

DIPLOMADOLGOZAT

Sidló Sára

2024



Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem
Szent István Campus
Genetikai és Biotechnológiai Intézet
Mesterképzés mezőgazdasági biotechnológus szak

**ANTOCIANIN TARTALOM HATÁSA A PAPRIKA
TERMÉSEK BELTARTALMI ÉRTÉKEIRE ÉS A
PULTONTARTHATÓSÁGRA**

Belső konzulens¹:	Dr. Veres Anikó egyetemi docens
Belső konzulens²:	Dr. Kovács Zsófia egyetemi adjunktus
Belső konzulensek intézete/tanszéke:	Genetikai és Biotechnológiai Intézet, Genetika és Genomika Tanszék
Készítette:	Sidló Sára

Gödöllő
2024

Tartalomjegyzék

1	Bevezetés és célkitűzések.....	2
2	Szakirodalmi áttekintés	4
2.1	Antocianinok	4
2.2	Antocianinok a <i>Solanaceae</i> családnál	5
2.3	Antocianinok hatása és szerepe az egyes szervezetekben	5
2.4	<i>Botrytis cinerea</i>	7
2.5	<i>Fusarium culmorum</i>	8
2.6	Tárolás hatása a paprika termésekre	9
2.7	Paprika kivonatok antimikrobiális hatása.....	11
3	Anyag és módszer	13
3.1	Növényanyag.....	13
3.2	Pultontarthatóság paraméterek és beltartalmi mutatók.....	13
3.2.1	Antioxidáns kapacitás FRAP (Ferric Reducing Ability of Plasma) meghatározás	14
3.2.2	Totál Polifenol tartalom (TPC) meghatározás	14
3.2.3	Totál Monomer Antocianin (TMA) tartalom meghatározás	14
3.3	Mesterséges fertőzés <i>Botrytis cinerea</i> , <i>Fusarium culmorum</i> gombákkal.....	15
3.4	Patogének növekedési erélyének vizsgálata	16
3.5	Antimikrobiális hatás	16
4	Eredmények és értékelésük	17
4.1	Eredmények ismertetése.....	17
4.1.1	Pultontarthatósági paraméterek eredményei.....	17
4.1.2	Mesterséges fertőzés eredményei	21
4.1.3	<i>Botrytis</i> és <i>Fusarium</i> gombák növekedési erélyének eredményei.....	24
4.1.4	Antimikrobiális hatás eredményei	26
4.2	Eredmények kiértékelése.....	27
4.2.1	Pultontarthatósági paraméterek kiértékelése	27
4.2.2	Antimikrobiális hatás kiértékelése.....	31
5	Következtetések és javaslatok	33
5.1	Pultontarthatósági paraméterek következtetései.....	33
5.2	Mesterséges fertőzés következtetései	37
5.3	Antimikrobiális hatás következtetései	39
6	Összefoglalás.....	41
7	Irodalomjegyzék.....	44

1 Bevezetés és célkitűzések

A paprika a *Solanaceae* családon belül a *Capsicum* nemzetségbe tartozik, ez az egyik legkorábban domesztikált zöldségnövényünk. A *Capsicum* nemzetség megközelítőleg 38 fajt foglal magába, melyek nagy része Amerikából származik. Az egyes fajok, fajták a 15. század környékén juthattak el Európába Kolombusz Kristóf segítségével a nagy földrajzi felfedezésekkor, később innen kerülhettek át Afrika és Ázsia egyes térségeibe. Az 5 fő domesztikált faj a *Capsicum baccatum*, *Capsicum chinense*, *Capsicum frutescens*, *Capsicum pubescens*, és a legnagyobb gazdasági jelentőségű, és legnagyobb mennyiségben fogyasztott *Capsicum annuum*.

A paprika az egész világon termesztett, a friss fogyasztás és a feldolgozás szempontjából is nagy gazdasági jelentőséggel bír, azonban rövid eltarthatósági idővel jellemezhető. A zöldségtermesztésben a betakarítás utáni gazdasági veszteségek egyik fő oka a patogén gombák által okozott fertőzések kialakulása. Az egyik legnagyobb kártételű tárolási kórokozó a *Botrytis cinerea*, amely patogén által előidézett szürkepenészes rothadás jelentősen rontja a paprika termékek minőségét a szállítás és tárolás során. Ugyanakkor lila színű paradicsom terméseknél megállapították, hogy a termésekben szintetizált antocianinok fokozák a raktári kórokozókkal, mint például a *B. cinerea*-val szembeni ellenállóképességet és meghosszabbítják a termések pultontarthatóságának idejét. A *Capsicum* nemzetségen belül is előfordulnak lila termésű étkezési fajták, melyek a gazdasági érettség fázisában halmozzák fel legnagyobb mennyiségben az antocianinokat, ami azonban az érés előrehaladtával a legtöbb fajta esetén lebomlik. Ugyanakkor a paprika különböző színanyagai, mint klorofilok, karotinoidok és az antocianinok fitonutriens tulajdonsággal is rendelkeznek, jótékony hatást gyakorolnak a növényi és az őket fogyasztó állati/ emberi szervezetekre (antioxidáns kapacitás, antimikrobiális hatás, stb.).

Manapság egyre növekvő népszerűséggel jellemezhetők az egészségvédő szereppel is rendelkező, funkcionális élelmiszerek a fogyasztók körében, amely azt eredményezi, hogy nő az igény a természetes eredetű színezékekkel kapcsolatos kutatásokra. A *Capsicum* nemzetség tagjaiban számos olyan fitonutriens vegyület található, melyek vizsgálata nem csak a termés tárolásának szempontjából, hanem a humán táplálkozás vonatkozásában is érdekes terület lehet.

Előzőekből kiindulva munkánk során liluló és nem liluló paprika nemesítési vonalak terméseit vizsgáltuk. Célkitűzéseink közé tartozott, összefüggéseket kimutatni a termékek antocianin tartalma és pultontarthatósága között, és megnézni egy szimulált tárolási kísérlet hatását a termékek különböző beltartalmi mutatóira, összehasonlítani a termékek raktári

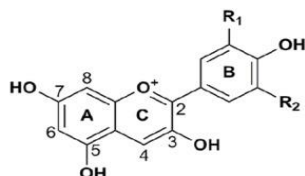
kórokozókkal szembeni érzékenységét (*Fusarium culmorum*, *Botrytis cinerea*), valamint vizsgálni a termésekből nyert extraktumok antimikrobiális hatását.

2 Szakirodalmi áttekintés

2.1 Antocianinok

Az antocianin bioszintézis út az általános flavonoid bioszintézis útvonal kiterjesztése (Stommel et al. 2009, Aza-Gonzalez et al. 2013, Passeri et al. 2016). Az antocianinok a flavanok és flavonokkal együtt a flavonoidok osztályába tartozó természetes, vízdékony pigmentek, másodlagos anyagcsere termékek, a polifenolos pigmentek csoportját képezik (Howard et al. 2000, Tanaka és Ohmiya 2008, Tanaka et al. 2008, Stommel et al. 2009, Liu et al. 2018). Az antocianinok kémiaiilag az antocianidinek glikozilált termékei (Tanaka et al. 2008), ahol a glikoziláció reakciója során az antocianidinek néhány, vagy összes hidroxil (-OH) csoportjának helyére cukor csoportok kerülnek. Az antocianidinek és antocianinek bioaktivitását a glikoziláló cukrok jellege, száma és kötődési pozíciója határozza meg (Brouillard 1982). A glikoziláció az antocianinok további citoszolikus módosításainak, mint másodlagos glikozilálásnak, acilálásnak stb. az előfeltétele (Brouillard 1982).

Az antocianinok felépítésüket tekintve egy antocianidin gerincből, egy cukor molekulából és egy acil konjugáltból állnak (Stommel et al. 2009). Alapszerkezetük egy oxigén tartalmú heterociklusos vegyület által összekötött 2 aromás benzolgyűrű (Tanaka et al. 2008). Az elsődleges antocianidinek mint delphinidin, cianidin, pelargonidin a B gyűrűn elhelyezkedő hidroxil csoportok számában különböznek egymástól (1. ábra) (Tanaka és Ohmiya 2008, Liu et al. 2018).



Anthocyanidin	R ₁	R ₂	Pepper	Eggplant	Tomato	Potato
Pelargonidin (Pg)	H	H				X
Cyanidin (Cy)	OH	H				X
Delphinidin (Dp)	OH	OH	X	X	X	X
Peonidin (Pn)	OCH ₃	H				X
Petunidin (Pt)	OH	OCH ₃			X	X
Malvidin (Mv)	OCH ₃	OCH ₃			X	X

1. ábra: Antocianinok szerkezete (Forrás: Liu et al. 2018).

Az antocianin tartalom genetikailag és a környezet által meghatározott tényező (Aza-González et al. 2017), adott pillantaban jelen lévő mennyiségük a bioszintézis és a degradáció közötti egyensúlytól függ. Amíg az antocianinok bioszintézisről alapos tudással és nagy mennyiségű információval rendelkezünk, addig a degradációjukról korlátozottak az ismereteink (Passeri et al. 2016).

2.2 Antocianinok a *Solanaceae* családnál

A természetben jelenleg több mint 20 féle antocianidint azonosítottak (Rein 2005). Az antocianidineket molekuláris szerkezetük szerint csoportosítják, melyből 6 fordul elő leggyakrabban a növényvilágban: cianidin, delfinidin, peonidin, pelargonidin, petunidin és malvidin (Tanaka et al. 2008, He és Giusti 2010, Zhao et al. 2014, Di Gioia et al. 2020).

A *Solanaceae* családban az antocianin anyagsere útjának tanulmányozására a legtöbb és legátfogóbb vizsgálatokat a *Petunia hybrida* virágaiban végezték (Passeri et al. 2016). A petúniában tanulmányozott mechanizmusok megfeleltethetők a vele azonos családból származó termesztett zöldségfélékével (Spelt et al. 2000), mint a paprika, paradicsom, burgonya és tojásgyümölcs, mely fajok egyes fajtái képesek különböző mértékű antocianin felhalmozásra (Dhar et al. 2015). A *Solanaceae* család antocianint szintetizáló fajtáiban a delfinidin származékok az uralkodó vegyületek (Su et al. 2016).

Az antocianinok felhalmozódása leggyakrabban a virágok, a termések és a levelek szöveteiben figyelhető meg (Lightbourn et al. 2008, Aza-González et al. 2012). A paprika, paradicsom, tojásgyümölcs termése esetében a felhalmozódás csak a héjra korlátozódik. Léteznek olyan burgonya fajták, melyek a gumó belső szöveteiben is képesek antocianint termelni és raktározni (Lightbourn et al. 2008). Az éretlen paprika terméseknek színtelen az exokarpiuma, az alatta található 2-5 sejtsorban lévő sejtek vakuólumjában találhatók antocianinok, ez alakítja ki a lila vagy fekete héjszínt a gazdasági érettség fázisában (Lightbourn et al. 2008). Míg a lila gumójú burgonyákban a termelődött antocianinok stabilan képesek fent maradni az érés során, addig a lila bogyójú paprikákban az antocianin koncentráció a bogyó éretlen/gazdaságilag érett fázisában a legmagasabb, majd az érés előrehaladtával folyamatos csökkenést mutat, a biológiai érettséget elérve teljesen el is tűnhet (Mennella et al. 2012), végül a termés általában vörös színűvé válik (Liu et al. 2020).

A lila szövetekkel rendelkező paprika növényekben 16 féle antocianint mutattak ki. Legnagyobb arányban a delfinidin, a cianidin és a malvidin származékok fordultak elő (Liu et al. 2020). Főként delfinidin 3-O-rutinozid és delfinidin 3,5-diglükózid halmozódtak fel, utóbbi nagyobb mennyiségben volt megtalálható (Lightbourn et al. 2008, Stommel et al. 2009, Liu et al. 2020).

2.3 Antocianinok hatása és szerepe az egyes szervezetekben

Az antocianinok a szövetek színének kialakításán túl számos előnyös biológiai funkcióval is rendelkeznek (Shang et al. 2011, Landi et al. 2015). A virágok és termések élénk

színének kialakítása révén vonzzák a beporzó rovarokat, ezzel segítve a megporzást és magterjesztést (Hoballah et al. 2007, Shang et al. 2011).

A növényeket ért stresszhatások fokozhatják az antocianinok termelését (Gould 2004). Az intenzívebb bioszintézis oka, hogy az antocianinok védelmi szerepet töltenek be az abiotikus stresszhatásokkal szemben, mint a magas fényintenzitás (Lightbourn et al. 2007), erős UV sugárzás (Guo és Wang 2010), alacsony tápanyag ellátottság és a kedvezőtlenül alacsony hőmérséklet (Jiang et al. 2007, Qiu et al. 2016, Aza-González et al. 2017, Sicilia et al. 2020). A növényeknél az egyik legfontosabb antocianin bioszintézist meghatározó tényező a fény (Maier és Hoecker 2015). Az antocianinok fotoprotektívek, jelenlétükkel árnyékolják, biológiai funkciójuk révén védik a fotoszintetikus apparátust az erőteljes és fölösleges besugárzott fénytől (Guo et al. 2008). Antioxidáns és szabadgyökmegkötő képességük révén védik a DNS-t a káros oxidációtól, részt vesznek a reaktív oxigéngyökök semlegesítésében (Landi et al. 2015, Chaves-Silva et al. 2018). A *Capsicum* nemzetség tagjai kiemelkedően magas antioxidáns kapacitású zöldségnövényeknek számítanak (Ou et al. 2002, Di Gioia et al. 2020). Magas antocianin tartalmú, lila színű paprika levelekben erőteljesebb foto-oxidációs toleranciát és stabilabb PSII fotoszintetikus kapacitást mutattak ki, mint az antocianinoktól mentes zöld színű levelekben (Ou et al. 2013). A hőmérséklet esetében az optimálistól eltérő, a növény tűrőképessége szempontjából szélsőséges értékeknek van befolyása a termelődésre. A hidegstressz nem csak a vegetatív időszakban, hanem a betakarítást követően a hűtőtárolás során is megemelheti az antocianinok termelődését. Vérnarancs termések esetében több napon keresztül 4 °C-on történő tárolás a pigmentált régiók antocianin tartalmának emelkedését okozták (Sicilia et al. 2020). Tápanyaghiány, pontosabban foszforhiány esetén antocianin tartalom emelkedése volt kimutatható (Jiang et al. 2007).

Biotikus stresszhatásokra, mint az egyes kártevő és kórokozó-fertőzések szintén megemelkedhet az antocianin bioszintézis intenzitása (Lorenc-Kukuła et al. 2005, Tanaka et al. 2008, He és Giusti 2010, Ahmed et al. 2014). A *Pseudowintera colorata* növényen okozott mechanikai sérülések magas oxidatív stresszt eredményeztek, melyből gyorsabb felépülést mutattak az antocianinban gazdag levelek (Gould et al. 2002).

Dohánynövényeknél megfigyelték, hogy a biotikus stresszt okozó *Helicoverpa armigera* lárvák táplálkozásukban jobban preferálták az nem pigmentált szövetrészeket, mint a pigmentált, lila színűeket (Malone et al. 2009).

Paradicsom termésekkel végzett kísérletek során alátámasztották, hogy az antocianin tartalom szerepet játszhat a raktári kórokozókkal szembeni ellenállóképesség fokozásában és a pultontarthatósági idő meghosszabbításában is (Zhang et al. 2013).

Az emberi szervezet számára is ismert jótékony hatásuk. Kiemelt táplálkozási értékük mellett egészségvédő szerepük is igazolt (He és Giusti 2010, Marszalek et al. 2017). Antocianinok hatásosnak bizonyultak a rák kialakulása elleni védelemben, tumorgátló hatásúak (Wang és Stoner 2008), de számos egyéb krónikus humán betegség, mint kardiovaszkuláris zavarok megelőzésében is szerepet játszanak (Tsuda et al. 2003, Vera-Guzmán et al. 2011, Marszalek et al. 2017).

2.4 *Botrytis cinerea*

Ahogy a termesztett gyümölcs és zöldségnövények többségénél, a paprikánál is már a termesztési idő alatt jelentkező egyik hozamot befolyásoló tényező a gombák és bakteriális kórokozók által okozott betegségek kialakulása (Pernezny et al. 2003). A vegetációs időszakban a paprika termést fertőző legfontosabb kórokozók: *Botrytis cinerea*, *Alternaria spp.*, *Xanthomonas spp.*, *Colletotrichum spp.* és a *Phytophthora capsici* voltak (Tzortzakis et al. 2019).

A *B. cinerea* rendkívül polifág kórokozó, több mint 200 növényfajt fertőz (Kumar et al. 2020). A spórák előfordulnak a szántóföldön, és termesztőberendezésekben egyaránt, ahol a talajban, a növényi maradványokon és a szomszédos fertőzött töveken lehetnek jelen (Rotem 1981, Hausbeck és Moorman 1996). A konídiumok könnyen terjednek akár nagyobb távokra is a légáramlatok révén, a fertőzött növényi részekről a relatív páratartalom és a légmozgás segítségével szabadulnak fel (Hausbeck és Moorman 1996). Miután a konídiumok eljutnak a fogékony növények és termések felületére, kicsíráznak, és csíracövet képezve fertőznek. A *B. cinerea* a növényi törmelékben (Elad és Shtienberg 1995) szkleróciumok és klamidospórák formájában képes túlélni (Hausbeck és Moorman 1996).

A hőmérséklet és a páratartalom napi ingadozása a száraz régiókban és még a védettebb növénytermesztő berendezésekben (üvegház, fóliasátor) is olyan mértékű lehet, hogy a keletkező harmat segíti az ott jelen lévő kórokozó fertőzését (Rotem 1981, Hausbeck és Moorman 1996). Amikor a fertőzés már a szántóföldön/termesztés helyszínén megtörténik, akkor a kolonizációt követően egy nyugalmi állapotba kerül a gomba, ilyenkor még nehezen észlelhető, úgynevezett látens a fertőzés. A betakarított terméseknek a tárolás során csökken az ellenálló képességük és fogékonyvá válnak a *B. cinerea*-ra. A gomba látens stádiumából aktívvá válva már képes kialakítani a rá jellemző szürkepenészes rothadást (Romanazzi és Feliziani 2014), mely jelentős mértékben képes rontani a paprika termések minőségét a szállítás és tárolás során (Krasnow és Ziv 2022). Paradicsom termésekben kimutatták, hogy az érés előrehaladtával nő a bogyók fogékonyága a *B. cinerea*-ra (Cantu et al. 2008).

A *B. cinerea* által okozott szürkepenészes rothadás folyamata a paprika termésben még nem teljesen tisztázott, valószínűleg hasonlóságot mutat más zöldségfélékével (Tzortzakis et al. 2019). A betakarítás után megjelent fertőzések forrása nehezen behatárolható. A termés fertőződhet közvetlenül egy szomszédos, már fertőzött terméssel való érintkezéstől, vagy sebzési felületen bejutott szaporító képlettől. Gyakori forrás az előzőekben ismertetett, látens fertőzés is (McColloch et al. 1982, Tzortzakis et al. 2019). A már leszedett, egészséges termésekbe a gomba kórokozók mechanikai sérüléseken, természetes nyílásokon keresztül juthatnak be, míg paprika esetében a *Fusarium subglutinans* a csészelevelek végén is képes behatolni (Utkhede és Mathur 2003).

A paprika kutikulája vastag és nem találhatók rajta sztómák (Parsons et al. 2013), azonban rendelkezik mikroszkópikus repedésekkel melyek belépési helyet nyújtanak a *B. cinerea* konídiumai számára (Weryszko-Chmielewska és Michalojc 2011). A *B. cinerea* többféle enzimet is termel a kutikula bontására, mint celluláz, kutináz, pektolitikus enzimek, melyek segítik a gomba behatolását a szövetekbe (Elad 1996). Az alacsony hőmérséklet gyengíti a kutikula és sejtszerkezetet, ami tovább növeli a növény fogékonyságát a kórokozóra (Purvis 2000). A betegségek korlátozására szolgáló minél korábbi betakarítás a paprika esetében nem kivitelezhető, mivel egyes fajták esetében a termések piaci értékét meghatározó beltartalmi mutatók, mint cukorfok, karotinoid, flavonoid, antioxidáns tartalom a növényen történő érés során alakulnak ki (Biles et al. 1993).

A *B. cinerea* a növényeken elsősorban a termésekben okoz jelentős károkat (Tzortzakis et al. 2019, McColloch et al. 1982). A kezdeti tünetek a vizenyős kissé beesett foltok, melyek egymással összeolvadva nagy, elszíneződött és puha foltokat alakítanak ki, teljes termésvesztést eredményezhetnek (Tzortzakis et al. 2019). A kórokozó ideális környezeti feltételek mellett (93% < relatív páratartalom (RP); 18-24 °C) gyorsan fejlődik, és rövid idő alatt képes elpusztítani a fertőzött növényeket, virágokat és gazdaságilag értéktelenné tenni betakarítás utáni terméseket (Hausbeck és Moorman 1996).

2.5 *Fusarium culmorum*

A *Fusarium culmorum* Sacc. a fonalas gombák *Hypocreales* rendjébe, azon belül a *Nectriaceae* családjába tartozó faj (Nelson et al. 1983). A *Fusarium* génusz több mint 20 fajt foglal magába (De Hoog et al. 2000).

A chili paprika termesztése során az egyes *Fusarium* fajok által okozott hervadásos betegség gyakori és jelentős termés kiesést okozhat (Singh et al. 2017). A becslések szerint a chilitermelés 10-80%-át érintheti. A károsítás mértéke függ a terület éghajlatától és a

termesztett fajtától (Loganathan et al. 2013). A *Fusarium* fajok egyes tagjai belső termésrothadást alakíthatnak ki a fertőzött növényeken, a betegség kezelése és megelőzése a paprikatermesztésben globális problémát jelent (Frans et al. 2018). A *F. culmorum* képes mikotoxin termelésre (Llorens et al. 2006). A növekedés és a toxintermelés viszonylag alacsony hőmérsékleten is bekövetkezhet a szántóföldön vagy a tárolás során (Valle-Algarra et al. 2011). Többnyire a betakarítás előtt megjelenő kórokozók, de egyes fajták (*F. semitectum*, *F. oxysporum*, *F. subglutinans* és *F. equiseti*, *Fusarium culmorum* stb.) a betakarítás után, a tárolási idő alatt is fertőzhetnek, és belső termésrothadást alkíthatnak ki (Perry et al. 1995, Mahovic et al. 2004, Rivedal et al. 2018, Abubakar et al. 2023). Egy faj dominanciáját egy adott régióban főként az éghajlat, különösen a hőmérsékleti viszonyok határozzák meg (Perry et al. 1995). A *F. culmorum* főként gabonalapú élelmiszerek eltarthatósági vizsgálataiban szerepel, kiemelt jelentőségű faj Németország nyugati részén (Muthomi et al. 2000), Kanadában (Clear és Patrik 2006), Norvégiában (Kosiak et al. 2003). A *F. culmorum* Magyarországon nem számít domináns fajnak, a búza populációban kevesebb, mint 5% az előfordulása (Molnár et al. 2024).

