

***ORSZÁGOS TUDOMÁNYOS
DIÁKKÖRI KONFERENCIA
DOLGOZAT***

Rácz Tamás

Debrecen

2024

Debreceni Egyetem
Mezőgazdaság-, Élelmiszertudományi és Környezetgazdálkodási
Kar
Növénytudományi Intézet

**KÜLÖNBÖZŐ „SEED PRIMING” TECHNIKÁK ÉS
CSÍRÁZÁS TESZTELÉS (*ALLIUM CEPA* L.)
VÖRÖSHAGYMA FAJTÁKON**

Rácz Tamás
Osztatlan agrármérnök hallgató

Konzulens:
Dr. Kaszás László
Tanársegéd

Debrecen
2024

Tartalomjegyzék

BEVEZETÉS	1
1. TÉMAFELVETÉS, CÉLKITŰZÉS	2
2. SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS.....	3
2.1. <i>A vöröshagyma morfológiája és táplálkozásélettani hatása.....</i>	<i>3</i>
2.2. <i>Környezeti és tápanyag igénye.....</i>	<i>3</i>
2.3. <i>Termesztési módszerek</i>	<i>4</i>
2.4. <i>Növényvédelem:.....</i>	<i>5</i>
2.5. <i>Gazdasági jelentősége.....</i>	<i>5</i>
2.6. <i>Magcsírázás általános fiziológiája és annak befolyásoló tényezői.....</i>	<i>6</i>
2.7. <i>A „seed priming” fogalma és jelentősége a növénytermesztésben</i>	<i>7</i>
2.7.1. <i>„Seed priming” módszerek alkalmazása zöldségfélék esetében.....</i>	<i>9</i>
2.7.2. <i>„Seed priming” kezelések hatása a vöröshagyma fejlődésére és termés hozamára</i>	<i>10</i>
3. ANYAG ÉS MÓDSZER.....	12
4. EREDMÉNYEK ÉS AZOK ÉRTÉKELÉSE.....	15
4.1. <i>A három vöröshagyma fajta értékelése összesítve</i>	<i>15</i>
4.2. <i>‘Vitéz’ fajta további értékelése.....</i>	<i>21</i>
5. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK	32
ÖSSZEFOGLALÁS.....	34
Ábrajegyzék	35
Táblázatjegyzék.....	35
SZAKIRODALMI JEGYZÉK.....	36
Irodalomjegyzék.....	36
MELLÉKLETEK	

BEVEZETÉS

A “*seed priming*” egy olyan technológia, amely a magvak csírázásának javítására irányul azáltal, hogy szabályozott idejű hidratálási és dehidratálási ciklusoknak teszi ki őket vetés előtt. Ezen folyamat során a magvakban a csírázással kapcsolatos metabolikus folyamatok intenzívvé válnak, azonban a tényleges csírázás még nem történik meg. Ezáltal a csírázás folyamatához kedvező feltételek teljesülése után a magok gyorsabban és egyenletesebben csírázhatnak (FAROOQ et al., 2006).

A “*seed priming*” javíthatja a csírázás és palántanevelés hatékonyságát, különösen a lassú, vontatottan csírázó növényfajok esetébe, mint például a petrezselyem, sárgarépa vagy épp a vöröshagyma. Ezen kívül növeli a magvak stressztűrő képességét a csírázás alatt, így jobban ellenállhatnak az olyan környezeti stresszfaktoroknak, mint a szárazság, a sóstressz, a hideg vagy a nehézfém szennyezés (ASHRAF & FOOLAD, 2005). Optimalizálhatja a csírázás és a kezdeti növekedési szakaszt, ami jobb kezdeti fejlődést és ezáltal heterogénebb állományt eredményezhet (PARERA & CANTLIFFE, 1994). Ez a technológia különösen fontos lehet a klímaváltozás által sújtott területeken, ahol a növényeknek fokozott stressztűrésre van szükségük a túléléshez és a termés hozam mellett a termésbiztonság biztosítására (PARERA & CANTLIFFE, 1994).

Számos “*seed priming*” technika létezik. A *hidropriming* során a magokat vízben áztatják meghatározott ideig, majd visszaszáritják eredeti nedvességtartalmukra. Ez egy egyszerű és költséghatékony módszer, amely javítja a magvak csírázási egyenletességét és vitalitását (BASRA et al., 2005). Az *ozmopriming* az ozmotikus oldatok (pl. polietilén-glikol) használatával szabályozza a vízfelvételt, különösen hatékony szárazság és sóstressz esetén (ASHRAF & FOOLAD, 2005). A *halopriming* során sóoldatokat (pl. nátrium-klorid) alkalmaznak, amelyek növelik a növények sótűrő képességét és antioxidáns enzimaktivitását (FAROOQ et al., 2006). A *chemical priming* különböző kémiai oldatok (pl. kálium-nitrát, hidrogén-peroxid) használatával javítja a csírázási arányokat kedvezőtlen körülmények között (PARERA & CANTLIFFE, 1994). A *hormonokkal* történő priming során növekedésszabályozó hormonokat (pl. gibberellin) alkalmaznak, amelyek javítják a magvak csírázását és a palánták növekedési erélyét (BRADFORD, 1986). Végül, a *rhizobaktérium priming* során növekedést serkentő rizobaktériumokkal (PGPR) oltják be a magokat, amelyek javítják a csírázást, a palánták növekedését és a stressztűrő képességet (KLOEPPER et al., 1989).

1. TÉMAFELVETÉS, CÉLKITŰZÉS

A vöröshagyma (*Allium cepa* L.) gazdasági és táplálkozási szempontból is fontos növény. A növény magjainak csírázókéességét és azok kezdeti növekedését olyan tényezők befolyásolják, mint a fény, hőmérséklet, oxigén, víz és a mag állapota (ABU-RAYYAN, 2012). A kutatásban a következő hipotézis kerül vizsgálatra, mely a csírázókéesség és növekedési erély fejlesztésére irányul.

A kísérlet hipotézise, hogy a „*seed priming*” módszerek alkalmazása előnyökkel jár a vöröshagyma vetőmagok csírázásában és kezdeti növekedésében. Várakozásaink szerint a kezelt magok gyorsabb és egyenletesebb csírázást mutatnak majd.

A kutatásban három, a termesztésben elterjedtebb vöröshagyma (*Allium cepa* L.) fajta vetőmagjainak tesztelését tűztük ki célul „*chemical priming*” és „*hormonal priming*” módszerek alkalmazásával. A munka során a magok kezelését különböző kémiai oldatokkal, valamint növekedésszabályozó hormonokkal végeztük el.

Ezen hipotézis vizsgálat segítségével a vöröshagyma vetőmagok gyorsabban és egyenletesebben csírázhatnak. A „*seed priming*” technikák alkalmazása csökkentheti a vegyszerek és műtrágyák használatának mennyiségét, mivel a kezelt magvak kevésbé igénylik a kémiai kezeléseket a kezdeti fejlődés során. Ez környezetbarátabb mezőgazdasági gyakorlatokat eredményezhet, csökkentheti a talaj és a víz szennyezését, és hozzá járulhat a biodiverzitás megőrzéséhez.

2. SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS

2.1. A vöröshagyma morfológiája és táplálkozásélettani hatása

A vöröshagyma (*Allium cepa* L.) az *Amaryllidaceae* (Amarilliszfélék) családjába tartozó, *Monocotyledon* (Egyszikűek osztálya) növény, amely botanikai szempontból kétéves növény. Géncentruma Közép-Ázsia és a mediterrán térségre esik (WHEELER *et al.*, 2016).

A hagyma egy rövid szártagú hajtás. A hajtástengelyt tönknek nevezzük. Ennek csúcsán 1-3 rügy található, amely föld feletti hajtássá fejlődik. A rügyeket fehér, húsos burokpikkelyek veszik körül, amelyek raktározásra módosult levelek. Legkülső része pedig általában bronz, fehér vagy lila színű száraz burokpikkelylevelek találhatók. A hagyma levelei üregesek, ami megkönnyíti a növény számára a víz és tápanyagok szállítását. A hagyma gyökérzete sekélyen fejlődik a talajban, ezért érzékeny a talaj nedvességtartalmának változásaira (CHAUDHRY *et al.*, 2023). A hagyma virágzata ernyőszerű, és apró fehér vagy sárga virágokból áll. A vöröshagyma életciklusa lehetővé teszi a hagyma számára, hogy az első évben felhalmozza a tápanyagokat, a második évben pedig virágokat fejlesztve reprodukálódjon. A hagymának különböző kereskedelemben kapható fajtái léteznek, amelyek eltérő formájúak (pl. ovális, gömb, lapított gömb stb.), színűek (bronz, lila, fehér stb.) és ízűek (SHANMUGASUNDARAM, 2012; PIKE, 1986).

Számos kiváló élettani hatása ismert: bélféregűző, vizelethajtó, gyulladásgátló, vércukor- és koleszterinszint csökkentő, de még az étvágyat is javítja. A vöröshagyma kiváló vitaminforrás, 100 g friss tömegre nézve jelentős a B₁- (0,05 mg), a B₂- (0,03 mg) és a C-vitamin (20 mg) tartalma, és nem elhanyagolható mennyiségű az antioxidáns tartalma is. Az *allilszulfid* (kéntartalmú vegyület) tartalma miatt csípős és baktériumölő hatása van. Különleges aromáját a növényi szövetek sérülésekor felszabaduló, illékony kénvegyületek adják, amelyek a hagyma jellemző ízét és illatát biztosítják, ezekben a folyamatokban az *allináz* enzim vesz részt (TAKÁCSNÉ HÁJOS, 2017).

2.2. Környezeti és tápanyag igénye

A növény a mérsékelt éghajlatot kedveli, az optimális növekedési hőmérséklet 12-24°C között van, de a vöröshagyma jól tűri a hideget is, egészen -6°C-ig képes nagyobb szöveti károsodás nélkül túlélni. A vöröshagyma növekedése és hagymaképződése szempontjából különösen fontos a nappalok hosszúsága. Az úgynevezett északi fajták legalább 14-16 órás,

míg a déliek legfeljebb 12 órás megvilágítást igényelnek a megfelelő hagymatest kialakításához (D'ANGELO, 2019).

A talajminőség szempontjából a növény leginkább a laza, homokos vagy homokosvályog talajokat kedveli, amelyek jó vízelvezető képességgel rendelkeznek. A pangó víz a hagyma gyökérzetének rothadásához vezethet, ezért a talaj vízáteresztő képességének biztosítása elengedhetetlen (CHAUDHRY *et al.*, 2023). A talaj pH-értékének optimális tartománya pH 6-7 között van, ami semleges vagy enyhén savas kémhatást jelent (SHANMUGASUNDARAM, 2012). A tápanyagigény 35-40 t/ha eléréséhez optimális feltételek mellett a következő:

- P: 50–60 kg/ha hatóanyag,
- K: 100–150 kg/ha hatóanyag – ezeket ősszel kell bedolgozni a talajba,
- N: 150–180 kg/ha hatóanyag.

2.3. Termesztési módszerek

Egyéves áruhagyma előállítás. Ez a módszer a magvetés, amely során közvetlenül a szabadföldbe vetik a hagymamagokat. A magvetés időigényesebb folyamat, mivel a hagymának több időre van szüksége a fejlődéshez. Az elmúlt évtizedekben a termőterület mintegy 90%-án ezt a termesztési módszert használják. Ahhoz, hogy az egyéves vegetáció során optimális hozamot és minőséget lehessen elérni, ez a módszer rendkívül precíz technológiát igényel (TAKÁCSNÉ HÁJOS, 2017).

Kétéves áruhagyma előállítás. A másik legelterjedtebb módszer a dughagymás ültetés, amely során az előző évben nevelt apró hagymákat, úgynevezett dughagymákat ültetnek ki tavasszal. A dughagymák előnye, hogy gyorsabban növekednek, és kevesebb kockázatot hordoznak, mint a magvetés. A kétéves termesztésű hagyma jelentősége a magyar gasztronómiában jelentős, mivel nagyobb szárazanyag- és fűszertartalommal rendelkezik. A kisebb zamatú és kisebb szárazanyag-tartalmú vöröshagyma nem alkalmas a magyaros ételek elkészítéséhez. Ennek a termesztési módszernek azonban magasabbak a költségei, ugyanis a dughagymák előállítása és hőkezelése többlet költséget eredményez, valamint az első évben tényleges áruhagyma nem keletkezik, így a termőterülete kisebb (TAKÁCSNÉ HÁJOS, 2017).

Áttelelő termesztés. A technológia célja, hogy pótolja a piaci hiányt a tárolt és az egyéves áruhagyma forgalmazása között. A termesztés kockázata jelentős, így kiemelten fontos a megfelelő, erre a célra nemesített genotípus kiválasztása. A fajta télállósága kulcsfontosságú,

hiszen nemcsak a fagyokat, hanem a hőingadozásokat is jól kell viselnie. Tárolásra kevésbé alkalmas, az ipar szükségéből veszi meg (TAKÁCSNÉ HÁJOS, 2017).

2.4. Növényvédelem:

A vöröshagyma termesztésében a növényvédelem kulcsfontosságú szerepet játszik, mivel a növény rendkívül érzékeny a különböző biotikus és abiotikus stressztényezőkre.

Az egyik leggyakoribb kártevő a hagymalégy (*Delia antiqua*), amelynek lárvái a hagymák szövetébe fúródnak, súlyos károkat okozva, amelyek akár a termés teljes pusztulásához is vezethetnek. (TAKÁCSNÉ HÁJOS, 2017).

A tripszek (*Thrips sp.*) szintén komoly problémát jelentenek, amelyek szívogatásukkal gyengítik a növényt, csökkentik a fotoszintézis hatékonyságát, és a hagyma növekedésének elmaradásához vezetnek (CRAMER *et al.*, 2021).

Kórokozói közül kiemelkedik a peronoszpóra (*Peronospora destructor*), amely a hagyma levelein és magán a hagymatesten is kárt okoz. A fehér rothadás (*Sclerotium cepivorum*) egy másik gyakori gombabetegség, és a hagymatestet fertőzi meg, ami végül a növény elhalásához vezet. Nem utolsó sorban említhetjük a hagymarozsdát (*Puccinia allii*) és botritiszt (*Botrytis cinerea*) (JONES, 1963).

Az integrált növényvédelmi megközelítések, mint például a biológiai védekezés, a rezisztens fajták alkalmazása és a megfelelő agrotechnikai módszerek kombinációja jelentősen hozzájárulhatnak a termés védelméhez (PIKE, 1986).

2.5. Gazdasági jelentősége

A vöröshagyma világszerte az egyik legfontosabb zöldségnövény, amely kulcsszerepet játszik a globális élelmiszerellátásban. Globálisan a legjelentősebb hagymatermelő országok a következők, India (31,69 millió tonna), Kína (24,54 millió tonna), Egyesült Államok (2,92 millió tonna) és Oroszország (1,6 millió tonna) a négy ország 2022-ben 60,75 millió tonna hagymát állított elő (FAOSTAT, 2022). A hagyma termesztése az élelmiszeripar számára is jelentős, mivel a friss fogyasztáson túl konzervipari és élelmiszer-feldolgozó üzemekben is felhasználják (SHARMA *et al.*, 2016). Az elmúlt több mint húsz évben Magyarországon a vöröshagyma termesztésére szánt területek drámaian lecsökkentek, körülbelül negyedükre zsugorodtak. Míg a rendszerváltás idején még 6 ezer hektáron termesztettek vöröshagymát, évente körülbelül 120–170 ezer tonnás mennyiséget előállítva, addig 2022-re már csak 1550 hektáron folyt a termesztés, és a hozam megközelítőleg 50-55 ezer tonnára csökkent

(FAOSTAT 2022). Ez a nagymértékű visszaesés elsősorban a technológiai fejlődés hiányának, valamint az ebből adódó versenyhátránynak tudható be, ami jelentős mértékben csökkentette a hazai termelők számát is. A vöröshagyma termesztés ismételt gazdaságossá tételéhez nélkülözhetetlen volna a korszerű fajták használata, illetve az öntözött területek növelése (TAKÁCSNÉ HÁJOS, 2017).

