



**SZENT ISTVÁN
EGYETEM**

**KONVENCIONÁLIS ÉS ÖKOLÓGIAI TERMESZTÉSŰ
FŰSZERPAPRIKA TERMÉSELEMZÉSE, ÉRÉSDINAMIKÁJA ÉS
AZ ŐRLEMÉNYEK SZÍNSTABILITÁS VIZSGÁLATA**

Doktori (PhD.) értekezés tézisei

Koncsek Arnold

Gödöllő

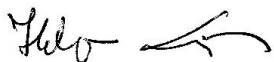
2018

A doktori iskola

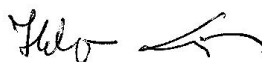
megnevezése: Növénytudományi Doktori Iskola
tudományága: Növénytermesztési és kertészeti tudományok
vezetője: Dr. Helyes Lajos
tanszékvezető, egyetemi tanár, MTA doktora
SZIE, Mezőgazdasági- és Környezettudományi Kar
Kertészeti Technológiai Intézet

témavezetők: Dr. Helyes Lajos
tanszékvezető, egyetemi tanár, MTA doktora
SZIE, Mezőgazdasági- és Környezettudományi Kar
Kertészeti Technológiai Intézet

Dr. Daood G. Hussein
c. egyetemi tanár, CSc.
SZIE, Regionális Egyetemi Tudásközpont



Az iskolavezető jóváhagyása



A témavezető jóváhagyása



A témavezető jóváhagyása

ELŐZMÉNYEK ÉS KITŰZÖTT CÉLOK

A fűszerpaprika (*Capsicum annum* var. *longum* L.) magyarországi termesztése és feldolgozása évszázadokra visszanyúló hagyományokon alapul. A szárított termés őrleménye az élelmiszeripar és a gasztronómia fontos fűszere és természetes színezőanyaga. Bioaktív komponenseinek jelentősége hosszú ideje tudományos kutatások tárgya.

Az 1990-es évektől a magyar fűszerpaprika iránti kereslet, és ezzel együtt a termesztés jelentős csökkenést mutat. Ennek háttérében álló ok-okozati összefüggéseket ökonómiai-, társadalmi-, demográfiai és életmódváltozások egyaránt generálják. Magyarországon az 1990-es évek végén-2000-es évek elején jelent meg az ökológiai gazdálkodás feltételrendszere szerint termesztett fűszerpaprika. Az ökológiai termékek piacát dinamikus növekedés jellemzi, amely lehetőséget jelent a termesztés jövedelmezőségének növelésére és a magyar paprika hírnevének erősítésére.

A magyar fűszerpaprika ökológiai termesztéséről rendkívül csekély számú kutatási közlemény található. Jelenleg a konvencionális technológiákra nemesített fajták állnak rendelkezésre, ezek közül is a rezisztens, vagy betegségekkel szemben toleráns fajtákat használják. A bio gazdaságokban alkalmazható agrotechnikai eljárások jelentősen korlátozottak. Összehasonlító vizsgálatok nem állnak rendelkezésre, hogy ez milyen különbségeket okoz a konvencionális nagyüzemi technológiához képest.

A paprika őrlemények minőségét és kereskedelmi értékét meghatározó természetes színanyagok stabilitása jelentősen korlátozott, és ebben meghatározó szerepet játszanak a termesztési, az agrometeorológiai feltételek, a termés érése során kialakult beltartalmi jellemzők, az alkalmazott feldolgozási technológiák paraméterei, és a tárolási feltételek.

A színezéktartalom bomlás késleltetése hozzájárulhat a feldolgozó és felhasználó üzemek raktáraiban tárolt őrlemények minőségének és kereskedelmi értékének megőrzéséhez. A fogyasztók, és az élelmiszeripari termékgyártók előnyben részesíthetik a hosszabb minőség-megőrzési időtartammal rendelkező, és a hasznos beltartalmi komponenseket stabilizált állapotban tartalmazó alapanyagot kínáló beszállítókat. A fűszerpaprika feldolgozásában jelenleg nem alkalmaznak a színbomlás mérséklésére irányuló eljárásokat vagy antioxidáns készítményeket. Fontos elvárás a fűszerpaprika őrlemények tradicionális minőségének fenntartása szempontjából, hogy az alkalmazott eljárások ne változtassák meg az őrlemény eredeti jellemzőit.

A színstabilitás vizsgálatára nem elterjedt gyakorlat a reakció kinetikai elveket alkalmazó gyorsított tárolási kísérlet. Az eljárással előzetesen becsülhető lenne az egész évre betárolt fűszerpaprika minőség csökkenése, és rövid időn belül értékelhetőek a termékfejlesztési munkák eredményei.

A kutatási célkitűzéseim:

- rezisztens (Meteorit), toleráns (Mihálytelki) és kiemelkedő színezéktartalmú, de betegség-érzékeny (Szegedi-20 és Kármin) fűszerpaprika fajták konvencionális és ökológiai termesztésének összehasonlító értékelése két évjáratban (2014 és 2015)
- a termékek összehasonlító értékelése, a morfológiai jellemzők, és a szárított termésrészek alapján
- a termékek érésdinamikai vizsgálata, a szárazanyag-tartalom, a színanyagok és az antioxidánsok változásának elemzésével, zöld, kormos, halványpiros, érett, és utóérlelt érési stádiumokban
- a feldolgozott (szárított és őrölt) termékek színezéktartalom stabilitásának vizsgálata a tárolás során

- gyorsított tárolási színtabilitás vizsgálati módszer kidolgozása, amely közelíti az előírás szerinti tároláskor bekövetkező változásokat
- a színanyag bomlás mérséklése „idegen” adalékanyag nélkül, a paprika magból hidegen sajtolással kinyert olaj felhasználásával, és az olaj hatékonyságának összehasonlítása antioxidáns készítményekkel

