

DIPLOMADOLGOZAT

Orosz Anikó

2025



MAGYAR AGRÁR- ÉS
ÉLETTUDOMÁNYI EGYETEM

Élelmiszertudományi és
Technológiai Intézet

Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem
Budai Campus
Élelmiszertudományi és Technológiai Intézet
Élelmiszermérnök mesterképzési szak

**Étkezési burgonya betakarítást követő minőségváltozásának
objektív nyomonkövetése**

Belső konzulensek:

- a) **Dr. Zsom Tamás** egyetemi docens
- b) **Dr. Zsorné dr. Muha Viktória** egyetemi docens

**Belső konzulensek
intézete/tanszéke:**

Élelmiszertudományi és Technológiai Intézet

- a) **Árukezelés, Kereskedelem, Ellátási Lánc és
Érzékszervi Minősítés Tanszék**
- b) **Élelmiszeripari Méréstechnika és Automatizálás Tanszék**

Készítette:

Orosz Anikó (JH732C)

Budapest

2025

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés és célkitűzések.....	1
2. Szakirodalmi áttekintés	2
2.1. Étkezési burgonyáról általánosan	2
2.2. Étkezési burgonya rendszertani helye és biológiai jellemzése	2
2.3. Étkezési burgonya termesztése, gazdasági jelentősége	3
2.4. Étkezési burgonya tárolása	4
2.5. Szolanin.....	4
2.6. Burgonyában található szolanin mennyisége	6
2.7. Szolanin kimutatásával foglalkozó tanulmányok	7
2.8. Roncsolásmentes módszerek	8
3. Anyagok és módszerek.....	13
3.1.Étkezési burgonya.....	13
3.2. Kísérleti terv.....	13
3.3. Tárolási és megvilágítási körülmények.....	14
3.4. Módszerek.....	17
3.4.1. Tömegmérés	17
3.4.2. Színmérés	17
3.4.3. DA-index [®] mérés	18
3.4.4. Akusztikus és impakt állománymérés	19
3.4.5. Klorofill fluoreszcencia mérés	20
4. Eredmények és értékelésük	24
4.1. Tömegmérés eredményei.....	24
4.2. Színmérés eredményei	24
4.3. DA-index [®] mérés eredményei.....	29
4.4. Akusztikus és impakt állománymérés eredményei	30
4.5. Klorofill fluoreszcencia mérés eredményei	32
4.6. Fotók a burgonyákról.....	39
5. Következtetések és javaslatok.....	44
6. Összefoglalás.....	47
7. Irodalomjegyzék.....	49
8. Táblázatok és ábrák jegyzéke.....	53
9. Köszönetnyilvánítás	56
10. Nyilatkozatok	57

1. Bevezetés és célkitűzések

Az étkezési burgonya a mindennapi táplálkozásunk fontos szereplője, hiszen gyakran fogyasztjuk többféle, változatos formában. Amellett, hogy sokoldalúan felhasználható, fontos tápanyagokat is tartalmaz, így hozzájárul az egészséges táplálkozás fenntartásához. Mivel egy sokak által gyakran fogyasztott alapélelmiszerről van szó, így kiemelkedően fontos, hogy minősége megfelelő legyen. Ne tartalmazzon semmilyen, a fogyasztóra ártalmas komponenst, tehát gondosan legyen termesztve, illetve a későbbiekben tárolva.

A burgonya minőségét jelentős mértékben befolyásolják tárolásának körülményei. A természetes vagy mesterséges fénynek való kitettség serkenti a klorofill képződését, amely a burgonya felszínén történő zöld elszíneződéssel jár együtt. A klorofill képződése mellett glikoalkaloidok, pontosabban α -szolanin és α -kakonin szintézise is végbemegy, ami a burgonya természetes védekező mechanizmusának szerves része. Ezek olyan toxikus anyagok, amelyek nagyobb mennyiségben különböző kellemetlen tüneteket válthatnak ki az emberi szervezetben. A fény és a hőmérséklet jelentős hatással van ezen anyagok termelődésére, így az étkezési burgonya tárolása során fontos, hogy odafigyeljünk ezekre a tényezőkre. Emiatt elengedhetetlen lenne, hogy az élelmiszeráruházakban, illetve az otthonunkban is megfelelően végezzük a tárolást, hiszen így hosszabb ideig megőrizhető a burgonya kifogástalan minősége.

A diplomadolgozatom elkészítése során célul tűztem ki, hogy megvizsgáljam hogyan hat a közvetlen mesterséges megvilágítás az étkezési burgonyára. Célom volt választ találni arra, hogy van-e jelentős különbség a fénynek kitett, valamint a sötétben tárolt burgonyák között, vajon mindkét esetben jelentkezik-e klorofill- és glikoalkaloid képződéssel együtt járó zöldülés a termés felületén. Ezen felül dolgozatomban vizsgálom azt is, hogy az eltérő fényintenzitású kezelések hatása között van-e különbség, és ha igen, akkor ez milyen mértékben nyilvánul meg. A tárolási körülményeket is tanulmányozom, hogy vajon van-e jelentősége annak, hogy hűtőben vagy szobahőmérsékleten történik a burgonya tárolása. Méréseimet roncsolásmentes módszerekkel kivitelezem: tömegmérést, színmérést, DA-index[®] meghatározást (DA-mérés), klorofill-fluoreszcencia mérést, illetve akusztikus- és impakt (ütésvizsgálati) állománymérést végzek. Kísérletem során arra számítok, hogy különbség lesz a kezelések között, amelyeket a mérési eredményeim is alá tudnak majd támasztani.

2. Szakirodalmi áttekintés

2.1. Étkezési burgonyáról általánosan

Az étkezési burgonya fontos mezőgazdasági növény, hiszen emberi fogyasztásra és állatok takarmányozására egyaránt alkalmas, továbbá fontos nyersanyag az élelmiszeriparban, azon belül is főként a keményítő- és szeszgyártás során, valamint a gyógyszeriparban is hasznosítják (Radics és munkatársai, 1994).

Jól alkalmazkodik a különböző éghajlati viszonyokhoz, bőséges terméshozam jellemzi, valamint hosszú ideig tárolható, költséghatékony és sokoldalúan felhasználható alapélelmiszerként tartjuk számon. Ezen tulajdonságainak köszönhetően számos kultúrában elterjedt, változatos formában fogyasztják nap mint nap. Táplálkozás-élettani szempontból kedvező táplálék, könnyen emészthető, magas keményítőtartalommal rendelkezik (Ábrahám, 2009). Emellett kis mennyiségben egyéb poliszacharidok (pektin, hemicellulóz stb.) valamint oldható szénhidrátok, azaz cukrok, is találhatóak benne (Radics és munkatársai, 1994). Jelentős mennyiségű C- és B-vitamint, valamint káliumot tartalmaz (Ábrahám, 2009). Bár a burgonyát nem tartják jelentős fehérjeforrásnak, szárazanyagtartalmát tekintve nagyjából 10% fehérjét tartalmaz – ez sok esetben magasabb, mint a rizs vagy a kukorica fehérjetartalma és megközelíti a búzáét. A hagyományos gabonaféléknél kedvezőbb aminosav-összetétellel rendelkezik, a benne található fehérje különösen gazdag lizinben, amely egy esszenciális aminosav, vagyis erre az emberi szervezetnek szüksége van, de önmaga nem képes előállítani (Maga, 1994). Kiemelkedő az antioxidáns hatású polifenol tartalma (Ábrahám, 2009).

2.2. Étkezési burgonya rendszertani helye és biológiai jellemzése

Rendszertani besorolását tekintve a burgonyafélék (*Solanaceae*) családjába, a *Solanum* nemzetségbe tartozik. A Magyarországon termesztett burgonyák a *Solanum tuberosum* fajba sorolhatók (Antal, 2005).

A burgonyát a föld alatt megvastagodott szárképletéért, gumójáért termesztik. Szaporítása a gyakorlatban vegetatív módon, gumók segítségével történik. Létezik még generatív úton, azaz magról történő szaporítás is, de azt kizárólag nemesítési célokra alkalmazzák (Radics és munkatársai, 1994). A burgonyagumó színe, alakja és egyéb jellemzői fajtához kötött tulajdonságok. Formáját tekintve lehet akár gömbölyű, megnyúlt, hengeres, kiflialakú. Étkezési burgonya esetén a 40 mm alatti, vagyis szabványon kívüli gumókat ipari vagy takarmányozási célra hasznosítják (Antal, 2005). Héjszín alapján megkülönböztetünk szürkés fehér, sárga, okkersárga, rózsaszínű, vöröses és tarka vagy foltos

burgonyákat. A hús színe lehet fehér, vagy a sárga valamely árnyalata: sárgás fehér, világos sárga, sötét sárga (Radics és munkatársai, 1994). Országoként eltérőek a preferenciák a gumó héjának és húsának színére vonatkozóan. Az amerikaiak és angolok főként a fehér húsú, a németek a sárga húsú és sárga héjú, a magyarok pedig főleg a piros héjú burgonyát kedvelik (Antal, 2005).

2.3. Étkezési burgonya termesztése, gazdasági jelentősége

A burgonya kiváló alkalmazkodóképességgel jellemezhető, rendkívül sok helyen termeszthető. A FAO 2024-es adatai szerint a legtöbb burgonyát Kína és India termeszt (Internet 1).

Tenyésztés alapján négy csoportot különböztetünk meg: igen korai fajták (AA), korai fajták (A), középkorai fajták (B), középkésői fajták (C). Az igen korai fajták jellemzője, hogy primőr termesztésre alkalmasak, átlagos tenyészidejük nagyjából 85 nap. A korai érésű fajták nyári betakarításra alkalmasak, jobb termőképességűek, mint az igen korai társaik, valamint átlagos tenyészidejük 85-105 nap. A középkorai érésű burgonyák őszi betakarításúak, tenyészidejük 105-115 nap. Rendkívül jó termőképességűek és jól tárolhatók. A középkésői érésű fajtákat októberben szokták betakarítani, tenyészidejük nagyjából 125 nap, jellemző rájuk, hogy bő termőek és jól tárolhatóak (Radics és munkatársai, 1994).

A betakarított termésmennyiség alapján a világon a 4. helyen áll az élelmiszernövények rangsorában, a kukorica, a rizs és a búza után. Gazdaságilag jelentős élelmiszer, hiszen a FAO 2023-as adatai alapján évente közel 383 millió tonna burgonyát takarítanak be (Internet 2). A KSH 2024-es statisztikái alapján Magyarországon 2024-ben 245 ezer tonna burgonya termett (Internet 3). A burgonya fogyasztását befolyásoló tényezők közé tartozik a burgonyatermesztés aránya, az életszínvonal alakulása, a különféle táplálkozási szokások, az élelmiszerellátás színvonala, illetve a burgonya feldolgozottságának mértéke. Napjainkban egyre nagyobb hangsúlyt kap a burgonya feldolgozása, valamint a konyhakész és félkész termékek előállítása és forgalmazása. Népszerű termék például a gyorsfagyasztott hasáburgonya, a burgonyaszírom, valamint a burgonyából készült különböző tésztás ételek (Radics és munkatársai, 1994).

Összességében elmondható, hogy az étkezési burgonya előnyös tulajdonságai ellenére bizonyos hátrányokkal is rendelkezik, amelyek korlátozhatják a fogyasztását. Ilyen például a „zöldülés” jelensége, vagyis amikor klorofill halmozódik fel a burgonyagumóban. Ez főként akkor fordul elő, ha a termelés, betakarítás, tárolás vagy feldolgozás során nem megfelelően

kezelik – különösen, ha fénynek van kitéve. A burgonyában szemmel látható mennyiségű klorofill megjelenését minőségi hibának tekintik (Maga, 1994).

2.4. Étkezési burgonya tárolása

Napjainkban a burgonya tárolása nagy befogadóképességű hűtőházakban történik, ahol mesterséges hűtést alkalmaznak. Ezek a hűtőházak több tárolóhelyiségből állnak, jellemzőjük, hogy automatikusan, folyamatosan lehet mérni és rögzíteni a levegő relatív páratartalmát, hőmérsékletét, továbbá a gázösszetétel és a légsebesség értékeit. Az étkezési burgonya hűtőtárolása során légzési, transzspirációs, kihajtási, romlási, illetve rothadási veszteséggel szükséges számolni. Ezek nagysága a termény fajtájától, továbbá az alkalmazott technológiától függ. Amennyiben nem alkalmazunk mesterséges hűtést, úgy a mennyiségi romlás 6 hónap elteltével 20-25%-os is lehet. Mesterséges hűtés esetén csupán csak 10-12%. Azt, hogy egy burgonya meddig tartható el, főként az apadás, a romlás és a csírázás intenzitása szabja meg. Tárolás során minőségi változás is végbemegy a burgonyában, ebből a két legfontosabb a keményítő lebomlása és szárazanyag tartalom csökkenése (Emekandoko, 2004). Ezekon felül a burgonya minőségét több tényező is befolyásolja, diplomadolgozatomban a minőségromlásnak tekinthető zöldülésért felelős glikoalkaloidokat, azon belül is főként a szolanint ismertetem.

2.5. Szolanin

A szolanin egy glikoalkaloid, amely elsősorban a burgonyafélék (*Solanaceae*) családjába tartozó növényekben található meg, de jelen lehet az almában, paprikában, cseresznyében, paradicsomban és cukorrépában is (Zeiger, 1998). Ezek a növények egy szerkezetileg nagyon hasonló, csupán csak egy szénhidrát-oldalláncban különböző, szintén mérgező vegyületet, kakovint is tartalmaznak. A burgonyában főként a héjban és a héj alatt képződik glikoalkaloid, emiatt hámozás során közel 30%-a eltávolítható. A gumó húsában is nagy mennyiségben jelen lehet. Legnagyobb koncentrációban a zöld vagy csírázó burgonyában mutatható ki, a klorofill képződés miatt. A szolanin legkisebb toxikus adagja 2,8 mg/testtömegkg (továbbiakban mg/ttkg), ez a mennyiség már fejfájást és gyomorgyulladást okoz. Az étkezési burgonya tárolása során a szolanin mennyiség nem csökken, sőt, fény, valamint hőmérséklet hatására növekszik. Az α -szolanin hőstabil vegyületként jellemezhető, hiszen nem bomlik le sütéskor, főzéskor, valamint mikrohullámú feldolgozás hatására sem (Lehel és munkatársai, 2019). Több káros hatásáról is beszámoltak már, többek között hemolízist (vörösvértestek szétesését) okoz, illetve gátolhatja a kolinészteráz enzim működését, amely idegrendszeri panaszokat idézhet elő. Főbb tünetei közé tartozik a hányinger, hányás, hasi fájdalom, hasmenés és

szédülés (Chen és munkatársai, 2018). A glikoalkaloidok a burgonyanemesítők számára is aggodalomra adnak okot, hiszen ők folyamatosan azon dolgoznak, hogy javítsák a termés hozamot, valamint a burgonya betegségekkel szembeni ellenállóképességét, továbbá a tárolhatóságát és a feldolgozhatósági tulajdonságokat. Ahhoz, hogy elérjék ezeket a célokat, gyakran kereszteznek termesztett burgonyát vad vagy kevésbé ismert fajtákkal. Ezek a keresztezések azonban magas glikoalkaloid-tartalomhoz vezethetnek (Maga, 1994).

A burgonyában általánosan 0,3:0,8 arányban található meg az α -szolanin és az α -kakonin. A két glikoalkaloid koncentrációjának aránya a burgonya növény anatómiai részétől vagy fajtájától függően eltérő. Leginkább a virágokban, a levelekben és a hajtásokban található (2000-5000 mg/kg). A különböző fajtájú burgonya gumók eltérő α -szolanin és az α -kakonin tartalommal rendelkeznek (Ostry és munkatársai, 2010). A glikoalkaloidok hozzájárulnak a burgonya ízéhez. Ha az α -szolanin és az α -kakonin tartalom meghaladja a 200 mg/kg értéket, a burgonya keserű ízű lesz. A glikoalkaloidok a burgonyában olyan vegyületek, amelyek a növény védekezési mechanizmusát szolgálják: stressz hatására termelődnek és segítenek megóvni a növényt a rovarok, gombás fertőzések és növényevő állatok elleni támadásokkal szemben. A burgonyagumókban jelenlevő glikoalkaloidok a héjban vagy közvetlenül a héj alatt, egy 1,5-3,0 mm vastagságú rétegben találhatóak.

1. ábra: Burgonya zöldülése során a héjban, illetve közvetlenül a héj alatt található glikoalkaloidok
(Forrás: Saját fotó, 2025)



A glikoalkaloidok koncentrációja a héjban 3-10-szer nagyobb, mint a burgonya belsejében, emiatt hámozással nagy mértékben eltávolíthatók. A burgonyagumók héjában található glikoalkaloidok átlagos mennyisége 30-tól akár 1000 mg/kg értékig terjedhet. A

meghámozott burgonya esetén 1,0-45,0 mg/kg között változhat ez a szám (Ostry és munkatársai, 2020). Maga (1994) vizsgálata szerint a hámozás a jelenlevő glikoalkaloidok 60-96%-át távolítja el, viszont, ha a gumók glikoalkaloid-tartalma magas, abban az esetben a hámozással csak legfeljebb 35%-tól tudunk megszabadulni.

Habár a glikoalkaloidokat mérgező vegyületekként tartják számon, több kutatás is rámutat arra, hogy a dózis és a felhasználási körülmények függvényében jótékony hatással is rendelkezhetnek. A glikoalkaloidokon kívül a burgonya más biológiailag aktív vegyületeket (kalisztegin-alkaloidokat, antioxidáns fenolos vegyületeket, klorofillt, proteáz inhibitorokat, lektineket, vitaminokat), továbbá a feldolgozás során keletkező barnulást okozó vegyületeket, valamint akrilamidot is tartalmaz. Ezek hatással lehetnek a glikoalkaloidok táplálkozási szerepére (Friedman, 2006). A jótékony hatást említő tanulmányok kimutatták, hogy az α -szolanin lehet rákellenes (Zhang és munkatársai, 2016; Shin és munkatársai, 2016), antibakteriális (Tatiana és munkatársai, 2014), továbbá antidiabetikus (Camire, 2009), így különösen érdekesek a gyógyszeriparban való felhasználás szempontjából. Martínez-García és munkatársai (2024) kísérletük során a lehámozott burgonyahéjből biológiailag aktív vegyületeket vontak ki egy környezetbarát, gyors és hatékony analitikai módszerrel. Ez az ultrahangos extrakció (UAE) és nagy teljesítményű folyadékkromatográfia diódasoros detektálással (HPLC-DAD) történő kombinációján alapul. Ezen módszer segítségével meg is lehet határozni az α -szolanin és az α -kakonin mennyiségét a burgonya héjában. Vizsgálták továbbá a héj tárolás közbeni stabilitását, illetve azt, hogy hogyan őrizhetőek meg szárítás során a burgonya héjában a glikoalkaloidok. Arra a következtetésre jutottak, hogy a lehető legalacsonyabb szabályozott hőmérsékletet javasolt alkalmazni szárításkor, hiszen azzal megakadályozható a kinyerni kívánt glikoalkaloidok lebomlása.

2.6. Burgonyában található szolanin mennyisége

A burgonyában található szolanin mennyiségével többféle tanulmány, publikáció foglalkozik, melyek konkrét adatokat szolgáltatnak annak érdekében, hogy elkerülhetőek legyenek a glikoalkaloidok által kiváltott tünetek.

