SZENT ISTVÁN EGYETEM

AZ IPARI PARADICSOM TERMÉSKÉPZÉSÉNEK ÉRTÉKELÉSE KÜLÖNÖS TEKINTETTEL A RONCSOLÁSMENTES (NIR) BELTARTALMI VIZSGÁLATOKRA

DOKTORI (PhD.) ÉRTEKEZÉS

DEÁK KONRÁD JÁNOS

GÖDÖLLŐ

2020

A doktori iskola

megnevezése: **Növénytudományi Doktori Iskola**

tudományága: **Növénytermesztési és kertészeti tudományok**

vezetője: **Dr. Helyes Lajos**

egyetemi tanár, az MTA doktora,

Szent István Egyetem,

Mezőgazdaság- és Környezettudományi Kar,

Kertészeti Intézet

témavezető: **Dr. Helyes Lajos**

egyetemi tanár, az MTA doktora,

Szent István Egyetem,

Mezőgazdaság- és Környezettudományi Kar,

Kertészeti Intézet

....

Az iskolavezető jóváhagyása A témavezető jóváhagyása

TARTALOMJEGYZÉK

RÖVIDÍTÉSEK JEGYZÉKE 5

1. BEVEZETÉS 6

2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS 8

2.1 A paradicsomtermesztés alakulása a világon és hazánkban. 8

2.2 Paradicsom beltartalmi értékei 11

2.2.1 Technológiai és érzékszervi szempontból fontos beltartalmi paraméterek 11

2.2.2 Táplálkozás-élettanilag fontos beltartalmi paraméterek 12

2.2.3 A víz jelentősége és hatása a paradicsom termésmennyiségére és minőségére 19

2.3 Spektroszkópia 21

2.3.1 A közeli infravörös sugárzás rövid történeti áttekintése 21

2.3.2 A közeli infravörös spektroszkópia alapjai 23

2.3.3 NIR spektroszkópia alkalmazása a kertészetben 29

3 ANYAG ÉS MÓDSZER 32

3.1 Kísérleti telep bemutatása 32

3.2 Kísérlet beállítása 32

3.3 Kísérletben szereplő fajták jellemzése 34

3.4 Kísérlet során alkalmazott agrotechnika 36

3.5 Kísérlet során végzett mérések 37

3.5.1 Meteorológiai mérések 37

3.5.2 Termés mennyisége és minősége 41

3.5.3 Minták előkészítése a beltartalmi vizsgálatokra 41

3.5.4 Analitikai laborvizsgálatok 42

3.5.5 Alkalmazott statisztikai módszerek 44

4. EREDMÉNYEK 46

4.1 A négy évjáratban a termésmennyiségének alakulása 46

4.2 A piacképes termésmennyiség alakulása, értékelése 50

4.3 Brix° és a szárazanyag-hozam alakulása 52
4.4 Fitonutriensek értékelése 57
4.4.1 Összes karotinoid tartalom alakulása 57
4.4.2 Likopin tartalom alakulása 59
4.4.3 Likopin hozam alakulása 62
4.4.4 Egyéb karotinoidok koncentrációjának alakulása 63
4.4.5 C-vitamin tartalom alakulása 67
4.5 Közeli infravörös spektroszkópiás vizsgálatok eredményeinek értékelése 68
5. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK (TÉZISEK) 76
6. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK 77
7. ÖSSZEFOGLALÁS 79
8. MELLÉKLETEK 82
8.1 M1. Irodalomjegyzék 82
9. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS 95

RÖVIDÍTÉSEK JEGYZÉKE

MSC: Többszörös szóródás korrekció

NIR: Közeli Infravörös Spektroszkópia

PC: Főkomponens szám

PLS: Részleges legkisebb négyzetek

R^2: Determinációs együttható

R^2_C: R^2 kalibráció

R^2_{CV}: R^2 kereszt-validáció

RMSE: becslés átlagos négyzetes hibája

RMSECV: Kereszt-validáció hibája

SD: Szórás

SEL: laboratóriumi középhiba

SNV: Standard normál változó

STR: Strombolino

UR: Uno Rosso

1. BEVEZETÉS

A paradicsom a világ egyik legjelentősebb zöldségfaja, ez vonatkozik a termőterület nagyságára és az előállított termésmennyiségre egyaránt. Fontos szerepet tölt be az egészséges táplálkozásban, ez alapvetően annak köszönhető, hogy magas koncentrációban tartalmaz antioxidáns hatású fitonutrienseket (karotinoidokat, polifenolokat, vitaminokat). Ezért napjainkban is a legnagyobb mértékben kutatott zöldségfaj, amely kiterjed a teljesség igénye nélkül a fajta, termesztéstechnológia és a beltartalmi paraméterek vizsgálatára.

Doktori disszertációmat én is erre a három említett szegmensre összpontosítottam. A paradicsom az emberi szervezet számára számos olyan vegyületet tartalmaz, amelyek egészségügyi szerepe mára már megalapozott, tudományos vizsgálatokkal, publikációkkal alátámasztott, gondolva itt kiemelten a likopin hatására, de emellett egyre több karotinoid típusú vegyületről (β-karotin, zeaxanthin, fitoin stb.) derült és napról napra folyamatosan derül ki, hogy antioxidáns hatású, rákmegelőző, de akár a szív és érrendszeri megbetegedések ellen is pozitív hatással rendelkeznek.

A fajták között is jelentős különbségek mutatkoznak akár egy növekedési típuson belül is, így a fajtákkal kapcsolatos információk ismerete szintén elengedhetetlen a termesztési és felhasználási célnak megfelelő hibrid kiválasztásában.

A termesztéstechnológia azon belül is a megfelelő vízellátottság szerepe nem kevésbé fontos, hisz hiába a jól megválasztott fajta, vagy a jó vagy ahhoz közeli időjárási körülmények, ha a növény nem jut elegendő vízhez, nem fogja az általunk elvárt hozamot vagy akár beltartalmi paramétereket hozni. Éppen ezért a precíz öntözési, vízellátottsági technológia megvalósítása fontos szerepet kell, hogy jelentsen a kertészeti termesztésben, így az ipari paradicsom termesztésében is.

A kísérleteimbe két fajtát vontam be, egy ipari termelésre javasolt cseresznyeparadicsom hibridet, névszerint a ‘Strombolino’ és egy hagyományos bogyóátlagtömegűt, az ‘Uno Rosso’-t. Négy, alapvetően eltérő ökológiai adottságú (csapadék, hőmérséklet) év eredményeit értékeltem. A négy év viszonylag szélsőségesnek volt mondható, gondolva 2014-re, amikor átlagon felüli volt a csapadék mennyisége, vagy pont az ellenkezőjére, az aszályos 2013-as kísérleti évre.

A paradicsom beltartalmi értékeinek meghatározása, főként a fitonutriensek kimutatása HPLC módszerrel nagyon költséges és viszonylag hosszú folyamat. A feldolgozóipar számára a hosszú várakozási idő nem kivitelezhető, így számukra méginkább kiemelten fontos egy olyan módszer kifejlesztése, amely meggyorsítja ezen vizsgálatok elvégzését, és mindezt roncsolásmentesen teszi. A makronutriensek detektálására már régóta kutatott terület, főként gabonafélékben. Zöldségnövényekre rendkívül kevés tanulmány áll rendelkezésre, ezért fontos

egy olyan módszer kifejlesztése, amely a fent leírt problémákra megoldást kínál, gyorsan, olcsón és roncsolásmentesen. A NIR (közeli infravörös spektroszkópia) technológia megfelelő kalibráció mellett képes lehet számos olyan fitonutriens kimutatására, amelyek mind a feldolgozóipar, mind pedig a humán táplálkozás szempontjából fontosak lehetnek és mindezt gyakorlatilag néhány másodperces vizsgálati idővel valósítja meg. Ez utóbbi vizsgálati módszer kidolgozása paradicsom esetében a kutatói munkám egyik fontos célja volt.

2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS

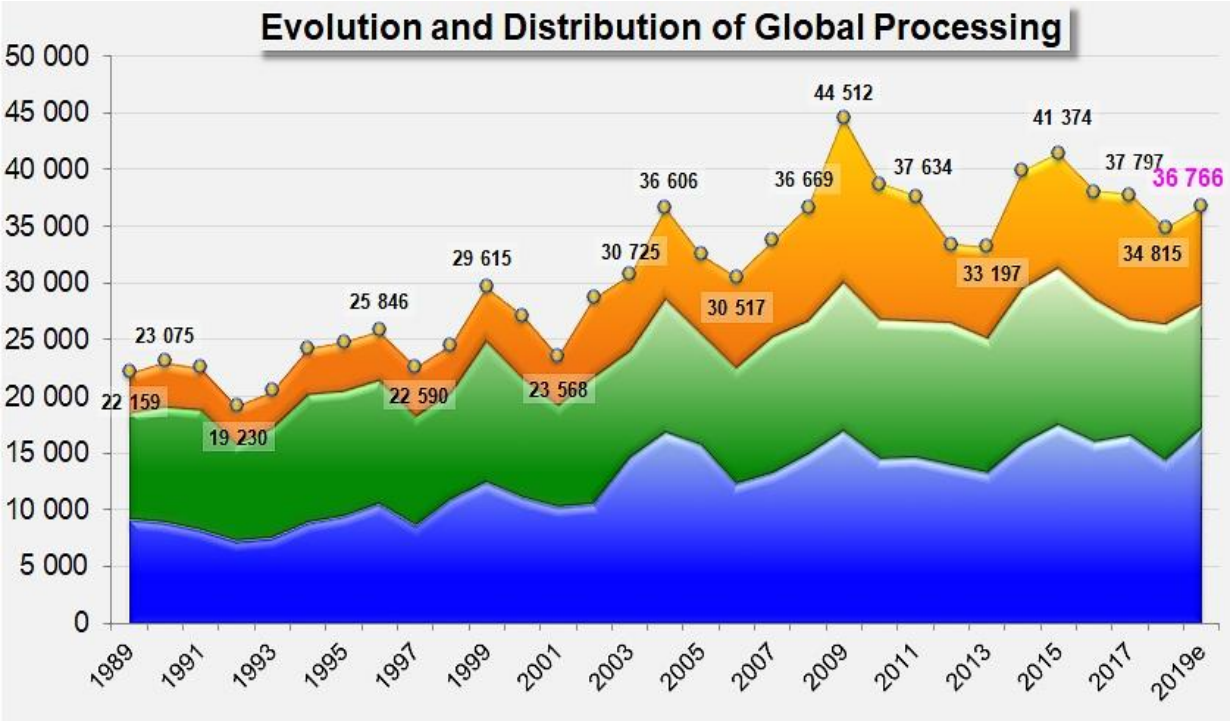
2.1 A paradicsomtermesztés alakulása a világon és hazánkban.