A vöröshagyma gazdasági értékét növeli, hogy nagy az exportja, és szinte minden országban alapélelmiszernek számít. A növény gazdasági jelentősége nemcsak a mezőgazdasági termelésben, hanem az élelmiszeriparban és a nemzetközi kereskedelemben is meghatározó. Az egyre növekvő globális népesség miatt a hagyma iránti kereslet is folyamatosan emelkedik, így a termelők számára fontos, hogy hatékonyabb és fenntarthatóbb termesztési módszereket fejlesszenek ki (HAMMAD *et al.*, 2023).

2.6. Magcsírázás általános fiziológiája és annak befolyásoló tényezői

A magok csírázása kulcsfontosságú szakasz a növények életciklusában, mivel ez jelzi az átmenetet a nyugalmi állapotból az aktív növekedésbe. Ez a folyamat biokémiai és élettani folyamatok sorozatából áll, amelyek egy új csíranövény fejlődéséhez vezetnek. A csírázás akkor kezdődik, amikor a mag vizet vesz fel, és a gyököcske (elsődleges gyökér) kibújásával fejeződik be. Számos környezeti tényező, például a vízellátás, a hőmérséklet, az oxigénszint és a fény fontos szerepet játszik a csírázás szabályozásában (FINCH-SAVAGE & LEUBNER-METZGER, 2006).

A magok csírázása általában három szakaszra bontható:

1. **Vízfelvétel:** Az első szakasz során a mag vizet vesz fel, amit a mag és a környezet közötti vízpotenciál-különbség hajt. A maghéj fontos szerepet játszik a vízfelvétel szabályozásában, és a magok gyakran először a mikropilén vagy a hilumon keresztül vesznek fel vizet, ahol a maghéj vékonyabb. A vízfelvétel beindítja a mag szöveteinek rehidratálódását, ami szükséges a metabolikus aktivitás megkezdéséhez (WELBAUM *et al.*, 1998).

2. **Enzimaktiváció és anyagcsere:** Miután a mag vizet vett fel a környezetből, enzimek, például amilázok, proteázok és lipázok aktiválódnak, amelyek lebontják a tárolt tápanyagokat egyszerűbb vegyületekké, amelyeket a növekvő embrió felhasznál energiaforrásként. Például a keményítő cukrokká alakul, a fehérjék pedig aminosavakká bomlanak. Ebben a szakaszban fokozódik a légzés is, mivel a mag oxigént használ az energia előállításához a növekedéshez (BAREKE, 2018).

3. **A gyököcske megjelenése:** A csírázás utolsó szakaszában a gyököcske kibújása jelzi a folyamat végét, amely végül a gyökérrendszerre fejlődik. Ez a sejtosztódás és -nyúlás eredménye az embrióban. Amikor a gyököcske áttör a maghéjon, a csíranövény már közvetlenül a talajból képes vizet és tápanyagokat felvenni (NONOGAKI, 2006).

Számos környezeti tényező jelentős hatással van a csírázás sikerességére:

1. **Víz:** A víz a legfontosabb tényező a csírázás során, nem csak hidratálja a magot, hanem aktiválja az anyagcsere-folyamatokat és lehetővé teszi a tápanyagok szállítását a növekvő embrióhoz. A magok eltérő mennyiségű nedvességet igényelnek az optimális csírázáshoz; például a kukoricamagoknak körülbelül 30%-os nedvességtartalomra van szükségük, míg a szójababoknak közel 50%-ra (WELBAUM et al., 1998). A vízhiány késleltetheti vagy megakadályozhatja a csírázást, míg a túlzott víz oxigénhiányos körülményeket okozhat, ami anaerob körülményeket teremt és a magok rothadásához, „befülfedésdéhez” vezethet.

2. **Hőmérséklet:** A hőmérséklet befolyásolja a csírázás során zajló biokémiai reakciók sebességét. A legtöbb mérsékelt égövi faj hűvösebb (10-15°C) hőmérsékletet igényel a csírázáshoz, míg a trópusi fajok melegebb (20-25°C) körülmények között csíráznak jobban. A magoknak van egy hőmérsékleti tartománya, amelyen belül képesek csírázni, az optimális hőmérséklet pedig maximalizálja a csírázási sebességüket (FINCH-SAVAGE & LEUBNER-METZGER, 2006).

3. **Oxigén:** Az oxigén elengedhetetlen a sejtlégzéshez a csírázás során, mivel lehetővé teszi, hogy a mag a tárolt szénhidrátokat energiává alakítsa. Vízborította talajban az oxigénszint túl kicsi lehet a csírázás támogatásához, ami gyenge csíranövényképződést eredményez. Ezzel szemben a jól szellőző talajok elegendő oxigént biztosítanak a csírázáshoz szükséges magas metabolikus igények kielégítésére (WELBAUM et al., 1998).

4. **Fény:** A fény stimulálhatja vagy gátolhatja a csírázást, a növényfajtól függően. Néhány mag, például a saláta (*Lactuca sativa* L.) vagy a kamilla (*Matricaria chamomilla* L.), fény hatására csírázik, míg mások, például sok erdei faj (*Quercus robur* L., *Fagus silvatica* L.) vagy akár a vöröshagyma, a sötétben csíráznak a legjobban. A magokban található fényérzékeny pigmentek, a fitokrómok szerepet játszanak a fény érzékelésében és a csírázás megindításának szabályozásában (NONOGAKI, 2006).

2.7. A „seed priming” fogalma és jelentősége a növénytermesztésben

A „seed priming” technológia egy olyan eljárás, amely során a magokat részlegesen hidratálják, anélkül, hogy megkezdődne a radikula (gyököcske) előtörése, azaz a csírázás utolsó

szakasza. Ennek a módszernek a célja, hogy a magokban olyan élettani folyamatok induljanak el, amelyek elősegítik a gyorsabb és egyenletesebb csírázást. A „seed priming” előnyei közé tartozik a csírázási sebesség növelése, a csíranövények egyenletesebb fejlődése, valamint a stressztűrő képességük javítása (NAWAZ et al., 2013). Ez a technológia különösen hasznos a száraz, stresszes környezetekben, ahol a csírázáshoz szükséges optimális feltételek biztosítása kihívást jelenthet (ZULFIQAR, 2021).

A „seed priming” különböző típusai:

1. **Hidropriming:** Ez a legegyszerűbb módszer, amely során a magokat tiszta vízbe áztatják, majd szárítják, mielőtt elvetik őket. A magok vízzel való hidratálása aktiválja azokat a metabolikus folyamatokat, amelyek elősegítik a csírázást. A hidropriming különösen hatékony száraz területeken, ahol gyors csírázásra van szükség és nincs megfelelően a talaj nedvességgel telítve (NAWAZ et al., 2013).

2. **Ozmotikus priming (ozmopriming):** Ennél a módszernél a magokat nagy ozmotikus nyomású oldatokba (például polietilén-glikol vagy különböző sóoldatok) áztatják. Az oldatok kontrollált hidratációt biztosítanak, amely elősegíti a magban a csírázás előtti metabolikus folyamatok beindulását anélkül, hogy a gyököcske megjelenne. Ez a technika különösen hasznos stressztűrő képesség javítására, például sós vagy száraz talajok esetén (CHEN et al., 2021).

3. **Matrix priming (mátrix priming):** A matrix priming során a magokat egy olyan szilárd, mátrix típusú anyagba áztatják, amely csak minimális mennyiségű vizet tartalmaz. Ez a módszer lassan és kontrolláltan hidratálja a magokat, lehetővé téve a csírázási folyamat beindulását anélkül, hogy túl sok víz kerülne a magba. A matrix priming elősegíti a gyors csíranövény-képződést és növeli a stressztűrést (ZULFIQAR, 2021).

4. **Hormonális priming:** Ennél a módszernél a magokat különböző növényi hormonokkal, például gibberellinnel vagy szalicilsavval kezelik. A hormonok elősegítik a csírázás gyorsítását, valamint javítják a növény stressztűrő képességét. A hormonális priming különösen akkor hasznos, ha a csíranövényeknek kedvezőtlen környezeti feltételekhez, például szárazsághoz vagy sóstresszhez kell alkalmazkodniuk (ZULFIQAR, 2021).

5. **Halo-priming:** A halo-priming során a magokat különböző sóoldatokba, például nátrium-kloridba vagy kalcium-kloridba áztatják. Ez a módszer javítja a magok stressztűrő képességét, különösen sós talajokon való termesztés esetén. A halo-priming elősegíti a csíranövények gyorsabb fejlődését és egyenletesebb növekedését (CHEN et al., 2021).

6. **Biopriming:** A biopriming olyan technika, amely során a magokat különböző mikroorganizmusokkal, például hasznos baktériumokkal vagy gombákkal kezelik. Ezek a

mikroorganizmusok elősegítik a növény tápanyagfelvételét, valamint javítják a csíranövények ellenállóképességét a különböző kórokozókkal és környezeti stresszekkel szemben (ZULFIQAR, 2021).

7. **Kémiai priming:** A kémiai priming során a magokat különböző vegyi anyagokkal, például hidrogén-peroxiddal, különböző nitrátokkal vagy aszkorbinsavval kezelik. Ezek az anyagok serkentik a magok metabolikus aktivitását, elősegítve a gyorsabb csírázást és a csíranövények jobb stressztűrését (NAWAZ et al., 2013).

8. **Plazmapriming:** A plazmapriming egy újabb technológia, amely során a magokat hideg plazma kezelésnek vetik alá. Ez a módszer növeli a magok oxigénfelvételét és javítja a stressztűrő képességet. A plazmapriming különösen ígéretes a modern mezőgazdasági technológiákban, mivel fenntarthatóbb és kevésbé káros a környezetre (ZULFIQAR, 2021). NAWAZ et al. (2013) szerint a "seed priming" technológia jelentősen javítja a magok csírázási képességét, gyorsítja a csírázási folyamatot és növeli a csírázási arányt. A priming módszerek növelik a magok stressztűrő képességét, és egyenletesebb csíranövény-fejlődést eredményeznek, ami különösen fontos a mezőgazdasági termelés során, különösen nehéz környezeti feltételek mellett. ZULFIQAR (2021) szerint a hormonális és kémiai priming segíthet a csíranövények gyorsabb fejlődésében, míg a biopriming javítja a növények ellenállóképességét a betegségekkel szemben, így csökkentve a növényvédő szerek használatának szükségességét. CHEN et al. (2021) szerint a plazmapriming pedig egyre nagyobb szerepet kap a fenntartható mezőgazdaságban, mivel csökkenti a környezeti terhelést.

2.7.1. „Seed priming” módszerek alkalmazása zöldségfélék esetében

A hormonális priming egyik leggyakrabban alkalmazott módszere a gibberellinnel történő magkezelés. A kutatások szerint a gibberellinnel kezelt magok csírázási aránya jelentősen megnőtt több zöldségfajnál. Egy tanulmány például azt mutatta, hogy a paradicsom és chili magok gibberellin kezelése 29,7%-kal növelte a csírázási arányt az egyéb priming technikákkal összehasonlítva. A kezelések hatására nemcsak a csírázási arány nőtt, hanem a gyökérhossz és a hajtás hossz is javult, ami közvetlenül hozzájárult a növények fejlődési sebességéhez és a termés hozam növekedéséhez (BEHERA, 2016). A paprika magoknál végzett kísérletek során a gibberellinnel végzett priming kezelés 91%-os csírázási arányt eredményezett, amely 26%-kal nagyobb volt, mint a kezeletlen magok csírázási aránya. Emellett a gyökér- és hajtásnövekedés is gyorsabb volt, és a növények ellenállóbbak voltak a magas hőmérséklettel szemben (40°C), amely gyakori probléma a paprika termesztésénél. Az ilyen típusú priming

kezelések segítettek a növények növekedésében stresszes körülmények között is, beleértve a szárazságot és a sóstresszt is (OZBAY, 2018). A hidropriming technika, amely vízzel történő áztatásra épül. Ez a módszer jelentős javulást eredményezett például az uborka és sárgarépa magoknál, ahol a csírázási arány 20-30%-kal nőtt a kezeletlen magokhoz képest (THAKUR et al., 2022). A biopriming nemcsak a csírázást gyorsítja, hanem növeli a növények betegségekkel és kórokozókkal szembeni ellenálló képességét is. Egy kísérletben, ahol sárgarépa és kelkáposzta magokat biopriming technikával kezeltek *Bacillus subtilis* baktériummal, a csírázási arány 15%-kal nagyobb volt a kezeletlen magokhoz képest, és a növények gyorsabban fejlődtek (MURUNDE & WAINWRIGHT, 2018). Az ozmopriming technika, amely különböző ozmotikus oldatokban történő áztatásra épül, szintén hatékonyan növeli a csírázási arányt és javítja a csíranövények életképességét. A polietilén-glikollal (PEG) kezelt magvaknál például kimutatták, hogy a csírázási arány 15-20%-kal nagyobb volt, mint a kezeletlen magoknál, és a csíranövények jobban tűrték a szárazságot és sóstresszt. Ez különösen fontos volt olyan területeken, ahol a talajtermékenység és vízellátás nem megfelelő (PANDEY et al., 2017). Az egyes priming módszerek közül a halopriming is széles körben vizsgált, ahol a magokat sóoldatokban (NaCl, CaCl₂) áztatják, ez növeli a magok stressztűrését. A paprika magok halopriming kezelése a kísérletek során 25-30%-os növekedést eredményezett a csírázási arányban. A sóstresszel szemben jobb ellenállást mutató növények erősebb gyökérzettel rendelkeztek, amely javította a tápanyagfelvételt és a növények általános egészségi állapotát (OZBAY, 2018).

Ezek a kutatási eredmények alátámasztják, hogy a „seed priming” technikák alkalmazása más zöldségfajoknál, mint például a paprika, paradicsom, sárgarépa jelentős előnyökkel jár a csírázási sebesség és a stressztűrő képesség növelésében. Az alkalmazott priming módszerek javítják a növények növekedését és fejlődését, ami hosszú távon jobb terméshozamot és minőséget eredményez. Ezek a technikák különösen hasznosak a kedvezőtlen környezeti körülmények között történő termesztés során, és segítenek fenntarthatóbb mezőgazdasági termelést kialakítani.

2.7.2. „Seed priming” kezelések hatása a vöröshagyma fejlődésére és terméshozamára

A vöröshagyma magok lassan és egyenetlenül csíráznak a „seed priming” kezelése pedig jelentős mértékben hozzájárulhatnak a hatékonyabb termeléshez.