2020-ban az Európai Élelmiszerbiztonsági Hatóság (EFSA) élelmiszerláncba bekerülő szennyezőanyagokkal foglalkozó tudományos testülete (CONTAM) kockázatértékelést fogadott el a burgonyában és a burgonyából származó termékekben előforduló glikoalkaloidokról. Az α -szolanin és α -kakonin embereknél olyan gasztrointesztinális (gyomor-bél rendszeri)tüneteket válthat ki, mint a hányinger, hasmenés és a hányás. Ezen hatások figyelembevételével a CONTAM panel az akut expozíció kockázatának jellemzésére

referenciapontként napi 1 mg összes burgonya-glikoalkaloid/testtömegkilogramm legkisebb megfigyelhető ártalmas hatást okozó szintet (LOAEL) állapított meg (Internet 4).

A KSH 2020-as adatai szerint Magyarországon az egy főre jutó éves burgonyafogyasztás 27,3 kg, ami naponta kb. 75 grammnak felel meg (Internet 5). A burgonya átlagos glikoalkaloid tartalma 0,075 mg/g burgonya (Zeiger, 1998). Napi 75 gramm burgonya esetén ez az érték 5,625 mg/fő/nap. Egy 70 kg-os testsúllyal rendelkező egyén esetén ~0,08 mg glikoalkaloid/kg testsúly/nap bevitelét eredményezi. Ahogy korábban említettem, a szolanin legkisebb toxikus adagja 2,8 mg/ttkg, amely mennyiség már fejfájást és gyomorgyulladást okoz. Tehát a fenti adatok szerint az átlagos napi burgonyafogyasztásunk során nem áll fenn a veszélye annak, hogy nagy mennyiségű szolanint vigyünk be a szervezetünkbe, azonban azt fontos észben tartani, hogy a kockázat megnő, amint láthatóan zöld burgonyát fogyasztunk.

Farmakokinetikai vizsgálatok kimutatták, hogy emberek esetében a burgonya fogyasztását követően az α -szolanin és α -kakonin kimutatható mennyiségben megjelenik a vérérszékben. Rágcsálókon végzett kísérletek azt mutatták, hogy ugyanezen vegyületek felszívódása gyengébb, mint az ember esetén. A humán esetekről szóló jelentésekkel és az állatokon végzett toxikológiai vizsgálatokkal összhangban az *in vitro* vizsgálatok azt mutatták, hogy az α -szolanin és α -kakonin megzavarta a sejtmembránokat és gátolta a kolinészteráz aktivitást. Krónikus expozícióra vonatkozó adatok nem állnak rendelkezésre (Zeiger, 1998).

Ahhoz, hogy a burgonyában található glikoalkaloidok jelenléte csökkenthető legyen, fontos a helyes mezőgazdasági gyakorlatok betartása, valamint a megfelelő tárolási és szállítási feltételek biztosítása, továbbá a helyes gyártási gyakorlatok alkalmazása (Internet 4).

2.7. Szolanin kimutatásával foglalkozó tanulmányok

Napjainkban a burgonyában található α -szolaninra vonatkozó kutatások főként annak mennyiségi meghatározására koncentrálnak, kevés esetben vizsgálják kialakulásának befolyásoló tényezőit, illetve változásainak mintázatát különféle tárolási körülmények között (Chen és munkatársai, 2018).

Az α -szolanin kimutatására többféle kísérletet is végeztek már korábban. Chen és munkatársai (2018) nagy teljesítményű folyadékkromatográfiát (HPLC) alkalmaztak a szolanin tartalmának kimutatására, amely során különböző burgonyafajtákat tanulmányoztak eltérő tárolási körülmények között. Fénycsővel megvilágított krumplikban jelentősen nagyobb α -szolanin tartalmat detektáltak, mint a sötétben tárolt burgonyákban. Ostry és

munkatársai (2010) kimutatták, hogy mind hámozás, mind pedig sós vízben történő főzés során a glikoalkaloidok mennyisége 20%-kal csökken, míg hámozás és sós vízben történő főzés együttes alkalmazásával 36%-os veszteség érhető el. Petersson és munkatársai (2013) az α -szolanin és α -kakonin mennyiségét elemezték olyan burgonyagumókban, amelyeket mechanikai sérülésnek, fényhatásnak vagy magas hőmérsékletnek tettek ki – ezek mind olyan stresszhatások, amelyekről ismert vagy várható, hogy növelik a glikoalkaloidok mennyiségét a burgonyában. A kísérlet végén megállapították, hogy a sérülés és a fényhatás egyértelműen növelik a glikoalkaloid-szintet, a hő nem feltétlenül. Az eredményeik azt mutatják, hogy a burgonyafajták között nagy eltérések vannak a betakarítás utáni glikoalkaloid-szint emelkedés tekintetében. Zhao és munkatársai (2017) a burgonya szolanin mennyiségét nagy teljesítményű folyadékkromatográfiával (HPLC) és UV detektorral határozták meg. A szolanin tartalmat különböző termesztési régiókban és eltérő fajták esetén vizsgálták. Megfigyelték, hogy a növekedési periódus előrehaladtával a szolanin mennyisége fokozatosan csökkent mindhárom növekedési szakaszban (gumóképződés, keményítő felhalmozódás, érés). Sotelo és Serrano (2000) 12 kereskedelmi forgalomban kapható mexikói burgonyafajta glikoalkaloid-tartalmát vizsgálta HPLC berendezés segítségével. A glikoalkaloidok minden fajta esetén nagyobb koncentrációban voltak jelen a burgonya héjában, mint a húsában. A héjban több α -kakonin-t találtak, mint α -szolanin-t.

2.8. Roncsolásmentes módszerek

A legtöbb glikoalkaloid tartalom kimutatásához kapcsolódó tanulmány destruktív, azaz roncsolásos eljárásokkal foglalkozik. A klorofilltartalmat sok esetben roncsolásos módszerekkel mérik, amelyekhez a minta előkészítése, homogenizálása és extrakciója szükséges. Ezekre az eljárásokra jellemző, hogy időigényesek, továbbá sok mintára van szükség a kivitelezésükhöz (Rutkowski és munkatársai, 2008). Ezzel szemben a roncsolásmentes módszerek által nem sérül a termék, ez különösen előnyös abban az esetben, ha drága vagy ritka mintával kísérletezünk. Hosszútávon költséghatékonyabbak, hiszen nem szükségesek hozzájuk laboratóriumi kellékek, vegyszerek, így kevesebb fogyóanyagot igényelnek. Gyorsabbak és hatékonyabbak, nincs szükség hosszadalmas mintaelőkészítésre, akár pár másodperc alatt is megkaphatóak a mért adatok, illetve több minta lemérhető rövidebb időn belül. Előnyük továbbá, hogy a laboratóriumokon kívül is használhatóak, akár a termények tárolóhelyén, vagy betakarítás során. Környezetkímélőbb és biztonságosabb megoldás, hiszen használatuk nem igényel vegyszereket, veszélyes anyagokat (Bratu és munkatársai, 2021; Liu és munkatársai, 2025). A roncsolásmentes módszerek által konkrét

információk kaphatóak a burgonyákban található α -szolanin és α -kakonin tartalomról, valamint a keménységről. A továbbiakban néhány olyan módszert említek, amelyek alkalmasak lehetnek burgonyák minőségbeli változásának vizsgálatához, általuk a tárolás során fény hatására bekövetkező zöldülés jelensége is tanulmányozható.

A burgonyák zöldülése minőségbeli romlasként értelmezhető. A zöldségek és gyümölcsök minőségének vizsgálata csökkentheti a pazarlást, illetve irányt mutathat a feldolgozáshoz és kezeléshez. A minőség értékelése történhet többféle módszerrel, ezek közül az egyik például az akusztikus és impakt (ütésvizsgálati) állománymérők alkalmazása, melyeket a legtöbb tanulmányban gyümölcsök érettségének vizsgálata során használnak. Az érettséget meghatározza a megjelenés, a cukortartalom, a savtartalom és a keménység. Ezek közül a gyümölcs keménysége szorosan összefügg annak fizikai szerkezetével és mechanikai tulajdonságával, melyek fontos szerepet játszanak az élelmiszer-ellátási lánc különféle szakaszaiban. A betakarítás szakaszában a keménység által következtethetünk az érettségre és az optimális betakarítási időre. A termés keménysége a szállítás során a csomagolási módot is meghatározza. Tárolás során egy zöldség/gyümölcs aktuális érettségi állapota, keménysége hozzájárul az optimális tárolási hőmérséklet, a páratartalom és a tárolási idő meghatározásához. Általa becsülhető az eltarthatóság és a fogyaszthatóság is, így fontos ezen paraméter vizsgálata (Ding és munkatársai, 2021). Három európai kutatólaboratórium készített egy tanulmányt az őszibarack keménységének mérésére, hogy összehasonlítsanak három különböző érzékelési technikát, az akusztikus, az impakt és a mikroszkopikus deformációt. A barackokat három csoportba sorolták: puha, közepesen kemény és kemény. Az egyes érzékelők esetében az osztályozás hibaaránya 19 és 28% között mozgott, az érzékelőket összevonva ez az érték 14%-ra csökkent. Arra a következtetésre jutottak, hogy az érzékelők együttes alkalmazása jobb eredményekhez vezet, mintha külön-külön alkalmazzák őket (Steinmetz és munkatársai, 1996).

Tilahun és munkatársai (2020) a glikoalkaloidok szintjét vizsgálták a burgonyagumók különböző zöldülési stádiumaiban. Több héten keresztül végeztek színmérést kereskedelmi forgalomban kapható krumplikon. Azt tapasztalták, hogy az idő előrehaladtával a zöldülés, a klorofill- és a glikoalkaloid-tartalom jelentősen nőtt. A glikoalkaloidok toxikus szintje (>200 mg/kg) a késői zöldülési szakaszokban halmozódott fel, illetve a klorofill legmagasabb értéke is ekkor volt megfigyelhető. A felület színe és a klorofill-tartalom alapján mutatókat fejlesztettek ki az általuk vizsgált burgonyák biztonságos fogyasztásához, megelőzve ezzel a toxikus mértékű glikoalkaloidok szervezetbe kerülését. Az általuk kidolgozott jelzőszámok

hasznosak lehetnek más fajtájú burgonyák esetén is, mintegy iránymutatásként. Larsen és Molteberg (2023) norvég burgonyafajtákon vizsgálták a fényhatásnak való kitétséget. Tanulmányozták a krumplik fényérzékenységét a színváltozások és a glikoalkaloid-képződés tekintetében. A burgonyákat fajtától függően 6 és 20 °C-on tárolták LED-es megvilágítás ($7.4 \pm 0.6 \text{ W/m}^2$, kb. 2400 lux) alatt 4-18 napig. A színváltozásokat Konica-Minolta CR-400 Chroma Meter mérőműszer segítségével követték nyomon, valamint meghatározták az elfogadhatatlan színváltozás határértékét. Megállapították, hogy a nem azonos fajtájú burgonyák eltérő időpontokban érték el az elfogadhatatlan határértéket. Egyes burgonyákat különböző fényáteresztő tulajdonságú anyagokba csomagoltak, majd 4 napig 20 °C-on és 18 napig 6 °C-on LED-es megvilágításnak tették ki őket. Végül egyik csomagolástípus sem nyújtott kellő védelmet a fényvel szemben. A 20 °C-on tárolt burgonyák 2 nap fényhatás után érték el a már nem elfogadható zöld színt, míg a 6 °C-on tárolt minták 9 nap után lettek elfogadhatatlanul zöldek. Megállapították, hogy a tesztelt burgonyák esetén a csomagolóanyag teljes fényáteresztő képességének $0,02 \text{ W/m}^2$ alatt kell lennie, hogy elkerülhetővé váljon a zöld szín kialakulása 20 °C-os fényhatás alatt. Korábbi tanulmány is foglalkozott már a csomagolóanyagok fényáteresztő képességének vizsgálatával burgonyazöldülés esetén. Megállapították, hogy a burgonya átlátszó műanyag zacskókban való tárolása nem akadályozza meg a glikoalkaloidok fény hatására bekövetkező szintézisét, így javasolt azokat sötét helyen vagy fekete színű csomagolóanyagban tárolni. A különböző csomagolóanyagoknak eltérő a fényáteresztő képessége, az orientált polipropilén (OPP) és a papír alapú csomagolás kevésbé engedi át a fényt, mint az átlátszó PETP/PE/EVOH/PE műanyag fólia. Csak az utóbbi esetén figyelhető meg jelentős növekedés az α -szolanin és α -kakonin koncentrációjában, 15 °C-os tárolás során. 5 °C-on történő tárolás esetén nem tapasztalható jelentős mértékű zöldülés (Eie és Larsen, 2012).

Burgonyák vizsgálatához alkalmas a klorofill-fluoreszcencia mérés, amellyel a termény fotoszintetikusan aktív fluoreszcencia tartalma jellemezhető. A klorofill-a fluoreszcencia változásainak vizsgálata hasznos módszer annak megértésére, hogyan hatnak a különböző környezeti stressztényezők a fotoszintetikus folyamatokra (Rykaczewska és Mańkowski, 2015). A klorofill-fluoreszcencia képalkotó vizsgálat („chlorophyll fluorescence imaging”) egy áttekintést ad a sejtek, levelek, illetve növények fluoreszcencia-kibocsátási mintázatáról. Alkalmas a klorofill-fluoreszcencia jelek térbeli és időbeli heterogenitásának vizsgálatára a levelek teljes felületén, amelyek számos belső növényi tényező következtében alakulnak ki és amelyeket a hagyományos, nem képalkotó pontmérésekkel nem lehet kimutatni (Gorbe és

Calatayud, 2012). Többféle tanulmány foglalkozik klorofill-fluoreszcencia mérésel, különféle zöldségek-gyümölcsök esetén is. Alkalmazták már hidegkárosodás vizsgálatára paradicsompalánták esetén, mely kísérlet során a különböző típusú hidegstresszek elkülönítése volt a cél. A klorofill-fluoreszcencia képalkotás által megkülönböztethetőek a hidegtűrő és a hidegre érzékeny növények (Shammi és munkatársai, 2023). Lazarević és munkatársai (2022) a burgonya hőmérsékletváltozásra való érzékenységét vizsgálták ezzel a módszerrel. Megállapították, hogy a megnövekedett hőmérséklet magasabb fluoreszcencia értékhez vezet. Zsom és munkatársai (2018) zöld banán alacsony hűtési hőmérsékleten jelentkező hidegkárosodását mutatták ki klorofill-fluoreszcencia mérés által. A klorofill-fluoreszcencia képalkotó mérés által meghatározható a fotoszintetikus kapacitás, illetve stabilitás, valamint az érettséggel kapcsolatos klorofill-lebomlás. Továbbá ezen módszerrel a kápia típusú paprika esetén az éretlen, illetve éréshez közeli állapotban is kimutatható a nem optimális tárolási hőmérséklet okozta hidegkárosodás. A fotoszintetikusan aktív klorofilltartalommal összefüggő paraméterek megbízhatóan tükrözik a különböző hőmérsékleti kezelések hatását. A klorofill-fluoreszcencia elemzési módszer tehát ígéretes eszköz az alacsony tárolási hőmérséklet okozta stresszvizsgálatokhoz is (Zsom és munkatársai, 2020).

A zöld színanyagot tartalmazó kertészeti termékek (pl. alma, körte, mangó, kivi, barack) postharvest minősége jellemezhető többek között a DA-index[®]-szel, amely egy abszorbanciakülönbség-mérésen alapuló objektív mutatószám. Ez az abszorbancia érték a DA-meter[®] (DA-mérő) által mérhető, mely egy roncsolásmentes mérőeszköz. Jellemzője, hogy a látható és a közeli infravörös tartományban mér. Rendkívül jól használható érettségi állapot meghatározására, valamint az adott terményben található klorofill mennyiségi jellemzésére. Az eddig megjelent tanulmányok nagy része gyümölcsök esetén alkalmazza a DA-meter[®]-t, azonban többféle termény minőségi jellemzőinek meghatározására is alkalmas. Megfigyelhető általa a zöldségek, gyümölcsök tárolás előtti és utáni állapota, tulajdonságaik változása (Costa és munkatársai, 2012). Általa lehetőség nyílik arra, hogy a terményeket betakarításkor különböző minőségi kategóriák szerint válogassák, vagy pedig a tárolóból történő kitárolás során eltérő értékesítési osztályokba sorolhassák. Ahhoz, hogy egy gyümölcs, zöldség hosszú távon tárolható lehessen, nagyon fontos, hogy optimális időpontban történjen a betakarítása. A gyümölcsök esetén az érettségi fok pontos előrejelzése fontos a betakarítás utáni kezelés szempontjából. Amennyiben nem megfelelően időztetik a betakarítást, az korlátozza a tárolási potenciált, valamint befolyásolja az érzékszervi

minőséget. A betakarítás dátumát emiatt általában az éréshez köthető paraméterek, például a keménység vagy az összes oldható szárazanyagtartalom változásainak nyomon követésével határozzák meg (Nyasordzi és munkatársai, 2013). Tanulmányok kimutatták, hogy az optikai spektrumok segítségével történő klorofilltartalom és más minőségi paraméterek meghatározása eszköz lehet az alma megfelelő betakarítási időpontjának jelzésére (Rutkowski és munkatársai, 2008; Nyasordzi és munkatársai, 2013).

3. Anyagok és módszerek

3.1. Étkezési burgonya

A vizsgálatokat Anuschka fajtájú (*Solanum tuberosum L. cv. Anuschka*) étkezési burgonyákon végeztem. Főbb jellemzői ennek a fajta burgonyának, hogy nagyon korai érésű, jó mezőgazdasági állapotú földben ajánlott termeszteni. Javasolt a fólia alatti termesztés, vagy legalábbis a kiültetés előtti előhajtás annak érdekében, hogy az érés folyamata, a héj megerősödése és a betakarítás gyorsítható legyen. Többnyire egyforma, közepes és nagy méretű gumók jellemzőek rá, a gumóérési ütem közepes, valamint a gumó torzulásaival szemben ellenálló. A gumó formája kerek-ovális, rügymélysége nagyon sekély, héja sárga és nagyon sima, hússzíne pedig sárga-sötét sárga. Színét főzés után is kitűnően megőrzi. Kiváló étkezési minőségű, elsősorban friss fogyasztásra termesztik, salátának is alkalmas. Jó tárolhatóság jellemzi (Internet 6).

A kísérlethez felhasznált Anuschka fajtájú burgonyákat az EURO SOL Kft. (Dánszentmiklós) biztosította. A burgonyákat Magyarországon, azon belül is Tiszagyendán termesztették, hagyományos, de vegyszermentes gazdálkodásban.

2. ábra: Anuschka fajtájú burgonya
(Forrás: Internet 6)



3.2. Kísérleti terv

A kísérletem során a cél az volt, hogy megvizsgáljam milyen mértékben befolyásolja az eltérő megvilágítás a burgonya szolanin képződéssel összefüggő zöldülési jelenségét. Ehhez

három különböző módon tároltam a burgonyákat: sötétben, mennyezeti LED világítás alatt, valamint nagy intenzitású fotólámpa alatt. Külön méréseket végeztem a burgonyák fényfelvilágított (napos) és árnyékos oldalán is. A vizsgálatokat roncsolásmentes módszerekkel kiviteleztem: tömegmérést, színmérést, DA-index[®] meghatározást (DA-mérés), klorofill-fluoreszcencia mérést, illetve akusztikus és impakt (ütésvizsgálati) állománymérést végeztem. A kísérletet összesen 24 napig végeztem. Ez idő alatt összesen 90 db mintát vizsgáltam. A 30 db mennyezeti LED megvilágítással ellátott és a 30 db fotólámpa alatti burgonyát szobahőmérsékleten, a maradék 30 db sötétben tárolt mintát pedig egy szabályozott hőmérsékletű hűtővitrinben (+13±1 °C) tartottam.

A kísérletet a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem Élelmiszertudományi és Technológiai Intézet, Árukezelés, Kereskedelem, Ellátási Lánc és Érzékszervi Minősítés Tanszék Postharvest Laboratóriumában végeztem.

