

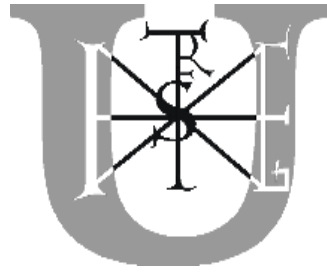
Szent István Egyetem

Doktori értekezés tézisei

Ambrózy Zsuzsanna

Gödöllő

2020



SZENT ISTVÁN EGYETEM

**FOTOSZELEKTÍV ÁRNYÉKOLÓ HÁLÓK HATÁSÁNAK
VIZSGÁLATA KÉT ELTÉRŐ PAPRIKA FAJTA
TERMÉSMENNYISÉGÉRE ÉS MINŐSÉGI
PARAMÉTEREIRE**

Ambrózy Zsuzsanna

Gödöllő

2020

A doktori iskola

Megnevezése: Növénytudományi Doktori Iskola

Tudományága: Növénytermesztési és kertészeti tudományok

Vezetője: **Dr. Helyes Lajos**
egyetemi tanár, intézetigazgató, tudományos rektor helyettes
Szent István Egyetem, Mezőgazdasági- és Környezettudományi Kar
Növénytermesztés-tudományi Intézet

Témavezető: **Dr. Helyes Lajos**
egyetemi tanár, intézetigazgató, tudományos rektor helyettes
Szent István Egyetem, Mezőgazdasági- és Környezettudományi Kar
Növénytermesztés-tudományi Intézet

Dr. Daood Hussein
címzetes egyetemi tanár, CSc.
Szent István Egyetem
Regionális Egyetemi Tudásközpont

.....
Az iskolavezető jóváhagyása

.....
A témavezető jóváhagyása

.....
A témavezető jóváhagyása

1. A MUNKA ELŐZMÉNYEI, A KITŰZÖTT CÉLOK

Az étkezési paprika jelentősége hazánkban vitathatatlan, az egyik legnagyobb mennyiségben termelt zöldségfajunk. A paprika hazai fogyasztása is jelentős, évi 14 kg/fő felett van. A paprika gazdag forrása a vitaminoknak és az ásványi anyagoknak, mindenképp helye van az egészséges étrendben. Emellett a paprika hungarikum, kultúránk, a magyar gasztronómia és az élelmiszeripar szerves részét képezi a török hódoltság óta. Számos családnak jelent megélhetést a paprika termesztése, főként a dél-alföldi régióban. Bevételük nagyságát a termésmennyiség, és a minőség határozza meg.

Azonban napjaink szélsőséges időjárási viszonyai között egyre nagyobb problémát jelent a növényeket érő hőstressz és az intenzív besugárzás, mely napégést, és ezáltal termésmennyiség és termésminőség csökkenést eredményezhet. Ezekre a problémákra megoldást jelenthetnek a fotoszelektív árnyékoló hálók. A mediterrán és a szubtrópusi vidékeken az árnyékoló hálók használata napjainkra már elterjedt technológiának számít a hő- és fénystressz elleni védekezésben (LEGARREA et al, 2010). Emellett számos kutatás bizonyítja, hogy az árnyékoló hálókkal kialakított kedvező mikroklíma a mediterrán régióban növeli a piacképes termés mennyiségét, és csökkenti a napégés kockázatát (SHAHAK 2008; RIGAKIS et al. 2014; FERREIRA et al. 2014). A klímaváltozás hatására hazánkban is megkezdődtek a kutatások, LEDÓNÉ és munkatársai (2011) valamint OMBÓDI és munkatársai (2015, 2016) is értékes eredményeket publikáltak.

Azonban a hazai klimatikus viszonyok között ez a téma még nem eléggé kutatott. Ezért kulcsfontosságúnak számít egy olyan tanulmány, amely a fotoszelektív árnyékoló hálók alkalmazásának előnyeit és hátrányait egyaránt bemutatja hazai körülmények között, kitérve a legfontosabb értékmérő tulajdonságokra, mint a termésmennyiség, minőség és a beltartalmi tulajdonságok. Ám ezek alakulása nem csak a fényviszonyoktól és a hőmérséklettől függ, más tényezők, mint a fajta, a vízellátottság, a tápanyagtartalom, a termesztési technológia, az érettségi állapot stb. is befolyásolják.

Ezért kísérleteink során a termesztésben egyre nagyobb teret hódító kápia típusú paprika legfontosabb értékmérő tulajdonságait, a termésmennyiséget, a termés minőséget és beltartalmi paraméterei közül a C-vitamin tartalmat és a piros színért felelős színyanyagok, a karotinoidok mennyiségét vizsgáltuk. 2013-ban szabadföldön, 2014-ben szabadföldön és hajtásban, 2015-ben pedig csak hajtásban állítottuk be kísérleteinket. Az első évben öt fotoszelektív háló, a második és harmadik évben 3-3 háló hatását hasonlítottuk össze egymással és a kontroll állománnyal a feljebb említett értékmérő tulajdonságok vizsgálatára.

1.1 Célkitűzések

A doktori munkám során célul tűztem ki:

- a kápia fajtakörhöz tartozó 'Kárpia' és 'Karpex' fajták termesztését, a környezeti tényezők monitorozását a tenyészidőszak során, és az egyes fajták szedési idejének optimalizálását,
- a különböző színű fotoszelektív árnyékoló hálók hatásának vizsgálatát a 'Kárpia' és a 'Karpex' fajták termésmennyiségére, a termékek minőségére, a C-vitamin tartalomra, az összes karotinoid tartalomra és a karotinoid összetételre,
- annak értékelését, hogy hazánk klimatikus viszonyai között érdemes-e a napégés elleni védekezéshez különböző színű fotoszelektív árnyékoló hálókat alkalmazni a kápia fajtakörhöz tartozó paprikák termesztése során,
- a pirosra érő 'Kárpia' és 'Karpex' fajták érésdinamikai feltérképezését az érési stádiumok megadásával és az azokhoz tartozó karotinoid összetétellel, a komponensek mennyiségi és minőségi meghatározásával HPLC (High Performance Liquid Chromatography - Magas nyomású folyadék kromatográfiás) készülékkel mérve,
- a két termesztési technológia, (hajtatás és a szabadföldi termesztés) valamint a két fajta ('Kárpia' és 'Karpex') összehasonlítását a termésmennyiség, a minőség, a C-vitamin tartalom, és a karotinoid tartalom alapján.