Egy kísérlet során a hidroprimingolt vöröshagyma magvak csírázási aránya az áztatás hatására 15-20%-kal javult, és a csírázási idő átlagosan két nappal rövidebb lett, mint a kezeletlen magoknál (TEJESWINI et al., 2019). A magok egyenletesebb csírázása pedig

elősegíti a növényállomány homogénebb fejlődését. A vöröshagyma esetében a PEG-6000 oldattal végzett ozmopriming 12%-kal növelte a normális csíranövények arányát, és a csírázási idő átlagosan 1,5 nappal rövidült a kezeletlen magokhoz képest (JAGOSZ, 2015) . Továbbá kimutatták, hogy az ozmopriming fokozza a magok stressztűrő képességét, különösen szárazság és sóstressz esetén. Egy másik kísérlet, amelyben PEG-8000 oldattal kezelték a magokat, szintén jelentős eredményeket mutatott: a magok csírázási aránya 20%-kal nőtt, és a csíranövények gyorsabban fejlődtek (PANDEY et al., 2017). Egy kísérlet során, ahol a magokat GA3 (50 ppm) oldattal kezelték, a csírázási arány 91%-ra nőtt, szemben a kezeletlen magok 65%-os csírázási arányával (CHOUDHURY et al., 2024). A GA3 kezelés gyorsította a gyökér- és hajtásnövekedést, valamint elősegítette a DNS-szintézis és a sejtosztódás felgyorsítását, ami hozzájárult a növények korai fejlődési ütemének növeléséhez. Ez különösen fontos a vöröshagyma esetében, ahol a magok gyakran lassan és egyenetlenül csíráznak, különösen kedvezőtlen környezeti feltételek mellett. Egy kísérletben a biopriming hatására a magok csírázási aránya 10-15%-kal javult, és a csíranövények gyökérzete erősebb lett, ami hozzájárult a növények jobb tápanyagfelvételéhez és a hozam növekedéséhez (BRAR et al., 2020). A biopriming továbbá növeli a magok stressztűrő képességét, különösen a betegségekkel szembeni ellenállást, ami hosszú távon csökkenti a növényvédő szerek alkalmazásának szükségességét vöröshagymánál.

A molekuláris változások szintjén a priming technikák elősegítik a DNS-replikációt és a sejtmegújulást. Az ozmopriming során a DNS-reparáció és a sejtosztódás felgyorsítása hozzájárul a növények gyorsabb növekedéséhez és a csíranövények erőteljesebb fejlődéséhez. A biopriming és hormonális priming kombinációja pedig tovább növeli a molekuláris szintű változások sebességét, amelyek közvetlen hatással vannak a növények egészségi állapotára és hozamára (BRAR et al., 2020). A vöröshagyma magok priming kezelése nemcsak a csírázási időt rövidíti le, hanem javítja a magok életképességét és a csíranövények stressztűrő képességét is. Ezen technikák alkalmazása hozzájárul a termés növekedéséhez, a jobb hozam eléréséhez, valamint a növények hosszú távú egészségének megőrzéséhez. A priming módszerek kombinálása pedig tovább növeli a hatékonyságot, különösen kedvezőtlen környezeti feltételek mellett, mint amilyenek a szárazság vagy a sóstressz. Összegzésként elmondható, hogy a vöröshagyma magok priming kezelése jelentős előnyökkel jár, és a termesztési folyamatok javításában kulcsfontosságú szerepet játszik.

3. ANYAG ÉS MÓDSZER

A kísérlet a Debreceni Egyetem Növénytudományi Intézet Alkalmazott Növénybiológia Tanszék Biotechnológia laboratóriumában 2024. augusztus 23. és szeptember 5. között került beállításra. A kísérletben alkalmazott 'Vitéz', 'Góliát' és 'Stuttgarti óriás' fajták a ZKI-vetőmag Kft.-től kerültek beszerzésre.

A kísérlet során három seed priming technika került alkalmazásra, technikánkként két különböző koncentrációban, így a kontrollal együtt hét darab kezelést alakítottunk ki ezt az 1. táblázat szemlélteti.

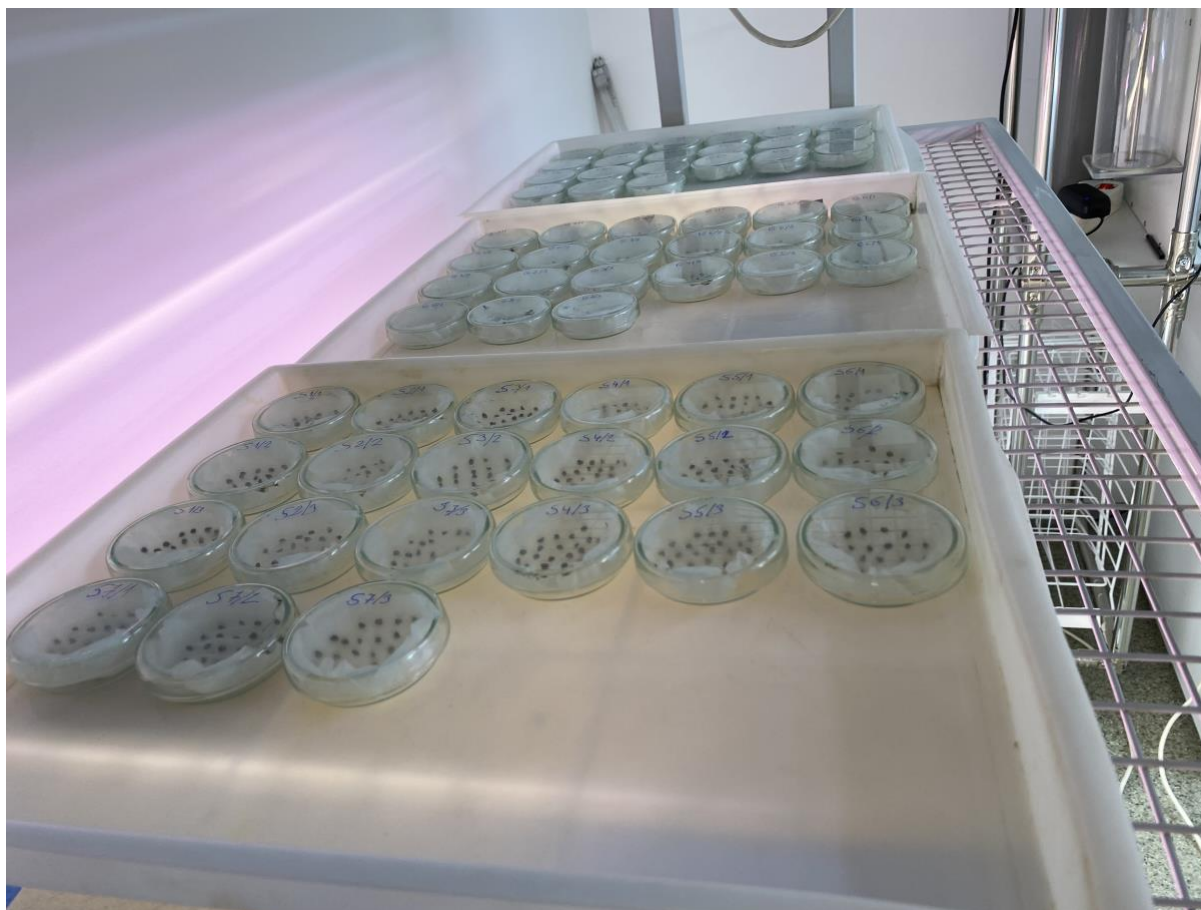
1. táblázat: „Seed priming” kezelésekhez felhasznált oldatok

Sorszám	Oldatok	Oldat telítettsége (%)	Kezelések rövidítése
1.	Kontroll	Kezeletlen	KON
2.	Gibberellin	5	GA3_1
3.	Gibberellin	10	GA3_2
4.	Kálium-nitrát	3	KNO3_1
5.	Kálium-nitrát	5	KNO3_2
6.	Cink-szulfát	0,5	ZnSO4_1
7.	Cink-szulfát	1	ZnSO4_2

Forrás: Saját szerkesztés

A fajták vetőmagvait 50-es darabszámú csoportokra osztottuk és fajtánkként az 1. táblázatban található oldatokban 48 órán keresztül kerültek beáztatásra. A nulladik napon a „primingolt” magokból kezelésként 25 darabot „vetettünk el”, itatóspapírral bélelt 60 mm átmérőjű Petri csészékbe, három ismétlésben (1. kép).

Az így beállított kísérletben a növények csírázását és kezdeti fejlődését naponta vizuálisan monitoroztuk 10 napon keresztül. Ez idő alatt vízpótlás céljából egységesen 4-4 ml vizet kaptak a csíranövények 2 alkalommal. A csírázást követően a 10. napon a növények nedves tömegét lemértük és rögzítettük. A növényekből származó mintákat -20°C lefagyasztottuk majd liofilizáltuk szárazanyagtartalom meghatározás céljából.



1. kép: Vöröshagyma vetőmagok „primingolás” alatt

Forrás: Saját szerkesztés

Az 1. képen látható a beállított 63 minta, ami a 3 fajta, 7 kezelése, 3 ismétlésben. A csírázási százalék a vetőmagok csírázási képességének egyik legfontosabb mutatója, amely azt jelzi, hogy az elvetett magok hány százaléka képes kicsírázni meghatározott idő alatt. Kicsírázott egyednek tekintettük azt, ahol a gyököcske a maghéjon kijutott. Ezek alapján az alábbi egyenlettel számoltuk ki a csírázási%-ot:

$$\text{Csírázási\%} = (\text{Kicsírázott magok száma} / \text{vetett magok száma}) \times 100$$

A statisztikai kiértékelést és azok vizuális ábrázolását az RStudio statisztikai elemző szoftver segítségével végeztük HUZSVAI et al. (2012) nyomán.

Az adatok normál eloszlásának vizsgálatához Shapiro-Wilk tesztet alkalmaztunk. Ennek eredményét a mellékletben szereplő 6. táblázat tartalmazza. A 'Vitéz' szárazanyag tartalmának összehasonlítása egytényezős ANOVA tesztet alkalmaztunk. A non-parametrikus csoportokra

Kruskal-Wallis próbát alkalmaztunk BRASE – BRASE, (2010) nyomán. A mediánok közötti szignifikáns eltéréseket a Pairwise-Wilcoxon teszt, az átlagok közötti különbségeket pedig a Tukey HSD teszt határozza meg (MARQUES DE SÁ, 2007).

A minták fehérjemintázatának vizsgálata egy dimenziós denaturáló diszkontinuos akrilamid gélelektroforézissel (1D SDS Page) történt, melynek protokollja a következő:

A liofilizált és homogenizált mintákból 15-15 mg került kimérésre analitikai mérlegen, majd 1,5 ml-es Eppendorf csövekbe helyeztük azokat. Ezt követően 250-250 µl 4x töménységű Laemmli puffert adtunk a mintákhoz és alaposan összekevertük vortex segítségével. Ezután a mintákat 65°C-re előmelegített blokktermosztátba helyeztük és 5 percig inkubáltuk. A folyamat végén 20 percig centrifugáltuk 13.200 rpm-en 4°C-on. Ezt követően a felülúszót pipetta segítségével áttettük egy új 1,5 ml-es Eppendorf csőbe.

Gélkészítés és futtatás körülményei:

Első lépésben az elválasztó és szeparáló géleket készítettük el, a szeparálógél összeállításához 3,6 ml bidesztillált vízbe 2,52 ml 40%-os akrilamidot, 2,1 ml 1,5 M-os (pH 8) TRIS puffert, 84 µl 10%-os SDS oldatot, 84 µl 10%-os APS oldatot és 8,4 µl TEMED-et adtunk. Ezt követően két üveglap közé pipettáztuk és megvártuk míg megszilárdul.

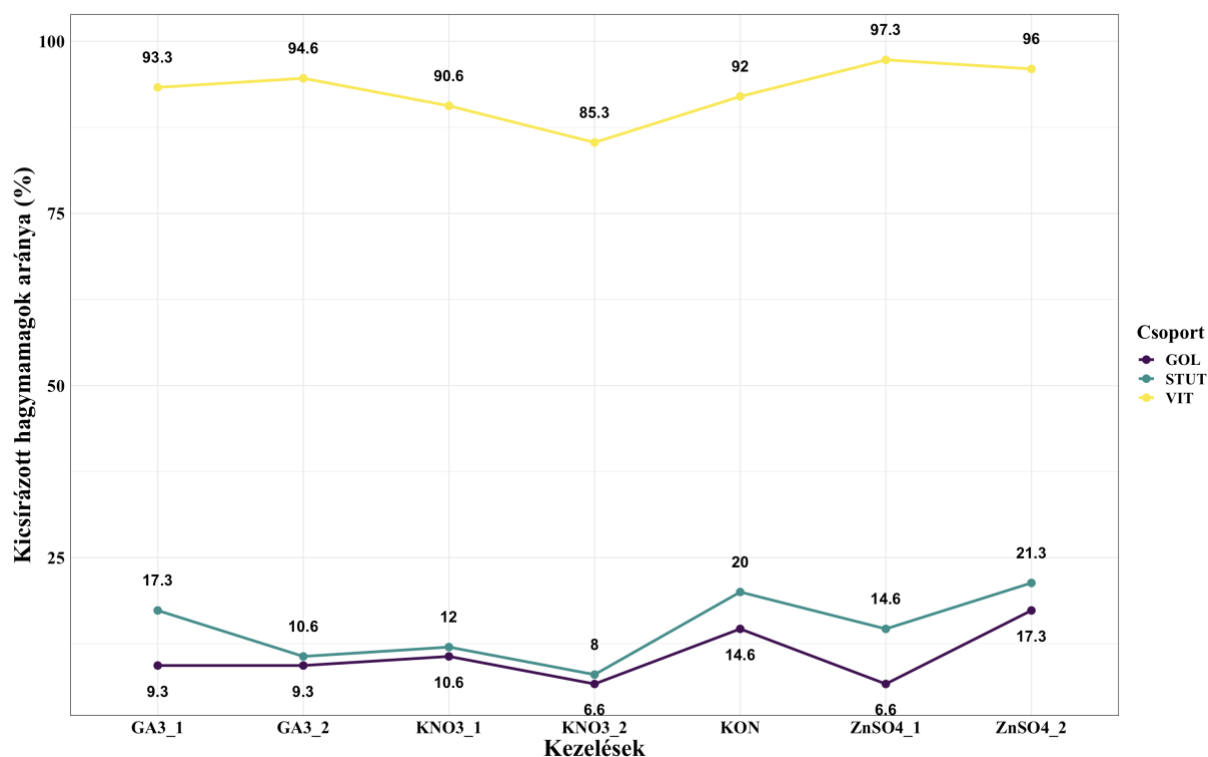
A gyűjtőgél elkészítéséhez 2,2 ml bidesztillált vízbe 360 µl 40%-os akrilamidot, 875 µl 0,5 M-os (pH 6,5) TRIS puffert, 35 µl 10 %-os SDS oldatot, 35 µl 10 %-os APS oldatot és 4 µl TEMED-et adtunk. Ezt követően a már megszilárdult szeparáló gélre pipettáztuk és egy 12 zsebes fésűt helyeztünk bele.

A futtatást Bio-Rad Mini-PROTEAN Tetra Vertical Electrophoresis típusú berendezésben végeztük. A futtatását egy erre a célra használatos kádban végeztük, melyet előzőleg feltöltöttünk 1x Tris-Glicin SDS pufferrel. Molekulatömeg azonosításhoz PageRuler (Prestained Protein Ladder 10-180 kDa) típusú fehérje markert használtunk. Futtatást 90 V-on elindítottuk, a minták koncentrálásához (~15 percig), majd a fehérjék szeparálásához a feszültséget 160 V-ra állítottuk (45 – 50 perc). A futtatás végén a géleket kétszer átöblítettük desztillált vízben, majd Comassie G250 szuszpenzióban ~24 órát festettük. Festést követően a fölösleges festék kimosása érdekében ismét desztillált vízbe helyeztük a gélét. A gélről készült fotót Bio-Rad Gel Doc XR+ berendezés segítségével készítettük el.