F. culmorum a *Solanaceae* családban burgonyánál száraz gumórothadást okoz (Tiwari et al. 2020), paprikáknál termésrothadást kialakító patogén gomba (Abubakar et al. 2023). A fertőzés már a szabadföldön megtörténik a virág fejlődésekor, majd a gomba látens stádiumban marad a zöld, éretlen termésben a termés színeződéséig (Frans et al. 2015). A bogyókban bekövetkező cukor és sav tartalom növekedése az érés során elősegítheti a patogének fertőzését (Prusky et al. 2016, Liu et al. 2018). A kórokozókkal szembeni ellenálló képesség tovább csökkenhet az érés előrehaladtával, ami a sejtfalak bontásából, az antifungiális vegyületek termelésének csökkenéséből, valamint a gazdaszervezet védekező mechanizmusainak gyengüléséből következhet (Prusky et al. 2013). A fertőzési folyamat során a *F. culmorum* sűrű micéliumhálózatot alakít ki a magokon és a fertőzött termés belső felületén. A fertőzés korai szakaszában a termések nem mutatnak külső tüneteket, rövid intercelluláris növekedést követően a hifák inter- és intracellulárisan fejlődnek, majd súlyos károkat okoznak a fertőzött szövetekben (beesett petyhüdt foltok) melyek a fertőzés későbbi stádiumában jelennek meg (*F. subglutinans*, *F. lactis*) (Zang et al. 2005; Frans et al. 2015).

2.6 Tárolás hatása a paprika termésekre

A világ gyümölcs és zöldségtermelésében a gazdasági veszteségek egyik fő oka a betakarítás utáni kártevők és kórokozók által okozott betegségek kialakulása (Singh és Sharma 2018). Becslések szerint a betakarítás utáni veszteség a teljes hozam több mint 40%-át is érintheti, mely jelentős részéért az egyes patogén gombák által okozott fertőzések a felelősek

(Abiad és Meho 2018). Az egyik legelterjedtebb ilyen nekrotróf gomba kórokozó a *B. cinerea* (Romanazzi és Feliziani 2014), mely gombának jelentős szerepe van a fejlett és fejlődő országokban megtermelt zöldségek minőségromlásában (Pernezny et al. 2003), mivel ez a betakarítás utáni kórokozó képes életben maradni és spórákat termelni szélsőséges viszonyok között is (Kelman 1989, Hua et al. 2018). A *Fusarium* fajok által okozott belső termésrothadás szintén veszélynek tekinthető a paprika hosszú távú tárolása során (Frans et al. 2014). Egy vizsgálat során megállapították, hogy a paprika terméseket fertőző fő kórokozók: *A. alternata*, *B. cinerea*, *F. avenaceum*, *F. culmorum* és *Trichoderma spp* voltak (Jamiołkowska 2011).

A paprika más zöldségfélékhez képest rövid eltarthatósági idővel jellemezhető (Glowacz és Rees 2016). Manapság ennek meghosszabbítására alacsony hőmérsékleten történő tárolást és modern szállítási technológiákat alkalmaznak (Zhang et al. 2021). A betakarított paprikát mossák, csomagolják, és értékesítésig alacsony (2-10 °C) hőmérsékleten tárolják. Egyes fajták akár 27 napig is eltarthatók (Maalekuu et al. 2003). A *B. cinerea* 0-26 °C-ig képes a betegség kialakítására (Tzortzakis et al. 2019), emiatt a hűtőtárolás nem nyújt teljes védelmet (Reyes 1990). A 10 °C alatti hőmérséklet *in vitro* jelentősen csökkenti a *Fusarium ssp.* micéliumok növekedési sebességét (Frans et al. 2017), azonban a *F. lactis*-sal természetesen fertőzött paprika termések hidegtárolása (7-16 °C) nem volt elegendő az tünetek megelőzésére (Sauviller et al. 2015). A termés eltarthatóságát a gombák által okozott kóros rothadás mellett a vízvesztéssel járó zsugorodás és a hűtési sérülésekre való érzékenység tovább korlátozza (Singh et al. 2014). A 13 °C feletti hőmérséklet felgyorsítja az érést, és nagyobb a fogékonyság a patogén fertőzésekre, azonban a 7 °C alatti hőmérséklet a paprika termés érettségi állapotától függően hűtési sérülést okozhat (Gonzálezaguilar et al. 2000, González-Aguilar et al. 2004). A hideg stressz hatására az egyes gyümölcs és zöldségfajok eltérő tüneteket produkálnak (Koushesh és Moradi 2017). Az alacsony hőmérséklet okozta tünetek közé tartozik a húspuhulás, zsugorodás, vizenyős foltok kialakulása, rothadásra való hajlam (Kong et al. 2019), de a terméseken megjelenő felületi lyukak, a magok barnulása, a szövetek elszíneződése is, melyek a minőségromlás révén komoly gazdasági veszteséget eredményezhetnek (Hardenburg et al. 1986). A tartósan alacsony hőmérséklet megzavarhatja a sejtek ROS-anyagcseréjét, ami oxidatív károsodások sorozatát eredményezi, mely így hűtés okozta sérülésekhez vezethet (Zhang et al. 2020).

A sejtfal szerkezete, integritása a termések szilárdságának elsődleges meghatározói (Dobón-Suárez et al. 2021). A sejtek turgorának csökkenése, így a termeshús puhulása a keményítő lebomlása és a sejtfal kémiai módosulása miatt is bekövetkezhet (Chen et al. 2011). A termés érési folyamatai a sejtmembránok áteresztőképességét megváltoztatják az idő

elteltével (Suslow, 2000), ami érzékenyebbé teszi a sejteket a vízvesztésre, ezáltal szintén csökkenhet a turgornyomás. A sejtek vízvesztéséből ered a termés tömegvesztése, ami az aktív anyagcsere-folyamatokkal együtt fokozódik (Barzegar et al. 2018). Paprikában a hideg stressz felgyorsította a membránok lipid peroxidációját, melyet a biomembránok szerkezeti károsodása és a membránokat bontó hidrolázok fokozott aktivitása kísért (Wang et al. 2016, Kong et al. 2018). A betakarítás utáni környezet szabályozhatja például a pektin-liáz és a β -galaktozidáz enzimek aktivitását (Dobón-Suárez et al. 2021). Lila paradicsom termésekben a β -galaktozidáz és poligalakturonáz csökkent aktivitását mérték, a piros színű termésekben mértekhez képest (Zhang et al. 2013). Ezek a változások a membránlipidek lebomlását idézik elő, miközben a sejtek kiszáradásához, végső soron a termés puhulásához, fonnyadásához vezethetnek (Kong et al. 2018). Az antocianinok azonban antioxidáns hatásuknak köszönhetően képesek megelőzni a lipid peroxidációt és fenntartani a membrán integritását (Jiao et al. 2012).

Paradicsom terméseknél kimutatták, hogy a magasabb antocianin tartalommal rendelkező bogyók jobb ellenállóságot mutattak a *B. cinerea*-val szemben. Elég volt csak a terméshéjra koncentrálnia az antocianin felhalmozódásnak és máris felvételezhető volt a fogékonyáguk közötti eltérés. A *B. cinerea* a lila színű termésekben szignifikánsan lassabban terjedt, mint a piros színűekben. A különbséget qPCR segítségével végzett mennyiségi meghatározással is alátámasztották, ezzel kifejezve a szövetekben jelen lévő gombák mennyiségét. További vizsgálataik során bebizonyították, hogy ez az ellenállóképesség nem függ össze a növény genetikai hátterével (Zhang et al. 2013).

A paprika termesztése során még mindig széles körben alkalmaznak fungicideket a szürkepenész és a paprika egyéb gombás betegségeinek leküzdésére, megelőzésére. Amíg nem találnak kielégítő alternatívát a gombafertőzések kezelésére, amely biztonságos addig továbbra is csak a fungicidek jelnehetik a megoldást. A *B. cinerea* megnehezíti a fungicidek csökkentésére irányuló kezdeményezéseket, mivel a kórokozó kezelése nehézségekbe ütközik (Krasnow és Ziv 2022), lévén, hogy ha a fertőzés már a betakarítás előtt lezajlik a termés belsejében, a betakarítás utáni higiéniai kezelések nem védenek a gombafertőzéssel szemben (Frans et al. 2018). Gombaellenes szerként a flavonoidok és fenolok károsíthatják a patogének sejtmembránját, ami a gombasejek növekedésének megváltozását vagy pusztulásukat eredményezi (Muthukumaran et al. 2011).

2.7 Paprika kivonatok antimikrobiális hatása

A *Capsicum* nemzetség, antimikrobiális vegyületekben gazdag más növényi nemzetségek képest (Tajkarimi et al. 2010). A kivonatok antimikrobiális hatását több tényező

is befolyásolhatja: a különböző alapfajú paprika fajták eltérő baltartalmi értékekkel rendelkezhetnek, és a különböző kivonási technikákkal kinyert extraktumok hatékonysága között is jelentős eltérés mutatkozhat (Koffi-Nevry et al. 2012). Kimutatták, hogy a vizes paprika kivonatok rendelkeztek a legmagasabb antioxidáns kapacitással, antimikrobiális hatással, totál polifenol és totál flavonoid tartalommal (Mohammad et al. 2022). A friss termésekből készített kivonatok jobb antimikrobiális hatást mutattak, mint a szárítottakból készültek (Panthi és Chaudhary 2006). A paprikakivonatok antimikrobiális hatása főként a polifenolok és a kapszaicinoidok jelenlétének tulajdonítható (Mokhtar et al 2017). A polifenolos vegyületek többek közt a sejtfalak károsításán keresztül fejtik ki hatásukat, növelik a membrán permeabilitását és roncsolják annak szerkezetét, így gátolva a mikrobák növekedését (Kumar et al. 2021, Bae et al. 2022).

A növényi kivonatok hatására a Gram-pozitív és Gram-negatív baktériumok eltérő módon reagálhatnak. A két baktérium csoport sejtfaluk szerkezetében és összetételében tér el egymástól. A Gram-pozitív baktériumok sejtfala vastag peptidoglikán rétegből áll (Nikaido 2003), ami okozhatja, hogy ezek a baktériumok kevésbé érzékenyek a növényi kivonatokra, mint a Gram-negatívak (McCutcheon et al. 1992, Mohammad et al. 2022).

3 Anyag és módszer

3.1 Növényanyag

A kísérletek során felhasznált paprika terméseket Csilléry Gábor nemesítő biztosította. A vizsgálatok megkezdése előtt azonos mennyiségű liluló és nem liluló, cseresznye típusú, *Capsicum annuum* alapfajú, közel izogén nemesítési vonalak termését gyűjtöttük be. A bogyók kiválasztásakor ügyeltünk arra, hogy azok méretükben, alakjukban, érettségi fázisukban közel azonosak legyenek. A pultontarthatósági vizsgálatokhoz a betakarítás a gazdasági érettség fázisában (zöld és lila termések egyaránt) történt, mivel ekkor a legmagasabb a szövetek antocianin tartalma (Mennella et al. 2012). A raktári kórokozó gombákkal végzett mesterséges fertőzési kísérleteket és a gombák növekedésének vizsgálatát kiegészítettük a paprika termések biológiailag érett, piros változataival.

3.2 Pultontarthatóság paraméterek és beltartalmi mutatók

A laborba szállított terméseket 20 percig 3%-os hipóban rázattuk, majd egyesével steril edényekbe helyeztük. A lila és zöld termések egyik felét 25 °C-on másik felét 10 °C-on tároltuk, majd 6 héten át mindkét tárolási hőmérsékletből hetenként 3 liluló és 3 nem liluló termésen végeztük el méréseinket, a bogyók fenotípusos állapotát is felvételeztük. A pultontarthatóság értékelésére hetenként mértük a termések húskeménységét, szárazanyagtartalmát, préselt levük pH-ját valamint a belőlük készített kivonatok egyes beltartalmi mutatóit. A termések vízveszteség mértékének megállapításához ugyanazon lila (7db) és zöld (7db) paprikát mértük heti rendszerességgel.

A húskeménység meghatározását PCE-FM 200 Kraftmessgerät penetrométerrel (N/cm^2) végeztük, 3 technikai ismételtsben. Az oldható szárazanyagtartalmat, azaz a minták °BRIX-értékét digitális refraktométerrel, PR-201 α , ATAGO®, határoztuk meg, értékeinket brix fok-ban (°Bx) kaptuk meg. A pH meghatározásához a paprika termésekből előzetesen eltávolítottuk a magokat és csak a termeshúsból préselés útján kinyert levet mértük Thermo Scientific Orion 3 Star™ eszközzel.

Az analitikai méréseken belül sor került vasredukáló képességen alapuló antioxidáns kapacitás (Ferric Reducing Ability of Plasma - FRAP), Totál Polifenol Tartalom (TPC), valamint Totál Monomer Antocianin (TMA) tartalom meghatározásra. A paprikának csak a termésfalát használtuk fel a kivonatok készítéséhez, a magokat és az ereket eltávolítottuk. A termésfalat folyékony nitrogén és mozsár segítségével eldörzsöltük, 2 ml metanol:víz:hangyasav (60:39:1 v/v%) oldattal extraháltuk, majd vortexel homogenizáltunk.

Az extraktumok ülepítéséhez a mintákat 15 percen keresztül, 4 °C-on centrifugáltuk (4300 rpm). A felülúszót új Eppendorf csőbe mérve -20 °C-on tároltuk a felhasználásig.

3.2.1 Antioxidáns kapacitás FRAP (Ferric Reducing Ability of Plasma) meghatározás

Az antioxidáns kapacitás mérést Benzie és Strain (1996) módszere alapján végeztük. A reakció elegyet magunk készítettük el: 300 mM-os acetát puffer, 10 mM 2,4,6-tripiridil-s-triazin (TPTZ) oldat és 20 mM FeCl₃ x 6 H₂O oldat. 10 µl növényi kivonathoz 2 ml reakció elegyet mértünk, 3 technikai ismételtsben. A kész keveréket 15 percen keresztül 37 °C-on inkubáltuk. A kiértékelést Jenway 6105 UV/Vis spektrofotométerrel végeztük λ=593 nm hullámhosszúságon. Az antioxidáns aktivitást kiszámítása az aszkorbinsav standard (0, 6, 12, 18, 24, 30 µmol/l, R² = 0,9818) kalibrációs görbéjéhez viszonyítva történt. Az eredmények µmol aszkorbinsav egyenérték/g (µmol As/g) száraz tömegben értendők.

3.2.2 Totál Polifenol tartalom (TPC) meghatározás

A teljes polifenol tartalom mérését a Singleton és Rossi (1965) által leírt módszer alapján végeztük. A módszer hátránya, hogy egyszerre több vegyületet is kimutat (kapszaicinoidok, aszkorbinsav, flavonoidok és kisebb fenolok) ami miatt magasabb értékeket kapunk a mérések során (Manikharda et al. 2018). Az alábbi reagenseket állítottuk össze (1. táblázat), majd beállítottuk a mérés paramétereit és kalibrációs sort készítettünk (galluszsav standard 0, 6, 12, 18, 24, 30 µg/ml, R²=0,9968). 10 µl mintához 1250 µl Folin, 240 µl MeOH:DV (80:20) és 1000 µl Na₂CO₃ lett mérve. Az oldatokat 5 percre 50 °C-os fürdőbe helyeztük, majd ezután λ=760 nm-en, Jenway 6105 UV/Vis spektrofotométerrel értékeltük ki (Singleton és Rossi 1965). Az eredményeket mmol galluszsav egyenérték/g (mmol Gs/g) száraztömeg mértékegységben fejeztük ki

1. táblázat: Méréshez felhasznált reagens összetevői (Forrás: saját táblázat)

Reagens	Összetétel
1	50 ml Folin + 500 ml desztillált víz
2	80:20 metanol:desztillált víz (MeOH:DV)
3	Na ₂ CO ₃ : 37,1 g/ 500 ml desztillált víz
4	3 mM galluszsav: 0,056 g / 100 ml desztillált víz
5	0,3 mM galluszsav: 100 µl 3 mM galluszsav + 900 µl MeOH:DV

3.2.3 Totál Monomer Antocianin (TMA) tartalom meghatározás

Méréseinket Giusti és Wrolstad (1996) módszere szerint végeztük, ahol 250 µl növényi kivonathoz 0,4 M nátrium-acetát (pH 4,5) és 2-2 ml 0,025 M kálium-klorid (pH 1,0) puffert

mértünk, 15 perc elteltével az abszorbanciát Jenway 6105 UV/Vis spektrofotométerrel mértük ($\lambda = 520$ nm és $\lambda = 700$ nm). A kapott eredményeinket μg cianidin-3-glükozid/g (μg ci-3glü/g) száraz tömegre adtuk meg, melynek kiszámítására az alábbi formula szolgált:

$$\text{TMA (cianidin - 3 - glükozid mg/l)} = \frac{A \times MW \times Df \times 10^3}{\varepsilon \times l}$$

Ahol $A = (A_{520} - A_{700})$, pH 1,0 – pH 4,5 ($A_{520} - A_{700}$), $MW = 449,2$ g/mol cianidin-3-glükozid, Df = hígítás, $\varepsilon = 26,900$ extinkciós koefficiense a cianidin-3-glükozidnak (Giusti és Wrolstad 1996).

3.3 Mesterséges fertőzés *Botrytis cinerea*, *Fusarium culmorum* gombákkal

A fertőzéses vizsgálatokhoz az előzőekben ismertetett növényanyaggal azonos genotípusú liluló és nem liluló terméseket használtunk fel, kiegészítve ugyanezen bogyók biológiailag érett változatával. A kísérletben felhasznált két növénypatogén kórokozó a *B. cinerea* és *F. culmorum* voltak.

A betakarított termések egy részét a felületi sterilizést követően közvetlen módon fertőztük. A termés oldalán 2 mm mély és 5 mm hosszúságú vágást ejtettünk, melybe 5 μl előre beállított koncentrációjú spóraszuszpenziót ($4,5 \cdot 10^4$ db spóra/ ml) fecskendeztünk. A már fertőzött terméseket steril tárolóedényekbe helyeztük, majd inkubátorba (25 °C-on 86% relatív páratartalom) tároltuk. A fertőzést követő 13. napon értékeltük az eredményt. A léziók pontos nagyságát ImageJ program segítségével állapítottuk meg. A mennyiségi meghatározást qPCR segítségével végeztük. Ehhez a fertőzött terméseket liofilizáltuk, majd homogenizáltuk. Az őrleményből az E.Z.N.A.® HP Plant DNA Mini Kit protokoll szerint DNS-t izoláltunk. A qPCR-t az Analytik Jena qTOWER iris gépével végeztük, Thermo Scientific™ PowerUp™ SYBR™ Green Master Mix-szel, 'standard cycling mode' beállítás alapján, ahol a primer kapcsolódási hőmérséklet 60 °C volt. A reakcióelegy összetevői a következők voltak 10 μl végtérfogatra, 5 μl 2X PowerUp™ SYBR™ Green Master Mix, 0,75-0,75 μl forward és reverz primer, 1 μl templát DNS. A primer szekvenciákat a következő táblázat foglalja össze (2. táblázat).

2. táblázat: A qPCR során felhasznált primerpárok és azok szekvenciái (Forrás: saját táblázat)

Primer	Szekvencia (5'-3')
<i>actin</i> Fwd	GGACTCCGGTGATGGTGT
<i>actin</i> Rev	GTCCCTGACAATTTCTCGCTCAG
<i>B.cin</i> Fwd	ATTCCACAATATGGCATGAAATC
<i>B.cin</i> Rev	ATGTTATCTCATGTTATCTC
<i>F.cul</i> Fwd	CACCGTCATTGGTATGTTGTCAC
<i>F.cul</i> Rev	CGGGAGCGTCTGATAGTCG

3.4 Patogének növekedési erélyének vizsgálata

A nyers paprikák levét a termés leörlése és az örlemény steril átszűrése révén kinyertük. A lé felhasználásával kétszeres töménységű PDA=Potato Dextrose Agar-t egyszeres töménységre hígítottunk ki. Az elkészült táptalajok közepére 5 µl beállított koncentrációjú ($4,5 \cdot 10^4$ db spóra/ ml) spórszuszpenziót szélesztettünk. Az inkubátroba helyezést követően 3 napon keresztül szabályos időközönként (5-6 óra) történt a fertőzési zóna nagyságának felvételezése, a fertőzési terület átmérőjének lemérésével.

3.5 Antimikrobiális hatás

Az antimikrobiális hatás vizsgálatához először paprika kivonatokat készítettünk. A paprika mintákat előzetesen liofilizáltuk, majd őröltük. A kivonat készítéséhez 0,5 g örleményhez 50 ml metanol:víz:hangyasav (30:69:1) oldószert (MeOH:DV:HS) adtunk, majd egy éjszakán át ráztattuk. A rázatást követően 4 percen át ultrahanggal kezeltük a mintákat, majd centrifugáltuk. Kivonatból az oldószert elpárologtattuk, a visszamaradt oldott anyagból 100 mg/ml töménységű oldatokat állítottunk be, az előzőekben is használt oldószerral.

A paprika kivonatok antimikrobiális hatását agardiffúziós módszerrel határoztuk meg a CLSI (Clinical and Laboratory Standards Institute) M02 kissé módosított protokollja alapján. Négy Gram-pozitív (*Bacillus subtilis* ATCC 6633, *Bacillus cereus* ATCC 10876, *Enterococcus faecalis* ATCC 15433, *Staphylococcus aureus* ATCC 29213) és négy Gram-negatív (*Salmonella enterica* ATCC 13076, *Escherichia coli* ATCC 25922, *Klebsiella pneumoniae* ATCC 13883, *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 10145) baktériumot használtunk fel a hatóanyagok teszteléséhez. Előzetesen a mikrobákat Mueller-Hinton táptalajon tenyésztettük egy éjszakán át, majd néhány telepet felfuszpendáltunk fiziológiás sóoldatban (8,5 g/l NaCl), hogy beállítsuk a sejtek koncentrációját 0,5 McFarland értékre (ez nagyjából $1-2 \cdot 10^8$ db *E. coli* sejtnak felel meg, OD₆₀₀= 0,1). A szuszpenziókból 100-100 µl-t szélesztettünk szintén Mueller-Hinton táptalajokra, a beszáradást követően 6 mm átmérőjű dugófuróval egyenlő távolságra elosztott lyukat készítettünk a táptalajba. A lyukakba 100 µl paprika kivonatot pipettáztunk. A mintákat ezt követően 17 ± 1 órán keresztül 37 ± 1 °C-on tartottuk, majd a gátlási zónák átmérőjét lemértük mm pontossággal.