2. ANYAG ÉS MÓDSZER

Kísérleteinket Gödöllőn, a Szent István Egyetem GAK Kht. Kertészeti Tanüzemében végeztük. 2013-ban szabadföldön, 2014-ben szabadföldön és Soroksár 70-es fóliasátorban, 2015-ben Richel 8 típusú növényházban állítottuk be kísérleteinket.

A kápia fajtakörhöz tartozó két fajtával, a 'Kárpia' F₁ hibriddel, és a valamivel vegetatívabb növekedésű 'Karpex' F₁ hibriddel dolgoztunk. A növényeket ikersorokba ültettük, a növényesűrűség 6,06 tő/m² volt. Az öntözővizet csepegtető rendszerrel jutattuk ki, napi mennyisége 4,6 mm volt négyzetméterenként. Tápanyagként Kemira Fertilcare I komplexet alkalmaztunk 0,2%-os koncentrációban, amit rendszeresen az öntözéssel egy menetben juttattunk ki, hetente 2 g/m²-es adagokban. A termesztés során kordonos támrendszert alkalmaztunk.

2013-ban szabadföldön 5 árnyékoló háló hatását vizsgáltunk, egyet Izraelből szereztünk be, a „CromatiNet Red Shade Net 40%” fantázia nevű piros színű árnyékoló hálót 40 %-os árnyékolási faktorial. A további négy háló a Magyarországon gyártott rózsaszín, sárga, zöld, és fehér színű raschel háló volt szintén 40%-os árnyékolási faktorial. 2014-ben szabadföldön és Soroksár 70-es

nagylégterű fóliasátorban is beállítottuk kísérleteinket, ebben az évben és 2015-ben is a piros, a fehér és a zöld árnyékoló hálók hatását hasonlítottuk össze a kontroll állománnyal. A hálókat két héttel a kiültetés után helyeztük ki az ikersorokra merőlegesen. A szabadföldi kísérlet során 2 m magas akácoszlopokra feszítettük ki őket, a Soroksár 70-es fóliasátornál kívülre kerültek, a Richel növényháznál a szellőztető rendszer miatt csak belülré kerülhettek. Az árnyékolt sávok szélessége 9 m volt.

Egy kezeléshez tartozó növények közül mindig véletlenszerűen kiválasztottunk ismétlésenként négyet melyen a méréseket, illetve a megfigyeléseket folytattuk. Négy ismétléssel dolgoztunk, tehát egy kezelésnél összesen négyszer négy, azaz 16 tövet vizsgáltunk.

A szedések a paprika biológiai érettségében történtek, az érésdinamikai vizsgálatok alapján felállított skálán a 6. érési stádiumban. Szabadföldön két alkalommal történt szedés, 2013-ban augusztus 27-én és október 2-án, 2014-ben augusztus 28-án és október 14-én. Hajtatásban háromszor szedtük meg a paprikákat, a 2014-es évben július 31-én, szeptember 25-én és október 31-én. 2015-ben a szedések augusztus 11-re, október 6-ra, és november 6-ra estek. Betakarításkor a bogyókat külön válogattuk: 2013-ban „piacképes”, „napégett”, és „betegséggel fertőzött” csoportokba. A csoportosítási szempontokat 2014-től kibővítettük a „repedt” kategóriával. Az ezekbe a csoportokba sorolt bogyók tömegét és darabszámát jegyeztük le. A mintázáshoz kezelésenként azt a 16 tövet szedtük meg, melyeken a felvételezéseket végeztük.

A betakarítást követően a paprikabogyókat azonnal feldolgoztuk. A paprikában lévő karotinoid bioszintézis a szedéssel nem áll meg. A laboratóriumba beérkezett paprikabogyókat feldaraboltuk és a perikarpiumot kézi botmixer segítségével 30 másodpercig homogenizáltuk. Ezt követően a C-vitamin kinyerését rögtön elkezdtük, a homogenizált minta maradékát -18°C -on lefagyasztva tároltuk. Ezen a hőmérsékleten tárolva a minták előkészítéséig a karotinoid tartalom nem csökken (LEONG & OEY 2012). Az analitikai mérések során mindig 4 ismétléssel dolgoztunk kivéve a 2013-as évet, amikor forráshiány miatt csak 3 ismétlést engedhettünk meg magunknak.

A C-vitamin és karotinoid tartalom meghatározása nagyhatékonyságú folyadékkromatográfiás eljárással történt, Hitachi Chromastar HPLC készülék segítségével. A C-vitamin kinyerését metafoszforsavas (3%) extrakciós módszerrel végeztük. A paprikában lévő karotinoidok kinyerésénél BIACS & DAOOD (1994) módszerét vettük alapul. Nyolc különböző érési fázist különítettünk el a karotinoid tartalom változásainak követése céljából.