A paradicsom a világon az egyik legnagyobb mennyiségben termesztett és fogyasztott zöldségfaj. Jelenleg 4700-4800 ezer hektáron termesztenek paradicsomot, megközelítőleg 180 millió tonnát takarítanak be évente. Mint sok más zöldség esetében is, Kína a legnagyobb, megközelítőleg egy millió hektárról 55-60 millió tonnát állítanak elő minden évben. A nagy paradicsomtermesztő országok között van még Törökország, Irán, USA és Egyiptom (1. táblázat). Európa termőterülete megközelítőleg 500 ezer hektár (szabadföldi és hajtatott), termelése évente 23-26 millió tonna (ebből EU ~18 millió tonna). Európa legnagyobb mennyiségben termelő országa Olaszország (~6 millió tonna), ezt követi Spanyolország (~5 millió tonna), Portugália (~2 millió tonna) és Görögország (~1 millió tonna) (Fruitveb, 2019).

1. táblázat: A paradicsomtermesztésben élen járó országok a világon 2017-ben (FAO, 2017)

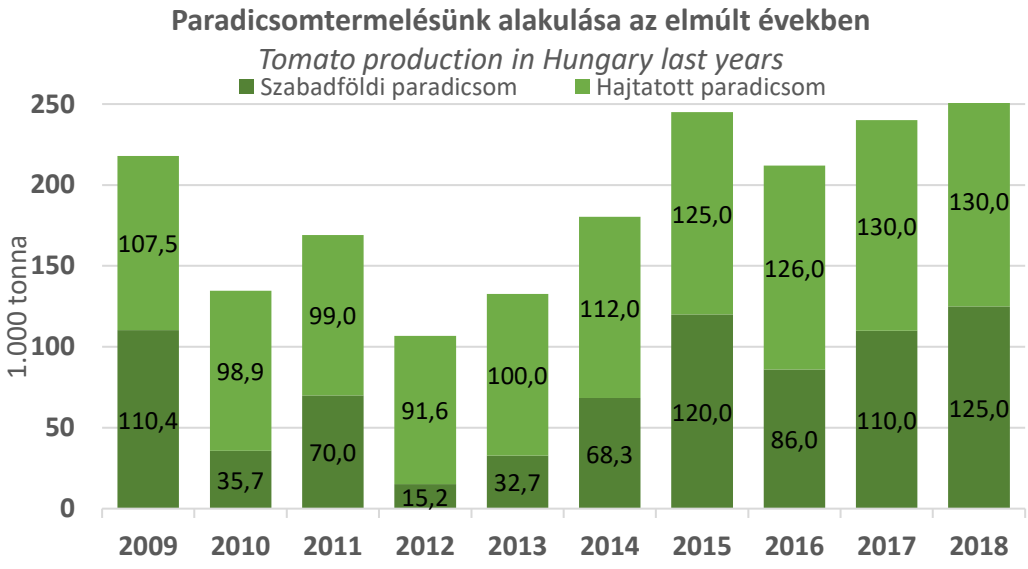
Ország	Termés (millió t)	Termőfelület (ha)
Kína	59,62	1033276
Törökország	12,75	187070
USA	10,91	126070
Egyiptom	7,29	182444
Irán	6,17	153735
Olaszország	6,01	99750
Spanyolország	5,16	60852

Az összes paradicsomtermelésnek kb. 25 %-a tekinthető ipari célú paradicsomnak. Az alábbi ábra (1. ábra) mutatja az elmúlt évtizedekben az ipari paradicsom termelésének alakulását. Látható, hogy az elmúlt három évtizedben jelentős termelésnövekedés történt.



1. ábra: Az ipari paradicsomtermelés alakulása (ezer tonna) (Branthôme, 2019)

Magyarországon az ipari feldolgozású zöldségnövények közül a legnagyobb változáson az ipari paradicsom ment keresztül az elmúlt évtizedekben. Az EU-n belül egy nemzeti kvóta küszöbértéket határoztak meg, amelyet az 1996-2000 közötti évek termésátlagai alapján állapítottak meg. Ez a mennyiség hazánkra vonatkoztatva 130 ezer tonna volt. Az elmúlt évtized magyarországi paradicsomtermelésének alakulását a 2. ábra mutatja be.



2. ábra: Paradicsom termésmennyiség alakulása Magyarországon az elmúlt években (2009-2018) (Fruitveb, 2019)

Az Uniós kvóta kivezetése után erőteljes területi koncentráció és termésátlag növekedés valósult meg. A mélypontot a 2012-es év jelentette, amikor a termelt mennyiség mindössze 16 ezer tonna volt, a terület pedig 211 hektár. Az ipari paradicsom termelése és feldolgozása 2013 óta folyamatos bővülést mutat, 2015-re 60 ezer tonna, 2017-re 110 ezer tonna, 2018-ban pedig 125 ezer tonna volt a termésmennyiség (2. táblázat), ami a piaci kereslet és a feldolgozóipar folyamatos bővülésének köszönhető. Az ipari paradicsom termelése 80%-ban a dél-alföldi régióban történik (Fruitveb, 2019).

2. táblázat: Magyarország szabadföldi paradicsomtermesztése 2010-2018 között (Fruitveb 2019)

Év	**2010**	**2011**	**2012**	**2013**	**2014**	**2018**
Termőterület (hektár)	1260	1148	211	438	850	1700
Termésátlag (t/ha)	28,33	60,97	72,03	74,66	80,35	73,50

A FAO adatai alapján a világ paradicsom fogyasztása megkétszereződött az elmúlt 5 évtizedben, jelenleg megközelítőleg 1 milliárd tonna a mennyisége. A népességnövekedést is figyelembe véve ez annyit jelent, hogy a zöldségfogyasztás megduplázódott, ami 1963-ban 50 kg/fő/év volt az 2009-ben már 102 kg/fő/év. Ugyanezen években 7,5 kg ás 20,5 kg volt az összes zöldségre vetített paradicsom fogyasztás. Első helyen Ázsia áll, zöldségfogyasztása 159 kg/év, utolsó helyen pedig Latin-Amerika, ahol 55 kg/év az emberek éves fogyasztása. Mindazonáltal a paradicsom fogyasztás minden régióban 14-17 kg évente. Az Észak-Amerikaiak fogyasztják a legtöbbet, megközelítőleg 42 kg-ot. Európán belül átlagosan 31 kg, kivéve Olaszországot, ahol 60 kg az emberek éves fogyasztása. (FAO, 2014). Magyarországon az egy főre eső fogyasztás 12 kg/év, ami kevéssel több, mint a fele az Uniós átlagnak (~20 kg/év). Világviszonylatban a paradicsom alapú termékek fogyasztását a 3. táblázat összegzi.

3. táblázat: Paradicsom alapú termékek fogyasztása a világon (kg/fő) (Tomato News Dossier, 2014)

	1996/97	2000/01	2004/05	2008/09	2012/13
Omán	12,7	20,5	38,9	32,3	32,1
Ausztrália	17,3	22,4	21,1	23,3	22,9
Irak	-	-	5,4	15,8	21,9
EU	15,0	18,2	23,3	21,7	18,9
Törökország	17,2	5,3	10,2	17,1	17,0
Chile	4,0	9,3	12,9	11,7	8,3
Közel-Kelet	1,8	2,0	2,2	2,3	2,6
Kelet-Afrika	0,4	0,5	0,8	1,0	1,0

2.2 Paradicsom beltartalmi értékei

2.2.1 Technológiai és érzékszervi szempontból fontos beltartalmi paraméterek

A paradicsombogyó vízoldható, vízben nem oldódó szárazanyag-tartalomból, illetve vízből áll. Az érett bogyó víztartalma 93-96% között található (Colla et al., 2001). Az összes szárazanyag és a Brix° kapcsolatát ipari paradicsomfajták esetében a következő képlettel lehet jellemezni: összes szárazanyag = 1,01 x Brix° – 0,11 (Jauregui et al., 1999). A vízoldható szárazanyag-tartalom (Brix°) 50-70%-át a redukáló cukrok (főként glükóz és fruktóz) adják. A teljes cukortartalom 2,19-3,55% között mozoghat (Gould, 1992). A Brix° 4-7 között ingadozik (Atherton és Rudich, 1986). Értékét meghatározza a fajta, a termesztés módja és a termesztés során ható környezeti tényezők (Helyes, 1999). A cseresznye paradicsom fajták Brix° értéke szignifikánsan magasabb, mint a hagyományos bogyóátlag-tömegű fajtáké (Lapushner et al., 1990). A nagyobb lombozat és a tenyészidő kihasználásnak köszönhetően, a rövid tenyészidejű fajták alacsonyabb szárazanyag tartalommal rendelkeznek, mint a hosszú tenyészidejű fajták (Farkas, 1985).