4. EREDMÉNYEK ÉS AZOK ÉRTÉKELÉSE

4.1. A három vöröshagyma fajta értékelése összesítve

A kísérlet hipotézise szerint a “seed priming” technikák alkalmazása pozitív hatással van a vöröshagyma vetőmagok csírázási dinamikájára és korai fejlődési szakaszaira. Elvárásaink alapján a kezelt magvak gyorsabb és egyenletesebb csírázási ütemet fognak mutatni, továbbá növekedési erélyük fokozódik a kezdeti növekedési fázisban. Az egyes kezelések hatékonysága a csírázási százalék, a szárazanyagtartalom és az 1D SDS Page mérés alapján került kiértékelésre. Az alábbiakban bemutatásra kerülnek a különböző kezelések eredményei és azok statisztikai értékelése.



1. ábra: A három vöröshagyma fajta csírázási százaléka (3x25mag/kezelés)

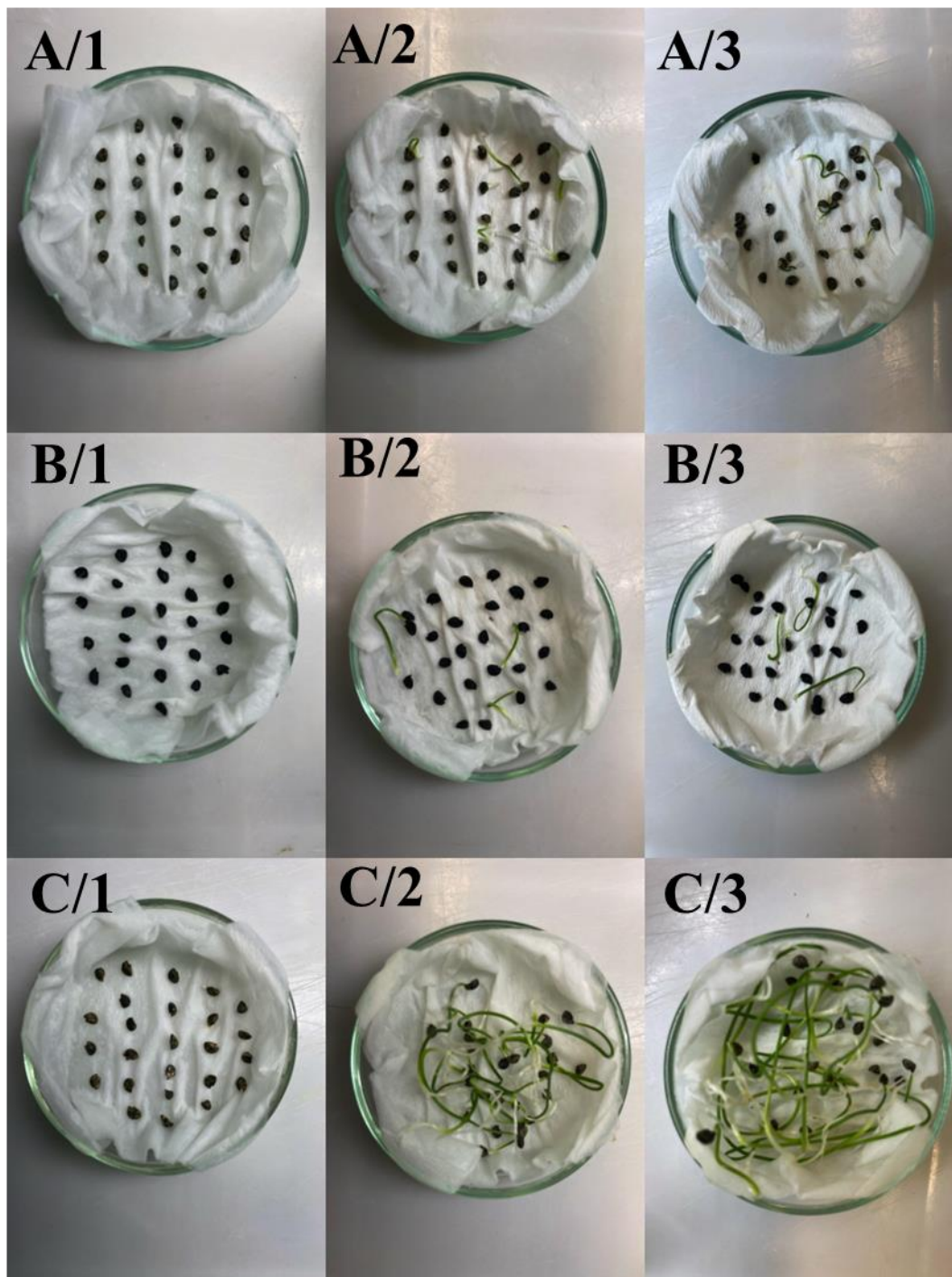
Forrás: Saját szerkesztés

Az 1. ábra a kísérletben szereplő három vöröshagyma fajtájának 'Vitéz' (VIT), 'Góliát' (GOL), és 'Stuttgarter óriás' (STUT) csírázási százalékait szemlélteti. A függőleges tengely a csírázás arányát ábrázolja, a vízszintes tengelyen a különböző kezelések szerepelnek. A 'Vitéz' fajta mutatta a legnagyobb csírázási arányokat a kezelések során, minden esetben jelentősen meghaladva a másik két fajtát. A legnagyobb csírázási százalékot a 0,5%-os cink-szulfát kezeléssel érte el (97,3%), míg az 1%-os cink-szulfát kezelés szintén nagy, 96%-os csírázási

arányt eredményezett. A legkisebb csírázási arány az 5%-os kálium-nitrát kezelésnél figyelhető meg, itt 85,3%-os csírázást produkált. Összességében a 'Vitéz' fajta jól reagált a kezelésekre, és minden kezelésnél nagy, 85% feletti csírázási százalékot mutatott. A 'Góliát' fajta csírázási aránya a kezelések során jelentősen kisebb volt, mint a 'Vitéz' fajtáé (1. ábra). A legnagyobb csírázási arányt az 1%-os cink-szulfát kezelésnél érte el (17,3%), amely a legjobb eredmény a 'Góliát' fajtánál. A legkisebb csírázási arány a 0,5%-os cink-szulfát és a 5%-os kálium-nitrát kezelésnél figyelhető meg (6,6%). Ez az eredmény arra utalhat, hogy a cink-szulfát kezelések hatása a fajtára nézve változó, és az optimális koncentráció kritikus lehet. A kontroll kezelés szintén viszonylag nagy csírázási arányt mutatott (14,6%). A 'Stuttgarter óriás' fajta csírázási arányai hasonló trendet követnek, mint a 'Góliát' fajtáé, de kisebb mértékű 'Vitézhez' képest. A legnagyobb csírázási arányt a 1%-os cink-szulfát kezelésnél kaptuk (21,3%), ami a 'Góliát' fajta legjobb teljesítményét jelenti. A legkisebb csírázási arányt az 5%-os kálium-nitrát kezelésnél érte el, mindössze 8%-kal.

A cink-szulfát kezelések mindhárom fajtánál eltérő eredményeket hoztak, de a 'Vitéz' mindkét koncentráció esetében nagy csírázási arányt mutatott, míg a 'Góliát' és 'Stuttgarter óriás' fajtáknál kisebb értékeket tapasztaltunk, de az 1%-os cink-szulfát kezelés nagyobb arányt ért el a kontrollnál. A kontroll kezelések esetében a 'Vitéz' fajta nagy, 92%-os csírázási arányt ért el, míg a 'Góliát' és 'Stuttgarter óriás' fajták ennél kisebb 14%, illetve 20%-os eredményeket mutattak. A kálium-nitrát kezelések mindhárom fajtánál kisebb eredményeket hoztak, mint a kontroll.

A 2. kép mutatja a vizuálisan monitorozott eredményeket a képeken szereplő betűk a fajtákat jelölik, míg a számok az adott napot. A: 'Stuttgarter óriás' (2. kép/A) a 'Góliát' (2. kép/B) és a 'Vitéz' (2. kép/C). A számok jelölik a napokat 1: 1. nap, 2: 5. nap, 3: 10. nap így balról haladva a kísérlet első, ötödik és tizedik napon tapasztalt állapotokat szemlélteti. Vizuálisan is jól látszik a fajták közötti differencia mind csírázásban mind növekedési dinamikában.



2. kép: A három vöröshagyma fajta csírázása az 1.-5. és 10. napon
 Forrás: Saját szerkesztés

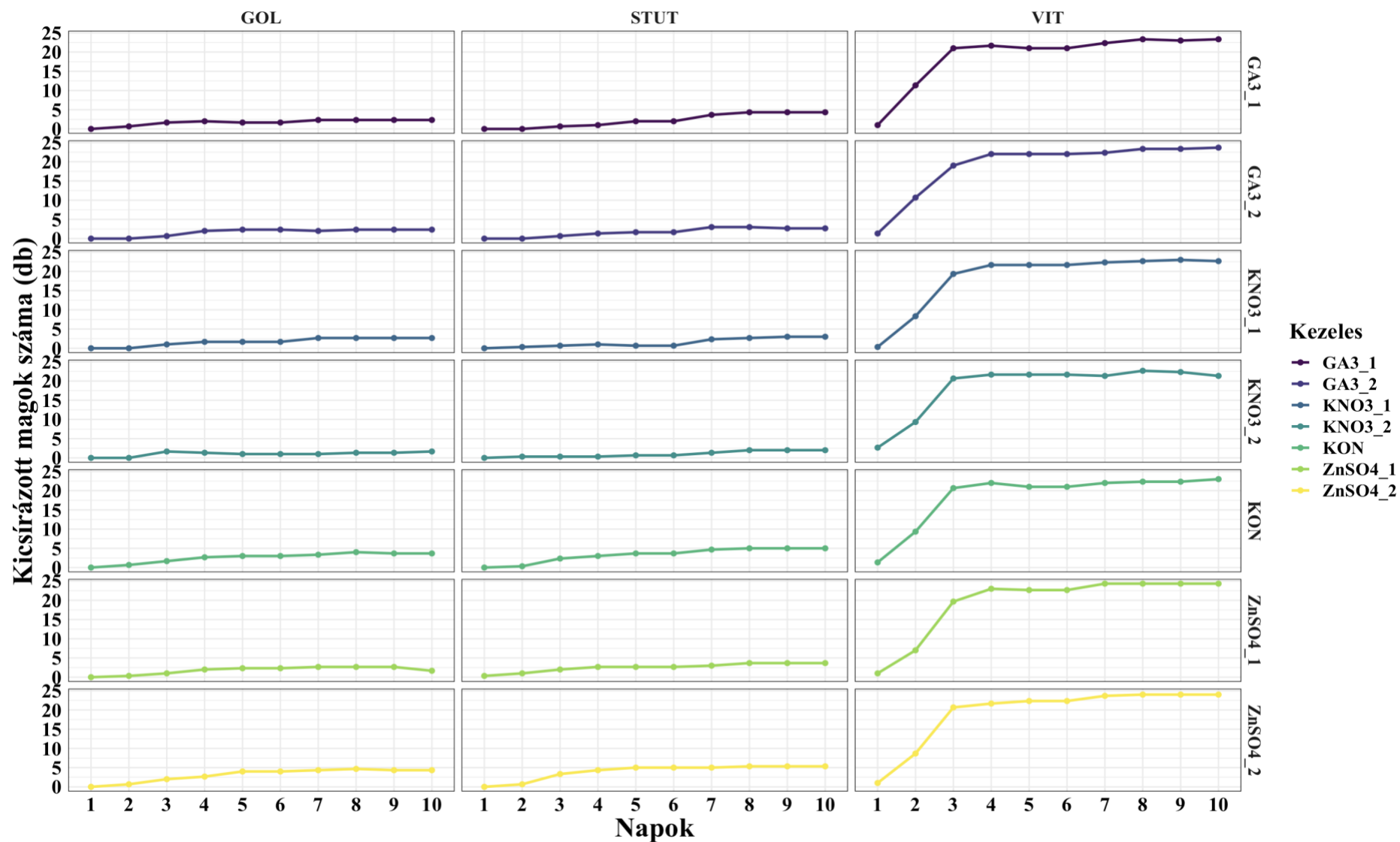
A '*Vitéz*' fajta nem csak a csírázási százalékban tért el a többi fajtától, hanem a kezdeti növekedés intenzitásában is. A '*Vitéz*' (2. kép C/1-3.) fajtánál hosszabb és vastagabb csírák figyelhetők meg, továbbá a 3 fajta közül csak a '*Vitéz*' kezdett el kihajtani az első napon.

Az 1. melléklet statisztikai értékei alátámasztják az 1. ábra eredményeit a három vöröshagyma fajta szóródási mutatóival. A 'Vitéz' fajta csírázási arányaiban kiemelkedik a 18,8-os átlagértékkel, a 'Stuttgarter óriás' (2,29) és a 'Góliát' (1,92) fajtákkal szemben. Az eredmények egyértelműen azt mutatják, hogy a 'Vitéz' fajta jobban teljesített a kísérlet során, míg a másik két fajta csírázási dinamikája jelentősen elmaradt.

A 'Vitéz' fajta szórása (7,32) nagyobb mértékben szóródik, ami azt jelzi, hogy a csírázási arányok jobban változnak a különböző kezelések során, mediánja (22) és az IQR (4) azt mutatja, hogy a csírázási eredmények egyenletesek. A 'Stuttgarter óriás' és a 'Góliát' fajtáknál a szórásértékek értékelése (2,07 és 1,74) a rendkívül kedvezőtlen csírázás miatt meglehetősen alacsony. Azonban ezeknél a fajtáknál a kezelések kevésbé okoztak jelentős eltéréseket a csírázási arányokban. A kis mediánértékek (2) és az kis interkvartilis tartomány (IQR: 3-4) kis és szorosabb szóródásra utalnak.

A 2. melléklet pedig szemlélteti a Kruskal-Wallis tesztet, ami több csoport mediánjainak különbségeit vizsgálja. A számunkra releváns érték $p < 2.2 \times 10^{-16}$, ami azt jelzi, hogy a p-érték rendkívül kicsi, jóval $\alpha = 0,05$ alatt van. Tehát statisztikailag szignifikáns különbség van a három vöröshagyma fajta csírázási eredményei között. A Wilcoxon teszt egy páronkénti összehasonlító vizsgálat, amely megmutatja mely csoportok között van statisztikailag szignifikáns különbség. A teszt eredményei alapján a 'Vitéz' szignifikánsan eltér a 'Góliát' és a 'Stuttgarter óriás' fajtáktól ($p < 2.2 \times 10^{-16}$). A 'Góliát' és 'Stuttgarter óriás' csoportok között azonban nem szignifikáns (p -érték = 0.12), ami azt jelenti, hogy ebben az esetben nincs statisztikailag jelentős eltérés a két fajta között.

Az 3. ábra a három vöröshagyma fajta ('Vitéz', 'Góliát', 'Stuttgarter óriás') napi csírázási dinamikáját ábrázolja a különböző „seed priming” kezelések függvényében. Az egyes kezelések során a napok előrehaladtával mért kicsírázott magok számát láthatjuk a függőleges tengelyen, míg a vízszintes tengelyen a csírázás napjai (1-10. nap) szerepelnek. Az egyes kezelések különböző színekkel vannak jelölve, és az ábra soronkénti elrendezése lehetővé teszi az egyes kezelések közvetlen összehasonlítását a különböző fajtákon belül.