A hőmérsékleti adatokról és a csapadékmennyiség alakulásáról a kísérleti téren elhelyezett Campbell CR21X meteorológiai mérőállomás szolgáltatta az adatokat. Hajtatásban 2014-ben és 2015-ben az egyes hálók alatt megmutatkozó hőmérsékleti különbségek kimutatására a Voltcraft DL-121TH USB-s hőmérséklet adatgyűjtő eszközt használtuk. 2015-ben egy további adatgyűjtő eszközt, a HOBO 64K felfüggeszthető hőmérséklet és fényintenzitás-mérőt is beszereztünk. Az

AP4 Levél Porométerrel a levélfelszín hőmérsékletet és a fotoszintetikusan aktív sugárzást (PAR, $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$) rögzítettük. 2013-ban összesen 8 alkalommal tudunk adatokat gyűjteni. A méréseket mindig a déli órákban végeztük. 2014-től a PAR fénytartományából érkező besugárzás mértékét a PAM-2500-as klorofill fluorométerhez csatlakoztatható mikroszenzor segítségével határoztuk meg. A SPAD érték, azaz a relatív klorofill tartalom mérése SPAD 502-es készülékkel, 2014-ben hajtásban 20 alkalommal, szabadföldön 18 alkalommal, 2015-ben összesen 8 alkalommal valósult meg.

A statisztikai vizsgálatokhoz az IBM SPSS 22 programot és a Microsoft Excel alkalmazás adatelemzés modulját használtuk. A hálók áteresztése és a hőmérséklet, valamint a hálók áteresztése és a relatív klorofill tartalom közötti kapcsolat viszonyát Pearson-féle korreláció analízissel vizsgáltuk. Az egyes fajták termésmennyiségét, bogyó átlag tömegét, C-vitamin tartalmát és karotinoid tartalmát két-tényezős ANOVA modellel értékeltük. A függő változó a termésmennyiség, a bogyó átlag tömeg, a C-vitamin tartalom és a karotinoid tartalom voltak, a független változók a szedési idő, az árnyékoló hálók és ezek interakciója volt. A páronkénti összehasonlítást Tukey HSD post-hoc teszttel végeztük. Az adatelemzés során az első fajú hiba 5% volt. A két paprika fajta termésmennyiségének, bogyóátlag tömegének, C-vitamin tartalmának és karotinoid tartalmának összehasonlításához páros t-próbát alkalmaztunk. Független mintás t-próbát használtuk a termesztési technológiák értékeléséhez. Azt vizsgáltuk, a szabadföldi és hajtásos termesztési technológia között van-e különbség a termésmennyiség, a C-vitamin tartalom és a karotinoid tartalom szempontjából. Amennyiben a szórások között szignifikáns különbség volt, Welch-próbát használtuk.

3. EREDMÉNYEK

3.1 Környezeti tényezők

2013-ban a tenyészidőszak során meleg és száraz volt az idő, főleg az első szedést megelőző időszakban. A kiültetéstől az utolsó betakarításig 252,3 mm csapadék esett. 2013-ban két alkalommal volt betakarítás, augusztus 27-én és október elsején. Az első szedés előtti 15 nap átlagos hőmérséklete $20,9\text{ C}^\circ$ volt, a második szedésnél 8 C° -kal alacsonyabb, $12,9\text{ C}^\circ$.

A 2014-es év jóval csapadékosabb volt, mint az előző év, és a hőmérséklet is alacsonyabb volt, mint 2013-ban. A csapadék eloszlása egyenletes volt. Kiültetéstől az utolsó betakarításig összesen 415,5 mm csapadék hullott, másfélszer több, mint a 2013-as évben. Két alkalommal történt betakarítás szabadföldön, augusztus 28-án és október 14-én. Az első szedés előtti 15 nap átlagos hőmérséklete $17,3\text{ C}^\circ$ volt, a második szedése 14 C° . Az augusztusi hazai átlaghőmérséklet a

szokásosnál jóval (4-5 °C-kal) hűvösebb volt. Hajtatásban háromszor takarítottunk be, július 31-én, szeptember 25-én és október 31-én. Az első szedés előtt 15 nappal az átlagos hőmérséklet a fóliasátorban 25,1 C° volt, a második szedésnél 18,1 C°, a harmadiknál pedig 11,5 C°.

2015-ben a tenyészidőszak során 305 mm csapadék esett. A hőségnapok száma (30 C° felett) majdnem duplája volt, mint amit 2014-ben tapasztalhattunk, azonban nagyobb hőmérsékleti ingadozások végigkísérték a tenyészidőszakot. 2015-ben három alkalommal történt betakarítás, augusztus 11-én, október 6-án és november 11-én. Az első szedés előtt 15 nappal az átlagos hőmérséklet 24,3 C° volt, a második szedésnél 16,8 C°, a harmadiknál 13,7 C° volt.

Hálók átérésztése a fotoszintetikusan aktív (PAR) tartományban

	Kontroll	Fehér	Piros	Zöld	Sárga	Rózsaszín	Külső
2013 Szabadföld	100 %	78-80%	63-68 %	75-84%	82-87 %	84-93 %	100 %
2014 Szabadföld	100 %	77 %	58 %	67 %	-	-	100 %
2014 Hajtatás	100 % 73 % -27 %	79 % 58 % -21 %	53 % 39 % -14 %	72 % 53 % -19 %	-	-	100 %
2015 Hajtatás	100 % 55 % -45 %	79 % 44 % -35%	56 % 31 % -25 %	71 % 40 % -31 %	-	-	100 %

Vastag betűvel: Külső környezethez viszonyított átérésztés; *Dőlt betűvel:* a kontrollhoz és a külső környezethez viszonyított átérésztés különbsége.

A gyártók által megadott árnyékolási faktor mértéke jelentősen eltért az általunk mért értékektől a PAR tartományban. A legtöbb fényt a rózsaszín háló eresztette át, ezt a sárga, fehér, zöld, és a piros háló követte. A Soroksár 70-es fóliasátornál az egyrétegű polietilén fóliás takarás önmagában is 27%-kal csökkentette a besugárzást a szabadföldhöz képest, a duplafalú fólia 45%-kal.

2015-ben a HOBO 64K felfüggeszthető fényintenzitás-mérővel megállapítottuk, hogy a 200 és 1200 nm közé eső fény spektrumot tekintve a kontrollhoz képest a fehér háló 86,7%-ot, a zöld háló 74,2%-ot, a piros háló pedig 63,2%-ot engedett át a besugárzásból. A különböző színű takaróhálók átérésztésének mértéke szignifikáns értékű pozitív korrelációt mutatott a különböző színű takaróhálók alatti átlagos hőmérséklettel ($R=0,97$; $p=0,03$), azaz minél nagyobb az átérésztés mértéke, annál melegebb a léghőmérséklet.