A vízben nem oldódó szárazanyag-tartalom pedig főként rostokat tartalmaz, beleértve a cellulózt és a pektint (Pedro és Ferreira, 2007). Ezeken felül még számos poliszacharid megtalálható benne, mint a xilán, arabinoxilán és arabinolaktán. Ezek a cellulózzal és a pektinnel együtt körülbelül 0,7%-át adják a paradicsomlének. Túlsúlyban az arabinolaktán és a pektin vannak, melyek több mint felét adják az összes poliszacharidnak, míg a xilánok és a cellulóz 25-28%-át (Miladi et al., 1969). A paradicsomban megtalálható egyes szénhidrátok közül a glükóz

és a fruktóz dominál, arányuk 50-65% közötti. A szacharóz mennyisége a legkisebb, értéke nem több mint 0,1%. Az egyes beltartalmi összetevők közül a cukortartalom adta a legszorosabb összefüggést a Brix° tartalomhoz, ahol az R^2 = 0,989 volt (Torre et al., 1999).

Savtartalma javarészt citrom- és almasavból áll, értékük 0,3-0,6% között mozoghat (Helyes et al., 2003,2006). A citromsav fordul elő a legnagyobb mennyiségben. Ezeken felül még található benne borostyánkősav, oxálsav és borkősav is. Az aminosav profilja szerint 19 különböző fajta aminosav található benne. Ezek közül a glutaminsav dominál, amely majdnem felét adja a teljes profilnak. Ezt az aszparaginsav követi, viszont prolinból meglehetősen kevés van benne (Miladi et al., 1969). A cukor- és a savtartalom egymáshoz viszonyított aránya határozza meg alapvetően a paradicsom ízét, zamatát. Magas cukortartalom magas savtartalommal párosulva adja a legjobb ízt (Helyes et al., 2008). Magas sav- és alacsony cukortartalom fanyar ízt, míg magas cukor- és alacsony savtartalom édeskés ízt ad (Helyes, 1990). A paradicsombogyó átlagos kémiai összetételét a 4. táblázat foglalja össze.

4. táblázat. A paradicsombogyó átlagos kémiai összetétele 100 g termésre vonatkoztatva (Fehér, 1998)

Összetevők	%	Makro-elemek	mg/100g	Mikro-elemek	mg/100g	Vitaminok	mg/100g
Víz	93,7	Kálium	335,0	Vas	5,00	C-vitamin	30,0
Szénhidrát	4,0	Foszfor	24,8	Cink	0,84	Karotin	0,8
Fehérje	1,0	Kalcium	15,4	Réz	0,25	E-vitamin	0,5
Zsír	0,2	Magnézium	12,8	Nikkel	0,11	Tiamin	100,0
Hamu	0,9	Nátrium	3,3	Mangán	0,48	Riboflavin	60,0
Energia kJ(cal)	97 (23)			Kobalt	0,005	Niacin	0,5
				Króm	0,002		0,02

2.2.2 Táplálkozás-élettanilag fontos beltartalmi paraméterek

A legújabb kutatások az egyes antioxidáns hatású fitonutriens vegyületeket és azok egészségre gyakorolt hatását célozzák meg. Az egyes antioxidánsok két csoportra bonthatók, ezek a hidrofil és a lipofil vegyületek. Hidrofil vegyületek például az antocianidok, fenolok és flavonoidok, lipofilek többek között a karotinoidok és a tokoferolok.

Ezen beltartalmi paraméterek alakulását nagymértékben befolyásolja az érési stádium, a talaj- és éghajlati viszonyok és egyéb környezeti feltételek úgy, mint a fény, hőmérséklet,

tenyészidő hossza, a mezőgazdasági műveletek, valamint a betakarítás utáni kezelések (Kotikova et al., 2011; Kubota et al., 2012; Kim et al., 2014). Mindezeken felül a legjelentősebb befolyásoló tényező a fajta és annak genetikai tulajdonságai. Számos kutatás és kísérlet irányul olyan fajták kifejlesztésére, amelyek az antioxidáns tartalmukat tekintve kimagaslónak mondhatók (Erba et al., 2013, Breksa et al., 2015).

Pinela és munkatársai (2012) négy paradicsomfajtán vizsgálták meg azok antocián-, fenol-, C-vitamin-, flavonoid és az egyes karotinoidok mennyiségét. Kutatásaik arra derítettek fényt, hogy a legtöbb antioxidáns magasabb mennyiségben van jelen a piros bogyójú paradicsomban, mint a sárgában. Kivétel ez alól a tokoferolok mennyisége, amely utóbbiban volt magasabb. A C-vitamin mennyisége 160-240 mg/kg, a likopiné 30-200 mg/kg, a flavonoidok 5-50 mg/kg és a fenoltartalom 10-50 mg/kg között változhat (Davies et al., 1981). E-vitamin tartalma szintén kiemelendő, mértéke 5-20 mg/kg körüli alakul. A következő táblázat két fontos karotinoid koncentrációjának alakulását mutatja be (5. táblázat).

5. táblázat: A likopin és β-karotin-koncentrációjának változása a paradicsom bogyóban egyes külső tényezők hatására

Tényező	Eredmény	Referencia
Léghőmérséklet >32 °C	Csökkent likopin szint, megnövekedett β-karotin szint	Goodwin and Jamikom, 1952; Tomes, 1963
Deficit öntözés (40-70%)	Megnövekedett likopin cseresznye típusnál, csökkent szint hagyományos bogyóátlagtömegűnél	Dumas et al., 2003
Tárolás 20-30 °C között	intenzív likopin felhalmozódás	Hobson, 1987
Tárolás <5 alatt	50%-al csökkent a likopin szint érett zöld paradicsomnál, 10%-al pirosnál	Hall, 1961

Nagyon fontos az egyes vegyületek szempontjából azok szintézise. Ezekhez járulnak hozzá az egyes ásványi anyagok, úgy, mint a cink, amely értéke 1,0-2,4 mg/kg, a réz, amely 0,1-0,9 mg/kg és a mangán, amelynek mennyisége 0,5-1,5 mg/kg közötti lehet (Leoni és Jungen, 2002).

A karotinoid vegyületek közül kiemelkedő jelentűségű a piros színt adó likopin, amely főként a paradicsomban, görögdinnyében és egyéb piros húsú gyümölcsökben található meg (Scott és Hart, 1995). A paradicsom bogyóban megtalálható karotinoidok közül mennyisége a legnagyobb, a teljes összetétel 60-64%-át teszi ki (Lugasi et al., 2004). A maradék 35-40% főként

β-karotin, fitoin, fitofluen, neurosporen, γ-karotin, ζ-karotin és még számos kisebb mennyiségben előforduló karotinoid vegyület (Beecher, 1998). Az egyes zöldségfélékben előforduló karotinoidokat a 6. táblázat foglalja össze. Mind likopin, mint β-karotin szempontjából a paradicsom alapú ketchup, amely a legnagyobb mennyiségben tartalmazza ezeket a vegyületeket.

6. táblázat: Karotinoid tartalom egyes zöldségkészítményekben (µg/100g friss termék) (Heinonen et al., 1989)

Termék	α-karotin	β-karotin	γ-karotin	Kriptoxantin	*Lutein	Likopin
Borsó, fagy.	ny.	360	-	9,2	1700	-
Kukorica, fagy.	50	51	ha.	ha.	730	-
Cékla, sav.	-	ny.	-	-	4,4	-
Sütőtök, sav.	ny.	490	ha.	ha.	630	-
Uborka, sav.	-	180	-	ha.	510	-
Paradicsom ketchup	-	5000	ha.	ha.	210	9900

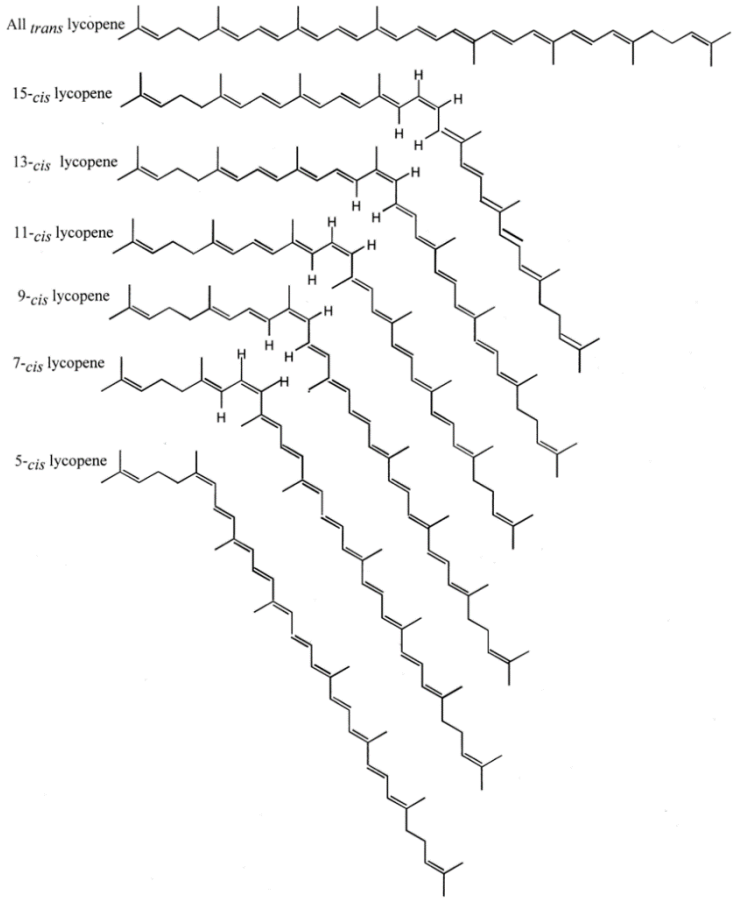
ny: nyomokban

ha: kimutathatósági határérték alatt

*Lutein + zeaxanthin

A likopin előállítására csak a növények képesek állati szervezet nem tudja szintetizálni. Szerkezetileg 11 konjugált és 2 nem konjugált kettős kötésből álló nyíltláncú molekula (Stahl és Sies, 1996). A növényekben termodinamikai folyamatok, mint fény és hőenergia hatására képződhet (Zechmeister et al., 1941) és hatása a fény megkötésében és az UV sugarak elleni védelemben van (Nguyen és Schwartz, 1999).