3.3. Tárolási és megvilágítási körülmények

A fotólámpák alatt (Walimex Daylight 450T Tageslichtlampe, Walser GmbH, Németország, 5*25W kompakt fénycső, színhőmérséklet 6400K, fényerő 5*1100 lumen és 1*13W színhőmérséklet 2700K, fényerő 806 lumen) tartott és a mennyezeti LED-fénycsöves lámpatest (Kobi Light sp. z.o.o., Lengyelország; 2 * LED2B T8 18W, fényerő: 2*1700 lumen, színhőmérséklet 4000K megvilágítási szög: 300°, hidegfény-kibocsátás) által megvilágított burgonyákat ugyanabban a helyiségben tároltam (3. ábra) a teljes vizsgálati időtartam alatt. A fényforrás és a vizsgált minta közötti távolság a fotólámpák esetében kb. 50 cm, míg a mennyezeti LED-es megvilágításnál kb. 150 cm volt.

3. ábra: A mérések során alkalmazott mesterséges megvilágítási elrendezés (fotólámpák – balra; mennyezeti LED-es megvilágítás – jobbra)
(Forrás: Saját fotó, 2025)



A fotólámpák kompakt fénycsövei és a mennyezeti LED-világítótestek által biztosított megvilágítás mértékének (fényintenzitás, azaz lux [lumen/m²]) mérésére egy-egy Voltcraft DL-230L típusú (Szinker Kft., Magyarország, Internet 7.) adatgyűjtő funkcióval is rendelkező digitális fénymérőt (méréstartomány: 0-40000 lux) helyeztem el. Az így kialakított megvilágítás fényerőssége (fényintenzitása) a fotólámpák esetében kb. 4200 lux, míg a LED-es mennyezeti megvilágításnál kb. 300 lux volt, ami kb. 14-szeres intenzitáskülönbséget jelent a két eltérő fényforrás és megvilágítás esetében. A sötétben tárolt mintákat fénytől védett helyen, egy külön hűtőtárolóban elhelyezett J-600-GD (R600a) típusú (Thermotechnika – Crown Cool Kft., Magyarország) szabályozott hőmérsékletű (+13±1 °C) álló hűtővitrinben helyeztem el. Mindhárom mintacsoport mellé egy-egy Trotec BL30 (TROTEC GmbH, Németország, Internet 8.) hőmérséklet- és páratartalommérő készüléket helyeztem el (mérésidőköz 5 perc). Tettem ezt annak érdekében, hogy követni tudjam az esetleges változásokat a hőmérséklet és páratartalom függvényében, ezáltal pedig különbségeket tudjak tenni az eltérő tárolási módok között. A hűtővitrinben és sötétben tartott burgonyák esetén számítottam a legkisebb változásra, hiszen ezen minták esetén volt a legalacsonyabb a hőmérséklet, ezáltal pedig lassabb lesz a burgonyában található víz párolgási sebessége. Ehhez hozzájárul az is, hogy a hűtővitrinben magasabb a páratartalom, mint a megvilágított helyiségben.

A mintákat papír tojástartó tálcákon helyeztem el (4., 5., 6. ábra). A hűtővitrinben, sötétben tárolt minták „napos” oldalára külön helyeztem egy fekete műanyag fóliát, hogy ezzel is védjem az esetleges beszűrődő fényhatásoktól.

A burgonyákat a mérések előtt jelölésekkel láttam el. Az első 30 db burgonyám 'A' jelölést és sorszámozást kapott, ezek lettek a fotólámpa által megvilágított burgonyák. A LED-es (mennyezeti) megvilágítású 30 db burgonyám 'B', a sötétben tartott 30 db minta 'C' (kontrol) jelölést kapott és ezeket is megszámoztam alkoholos filccel. Mindegyik minta 'napos' és 'árnyékos' oldalára 3-3 db pontot rajzoltam (a hossz tengely mentén egyenletesen elosztva), így a méréseimet minden mérési alkalommal ugyanazokban a pozíciókban, a jelölt pontoktól jobbra végeztem.

4. ábra: A fotólámpával megvilágított burgonyák
(Forrás: Saját fotó, 2025)



5. ábra: A mennyezeti LED-es megvilágítású burgonyák
(Forrás: Saját fotó, 2025)



6. ábra: A sötétben tárolt burgonyák
(Forrás: Saját fotó, 2025)



A tárolásra választott helyiségben 24 napon keresztül megszakítás nélkül, folyamatosan meg voltak világítva a minták, csak a mérések idejére hoztam el őket a helyükről. A sötétben

tárolt minták esetén próbáltam minél hamarabb elvégezni a vizsgálatokat, valamint a mérés idejére is igyekeztem többnyire rajtuk tartani a fóliát. A méréseket rendszeres időközökben, általában 2-3 naponta végeztem el.

3.4. Módszerek

3.4.1. Tömegmérés

Kísérletem során mindig megmértem a minták tömegét, hogy nyomon tudjam követni tömegveszteségük mértékét az idő előrehaladtával. A tömegmérést Sartorius L610 típusú (Sartorius GmbH, Németország) 0,01g pontosságú digitális mérleggel végeztem. A mérés által kapott adatokat egy MS Excel táblázatban vezettem.

7. ábra: A tömegméréshez használt Sartorius L610 típusú digitális mérleg
(Forrás: Saját fotó, 2025)



A mérési eredményekből kiszámoltam a tömegveszteség százalékos értékét (1. egyenlet). Ezt követően ábrázoltam az adatokat a tárolási idő függvényében.

$$m\% = \frac{m_0 - m_1}{m_0} \cdot 100 \quad [1]$$

$m\%$: a tömegveszteség százalékos értéke [%]

m_0 : a kezdeti tömeg [g]

m_1 : az adott napon mért tömeg [g]

3.4.2. Színmérés

A színmérést egy Konica-Minolta CR-400 (Konica-Minolta Ltd., Japán) felületi színmérő készülékkel végeztem. Ez egy hordozható színmérő műszer, amelyet a visszavert színek és színkülönbségek mérésére használnak. Átala kiértékelhető a burgonya felületi színezete a CIELAB 1974 színrendszer L^* , a^* és b^* színtényezők alapján. A CIELAB 1974

színtér a színeket három koordinátával írja le: L^* , a^* , b^* . Az L^* a világossági tényező, amelynek értéke 0 (=fekete) és 100 (=fehér) közötti lehet. Az a^* negatív előjel esetén zöld színezetet, míg pozitív előjel esetén vörös színezetet jelöl. A b^* pozitív előjel esetén sárga színezetet, míg negatív előjel esetén kék színezetet jelöl. (Hovorkáné Horváth, 2007)

A mérés megkezdése előtt a készüléket összekötöttem a számítógéppel, hogy a kapott adatokat egy adatrögzítőprogram (Minolta CR-400 Utility) segítségével vigyem fel egy MS-Excel táblázatba. A színmérőt bekapcsolás után átállítottam PC-módra, hogy az adatátvitel meg tudjon valósulni. Ezután kiválasztottam azt az MS-Excel munkafüzetet, amelybe menteni szerettem volna az eredményeket. Ez a munkafüzet már tartalmazta az L^* , a^* , b^* értékek kiszámolásához szükséges képleteket, így az L^* , az a^* , a b^* , a C^* (króma, színtelítettség) és a színezeti szög (hue°) adatok automatikusan kiszámításra kerültek minden egyes mérési ponthoz tartozóan. Miután ezzel kész voltam, elvégeztem a kalibrációt egy fehér csempe segítségével és kezdődhetett is a mérés. A színmérés során minden esetben a burgonyákra felrajzolt mérőpontoktól jobbra mértem. Elsőként mindig a burgonyák napos (megvilágított) oldalával indítottam, majd, ha ezeket megmértem, akkor megfordítottam és az árnyékos oldalon ugyanígy megmértem a felrajzolt három pont melletti részt.

8. ábra: Konica-Minolta CR-400 színmérő
(Forrás: Saját fotó, 2025)



3.4.3. *DA-index*[®] mérés

Roncsolásmentes spektrális adatok gyűjtéséhez egy FRM01-F típusú (Sintéleia, s.r.l., Olaszország) Vis/NIR DA-meter[®] készüléket használtam (9. ábra). Ezzel a műszerrel a vizsgált termék fényelnyelési (abszorbancia) jellemzőinek mérésére van lehetőség, ezek alapján határozza meg a fotoszintetikusan aktív klorofill-tartalommal összefüggő DA-index[®]-et (abszorbancia különbség index, I_{AD}). Ez az érték a 670 és 720 nm hullámhosszokon mért

abszorbancia értékek különbsége alapján kerül kiszámításra, a klorofill-a abszorpciós csúcsának közelében. Az abszorbancia különbség összefüggésbe hozható a gyümölcsök, zöldségek minőségi paramétereinek (hús keménysége, oldható szárazanyag-tartalom, rugalmasság) időbeli változásával. A DA-index[®] értéke 0 és 5 közötti lehet, amely a mintában lévő aktív klorofill mennyiségével arányos (Zsom-Muha és munkatársai, 2021, Ziosi és munkatársai, 2008).

A mérés megkezdése előtt kalibrálást végeztem egy fehér etalon segítségével. Ezt követően a burgonya felületére felrajzolt pontoktól jobbra helyeztem el a mérőfejet és elvégeztem a méréseket elsőként a napos, majd az árnyékos oldalon. A mérés elvégzése után az eszközt egy USB-kábel segítségével csatlakoztattam a számítógéphez. A kapott adatokat a DA-meter[®] számítógépre telepített programján keresztül vittem fel egy MS-Excel táblázatba.

9. ábra: Sintéleia Vis/NIR DA-meter[®] érettségmérő
(Forrás: Saját fotó, 2025)



3.4.4. Akusztikus és impakt állománymérés

A burgonyák akusztikus és impakt állományának mérésére egy AWETA AFS típusú (AWETA AFS DTF V0.0.0.105, Hollandia) roncsolásmentes laboratóriumi állománymérő készüléket használtam (10. ábra). Az ún. dinamikus állományvizsgálati módszerek esetén egy rövid impulzussal, vagy pedig gyorsan változó jelek sorozatával gerjesztjük a vizsgált terményt, majd pedig az anyag reakcióját alapul véve megállapíthatjuk annak mechanikai jellemzőit. Ez azért lehetséges, mert a mechanikai rezgések kialakulása, illetve terjedése keménységfüggő, tehát a dinamikus viselkedésből következtethetünk az állomány jellemzőire (Hitka, 2011).

Elsőként összeszereltem a műszert, majd pedig a számítógépen megnyitottam a hozzá tartozó programot. A mérés megkezdése előtt elvégeztem a kalibrációt 100, illetve 200

grammos súlyokkal. Ezt követően kiválasztottam a 'Product Type' menüpontban a burgonyát. A készülékre úgy helyeztem el a krumplikat, hogy elsőként az árnyékos, majd pedig a napos oldal került mérésre. A készülék elsőként a minták tömegét méri, majd egy kis kalapács (ütőfej) segítségével megüti a terményt, közben pedig rögzíti a gerjesztett hangválasz spektrumát. A mért tömeg és rezonanciafrekvencia adatokból megkaptam a burgonyák akusztikus (S) és impakt (D) keménységtényezőit, melyeket MS Excel táblázat formájában mentettem el [2].

10. ábra: AWETA AFS DTF típusú roncsolásmentes laboratóriumi akusztikus- és impakt állománymérő készülék
(Forrás: Saját fotó, 2025)



$$S = f^2 \cdot m^{\frac{2}{3}} 10^{-6} [2]$$

S: akusztikus keménységtényező [$\text{Hz}^2 \text{g}^{\frac{2}{3}}$]

f: rezonancia frekvencia [Hz]

m: tömeg [g]

3.4.5. Klorofill fluoreszcencia mérés

A klorofill fluoreszcencia mérés során a fotoszintetikusan aktív klorofill-tartalommal összefüggő jellemzőkről kaphatunk információt. A klorofill fluoreszcencia nagysága szoros összefüggést mutat a fotoszintézis második fotokémiai rendszerének (PSII) épségével, amely fotoszintézisre képes, aktív klorofillmolekulákat tartalmaz (forrás).

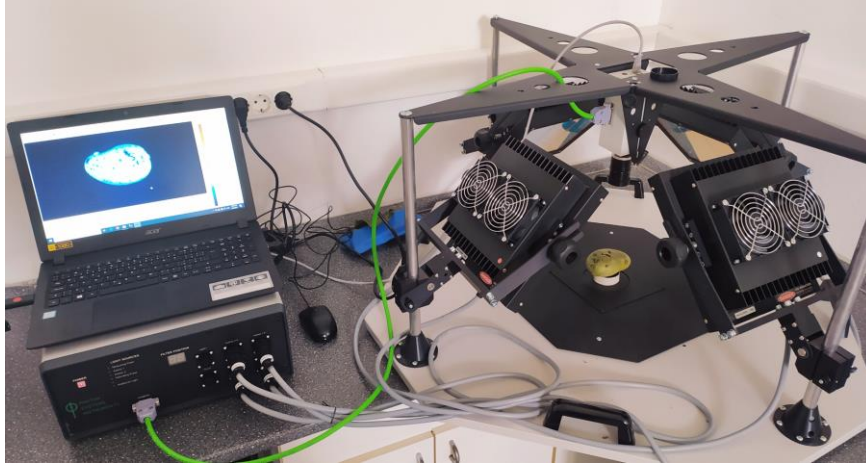
A klorofillmolekulák által elnyelt fényenergia a fotoszintetizáló növényi szövetek tilakoid membránjában kerül felhasználásra. Ez a fényenergia egyrészt felhasználható a fotoszintézis fotokémiai folyamataihoz szükséges energia biztosítására (ATP, NADPH/H⁺), másrészt a fel nem használt energiamennyiség hő formájában leadható. A megmaradó energia egy része fényként (~680-720 nm tartományban), vagyis klorofill-fluoreszcenciaként kibocsátható, amely a klorofillmolekulák által elnyelt teljes fényenergiának nagyjából az 1-3%-a (forrás).

A mérési módszer az ún. Kautsky-effektuson alapszik: ha a huzamosabb ideig sötétben tárolt (sötétadaptált) fotoszintetizáló növényeket fénynek tesszük ki, akkor a világosba helyezés után kb. egy másodperccel klorofill fluoreszcencia növekedést figyelhetünk meg. Amíg a növényt sötétben tároljuk, addig a szövetben található PSII képes továbbadni szinte az összes olyan elektront, amelyet a fényenergia gerjesztett, ezáltal a klorofill fluoreszcencia mértéke minimális (F_0). A maximális érték (F_m) állandó megvilágítás hatására érhető el, ebben az esetben a PSII kis mértékben képes továbbítani a gerjesztett elektronokat. Az F_v érték az a változó, amely megadja a maximális és a minimális klorofill-fluoreszcencia különbségét. A fotoszintetikus rendszer zöld növényi szöveteinek fényenergia hasznosítását, továbbá a kloroplasztok aktivitásának mértékét az F_v/F_m aránnyal (a PSII fotokémiai rendszer maximális fotokémiai hatékonysága) jellemezhetjük. Ennek az aránynak a maximális értéke nagyjából 0,83-0,85 közötti. Ez az érték csökkenhet belső és külső tényezők okozta fiziológiai változások (pl. érés) hatására (Zsom, 2007).

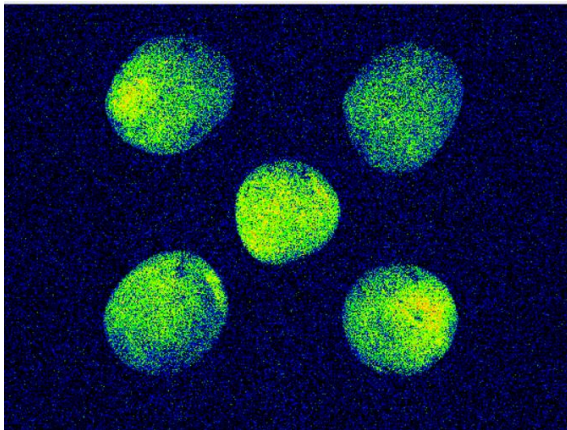
A burgonyaminták mesterséges megvilágításának hatására kialakuló zöldülésének nyomon követését a klasszikus felületi színmérésen és DA-mérésen felül az ún. klorofill fluoreszcencia jellemzők meghatározásával végeztem. Ehhez egy PSI Open FluorCam FC 800-O/2020 (Photon Systems Instruments, Cseh Köztársaság) nyílt rendszerű klorofill fluorométert a FluorCam7 (ver. 1.2.5.18) szoftverrel vezérelve használtam, amely kétdimenziós klorofill fluoreszcencia képek rögzítésére és megjelenítésére képes. Rendelkezik egy kamerával, illetve 4 LED panellel, ezek alá helyeztem el a mintákat, amelyeket a mérés megkezdése előtt minimum 15 percig sötétben tároltam (sötétadaptálás). Elsőként a kamera objektíven beállítottam a megfelelő távolságot és a fókuszt. Ezt követően megnyitottam a FluorCam7 programot. A kívánt beállítások elvégzése után kezdődhetett is a mérés. A burgonyákat ötösével mértem a napos és az árnyékos oldalukon is. Minden elkészített felvételt külön elmentettem. A kiértékelés során az elkészült képeket egyesével megnyitottam és minden képen mind az öt burgonyát a körvonala mentén kijelöltem úgy, hogy a háttértől el tudjam őket választani (X. ábra). A kijelölés után ki tudtam nyerni a kapott

klorofill fluoreszcencia adatokat (F_0 , F_m , F_v és F_v/F_m), melyeket egy MS Excel táblázatban összesítettem.

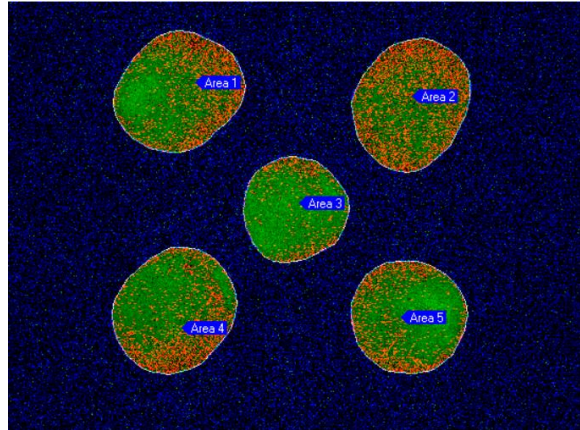
11. ábra: PSI Open FluorCam FC 800-O/2020 klorofill-fluoreszcenciamérő berendezés
(Forrás: Saját fotó, 2025)



12. ábra: A burgonyákról készült fotó a FluorCam7 programban
(Forrás: Saját fotó, 2025)



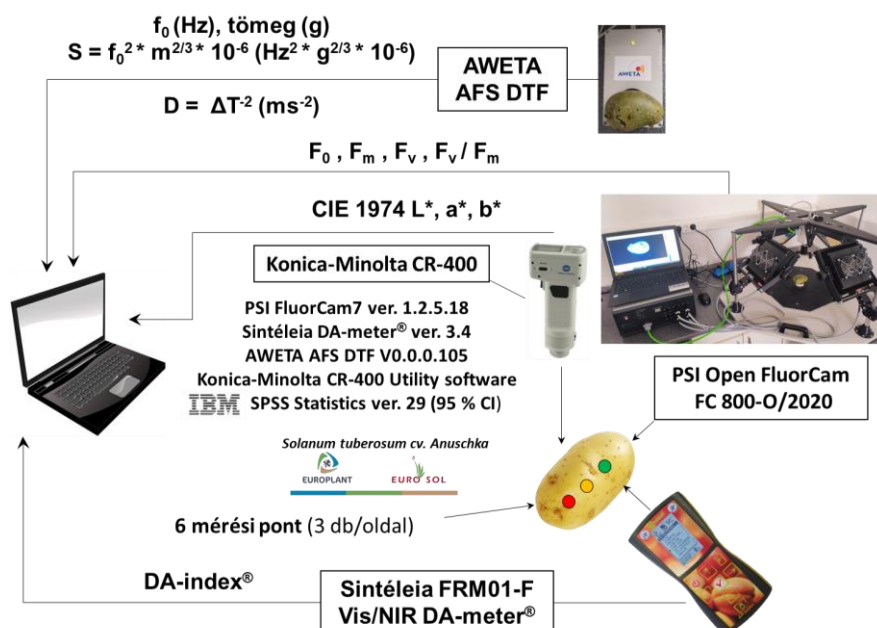
13. ábra: A burgonyák elválasztása a háttértől a Fluorcam7 programban
(Forrás: Saját fotó, 2025)



A méréseim során gyűjtött és számított adataimat MS-Excelben végzett előkészítést követően a megvilágításos kezelések szerint és a tárolási idő függvényében vettem alá statisztikai elemzésnek 95%-os megbízhatósági szint (95 % CI, $\alpha = 0.05$) mellett az IBM SPSS Statistics ver. 29 programcsomag statisztikai funkcióit használva.