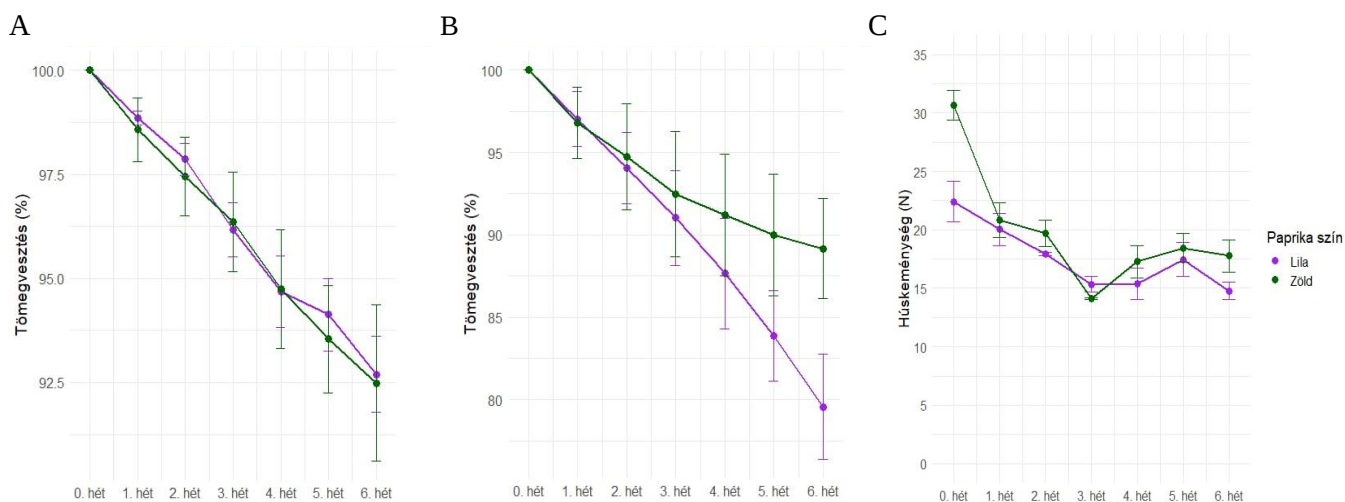
4 Eredmények és értékelésük

4.1 Eredmények ismertetése

4.1.1 Pultontarthatósági paraméterek eredményei

Az 1. diagrammon a különböző színű termékek tömegvesztésének (%-os) változása látható a két tárolási hőmérsékleten 6 hét alatt (A; B). A zöld és lila termékek húskeménységének [N] változását a tárolás során a „C” diagramm mutatja be.

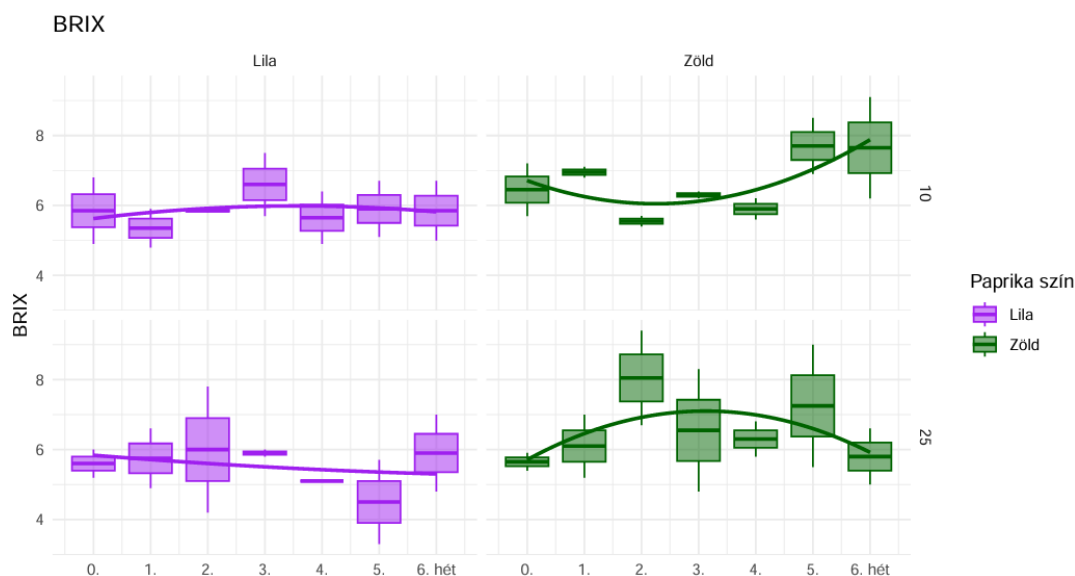
1. diagramm A különböző színű termékek tömegvesztése [%] (A – 10 °C, B – 25 °C) és a húskeménység [N] alakulása (C) a tárolási idő alatt (6 hét), n=7. (Forrás: saját diagramm)



Vizsgálatainkban a magasabb 25 °C-on tárolt termékek húskeménysége (B) nagyobb mértékben csökkent a 10 °C-on tároltakhoz képest (A). A 10 °C-on tárolt a paprika termékek súlya a kezdeti súlyuknak 92,5%-ára (A), míg 25 °C-on 90% illetve 80%-ára csökkent le (B). A 10 °C-os tárolásnál a lila és zöld termékek tömegvesztése hétről-hétre szinte megegyezett, szorosan együtt mozogtak az értékeik, míg 25 °C-on a lila termékek nagyobb mértékű súlyvesztése volt megfigyelhető. A kísérlet kezdetén a lila színű termékek eleve kisebb húskeménységi értékeket mutattak, mint a zöld színűek. Ha azt nézzük, hogy a húskeménységi értékek milyen mértékben változtak a tárolás kezdetétől a végéig, akkor láthatjuk, hogy a zöld termékek húsa puhult nagyobb mértékben a 6 hét alatt, mint a lilaké (C) (1. diagramm).

A 2. diagramm a lila és zöld termékek oldható szárazanyag tartalmában bekövetkező változásokat mutatja be a tárolási idő alatt, az alkalmazott két tárolási hőmérsékleteken.

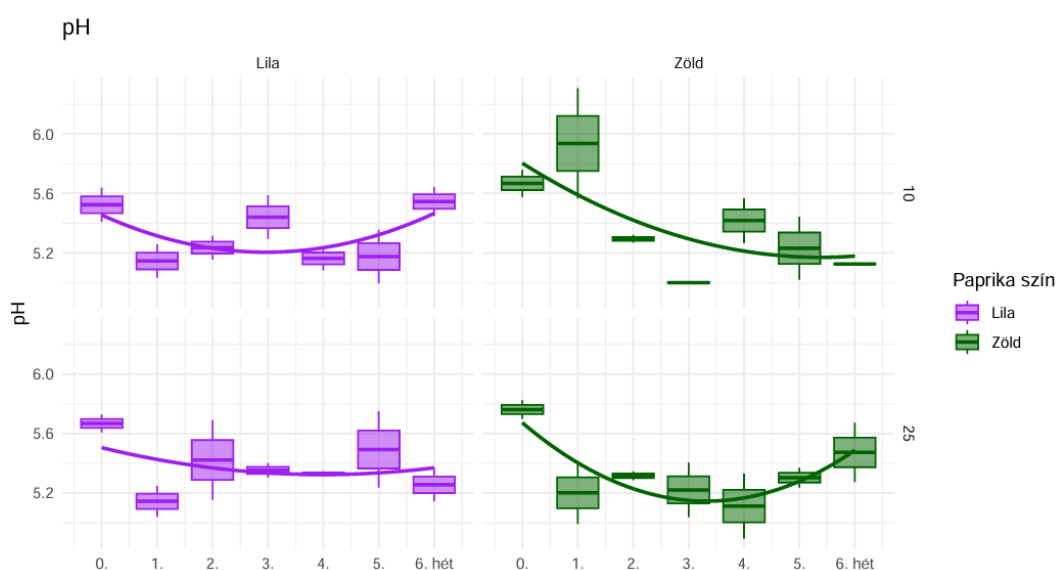
2. diagramm: Az oldható szárazanyag tartalom alakulása a különböző színű termékek esetében 10 °C-on és 25 °C-on a tárolási idő (6 hét) alatt, n=3. (Forrás: saját diagramm)



Összességében a zöld színű termékekben magasabb oldható szárazanyag tartalmat mértünk, mint a lilákban (2. diagramm). A 10 °C-on tárolt a termékek oldható szárazanyag tartalmában emelkedés volt tapasztalható, amely a zöld termékeknél erőteljesebb volt. Ugyanakkor 25 °C-on a lila termékek BRIX értékei csökkenést, a zöld termékek egy kezdeti emelkedést követően a 3. héttől szintén csökkenést mutattak (2. diagramm).

A termékek préselt levének pH értékét, és annak alakulását a tárolási idő alatt a 3. diagramm szemlélteti az egyes tárolási hőmérsékleteken.

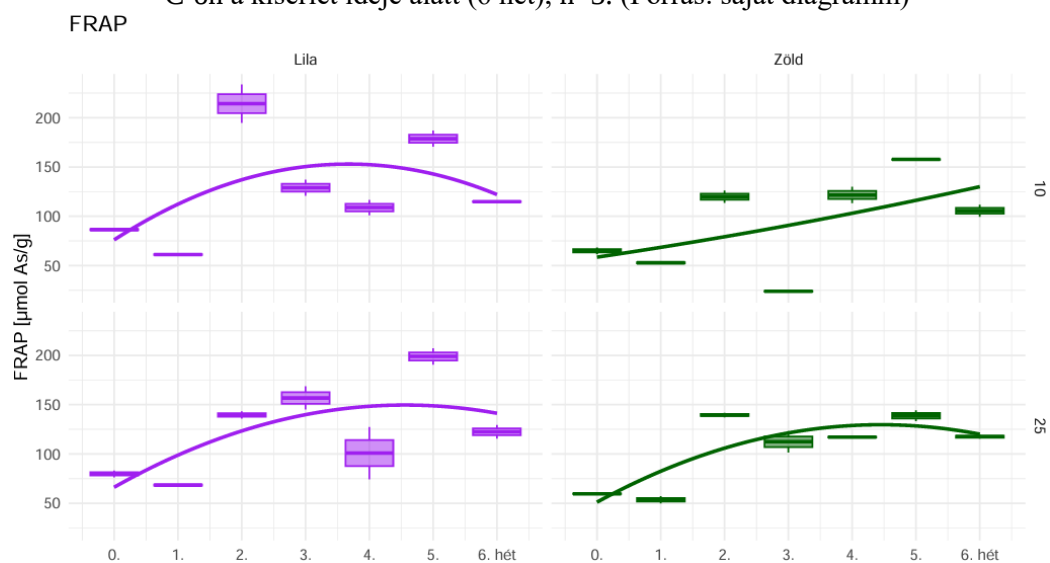
3. diagramm: A termékek pH értékeinek alakulása a különböző színű termékek esetében 10 °C-on és 25 °C-on a tárolási idő (6 hét) alatt, n=3. (Forrás: saját diagramm)



A pH értékek nem változtak jelentős mértékben a tárolási idő során, gyenge csökkenéssel voltak jellemezhetők minden esetben. A zöld színű termékek magasabb kezdeti pH értéket mutattak mindkét hőmérsékleten (10 °C-5,67; 25 °C- 5,76), mint a lilák (10 °C-5,25; 25 °C- 5,67). A zöld bogyók pH-ja nagyobb mértékben változott, mint a lila bogyóké a tárolás során (3. diagramm).

A 4. diagrammon a lila és zöld színű paprika termékek antioxidáns kapacitás (FRAP) értékeinek változása látható a tárolási idő alatt a különböző tárolási hőmérsékleteken.

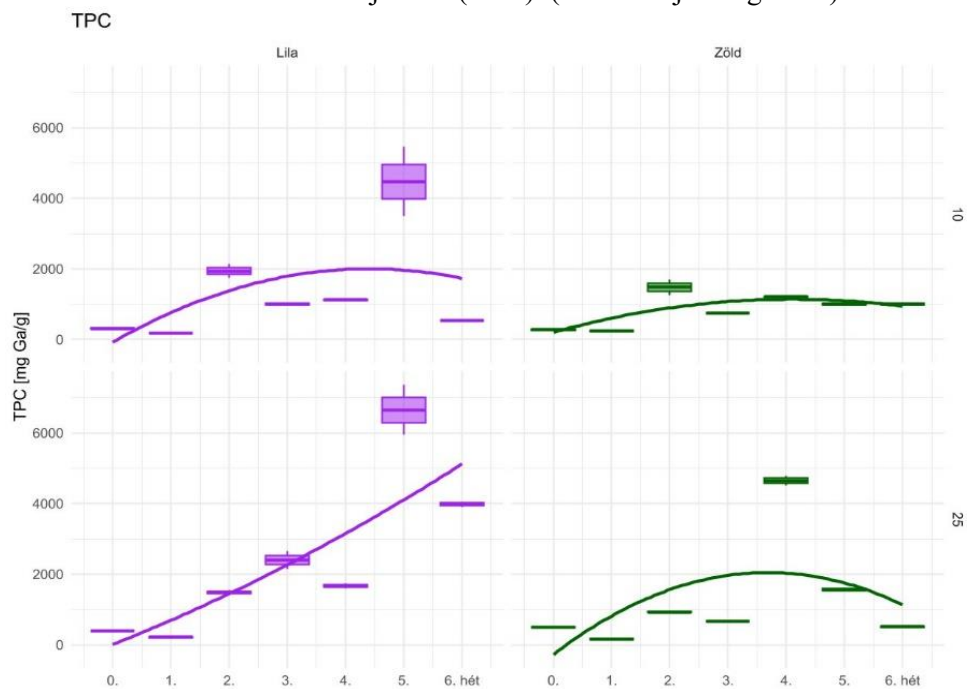
4. diagramm antioxidáns kapacitás (FRAP) alakulása, a különböző színű termékekben 10 °C-on és 25 °C-on a kísérlet ideje alatt (6 hét), n=3. (Forrás: saját diagramm)



A tárolás első felében a (0. héttől a 3. hétig) emelkedést figyeltünk meg a FRAP értékek változásában, majd a tárolás második felében (3. héttől a 6. hétig) az értékek gyenge csökkenése volt kimutatható. Összességében a 3. héttől a 6. hétig bekövetkezett csökkenés nem okozta az antioxidáns kapacitás kiindulási értékei alá csökkenését, így a tárolás végén is magasabb FRAP értékeket mértünk, mint a betakarítást követően. A 10 °C-on tárolt zöld termékek FRAP értékeinek alakulása annyiban tért el a többi termésétől, hogy ott nem volt kifejezett változás a felhalmozódás tendenciájában, végig enyhe emelkedést mutatott. A lila színű termékek mindkét hőmérsékleten magasabb antioxidáns kapacitást mutattak, mint a zöldek. A maximális értékeket is a lila termékekben mértük, 10 °C-on átlag 108,572 μmol As/g (3. héten), míg 25 °C-on átlag 109,91 μmol As/g (5. héten) volt a FRAP legmagasabb értéke a tárolás során (4. diagramm).

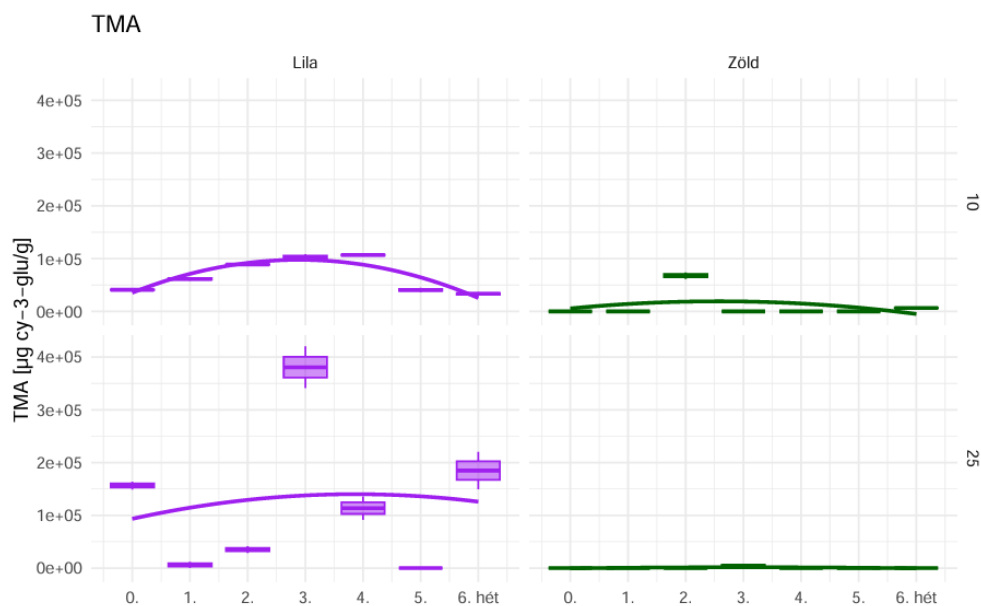
A totál polifenol tartalom (TPC) változását a tárolási idő alatt, különböző hőmérsékleteken az 5. diagramm ábrázolja.

5. diagramm A totál polifenol tartalom TPC alakulása, a különböző színű termékekben 10 °C-on és 25 °C-on a kísérlet ideje alatt (6 hét). (Forrás: saját diagramm)



Összességében a tárolás első felében egy erőteljes emelkedés történt a TPC értékek változásában, majd a tárolás második felének végére az értékek csökkenése volt kimutatható. Az értékek alakulásában a 25 °C-on tárolt lila termékek kissé eltértek a többitől, itt a TPC értékek folyamatos emelkedése volt kimutatható, a tárolás 5. hetének végére elérték az átlagosan 4737,01 mmol Gs/g maximális értéket. Mindkét hőmérsékleten a lila termékek mutattak magasabb polifenol tartalmat a tárolás során. A tárolási idő végére a 25 °C-on tárolt minták magasabb polifenol tartalmat (átlag 1513,21 mmol Gs/g) értek el, mint a 10 °C-on tároltak (átlag 674,36 mmol Gs/g) (5. diagramm).

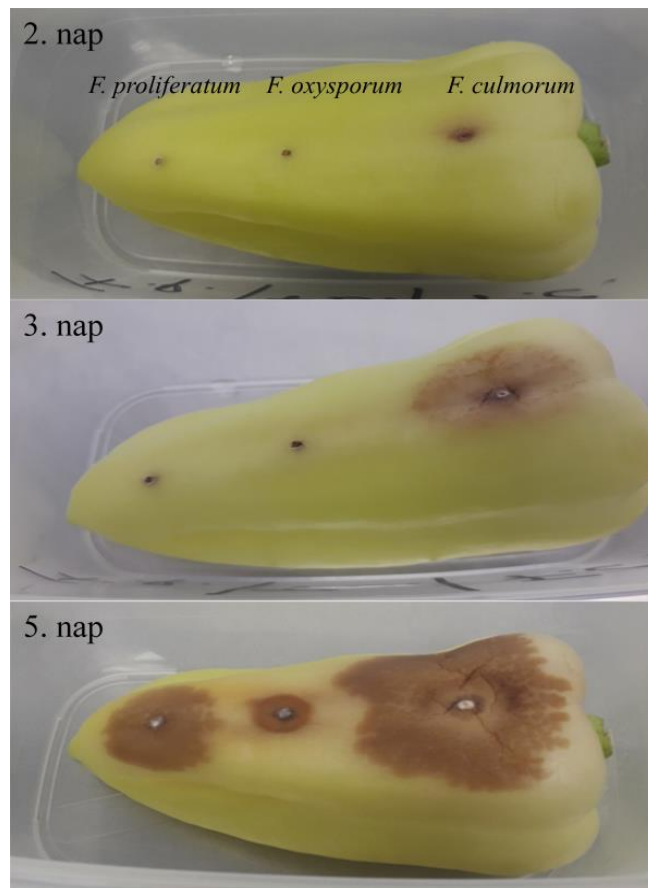
6. diagramm A totál monomer antocianin tartalom TMA alakulása, a különböző színű termésekben 10 °C-on és 25 °C-on a kísérlet ideje alatt (6 hét), n=3. (Forrás: saját diagramm)



A 6. diagramm a lila és zöld színű paprika termések totál monomer antocianin tartalmának (TMA) változását mutatja be különböző hőmérsékleteken a tárolási idő alatt. A lila színű termések magasabb TMA értékekkel rendelkeztek, mint a zöld színűek. Míg lila terméseknél folyamatosan magas értékeket mértünk, (Maximum érték 3. héten 25 °C-on 36551,59 µg cy-3-glü/g) addig legtöbb esetben a zöld termésekben antocianin tartalom nem is volt detektálható. Az antocianin tartalom összességében a kísérlet első felében emelkedett, majd csökkenést tapasztaltunk az értékekben. Egyes zöld színű termésekben 10 °C-on kimutatható volt némi antocianin tartalom (6. diagramm). A zöld termésben mért legmagasabb TMA érték 6690,93 µg cy-3-glü/g volt.

4.1.2 Mesterséges fertőzés eredményei

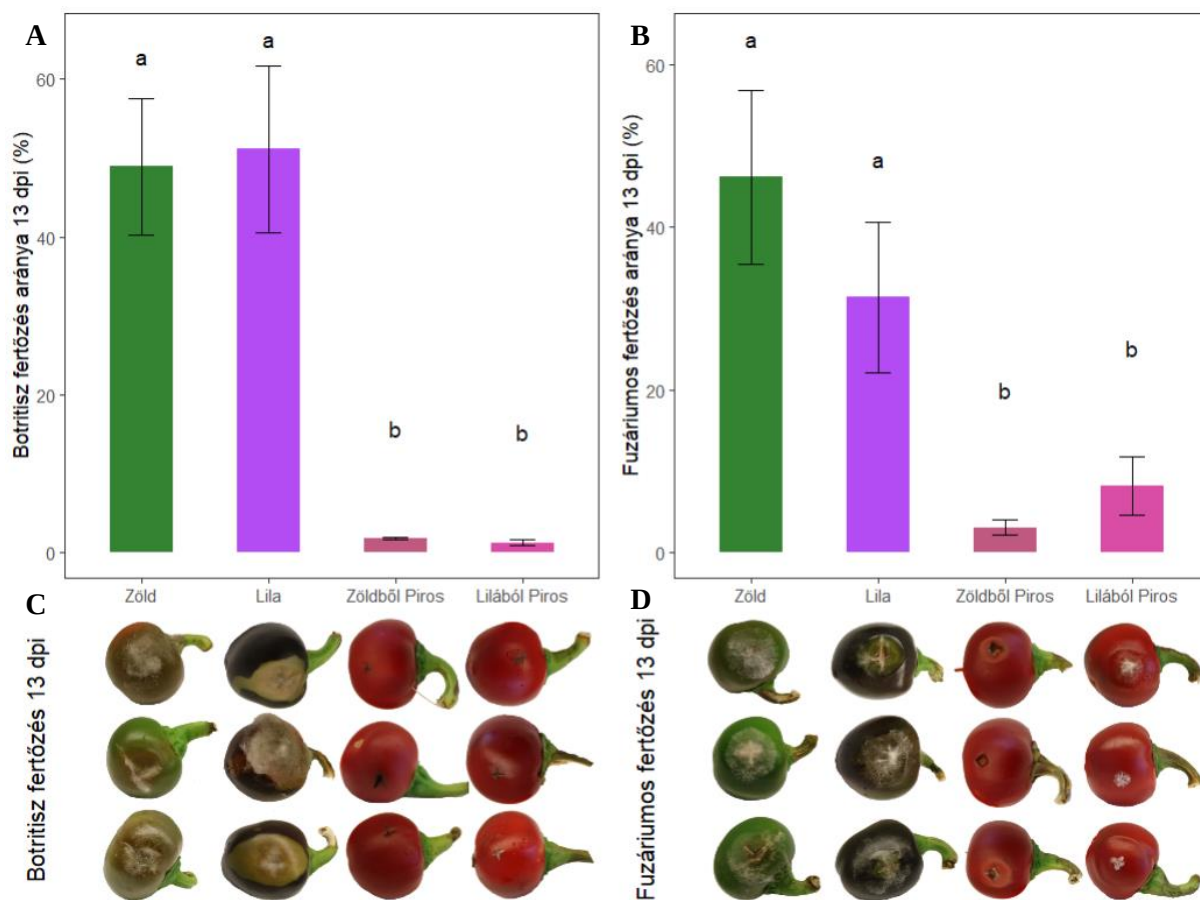
A mesterséges fertőzésekhez a *Fusarium* faj kiválasztásához egy előkísérletet végeztünk, mely során három különböző fajba tartozó *Fusarium* izolátum (*F. proliferatum*, *F. oxysporum*, *F. culmorum*) azonos mennyiségű oltóanyagával fertőztük meg ugyanazt a paprika termést. A fertőzés tüneteinek megjelenését, illetve a gomba terjedésének mértékét minden nap felvételeztük (2. ábra).