2. ábra: A három vöröshagyma fajta csírázási dinamikája (3x25mag/kezelés)

Forrás: Saját szerkesztés

A 'Vitéz' fajta esetében az 5%-os gibberellin kezelés mutatta a leggyorsabb és legintenzívebb csírázást. Már a 2. napon intenzív csírázás volt megfigyelhető (átlagosan 11-13 mag), és a csírázás intenzitása gyorsan növekedett, a 4. napra a kicsírázott magok száma elérte a 20-25 darabot. Ez a tendencia jól mutatja a gibberellin stimuláló hatását a csírázás gyorsaságára és egyenletességére. A nagyobb koncentrációjú, 10%-os gibberellin kezelés hasonló tendenciát mutat, bár a csírázás valamivel lassabb, és a csírázási csúcsot csak a 4-5. napra érte el. A cink-szulfát kezelések (különösen a 0,5%-os cink-szulfát) szintén kiemelkedő csírázási arányokat mutattak, azonban a csírázás vontatottabb, de a 6-7. napra elérte a maximális csírázási arányt. A kontroll és kálium-nitrát kezelések esetében a csírázási folyamat lassabb és elhúzódóbb volt, némileg kisebb volt a gibberellin és a cink-szulfátos kezelésekhez képest.

A 'Góliát' fajta esetében a csírázási aktivitás kisebb volt minden kezelésnél, mint a 'Vitéz' fajtánál. A 5%-os gibberellin kezelés itt is gyorsabb csírázási reakciót mutatott, de az összes mag kicsírázása a 10 napos időszak alatt sem történt meg. A 4. mellékletben látható, hogy a legjobb eredményeket az 1%-os cink-szulfát kezelés hozta 3,1-es átlaggal és 4-es mediánnal, ahol a kicsírázott magok száma a 4-5. napon emelkedett, de legkedvezőbb esetben is csak 5-6 mag kelt ki. A kontroll kezelés átlaga 2,51, mediánja 2, a kálium-nitrátos kezeléseknél szintén hasonló tendencia figyelhető meg, bár a csírázás itt még inkább elhúzódott, és a 10 napos periódus alatt sem mutattak számottevő különbséget az egyes kezelések.

A 'Stuttgarti óriás' fajta csírázási mintázata hasonló a 'Góliát' fajtához, bár valamivel kisebb csírázási aktivitást mutatott. Az 5%-os gibberellin kezelés esetében az első csírázott magok a 2. napon jelentek meg, de a csírázás üteme lassú maradt, és a 10 napos periódus végére sem volt teljes. Az összes kezelés közül itt is a 1%-os cink-szulfát volt a leginkább hatékony a 5. mellékletben látható, hogy 3,93 átlaggal és 4,5 mediánnal rendelkezik a kontroll 3,27-es és 3-as értékéhez képest. A többi kezelésnél szintén kis csírázási aktivitás figyelhető meg, a csírázás elhúzódott, és a 10. nap végére sem mutattak jelentős növekedést a csírázási arányokban.

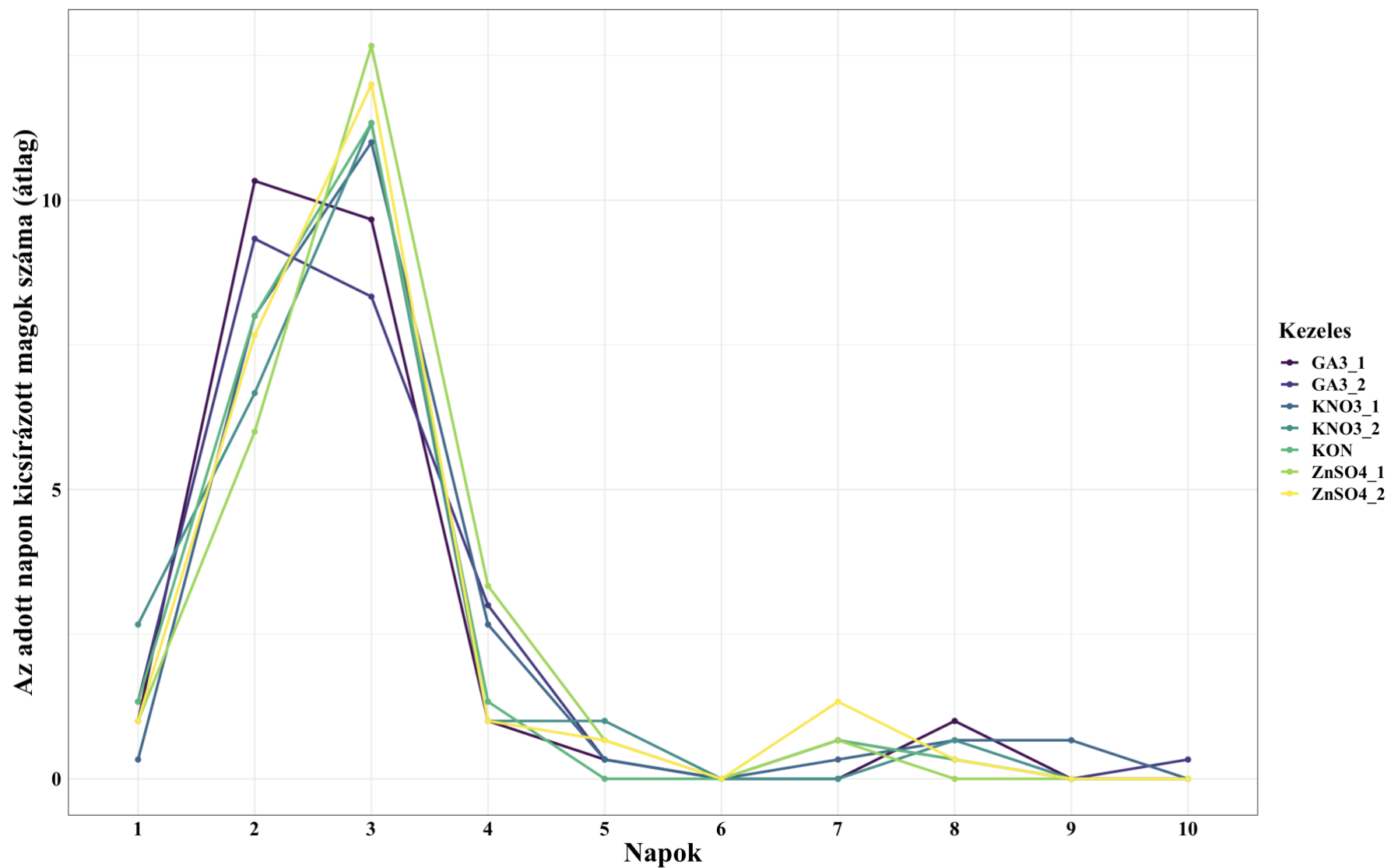
A 'Góliát' és 'Stuttgarti óriás' értékmérői a kis csírázási arány miatt torz értékeket mutatnak és a kezelések hatásai így kevésbé szembetűnőek. Az 1%-os cink-szulfát kezelés itt is jobb eredményeket hozott, de a csírázás elhúzódott, és a maximális csírázási arány nem érte el a 25%-ot sem. Az ábra jól mutatja a csírázási folyamatok időbeli eltéréseit. A 'Vitéz' fajta esetében a legtöbb csírázási esemény már az első 5 nap alatt lezajlott, míg a 'Góliát' és 'Stuttgarti óriás' fajtáknál a csírázás üteme kisebb, és a csírázás folyamata elhúzódik a teljes 10 napos időszakon túlra.

4.2. 'Vitéz' fajta további értékelése

Az eddigi elemzések alapján egyedül a 'Vitéz' fajta csírázási százalékan értékelhetőek a kezelések, ezért továbbiakban ez az egy fajta kerül további elemzésre.

A 4. ábrán a 'Vitéz' fajta különböző kezeléseiben újonnan kicsírázott magok számát látjuk, napokra lebontva. A függőleges tengelyen az adott napon kicsírázott magok száma, míg a vízszintes tengelyen a napok száma szerepel. Továbbá tájékoztatást kaphatunk arról, hogy melyik kezelés segíti elő a leggyorsabb és legintenzívebb csírázást, ezáltal biztosítva homogén, egységes állományt. Láthatjuk, hogy a különböző kezelések eltérő módon befolyásolják a csírázási folyamatokat. Az optimális kezelés az, amely a legnagyobb számú magot a leggyorsabb ütemben csíráztatja ki, ezáltal biztosítva a korai, homogén állomány kialakulását.

Az 5%-os gibberellin kezelés mutatta a leggyorsabb és legnagyobb csírázási aktivitást. Már az első nap után jelentős számú mag kicsírázott, és a csírázási ütem a második napra érte el a maximumát. Ezt követően a csírázási ütem fokozatosan lecsökkent, és a negyedik napra stabilizálódott, ami arra utal, hogy a magok nagy része gyorsan és egyenletesen kicsírázott. Ez a minta nagyon kedvező, mivel a csírázás korai szakaszában bekövetkező intenzív növekedés homogén állományt eredményezhet. A 10%-os gibberellin kezelés némileg lassabb csírázási ütemet mutatott, mint a 5%-os, de hasonló mintát követett. A második napra itt is megnövekedett a csírázási aktivitás, bár a kicsírázott magok száma kisebb volt, mint a 5%-os gibberellin esetében. Ennél a kezelésnél is intenzív csírázást tapasztaltunk, ami arra utal, hogy a gibberellin alapú kezelések hatékonyak a csírázási folyamat gyorsításában. A cink-szulfát kezelések viszonylag lassabb csírázási ütemet mutattak. A csírázás az első néhány napban szórványos volt, és a kezelt magok tömeges csírázása a 3. napon következik be (15-20 mag). A többi kezeléshez képest a leginkább homogén állomány kialakítása itt lehetséges, ugyanis a cink-szulfátos kezeléseknél kelt ki a legtöbb mag 1 nap alatt. A kontroll kezelés esetében a csírázási ütem a gibberellin és 0,5%-os cink-szulfát kezelésekhöz képest kisebb volt. A kálium-nitrát alapú kezelések a kontrollhoz hasonló eredményeket mutattak, az állomány kelése leginkább a 2. és 3. nap között oszlik meg.



3. ábra: 'Vitéz' fajta újonnan kicsírázott magok száma kezelésenként (3x25mag/kezelés)

Forrás: Saját szerkesztés

Az 4. ábra rámutat arra, hogy a kísérletben az 5%-os gibberellin kezelés volt a legkedvezőbb a 'Vitéz' fajta csírázási dinamikájának felgyorsítására. Ez a gyors csírázás különösen fontos a vöröshagyma esetében, mivel a korai növekedési fázisok meghatározóak a végső terméshozam szempontjából. A cink-szulfátos kezelések esetében a csírázás üteme lassabb, azonban egységesebb a kelés, ami homogénebb fejlődésű állományt eredményezhet. A lassabb csírázás miatt azonban az állomány fejlődése később indul meg.

A 3. mellékletben szereplő statisztikai mutatókat (számtani átlag, szórás, medián, IQR) használjuk a 4. ábra kiegészítéséhez. A gibberellin alapú kezelések, különösen az 5%-os gibberellin, felgyorsították a csírázási folyamatot, a második napon tetőzve a csírázás intenzitásában. Ezt támasztják alá a statisztikai mutatók is: a magas átlagos csírázási arány (19,0) és az kis szórás (7,12) arra utalnak, hogy a csírázás nemcsak gyors, hanem viszonylag homogén is volt, ami ideális a korai állománynövekedés szempontjából. A 10%-os gibberellin kezelés hasonló mintát mutatott, de valamivel lassabb ütemben, és némileg nagyobb variabilitással, ami kissé késleltetett csírázási folyamatra utal.

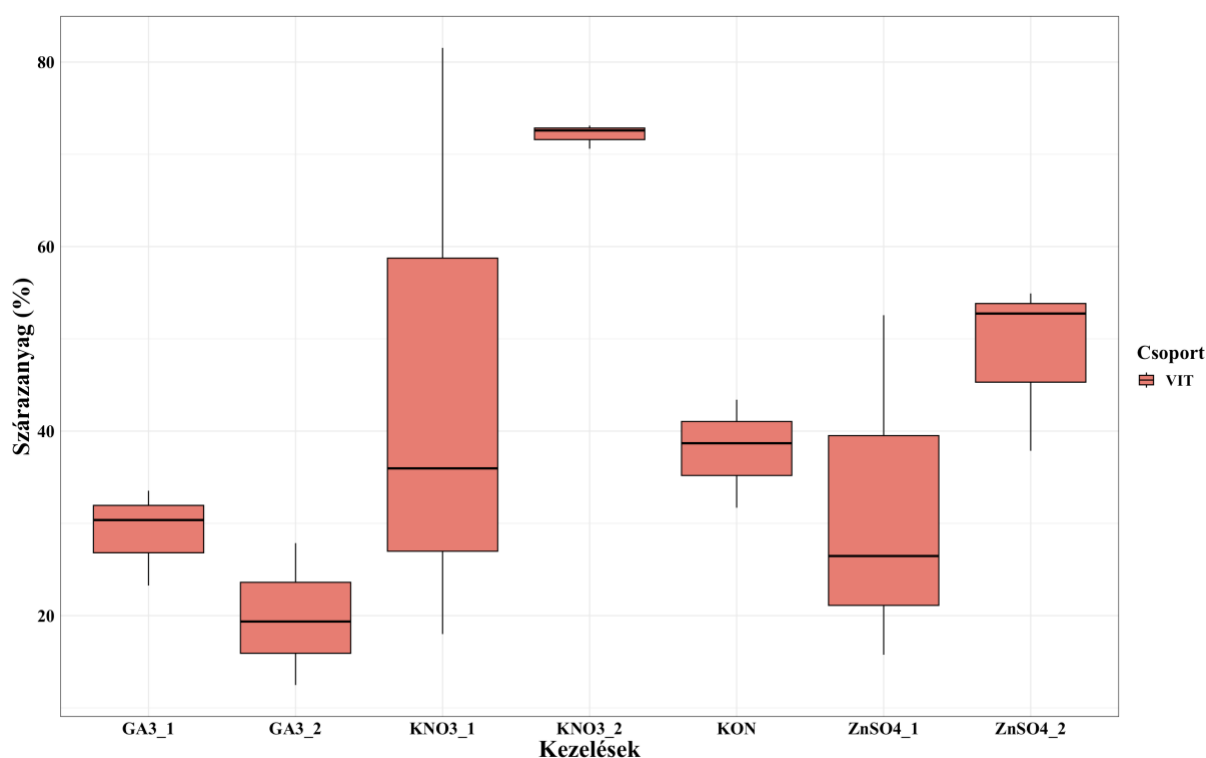
A cink-szulfát alapú kezelések a 4. ábra alapján ezzel szemben lassabb csírázási ütemet eredményeztek. Bár az első néhány napban kevesebb mag kelt ki, a végső csírázási arány nagy volt, amit a statisztikai mutatók is alátámasztanak: a számtani átlag a legnagyobb volt (19,3 a 0,5%-os cink-szulfát kezelésnél), és a medián is kiemelkedően magas értéket mutatott (23). Ez azt jelzi, hogy bár a csírázási folyamat elhúzódott, a végső eredmény egy homogénebb, egységes állományt biztosított. A szórás azonban itt magasabb volt, ami arra utal, hogy a csírázás időbeli eloszlása kevésbé volt egyenletes, mint a gibberellin kezeléseknél.

A kálium-nitrát és a 10%-os gibberellin kezelések eredményei viszonylag hasonlóak voltak egymáshoz. A kálium-nitrát esetében és a számtani átlag (18,5) a szórás értékek alapján azonban a 3%-os kálium-nitrát oldat rendelkezik a legkisebb értékkel (6,79), ami egyenletesebb ismétlésekre utal, mint a többi kezelés esetében. A kálium-nitrát azonban nem befolyásolta jelentős mértékben a csírázás gyorsaságát, és a kontrollhoz képest nem hozott látványos eredményeket.