Természetes körülmények között azonban all transz-likopin formában található meg, melynek felszívódása, bioaktivitása jelentősen csökkent mértékű. Azonban fény vagy hőenergia hatására cis-izomer formába kerül. Ez egy rendkívül stabil molekulát képez. Egy kutatás azt igazolta, hogy az 5-cis-likopin a legstabilabb izomer, melyet a 9-cis, 13-cis, 15-cis, 7-cis és a 11-cis követ. Legmagasabb antioxidáns tulajdonsággal szintén az 5-cis izomer rendelkezik a legalacsonyabbal pedig az all-trans forma (Chasse et al., 2001). A 3. ábra a likopin izomerjeinek szerkezeti képleteit mutatja be.



3. ábra: A likopin all-trans és cis izomer formái

Számos tanulmány számol be arról, hogy a feldolgozott termékek, ivólé, ketchup és egyes szószok készítése során az all transz-likopin egy része cis-likopin molekulává alakul (7. táblázat), melynek oka az egyes termékek hőkezelése, ennek köszönhetően nagyban javul a biológiai hozzáférhetősége, így az emberi szervezetben való felszívódása is (Stahl és Sies, 1992; Böhm & Bitsch, 1999; Boileau et al., 1999). Maga a folyamat során rendszerint 95 °C-ra vagy 65 °C-ra hevítik a terméket. A magasabb hőfokú eljárás hatására a pektin enzim már lebomlik, míg az alacsonyabb esetében aktív marad. Általában 65 °C-os melegítést használnak ivólevek készítéséhez, mivel ennek a viszkozitása alacsonyabb és a színe is szebb marad, mint a 95 °C-os hevítés esetében **(**Anthon and Barrett, 2003). A feldolgozással a likopin-tartalom kis része (9-28%), függően az eljárás típusától kárba vész (Takeoka et al., 2001). A paradicsom alapú termékekben általánosságban 79-91%-ban transz formában 9-21%-ban pedig cisz formában van jelen (Clinton et al., 1996). Görögdinnyében az all transz-likopin alkotja a teljes karotinoid profil 92-95%-át (Perkins-Veazie et al., 2001).

7. táblázat: Likopin tartalom egyes paradicsom termékekben és típusokban

Fajta	Likopin (mg/100g)	Forrás
Gyümölcslé érett paradicsomból	3,710	Beerh and Siddappa, 1959
Gyümölcslé zöld paradicsomból	0,171	
Gyümölcslé félig érett paradicsomból	0,240	
Cseresznye típusú (piros)	3,780	Hart and Scott, 1995
Hagyományos bogyóátlagtömegű (piros)	2,270	

Napjainkban a likopin az egyik legszéleskörűbben kutatott karotinoid típusú vegyület. Számos kutatás számol be rákmegelőző hatásairól, beleértve a máj-, prosztata-, mell és emésztőrendszeri rákot is (Clinton, 1998; Giovannucci et al., 2002; Rao és Agarwal, 2000). Mennyisége érési stádiumonként és fajtánként is változik, ennek példáját a 7. táblázat összegzi.

A paradicsombogyó ezzel szemben számos egyéb karotinoid vegyületet is tartalmaz, amelyek, mind mennyiségben, mind pedig éllettanilag is jelentősek (8. táblázat).

A β-karotin szintén a legjelentősebb karotionoidok közé tartozik és döntő szerepet játszik a humán egészségügy tekintetében (Rodriguez-Amaya et al., 2008). 11 konjugált kettős kötéssel rendelkezik, amelyek közül kettő a β-gyűrű körül helyezkedik el. Egyik legfontosabb szerepe, hogy az A-vitamin legaktívabb, legjelentősebb prekurzora. Az A-vitamin volt a világon az első vitamin, amelyet felfedeztek (McCollum & Davis, 1915). Hiánya miatt a világon évente több, mint 250,000 gyermek vakul meg (Sommer, 1993; Fawsi et al., 1993). Ez azért is probléma, mert önmagában az emberi szervezet nem képes előállítani, a cikláz enzim hiánya miatt. Nagymértékű antioxidáns tulajdonságának ezen felül rákmegelőző hatást is tulajdonítanak (Astley et al, 1994).

A sárgarépa legfőbb karotinoid komponenseként vált híressé, de ezen felül nagy mennyiségben megtalálható a sárgabarackban (Dragovic-Uzelac et al., 2007), sütőtökben (Azevedo-Meleiro & Rodriguez-Amaya, 2007) az acerolában (Porcu & Rodriguez-Amaya, 2006) és a paradicsomban is. Mértéke nagyban függ a fajtától és a termesztési körülményektől egyaránt. A szabadföldön és üvegházi termesztésben vizsgált paradicsom fajták β-karotin tartalma nagymértékű eltéréseket mutat. Ennek bizonyítására 15 fajtát vizsgáltak meg 3 különböző szabadföldi és üvegházas kísérleti telepeken, melynek eredményeként bebizonyosodott, hogy mind az egyes fajták, mindpedig a termesztési körülmények között szignifikáns eltérés mutatkozik. A szabadföldön termesztett fajták β-karotin tartalma átlagosan 30%-al magasabb értéket mutatott, mint az üvegházaké (Leiva-Brondo et a., 2016). Muratore és munkatársai 2005-ben szintén publikáltak egy tanulmányt, amely szerint a cseresznye típusú paradicsom β-karotin

tartalma (0,99 mg/100g) szignifikánsan magasabb, mint a szilva alakú fajtáké (0,77 mg/100g) (Muratore et al., 2005). Természetesen, a napjainkban egyre elterjedtebb sárga bogyójú fajták legjelentősebb karotinoidja a β-karotin.

A xantofilok közül paradicsomban a lutein és a zeaxanthin a legnagyobb mennyiségben előforduló karotinoid. A luteinnek egy β-gyűrűje van 10 konjugált kettős kötéssel, a zeaxanthinnak pedig két β-gyűrűje van 11 konjugált kettős kötéssel. Színük alapján a lutein világos sárga, a zeaxanthin pedig sötétebb sárga színű. Előfordulásuk nem ritka, a paradicsomon kívül mind leveles zölségekben (Humphries & Khachik, 2003), mind pedig kukoricában (Rasmussen et al., 2012) megtalálhatóak. Antioxidáns tulajdonságuk révén szerepük van a szabadgyökök elleni küzdelemben is (Krinsky et al., 2003), továbbá az idős emberek agyi funkcióinak javításában (Johnson, 2012).

8. táblázat: A paradicsombogyó egyes karotinoidjainak mennyisége (Gama et al., 2009)

Karotinoid típus	**Nyers paradicsom (µg/g)**	**Paradicsom ivólé (µg/g)**	**Ketchup (µg/g)**
all-trans-anteraxanthin	7,3±1,0	15,7±1,2	5,7±0,9
all-trans-lutein	3,3±0,5	13,1±1,0	3,2±0,5
cis-lutein	16,6±2,4	20,0±1,6	2,3±0,4
cis-zeaxanthin	6,1±0,9	9,1±0,7	2,8±0,5
cis-lycoxanthin	13,3±1,9	21,0±1,7	5,3±0,9
all-trans-lycoxanthin	19,8±2,8	8,2±0,6	10,0±1,6
all-trans-likopin	1122,2±26,6	974,8±24,0	465,2±10,5
cis-lycopene	78,8±9,5	77,2±6,14	19,4±5,3
cis-γ-carotene	9,5±1,4	5,7±0,5	6,2±1,0
all-trans-γ-carotene	4,9±0,7	15,4±1,2	2,5±0,4
cis-ζcarotene	3,2±0,5	8,2±0,6	2,6±0,4
all-trans-ζcarotene	2,2±0,3	7,8±0,6	1,5±0,3
all-trans-βcarotene	52,0±7,4	82,0±6,5	23,5±3,9
all-trans-phytofluene	6,0±0,9	17,5±1,4	5,2±0,9
cis-βcarotene	4,7±0,7	27,0±2,1	9,5±1,6

Paradicsom vonatkozásában Bhandari és munkatársai 2016-ban 119 különböző genotípust vizsgáltak, melynek konklúziójaként megállapították, hogy a cseresznye típusú fajták lutein (25,5

mg/kg vs 21,2 mg/kg) és β-karotin (88,4 mg/kg vs 52,6 mg/kg) tartalma is szignifikánsan magasabb, mint a hagyományos bogyóátlag tömegű fajtáké (Bhandari et al., 2016).