3.2 Relatív klorofill tartalom (SPAD)

2015-ös mérések alapján megállapítottuk, hogy a 'Karpex' paprikáknál szignifikánsan erős pozitív irányú kapcsolat van ($p=0,002$; $R=0,998$) az áteresztés mértéke és a SPAD érték között. Minél jobban áteresztették a fényt az árnyékoló hálók, annál magasabb volt a növények leveleinek relatív klorofill tartalma. Ezzel összhangban állnak LEGARREA és munkatársai (2010), DÍAZ-PÉREZ és munkatársai (2013), JANG és munkatársai (2014) valamint OMBÓDI és munkatársai (2015) által publikált eredmények. Ezek alapján a növekvő fotoszintetikusan aktív sugárzás (PAR) szignifikánsan magasabb klorofill tartalommal járt együtt paprika állományt vizsgálva. A 'Kárpia' paprikánál nem találtunk szignifikáns összefüggést ($p=0,074$; $R=0,926$).

3.3 Termésmennyiség és minőség

Hajtatásban és szabadföldön is az első szedés során érték el a legmagasabb termésátlagot. Szabadföldön az árnyékoló hálók közül a sárga színű háló szignifikánsan magasabb termésmennyiséget eredményezett a kontrollhoz képest. 2014-ben szabadföldi körülmények között a 'Kárpia' paprikánál a zöld hálónál szignifikánsan kevesebb volt a termésmennyiség, mint a kontroll esetében ($p=0,021$).

Hajtatásban 2014-ben az árnyékoló hálók és a kontroll között nem volt különbség a termésmennyiség tekintetében, 2015-ben viszont a piros színű árnyékoló háló mindkét fajtánál szignifikánsan alacsonyabb termésmennyiséget eredményezett, mint az árnyékoló háló nélküli kontroll ('Kárpia': $p<0,01$; 'Karpex' $p=0,014$). Ennek oka, hogy a Richel növényház duplafalú fólia borítása már túl sok fényt szűrt meg.

Az évjáráthatást vizsgálva megállapítottuk, hogy szabadföldön a 2013-as évben szignifikánsan kisebb volt a termésmennyiség, mint a 2014-es évben ($p=0,004$). Hajtatásban nem volt különbség a két év termésmennyisége között.

Szabadföldön a zöld háló volt az, ahol egyik fajtánál sem találtunk napégett bogyókat, valamint használatakor majdnem minden esetben egyöntetű bogyókat tapasztaltunk. Megállapítottuk azt is, hogy a napégés tüneteit mindkét fajta szinte azonos arányban mutatta. A 'Karpex' fajta valamivel fogékonyabb a betegségekre, a 'Kárpia' paprika pedig hajlamosabb a repedésekre. Azonban az összes termés mennyiséget nézve nagyobb arányban volt a piacképes paprika a hajtatás során, mint a szabadföldi termesztésnél. Továbbá szabadföldön több betegséggel fertőzött bogyót találtunk, mint hajtatásban. Ugyanakkor a hosszanti száraz repedések a paprikákon gyakoribbak voltak a hajtatás során.

3.4 C-vitamin tartalom

Kísérleteink során a C-vitamin tartalom 484,4 és 4288,6 µg/g között alakult. Az általunk termesztett paprikák több, mint kétszeres C-vitamin tartalommal rendelkeztek, mint SIMONNE és munkatársai (1997), MARTÍNEZ és munkatársai (2005) vagy DEEPA és munkatársai (2006) által termesztett paprikák. Kísérleteinkben a legmagasabb C-vitamin tartalmat 2013-ban szabadföldön mértük a rózsaszín árnyékoló háló alatt, a legalacsonyabb értéket 2015-ben hajtásban, a zöld háló alatt.

A négy kísérletből egyedül a rózsaszín hálónál 2013-ban szabadföldön mértünk szignifikánsan magasabb C-vitamin tartalmat, mint a kontrollnál ($p=0,024$). A rózsaszín háló eresztette át az árnyékoló hálók közül a legtöbb fényt. Ez egybehangzik MASHABELA és munkatársai (2015) állításával, ahol paprikában a legtöbb fényt átengedő gyöngyház háló volt a legjobb. Azt is megállapították, hogy a kék tartományba és a piros tartományba eső fény az, ami a C-vitamin tartalmat serkenteni tudja. Ebben a két tartományban alacsony a rózsaszín háló abszorbananciája a PAR tartományban, azaz a rózsaszín háló átengedi a kék és piros tartományba eső fényt.

A szabadföldi kísérleteknél minden esetben a második szedés eredményezett szignifikánsan magasabb C-vitamin tartalmat, annak ellenére, hogy 2013-ban 8 °C-kal, 2014-ben 3,3 °C-kal alacsonyabb volt az átlagos hőmérséklet a második szedésnél. Viszont az első szedéseknél többször és jóval több mennyiségű csapadék hullott le a betakarítást megelőző időszakban. A borult égbolt és a magasabb hőmérséklet, 29-34 °C nem kedvezett a C-vitamin bioszintézisének. Ez egybehangzik NAGY (2016) csili paprikában mért megállapításaival.

Hajtásban minden esetben az első két szedésnél találunk magasabb C-vitamin tartalmat a jobb fényellátottságú időszakban. 2014-ben hajtásban a 'Kárpia' paprikában, a hálók között nem volt szignifikáns eltérés ($p=0,13$). 'Karpex' paprikában árnyékolatlan kontrollnál mértük a legmagasabb C-vitamin tartalmat ($p=0,034$), az árnyékoló hálók negatív hatást gyakoroltak a C-vitamin tartalomra, a rossz fényviszonyok itt már csökkentették a C-vitamin asszimilációját.