A 6. mellékletben látható a Kruskal-Wallis teszt és a Wilcoxon páros összehasonlító teszt alapján a 'Vitéz' fajta különböző kezeléseit összehasonlítva nem találtunk statisztikailag szignifikáns eltérést sem a kontroll kezeléshez képest, sem a különböző kezelések között. A Kruskal-Wallis teszt p-értéke (0,1896) arra utal, hogy a kezelések közötti eltérések nem szignifikánsak, azaz a kezelések hatása a csírázásra statisztikailag nem bizonyítható. A Wilcoxon teszt páronkénti összehasonlítása sem mutatott szignifikáns eltérést a kezelések

között. Az egyes kezelési párokhoz tartozó p-értékek mind 0,05 felett vannak, ami megerősíti, hogy nincs statisztikai bizonyíték a kezelések közötti különbségekre. Ennek ellenére megfigyelhető, hogy a legnagyobb eltérést a cink-szulfátos kezelések mutatták, különösen a 0,5%-os cink-szulfát kezelés esetében, ahol a legnagyobb csírázási arányt érték el, de ez sem bizonyult szignifikánsnak a többi csoporthoz képest.

A szárazanyagtartalom mérése kulcsfontosságú tényező a növénytermesztésben, mivel ez az érték közvetlenül befolyásolja a termés minőségét és a későbbi tárolhatóságát. A vöröshagyma esetében a nagyobb szárazanyagtartalom kifejezetten előnyös, mivel hosszabb eltarthatóságot és nagyobb tápanyagtartalmat biztosít. A kezdeti fejlődés során a gyors szárazanyag felhalmozás a későbbi pl. abiotikus stresszekre adott válaszokban is kulcsfontosságú szerepet játszhat. A 6. ábra a különböző kezelések hatását mutatja be a 'Vitéz' vöröshagyma fajta szárazanyagtartalmára.



4. ábra: 'Vitéz' fajta szárazanyag tartalma a kezelések hatására (3x25mag/kezelés)

Forrás: Saját szerkesztés

Az 6. ábrán látszik, hogy az egyes kezelések különböző mértékben befolyásolják a szárazanyagtartalmat. A gibberellin kezelések kisebb szárazanyagtartalommal bírnak ez összefüggésben lehet a gibberellin, mint növényi növekedésszabályozó, sejtire gyakorolt

intenzív növekedésének stimulálásával. Ezen kezelések esetében a csírázás és a növekedés gyorsasága lehet a fő előny, de a szárazanyag mennyisége kisebb marad, ami kedvezőtlen lehet a hosszú távú tárolás és a minőség szempontjából. Ugyan nem vizsgáltuk ezt a paramétert, de a csírák ezen kezelések esetében voltak a legnagyobbak és leginkább jól definiáltak. A kálium-nitrátos kezelések közül az 5%-os kiemelkedik, mivel nagyobb, 70% feletti szárazanyagtartalmat eredményezett. Azonban a 3%-os kálium-nitrát kezelés nagy variabilitást mutatott, ami arra utalhat, hogy a kezelés nem volt egyértelműen hatékony, a szárazanyagtartalom 45% körül mozgott. A cink-szulfátos kezelések közül az 1%-os kiemelkedett a magasabb szárazanyagtartalommal. Ez a kezelés stabil eredményeket mutatott, ami azt jelzi, hogy a cink-szulfát alapú „*priming*” technikák nemcsak a csírázást, hanem a termés szárazanyag-tartalmát is kedvezően tudják befolyásolni. A 0,5%-os cink-szulfát kezelésnél kisebb volt a szárazanyagtartalom, de a variabilitás nagyobb volt, ami azt jelzi, hogy a kezelés hatékonysága változó lehetett.

A 6. ábra kiegészítéséhez a mellékletben szereplő 7. melléklet adatai szolgálnak kiegészítésül, ami a 'Vitéz' vöröshagyma fajta szárazanyag-tartalmának különböző kezelésekre adott válaszainak statisztikai mutatóit tartalmazza.

A kontroll kezelés szárazanyagtartalmának átlaga 37,9 % volt, viszonylag alacsony szórással (5,89). A medián értéke 38,7, ami azt mutatja, hogy az adatok szimmetrikus eloszlásúak lehetnek, mivel a medián és az átlag közeli értéket mutatnak. Az interkvartilis terjedelem (5,86) szintén viszonylag alacsony variabilitásra utal. Az 5%-os gibberellin kezelés átlagosan 29-es szárazanyag-tartalmat eredményezett, alacsony szórással (5,26), és a medián 30,4. Ez arra utal, hogy a gibberellinsav első variációja enyhe csökkenést eredményezett a szárazanyag-tartalomban a kontrollhoz képest. A 10%-os gibberellin kezelés jelentős csökkenést mutat, mind az átlagos szárazanyag-tartalom (19,9), mind a medián (19,4) értékekkel, és egy magasabb szórással (7,71). Ez jelentős heterogenitást mutat az eredményekben, amit az IQR (7,69) is alátámaszt. A 3%-os kálium-nitrát kezelés átlagos szárazanyag-tartalma 45,2, a szórás pedig 32,8, ami arra utal, hogy az eredmények széles spektrumban szóródnak, és ez látható az IQR értékéből is (31,8). A medián (36,0) viszont alacsonyabb, mint az átlag, ami azt jelzi, hogy az adatok jobbra ferdültek (néhány magas érték emeli az átlagot). Az 5%-os kálium-nitrát kezelés még drámaibb növekedést mutat: az átlag 72,1, ami a legnagyobb az összes kezelés közül. Itt viszont a szórás rendkívül alacsony (1,32), ami azt mutatja, hogy az eredmények nagyon konzisztensnek tekinthetők. A cink-szulfát kezelések hasonló mintázatokat mutatnak. A 0,5%-os cink-szulfát esetében az átlagos szárazanyag-tartalom 31,6, de a szórás 18,9 viszonylag magas, ami a heterogenitásra utal. A medián 26,5 alacsonyabb az átlagnál, jelezve,

hogy az adatok balra ferdültek, és az IQR (18,4) is alátámasztja a magasabb variabilitást. Az 1%-os cink-szulfát egyértelmű növekedést mutat (48,5 átlag), de a szórás itt is jelentős (9,28), ami azt jelzi, hogy bár az eredmények általánosan javultak, még mindig nagy a variáció. Az IQR (8,53) alapján a variabilitás szűkebb tartományban mozog, de a medián (52,7) arra utal, hogy ez a kezelés pozitívabb hatást mutat.

Összességében a kálium-nitrátos kezelések mutatták a legjobb eredményeket a szárazanyag-tartalom szempontjából, mind átlagban, mind konzisztenciában. A gibberellines kezelések jelentős csökkenést okoztak, míg a cink-szulfát kezelések köztes eredményeket mutattak, de viszonylag magas szórással és variabilitással.

2. táblázat: 'Vitéz' fajta szárazanyag tartalmának ANOVA teszt eredménye

Sorszám	Kezelések	Különbség	Alsó határ	Felső határ	p-érték
1.	GA3_2-GA3_1	-9.16	-51.85	33.54	0.988
2.	KNO3_1-GA3_1	16.11	-26.58	58.81	0.846
3.	KNO3_2-GA3_1	43.05	0.36	85.74	0.0475
4.	KON-GA3_1	8.87	-33.82	51.56	0.990
5.	ZnSO4_1-GA3_1	2.54	-40.15	45.23	0.9999915
6.	ZnSO4_2-GA3_1	19.46	-23.23	62.15	0.710
7.	KNO3_1-GA3_2	25.27	-17.42	67.96	0.444
8.	KNO3_2-GA3_2	52.21	9.52	94.90	0.013
9.	KON-GA3_2	18.03	-24.66	60.72	0.772
10.	ZnSO4_1-GA3_2	11.70	-30.99	54.39	0.910
11.	ZnSO4_2-GA3_2	28.61	-14.08	71.30	0.313
12.	KNO3_2-KNO3_1	26.94	-15.75	69.63	0.375
13.	KON-KNO3_1	-7.24	-49.93	35.45	0.996
14.	ZnSO4_1-KNO3_1	-13.57	-56.26	29.12	0.922
15.	ZnSO4_2-KNO3_1	3.34	-39.35	46.03	0.9999571
16.	KON-KNO3_2	-34.18	-76.87	8.51	0.160
17.	ZnSO4_1-KNO3_2	-40.51	-83.20	2.18	0.068
18.	ZnSO4_2-KNO3_2	-23.60	-66.29	19.09	0.518
19.	ZnSO4_1-KON	-6.33	-49.02	36.36	0.998
20.	ZnSO4_2-KON	10.58	-32.11	53.27	0.975
21.	ZnSO4_2-ZnSO4_1	16.92	-25.78	59.61	0.817

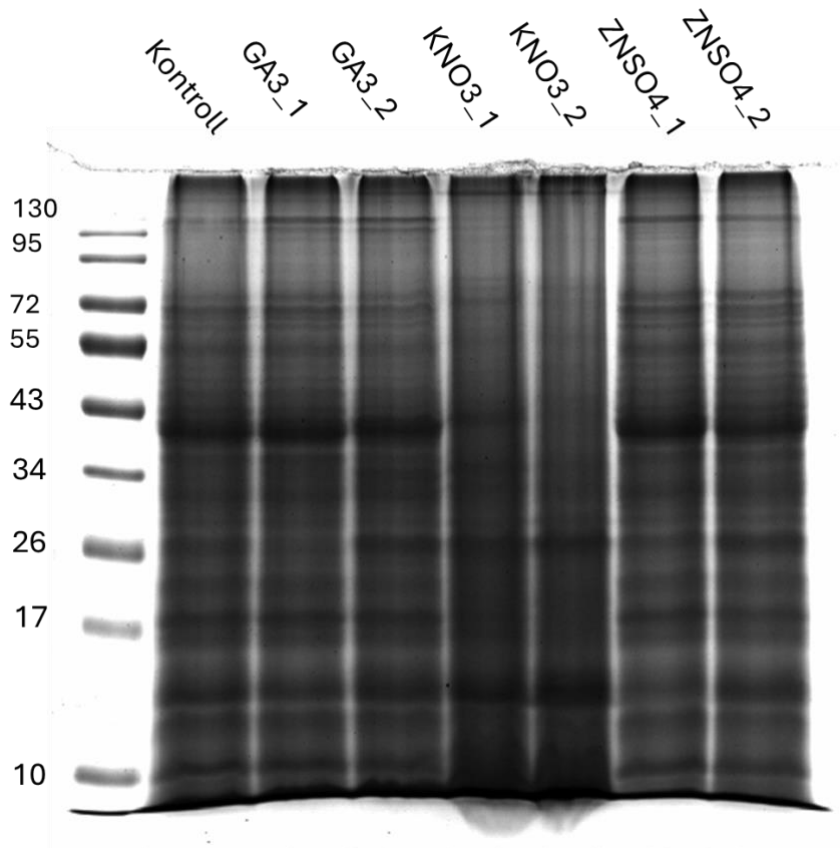
Forrás: Saját szerkesztés

Az ANOVA teszt eredményei alapján (2. táblázat) a p-értékek vizsgálata során láthatjuk, hogy a legtöbb kezeléspár esetében nincs statisztikailag szignifikáns különbség (a p-értékek mind 0,05 felett vannak). Ez arra utal, hogy a különböző kezelések általánosságban hasonló hatással voltak a szárazanyagtartalomra, és nem eredményeztek jelentős eltérést egymáshoz

képest. Ugyanakkor vannak olyan kezeléspárok, amelyeknél megfigyelhető a szignifikáns különbség.

Statisztikailag igazolható különbséget az 5%-os kálium-nitrát és a 10%-os gibberellin között figyelhető meg, ahol a p-érték 0,013. A különbség 52,21%, ami azt sugallja, hogy a 5%-os kálium-nitrát kezelés jelentősen növeli a szárazanyagtartalmat a 10%-os gibberellinhez képest. Ez a kálium-nitrát kezelés pozitív hatását mutathatja a szárazanyag-felhalmozódásra, míg a gibberellines kezelés inkább a növekedés gyorsításában játszik szerepet. Egy másik szignifikáns különbség a 5%-os kálium-nitrát és az 5%-os gibberellin párosításnál tapasztalható, ahol a p-érték 0,0475, és a különbség 43,05%. Ami erősíti az állítást, hogy a 5%-os kálium-nitrát kezelés hatékonyabb lehet a szárazanyagtartalom növelésében, mint az 5%-os gibberellin. A cink-szulfátos kezelések esetében nem tapasztalunk statisztikailag szignifikáns eltérést más kezelésekkel összevetve, bár az 1%-os cink-szulfát és az 5%-os kálium-nitrát közötti különbség p-értéke nem sokkal haladja meg a szignifikanciahatárt (0,068), így ez egy esetleges trendet jelezhet, amit további vizsgálatokkal érdemes lenne megerősíteni. A kontroll kezelés a legtöbb esetben közepes eredményeket mutatott, sem kiugróan magas, sem alacsony szárazanyagtartalmat nem eredményezett. A kontrollt kezelést az 5%-os kálium-nitrát múlta felül a leginkább 34,18%-kal, míg a 10%-os gibberellin kezelés teljesítménye a legkisebb a kontrollhoz képest 18,03 %-os eltéréssel.

A csírázás alatt és a csírázást követő időszakban a növényekben számos biokémiai folyamat indul, melyeket enzimek katalizálnak. A 3. képen a 'Vitéz' fajta egy dimenziós denaturáló poliakrilamid gélelektroforézissel (1D SDS PAGE) készült fehérjeprofíljára látható a különböző



3. kép: A 'Vitéz' fajta kezeléseinek 1D SDS PAGE fehérje expressziós mintázata

Forrás: Saját szerkesztés

kezelések összefüggésében. A képen az első oszlopban ismert tömegű fehérje fragmentumok láthatóak. A többi sáv pedig a kezeléseket ábrázolja.

A gibberellinek, mint növényi hormonok, központi szerepet játszanak a magvak csírázásában, különösen azért, hogy növelik az amiláz enzimek (molekulatömeg: ~50-60 kDa) aktivitását. Az amilázok felelősek a keményítő lebontásáért cukrokká, amelyek energiát biztosítanak a csírázáshoz (YAMAGUCHI ÉS KAMYA 2001).

Amikor a mag csírázását elindító külső tényezők (például víz és hőmérséklet) optimálisak, a mag aleuronrétegében és embrionális részeiben megemelkedik a gibberellin (GA) hormon szintje. A gibberellin a mag belsejében, különösen az embrionális részben termelődik. Az embrionális részben termelődött gibberellin a mag külső részéhez, az aleuronréteghez (a mag tároló sejtjeihez) szállítódik. Az aleuronréteg olyan sejtekből áll, amelyek számos fehérjét és enzimet tárolnak, és fontosak az enzimaktivitás szabályozásában. Amikor a

gibberellin eléri az aleuronsejteket, beindítja a sejtek jelátviteli folyamatait. A gibberellin kölcsönhatásba lép a gibberellin receptorokkal a sejtek membránján vagy belsejében. Ez a jelátvitel beindít egy génexpressziós kaszkádot, amely növeli az amiláz (és más hidrolitikus enzimek, például proteázok és lipázok) termelését (YAMAGUCHI 2008).

A gibberellin közvetlenül aktiválja az amiláz szintéziséért felelős gének átírását azáltal, hogy egy transzkripciósfaktort aktivál. Ez a folyamat Gibberellin-insensitive dwarf 1 (GID1) nevű fehérjén keresztül zajlik, amely a gibberellin receptoraként működik. A gibberellin azáltal, hogy a GID1-hez kötődik, lebontatja a DELLA fehérjét. A DELLA fehérjék gátolják a gibberellin által stimulált gének expresszióját, így amikor ezek lebomlanak, az amiláz gének szabadon átíródhatnak. Ezután az amiláz gének mRNS-e szintetizálódik, majd a sejtben fehérjeként fordítódik le, és amiláz enzimek termelődnek. Az újonnan szintetizált amiláz enzimek az aleuronréteg sejtjeiből az endospermiumba kerülnek, ahol a magban felhalmozódott keményítőt lebontják maltózzá és glükózzá. A cukrok ezt követően az embrionális részekhez (pl. gyökérkezdeményhez) szállítódnak, ahol az energiafelhasználás történik, elősegítve a csírázás első lépéseit (KAUR et al. 2000).

