
	HH	53,0	A	33,6	B	21,4	C	36
	GYH	59,2	A	50,5	B	34,5	C	48
	GYSZ	79,6	A	65,4	B	77,7	AB	74
C8	TA	100	A	100	A	100	A	100
	HH	93,2	A	46,8	B	24,2	C	55
	GYH	101,9	A	84,6	B	70,0	C	86
	GYSZ	108,0	A	100,9	A	77,0	B	95
C9	TA	90	A	83	A	73	A	82
	HH	60,4	A	46,9	B	29,5	C	46
	GYH	81,0	A	77,8	A	39,6	B	66
	GYSZ	87,2	A	85,5	A	64,4	B	79
C10	TA	100	A	100	A	92	B	97
	HH	52,4	A	27,3	B	20,8	C	34
	GYH	105,1	A	70,0	B	48,5	C	75
	GYSZ	97,2	A	79,4	B	63,0	C	80
C11	TA	100	A	95	A	92	A	96
	HH	68,3	A	36,1	B	19,0	C	41
	GYH	90,0	A	79,3	B	60,3	C	77
	GYSZ	80,5	B	121,2	A	121,7	A	108

Megjegyzés: TA: túlélési arány, HH: hajtáshossz, GYH: gyökérhossz, GYSZ: gyökérszám; az eltérő nagybetűk a szignifikánsan eltérő átlagokat jelzik egy nemesítési vonalon belül a Tukey–B teszt szerint. A kék színnel és annak halvány árnyalatával kiemelt nemesítési és referencia vonalak a szelekciós kritérium szerint kiemelkedőek; μ: átlag.

9B. táblázat: A D-mannit által kiváltott ozmotikus stressz hatása a burgonya genotípusok (C12–C30 nemesítési vonalig) paramétereire stressz indexben (SI, %) kifejezve (Forrás: HANÁSZ et al., 2022, átszerkesztett)

Nemesítési vonal	Paraméter	0,1 M D-mannit		0,2 M D-mannit		0,3 M D-mannit		μ
C12	TA	100	A	97	A	74	B	90
	HH	119,7	A	51,8	B	36,1	C	69
	GYH	94,5	A	69,3	B	56,5	C	73
	GYSZ	80,5	A	67,7	B	45,0	C	64
C14	TA	100	A	94	A	77	B	90
	HH	89,0	A	52,6	B	40,9	C	61
	GYH	93,7	A	50,6	B	21,7	C	55
	GYSZ	108,5	A	94,7	B	70,6	C	91
C17	TA	100	A	90	AB	75	B	88
	HH	74,1	A	54,7	B	38,0	C	56
	GYH	95,2	A	97,7	A	72,6	B	89
	GYSZ	111,1	A	104,9	A	98,4	A	105
C19	TA	96	A	94	A	89	A	93
	HH	87,4	A	39,4	B	27,5	C	51
	GYH	92,4	A	60,3	B	44,3	C	66
	GYSZ	114,6	A	82,8	B	83,8	B	94
C20	TA	100	A	100	A	100	A	100
	HH	56,0	A	24,4	B	15,3	C	32
	GYH	99,1	A	74,3	B	55,9	C	76
	GYSZ	68,0	A	73,3	A	55,7	B	66
C21	TA	91	A	83	A	51	B	75
	HH	57,9	A	28,5	B	16,3	C	34
	GYH	67,2	A	48,6	B	30,3	C	49
	GYSZ	72,9	A	58,7	B	55,9	B	63
C22	TA	96	A	83	B	56	C	78
	HH	71,4	A	37,0	B	21,5	C	43
	GYH	67,8	A	46,0	B	37,8	B	51
	GYSZ	99,2	A	94,6	A	49,9	B	81
C26	TA	100	A	96	A	76	B	91
	HH	70,8	A	49,8	B	25,5	C	49
	GYH	91,4	A	67,2	B	27,5	C	62
	GYSZ	98,5	A	95,3	A	69,6	B	88
C28	TA	100	A	100	A	98	A	99
	HH	66,5	A	41,1	B	28,1	C	45
	GYH	84,7	A	52,5	B	43,7	C	60
	GYSZ	94,3	A	93,2	A	74,1	B	87
C30	TA	100	A	100	A	100	A	100
	HH	67,8	A	35,0	B	17,7	C	40
	GYH	74,7	A	68,9	A	39,8	B	61
	GYSZ	105,3	B	119,4	A	96,5	B	107

Megjegyzés: TA: túlélési arány, HH: hajtáshossz, GYH: gyökérhossz, GYSZ: gyökérszám; az eltérő nagybetűk a szignifikánsan eltérő átlagokat jelzik egy nemesítési vonalon belül a Tukey–B teszt szerint. A kék színnel és annak halvány árnyalatával kiemelt nemesítési és referencia vonalak a szelekciós kritérium szerint kiemelkedőek; μ: átlag.

9C. táblázat: A D-mannit által kiváltott ozmotikus stressz hatása a burgonya genotípusok (C32–C107 nemesítési vonalig) paramétereire stressz indexben (SI, %) kifejezve (Forrás: HANÁSZ et al., 2022, átszerkesztett)

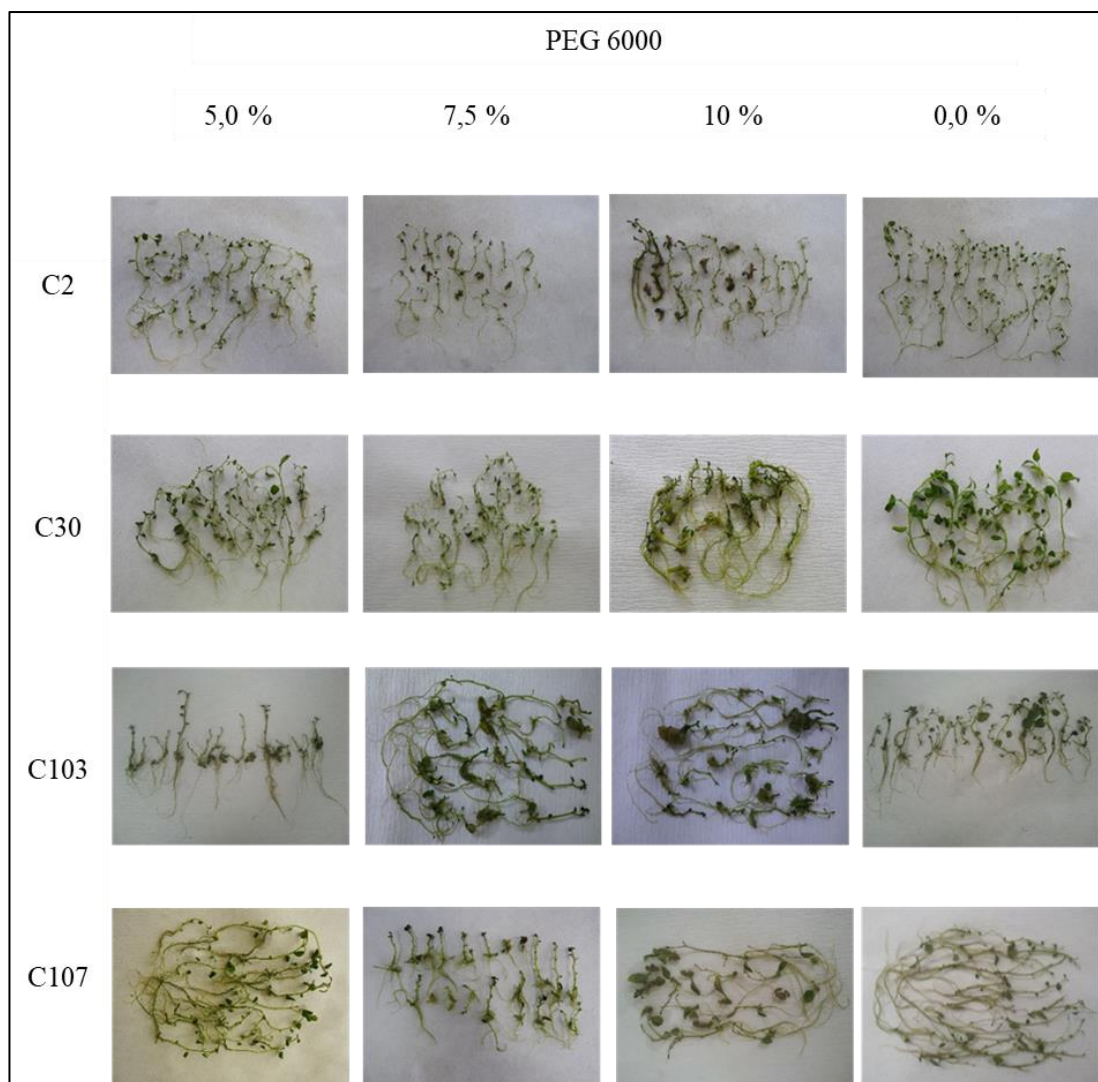
Nemesítési vonal	Paraméter	0,1 M D-mannit		0,2 M D-mannit		0,3 M D-mannit		μ
C32	TA	99	A	100	A	92	A	97
	HH	75,1	A	48,1	B	30,0	C	51
	GYH	91,3	A	70,2	B	57,9	C	73
	GYSZ	134,0	B	173,2	A	135,2	B	147
C35	TA	100	A	88	B	72	C	87
	HH	59,2	A	32,5	B	15,6	C	36
	GYH	78,1	A	49,4	B	37,2	C	55
	GYSZ	82,0	A	96,8	A	64,6	B	81
C37	TA	100	A	94	A	96	A	97
	HH	53,2	A	34,3	B	31,0	B	40
	GYH	96,6	A	68,6	B	47,1	C	71
	GYSZ	88,1	A	75,4	B	66,7	B	77
C41	TA	100	A	85	A	50	B	78
	HH	65,0	A	45,6	B	26,2	C	46
	GYH	112,7	A	63,9	B	41,4	C	73
	GYSZ	76,3	A	59,0	B	35,2	C	57
C42	TA	100	A	92	A	68	B	87
	HH	51,7	A	30,2	B	17,9	C	33
	GYH	86,2	A	69,1	B	48,3	C	68
	GYSZ	78,8	A	73,7	A	56,3	B	70
C57	TA	100	A	96	A	93	A	96
	HH	47,5	A	37,2	B	21,3	C	35
	GYH	104,8	A	84,2	B	64,3	C	84
	GYSZ	82,3	A	85,6	A	85,9	A	85
C58	TA	87	A	73	A	70	A	77
	HH	81,2	A	46,5	B	24,7	C	51
	GYH	88,6	A	78,9	B	52,0	C	73
	GYSZ	105,1	A	104,8	A	87,7	B	99
C63	TA	100	A	100	A	100	A	100
	HH	89,3	A	42,5	B	25,1	C	52
	GYH	119,9	A	96,5	B	53,0	C	90
	GYSZ	84,2	B	83,3	B	91,4	A	86
C103	TA	100	A	100	A	68	B	89
	HH	60,6	A	41,1	B	23,3	C	42
	GYH	108,8	A	103,7	A	44,2	B	86
	GYSZ	100,9	A	82,4	B	68,8	C	84
C107	TA	90	A	85	A	44	B	73
	HH	51,0	A	34,9	B	13,2	C	33
	GYH	85,4	A	77,9	A	68,4	A	77
	GYSZ	90,5	A	76,6	B	67,0	B	78

Megjegyzés: TA: túlélési arány, HH: hajtáshossz, GYH: gyökérhossz, GYSZ: gyökérszám; az eltérő nagybetűk a szignifikánsan eltérő átlagokat jelzik egy nemesítési vonalon belül a Tukey–B teszt szerint. A kék színnel és annak halvány árnyalatával kiemelt nemesítési és referencia vonalak a szelekciós kritérium szerint kiemelkedőek; μ: átlag.

A nemesítési vonalak közül C4, C6, C9, C11, C12, C20, C21, C35, C37, C41, C42, C57 és C63 csökkent, többségében szignifikánsan kisebb gyökérszámra vonatkozó (GYSZ) SI értékekkel reagált 0,1 M D-mannitos kezelésre a referencia vonalakhoz hasonlítva (9A-C. táblázat, 7-9. mellékletek). 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.

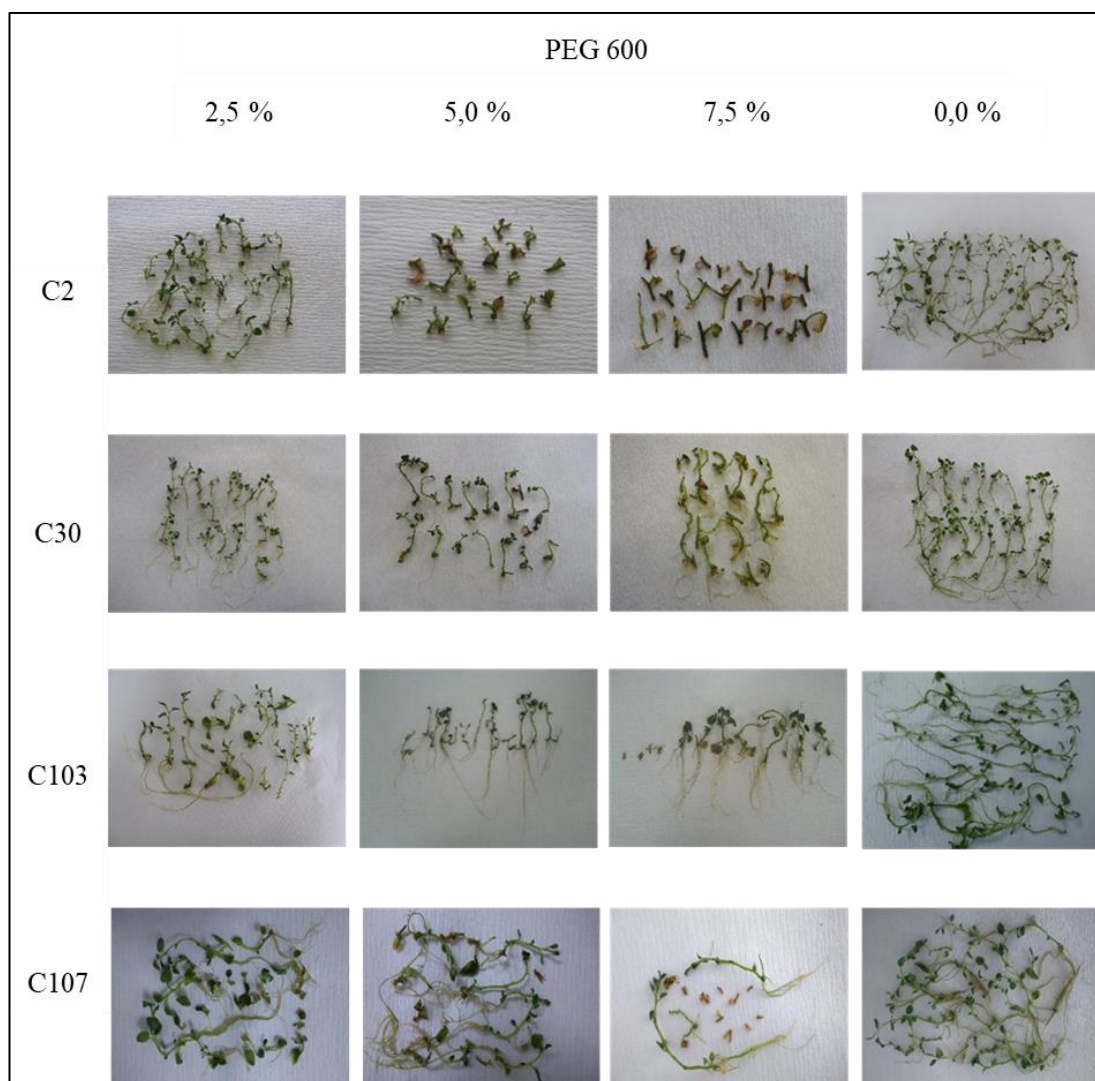
5.1.5 Az ozmotikumok hatása a vizsgált nemesítési vonalak hajtástenyészeteire

A PEG 6000 az ozmotikus stressz kiváltására mindhárom koncentrációban alkalmasnak bizonyult és hatással volt a vizsgált genotípusok morfo-fiziológiai paramétereire (8. ábra).



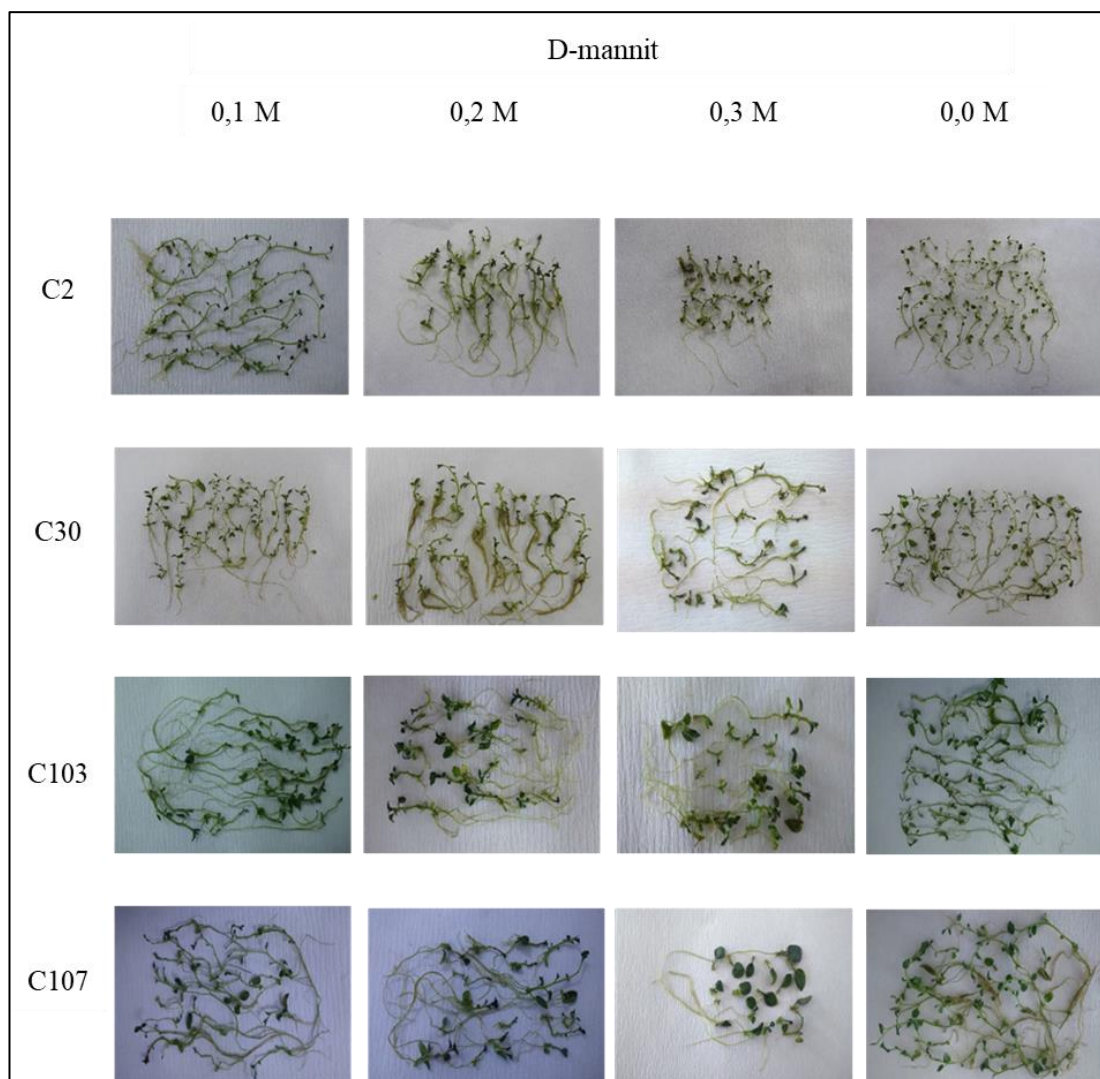
8. ábra: PEG 6000 ozmotikum által kiváltott stressz hatása az *in vitro* burgonya hajtástenyészetek fejlődésére (Nyíregyháza, 2019)

A PEG 600 alkalmazása általánosan a vizsgált genotípusok hajtástenyészeteinek gyökérszámában (GYSZ) csökkenést idézett elő (9. ábra). A koncentráció növekedésével a további csökkenést tapasztaltuk a stressz index értékekben (és egyes nemesítési vonalaknál akár a gyökérzet teljes hiányát is). A C2, C3 nemesítési és C103 referencia vonalaknál az emelt ozmotikus stressz ellenére is magas stressz index értékeket kalkuláltunk.



9. ábra: PEG 600 ozmotikum által kiváltott stressz hatása az *in vitro* burgonya hajtástenyészetek fejlődésére (Nyíregyháza, 2019)

Szignifikáns különbségek voltak a C103 és C107 között, amikor 0,1 M és 0,2 M D-mannit koncentrációt alkalmaztunk a táptalajoknál. 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 gyökérszáma vonatkozó vizsgálatok alapján a hatékony szelekcióra a táptalajhoz adagolt magasabb, 0,2 és 0,3 M D-mannit dózis volt alkalmas (10. ábra).



10. ábra: D-mannit ozmotikum által kiváltott stressz hatása az *in vitro* burgonya hajtástenyészetek fejlődésére (Nyíregyháza, 2019)

5.2 *In vivo* kísérletek eltérő ozmotikus stressztoleranciával rendelkező burgonya genotípusok első és második generációs gumóin

5.2.1 Az *in vitro* hajtástenyészetekről származó primer és szekunder gumók hozamára vonatkozó eredmények

Az elvégzett statisztikai értékelés során a primer gumó gumóhozamát tekintve (10. táblázat) a vizsgált nemesítési vonalak eredményei szignifikáns eltérést mutattak. A C107 nemesítési vonalnál mértük a legtöbb gumót (a), melyet enyhe csökkenéssel (ab, -8,7 %) követett a C20 nemesítési vonal, ezen a sémán folytatva az összehasonlítást nagyobb mértékű csökkenést (c, 43,5 %) tapasztaltunk a C11 nemesítési vonal esetében. A tőszám sűrítése (25-ről 15 cm-re csökkent a tőtávolság) szignifikáns változást jelentett a betakarított gumók mennyiségét tekintetve, hiszen a C103 és C107 nemesítési vonalaknál is jelentős változást mértünk, azonban a C11 nemesítési vonal esetében nem tapasztaltunk sem pozitív sem negatív irányú szignifikáns eltérést.

10. táblázat: Tőszámváltozás hatása az gumóhozamra különböző tőtávolságú állományokban (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).

Az *in vitro* növényekről származó második generációs gumók (szekunder gumók) mennyiségének vizsgálatakor a C103 és C20 genotípusok esetében szignifikáns csökkenést tapasztaltunk a tőszám növelésének hatására (B, -52,8 % és C, -71,4 %), azonban a C107 és C11 genotípusoknál nem mértünk szignifikáns változást. Az állomány sűrítése minden nemesítési vonalnál csaknem felére csökkentette a növényenként mért gumók számát.

5.2.2 Az *in vitro* hajtástenyészetekről származó primergumók méreteloszlására vonatkozó eredmények

A gumók száma alapján számolt (%GSZ) méret eloszlást figyelembe véve (11. 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 (11. 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 %).

11. táblázat: Normál (1 db gumó tenyészedenként) és sűrített (2 db gumó tenyészedenként) 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.

5.2.3 A fóliasátorban nevelt növényekről származó szekunder gumók méreteloszlására vonatkozó eredmények

A 12. táblázat a burgonya genotípusok betakarított 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 %) gumóméretetek 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 redukcióját 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. 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.

12. 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

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

5.3.1 A 2021-ben végzett kísérleti eredmények

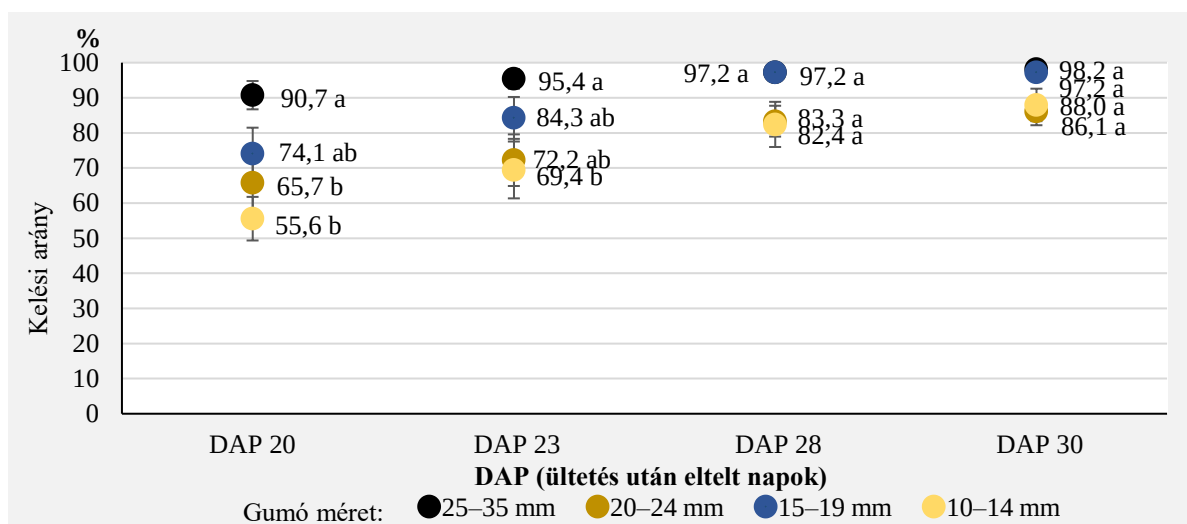
A kísérlet során 2. generációs vírusmentes vetőgumók szárazságtűrési képességeit vizsgáltuk három különböző burgonya genotípus esetében (C103, C107 és C20). A vízhiányt különböző mértékű (W1, W2 és W3, 5, 3 és 1 mm m⁻² nap⁻¹) víz kijuttatásával indukáltuk, melyet az ültetéstől számított 38. naptól kezdtünk 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.

5.3.1.1 A vetőgumó méretének hatása a burgonya növények kelésére

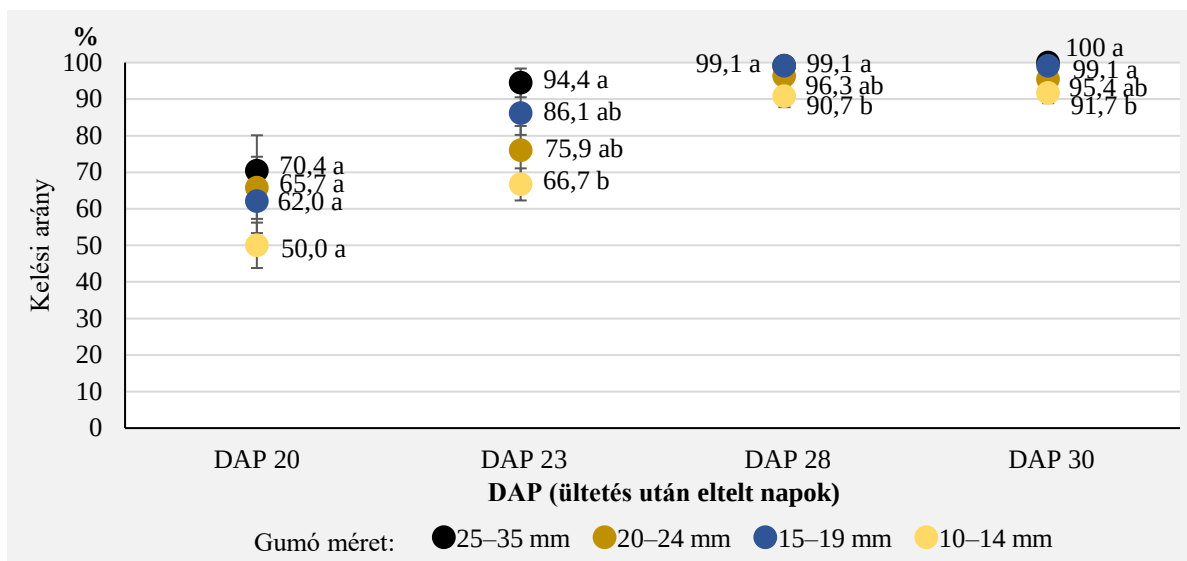
A növekedési és fejlődési jellemzők már a korai szakaszban is változékonyságot mutattak az egyes gumóméretek között már a csökkent vízádagok kijuttatása előtt is, ahogy azt a kontroll kísérleti parcellák eredményei szemléltetik (11–13. ábrák).

A nagyobb méretű gumók esetében a hajtásnövekedés hamarabb megkezdődött, mint a kisebb méretű gumóknál. A 10 napos megfigyelési időszak alatt ezek a különbségek fokozatosan csökkentek, azonban a kelés mértékében a különbségek megmaradtak, kivétel volt ez alól a C103 nemesítési vonal. A kelés végső százalékos aránya nagyon hasonló volt minden nemesítési vonalnál, a fóliasátras és a szántóföldi körülmények között egyaránt. Az eredmények 86,1 és 98,2 között változtak a C103 nemesítési vonalnál, míg a C107 vonal minden méretkategóriában több mint 90%-ot ért el (11. és 12. ábra).



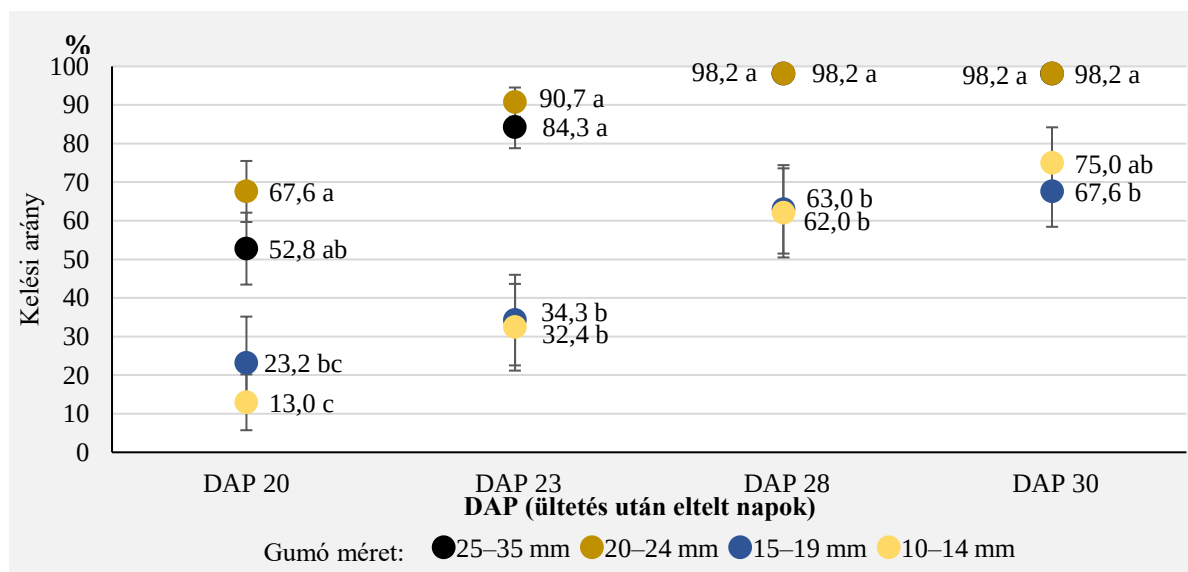
11. ábra: A C103 nemesítési vonal különböző méretű gumóinak kelési aránya (átlag % ± sztenderd hiba) 10 napos időintervallum alatt nyitott fóliasátorban a kontroll (optimális vízmennyiséggel öntözött) parcellákon (Forrás: HANÁSZ et al., 2024, szerkesztett)

Megjegyzés: A különböző kisbetűk a szignifikáns különbségeket jelzik a különböző gumó méreteknél adott DAP-on belül (Tukey-féle poszthoc teszt, ahol $p < 0,05$).