A fitoin egy színtelen karotinoid típusú vegyület, amely esetében szintén megfigyelték, hogy nagy mennyiségű fogyasztása esetén csökkent a rákos megbetegedések és a szív- és érrendszeri megbetegedések kockázata (Engelmann et al., 2011; Zu et al, 2014; Karppi et al., 2013). Hasonlóan a likopinhoz, a fitoin képes felvenni a harcot a szabadgyökökkel (Martinez et al., 2014) és gátolni a lipoproteinek oxidációját (Shaish et al., 2008). Ezenkívül az ultraibolya B sugarak elnyelésében is van jelentősége, hozzájárulva ezzel a bőr napsugárzással szembeni védelmében (Stahl & Sies, 2012). Számos zöldség- és gyümölcsfajban megtalálható különböző mennyiségekben, beleértve a paradicsomot, sárgabarackot, papaját és a paprikát is (Khachik et al., 2002).

A humán táplálkozás C-vitamin forrásai közül legfontosabbak a zöldség és gyümölcsfajok, ezek adják a bevitt mennyiség közel 90%-át (Wills et al., 1984). Fontos szerepet játszik az aminosavak bioszintézisében, az adrenalin képződésében és a máj detoxifikációs folyamataiban (Smirnoff, 1996). Élettanilag fontos hatásairól mára már rengeteget tudunk, köszönhetően Szentgyörgyi Albert munkásságának, többek között hatékony a skorbut megelőzésére, az egészséges bőr és erek funkciónak fenntartására, csökkenti a koleszterinszintet, javítja az immunrendszer működését és az egyes daganatos megbetegedésekkel szemben is bebizonyították hatékonyságát (Harris, 1996). Mennyisége a paradicsomban nem nevezhető kiemelkedőnek, ezzel szemben mégsem elhanyagolható (Klein és Perry, 1982). 100 gramm friss paradicsom átlagosan 10,4 - 44,6 mg C-vitamint tartalmaz (9. táblázat) (Lincoln et al., 1943). Tartalma nagyban függ a fajtától és a termesztés technológiától. Egyes kutatók azt találták, hogy azonos fajtákban azonos országban, de különböző éghajlati körülmények között akár, több, mint duplája is lehet a C-vitamin tartalom közötti különbség. Marglobe fajta vizsgálatakor, egyik esetben az egyik termőhelyen 14,4 mg/100g értéket, egy kicsivel messzebb egy másikon pedig 30,6 mg/100g-os értéket mérték, azonos technológia és betakarítási idő mellett (Hamner és Maynard, 1942).

Az egyes környezeti tényezők közül a fény pozitívan hat a felhalmozódására (Lee and Kader, 2000). Szintje nem állandó, az érés során folyamatosan növekszik és csökken, ezért rendkívül fontos, hogy az összehasonlító vizsgálatok mindig azonos időben történő szedés esetén történjenek (Malewski és Markasis, 1971).

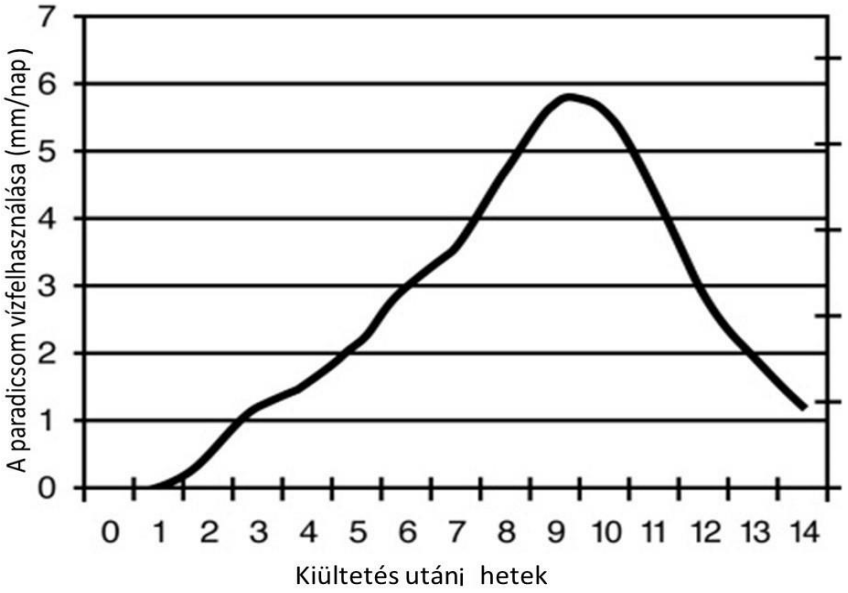
9. táblázat: Különböző paradicsom fajták C-vitamin tartalma (Burge et al., 1975)

Fajta	C-vitamin tartalom (mg/100g)
Napoli	19,9
Fireball	15,0
Chico Grande	16,9
H-1783	23,0
2876	26,4
Chico III	25,7

2.2.3 A víz jelentősége és hatása a paradicsom termésmennyiségére és minőségére

Napjainkban közel 1,1 milliárd ember nem jut egészséges ivóvízhez. A világ éves vízkészletének 2/3-át fordítják mezőgazdasági tevékenysége – zömmel öntözésre – ami kb. 2700 km^3/év. Ez az érték 2025-re elérheti a 3100 km^3/év mennyiséget. Az öntözött területek arányának növelése kiemelten fontos a kertészeti kultúrákban (Helyes, 2005). A világ vízkészletei tehát végesek, ebből következően egyre több törekvés irányul a vízfelhasználás csökkentésére, beleértve ebbe az egyes öntözési eljárásokat is (Zegbe-Domínguez et al., 2003). A nem megfelelő vízminőség és vízellátottság negatívan hat, mind a termés mennyiségére mind pedig a minőségére, és ez befolyásolja az élelmiszerbiztonságot is (Dorais et al., 2008). A megfelelő öntözés és tápanyag ellátás fontos elem a hozam és a beltartalmi értékek alakulásában **(**Zhu et al., 2012).

A paradicsom vízigényes növény, de fejlett és mélyre hatoló, nagy szívóerejű gyökerével a vizet gazdaságosan hasznosító zöldségfélék közé tartozik. Vízfogyasztási együtthatója, ami az 1kg termés előállításához felhasznált vízmennyeséget jelenti, 30-60 liter/kg (Helyes, 1999). Transpirációs együtthatója 240-370 között van (Somos, 1971). Szabadföldi paradicsomtermesztés esetében a május első dekádjában kiültetett paradicsom kezdetben nagyon kevés vizet használ fel. Az egységnyi területről való vízfogyás ebben az időszakban gyakorlatilag az evaporációból adódik. Ezt követően a lombozat növekedésével egyenesen arányosan növekszik a vízfogyasztás is. A legnagyobb vízigény a tömeges kötődés és a bogyónövekedés időszakára esik (4. ábra) (Balázs, 1994).



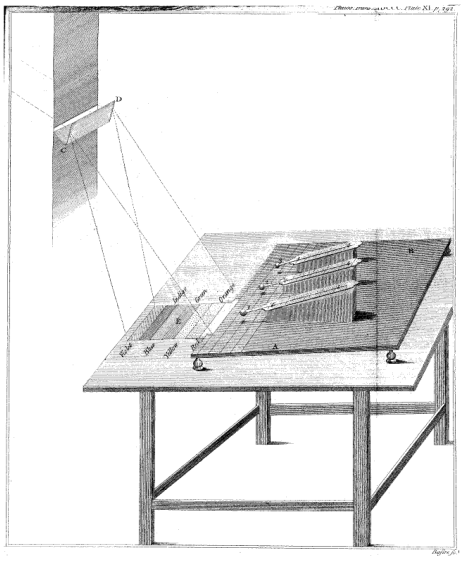
4. ábra: Átlagos vízfelhasználás alakulása paradicsom esetében (LeBoeuf et al., 2008)

A termés mennyisége nagymértékben függ a vízellátottság mértékétől. A „vízdeficit" kezelésben öntözött paradicsom átlagosan 45,7%-kal nagyobb hozamra képes, mint az öntözetlen állomány. Ugyanezen tanulmány szerint a csepegtető öntözéssel kezeltek növények bogyóátlagtömege 32%-kal nagyobb volt és 127%-kal több piacképes termés keletkezett (Liu et al., 2011). Helyes és munkatársai által végzett kutatások szintén alátámasztották, hogy a megnövelt vízmennyiség pozitívan hat a termésmennyiségre és negatívan a Brix° tartalomra és a szárazanyag hozamra (Helyes et al., 2009). A vízoldható szárazanyagra gyakorolt negatív hatását más kutatások is alátámasztották (Favati et al., 2009). Ezzel szemben, ha csökkentjük az öntözés gyakoriságát megnövekszik a Brix°, a teljes szárazanyag-tartalom és ebből adódóan a cukortartalom mennyisége is (Berényi, 1970). Ezt támasztja alá az a tanulmány is, amely a C-vitamin és a cukortartalom vizsgálatára irányult öntözés hatására, ahol megállapították, hogy a vízellátottágnak jelentős hatása van ezen beltartalmi összetevőkre (Kaniszewski et al., 1987). A részleges gyökérzóna öntözés nagymértékben képes csökkenteni a vízfelhasználást ipari paradicsom esetében anélkül, hogy negatív hatással lenne a termés mennyiségére (Battilani et al., 2009). Liu és munkatársai 2011-ben a már említett tanulmányban azt találták, hogy az öntözés 8%-al csökkentette a likopin tartalmat 100 gramm termésre vonatkoztatva a paradicsom bogyókban. Ezzel szemben egy másik kutatócsoport viszont pont az ellenkezőjét, vagyis magasabb likopin tartalmat mért az öntözött állományban, függetlenül az érési stádiumtól. Több tanulmányban leírták, hogy a vízstressz pozitívan befolyásolta a β-karotin szint alakulását (Riggi et al., 2008) és felgyorsítja a színeződés folyamatát és megnöveli a karotinoidok mennyiségét (Matsuzoe et al., 1998).