Az általam végzett mérések elrendezését (mérőműszerek és mért vagy számított jellemzők) az alábbi ábrán (14. ábra) összesítettem.

14. ábra: A mérések során alkalmazott mérőműszerek és mért/számított jellemzők
 (Forrás: Saját fotó, 2025)

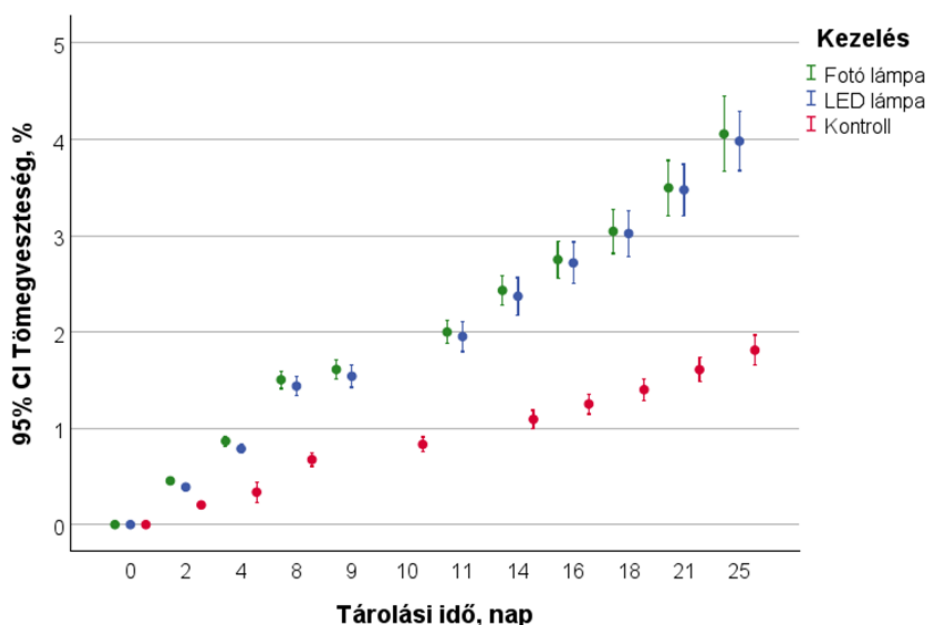


4. Eredmények és értékelésük

4.1. Tömegmérés eredményei

A burgonyák tömegét minden alkalommal lemértem, hogy nyomon követhetővé váljon a kiindulási tömegükhöz képesti tömegveszteségük (%) mértéke. A mért tömegek alapján kiszámolt tömegveszteség értékeket a tárolási idő függvényében SPSS Statistics ver. 29 (95 % CI) segítségével diagramon ábrázoltam (15. ábra).

15. ábra: A burgonyák tömegveszteségének alakulása a különböző kezelések esetén a tárolási idő függvényében



A 15. ábra szemlélteti, hogy az egyes kezelések esetén hogyan alakult a minták tömegvesztesége. Látható, hogy a fotólámpa, valamint LED-lámpa által megvilágított és szobahőmérsékleten tárolt burgonyák tömegükből többet vesztek, mint a hűtőben tartott kontroll minták. Ez alapján kijelenthető, hogy a hőmérséklet fontos faktor az étkezési burgonyák tárolásakor, hiszen alacsonyabb hőmérsékleten hosszabb ideig garantálható a termék megfelelő minősége.

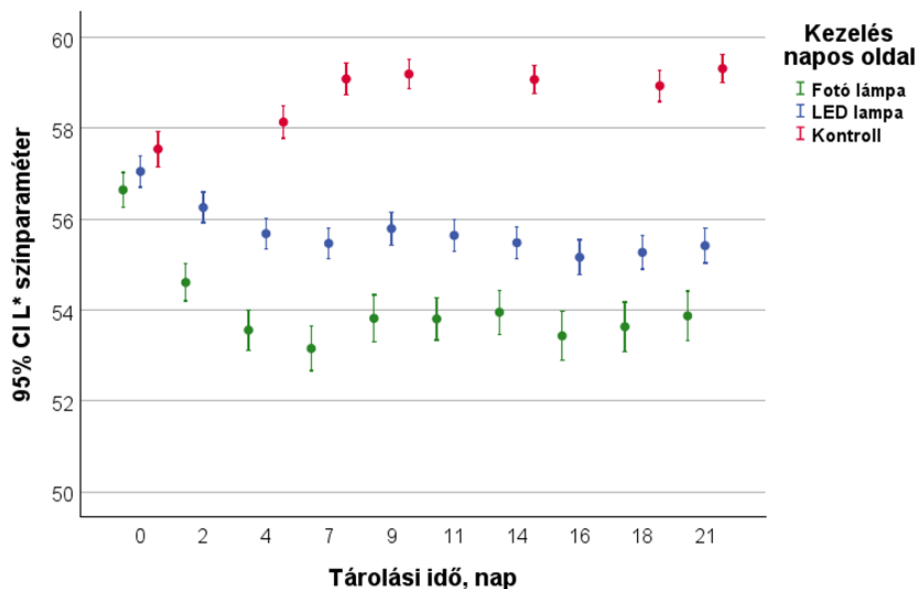
4.2. Színmérés eredményei

A burgonyamintáimon színmérést végeztem annak érdekében, hogy a tárolási idő előrehaladtával a szemmel látható zöldülésen kívül a színparaméterek változásának bemutatásával is igazolhatóvá váljon a burgonyák színváltozása. Az L^* , a^* , b^* értékeket a tárolási idő függvényében SPSS Statistics ver. 29 (95 % CI) segítségével diagramokon

ábrázoltam. Minden színparaméterről külön diagram készült a burgonyák napos és árnyékos oldalán mért adatok alapján.

A napos oldalon végzett mérés alapján elmondható (16. ábra), hogy a megvilágítás hatására L^* értéke a fotó és LED lámpa által megvilágított minták esetén már a 2. naptól kezdve csökkent, tehát sötétebb színezet jellemezte a burgonyákat. Ez a sötétedés a klorofill képződésnek és ezzel egyidejűleg a zöldülés megjelenésének köszönhető. A sötétben tárolt kontroll mintákról kijelenthető, hogy az L^* világosabb színezetet mutatott, mint a megvilágított társaik, hiszen ezek a burgonyák nem kaptak fényt, így esetükben egyáltalán nem, vagy csak elhanyagolható mértékben jelentkezett a zöldülés.

16. ábra: A burgonyák napos oldalán mért L^* színparaméter változása a különböző kezelések esetén a tárolási idő függvényében.

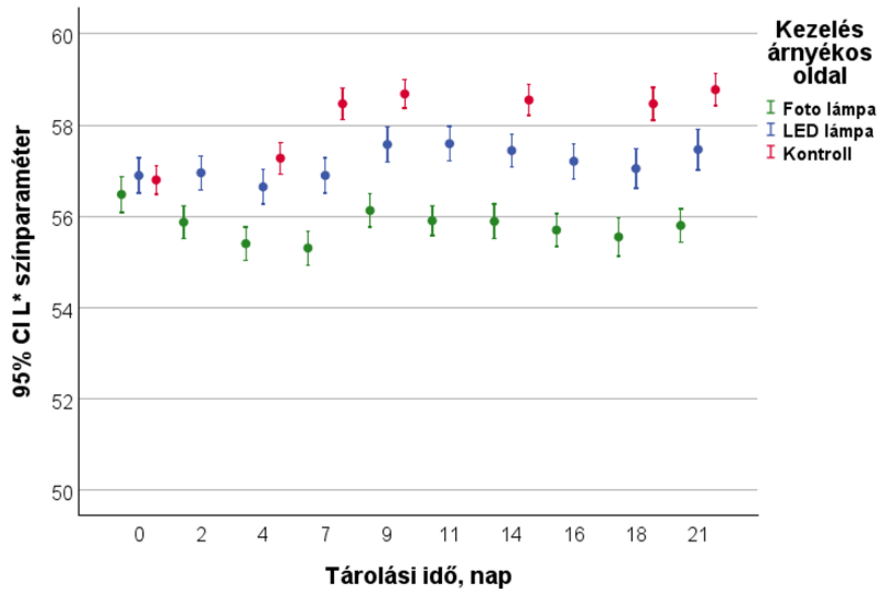


A szakirodalmi részben már korábban említett Larsen és Molteberg (2023) megvilágított sárga burgonyákat vizsgáltak, kísérletük során L^* értékének csökkenését tapasztalták, melyet az én méréseim is igazolnak.

Az árnyékos oldalon mért L^* értékek (17. ábra) nem mutattak akkora eltérést a különböző kezelések között, mint a napos oldalon mért L^* értékek. Ez nyilvánvalóan annak köszönhető, hogy a burgonyák ezen oldalát nem, vagy csak kis mértékben érte szórt fény. A 17. ábrán egyértelműen látható, hogy a fotó lámpával megvilágított minták lettek a legsötétebbek, vagyis a legzöldebbek, hiszen ezeket érte a legnagyobb intenzitású fény, még ha csak szórt formában is. A kontroll minták esetén tapasztalható a legmagasabb L^* érték, hiszen ezek a

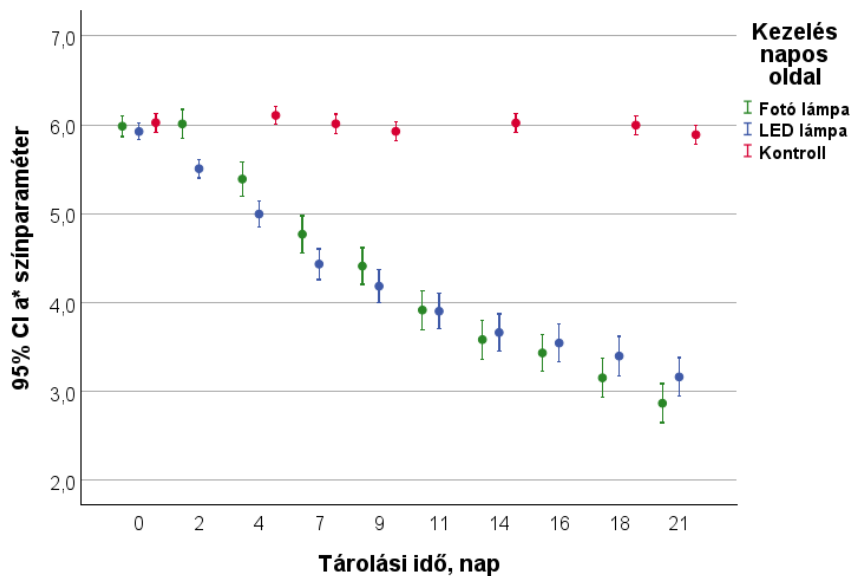
burgonyák mindvégig sötétben voltak tárolva, mérések során is ügyeltem arra, hogy minél kevesebb fényhatás érje őket.

17. ábra: A burgonyák árnyékos oldalán mért L^* színparaméter változása a különböző kezelések esetén a tárolási idő függvényében.



Az a^* színparaméter napos oldalon kapott adataiból (18. ábra) egyértelműen látható, hogy a fotó és LED lámpa által megvilágított burgonyák a tárolási idő előrehaladtával egyre inkább zöld színezetet vettek fel.

18. ábra: A burgonyák napos oldalán mért a^* színparaméter változása a különböző kezelések esetén a tárolási idő függvényében.

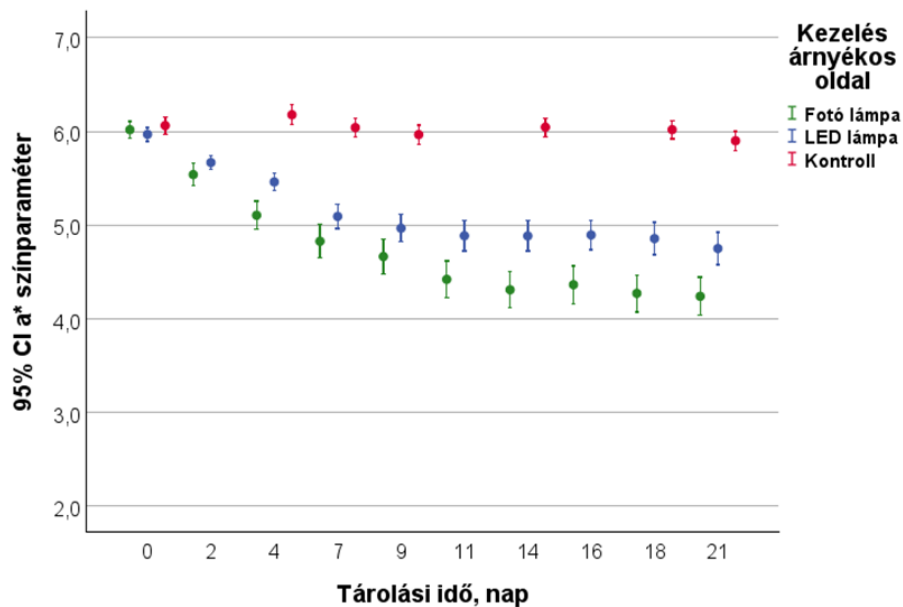


Jelentősebb zöldülés a 4. naptól kezdődően volt jellemző. A fotó lámpa alatt tartott minták lettek a legzöldebbek, de a LED lámpa esetén is jelentős zöldülés volt tapasztalható.

A kontroll mintáknál az a^* értéke nem változott jelentős mértékben, tehát rájuk nem volt jellemző a zöldülés.

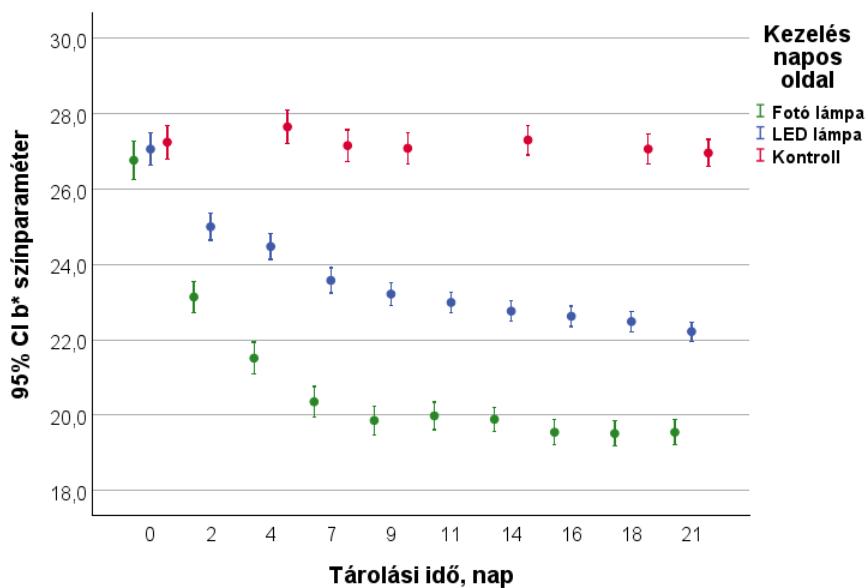
Az árnyékos oldali a^* színparaméterek (19. ábra) habár nem olyan markánsan, mint a napos oldal esetén, de egyértelműen mutatják a megvilágított és a kontroll minták közötti különbségeket. Ebben az esetben is jellemző volt a fotó és LED lámpa alatt tárolt burgonyákra az, hogy egyre inkább zöld színezetet vettek fel. A fotó lámpa által megvilágított minták zöldültek be a legjelentősebben. A kontroll minta a^* értéke itt sem változott számottevő mértékben.

19. ábra: A burgonyák árnyékos oldalán mért a^* színparaméter változása a különböző kezelések esetén a tárolási idő függvényében.



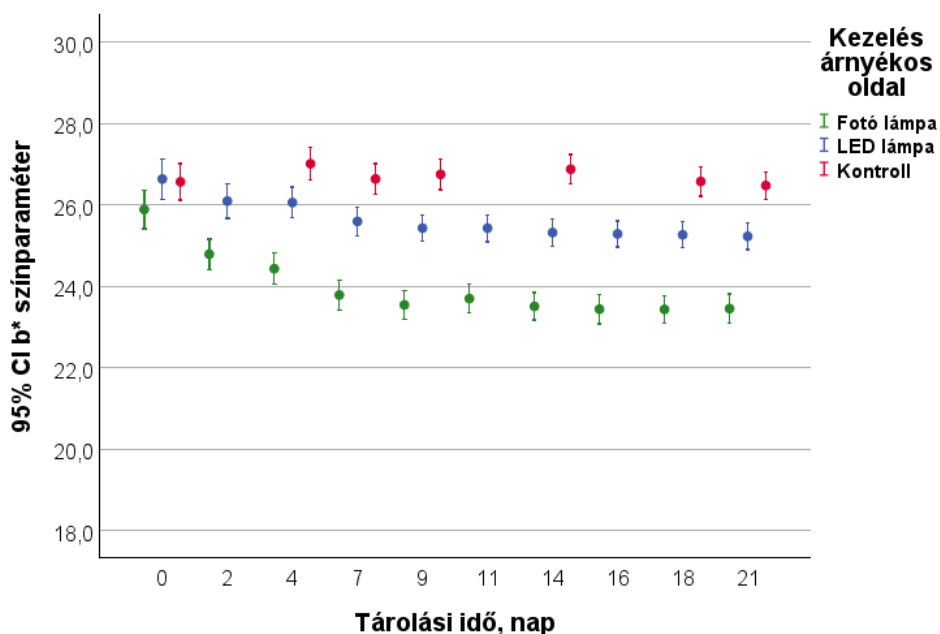
A burgonyák napos oldalán a b^* értéke (20. ábra) már a 2. naptól kezdve jelentősen csökkent, főként a megvilágított burgonyák esetén. Tehát elmondható, hogy a kékes színezet felé tolódott, ami azt jelenti, hogy a fotó és LED lámpa által megvilágított minták esetén tapasztalható volt zöldülés, míg a kontroll mintáknál nagyon minimális mértékben. A b^* színparaméter a legerőteljesebben a fotó lámpa alatt tartott burgonyák esetén csökkent.

20. ábra: A burgonyák napos oldalán mért b^* színparaméter változása a különböző kezelések esetén a tárolási idő függvényében.



Az árnyékos oldalon végzett mérések (21. ábra) alapján elmondható, hogy a b^* színparaméter leginkább a fotó lámpával megvilágított burgonyák esetén csökkent és vett fel kékesszínűt.

21. ábra: A burgonyák árnyékos oldalán mért b^* színparaméter változása a különböző kezelések esetén a tárolási idő függvényében.