12. ábra: A C107 nemesítési vonal különböző méretű gumóinak kelési aránya (átlag % $\pm$ sztenderd hiba) 10 napos időintervallum alatt nyitott fóliasátorban a kontroll (optimális vízmennyiséggel öntözött) parcellákon (Forrás: HANÁSZ et al., 2024, szerkesztett)

Megjegyzés: A különböző kisbetűk a szignifikáns különbségeket jelzik a különböző gumó méreteknél adott DAP-on belül (Tukey-féle poszthoc teszt, ahol $p < 0,05$).



13. ábra: A C20 nemesítési vonal különböző méretű gumóinak kelési aránya (átlag % $\pm$ sztenderd hiba) 10 napos időintervallum alatt nyitott fóliasátorban a kontroll (optimális vízmennyiséggel öntözött) parcellákon (Forrás: HANÁSZ et al., 2024, szerkesztett)

Megjegyzés: A különböző kisbetűk a szignifikáns különbségeket jelzik a különböző gumó méreteknél adott DAP-on belül (Tukey-féle poszthoc teszt, ahol $p < 0,05$).

A C20 nemesítési vonal legkisebb méretkategóriája (10–14 mm) mutatta a leggyengébb kelést (67,6%), ami szignifikánsan alacsonyabb volt, mint a nagyobb gumók kelési aránya (98,2%) (13. ábra).

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 (13. táblázat).

13. táblázat. A 25 mm-nél nagyobb gumók kelési aránya 10 napos periódus alatt szántóföldi parcellákon (átlag % $\pm$ sztenderd hiba) (Forrás: HANÁSZ et al., 2024, szerkesztett)

DAP	Kelési arány		
	C103	C107	C20
20	88,4 $\pm 6,46$	79,7 $\pm 3,25$	92,5 $\pm 2,47$
23	93,13 $\pm 5,15$	92,5 $\pm 2,83$	97,5 $\pm 1,75$
28	95,0 $\pm 3,36$	96,6 $\pm 1,94$	98,3 $\pm 1,24$
30	95,3 $\pm 3,95$	99,7 $\pm 0,31$	98,8 $\pm 0,56$

Megjegyzés: DAP: day after planting, ültetés utáni napok száma

5.3.1.2 Vetógumó méret hatása a különbözően öntözött parcellákon fejlődött burgonyanövények NDVI-eredményeire

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 (10. melléklet A-C). Kerestük az összefüggéseket az NDVI eredmények és a termésparaméterek (gumószám (GSZ) és a gumótömeg (GT)) között a vizsgált nemesítési vonaloknál. 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 termés mennyiségre (GT) (14. táblázat). Az NDVI mérések a termés előrejelzésében biztatóak ugyan, de a vizsgálataink során az eredmények nem voltak minden nemesítési vonal és vízkezelés esetében konzekvenssek.

14. táblázat: A különböző időpontokban mért NDVI értékek és a gumószám (TN), valamint a gumóhozam (GT) közötti összefüggések (Forrás: HANÁSZ et al., 2024, szerkesztett)

Vízadag	Nemesítési vonal	NDVI35		NDV35		NDVI45		NDVI45		NDVI75		NDVI75	
		GSZ		GT		GSZ		GT		GSZ		GT	
W1	C103	0,745	a	0,675	a	0,64	a	0,629	a	0,165		0,436	
	C107	0,83	b	0,742	b	0,681	a	0,637	a	0,658	a	0,756	b
	C20	0,3		0,306		0,342		0,312		0,655	a	0,59	
W2	C103	0,158		0,301		0,268		0,487		0,726	b	0,789	b
	C107	0,618	a	0,556		0,608	a	0,742	b	0,2		0,287	
	C20	0,258		0,483		0,543		0,752	b	0,538		0,732	b
W3	C103	0,312		0,295		0,578	a	0,386		0,738	b	0,401	
	C107	0,764	b	0,542		0,711	b	0,604	a	0,743	b	0,639	a
	C20	0,583		0,269		0,617		0,185		0,05		-0,294	

Megjegyzés: A korreláció a: 0,01-es és b: 0,05-ös szinten szignifikáns. A cella színe jelzi a korreláció erősségét: minél sötétebb a színárnyalat, annál erősebb a korreláció; NDVI35, 45, 75: DAP 35, 45, 75

5.3.1.3 A vetőgumó méret hatása betakarított gumók számára, hozamára, méret szerinti eloszlására eltérő vízellátási körülmények között

A vízmegvonás a gumó szám csökkenését okozta (15. táblázat), 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.

15. táblázat: A vízhiány és a gumó méretének hatása a gumó szám (GSZ) és a friss gumó termés (GT) SI-értékeire (% , $\pm$ sztenderd hiba) (Forrás: HANÁSZ et al., 2024, szerkesztett)

P	Vízadag	Genotípus	Gumóméret (mm)			
			25–35	20–24	15–19	10–14
GSZ (SI, %)	W2	C103	96,2 $\pm$ 16,59	61,0 $\pm$ 3,9	58,0 $\pm$ 4,48	80,7 $\pm$ 6,28
		C107	93,0 $\pm$ 14,76	89,3 $\pm$ 15,61	72,6 $\pm$ 0,81	89,1 $\pm$ 19,56
		C20	53,9 $\pm$ 10,13	94,8 $\pm$ 23,36	44,5 $\pm$ 20,68	65,6 $\pm$ 27,31
	W3	C103	96,2 $\pm$ 11,23	50,6 $\pm$ 4,32	97,5 $\pm$ 8,08	94,5 $\pm$ 21,83
		C107	89,4 $\pm$ 13,44	65,6 $\pm$ 13,06	93,1 $\pm$ 8,18	64,8 $\pm$ 5,29
		C20	37,9 $\pm$ 4,51 a	34,2 $\pm$ 5 ab	18,4 $\pm$ 3,76 b	-
GT (SI, %)	W2	C103	85,6 $\pm$ 6,49	69,3 $\pm$ 7,4	66,7 $\pm$ 3,88	70,5 $\pm$ 4,62
		C107	87,9 $\pm$ 17,49	77,6 $\pm$ 12,72	84,8 $\pm$ 3,12	83,0 $\pm$ 24,45
		C20	84,2 $\pm$ 52,55	81,0 $\pm$ 26,77	40,4 $\pm$ 15,22	57,9 $\pm$ 36,89
	W3	C103	77,7 $\pm$ 11,74	52,4 $\pm$ 11,29	74,2 $\pm$ 2,58	67,4 $\pm$ 23,87
		C107	68,3 $\pm$ 9,12	53,1 $\pm$ 15,6	87,7 $\pm$ 17,03	53,2 $\pm$ 13,31
		C20	54,4 $\pm$ 23,28	14,4 $\pm$ 3,27	25,6 $\pm$ 9,15	-

Megjegyzés: A különböző kisbetűk jelzik az azonos genotípusokon és kezeléseken belül eltérő méretű gumókból fejlődött növények terméssparamétereinek SI értékei közötti szignifikáns különbségeket (Tukey-féle poszthoc teszt, ahol $p < 0,05$)

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 terméssparaméterek vizsgálata során (16. 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.

16. 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 betakarított gumókat hét méretkategóriába soroltuk, 45 mm feletti, 36 és 45 mm közötti, 25 és 35 mm közötti, 20 és 24 mm közötti, 15 és 19 mm közötti, 10 és 14 mm közötti, valamint 10 mm alatti mérettartományokba. A különböző méretű betakarított gumók számára (GSZ) vonatkozóan megállapítottuk, hogy a gumószám arányt a genotípus, a gumó mérete és a vízstressz egyaránt befolyásolta (32. táblázat, 11. melléklet).

A C103 nemesítési vonalnál a legnagyobb arányban a 25–35 mm közötti, valamint a 36–45 mm közötti méretkategóriába soroltuk a betakarított gumókat, azonban a fokozott vízhiány hatása (W3) jelentősen csökkentette az ilyen méretű gumók arányát az enyhébb (W2) vízhiányt szenvedő és a kontroll (optimális vízmennyiséget kapott, W1) parcellákon fejlődött növények alól betakarított gumók méreteloszlásához viszonyítva. Legkevesebb gumót általánosan a legkisebb méretkategóriában találtunk (10 mm alatti). A C107 nemesítési vonalnál az ültetett gumó méretétől és a vízmegvonástól függetlenül is nagyon kevés nagy méretű (45 mm feletti) gumó volt (kevesebb, mint 6 %). Az összes parcella átlagában (33,97 %) a legnagyobb arányban a 25–35 mm közötti mérettartomány volt jellemző. A C20 nemesítési vonal esetében csak 36 mm-nél kisebb gumókat takarítottunk be, de nagyon apró (10 mm-nél kisebb) gumók is előfordultak.

A kapott eredményekből megállapítható, hogy a vízhiány hatására a gumók méreteloszlása úgy változott, hogy a nagyobb gumók aránya csökkent, míg a kisebbek aránya nőtt. A C103 nemesítési vonalnál a 45 mm-nél nagyobb gumók aránya (GSZ) csökkent a csökkentett vízmennyiség hatására, míg a C107 nemesítési vonalnál nem változott. A C103 nemesítési vonal esetében azonban csak a 45 mm-nél nagyobb gumók aránya csökkent az vízstressz kezelése hatására.

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

G	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
C103	10–14	6,33	5,57	6,82	8,06	8,37	7,65	6,52	4,84	8,68	9,96	12,14	12,62
C103	<10	2,28	-	4,5	1,73	-	-	-	-	5,43	-	-	-
C107	>45	2,6	1,79	1,94	3,38	-	3,81	3,38	5,54	4,39	-	-	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
C107	10–14	10,64	11,78	12,33	11,44	11,01	14,8	8,21	6,93	11,89	12,27	7,99	10,81
C107	<10	4,83	4,1	7,2	4,42	8,37	5,71	1,93	3,69	6,03	6,59	8,26	11,11
C20	>45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C20	36–45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C20	25–35	19,18	9,22	25,25	28,71	21,79	-	-	-	20	10,73	3,81	-
C20	20–24	27,9	21,67	38,38	43,07	34,64	-	38,33	16,26	35,83	26,84	52,46	-
C20	15–19	19,78	40,11	18,18	17,7	27,94	-	38,33	55,83	29,17	42,95	26,62	-
C20	10–14	33,14	13,54	18,18	10,52	15,64	-	23,33	27,91	15	19,47	17,11	-
C20	<10	-	15,45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

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

Ezzel szemben, bár a 45 mm-nél nagyobb gumók száma a szárazság hatására nem változott a C107 vonalban, ennek a méretkategóriának a tömege csökkent, ami arra utal, hogy ezeknek a gumóknak a sűrűsége csökkent. A C20 vonalon nem volt kimutatható konszisztens változás.

A gumó hozam (GT) szerinti méretkategóriákba sorolás eredményeiből arra következtethetünk, hogy a vízhiány jelentősen befolyásolta az értékeket (18. táblázat, 12. melléklet). A vízadag csökkenésével párhuzamosan a C103 és a C107 nemesítési vonal esetében is csökkenő tendenciát mutatott a nagyméretű gumók aránya.

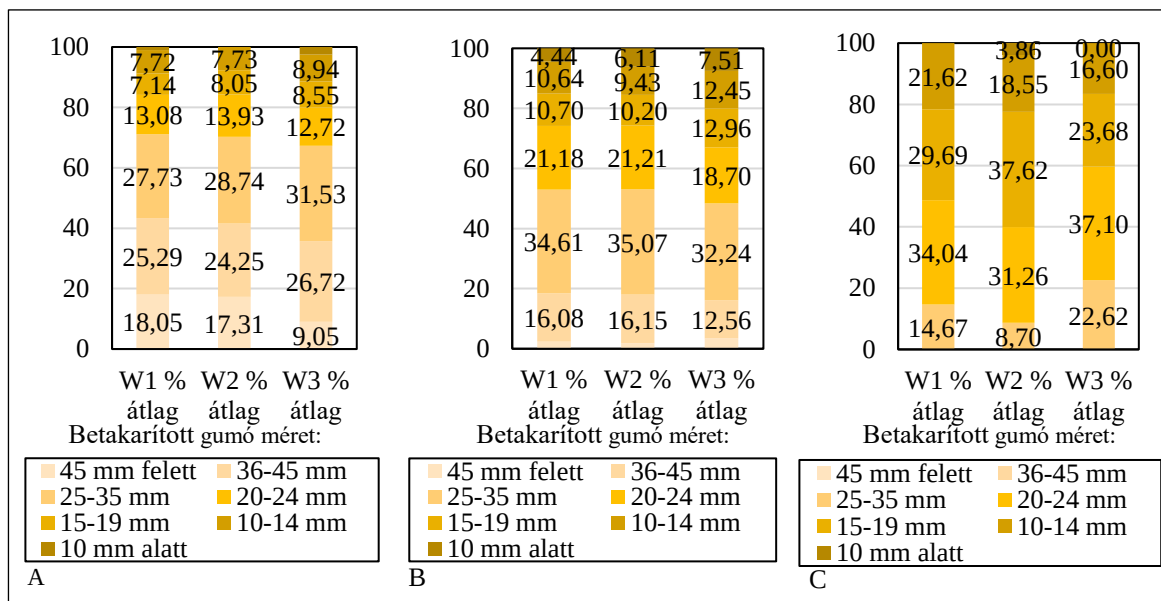
18. táblázat: A genotípus, az ültetett gumó mérete és a különböző vízadagok hatása az egyes mérettartományok szerint ültetett gumókról betakarított gumók méret szerinti arányára gumó termés alapján (GT, %) (Forrás: HANÁSZ et al., 2024, szerkesztett)

G	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
C103	10–14	0,2	0,19	0,22	0,3	0,23	0,24	0,22	0,13	0,36	0,4	0,87	0,5
C103	<10	0,08	-	0,11	0,1	-	-	-	-	0,18	-	-	-
C107	>45	58,58	7,89	9,87	42,66	-	17,82	54,02	16,48	17,8	46,79	-	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
C107	10–14	0,2	1,1	1,45	0,3	1,24	1,7	0,22	0,52	1,08	0,4	1,15	1,16
C107	<10	0,08	0,11	0,17	0,1	0,25	0,3	0	0,15	0,19	0	0,4	0,32
C20	>45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C20	36–45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C20	25–35	49,79	26,53	49,69	53,83	49,21	-	-	-	44,98	30,61	11,11	-
C20	20–24	33,2	31,51	39,34	38,28	35,15	-	64,61	39,02	36,33	20,41	69,44	-
C20	15–19	11,62	36,48	8,28	6,34	12,83	-	28,09	52,44	15,57	43,37	16,67	-
C20	10–14	5,39	3,32	2,69	1,56	2,81	-	7,3	8,54	3,11	5,61	2,78	-
C20	<10	-	2,16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

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

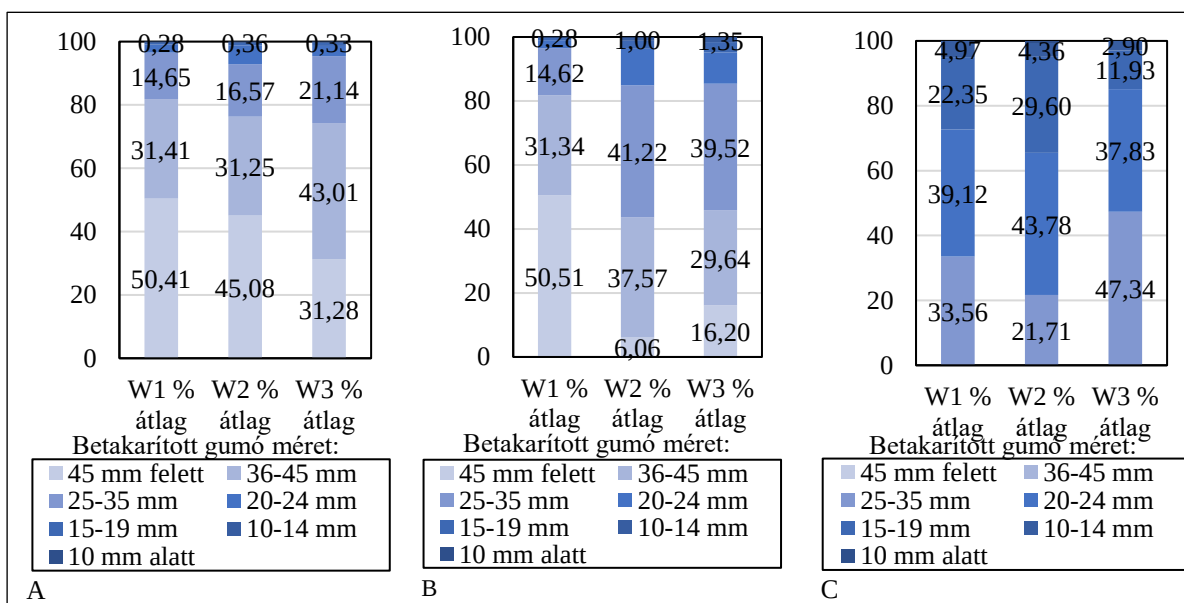
Az ültetett méretfrakciótól függetlenül (tehát összevonva az ültetett gumók méretkategóriáit) vizsgálva a gumó méret eloszlást, azt a következtetést vontuk le, hogy a vízadagok csökkenésével a nagyméretű gumók száma kismértékben csökkent, a betakarított gumók méreteloszlása pedig nagymértékben függött a genotípustól (14. ábra).

A nagyméretű gumók arányának nagyobb csökkenését a vízhiány hatásának tudhatjuk be, ha nemcsak a gumók számát, hanem tömegét is figyelembe vesszük (15. ábra).



14. ábra: A betakarított gumók százalékos aránya (GSZ) az egyes vízkezelésekben (az összes ültetett gumóméret átlagából) a C103 (A), a C107 (B) és a C20 (C) nemesítési vonalaknál (Forrás: HANÁSZ et al., 2024, szerkesztett)

Megjegyzés: A betakarítás után méretük szerint kategorizáltuk, és minden kategóriában megszámoltuk a gumókat.



15. ábra: A betakarított gumók százalékos aránya (GT) az egyes vízkezelésekben (az összes ültetett gumóméret átlagából) a C103 (A), a C107 (B) és a C20 nemesítési vonalaknál (Forrás: HANÁSZ et al., 2024, szerkesztett)

Megjegyzés: A betakarítás után méretük szerint kategorizáltuk, és minden kategóriában megszámoltuk a gumókat.

5.3.2 2022-ben végzett kísérleti eredmények

A 2021-ben betakarított termés csoportosítva lett a kijuttatott vízádagok szerint (jelölésük innentől kezdve: PW1: 5 mm m⁻² nap⁻¹, PW2: 3 mm m⁻² nap⁻¹, PW3: 1 mm m⁻² nap⁻¹), azonban a gumóméretek közül egy méretet, a 25–25 mm közöttit használtuk az ültetéskor. A szárazságstressz tesztelése egyféle csökkentett vízádag mellett történt (1 mm m⁻² nap⁻¹). Megfigyeltük a szárazságstressz utólagos hatását a burgonya nemesítési vonalaktól származó növények növekedésére, fejlődésére és a termésmennyiségek alakulására kontroll (W1, optimális vízmennyiséget kapott, 5 mm m⁻² nap⁻¹) és szárazságstressznek kitett környezetben (W2, 1 mm m⁻² nap⁻¹), valamint teljesítményüket a szárazságtűrő képességük pontosabb meghatározására kontroll burgonya fajtákhoz ('Boglárka', 'Desiree') hasonlítottuk.

5.3.2.1 Az előző évi (2021) kezelés hatása a burgonya növények kelésére

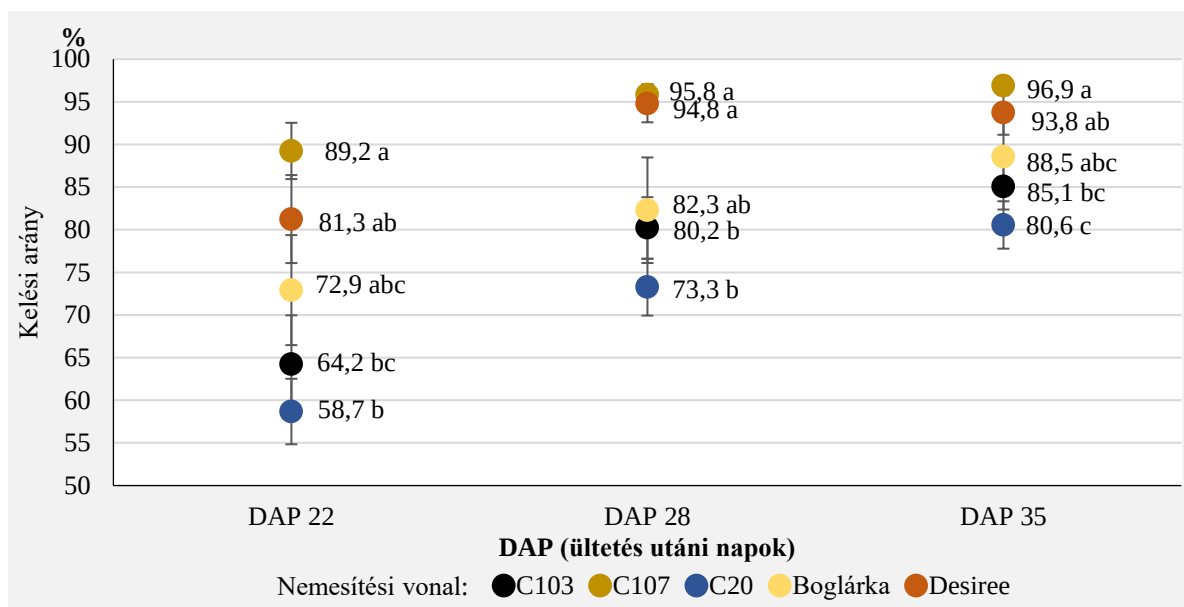
Az ültetés utáni 28. napig (DAP 28) nem volt szignifikáns különbség a korábban szárazságstressznek kitett és a kontroll (optimális vízádagot kapott) parcellákon fejlődött növények kelésében (19. táblázat). A C107 nemesítési vonal DAP 35 időpontban mért kelési arányait elemezve az előző évben PW2 (3 mm m⁻² nap⁻¹) vízmennyiséget kapott növényekből származó gumók kelése szignifikánsan magasabb százalékos értéket mutatott, mint a PW3 vízádagot (1 mm m⁻² nap⁻¹) kapott növényekről származó gumóké. A C20 nemesítési vonal esetében is hasonló jelenséget figyeltünk meg, de itt szignifikáns különbség csak az előző évben kontroll kezelést (optimális vízmennyiséget, PW1, 5 mm m⁻² nap⁻¹) kapott parcellák eredményeihez képest volt.

19. táblázat: Az előző évben (2021) különböző vízádagot kapott gumók kelésének százalékos aránya (átlag % ± sztenderd hiba) (Forrás: HANÁSZ et al., 2024, szerkesztett)

Genotípus	Víz (2021)	DAP		
		22	28	35
C103	PW1 (5 mm m ⁻² nap ⁻¹)	66,7 ± 9,05 a	80,2 ± 5,21 a	85,4 ± 4,38 a
	PW2 (3 mm m ⁻² nap ⁻¹)	47,9 ± 11,55 a	75,0 ± 8,77 a	86,5 ± 4,71 a
	PW3 (1 mm m ⁻² nap ⁻¹)	78,1 ± 6,48 a	85,4 ± 4,09 a	83,3 ± 5,46 a
C107	PW1 (5 mm m ⁻² nap ⁻¹)	88,5 ± 2,19 a	94,8 ± 2,19 a	96,9 ± 1,53 ab
	PW2 (3 mm m ⁻² nap ⁻¹)	97,9 ± 2,08 a	99,0 ± 1,04 a	100,0 ± 0,0 a
	PW3 (1 mm m ⁻² nap ⁻¹)	81,3 ± 7,84 a	93,8 ± 2,61 a	93,8 ± 2,61 b
C20	PW1 (5 mm m ⁻² nap ⁻¹)	47,9 ± 5,62 a	65,6 ± 4,3 a	74,0 ± 2,46 b
	PW2 (3 mm m ⁻² nap ⁻¹)	59,4 ± 3,67 a	81,3 ± 4,92 a	90,6 ± 4 a
	PW3 (1 mm m ⁻² nap ⁻¹)	68,8 ± 8,3 a	72,9 ± 7 a	77,1 ± 5,62 ab

Megjegyzés: A különböző kisbetűk szignifikáns különbségeket jeleznek a korábban eltérően kezelt gumókkal beültetett parcellák átlaga között (ugyanazon DAP-on belül (Tukey-féle poszthoc teszt, ahol p < 0,05)).

Ezzel szemben a genotípusok átlagos kelési arányait vizsgálva szignifikáns különbségek voltak a nemesítési vonalak és a kontroll fajták eredményei között (16. ábra). A C107 nemesítési vonalnál mértük a legmagasabb kelési arányt (%), majd követték a 'Desiree', a 'Boglárka' kontroll fajták, a C103 nemesítési vonal és végül a legalacsonyabb százalékban a C20 nemesítési vonal.

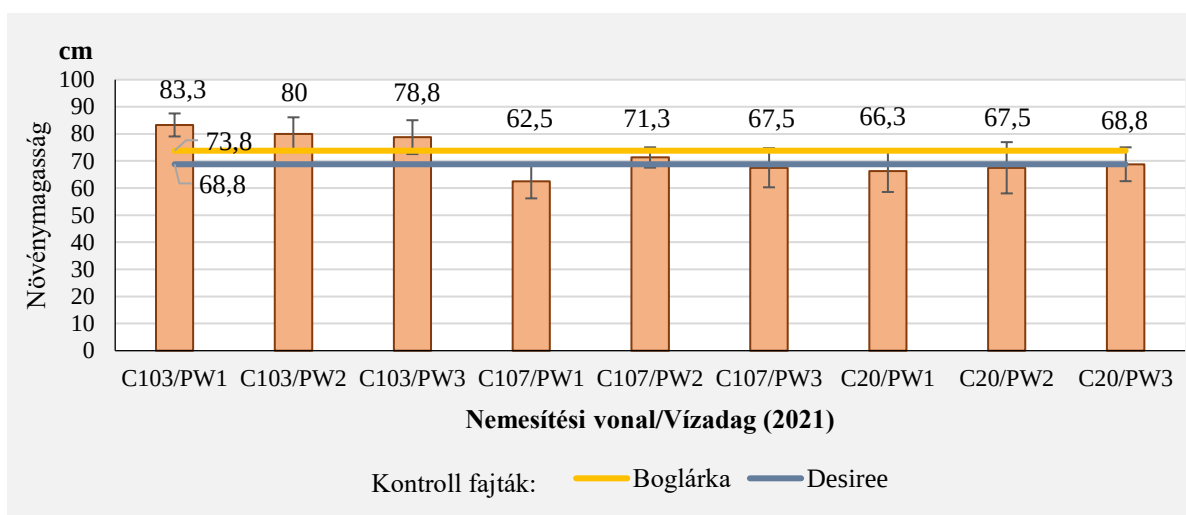


16. ábra A genotípusok kelése (átlag % $\pm$ sztenderd hiba) (nemesítési vonalak esetén az átlageredmények az összes előző évi vízádagot kapott gumók eredményeinek átlagában szerepelnek) (Forrás: HANÁSZ et al., 2024, szerkesztett)

Megjegyzés: A különböző kisbetűk szignifikáns különbségeket jeleznek az azonos DAP-on belüli genotípusok átlagai között (Tukey-féle poszthoc teszt, ahol $p < 0,05$).

5.3.2.2 Az előző évi (2021) kezelések és a szárazságstressz (W2) hatása a növény magasságára

A C103 nemesítési vonal előző évi kontroll kezelést (optimális vízmennyiséget, PW1) kapott növényeinek esetében mértük a legmagasabb növénymagasság értékeket, majd a C107 és a C20 nemesítési vonalak következtek csökkenő sorrendben. Utóbbi két nemesítési vonalanknál és a 'Desiree' fajtánál mért növénymagasság nagyon hasonló volt (17. ábra). A 'Boglárka' kontroll fajta magassága a C103 nemesítési vonallal összevetve alacsonyabb, azonban a többi genotípushoz képest magasabb értékeket vett fel. A kísérlet 2021. évében végzett stressz kezeléseknak nem volt kimutatható utóhatása a vizsgált nemesítési vonalanknál.



17. ábra: A kontroll fajták és a nemesítési vonalak előző évben különböző mértékű szárazságstressz kezelést kapott gumóiból fejlődött növények magassága (átlag cm ± sztenderd hiba) (Forrás: HANÁSZ et al., 2024, szerkesztett)

Megjegyzés: Az előző évi (2021) kezelések (PW1: optimális öntözés, 5 mm m⁻² nap⁻¹, kontroll; PW2: az optimális szint 60%-a, 3 mm m⁻² nap⁻¹; PW3: az optimális szint 20%-a, 1 mm m⁻² nap⁻¹) gumóiból fejlődött növények a kontroll fajtákhoz ('Boglárka': sárga vonal és 'Desiree':kék vonal) képest.

A 2021-ben különböző mértékű szárazságstressznek (PW1, PW2, PW3) kitett gumókról származó növények stressz index (SI) értékei melyeket a W1, optimális és W2, csökkentett vízkezelést kapott magasságértékek alapján kalkuláltunk (20. táblázat), átlagosan 80,0 % fölött voltak minden nemesítési vonalnál.