Összefoglalva tehát a gibberellin serkenti az amiláz enzimek génexpresszióját az aleuronsejtekben. Az amilázok lebontják a magban lévő keményítőt egyszerű cukrokká, amelyek a növény energiaforrásaként szolgálnak a csírázás korai szakaszában. A 3. képen a kezelések között az 50-60 kDa-os tartományban a kálium-nitráttal való kezeléseknél figyelhetünk meg sávmintázatbeli különbséget. A többi kezelés esetében a kontrollhoz hasonló mintázatot figyelhetünk meg.

A kálium-nitrát (KNO_3) hatása a lipázok (molekulatömeg: ~30-40 kDa) aktivitására a csírázás során közvetett módon történik, főként azáltal, hogy a magok számára fontos tápanyagokat biztosít és stimulálja az anyagcsere-folyamatokat. A lipáz enzimek szerepe a csírázásban az, hogy a magvakban lévő lipideket (zsírokat) bontják le, energiát szolgáltatva a növekedéshez és fejlődéshez (ALI et al. 2020).

A kálium-nitrát nitrátionokat biztosít a magok számára. A nitrátok fontos nitrogénforrások, amelyek elősegítik a fehérjék és egyéb fontos molekulák szintézisét a magban. Ez közvetve támogatja a mag csírázását és a metabolikus aktivitást, beleértve a lipidek lebontását is. A nitrátok fokozzák a mag anyagcseréjét, és segítenek az oxidatív folyamatokban, ami növeli az energiaigényt. A magok lipidjei fontos energiaforrások, amelyeket a lipázok bontanak le zsírsavakká és glicerinné (GUO ÉS XU, 2005).

Ahogy a gibberellin az amiláz génjeit aktiválja, úgy a nitrátok is elősegíthetik a lipázok génjeinek expresszióját, bár ennek mechanizmusa nem olyan közvetlen, mint a gibberellin esetében.

A kálium (K^+) nem közvetlenül befolyásolja az enzimaktivitást, de létfontosságú szerepet játszik a sejtosztódásban és a sejtmembránok fenntartásában. Ezáltal a kálium stabilizálja a sejtek működését, ami hozzájárulhat a normális enzimaktivitáshoz, beleértve a lipázokat is. A kálium ionok hozzájárulnak az ozmotikus egyensúly fenntartásához is, ami a mag hidratációjához és a csírázási folyamat elindulásához szükséges (PETHŐ, 2016).

Összefoglalva tehát a kálium-nitrát elsősorban az anyagcsere-folyamatok serkentésén keresztül hat pl. a lipáz aktivitására. A nitrátok biztosítják a nitrogént, amely elősegíti az enzimtermelést és a fehérjeszintézist, míg a kálium támogatja a sejtek működését. A nitrát hatására pl. a lipázok aktivitása fokozódik, hogy biztosítsák az energiatárolást a csírázás során a magokban tárolt lipidekből. A 3. képen a kezelések esetében a 30-40 kDa-os tartományban, ahol feltehetően a lipáz enzimek is elhelyezkednek nem látunk különbséget a sávmintázatban. Ez arra utal, hogy egyik kezelés sem serkentette az enzimek aktivitását, vagy expresszióját jelentősen.

A cink-szulfát széles körben használatos cinkpótló anyag a növényekben és a talajban, valamint növényi kísérletek során. A cinkionokat biztosítja, amelyek létfontosságúak pl. a dehidrogenáz enzimek (molekulatömeg: ~40-50 kDa) megfelelő működéséhez. A cink-szulfát vízben jól oldódik, így gyorsan felszívódik a sejtekben, ahol a cinkionok szerepet játszanak az enzimek szerkezetének stabilizálásában és katalitikus aktivitásának támogatásában (REHMAN et al., 2019).

A dehidrogenáz enzimek (pl. szukcinát-dehidrogenáz, malát-dehidrogenáz, glükóz-6-foszfát-dehidrogenáz stb.) a sejt energiaforrásait, például a szénhidrátokat, zsírsavakat oxidálják, hogy energiát (ATP-t) termeljenek. A cink-szulfát által biztosított cink stabilizálja az enzimaktivitás szerkezetét és elősegíti az aktív helyek kialakulását, ahol a redox reakciók zajlanak. Cink nélkül a dehidrogenázok nem tudnak megfelelően működni, ami lassítja az energiatárolást (BROADLY et al. 2012).

A cink-szulfát növeli a sejtanyagcsere sebességét a dehidrogenázok által végrehajtott oxidációs-redukációs reakciók serkentésével. Például a malát-dehidrogenáz (molekulatömeg: 41 kDa) és az izocitrát-dehidrogenáz (molekulatömeg: ~80-100 kDa) a citrátkör részét képezik, amely az ATP-termeléshez szükséges. A cink jelenléte hozzájárul ezeknek az enzimeknek a maximális aktivitásához, amely biztosítja az optimális energiatermelést és a csírázó mag növekedéséhez szükséges metabolikus folyamatokat (PETHŐ, 2016).

A cink-szulfát antioxidáns hatású is lehet, mivel a cinkionok segítenek az oxidatív károsodás elleni védekezésben. Ez közvetve támogatja a dehidrogenázok működését, mivel az oxidatív stressz csökkentése megvédi a sejt fehérjéit és enzimeit. A cink-függő antioxidáns enzimek, mint a szuperoxid-dizmutáz (SOD, molekulatömeg: 32,5 kDa), amelyek cinket tartalmaznak, semlegesítik a reaktív oxigénfajokat (ROS). Ezek a molekulák károsíthatják a dehidrogenázokat, ezért a cink-szulfát antioxidáns hatása közvetlenül védi a dehidrogenázokat a káros oxidatív hatásoktól (LOPEZ-MILLAN et al., 2015).

Összefoglalva tehát a cink-szulfát, mint cinkforrás, elengedhetetlen pl. a dehidrogenáz enzimek aktivitásához. A cink-szulfát növeli a dehidrogenázok hatékonyságát az energiefelszabadításhoz és az oxidációs-redukciós reakciók lebonyolításához. A cink stabilizálja az enzimek szerkezetét, támogatja a sejtek oxidatív védelmét és elősegíti a növények növekedését. Ugyanakkor túl magas cinkkoncentrációk toxikusak lehetnek, így a megfelelő dózis kulcsfontosságú a pozitív hatások eléréséhez. A 3. képen a kezeléseket összehasonlítva a 80-100 kDa-os tartományban (malát- és izocitrát-dehidrogenáz) nem látunk különbséget a sávmintázat között. A 32 kDa-os tartományban, ahol feltehetően a szuperoxid-dizmutáz enzim is elhelyezkedik szintén nem látunk sávmintázatbeli különbséget.

Azonban összességében elmondható, hogy a vizsgálat csak tömeg alapján választja szét az expresszáldott fehérjéket, ami azt jelenti, hogy egy-egy sáv esetében több azonos méretű fehérje is lehet. Ezzel együtt az esetleges tényleges aktivitás és/vagy expressziók mértékének pontos megállapítására további specifikus vizsgálatok szükségesek, hogy a kezelések között a tényleges különbséget feltárjuk.

5. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK

A kísérlet során a három vöröshagyma fajta (*Vitéz*, *Góliát*, *Stuttgarter óriás*) csírázási és fejlődési eredményeit vizsgáltuk különböző kezelési módszerek alkalmazásával. Az eredmények alapján egyértelműen megállapítható, hogy a '*Vitéz*' fajta mutatta a legjobb teljesítményt, mind a csírázási százalék, mind a kezdeti növekedési intenzitás tekintetében. A '*Vitéz*' fajta kiemelkedő csírázási arányokat ért el minden kezelés alatt, legjobb eredményét a 0,5%-os cink-szulfát kezeléssel (97,3%) mutatta, ami szignifikáns eltérés pozitív irányban a többi fajta eredményéhez képest. A legkisebb csírázási arányt az 5%-os kálium-nitrát kezelés mutatta (85,3%), amely viszonylag homogén állományt eredményezett, ám a csírázás üteme lassabb volt. A '*Vitéz*' fajta előnyét a korai és homogén csírázásában láthatjuk. A csírázási folyamat már az első napon megkezdődött, míg a másik két fajta ('*Góliát*' és '*Stuttgarter óriás*') később indult meg, és a csírázási arányaik is kisebbek voltak. A homogén és gyors csírázás jelentős hozam és minőség javulást eredményezhet, amely gazdasági profítként realizálódhat, mivel a korai növekedési fázisok meghatározzák a termés mennyiségét és egyöntetűségét. A kísérlet során tapasztaltuk, hogy a '*Góliát*' és a '*Stuttgarter óriás*' fajták magjainak csírázási százaléka meglehetősen kicsi, 6,6% és 21,3% között teljesített, ami arra utal, hogy a magok minősége, valamint a kezelési módszerek közötti összefüggések további vizsgálatra szorulnak.

A kísérlet során a '*Vitéz*' fajta adott értékelhető eredményeket, ezért a kezelések összehasonlítása ezen fajta esetében került részletesebb kidolgozásra. PAGANO et al. (2023) munkája megerősítette, hogy a gibberellin kezelés elősegíti a csírázás gyorsaságát, különösen olyan körülmények között, amikor a magok csírázásának üteme lassú lenne. A gibberellines kezelés mutatta a legjobb eredményt a csírázás dinamikájában, azonban nincs statisztikailag bizonyítható eltérés a kezelések között. A cink fontos mikroelem a növényi fejlődés szempontjából, és különösen a cink-szulfát alapú kezelések előnyösek lehetnek a növekedési fázisokban. Korábbi kutatások azt mutatták, hogy a cink-szulfát alkalmazása javította a csírázási százalékot és az egyenletes növekedést vöröshagyma magoknál (HASANUZZAMAN et al., 2019). A jelen kísérlet eredményei alapján a legnagyobb csírázási százalékot a cink-szulfátos kezelések eredményezték, azonban itt sem volt szignifikáns eltérés a kontrollhoz képest. A kálium-nitrátot gyakran használják "*seed priming*" kezelésként, mivel növeli a csírázási sebességet és az egyenletes csírázást. HASANUZZAMAN et al. (2019) vöröshagyma esetében végzett vizsgálatai szerint a kálium-nitrátos kezelés hatékonyan növelte a csírázási arányt. A jelen tanulmányban a kálium-nitrátos kezelések azonban nem mutattak

jelentős javulást a kontrollhoz képest, ami eltérhet a szakirodalmi eredményektől, de ez függhet a kezelés pontos módjától és körülményeitől.

A kísérlet alapján bár a különböző kezelések közötti eltérések megfigyelhetők voltak, egyik kezelés sem eredményezett statisztikailag szignifikáns javulást a csírázási arányban a kontrollhoz képest. A szakirodalmi eredményekkel összevetve látható, hogy más tanulmányokban a gibberellines, cink-szulfátos és kálium-nitrátos kezelések szignifikáns javulást hoztak a vöröshagyma csírázásában, amit jelen kísérletünkben nem sikerült igazolni.

A szárazanyag-tartalom meghatározó a hagymagumók minőségi és tárolási szempontjából. A szárazanyag-tartalom vizsgálata során megállapítható, hogy a legnagyobb szárazanyag-tartalmat azonban az 5%-os kálium-nitrát kezelés eredményezte, amely 72,1% volt, míg a gibberellin kezelések kisebb szárazanyag-tartalmat mutattak. A vizsgálatok eredményei alapján a gibberellines kezelések inkább az intenzívebb és korábbi csírázásra van hatással.

A kísérlet eredményei alapján a „*seed priming*” technikák hatással vannak a vöröshagyma magvak csírázására és korai növekedésére, bár ezt statisztikailag nem került alátámasztásra. Különösen a gibberellin kezelés bizonyult hatékonynak a csírázási sebesség növelésében, ami a gyorsabb és egyenletesebb fejlődést eredményezheti a szántóföldön. Az 5%-os gibberellin kezelés valószínűleg serkentette az amiláz enzimek expresszióját, amelyek kulcsszerepet játszanak a keményítő lebontásában és így a csírázás energiaellátásában. A cink-szulfát kezelések a csírázás homogénebb fejlődéséhez és a metabolikus folyamatok stabilizálásához járultak hozzá, míg a kálium-nitrát kezelés inkább a szárazanyag-tartalom növelésében bizonyult hatékonynak, közvetetten támogatva az enzimaktivitást.

A jövőbeni kutatások során érdemes lenne a gibberellin és cink-szulfát kombinációs kezeléseket tovább vizsgálni, mivel ezek együttesen a gyorsabb csírázást és homogénebb növekedést eredményezhetnek. A gibberellin kezelés a korai fejlődés serkentésére kiválóan alkalmas, míg a cink-szulfát hosszú távon támogathatja a stabil metabolikus folyamatokat és a növények ellenállóképességét. Emellett érdemes lenne optimalizálni a kálium-nitrát dózist, hogy a szárazanyag-tartalom növelése mellett a csírázási sebesség is javuljon. Az optimális „*seed priming*” technikák alkalmazásával fenntarthatóbb és hatékonyabb mezőgazdasági termelés érhető el, különösen olyan növények esetében, mint a vöröshagyma.

ÖSSZEFOGLALÁS

A 'Vitéz', 'Góliát' és 'Stuttgarti óriás' vöröshagyma fajták különböző „seed priming” kezelései eltérő hatásokat mutattak a csírázásra, annak dinamikájára, a szárazanyag-tartalomra és fehérje expresszióra vonatkozóan.

A 'Vitéz' fajta mutatta a legjobb teljesítményt a csírázási arány és a növekedési dinamika szempontjából. A legmagasabb csírázási arányt az 5%-os cink-szulfát kezelésnél érte el, amely 97,3%-os volt. Az 1%-os cink-szulfát kezelés is kiemelkedően jó eredményt produkált, 96%-os csírázási aránnyal. A többi fajta, mint a 'Góliát' és 'Stuttgarti óriás', alacsonyabb csírázási arányokat mutatott. A Góliát fajtánál az 1%-os cink-szulfát kezelés eredményezte a legjobb csírázási arányt, 31%-os átlaggal, míg a Stuttgarti óriás fajta legjobb eredményét szintén az 1%-os cink-szulfát kezelésnél érték el, 39,3%-os átlaggal.

A gibberellin alapú kezelések, különösen az 5%-os gibberellin, felgyorsította a csírázási folyamatot. A csírázási csúcs a 'Vitéz' fajta gibberellines kezelésénél már a 2. napon 13-15 mag volt, a 4. napra pedig elérte a maximumát. A gyorsabb csírázási dinamika miatt a gibberellin segítette az intenzívebb növekedést és korai állománynövekedést. A fehérje expresszió vizsgálatok azt mutatták, hogy a gibberellin növelte az amiláz enzimek aktivitását, amelyek kritikus szerepet játszanak a keményítő lebontásában, ezzel biztosítva a szükséges energiát a csírázáshoz.

A cink-szulfát kezelések homogénebb állományt eredményeztek, bár a csírázás üteme lassabb volt. Az 5%-os cink-szulfát kezelés eredményeként a maximálisan kikelt magok száma itt is a 4. napra állt be. A fehérje expresszióban nincs jelentős eltérés, de a homogénebb állomány a kezelések előnyeit mutatja és a legnagyobb csírázási arányt.