A LED lámpa alatt tartott mintáknál szintén a b^* értékének csökkenése volt tapasztalható, míg ugyanez a csökkenés a kontroll mintáknál csak kis mértékben figyelhető meg. Az árnyékos oldalon végzett mérés egyértelmű különbségeket mutat a különböző kezelések

között b* tekintetében, viszont kevésbé látványos, mint a napos oldali mérés. Ez is mutatja, hogy megvilágítás hatására jelentős lehet a burgonyák zöldülése.

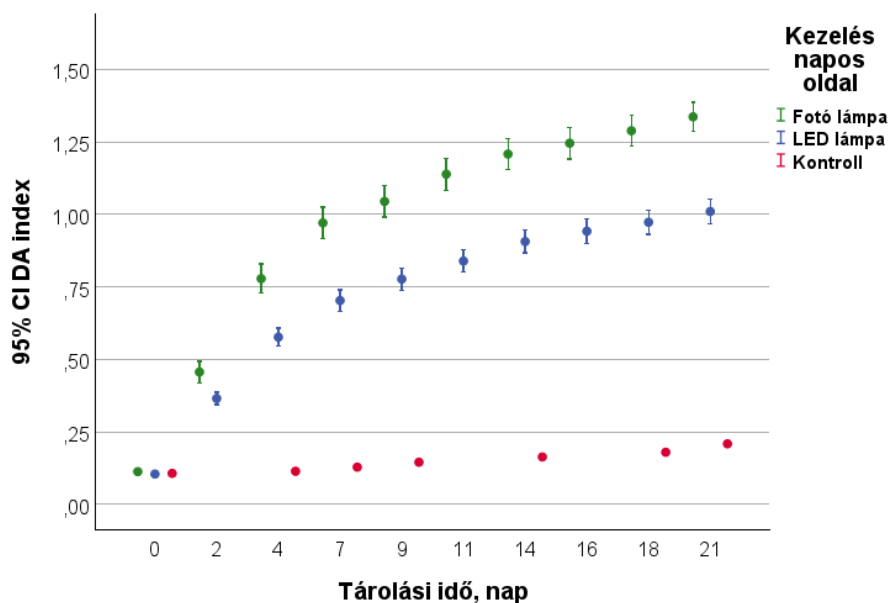
A színmérés alapján elmondható, hogy az L*, valamint az a*, b* színparaméterek együttes változása jelentős mértékben eltér a burgonyák napos és árnyékos oldalán. Az értékek alapján kapott diagramok jól szemléltetik a minták zöldülését a tárolási idő előrehaladtával, főként a fotó és LED lámpával megvilágított krumplik esetén mondható ez el. Ebből arra lehet következtetni, hogy a világítás hatására glikoalkaloidok keletkezhetnek a burgonyában.

4.3. DA-index® mérés eredményei

A burgonya minták DA-index® értékét vizsgáltam abban a reményben, hogy a megvilágítás hatására jelentkező aktív klorofilltartalom növekedését be tudjam mutatni. A kapott adatokat SPSS Statistics ver. 29 (95 % CI) segítségével diagramokon ábrázoltam. A DA-index® értékeket a tárolási idő függvényében ábrázoltam, valamint különválasztottam a napos és árnyékos oldalon mért adataimat.

A napos oldalon mért DA-index® értékek (22. ábra) a tárolási idő előrehaladtával a fotó lámpa által megvilágított minták esetén voltak a legmagasabbak, ami azt jelenti, hogy ezen burgonyák rendelkeztek a legnagyobb mennyiségű aktív klorofillal.

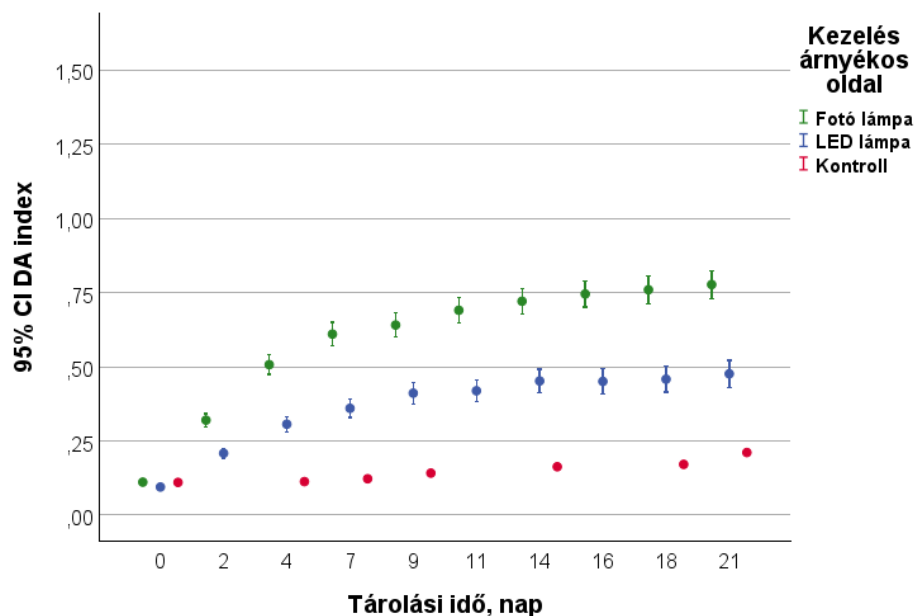
22. ábra: A burgonyák napos oldalán mért DA-index® változása a különböző kezelések esetén a tárolási idő függvényében.



A LED lámpával világított minták esetén is jelentős mértékben nőtt a klorofill mennyisége, azonban a sötétben tárolt kontroll mintáknál csak kis mértékben volt megfigyelhető a klorofilltartalom növekedés.

Az árnyékos oldalon mért DA-index[®] értékek (23. ábra) a tárolási idő előrehaladtával nem nőttek olyan jelentős mértékben, mint a napos oldal esetén. Azonban a beszűrődő fénynek és a krumplik másik oldalán történő állandó fénykitettségnak köszönhetően a fotó és LED lámpa által megvilágított mintákról elmondható, hogy az aktív klorofilltartalom növekedő tendenciát mutatott. A legmagasabb klorofilltartalommal ebben az esetben is a fotó lámpa által megvilágított minták rendelkeztek. A kontroll mintáknál csak kis mértékben nőtt a klorofill mennyisége, hasonló értékeket vett fel, mint a napos oldal mérésekor.

23. ábra: A burgonyák árnyékos oldalán mért DA-index[®] változása a különböző kezelések esetén a tárolási idő függvényében.



A kapott DA-index[®] értékek alapján kijelenthető, hogy szignifikáns különbség volt a burgonyák napos és árnyékos oldala között. A napos oldalon nagyobb mennyiségű aktív klorofilltartalom volt mérhető, a legmagasabb értékeket a fotó lámpával megvilágított minták esetén tapasztaltam. A klorofilltartalom növekedésével valószínűleg a glikoalkaloidok mennyisége is növekedett a fénynek kitett burgonyák esetén.

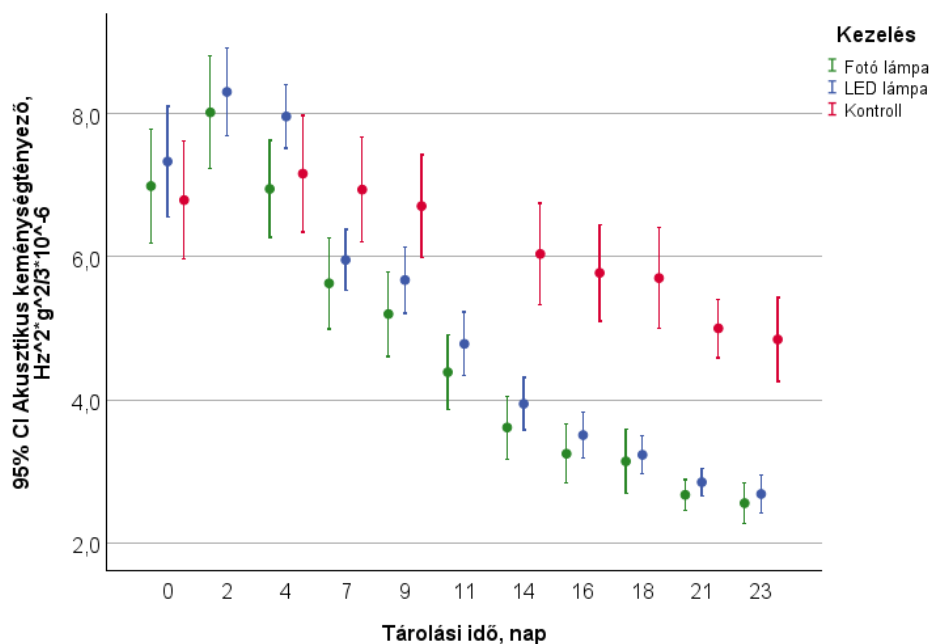
4.4. Akusztikus és impakt állománymérés eredményei

A zöldülés, vagyis a klorofill és glikoalkaloidok képződése hatással lehet a burgonyák fiziológiai állapotára, ezért érdemes volt akusztikus és impakt állománymérést végezni,

hogy megbizonyosodhassak a minták keménységének változásáról a tárolási idő előrehaladtával. SPSS Statistics ver. 29 (95 % CI) segítségével két külön diagramot készítettem: egyet az akusztikus keménységtényező változásáról, valamint egyet az ütészivsgálati keménységtényező változásáról a különböző kezelések esetén.

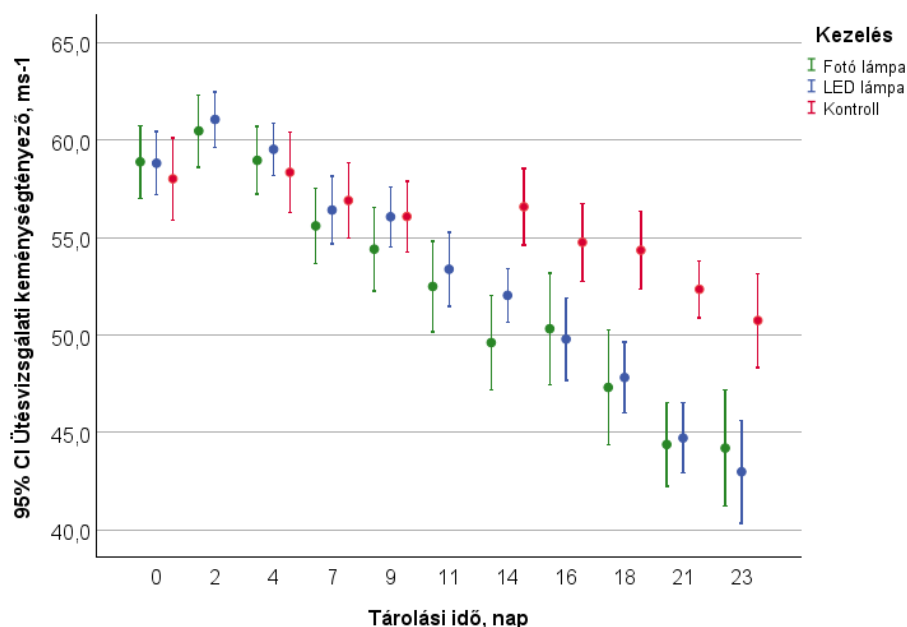
A 24. ábra szemlélteti az akusztikus keménységtényező változását a tárolási idő előrehaladtával. Látható, hogy a 2. naptól fogva a szobahőmérsékleten tartott és megvilágított minták jelentősen puhulni kezdtek. A keménység a fotó lámpával megvilágított minták esetén csökkent legnagyobb mértékben (a kompakt fénycsövek által leadott hőmennyiség jóval magasabb a LED-es megvilágításhoz képest), ezt követték a LED lámpa által megvilágított burgonyák, végül pedig a legkisebb mértékben a hűtőben tárolt kontroll minták esetén volt tapasztalható a csökkenés.

24. ábra: A burgonyák akusztikus keménységtényezőjének változása a különböző kezelések esetén a tárolási idő függvényében.



Az ütészivsgálati keménységtényező értékek alapján (25. ábra) is elmondható, hogy a fotólámpával megvilágított minták keménysége csökkent a legnagyobb mértékben. A LED által megvilágított burgonyák keménysége mérsékeltebb csökkenést mutatott, de szignifikáns eltérés a két megvilágítás hatása esetén nem kimutatható. A kontroll minták esetén volt tapasztalható a legkisebb mértékű keménységváltozás.

25. ábra: A burgonyák ütészvizsgálati keménységtényezőjének változása a különböző kezelések esetén a tárolási idő függvényében.



Az akusztikus állományméréssel főként a burgonya belső szöveti változásait, rugalmasságát jellemezhetjük, míg az impakt (ütéses) állománymérés a megütés helyén (azaz a mért pont) felületi keménységét méri. Így tehát a két diagramot összehasonlítva elmondható, hogy fény hatására a burgonya belső rugalmassága nagyobb mértékben változott, mint a felületi keménysége. Ezen felül a keménységváltozás összefügg a víztartalom csökkenésével, ami pedig a hőmérséklet függvénye. Mivel a fénynek kitett burgonyák magasabb hőmérsékleten (szobahőmérséklet) voltak tárolva, mint a sötétben tartott kontroll minták, így az utóbbi jobban megőrizte keménységét.

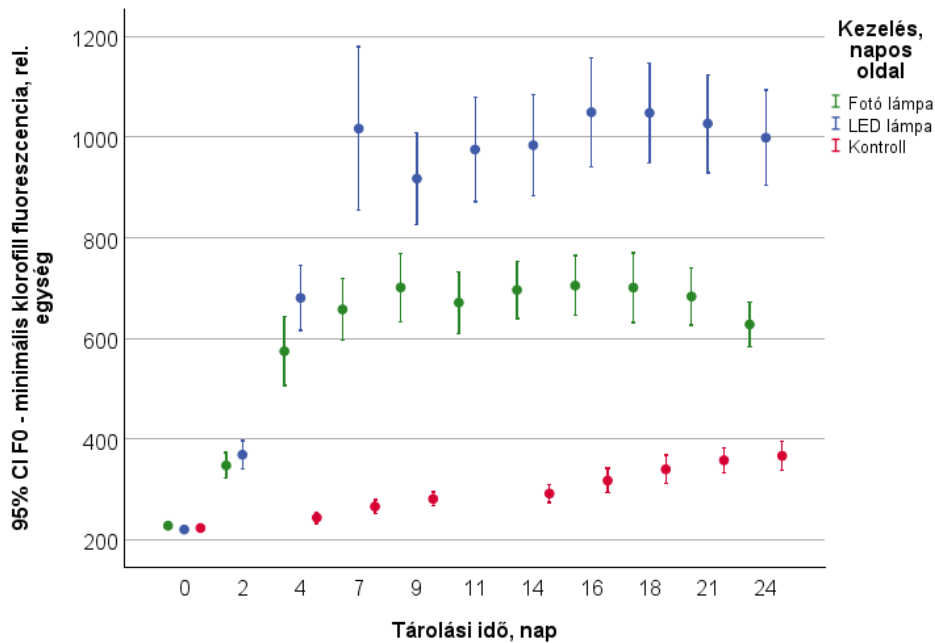
4.5. Klorofill fluoreszcencia mérés eredményei

A burgonyák klorofill fluoreszcencia értékeit is vizsgáltam, hiszen a fotoszintetikusan aktív klorofilltartalom növekedésével a fluoreszcencia (fluoreszcens fénykibocsátás mértéke) is erősödik, így ezek által is indirekt nyomonkövethető a fény hatására bekövetkező zöldülés. A kapott F_0 (minimális klorofill fluoreszcencia), F_M (maximális klorofill fluoreszcencia), F_V (változó klorofill fluoreszcencia), F_M/F_V értékeket külön diagramokon ábrázoltam, mind a napos, mind az árnyékos oldal esetén. Az ábrázolást SPSS Statistics ver. 29 (95 % CI) segítségével végeztem.

A 26. ábrán látható a minimális klorofill fluoreszcencia (F_0) értékének változása az idő függvényében, a napos oldal esetén. Látható, hogy a burgonyák a legmagasabb F_0 értéket a

LED lámpával történő megvilágítással érték el, ezt követték a fotó lámpa fényének kitett, majd pedig a kontroll minták.

26. ábra: A burgonyák napos oldalán mért minimális klorofill fluoreszcencia (F_0) értékének változása a különböző kezelések esetén a tárolási idő függvényében.

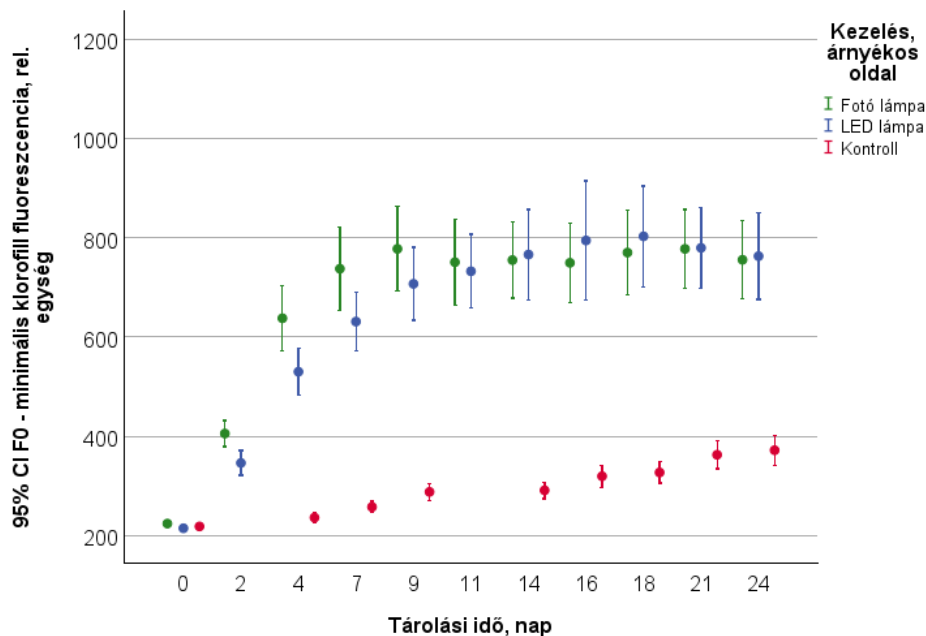


Elsőként azt feltételeztem, hogy a fotó lámpa általi nagyobb mértékű, azaz nagyobb fényintenzitású (átlagosan kb. 4200 lux) megvilágítással érhető el nagyobb mértékű klorofill fluoreszcenciás jelintenzitás, de a kapott eredményeim ezt megcáfolni látszanak. Mindez azért lehetséges, mert a fotólámpa meleg, sárgásabb fényt bocsát ki, míg az alkalmazott mennyezeti LED-es fényforrásra inkább jellemzően hideg, kék fény a jellemző. A kék fény hullámhossz-tartományában a klorofillszintézis hatékonyabb. Továbbá a fotólámpa nagyobb hőt sugároz, így az is hozzájárulhat ahhoz, hogy kedvezőtlenebb a klorofill képződés, mint a LED-es lámpával megvilágított burgonyáknál. Ezen felül a LED-fényforrás általi megvilágítás egyenletesebben történhetett, mint a fotólámpa általi, amelynek a fénye kevésbé homogéne oszlott el. Tehát a LED alatt történő megvilágítással nagyobb felületen zöldülhettek be a burgonyák.