2. ábra Előkísérlet: paprika termés fertőzése. *F. proliferatum*, *F. oxysporum*, *F. culmorum* terjedése, kártétele a termésen 5 nap elteltével. (Forrás: saját ábra)

A 2. ábrán látható, hogy a fertőzést követő 2. napon a gomba terjedése a *F. proliferatum*, *F. oxysporum* esetében még csak a fertőzési pontra lokalizálódott, míg a *F. culmorum* már kisméretű léziót kezdett kialakítani. A 3. napon még látványosabb különbségek mutatkoztak az egyes *Fusarium* fajok fertőzése között. A *F. culmorum* megtöbbszörözte a fertőzött terület nagyságát, míg a másik két *Fusarium* faj még mindig csak enyhe elváltozást okozott a fertőzési pont közvetlen környékén. Az 5. napra már mindhárom faj kifejeződő, petyhüdt, barna foltot alakított ki a termésen. Egyértelműen látszott, hogy a legkisebb elváltozást a középen elhelyezkedő *F. oxysporum* okozta, ettől valamivel nagyobb léziót alakított ki a *F. proliferatum*, azonban még ez is elmaradt a *F. culmorum* által okozott károsítás mértékétől (2. ábra). Mivel a *F. culmorum* alakította ki a legsúlyosabb tünetet, így a további kísérleteinkben ennek a patogén gombának az izolátumát alkalmaztuk.

Paprika különböző érettségi stádiumban betakarított termésein végzett fertőzési kísérletek eredményei az alábbi ábrán láthatók (3. ábra). (Forrás: saját ábra)



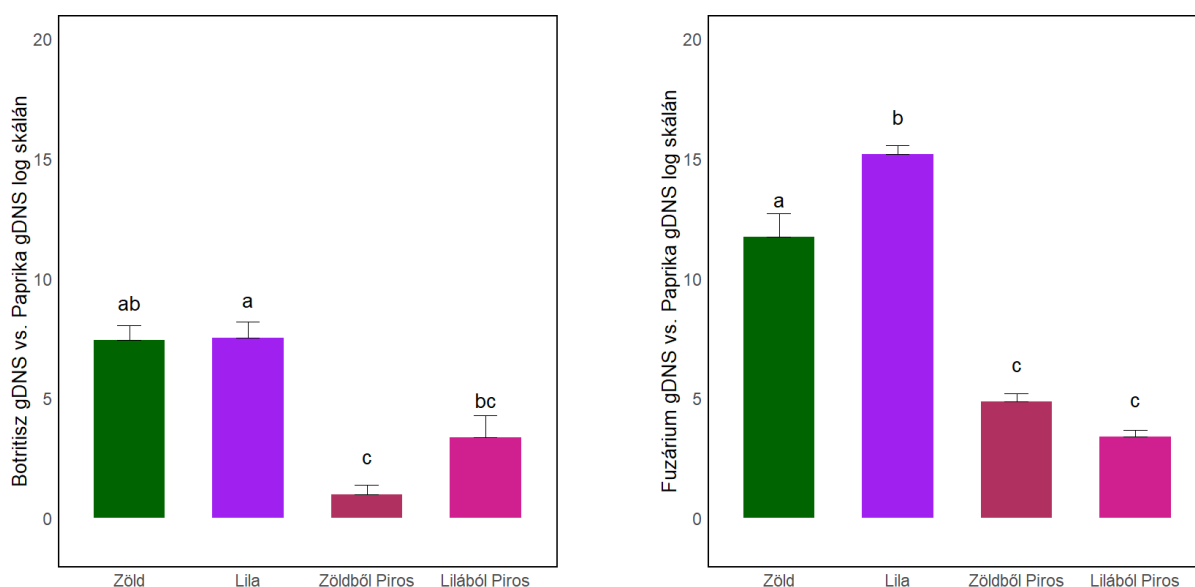
3. ábra *Botrytis cinerea* fertőzések aránya (%) a 13. napon (dpi) (A) és a fertőzött termések (C), *Fusarium culmorum* fertőzések aránya (%) a 13. napon (dpi) (B) és a fertőzött termések (D) (Forrás: saját ábra)

Külön kezeltük a gazdasági érettségben zöld, illetve lila, valamint a biológiai érettségben zöldből lett piros, illetve lilából lett piros terméseket. A mesterséges fertőzést követő 13. napon történt a léziók nagyságának meghatározása. Az ábra diagramm részéről leolvasható, hogy a gazdaságilag érett (lila és zöld) termés felületének nagyobb %-án volt megfigyelhető a kórokozók fertőzése, mint a biológiaiailag érett (zöldből és lilából lett) piros bogyók felületén. A *B. cinerea*-nak a gazdaságilag érett (lila és zöld) bogyók felületén nagyobb volt a fertőzési területe, mint a *F. culmorum*-nak. A *B. cinerea*, az éretlen termések felületének közel 50%-át nőtte be, míg a *F. culmorum* kisebb 30-50%-át. A lila színű termések felületét nagyobb arányban nőtte be a *B. cinerea*, mint a zöldekét, míg ezzel szemben a *F. culmorum* éppen a zöld terméseken tudott jobban terjedni. A biológiaiailag érett, piros színű terméseken alig voltak észlelhetők a fertőzés külső tünetei. A *B. cinerea*-val fertőzött terméseknél csak kismértékű elváltozás volt tapasztalható a fertőzési pont körül, és a zöldből lett piros és lilából lett piros termés fertőzési területeinek nagysága között minimális eltérés

mutatkozott. A *F. culmorum*-mal fertőzött, érett terméseknél kialakult kisméretű lézió, és a lilából lett piros terméseken nagyobb volt a fertőzési területek aránya, mint a zöldből lett pirosakon. Mindkét kórokozó esetén a gazdasági érettségben lévő termések szignifikánsan nagyobb mértékben voltak fertőzöttek, mint a biológiai érett termések. Az azonos érettségi fázisokon (gazdasági, biológiai) belül a különböző termések fertőzöttségi mértéke között nem volt szignifikáns különbség (3. ábra).

4.1.3 *Botrytis* és *Fusarium* gombák növekedési erélyének eredményei

Az alábbi ábrán a vizsgált gomba kórokozók qPCR segítségével végzett mennyiségi meghatározásának eredménye látható a különböző színű termések szöveteiben.

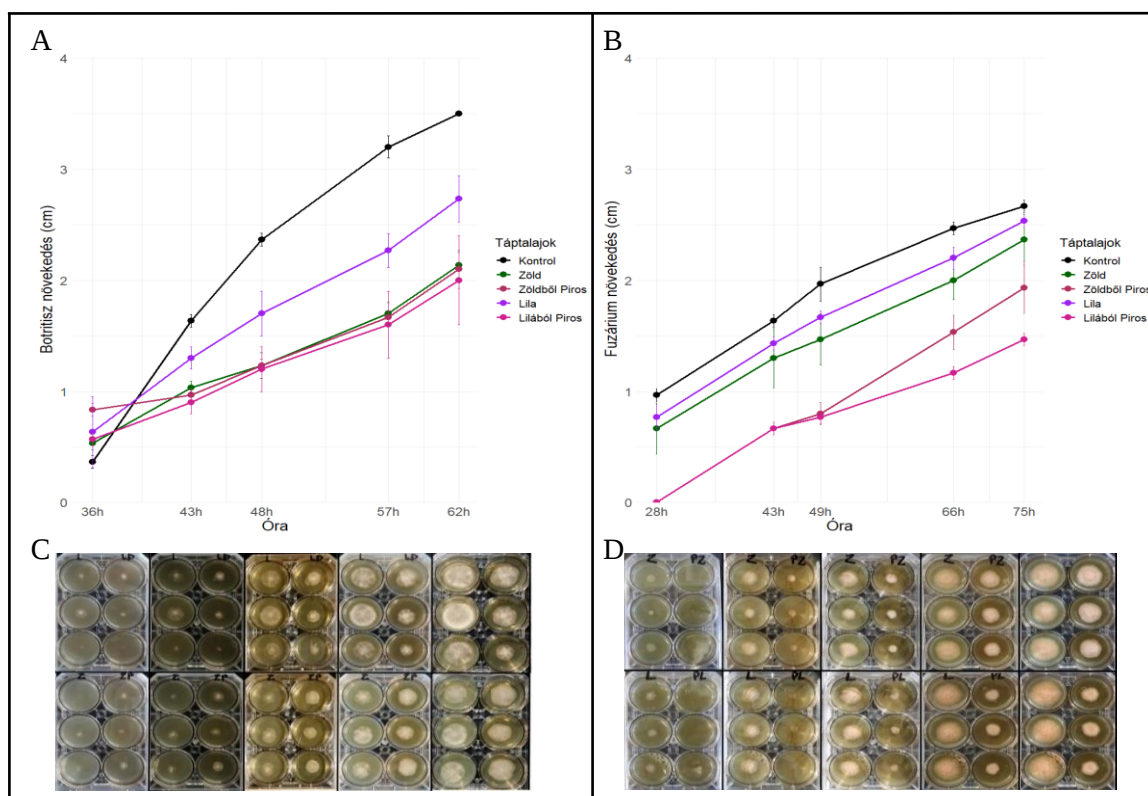


4. Ábra – *Botrytis cinerea* és *Fusarium culmorum* fertőzöttség vizsgálata a fertőzést követő 13. napon qPCR technikával. (Forrás: saját ábra)

A termések fertőzöttségének pontos mértékét qPCR-rel határoztuk meg, a fertőzést követő 13. napon. A 4. ábrán látható, hogy a *B. cinerea* genomi DNS aránya a paprika szövetekben összességében alacsonyabb volt, mint a *F. culmorum* genomi DNS-é. A *B. cinerea* fertőzés qPCR segítségével történő mennyiségi meghatározása hasonló eredményt mutat, mint a fertőzési területek arányának eredményei, az érett termések alacsonyabb értékeket mutattak (3. ábra, 4. ábra). *B. cinerea* fertőzésnél, a qPCR mennyiségi meghatározása alapján a két gazdaságilag érett termés (lila és zöld) között nem volt szignifikáns különbség a fertőzöttség mértékében. A biológiai érett (zöldből lett piros és lilából lett piros) termésekben jelentősen kevesebb volt a *B. cinerea* mennyisége, mint a lila termésekben, ami statisztikailag is alátámasztható volt. A qPCR eredménye megmutatta, amit a 3. ábra alapján nem láttunk, hogy a lilából lett piros termésekben több *B. cinerea* volt megtalálható, mint a zöldből lett lila

termésekben, azonban az eltérés nem volt szignifikáns. A *F. culmorum* fertőzés esetében több eltérés is mutatkozott a qPCR és fertőzési kísérletek eredményei között. A qPCR szerint éppen a gazdasági érettségben lévő lila termésekben volt magasabb a *F. culmorum* aránya, mint a zöld termésekben (4. ábra), pedig a 3. ábra szerint a lila termés kisebb %-át borította be a gomba, mint a zöldekét. A lila termésekben qPCR segítségével meghatározott gombák mennyisége szignifikánsan több volt, mint a zöld termésekben. A biológiailag érett piros termésekben itt is kevesebb gomba volt kimutatható, mint a *B. cinerea* fertőzéseknél. A lilából lett piros termésben kevesebb gombát mutattunk ki, mint a zöldeből lett pirosakban (4. ábra), pedig a lilából lett piros termések felületét szőtte be jobban a *F. culmorum* (3. ábra). Összességében a biológiailag érett termések (zöldeből lett piros és lilából lett piros) szignifikánsan kevesebb *F. culmorum* gombát tartalmaztak, mint a gazdasági érettségben lévők (zöld, lila). A piros termések közti *F. culmorum* mennyiségében nem volt statisztikailag kimutatható a különbség (4. ábra). Ha összevetjük a fertőzött termések felületi vizsgálatát és a qPCR segítségével történő mennyiségi meghatározást, azt tapasztaljuk, hogy a *F. culmorum* kissé gyengébb felületi tüneteinek megjelenése ellenére magasabb gomba DNS koncentrációt mutat a szövetekben, mint a *B. cinerea* (3. ábra, 4. ábra).

Az alábbi diagrammon a paprikák szűrt levével kihígított PDA táptalajokon végzett fertőzési kísérlet eredményei láthatóak (5. ábra).



5. ábra A *B. cinerea* (A, C) és a *F. culmorum* (B, D) PDA táptalajon terjedésének, fertőzési területének alakulása az eltelt idő függvényében. A táptalajokon (C,D) L: Lila, LP: Lilából Piros, Z: Zöld, ZP: Zöldeből Piros. (Forrás: saját ábra)

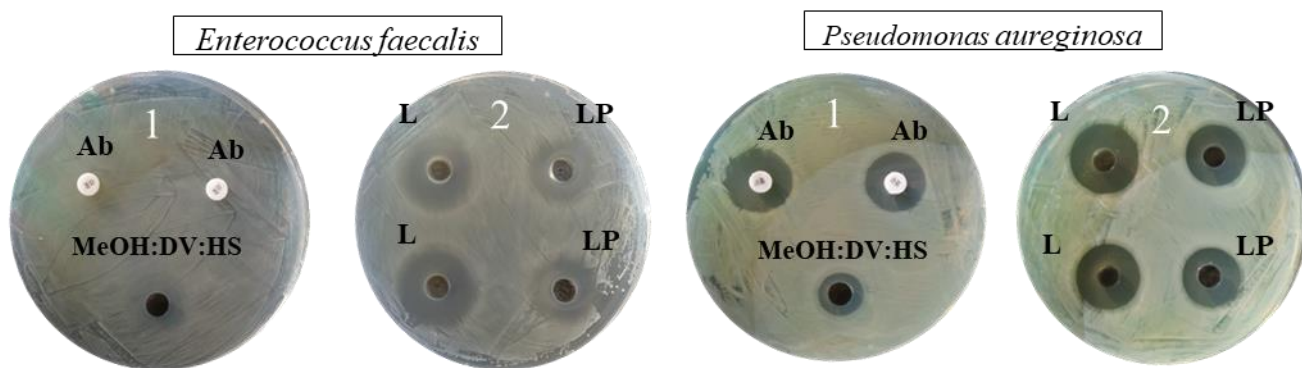
A *B. cinerea* esetében 62 óráig, míg *F. culmorum*-nál a 75 óráig vételeztük föl a telepek növekedésének ütemét. A *B. cinerea* gombatelep mérete a lila terméskivonattal dúsított táptalajon (2,75 cm) 0,75 cm-rel elmaradt a kontroll táptalajon (3,5 cm) mért gombatelep méretéhez képest, a 62. óra végén. Ugyanebben az időpontban a zöld (2,1 cm), a zöldből lett piros (2,1 cm) és a lilából lett piros (2 cm) terméskivonatok gátló hatása között csak csekély mértékű eltérés volt tapasztalható. A *B. cinerea* a kontroll táptalajon 3,5 cm átmérőjű telepet fejlesztett, míg a lilából lett piros termés levével dúsított táptalajon már csak 2 cm átmérőjűt, így a lilából lett piros termés fejtette ki a legerősebb gátló hatást a *B. cinerea* növekedésére.

A lila terméskivonat (2,5 cm) esetén a *F. culmorum* telep átmérője csupán 0,2 cm-rel volt kisebb a kontrollon (2,7 cm) mérthez képest a 75. órában. A többi gombatelep méretét tekintve a zöld (2,3 cm), zöldből lett piros (1,9 cm) és lilából lett piros (1,5 cm) terméskivonatok gátlási erősségei nagyobb eltérést mutattak egymástól a kísérlet legvégén. Mivel a *F. culmorum* a kontroll táptalajon 2,6 cm átmérőjű telepet fejlesztett, a lilából lett piros termés levével dúsított táptalajon pedig már csak 1,5 cm átmérőjűt a 75. órára, így a piros termés gátló hatása bizonyult a legerősebbnek.

A két gombát összehasonlítva a *F. culmorum* növekedésére a lila termés gyengébb gátló hatást fejtett ki a kontrollhoz képest (-1,1 cm), mint a *B. cinerea* esetében (-1,5 cm). Mindkét gombára a lilából lett piros terméskivonat fejtette ki a legerősebb gátló hatást. A kórokozó gombatelek növekedése mindkét esetben hasonlóan alakult. A kontroll táptalajon való növekedést követően a legnagyobb növekedés a lila paprika levét tartalmazó táptalajon volt megfigyelhető, majd ezt követte a zöld, a zöldből lett piros és végül a lilából lett piros paprika kivonatokkal dúsított táptalajok (5. ábra).

4.1.4 Antimikrobiális hatás eredményei

Az 6. ábra az amikacin antibiotikum, az általunk használt kivonószer és két különböző színű (lila és lilából lett piros) terméskivonat antimikrobiális hatásának eredményeit mutatja be két baktérium (*E. faecalis* és *P.s aeruginosa*) tenyészet fotóin keresztül szemléltetve.



6. ábra: Ab-antibiotikum (amikacin), MeOH:DV:HS-kivonószer, L-lila termés kivonat, LP-lilából lett piros termés kivonat gátló hatása *Enterococcus faecalis* és *Pseudomonas aeruginosa* tenyészeteken 17 ± 1 órán át 37 ± 1 °C-on történt inkubálást követően. (Forrás: saját ábra)

Látható, hogy az *E. faecalis* esetében az antibiotikum egyáltalán nem fejtett ki gátló hatást, és az oldószer gátló hatása sem volt erőteljes (10 mm) a terméskivonatok gátlási zónáihoz képest. A paprika kivonatok mind a lila (L), mind a pirosból lett lila (LP) termés esetén nagyobb gátlási zónákat alakítottak ki (*E. faecalis* L- $18,50 \pm 0,50$ mm, LP- $15,75 \pm 0,25$ mm és *P. aeruginosa*: L- $19,25 \pm 0,75$ mm, LP- $17,50 \pm 0,50$ mm). A lila terméskivonatok gátló hatása erőteljesebbnek bizonyult. A vizsgálatot minden baktérium esetében elvégeztük, a többi vizsgált baktériumhoz tartozó gátlási zónák mérete a kiértékelések 5. táblázatában található meg.

4.2 Eredmények kiértékelése

4.2.1 Pultontarthatósági paraméterek kiértékelése

Az általunk vizsgált független változók: eltelt idő (hét), hőmérséklet (10 °C-25 °C), rothadás (egészséges, rothadt), szín (zöld, lila) és függő változók (TPC, FRAP, TMA, húskeménység, pH, BRIX) voltak. Az alábbiakban látható táblázat a (M)ANOVA táblázat, ami a független változók, és a független változók összes lehetséges interakciójának hatását mutatja be a vizsgált függő változókra (3. táblázat).

3. táblázat– (M)ANOVA táblázat, a szín, hőmérséklet, rothadás és idő független változók hatása, illetve a független változók interakciójának hatása a vizsgált függő változókra (húskeménység, pH, BRIX, TMA, TPC, FRAP). (Forrás: saját táblázat)

Változók	Húskeménység [N]	pH	BRIX [°BRIX]	TMA [µg cianidin-3-glu/g]	TPC [mmol Gs/g]	FRAP [mmol As/g]
<i>átlagok és szórások a 6 hetes időtartam alatt</i>						
Szín (Sz)						
Lila	17,65±0,92 a	5,42± 0,05 a	5,70±0,11 a	94317,02±10846,36 a	1727,42±171,61 a	106,69±5,89 a
Zöld	17,33±0,91 a	5,36±0,03 a	6,59±0,14 b	4653,36±1445,41 b	1424,25±169,35 a	99,26±5,97 a
Hőmérséklet (H)						
10 °C	19,75±1,01 a	5,35±0,03 a	6,25±0,11 a	39246,16±5582,26 a	1478,41±174,20 a	104,25±6,42 a
25 °C	15,23±0,75 b	5,43±0,05 a	6,03±0,15 a	59724,22±11596,38 a	1673,26±167,66 a	101,70±5,42 a
Rothadás (R)						
Egészséges	19,61±0,60 a	5,35±0,2 a	6,10±0,10 a	56961,47±7350,10 a	1450,10±113,99 a	115,84±3,95 a
Rothadt	4,79±0,26 b	5,65±0,19 b	6,39±0,32 a	4627,52±2565,83 b	2330,23±477,09 b	25,79±2,91 b
Idő (I)						
0. hét	23,60±0,98 a	5,65±0,02 a	5,89±0,15 a	54752,37±14899,86 a, b	651,77±141,63 a	87,12±7,47 a
3. hét	13,01±1,34 b	5,25±0,04 b	6,34±0,21 a	127450,53±31732,96 a	1583,96±173,46 b	104,21±10,12 a
6. hét	16,86±1,38 b	5,35±0,04 b	6,30±0,28 a	38192,15±11975,50 b	1093,79±227,86 a, b	102,22±7,02 a
<i>MANOVA vizsgálatához kötődő p – értékek a faktorok kombinációja esetében</i>						
I×H	0,000	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000
I×R	0,040	0,000	0,015	0,026	0,000	0,003
I×Sz	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
H×R	0,013	0,000	0,427	0,208	0,000	0,677
H×Sz	0,079	0,000	0,000	0,001	0,000	0,742
R×Sz	0,146	0,000	0,299	0,110	0,000	0,681
I×H×Sz	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
H×R×Sz	0,000	0,000	0,000	0,753	0,000	0,829
I×H×R×Sz	0,004	0,000	0,001	0,003	0,000	0,045

Független változók: Sz: Szín, H: Hőmérséklet, R: Rothadás, I: Idő. Azonos kisbetűvel jelölt átlagok nem térnek el egymástól szignifikánsan p <0,05, Tukey.