ANYAG ÉS MÓDSZER

A kísérleti terv áttekintése, vizsgálati és adatértékelési módszerek

I. Konvencionális és bio fűszerpaprika termesztése a 2014. és 2015. évjáratban		
Részfeladatok	Helyszín	Adat felvételezés
Konvencionális kísérleti alapanyagok előállítása, minták begyűjtése	Gorzai Mezőgazdasági ZRt., Hódmezővásárhely	Agrotechnika leírása, Meteorológiai adatok, Termőhelyek jellemzői Növényállomány jellemzés, Fényképfelvételek
Bio kísérleti alapanyagok előállítása, minták begyűjtése	Rubin Szegedi Paprikafeldolgozó Kft., Balástyai bio területe	

II. A konvencionális és bio fűszerpaprika termékek vizsgálata (2014-2015)		
Részfeladatok	Vizsgált paraméterek	Statisztikai módszerek
Morfológiai jellemzők vizsgálata (érett, friss termékek)	Bogyó átlagtömeg, hosszúság, átmérő, kocsányhossz	ANOVA (3 tényezős), Tényezők hatása (η^2), Korrelációanalízis
Minták feldolgozása (utóérlelés szárítás, őrlés, tárolás)	---	
A bogyó alkotórészek vizsgálata (szárított, érett termékek)	Terméscsont, mag, kocsány, és placenta % (m/m)	
Érésdinamikai vizsgálatok (szárított zöld, kormos, halványpiros, érett, és utóérlelt minták)	Szárazanyag tartalom	Függvényillesztés, Dinamikai mutató, ANOVA (3 tényezős), Tényezők hatása (η^2)
	Színezéktartalom (ASTA)	
	Karotinoidok (HPLC)	Függvényillesztés, Dinamikai mutató, ANOVA (3 tényezős), Tényezők hatása (η^2) PCA
	L-aszcorbinsav, α -, β -, γ -tokoferolok (HPLC)	

III. Tárolási kísérletek		
Részfeladatok	Vizsgált paraméterek	Statisztikai módszerek
A konvencionális és bio örlemények tárolási színtabilitásának értékelése	Színezéktartalom, a raktári tárolás során	Reakció kinetikai számítások, ANOVA (3 tényezős), Tényezők hatása (η^2)
A fénysugárzással gyorsított minőségmegőrzés-vizsgálat kidolgozása (2014-es minták)	Színezéktartalom, provokációs és raktári tárolás során	Reakció kinetikai számítások, Regressziós függvények vizsgálata
A gyorsított vizsgálati eljárás pontosságának értékelése (2015-ös minták)	Színezéktartalom, provokációs és raktári tárolás során	PME (%), RMSD, CV_{RMSD} (%), Lineáris regresszió
Alternatív színtabilizálás vizsgálata (paprika magolaj, tokoferol és rozmaring kivonatok)	Színezéktartalom, gyorsított minőségmegőrzés-vizsgálattal	Becsülő modell alkalmazása, ANOVA

A kísérlethez használt fajták, alapanyagok

A terméselemzési és érésdinamikai vizsgálatokhoz üzemi konvencionális és bio termesztési technológiákkal előállított Szegedi-20, Meteorit, Mihálytelki, és Kármin csípősségmentes fajták zöld, kormos, halványpiros, érett, és utóérlelt terméseit használtuk. A mintagyűjtéseket augusztus elejétől szeptember második hetéig végeztük, az érés előrehaladása szerint.

Az alternatív színtabilizálási kísérletekhez a 2015-ös évjárat utolsó betakarítási fázisából (október) származó konvencionális és bio Meteorit, valamint Kínában termelt, napon szárított fűszerpaprikák örleményét használtuk. Az örleményeket négyféle módon kezeltük: tokoferol antioxidáns készítménnyel (0,2%), rozmaring kivonattal (0,2%), valamint a hidegen sajtolt fűszerpaprika magolaj 3% és 6% adagolásával.

A termőhelyek jellemzése

A konvencionális termőhelyen a talaj főtípusa kötött réti talajok, Arany-féle kötöttségi száma (KA) 62, pH értéke 7,21, humusztartalma 2,6 %. A talaj tápanyag ellátottsága nitrogénben közepes (14mg/kg Nitrogén-

nitrit +nitrát), foszforban igen jó (188mg/kg P₂O₅), káliumban közepes (352 mg/kg K₂O).

A bio termőhelyen a talaj típusa homok, Arany-féle kötöttségi száma (KA) 26, pH értéke 7,5, humusztartalma 1,29 %. A talaj tápanyag-ellátottsága nitrogénben jó (7,8 mg/kg Nitrogén-nitrit +nitrát), foszforban jó (241 mg/kg P₂O₅) és káliumban is jó (203,7mg/kg K₂O).

Meteorológiai adatok

A 2014-es év tenyészidőszakában a havi átlaghőmérsékletek alacsonyabbak voltak a megelőző 5 év átlagánál. Az áprilistól szeptember végéig számított hőösszeg 3440°C, a hőségnapok ($\geq 30^\circ\text{C}$) száma 28 volt. Május, július és szeptember hónapokban nagy mennyiségű csapadék hullott. A konvencionális területeken áprilistól szeptember végéig 621,7 mm-t, a bio területeken 585,1 mm-t regisztráltunk, az elmúlt öt év átlaga 276,2 mm volt. Az összes napfénytartam (1567 óra) 84 órával elmaradt az előző öt év átlagától.

A 2015 év tenyészidőszakában a havi átlaghőmérséklet augusztusban és szeptemberben alakult kedvezőbben a megelőző 5 év átlagánál. A hőösszeg (3464°C) az előző évhez hasonlóan alakult de a hőségnapok száma (54) majdnem kétszeres volt. A bio területen a csapadékösszeg (276mm) hasonlóan alakult a korábbi 5 év átlagához, a konvencionális területen 26,8mm-el több csapadékot regisztráltunk. Az összes napfénytartam (1706 óra) 139 órával kedvezőbben alakult, összehasonlítva a 2014-es tenyészidőszakkal.