A minimális klorofill fluoreszcencia (F_0) a burgonyák árnyékos oldalán (27. ábra) mérve alacsonyabb értékeket vett fel a LED lámpával megvilágított burgonyák esetén. A fotólámpa alatt, illetve a sötétben tárolt kontroll minták esetén a napos oldalhoz képest nincs radikális eltérés az adatokban. Mivel ebben az esetben csak szórt fényt kaphattak a fotó- és LED lámpa által megvilágított burgonyák, így a fentiekben említett spektrális különbség kevésbé

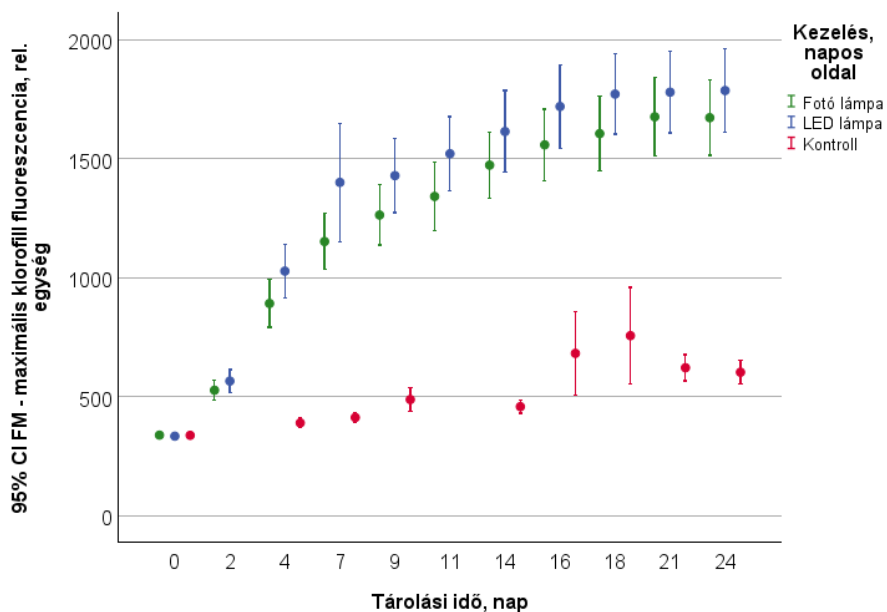
érvényesül, tehát nem tér el jelentősen a két adatsor. Az viszont egyértelműen látható, hogy a fénynek kitett minták minimális klorofill fluoreszcencia értéke magasabb, mint a sötétben tárolt kontroll mintáké.

27. ábra: A burgonyák árnyékos oldalán mért minimális klorofill fluoreszcencia (F_0) értékének változása a különböző kezelések esetén a tárolási idő függvényében.



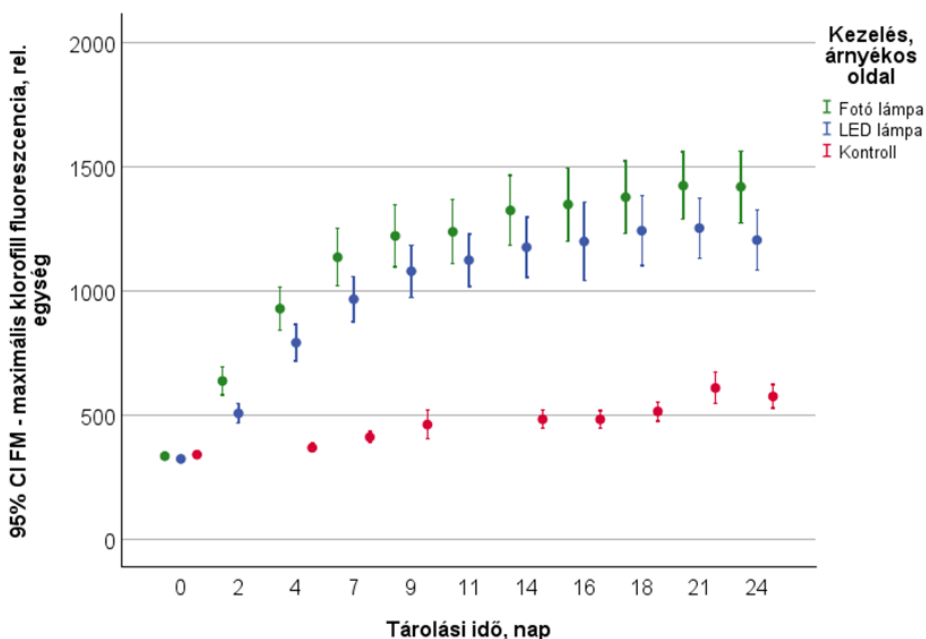
A 28. ábra szemlélteti a maximális klorofill fluoreszcencia (F_M) tárolási idő függvényében történő változását a burgonyák napos oldalán. Látható, hogy az idő előrehaladtával F_M értéke nőtt mind a fotó lámpa, mind a LED lámpa általi megvilágítás során, hiszen nőtt a burgonyák fotoszintetikusan aktív klorofilltartalma a megvilágítás által előidézett zöldülés előrehaladtával. Az F_0 -értékekhez képest nem figyelhető meg akkora mértékű eltérés a fotó- és LED-es lámpa általi kezelések között. Ennek az az oka, hogy a maximális klorofill fluoreszcencia (F_M) a fotoszintetikus apparátus telítési állapotát tükrözi, amikor a fotoszintetikus reakciócentrumok már zártak, így a fényforrás spektrális tulajdonságai kevésbé befolyásolják az értéket.

28. ábra: A burgonyák napos oldalán mért maximális klorofill fluoreszcencia (F_M) értékének változása a különböző kezelések esetén a tárolási idő függvényében.



A maximális klorofill fluoreszcencia (F_M) az árnyékos oldalon (29. ábra) más adatokat hozott, mint a napos oldal vizsgálata során. Ebben az esetben a fotólámpa által megvilágított minták magasabb értékeket vettek fel, mint a LED-lámpa általi megvilágításnak kitett burgonyák.

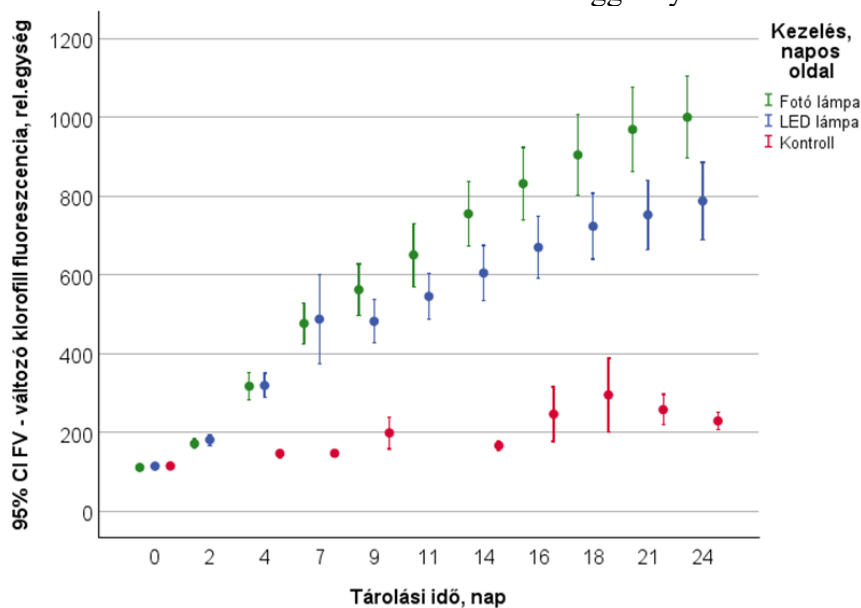
29. ábra: A burgonyák árnyékos oldalán mért maximális klorofill fluoreszcencia (F_M) értékének változása a különböző kezelések esetén a tárolási idő függvényében.



Itt is elmondható, hogy a spektrális tulajdonságok kevésbé befolyásoltak, mint F_0 esetén. Az árnyékos oldal vizsgálatakor is növekvő tendencia tapasztalható (mintatartó-megvilágítás-szórt fény hatása), ugyanúgy, mint a napos oldalnál, tehát a burgonyákban lévő klorofill mennyisége növekedett. A kontroll minták itt is jelentősen alacsonyabb F_M értékekkel rendelkeznek, mint a fényel megvilágított társaik.

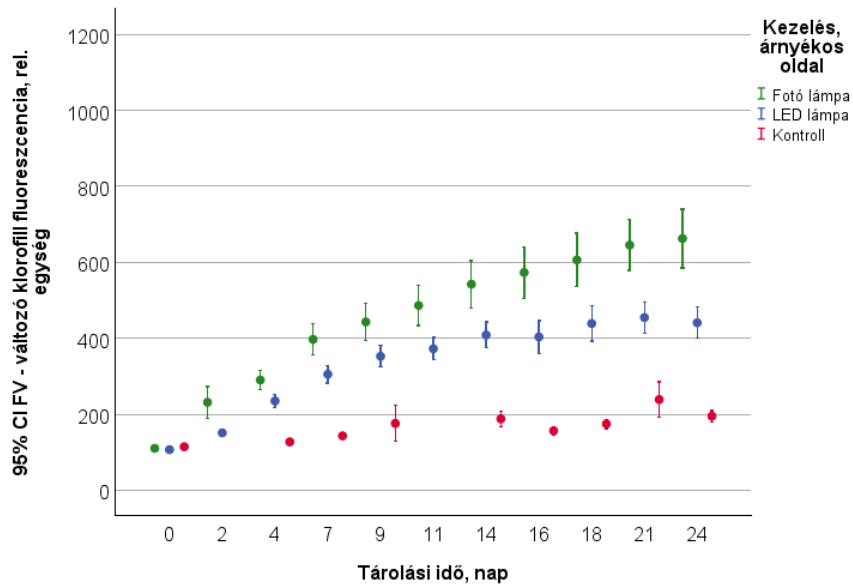
A 30. ábra szemlélteti a változó klorofill fluoreszcencia (F_V) érték alakulását az egyes kezelések esetén, a burgonyák napos oldalát vizsgálva. Látható, hogy a legmagasabb F_V -értékekkel a fotó lámpa által megvilágított minták rendelkeztek. Ezt követték a LED-es lámpával megvilágított burgonyák. A változó klorofill fluoreszcencia értékek a 7. naptól kezdve indultak jelentős növekedésnek. A kontroll minta esetén kis mértékű növekedés, majd csökkenés volt jellemző, amely származhat mérési hibából.

30. ábra: A burgonyák napos oldalán mért változó klorofill fluoreszcencia (F_V) értékének változása a különböző kezelések esetén a tárolási idő függvényében.



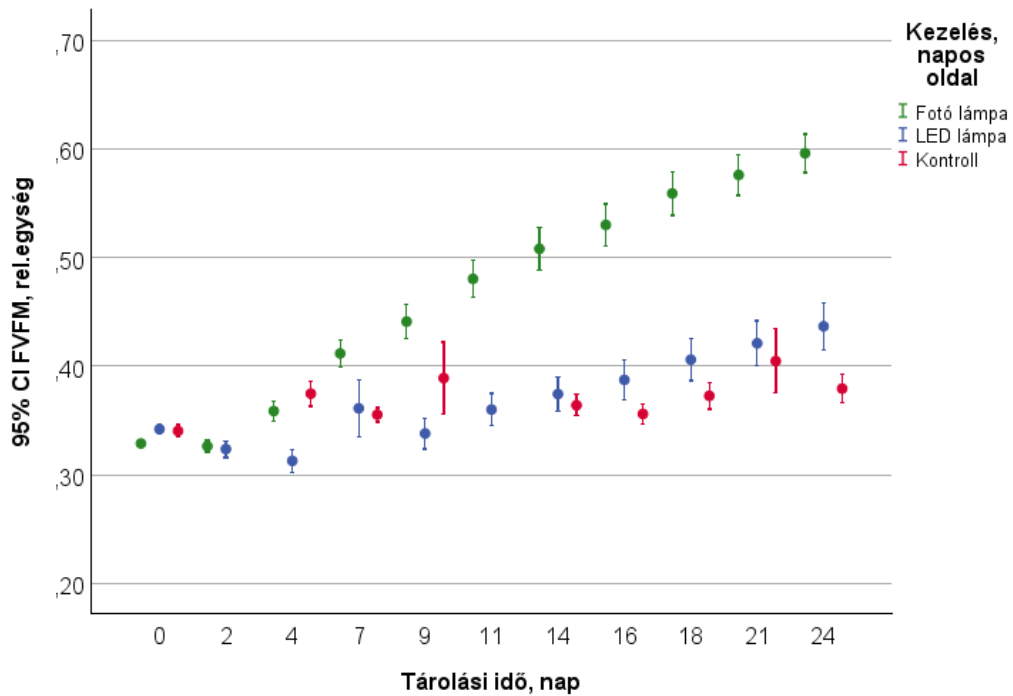
A változó klorofill fluoreszcencia árnyékos oldalon mért értékeit mutatja a 31. ábra. A napos oldalhoz hasonlóan, itt is a fotó lámpa által megvilágított mintákra volt jellemző a legmagasabb mértékű változó klorofill fluoreszcencia, azonban az értékek alacsonyabbak voltak. Tehát a burgonyák árnyékos oldalán nem tapasztalható olyan nagy mértékű klorofill képződés, mint a napos oldalán. A kontroll minták esetén nincs nagy mértékű változás a napos oldalon mért adatokhoz képest tekintettel arra, hogy csak a mérések rövid idejére kerültek ki a teljesen zárt (sötét) hűtő- és tárolótérből.

31. ábra: A burgonyák árnyékos oldalán mért változó klorofill fluoreszcencia (FV) értékének változása a különböző kezelések esetén a tárolási idő függvényében.



A 32. ábrán látható az F_V/F_M hányados alakulása a tárolási idő függvényében, a burgonyák napos oldalának vizsgálatakor. Az F_V/F_M hányados a PSII fotokémiai rendszer (fotoszintézis 2. fényrendszere) maximális fotokémiai hatékonyság, ami által információt kaphatunk a fotoszintetikusan aktív klorofilltartalomról.

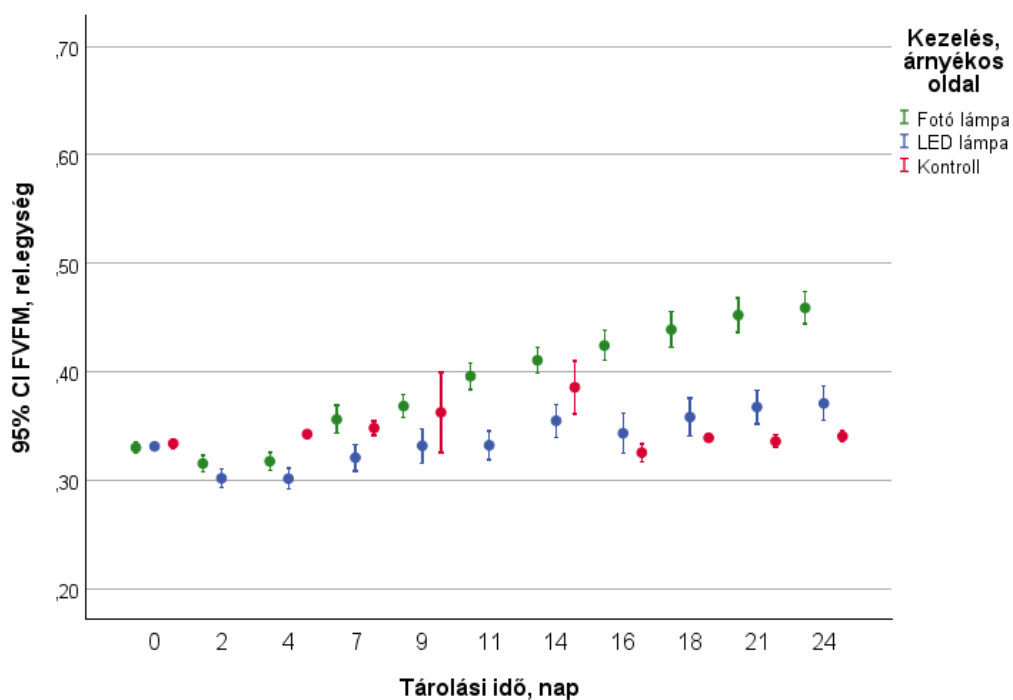
32. ábra: A burgonyák napos oldalán mért F_V/F_M értékének változása a különböző kezelések esetén a tárolási idő függvényében.



A diagramon egyértelműen látható, hogy ez az érték a fotólámpa alatt tárolt minták esetén volt a legmagasabb. A LED-lámpa általi megvilágítás is növelte az aktív klorofillok mennyiségét. A kontrollminta esetén volt a legalacsonyabb ez az érték, egyértelműen a sötétben tartásnak köszönhetően. Ez utóbbinál a növekvő tendencia helyett főként ingadozás figyelhető meg, ami a számított F_v/F_M értéket adó mért adatok, azaz az F_0 - és az F_M -adatok ingadozásából eredhet.

Az F_v/F_M hányados értékének alakulását szemlélteti a 33. ábra a burgonyák árnyékos oldalának mérésekor. A tárolási idő előrehaladtával a hányados értéke egyértelműen nőtt a fotólámpa esetén, illetve itt mutatható ki a legmagasabb aktív klorofilltartalom, csakúgy, mint a napos oldal vizsgálatakor. Itt is elmondható, hogy a LED-lámpával megvilágított minták esetén is nőtt az aktív klorofilltartalom. A kontrollminta esetén kismértékű ingadozás figyelhető meg.

33. ábra: A burgonyák árnyékos oldalán mért F_v/F_M értékének változása a különböző kezelések esetén a tárolási idő függvényében.



A klorofillfluoreszcencia-mérés összefoglalásaként elmondható, hogy az F_0 , F_M , F_v , F_M/F_v értékek jól reprezentálják, hogy a fotó- és LED-es lámpa által megvilágított burgonyákban a megvilágítás hatására kialakult a burgonya természetes védelmi reakcióját adó és azt kiegészítő zöldszínanyag-képződés, azaz a fotoszintetikus aktív klorofillmolekulák kialakulása.

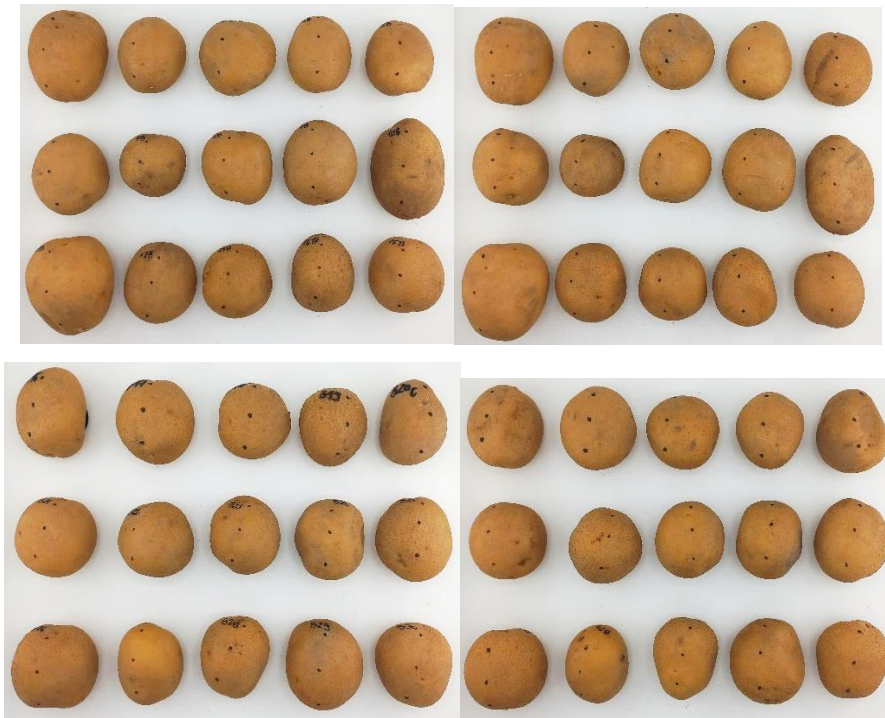
4.6. Fotók a burgonyákról

A méréseim során, minden egyes mérési alkalommal készítettem a burgonyamintáimról digitális fényképeket, így a vizsgálatok első és utolsó napján készített fotókat a kezelések, azaz az eltérő fényintenzitású megvilágítási módok hatásának bemutatása érdekében közlöm. A fotó-, illetve LED-lámpa által megvilágított, valamint a kontroll (sötétben tárolt) mintákról is készültek így fényképek, mind a napos, mind pedig az árnyékos oldalukról. A fotókat Samsung Galaxy A32 telefonommal készítettem, PULUZ PU5042EU típusú fotóboxban homogén megvilágítás mellett (40*40*40 cm méretű, fokozatmentesen változtatható fényerejű LED-es megvilágítással ellátott fotósátor, 3*24W, színhőmérséklet 5500K, Internet 9.) (34-40. ábrák).