Amikor a termékek színe szerint csoportosítjuk az adatokat, akkor a BRIX és TMA értékek esetében találunk szignifikáns eltéréseket. Míg a BRIX értékei a zöld termékekben voltak magasabbak, addig a TMA éppen a lila termékeknél mutatott jelentősen magasabb értékeket. A tárolási hőmérsékletek szerint kialakított csoportok között csak a húskeménységi értékek változása ($10\text{ °C}-19,61\pm0,60 \rightarrow 25\text{ °C}-15,23\pm0,75$) közt volt statisztikailag kimutatható különbség, a magasabb hőmérséklet alacsonyabb húskeménységi értékeket eredményezett. A rothadó és nem rothadó termékeknél majdnem minden változó értékének az alakulása szignifikánsan eltért. Egyedül a BRIX értékekben nem volt statisztikailag kimutatható különbség a két csoport között. A húskeménység, TMA, FRAP értékei jelentős mértékben csökkentek a rothadt termékekben az egészségesekben mért adatokhoz képest, míg a pH és TPC értékei épp ellenkezőleg, emelkedtek. A tárolási idő szerint kialakított csoportok között szintén több változó mutatott jelentős mértékű eltérést. Az időt 3 csoportra bontottuk (0. hét, 3. hét, 6. hét). A húskeménység és pH a tárolási idő első felében (0. hét $\rightarrow$ 3. hét) jelentős mértékben csökkent. A TMA, és TPC értékei a tárolás első felében emelkedtek, majd a 3. héttől a 6. hétig csökkenni kezdtek. A TMA értékek változásánál a tárolási idő második és harmadik csoportjai (3. hét $\rightarrow$ 6. hét) között bekövetkező csökkenést tudtuk statisztikailag is alátámasztani, míg a TPC értékeknél pont az első és második csoport (0. hét $\rightarrow$ 3. hét) közti emelkedést.

A függő változók kombinációinak hatása az egyes függő változókra a legtöbb esetben szignifikáns volt. A táblázatban a húskeménység tekintetében csak a hőmérséklet $\times$ szín ($p=0,079$), valamint a rothadás $\times$ szín ($p=0,146$) kombinációi által kialakított csoportok között nem volt statisztikailag értelmezhető különbség ($p=0,05$). A pH és TPC változók esetében a független változók összes lehetséges kombinációja által kialakított csoportok között tudtunk kimutatni statisztikailag értelmezhető különbséget ($p=0,05$). A hőmérséklet $\times$ rothadás ($p=0,427$), valamint a rothadás $\times$ szín ($p=0,299$) kombinációjának csoportjai között nem volt jelentős eltérés a BRIX értékeknél ($p=0,05$). A TMA értékekre nem volt statisztikailag kimutatható hatása a hőmérséklet $\times$ rothadás ($p=0,208$), a rothadás $\times$ szín ($p=0,110$), valamint hőmérséklet $\times$ rothadás $\times$ szín ($p=0,753$) interakcióknak. A függő változók közül a FRAP értékeinek volt a legkevesebb kimutatható összefüggése a kombinációs csoportokkal. Az antioxidáns kapacitás értékeinek tekintetében hőmérséklet $\times$ rothadás ($p=0,677$), hőmérséklet $\times$ szín ($p=0,742$) a rothadás $\times$ szín ($p=0,681$), valamint hőmérséklet $\times$ rothadás $\times$ szín ($p=0,829$) kombinációja által kialakított csoportok között nem tudtunk statisztikai összefüggést kimutatni ($p=0,05$) (3. táblázat).

A 4. táblázatban látható, hogy az egy cellában kereszteződő változók értékei között kimutatható volt korreláció, vagy sem. A „*” jelöli mely esetben a két változó értékének alakulása közötti összefüggés szignifikáns $p=0,05$ szinten, a „**” azt jelöli, ahol az összefüggés $p=0,01$ szinten szignifikáns. A cellák színe a korreláció milyenségére utal, a kékes színű cellákban negatív, a pirosas színű cellákban pozitív korrelációban vannak az érintett változók értékei egymással (3. táblázat).

4. táblázat: Pearson korrelációs együtthatók a hat hetes tárolás során a zöld és lila cseresznyepaprikák összesített adatai alapján, *-korreláció szignifikáns $p=0,05$; ** -korreláció szignifikáns $p=0,01$.
(Forrás: saját táblázat)

	Hét	Hőmérséklet	Rothadás	Szín	TPC	FRAP	TMA	Húskeménység	pH	BRIX
Hét	1	0	0,281**	0	0,369**	0,027	-0,09	-0,298**	-0,103	0,072
Hőmérséklet		1	0	0	0,062	-0,024	0,123	-0,269**	0,101	-0,092
Rothadás			1	-0,102	0,262**	-0,455**	-0,204**	-0,427**	0,307*	0,015
Szín				1	0,097	0,069	0,537**	0,019	0,073	-0,366**
TPC					1	0,255**	0,137	-0,166*	0,04	-0,051
FRAP						1	0,238**	0,534**	0,166*	0,09
TMA							1	-0,076	0,064	0,258**
Húskeménység								1	-0,053	-0,147
pH									1	0,379**
BRIX										1

Az eltelt idő függvényében a rothadásnak indult termések száma ($R=0,281$), a TPC ($R=0,369$) és a húskeménységi értékek ($R=-0,298$) változása mutatott szignifikáns összefüggést ($p=0,01$). Az idő előrehaladtával egyre több rothadásnak indult termést számláltunk. Az egészséges bogyók húskeménysége csökkent, míg totál polifenol tartalmuk hétről hétre nőtt. A magasabb tárolási hőmérsékleten jelentősen alacsonyabb húskeménységi értékeket kaptunk ($R=-0,269$) ($p=0,01$). A rothadásnak indult termések száma a TPC ($R=0,262$), FRAP ($R=-0,455$), TMA ($R=-0,204$), húskeménység ($R=-0,427$) és pH értékek ($R=0,307$) változásával külön-külön is statisztikailag igazolható összefüggésben voltak ($p=0,01$). A korrelációk szerint a rothadó termések alacsonyabb FRAP, TMA és húskeménységi értékekkel rendelkeztek, totál polifenol tartalmuk magasabb volt a pH pedig savasabb, mint az egészséges bogyók esetében. A termések színe a TMA ($R=0,537$) értékekkel pozitív korrelációban volt, azaz a lila termések rendelkeztek magasabb antocianin tartalommal. A BRIX ($R=-0,366$) értékek változásaival negatívan függött össze szín, azaz a zöld terméseknek volt magasabb az oldható szárazanyag tartalma ($p=0,01$). A termések TPC értékeinek változása a FRAP értékeinek ($R=0,255$) a változásával pozitívan függött össze $p=0,01$ szinten, míg a húskeménység változásával

negatívan ($R=-0,166$) $p=0,05$ szinten. A bogyók FRAP értékei pozitívan függtek össze a TMA ($R=0,238$) és húskeménység értékeivel ($R=0,534$) $p=0,01$, míg a pH ($R=-0,166$) alakulásával negatív volt a korreláció $p=0,05$. A magasabb antioxidáns kapacitás magasabb antocianin tartalommal, keményebb terméshússal és savasabb pH-val társult. A TMA változása a BRIX értékek ($R=-0,258$) változásával, a pH változása szintén a BRIX értékek ($R=-0,379$) változásával mutatott statisztikailag összefüggést, negatív korrelációt ($p=0,01$). A magasabb antocianin tartalom magasabb pH értékekkel és alacsonyabb oldható szárazanyag tartalommal társult (4. táblázat).

4.2.2 Antimikrobiális hatás kiértékelése

Azt, hogy a baktérium tenyészeteken megfigyelt gátlási zónák pontosan mekkora átmérővel rendelkeznek, és hogy az átmérők közötti különbségek mikor voltak szignifikánsak azt az alábbi táblázat foglalja össze (5. táblázat).

5. táblázat: A különböző terméskivonatok (lila, lilából lett piros), az antibiotikum (amikacin) és a kivonó szer hatása Gram-pozitív (*Bacillus subtilis*, *Enterococcus faecalis*; *Bacillus cereus*, *Staphylococcus aureus*) és Gram-negatív (*Salmonella enterica*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Escherichia coli*, *Klebsiella pneumoniae*) baktérium tenyészetekre. (Forrás: saját táblázat)

	Lila	Lilából Piros	Amikacin	MeOH:DV:HS
<i>S. enterica</i>	18,25 ± 0,25 a	15,75 ± 0,25 b	15,50 ± 0,50	12,00
<i>P. aeruginosa</i>	19,25 ± 0,75 a	17,50 ± 0,50 a	16,50 ± 0,50	12,00
<i>B. subtilis</i>	19,75 ± 0,75 a	17,50 ± 0,50 a	19,50 ± 0,5	14,00
<i>E. faecalis</i>	18,50 ± 0,50 a	15,50 ± 0,50 b	0,00 ± 0,00	10,00
<i>B. cereus</i>	15,50 ± 0,50 a	13,00 ± 0,00 b	16,25 ± 0,75	9,50
<i>E. coli</i>	15,50 ± 0,50 a	13,50 ± 0,50 a	12,50 ± 0,50	11,00
<i>S. aureus</i>	16,50 ± 0,50 a	14,50 ± 0,50 a	13,75 ± 0,25	9,00
<i>K. pneumoniae</i>	17,75 ± 0,25 a	15,50 ± 0,50 a	16,25 ± 0,25	11,50

Egy oszlopban lévő azonos betűvel ellátott adatok szignifikánsan nem különböznek egymástól a $p < 0,05$ szinten.

Az 5. táblázat első oszlopában a gazdasági érettségben lila paprika kivonata, második oszlopában a lila termés biológiailag érett piros változatának kivonata, harmadik oszlopban az amikacin antibiotikum, a negyedik oszlopban a terméskivonatokhoz használt kivonó oldat által kialakított gátlási zónák láthatók. A táblázatban vastaggal emeltük ki, ahol a különböző terméskivonatok egy baktériumra gyakorolt gátló hatása között statisztikailag kimutatható különbséget mértünk ($p=0,05$). A kivonószert minden baktériummal szemben fejtett ki gátló hatást, azonban a paprika kivonatok által kialakított gátlási zónák ettől minden esetben nagyobbak bizonyultak. Az antibiotikum (10µg/korong) a különböző baktériumokra eltérő erősségű gátló hatást fejtett ki. Míg a *B. subtilis* esetében 19,50 ± 0,5 mm-es gátlási zónát alakított ki az amikacin, addig az *E. faecalis*-sal szemben nem volt felvételezhető gátló hatása. Az antibiotikum gátló hatása nem vethető össze a paprikakivonatok gátló hatásával, mivel az

antibiotikum korong 10 µg hatóanyagot tartalmaz korongonként, míg oldataink 100 mg/ml töménységűre lettek beállítva. Az antibiotikumos tesztelés lényegében az agardiffúziós kísérlet működésének tesztelésére szolgál, pozitív kontrollként. A gátlási zónák nagyságát tekintve a lila termések kivonata minden baktérium esetében nagyobb gátlási zónát alakított ki, mint a biológiailag érett piros változatuk kivonata, azonban nem mindenhol tudtuk a kivonatok gátlása közötti eltérést statisztikailag is kimutatni. A *S. enterica* esetében a termés kivonatok közül a lila $18,25 \pm 0,25$ mm-es a piros $15,75 \pm 0,25$ mm-es, az *E. faecalis*-nál a lila $18,50 \pm 0,50$ mm-es, piros $15,50 \pm 0,50$ mm-es, a *B. cereus* lila $15,50 \pm 0,50$ mm-es, piros $13,00 \pm 0,00$ mm-es gátlási zónát alakított ki. Mindhárom baktérium (*S. enterica*, *E. faecalis*, *B. cereus*) esetében a szignifikánsan nagyobb gátlási zónát alakított ki a lila termés kivonata, mint a lilából lett pirosé (5. táblázat).

5 Következtetések és javaslatok

5.1 Pultontarthatósági paraméterek következtetései

A zöldségek és gyümölcsök minőségét rontó, a betakarítás utáni eltarthatóságát korlátozó egyik fő tényező a termésszövet puhulása (Barth et al. 1993). A paprika húskeménység értékei a tárolási idő elteltével csökkentek (3. táblázat), ami hasonlóságot mutat Singh és munkatársainak eredményeivel (2014), a kontroll paprikákat 27 °C és 8±1 °C-on tárolták. A tárolási idő (14 és 21 nap) alatt szignifikánsan csökkent a termésfal keménysége (Singh et al. 2014). A húskeménység változása több más változó értékeinek változásával volt kimutatható összefüggésben, mint hét (eltelt idő), hőmérséklet, rothadás, TPC, FRAP.

A termések fokozott tömegvesztése alacsonyabb húskeménységi értékekkel társult, ami arra vezethető vissza, hogy a termés érése során fokozódik a vízvesztés, melyből ered a termés tömegvesztése végül pedig a termeshús puhulása (Suslow, 2000). A keményítő bomlása és a sejtfal kémiai módosulása is okozhatja a termésszövet keménységének csökkenését (Chen et al. 2011). Az említett folyamatokat olyan enzimek katalizálják, mint a pektin-liáz és a β -galaktozidáz, melyek aktivitását a betakarítás utáni környezet és a termés beltartalma is befolyásolhatja (Dobón-Suárez et al. 2021). Példaképpen lila paradicsom termésekben a β -galaktozidáz és poligalakturonáz csökkent aktivitását mérték (Zhang et al. 2013), ami miatt mi is kisebb mértékű tömegvesztésre és puhulásra számítottunk a lila paprika termésekben. Eredményeink azonban máshogyan alakultak, mivel 25 °C-nál a lila termésekben volt tapasztalható nagyobb mértékű tömegvesztés, a húskeménységi értékek pedig éppen a zöld termésekben csökkentek erőteljesebben a tárolás során (1. diagramm). Mások paradicsom terméseknél szintén azt tapasztalták, hogy az antocianinokat tartalmazó termések jobban képesek megőrizni a húskeménységüket a tárolás során (Zhang et al. 2013).

A húskeménység értékei nem csak az eltelt idővel, hanem a tárolási hőmérséklettel is negatív korrelációt mutattak. Magasabb tárolási hőmérséklet erőteljesen csökkentette a paprika húskeménységét, melyet mások is leírtak (Rao et al. 2011, Cheng et al. 2023). A hőmérséklet termésszilárdságra gyakorolt hatásának pontosabb megértéséhez azonban szükséges a sejtfalkomponensek és a kapcsolódó enzimek aktivitásának alapos felmérése (Cheng et al. 2023). Az alacsonyabb hőmérséklet is csökkenő húskeménységi értékeket eredményezett, ami eredhet abból, hogy a hosszabb időn át tartó alacsony hőmérsékleten nő az oxidatív (Zhang et al. 2020) és szerkezeti károsodások aránya (Wang et al. 2016), valamint a membránokat bontó hidrolázok aktivitása, mely változások a termés puhulásához vezethetnek (Kong et al. 2018, Kong et al. 2019).

A TPC értékek negatív összefüggést mutattak a húskeménységgel. A magasabb totál polifenol tartalom alacsonyabb húskeménységi értékeket eredményezett. Megállapították, hogy pirostra érő paprika fajták esetében a magasabb TPC szerepet játszhat a lipidperoxidáció gátlásában (Sukrasno 1993, Oboh et al. 2007). A lipidperoxidáció a termés puhulásához vezet (Kong et al. 2018), így gátlásuk révén a magasabb TPC értékeknél keményebb termésszövetre számítottunk volna. Azonban a növényekben jelen lévő polifenol oxidáz eznim számára, néhány polifenol (katechin, epikatekin, katechin, klorogénsav és kávéssav) szubsztrátként szolgálhat (Yoruk és Marshall 2003), amely a paprika termések romlásához vezethet. A magasabb polifenol tartalom közvetett módon a terméshús puhulását eredményezhette, mivel mások kísérletében a zöldpaprika szeletek vágás utáni mosása javította a terméshús keménységének megőrzését, melyet többek között a fenolos vegyületek vágási felületről történő eltávolításának tulajdonítottak (Toivonen és Stan 2004).

A FRAP értékei pozitív korrelációban voltak a húskeménység, a TPC, a TMA értékeivel külön-külön is. A magasabb antioxidáns kapacitású termések húsa keményebb volt, valamint magasabb totál polifenol és totál monomer antocianin tartalommal rendelkeztek. Többen is összefüggést mutattak ki a paprika totál polifenol tartalma és antioxidáns kapacitása között (Rice et al. 1997, Howard et al. 2000), mivel a paprikában lévő antioxidáns aktivitás jelentős részét a polifenolok adják (Marín et al. 2004, Materska és Perucka 2005, Oboh et al. 2007). Az antocianinok is rendelkeznek antioxidáns kapacitással (Jiao et al. 2012, Landi et al. 2015, Chaves-Silva et al. 2018), így a magasabb TPC és TMA értékek magasabb FRAP értékeket alakíthattak ki, a magasabb antioxidáns kapacitás pedig a lipidperoxidáció gátlása révén eredményezhetett keményebb terméshúst (Jiao et al. 2012, Wang et al. 2016, Kong et al. 2018).

A FRAP értékek változása a pH értékek változásával volt negatív korrelációban. Az antioxidáns kapacitás emelkedése a pH értékek csökkenését vontta maga után. Tudván, hogy a szerves savak energiatartalékkul szolgálhatnak az egyes antioxidáns hatású anyagok szintéziséhez (Chitarra és Chitarra 1990), az anyagcsere-folyamatok intenzitásának növekedése a szintézis alatt, a Krebs-ciklusban részt vevő szerves savak koncentrációjának növekedését vonja maga után, végső soron savas irányba tolhatja el a pH-t (Ghasemnezhad et al. 2011).

A TMA értékek változásai a FRAP és BRIX értékeinek változásával, valamint a termés színével mutattak statisztikailag összefüggést. A lila színű termésekben volt magasabb az antocianinok koncentrációja, mivel az antocianinok alakítják ki a lila héjszínt (Lightbourn et al. 2008). Banerjee és munkatársai szintén lila színű paprika termésekben mértek magasabb antocianin tartalmat (Banerjee et al. 2023). A lila termések antocianin tartalma a tárolási idő első felében emelkedett, majd a második felében erőteljes csökkenést mutatott. Az antocianinok

védelmi szerepet töltenek be az abiotikus és biotikus stresszhatásokkal szemben is (Gould 2004, He és Giusti 2010). A tárolás során fellépő főbb stresszhatások, mint a kedvezőtlenül alacsony hőmérséklet (Sicilia et al. 2020), és a patogén fertőzések (He és Giusti 2010), bizonyítottan fokozhatják az antocianinok bioszintézisét (Gould 2004). Így a tárolási idő kezdetén a termésekben mért TMA tartalom emelkedését a különböző stresszhatások okozhatták. A csökkenés oka az antocianinokat lebontó enzimrendszerek, például a glikozidázok (antocianázok), polifenoloxidázok és peroxidázok általi bomlása lehetett (Shi et al. 1992). A zöld termésekben is felvételezhető volt a 10 °C-os tárolásnál némi antocianin tartalom, amit a membránhoz kötött antocianinok hideg körülmények által fokozott felszabadulása indokolhat (Shi et al. 1992).

Kísérletünkben a 10 °C-on tárolt termések BRIX értékei folyamatosan emelkedtek a tárolás alatt. A cukortartalom, tehát a szövetek szacharóz, glükóz és fruktóz tartalma szorosan összefügg az összes oldható szárazanyag tartalommal, mivel annak több mint 75-80%-át teszik ki a cukrok (Prusky 1996). Paprika termésekben mások is megfigyelték az oldható cukrok felhalmozódását a tárolás és érés során (Rao et al. 2011, Ghasemnezhad et al. 2011), amelyet a betakarítás után még fotoszintetikusan aktív klorofillok eredményezhettek (Simkin et al. 2020). Továbbá a sejtfal poliszacharidjai az érés során bomlanak, ami szintén a cukorszint növekedésével jár (Antoniali et al. 2007, Ghasemnezhad et al. 2011). Az emelkedett oldható szárazanyagtartalom, a betakarítást követően még aktív klorofillok működésének, illetve a sejtfalak termésérés során bekövetkező bomlásának következménye lehetett. A 25 °C-on tárolt paprikák BRIX értékeinek csökkenését tapasztaltuk. A magasabb hőmérsékleten mért csökkenő oldható szárazanyagtartalom következhet abból, hogy a magasabb hőmérsékleten történő tárolás intenzívebb légzés okoz, és a légzés folyamata során az oldható cukrok felhasználódnak a biokémiai folyamatokban (Antoniali et al. 2007). Mások azt találták, hogy antocianint tartalmazó paprika termésekben magasabb volt a cukortartalom (Ghasemnezhad et al. 2011), ennek ellent mond, hogy a mi kísérletünkben a lila terméseknek összességében alacsonyabb volt az oldható szárazanyag tartalma, mint a zöldeknek.

A TMA értékek változása negatív korrelációban volt a BRIX értékek változásával. A magasabb antocianin tartalom alacsonyabb oldható szárazanyagtartalmat eredményezett (3. táblázat), tehát a lila színű termések alacsonyabb BRIX értékeket mutatnak. Liu és munkatársai (2020) kimutatták, hogy az érés korábbi fázisában lévő paprikákban később indult be a különböző cukrok felhalmozódásának folyamata és hogy a kevésbé érett gyümölcsökben magasabb az antocianin bioszintézis sebessége (Liu et al. 2020). Azonban ez az eredmény ellent mond Ghasemnezhad és munkatársainak eredményeinek, akik lila ('Marona') paprika fajtában

találták a legmagasabb oldható cukortartalmat (Ghasemnezhad et al. 2011). Összességében a mi kísérletünkben tapasztalt lila termések alacsonyabb cukortartalma adódhat abból, hogy az intenzív antocianin bioszintézis és cukorfelhalmozódás időpontja a termés különböző érettségi állapotában következik be. Az antocianin bioszintézise a termés gazdasági érettségében a maximális (Lightbourn et al. 2008), míg a cukortartalom a biológiai érettségben (Liu et al. 2020). Továbbá a termés érésakor fokozódó metabolikus folyamatok, mint például a pigmentszintézis, megnövekedett energiaigénnyel járnak, ami növekvő cukorfelhasználást is maga után von (Chitarra és Chitarra 1990, Ghasemnezhad et al. 2011). Bár a zöld termések sem voltak a biológiai érettség fázisában, hogy jelentősen intenzívebb cukorfelhalmozódás következhesen be, azonban ott az antocianin pigment szintézise által nem használódhatott fel több cukor, mint a lila termésekben.