Termesztéstechnológia

A konvencionális területeken az elővetemény őszi búza volt. Szeptember-október hónapokban tarlótárcsázást szántást, majd tavasszal nehézfogas+simító talaj előkészítést végeztek. A műtrágyázási tervet a

MÉM-NAK irányelvek alapján határozták meg. A kijuttatás a az őszi talajműveléssel történt (foszfor és kálium 100%-a). A helyrevetés március végén, április elején történt 4,52-5,45 kg/ha vetőmag felhasználással. A vegyszeres gyomirtási (Panterra 40EC , Devrinol 45F, Command 48EC), sorközművelési, mechanikai gyomirtási műveleteket, a lombtrágyázást (Amalgerol, Csöppmix 3), és a vegyszeres növényvédelmi kezeléseket (Cuproxat FW, Teppeki, Steward) a fűszerpaprika igényeihez tervezve végezték el. A termesztés száraz műveléssel történt.

A bio területen az elővetemény rozs volt, amely zöldtrágya céllal előbb betárcsázásra, majd március végén bio istállótrágyával együtt mélyszántással bedolgozásra került. A palántanevelés (április-május) fűtetlen fóliasátor termesztő berendezésben történt. Növényvédelmi kezelés egy alkalommal, Cuproxat gombaölő szerrel történt. A kiültetést május végén -június elején végezték. A termesztés során a kézi sorközművelési és mechanikai gyomirtási műveletek mellett növényvédelmi kezeléseket is végeztek, az ökológiai gazdálkodásban engedélyezett Cuproxat gombaölő szerrel. A területre mikro-szórófejes öntöző berendezést telepítettek, a vízellátás mesterséges tóból történt.

Gyorsított tárolási kísérletek (ASLT)

A fotokémiai hatáson alapuló gyorsított tárolási kísérletekhez fénykamrát építettünk. A kísérleti eszköz alapja egy zárható, fehér bútorlapokból készített doboz, amelynek tetejére fénycső armatúrát szereltünk, fényintenzitás szabályzó kapcsolóval. A fényforrás 2 db Osram Biolux T8 daylight típusú 30W-os, 6500 K színhőmérsékletű fluorescens fénycsövek. A fényintenzitás (6000, 4000, 2000 lux) pontos beállítása műszer segítségével történtek. A vizsgálandó minták befogadására 90mm belső átmérőjű ellátott üveg Petri-csészéket használtunk. Tömítéssel biztosítottuk a víztartalom (és vízaktivitás) változásból adódó hatások

kiküszöbölését. A kontroll mintákat aromazáró, fényvédő csomagolásban, és 18-20°C-os raktárban helyeztük el.

Adatfeldolgozás és statisztikai módszerek

A *varianciaanalízis* során az évjárat, termesztési módszer és fajta tényezőket vettük figyelembe. Hatáserősség-mutatót (η^2) számítottunk, amely kifejezi, hogy a tényező (vagy tényezők interakciója) mekkora hányadot magyaráz meg a függő változó összes varianciájából. Pearson-féle *korreláció analízissel* történt a morfológiai paraméterek és a termés alkotórészek összefüggés vizsgálata.

Az *érés* változásokat leíró *függvények* kiválasztásához az illesztés megfelelőségét tesztelő statisztikai próbák eredményeit vettük figyelembe (R^2 , adj. R^2 , regresszió F-próbája, regressziós paraméterek t-próbája).

Az egyes érési szakaszokban a vizsgált *jellemzők változási dinamikáját* átlagos napi felhalmozódási (vagy csökkenési) ütemmel jellemeztük:

$$D_y = \frac{Y_{f2} - Y_{f1}}{t_{f2} - t_{f1}} \quad (y \cdot \text{nap}^{-1}),$$

ahol D_y a változás dinamikai mutatója, az Y_{f1} és Y_{f2} a vizsgált jellemző, két egymást követő érési állapot mintázási időpontjaiban (t_{f1} , t_{f2}).

Karotinoid színanyag és antioxidáns profil alapján *főkomponens analízissel (PCA)* vizsgáltuk a megfigyelési egységek (fűszerpaprika minták) csoportba rendeződését. A főkomponens-súly jelentőségének eldöntésére az $a_{ij}^2 \geq r_{5\%}$ kritériumot alkalmaztuk.

A tárolási kísérletek során a színstabilitás elemzése *reakció kinetikai számítások* alapján történt. A 2014-es minták vizsgálati adatai alapján *regresszió analízissel* becslő egyenletet állítottunk fel, amellyel a gyorsított vizsgálat eredményei vonatkoztathatóak a raktári feltételekre. A becslés megbízhatóságának független elemzését torzítással (PME%), eltérés-

négyzetösszegek gyökével (RMSD), variációs koefficienssel ($CV_{\text{RMSD}}\%$) és linearitás vizsgálatával végeztük.

EREDMÉNYEK

A Meteorit és a Mihálytelki *fajták termesztése* a konvencionális és a bio területeken mindkét évjáratban eredményesnek tekinthető. A Meteorit betegségekkel szembeni rezisztenciája, és a Mihálytelki toleranciája egyértelműen megmutatkozott. A bio (palántázott) Meteorit állományban a terméskötések száma 2014-ben 31%-al, 2015-ben 12%-al több volt, mint a helyrevertett konvencionális esetében. A Mihálytelki fajtánál eltérő tendencia jelentkezett, mivel a konvencionális állományban 2014-ben 24%-al, 2015-ben 10%-al alakult kedvezőbben a termések száma. A rezisztenciával, vagy betegség- toleranciával nem rendelkező fajtáknál (Szegedi-20 és Kármin) az ökológiai gazdálkodásban engedélyezett növényvédelmi kezelések kedvező évjáratban sem hatékonyak. A kiterjedt betegségtünetek mellett a terméskötések nagyszámú elmaradása jellemző.