2.3 Spektroszkópia

2.3.1 A közeli infravörös sugárzás rövid történeti áttekintése

A fény és az anyag kölcsönhatásának kapcsolatát már kevéssel időszámításunk után is felismerték, beleértve időszámításunk után 130-ban Ptolemaeust és 1305-ben Von Freiburgot, utóbbi, aki a szivárvány struktúráját szimulálta vízzel töltött üveggömbök segítségével. A 19. század közepén számos kiváló kutató, úgy, mint Newton, Snell, Huygens, Bradley és Priestly szintén nagymértékben hozzájárultak eme tudományág fejlődéséhez. Az igazi áttörés azonban Sir Frederic William Herschel (1738-1822) nevéhez fűződik, aki 1800 májusában végzett kísérletével detektálta először az infravörös tartományt (Davies, 2000).



5. ábra: Sir Frederic William Herchel kísérlete (https://commons.wikimedia.org/wiki/File:William_Herschel%27s_experiment.gif)

Kísérletének lényege az volt, hogy egy üvegprizma segítségével felbontotta a napfény fehér fényét a szivárvány színeire és ezek hőmérsékletét hőmérők segítségével mérte meg. Ezzel állapította meg, melyik szín felelős a hőközlésért. Azt találta, hogy a vörösön túli meg nem világított területeken szintén emelkedő hőmérséklet mutatkozott, így ezt a tartományt elnevezte vörös alatti, azaz infravörös tartománynak (5. ábra) (Herschel and Dreyer, 1912). 1835-ben André-Marie Ampére kísérletei bizonyították a fény és a sugárzó hő kapcsolatát, őt pedig 1864-ben James Maxwell követte kutatásaival, melyekben a fény- és hősugárzásokra, mint elektromágneses sugárzásokra vonatkozó megállapításaival (Davies, 2005).

A következő nagy áttörést Abney és Festing érte el 1881-ben, akik 700-1200 nm között vizsgálták az infra tartományt, melynek következményeként 1885-ben megépített fotométerükkel folyadékmintákon kezdtek el vizsgálatokat végezni (Osborne és Fearn ‚2', 1986).

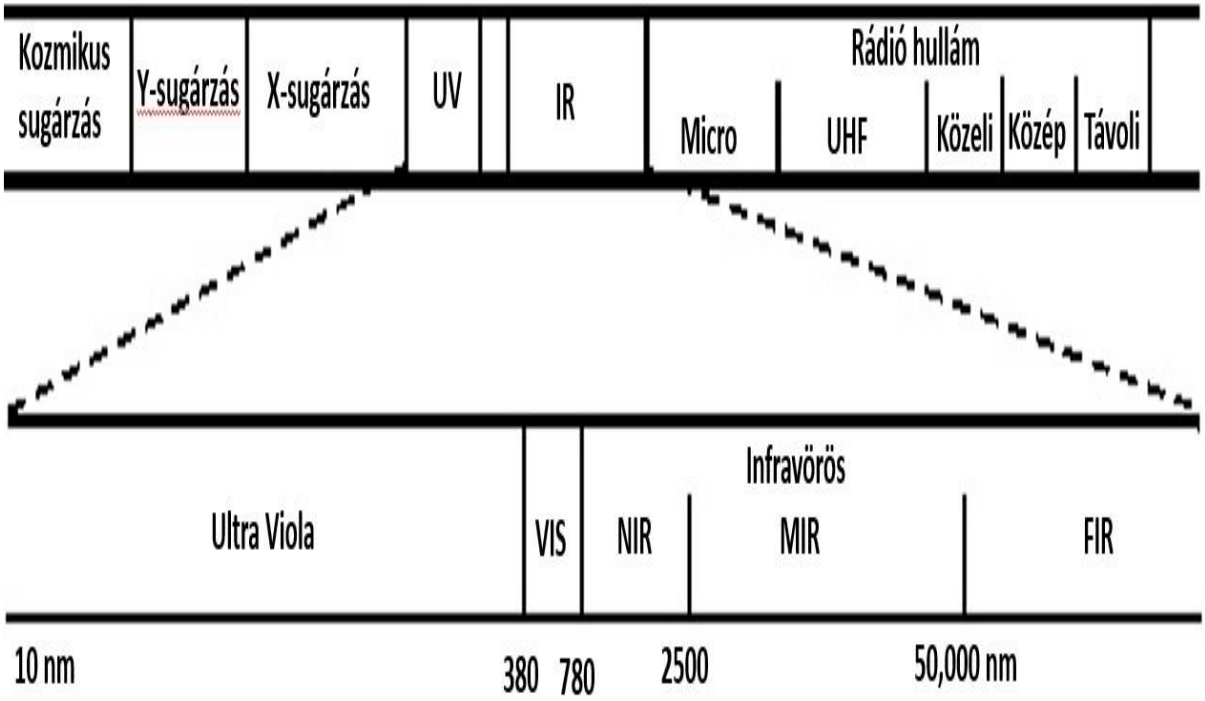
Coblentz 1901-ben végzett kutatásai alapján 1905-ben publikálta eredményeit, melyben 1000 és 16000 nm között leírt vegyületek spektrumait rögzítette. Ezzel bebizonyította, hogy nincs 2 vegyület, amelynek egyforma spektruma lenne (Coblentz, 1905).

1950-től egyre növekvő igény mutatkozott a gyors és megbízható minőségű vizsgálatokra, amelyeknek a nedvességre, fehérje és olajtartalomra. kellett kiterjednie. 1964-ben Karl Norris, aki akkoriban az USDA-nál dolgozott, megoldást talált a problémára, melyeket gabona vizsgálatokra alapozott. Korábbi, tojásokon végzett kutatásaira támaszkodva érte el kimagasló eredményeit (Workman & Burns, 1992). Lisztmintákon végzett kutatásaiban észrevette, hogy a fehérjetartalom zavarhatja a mérési módszer sikerességét. Ebből azt a következtetést vonta le, hogy ez az összetevő külön is mérhető. Későbbiekben kutatásait szóján folytatta, munkásságának fénypontjaként a kutatócsoportjával elérte, hogy fehérje, víz és nyerszsírtartalom mérésére is alkalmas technológiát fejlesztettek ki (Norris és Hart, 1965). Az 1970-es évektől a piacon számos új hullámhossz szűrővel ellátott készülék jelent meg, amelyek főként gabona és szója beltartalmi értékeit voltak hivatottak mérni (Stokes, 1979).

Számos új kutatási területen dolgozó kezdett el érdeklődni a NIR technika iránt. Az 1990-es évektől mind az orvostudomány (Hiraoka et al., 1993), mind pedig a gyógyszeripar (Quaresima et al., 2003) területén kimagasló eredmények mutatkoztak, amelyek a mai napig egyre csak szélesebb körűbbé válnak. Szintén elterjedt a mezőgazdasági talajvizsgálatok (Reeves et al, 1999; Confalonieri et al., 2001), hús-minőség vizsgálatok (Cozzolino and Murray, 2002; Ding és Xu, 1999), de még a régészeti vizsgálatok területén is (Tsuchikawa et al., 2005) megemlítve még néhány fontos területet a teljesség igénye nélkül.

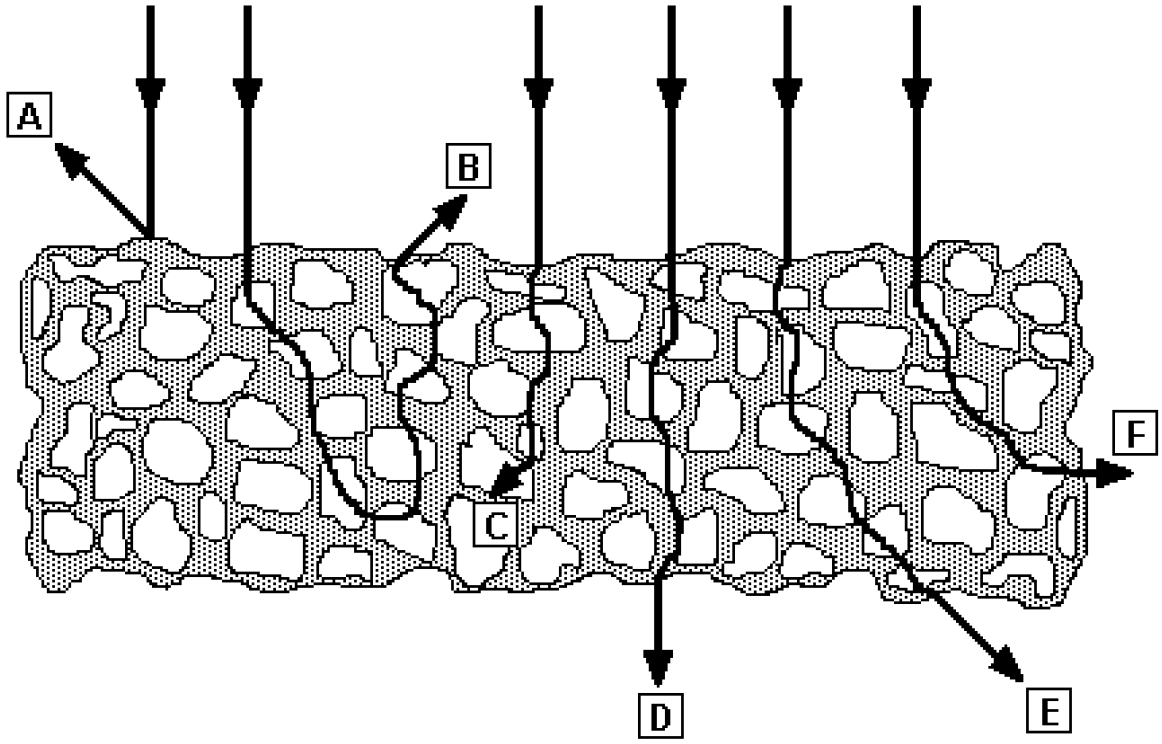
2.3.2 A közeli infravörös spektroszkópia alapjai