A szín és a BRIX értékek változása szintén negatív korrelációban volt. A lila terméseknek volt alacsonyabb az oldható szárazanyag tartalma. Ez az összefüggés szinte egyezik az előzőekben leírtakkal, mivel a termés lila színét az antocianinok alakítják ki (Lightbourn et al. 2007, He és Giusti 2010, Di Gioia et al. 2020, Tang et al. 2020).

A BRIX értékeinek a változása a pH értékeinek a változásával mutatott még statisztikailag kimutatható összefüggést, melyek negatív korrelációban voltak. A magasabb BRIX értékek alacsonyabb, azaz savasabb pH értékekkel társultak, bár a pH értékek változása csekély mértékű volt. Antoniali és munkatársai (2007) szintén arról számoltak be, hogy a paprika termés pH-értékei között nem tapasztaltak jelentős eltérést a növényen történő érés során (Antoniali et al. 2007). Mások leírták, hogy a különböző paprikafajták savtartalma az éréssel együtt nőtt. A termés érése során fokozódó metabolikus reakciók savas irányba tolják a pH-t (Chitarra és Chitarra 1990, Ghasemnezhad et al. 2011). A hőmérséklet a légzési intenzitásának befolyásolásával meghatározza a cukrok és a szerves savak mennyiségének felhasználását a légzési folyamatokban (Antoniali et al. 2007). Ez magyarázatot adhat arra, hogy 10 °C-on a csökkent légzésintenzitás csökkenthette a felhasznált cukor és szerves sav mennyiségét, így nem csak magasabb oldható szárazanyag tartalmat, de magasabb fennmaradó savtartalmat is eredményezhetett, mint 25 °C-on. Továbbá kimutatták, hogy a *F. oxysporum* a termésben rendelkezésre álló szénforrások mennyiségétől függően képes beállítani a környezeti pH-értékét, növekvő szénforrásnál a terméshús savasodását okozza (Bi et al. 2016). A piros paprika érése során cukortartalma növekszik ± 80 mM-ról ± 160 mM-ra a fajtától függően (Aizat et al. 2014). A termések kezdeti pH-ja 4 - 6 között változik, de a kórokozók akár 8,0 pH-ra is növelhetik, vagy akár 3,2 pH-ra is csökkenthetik (Prusky and Yakoby 2003). A *Fusarium* fajok látens stádiumban jelen lehetnek az éretlen zöld termésben a színeződéséig (Frans et al.

2015). A tárolási kísérletünk során csak felületi fertőtlenítés történt, és nem vizsgáltuk, a termékek kórokozó mentességét, így lehetséges, hogy a vizsgált éretlen termékekben jelen lévő eleinte még látens gomba kórokozó a tárolás során emelkedő oldott szárazanyagtartalom hatására a terméshús savasodását idézhette elő.

Hétről hétre egyre több volt a romlásnak indult termékek száma, melyek többsége a zöld színű bogyók közül került ki. A termékek romlásának okát nem vizsgáltuk külön a kísérlet során, mivel számtalan tényező okozhatja.

Összességében a gazdasági érettségben lévő lila színű termékek antocianin tartalma volt jelentősen magasabb, mint a zöld színűeké, ami előnyös tulajdonság lehet a lila termékek fogyasztása szempontjából. Az antocianinokat felhalmozó, lila bogyók valamivel jobb antioxidáns kapacitással és keményebb termésfallal rendelkeznek, mint a zöld színűek, azonban ez statisztikailag nem volt kimutatható, így ezek alapján az antocianin tartalom nem járul hozzá jelentős mértékben a termékek eltarthatóságához. Továbbá a lila termékekben mért BRIX értékek jelentősen alacsonyabbnak bizonyultak a zöld termékekben mértékhez képest, amely így negatívan hat a termékek eltarthatóságára. A paprika bogyókban lévő antocianinok eltarthatóságra gyakorolt hatásának pontosabb megértéséhez ajánlott lehet több antocianinokat is szintetizáló paprikafajta terméseinek bevonása a kísérletbe.

Az általunk vizsgált paprikáknál is a termékek pultontarthatósági idejének meghosszabbítására a mérsékelt alacsony (13-10 °C) hőmérsékleten történő tárolás javasolt, amely még nem okoz jelentős hűtési sérüléseket. A hűtött tárolás során a termésfal keménységének alakulása révén nem csak az eltarthatósági idő, hanem a termékekben fennmaradó magasabb oldható szárazanyagtartalom is kedvezőbb lehet.

5.2 Mesterséges fertőzés következtetései

Paradicsom termékekben a szintetizált antocianin fokozta a *B. cinerea*-val szembeni ellenállóképességet (Zhang et al. 2013), ami látszólag ellent mond az általunk tapasztaltakkal, mivel kísérletünkben az antocianinban gazdag lila termékek felületét nagy arányban nőtte be a gomba. Paradicsom termékekben a *B. cinerea* fertőzési helyén reaktív oxigéngyökök (ROS) szabadulnak fel, melyek a piros bogyókban gyorsan tudtak terjedni, a lila bogyók esetében csak a fertőzés helyére korlátozódtak (Zhang et al. 2013). Az oxidatív környezet elősegítheti a nekrotróf kórokozók fertőzését, terjedését (Glazebrook 2005), azonban pirosra érő paprika termékek magasabb antioxidáns kapacitással rendelkezhetnek, mint a korábban leszedett zöld színűek (Ghasemnezhad et al. 2011, Park et al. 2012). A piros termékekben nem mértünk

antioxidáns kapacitást, azonban az irodalmi adatok alapján arra következtetünk, hogy az érett termések magasabb antioxidáns kapacitása okozhatta a *B. cinerea* növekedésének gátlását.

A belső termésrothadást főként a FLASC (*Fusarium lactis* species complex) okozza (Frans et al. 2018). Velünk ellentétben mások a FLASC-al fertőzött paprikákon 14 napos inkubációt követően az éretlen zöld terméseken mértek szignifikánsan kisebb fertőzési zónát, mint az éretteken, ugyanebben a kísérletben a piros habanero 'Red Savina' paprika termésének gazdaságilag érett zöld, és biológiailag érett, piros termésén hasonló méretű volt a lézió (Frans et al. 2016). Az antocianint tartalmazó lila termések enyhe gátló hatását hozzánk hasonlóan mások is tapasztalták. Lila bogyójú ('Mavras') paprika termésén kevésbé hatékonyan terjedt a FLASC, mint egy fehér és narancssárga bogyójú fajtán, azonban statisztikailag nem volt kimutatható különbség a színek gátló hatása között (Yang et al. 2009).

A *F. culmorum* gyengébb felületi tünetei ellenére magasabb gomba DNS mennyiséget mutatott a szövetekben, mint a *B. cinerea*. A FLASC tünetei főként a termés belsejében jelennek meg, emiatt külső szemrevételezéskor nehezen megállapítható a fertőzés súlyossága (Zang et al. 2005, Frans et al. 2015), ez okozhatta, hogy a *F. culmorum* bár kisebb felületen borította be a termést, mint a *B. cinerea*, a mennyiségi meghatározásnál mégis a *F. culmorum* genomi DNS-e volt jelen nagyobb mennyiségben.

A terméskivonatokkal dúsított PDA táptalajon is a biológiailag érett, piros termések gátolták jobban a mindkét gomba növekedését. Mások kísérleteiben a *F. oxysporum* micéliumainak növekedése érett *Capsicum annuum* kivonatokkal dúsított táptalajon enyhén gátolt volt (Sepúlveda et al. 2024). Antioxidáns hatású vegyületek képesek voltak gátolni a *B. cinerea* konídiumok csírázását és fejlődését *in vitro* (Tao et al. 2010). A lila termések nem rendelkeztek jobb gátló hatással *in vitro*, mint a zöld, vagy piros termések. Amikor paradicsom termés kivonattal dúsított agaron növesztették a *B. cinerea*-t, az antocianinokat tartalmazó lila termés kivonata nem fejtett ki nagyobb gátló hatást a gomba növekedésére. Feltételezték, hogy az antocianinok által kifejtett gátló hatáshoz élő szövet szükséges (Zhang et al. 2013). Azonban igazolták, hogy lila színű édesburgonya levél kivonata gátolta a *Fusarium* fajok növekedését *in vitro*, mely gátló hatást többek között az antocianin tartalomnak is tulajdonították (Saputri et al. 2020). Az irodalmi adatok alapján itt is azt feltételeztük, hogy az érett termések esetlegesen magasabb antocianin tartalma okozhatta a zöld és lila terméseknél jobb gátló hatást, ahhoz azonban, hogy ezt biztosabban állíthassuk, szükséges a biológiailag érett, piros termések antioxidáns kapacitásának megmérése és összehasonlítása a többi termés értékével.

Összességében a gazdaságilag érett lila paprikák nagyobb felületét nötték be a patogén gomba kórokozók, mint a biológiailag érett pirosakét. A gazdasági érettségben lévő (lila és

zöld) termések a mennyiségi meghatározás szerint is fogékonyabbak voltak a kórokozókra, mint a biológiai érettségben lévő, pirosak. A *F. culmorum* fertőzési vizsgálatai azt mutatták, hogy a felületi tünetek megjelenése nem reprezentálja a kórokozó fertőzöttség mértékét és a kórokozók mennyiségét a paprika szövetekben, ami megnehezítheti a gomba megjelenésének észlelését és a fertőzés súlyosságának felmérését a tárolás során. Eredményeink alapján a gazdasági érettségű lila termések raktári kórokozókkal szembeni ellenállóképessége nem bizonyult jobbnak a gazdasági érettségű zöld termésektől, a biológiai érettségben lévő piros termésektől pedig jelentősen elmaradt. Az irodalmi adatok alapján az alacsonyabb hőmérsékleten tárolás mérsékelheti a gomba kórokozók növekedését, terjedését a termésekben, így a hűtőtárolás nem csak a termések hosszabb eltarthatósága miatt, hanem a raktári kórokozók terjedésének csökkentése révén is javasolt lehet.

5.3 Antimikrobiális hatás következtetései

A paprika termés kivonatok minden esetben rendelkeztek gátló hatással az oldószer gátló hatásán felül is. Többen is azt találták, hogy a Gram-pozitív baktériumokkal szemben nem, vagy csak gyengébb gátló hatást fejtettek ki a paprika kivonatok (McCutcheon et al. 1992, Kouassi et al. 2010, Mohammad et al. 2022), mint a Gram –negatívakkal szemben. Munkánk során az alkalmazott Gram+ és Gram- baktériumok paprika kivonatokra való érzékenységekben nem tapasztaltunk egyértelmű eltérést. Hozzánk hasonlóan, más kísérletekben is gátolta a piros paprika metanolos kivonata a *P. aeruginosa*, *E. coli* baktériumok növekedését (Aljaloud et al. 2012, Ameya et al. 2018, Hu et al. 2021), azonban volt, ahol ez a gátló hatás gyengének bizonyult (Kouassi et al. 2010), vagy egyáltalán nem is érvényesült (Koffi-Nevry et al. 2012). Paprika metanolos kivonata több kísérletben is gátolta *S. aureus* és *B. cereus* növekedését (Dorantes et al. 2000, Aljaloud et al. 2012, Koffi-Nevry et al. 2012, Ameya et al. 2018, Hu et al. 2021). Paprika metanolos kivonatok *K. pneumoniae* (Ameya et al. 2018), és *B. subtilis* növekedésére egyaránt gátlóan hatottak (Bakht et al. 2020). Ďúranová és munkatársai paprika kivonatokkal átitatott korongokat helyeztek az agar felületére, az általuk leírt méretek a korong széle és a gátlási zóna széle közötti távolságra utalnak mm-ben. Vizsgálataik során lila 'Peruvian Purple' paprika termés kivonattal kezelt között *S. enterica*, *P. aeruginosa*, *S. aureus* és *E. faecalis* baktériumok növekedése volt gátolt. A lila terméskivonat a többi baktérium gátlási zónájától nagyobb gátlási zónát alakított ki a *P. aeruginosa*, (3.67 ± 0.58 mm) *S. enterica* (3.33 ± 0.58 mm) esetében. Összességében munkájuk során nem bizonyult jobbnak a lila terméskivonat antimikrobiális hatása más színű paprikakivonathoz képest. Ugyanebben a kísérletben barna termésszínű 'Cherry Chocolate' paprikát is felhasználtak, ami antocianinokat

és karotinokat is tartalmaz. A barna termés kivonata szintén minden esetben gátolta a baktériumok növekedését, a lila paprikától többször is nagyobb gátlási zónákat alakított ki. Az általunk is vizsgált baktériumok közül a legnagyobb gátló hatást az *E. faecalis*-sal szemben (4.33 ± 0.58 mm) alakította ki a barna termés kivonata. (Đúranová et al. 2021).

Összességében az antocianinokat szintetizáló és fölhalmozó, lila termések antimikrobiális hatását is vizsgáltuk. A kísérlet során a termések gazdasági érettségben lévő lila és a biológiai érettségben lévő piros változataiból is kivonatokat készítettünk. A kivonatoknak mértük a különböző baktériumok növekedésére gyakorolt gátló hatását. A gazdasági érettségű lila termés kivonata minden vizsgált baktérium növekedését nagyobb mértékben gátolta, mint a biológiai érettségű piros termés kivonata. A gazdaságilag érett lila termés kivonata három baktérium esetében is (*S. enterica*, *E. faecalis*, *B. cereus*) szignifikánsan nagyobb gátlási zónát alakított ki, mint a biológiai érettségű piros termés kivonata.

A lila színű termések a pultontarthatóság szempontjából nem rendelkeztek jelentős hozzáadott értékkel a kiemelkedő táplálkozásélettani tulajdonságaik révén azonban, mint az antioxidáns kapacitás és az antimikrobiális hatás fogyasztásuk javasolt, lehetőleg friss, nyers formában.

6 Összefoglalás

A paprika a *Solanaceae* családon belül a *Capsicum* nemzetségbe tartozik, mely megközelítőleg 38 fajt foglal magába. A paprika globális szinten termesztett nagy gazdasági jelentőségű zöldségnövény, friss és feldolgozott formában is. Gazdasági értékét a termés alakja, színe, és a beltartalmi összetétele révén kialakított íze és táplálkozásélettani tulajdonságai határozzák meg. A termesztésben lévő fajták bogyó színe nagy változatosságot mutat, a termés érési fázisaitól függően folyamatosan változhat. A különböző árnyalatok kialakítását az egyes színanyagok (flavonoidok, karotinoidok) eltérő mértékű felhalmozódása okozza. A lila színezetet a szövetekben szintetizált antocianinok felhalmozódása eredményezi. Az antocianin tartalom genetikailag meghatározott tényező, melyet az egyes környezeti tényezők változása jelentősen befolyásolhat.

A paprika rövid eltarthatósági idővel jellemezhető zöldségnövény. Globális szinten a betakarított gyümölcs és zöldség több mint 40%-át érinthetik a különböző kórokozó fertőzések, melyek jelentős részét patogén gombák alakítják ki. A paprika termését károsító fő kórokozók között szerepel a *B. cinerea* és *F. culmorum* is. A *B. cinerea* szürkepenészes rothadást, a *F. culmorum* belső termésrothadást alakít ki a betakarítást követően, mely a paprika hosszú távú tárolása során komoly problémát jelent. Jelenleg a gombafertőzések megelőzésére, kezelésére csak a fungicidek használata nyújt kielégítő megoldást a mezőgazdaságban. A termés belsejében terjedő gomba ellen a betakarítás utáni higiéniai kezelések nem védenek, így szükségessé válik a gombák megfékezésére szolgáló alternatív megoldások keresése. A paprika számos beltartalmi összetevője (polifenolok, flavonoidok, antocianinok, kapszaicinoidok, aszkorbinsav stb) révén képes gátló hatást gyakorolni az egyes patogén gombák fejlődésére, növekedésére. Paradicsom termésekben a szintetizált antocianinok fokozták a raktári kórokozókkal szembeni ellenállóképességet és meghosszabbították a pultontarthatósági időt.

Munkák során liluló és nem liluló paprika nemesítési vonalak terméseit vizsgáltuk. Összefüggéseket kerestünk a termések antocianin tartalma és pultontarthatósága között. Egy szimulált tárolási kísérletben felvételeztük a termésekben bekövetkezett változásokat. Vizsgáltuk a tárolás körülményeinek és a beltartalmi mutatók változásának egymásra hatását. Felvételeztük a termések raktári kórokozókkal szembeni érzékenységet (*F. culmorum*, *B. cinerea*), és a termés kivonatok antimikrobiális hatását 8 különböző humánpatogén baktériumra.

Eredményeinkben a termések puhulása főként azok vízvesztéséből adódhat. A víztartalom és a húskeménység értékei, amik a termés eltarthatóságának fő meghatározói együtt

csökkentek a tárolási idő során. A magasabb (25 °C) hőmérsékleten tárolás a fokozódó biokémiai folyamatok (sejtlégzés, sejtfalbontás) nagyobb mértékű vízvesztéshez vezethetnek, ami a terméshús puhulását vonja maga után az idő elteltével. A paprika azonban érzékeny a hosszú távú alacsony hőmérsékleten tárolásra, így az alacsonyabb (10 °C) hőmérsékleten szintén fokozódhatott a hús puhulásának sebessége, még ha nem is akkora ütemben, mint a magasabb 25 °C-os tárolásnál. Kísérleteink során a termésekben mért magasabb TPC értékeknél kisebb húskeménységi értékeket kaptunk, ami elsőre ellentmondásosnak tűnhet tekintve, hogy a húskeménységre pozitívan ható antioxidáns kapacitást főként a polifenolok mennyisége határozza meg. Lehetséges magyarázat, hogy a termés romlásában részt vevő polifenol oxidáz enzim számára több polifenol is szubsztrátként szolgál, mely enzim aktivitása összetett folyamatok révén a terméshús puhulásához vezet. A tárolás során a pH minimális csökkenését tapasztaltuk mindkét tárolási hőmérsékleten. A termések érése során fokozódó metabolikus folyamatok, mint antioxidáns kapacitású vegyületek szintézise és sejtlégzés intenzitásának növekedése megemelhették a sejtekben a jelen lévő szerves savak mennyiségét, ezzel savas irányba tolva el a pH-t. Az alacsonyabb tárolási hőmérséklet csökkentheti a metabolikus folyamatok sebességét, ami feltételezhetően kevesebb felhasznált cukrot (magasabb oldható szárazanyagtartalom) eredményezhet. Azonban a tárolási hőmérsékletek között a BRIX értékek változásának tekintetében nem tudtunk kimutatni statisztikailag különbséget. Említettük, hogy a tartósan alacsony hőmérséklet is hozzájárulhat a termésfal puhulásához, azonban lehetséges, hogy a hűtött körülmények között megvalósult kevésbé intenzív sejtlégzés járult hozzá a 10 °C-on tárolt termések húskeménységének jobb megőrzéséhez. Az alacsonyabb hőmérsékleten szignifikánsan jobb maradt a termésfal keménysége a tárolási idő során. A hűtőtárolás (10 °C) összességében valamivel jobb oldható szárazanyagtartalmat és jelentősen jobb húskonzisztenciát eredményezett, a tárolási idő végére, mint a 25 °C-os hőmérséklet.

A termések antocianin tartalma határozza meg azok lila színét. Az antocianinok szerepet játszanak az antioxidáns kapacitás kialakításában, ebből adódhatott, hogy a lila termések valamivel magasabb FRAP értékekkel rendelkeztek. A jobb antioxidáns kapacitás (FRAP), nagyobb mértékben csökkenthette a tárolása során bekövetkező oxidatív károsodások mértékét, ezzel közvetett módon valamivel keményebb termésszövetet eredményezve. A lila és zöld termések esetében csak a TMA és BRIX értékei közti különbség volt jelentős. A lila termések magasabb antocianin tartalommal és alacsonyabb oldható szárazanyagtartalommal rendelkeztek, mint a zöld színűek.

A tárolási idő során azonban egyre több termés indult romlásnak, melyek kiváltó okát nem tanulmányoztuk ebben a kísérletben. A jobb húskeménység megőrzése miatt a paprika hosszabb távú tárolására az alacsonyabb hőmérsékleten történő tárolás ajánlott. A lila színű termések a fogyasztás szempontjából az egészségvédő szereppel is rendelkező antocianin tartalmuk révén lehetnek kedvezőek. A beltartalmi és fizikai mutatókat tekintve statisztikailag nem tudtuk kimutatni a lila termések jobb eltarthatóságát.

A fertőzési kísérleteinkben, a *Fusarium culmorum* és a *Botrytis cinerea* ellen is a biológiailag érett piros termések mutattak jobb ellenállóképességet, amit a qPCR általi mennyiségi meghatározás is alátámasztott. Az irodalmi adatok alapján a vizsgált raktári kórokozók éppen az érett terméseket preferálják, így a piros termések jobb ellenállóságának oka az érett termések esetlegesen jobb antioxidáns kapacitása lehetett, amely pontos megállapításához szükséges lenne a piros terméseken is elvégezni a FRAP méréseit. A lila termések nem mutattak jobb ellenállóképességet sem a piros, sem a zöld terméseknél.

Az antimikrobiális hatás vizsgálata azonban kimagasló eredményeket hozott. A lila és lilából lett piros termés kivonata is képes volt gátolni az összes vizsgált humánpatogén baktérium terjedését. Összességében a gazdaságilag érett lila termés kivonata minden vizsgált baktérium esetében erőteljesebb gátló hatást fejtett ki, mint a biológiailag érett piros termés kivonata, azonban ez csak *S. enterica*, *E. faecalis* és *B. cereus* esetében volt statisztikailag is alátámasztható. Érdekesség, hogy az *E. faecalis*-ra az alkalmazott antibiotikum (amikacin) nem fejtett ki gátló hatást, míg a vizsgált termés kivonatok igen.

Összességében azt látjuk, hogy a beltartalmi mutatók alakulása és a raktári kórokozókkal szembeni ellenállóság alapján az antocianinok nem javítják jelentős mértékben a paprika pultontarthatóságát a lila termésekben. Paradicsom esetében az antocianinok jelentős mértékben megemelték a termés eltarthatósági idejét és a kórokozókkal szembeni ellenállóságát. A paprika termések erőteljes antimikrobiális hatással rendelkeztek, ahol a lila termések gátló hatása bizonyult jobbnak a pirosakéval szemben. A magas antimikrobiális potenciál kiemelt jelentőségűvé teheti a paprikát az egészségvédő szereppel is rendelkező élelmiszerek körében. A lila termésszínű változatok a magas antocianin tartalmuk révén hathatnak pozitívan az emberi szervezetre, ami miatt fogyasztásuk javasolt lehet főleg friss, nyers formában. A kapott eredmények utalhatnak a paprika termésekben eleve jelen lévő kimagasló beltartalmi potenciálra, melyhez a szintetizált antocianinok nem, vagy nem olyan módon tudnak hozzáadott értéket adni, mint azt paradicsomban tapasztalták. Az összefüggések pontosabb megértéséhez azonban sokkal átfogóbb vizsgálatokra volna szükség a paprikában.