A *termések morfológiai paramétereit* elsősorban a fajta determinálta. A termesztési eljárás nem volt hatással ($p > 0,05$) a bogyó tömeg, hosszúság, átmérő és kocsányméret alakulására. Ez az eredmény várható volt a kísérletbe bevont fajták egyedi tulajdonságai miatt. A morfológiai paraméterek alapján, a Meteorit az évjárattól és termesztési módszertől függetlenül ($p > 0,05$), a többi fajtához képest kiemelkedő tömegű (33,7-36,0g) bogyókat termelt. A bogyóméret adatok tekintetében is kiemelkedett a többi minta közül. A Meteorit terméseket követik a Mihálytelki majd a Kármin bogyók (26,29g és 24,65g bogyótömeg, 107,1 és 101,9mm hosszúság, 23,7 és 22,9mm átmérő, 2,4mm és 2,3mm termésfal). A morfológiai paraméterek kisebb értékeit a Szegedi-20 paprikák esetében mértük (22,95g bogyótömeg, 102,0mm hosszúság, 22,1mm átmérő, 2,2mm

termésfal). Általában a 2015-ös termékek paraméterei jelentősen alulmaradtak a kísérlet első évének adataihoz viszonyítva. Megállapítható, hogy a 2014-es évben a bio paprika bogyók tömegei és méretei kisebbek voltak a konvencionális termékekhez képest. A következő évben eltérő tendenciák figyelhetők meg, ugyanis a konvencionális termékek adatai alakultak kedvezőtlenebbül. A korrelációanalízis alapján a nagyobb bogyótömeget elsősorban a nagyobb termésfal vastagság ($r=0,652$, $p<0,001$), és a bogyó átmérő ($r=0,625$, $p<0,001$) eredményezte, míg a bogyóhosszúsággal kevésbé szoros az összefüggés ($r=0,554$, $p<0,001$). A kocsány hosszúság nem mutatott összefüggést a többi méret adattal, vagy a bogyótömeggel ($r= 0,214- 0,373$).

A *szárított termésfal és a mag* a fűszerpaprika legértékesebb alkotórészei, mennyiségük alapvetően meghatározza az előállítható késztermékek mennyiségét, és minőségét. Az évjáratati főhatás mindkét paraméter esetében jelentősebb hányadot magyarázott meg az összes varianciából ($\eta^2_{\text{termésfal}}= 49\%$, $\eta^2_{\text{mag}}= 51,7\%$), mint a többi tényező. A termesztés és a fajta átlagában a 2014-es mintákból kinyert szárított termésfal mennyisége kevesebb volt (60,91%), mint 2015-ben (67,37%). A magtartalom esetében a 2014-es főátlag nagyobb volt (22,38%), mint a kísérlet második évében (16,53%). Megállapítható, hogy a két paraméter fordított arányban áll egymással. A korrelációanalízissel kimutatható, hogy a termésfal tömegszázalékban kifejezett mennyisége szoros negatív összefüggésben van a magtartalommal ($r= -0,881$, $p<0,001$), és a placentával ($r= -0,735$, $p<0,001$), míg a kocsánnyal nem áll összefüggésben.

Az érési folyamatban (biológiai érés és a technológiai utóérlelés) a fűszerpaprika minták *szárazanyag tartalom* változása harmadfokú polinommal jellemezhető. Számottevő változások a zöld-kormos átmeneti szakaszban, és az utóérlelés során történtek. A változás dinamikáját alapvetően az évjárat determinálta. Az egyes évjáratokban a termesztési

módszerek csekély mértékben befolyásolták a változásokat, azonban a konvencionális szárazművelés előnyös hatást mutatott.

A kivonható összes **színezéktartalom** (ASTA értékek) változása az érés során szimmetrikus logisztikus függvénnyel írható le. A zöld bogyók őrleményeiből mérhető igen alacsony kiindulási (8,9-22,8 ASTA) színezéktartalom a sárga színű nem-észterezett karotinoidoknak tulajdonítható. A halványpiros-piros szakaszban találhatóak a függvények inflexiós pontjai, ezáltal a színanyag felhalmozódás maximális üteme. A dinamikát alapvetően a fajta főtenyező determinálta ($\eta^2=45,7\%$), ezt követi az évjárat és a termesztés (16,6-21,0%). A fő érési szakaszban a legintenzívebb mutatókkal a 2015-ös konvencionális Szegedi-20, Kármin, és Mihálytelki fajták termései rendelkeztek. A 2014-es minták közül a konvencionális Szegedi-20 és Kármin emelkedik ki. A Meteorit termései szignifikánsan a legkisebb dinamikai mutatókkal rendelkeztek mindkét évjáratban. Az utóérlelési szakaszban a színezéktartalom felhalmozódási üteme drasztikusan csökkent, dinamikai mutató varianciáját a fajta determinálta a legerősebben ($\eta^2= 44,9\%$). Ezt követi az évjárat*termesztés*fajta interakció (19,3%), és az évjárat (17,0%). A Kármin terméseire jellemző a legintenzívebb színanyag felhalmozódás, ezt követi Szegedi-20, majd a Meteorit és Mihálytelki. Az évjáratok átlagában a konvencionális Kármin színezéktartalma 275,3 ASTA, a Szegedi-20 258,2 ASTA, a Mihálytelki 230,5 ASTA, a Meteorit 178,1 ASTA. A bio paprikák esetében a Kármin 224,2 ASTA, a Szegedi-20 204,8 ASTA, a Mihálytelki 202,9ASTA, a Meteorit 175,0 ASTA színezéktartalommal rendelkezett. A logisztikus függvény „A” paramétere az utóérlelt színezéktartalomtól magasabb becsült telítettségi szinteket mutatott. Feltételezhető, hogy a termékek ezeket a színezéktartalmakat érték volna el, amennyiben az utóérlelés folytatódik. Ez azt jelentheti, hogy a modell segítségével

értékelhető, hogy post-harvest műveletek során mennyire közelítettük meg az elméletileg elérhető legjobb minőséget.