20. táblázat: A növénymagasság SI értékei az előző évben (2021) különböző vízadagok mellett fejlődött gumókból nevelt nemesítési vonalakban, illetve SI-értékek a kontroll fajtákban ('Boglárka' és 'Desiree') (Forrás: HANÁSZ et al., 2024, szerkesztett)

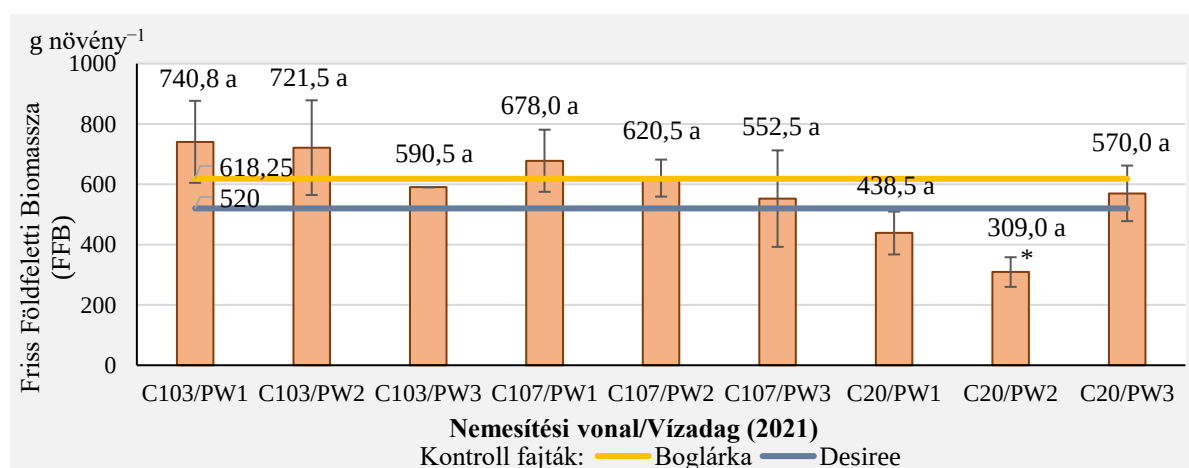
Vízadag (2021)	C103	C107	C20	'Boglárka'	'Desiree'
PW1 (kontroll) (5 mm m ⁻² nap ⁻¹)	84,1 ± 8,84	88,0 ± 10,33	90,6 ± 6,16	74,6 ± 2,77	65,5 ± 5,14
PW2 (3 mm m ⁻² nap ⁻¹)	87,5 ± 8,83	81,8 ± 3,99	87,0 ± 6,33	–	–
PW3 (1 mm m ⁻² nap ⁻¹)	93,7 ± 11,11	77,8 ± 6,42	89,1 ± 7,5	–	–
Átlag	88,4 ± 5,18 a	82,5 ± 4,06 ab	88,9 ± 3,52 a	74,6 ± 2,77 ab	65,5 ± 5,14 b

Megjegyzés: Az előző évi (2021) kezelések: PW1: optimális öntözés, kontroll, 5 mm m⁻² nap⁻¹; PW2: az optimális szint 60%-a, 3 mm m⁻² nap⁻¹; PW3: az optimális szint 20%-a, 1 mm m⁻² nap⁻¹. A különböző kisbetűk szignifikáns különbségeket jeleznek az egyes genotípusok SI értékeinek átlagai között (Tukey-féle poszthoc teszt, ahol p < 0,05).

'Boglárka' és 'Desiree' vizsgált kontroll fajtáink 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.

5.3.2.3 Az előző évi (2021) kezelések és a szárazságstressz hatása az friss földfeletti biomassa (FFB) és száraz földfeletti biomassa (SzFB) mennyiségére

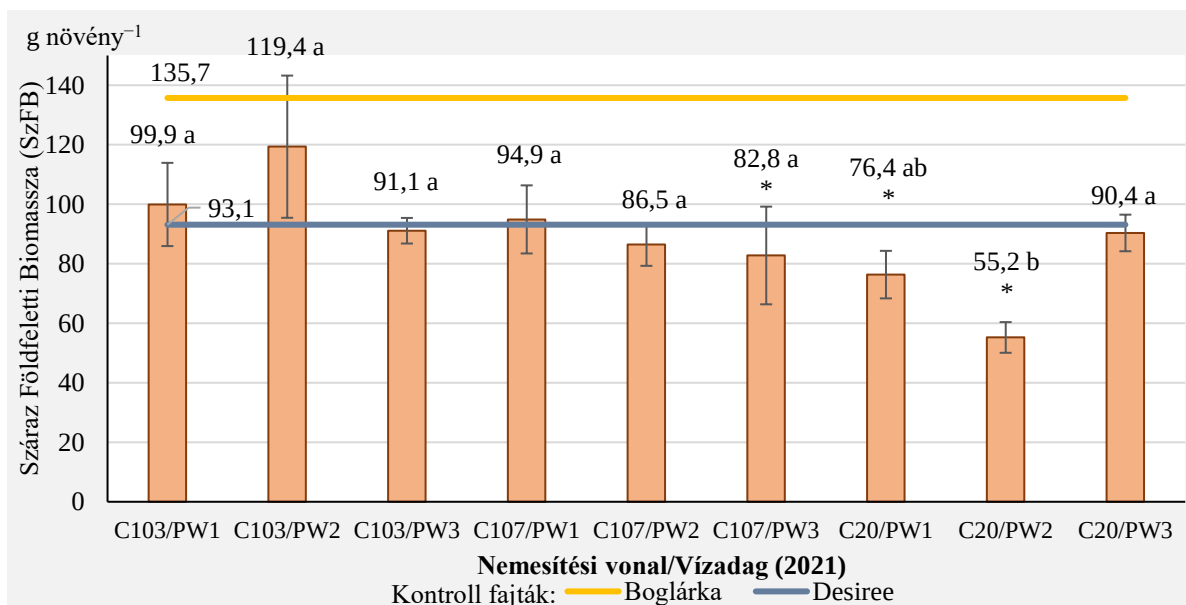
A 2021-ben különböző vízádagokat kapott (PW1, PW2, PW3) gumókból fejlődő növényeknél a kezelések átlagában (18. ábra) a C103 nemesítési vonal esetében mértük a legtöbb friss földfeletti biomasszát (FFB, 684,3 g növényenként), majd a C107 nemesítési vonalnál (617,0 g növényenként) és végül a C20 nemesítési vonal növényein mértük a legkisebb mennyiséget (439,2 g növényenként). A korábbi vízkezelés utóhatása kimutatható volt a C103 és a C107 nemesítési vonalaknál. A szárazságstressz növekedésével párhuzamosan csökkent az FFB értéke is. Azonban a C20 nemesítési vonalnál a PW3 kezelésből származó növényeknél mértük a legmagasabb FFB értékeket.



18. ábra: A nemesítési vonalak előző évben (2021) különböző mértékű szárazságstressz kezelést kapott gumóiból fejlődött, valamint a kontroll fajták ('Boglárka': sárga vonal, Desiree: kék vonal) növényeinek kontroll (W1) parcellákon fejlődött FFB tömege (Forrás: HANÁSZ et al., 2024, szerkesztett)

Megjegyzés: Ugyanazok a kisbetűk egy genotípuson belül az azonos homogén csoporthoz tartozó átlagokat jelölik, míg a * a szignifikánsan eltérő átlagot jelöli a 'Boglárka' kontroll fajtától (Tukey-féle poszthoc teszt, ahol $p < 0,05$), 'Desiree' nem tér el szignifikánsan a nemesítési vonalaktól. Az oszlopok az átlagokat ($\pm$ sztenderd hiba) mutatják.

Az SzFB (száraz földfeletti biomassa) eredményeit (19. ábra) tekintve a Boglárka kontroll fajta szignifikánsan magasabb eredményt mutatott, mint a többi nemesítési vonal és fajta. A C107 (88,0 g növényenként) és a C20 (74,0 g növényenként) nemesítési vonalnál alacsonyabb SzFB mennyiséget (az összes korábbi kezelés átlagában) mértünk, mint a kontroll és a C103 nemesítési vonal (103,5 g növényenként) esetében.



19. ábra: A nemesítési vonalak előző évben (2021) különböző mértékű szárazságstressz kezelést kapott gumóiból fejlődött, valamint a kontroll fajták ('Boglárka': sárga vonal, Desiree: kék vonal) növényeinek kontroll (W1) parcellákon fejlődött SzFB tömege (Forrás: HANÁSZ et al., 2024, szerkesztett)

Megjegyzés: Ugyanazok a kisbetűk egy genotípuson belül az azonos homogén csoporthoz tartozó átlagokat jelölik, míg a * a szignifikánsan eltérő átlagot jelöli a 'Boglárka' kontroll fajtától Tukey-féle poszthoc teszt, ahol $p < 0,05$), 'Desiree' nem tér el szignifikánsan a nemesítési vonalaktól. Az oszlopok az átlagokat ($\pm$ sztenderd hiba) mutatják.

A friss (FFB) és száraz földfeletti biomassa (SzFB) SI értékeit vizsgálva a C107 nemesítési vonal esetében számoltuk a legmagasabb SI értéket, melyek az előző évi (2021) szárazságstressz mértékének (PW1, PW2, PW3) növekedésével párhuzamosan nőttek. Azonban a C20 nemesítési vonalnál ellenkező irányban történt változás. A legalacsonyabb SI értéket a 'Boglárka' kontroll fajta esetében mértünk, mind az FFB, mind az SzFB SI értékekben (21. táblázat).

21. táblázat: Az előző évben (2021) különböző szárazságstressz kezelést kapott gumókból fejlődött, W2 vízádagot kapott növények (nemesítési vonalak és kontroll fajták) FFB és SzFB SI értékei (%), $\pm$ sztenderd hiba) (Forrás: HANÁSZ et al., 2024, szerkesztett)

Paraméter (SI, %)	Vízádag (2021)	C103	C107	C20	‘Boglárka’	‘Desiree’
FFB	PW1 (5 mm m ⁻² nap ⁻¹)	54,0 $\pm$ 8,04	63,5 $\pm$ 10,31	83,2 $\pm$ 6,7	36,9 $\pm$ 6,67	69,7 $\pm$ 20,79
	PW2 (3 mm m ⁻² nap ⁻¹)	68,7 $\pm$ 9,35	72,6 $\pm$ 11,13	81,3 $\pm$ 10,93	–	–
	PW3 (1 mm m ⁻² nap ⁻¹)	65,5 $\pm$ 9,35	85,3 $\pm$ 9,16	45,9 $\pm$ 11,93	–	–
	Átlag	62,7 $\pm$ 5,04 ab	73,8 $\pm$ 5,99 a	70,1 $\pm$ 7,39 ab	36,9 $\pm$ 6,67 b	69,7 $\pm$ 20,79 ab
SzFB	PW1 (5 mm m ⁻² nap ⁻¹)	84,6 $\pm$ 13,96 a	77,0 $\pm$ 10,79 ab	89,4 $\pm$ 7,53 a	38,7 $\pm$ 5,48 b	74,6 $\pm$ 15,37 ab
	PW2 (3 mm m ⁻² nap ⁻¹)	71,3 $\pm$ 14,52 b	76,5 $\pm$ 7,15 ab	88,1 $\pm$ 9,63 a	–	–
	PW3 (1 mm m ⁻² nap ⁻¹)	92,0 $\pm$ 10,64 a	99,8 $\pm$ 14,15 a	55,9 $\pm$ 9,65 b	–	–
	Átlag	82,6 $\pm$ 7,33 a	84,4 $\pm$ 6,64 a	77,8 $\pm$ 6,62 ab	38,7 $\pm$ 5,48 b	74,6 $\pm$ 15,37 ab

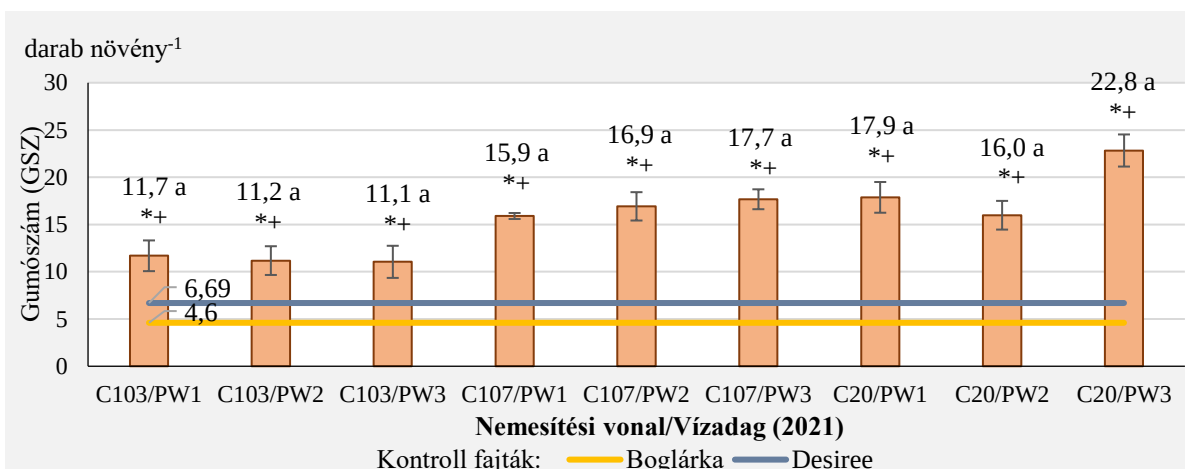
Megjegyzés: FFB: Friss Földfeletti biomassa, SzFB: Száraz Földfeletti Biomassa; A különböző kisbetűk szignifikáns különbségeket jeleznek a genotípusok SI értékeinek átlagai között Tukey-féle poszthoc teszt, ahol $p < 0,05$).

5.3.2.4 Az előző évi (2021) kezelések és a szárazságstressz hatása a gumók számára (GSZ), hozamára (GT) és méret szerinti eloszlására

A vizsgált nemesítési vonalak a kontroll (optimális vízádagot kapott, W1) parcellákon szignifikánsan több gumót hoztak, mint a kontroll burgonya fajták (‘Boglárka’ és ‘Desiree’). Az összes 2021-ben alkalmazott vízádag szerint (PW1, PW2, PW3) fejlődött gumókról származó növények eredményeinek átlagában a C20 nemesítési vonalon számoltuk a legtöbb gumót (18,9 darab növényenként), majd a C107 (16,8 db növényenként) és a C103 (11,3 darab növényenként) nemesítési vonalon csökkenő sorrendben. Az előző évi (2021) szárazságstressz kezelések utóhatása a C20 nemesítési vonal gumóinak mennyiségében volt mérhető. A PW3 kezelést kapott gumókból fejlődött növények alól betakarított gumók száma ugyan több volt, de a különbség nem volt szignifikáns (20. ábra).

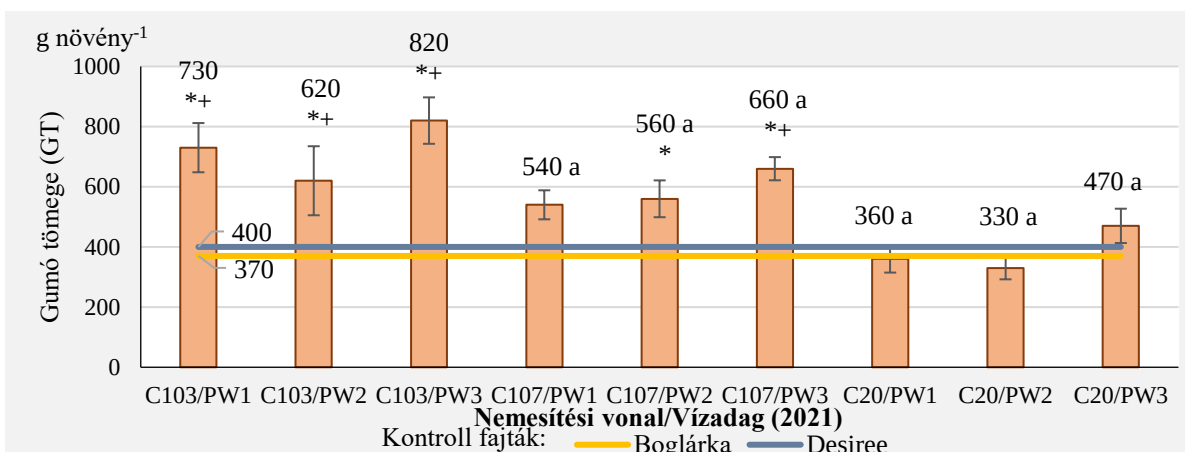
A betakarított termés eredményeknél (GT) azt tapasztaltuk, hogy a kontroll fajtákhoz (‘Boglárka’ és ‘Desiree’) képest csak a C103 (723,3 g növényenként) és C107 nemesítési vonalaknál (586,7 g növényenként) voltak szignifikánsan magasabb értékek. Ugyan magas gumó számot mértünk a C20 nemesítési vonalnál, de a termés tömegében alacsony volt. A

szárazságstressz stimuláló hatása kimutatható volt, de csak a PW3 kezelésben volt szignifikánsan eltérő változás (21. ábra).



20. ábra: A GSZ (darab növény⁻¹) eredményei a kontroll (optimális vízadagot kapott, W1) parcellákról betakarított gumókból a kontroll fajtákhoz ('Boglárka': sárga vonal, 'Desiree': kék vonal) viszonyítva (Forrás: HANÁSZ et al., 2024, szerkesztett)

Megjegyzés: Az előző évi (2021) szárazságstressz kezelések (PW1, PW2 és PW3 (5, 3 és 1 mm m⁻² nap⁻¹)) és a genotípus hatása a termésre; Ugyanazok a kisbetűk egy genotípuson belül ugyanabba a homogén csoportba tartozó átlagot jelölik, míg a * és a + a 'Boglárka' és a 'Desiree' átlagától jelentősen eltérő átlagot (Tukey-féle poszthoc teszt, ahol p < 0,05). Az oszlopok az átlagokat (± sztenderd hiba) mutatják.



21. ábra: A GT (g növény⁻¹) eredményei a kontroll (optimális vízadagot kapott, W1) parcellákon a kontroll fajtákhoz ('Boglárka': sárga vonal, 'Desiree': kék vonal) viszonyítva (Forrás: HANÁSZ et al., 2024, szerkesztett)

Megjegyzés: Előző évi (2021) szárazságstressz kezelések (PW1, PW2 és PW3 (5, 3 és 1 mm m⁻² nap⁻¹)) és a genotípus hatása a termésre; Ugyanazok a kisbetűk jelzik, hogy egy genotípuson belül ugyanahhoz a homogén csoporthoz tartoznak, míg a * és a + a 'Boglárka'-tól (sárga vonal) és a 'Desiree'-től (kék vonal) jelentősen eltérő átlagot (Tukey-féle poszthoc teszt, ahol p < 0,05) jelölik. Az oszlopok az átlagokat (± sztenderd hiba) mutatják.

A gumószám (GSZ) SI értékei (22. táblázat) a C103 és a C107 nemesítési vonalaknál voltak a legmagasabbak a korábbi szárazságstressz kezelések (PW1, PW2, PW3) átlagában (102,8 és 101,6). Legalacsonyabb SI értéket a 'Desiree' (54,6) kontroll fajtánál kalkuláltunk. A C107 és C20 nemesítési vonalaknál az előző évi (2021) PW3 szárazságstressz kezelést kapott növények gumóinak SI értékei alacsonyabbak voltak a többi kezeléshez viszonyítva (37. táblázat)

A gumó termés (GT) SI értékei a gumószám (GSZ) SI értékeihez képest alacsonyabbak voltak. A legmagasabb SI érték a C107 nemesítési vonal esetében volt mérhető, míg a 'Desiree' SI értékei voltak a legalacsonyabbak. A C103, C107 SI értékei a 'Boglárka' kontroll fajtához hasonlóak voltak.

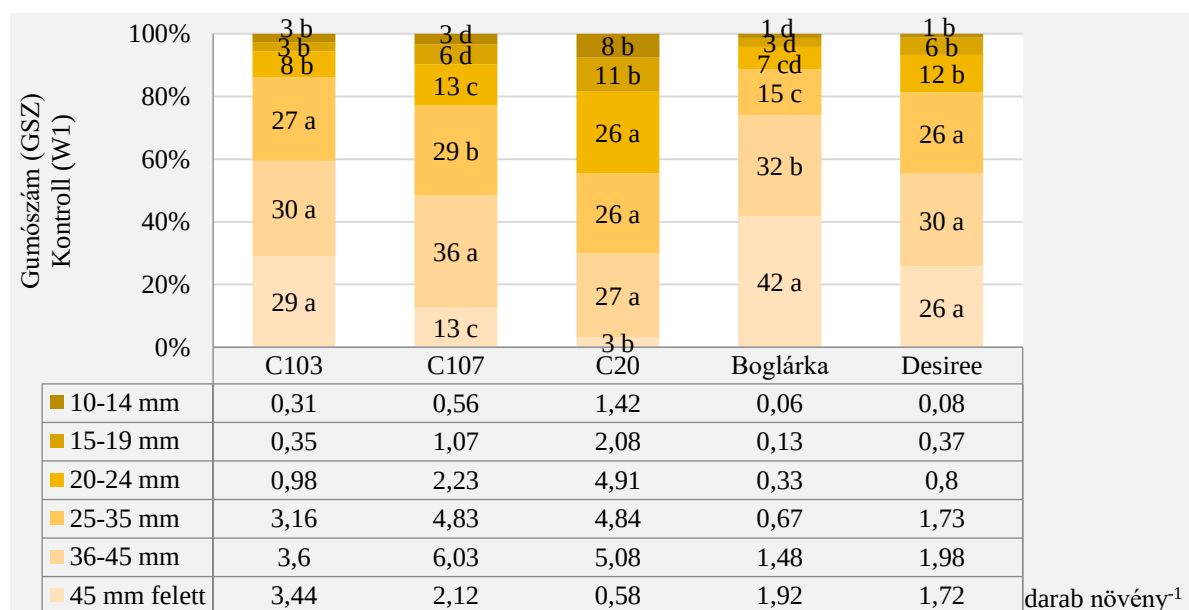
22. táblázat: Az előző évben (2021) szárazságstressznek kitett gumókból fejlődött növényekből származó gumók számából (GSZ) és hozamából (GT) kalkulált SI értékek (% , $\pm$ sztenderd hiba) a nemesítési vonalaknál, valamint a kontroll fajtáknál ('Boglárka' és 'Desiree') (Forrás: HANÁSZ et al., 2024, szerkesztett)

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

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

5.3.2.5 A szárazságstressz hatása a gumók méret szerinti eloszlására

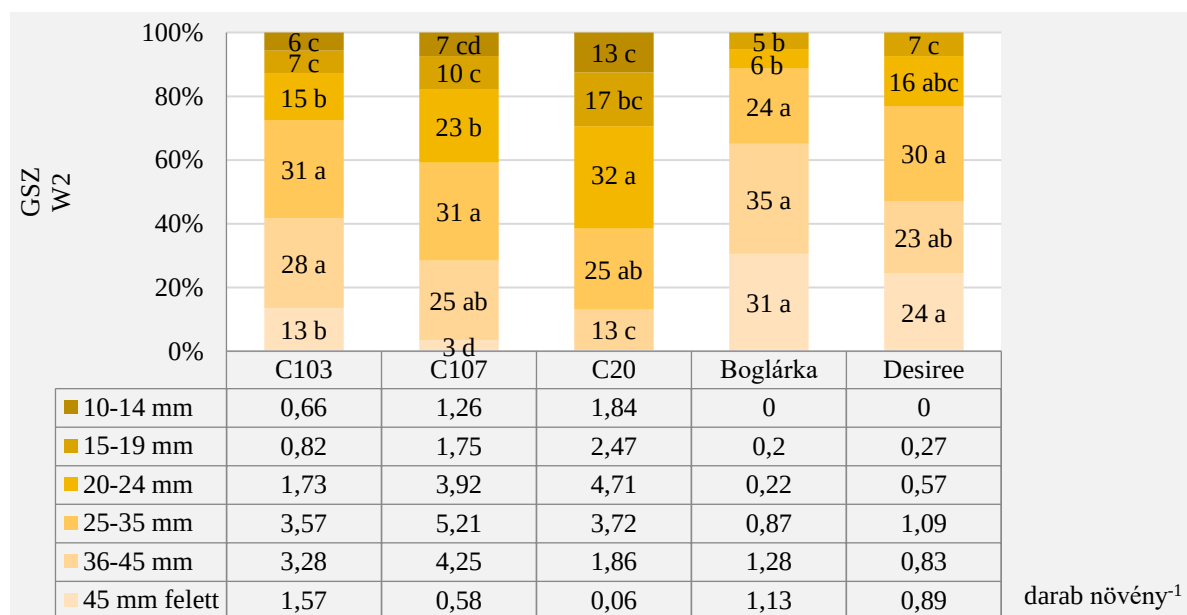
A 2022-ben betakarított termés gumó eloszlására (GSZ, 22-23. ábra) vonatkozó adatok szerint a C103 nemesítési vonalra a kontroll (optimális vízádagot kapott, W1, 41. ábra) parcellákon többségében a 25 mm feletti gumóméretetek voltak jellemzőek, melyek szignifikánsan eltértek a többi gumó mérethez képest (86 %). A C107 nemesítési vonal esetében a gumó méret eloszlás szempontjából a termésben a 25 és 45 mm közötti mérettartomány volt jellemző a gumók többségére (65 %), ezek mennyisége szignifikánsan eltért a többi gumó méretektől. A C20 nemesítési vonal gumó méret eloszlására jellemző volt, hogy a 20–45 mm közötti tartományba esett a gumók többsége (79 %), szignifikánsan magasabb arányban, mint a többi gumó méret. A 'Boglárka' burgonya fajta esetében a gumók többségi aránya 36 mm feletti (74 %) volt. A 'Desiree' burgonya fajta esetében a 25 mm feletti méret tartomány volt jellemző (82 %).



22. ábra: A genotípus hatása a kontroll (optimális vízádagot kapott, W1) állományban a gumók méret szerinti arányára gumó szám alapján (GSZ, %, darab növény⁻¹) (Forrás: saját, Nyíregyháza, 2022)

Megjegyzés: Ugyanazok a kisbetűk egy genotípuson belül ugyanabba a homogén csoportba tartozó átlagot jelölik (Tukey-féle poszthoc teszt, ahol $p < 0,05$).

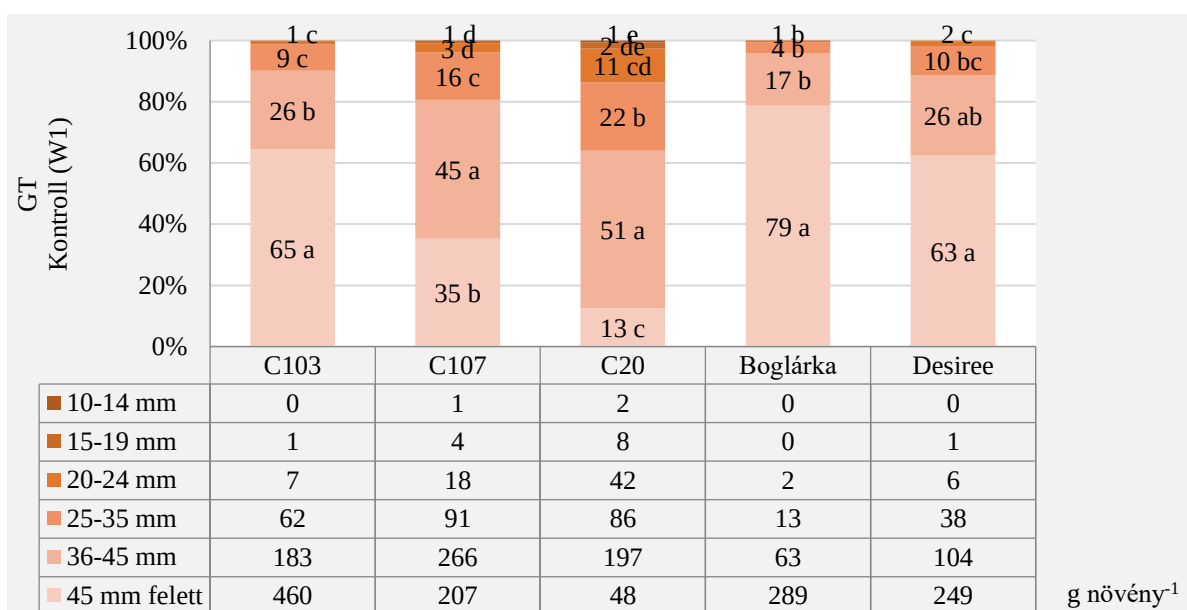
A C103 nemesítési vonalnál a vízmegvonást kapott (W2, 23. ábra) parcellákon nevelt növények termésében 25 mm feletti gumó méret aránya csökkent (72 %) a kontrollhoz (optimális vízádagot kapott, W1) képest. A C107 nemesítési vonal esetében vízmegvonás (W2) hatására a 25 és 45 mm méretetkategóriába eső gumók aránya csökkent (56 %) és a 20–45 mm mérettartományba esett a gumók többsége (77 %). A C20 nemesítési vonalnál a vízmegvonás (W2) hatására 74 %-ra esett a 20–45 mm közötti mérettartomány százalékos aránya, azonban a vízstressznek kitett növények termésére jellemzően a 25–45 mm közötti méret tartomány volt szignifikánsan nagyobb arányban (57 %). A 'Boglárka' burgonya fajta esetében a vízmegvonás (W2) hatására csökkent a 36 mm feletti gumók aránya (66 %) és többségben a 25 mm feletti gumók voltak jellemzőek (90 %). A 'Desiree' burgonya fajta vízstressznek kitett (W2) parcelláiról betakarított termésére a 25 mm feletti méret tartomány a szárazságstressznek kitett területeken alacsonyabb %-os arányban (77 %) volt.



23. ábra: A genotípus és szárazságstressz (W2) hatása a gumók méret szerinti arányára gumó szám alapján (GSZ, %, darab növény⁻¹) (Forrás: saját, Nyíregyháza, 2022)

Megjegyzés: Ugyanazok a kisbetűk egy genotípuson belül ugyanabba a homogén csoportba tartozó átlagot jelölik (Tukey-féle poszthoc teszt, ahol $p < 0,05$).