7 Irodalomjegyzék

1. Abubakar S. , Sanusi M. , Habsatu S. , Abubakar M. N. , Abdulkadir S. (2023) Isolation Phenotypic Characterisation and Molecular Identification of Fungal Pathogens of Sweet Pepper (*Capsicum Annuum L.*) Fruit in Sokoto State Nigeria. International Journal of Research Publication and Reviews, Vol 4, no 7, pp 1876-1882
2. Abiad, M.G. and Meho, L.I. (2018) Food loss and food waste research in the Arab world: a systematic review. Food Secur. 10, 311–322.
3. Aljaloud, S. O., Gyawali, R., Reddy, M. R., Ibrahim, S. A. (2012). Antibacterial activity of red bell pepper against *Escherichia coli* O157: H7 in ground beef. Internet J Food Saf, 14, 44-47.
4. Ameya, G., Aklilu, A., Bistrat, N., Nassir, M., and Negash, A. (2018). In vitro antimicrobial activity of fermented spices and *Capsicum frutescens* against multi drug resistance clinical isolate and standard reference bacteria. African Journal of Clinical and Experimental Microbiology 19, 9-17.
5. Aza-González, C., Núñez-Palenius, H. G., Ochoa-Alejo, N. (2012). Molecular biology of chili pepper anthocyanin biosynthesis. Journal of the Mexican Chemical Society, 56(1), 93-98.
6. Aza-Gonzalez C, Herrera-Isidron L, Núñez-Palenius HG, Martínez De La Vega O, Ochoa-Alejo N. (2013) Anthocyanin accumulation and expression analysis of biosynthesis-related genes during chili pepper fruit development. Biol Plant. 57:49–55.
7. Aza-González, C., Núñez-Palenius, H. G., Ochoa-Alejo, N. (2017). Molecular Biology of Chili Pepper Anthocyanin Biosynthesis. Journal of the Mexican Chemical Society, 56(1).
8. Ahmed N. U., Park J. I., Jung H. J., Yang T. J., Hur Y., Nou I. S. (2014). Characterization of dihydroflavonol 4-reductase (DFR) genes and their association with cold and freezing stress in *Brassica rapa*. Gene 550, 46–55. 10.1016
9. Andrews, J. (1992). The peripatetic chili pepper: Diffusion of the domesticated *Capsicums* since Columbus,: Vol. Chilies to chocolate: Food the Americas gave the world. (N. Foster and L.S. Cordell). Univ. Arizona Press.
10. Bae, J.-Y., Seo, Y.-H., and Oh, S.-W. (2022). Antibacterial activities of polyphenols against foodborne pathogens and their application as antibacterial agents. Food Science and Biotechnology 31, 985-997.
11. Bakht, J., Noor, N., Iqbal, A., Shafi, M. (2020). Antimicrobial activity of different solvent extracted samples from the leaves and fruits of *Capsicum annuum*. Pak J Pharm Sci, 33(1), 27-32
12. Banerjee, S., Bhattacharjee, T., Maurya, P. K., Pramanik, S., Ghosh, T., Kundu, S., Parvin N., Baul D., Mallick R. G., Ghosh S. Ghosh D.K., Chattopadhyay A., Hazra, P. (2023). Breeding potential of sweet pepper genotypes involving different fruit colours and shapes using multivariate analysis. Indian Journal of Ecology, 50(5), p. 1425-1439.
13. Barth, M. M., Kerbel, E. L., Perry, A. K., Schmidt, S. J. (1993). Modified atmosphere packaging affects ascorbic acid, enzyme activity and market quality of broccoli. *Journal of Food Science*, 58(1), p. 140-143.
14. Barzegar, T., Fateh, M., Razavi, F. (2018). Enhancement of postharvest sensory quality and antioxidant capacity of sweet pepper fruits by foliar applying calcium lactate and ascorbic acid. *Scientia Horticulturae*, 241, p. 293-303.
15. Bi, F., Barad, S., Ment, D., Luria, N., Dubey, A., Casado, V., V., Glam, N., Mínguez, J. D., Espeso, E. A., Fluhr, R., Prusky, D. (2016). Carbon regulation of environmental pH by secreted small molecules that modulate pathogenicity in phytopathogenic fungi. *Molecular plant pathology*, 17(8), 1178-1195.
16. Biles, C. L., Wall, M. M., Blackstone, K. (1993). Morphological and physiological changes during maturation of New Mexican type peppers. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 118(4), 476-480.
17. Borovsky, Y., Oren-Shamir, M., Ovadia, R., De Jong, W., Paran, I. (2004). The A locus that controls anthocyanin accumulation in pepper encodes a MYB transcription factor homologous to Anthocyanin2 of *Petunia*. *Theoretical and Applied Genetics*, 109, 23-29.
18. Brouillard R (1982) Chemical structure of anthocyanins. In: Markakis P (ed) Anthocyanins as food colors. Academic Press, New York, pp 1–40
19. Chaves-Silva, S., Dos Santos, A. L., Chalfun-Júnior, A., Zhao, J., Peres, L. E., Benedito, V. A. (2018). Understanding the genetic regulation of anthocyanin biosynthesis in plants–tools for breeding purple varieties of fruits and vegetables. *Phytochemistry*, 153, 11-27.
20. Chen, F., Liu, H., Yang, H., Lai, S., Cheng, X., Xin, Y., Ynag B. Hou H., Yao Y., Zhang S., Bu Zeng, Y. (2011). Quality attributes and cell wall properties of strawberries (*Fragaria annanassa Duch.*) under calcium chloride treatment. *Food Chemistry*, 126(2), p. 450-459.
21. Cheng, Y., Gao, C., Luo, S., Yao, Z., Ye, Q., Wan, H., Zhou g., Liu, C. (2023). Effects of storage temperature at the early postharvest stage on the firmness, bioactive substances, and amino acid compositions of chili pepper (*Capsicum annuum L.*). *Metabolites*, 13(7), p. 820.

22. Chitarra, M. I. F. (2005). *Pós-colheita de frutas e hortaliças: fisiologia e manuseio*. Universidade Federal de Lavras. p. 293
23. Clear, R., Patrick, S. (2003). *Fusarium head blight in western Canada*. Canadian Grain Commission= Commission canadienne des grains.
24. Conforti, F., G.A. Statti, and F. Menichini. 2007. Chemical and biological variability of hot pepper fruits (*Capsicum annuum* var. *acuminatum* L.) in relation to maturity stage. *Food Chemistry* 102:1096-1104.
25. Deepa, N., C. Kaur, B. George, B. Singh, and H.C. Kapoor. (2007). Antioxidant constituents in some sweet pepper (*Capsicum annuum* L.) genotypes during maturity. *Food Science and Technology* 40:121-129.
26. De Hoog, G.S., Garro, J., Gene, J., Figueras, M.J., (2000). *Atlas of Clinical Fungi*. Centraalbureau voor Schimmelcultures, Utrecht, The Netherlands.
27. Delgado-Vargas, F., Paredes-Lopez, O. (2002). *Natural colorants for food and nutraceutical uses*. CRC press CRC Press: Boca Raton, FL, USA, 2003; ISBN 1587160765.
28. Desjardins, A. E. (2006). *Fusarium* mycotoxins: chemistry, genetics and biology. *The American Phytopathological Society*, 260.
29. Dhar M. K., Sharma R., Koul A., Kaul S. (2015). Development of fruit color in Solanaceae: a story of two biosynthetic pathways. *Brief. Func. Genomics* 14, 199–212. 10.1093/bfpg/elu018
30. Di Gioia F, Tzortzakakis N, Roupheal Y, Kyriacou MC, Sampaio SL, CFR Ferreira I, Petropoulos SA. (2020) Grown to be blue-Antioxidant properties and health effects of colored vegetables. Part II: leafy, fruit, and other vegetables. *Antioxidants* 9: 97
31. Dobón-Suárez, A., Giménez, M. J., García-Pastor, M. E., Zapata, P. J. (2021). Salicylic acid foliar application increases crop yield and quality parameters of green pepper fruit during postharvest storage. *Agronomy*, 11(11), p. 2263.
32. Dorantes, L.; Acero-Ortega, C.; Hernandez-Sanchez, H.; Lopez-Malo,(2000) A. Effect of *Capsicum annuum* extracts on the growth of some microorganisms important in food products. In: Institute of Food Technologists Annual Meeting Book of Abstracts; Institute of Food Technologists: Chicago, Illinois; 145–146.
33. Ďúranová, H., Ivanišová, E., Galovičová, L., Godočíková, L., Borotová, P., Kunová, S., Miklášová K., Lopašovský L., Kačániová M., Mňahončáková, E. (2021). Antioxidant and antimicrobial activities of fruit extracts from different fresh chili peppers. *Acta Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria*, 20(4), 465-472
34. Elad, Y. (1996) Mechanisms involved in the biological control of *Botrytis cinerea* incited diseases. *Eur. J. Plant Pathol.*, 102, 719–732.
35. Elad, Y., Shtienberg, D. (1995). *Botrytis cinerea* in greenhouse vegetables: chemical, cultural, physiological and biological controls and their integration. *Integrated Pest Management Reviews*, 1, 15-29.
36. Elmegeed, G. A., Ahmed, H. H., Hussein, J. S. (2005). Novel synthesized aminosteroidal heterocycles intervention for inhibiting iron-induced oxidative stress. *European journal of medicinal chemistry*, 40(12), p. 1283-1294.
37. Fayos, O., Ochoa-Alejo, N., de la Vega, O. M., Savirón, M., Orduna, J., Mallor, C., C.; Barbero, G.F. Garcés-Claver, A. (2019). Assessment of capsaicinoid and capsinoid accumulation patterns during fruit development in three chili pepper genotypes (*Capsicum* spp.) carrying Pun1 and pAMT alleles related to pungency. *Journal of agricultural and food chemistry*, 67(44), 12219-12227.
38. Frans, M., Aerts, R., Van Calenberge, B., Van Herck, L., Ceusters, J. (2015). Influence of floral morphology and fruit development on internal fruit rot in bell pepper. In *III International Symposium on Postharvest Pathology: Using Science to Increase Food Availability 1144* (pp. 199-206).
39. Frans, M., Aerts, R., Van Laethem, S., Van Calenberge, B., Van Herck, L., Heungens, K., Kris V. P., Sanne V. G., Ceusters, J. (2016). Development of a quick screening bioassay for internal fruit rot in bell pepper (*Capsicum annuum* L.). In *XVI Eucarpia Capsicum and Eggplant Working Group Meeting* (pp. 420-424).
40. Frans, M., Aerts, R., Van Laethem, S., Ceusters, J. (2017). Environmental effects on growth and sporulation of *Fusarium* spp. causing internal fruit rot in bell pepper. *European Journal of Plant Pathology*, 149, 875-883.
41. Galani, J. H. Y., Mankad, P. M., Shah, A. K., Patel, N. J., Acharya, R. R., Talati, J. G. (2017). Effect of storage temperature on vitamin C, total phenolics, UPLC phenolic acid profile and antioxidant capacity of eleven potato (*Solanum tuberosum*) varieties. *Horticultural Plant Journal*, 3(2), p. 73-89.
42. Ghasemnezhad, M., Sherafati, M., Payvast, G. A. (2011). Variation in phenolic compounds, ascorbic acid and antioxidant activity of five coloured bell pepper (*Capsicum annuum*) fruits at two different harvest times. *Journal of functional foods*, 3(1), p. 44-49.
43. Glazebrook, J. (2005). Contrasting mechanisms of defense against biotrophic and necrotrophic pathogens. *Annu. Rev. Phytopathol.*, 43(1), 205-227.
44. Glowacz, M.; Rees, D. (2016). Exposure to ozone reduces postharvest quality loss in red and green chilli peppers. *Food Chem.*, 210, 305–310

45. Gonzálezaguilar G. A., Gayosso L., Cruz R., Fortiz J., Báez R., Wang C.Y. (2000). Polyamines induced by hot water treatments reduce chilling injury and decay in pepper fruit Postharvest Biol. Technol., 18 ,pp. 19-26
46. González-Aguilar, G. A., Ayala-Zavala, J. F., Ruiz-Cruz, S., Acedo-Félix, E., Díaz-Cinco, M. E. (2004). Effect of temperature and modified atmosphere packaging on overall quality of fresh-cut bell peppers. *LWT-Food Science and Technology*, 37(8), 817-826.
47. Gould K. S., McKelvie J., Markham K. R. (2002). Do anthocyanins function as antioxidants in leaves? Imaging of H₂O₂ in red and green leaves after mechanical injury. *Plant Cell Environ.* 25, 1261–1269. 10.1046/j.1365-3040.2002.00905.x
48. Gould K. S. (2004). Nature's Swiss Army Knife: The Diverse Protective Roles of Anthocyanins in Leaves *J. Biomed. Biotechnol.*, 2004, pp. 314-320
49. Gómez-García, M., Ochoa-Alejo, N. (2013). Biochemistry and Molecular Biology of Carotenoid Biosynthesis in Chili Peppers (*Capsicum* spp.). *International Journal of Molecular Sciences*, 14(9), 19025–19053.
50. Guo J., Han W., Wang M. H. (2008). Ultraviolet and environmental stresses involved in the induction and regulation of anthocyanin biosynthesis: a review. *Afr. J. Biotechnol.* 7, 4966–4972. Available online at: <https://www.ajol.info/index.php/ajb/article/view/59709>
51. Hardenburg R. E., Watada A. E., Yang C. Y. (1986). The commercial storage of fruits, vegetables, and florist and nursery stocks *Agriculture Handbook*
52. Hausbeck, M.; Moorman, G. (1996). Managing Botrytis in greenhouse-grown flower crops. *Plant Dis.*, 80, 1212–1219.
53. He, J.; Giusti, M.M. (2010). Anthocyanins: Natural Colorants with Health-Promoting Properties. *Annu. Rev. Food Sci. Technol.*, 1, 163–187.
54. Hoballah M. E., Gübitz T., Stuurman J., Broger L., Barone M., Mandel T., et al.. (2007). Single gene–mediated shift in pollinator attraction in *Petunia*. *Plant Cell* 19, 779–790. 10.1105/tpc.106.048694
55. Howard LR, Talcott ST, Brenes CH, Villalon B. (2000). Changes in phytochemical and antioxidant activity of selected pepper cultivars (*Capsicum* Species) as influenced by maturity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 48: 1713-1720
56. Hu, X., Saravanakumar, K., Jin, T., Wang, M. H. (2021). Effects of yellow and red bell pepper (paprika) extracts on pathogenic microorganisms, cancerous cells and inhibition of survivin. *Journal of Food Science and Technology*, 58, 1499-1510.
57. Hua, L., Yong, C., Zhanquan, Z., Boqiang, L., Guozheng, Q., Shiping, T. (2018). Pathogenic mechanisms and control strategies of *Botrytis cinerea* causing post-harvest decay in fruits and vegetables. *Food Quality and Safety*, 2(3), 111-119.
58. Jiao Y., Jiang Y., Zhai W., Yang Z. (2012). Studies on antioxidant capacity of anthocyanin extract from purple sweet potato (*Ipomoea batatas* L.). *Afr. J. Biotechnol.* 11, 7046–7054. 10.5897/AJB11.3859
59. Kelman, A. (1989). Introduction: The importance of research on the control of postharvest diseases of perishable food crops. *Phyto-pathology*, 79, 1374.
60. Koffi-Nevry, R., Kouassi, K. C., Nanga, Z. Y., Koussémon, M., and Loukou, G. Y. (2012). Antibacterial activity of two bell pepper extracts: *Capsicum annum* L. and *Capsicum frutescens*. *International journal of food properties* 15, 961-971
61. Kong X.M., Wei B.D., Gao Z., Zhou Y., Shi F., Zhou X. , Ji S.J. (2018). Changes in membrane lipid composition and function accompanying chilling injury in bell peppers *Plant Cell Physiol.*, 59 pp. 167-178
62. Kong, X.M.; Zhou, Q.; Luo, F.; Wei, B.D.; Wang, Y.J.; Sun, H.J.; Zhao, Y.B.; Ji, S.J. (2019). Transcriptome analysis of harvested bell peppers (*Capsicum annum* L.) in response to cold stress. *Plant Physiol. Biochem.*, 139, 314–324.
63. Kosiak, B., Torp, M., Skjerve, E., Thrane, U. (2003). The prevalence and distribution of *Fusarium* species in Norwegian cereals: a survey. *Acta Agric Scand (B)*, 53(4), 168-176.
64. Kouassi, C. K., Koffi-Nevry, R., Nanga, Z. Y., Teixeira Da Silva, J., Yao, K., Lathro, J. S., Tano, K., and Loukou, G. Y. (2010). Assessing the antibacterial activity and phytochemical screening of *Capsicum* varieties from Côte d'Ivoire. *Food* 4, 27-32.

65. Koushesh S. M., Moradi S. Sodium nitroprusside (SNP) spray to maintain fruit quality and alleviate postharvest chilling injury of peach fruit Sci. Hortic., 216 (2017), pp. 193-199
66. Krasnow, C., Ziv, C. (2022). Non-chemical approaches to control postharvest gray mold disease in bell peppers. *Agronomy*, 12(1), 216.
67. Kumar, V. , Hatan, E. , Bar, E. , Davidovich-Rikanati, R. , Doron-Faigenboim, A. , Spitzer-Rimon, B. , Elad, Y. *et al.* (2020) Phenylalanine increases chrysanthemum flower immunity against *Botrytis cinerea* attack. *Plant J.* 104, 226–240.
68. Kumar, H., Bhardwaj, K., Cruz-Martins, N., Nepovimova, E., Oleksak, P., Dhanjal, D. S., Bhardwaj, S., Singh, R., Chopra, C., and Verma, R. (2021). Applications of fruit polyphenols and their functionalized nanoparticles against foodborne bacteria: a mini review. *Molecules* 26, 3447.
69. Landi, M., Tattini, M., Gould, K. S. (2015). Multiple functional roles of anthocyanins in plant-environment interactions. *Environmental and Experimental Botany*, 119, 4–17. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2015.05.012>
70. Liu, J., Sui, Y., Wisniewski, M., Xie, Z., Liu, Y., You, Y., Zhang X., Sun Z., Li W., Li Y., Wang, Q. (2018). The impact of the postharvest environment on the viability and virulence of decay fungi. *Critical reviews in food science and nutrition*, 58(10), 1681-1687.
71. Liu, Y.; Lv, J.; Liu, Z.; Wang, J.; Yang, B.; Chen, W.; Ou, L.; Dai, X.; Zhang, Z.; Zou, X. (2020). Integrative analysis of metabolome and transcriptome reveals the mechanism of color formation in pepper fruit (*Capsicum annuum* L.). *Food Chem.* 306, 125629.
72. Lightbourn G. J., Stommel J. R., Griesbach R. J. (2007). Epistatic interactions influencing anthocyanin gene expression in *Capsicum annuum*. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 132, 824–829. Available online at:
73. Lightbourn, G. J., Griesbach, R. J., Novotny, J. A., Clevidence, B. A., Rao, D. D., Stommel, J. R. (2008). Effects of anthocyanin and carotenoid combinations on foliage and immature fruit color of *Capsicum annuum* L. *Journal of heredity*, 99(2), 105-111.
74. Liu, Y., Tikunov, Y., Schouten, R. E., Marcelis, L. F., Visser, R. G., Bovy, A. (2018). Anthocyanin biosynthesis and degradation mechanisms in Solanaceous vegetables: A review. *Frontiers in chemistry*, 6, 52.
75. Loganathan, M., Venkataravanappa, V., Saha, S., Sharma, B. K., Tirupathi, S., Verma, M. K. (2013). Morphological, cultural and molecular characterizations of Fusarium wilt infecting tomato and chilli. In *National Symposium on Abiotic and Biotic Stress Management in Vegetable Crops. Indian Society of Vegetable Science, IIVR* (pp. 12-14).
76. Llorens, A., Hinojo, M. J., Mateo, R., Gonzalez-Jaen, M. T., Valle-Algarra, F. M., Logrieco, A., Jiménez, M. (2006). Characterization of Fusarium spp. isolates by PCR-RFLP analysis of the intergenic spacer region of the rRNA gene (rDNA). *International journal of food microbiology*, 106(3), 297-306.
77. Maalekuu, K., Elkind, Y., Tuvia-Alkalai, S., Shalom, Y., Fallik, E. (2003). Quality evaluation of three sweet pepper cultivars after prolonged storage. *Advances in Horticultural Science*, 17(4), 187-191.
78. Mahovic, M., Sargent, S.A. Bartz, J.A. (2004). Identifying and controlling post-harvest tomato diseases in Florida. HS866 document, one of a series of the Horticultural Sciences Department, Florida Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida. Revised edition: 2004.
79. Malone, L. A., Barraclough, E. I., Lin-Wang, K., Stevenson, D. E., Allan, A. C. (2009). Effects of red-leaved transgenic tobacco expressing a MYB transcription factor on two herbivorous insects, *Spodoptera litura* and *Helicoverpa armigera*. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 133(2), 117-127.
80. Marszalek K, Wozniak L, Kruszewski B, Skapaka S. (2017) The effect of high pressure techniques on the stability of anthocyanins in fruit and vegetables. *Int J Mol Sci.* 201 ;18(2):277.
81. Matsufuji, H., Ishikawa, K., Nunomura, O., Chino, M., Takeda, M. (2007). Anti-oxidant content of different coloured sweet peppers, white, green, yellow, orange and red (*Capsicum annuum* L.). *International Journal of Food Science Technology*, 42(12), 1482-1488.
82. McColloch, L. P., Cook, H. T., Wright, W. R. (1968). *Market diseases of tomatoes, peppers, and eggplants* (No. 28). Agricultural Research Service, US Department of Agriculture.
83. McCutcheon, A., Ellis, S., Hancock, R., and Towers, G. (1992). Antibiotic screening of medicinal plants of the British Columbian native peoples. *Journal of Ethnopharmacology* 37, 213-223.