A HPLC-s vizsgálatok során a fűszerpaprika mintákból 55 féle **karotinoid** származékot azonosítottunk, érési állapottól függően. A zöld színű paprika bogyókban csak sárga színű nem-észterezett karotinoidok találhatóak: neoxantin, violaxantin, luteoxantin, anteraxantin, kukurbitaxantin A, mutatoxantin, lutein és β -karotin. A fűszerpaprikára jellemző piros színű karotinoidokat nem lehetett detektálni, amikor az érési folyamatokra utaló színváltozásokat sem láthattunk a terméseken. Érési állapot szerinti hierarchikus főkomponens analízissel a megfigyelési egységek (fűszerpaprika minták) az első főkomponens mentén évjárat szerint, második főkomponens tengely mentén termesztési eljárás szerint rendeződtek. A főkomponens súlyok elemzése alapján megállapítható, hogy az évjárat hatása módosította a vizsgált fajták színanyag profilját. A termesztési eljárásokból adódó különbségek elsősorban a komponensek mennyiségében nyilvánultak meg. Összes karotinoid, piros/sárga színanyagok aránya és végül észterezettség (nem-észterezett karotinoidok, monoészterek és diészterek) csoportosításban függvények illesztésével és analízisével elvégzett érésdinamikai értékelés további összefüggéseket tárt fel. A 2015-ös kedvező évjáratban a piros és sárga színanyagok felhalmozódása gyorsabb volt, és korábban érte el a maximumát. A konvencionális minták többségénél a diészterek képződése nem teljedt ki. A 2015-ös bio mintákban az észtereződési reakciók lezajlása eltérőek voltak, mint 2014-ben. Az utóérlelés során a piros színanyagok keletkezése került előtérbe a sárga színanyagokkal szemben, valamint az észtereződési folyamat került előtérbe a monoészterek keletkezésével szemben.

Az ***α -tokoferol*** szintézis az érés során szimmetrikus logisztikus függvénnyel közelíthető. A minták többségénél a kormos-halványpiros szakaszban találhatóak az inflexiós pontok, vagyis a szintézis maximális

sebességei. Az évjárat tényező ($\eta^2= 33,6\%$) jelentős hányadot magyarázott meg a dinamika varianciájából, de az évjárat*fajta interakció hatáserőssége is számottevő (24,1%). Megfigyelhető volt, hogy a lassabb színanyag felhalmozódás esetén az α -tokoferol szintézis üteme intenzívebb. Az utóérlelt 2014-es konvencionális Szegedi-20 rendelkezett a legnagyobb α -tokoferol tartalommal (762,58 $\mu\text{g/g}$). A 2014-es bio termékek között nem volt szignifikáns különbség (átlagosan 653,62 $\mu\text{g/g}$, $p> 0,05$). 2015-ben a konvencionális Mihálytelki és bio Szegedi-20 (586,53 és 577,84 $\mu\text{g/g}$, $p> 0,05$) mintákból mértük a legnagyobb α -tokoferol mennyiséget. Ezt követte a konvencionális Szegedi-20 és Meteorit, valamint a bio Kármin (átlagosan 555,39 $\mu\text{g/g}$, $p> 0,05$). A konvencionális Kármin, a bio Meteorit és Mihálytelki α -tokoferol tartalma volt a legkisebb, a minták között nem volt szignifikáns különbség (átlagosan 532,01 $\mu\text{g/g}$, $p> 0,05$).

A **β -tokoferol** szintézise logisztikus függvényvel jellemezhető, ez arra utal, hogy antioxidánsként nem, vagy csak csekély aktivitással vesz részt az oxidatív károsodásokkal szembeni védekezésben. Koncentrációja az utóérlelt termékekben (8,65-15,37 $\mu\text{g/g}$) csekély.

A **γ -tokoferol** tartalom csökkent a halványpiros-piros átmenetben lezajló intenzív színanyag szintézis során. A felhasználás dinamikáját az évjárat mellett ($\eta^2= 20,8\%$), a tényezők interaktív kapcsolatrendszere determinálta ($\eta^2= 24,5\%$). A 2015-ös évjárat eredményei arra utaltak, hogy az intenzívebb színanyag képződés miatt fokozódott a γ -tokoferol szintézis, de ezzel együtt a felhasználás intenzitása is növekedett. Koncentrációja az utóérlelt és szárított termésfalban 4,38-9,54 $\mu\text{g/g}$ között volt.

Az **L-aszorbinsav** felhalmozódás dinamikájában két intenzív szakasz található: a zöld-kormos, és halványpiros-piros átmenetben. Az utóérlelés során 13-33% csökkenés jelentkezett, a felhasználás dinamikáját a tényezők interaktív kapcsolatrendszere determinálta ($\eta^2_{\text{évjárat*fajta}}=32,8\%$, és $\eta^2_{\text{évjárat*termesztés*fajta}}=20,5\%$). Az L-aszorbinsav tartalom a bio termesztéssel

kedvezőbben alakult (főátlag: 12595,89 $\mu\text{g/g}$), mint a konvencionális paprikákban (9865,47 $\mu\text{g/g}$). Ez a tendencia a magasabb kiindulási értékeknek, és a szintézis nagyobb intenzitásának tulajdonítható.

A feldolgozott termésekből készített **örlemények színezéktartalom bomlása a tárolás során** nullad rendű reakció kinetikai modellel írható le. A reakció sebességi állandó varianciáját a fajta főtenyező döntően determinálta ($\eta^2 = 58,5\%$), de számottevő a termesztés (18,0%) hatása is. A pszeudo reakció sebességi állandók alapján kiemelkedő színezéktartalom stabilitással rendelkeztek a Meteorit és a Mihálytelki fajták (-0,122 és -0,169 $\text{ASTA} \cdot \text{nap}^{-1}$). Ezeket követi a Szegedi-20 és Kármin (-0,206 és -0,225 $\text{ASTA} \cdot \text{nap}^{-1}$). A nagyobb ASTA értékű örleményekben a színvesztés gyorsabb. Regresszió analízissel megállapítható, hogy egységnyi növekedés a kiindulási ASTA értékben várhatóan 0,00127 $\text{ASTA} \cdot \text{nap}^{-1}$ –al növeli a reakciósebességet.