Az évjáráthatást vizsgálva megállapítottuk, hogy a 2014-es év volt a legkedvezőbb a C-vitamin felhalmozódásához ($p<0,001$). Ebben az évben a szedéseket megelőző 15 napban hűvösebb volt a megszokottnál, a napi maximumok szabadföldön nem mentek 30 °C fölé, a legmagasabb C-vitamin tartalom 22 °C-os maximumok mellett alakult ki. A 2015-ös évben a 39-44 °C-os maximumok sem serkentették a C-vitamin bioszintézisét. Ebből arra következtetünk, hogy a C-vitamin termelődését is negatívan befolyásolja a magas, 30 °C feletti hőmérséklet.

3.5 Karotinoid tartalom és annak alakulása

Az érésdinamikai vizsgálatok során 8 különböző érési stádiumot különítettünk el, a zöld színű, csupán 5 sárga karotinoidot $10,29 \pm 0,4$ $\mu\text{g/g}$ mennyiségben tartalmazó paprikáktól egészen a már körülbelül 60 karotinoidot $728,58 \pm 164,96$ $\mu\text{g/g}$ mennyiségben tartalmazó túlérétt, mély bordó színű paprikáig. A kapszantin, a paprika legjelentősebb piros színű karotinoidja a kormosodás kezdetén jelenik meg. Az utolsó érési stádiumban a legmagasabb a paprika összes karotinoid tartalma, és a piros színű karotinoidok aránya. A biológiailag aktív komponensek mennyisége az érés során fokozatosan nő. A fotoszelektív hálókval folytatott kísérlet során a betakarítást mindig a hatodik érési stádiumra időzítettük, amikor a paprikák már teljes mértékben bepirosodtak.

A magas nyomású folyadék kromatográfiás vizsgálat (HPLC) során több, mint 60 karotinoidot választottunk szét mind a két fajtánál. Ebből a több, mint 60 komponensből 56-ot azonosítottunk és határoztuk meg a mennyiségét. Hasonló karotinoid összetételt detektáltak fűszerpaprikában és pirosra érő csili paprikában BIACS & DAOOD (1994), valamint GIUFFRIDA és munkatársai (2013). A mintáinkban lévő karotinoidokat három csoportba sorolhatjuk, a szabad pigmentekre, a monoészterekre és a diészterekre.

A mennyiségileg és minőségileg meghatározott komponensek közül a zeaxantin, a β -kriptoxantin, a β -karotin és ezek cisz-izomerjei és zsírsav észterei azok, melyek biológiailag is aktív komponensek. Méréseink során a biológiailag aktív karotinoid komponensek $22,6 \pm 10,7$ és $110 \pm 23,7$ $\mu\text{g/g}$ között mozogtak. Ez nagyságrendileg egy átlagos méretű - 100 gramm - frissen szedett paprikában 2-11 mg bioaktív karotinoidot jelent. A legalacsonyabb értéket 2013-ban az első szedés / 'Karpex' fajta / sárga háló kombináció adta, a legmagasabb értéket 2015-ben hajtás során a második szedés / 'Karpex' fajta / kontroll kombináció. A 2013-as évben a 'Kárpia' közel kétszer több biológiailag aktív komponenst tartalmazott, mint a 'Karpex' fajta, 2014-ben szabadföldön szintén jobban szerepelt a 'Kárpia', mint a 'Karpex'. Hajtásban nem találtunk számottevő különbséget a két fajta között.

A minőségi szempontból fontos csoportokat nézve a szabad kapszantin valamint mono- és diészterei 2015-ben voltak a legmagasabbak. A termesztési mód és a fajták között sem volt szignifikáns mértékű különbség. Szabadföldön 2013-ban és 2014-ben is azt tapasztaltuk, hogy a 'Karpex' fajta több piros és kevesebb sárga színű karotinoidot tartalmazott, mint a 'Kárpia', azaz magasabb a 'Karpex' paprika piros/sárga színanyagainak aránya, ami a pirosság valódi fokát és a szín stabilitását mutatja meg.

Az összes karotinoid tartalmat úgy kaptuk meg, hogy az összes azonosított komponenst összeadtuk. Kísérleteinkben az összes karotinoid mennyisége $57,25 \pm 11,43$ és $541,44 \pm 120,14$ $\mu\text{g/g}$ között változott. HWA és munkatársai (2007) 20 és 1043 $\mu\text{g/g}$ közötti összkarotinoid tartalmat

mérték hat pirosra érő paprika fajtában teljes érettségben, az általunk mért értékek ezen a tartományon belül szerepelnek. A legmagasabb összes karotinoidot 2015-ben hajtásban mértük árnyékolás nélkül a 'Karpex' fajta esetében, a legalacsonyabb értéket pedig 2013-ban szabadföldön, ugyancsak árnyékolás nélkül szintén a 'Karpex' fajtánál kaptuk. Az évjáráthatást vizsgálva a statisztikai elemzésből kiderül, hogy a 2015-ös év eredményezte a legmagasabb összes karotinoid tartalmat, elvált az összes többi kísérlet eredményeitől ($p < 0,001$). A két fajta közül a 'Kárpia' paprika ad magasabb összkarotinoid tartalmat minden évben és minden kezelésnél, a páros t-próbák alapján szignifikánsan magasabb volt a 'Kárpia' paprika összkarotinoid tartalma 2013-ban szabadföldön a fehér, a sárga és a rózsaszín hálónál, valamint a kontroll kezelésnél. Ugyanezt tapasztaltuk 2014-ben hajtásban a fehér hálónál és a kontroll kezelésnél.

A termesztéstechnológiák összehasonlító elemzéséből kiderül, hogy a karotinoid tartalom szempontjából hajtás során szignifikánsan magasabb összes karotinoid tartalmat érhetünk el, mint szabadföldön ($p = 0,039$).