2.3.2.1 Az elektromágneses sugárzás



6. ábra: NIR az elektromágneses spektrumban (Davies, 1999)

Az infravörös sugárzás széles spektrumát közeli (λ= 780 – 2500 nm), középső (λ=2500 – 50000 nm) és távoli (λ=50000 – 300000 nm) tartományra osztják (6. ábra) (Pokol, 2011). A közeli infravörös spektrumban pontos optikai jelet 2 tartományban kaphatunk. Transzmissziós mérések esetében 800-1100 nm, reflexiós mérések esetében 1100-2500 nm-es tartományokat használnak fel. A NIR/NIT technika a minta és az infravörös fotonok kölcsönhatását használja fel: a fénykvantum hatására a molekulák rezgési és forgási állapotai gerjesztődnek, eközben a fotonok egy része visszaverődhet (reflexió), elnyelődhet (abszorpció) vagy áthaladhat a mintán (transzmisszió), illetve bizonyos részük más utat járhat be (Murray, 2004; Osborne & Fearn ‚1', 1986)



7. ábra: A fény és az anyag egymással való kölcsönhatásai. (A: felületi (spekuláris) reflexió, B: diffúz reflexió, C: fényelnyelés, D: transzmisszió, E: fényelhajlás, F: fényszóródás) (Burns és Ciurczak, 2008)

A 7. ábra szemlélteti, hogy ha a sugárzás merőlegesen éri a mintát és tökéletes felületi visszaverődést szenved, akkor spekuláris reflexióról (A), ha az infravörös sugárzás a mintára merőlegesen érkezve a fizikai szerkezettől függően behatol a mintába, majd visszaverődik akkor diffúz reflexióról (B) beszélünk. Abszorpció (C) esetén a sugárzás teljesen elnyelődik, míg transzmisszió (D) esetében pedig egyenesen hatol át a mintán. Fényelhajlásról (E) akkor beszélünk amikor a sugárzás a mintán keresztülhatol, de nem egyenes irányban távozik a minta másik oldalán, fényszóródásról (F) pedig amikor a szélén távozik.

2.3.2.2 A minták előkészítése és a spektrumfelvétel

A megfelelő mintaelőkészítés és annak hiánya nagyban képes befolyásolni a vizsgálatunk végeredményét. Kellő figyelmet kell fordítani arra folyadék halmazállapotú minták esetén, hogy az maximálisan homogén legyen és a spektrumfelvétel állandó hőmérsékleten történjen. Léteznek direkt erre a célra alkalmas homogenizáló készülékek, amelyek segítségével szinte tökéletesen homogén mintát kapunk. Egyes műszerek forgócsészés megoldásokat használnak ennek kiküszöbölésére, melynek végeredményeként egy átlagértékekből számolja ki az átlagspektrumot.

Magas zsírtartalmú, mint a hús vagy tej alapú termékeknél még fontosabb a megfelelő, állandó hőmérséklet, hiszen annak megváltozásával módosulhat egyes összetevőinek az aránya.

2.3.2.3 Többváltozós becslési függvények

Ebben a fejezetben a közeli infravörös spektroszkópiában használt egyes matematikai-statisztikai műveleteket mutatnám be a teljesség igénye nélkül, fókuszálva az általam is használtakra. Egyes műszerekhez gyárilag is tartozik olyan szoftver, amely képes ezen műveletek elvégzésére a kezelőfelületen belül, azonban legtöbb esetben nem nyújtanak teljeskörű megoldást. Ezzel szemben egyes szoftverek igen, viszont a kettő közötti átjárás nagyon sok esetben akadályokba ütközik.

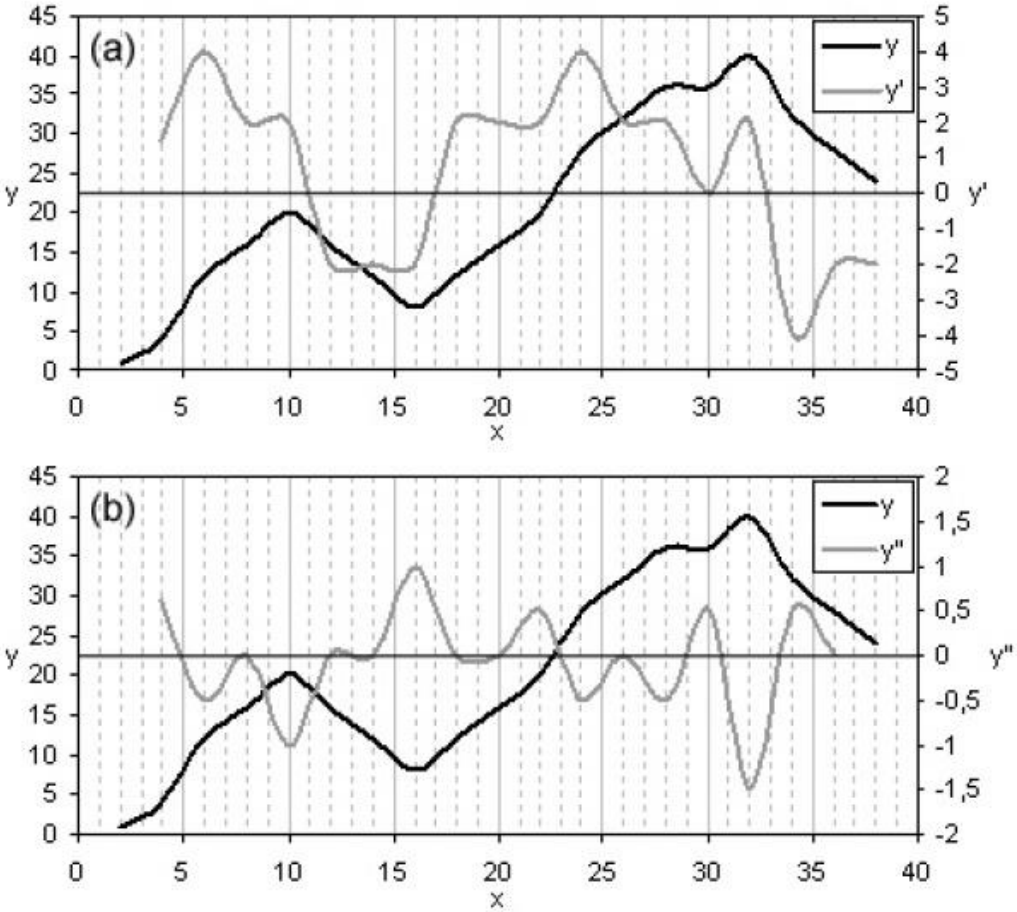
2.3.2.3.1 Deriváltak

Az első derivált spektrumnak ott van a maximuma (csúcsa), ahol az eredeti spektrum felfelé irányuló meredeksége a maximumot éri el. Hasonlóképpen: ott kapunk minimumot (völgyet), ahol az eredeti spektrum lefelé irányuló meredeksége maximumot mutat. Az eredeti spektrum minimumai, illetve maximumai helyén az első derivált spektrum nulla értéket vesz fel. A második derivált spektrumot az első derivált spektrum további deriválásával kapjuk meg. Ahol az eredeti spektrumban csúcsa volt, az második derivált spektrumban völgyként jelentkezik és viszont (8. ábra).

Az eredeti spektrumban lényegileg átlapoló csúcsok tisztán szétválnak, és azok a csúcsvállak, illetve inflexiós pontok, amelyek korábban szinte észrevehetetlenek voltak, most könnyen láthatóvá vállnak, és kiértékelésre alkalmasak lesznek. Ráadásul a függőleges alapvonal-eltolódást is eliminálja ez a matematikai kezelés.

A deriválásnak hátrányai is vannak. Mivel felnagyítja a zajt és fokozza a spektrum összetettségét, a jel-zaj arány romlik. Többek között ez az oka annak, hogy a harmadik, negyedik vagy magasabb rendű deriváltak használata ritka, hisz minden egyes deriválás erősíti az imént felsorolt kellemetlen hatásokat.

A zaj növekedése miatt sokszor valamilyen más transzformációval (pl. simítással) kombinálják. Ennek hátránya, hogy mivel legtöbbször valamilyen átlagképzést használunk, ezért veszteség léphet fel azokban az információkban, amelyek a spektrumsávok finom struktúrájában rejlenek (Barton, 2004).