34. ábra: A 30 db, a fotólámpa által megvilágított burgonya a legelső (0. nap) napon. Bal oldali fotókon a napos, jobb oldalin pedig az árnyékos oldal látható. (Forrás: Saját fotó, 2025)



35. ábra: A 30 db, a LED-es mennyezeti lámpa által megvilágított burgonya a legelső (0.) napon. Bal oldali fotókon a napos, jobb oldalin pedig az árnyékos oldal látható. (Forrás: Saját fotó, 2025)



36. ábra: A 30 db, sötétben tárolt, kontroll burgonya a legelső (0.) napon. Bal oldali fotókon a napos, jobb oldalin pedig az árnyékos oldal látható. (Forrás: Saját fotó, 2025)



37. ábra: A 30 db, a fotólámpa által megvilágított burgonya az utolsó (24.) napon. Bal oldali fotókon a napos, jobb oldalin pedig az árnyékos oldal látható. (Forrás: Saját fotó, 2025)



38. ábra: A 30 db, a LED-es mennyezeti lámpa által megvilágított burgonya az utolsó (24.) napon. Bal oldali fotókon a napos, jobb oldalin pedig az árnyékos oldal látható. (Forrás: Saját fotó, 2025)



39. ábra: A 30 db, sötétben tárolt, kontroll burgonya az utolsó (24.) napon. Bal oldali fotókon a napos, jobb oldalin pedig az árnyékos oldal látható. (Forrás: Saját fotó, 2025)



40. ábra: A fotó- (balra) és LED-lámpa (középen) által megvilágított és a sötétben tárolt kontroll (jobbra) minták napos oldalának összehasonlítása. A felső képek az első (0.), az alsó képek az utolsó (24.) napon készültek. (Forrás: Saját fotó, 2025)



A 34-40. ábrákon közölt fotók megfelelően és látványosan szemléltetik, hogy a kísérlet ideje (24 nap) alatt mennyit változtak az egyes kezelések (eltérő fényintenzitású [kb. 4200 lux és 300 lux], és jellegű [energiatakarékos kompakt fénycső és LED-fénycső], sötétben történő hűtőtárolás) során a burgonyák. A kiindulási (0.) napon készült fényképeken nem volt különbség sem a minták, sem pedig a napos és árnyékos oldalak között (homogén, a vizsgált burgonyára jellemző megjelenés). Ezzel szemben, az utolsó (24.) napon már észrevehető a zöldülés, valamint a napos és árnyékos oldalak közötti különbség. Legnagyobb mértékű zöldülés a fotólámpa által megvilágított burgonyáknál látható, de a LED-es fényforrás általi megvilágítás is jelentős zöldülést okozott. A kontroll minták szabad szemmel nem látható változást nem mutatva a kiindulási állapotban, azaz sárga színűek maradtak.

5. Következtetések és javaslatok

Kísérletem során az étkezési burgonyák mesterséges megvilágítás hatására történő klorofill- és glikoalkaloid képződéssel együtt járó zöldülését vizsgáltam. Továbbá feltételeztem azt, hogy a tárolás során a hőmérséklet is jelentősen közrejátszik a burgonyák minőségváltozásában.

A burgonyák tömegveszteségének vizsgálatakor megállapítottam, hogy a hőmérséklet számottevően befolyásolja a minták tömegét. Szobahőmérsékleten történő tároláskor nagyobb mértékű vízvesztés tapasztalható, mint hűtőben való tárolás során.

A színmérés során azt tapasztaltam, hogy az L^* , a^* , b^* színparaméterek változása jelentős mértékben eltért a burgonyák napos és árnyékos oldalán. Az előbbi esetén intenzívebb volt a zöld színeképződés. A kapott eredmények alapján a kompakt fénycsöves melegfényű megvilágítást adó fotólámpa által megvilágított burgonyák esetén volt a legnagyobb mértékű zöldülés, ezt követték a LED lámpa által megvilágított minták, majd pedig a sötétben tárolt kontroll minták. A méréseim során igazoltam, hogy a világossági tényező (L^*) értéke a napos oldalon csökkenést mutat, azaz a sárga héjú burgonya kiindulási felületi színe (héj- és az alatta lévő hússzövet felső rétegei) összességében sötétedik a zöldülés következtében, amelyet Larsen és Molteberg (2023) is tapasztalt tanulmányuk során. A színmérés összegzésekként elmondható, hogy minél nagyobb intenzitású fényhatás éri a burgonyát, annál hamarabb tapasztalható a zöldülés.

A fotoszintetikusan aktív zöldszínanyag-tartalommal összefüggő DA-index[®] értékeknél szignifikáns különbséget kaptam a burgonyák napos és árnyékos oldala között. A napos oldalon nagyobb mennyiségben volt jelen az aktív klorofill. A legmagasabb értékeket a fotó lámpával megvilágított minták esetén kaptam. A klorofilltartalom növekedésével valószínűleg a glikoalkaloidok mennyisége is növekedett a fényhatásnak kitett burgonyák esetén.

A burgonya roncsolásmentes állomány(keményység)vizsgálata során akusztikus- és impakt (ütésvizsgálati) állománymérést végeztem. Az előbbivel a burgonya belső szöveti változásai, rugalmassága jellemezhető, az utóbbival pedig a kisenergiájú megütés helyén a felület keménységének mértéke mérhető. A kapott eredményeim szerint a mesterséges fény hatására a burgonya belső rugalmassága nagyobb mértékben változott, mint a felületi keménysége. Az alacsonyabb hőmérsékleten és egyben sötétben (hűtve) tárolt kontrollminták jobban megőrizték keménységüket, ellentétben a szobahőmérsékleten tárolt és fénynek kitett burgonyákkal. Utóbbiak esetén a magasabb hőmérséklet jelentősebb víztartalomcsökkenést okozott, így pedig a keménységük is csökkent.

Megvizsgáltam a burgonyák mesterséges megvilágítással kombinált pultontartása alatt a klorofill fluoreszcencia jellemzőikben bekövetkező változásokat is. A fotoszintetikusan aktív klorofilltartalom növekedésével erősödik a fluoreszcens fénykibocsátás mértéke, így nyomon lehet követni a fény hatására bekövetkező zöldülést, s közvetve az ezzel együtt bekövetkező alkaloidtartalom-növekedést is. A minimális klorofill fluoreszcencia (F_0) vizsgálatánál a LED-es mennyezeti megvilágítás esetén kaptam a legmagasabb értékeket. Ez azért van, mert a fotó lámpa meleg, sárgás fényével ellentétben a LED-es fényforrásra a hideg, kék fény jellemző. Ebből arra lehet következtetni, hogy a kék fény hullámhossz-tartományában a klorofillszintézis hatékonyabb. A maximális klorofill fluoreszcencia (F_M) esetén nem figyelhető meg akkora mértékű eltérés a kompaktfénycsöves fotó- és LED-lámpa általi kezelések között, mint F_0 vizsgálata során. Ennek az az oka, hogy a maximális klorofill fluoreszcencia (F_M) a PSII fotoszintetikus apparátus telítési állapotát tükrözi. Azaz ilyenkor a fotoszintetikus reakciócentrumok már zártak, így a fényforrás spektrális tulajdonságai kevésbé befolyásolják az értéket. A klorofillfluoreszcencia-mérés eredményei alapján megállapítható, hogy a fotó- és LED-lámpával megvilágított burgonyákban a fény hatására megindult a természetes védelmi reakcióhoz kapcsolódó, illetve az azt kiegészítő zöld színanyag (klorofill) képződése, vagyis a fotoszintetikusan aktív klorofillmolekulák kialakulása a zöldülés folyamata során.

A méréseken túl digitális fényképeket is készítettem a burgonyákról, amelyek kellően reprezentálják a fény által bekövetkezett zöldülést. Kijelenthető, hogy a kísérlet során a kontroll (hűtőben és sötétben tárolt) minták kinézete változott a legkisebb mértékben. A fotólámpa általi megvilágítás esetén látható a legnagyobb mértékű zöld elszíneződés.

A méréseim igazolták azt, hogy a tárolási idő előrehaladtával a fényhatásnak kitett burgonyákon zöldülés tapasztalható. Ez a jelenség nem csak esztétikai, hanem élelmiszerbiztonsági szempontból is jelentős probléma. Otthoni tárolás esetén javasolnám, hogy mindenképpen sötétben tároljuk az étkezési burgonyát. Mivel az élelmiszeráruházakban a (döntően) mesterséges megvilágítás nélküli tárolás döntően nem megoldható, így szükségesnek tűnik olyan csomagolóanyagok alkalmazása, amelyek nem, vagy csak minimális mértékben engedik át a fényt. Azoknál a termékeknél, ahol nincs csomagolóanyag használat – pl. lédig burgonya -, érdemes lehet árnyékolt tárolórekeszeket alkalmazni. Így nem érné közvetlen fényhatás a terményeket, ezáltal csökkenthető lenne a zöldülés kockázata.

A kísérletem során beigazolódtott az is, hogy a hőmérséklet fontos szerepet játszik a burgonyák minőségmegőrzésében. Magasabb hőmérsékleten nagyobb mértékű tömegvesztéset tapasztaltam a minták tömegének vizsgálatakor. Emiatt javasolnám az alacsonyabb hőmérsékleten történő tárolást, valamint az optimális páratartalom fenntartását,

amely által mérsékelhető a burgonya vízvesztése. További kutatási témának javaslom a digitális képfeldolgozás- és elemzés végzését a burgonya zöldülésének vizsgálatához és nyomon követéséhez.

6. Összefoglalás

Diplomadolgozatomban az étkezési burgonyát érintő, betakarítást követő minőségbeli változások nyomon követésével foglalkoztam. Fontos probléma a burgonya zöldülésének jelensége, amely nem csak klorofillképződéssel, hanem glikoalkaloidok (pl. α -szolanin, α -kakonin) megjelenésével is jár, amelyek toxikus hatású anyagok. Ahhoz, hogy megakadályozható legyen ezen komponensek kialakulása, szükséges, hogy a betakarítást követően megfelelő körülmények között tároljuk a burgonyákat.

Kísérletes munkám célja az volt, hogy megvizsgáljam hogyan hat a közvetlen mesterséges megvilágítás az étkezési burgonyára. Arra a kérdésre kerestem a választ, hogy van-e jelentős különbség a fénynek kitett, valamint a sötétben tárolt burgonyák között, vajon mindkét esetben jelentkezik-e klorofill- és glikoalkaloid képződéssel együtt járó zöldülés a termés felületén. Különböző típusú és erősségű fényforrásokat alkalmaztam (kompakt fénycsöves fotó- és LED-lámpa), ezzel vizsgálva azt, hogy az eltérő fényintenzitású kezelések között van-e különbség. Külön roncsolásmentes méréseket végeztem a burgonyák fényvel megvilágított (napos) és árnyékos oldalán is. Tanulmányoztam a tárolási körülményeket is: a megvilágított mintákat szobahőmérsékleten, a kontroll (kezeletlen) mintákat pedig hűtőben tartottam. A kísérletet összesen 24 napig végeztem, mely során összesen 90 mintát vizsgáltam. Méréseimet roncsolásmentes vizsgálati módszerekkel kiviteleztem: tömegmérést, felületi színmérést, DA-index[®] meghatározást (DA-mérés), akusztikus és impakt (ütésvizsgálati) állománymérést, illetve klorofill-fluoreszcencia mérést végeztem. Továbbá, a teljes vizsgálati idő alatt mértem és rögzítettem a kezelőterek hőmérsékeltét és relatív páratartalmát, valamint a két eltérő megvilágítási mód által biztosított fényintenzitást (fotólámpa kb. 4200 lux, LED-lámpa: 300 lux).

A kapott eredményeim alapján elmondható, hogy a kísérlet során legnagyobb mértékben a szobahőmérsékleten tárolt burgonyák vesztek a tömegükből, így kijelenthető, hogy a hőmérséklet számottevően befolyásolja a minták tömegét. A színmérés során az L^* , a^* , b^* színparaméterek jelentős mértékben eltértek a burgonyák napos és árnyékos oldalán. A fényvel megvilágított minták esetén intenzívebb volt a zöld színeképződés. Legnagyobb mértékű zöldülés a fotó lámpa alatt tárolt burgonyáknál jelentkezett, ezt követték a LED lámpa által megvilágított minták, majd pedig a sötétben tárolt kontroll minták. Tehát minél nagyobb intenzitású fény éri a burgonyát, annál hamarabb tapasztalható a zöldülés. A DA-index[®] meghatározás során szignifikáns különbséget kaptam a napos és árnyékos oldal között. Az előbbi esetén nagyobb mennyiségben volt jelen aktív klorofill. Az akusztikus- és impakt

állománymérés eredményei alapján megállapítottam, hogy a mesterséges megvilágítás hatására a burgonya belső rugalmassága nagyobb mértékben változott, mint a felületi keménysége. A klorofill fluoreszcencia mérés esetén a legmagasabb minimális klorofill fluoreszcencia (F_0) értékeket a LED általi megvilágítással kaptam. Megállapítottam, hogy ez az eredmény azért lehetséges, mert a LED világításra hideg, kékes fény jellemző, amelyből arra lehet következtetni, hogy a kék fény hullámhossz-tartományában a klorofillszintézis hatékonyabb, mint a meleg, sárgás fényű fotólámpás megvilágítás esetén. Ezzel szemben a maximális klorofill fluoreszcencia (F_M) értékek között nem volt akkora mértékű különbség a LED és fotó lámpa között. Ennek az az oka, hogy az F_M a PSII fotoszintetikus apparátus telítési állapotát tükrözi, azaz a fotoszintetikus reakciócentrumok már zártak, így a fényforrás spektrális tulajdonságai kevésbé befolyásolják az értéket. A kísérletem során digitális fényképeket is készítettem a mintákról. Ezek jól szemléltetik, hogy a 24. mérési napra a megvilágított burgonyák jelentősen bezöldültek, a legnagyobb mértékű zöld színeződés a fotó lámpa által megvilágított mintákon látható. A sötétben tárolt mintákon nem mentek végbe számottevő változások, nagyon hasonlítanak a kiindulási állapotukra.

Kísérletem során objektív és roncsolásmentes módon igazolni tudtam, hogy a közvetlen mesterséges megvilágítás által a tárolási idő előrehaladtával a burgonyákon zöldülés tapasztalható. Mivel a zöldülés a klorofillképződésen túl mérgező glikoalkaloidok keletkezésével is jár, ezért ez egy élelmiszerbiztonsági szempontból jelentős probléma. Javasolt a burgonyákat sötétben tárolni, hogy elkerülhető legyen a zöld színezet megjelenésével együtt a mérgező anyagok kialakulása és felhalmozódása. Élelmiszerüzletekben jelenleg a fénymentes tárolás (kínálópulti értékesítés) nem megoldható, így ez esetben javasolnám olyan csomagolóanyagok alkalmazását, amelyek nem, vagy csak nagyon minimális mértékben engedik át a fényt. Lédig burgonya esetén érdemes lehet olyan tárolórekeszeket kialakítani, amelyek árnyékoltak, ezáltal nem érné közvetlen fényhatás a terményt, azaz csökkenthető lenne a zöldülés kockázata. Mivel a hőmérséklet is fontos szempont a burgonyák minőségének megtartásában, így javaslom továbbá az alacsonyabb hőmérsékleten történő tárolást, valamint az optimális páratartalom fenntartását, hogy mérsékelhető legyen a burgonyák vízvesztése és állományváltozása.

7. Irodalomjegyzék

1. Ábrahám, É. B. (2009). Fajta és öntözés hatása a burgonya termésmennyiségének és minőségének alakulására mezőszéki talajon (Doktori értekezés, Debreceni Egyetem).
2. Antal, J.; Izsáki, Z.; Kismányoky, T.; Pepó, P.; Késmárki, I. (2005), Növénytermesztés 2. – Gyökér-és gumós növények, hüvelyesek, olaj-és ipari növények, takarmánynövények. Mezőgazda Kiadó, Budapest. pp. 51-69.
3. Bratu, A. M., Popa, C., Bojan, M., Logofatu, P. C., & Petrus, M. (2021). Non-destructive methods for fruit quality evaluation. *Scientific reports*, 11(1), 7782.
4. Camire, M. E., S. Kubow and D. J. Donnelly. 2009. Potatoes and human health. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 49(10): 823-840.
5. Chen, X., Ding, Y., & Kan, J. (2018). Changes in the content and influence factors of α -solanine in potato during storage. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 30(1), 10-16.
6. Costa, G., Noferini, M., Fiori, G., Berthod, N., Besse, S., & Rossier, J. (2012). Methods to assess fruit quality focusing on non-destructive methods. *Acta Horticulturae*, 966, 275-284.
7. Ding, C., Feng, Z., Wang, D., Cui, D., & Li, W. (2021). Acoustic vibration technology: Toward a promising fruit quality detection method. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 20(2), 1655-1680.
8. Eie, T., & Larsen, H. (2012). The effect of packaging light barrier on greening and solanine formation in Sava cultivar potatoes (*Solanum tuberosum* L.) stored at 5 and 15 C under fluorescent light. In *Proceedings, eighteenth IAPRI world packaging conference* (pp. 149-155).
9. Emekandoko, A. (2004). A zöldségtárolás ökonómiai vonatkozásai. *Gazdálkodás: Scientific Journal on Agricultural Economics*, 48(3), 70-75.
10. Friedman, M. (2006). Potato glycoalkaloids and metabolites: roles in the plant and in the diet. *Journal of agricultural and food chemistry*, 54(23), 8655-8681.
11. Gorbe, E., & Calatayud, A. (2012). Applications of chlorophyll fluorescence imaging technique in horticultural research: A review. *Scientia Horticulturae*, 138, 24-35.
12. Hitka, G. (2011). Kajszi szabályozott légterű tárolástechnológiájának fejlesztése, Doktori disszertáció, Budapesti Corvinus Egyetem, Budapest.