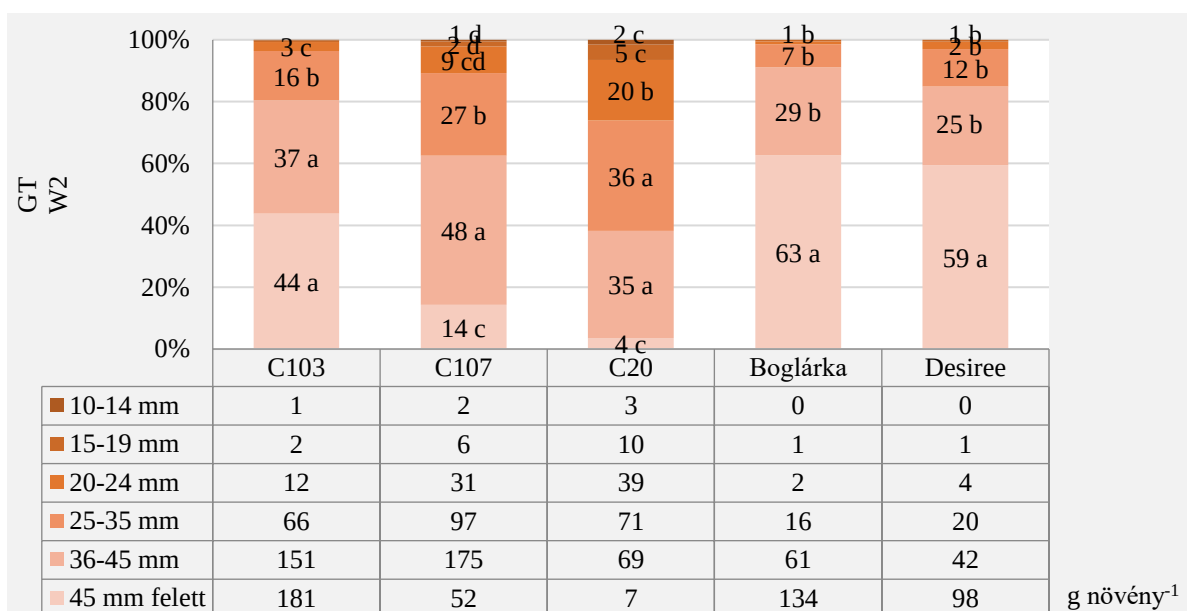
Gumó tömegére (GT) vonatkozó méret eloszlás (24. és 25. ábrák) alapján a C103 nemesítési vonal kontroll (optimális vízmennyiséget kapott, W1, 25. ábra) kezelésében a 45 mm feletti gumó méret volt többségében (65 %). A C107 nemesítési vonal esetében a 36 mm feletti gumó mérettartomány (80 %) volt többségben. A C20 nemesítési vonal esetében a 36 és 45 mm közötti gumó méretek voltak többségben (51 %). A 'Boglárka' burgonya fajta gumóira vonatkozó méreteloszlásra jellemző, hogy többségében a 45 mm feletti gumó méret volt jellemző (79 %). A 'Desiree' burgonya fajta esetében a gumó méret arányát tekintve többségben a 36 mm feletti gumók voltak jellemzőek (89 %) a kontroll parcellákon (optimális vízadagot kapott, W1).



24. ábra: A genotípus hatása a kontroll (optimális vízadagot kapott, W1) állományban a gumók méret szerinti arányára gumó termés alapján (GT, %, g növény⁻¹) (Forrás: saját, Nyíregyháza, 2022)

Megjegyzés: Ugyanazok a kisbetűk egy genotípuson belül ugyanabba a homogén csoportba tartozó átlagot jelölik (Tukey-féle poszthoc teszt, ahol $p < 0,05$).

C103 nemesítési vonal 45 mm feletti gumó méret aránya a szárazságstressz (W2, 25. ábra) hatására csökkent (44 %) és a többségben lévő gumó méret a 36 mm feletti mérettartományra bővült (81 %). A C107 nemesítési vonal szárazságstressz (W2) hatására csökkent a 36 mm feletti gumó méretek aránya (62 %), valamint a méreteloszlás a 25 mm feletti intervallumra bővült. A C20 nemesítési vonal esetében a vízhiány okozta stressz (W2) hatására a 36 és 45 mm közötti gumók aránya csökkent (36 %) és többségben a 25 és 45 mm közötti gumó méret tartomány volt jelen (71 %). A 'Boglárka' burgonya fajta esetében vízstressz hatására (W2) csökkenést mutatott a 45 mm feletti gumók aránya (63 %), de még így is többségben maradt. A 'Desiree' burgonya fajta esetében a 36 mm feletti gumók aránya vízmegvonás hatására (W2) enyhén csökkent (84 %).



25. ábra: A genotípus és szárazságstressz (W2) hatása a gumók méret szerinti arányára gumó termés alapján (GT, %, g növény⁻¹) (Forrás: saját, Nyíregyháza, 2022)

Megjegyzés: Ugyanazok a kisbetűk egy genotípuson belül ugyanabba a homogén csoportba tartozó átlagot jelölik (Tukey-féle poszthoc teszt, ahol $p < 0,05$).

5.3.2.6 Az előző évi (2021) kezelések és a szárazságstressz hatása a gumók méret szerinti eloszlására

A C103 nemesítési vonal esetében a kísérlet 2021-ben PW1 (optimális vízádagot kapott, 5 mm/nap) parcellákról betakarított gumóira GSZ alapján (17. táblázat) a 25 mm feletti mérettartomány volt jellemző (72,15 %).

2022-ben (23. táblázat) a kontroll (optimális vízádagot kapott, W1) területeken szintén 25 mm feletti gumókat 89,57 %-ban számoltunk (10,5 darab növény⁻¹). Ugyanez a mérettartomány a szárazságstresszt kapott (W2) területeken 71,75 %-ot tett ki (8,5 darab növény⁻¹) és szűkült a jellemző mérettartomány a 25–45 mm közötti gumókra, 57,08 %-ban (8,6 darab növény⁻¹).

2021-ben (18. táblázat) a PW1 (optimális vízádagot kapott, 5 mm m⁻² nap⁻¹) parcellákról betakarított gumóira GT (gumótömeg) alapján a 45 mm feletti gumó méret volt többségben (58,17 %) jellemző.

2022-ben (24. táblázat) ezekről a gumókról származó, a kontroll (optimális vízádagot kapott, W1, 5 mm m⁻² nap⁻¹) parcellákról betakarított 45 mm feletti termés 65,8 % többségi arányban (479 g növény⁻¹) volt, míg a szárazságstressznek kitett (W2) növényekről származó gumók esetében 44,99 % arányban (202 g növény⁻¹) volt, de itt már a 36 mm feletti gumók aránya volt a többihez képest szignifikánsan magasabb (82,63 %).

A 2021-ben PW2 (3 mm m⁻² nap⁻¹) vízmegvonást kapott (17. táblázat) parcellákról betakarított gumók esetében szintén a 25 mm feletti nagyság volt jellemző (71,89 %).

2022-ben (23. táblázat) a kontroll (optimális vízádagot kapott, W1, 5 mm m⁻² nap⁻¹) állományban 82,03 % arányban (9,17 darab növény⁻¹) mértünk 25 mm feletti gumókat. A vízmegvonást kapott (W2) állományban 74,08 %-ban (8 darab növény⁻¹) mértük ugyanezt a gumó méret tartományt, habár itt már nagyrészt a 25–35 mm közötti gumók voltak szignifikánsan magasabb arányban, 37,41 %-ban jelen (4,4 darab növény⁻¹).

A 2021-ben (18. táblázat) PW2 (3 mm m⁻² nap⁻¹) kezelést kapott gumók többsége a 45 mm feletti mérettartományba esett (49,71 %).

A 2022-ben (24. táblázat) a kontroll (optimális vízádagot kapott, W1, 5 mm m⁻² nap⁻¹) területekről betakarított termés 62,6 %-ban (386 g növény⁻¹), míg a szárazságstressznek kitett (W2) területekről származó gumók 37,2 %-ban (122 g növény⁻¹) voltak jelen, habár utóbbi esetben a 36 mm feletti gumók voltak szignifikánsan magasabb arányban (72,26 %).

A 2021-ben PW3 ($1 \text{ mm m}^{-2} \text{ nap}^{-1}$) vízmegvonást kapott (17. táblázat) parcellákról többségében 25–45 mm közötti gumókat takarítottunk be (59,49 %).

2022-ben (23. táblázat) a kontroll területeken (optimális vízádagot kapott, W1, $5 \text{ mm m}^{-2} \text{ nap}^{-1}$) ugyanez a mérettartomány 59,07 %-ban (7,5 darab növény $^{-1}$) volt jelen, de legnagyobb arányban a 25 mm feletti gumók voltak, 86,51 %-ban (11 darab növény $^{-1}$). A kezelt (W2, $1 \text{ mm m}^{-2} \text{ nap}^{-1}$) területéről 56,53 %-ban (6,9 darab növény $^{-1}$) takarítottuk be a 25–45 mm közötti gumókat, de a 25 mm felett gumók voltak szignifikánsan magasabb arányban, 71,73 %-ban (8,7 darab növény $^{-1}$).

A 2021-ben (18. táblázat) PW3 ($1 \text{ mm m}^{-2} \text{ nap}^{-1}$) szárazságstressz kezelést kapott területekről betakarított gumók legmagasabb arányban 36 mm feletti nagyságúak voltak (79,57%).

2022-ben (24. táblázat) ezekről a gumókról származó, kontroll (optimális vízádagot kapott, W1, $5 \text{ mm m}^{-2} \text{ nap}^{-1}$) parcellákról betakarított termés esetében a 91,2 %-ban (725 g növény $^{-1}$), vízmegvonást kapott (W2, $1 \text{ mm m}^{-2} \text{ nap}^{-1}$) gumók esetében pedig 83,41 %-ban (387 g növény $^{-1}$), habár a kontroll (W1, $5 \text{ mm m}^{-2} \text{ nap}^{-1}$) kezelést kapott termés 45 mm feletti gumói szignifikánsan magasabb arányban voltak a többi mérethez képest (64,65 %).

C107 nemesítési vonal 2021-ben PW1 (optimális vízádagot kapott, $5 \text{ mm m}^{-2} \text{ nap}^{-1}$) állományára 25–35 mm közötti gumóméreték magasabb aránya volt jellemző (33,54 %) (17. táblázat).

2022-ben (23. táblázat) a kontroll (optimális vízádagot kapott, W1, $5 \text{ mm m}^{-2} \text{ nap}^{-1}$) állományban ugyanez a gumó mérettartomány 25,82 % arányban (4,3 darab növény $^{-1}$) volt, de többségben 25–45 mm közötti gumókat mértünk, 61,62 %-ban (9,8 darab növény $^{-1}$, W2 ($1 \text{ mm m}^{-2} \text{ nap}^{-1}$): 54,37 %, 10,5 darab növény $^{-1}$). A vízhiányos (W2, $1 \text{ mm m}^{-2} \text{ nap}^{-1}$) területekről a 25–35 mm közötti gumóméret volt ismét legnagyobb arányban, 29,71 %-ban (5,7 darab növény $^{-1}$).

A 2021-ben PW1 (optimális vízádagot kapott, $5 \text{ mm m}^{-2} \text{ nap}^{-1}$) területéről betakarított (18. táblázat) termése a 45 mm feletti méretkategóriába sorolható többségben (58,58 %).

2022-ben (24. táblázat) ezekről a gumókról származó, kontroll (optimális vízádagot kapott, W1, $5 \text{ mm m}^{-2} \text{ nap}^{-1}$) parcellákról betakarított 45 mm feletti gumók 34,44 %-ban (186 g növény $^{-1}$), a vízmegvonást alkalmazott (W2, $1 \text{ mm m}^{-2} \text{ nap}^{-1}$) parcellákról származó gumók 13,2 %-ban (52 g növény $^{-1}$), míg szignifikánsan magasabb arányban a 36 mm fölötti (W1, $5 \text{ mm m}^{-2} \text{ nap}^{-1}$: 80,18 %) és a 36–45 mm (W2, $1 \text{ mm m}^{-2} \text{ nap}^{-1}$: 48,98 %) közötti gumók voltak.

A 2021-ben PW2 (3 mm m⁻² nap⁻¹) vízmegvonást kapott betakarított termésben (17. táblázat) szignifikánsan magasabb arányban a 25–35 mm közötti gumó méret volt meghatározó (31,64 %).

2022-ben a kontroll (optimális vízádagot kapott, W1, 5 mm m⁻² nap⁻¹) területekről (23. táblázat) származó gumókra 40,71 %-os arányban (5,2 darab növény⁻¹) volt jellemző ez a méret, azonban a tartomány bővült a 25–45 mm nagyságúakkal, 71,18 %-ra (6,1 darab növény⁻¹, W2 (1 mm m⁻² nap⁻¹): 58,39 %, 6,9 darab·növény⁻¹). A vízmegvonást kapott (W2, 1 mm m⁻² nap⁻¹) gumókra szignifikánsan magasabb arány, 32,66 % (6,1 darab növény⁻¹) volt jellemző a 25–35 mm közötti gumó méretnél.

23. táblázat: Kontroll (optimális vízádagot kapott, W1) és szárazságstressznek kitett (W2), előkezelt (2021. évben: PW1, PW2, PW3) gumókból származó betakarított gumók méret szerinti százalékos aránya gumó szám (GSZ %) alapján (Forrás: saját, Nyíregyháza, 2022)

Gumó méret eloszlás GSZ szerint (%)							
Nemesítési vonal	Gumó méret (mm)	Kontroll (W1)			W2		
		PW1	PW2	PW3	PW1	PW2	PW3
C103	>45	31,99 a	27,82 ab	27,44 a	14,67 b	10,28 c	15,20 b
C103	36–45	33,88 a	24,69 ab	32,18 a	28,41 a	26,39 b	29,66 a
C103	25–35	23,70 a	29,52 a	26,89 a	28,67 a	37,41 a	26,87 a
C103	20–24	6,42 b	12,88 bc	5,99 b	15,09 b	14,54 c	14,95 b
C103	15–19	2,14 b	2,77 c	3,86 b	7,08 b	6,30 c	7,64 b
C103	10–14	1,88 b	2,33 c	3,63 b	6,07 b	5,09 c	5,67 b
C107	>45	12,44 bc	8,39 b	16,75 b	3,17 d	3,20 c	4,11 b
C107	36–45	34,80 a	40,76 a	31,98 a	24,66 ab	25,73 ab	24,63 a
C107	25–35	26,82 a	30,42 a	28,69 a	29,71 a	32,66 a	29,28 a
C107	20–24	15,08 b	12,05 b	12,73 bc	22,06 b	21,42 b	27,03 a
C107	15–19	7,47 bc	5,43 b	6,23 cd	12,02 c	9,54 c	8,83 b
C107	10–14	3,39 c	2,95 b	3,62 d	8,38 cd	7,46 c	6,12 b
C20	>45	2,97 d	3,13 b	3,11 b	0,00 c	0,00 a	1,13 d
C20	36–45	30,33 a	26,55 a	24,38 a	11,09 b	13,84 a	13,05 cd
C20	25–35	18,86 a–c	28,43 a	28,88 a	21,96 b	26,25 a	27,47 ab
C20	20–24	25,41 ab	26,24 a	26,21 a	34,98 a	28,21 a	32,84 a
C20	15–19	13,37 b–d	8,58 b	10,81 b	16,95 b	17,02 a	16,75 bc
C20	10–14	9,07 cd	7,08 b	6,61 b	15,02 b	14,67 a	8,76 cd

Megjegyzés: Ugyanazok a kisbetűk egy genotípuson belül ugyanabba a homogén csoportba tartozó átlagot jelölik a gumóméretek között (Tukey-féle poszthoc teszt, ahol $p < 0,05$). A cella színe jelzi az eloszlás mértékét: minél sötétebb zöld/piros színárnyalat, annál magasabb az eloszlási arány (%).

24. táblázat: Kontroll (W1) és szárazságstressznek kitett (W2), előkezelt (2021. évben) gumókból származó betakarított gumók méret szerinti százalékos aránya a betakarított termés (GT %) alapján (Forrás: saját, Nyíregyháza, 2022)

Gumó méret eloszlás GT szerint (%)							
Nemesítési vonal	Gumó méret (mm)	Kontroll (W1)			W2		
		PW1	PW2	PW3	PW1	PW2	PW3
C103	>45	65,80 a	62,66 a	64,65 a	44,99 a	37,20 a	46,98 a
C103	36–45	26,10 b	24,03 b	26,54 b	37,64 a	35,06 a	36,42 a
C103	25–35	7,28 c	11,53 b	8,05 c	13,81 b	23,48 ab	12,93 b
C103	20–24	0,69 c	1,62 b	0,63 c	2,90 b	3,35 b	2,80 b
C103	15–19	0,14 c	0,16 b	0,13 c	0,45 b	0,61 b	0,65 b
C103	10–14	0,00 c	0,00 b	0,00 c	0,22 b	0,30 b	0,22 b
C107	>45	34,44 a	24,11 b	45,32 a	13,20 c	13,53 c	17,33 bc
C107	36–45	45,74 a	54,82 a	36,86 a	48,98 a	48,31 a	47,29 a
C107	25–35	15,00 b	17,50 bc	14,35 b	26,90 b	28,50 b	23,83 b
C107	20–24	3,70 b	2,86 c	2,72 bc	8,38 cd	7,73 c	9,75 cd
C107	15–19	0,93 b	0,54 c	0,60 c	2,03 cd	1,45 c	1,44 d
C107	10–14	0,19 b	0,18 c	0,15 c	0,51 d	0,48 c	0,36 d
C20	>45	14,53 b	11,35 bc	12,02 c	0,00 b	0,00 b	8,33 b
C20	36–45	55,31 a	51,84 a	48,07 a	29,14 a	39,51 a	35,00 a
C20	25–35	15,64 b	23,93 b	26,39 b	35,76 a	38,05 a	33,33 a
C20	20–24	11,45 b	10,74 bc	11,16 c	26,49 a	16,10 b	17,92 ab
C20	15–19	2,51 b	1,53 c	1,93 c	5,96 b	4,88 b	4,17 b
C20	10–14	0,56 b	0,61 c	0,43 c	2,65 b	1,46 b	1,25 b

Megjegyzés: Ugyanazok a kisbetűk egy genotípuson belül ugyanabba a homogén csoportba tartozó átlagot jelölik a gumóméretek között (Tukey-féle poszthoc teszt, ahol $p < 0,05$). A cella színe jelzi az eloszlás mértékét: minél sötétebb zöld/piros színárnyalat, annál magasabb az eloszlási arány (%).

A 2021-ben (18. táblázat) PW2 ($3 \text{ mm m}^{-2} \text{ nap}^{-1}$) kezelést kapott parcellák növényei legnagyobb arányban 36-45 mm közötti gumókat fejlesztettek (42,72 %).

2022-ben (24. táblázat) az ezekről a parcellákról származó gumók kontroll (optimális mennyiségű, W1, $5 \text{ mm m}^{-2} \text{ nap}^{-1}$) vízadagot kaptak és a méreteloszlás 54,82 % ($307 \text{ g növény}^{-1}$) volt, a szárazságstressz kezelést kapott (W2, $1 \text{ mm m}^{-2} \text{ nap}^{-1}$) parcellákról pedig 48,36 %-ban ($200 \text{ g növény}^{-1}$) takarítottuk be a 36-45 mm méretű gumókat, melyek szignifikánsan magasabb arányban voltak jelen, mint a többi méretkategória.

A 2021-ben PW3 ($1 \text{ mm m}^{-2} \text{ nap}^{-1}$) kezelést kapott területekről származó (17. táblázat) gumóknál a 25–35 mm közötti méret volt szignifikánsan magasabb a többi mérethez képest (34,49 %).

A 2022-ben kontroll (optimális vízadagot kapott, W1, $5 \text{ mm m}^{-2} \text{ nap}^{-1}$) (23. táblázat) és vízmegvonást kapott (W2, $1 \text{ mm m}^{-2} \text{ nap}^{-1}$) területeken 28,69 ($5,1 \text{ darab növény}^{-1}$) és 29,28 %-ban ($3,8 \text{ darab növény}^{-1}$) volt ez a méret kategória, habár a kísérlet második évében az optimális vízadagot kapott területekről (W1, $5 \text{ mm m}^{-2} \text{ nap}^{-1}$) 25–45 mm közötti gumókra, a

kezelt (W2, 1 mm m⁻² nap⁻¹) területéről betakarítottak esetében 20–45 mm közötti mérettartományra bővült (60,67 %, 13 darab növény⁻¹ és 80,94 %, 10,5 darab növény⁻¹) a legnagyobb számban lévőek százalékos aránya.

A 2021-ben (18. táblázat) legmagasabb (PW3, 1 mm m⁻² nap⁻¹) szárazságstresszt kapott parcellákról származó gumók legnagyobb részt 25-35 mm közötti nagyságúak voltak (46,72 %).

2022-ben (24. táblázat) az ezekről a parcellákról származó gumókat a kontroll (optimális vízádagot kapott, W1, 5 mm m⁻² nap⁻¹) kezelésben 14,35%-ban (95 g növény⁻¹), szárazságstresszt kapott kezelésben (W2, 1 mm m⁻² nap⁻¹) 23,83 %-ban (66 g növény⁻¹) mértük, de szignifikáns többségben 36 mm feletti (W1, 5 mm m⁻² nap⁻¹: 82,18 %) és 36-45 mm közötti (W2, 1 mm m⁻² nap⁻¹: 47,29 %) gumók voltak jellemzőek.

2021-ben (17. táblázat) a C20 nemesítési vonal PW1 (optimális vízádagot kapott, mm m⁻² nap⁻¹) állományára a gumók eloszlását tekintve a 20–35 mm közötti gumóméret volt többségben (82,99 %).

2022-ben (23. táblázat) a kontroll (optimális vízádagot kapott, W1, 5 mm m⁻² nap⁻¹) állományban a 20–35 mm közötti gumóméret aránya csökkent, 44,26 %-ra (7,9 darab növény⁻¹), valamint többségben a 20–45 mm közötti gumók aránya volt jellemző 74,9 %-ban (13,3 darab növény⁻¹ és W2 (1 mm m⁻² nap⁻¹): 9,5 darab növény⁻¹). A szárazságstressznek kitett (W2, 1 mm m⁻² nap⁻¹) parcellákról betakarított gumók esetében a 20–35 mm-es méret kategóriák 56,94 % arányban (8 darab növény⁻¹) voltak szignifikánsan magasabb arányban.

A 2021-ben (18. táblázat) PW1 (optimális vízádagot kapott, 5 mm m⁻² nap⁻¹) területeiről betakarított gumók jellemzően 25-35 mm közötti nagyságúak voltak (49,79 %).

2022-ben (24. táblázat) az ezekről a parcellákról származó gumók kontroll (optimális vízádag, W1, 5 mm m⁻² nap⁻¹) kezelésben 15,64 % (56 g növény⁻¹), szárazságstresszt kapott (W2, 1 mm m⁻² nap⁻¹) kezelésből betakarított gumók 35,76 %-ban (54 g növény⁻¹) arányokat mértünk ugyanebben a méretkategóriában, habár a 36-45 mm méretű gumók voltak szignifikáns többségben (W1 (5 mm m⁻² nap⁻¹): 55,31 %, 198 g növény⁻¹ és W2 (1 mm m⁻² nap⁻¹): 29,14 %, 44 g növény⁻¹).

A 2021-ben PW2 (3 mm m⁻² nap⁻¹) kezelést kapott állományánál (17. táblázat) az előző évben a 15-19 mm méretkategóriába eső gumók voltak többségben (40,11 %).

2022-ben a kontroll (optimális mennyiségű, W1, 5 mm m⁻² nap⁻¹) vízádagot (23. táblázat) kapott állomány betakarított gumóiban ez a méret 8,58 %-ban (1,4 darab növény⁻¹), a szárazságstresszt kapott (W2, 1 mm m⁻² nap⁻¹) állomány gumóiban 17,02 %-ban (2,3 darab

növény⁻¹) volt jelen. Habár a többségben a kontroll (optimális mennyiségű, W1, 5 mm m⁻² nap⁻¹) vízádagot kapott parcellákról betakarított gumók mérete 81,22 %-ban a 20-45 mm-es kategóriába estek (13 darab növény⁻¹). A csökkentett vízádagot (W2, 1 mm m⁻² nap⁻¹) kapott területekről betakarított gumók méreteloszlásában nem volt szignifikáns különbség.

2021-ben (18. táblázat) PW2 (3 mm m⁻² nap⁻¹) kezelést kapott parcellákról származó növények termése a kontroll (W1, 5 mm m⁻² nap⁻¹) területeken legnagyobb mennyiségben a 15–35 mm közötti gumókat jelentett (94,52 %).

Az ebből a kezelésből származó gumók termése 2022-ben (24. táblázat) a kontroll (optimális vízádagot kapott, W1, 5 mm m⁻² nap⁻¹) parcellákon 15-35 mm közötti méretű gumókat 36,2 % (118 g növény⁻¹) arányban tartalmazott, míg a vízstressz kapott (W2) területekről betakarított termésben 59,02 %-arányban (121 g növény⁻¹) volt jelen ez a méret. Szignifikáns többségben azonban a 36–45 mm közötti (W1, 5 mm m⁻² nap⁻¹: 51,84 %) és a 25–45 mm közötti (W2, 1 mm m⁻² nap⁻¹: 77,56 %) gumók voltak.

A 2021-ben PW3 (1 mm m⁻² nap⁻¹) szárazságstressz kezelést kapott (17. táblázat) betakarított gumók mérete az előző évben túlnyomóan a 20-35 mm közötti nagyságba esett (63,63 %).

2022-ben ezekből a gumókból származó (23. táblázat) betakarított termés a kontroll területekről (optimális vízádagot kapott, W1, 5 mm m⁻² nap⁻¹) 55,09 %-os (12,6 darab növény⁻¹) arányt, míg a vízstressznek kitett állomány (W2, 1 mm m⁻² nap⁻¹) 60,31 %-os (10,1 darab növény⁻¹) arányt mutatott, utóbbi esetben szignifikánsan magasabb volt. A kontroll (optimális vízádagot kapott, W1, 5 mm m⁻² nap⁻¹) állományra a 20-45 mm közötti nagyságú gumók többsége volt jellemző, 79,47 %-ban.

2021-ben (18. táblázat) PW3 (1 mm m⁻² nap⁻¹) kezelést kapott parcellákról betakarított gumók túlnyomó többségben 20–35 mm közötti nagyságúak voltak (89,03 %).

Az ebből a kezelésből származó növények 2022-ben (24. táblázat) kontroll (optimális vízádagot kapott, W1, 5 mm m⁻² nap⁻¹) parcellákról betakarított termésére ez a gumó méret 37,55 %-ban volt jellemző (118 g növény⁻¹), míg a szárazságstressz kezelésből (W2, 1 mm m⁻² nap⁻¹) betakarított termés 51,25 %-os (121 g növény⁻¹) arányt mutatott. Azonban a többi mérethez képest szignifikánsan magasabb arányokat a 36–45 (W1, 5 mm m⁻² nap⁻¹: 48,07 %) és a 25–45 mm közötti (68,33 %) méret kategóriáknál mértünk.

6. KÖVETKEZTETÉSEK, JAVASLATOK

A disszertáció különböző burgonya genotípusok ozmotikus- és szárazság-stresszhez köthető morfo-fiziológiai és/vagy termésbeli különbségein alapuló eredményeit taglalja laboratóriumi és szabadföldi termesztési közegekben. Az *in vitro* tesztek során a különböző töménységben alkalmazott ozmotikumok (kétféle molekulatömegű PEG és D-mannit) a burgonya hajtástenyészeteken vizsgált paraméterek mindegyikére befolyásoló hatással voltak.

Általánosságban a növekedés inhibíciója a hajtásnövekedésre volt nagyobb mértékű a gyökérrendszerhez képest. Önmagában azonban a hajtáshossz változáson alapuló szelekció nem hatékony (AHMED et al., 2019; DOBRÁNSZKI et al., 2003), ezért a többi vizsgált paraméterre vonatkozó eredményekkel együttesen történt a burgonya genotípusok szelekciós kritérium szerinti csoportosítása. A gyökeresedési paraméterek esetében az ozmotikus stressz serkentő és gátló hatása egyaránt megfigyelhető a vizsgált genotípus sajátos válaszreakciója függvényében. OBIDEGWOU et al. (2015) számos nemesítési vonal gyökérhossz és a gyökérszám SI paramétereiben növekedést tapasztalt, talán adaptív válaszként a megnövekedett szárazságstresszre, mely válasz fontos lehet a növény szárazsághoz, mint stresszfaktorhoz történő alkalmazkodásában. A túlélési arány vizsgálatakor azt tapasztaltuk, hogy az ozmotikus nyomás emelkedése a vizsgált nemesítési vonalaknál jelentős csökkenést eredményezett, azonban az alkalmazott ozmotikum és annak koncentrációja nagymértékben befolyásolta válaszreakciójukat.

A vizsgálati eredményekből arra következtettünk, hogy mindkét referencia vonal magas ozmotikus stressztűrő képességgel rendelkezik, de C103 esetében magasabb szintű a tolerancia, mint a C107 genotípusnál. A vizsgált 27 különböző nemesítési vonal közül kilencet további vizsgálatokba bevonásra alkalmasnak találtunk az *in vitro* teszt alapján, ezek a C2, C5, C8, C11, C12, C14, C30, C58 és C63 nemesítési vonalak. A magas túlélési stressz index értékeken kívül ezen genotípusoknál a gyökeresedési paraméterekre is stimuláló hatással volt az ozmotikus stressz, valamint több esetben a hajtáshossz stressz index értékeit sem csökkentette nagymértékben az alkalmazott ozmotikum.

A vizsgált nemesítési vonalaknál jelentős kölcsönhatást találtunk a genotípus, az alkalmazott ozmotikum és annak koncentrációi között. Sok esetben magas túlélési arányt értek el egyes nemesítési vonalak a PEG 6000 és a D-mannit ozmotikummal kezelt táptalajon, azonban a PEG 600 ozmotikummal kezelt táptalajon fejlődöttekre ez nem volt igaz. A PEG 600 1000-nél kisebb molekulatömegéből adódóan nagyobb valószínűséggel metabolizálódik a növényekben (LAWLOR, 1970), valamint az eredmények értelmezésekor figyelembe kell

venni a genotípus és az ozmotikus nyomás mértékéből következő kölcsönhatásokat is (HASSANPANAH, 2010). A magasabb koncentráció (7,5 %) alkalmazásakor azt tapasztaltuk, hogy a nemesítési és referencia vonalak SI értékei kivétel nélkül egyazon szignifikancia csoportba kerültek, vagy 0 értéket vettek fel, vagyis az ozmotikus stressztűrésre történő szelekció akadályozottá vált. Általánosan a nagyobb molekulatömegű (6000) polietilén glikol 10,0 % és a D-mannit 0,2 M koncentrációk alkalmazása volt a leghatékonyabb a burgonya genotípusok ozmotikus stressz toleranciára történő szelekciójában. Habár a PEG 6000 és a D-mannit különböző koncentrációkban kerültek tesztelésre, ennek ellenére nagyon hasonló gátló hatást váltottak ki a nemesítési vonalaknál a hajtásnövekedés, gyökérnövekedés és túlélés tekintetében. A D-mannit alkalmazása során a 'Boró' burgonya fajta gyökérszám és gyökérhossz paraméterei az ozmotikum koncentrációjának emelkedésével (0,2 M) nőttek (DOBRÁNSZKI et al., 2003), ellenben a többi vizsgált genotípusnál csökkenést tapasztaltak, habár a 'Boró' egy rendkívül magas szárazságtűrésű burgonya fajta. Hasonlóan a gyökér száraz tömegében 25 %-os növekedést mértek (GELMESA et al., 2017) 43 vizsgált genotípusnál. 21 burgonya genotípus *in vitro* ozmotikus stresszre történő tesztelése során, ahol szorbitot alkalmaztak három koncentrációban tapasztalták a jó stressztűréssel rendelkező genotípusoknál a gyökértömeg növekedését vagy enyhe csökkenését stressz hatására (ZAKI és RADWAN, 2022). Az ozmolalítás vizsgálatakor a PEG 600 ozmolalítása magasabb értéket mutatott, mint a PEG 6000, ugyanakkor alacsonyabb volt, mint a D-mannité. A referencia vonalak esetében jelentős gyökérnövekedést serkentő hatás volt megfigyelhető, ami feltehetően az ozmotikus stresszre adott adaptációs reakció következménye lehetett.