Szabadföldön az árnyékoló hálóknak nem volt szignifikáns hatása a karotinoid tartalomra egyik esetben sem. Hajtásban 2014-ben a fehér háló szignifikánsan magasabb összes karotinoidot eredményezett a 'Kárpia' paprikában, mint a kontroll vagy a piros háló ($p < 0,01$). A szedések közül a harmadik szedés statisztikailag elkülöníthető a másik két szedéstől, ami magasabb összkarotinoid tartalommal rendelkező paprikát hozott ($p < 0,001$). 'Karpex' paprikában a második szedés hozta a legmagasabb összkarotinoid tartalommal rendelkező paprikákat. A piros árnyékoló háló szignifikánsan alacsonyabb karotinoid tartalommal rendelkező bogyókat adott, mint az összes többi kezelés ($p < 0,01$).

Hajtásban 2015-ben a 'Kárpia' és a 'Karpex' paprikában a második szedésnél lényegesen magasabb volt az összkarotinoidok mennyisége az első szedéshez képest. A szedést megelőző 15 nap átlagos napi hőmérséklete az első szedéskor 23,88 és 24,87 °C között mozgott, a második szedéskor 16,61 és 17,18 °C között alakult. Az első szedést megelőző időszakban többször volt huzamosabb ideig 30 °C-nál (sőt, előfordult 40 °C-nál is) magasabb hőmérséklet, mely a karotinoidok bioszintézisét már megzavarja (LEE et al. 2005; HELYES et al. 2007). A második szedés során elvértve volt csak 30 °C-nál magasabb hőmérséklet. Ezzel magyarázható, hogy ebben az évben a második szedésnél tapasztaltunk szignifikánsan magasabb karotinoid tartalmat, mint az első szedésnél. Ezt RUSSO és HARWARD (2002) kísérlete is alátámasztja, miszerint a védettebb körülmények és a kisebb kitettség növeli az összes karotinoid tartalmat.

2015-ben a 'Kárpia' paprikánál a zöld hálós és a kontroll kezelés szignifikánsan magasabb összkarotinoid tartalommal rendelkezett, mint amit a fehér háló alatt mértünk ($p < 0,005$). A 'Karpex' paprikában a kontroll állományban mért összkarotinoid tartalom volt a legmagasabb,

541,4±120,1 µg/g, és ez az eredmény szignifikánsan eltért a piros és a zöld háló alatti paprikákban mért értékektől (p=0,038).

A napégett bogyók egészséges részeinek és a piacképes bogyóknak megmértük a C-vitamin és összes karotinoid tartalmát. A független mintás t-próba alapján a C-vitamin tartalomban nem találtunk különbséget (p=0,217), a karotinoid tartalomban viszont igen (p<0,0001). Ez azt jelenti, hogy az erős sugárzásra a karotinoidok érzékenyen reagálnak, míg a C-vitamin bioszintézisét nem befolyásolja negatívan.

4. AZ ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

- Bebizonyítottam, hogy klimatikus viszonyaink között a fotoszelektív árnyékoló hálók közül szabadföldön a kápia fajtakörhöz tartozó 'Karpex' paprika termésmennyiségének növelésére a sárga színű háló alkalmas. A zöld színű árnyékoló háló használata a termésmennyiségben csökkenést okozhat, viszont a bogyó minőségére egyértelműen pozitív hatást gyakorol.
- Megállapítottam, hogy hazai viszonyok között a 'Kárpia' paprika C-vitamin szintézisét a rózsaszín háló tudja elősegíteni szabadföldi körülmények mellett. A piros és a fehér háló viszont negatív hatást gyakorol mennyiségére.
- Igazoltam, hogy a szabadföldi paprikatermesztésben az árnyékoló háló nem befolyásolja a 'Kárpia' és 'Karpex' fajták összes karotinoid tartalmának alakulását a mi éghajlati viszonyaink mellett.
- Megállapítottam, hogy szabadföldön a különösen erős UV sugárzás szövetkárosító hatásának, azaz a napégés kivédésére a zöld háló alkalmas.
- Bebizonyítottam, hogy a napégett bogyó egészséges szövetei és az ép bogyók szövetei között nincs különbség a C-vitamin tartalomban, a C-vitamin szintézisét összességében az erős sugárzás nem zavarja meg.
- Kimutattam, hogy a napégett bogyók egészséges szöveteinek szignifikánsan kevesebb a karotinoid tartalma, mint az ép bogyóké.
- Hazánkban a hajtás során a 'Kárpia' és 'Karpex' fajtáknál magasabb összes karotinoid tartalom érhető el, mint szabadföldi körülmények között.

5. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS A JAVASLATOK

Szabadföldön az árnyékoló hálók közül a sárga színűt tudjuk javasolni, mivel szignifikánsan magasabb termésmennyiséget eredményezett használata a kontrollhoz képest. A rózsaszín háló pedig a C-vitamin tartalmat serkentette. 2014-ben szabadföldi körülmények között bebizonyosodott, hogy évjáráttól függően, a termesztők által széles körben használt zöld háló negatív hatást gyakorolhat a termésmennyiségre. Annak ellenére, hogy a termés mennyiség csökkenését okozhatja, megállapítottuk, hogy a zöld háló a termékek minőségére egyértelműen pozitív hatást gyakorolt. Szabadföldön a zöld háló volt az, ahol egyik fajtánál sem találtunk napégett bogyókat. Ezért szabadföldön a különösen erős ultraibolya (UV) és ezek közül is leginkább az UV Ba sugarak szövetkárosító hatásának kivédésére a zöld háló alkalmas volt, valamint használatakor majdnem minden esetben egyöntetű bogyókat tapasztaltunk. Ugyanakkor ennek ellenére is kisebb termésmennyiséget eredményezett, így piaci célra szánt paprika termesztése esetében használata nem ajánlott. Emellett a zöld háló a 'Karpex' paprikák C-vitamin tartalmát és összes karotinoid tartalmát is negatívan befolyásolta 2015-ben.