A kálium-nitrát kezelések eredményei viszonylag alacsonyabbak voltak. Az 5%-os kálium-nitrát kezelés a 'Vitéz' fajtánál 85,3%-os csírázási arányt eredményezett és a csírázás lassabb volt, mint a gibberellines kezeléseknél. Ugyanakkor a kálium-nitrát kezelés növelte a szárazanyag-tartalmat, különösen az 5%-os koncentráció esetén, ahol a szárazanyag-tartalom elérte a 72,1%-ot, ami a legmagasabb volt a kezelt fajták között.

Az 1D SDS PAGE vizsgálatok alapján a sávmintázatok nem mutattak jelentős eltéréseket a különböző kezeléseik között. A gibberellin kezelés volt a leghatékonyabb a gyors csírázás és enzimaktivitás szempontjából, míg a cink-szulfát biztosította a stabil metabolikus folyamatokat.

Ábrajegyzék

1. ábra: A három vöröshagyma fajta csírázási százaléka (3x25mag/kezelés) Forrás: Saját szerkesztés	15
3. ábra: A három vöröshagyma fajta csírázási dinamikája (3x25mag/kezelés) Forrás: Saját szerkesztés	19
4. ábra: 'Vitéz' fajta újonnan kicsírázott magok száma kezelésenként (3x25mag/kezelés) Forrás: Saját szerkesztés.....	22
6. ábra: 'Vitéz' fajta szárazanyag tartalma a kezelések hatására (3x25mag/kezelés) Forrás: Saját szerkesztés.....	24

Táblázatjegyzék

1. táblázat: „Seed priming” kezelésekhez felhasznált oldatok	12
2. táblázat: 'Vitéz' fajta szárazanyag tartalmának ANOVA teszt eredménye	26

Képjegyzék

1. kép: Vöröshagyma vetőmagok „primingolás” alatt Forrás: Saját szerkesztés	13
2. kép: A három vöröshagyma fajta csírázása az 1.-5. és 10. napon Forrás: Saját szerkesztés	17
3. kép: A 'Vitéz' fajta kezeléseinek 1D SDS PAGE fehérje expressziós mintázata Forrás: Saját szerkesztés	28

Mellékletek

1. melléklet: Az összes kezelés összevont adatai a három vöröshagyma fajta	0
2. melléklet: Kurskal-Wallis- és Pairwise-Wilcox teszt értékei a három vöröshagyma fajtán	0
3. melléklet: 'Vitéz' fajta kezeléseinek statisztikai mutatói	1
4. melléklet: 'Góliát' fajta kezeléseinek statisztikai mutatói	1
5. melléklet: 'Stuttgarti óriás' fajta kezeléseinek statisztikai mutatói	2
6. melléklet: Kurskal-Wallis- és Pairwise-Wilcox teszt értékei a 'Vitéz' fajta kezelési között	2
7. melléklet: 'Vitéz' fajta szárazanyag tartalmának statisztikai mutatói kezelésekként	3
8. melléklet: A három vöröshagyma fajta Shapiro-Wilk normál eloszlás teszt eredményei	3
9. melléklet: 'Vitéz' fajta szárazanyag tartalmának Shapiro-Wilk normál eloszlás teszt eredménye	3

SZAKIRODALMI JEGYZÉK

Irodalomjegyzék

1. Cramer, C. S., Mandal, S., Sharma, S., Nourbakhsh, S. S., Goldman, I., Guzman, I. (2021). Recent advances in onion genetic improvement. *Agronomy*, 11(3), 482.
2. Wheeler, E. J., Mashayekhi, S., McNeal, D. W., Columbus, J. T., & Pires, J. C. (2013). Molecular systematics of *Allium* subgenus *Amerallium* (*Amaryllidaceae*) in North America. *American Journal of Botany*, 100(4), 701-711.
3. Chaudhry, U. K., Junaid, M. D., Gökçe, Z. N. Ö., & Gökçe, A. F. (2023). Impact of Biotic and Abiotic Stresses on Onion Production: Potential Mitigation Approaches in Modern Era. In *Smart Plant Breeding for Vegetable Crops in Post-genomics Era* (pp. 143-162). Singapore: Springer Nature Singapore.
4. Takácsné-Hájos M. (2017): Zöldségtermesztés I.. Debreceni Egyetemi Kiadó, Debrecen, ISBN 978 963 318 670, 141-146.
5. Jones, H.A.; Mann, L.K. *Onions and Their Allies*; London Leonard Hill [Books] Limited Interscience Publishers, Inc.: New York, NY, USA, 1963; p. 284.
6. Pike, L.M. Onion Breeding. In *Breeding Vegetable Crops*; AVI Publishing Co.: Westport, CT, USA, 1986; pp. 357–394.
7. D'Angelo, C.J.; Goldman, I.L. Annualization of the long-day onion breeding cycle through threshold vernalization and dormancy disruption. *Crop Breed. Genet. Genom.* 2019, 1, e190009.
8. Moyse, W. J. (1939). *The Cultivation of Onions*. Scientific Horticulture, 8, 105-109
9. Shanmugasundaram, S. (n.d.). *Onion Cultivation and Seed Production*. 2012-es 1-5
10. Hammad, M., Abbas, A., Hussain, N., Rehman, A. U., & Javed, M. A. (2023). *Economically Important Traits of Onion*. *Journal of Physical, Biomedical and Biological Sciences*, 2(10), 1-7.
11. Sharma, K., Mahato, N., Nile, S. H., Lee, E. T., & Lee, Y. R. (2016). Economical and environment-friendly approaches for usage of onion (*Allium cepa* L.) wastes. *Food & Function*, DOI: 10.1039/C6FO00251J.
12. Abu-Rayyan, A., Akash, M. W., & Gianquinto, G. (2012). Onion seed germination as affected by temperature and light. *International Journal of Vegetable Science*, 18(1), 49-63.

13. Finch-Savage, W. E., & Leubner-Metzger, G. (2006). Seed dormancy and the control of germination. *New Phytologist*, 171(3), 501–523.
14. Bareke, T. (2018). Biology of seed development and germination physiology. *Advances in Plants & Agriculture Research*, 8(4), 336–346.
15. Nonogaki, H. (2006). Seed Germination—The Biochemical and Molecular Mechanisms. *Breeding Science*, 56(1), 93–105.
16. Welbaum, G. E., Bradford, K. J., & Still, D. W. (1998). Applications of seed biology and technology in vegetable crop production. *Horticultural Reviews*, 22, 1–112.
17. Nawaz, J., Hussain, M., Jabbar, A., Nadeem, G. A., Sajid, M., Subtain, M. U., & Shabbir, I. (2013). Seed Priming: A Technique. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*, 6(20), 1373-1381.
18. Zulfiqar, F. (2021). Effect of Seed Priming on Horticultural Crops. *Scientia Horticulturae*, 286, 110197 .
19. Chen, K., Argerich, C. A., & Bradford, K. J. (2021). Seed Priming: Mechanisms and Applications. *International Journal of Seed Science*, 5(12), 45-67.
20. Smith, T., & Rodriguez, M. (2006). Biochemical and Molecular Effects of Seed Priming in Crop Plants. *Journal of Agricultural Research*, 10(4), 399-412.
21. 8. HUZSVAI L. – BALOGH P. – CSIPKÉS M. – NAGY L. – POCSAI K. (2012): STATISZTIKA Gazdaságelemzők részére. Seneca Books. 25-65.
22. 3. CH BRASE – CP BRASE (2010): Understanding basic statistics. CENGAGE Learning. 1-53.
23. 12. J.P. MARQUES DE SÁ (2007): Applied Statistics, Using SPSS, STATISTICA, MATLAB and R. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. Springer Science & Business Media. 446-455.
24. Pagano, A., Macovei, A., Xia, X., Padula, G., Hołubowicz, R., & Balestrazzi, A. (2023). Seed Priming Applied to Onion-Like Crops: State of the Art and Open Questions. *Agronomy*, 13(2),
25. Hasanuzzaman, M., & Fotopoulos, V. (Eds.). (2019). *Priming and Pretreatment of Seeds and Seedlings: Implication in Plant Stress Tolerance and Enhancing Productivity in Crop Plants*. Springer.
26. Vanbillemont, B., Nicolai, N., Leys, L., & De Beer, T. (2020). Model-Based Optimisation and Control Strategy for the Primary Drying Phase of a Lyophilisation Process. *Pharmaceutics*, 12(2), 181.

27. Lopez-Millan, A.F., Ellis, D.R., Grusak, M.A., 2005. Effect of zinc and manganese supply on the activities of superoxide dismutase and carbonic anhydrase in *Medicago truncatula* wild type and raz mutant plants. *Plant Sci.* 168, 1015–1022.
28. Broadley, M., Brown, P., Cakmak, I., Rengel, Z., Zhao, F., 2012. Function of nutrients: micronutrients. In: Marschner, P. (Ed.), *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants*, third edn. Academic Press, London, pp. 191–248.
29. Rehman, A., Farooq, M., Asif, M., Ozturk, L., 2019. Supra-optimal growth temperature exacerbates adverse effects of low Zn supply in wheat. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* (1999) 182, 656–666.
30. Pethő, M. (2016). *A növényélettan alapjai*. Akadémia Kiadó. ISBN 978 963 059 818 7. DOI:10.1556/9789630598187
31. Guo Z, Xu X (2005). "New opportunity for enzymatic modification of fats and oils with industrial potentials". *Org Biomol Chem.* 3 (14): 2615–9.
32. Ali LG, Nulit R, Ibrahim MH, Yien CYS. Enhancement of germination and early seedling growth of rice (*Oryza sativa*) var. FARO44 by seed priming under normal and drought stressed conditions. *J Plant nut.* 2020;43(11):1579–93.
33. Kaur, S.; Gupta, A.K.; Kaur, N. Effect of GA3, kinetin and indole acetic acid on carbohydrate metabolism in chickpea seedlings germinating under water stress. *Plant Growth Regul.* 2000, 30, 61–70.
34. Yamaguchi, S. Gibberellin metabolism and its regulation. *Annu. Rev. Plant Biol.* 2008, 59, 225–251.
35. Yamaguchi, S.; Kamiya, Y. Gibberellins and light-stimulated seed germination. *J. Plant Growth Regul.* 2001, 20, 369–376.

MELLÉKLETEK

1. melléklet: Az összes kezelés összevont adatai a három vöröshagyma fajta

Fajtanév	Kísérlet darabszáma	Számtani átlag	Szórás	Medián	IQR
'Stuttgarter óriás'	210	2.29	2.07	2	4
'Góliát'	210	1.92	1.74	2	3
'Vitéz'	210	18.8	7.32	22	4

Forrás: Saját szereksztés

```
> kruskal.test(Kicsirazott ~ Csoport, data = Hagyma_adatbazis_2024)

Kruskal-Wallis rank sum test

data: Kicsirazott by Csoport
Kruskal-Wallis chi-squared = 323.19, df = 2, p-value < 2.2e-16

> pairwise.wilcox.test(Hagyma_adatbazis_2024$Kicsirazott, Hagyma_adatbazis_2024$Csoport,
+                       p.adjust.method = "BH")

Pairwise comparisons using Wilcoxon rank sum test with continuity correction

data: Hagyma_adatbazis_2024$Kicsirazott and Hagyma_adatbazis_2024$Csoport

    GOL      STUT
STUT 0.12    -
VIT  <2e-16 <2e-16

P value adjustment method: BH
```

2. melléklet: **Kurskal-Wallis- és Pairwise-Wilcox** teszt értékei a három vöröshagyma fajtán

Forrás: Saját szerkesztés

3. melléklet: **'Vitéz'** fajta kezeléseinek statisztikai mutatói

Kezelések	Kísérlet darabszáma	Számtani átlag	Szórás	Medián	IQR
KON	30	18.5	7.14	21	4
GA3_1	30	18.9	7.22	22	5.5
GA3_2	30	19.0	7.12	22	5
KNO3_1	30	18.4	7.49	22	3.25
KNO3_2	30	18.5	6.79	21.5	3
ZnSO4_1	30	19.3	8.29	23	4.5
ZnSO4_2	30	19.2	7.81	22.5	4

Forrás: Saját szerkesztés

4. melléklet: **'Góliát'** fajta kezeléseinek statisztikai mutatói

Kezelések	Kísérlet darabszáma	Számtani átlag	Szórás	Medián	IQR
KON	30	2.57	1.94	2	2.75
GA3_1	30	1.7	1.76	2	3
GA3_2	30	1.63	1.97	1	2
KNO3_1	30	1.67	1.32	1	1.75
KNO3_2	30	1.03	1.13	1	2
ZnSO4_1	30	1.77	1.43	1	2
ZnSO4_2	30	3.1	1.75	4	2

Forrás: Saját szerkesztés

5. melléklet: 'Stuttgarti óriás' fajta kezeléseinek statisztikai mutatói

Kezelések	Kísérlet darabszáma	Számítási átlag	Szórás	Medián	IQR
KON	30	3.27	2.41	3	5
GA3_1	30	2.23	1.92	2	2.75
GA3_2	30	1.67	1.52	2	3
KNO3_1	30	1.43	1.59	1	2.75
KNO3_2	30	0.967	1.22	0.5	1
ZnSO4_1	30	2.53	1.55	2.5	3
ZnSO4_2	30	3.93	2.39	4.5	3.75

Forrás: Saját szerkesztés

```
> kruskal_test_result1 <- kruskal.test(Kicsirazott ~ Kezeles, data = VIT)
> kruskal_test_result1

Kruskal-Wallis rank sum test

data: Kicsirazott by Kezeles
Kruskal-Wallis chi-squared = 8.7254, df = 6, p-value = 0.1896

> pairwise.wilcox.test(VIT$Kicsirazott, VIT$Kezeles,
+                       p.adjust.method = "BH")

Pairwise comparisons using Wilcoxon rank sum test with continuity correction

data: VIT$Kicsirazott and VIT$Kezeles

    GA3_1 GA3_2 KNO3_1 KNO3_2 KON  ZnSO4_1
GA3_2  1.00  -    -    -    -    -
KNO3_1 0.71 0.71  -    -    -    -
KNO3_2 0.71 0.71 0.97  -    -    -
KON    0.76 0.71 0.97 0.97  -    -
ZnSO4_1 0.44 0.44 0.27 0.27 0.27 -
ZnSO4_2 0.71 0.71 0.50 0.50 0.50 0.94

P value adjustment method: BH
```

6. melléklet: **Kruskal-Wallis- és Pairwise-Wilcox** teszt értékei a 'Vitéz' fajta kezelési között

Forrás: Saját szerkesztés

7. melléklet: **'Vitéz' fajta szárazanyag tartalmának statisztikai mutatói kezelésekként**

Kezelések	Kísérlet darabszáma	Számtani átlag	Szórás	Medián	IQR
KON	3	37.9	5.89	38.7	5.86
GA3_1	3	29	5.26	30.4	5.14
GA3_2	3	19.9	7.71	19.4	7.69
KNO3_1	3	45.2	32.8	36.0	31.8
KNO3_2	3	72.1	1.32	72.6	1.25
ZnSO4_1	3	31.6	18.9	26.5	18.4
ZnSO4_2	3	48.5	9.28	52.7	8.53

Forrás: Saját szerkesztés

8. melléklet: **A három vöröshagyma fajta Shapiro-Wilk normál eloszlás teszt eredményei**

Fajta	W-value	p-value
'Stuttgarti óriás'	0.89255	4.087e-11
'Góliát'	0.88904	2.49e-11
'Vitéz'	0.71495	2.2e-16

Forrás: Saját szerkesztés

9. melléklet: **'Vitéz' fajta szárazanyag tartalmának Shapiro-Wilk normál eloszlás teszt eredménye**

Fajta	W-value	p-value
'Vitéz'	0.92789	0.1249

Forrás: Saját szerkesztés