A korábbi *in vitro* ozmotikus stressztűrési kísérlet alapján kiválasztott nemesítési vonalak *in vitro* hajtástenyészeteiről származó primer és szekunder gumók (C103, C107, C11 és C20) izolált és fóliasátorban történő vizsgálatait tekintve megállapítottuk, hogy a genotípus, tőszámsűrítés és a különböző gumóméretek jelentősen befolyásolták a vizsgált paramétereket. A primer gumókról betakarított termés eredményei alapján arra következtettünk, hogy a növényenkénti gumószámra befolyásoló hatással volt a genotípus, valamint az állománysűrítés is, hiszen a C103, C107 és C20 nemesítési vonalak eredményeiben szignifikáns csökkenést mértünk, habár az egységnyi területre eső gumószám minden genotípusnál nőtt (C103: 165,5 és 222,82 darab m⁻²; C107: 219,6 és 318,3 darab m⁻²; C11: 124,2 és 256,7 darab m⁻², valamint C20: 200,5 és 331 darab m⁻²). VEEKEN és LOMMEN (2009) is hasonló megállapítást közölt, mely szerint az állománysűrítés hatására a

betakarításkori minigumók száma és átlaga csökken, azonban az egy területegységre vonatkozó gumók száma nőtt.

A fóliasátorban fejlődött primer gumókról származó betakarított termés esetében a genotípus hatást, valamint a tözsámsűrítés és a különböző gumó méret kategóriák hatását figyelembe véve megállapítottuk, hogy C103 és C20 nemesítési vonalaknál szignifikáns különbség volt a termésmennyiségekben, de átlagosan minden genotípusnál körülbelül 50 %-os csökkenést mértünk, illetve az egységnyi területre eső gumószám is csökkent, feltehetően azért, mert az állománysűrítésen kívül a különböző méretű gumók különböző teljesítménybeli képessége is befolyásoló szereppel bírt a termés alakulásra ($T_{1,2}$ (tőtávolság)/ $d_{1,2}$ (gumóátmérő): 25 és 15 cm/20–45 és –19 mm; C103: 38,4 és 30,22 darab m^{-2} ; C107: 11,2 és 9,8 darab m^{-2} ; C11: 3,7 és 1,8 darab m^{-2} , valamint C20: 31,5 és 18,7 darab m^{-2}). SANTOS és RODRIGUEZ (2008) laboratóriumi körülmények között létrehozott *in vitro* mikrogumókat használtak szabadföldi vizsgálataik során, ahol a gumókat különböző tötávolságok (20, 25, 30, 35 és 40 cm) szerint ültették el. A közölt kutatási eredményeik alapján a 20 és 25 cm tötávolságra ültetett mikrogumók termésparaméterei bizonyultak kiemelkedően jónak.

A primer gumók méreteloszlására a genotípus és az állománysűrítés is befolyásoló hatással volt, a C103 és C20 nemesítési vonalaknál magasabb, míg a C107 és C11 vonalak esetében enyhén csökkenő értékeket mértünk, habár az arányok a nagyobb gumó méretek felé tolódtak.

A fóliasátorban termesztett burgonyagumók kelésére befolyásoló hatással volt az állománysűrítés és a gumóméret. A kelés 50 %-át átlagosan 5–11 nappal később, a maximális kelést átlagosan 4 és 11 nap között érték el a sűrűbben ültetett (T_2), –19 mm méretű gumóból eredő növények. A legfőbb probléma a minigumó termesztés során a lassú kelés, ami a gumó méretével van összefüggésben (LOMMEN, 1994). A nagyobb méretű gumókból a hajtások gyorsabban kezdenek el fejlődni még a hagyományos vetőgumók esetében is (ASNAKE et al, 2023). A gyorsabb növekedési ütem a gumókban tárolt metabolizálható anyagok segítségével valósul meg (EBRAHIM et al., 2018).

A növénymagasságra és a burgonya növények lombtömegére mind a genotípus, mind az állománysűrítés és gumóméret csoport szerinti ültetés befolyásoló hatással voltak, a vizsgált nemesítési vonalak közül a C103 és C20 esetében magasabb értékeket mértünk, akárcsak a klorofill-tartalom mérések esetében. A burgonya szülővonalak klorofill-fluoreszcencia mérés eredményeit tekintve, a C103 mindkét esetben megelőzte a C107 nemesítési vonalat sűrített és normál állományban is. A gumóhozam tekintetében a genotípusok között nagyfokú variabilitás volt érzékelhető, az állománysűrítés hatására

jelentős csökkenést tapasztaltunk az egységnyi területre jutó gumótömeg értékekben. A szekunder gumók méreteloszlása gumószám és gumótömeg alapján szignifikáns különbségeket (C103, C20) mutatott mind genotípus, mind tőszámsűrítés hatását vizsgálva.

A kutatás során a C103, C107 és C20 nemesítési vonalak minigumóit használtuk további *in vivo* vizsgálatokra fóliasátras és szabadföldi termesztési körülmények között, normál, 25 cm-es tőtávolságra ültetve.

A diszertációm témája egy folyamatban lévő nemesítési program fokozatait foglalja össze, melyben a burgonya genotípusok különböző fejlődési stádiumait valamint a szárazságstressz termésparaméterekre gyakorolt hatását vizsgáljuk. A kutatási eredményeink alapján azt a következtetést vontuk le, hogy a gumó mérete fontos paraméter a növekedési és fejlődési jellemzők tekintetében.

A megfigyelt jellemzők alapján a gumó méret minden paraméter esetében jelentős különbségeket okozott, de főként a korai fejlődésben (kelés) emelhető ki. Leggyakrabban a 20 mm-nél nagyobb és a kisebb gumók között találtunk különbségeket. Mivel a vegetatív szaporítóanyagok (például gumók) érzékenyebbek a környezeti hatásokra, mint a magvak, feltételeztük, hogy a szárazságstressz előkezelés hatékonyabb alkalmazkodási stratégiát eredményezhet az utódokban. Kísérletünkben a legalacsonyabb kelési arányt a C20 nemesítési vonal 10 és 19 mm közötti gumói esetében mértünk, legmagasabb kelési arány a C103 nemesítési vonalra volt jellemző, de inkább a gumó méret hatása volt kiemelhető, a genotípusok között kevésbé volt érezhető különbség. A kisméretű gumók elhúzódó kelése a gumó méretén kívül még a rájuk jellemző hosszabb nyugalmi időszakkal is magyarázható (DOBRÁNSZKI et al., 2008). Egyes kísérletekben a könnyebb minigumókra ugyan későbbi kelés volt jellemző, de a fejlődésük a kelés utáni időszakban felgyorsult, sőt a végső kelési arány a vizsgált további fajtákkal azonos szinten volt (LOMMEN, 1994, DIMANTE és GAILE, 2018). Hasonló eredményeket közölt LOMMEN ÉS STRUIK (1994), amikor három különböző genotípust, 'Ostara', 'Bintje' és 'Elkana' fajtákat teszteltek szabadföldi kísérletekben. Arról számoltak be, hogy a minigumókon fejlődött hajtások növekedését a gumó méret jelentősen befolyásolta, és a genotípus sokkal kisebb jelentőséggel bírt a hajtásnövekedés tekintetében.

A szárazság hatása kimutatható volt a virágzási eredményekben is. A C103 és C107 nemesítési vonalaknál a vízadagok csökkentésével a virágzás aránya (virágzó növény parcella¹, %) is visszaesett a 20 mm-nél nagyobb gumók esetében, a C20 nemesítési vonalnál pedig a 20–24 mm közötti ültetett gumóknál volt igaz ez a tendencia. Korábbi tanulmányok szerint a virágzás ideje elhúzódhat vagy akár csökkenhet is a szárazság és más egyéb környezeti

tényezők hatására. Például homokos talajon 10–14 nappal korábban történt a virágzás, mint agyagos talajon és a virágzási periódus 2–3 nappal rövidült vagy elhúzódott, a talajtípustól és a vízmegvonás idejétől függően (HOELLE et al., 2023). Más kutatók a száraz periódus növelésének hatásáról számoltak be, ahol a ‘Russet Burbank’ burgonya fajta virágzását vizsgálták. 25 nappal növelték a száraz időszakot és ez a növelés a virágzást jelentősen késleltette, sőt sok virág már a bimbózás fázisában elszáradt (LI et al., 2023). Hasonlóan a ‘Diacol Capiro’ fajtánál is 7 nappal késleltetett virágzást idézett elő a szárazság, és a virágzás ideje is lerövidült a ‘Diacol Capiro’ és ‘Pastusa Suprema’ fajtáknál. Azonban a vizsgált ‘Esmeralda’ burgonya fajtánál nem figyeltek meg szárazság hatására bekövetkező különbségeket (RODRÍGUEZ et al., 2016).

A növénymagasságot, a virágzási ütemet valamint az NDVI értékeket a gumóméret és a genotípus nagyobb mértékben befolyásolta, mint az alkalmazott vízmegvonás. Az NDVI mérések eredményeit a vizsgálati eredményeink alapján a maximum értékeket az ültetés utáni 75. napon (DAP 75) kaptuk és az értékek általában 0,75 alatt voltak. A burgonya fejlődési szakaszaival párhuzamosan az NDVI értékeket is időbeli növekedés jellemezte és szubtópusi területen (Bangladesh) a kiültetés utáni 63. napon 0,85 maximális értéket közöltek (ISLAM és BALA, 2008). Az általunk mért eredményekhez képest 12 nap eltérés feltehetően nem csak a környezeti tényezőknek (főleg hőmérséklet különbségek), hanem a kisebb gumók hosszabb ideig tartó kezdeti fejlődésének tulajdonítható (DIMANTE és GAILE, 2018; EBRAHIM et al., 2018). Az NDVI értékek a termés előrejelzésében hasznosak lehetnek, mivel a kísérlet során magas pozitív korrelációt találtunk ($r = 0,83$, $p < 0,01$) az NDVI értékek és a mért paraméterek (gumószám (GSZ), friss gumó tömege (GT)) között. Azonban nem minden kezelésben találtunk kapcsolatot, és leginkább a C103 és C107 nemesítési vonalakra volt jellemző, valamint a korreláció erőssége a mérés időzítésétől nagyban függött. Ezek alapján megállapítottuk, hogy az NDVI méréseket megfelelően kell időzíteni. Más burgonya szárazságtűrési kísérlet során is véltek kapcsolatot felfedezni az NDVI értékek és a terméshozam között (SCHAFLEITNER et al., 2007). ‘Agria’ burgonya fajtánál vizsgálták (COELHO et al., 2023) az NDVI értékeket, mely kísérlet során megállapították, hogy bár értékes eredmények születtek a növények élettani és stresszállapotának kimutatására, de a terméshozam pontos előrejelzésére nem voltak elegendőek. A mérések azonban a nemesítési vonalak szárazságstressz alatti teljesítményének tesztelésére alkalmasak, hiszen a vízhiány okozta termésvesztés elsősorban a korlátozott fotoszintetikus aktivitás miatt jelentkezik (PLICH et al., 2020). Vizsgálatainkban kevésbé befolyásolta a szárazság az NDVI és a virágzás paraméterek változását, mert a nemesítési vonalak nagyon jó szárazságtűrő

képességgel rendelkeznek, amit a kísérletbe bevont referencia vonalakkal (C103 és C107) történő összehasonlítás is bizonyított.

A kísérlet során a nemesítési vonalak növénymagasságában nem volt detektálható szignifikáns különbség a vízhiány hatására, ami lehetséges, hogy a jó ozmotikus stressztűrésükből adódó magas szárazságtűrési tulajdonságukkal indokolható.

Általánosan a burgonya genotípusa a földfeletti biomassa mennyiségét jelentősen befolyásolja, ennek ellenére genotípustól függetlenül szignifikánsan nagyobb friss lombtömeget figyeltek meg azokon a kísérleti parcellákon, ahol nagyobb méretű gumókat ültettek, ugyanez vonatkozik a száraz lombtömeg mennyiségére is (EBRAHIM et al., 2018). Kísérletünk során a friss lombtömeg a kontroll parcellákon mért növényeken lényegesen magasabb volt, mint a szárazságstresszt kapott (W3, $1 \text{ mm m}^{-2} \text{ nap}^{-1}$) parcellákon mértéké. A mérsékelt szárazság (W2, $3 \text{ mm m}^{-2} \text{ nap}^{-1}$) a földfeletti biomassa tömegében (FFB) minden vizsgált genotípus esetén számottevő csökkenést eredményezett az összes gumó méret átlagát nézve. Az erősebb szárazságstresszre (W3, $1 \text{ mm m}^{-2} \text{ nap}^{-1}$) a C20 nemesítési vonalnál alacsonyabb (64,7 %), C107 nemesítési vonalnál (73,1 %) valamivel magasabb SI értéket kalkuláltunk. A C103 nemesítési vonal esetében hasonló eredmények születtek, mint a W2 ($3 \text{ mm m}^{-2} \text{ nap}^{-1}$) kezelésben (83,7 és 86,5 %). A mérsékelt szárazságstressz (W2, $3 \text{ mm m}^{-2} \text{ nap}^{-1}$) hatására a száraz földfeletti biomassa tömegére (SzFB) az összes gumó méret átlagában 80 és 86 % közötti stressz index értékeket kalkuláltunk. Az erősebb szárazságstressz (W3, $1 \text{ mm m}^{-2} \text{ nap}^{-1}$) hatására csökkentek az SI értékek, míg variabilitásuk megnőtt (C103: 72,3, C107: 80, C20: 66,8 %). Más kísérletekben vizsgálták a szárazságstressz hatását négy különböző éréscsoportba tartozó szárazságtűrő burgonyafajtán ('Desiree', 'Nicola', 'Monalisa' és 'Remarka') és a közölt eredmények alapján megállapították, hogy a száraz biomassa tömege a szárazság által okozott stressz hatására szignifikánsan csökkent minden esetben (LAHLOU et al., 2003).

Stabil szárazságtűrési képességet az eredmények alapján a C103 és C107 nemesítési vonalakkal figyeltünk meg, míg a C20 nemesítési vonal habár az *in vitro* kísérletben nagyon perspektívikus nemesítési vonalnak bizonyult, de az *in vivo* kísérletek során nem volt megbízható a teljesítménye. A termésparaméterekre vonatkozó eredmények alapján, különösen a méreteloszlást a genotípus, a gumóméret és a vízstressz is jelentősen befolyásolták. A száraz, vízhiányos körülmények a burgonya vegetatív növekedésére és a termésparaméterekre is, mint a teljes biomassa, termés, szárazanyag-tartalom, vagy gumóméret csökkentő hatásúak lehetnek (RIDWAN et al., 2019). Vizsgálataink során a gumó számot (GSZ) alapul véve a nemesítési vonalak között a kontroll (optimális vízádagot kapott,

5 mm nap⁻¹) parcellákon jelentős különbségek voltak. Legtöbb gumót a C107 nemesítési vonal esetén (18,6 gumó növény⁻¹) számoltunk, majd sorrendben a C103 és C20 vonalak (9,4 és 5,1 gumó növény⁻¹) következtek az összes ültetett gumóméret átlagát figyelembe véve. A gumóhozam (GT) azonban a C103 nemesítési vonalnál volt a legmagasabb (378 g növény⁻¹), majd sorrendben a C107 és C20 (333 g növény⁻¹ és 45 g növény⁻¹) nemesítési vonalak következtek. A 20 mm-nél kisebb méretű ültetett gumók esetében általában szignifikánsan kevesebb gumót takarítottunk be, mint a 20 mm feletti állományból. Ahogy csökkent az ültetett gumók mérete, úgy csökkent a betakarított gumók száma és súlya, kivéve a C20 nemesítési vonal esetében. Hasonló eredményeket közölt 'Bintje', 'Ostara' és 'Elkana' burgonya fajták minigumó teljesítményére vonatkozóan LOMMEN és STRUIK (1994). A gumók száma és tömege csökkent szárazságstressz hatására 21 burgonya fajta minigumóinak szabadföldi kísérleteiben. Vizsgálták az aszály kétféle erősségét (20 és 60 % talajvízkapacitáson) a genotípusok termésparamétereire, melyben megállapításra került, hogy az erősebb szárazság hatására szignifikánsan csökkentek mind a gumó számra, mind a súlyra vonatkozó értékek, azonban a kisebb mértékű szárazságstressz nem minden genotípus esetében okozott szignifikáns eltéréseket a vizsgált paraméterekben (ZAKI és RADWAN., 2022).

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 csökkenését idézte elő (gumó szám és tömeg, GSZ és GT). A C20 nemesítési vonal esetében másabb volt a tendencia, azonban 35 mm-nél nagyobb gumót nem takarítottunk be erről a genotípusról. A kisebb méretű gumók kisebb vegetatív növekedést képesek produkálni (vagyis kisebb FFB-t), aminek eredményeként kisebb méretű termésre számíthatunk (ASNAKE et al., 2023). Hasonló eredményekről tett említést CIOLOCA et al. (2022) kutatócsoportja. Nemesítési vonalakon *in vitro* szárazságtűrési tesztek végzett mely során három toleráns nemesítési vonal került kiválasztásra a további *in vivo* kísérletekhez. Minigumókat ültettek és a betakarításkor a legtöbb gumót a 25 mm-nél nagyobb méret tartományba sorolták, de a kontroll kezelésben voltak 30 mm feletti gumók is minden genotípusnál. A 25 mm-nél nagyobb méretű gumók összehasonlításakor nem volt kimutatható a vetőgumó méretek termés méret–eloszlásra gyakorolt hatása a vizsgált 'Jalene', 'Gudeine' és 'Kellacho' fajták esetében (EBRAHIM et al., 2018). A nagyméretű gumók mennyisége KEBEDE et al. (2020) közlése alapján rendkívül jó korrelációt ($r = 0,997$) mutatott az egyes fajták szárazságstressz alatti termőképességével kapcsolatban, így szelekciós tényezőként is javasolták ezt a paramétert.

A friss és száraz biomassa (FFB és SzFB) értékeiben a kontroll parcellákon (optimális vízádagot kapott, W1, 5 mm) a 2021-ben előkezelt (PW1, PW2 és PW3. 5, 3, 1 mm m⁻² nap⁻¹) és kezeletlen gumók között nem volt szignifikáns eltérés, de az FFB SI értékei a C103 és C107 nemesítési vonal esetében az előkezelt állományban magasabbak voltak. Csak a magasabb (PW3, 1 mm m⁻² nap⁻¹) szárazságstressz eredményezett magasabb SI értékeket a SzFB paraméter esetén. Optimális vízellátás mellett a burgonya növény felszíni fejlődéséből lehet következtetéseket levonni, azonban aszályos körülmények között a földfelszín alatti fejlődés ad lehetőséget erre. Viszont miután a felszíni és felszín alatti fejlődés szinkronja megbomlik, már ebben az esetben sem lesz lehetséges a konzekvens információgyűjtés (HOELLE et al., 2023). A korábban alkalmazott szárazságstressz (előkezelés vagy felkészítés) a növények vízhiányra adott válaszát pozitívan befolyásolhatja a következő generációkban, aminek következményeként a növények ellenállósága a stresszel szemben megnőhet (BRUCE et al., 2007). Ezt az úgynevezett stresszmemóriát vizsgálta burgonyánál RAMÍREZ et al. (2015), mely kísérlet során megállapították, hogy az előkezelésre adott stresszválaszok genotípustól függtek. A 'Desiree' burgonya fajta előkezelt és kezeletlen gumóiból fejlődött növények sem kontroll sem szárazságstresszt kapott környezetben nem mutattak különbséget. Az 'Unica' és a 'Sarnav' fajták azonban szignifikánsan magasabb gumóhozamot produkáltak a szárazságstresszre felkészített gumókból származó termést tekintve.

A disszertációmban taglalt kísérlet során megállapításra került, hogy a szárazságstressz előkezelésnek szignifikáns utóhatása nem volt a termésparaméterekre, habár a kontroll parcellákon az előkezelést kapott gumókból fejlődött növények termése a C107 és C20 nemesítési vonal esetében általában több volt. Az erősebb szárazságstressz (PW3, 1 mm m⁻² nap⁻¹) szintén enyhe növekedést eredményezett a termésparaméterekben (GT alapján) a kontroll (PW1, 5 mm m⁻² nap⁻¹) és enyhe stresszt kapott (PW2, 3 mm m⁻² nap⁻¹) növények terméséhez viszonyítva. Sőt a szárazságstresszre (W2, 1 mm m⁻² nap⁻¹) sem mutattak emelkedett toleranciát a stressz indexek alapján. Nem tapasztaltunk szignifikáns hatást sem a kontroll (optimális vízádagot kapott, W1, 5 mm m⁻² nap⁻¹), sem a szárazságstressznek kitett (W2, 1 mm m⁻² nap⁻¹) parcellákon fejlődött növények és betakarított termés eredményeiben. CAVAGNARO et al. (1971) kutatása szerint amikor az ültetés és a korai fejlődés szakaszában vízhiány lépett fel 'White Rose' burgonya fajtánál, a gumók száma és a terméshozam ugyanabban a tenyészedőszakban nőtt a korai szárazságstressz utóhatásának következtében. Megállapítottuk, hogy átlagosan az összes 2021 évi kezelés (PW1, PW2 és PW3; 5, 3 és 1 mm m⁻² nap⁻¹) átlagában gumószám (GSZ) szerinti méreteloszlás tekintetében a

szárazságstressz hatása statisztikailag kimutatható mértékű volt a burgonya nemesítési vonalaknál. Általában 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 m⁻² nap⁻¹) területekről betakarított gumók legnagyobb arányú méretkategóriája a szárazságstressz (W2, 1 mm m⁻² nap⁻¹) hatására kisebb vagy nagyobb mértékű csökkenést mutatott és a kisebb méretű gumók mennyisége emelkedett. Az előkezeléseknek (PW1, PW2 és PW3; 5, 3 és 1 mm m⁻² nap⁻¹) általában nem volt szignifikáns hatása a genotípusok gumó számára (GSZ) sem a kontroll (W1, 5 mm m⁻² nap⁻¹), sem a vízmegvonással sújtott (W2, 1 mm m⁻² nap⁻¹) 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. A betakarított termés (GT) alapján sem volt egyértelműen mérhető szingifikáns különbség a genotípusoknál az előkezelt gumók arányát tekintve, azonban a szárazságstressz (W2, 1 mm m⁻² nap⁻¹) általános csökkenést okozott, és bővült a többségben 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.

Összefoglalva a fentiek alapján a C103 és C107 nemesítési vonalak olyan specifikus tulajdonságait célszerű tovább tanulmányoznunk, mint a termésparaméterek, valamint a megfelelő fenológiai stádiumokban gyűjtött NDVI értékek. Ismereteink és eredményeink alapján a vízmegvonás időzítése, valamint különböző megfigyelési időpontok meghatározása is jelentős szerepet játszik a szárazságstresszre adott növényi válaszok hatékonyabb értelmezésében.

7. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

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.

8. GYAKORLATBAN ALKALMAZHATÓ EREDMÉNYEK

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.

9. ÖSSZEFOGLALÁS

A modern világ működésének az egyik legfontosabb feltétele a népesség- és élelmiszerszükséglet problémakörének tartós megoldása a kockázatok minimálisra csökkentése és a hatékonyság maximalizálása mellett. Az *in vitro* vagy laboratóriumi módszerek, melyeket a burgonya nemesítési vonalak szűrésére használtunk, jelentősen megkönnyíthetik és hatékonyabbá tehetik a szelekciós folyamatot, mivel azok teljes mértékben kontrolláltak, helytakarékosak és a külső tényezőktől (pl. időjárás, nappalhossz változása) függetlenek.

A laboratóriumi tesztek során 27 burgonya genotípus ozmotikus stressztolerancia szintjét vizsgáltuk és szárazságtűrő referencia vonalakkal (C103 és C107 genotípusok) vetettük össze a kapott értékeket az egyszerű morfológiai paraméterekre reflektálva, stressz indexben (SI) kifejezve. Az ozmotikus stressz kiváltását két különböző molekulatömegű PEG (600 és 6000), valamint D-mannit ozmotikumok MS táptalajhoz adagolt három különböző koncentráció szinten történő alkalmazásával érték el a fiatal burgonya hajtástenyészeteknél. A különbségek felmérésére szolgáló paraméterek (melyek alapján az SI képzés történt) a hajtáshossz (HH), gyökérhossz (GYH), gyökérszám (GYSZ) és a túlélő hajtások aránya (TA) voltak. A C103 és C107 nemesítési vonalak gyökér paramétereiben (GYH és GYSZ) szignifikánsan magasabb stressz index értéket kalkuláltunk, mint a többi nemesítési vonal esetében. A kísérlet eredményeként kilenc ígéretesnek bizonyuló burgonya genotípust emeltünk ki, ezek a C2, C5, C8, C11, C12, C14, C30, C58, C63, C103 és C107 genotípusok. A kísérlet során a nagyobb molekulatömegű PEG (6000), valamint a D-mannit közepes (7,5 %, 0.2 M) és magas (10,0 %, 0.3 M) dózisa alkalmasnak bizonyultak az ozmotikus stressztűrésre irányuló szelekciós eljárás véghezviteléhez.

A kísérlet következő fázisában *in vivo* tesztelésre került négy, a korábbi *in vitro* vizsgálat alapján kiemelt nemesítési vonal (C103, C107, C11 és C20). Laboratóriumi körülmények között létrehozott hajtástenyészeteket akklimatizáló helyiségben, szabályozott közegben neveltünk, ahol a gumók felszaporítása mellett fontos tényező volt a nemesítési vonalak tözsámsűrítésre adott specifikus válasza. Célzottan a termésjellemzőkben bekövetkező változások (növényenkénti gumószám és tömeg, gumóméret eloszlás) meghatározására törekedtünk. A primer gumók ültetése fedett, bakhátas művelési rendszerben történt, 25/15 cm tőtávolság és 20–45/–19 mm gumóátmérő (T1 és T2) csoportosításban. Tanulmányoztuk a gumóhozam alakulását és a tözsámnövelés szerepét a betakarított gumók mennyiségére, valamint a gumóméretetek közötti eloszlásra. Információt

gyűjtöttünk a szekunder gumók kelésére, végső lombmagasságára, friss földfeletti biomaszra tömegére (FFB), a lombzat klorofill-tartalmára (KL-a, -b és ÖKL, klorofill fluoreszcencia (Fv/Fm)). A betakarított primer és szekunder gumók hozama egyaránt jelentősen csökkent a kisebb tőtávolságra ültettek esetében. 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. A gumók számára vonatkozó méret eloszlásra a tőszámsűrítés a C103 (20-24 mm) és C20 (15-19 mm) nemesítési vonalak esetében pozitív, míg a C107 és C11 (15-19 mm) nemesítési vonalaknál enyhe csökkentő hatással volt. A fóliasátorban fejlődött gumók kelésére a genotípus, a tőszám sűrítés és a gumó mérete is befolyásoló hatással volt. Az 50 %-os kelési arányt legkorábban a C11 (DAP 43), legkésőbb a C107 (DAP 79) nemesítési vonal esetében figyeltük meg. Az 50%-os kelési arány és a kelés maximuma a tőszám és gumóméret szerinti értékelés alapján az alacsonyabb tőszámú (T2, 15 cm) és kisebb gumóméretű (d2, -19 mm) állományokban átlagosan 4-11 nappal később jelentkeztek, mint a normál tőtávolságú (T1, 25 cm), nagyobb gumóméretű (d1, 20-45 mm) csoportban. Genotípus és tőszám alapján végzett mérések szerint a lombzat magassága, a friss levéltömeg, továbbá a klorofill-a, -b és a összklorofill tartalom adatai tekintetében a C103 és C20 nemesítési burgonya genotípusok mennyiségi értékei többnyire magasabbak voltak, mint a C107 és C11 vonalaké. Az állománsűrítés és a gumóméret szerinti ültetés a termésmennyiséget jelentősen befolyásolta a vizsgált nemesítési vonalaknál (C103: 371.97 g m⁻², a; C107: 61.73 g m⁻², bc; C20: 97.28 g m⁻², b; C11: 2.13 g m⁻², c), valamint a gumóméret eloszlásban is statisztikailag kimutatható mértékű változást tapasztaltunk a C103 és C20 nemesítési vonalak esetében.