A fotokémiai hatáson alapuló **gyorsított tárolási kísérlet**ben a színezéktartalom bomlás jelentősen felgyorsul. A pszeudo reakció sebességi állandók (k) értékei 2000lux esetén 9-szer, 4000 lux esetén 10-11-szer, 6000lux megvilágítással 11-12-szer nagyobbak voltak, összehasonlítva a raktári (0 lux) tárolással. A fényintenzitás (I), és a minőség-megőrzési idő (θ s) összefüggése hatványkitevős regressziós kapcsolattal írható le: $y_i = \beta_0 \cdot x_i^{\beta_1}$, amelynek linearizált alakja $\ln y_i = \beta_0 + \ln \beta_1 \cdot x_i$. A gyorsított vizsgálat alapján, a raktári feltételeken várható minőség megőrzési idő az alábbi empirikus összefüggéssel becsülhető:

- adott ASTA értékre ($[C]$): $\Theta_{S[C]} = \frac{[C] - [C]_0}{-k \cdot I^b}$
- vagy adott ASTA színvesztésre ($[C]_{\text{veszt}}$): $\Theta_{S[C]_{\text{veszt}}} = \frac{[C]_{\text{veszt}}}{k \cdot I^b}$

ahol b kitevő a regressziós egyenlet β_1 paramétere, a gyorsítási faktor

A torzítás (PME%) meghatározásával és statisztikai jellemzésével kimutattuk, hogy a modell felülbecslést ad. A kinetikai paraméterek

középértékeinek felhasználásával, valamint a torzítással végzett számítási korrekcióval a becült és a tényleges adatok közötti eltérést 1,00-1,07%-ra csökkentettük. A modell teljesítményét értékelő paraméterek (RMSD, $CV_{\text{RMSD}}\%$, és linearitás) igazolták a pontosság javulását.

Az *alternatív színtabilizálási* eljárásokat gyorsított tárolással (6000lux), gyenge színtabilitású alapanyagokkal vizsgáltuk ($k = -2,869 - -4,672 \text{ ASTA} \cdot \text{nap}^{-1}$). Az adalékok közül a tokoferol készítmény bizonyult a leghatékonyabbnak. A reakció sebességi állandó a kezelt bio őrleményben közel felére (48%-al) csökkent, a konvencionális és a napon szárított őrleményekben pedig több mint felére (60-61%-al). Ennek következtében a $\theta_{s[100\text{ASTA}]}$ időtartamok a bio minta esetében kétszeresre növekedtek (275nap), míg a konvencionális, és az import mintáknál 2,5-szeresre (458 és 459 nap). A rozmaring kivonat is jelentősen növelte a színezék tartalom megtartást, de a hatékonysága mérsékeltebb volt. A hidegen sajtolt paprika magolaj 6%-os bedolgozásával a bio őrlemény 188 napig, a konvencionális 293napig, a napon szárított 261 napig tartották meg az I. osztályú minőséget ($\theta_{s[100\text{ASTA}]}$). Ez azt jelentette, hogy a minőség-megőrzési idő 1,3-1,5-ször hosszabb volt, mint a kezeletlen mintáknál.

TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

1. A dolgozat kísérleti tervével egy komplex vizsgálati és adatfeldolgozási rendszert alakítottam ki a terméselemzési és érésdinamikai kutatásokhoz.
2. Megállítottam, hogy a rezisztenciával, vagy betegség- toleranciával nem rendelkező fajták (Szegedi-20 és Kármin) ökológiai eljárással történő termesztése kedvező évjáratban sem eredményes. A biogazdálkodásban kizárólag a betegségekkel szemben rezisztens vagy toleráns fűszerpaprika fajták használhatóak biztonságosan.

3. Bizonyítottam, hogy a függvényillesztési és elemzési adatfeldolgozással értékelhető az termésérési folyamatok kiteljesedése, ezáltal a genotípusban rejlő lehetőségek és tulajdonságok mélyreható elemzése is megvalósítható. Továbbá kimutatható a különböző tényezők (például évjáratok és termesztési eljárások) érési folyamatokra gyakorolt hatása.

4. Kimutattam, hogy a γ -tokoferol az intenzív színanyag szintézis során (halványpiros-piros átmenet), az L-aszkorbinsav pedig az utóérlelés során jelentős aktivitással részt vett az oxidatív károsodások elleni védelemben. A felhasználás dinamikáját az évjárat, a termesztés és a fajta tényezők interaktív kapcsolatrendszere determinálta.

5. A konvencionális és bio termékek vizsgálatával megállapítottam, hogy

5.1. a színanyag felhalmozódás maximális üteme a halványpiros-piros színátmenettel jellemezhető érési szakaszban található, a dinamikát elsődlegesen a fajta befolyásolta, a termesztési eljárás és az évjárat hatása másodlagos

5.2. bio termesztéssel az érés dinamikája szignifikánsan lassabb volt, mint konvencionális termesztéssel.

5.3.. főkomponens analízis alapján a karotinoid és antioxidáns profilban az évjáratoknak és a termesztési eljárásoknak tulajdonítható módosulások azonosíthatóak.

5.4. az őrlemények színstabilitását jellemző kinetikai paramétereket elsősorban a fajta befolyásolta, másodsorban a termesztési eljárás. Az alacsonyabb ASTA színértékű őrlemények kisebb pseudo reakciósebességi állandókkal rendelkeznek.

6. Reakció kinetikai elvek alapján fénysugárzással gyorsított minőség-megőrzés vizsgálati módszert dolgoztam ki. Igazoltam, hogy az eljárás a színanyag-bomlás gyorsítása mellett az érzékszervi tulajdonságok változását is közelíti a tényleges tárolás során fellépő jelenségekhez.