2015-ben hajtásban a piros árnyékoló háló mindkét fajtánál alacsonyabb termésmennyiséget eredményezett, mint az árnyékoló háló nélküli kontroll. Továbbá, szabadföldön negatívan befolyásolta a C-vitamin tartalmát, a 2014-es évben mindkét fajtánál egyértelműen csökkentette a paprikák összes karotinoid tartalmát, a 2015-ös évben a 'Karpex' paprikáét is. Ennek a hálónak a fényáteresztése volt a legalacsonyabb, ezzel magyarázható, hogy hajtásban nem voltak napégett bogyók a piros háló alatt, egy alkalomtól eltekintve, 2014-ben a második szedéstől. Az alacsonyabb termésmennyiség- és összes karotinoid tartalom értékek oka, hogy a Richel növényház duplafalú fólia borítása már túl sok fényt szűrt meg az árnyékoló hálóval együtt. Ezért a magas árnyékolási faktorial rendelkező hálók (piros, zöld) használata semmiképpen sem ajánlott duplafalú fólia borítás mellett.

Hajtásban a fehér háló a 'Karpex' paprika C-vitamin tartalmát 2014-ben csökkentette. Ugyan ebben az évben növelte a 'Kárpia' paprika összes karotinoid tartalmát, 2015-ben viszont csökkentette. A két kísérlet beállításában a különbség az előbb említett Richel fóliaház duplafalú UV stabil fólia borítása és a Soroksár 70-es fóliasátor egyrétegű polietilén fólia borításának fényáteresztésében nyilvánul meg. Ebből az következik, hogy a fehér háló megfelelő fényintenzitás mellett növelni tudja az összes karotinoid tartalmát, a küszöbérték alatt, viszont csökkentő hatás érhető el használatával. Ugyanez lehet az oka a piros és zöld hálók karotinoid tartalom csökkentő hatásának, hiszen ezek a hálók még kevesebb fényt eresztenek át.

A paprikatermesztőknek a 'Karpex' fajtát ajánljuk a 'Kárpia' paprikával szemben. Kísérleteink során megállapítottuk, hogy magasabb piacképes termésmennyiséget ad, és a bogyó átlagtömeg is nagyobb a 'Karpex' paprikánál, mint a másik fajtánál. Továbbá megállapítottuk azt is, hogy a napégés tüneteit mindkét fajta szinte azonos arányban mutatta. A 'Karpex' fajta valamivel fogékonyabb a betegségekre, a 'Kárpia' paprika pedig hajlamosabb a repedésekre.

A 'Kárpia' és 'Karpex' paprikák C-vitamin tartalma között nem találtunk különbséget. Valószínűleg azért, mert a genotípus determinálja, hogy jellemzően milyen magas lehet a paprika C-vitamin tartalma és ez a két fajta hasonló genetikai háttérrel rendelkezik. Így mindkét fajta ajánlható a magas C-vitamin tartalmú paprika termesztés érdekében.

A két fajta közül a 'Kárpia' paprika az, mely átlagosan több biológiailag aktív komponenszt tartalmazott, így ha ezt a fajtát vesszük termesztésbe, magasabb biológiailag aktív karotinoiddal rendelkező paprikákat kapunk. A két fajta közül a 'Kárpia' paprikának magasabb az összkarotinoid tartalma. Azonban gazdasági szempontok alapján a 'Karpex' paprika termesztése előnyösebb, intenzívebb piros színe miatt, ugyanis több piros és kevesebb sárga színű karotinoidot tartalmaz, mint a 'Kárpia'.

A két termesztési technológia (hajtatás és szabadföldi termesztés) a bogyóméret és a piacképes termésmennyiség szempontjából nem meghatározó. Azonban az összes termés mennyiséget nézve nagyobb arányban volt a piacképes paprika a hajtatás során, mint a szabadföldi termesztésnél. Továbbá szabadföldön több betegséggel fertőzött bogyót találtunk, mint hajtatásban. Ugyanakkor a hosszanti száraz repedések a paprikákon gyakoribbak voltak a hajtatás során.

A beltartalmi paramétereket elemezve a hajtatás során szignifikánsan magasabb összkarotinoid tartalmat érhetünk el, mint szabadföldön, ajánlott tehát hajtatásban nevelni a paprikákat, ha a minél magasabb karotinoid tartalom a cél. A C-vitamin tekintetében nem volt különbség, ennek ellenére érdemes mégis a hajtatást választani, mert ugyanakkora C-vitamin tartalom mellett a piacra jutásban hajtatással akár egy hónap nyerhető, ami igen jelentős profittöbblettel jár együtt.

Az évjáráthatást vizsgálva megállapítottuk, hogy 2014-ben jóval kevesebb napégett bogyó volt, mint 2013-ban. Szabadföldön a 2013-as évben szignifikánsan kisebb volt a termésmennyiség, mint a 2014-es évben. Hajtatásban nem volt különbség a két év termésmennyisége között. Nemcsak a termésmennyiség, hanem a bogyóátlag tömegének szempontjából is a 2014-év volt a legkedvezőbb. Ennek oka az lehetett, hogy 2014-ben a bogyók képződésének időszakában hűvösebb volt a szokásosnál, így a párolgás is alacsonyabb volt, így relatívan több vízhez juthattak a tövek, mint a szárazabb és melegebb 2013-as évben.

A C- vitamin képződésének is a 2014-es év kísérlet körülményei feleltek meg leginkább, a legmagasabb C-vitamin tartalom 22 °C-os maximumok mellett alakult ki. A 2015-ös évben még a 39-44 °C-os maximumok sem serkentették a C-vitamin bioszintézisét. Ez arra enged

következtetni, hogy a C-vitamin termelődését is (nem csak a karotinoidokét) negatívan befolyásolja a magas, 30 °C feletti hőmérséklet. Mindemellett a 2015-ös évben detektáltuk a szignifikánsan legmagasabb összes karotinoid tartalmat, itt is az őszi szedésnél tapasztalt hűvösebb átlaghőmérséklet eredményezett magasabb értékeket.