Az izolált és a szabadföldi körülmények között végzett tesztek segítséget nyújtottak a vizsgált nemesítési vonalak fejlődési folyamatainak alaposabb megismeréséhez és ezzel a nemesítési program célja felé tett lépéseket jelentették. Azonban hasznos és szükséges az *in vitro* ozmotikus stressztűrési vizsgálatok mellett szabadföldi körülmények között is megismerni a kiválasztott nemesítési vonalak szárazságtűrési képességeit. Az ozmotikus stresszel szembeni jó rezisztenciával rendelkező burgonya nemesítési vonalak (C103, C107 és C20) szárazságtűrési képességének felmérését két egymás utáni évben (2021 és 2022) nyitott fóliasátorban végeztük, ahol az elültetett gumók négy méretkategória szerint lettek csoportosítva 10 és 35 mm között. A vízadagok kontroll, (5 mm·m⁻²·nap⁻¹), valamint mérsékelt (3 mm m⁻² nap⁻¹) és súlyos (1 mm m⁻² nap⁻¹) szárazság kiváltására lettek meghatározva. Tanulmányoztuk a szárazság utóhatását a 2022-ben ültetett gumókon. Csak a 25-35 mm közötti gumókat ültettük ki, melyek kontroll (optimális vízmennyiséget kapott, W1,

5 mm m⁻² nap⁻¹) és vízmegvonást alkalmazott (W2: 1 mm m⁻² nap⁻¹) parcellákon fejlődtek és a nemesítési vonalak mellett még két kontroll burgonya fajtát is vizsgáltunk. Az ültetést követő (Day After Planting, DAP) 20-30. és 48-54. napon felvételeztük a kelési arányt és a virágzási arányt, valamint a 35-45-75. napon az NDVI méréseket végeztük el. A növénymagasságot és a földfeletti biomassa friss tömegét (FFB) a 76. DAP időpontban rögzítettük. A betakarított gumók mérése és méretkategóriába sorolása után kiszámításra került a növényenkénti mennyiség és a friss termés (GSZ és GT). A stressz indexek (SI) kalkulálása a korábban említett metodika szerint a kontroll parcellákhoz viszonyítva történt, majd a nemesítési vonalak és kontroll fajták szárazságstresszre adott válaszait hasonlítottuk össze. A kapott eredményekből megállapítottuk, hogy mindegyik nemesítési vonal megfelelő szárazságtűrést mutatott, ugyanakkor csak a C103 és C107 nemesítési vonalak voltak stabilak *in vivo* körülmények között is. A GSZ/GT SI értékei a következőképpen alakultak: 103/57, 102/63, 83/52, 80/58 és 55/41 (C103, C107, C20 nemesítési vonalak és 'Boglárka' és 'Desiree' kontroll burgonya fajták). A vetőgumó mérete nagymértékben befolyásolta az egyes paramétereket, és általában a 20 mm-nél nagyobb minigumóknál magasabb paraméter értékeket mértünk, mint a 20 mm alattiak esetében. A szárazságstressz tekintetében nem tapasztaltunk jelentős mértékű utóhatást a következő generációra vonatkozóan, és bár pozitív kapcsolatot ($r=0,83$) mutattunk ki az NDVI értékek és a termésparaméterek között, a vizsgálat összefüggései nem voltak minden genotípus és vízkezelés esetében konzisztensek. A szárazságstresszt mérséklő 'priming' kezelésnek kimutatható mértékű utóhatását nem tapasztaltuk a vizsgált genotípusok következő generációjánál. Az NDVI mérések és a termés paraméterek relációját tekintve pozitív korrelációt ($r=0,83$) találtunk, azonban nem minden genotípus és kezelés esetében volt igaz ez az állítás.

A nemesítési program és egyben a disszertáció elsődleges célja a burgonya nemesítési vonalak fenológiai fázisainak és termőképességének megismerése volt optimális és aszályos vízellátási körülmények között. Mindemelett a szélsőséges időjárási anomáliákat kiemelkedően toleráló nemesítési vonalak kiválasztása és termesztésének elősegítése is fontos állomás volt. Végül, de nem utolsó sorban a kísérlet szakaszainak összekapcsolásához lényeges szempont volt, hogy az *in vitro* kísérletek eredményeinek validálása *in vivo* is teljesüljön.

10. SUMMARY

One of the key factors for the functioning of the contemporary world is finding lasting solutions to the challenges of population growth and food supply, while minimizing risks and maximizing efficiency. The *in vitro* or laboratory methods used to screen potato breeding lines can significantly facilitate and make the selection process more efficient, as they are fully controlled, space-saving and independent of external factors (e.g. weather, night/day changes).

During laboratory tests, we examined the tolerance of 27 different potato genotypes to osmotic stress and compared the results with drought-resistant breedinglines (genotypes C103 and C107), based on simple morphological parameters expressed as a stress index (SI). The induction of osmotic stress was achieved by using two different molecular weight polyethylene glycol and D-mannitol osmotics added to MS medium in three different concentration levels in young potato tissue cultures. The parameters used to assess the differences (on the basis of which the SI was performed) were shoot length (SL), root length (RL), number of roots (RN) and shoot survival ratio (SR). The osmotics used and the tested genotypes showed average values of SL: 40.1, RL: 60.8, RN: 82.6, SR: 76, Total average: 64.9 SI (%) in terms of the indicated parameters. In general, we calculated a significantly higher SI in the root parameters (RL and RN) of the breeding lines C103 and C107, compared to the other genetic lines. Following the experiment, nine potato genotypes were found to be outstanding for breeding objectives, these are the C2, C5, C8, C11, C12, C14, C30, C58, C63 and C103, C107 genotypes. During the experiment, medium (7.5%, 0.2 M) and high (10.0%, 0.3 M) doses of polyethylene glycol with a higher molecular weight (6000) and D-mannitol were found to be applicable for the identification process aimed at assessing osmotic tolerance.

In the next phase of the experiment, four breeding lines (C103, C107, C11 and C20) highlighted on the basis of the previous *in vitro* test were also tested *in vivo*. The shoot cultures created under laboratory conditions were grown in an acclimatization room, in controlled conditions, where, besides to the multiplication of the tubers, the specific response of the breeding lines to the plant distance was an important factor. We were specifically interested in changes in crop characteristics, like the count and yield of tubers per plant and tuber size distribution. 1st generation of (primary) tubers were planted in a covered row cultivation system (with a foil tent roof) at a planting distance of 25/15 cm, with a tuber diameter ranging from 20–45/–19 mm, classified as T1 and T2. We collected information on the emergence of

2nd generation of (secondary) tubers, final plant height, fresh above-ground biomass weight (AGB), leaf chlorophyll content (KL-a, -b, and ÖKL), and chlorophyll fluorescence (Fv/Fm). The yield of the harvested primary and secondary tubers both decreased significantly in the case of those planted at a smaller distance between plants. In terms of the amount of harvested primary tubers, we measured significantly different results for C103, C107 and C20 genotypes, while two breeding lines (C103 and C20) could be highlighted for 2nd generation of tubers. In relation to the tuber size distribution, plant density had a positive effect on breeding lines C103 (20-24 mm) and C20 (15-19 mm), while it had a slight reducing effect on breeding lines C107 and C11 (15-19 mm). The emergence of the tubers developed in the greenhouse was influenced by genotype, seedling number and tuber size. 50% emergence rate was noted earliest in relation to C11 (on DAP 43) and latest in the breeding line C107 (on DAP 79). Based on the evaluation of plant density and tuber size, the 50% emergence rate and the peak of emergence appeared 4-11 days later on average in the narrower planting distance (T2, 15 cm) and smaller tuber size (d2, -19 mm) groups compared to the normal planting distance (T1, 25 cm) with larger tuber size (d1, 20-45 mm). According to the measurements of the height of the plant, fresh weight of the leaf, and the concentrations of chlorophyll-a, -b, and total chlorophyll, the C103 and C20 genotypes generally showed significantly higher values than the C107 and C11 lines, with respect to both genotype and plant density. Plant density and planting according to tuber size had a significant reducing effect on the yield of the tested breeding lines (C103: 371.97 g m⁻², a; C107: 61.73 g m⁻², bc; C20: 97.28 g m⁻², b; C11: 2.13 g m⁻², c), and this impact considerably decreased the yield, as well as a statistically detectable change in tuber size distribution (for the genotypes C103 and C20).

The tests carried out in isolated and greenhouse conditions provided assistance for a more thorough understanding of the development processes of the examined breeding lines and thus represent steps taken towards the goal of the breeding program. However, in addition to the *in vitro* osmotic stress tolerance tests, it is useful and necessary to learn about the drought tolerance capabilities of the selected breeding lines also under field conditions. Potato breeding lines with good resistance to osmotic stress (C103, C107, and C20) was evaluated in two consecutive years (2021 and 2022) in opensided-greenhouse, where the planted tubers were grouped according to four size categories, between 10 and 35 mm. The water doses were determined for control (optimal water supply, 5 mm m⁻² day⁻¹), moderate (3 mm m⁻² day⁻¹) and severe (1 mm m⁻² day⁻¹) droughts. We studied the after-effect of drought on tubers planted in the following year of the trial (2022). During the second year, the 25-35 mm tubers were

planted, which developed in control (W1: 5 mm m⁻² day⁻¹) and exposed to water shortage (W2: 1 mm m⁻² day⁻¹) plots, and besides the breeding lines, we tested two control potato varieties as well. The emergence rate and flowering rate were recorded on days 20-30 and 48-54 after planting (Day After Planting, DAP), and NDVI measurements were performed on days 35, 45 and 75. The height of the plants and the fresh weight of the aboveground biomass (FFB) were measured on 76 DAP. After counting and measuring the harvested crop was grouped according to size and the amount per plant and the fresh yield (TN and TY) had been evaluated. The SI values for stress were given in relation to the control plots according to the previously mentioned methodology, following that, we analyzed the results of the breeding lines and the control varieties with a reduced amount of water. From the obtained results, we determined that all the potato genotypes tested demonstrated satisfactory drought resistance, although only the breeding lines C103 and C107 exhibited stability, even under field. The values of the stress index of TN/TY were as follows: 103/57, 102/63, 83/52 and 80/58, 55/41 (breeding lines C103, C107, C20 and control potato varieties namely 'Boglárka' and 'Desiree'). Tuber size had a large effect on each parameter, and in general, tubers with a size greater than 20 mm had higher performance compared to those under 20 mm. No detectable aftereffect of the drought stress mitigating priming treatment was observed in the next generation of the tested genotypes. A favorable relationship ($r=0.83$) was observed between the NDVI values and yield factors, although this was inconsistent across all genotypes and interventions.

The primary goal of the breeding program and the dissertation was to study the phenological phases and productivity of potato genetic lines under sufficient and water-scarcity environment. In addition, choosing and advancing of potato breeding lines that show great resilience to unusual weather patterns was also an important stage. Last but not least, to link the stages of the experiment, it was essential that data from the *in vitro* trial be validated *in vivo* as well.

11. IRODALOM

1. *Ábrahám, É. B. – Sárvári, M. 2006.* Effect of year and irrigation on the yield and quantity of different potato varieties. *Cer. Res. Comm.* 34, 1, <https://www.jstor.org/stable/23789626JSTOR>
2. *Adhikari, R. C. 2005.* Performance of Different Size True Potato Seed Seedling Tubers at Khumaltar. *Nep. Agric. Res. J.* 28–34. <https://doi.org/10.3126/narj.v6i0.3341>.
3. *Ahloowalia, B. S.: 1994.* Production and performance of potato mini-tubers. *Euphytica*. 75. 3: 163–172. DOI: 10.1007/BF00025600
4. *Ahmed, H. G. M. – D. – Sajjad, M. – Li, M. – Azmat, M. A. – Rizwan, M. – Maqsood, R. H. – Khan, S. H. 2019.* Selection criteria for drought-tolerant bread wheat genotypes at seedling stage. *Sustainability*. 11, 2584.
5. *Albiski, F. – Najla, S. – Sanoubar, R. – Alkabani, N. – Murshed, R. 2012.* In vitro screening of potato lines for drought tolerance. *Physiol. Mol. Biol. Plants*. 18, 315–321.
6. *Aliche, E. B. – Oortwijn, M. – Theeuwes, T. P. J. M. – Bachem, C. W. B. – Visser, R. G. F. – van der Linden, C. G. 2018.* Drought response in field grown potatoes and the interactions between canopy growth and yield. *Agric. Water Manag.* 206, 20–30.
7. *Almekinders, C. J. M. – Struik, P. C. 1996.* Shoot development and flowering in potato (*Solanum tuberosum* L.). *Potato Res.* 39, 581–607. <https://doi.org/10.1007/BF02358477>.
8. *Almekinders, C. J. M. – Wiersema, S. G. 1991.* Flowering and true seed production in potato (*Solanum tuberosum* L.). 1. Effects of inflorescence position, nitrogen treatment, and harvest date of berries. *Potato Res.* 34, 365–377. <https://doi.org/10.1007/BF02360573>.
9. *Almekinders, C. J. M. 1991.* Flowering and true seed production in potato (*Solanum tuberosum* L.). Effects of stem density and pruning of lateral stems. *Potato Res.* 34, 379–388. <https://doi.org/10.1007/BF02360574>.
10. *Al-Taey, D. K. A. A. – Hussain, A. J. 2023.* 4th International Conference of Modern Technologies in Agricultural Sciences. IOP Conf. Ser. *Earth Environ. Sci.* 2023, 1262, 042070.
11. *Andidi, H. M. 2023.* High-throughput Phenotyping to Evaluate Metribuzin Sensitivity of Potato (*Solanum tuberosum* L.). A Master's Thesis Submitted to the Graduate Faculty of the North Dakota State University of Agriculture and Applied Science By Hashim Muhammad Andidi In Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of MASTER OF SCIENCE, Major Department, Plant Sciences, Fargo, North Dakota.

12. Anithakumari, A. M. – Dolstra, O. – Vosman, B. – Visser, R. G. F. C. – van der Linden, G. 2011. In vitro screening and QTL analysis for drought tolerance in diploid potato. *Euphytica*. 181, 357–369. DOI 10.1007/s10681-011-0446-6
13. Anjum, S. A. – Xie, X. Y. – Wang, L. C. – Saleem, M. F. – Man, C. – Lei, W. 2011. Morphological, physiological and biochemical responses of plants to drought stress. *Afr. J. Agric. Res.* 6, 9. 2026–2032.
14. Ansari, W. A. – Atri, N. – Pandey, M. – Singh, A. K. – Singh, B. – Pandey, S. 2019. Influence of drought stress on morphological, physiological and biochemical attributes of plants: A review. *Biosci. Biotech. Res. Asia*. 16, 697–709. <https://doi.org/10.13005/bbra/2785>.
15. Asakaviciute, R.: 2011. Meristem culture for potato seed production in Lithuania. [In S. Kuusiene, J. Ziauka, R. Masalaite (szerk.) *Advances in plant biotechnology in Baltic sea region*]. Lithuanian Research Centre for Agriculture and Forestry. Kaunas. Litvánia. 65–67.
16. Asnake, D. – Alemayehu, M. – Asredie, S. 2023. Growth and tuber yield responses of potato (*Solanum tuberosum* L.) varieties to seed tuber size in northwest highlands of Ethiopia. *Heliyon*. 9, e14586; ISSN 2405–8440. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e14586>.
17. Atherton, D. – Choudhary, R. – Watson, D.: 2017. Hyperspectral remote sensing for advanced detection of early blight (*Alternaria solani*) disease in potato (*Solanum tuberosum*) plants prior to visual disease symptoms. [In *Proceedings of the 2017 ASABE Annual International Meeting*]. Washington, DC, USA, 2017. Július 16–19, 1–10.
18. Badoni, A. – Chauhan, J. S. 2009. Effect of growth regulators on meristem tip development and in-vitro multiplication of potato cultivar ‘Kufri Himalini’. *Nat. Sci.* 7, 31–34.
19. Bajji, M. – Lutts, S. – Kinet, J. M. 2000. Physiological changes after exposure to and recovery from polyethylene glycol-induced water deficit in callus culture issued from durum wheat (*Triticum durum* Desf.) cultivars differing in drought resistance. *J. Plant Physiol.* 156, 75–83. DOI: 10.1016/S0176-1617(00)80275-8
20. Bala, S. K. – Islam, A. S. 2009. Correlation between potato yield and MODIS-derived vegetation indices. *Int. J. Remote Sens.* 30, 2491–2507. <https://doi.org/10.1080/01431160802552744>.
21. Bandurska, H. 2022. Drought stress responses: Coping strategy and resistance. *Plants*. 11, 922.

22. Beals, K. A. 2019. Potatoes, Nutrition and Health. *Am. J. Potato Res.* 96, 102–110. <https://doi.org/10.1007/s12230-018-09705-4>.
23. Bhar, A. – Chakraborty, A. – Roy, A. 2022. Plant Responses to Biotic Stress: Old Memories Matter. *Plants*. 11, 84. <https://doi.org/10.3390/plants11010084>.
24. Boguszevska–Mańkowska, D. – Zarzyńska, K. – Nosalewicz, A. 2020. Drought differentially affects root system size and architecture of potato cultivars with differing drought tolerance. *Am. J. Potato Res.* 97, 54–62.
25. Boguszevska–Mańkowska, D. – Zarzyńska, K. – Wasilewska–Nascimento, B. 2022. Potato (*Solanum tuberosum* L.) Plant Shoot and Root Changes under Abiotic Stresses–Yield Response. *Plants*. 11, 3568. <https://doi.org/10.3390/plants11243568>.
26. Bolhar–Nordenkamp, H. R. – Long, S. P. – Baker, N. R. – Oquist, G. – Schreiber, U. – Lechner, E. G. 1989. Chlorophyll fluorescence as a probe of the photosynthetic competence of leaves in the field: a review of current instrumentation. *Funct. Ecol.* 3. 4: 497–514. DOI: 10.2307/2389624
27. Bonierbale, M. W. – Amoros, W. R. – Salas, E. – de Jong, W.: 2020. Chapter 6: Potato Breeding. [In Campos, H., Ortiz, O. (szerk) *The Potato Crop Its Agricultural, Nutritional and Social contribution to Humankind*]. Springer: Cham, Svájc, 163–217, ISBN 978–3–030–28683–5. https://doi.org/10.1007/978-3-030-28683-5_6.
28. Borus J.: 2003. A burgonya fajtafenntartó nemesítése [In: Iszállyné Tóth J. *A kisvárdai növénynemesítés története*] Debreceni Egyetem Agrártudományi Centrum Kutató Központ Nyíregyháza. Licium-Art Kft. Debrecen. 70–76.
29. Boudiar, R. – Casas, A. M. – Gioia, T. – Fiorani, F. – Nagel, K. A. – Igartua, E. 2020. Effects of low water availability on root placement and shoot development in landraces and modern barley cultivars. *Agron.* 10, 134.
30. Boyer, J. S. 1982. Plant Productivity and Environment. *Science* 218, 443–448. <https://doi.org/10.1126/science.218.4571.443>.
31. Bruce, T. J. A. – Matthes, M. C. – Napier, J. A. – Pickett, J. A. 2007. Stressful “memories” of plants: Evidence and possible mechanisms. *Plant Sci.* 173, 603–608; ISSN 0168–9452, <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2007.09.002>.
32. Burton, W. G. 1981. Challenges for stress physiology in potato. *Am. Potato J.* 58, 3–14.
33. Carpita, N. – Sabulase, D. – Montezinos, D. – Delmer, D. P. 1979. Determination of the pore size of cell walls of living plant cells. *Science*. 205, 1144–1147. DOI: 10.1126/science.205.4411.1144

34. Cavagnaro, J. B. – De Lis, B. R. – Tizio, R. M. 1971. Drought hardening of the potato plant as an after-effect of soil drought conditions at planting. *Potato Res.* 14, 181–192. <https://doi.org/10.1007/BF02361832>.
35. Cioloca, M. – Tican, A. – Bădăraș, C. L. – Popa, M. 2022. Production of high-quality seed potatoes in protected area for true seed progenies, who showed tolerance to in vitro induced water stress. *Sci. Pap. Ser. A Agron.* 65, 235–244; ISSN 2285–5785.
36. Coelho, A. R. F. – Daccak, D. – Luís, I. C. – Marques, A. C. – Pessoa, C. C. – Brito, M. – Kullberg, J. – Simões, M. – Silva, M. M. – Pessoa, M. F. 2023. Can the Normalized Difference Vegetation Index Be Used for Yield Prediction in *Solanum tuberosum* L. Plants Biofortified with Calcium? *Biol. Life Sci. Forum* 27, 13. <https://doi.org/10.3390/IECAG2023-15757>.
37. 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
38. Dimante, I. – Gaile, Z. 2018. Assessment of potato plant development from minitubers. *Agron. Res.* 16, 1630–1641.
39. Dobránszki, J. – Magyar-Tábori, K. – Hudák, I. 2008. In Vitro Tuberization in Hormone-Free Systems on Solidified Medium and Dormancy of Potato Microtubers. *Fruit. Veg. Cereal Sci. Biotechn.* 2, 82–94.
40. Dobránszki, J. – Magyar-Tábori, K. – Takács-Hudák, Á. 2003. Growth and developmental responses of potato to osmotic stress under in vitro conditions. *Acta Biol. Hung.* 54, 365–372.
41. 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
42. Ebrahim, S. – Mohammed, H. – Ayalew, T. 2018. Effects of seed tuber size on growth and yield performance of potato (*Solanum tuberosum* L.) varieties under field conditions. *Afr. J. Agric. Res.* 13, 2077–2086. <https://doi.org/10.5897/AJAR2018.13405>.
43. Evers, D. – Bonnechère, S. – Hoffmann, L. – Hausman, J. F. 2007. Physiological aspects of abiotic stress response in potato. *Belg. J. Bot.* 140, 141–150.
44. FAO: 2023. World Food and Agriculture—Statistical Yearbook, FAO Statistics: Róma, Olaszország, 367. <https://doi.org/10.4060/cc8166en>.
45. Felföldy, L.: 1987. Biological water qualification. Water Management Institute. 190.

46. Fulladolsa, A. C. – LaPlant, K. E. – Groves, R. L. – Charkowski, A. O. 2018. Potato plants grown from minitubers are delayed in maturity and lower in yield, but are not at a higher risk of potato virus Y infection than plants grown from conventional seed. *Am. J. Pot. Res.* 95, 1, 45–53. DOI: 10.1007/s12230-017-9613-1
47. Gelmesa, D. – Dechassa, N. – Mohammed, W. – Gebre, E. – Monneveux, P. – Bündig, C. – Winkelmann, T. 2017. In vitro screening of potato genotypes for osmotic stress tolerance. *Open Agric.* 2, 308–316.
48. Georgakis, D. N. – Karafyllidis, D. I. – Stavropoulos, N. I. – Nianiou, E. X. – Vezyroglou, I. A. 1997. Effect of planting density and size of potato seed–minitubers on the size of the produced potato seed tubers. *Acta Horticulturae.* 462, 935–942. DOI: 10.17660/ActaHortic.1997.462.149
49. George, T. S. – Taylor, M. A. – Dodd, I. C. 2017. Climate Change and Consequences for Potato Production: A Review of Tolerance to Emerging Abiotic Stress. *Potato Res.* 60, 239–268. <https://doi.org/10.1007/s11540-018-9366-3>.
50. Gervais, T. – Creelman, A. – Li, X.–Q. – Bizimungu, B. – De Koeyer, D. – Dahal, K. 2021. Potato response to drought stress: Physiological and growth basis. *Front. Plant Sci.* 12, 698060.
51. Gonzalez–Dugo, V. – Hernandez, P. – Solis, I. – Zarco–Tejada, P. J. 2015. Using High–Resolution Hyperspectral and Thermal Airborne Imagery to Assess Physiological Condition in the Context of Wheat Phenotyping. *Remote Sens.* 7, 13586–13605. <https://doi.org/10.3390/rs71013586>.
52. Gopal, J. – Iwama, K. 2007. In vitro screening of potato against water–stress mediated through sorbitol and polyethylene glycol. *Plant Cell Rep.* 26, 693–700. <https://doi.org/10.1007/s00299-006-0275-6>.
53. Gorji, A. M. – Mátyás, K. K. – Dublec, Z. – Decsi, K. – Cernák, I. – Hoffmann, B. – Taller, J. – Polgár, Z. 2012. In vitro osmotic stress tolerance in potato and identification of major QTLs. *Am. J. Pot. Res.* 89, 453–464.
54. Gorji, A. M. 2011. A burgonya rezisztencia nemesítés hatékonyságának növelése hagyományos és molekuláris genetikai módszerekkel. PhD értekezés tézisei. Pannon Egyetem Georgikon Kar. Növénytermesztési és Kertészeti Tudományok Doktori Iskola. Témavezető: Dr. Polgár Zsolt. Keszthely, Magyarország
55. Hack, V. H. – Gall, H. – Klemke, T. – Klose, R. – Meier, U. – Stauß, R. – Witzemberger, A. 1993. Phänologische Entwicklungsstadien der Kartoffel (*Solanum tuberosum* L.). *Nachrichtenbl. Deut. Pflanzenschutzd.* 45, 11–19. ISSN 0027–7479.

56. *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
57. *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.
58. *Hanász, A. – Zsombik, L. – Magyarné Tábori, K. – Mendlerné 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.
59. *Handayani, T. – Gilani, S.A. – Watanabe, K. N.* 2019. Climatic changes and potatoes: How can we cope with the abiotic stresses? *Breed. Sci.* 69, 545–563. <https://doi.org/10.1270/jsbbs.19070>.
60. *Harkness, C. – Semenov, M.A. – Areal, F. – Senapati, N. – Trnka, M. – Balek, J. – Bishop, J.* 2019. Adverse Weather Conditions for UK Wheat Production under Climate Change. *Agric. For. Meteorol.* 282, 107862. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2019.107862>.
61. *Harris, P. M.:* 1978. Water. [In: Harris, P. M. (szerk.)The Potato Crop]; Chapman & Hall, London, UK, 244–277.
62. *Hassanpanah, D.* 2010. Evaluation of potato advanced cultivars against water deficit stress under in vitro and in vivo condition. *Biotechnol. J.* 9, 164–169.
63. *Haverkort, A. J.:* 1982. Water management in potato production. [In Technical Information Bulletin 15]. International Potato Center (CIP), Peru, Lima, 1–22.
64. *Hermeziu, M. – Sorina, N. I. Ț. U.* 2022. Efficiency And Suitability Of Non-Invasive Measurements For Potato Plants Grown in Greenhouse. *AgroLife Sci. J.* 11, 2. <https://doi.org/10.17930/AGL202229>.
65. *Hill, D. – Nelson, D. – Hammond, J. – Bell, L.* 2021. Morphophysiology of Potato (*Solanum tuberosum*) in Response to Drought Stress: Paving the Way Forward. *Front. Plant Sci.* 11, 597554. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.597554>.
66. *Hoelle, J. – Khan, A. – Asch, F.* 2023. Drought affects the synchrony of aboveground and belowground phenology in tropical potato. *J. Agron. Crop Sci.* 210, e12675. DOI: 10.1111/jac.12675
67. *Huang, S. – Tang, L. – Hupy, J. P.* 2021. A commentary review on the use of normalized difference vegetation index (NDVI) in the era of popular remote sensing. *J. For. Res.* 32, 1–6. <https://doi.org/10.1007/s11676-020-01155-1>.

68. *Hudák, I. – Dobránszki, J. – Sárdi, É.* 2010. Changes in carbohydrate content of potato calli during osmotic stress induced by mannitol. *Acta. Biol. Hun.* 61, 2, 234–236. DOI: 10.1556/ABiol.61.2010.2.11
69. *Huntenburg, K. – Pflugfelder, D. – Koller, R.* 2023. Diurnal water fluxes and growth patterns in potato tubers under drought stress. *Plant Soil.* 14. <https://doi.org/10.1007/s11104-023-06108-1>.
70. *Hura, T. – Hura, K. – Grzesiak, S. – Banaszak, Z.* 2010. Simulation of osmotic stress during the early stages of triticale development as a promising laboratory test for screening drought resistance. *Cereal Res. Commun.* 38, 327–334.
71. *Ibrahim, S. – Naawe, E. K. – Çaliskan, M. E.* 2023. Effect of Drought Stress on Morphological and Yield Characteristics of Potato (*Solanum tuberosum* L.) Breeding Lines. *Potato Res.* 67, 529–543 DOI: 10.1007/s11540-023-09655-3
72. *Impa, S. M. – Nadaradjan, S. – Jagadish, S. V. K.* 2012. Drought Stress Induced Reactive Oxygen Species and Anti-Oxidants in Plants. [In: 7. kiadás. Ahmad, P., Prasad, M. N. V. (szerk.) Abiotic Stress Responses in Plants: Metabolism, Productivity and Sustainability] Springer Science & Business Media: Berlin/Heidelberg, Németország, 131–147. DOI: 10.1007/978-1-4614-0634-1_7
73. *Iqbal, M. M. – Shah, S. M. – Mohammad, W. – Nawaz, H.*: 1999. Field response of potato subjected to water stress at different growth stages. [In Kirda, C., Moutonnet, P., Hera, C., Nielsen, D. R. (szerk.) Crop Yield Response to Deficit Irrigation]. Springer Dordrecht, Hollandia, 213–223.
74. *Islam, A. S. – Bala, S. K.* 2008. Assessment of Potato Phenological Characteristics Using MODIS-Derived NDVI and LAI Information. *GIScience Remote Sens.* 45, 454–470. <https://doi.org/10.2747/1548-1603.45.4.454>.
75. *Iwama, K.* 2008. Physiology of the potato: New insights into root system and repercussions for crop management. *Pot. Res.* 51, 333–353.
76. *Jámbor-Benczúr, E. – Kissimon, J. – Fábrián, M. – Mészáros, A. – Sinkó, Z. – Gazdag, G.Y. – Nagy, T.* 2001. In vitro rooting and anatomical study of leaves and roots of in vitro and ex vitro plants of *Prunus x davidopersica* “Piroska”. *Int. J. Hortic. Sci.* 7, 42–46.
77. *Kaydan, D. – Yagmur, M.* 2008. Germination, seedling growth and relative water content of shoot in different seed sizes of triticale under osmotic stress of water and NaCl. *Afr. J. Biotechnol.* 7, 2862–2868.

78. Kebede, Z. – Mekbib, F. – Abebe, T. – Asfaw, A. 2020. Morpho–Physiological Traits of Potato (*Solanum tuberosum* L.) for Post–Flowering Drought Resistance. *Agric. Sci. Dig.* 40, 19–26. <https://doi.org/10.18805/ag.D–191>.
79. Khalid, W.– Khalid, M. Z.– Aziz, A.– Tariq, A.– Ikram, A.– Rehan, M.– Younas, S.– Bashir, A.– Fatima, A. 2020. A. Nutritional composition and health benefits of potato. *Adv. Food Nutr. Sci.* 5, 7–16.
80. Khan, A. S. – Allah, S. U. – Sadique, S. 2010. Genetic variability and correlation among seedling traits of wheat (*Triticum aestivum*) under water stress. *Int. J. Agric. Biol.* 12, 247–250
81. Knipling, E. B. 1970. Physical and physiological basis for the reflectance of visible and near–infrared radiation from vegetation. *Remote Sens. Environ.* 1, 155–159. ISSN 0034–4257. [https://doi.org/10.1016/S0034–4257\(70\)80021–9](https://doi.org/10.1016/S0034–4257(70)80021–9)
82. Kósa L.: 1980. A burgonya Magyarországon. Akadémia Kiadó. Budapest 278. ISBN: 9630523124
83. Kovács I. 1998. Teichmann Vilmos munkássága [In: Lazányi J. (szerk) Teichmann Vilmos élete és munkássága.] Debreceni Agrártudományi Egyetem Kutató Központja Rexpo Kft. Nyomdaüzeme, Debrecen. 21–44. ISBN 9637177841
84. 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.
85. KSH: 2024. <https://www.ksh.hu/stadat?lang=hu&theme=mez>)
86. Kundu, R. – Dutta, D. – Nanda, M. K. – Chakrabarty, A. 2021. Near Real Time Monitoring of Potato Late Blight Disease Severity using Field Based Hyperspectral Observation. *Smart Agric. Technol.* 1, 100019; ISSN 2772–3755, <https://doi.org/10.1016/j.atech.2021.100019>.
87. Kuźnicki, D. – Meller, B. – Arasimowicz–Jelonek, M. – Braszewska–Zalewska, A. – Drozda, A. – Floryszak–Wieczorek, J. 2019. BABA–Induced DNA Methylation Adjustment to intergenerational Defense Priming in Potato to *Phytophthora infestans*. *Front. Plant Sci.* 10, 650. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00650>.
88. Lahlou, O. – Ledent, J.–F. 2005. Root mass and depth, stolons and roots formed on stolons in four cultivars of potato under water stress. *Eur. J. Agron.* 22, 159–173.
89. Lahlou, O. – Ouattar, S. – Ledent, J.–F. 2003. The effect of drought and cultivar on growth parameters, yield and yield components of potato. *Agronomy.* 23, 257–268. <https://doi.org/10.1051/agro:2002089>.