7. Igazoltam, hogy a hidegen sajtolt paprika magolaj bedolgozásával az őrlemények a színanyag bomlása számottevően mérsékelhető. Azonban az eljárás hatékonysága gyengébb, mint a természetes eredetű tokoferol- és rozmarin kivonat antioxidáns készítmények alkalmazása.

KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK

A betegségekkel szemben rezisztens vagy toleráns fajták biztonságosan használhatóak a biogazdálkodásban. Azonban a termésmennyiség javítása érdekében az ökológiai gazdálkodás feltételrendszerének is megfelelő tápanyag-ellátási kísérletekre lenne szükség. A rezisztenciával, vagy betegség- toleranciával nem rendelkező fajták esetében az ökológiai gazdálkodásban engedélyezett növényvédelmi kezelések kedvező évjáratban sem hatékonyak.

A konvencionális technológiában alkalmazott nagyobb mértékű tápanyagellátás, és a növényvédelmi kezelések megfelelő vízellátás esetén kedvezőbb morfológiai paramétereket eredményeztek. Azonban szárazműveléssel a kevésbé csapadékosabb évjáratban mérséklődött a konvencionális technológia bogyó-fejlődésre gyakorolt hatása. A 2014-es jelentős csapadék mennyiség, és 2015-ben a bio területeken alkalmazott öntözés összefüggésbe hozható a nyers bogyók nagyobb morfológiai jellemzőivel, de ez nem eredményezett nagyobb szárított termésmennyiséget. A csapadékban szegényebb 2015-ös évben a pirosra érett konvencionális paprikák nagyobb szárazanyag tartalommal rendelkeztek a

szárazművelés miatt, és ez együtt járt a kiemelkedő szárított termésfal mennyiséggel és a kevesebb magtartalommal. Az eredmények a tápanyagellátás mellett rámutatnak a vízellátás szabályozásának fontosságára is. A kísérlet második évében egyértelműen bebizonyosodott, hogy a több napfénytartam, a magasabb középhőmérséklet, valamint a hőségnapok nagyobb száma gyorsabb szárazanyag felhalmozódást eredményez.

A színanyagok (ASTA, összes karotinoid) felhalmozódását leíró logisztikus függvényből fontos gyakorlati információk nyerhetők. Megállapítható a felhalmozódás maximumának időszaka és az utóérlelés során elérhető maximális színezéktartalom. A konvencionális termesztés technológia egyértelműen hozzájárult a nagyobb színezéktartalom értékek kialakulásához. Különösen a 2015-ös kedvező évjáratban a gyakoribb és intenzívebb tápanyag utánpótlás növelte a konvencionális-bio színezéktartalom különbségeket. Az utóérlelés dinamikájának vizsgálata megmutatta, hogy a kedvezőtlenebb évjáratban a lassabb ütemű biológiai érés valamelyest kompenzálható az utóérlelés során, megfelelő tárolási feltétel és időtartam esetén. A színezéktartalom alapján az utóérlelt paprikák alkalmasak voltak kiváló minőségű őrlemények előállítására. A Meteorit paprikák színezéktartalma jelentősen elmaradt a többi fajtához viszonyítva, de a kiváló termesztési mutatók miatt fontos szerepet játszik a gazdaságok eredményességében.

A karotinoid színanyagok változására szín (piros, sárga) és észterezettség szerinti bontásban illesztett függvények elemzésével következtetni lehet az egyes színanyag-csoportok szintézisének kiterjedésére. Továbbá a fajták, évjáratok és a termesztési módszerek hatásainak tulajdonítható eltérések is azonosíthatóak.

Az érési folyamatokban az α -tokoferol és a β -tokoferol antioxidánsként nem, vagy csak csekély aktivitással vett részt az oxidatív károsodásokkal szembeni védekezésben. A termesztési módszerek csekély

mértékben determinálták a felhalmozódást. A 2014-es évjárat (több csapadék, a kevesebb napfénytartam, az alacsonyabb középhőmérséklet, valamint a kevesebb hőségnap) a kormos-piros érési szakaszokban kedvező hatással volt az α -tokoferol szintézis dinamikájára, és ennek eredményeként a termések α -tokoferol tartalma magasabb volt, mint 2015-ben.

A γ -tokoferol tartalom drasztikusan csökkent a halványpiros-piros színátmenettel definiált intenzív érési szakaszban, amely arra utal, hogy jelentős aktivitással részt vett az oxidatív stressz elleni védelemben. Az utóérlelés alatt a γ -tokoferol szint regenerálódott, ekkor az elsődleges antioxidáns szerepet az aszkorbinsav vette át. A bio paprikákban nagyobb volt az L-aszkorbinsav tartalom, mint a konvencionálisakban, ugyanis a korábbi érési szakaszokban a szintézis intenzitása is nagyobb volt.

Az érési stádiumonként végrehajtott főkomponens analízissel évjárat és termesztési eljárásoknak tulajdonítható módosulásokat lehetett kimutatni a karotinoid és antioxidáns profilban. Az évjárat jelentős eltéréseket okozott a karotinoid profilban, minden érési stádiumban találhatóak olyan színanyagok, amelyek jelenléte adott évjárhoz köthető. Az eredmények arra utalnak, hogy a karotinoid színanyag profil összetétele és az évjárat (meteorológiai) hatások között összefüggés van. A pontos feltáráshoz több évjárat átfogó vizsgálatára lenne szükség. A főkomponens-súlyok elemzésével megállapítható, hogy nem találhatóak olyan egyedi karotinoid színanyagok, amelyek alapján a bio és konvencionális termesztésű paprikák megkülönböztethetők. Termesztési eljárás alapján csak mennyiségi eltérés fordult elő a színanyagokban.