84. Mennella G., Lo Scalzo R., Fibiani M., D'Alessandro A., Francese G., Toppino L., et al.. (2012). Chemical and bioactive quality traits during fruit ripening in eggplant (*S. melongena* L.) and allied species. *J. Agric. Food Chem.* 60, 11821–11831. 10.1021/jf3037424
85. Mohammad Salamatullah, A., Hayat, K., Mabood Husain, F., Asif Ahmed, M., Arzoo, S., Musaad Althbiti, M., ... Bourhia, M. (2022). Effects of different solvents extractions on total polyphenol content, HPLC analysis, antioxidant capacity, and antimicrobial properties of peppers (red, yellow, and green (*Capsicum annum* L.)). *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 7372101.
86. Molnár, O., Vida, G., Puskás, K. (2024). *Fusarium* species associated with Fusarium head blight in Hungarian wheat fields. *Plant Disease*, 108(3), 558-562.
87. Mokhtar, M., Ginestra, G., Youcefi, F., Filocamo, A., Bisignano, C., Riazi, A. (2017). Antimicrobial activity of selected polyphenols and capsaicinoids identified in pepper (*Capsicum annum* L.) and their possible mode of interaction. *Current Microbiology*, 74, 1253-1260.
88. Monforte-González, M., A. Guzmán-Antonio, F. Uuh-Chim, and F. Vázquez-Flota. (2010). Capsaicin accumulation is related to nitrate content in placentas of habanero peppers (*Capsicum chinense* Jacq.). *Journal of the Science of Food and Agriculture* 90:764768.
89. Muthomi, J. W., Schütze, A., Dehne, H. W., Mutitu, E. W., Oerke, E. C. (2000). Characterization of *Fusarium culmorum* isolates by mycotoxin production and aggressiveness to winter wheat/Charakterisierung von Isolat von *Fusarium culmorum* anhand der Mykotoxinbildung und Aggressivität an Winterweizen. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz/Journal of Plant Diseases and Protection*, 113-123.
90. Muthukumaran, P., Padmapriya, P., Salomi, S., Umamaheshwari, R., Kalaiarasan, P., Malarvizhi, C. (2011). In vitro anti microbial activity of leaf powder. *Asian Journal of Pharmaceutical Research*, 1(4), 108-110.
91. Navarro, J.M., P. Flores, C. Garrido, and V. Martinez. (2006). Changes in the contents of antioxidant compounds in pepper fruits at different ripening stages, as affected by salinity. *Food Chemistry* 96:66-73.
92. Nevry RK, Kouassi KC, Nanga ZY, Koussemon M and Loukou GY (2012). Antibacterial activity of two bell pepper extracts: *Capsicum annum* L. and *Capsicum frutescens*. *Intl. J. Food Prop.*, 15(5): 961-971.
93. Nikaido, H. (2003). Molecular basis of bacterial outer membrane permeability revisited. *Microbiology and molecular biology reviews* 67, 593-656.
94. Ou B., D. Huang, M. Hampschwoodwill, T.A. Flanagan, E.K. (2002) Deemer Analysis of antioxidant activities of common vegetables employing oxygen radical absorbance capacity and FRAP assays: a comparative study *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50 , pp. 3122-3128
95. Ou L. J., Zhang Z. Q., Dai X. Z., Zou X. X. (2013). Photooxidation tolerance characters of a new purple pepper. *PLoS ONE* 8:e63593. 10.1371/journal.pone.0063593
96. Oyedeji, E. O., Arogundade, O., Tairu, F. M., Elum, C. G. (2022). Identification and characterization of fungi pathogen causing fruit rot disease of watermelon (*Citrullus lanatus*). *Archives of Phytopathology and Plant Protection*, 55(3), 344-354.
97. Panthi, M.P.; Chaudhary, R.P. (2006) Antibacterial activity of some selected folklore medicinal plants from west Nepal. *Scientific World* , 4 (4), 16–21.
98. Paran, I., and Fallik, E. (2011). Breeding for fruit quality in pepper (*Capsicum* spp.). *Breeding for fruit quality*, 307-322.
99. Passeri V., Koes R., Quattrocchio F. M. (2016). New challenges for the design of high value plant products: stabilization of anthocyanins in plant vacuoles. *Front. Plant Sci.* 7:153. 10.3389/fpls.2016.00153
100. Park, J. H., Jeon, G. I., Kim, J. M., Park, E. (2012). Antioxidant activity and antiproliferative action of methanol extracts of 4 different colored bell peppers (*Capsicum annum* L.). *Food Science and Biotechnology*, 21, 543-550.
101. Parsons, E. P., Popopvsky, S., Lohrey, G. T., Alkalai-Tuvia, S., Perzelan, Y., Bosland, P. Bebeli, P.J.; Paran, I.; Fallik, E.; Jenks, M.A. (2013). Fruit cuticle lipid composition and water loss in a diverse collection of pepper (*Capsicum*). *Physiologia Plantarum*, 149(2), 160-174.
102. Parry, D. W., Jenkinson, P., McLeod, L. (1995). *Fusarium* ear blight (scab) in small grain cereals—a review. *Plant pathology*, 44(2), 207-238.
103. Pernezny, K.; Roberts, P.D.; Murphy, J.F.; Goldberg, N.P. (2003). *Compendium of Pepper Diseases*; APS Press: St. Paul, MN, USA,.
104. Pirie, A., Mullins, M. G. (1976). Changes in anthocyanin and phenolics content of grapevine leaf and fruit tissues treated with sucrose, nitrate, and abscisic acid. *Plant physiology*, 58(4), 468-472.

105. Purvis, A. C. (2000, March). Regulation and role of the alternative oxidase in chilling injury of green bell pepper (*Capsicum annuum* L.). In *IV International Conference on Postharvest Science* 553 (pp. 289-292).
106. Prusky, D. (1996). Pathogen quiescence in postharvest diseases. *Annual review of Phytopathology*, 34(1), 413-434.
107. Prusky, D., Yakoby, N. (2003). Pathogenic fungi: leading or led by ambient pH?. *Molecular Plant Pathology*, 4(6), 509-516.
108. Prusky, D., Alkan, N., Mengiste, T., Fluhr, R. (2013). Quiescent and necrotrophic lifestyle choice during postharvest disease development. *Annual review of phytopathology*, 51(1), 155-176.
109. Prusky, D. B., Bi, F., Moral, J., Barad, S. (2016). How does host carbon concentration modulate the lifestyle of postharvest pathogens during colonization?. *Frontiers in plant science*, 7, 1306.
110. Rangaswami, G. (1979). Disease of crop plants in india, Printice-Hall of India Private Ltd. *New Delhi, India*, 570.
111. Rao, T. R., Gol, N. B., Shah, K. K. (2011). Effect of postharvest treatments and storage temperatures on the quality and shelf life of sweet pepper (*Capsicum annum* L.). *Scientia Horticulturae*, 132, p. 18-26.
112. Rein M (2005) Copigmentation reactions and color stability of berry anthocyanins. Ph.D. dissertation, University of Helsinki, Helsinki, Finland
113. Reyes, A. A. (1990). Pathogenicity, growth and sporulation of *Mucor mucedo* and *Botrytis cinerea* in cold or CA storage. *HortScience*, 25, 549–552.
114. Rivedal, H. M., Stone, A. G., Johnson, K. B. (2018). First report of *Fusarium culmorum* causing fruit rot of winter squash (*Cucurbita maxima*) in Oregon. *Plant Disease*, 102(12), 2659.
115. Romanazzi, G. and Feliziani, E. (2014) *Botrytis cinerea* (gray mold). In *Postharvest Decay*, pp. 131–146. Cambridge, US: Academic Press.
116. Rotem, J. (1981). Fungal diseases of potato and tomato in the Negev Desert. *Plant Dis.* 65, 315–318.
117. Saputri, D. D., Utami, A. W. A. (2020). In vitro assays to investigate ethanol extract of *Ipomoea batatas* leaves as potential biofungicide for controlling *Fusarium*. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 468, No. 1, p. 012031). IOP Publishing.
118. Sauviller, C., Frans, M., Aerts, R., Van Herck, L., Van Poucke, K., Heungens, K. (2015). IWT Nelson PE, Toussoun TA, and Marasas WFO (1983) *Fusarium* species: an illustrated manual for identification. The Pennsylvania State University Press, University Park
119. Sepúlveda, M., Costa, J., Cayún, Y., Gallardo, V., Barría, E., Von Zeska Kress, M. R., Pablo C., Santos, C. (2024). Chemical composition and antifungal activity of *Capsicum* pepper aqueous extracts against plant pathogens and food spoilage fungi. *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology*, 14, 1451287.
120. Shang Y., Venail J., Mackay S., Bailey P.C., Schwinn K.E., Jameson P.E., Martin C.R., Davies K.M. (2011). The molecular basis for venation patterning of pigmentation and its effect on pollinator attraction in flowers of *Antirrhinum* *New Phytol.*, 189 pp. 602-615
121. Shehu, A., Muhammad, S., Shehu, H., Nasiru, A. M., Shehu, A. (2023). Isolation, Phenotypic Characterisation and Molecular Identification of Fungal Pathogens of Sweet Pepper (*Capsicum Annuum* L.) Fruit in Sokoto State Nigeria.
122. Shi, Z. U., Bassa, I. A., Gabriel, S. L., Francis, F. J. (1992). Anthocyanin pigments of sweet potatoes–*Ipomoea batatas*. *Journal of food science*, 57(3), 755-757.
123. Simkin, A. J., Faralli, M., Ramamoorthy, S., Lawson, T. (2020). Photosynthesis in non-foliar tissues: implications for yield. *The Plant Journal*, 101(4), 1001-1015.
124. Singh, R., Giri, S. K., Kotwaliwale, N. (2014). Shelf-life enhancement of green bell pepper (*Capsicum annuum* L.) under active modified atmosphere storage. *Food packaging and shelf life*, 1(2), p. 101-112.
125. Singh, J. K., Kumar, M., Kumar, A., Mehta, N. (2017). Screening of chili cultivars against fusarium wilt of chilli (*Capsicum annuum* L.). *Int. J. Agric. Sci. Res*, 7(1), 235-240.
126. Singh, D., Sharma, R. R. (2018). Postharvest diseases of fruits and vegetables and their management. In *Postharvest disinfection of fruits and vegetables* (pp. 1-52). Academic Press. Cambridge, MA, USA: 1–52.
127. Suslow, T. (2000). Bell peppers hit with late season losses to decay. *Perishables Handling Quarterly Issue*, (101), p.1
128. Spelt C., Quattrocchio F., Mol J. N., Koes R. (2000). Anthocyanin1 of *Petunia* encodes a basic helix-loop-helix protein that directly activates transcription of structural anthocyanin genes. *Plant Cell* 12, 1619–1631. 10.1105/tpc.12.9.1619
129. Stommel J. R., Lightbourn G. J., Winkel B. S., Griesbach R. J. (2009). Transcription factor families regulate the Anthocyanin biosynthetic pathway in *Capsicum annuum*. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 134, 244–251.
130. Su X., Xu J., Rhodes D., Shen Y., Song W., Katz B., et al.. (2016). Identification and quantification of anthocyanins in transgenic purple tomato. *Food Chem.* 202, 184–188. 10.1016/j.foodchem.2016.01.128

131. Takahashi, M., Arakaki, M., Yonamine, K., Hashimoto, F., Takara, K., Wada, K. (2018). Influence of fruit ripening on color, organic acid contents, capsaicinoids, aroma compounds, and antioxidant capacity of shimatogarashi (*Capsicum frutescens*). *Journal of Oleo Science*, 67(1), 113-123
132. Tang B, Li L, Hu Z, Chen Y, Tan T, Jia Y, Xie Q, Chen G. (2020). Anthocyanin accumulation and transcriptional regulation of anthocyanin biosynthesis in purple pepper. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 68: 12152-12163
133. Tanaka Y., Ohmiya A. (2008). Seeing is believing: engineering anthocyanin and carotenoid biosynthetic pathways. *Curr. Opin. Biotechnol.* 19, 190–197. 10.1016/j.copbio.2008.02.015
134. Tanaka, Y., Sasaki, N., Ohmiya, A. (2008). Biosynthesis of plant pigments: anthocyanins, betalains and carotenoids. *The Plant Journal*, 54(4), 733-749.
135. Tao, S., Zhang, S., Tsao, R., Charles, M. T., Yang, R., Khanizadeh, S. (2010). In vitro antifungal activity and mode of action of selected polyphenolic antioxidants on *Botrytis cinerea*. *Archives of Phytopathology and Plant Protection*, 43(16), 1564-1578.
136. Tiwari, R. K., Kumar, R., Sharma, S., Sagar, V., Aggarwal, R., Naga, K. C., Lal M.K., Chourasia K.N., Kumar D. Kumar, M. (2020). Potato dry rot disease: current status, pathogenomics and management. *3 Biotech*, 10, 503.
137. Topuz, A., Ozdemir, F. (2007). Assessment of carotenoids, capsaicinoids and ascorbic acid composition of some selected pepper cultivars (*Capsicum annum* L.) grown in Turkey. *Journal of food composition and analysis*, 20(7), 596-602.
138. Tsuda, T., Horio, F., Uchida, K., Aoki, H., Osawa, T. (2003). Dietary cyanidin 3-O- β -D-glucoside-rich purple corn color prevents obesity and ameliorates hyperglycemia in mice. *The Journal of nutrition*, 133(7), 2125-2130.
139. Tzortzakakis, N., Alkan, N., Ziv, C., Korsten, L. (2019). Solanaceae and Cucurbitaceae crops. In *Postharvest Pathology of Fresh Horticultural Produce* (pp. 303-338). CRC Press. Boca Raton, FL, USA, pp. 303–338.
140. Utkhede, R., Mathur, S. (2003). Fusarium fruit rot of greenhouse sweet peppers in Canada. *Plant disease*, 87(1), 100-100.
141. Valle-Algarra, F. M., Mateo, E. M., Mateo, R., Gimeno-Adelantado, J. V., Jiménez, M. (2011). Determination of type A and type B trichothecenes in paprika and chili pepper using LC-triple quadrupole–MS and GC–ECD. *Talanta*, 84(4), 1112-1117.
142. Wahyuni, Y., Ballester, A. R., Sudarmonowati, E., Bino, R. J., Bovy, A. G. (2011). Metabolite biodiversity in pepper (*Capsicum*) fruits of thirty-two diverse accessions: Variation in health-related compounds and implications for breeding. *Phytochemistry*, 72(11-12), 1358-1370.
143. Wang, Q., Ding, T., Zuo, J., Gao, L., Fan, L. (2016). Amelioration of postharvest chilling injury in sweet pepper by glycine betaine. *Postharvest Biology and Technology*, 112, 114-120.
144. Williamson, B., Tudzynski, B., Tudzynski, P., Van Kan, J. A. (2007). *Botrytis cinerea*: the cause of grey mould disease. *Molecular plant pathology*, 8(5), 561-580.
145. Weryszko-Chmielewska, E., Michalojc, Z. (2011). Anatomical traits of sweet pepper (*Capsicum annum* L.) fruit. *Acta Agrobotanica*, 64(4). 181–188.
146. Xu, X. M., Parry, D. W., Nicholson, P., Thomsett, M. A., Simpson, D., Edwards, S. G., ... Tatnell, J. (2005). Predominance and association of pathogenic fungi causing Fusarium ear blight in wheat in four European countries. *European Journal of Plant Pathology*, 112, 143-154.
147. Yang, J., Kharbanda, P. D., Howard, R. J., Mirza, M. (2009). Identification and pathogenicity of *Fusarium lactis*, causal agent of internal fruit rot of greenhouse sweet pepper in Alberta. *Canadian Journal of Plant Pathology*, 31(1), 47-56.
148. Yoruk, R., Marshall, M. R. (2003). Physicochemical properties and function of plant polyphenol oxidase: a review 1. *Journal of food biochemistry*, 27(5), 361-422.
149. Zaki, N., Hakmaoui, A., Ouattmane, A., Hasib, A., Fernández-Trujillo, J. P. (2013). Bioactive components and antioxidant activity of Moroccan Paprika (*Capsicum annum* L.) at different period of harvesting and processing. *Journal of Biology, Agriculture and Healthcare*, 3(8), 1-8
150. Zhang, D., and Y. Hamauzu. (2003). Phenolic compounds, ascorbic acid, carotenoids and antioxidant properties of green, red and yellow bell peppers. *Food, Agriculture and Environment* 2:22-27.
151. Zhang Y., Butelli E., De Stefano R., Schoonbeek H. J., Magusin A., Pagliarini C., et al.. (2013). Anthocyanins double the shelf life of tomatoes by delaying overripening and reducing susceptibility to gray mold. *Curr. Biol.* 23, 1094–1100.

152. Zhang, W., Jiang, H., Cao, J., Jiang, W. (2021). Advances in biochemical mechanisms and control technologies to treat chilling injury in postharvest fruits and vegetables. *Trends in Food Science Technology*, 113, 355-365.
153. Zhang, W., Zhao, H., Jiang, H., Xu, Y., Cao, J., Jiang, W. (2020). Multiple 1-MCP treatment more effectively alleviated postharvest nectarine chilling injury than conventional one-time 1-MCP treatment by regulating ROS and energy metabolism. *Food Chemistry*, 330, 127256.
154. Zhao C. L., Chen Z. J., Bai X. S., Ding C., Long T. J., Wei F. G., et al.. (2014). Structure-activity relationships of anthocyanidin glycosylation. *Mol. Divers.* 18, 687–700.

Táblázat, ábra, diagramm jegyzék.

1. ábra: Antocianinok szerkezete (4. oldal)
2. ábra: Előkísérlet: paprika termés fertőzése. *F. proliferatum*, *F. oxysporum*, *F. culmorum* terjedése, kártétele a termésen 5 nap elteltével.....(22. oldal)
3. ábra: *Botrytis cinerea* fertőzések aránya (%) a 13. napon (dpi) (A) és a fertőzött termések (C), *Fusarium culmorum* fertőzések aránya (%) a 13. napon (dpi) (B) és a fertőzött termések (D)(23. oldal)
4. ábra: – *Botrytis cinerea* és *Fusarium culmorum* fertőzőtlenség vizsgálata a fertőzést követő 13. napon qPCR technikával.....(24. oldal)
5. ábra: A *B. cinerea* (A, C) és a *F. culmorum* (B, D) PDA táptalajon terjedésének, fertőzési területének alakulása az eltelt idő függvényében. A táptalajokon (C,D) L: Lila, LP: Lilából Piros, Z: Zöld, ZP: Zöldből Piros.....(25. oldal)
6. ábra: Ab-antibiotikum (amikacin), MeOH:DV:HS-kivonószer, L-lila termés kivonat, LP-lilából lett piros termés kivonat gátló hatása *Enterococcus faecalis* és *Pseudomonas aeruginosa* tenyészeteken 17±1 órán át 37±1 °C-on történt inkubálást követően.....(27. oldal)
1. táblázat: Méréshez felhasznált reagens összetevői.....(14. oldal)
2. táblázat: A qPCR során felhasznált primerpárok és azok szekvenciái.....(15. oldal)
3. táblázat: (M)ANOVA táblázat, a szín, hőmérséklet, rothadás és idő független változók hatása, illetve a független változók interakciójának hatása a vizsgált függő változókra (húskeménység, pH, BRIX, TMA, TPC, FRAP).....(28. oldal)
4. táblázat: Pearson korrelációs együtthatók a hat hetes tárolás során a zöld és lila cseresznyepaprikák összesített adatai alapján, *-korreláció szignifikáns $p=0,05$; **-korreláció szignifikáns $p=0,01$(30. oldal)
5. táblázat: A különböző terméskivonatok (lila, lilából lett piros), az antibiotikum (amikacin) és a kivonó szer hatása Gram-pozitív (*Bacillus subtilis*, *Enterococcus faecalis*; *Bacillus cereus*, *Staphylococcus aureus*) és Gram-negatív (*Salmonella enterica*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Escherichia coli*, *Klebsiella pneumoniae*) baktérium tenyészetekre.....(31. oldal)
1. diagramm: A különböző színű termések tömegvesztése [%] (A – 10 °C, B – 25 °C) és a húskeménység [N] alakulása (C) a tárolási idő alatt (6 hét), $n=7$(17. oldal)
2. diagramm: Az oldható szárazanyag tartalom alakulása a különböző színű termések esetében 10 °C-on és 25 °C-on a tárolási idő (6 hét) alatt, $n=3$(18. oldal)
3. diagramm: A termések pH értékeinek alakulása a különböző színű termések esetében 10 °C-on és 25 °C-on a tárolási idő (6 hét) alatt, $n=3$(18. oldal)
4. diagramm: antioxidáns kapacitás (FRAP) alakulása, a különböző színű termésekben 10 °C-on és 25 °C-on a kísérlet ideje alatt (6 hét), $n=3$(19. oldal)
5. diagramm: A totál polifenol tartalom TPC alakulása, a különböző színű termésekben 10 °C-on és 25 °C-on a kísérlet ideje alatt (6 hét).....(20. oldal)
6. diagramm: A totál monomer antocianin tartalom TMA alakulása, a különböző színű termésekben 10 °C-on és 25 °C-on a kísérlet ideje alatt (6 hét), $n=3$(21. oldal)

NYILATKOZAT

A diplomadolgozat nyilvános hozzáféréseiről és eredetiségről

A hallgató neve: SIDLÓ SÁRA
A Hallgató Neptun kódja: CZX4AU
A dolgozat címe: ANTOCIANIN TARTALOM HATÁSA A PAPRIKA TERMÉSEK BELTARTALMI
A megjelenés éve: 2024 ÉRTÉKEIRE ÉS FÜLTONTARTHATÓSÁGÁRA
A konzulens intézetének neve: GENETIKAI ÉS BIOTECHNOLÓGIAI INTÉZET
A konzulens tanszékének a neve: GENETIKA ÉS GENOMIKA TANSZÉK, SZENT ISTVÁN CAMPUS MATE

Kijelentem, hogy az általam benyújtott diplomadolgozat egyéni, eredeti jellegű, saját szellemi alkotásom. Azon részeket, melyeket más szerzők munkájából vettem át, egyértelműen megjelöltem, és az irodalomjegyzékben szerepeltettem.

Ha a fenti nyilatkozattal valótlan állítottam, tudomásul veszem, hogy a záróvizsga-bizottság a záróvizsgából kizár és a záróvizsgát csak új dolgozat készítése után tehetek.

A leadott dolgozat, mely PDF dokumentum, szerkesztését nem, megtekintését és nyomtatását engedélyezem.

Tudomásul veszem, hogy az általam készített dolgozatra, mint szellemi alkotás felhasználására, hasznosítására a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem mindenkori szellemitulajdon-kezelési szabályzatában megfogalmazottak érvényesek.

Tudomásul veszem, hogy dolgozatom elektronikus változata feltöltésre kerül a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem MATER Hallgatói Dolgozatok repozitóriumába. Tudomásul veszem, hogy a megvédett és

- nem titkosított dolgozat a védést követően
- titkosításra engedélyezett dolgozat a benyújtásától számított 5 év eltelte után

nyilvánosan elérhető és kereshető lesz az Egyetem MATER Hallgatói Dolgozatok repozitóriumában.

Kelt: 2024 év 11. hó 4. nap

Sidló Sára

Hallgató aláírása

NYILATKOZAT

Sidló Sára (hallgató Neptun azonosítója: CZX4AU) konzulenseként nyilatkozom arról, hogy a diplomadolgozatot áttekintettem, a hallgatót az irodalmi források korrekt kezelésének követelményeiről, jogi és etikai szabályairól tájékoztattam.

A záródolgozatot/szakdolgozatot/diplomadolgozatot/portfóliót a záróvizsgán történő védésre javaslom / nem javaslom¹.

A dolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz: igen nem^{*2}

Kelt: 2024. 11. 03.



belső konzulens

¹ A megfelelő aláhúzendó.

² A megfelelő aláhúzendó.