A szabadföldi kísérleteknél a borult égbolt és a magasabb hőmérséklet az első szedésnél nem kedvezett a C-vitamin bioszintézisének. Ebből azt a következtetést tudjuk levonni, hogy a C-vitamin termelődését jobban befolyásolja a fényintenzitás, mint a hőmérséklet. Továbbá, megállapítottuk azt is, hogy hajtásban a nyári vagy kora őszi betakarítás magasabb C-vitamin tartalmat eredményezett, mint egy késő őszi betakarítás, szintén a magasabb fényellátottságnak köszönhetően.

Szabadföldön a nyári szedések hoztak magasabb összes karotinoid tartalmat, hajtásban pedig az őszi szedések. Ennek oka, hogy a hajtás során a nyári időszakban gyakran (naponta akár 4 órán keresztül) 40 °C-ot is meghaladó hőmérséklet által okozott hőstressz hátráltatta a karotinoid bioszintézist.

6. AZ ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉHEZ KAPCSOLÓDÓ PUBLIKÁCIÓK

6.1 Tudományos publikációk

6.1.1 Nemzetközi tudományos lapokban megjelent publikációk (IF)

- AMBRÓZY, ZS., DAOOD, H., NAGY, ZS., DARÁZSI LEDÓ H., HELYES L. (2016): Effect of net shading technology and harvest times on yield and fruit quality of sweet pepper. *Applied Ecology and Environmental research*, 14 (1): p. 99-109. (IF: 0,547)
- NAGY, ZS., DAOOD, H., AMBRÓZY, ZS., HELYES L. (2015): Determination of polyphenols, capsaicinoids and vitamin C in new hybrids of chili peppers. *Journal of Analytical Methods in Chemistry*. Article ID 102125. <http://dx.doi.org/10.1155/2015/102125> (IF: 1,369)
- NAGY ZS., DAOOD H., NEMÉNYI A., AMBRÓZY ZS., PÉK Z., HELYES L. (2017): Impact of Shading Net Color on Phytochemical Contents in Two Chili Pepper Hybrids Cultivated Under Greenhouse Conditions. *Horticultural Science and Technology* 35 (4): p. 418-430. (IF: 0.365)

6.1.2 Hazai tudományos lapokban megjelent publikációk (nem IF)

- AMBRÓZY, ZS. (2017): Az öntözés és a mikorrhiza kezelés hatása a 'Kárpia F₁' étkezési paprika hibrid termés tömegének, koraiságának alakulására, valamint a beltartalmi paramétereire nézve. *Kertgazdaság*; 49 (4): p. 3-11.
- SZUVANDZSIEV P., LEDÓNÉ D. H., AMBRÓZY ZS., VAJNAI A. M. (2015): Fotoszelektív hálók hatása kápia paprikák spektrális tulajdonságaira és termésmennyiségére. *Kertgazdaság* 47 (4): p. 11-18.
- AMBRÓZY, ZS., SZUVANDZSIEV, P., DAOOD, H., LUGASI, A., HELYES, L. (2013): A környezeti tényezők hatása az étkezési paprika karotinoid összetételére és egyéb beltartalmi paramétereire. *Kertgazdaság*; 45 (3): p. 3-9.

6.2. Egyéb tudományos művek

6.2.1. Konferencia kiadvány (Proceeding, angol nyelven)

- AMBRÓZY, ZS., BURJÁN, SZ. SZ., NAGY, ZS., HELYES, L., DAOOD, H. (2015): Effect of water supply and mycorrhizal inoculation on yield and nutritional value of sweet pepper. *Crop production*. p. 95-98.,
- NAGY, ZS., AMBRÓZY, ZS., BURJÁN, SZ. SZ., HELYES, L., DAOOD, H. (2015): Total capsaicinoid content of two chilli pepper hybrids (*Capsicum frutescens*) in four different Ripening stages. *Crop production*. p. 111-114.,
- BURJÁN, SZ. SZ., NAGY, ZS., AMBRÓZY, ZS., LUGASI, A., PÉK, Z. (2015): The quantitative changes of nutrient and mineral content in broccoli depending on season, cultivation period, irrigation and foliar sulfur supplementation. *Crop production*. p. 167-170.,
- NAGY, ZS., BURJÁN, SZ. SZ., AMBRÓZY, ZS., BORI, ZS. (2014): Mycorrhiza Inoculation and reduction of some nutritional value of tomato by irrigation. *Crop production*. p. 103-106.,
- AMBRÓZY, ZS., DAOOD, H., LUGASI, A., PÉK, Z. (2013): Effect of elevated potassium fertilization on total poly-phenolic content and composition. *Crop production* (62): p. 441-444.,

6.2.2. Konferencia kiadvány (Proceeding, magyar nyelven)

- AMBRÓZY, ZS., DEÁK K. J., VIZI, B., HELYES, L., DAOOD, H. (2013): Különböző szamóca fajták antocianin tartalmának vizsgálata nagy hatékonyságú folyadék kromatográfiával (HPLC). In: LV Georgikon napok: *A jövő farmja. Abstract book*. p. 26.

- DEÁK, K. J., AMBRÓZY, ZS., SZIGEDI, T., HELYES, L. (2013): Szamóca vízdoldható szárazanyag tartalmának roncsolásmentes meghatározása közeli infravörös spektroszkópiával. In: LV Georgikon napok: *A jövő farmja. Abstract book.* p. 26.

6.3. Ismeretterjesztő cikkek

- SZUVANDZSIEV, P., VAJNAI, A., AMBRÓZY, ZS., LEDÓ, D. H. (2015): Színes árnyékoló hálók alkalmazása szabadföldi kápia paprikafajtáknál. *Agrofórum* 26 (6): p. 132-134.
- TUROCZI, GY., AMBRÓZY, ZS. (2012): A paprika védelme a tárolás során. *Zöldség-Gyümölcs Piac és Technológia*, különszám, p. 33-34.