13. Hovorkáné Horváth, Z. (2007). A fűszerpaprika őrlemények érzékelt és mért színjellemzői, Doctori disszertáció, Budapesti Corvinus Egyetem, Budapest.
14. Internet 1: <https://www.potatonewstoday.com/2024/01/06/global-potato-production-insights-from-the-faos-latest-data/>
15. Internet 2: <https://www.potatonewstoday.com/2025/01/09/global-potato-production-in-2023-insights-and-trends-from-faostat-data/>
16. Internet 3: <https://www.ksh.hu/s/kiadvanyok/fobb-novenykulturak-termeseredmenyei-2024/index.html>
17. Internet 4: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HU/TXT/HTML/?uri=CELEX:32022H0561>
18. Internet 5: https://www.ksh.hu/stadat_files/jov/hu/jov0051.html
19. Internet 6: <https://vetoburgonya.eu/burgonyafajtak/nagyonkorai/anuschka/>
20. Internet 7: <https://www.conrad.hu/hu/p/digitalis-fenymero-adatgyujto-funkcioval-voltcraft-dl-230l-1931527.html>
21. Internet 8: www.trotec.hu
22. Internet 9: <https://www.blacktip.hu/Puluz-PU5042EU-Fotosator-40cm-24W-5500K-in25655>
23. Joseph A. Maga (1994) Glycoalkaloids in solanaceae, Food Reviews International, 10:4, 385-418, DOI: 10.1080/87559129409541010
24. Larsen, H., & Molteberg, E. L. (2023). Discolouration of potato tubers under retail light: cultivar variations and effect of different packaging materials for Folva potatoes stored at 20 and 6 C. Potato Research, 66(2), 507-523.
25. Lazarević, B., Carović-Stanko, K., Safner, T., & Poljak, M. (2022). Study of high-temperature-induced morphological and physiological changes in potato using nondestructive plant phenotyping. Plants, 11(24), 3534.
26. Lehel, J., Lányi, K., Pleva, D., & Laczay, P. (2019). Természetes eredetű élelmiszer-összetevők toxikus hatásai. Magyar Állatorvosok Lapja, 140:239-250.
27. Liu, J., Sun, J., Wang, Y., Liu, X., Zhang, Y., & Fu, H. (2025). Non-Destructive Detection of Fruit Quality: Technologies, Applications and Prospects. Foods, 14(12), 2137.
28. Martínez-García, I., Gaona-Scheytt, C., Morante-Zarcero, S., & Sierra, I. (2024). Development of a green, quick, and efficient method based on ultrasound-

assisted extraction followed by HPLC-DAD for the analysis of bioactive glycoalkaloids in potato peel waste. *Foods*, 13(5), 651.

29. Nyasordzi, J., Friedman, H., Schmilovitch, Z., Ignat, T., Weksler, A., Rot, I., & Lurie, S. (2013). Utilizing the IAD index to determine internal quality attributes of apples at harvest and after storage. *Postharvest biology and Technology*, 77, 80-86.

30. Ostrý, V., Ruprich, J., & Skarkova, J. (2010). Glycoalkaloids in potato tubers: the effect of peeling and cooking in salted water. *Acta alimentaria*, 39(2), 130-135.

31. Petersson, E. V., Arif, U., Schulzova, V., Krtkova, V., Hajslova, J., Meijer, J., ... & Sitbon, F. (2013). Glycoalkaloid and calystegine levels in table potato cultivars subjected to wounding, light, and heat treatments. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 61(24), 5893-5902.

32. Radics, L.; Borsos, J.; Pusztai, P.; Szemán L.; Tomposn, V.L. (1994). *Szántóföldi növénytermesztés tan. Kertészeti és Élelmiszeripari Egyetem, Budapest.*

33. Rutkowski, K. P., Michalczuk, B., & Konopacki, P. (2008). Nondestructive determination of 'Golden Delicious' apple quality and harvest maturity. *J. Fruit Ornament. Plant Res*, 16(1), 39-52.

34. Rykaczewska, K., & Mańkowski, D. (2015). The effect of physiological age of potato plants on chosen chlorophyll fluorescence parameters.

35. Shammi, S., Sohel, F., Diepeveen, D., Zander, S., & Jones, M. G. (2023). A survey of image-based computational learning techniques for frost detection in plants. *Information Processing in Agriculture*, 10(2), 164-191.

36. Shin, J. S., Lee, K. G., Lee, H. H., Lee, H. J., An, H. J., Nam, J. H., ... & Lee, K. T. (2016). α -Solanine isolated from *Solanum tuberosum* L. cv Jayoung abrogates LPS-induced inflammatory responses via NF- κ B inactivation in RAW 264.7 macrophages and endotoxin-induced shock model in mice. *Journal of cellular biochemistry*, 117(10), 2327-2339.

37. Sotelo, A., & Serrano, B. (2000). High-performance liquid chromatographic determination of the glycoalkaloids α -solanine and α -chaconine in 12 commercial varieties of Mexican potato. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48(6), 2472-2475.

38. Steinmetz, V., Crochon, M., Maurel, V. B., Fernandez, J. G., Elorza, P. B., & Verstreken, L. (1996). Sensors for fruit firmness assessment: comparison and fusion. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 64(1), 15-27.
39. Tatiana, T. K., S. Gabriel and B. Tamires. 2014. Evaluation of antifungal and cytotoxic activity of trans-chalcone and α -solanine. *BMC Proc.* 8: 36
40. Tilahun, S., An, H. S., Solomon, T., Baek, M. W., Choi, H. R., Lee, H. C., & Jeong, C. S. (2020). Indices for the Assessment of Glycoalkaloids in Potato Tubers Based on Surface Color and Chlorophyll Content. *Horticulturae*, 6(4), 107.
41. Zeiger, E., & Tice, R. (1998). Review of toxicological literature (Doctoral dissertation, Ph. D. Thesis Research Triangle Park, North Carolina).
42. Zhang, F., R. Yang, G. Zhang, R. Cheng, Y. Bai and H. Zhao. 2016. Anticancer function of α -solanine in lung adenocarcinoma cells by inducing microrna-138 expression. *Tumour Biol.* 37(5): 6437-6446
43. Zhao, D., Zhang, F., Wu, Y., Ge, Q., Chen, X., & Wang, X. (2017). Quantitative Determination of Solanine in Potato with Different Growing Periods in Different Areas of Ningxia. In 2017 International Conference on Material Science, Energy and Environmental Engineering (MSEEE 2017) (pp. 76-80). Atlantis Press.
44. Ziosi, V., Noferini, M., Fiori, G., Tadiello, A., Trainotti, L., Casadoro, G., Costa, G. (2008). A new index based on VIS spectroscopy to characterize the progression of ripening in peach fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 49(3):319–329
45. Zsom, T. (2007): Az étkezési paprika minőségváltozása a szedés utáni időszak alatt, Doktori disszertáció, Budapesti Corvinus Egyetem, Budapest
46. Zsom, T., Strohmayer, E., Nguyen, L.P.L., Hitka, G., and Zsom-Muha, V. (2018). Chilling injury investigation by non-destructive measuring methods during banana cold storage. *Progress in Agricultural Engineering Sciences*, 14(s1): 147–158.
47. Zsom, T., Zsom-Muha, V., Nguyen, L.P.L., Nagy, D., Hitka, G., Polgári, P., and Baranyai, L. (2020). Nondestructive detection of low temperature induced stress on postharvest quality of kápia type sweet pepper. *Progress in Agricultural Engineering Sciences*, 12(1): 81–106.
48. Zsom-Muha, V., Nguyen, L. L. P., Baranyai, L., Hitka, G., Horváth-Mezőfi, Z., Szabó, G., & Zsom, T. (2021). An attempt to the nondestructive investigation of photo-induced potato postharvest quality degradation–Preliminary results. *Progress in Agricultural Engineering Sciences*, 17(S1), 99-109.

8. Táblázatok és ábrák jegyzéke

1. ábra: Burgonya zöldülése során a héjban, illetve közvetlenül a héj alatt található glikoalkaloidok (Forrás: Saját fotó, 2025)	5
2. ábra: Anuschka fajtájú burgonya (Forrás: Internet 6)	13
3. ábra: A mérések során alkalmazott mesterséges megvilágítási elrendezés (fotólámpák – balra; mennyezeti LED-es megvilágítás – jobbra) (Forrás: Saját fotó, 2025)	14
4. ábra: A fotólámpával megvilágított burgonyák (Forrás: Saját fotó, 2025).....	16
5. ábra: A mennyezeti LED-es megvilágítású burgonyák (Forrás: Saját fotó, 2025).....	16
6. ábra: A sötétben tárolt burgonyák (Forrás: Saját fotó, 2025)	16
7. ábra: A tömegméréshez használt Sartorius L610 típusú digitális mérleg (Forrás: Saját fotó, 2025)	17
8. ábra: Konica-Minolta CR-400 színmérő (Forrás: Saját fotó, 2025)	18
9. ábra: Sintéleia Vis/NIR DA-meter® érettségmérő (Forrás: Saját fotó, 2025).....	19
10. ábra: AWETA AFS DTF típusú roncsolásmentes laboratóriumi akusztikus és impakt állománymérő készülék (Forrás: Saját fotó, 2025)	20
11. ábra: PSI Open FluorCam FC 800-O/2020 klorofill-fluoreszcenciamérő berendezés (Forrás: Saját fotó, 2025)	22
12. ábra: A burgonyákról készült fotó a FluorCam7 programban (Forrás: Saját fotó, 2025)	22
13. ábra: A burgonyák elválasztása a háttértől a Fluorcam7 programban (Forrás: Saját fotó, 2025)	22
14. ábra: A mérések során alkalmazott mérőműszerek és mért/számított jellemzők (Forrás: Saját fotó, 2025)	23
15. ábra: A burgonyák tömegveszteségének alakulása a különböző kezelések esetén a tárolási idő függvényében	24
16. ábra: A burgonyák napos oldalán mért L* színparaméter változása a különböző kezelések esetén a tárolási idő függvényében.....	25
17. ábra: A burgonyák árnyékos oldalán mért L* színparaméter változása a különböző kezelések esetén a tárolási idő függvényében.	26
18. ábra: A burgonyák napos oldalán mért a* színparaméter változása a különböző kezelések esetén a tárolási idő függvényében.....	26
19. ábra: A burgonyák árnyékos oldalán mért a* színparaméter változása a különböző kezelések esetén a tárolási idő függvényében.	27

20. ábra: A burgonyák napos oldalán mért b^* színparaméter változása a különböző kezelések esetén a tárolási idő függvényében.....	28
21. ábra: A burgonyák árnyékos oldalán mért b^* színparaméter változása a különböző kezelések esetén a tárolási idő függvényében.	28
22. ábra: A burgonyák napos oldalán mért DA-index® változása a különböző kezelések esetén a tárolási idő függvényében.....	29
23. ábra: A burgonyák árnyékos oldalán mért DA-index® változása a különböző kezelések esetén a tárolási idő függvényében.....	30
24. ábra: A burgonyák akusztikus keménységtényezőjének változása a különböző kezelések esetén a tárolási idő függvényében.....	31
25. ábra: A burgonyák ütészvizsgálati keménységtényezőjének változása a különböző kezelések esetén a tárolási idő függvényében.	32
26. ábra: A burgonyák napos oldalán mért minimális klorofill fluoreszcencia (F0) értékének változása a különböző kezelések esetén a tárolási idő függvényében.	33
27. ábra: A burgonyák árnyékos oldalán mért minimális klorofill fluoreszcencia (F0) értékének változása a különböző kezelések esetén a tárolási idő függvényében.	34
28. ábra: A burgonyák napos oldalán mért maximális klorofill fluoreszcencia (FM) értékének változása a különböző kezelések esetén a tárolási idő függvényében.	35
29. ábra: A burgonyák árnyékos oldalán mért maximális klorofill fluoreszcencia (FM) értékének változása a különböző kezelések esetén a tárolási idő függvényében.	35
30. ábra: A burgonyák napos oldalán mért változó klorofill fluoreszcencia (FV) értékének változása a különböző kezelések esetén a tárolási idő függvényében.	36
31. ábra: A burgonyák árnyékos oldalán mért változó klorofill fluoreszcencia (FV) értékének változása a különböző kezelések esetén a tárolási idő függvényében.	37
32. ábra: A burgonyák napos oldalán mért FV/FM értékének változása a különböző kezelések esetén a tárolási idő függvényében.	37
33. ábra: A burgonyák árnyékos oldalán mért FV/FM értékének változása a különböző kezelések esetén a tárolási idő függvényében.	38
34. ábra: A 30 db, a fotólámpa által megvilágított burgonya a legelső (0. nap) napon. Bal oldali fotókon a napos, jobb oldalin pedig az árnyékos oldal látható. (Forrás: Saját fotó, 2025).....	39
35. ábra: A 30 db, a LED-es mennyezeti lámpa által megvilágított burgonya a legelső (0.) napon. Bal oldali fotókon a napos, jobb oldalin pedig az árnyékos oldal látható. (Forrás: Saját fotó, 2025)	40

36. ábra: A 30 db, sötétben tárolt, kontroll burgonya a legelső (0.) napon. Bal oldali fotókon a napos, jobb oldalin pedig az árnyékos oldal látható. <i>(Forrás: Saját fotó, 2025)</i>	40
37. ábra: A 30 db, a fotólámpa által megvilágított burgonya az utolsó (24.) napon. Bal oldali fotókon a napos, jobb oldalin pedig az árnyékos oldal látható. <i>(Forrás: Saját fotó, 2025)</i>	41
38. ábra: A 30 db, a LED-es mennyezeti lámpa által megvilágított burgonya az utolsó (24.) napon. Bal oldali fotókon a napos, jobb oldalin pedig az árnyékos oldal látható. <i>(Forrás: Saját fotó, 2025)</i>	41
39. ábra: A 30 db, sötétben tárolt, kontroll burgonya az utolsó (24.) napon. Bal oldali fotókon a napos, jobb oldalin pedig az árnyékos oldal látható. <i>(Forrás: Saját fotó, 2025)</i>	42
40. ábra: A fotó- és LED lámpa által megvilágított és a sötétben tárolt kontroll minták napos oldalának összehasonlítása. A felső képek az első (0.), az alsó képek az utolsó (24.) napon készültek. <i>(Forrás: Saját fotó, 2025)</i>	42

9. Köszönetnyilvánítás

Ezúton is szeretnék köszönetet mondani mindazoknak, aki bármilyen formában hozzájárultak diplomadolgozatom elkészítéséhez.

Külön köszönettel tartozom konzulenseimnek, Dr. Zsorné Muha Viktóriának és Dr. Zsom Tamásnak. Köszönöm, hogy minden felmerülő kérdésemre gyors és precíz választ adtak, valamint, hogy mindig készségesen segítettek, amikor elakadtam. Egyben köszönettel tartozom Szabó Kristóf ügyvezető úrnak és a dánszentmiklósi Euro Sol Burgonyakereskedelmi és Szolgáltató Kft-nek a vizsgálataimba bevont burgonyaminták biztosításáért.

10. Nyilatkozatok

MATE Szervezeti és Működési Szabályzat

III. Hallgatói Követelményrendszer

III.1. Tanulmányi és Vizsgaszabályzat

6.13. sz. függeléke: A MATE egységes szakdolgozat /diplomadolgozat / záródolgozat / portfólió készítési útmutatója

4.2. sz. melléklete: Nyilatkozat a záródolgozat/szakdolgozat/diplomadolgozat/portfólió nyilvános hozzáféréséről és eredetiségéről (módosítva: 2025. október 16.)

NYILATKOZAT

diplomadolgozat nyilvános hozzáféréséről és eredetiségéről

A hallgató neve: Orosz Anikó
A Hallgató Neptun kódja: JH732C
A dolgozat címe: Étkezési burgonya betakarítást követő minőségváltozásának objektív nyomonkövetése
A megjelenés éve: 2025
A konzulens intézetének neve: Élelmiszertudományi és Technológiai Intézet
A konzulens tanszékének a neve: a) Árukezelés, Kereskedelem, Ellátási Lánc és
Érzékszervi Minősítés Tanszék
b) Élelmiszeripari Méréstechnika és Automatizálás Tanszék

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. Továbbá kijelentem, hogy a dolgozat elkészítése során alkalmazott mesterséges intelligencia-eszközök (pl. szöveggenerálás, nyelvi javítás, fordítás, adatelemzés) használata nem helyettesítette a saját kutatási és alkotói munkámat, azok alkalmazását a források között vagy a módszertani részben feltüntettem, és a szakmai-etikai elvárásoknak megfelelően jártam el.

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

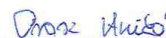
A leadott dolgozat, mely PDF dokumentum, szerkesztését nem, megtekintését és nyomtatását engedélyezem.

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

Tudomásul veszem, hogy dolgozatom elektronikus változata feltöltésre kerül a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem könyvtári repozitóri rendszerébe. 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 könyvtári repozitóri rendszerében.

Kelt: 2025.10.28.



Hallgató aláírása

NYILATKOZAT

Orosz Anikó (hallgató Neptun azonosítója: JH732C) konzulenseként nyilatkozom arról, hogy a diplomadolgozatot¹ áttekintettem, a hallgatót az irodalmi források korrekt kezelésének követelményeiről, jogi és etikai szabályairól tájékoztattam.

A diplomadolgozatot a záróvizsgán történő védeésre javaslom / nem javaslom.

A dolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz: igen nem

Kelt: 2025.10.28.



Dr Zsom Tamás és Dr. Zsomné dr. Muha Viktória
belső konzulensek

¹ A megfelelő dolgozattípus meghagyása mellett a többi típus törlendő.

Hallgatók, doktoranduszok nyilatkozata mesterséges intelligencia (MI) alkalmazásáról

1. Általános adatok

Hallgató neve:	Orosz Anikó
Neptun-kódja:	JH732C
Képzési szint (a megfelelőt jelölje X-szel):	<input type="checkbox"/> BSc/BA <input checked="" type="checkbox"/> MSc/MA <input type="checkbox"/> Doktori (PhD) <input type="checkbox"/> Egyéb:
Tantárgy neve/kódja*:	
A munka címe:	Étkezési burgonya betakarítást követő minőségváltozásának objektív nyomkövetése

* doktori értekezés esetén nem kitöltendő

2. Nyilatkozat az MI használatáról

Alulírott, etikai felelősségem teljes tudatában az alábbi nyilatkozatot teszem:

(Kérjük, válasszon egyet az alábbi lehetőségek közül!)

A) Nem alkalmaztam mesterséges intelligencia rendszert vagy szolgáltatást.

(Amennyiben ezt jelölte, a további táblázatok kitöltése nem szükséges.)

B) Alkalmaztam mesterséges intelligencia rendszert vagy szolgáltatást.

(Kérjük, töltsse ki a vonatkozó táblázatokat!)

3. A mesterséges intelligencia használatának részletezése

I. TÁBLÁZAT: Asszisztensi vagy kisebb mértékű felhasználás (pl. fordítás, nyelvi korrekció, ötletelés stb.)

(Ezen felhasználások esetében a konkrét promptok és válaszok csatolása nem szükséges.)

A felhasználás célja	Alkalmazott MI-eszköz neve és verziója	Érintett rész (ha nem a szöveg egészére vonatkozik)

II. TÁBLÁZAT: Jelentős tartalmi hozzájárulás (pl. egy teljes ábra vagy egy hosszabb szövegrész generálása)

(Ezekben az esetekben a felhasznált kulcsfontosságú promptok és az MI által adott nyers válaszok dokumentálása és a munka mellékletében való csatolása szükséges.)

A felhasználás célja	Alkalmazott eszköz verziója, elérhetősége	MI-neve,	Az érintett fejezet / ábra / táblázat pontos sorszáma	A prompt-naplót tartalmazó melléklet bejegyzésének sorszáma

3/A. Oktató által előírt kiegészítő szabályok (ha vannak)

Amennyiben az adott tantárgy oktatója vagy témavezetője az MI-eszközök használatára vonatkozóan külön szabályokat vagy elvárásokat határozott meg, kérjük, az alábbi mezőben foglalja össze ezeket:

Pl. az MI használatának tilalma bizonyos feladattípusokra; csak konkrét eszköz használata engedélyezett; eltérő hivatkozási elvárások; dokumentációs forma stb.

Oktató vagy témavezető által előírt szabályok:

.....

.....

.....

.....

4. Minden hallgatóra vonatkozó nyilatkozat:

Kijelentem, hogy az MI által esetlegesen generált tartalmakat minden esetben kritikailag felülvizsgáltam, szerkesztettem és a munkába illesztettem. A leadott munka minden eleméért, annak eredetiségéért és tudományos helytállóságáért teljes körű felelősséget vállalok. Tudomásul veszem, hogy a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem a benyújtott munkát mesterséges intelligencia detektorral ellenőrizheti, és eljárást kezdeményezhet, amennyiben a nyilatkozatom valótlan vagy hiányos.

Kelt: Budapest, 2025. 10. 28.

.....
Prosz Verica

Hallgató aláírása

.....
Kovács Zoltán

Konzulens/Témavezető aláírása