90. *Laisina, J. K. J. – Maharijaya, A. – Sobir, A. – Purwito, A.* 2021. Penapisan Secara In vitro kentang (*Solanum tuberosum* L.) toleran kekeringan koleksi IPB. (In vitro screening of drought tolerant potatoes (*Solanum tuberosum* L.) of IPB collections). *JIPB*. 26, 235–242.
91. *Latif, H. H.* 2014. Physiological responses of *Pisum Sativum* plant to exogenous ABA application under drought conditions. Department of Biological and Geological Science. Ain Shams University. Cairo. *Egypt. Pak. J. Bot.* 46 (3):973–982.
92. *Lawlor, D. W.* 1970. Absorption of polyethylene glycols by plants and their effects on plant growth. *New Phytol.* 69, 501–513.
93. *Li, B. – Xu, X. – Zhang, L. – Han, J. – Bian, C. – Li, G. – Liu, J. – Jin, L.* 2020. Above-ground biomass estimation and yield prediction in potato by using UAV-based RGB and hyperspectral imaging, *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.* 162, 161–172. ISSN 0924–2716. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2020.02.013>.
94. *Li, S. – Kupriyanovich, Y. – Wagg, C. – Zheng, F. – Hann, S.* 2023. Water Deficit Duration Affects Potato Plant Growth, Yield and Tuber Quality. *Agriculture*. 13, 2007. <https://doi.org/10.3390/agriculture13102007>.
95. *Liu, H. – Able, A. J. – Able, J. A.* 2022. Priming crops for the future: Rewiring stress memory. *Trends Plant Sci.* 7, 699–716. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2021.11.015>.
96. *Liu, S. – Li, X. – Larsen, D. H. – Zhu, X. – Song, F. – Liu, F.* 2017. Drought Priming at Vegetative Growth Stage Enhances Nitrogen-Use Efficiency Under Post-Anthesis Drought and Heat Stress in Wheat. *J. Agron. Crop Sci.* 203, 29–40. <https://doi.org/10.1111/jac.12190>.
97. *Lommen, W. J. M. – Struik, P. C.* 1992. Production of potato minitubers by repeated harvesting: Effects of crop husbandry on yield parameters. *Pot. Res.* 35, 4, 419–432. DOI: 10.1007/BF02357598
98. *Lommen, W. J. M. – Struik, P. C.* 1994. Field performance of potato minitubers with different fresh weights and conventional seed tubers: Crop establishment and yield formation. *Potato Res.* 37, 301–313. <https://doi.org/10.1007/BF02360523>.
99. *Lommen, W. J. M.* 1994. Effect of weight of potato minitubers on sprout growth, emergence and plant characteristics at emergence. *Potato Res.* 37, 315–322. <https://doi.org/10.1007/BF02360524>.
100. *Maestrini, B. – Brouwer, M. – Been, T. – Lotz, L. A. P.:* 2020. Can We Use the Relationship Between Within-Field Elevation and NDVI as an Indicator of Drought-Stress? [In Athanasiadis, I., Frysinger, S., Schimak, G., Knibbe, W. (szerk.) IFIP

- Advances in Information and Communication Technology. Environmental Software Systems. Data Science in Action. ISESS 2020]. Springer: Cham, Svájc, 2020, 554, 122–131. https://doi.org/10.1007/978-3-030-39815-6_12.
101. Magyar-Tábori, K. – Mender-Drienyovszki, N. – Hanász, A. – Zsombik, L. – Dobránszki, J. 2021. Phytotoxicity and Other Adverse Effects on the In Vitro Shoot Cultures Caused by Virus Elimination Treatments: Reasons and Solutions. *Plants* 10, 670. <https://doi.org/10.3390/plants10040670>
 102. Markarov, A. M. 2002. Causes of Flowering of Long-Day Potato Species under Short-Day and Cold-Night Conditions. *Russ. J. Plant Physiol.* 49, 465–469. <https://doi.org/10.1023/A:1016399606792>.
 103. Martínez, I. – Muñoz, M. – Acuña, I. – Uribe, M. 2021. Evaluating the Drought Tolerance of Seven Potato Varieties on Volcanic Ash Soils in a Medium-Term. *Trial. Front. Plant Sci.* 12, 693060. DOI: 10.3389/fpls.2021.693060.
 104. Mauromicale, G. – Ierna, A. – Marchese, M. 2006. Chlorophyll fluorescence and chlorophyll content in field-grown potato as affected by nitrogen supply, genotype, and plant age. *Photosynthetica.* 44, 76–82. DOI: 10.1007/s11099-005-0161-4
 105. May, L. H. – Milthorpe, E. J. – Milthorpe, F. L. 1962. Pre-sowing hardening of plants to drought. An appraisal of the contributions by Genkel, A. *Field Crop Abstr.* 15, 93–98.
 106. Milinkovic, M. – Horstra, C. B. – Rodoni, B. C. – Nicolas, M. E. 2012. Effects of age and pretreatment of tissue cultured potato plants on subsequent minituber production. *Pot. Res.* 55, 1, 15–25.
 107. Mittler, R. 2006. Abiotic stress, the field environment and stress combination. *Trends Plant Sci.* 11, 15–19. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2005.11.002>.
 108. Molnár, I. – Cozma, L. – Dénes, T.-É. – Vass, I. – Vass, I.-Z. – Rakosy-Tican, E. 2021. Drought and Saline Stress Tolerance Induced in Somatic Hybrids of *Solanum chacoense* and Potato Cultivars by Using Mismatch Repair Deficiency. *Agric.* 11, 696. <https://doi.org/10.3390/agriculture11080696>
 109. Monneveux, P. – Ramírez, D. A. – Pino, M.T. 2013. Drought tolerance in potato (*S. tuberosum* L.). Can we learn from drought tolerance research in cereals? *Plant Sci.* 205–206, 76–86.
 110. Murashige, T. – Skoog, F. 1962. A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue cultures. *Phys. Plant.* 15, 473–497.
 111. Muthoni, J. – Kabira, J. N. 2016. Potato production under drought conditions: Identification of adaptive traits. *Int. J. Hortic.*, 6, 12. DOI: 10.5376/ijh.2016.06.0012.

112. Muthoni, J. – Shimelis, H. 2020. Heat and drought stress and their implications on potato production under dry African tropics. *Aus. J. Crop Sci.* 14, 1405–1414. <https://search.informit.org/doi/10.3316/informit.796093715167386>.
113. Nasir, M. W. – Tóth, Z. 2022. Effect of Drought Stress on Potato Production: A Review. *Agronomy*. 12, 635. <https://doi.org/10.3390/agronomy12030635>.
114. Nasir, M. W. – Tóth, Z. 2021_a. Response of different potato genotypes to drought stress. *Agriculture*. 11, 763.
115. Nasir, M. W. – Tóth, Z. 2021_b. Effect of drought stress on morphology, yield, and chlorophyll concentration of Hungarian potato genotypes. *J. Environ. Agric. Sci.* 23, 8–16; ISSN: 2313–8629.
116. Obidiegwu, J. E. – Bryan, G. J. – Jones, H. G. – Prashar, A. 2015. Coping with drought: Stress and adaptive responses in potato and perspectives for improvement. *Front. Plant Sci.* 6, 542. <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00542>.
117. Otrushy, M. 2006. Utilization of tissue culture techniques in a seed potato tuber production scheme. PhD Thesis. Wageningen University. Wageningen. The Netherlands. 264.
118. Paoletti, C. – Bagatta, M. – DiCandilo, M. – Bassi, F. – Ranalli, P. 1999. The morpho-physiological response to prolonged water-stress in potato: Variation among clones. [In: Proceedings of the 14th Triennial Conference of EAPR] Sorrento, Olaszország, Május 2–7. 182–183.
119. Pepó, P. – Tóth Sz. 2015. A burgonya (*Solanum tuberosum* L.) sótűrő képességének és kalluszindukciójának vizsgálata *in vitro* módszerek alkalmazásával. *AGRÁRTUDOMÁNYI KÖZLEMÉNYEK*, 2005/18. 51-55.
120. Pérez-Clemente, R. M. – Gómez-Cadenas, A.: 2012. In vitro tissue culture, a tool for the study and breeding of plants subjected to abiotic stress conditions. [In: Leva, A., Rinaldi, L. M. R. (szerk.) Recent Advances in Plant In Vitro Culture]. IntechOpen: London, UK, DOI: 10.5772/50671
121. Pissolato, M. D. – Martins, T. S. – Fajardo, Y. C. G. 2024. Stress memory in crops: What we have learned so far. *Theor. Exp. Plant Physiol.* 1–31. <https://doi.org/10.1007/s40626-024-00315-6>.
122. Piwowarczyk, B. – Kaminska, I. – Rybinsky, W. 2014. Influence of PEG Generated Osmotic Stress on Shoot Regeneration and Some Biochemical Parameters in Lathyrus Culture. Original Paper. *Czech J. Genet. Plant Breed.* 50, 2, 77–83. DOI: 10.13140/2.1.4330.3040

123. Plich, J. – Boguszewska–Mańkowska, D. – Marczewski, W. 2020. Relations Between Photosynthetic Parameters and Drought–Induced Tuber Yield Decrease in Katahdin–Derived Potato Cultivars. *Potato Res.* 63, 463–477. <https://doi.org/10.1007/s11540-020-09451-3>.
124. Pruski, K. 2007. The canon of potato science: in vitro multiplication through nodal cuttings. *Pot. Res.* 50, 3–4, 293–296. DOI: 10.1007/s11540-008-9050-0
125. Puiu, I. – Olteanu, G. – Morar, G. – Ianoși, M. 2012. Monitoring the vegetation status of potato. *Agric. Sci. Pract.* 1, 81–82.
126. Qin, J. – Bian, C. – Liu, J. – Zhang, J. – Jin, L. 2019. An efficient greenhouse method to screen potato genotypes for drought tolerance. *Sci. Hortic.* 253, 61–69; ISSN 0304-4238. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.04.017>.
127. Rahman, A. S. B. A. – Sebastian, P. – Izhar, L. I. 2022. Potato Crop Health Assessment Using Multispectral Image Analysis. [In Proceedings of the 2022 International Conference on Future Trends in Smart Communities (ICFTSC)]. Kuching, Sarawak, Malaysia, 151–157. <https://doi.org/10.1109/ICFTSC57269.2022.10039849>.
128. Ramírez, D. A. – Rolando, J. L. – Yactayo, W. – Monneveux, P. – Mares, V. – Quiroz, R. 2015. Improving potato drought tolerance through the induction of long-term water stress memory. *Plant Sci.* 238, 26–32. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2015.05.016>.
129. Rao, I. M. – Miles, J. W. – Beebe, S. E. – Horst, W. J. 2016. Root adaptations to soils with low fertility and aluminium toxicity. Review: Part of a special issue on root biology. *Ann. Bot.* 118, 593–605.
130. Rhaman, M. S. – Rauf, F. – Tania, S. S. – Khatun, M. 2020. Seed Priming Methods: Application in Field Crops and Future Perspectives. *Asian J. Res. Crop Sci.* 5, 8–19. <https://doi.org/10.9734/ajrcs/2020/v5i230091>.
131. Ridwan, I. – Lisson, S. – Brown, P. – Padjung, R. 2019. Changes in planting environment due to climate change likely to affect the pre-emergent growth of potato (*Solanum tuberosum* L.) having different seed tubers physiological ages. *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.* 235, 012076. DOI 10.1088/1755-1315/235/1/012076
132. Roca, W. M. – Espinoza, N. O. – Roca, M. R. – Bryan, J. E. 1978. A tissue culture method for the rapid propagation of potatoes. *Am. J. Pot. Res.* 55: 691–701. DOI: 10.1007/BF02852143
133. Rodríguez, P. L. – Sanjuanelo, C. D. – Núñez, L. C. E. – Moreno–Fonseca, L. P. 2016. Growth and phenology of three Andean potato varieties (*Solanum tuberosum* L.) under

- water stress. *Agron. Colomb.* 34, 141–154.
<https://doi.org/10.15446/agron.colomb.v34n2.55279>.
134. Romero, A. P. – Alarcón, A. – Valbuena, R. I. – Galeano, C. H. 2017. Physiological Assessment of Water Stress in Potato Using Spectral Information. *Front. Plant Sci.* 8, 1608. DOI: 10.3389/fpls.2017.01608
 135. Rosenberg, V. – Särekanno, M. – Kotkas, K. – Vasar, V. – Ojarand, A. 2007. Variation of agronomic traits of potato somaclones produced by meristem culture. *S. Afr. J. Plant Soil.* 24, 2, 95–99. DOI: 10.1080/02571862.2007.10634788
 136. Roy, R. D. – Souza Machado, V. – Alam, S. M. M. – Ali, A. 1994. Greenhouse production of potato (*Solanum tuberosum* L. cv. Désirée) seed tubers using *in vitro* plantlets and rooted cuttings in large propagation beds. *Pot. Res.* 38, 1, 61–68.
 137. Ryan, P. R. – Delhaize, E. – Watt, M. – Richardson, A. E. 2016. Plant roots: Understanding structure and function in an ocean of complexity. Preface: Part of a Special Issue on Root Biology. *Ann. Bot.* 118, 555–559.
 138. Sakthivelu, G. – Akitha Devi, M.K. – Giridhar, P. – Rajasekaran, T. – Ravishankar, G.A. – Nedev, T. – Kosturkova, G. 2008. Drought-induced alterations in growth, osmotic potential and *in vitro* regeneration of soybean cultivars. *Gen. Appl. Plant Physiol.* 34, 103–112.
 139. Sánchez, F. J. – Andrés, De E. F. – Tenorio, J. L. – Ayerbe, L. 2004. Growth of epicotyls, turgor maintenance and osmotic adjustment in pea plants (*Pisum sativum* L.) subjected to water stress. *Field Crops Res.* 86, 81–90.
 140. Sangwan, N. S. – Farooqi, A. H. A. – Shabih, F. – Sangwan, R. S. 2001. Regulation of essential oil production in plants. *Plant Growth Regul.* 34, 3–21. DOI: 10.1023/A:1013386921596
 141. Santos, B. M. – Rodriguez, P. R. 2008. Optimum In-row Distances for Potato Minituber Production. *Hort. Technology.* 18, 3, 403–406. DOI: 10.21273/HORTTECH.18.3.403
 142. Saravia, D. – Farfán-Vignolo, E. R. – Gutiérrez, R. – De Mendiburu, F. – Schafleitner, R. – Bonierbale, M. – Khan, M. A. 2016. Yield and Physiological Response of Potatoes Indicate Different Strategies to Cope with Drought Stress and Nitrogen Fertilization. *Am. J. Potato Res.* 93, 288–295. DOI: 10.1007/s12230-016-9505-9.
 143. Sárvári, M. 2022. Hazai szántóföldi növénytermesztésünk 2021. évi eredményei, fejlesztési lehetőségek. *Mezőhír.* 26 (3), 66–68.

144. 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.
145. Schafleitner, R. – Gutierrez, R. – Espino, R. 2007. Field Screening for Variation of Drought Tolerance in *Solanum tuberosum* L. by Agronomical, Physiological and Genetic Analysis. *Potato Res.* 50, 71–85. <https://doi.org/10.1007/s11540-007-9030-9>.
146. 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 (ISTRC)]. Lima, Peru, 2009. November 2–7.
147. Schreiber, U. – Hormann, H. – Neubauer, C. – Klughammer, C. 1995. Assessment of photosystem II photochemical quantum yield by chlorophyll fluorescence quenching analysis. *Aust. J. Plant Physiol.* 22, 2, 209–220. DOI: 10.1071/PP9950209
148. Seleiman, M. F. – Al-Suhaibani, N. – Ali, N. – Akmal, M. – Alotaibi, M. – Refay, Y. – Dindaroglu, T. – Abdul-Wajid, H. H. – Battaglia, M. L. 2021. Drought stress impacts on plants and different approaches to alleviate its adverse effects. *Plants.* 10, 259. doi: 10.3390/plants10020259
149. Selye, H. 1956. The stress of life. New York. NY: McGraw–Hill.
150. Seveda, G. G. – Mahmood, R. 2014. Effect of different planting beds on potato minituber production from micro-tuber in greenhouse conditions. *Int. J. Biosci.* 4, 10, 258–262. DOI: 10.12692/ijb/4.10.258–268.
151. Shanker, A. K. – Bhanu, D. – Maheswari, M. 2020. Epigenetics and transgenerational memory in plants under heat stress. *Plant Physiol. Rep.* 25, 583–593. DOI: 10.1007/s40502-020-00557-x
152. Sirait, B. A. – Charloq, R. 2017. In vitro study of potato (*Solanum tuberosum* L.) tolerant to the drought stress. NRLS Conference Proceedings. *KnE Life Sci.* 188–192.
153. Slack, A. S. 1980. Meristem tip Culture. *Plant Dis.* 64, 1, 15–17.
154. Sós-Hegedűs, A. – Juhász, Z. – Poór, P. – Kondrák, M. – Antal, F. 2014. Soil Drench Treatment with β -Aminobutyric Acid Increases Drought Tolerance of Potato. *PLOS ONE* 9, 12: e114297. doi:10.1371/journal.pone.0114297
155. Spitters, C. J. T. – Schapendonk, A. H. C. M. 1990. Evaluation of breeding strategies for drought tolerance in potato by means of crop growth simulation. *Plant Soil.* 123, 193–203. DOI: 10.1007/BF00011268

156. Stark, J. C. – Love, S. L. – King, B. A. – Marshall, J. M. – Bohl, W. H. – Salaiz, T. 2013. Potato cultivar response to seasonal drought patterns. *Am. J. Potato Res.* 90, 207–216. DOI: 10.1007/s12230-012-9285-9.
157. Steckel, J. R. A. – Gray, D. 1979. Drought tolerance in potatoes. *J. Agric. Sci.* 92, 375–381.
158. Struik, P. C. – Wiersema, S. G.: 1999 Seed potato technology. Wageningen Academic Publishers Wageningen. Hollandia. 382. DOI: 10.3920/978-90-8686-759-2
159. Tanabe, D. – Ichiura, S. – Nakatsubo, A. – Kobayashi, T. – Katahira, M.: 2019. Yield prediction of potato by unmanned aerial vehicle. [In Proceedings of the 2019 International Conference on Trends in Agricultural Engineering]. Prága, Cseh Köztársaság, 2019. Szeptember 17-20, 540–546.
160. Tekalign, T. – Hammes, P. S. 2005. Growth and productivity of potato as influenced by cultivar and reproductive growth: I. Stomatal conductance, rate of transpiration, net photosynthesis, and dry matter production and allocation. *Sci. Hortic.* 105, 13–27; ISSN 0304-4238. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2005.01.029>.
161. Thiele, G. – Theisen, K. – Bonierbale, M. – Walker, T. 2010. Targeting the poor and hungry with potato science. *Potato J.* 37, 75–86.
162. Tolessa, E. S. 2018. Importance, Nutrient Content and Factors Affecting Nutrient Content of Potato. *Am. J. Food Nutr. Health.* 3, 37–41.
163. Trip, P. – Krotkov, G. – Nelson, C. D. 1964. Metabolism of mannitol in higher plants. *Am. J. Bot.* 51, 828–835.
164. Triques, K.–Rival, A.–Beule, T.–Puard, M.–Roy, J.–Nato, A. 1997. Photosynthetic ability of *in vitro* grown coconut (*Cocos nucifera* L.) plantlets derived fromzygotic embryos. *Plant Sci.* 127, 39–51.
165. van Loon, C. D. 1981. The effect of water stress on potato growth, development, and yield. *Am. Pot. J.* 58, 51–69. <https://doi.org/10.1007/BF02855380>.
166. Veeken, A. J. H. – Lommen, W. J. M. 2009. How planting density affects number and yield of potato minitubers in a commercial glasshouse production system. *Pot. Res.* 52, 2, 105–119. DOI: 10.1007/s11540-008-9124-z
167. Verma, A. – Deepti, S. 2016. Abiotic stress and crop improvement: Current scenario. *APAR* 4, 00149. DOI: 10.15406/apar.2016.04.00149
168. Verslues, P. E. – Ober, E. S. – Sharp, R. E. 1998. Root growth and oxygen relations at low water potentials. Impact of oxygen availability in polyethylene glycol solutions. *Plant Physiol.* 116, 1403–1412. DOI: 10.1104/pp.116.4.1403

169. Vos, J. – Haverkort, A. J.: 2007 Chapter 16—Water Availability and Potato Crop Performance. [In Vreugdenhil, D., Bradshaw, J., Gebhardt, C., Govers, F., Mackerron, D. K. L., Taylor, M. A., Ross, H. A. (szerk.) *Potato Biology and Biotechnology: Advances and Perspectives*]. Elsevier Science B.V.: Hollandia, Amszterdam, 333–351, ISBN 9780444510181. <https://doi.org/10.1016/B978-044451018-1/50058-0>.
170. Vreugdenhil, D. – Boogaard, Y. – Visser, R. G. F. – de Bruijn, S. M. 1998. Comparison of tuber and shoot formation from in vitro cultured potato explants. *Plant Cell Tissue Organ Cult.* 53, 197–204.
171. Wang, X. – Liu, F. – Jiang, D. 2017. Priming: A promising strategy for crop production in response to future climate. *J. Integr. Agric.* 16, 2709–2716. DOI: 10.1016/S2095-3119(17)61786-6.
172. Wurr, D. C. E. – Fellows, J. R. – Lynn, J. R. – Allen, E. J. 1993. The impact of some agronomic factors on the variability of potato tuber size distribution. *Pot. Res.* 36. 3: 237–245.
173. Xu, W. – Cui, K. – Aihui Xu, A. – Nie, L. – Huang, J. – Peng, S. 2015. Drought stress condition increases root to shoot ratio via alteration of carbohydrate partitioning and enzymatic activity in rice seedlings. *Acta Physiol. Plant.* 37, 9.
174. Zaki, H. E. M. – Radwan, K. S. A. 2022. Response of potato (*Solanum tuberosum* L.) cultivars to drought stress under in vitro and field conditions. *Chem. Biol. Technol. Agric.* 9, 19. <https://doi.org/10.1186/s40538-021-00266-z>.
175. Zelalem, A. – Tekalign, T. – Nigussie, D. 2009. Response of potato (*Solanum tuberosum* L.) to different rates of nitrogen and phosphorus fertilization on vertisols at Debre Berhan, in the central highlands of Ethiopia. *Afr. J. Plant Sci.* 3, 16–24; ISSN 1996–0824.
176. Zgallai, H. – Steppe, K. – Lemeur, R. 2005. Photosynthetic, physiological and biochemical responses of tomato plants to polyethylene glycol– induced water deficit. *J. Integr. Plant Biol.* 47, 1470–1478. DOI: 10.1111/j.1744-7909.2005.00193.x
177. Zhang, H. – Xu, F. – Wu, Y. – Hu, H.-h. – Dai, X.-f. 2017. Progress of potato staple food research and industry development in China. *J. Integr. Agric.* 16, 2924–2932.
178. Zsombik L.: 2012. DE AGTC KIT Nyíregyházi Kutató Intézet rövid története, küldetése. [In: Romhány L. (szerk.) *DE AGTC Nyíregyházi Kutató Intézet Jubileumi Kiadványa 85 éve a nyírségi növénynevelés és növénytermesztés szolgálatában 1927-2012.*] Universitas Kommunikáció Kft. Nyíregyháza. 7-14. ISBN: 9786155183188



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., Magyaró 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., Magyaró 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. Magyaró 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 oszmotikus 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 citokininek hatása őszi búza in vitro hajtástenyésztéseinek 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 hajtástenyésztéseinek 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 hajtástenyészteteken.
In: XXII. Növénynemesítési Tudományos Nap : Összefoglalók. Szerk.: Veisz Ottó, Polgár Zsolt, Magyar Tudományos Akadémia, Budapest, 85, 2016. ISBN: 9789633960851

Idegén 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 tudománymetriai ellenőrzését a tudományos adatbázisok és a Journal Citation Reports Impact Factor lista alapján elvégezte.

Debrecen, 2024.06.25.



KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Szeretném kifejezni mély hálámat témavezetőmnek, Dr. Zsombik László tudományos tanácsadónak, a Debreceni Egyetem Agrár Kutatóintézetek és Tangazdaság Nyíregyházi Kutatóintézet igazgatójának, aki az elmúlt évek során nemcsak szakmai tudásával és iránymutatásával segítette munkámat, hanem emberi támogatásával is folyamatosan mellettem állt. Értékes építő jellegű kritikáival és tanácsaival lehetővé tette számomra, hogy folyamatosan fejlődjek, és hogy sikeresen végezhessem el ezt a kutatást. Nagyon hálás vagyok azért, hogy ilyen figyelmes és alapos vezetés mellett dolgozhattam.

Szeretném kifejezni hálámat és köszönetemet Magyarné Dr. Tábori Katalin és Mendlerné Dr. Drienyovszki Nóra tudományos főmunkatársaknak, a Debreceni Egyetem Agrár Kutatóintézetek és Tangazdaság Nyíregyházi Kutatóintézetének dolgozóinak, akik szakmai tudásukkal, segítőkészségükkel és folyamatos támogatásukkal nélkülözhetetlen szerepet játszottak munkám sikerében. Az ő útmutatásaik, tanácsaik és konstruktív észrevételeik nélkülözhetetlenek voltak a kutatásom előrehaladásában. Hálás vagyok mindazért, hogy mindig számíthattam rájuk, és hogy munkám során mindig számíthattam az ő értékes segítségükre.

Szeretném kifejezni hálámat Dr. Dobránszki Judit tudományos tanácsadónak, a Debreceni Egyetem Mezőgazdaság-, Élelmiszertudományi és Környezetgazdálkodási Kar Agrár Genomikai és Biotechnológiai Központ vezetőjének, aki hasznos tanácsaival nagyban hozzájárult munkám fejlődéséhez.

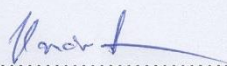
Köszönöm családomnak, akik mindenben támogattak, megértésükkel és szeretetükkel végigkísérték utamat. Az ő folyamatos jelenlétük és biztatásuk nélkül nem tudtam volna végigmenni ezen az úton. Hálás vagyok, hogy mindig mellettem álltak, bátorítottak és erőt adtak a nehezebb pillanatokban.

NYILATKOZATOK

NYILATKOZAT

Ezen értekezést a Debreceni Egyetem Kerpely Kálmán Doktori Iskola keretében készítettem, a Debreceni Egyetem doktori (Ph.D.) fokozatának elnyerése céljából.

Debrecen, 2025. 08. 29.



.....
a jelölt aláírása

NYILATKOZAT

Tanúsítom, hogy *Hanász Alexandra* doktorjelölt 2018–2022 között a fent megnevezett Doktori Iskola keretében irányításommal/irányításunkkal végezte munkáját. Az értekezésben foglalt eredményekhez a jelölt önálló alkotó tevékenységével meghatározóan hozzájárult, az értekezés a jelölt önálló munkája. Az értekezés elfogadását javaslom/javasoljuk.

Debrecen, 2025. 08. 29.



.....
a témavezető(k) aláírása

MELLÉKLETEK

1. melléklet: A PEG 6000 ozmotikum hatása a C2-C11 burgonya nemesítési vonalakon vizsgált paraméterekre (Forrás: HANÁSZ et al., 2022, szerkesztett)

Nemesítési vonal	Paraméter	5% PEG 6000		7,5% PEG 6000		10% PEG 6000	
C2	TA	a		a	▲	a-c	▲
	HH	a-c	■▲	a	■▲	ab	▲
	GYH	f-j	B	c-h	■	e-i	■
	GYSZ	c-f	■▲	c-e	■▲	c	■▲
C3	TA	a-d		a-c	■▲	a-e	■
	HH	h-l	▲	e-g	■	c-f	■▲
	GYH	d-j	B	h-n	■▲	b-e	■▲
	GYSZ	jk	■▲	j	■▲	e-h	■▲
C4	TA	ab		a-c	■▲	d-f	■
	HH	h-l	▲	e-g	■	g-m	■▲
	GYH	f-j	A	g-m	■▲	d-h	■
	GYSZ	c-g	■▲	d-h	■▲	c-g	■▲
C5	TA	a-c		cd	▲	a-e	■
	HH	lm	■	f-g	■	j-o	■▲
	GYH	c-f	■▲	cd	▲	ab	▲
	GYSZ	g-k	■▲	f-j	■▲	e-h	■▲
C6	TA	e	■▲	b-d	■▲	a-e	■
	HH	i-l		c-e	▲	d-g	■▲
	GYH	h-j	B	c-h		d-h	■
	GYSZ	k	■▲	j	■▲	hi	■▲
C8	TA	a		a		a	▲
	HH	b-d	■▲	g	■▲	e-l	■▲
	GYH	a-c	■▲	f-l	■	b-d	■▲
	GYSZ	d-h	■▲	ab	■	cd	■▲
C9	TA	f	■▲	d	■▲	gh	■▲
	HH	a	■▲	a	■▲	a	■▲
	GYH	ab	■▲	e-j		b-e	■
	GYSZ	c-e	■▲	d-i	■▲	e-h	■▲
C10	TA	a-c		a		a-c	▲
	HH	f-j	▲	e-g	■	k-o	■
	GYH	ab	■▲	bc	■▲	c-h	■
	GYSZ	h-k	■▲	f-j	■▲	e-h	■▲
C11	TA	a		a		a	▲
	HH	f-i	▲	d-f	■	d-h	■▲
	GYH	ij	■	no	■▲	e-i	■
	GYSZ	c-f	■▲	d-i	■▲	c-e	■▲

Megjegyzés: TA: túlélési arány, HH: hajtáshossz, GYH: gyökérhossz, GYSZ: gyökérszám; A szimbólumok a C103 (■) és C107 (▲) referencia vonalakat, a piros/fekete színek a pozitív/negatív szignifikáns eltérést jelölik LSD- teszt szerint; a kisbetűk a Tukey-B teszt szerinti jelentősen eltérő átlagokat jelölik a nemesítési vonalak között.