A bio és konvencionális termésekből készített őrlemények tárolási színtabilitását elsősorban a fajta befolyásolta, másodsorban a termesztési eljárás. A két tényező meghatározó szerepe annak tulajdonítható, hogy a nagyobb kiindulási ASTA színértékű őrleményekben gyorsabb a színanyagok bomlása (nagyobb pszeudo reakciósebességi állandók). Ennek

ellenére, a magas kezdeti színezéktartalmú paprikák ASTA értéke a tárolási idő nagy részében az alacsonyabb kiindulási színértékű paprikák színértéke felett maradt. A magas színezéktartalmú paprika fajták termesztése fontos, hogy a feldolgozók egész évben kiegyenlített minőségű őrlemény termékeket állítsanak elő.

A kutatás során kifejlesztett gyorsított minőség-megőrzési vizsgálattal előzetesen becsülhető a fűszerpaprika őrlemények minőség csökkenése, valamint rövid időn belül értékelhető a termesztéstechnológiai kísérletek vagy más termékfejlesztési munkák eredménye. A fénysugárzással gyorsított vizsgálat előnye, hogy az érzékszervi változásokat is közelíti a tényleges tárolás során fellépő jelenségekhez, amely a hőmérséklettel gyorsított eljárásoknál nem teljesül. A kutatási vagy termékfejlesztési célokhoz igazodva, az eredmények értékelése több szempontból lehetséges, a reakció sebességi állandók (napi vagy havi színbomlás), adott ASTA színérték veszteség és/vagy ASTA célérték eléréséhez szükséges időtartam becslése alapján. A vizsgálati eljárás kiterjeszhető fényérzékeny komponenseket tartalmazó más termékekre is, azonban a becslés pontosságának értékelését a dolgozatban bemutatott módon el kell végezni. Jövőbeni feladat a bemutatott eszköz tovább fejlesztése, hogy általánosan alkalmazható „vizsgáló eszközzé” váljon.

A kedvezőtlen meteorológiai és/vagy post-harvest hatások miatt gyengébb színstabilitással rendelkező paprika készletek is keletkezhetnek. A természetes eredetű antioxidáns készítmények, és a paprika magolaj alkalmasak arra, hogy az őrleményekbe bedolgozva mérsékeljék a felgyorsult színanyag bomlást. A hidegen sajtolt paprika magolaj hatékonysága kisebb, a tokoferol- vagy rozmaring kivonatokkal összehasonlítva. Azonban a paprika saját komponenseivel történik a színvesztés késleltetése, más növényi eredetű adalékanyag helyett. A magolaj további jelentős előnye, hogy az antioxidáns komponensek a magok

beőrlése nélkül hasznosulnak, vagyis a magok által okozott hígulásból adódó színanyag tartalom csökkenés nem következik be. Végeredményben a paprika őrlemények eredeti jellemzői nem változnak meg. További kutatási feladatot jelent a magolaj hatásmechanizmusának feltárása, és erre alapozva a hatékonyság növelése.

AZ ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉHEZ KAPCSOLÓDÓ PUBLIKÁCIÓK

1. Tudományos publikációk

1.1. Nemzetközi tudományos lapokban megjelent publikációk (IF)

Koncsek, A., Kruppai, L., Helyes, L., Bori, Zs. and Daood, H.G. (2016): Storage Stability of Carotenoids in Paprika from Conventional, Organic and Frost-Damaged Spice Red Peppers as Influenced by Illumination and Antioxidant Supplementation. *Journal of Food Processing and Preservation* 40, 453–462.p., 12/2015; DOI: 10.1111/jfpp.12623, Impact Factor: 0.791

Koncsek, A, Daood, H.G. and Helyes, L. (2016): Kinetic of carotenoid degradation in spice paprika as affected by storage temperature. *Acta Alimentaria* 45 (4), 459–468.p., DOI 10.1556/066.2016.45.4.1. Impact Factor: 0.357

Nagy, Zs., Daood, H.G., Koncsek, A., Molnár, H. and Helyes, L. (2017): The simultaneous determination of capsaicinoids, tocopherols, and carotenoids in pungent pepper powder. *Journal of Liquid Chromatography & Related Technologies*, 40 (4), 199–209.p., DOI: 10.1080/10826076.2017.1297722 Impact Factor: 0.697 (2016)

Koncsek, A., Helyes, L. and Daood, H. (2018): Bioactive compounds of cold pressed spice paprika seeds oils. *Journal of Food Processing and Preservation* 42 (1) e13403. Accepted: 1 June 2017. DOI: 10.1111/jfpp.13403. Impact Factor: 0.791

1.2 Hazai tudományos lapokban megjelent publikációk (nem IF)

1.2.1. Angol nyelven

Koncsek, A., Horvath, H.Zs, Daood, H.G. and Helyes, L. (2016): Colour evolution of Hungarian red spice paprika varieties from conventional and organic farming. *Analecta Review of Faculty of Engineering*, 10 (1), 6-15.p.

1.2.2. Magyar nyelven

Koncsek Arnold, Daood Hussein G., Miklós Nagy Csaba, Helyes Lajos (2015): Konvencionális és ökológiai termesztésből származó fűszerpaprika összehasonlító értékelése. *Kertgazdaság* 47. évf. 3. sz. / 2015

2. Egyéb tudományos művek

2.1. Konferencia kiadvány (Proceeding, angol nyelven)

Koncsek, A. and Daood H.G. (2010): Changes carotenoid pigments of antioxidant supplemented spice paprika during storage. (227-230.p.) *In: Proceedings of Pigments in Food, 6th International Congress. Budapest, Hungary 20-24 June, 2010, 376.p.*

2.2. Konferencia kiadvány (Proceeding, magyar nyelven)

Markovics, E., Koncsek, A., Zsikai, A. (2008): A fűszerpaprika gyártás minőség alapú hatékonyságnövelése a szegedi Rubin Kft-nél. (40-48.p.) *In: Molnár, P., Boross, F. (Szerk.): XVI. Élelmiszer minőségellenőrzési tudományos konferencia (Tihany, 2008. ápr. 24-25.), Konferencia kiadvány. Budapest: EOQ MNB, 354 p.*