2. melléklet: A PEG 6000 ozmotikum hatása a C12-C30 burgonya nemesítési vonalakon vizsgált paraméterekre (Forrás: HANÁSZ et al., 2022, szerkesztett)

Nemesítési vonal	Paraméter	5% PEG 6000		7,5% PEG 6000		10% PEG 6000	
C12	TA	a		a		a	
	HH	d-f	■▲	bc	■▲	ab	▲
	GYH	ij	■	c-f		c-f	■▲
	GYSZ	c-g	■▲	cd	■▲	c-e	■▲
C14	TA	a-d		a		a	
	HH	h-l	▲	c-e	▲	f-m	■▲
	GYH	ab	■▲	a	■▲	c-g	■
	GYSZ	e-j	■▲	e-i	■▲	e-h	■▲
C17	TA	e	■▲	b-d	■▲	h	■▲
	HH	j-m	■	fg	■	no	■
	GYH	f	■	o	■▲	k	■▲
	GYSZ	h-k	■▲	g-j	■▲	i	■▲
C19	TA	de	■▲	ab	■▲	a-d	
	HH	f-h	■▲	b-d	▲	j-o	■▲
	GYH	c-h	■▲	g-l	■▲	f-k	■
	GYSZ	b-d	■▲	d-f	■▲	c-f	■▲
C20	TA	a		a		ab	▲
	HH	m	■	e-g	■	d-j	■▲
	GYH	c-h	■▲	j-o	■▲	e-j	■
	GYSZ	e-j	■▲	f-j	■▲	e-h	■▲
C21	TA	a-d	■	a		a	▲
	HH	f-i	▲	e-g	■	f-m	■▲
	GYH	d-j		d-i		d-h	■
	GYSZ	e-j	■▲	d-g	■▲	d-g	■▲
C22	TA	c-e	■▲	a		ab	▲
	HH	ab	■▲	b-d	▲	c-e	■▲
	GYH	a-d	■▲	bc	■▲	a	■▲
	GYSZ	d-i	■▲	d-i	■▲	e-h	■▲
C26	TA	a-c		a		a-d	
	HH	e-g	■▲	bc	▲	i-n	■▲
	GYH	g-j	■	i-n	■▲	jk	■▲
	GYSZ	h-k	■▲	e-i	■▲	g-i	■▲
C28	TA	a-d		ab	■	c-f	B
	HH	f-j	▲	fg	■	l-o	■
	GYH	e-j		l-o	■▲	g-k	■
	GYSZ	g-k	■▲	j	■▲	hi	■▲
C30	TA	a		a		a	▲
	HH	a-c	■▲	a	■▲	d-i	■▲
	GYH	a	■▲	ab	■▲	ab	▲
	GYSZ	i-k	■▲	h-j	■▲	c-e	■▲

Megjegyzés: TA: túlélési arány, HH: hajtáshossz, GYH: gyökérhossz, GYSZ: gyökérszám; A szimbólumok a C103 (■) és C107 (▲) referencia vonalakat, a piros/fekete színek a pozitív/negatív szignifikáns eltérést jelölik LSD- teszt szerint; a kisbetűk a Tukey-B teszt szerinti jelentősen eltérő átlagokat jelölik a nemesítési vonalak között.

3. melléklet: A PEG 6000 ozmotikum hatása a C32-C63 burgonya nemesítési vonalakon vizsgált paraméterekre (Forrás: HANÁSZ et al., 2022, szerkesztett)

Nemesítési vonal	Paraméter	5% PEG 6000		7,5% PEG 6000		10% PEG 6000	
C32	TA	ab		a		a-d	
	HH	f-h	■▲	ab	■▲	c-e	■▲
	GYH	ij	■	g-m	■▲	f-k	■
	GYSZ	c-h	■▲	bc	■▲	cd	■▲
C35	TA	a-d		a-c	■▲	a-e	
	HH	c-e	■▲	e-g	■	c	▲
	GYH	ab	■▲	e-k	■	a-c	▲
	GYSZ	c-h	■▲	f-j	■▲	c-e	■▲
C37	TA	de	■▲	d	■▲	b-f	■
	HH	g-j	▲	e-g	■	h-n	■▲
	GYH	e-j		m-o	■▲	d-h	■
	GYSZ	b-d	■▲	d-f	■▲	cd	■▲
C41	TA	a-c		ab	■▲	fg	■▲
	HH	a-c	■▲	bc	▲	d-j	■▲
	GYH	f-j		m-o	■▲	i-k	■▲
	GYSZ	f-j	■▲	f-j	■▲	hi	■▲
C42	TA	a-c		a		ef	■▲
	HH	f-h	■▲	c-e	▲	e-m	■▲
	GYH	d-i		c-h	▲	h-k	■▲
	GYSZ	d-i	■▲	c-e	■▲	cd	■▲
C57	TA	ab		ab	■	c-f	■
	HH	f-h	■▲	c-e	▲	o	■
	GYH	d-f		f-l	■	k	■▲
	GYSZ	bc	■▲	c	■▲	c-g	■▲
C58	TA	b-e	■▲	ab	■	a-d	
	HH	g-k	▲	e-f	■	d-k	■▲
	GYH	d-j		c-e	▲	ab	▲
	GYSZ	f-k	■▲	d-g	■▲	c-e	■▲
C63	TA	ab		cd	■▲	a-e	■
	HH	d-f	■▲	fg	■	d-k	■▲
	GYH	b-e	■▲	k-o	■▲	c-h	■
	GYSZ	g-k	■▲	ij	■▲	f-i	■▲

Megjegyzés: TA: túlélési arány, HH: hajtáshossz, GYH: gyökérhossz, GYSZ: gyökérszám; A szimbólumok a C103 (■) és C107 (▲) referencia vonalakat, a piros/fekete színek a pozitív/negatív szignifikáns eltérést jelölik LSD- teszt szerint; a kisbetűk a Tukey-B teszt szerinti jelentősen eltérő átlagokat jelölik a nemesítési vonalak között.

4. melléklet: A PEG 600 ozmotikum hatása a C2-C11 burgonya nemesítési vonalakon vizsgált paraméterekre (Forrás: HANÁSZ et al., 2022, szerkesztett)

Nemesítési vonal	Paraméter	2,5% PEG 600		5,0% PEG 600		7,5% PEG 600	
C2	TA	a	▲	a-e	■	b-f	■▲
	HH	c-g	■	a-c	▲	c-g	■▲
	GYH	h-j	■▲	e-j	■▲	de	■▲
	GYSZ	a	■▲	a	■▲	ab	■
C3	TA	a-c		b-e		ef	■▲
	HH	c-g	■	b-f	■	c-h	■▲
	GYH	h-k	■▲	d-i	■▲	c-e	■▲
	GYSZ	a	■▲	a-c	■▲	ab	
C4	TA	ab	▲	e	■▲	-	-
	HH	j	■▲	g-l	■▲	c-h	■▲
	GYH	g-i	■▲	e-k	■▲	-	-
	GYSZ	b-e	■	c-f	■▲	-	-
C5	TA	ab	▲	b-e	■	b-e	
	HH	c-f	■▲	e-i	■▲	c-h	■▲
	GYH	bc	▲	a	▲	a-d	■
	GYSZ	c-g	■	a-e	■	ab	■
C6	TA	a-c		a-e	■	c-f	■▲
	HH	ab	■▲	a-d		c-f	■
	GYH	c-e		b-g	■▲	c-e	■▲
	GYSZ	gh	■▲	d-f	■▲	ab	■▲
C8	TA	a	▲	a-c		b-f	■▲
	HH	a-c		g-l	■▲	gh	■▲
	GYH	f-h	■▲	f-k	■▲	de	■▲
	GYSZ	d-h	■▲	d-f	■▲	ab	■▲
C9	TA	d	■▲	f	■▲	f	■▲
	HH	d-h	■▲	e-j	■▲	bc	■
	GYH	i-l	■▲	h-k	■▲	-	-
	GYSZ	b-d	■▲	-	-	-	-
C10	TA	a-c		e-f	■▲	ef	■▲
	HH	h-j	■▲	f-k	■▲	d-h	■▲
	GYH	fg	■	c-h	■▲	de	■▲
	GYSZ	c-h	■	d-f	■	ab	■▲
C11	TA	a	▲	c-e	■▲	b-f	■▲
	HH	c-f		f-l	■▲	c-h	■▲
	GYH	b-d	▲	g-k	■▲	c-e	■▲
	GYSZ	ab		d-f	■▲	ab	■▲

Megjegyzés: TA: túlélési arány, HH: hajtáshossz, GYH: gyökérhossz, GYSZ: gyökérszám; A szimbólumok a C103 (■) és C107 (▲) referencia vonalakat, a piros/fekete színek a pozitív/negatív szignifikáns eltérést jelölik LSD- teszt szerint; a kisbetűk a Tukey-B teszt szerinti jelentősen eltérő átlagokat jelölik a nemesítési vonalak között.

5. melléklet: A PEG 600 ozmotikum hatása a C12-C30 burgonya nemesítési vonalakon vizsgált paraméterekre (Forrás: HANÁSZ et al., 2022, szerkesztett)

Nemesítési vonal	Paraméter	2,5% PEG 600		5,0% PEG 600		7,5% PEG 600	
C12	TA	a	▲	b-e	■	b-f	■
	HH	k	■▲	e-h	■	c-f	■▲
	GYH	h-l	■▲	b	■	b-e	■▲
	GYSZ	h	■▲	d-f	■▲	ab	■▲
C14	TA	a-c		c-e	■▲	b-f	■
	HH	g-j	■▲	e-i	■▲	c-f	■▲
	GYH	b-e	■▲	g-k	■▲	de	■▲
	GYSZ	b-e	■	c-f	■	ab	■▲
C17	TA	ab	▲	d-f	■▲	ef	■▲
	HH	f-j	■▲	e-i	■▲	c-e	■
	GYH	g-j	■▲	f-k	■▲	c-e	■▲
	GYSZ	a-c		b-f			-
C19	TA	a-c	■	ab	▲	b-f	■▲
	HH	ab	■	a	▲	c-h	■▲
	GYH	ef	■	b-d	■	de	■▲
	GYSZ	c-g	■	d-f	■	ab	■▲
C20	TA	ab	▲	a		a	■▲
	HH	h-j	■▲	f-l	■▲	c-h	■▲
	GYH	b	▲	b-g	■▲	c-e	■▲
	GYSZ	h	■▲	d-f	■▲	ab	■▲
C21	TA	a-c		a-d		b-f	■
	HH	b-e	■	h-l	■▲	c-f	■▲
	GYH	d-f	■	f-k	■▲	c-e	■▲
	GYSZ	d-h	■▲	d-f	■▲	ab	■▲
C22	TA	ab	▲	b-e	■	c-f	■▲
	HH	e-i	■▲	j-n	■▲	c-h	■▲
	GYH	h-j	■▲	h-k	■▲	c-e	■▲
	GYSZ	d-h	■▲	d-f	■▲	ab	■▲
C26	TA	b-d	■	d-f	■▲	d-f	■▲
	HH	ij	■▲	k-m	■▲	c-h	■▲
	GYH	l	■▲	k	■▲	e	■▲
	GYSZ	c-g	■	f	■▲	ab	■▲
C28	TA	cd	■	f	■▲	c-f	■▲
	HH	e-h	■▲	i-m	■▲	c-h	■▲
	GYH	h-j	■▲	i-k	■▲	de	■▲
	GYSZ	c-g	■	e-f	■▲	ab	■▲
C30	TA	a	▲	a-c	■	c-f	■▲
	HH	h-j	■▲	lm	■▲	h	■▲
	GYH	i-l	■▲	jk	■▲	e	■▲
	GYSZ	a-d		f	■▲	ab	■▲

Megjegyzés: TA: túlélési arány, HH: hajtáshossz, GYH: gyökérhossz, GYSZ: gyökérszám; A szimbólumok a C103 (■) és C107 (▲) referencia vonalakat, a piros/fekete színek a pozitív/negatív szignifikáns eltérést jelölik LSD- teszt szerint; a kisbetűk a Tukey-B teszt szerinti jelentősen eltérő átlagokat jelölik a nemesítési vonalak között.

6. melléklet: A PEG 600 ozmotikum hatása a C32-C63 burgonya nemesítési vonalakon vizsgált paraméterekre (Forrás: HANÁSZ et al., 2022, szerkesztett)

Nemesítési vonal	Paraméter	2,5% PEG 600		5,0% PEG 600		7,5% PEG 600	
C32	TA	d	■▲	f	■▲	ef	■▲
	HH	k	■▲	m	■▲	f-h	■▲
	GYH	m	■▲	k	■▲	e	■▲
	GYSZ	f-h	■▲	f	■▲	ab	■
C35	TA	a	▲	a-e	■▲	ef	■▲
	HH	e-i	■▲	h-m	■▲	c-h	■▲
	GYH	f-h	■	e-j	■▲	de	■▲
	GYSZ	c-g	■	d-f	■▲	b	■▲
C37	TA	ab	▲	a-d		b-f	■
	HH	e-i	■▲	b-e	■	c-h	■▲
	GYH	g-i	■▲	b-f	■	de	■▲
	GYSZ	a-d	■▲	d-f	■	ab	■▲
C41	TA	a-c	■	f	■▲	c-f	■▲
	HH	g-j	■▲	a-c	▲	b	■
	GYH	kl	■▲	c-h	■▲	c-e	■▲
	GYSZ	d-h	■	d-f	■	ab	■▲
C42	TA	a	▲	a-c		d-f	■▲
	HH	a	■▲	a-c	▲	c-e	■
	GYH	f-h	■	c-h	■▲	c-e	■▲
	GYSZ	ab	▲	ab	■▲	ab	■▲
C57	TA	a	▲	a	▲	ef	■▲
	HH	e-i	■▲	a-d	▲	e-h	■▲
	GYH	b	■▲	b-e	■	de	■▲
	GYSZ	e-h	■▲	a-d	▲	ab	■▲
C58	TA	ab	▲	a	▲	b-d	■▲
	HH	a-d		a-d	▲	b-d	■
	GYH	d-f	■	bc	■	a-e	■
	GYSZ	b-f	■	a-e	▲	ab	■▲
C63	TA	a-c		a-c		b-f	■▲
	HH	d-h	■▲	d-h	■	c-h	■▲
	GYH	a	■▲	a	■▲	a	▲
	GYSZ	b-d		c-f	■	ab	■▲

Megjegyzés: TA: túlélési arány, HH: hajtáshossz, GYH: gyökérhossz, GYSZ: gyökérszám; A szimbólumok a C103 (■) és C107 (▲) referencia vonalakat, a piros/fekete színek a pozitív/negatív szignifikáns eltérést jelölik LSD- teszt szerint; a kisbetűk a Tukey-B teszt szerinti jelentősen eltérő átlagokat jelölik a nemesítési vonalak között.

7. melléklet: A D-mannit ozmotikum hatása a C2-C11 burgonya nemesítési vonalakon vizsgált paraméterekre (Forrás: HANÁSZ et al., 2022, szerkesztett)

Nemesítési vonal	Paraméter	0,1 M D-mannit		0,2 M D-mannit		0,3 M D-mannit	
C2	TA	a	▲	a	▲	a	■▲
	HH	h-l		g-j	■	d-g	▲
	GYH	b-f	■▲	e-h	■▲	j-m	▲
	GYSZ	d-k	■	g-j		f-j	
C3	TA	a	▲	a	▲	a-f	▲
	HH	e-g	■▲	f-i		e-i	▲
	GYH	e-i	■	e-h	■▲	j-m	▲
	GYSZ	d-k	■	f-j		kl	■▲
C4	TA	a		ab		e-g	
	HH	e-i	▲	h-k	■	k	■
	GYH	i-k	■▲	gh	■▲	o	■▲
	GYSZ	e-k	■	f-j		i-l	■▲
C5	TA	a	▲	ab	▲	a-d	■▲
	HH	g-l		i-k	■▲	c-f	▲
	GYH	e-i	■	c-e	■	a	■
	GYSZ	b	■▲	c-h	▲	bc	■▲
C6	TA	a		c	■▲	e-g	
	HH	i-l	■	h-j	■	e-h	▲
	GYH	k	■▲	gh	■▲	k-h	■▲
	GYSZ	j-l	■▲	ij	■▲	c-g	
C8	TA	a	▲	a	▲	a	■▲
	HH	b	■▲	a-e	■▲	c-f	▲
	GYH	b-e	▲	bc	■	a-c	■
	GYSZ	b-d	▲	cd	■▲	d-h	
C9	TA	a	■	a-c	■	a-f	▲
	HH	f-l	▲	a-e	■▲	bc	■▲
	GYH	f-j	■	cd	■	i	▲
	GYSZ	e-k	■	d-i		g-j	
C10	TA	a	▲	a	▲	a-d	■▲
	HH	j-l	■	jk	■▲	e-i	▲
	GYH	a-d	▲	c-e	■	f-k	▲
	GYSZ	b-i		e-i		g-k	
C11	TA	a	▲	ab		a-d	■▲
	HH	e-g	■▲	g-i	■	f-i	■▲
	GYH	d-i	■	cd	■▲	b-f	■
	GYSZ	h-l	■▲		A	a	■▲

Megjegyzés: TA: túlélési arány, HH: hajtáshossz, GYH: gyökérhossz, GYSZ: gyökérszám; A szimbólumok a C103 (■) és C107 (▲) referencia vonalakat, a piros/fekete színek a pozitív/negatív szignifikáns eltérést jelölik LSD- teszt szerint; a kisbetűk a Tukey-B teszt szerinti jelentősen eltérő átlagokat jelölik a nemesítési vonalak között.

8. melléklet: A D-mannit ozmotikum hatása a C12-C30 burgonya nemesítési vonalakon vizsgált paraméterekre (Forrás: HANÁSZ et al., 2022, szerkesztett)

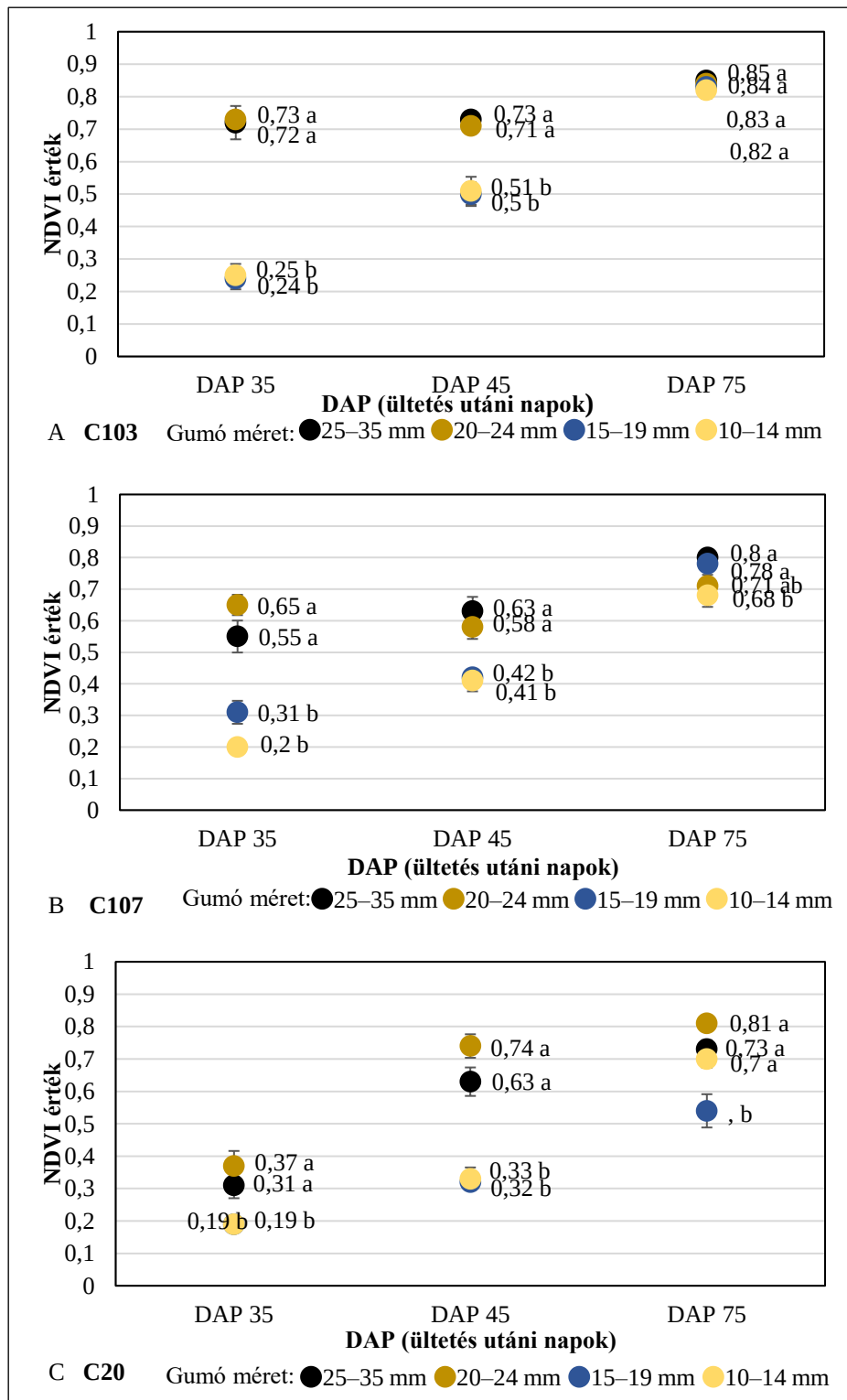
Nemesítési vonal	Paraméter	0,1 M D-mannit		0,2 M D-mannit		0,3 M D-mannit	
C12	TA	a	▲	a	▲	a-f	▲
	HH	a	■▲	ab	■▲	a	■▲
	GYH	c-g	■▲	c-e	■▲	c-h	■▲
	GYSZ	h-l	■▲		B		C
C14	TA	a	▲	ab	▲	a-e	▲
	HH	bc	■▲	ab	■▲	a	■▲
	GYH	c-g	▲	gh	■▲	no	■▲
	GYSZ	b-d	▲		B		C
C17	TA	a	▲	a-c	AB	a-f	▲
	HH	de	■▲	a	■▲	a	■▲
	GYH	c-g	■▲	ab	▲	ab	■
	GYSZ	bc	■▲		A		A
C19	TA	a		ab	A	a-d	■▲
	HH	bc	■▲	e-i		b-d	■▲
	GYH	c-g	■	e-h	■▲	f-l	▲
	GYSZ	b	■▲		B		B
C20	TA	a	▲	a	▲	a	■▲
	HH	g-l		k	■▲	i-k	■
	GYH	b-e	■▲	c-e	■	c-i	■▲
	GYSZ	l	■▲		A		B
C21	TA	a	■	a-c	■	e-g	■
	HH	g-l		i-k	■▲	h-k	■
	GYH	jk	■▲	gh	■▲	l-o	■▲
	GYSZ	kl	■▲		B		B
C22	TA	a	▲	a-c	■	e-g	■
	HH	d-f	■▲	g-i		e-h	▲
	GYH	jk	■▲	h	■▲	j-m	▲
	GYSZ	b-h			A		B
C26	TA	a	▲	a		a-f	▲
	HH	d-f	■▲	a-c	■▲	b-e	▲
	GYH	d-h	■	d-f	■▲	m-o	■▲
	GYSZ	b-h			A		B
C28	TA	a	▲	a	▲	ab	■▲
	HH	e-h	▲	d-h	▲	b-d	■▲
	GYH	e-i	■	f-h	■▲	f-h	▲
	GYSZ	c-j			A		B
C30	TA	a	▲	a	▲	a	■▲
	HH	e-g	■▲	g-j	■	g-j	■▲
	GYH	h-k	■▲	c-e	■▲	i-m	▲
	GYSZ	b-e	▲		A		B

Megjegyzés: TA: túlélési arány, HH: hajtáshossz, GYH: gyökérhossz, GYSZ: gyökérszám; A szimbólumok a C103 (■) és C107 (▲) referencia vonalakat, a piros/fekete színek a pozitív/negatív szignifikáns eltérést jelölik LSD- teszt szerint; a kisbetűk a Tukey-B teszt szerinti jelentősen eltérő átlagokat jelölik a nemesítési vonalak között.

9. melléklet: A D-mannit ozmotikum hatása a C32-C63 burgonya nemesítési vonalakon vizsgált paraméterekre (Forrás: HANÁSZ et al., 2022, szerkesztett)

Nemesítési vonal	Paraméter	0,1 M D-mannit		0,2 M D-mannit		0,3 M D-mannit	
C32	TA	a	▲	a	▲	a-d	■▲
	HH	de	■▲	a-d	■▲	bc	■▲
	GYH	d-h	■	c-e	■	b-g	■
	GYSZ	a	■▲		A		B
C35	TA	a	▲	a-c		b-f	▲
	HH	f-l	▲	h-k	■	h-k	■
	GYH	g-j	■	gh	■▲	j-m	■▲
	GYSZ	g-l	■		A		B
C37	TA	a	▲	ab		a-c	■▲
	HH	i-l	■	g-j	■	b	■▲
	GYH	b-f	■▲	c-e	■▲	f-k	▲
	GYSZ	e-k	■		B		B
C41	TA	a	▲	a-c	■	fg	■
	HH	e-j	▲	b-f	▲	b-f	▲
	GYH	ab	▲	d-h	■▲	h-m	▲
	GYSZ	j-l	■▲		B		C
C42	TA	a	▲	ab		d-g	▲
	HH	kl	■	i-k	■	i-k	■▲
	GYH	e-i	■	c-e	■	f-k	▲
	GYSZ	j-l	■▲		A		B
C57	TA	a	▲	a		a-d	■▲
	HH	l	■	f-i		f-i	
	GYH	a-d	▲	bc	■	a-e	■
	GYSZ	g-l	■		A		A
C58	TA	a	■	bc	■	c-f	▲
	HH	cd	■▲	a-e	■▲	a-e	▲
	GYH	d-i	■	cd	■	e-j	■▲
	GYSZ	b-e	▲		A		B
C63	TA	a	▲	a	▲	a	■▲
	HH	bc	■▲	c-g	▲	c-g	C
	GYH	a	■▲	ab	▲	d-j	■▲
	GYSZ	f-l	■		B		A

Megjegyzés: TA: túlélési arány, HH: hajtáshossz, GYH: gyökérhossz, GYSZ: gyökérszám; A szimbólumok a C103 (■) és C107 (▲) referencia vonalakat, a piros/fekete színek a pozitív/negatív szignifikáns eltérést jelölik LSD- teszt szerint; a kisbetűk a Tukey-B teszt szerinti jelentősen eltérő átlagokat jelölik a nemesítési vonalak között.



10. melléklet: A burgonya nemesítési vonalak (C103 (A); C107 (B) és C20 (C)) különböző méretű gumóiból fejlődött növények NDVI értékei (átlag % $\pm$ sztenderd hiba) a kontroll parcellákon (Forrás: HANÁSZ et al., 2024, szerkesztett)

Megjegyzés: A különböző kisbetűk a szignifikáns különbségeket jelzik a különböző gumó méreteknél adott DAP-on belül (Tukey-féle poszthoc teszt, ahol $p < 0,05$)

11. melléklet: Az előző évi (2021) kezelések hatása a kontroll és szárazságstressznek kitett parcellákon fejlődött burgonya nemesítési vonalak betakarított gumóinak méretbeli eloszlására gumószám (GSZ) alapján (Forrás: saját, Nyíregyháza, 2022)

Nemesítési vonal	Betakarított gumó méret (mm)	Kontroll (W1)			W2		
		PW1	PW2	PW3	PW1	PW2	PW3
C103	>45	3,74	3,11	3,48	1,74	1,11	1,85
	36–45	3,96	2,76	4,08	3,37	2,85	3,61
	25–35	2,77	3,3	3,41	3,4	4,04	3,27
	20–24	0,75	1,44	0,76	1,79	1,57	1,82
	15–19	0,25	0,31	0,49	0,84	0,68	0,93
	10–14	0,22	0,26	0,46	0,72	0,55	0,69
	Σ	11,69	11,18	12,68	11,86	10,8	12,17
C107	>45	1,98	1,42	2,96	0,61	0,6	0,53
	36–45	5,54	6,9	5,65	4,74	4,83	3,18
	25–35	4,27	5,15	5,07	5,71	6,13	3,78
	20–24	2,4	2,04	2,25	4,24	4,02	3,49
	15–19	1,19	0,92	1,1	2,31	1,79	1,14
	10–14	0,54	0,5	0,64	1,61	1,4	0,79
	Σ	15,92	16,93	17,67	19,22	18,77	12,91
C20	>45	0,53	0,5	0,71	0	0	0,19
	36–45	5,42	4,24	5,57	1,55	1,83	2,19
	25–35	3,37	4,54	6,6	3,07	3,47	4,61
	20–24	4,54	4,19	5,99	4,89	3,73	5,51
	15–19	2,39	1,37	2,47	2,37	2,25	2,81
	10–14	1,62	1,13	1,51	2,1	1,94	1,47
	Σ	17,87	15,97	22,85	13,98	13,22	16,78

Megjegyzés: PW1: (optimális vízellátás, kontroll) 100 %, PW2: az optimális szint 60 %-a, PW3: az optimális szint 20 %-a; Mértékegység: db

12. melléklet: Az előző évi (2021) kezelések hatása a kontroll és szárazságstressznek kitett parcellákon fejlődött burgonya nemesítési vonalak betakarított gumóinak méretbeli eloszlására gumóhozam (GT) alapján (Forrás: saját, Nyíregyháza, 2022)

Nemesítési vonal	Betakarított gumó méret (mm)	Kontroll (W1)			W2		
		PW1	PW2	PW3	PW1	PW2	PW3
C103	>45	479	386	514	202	122	218
	36–45	190	148	211	169	115	169
	25–35	53	71	64	62	77	60
	20–24	5	10	5	13	11	13
	15–19	1	1	1	2	2	3
	10–14	0	0	0	1	1	1
	Σ	728	616	795	449	328	464
C107	>45	186	135	300	52	56	48
	36–45	247	307	244	193	200	131
	25–35	81	98	95	106	118	66
	20–24	20	16	18	33	32	27
	15–19	5	3	4	8	6	4
	10–14	1	1	1	2	2	1
	Σ	540	560	662	394	414	277
C20	>45	52	37	56	0	0	20
	36–45	198	169	224	44	81	84
	25–35	56	78	123	54	78	80
	20–24	41	35	52	40	33	43
	15–19	9	5	9	9	10	10
	10–14	2	2	2	4	3	3
	Σ	358	326	466	151	205	240

Megjegyzés: PW1: (optimális vízellátás, kontroll) 100 %, PW2: az optimális szint 60 %-a, PW3: az optimális szint 20 %-a; Mértékegység: g