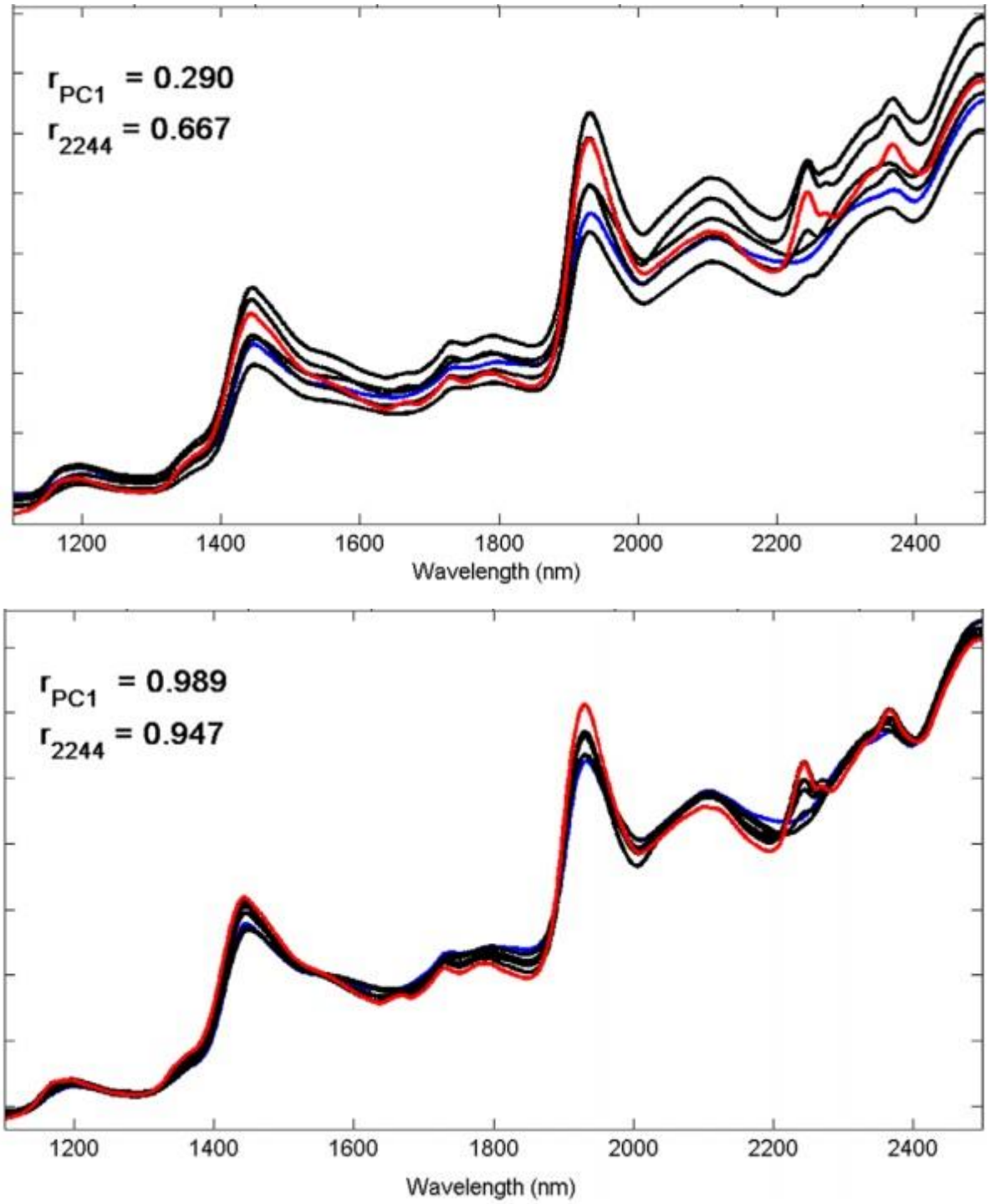
8. ábra: Első (a) és második (b) derivált spektrumok (Gergely, 1998)

2.3.2.3.2 Többszörös szóródási korrekció

A többszörös szóródási korrekció (multiplicative scatter correction) a szóródás okozta alapvonal eltolódásának matematikai kezelésére szolgál. A többszörös szóródási korrekció egy lineáris spektrum transzformáció, amely szerint a fény szóródásának hullámhossz-függése van és ez különbözik a kémiai alapú fényabszorpciótól (Ozaki et al., 2007).

2.3.2.3.3 Standard normál változó

A standard normál változó (standard normal variate, SNV) a második leggyakrabban használt módszer szóródási korrekció vizsgálatára (Barnes et al., 1989). Az SNV módszer normálja azokat a spektrumokat, amelyek olyan mintaseregről készültek, ahol a tényleges optikai úthossz változik a minták között (9. ábra). Ezt a változást okozhatja az, hogy a szemcsés minták betöltése az adott minta-tartóba nem teljesen reprodukálható, illetve, hogy a részecskeméret-eloszlás mintáról mintára változhat. Az SNV kezelés során a spektrum i-edik adatpontját (s_i) korrigáljuk a spektrum adat-pontjainak átlagával ($\bar{s}$), majd az adatpontok szórásával osztjuk (Balázs et al., 2011)

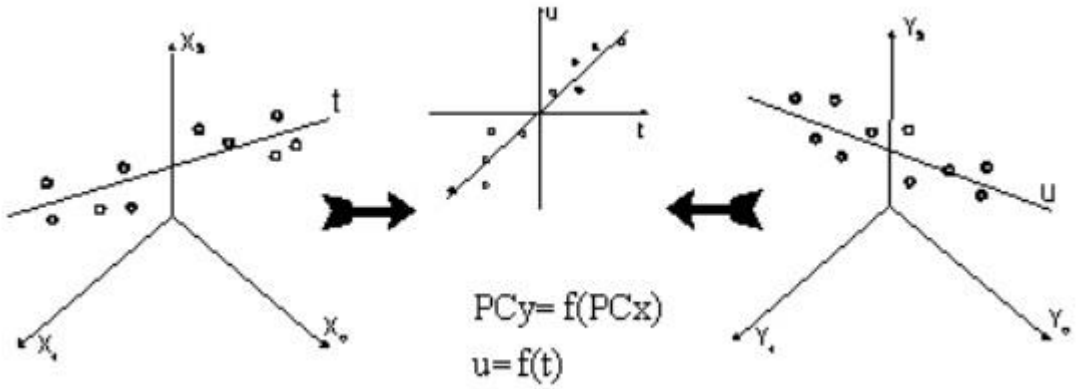


9. ábra: felső ábra: eredeti spektrum, alsó ábra: SNV-vel kezelt spektrum (Rinnan et al., 2009)

2.3.2.3.4 Részleges legkisebb négyzetek (PLS) módszere

Az (előkezelt) spektrumok és a referencia eredmények alapján megvizsgálhatjuk az összefüggést a két adathalmaz között. Az egyik ilyen módszer a részleges legkisebb négyzetek (Partial Least Squares) regresszió, melynek esetében a függő változóban (y) meglévő információt

felhasználjuk a becslés során, amely így egyidejűleg modellezi a független és függő változót. A modell a számított rejtett változók számának növelésével egyre nagyobb mértékben írja le az adathalmazok összefüggéseit. A PLS ezekre a változókra részleges kalibrációkat alkalmaz a variancia összegének modellezésére, amelyeket a művelet végén egy átfogó kalibrációs egyenletbe gyűjt (10. ábra).



10. ábra: A PLS regresszió elve

Az optimális tagszám meghatározása a PLS kalibráció része: túl kevés változó esetén a kalibráció kevés információt hordoz és nagy predikciós hibával dolgozik, míg túl sok változó alkalmazáskor a modell túlilleszti a kalibrációs adatokat, és az így elveszti a robosztusságát, stabilitását (10. ábra). Az optimális tagszámot rendszerint kereszt validálással határozzuk meg (Dalmadi et al., 2007**).**

2.3.2.3.5 Kereszt-validálás

Kereszt validáláskor (cross validation) az egyes mérési módszerekkel kapott precizitás és helyességi adatokat hasonlítjuk össze egy másik módszerrel (pl: HPLC). Ezáltal a kalibrációs mintasor ellenőrzésre is szolgál. A módszer lényege, hogy a rendelkezésre álló adatokat véletlenszerűen *n* darab azonos elemszámú halmazokba osztjuk. Ezután kiválasztunk az *n* halmazból 1 db-ot, mellyel tesztelünk, a maradék *n-1* halmazt pedig tanításra használjuk. Mind az *n* esetben felépítjük a modellt és a tesztelések során kapott pontosságok átlagát tekintjük a végső modell pontosságának (Abonyi, 2006).

2.3.2.4 Becslési függvények statisztikai paraméterei

A PLS módszerével készült kalibrációs egyenletek teljesítményjellemzésére az alábbi mennyiségeket használhatjuk:

- Illesztés lineáris korrelációs koefficiense, azaz Pearson-féle korrelációs koefficiens (Pearson's correlation coefficient, R), illetve ennek négyzete a determinációs együttható (R^2)

$$R^2 = 1 - \frac{SSE}{\Sigma(y_i - y_m)^2} \times 100$$

- Átlagos hiba négyzetösszeg (root-mean-square error, RMSE)

$$\mathrm{RMSE} = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} \frac{(\hat{y}_i - y_i)^2}{n}}$$

- A kereszt-validáció átlagos hibája - Root Mean Square Error of Cross-validation (RMSECV) (Naes et al., 2004)

$$\mathrm{RMSECV} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(\hat{y}_i - y_i)^2}{n}}$$

2.3.3 NIR spektroszkópia alkalmazása a kertészetben

A közeli infravörös spektroszkópiát, mezőgazdasági alkalmazásban először Norris használta 1964-ben gabonák nedvességtartalmának meghatározására (Norris, 1964). Azóta számos tanulmány jelent meg, mind mezőgazdasági, mind élelmiszeripari termékek vizsgálatára. A kertészetben használt korai kutatások szárazanyag-tartalomra hagymában (Birth et al., 1985), vízoldható szárazanyag-tartalomra almában (Bellon-Maurel, 1992) és víztartalomra gombában (Roy et al., 1993) fókuszáltak, de ezeken kívül számos tanulmány látott még napvilágot. Nagyon sok publikáció készült alma egyes összetevőinek vizsgálatára. Elsők között Lovász és munkatársai 1994-ben megjelent publikációja kezdett el foglalkozni keménység, szárazanyag és pH méréssel is almában, melyet követően számos kutatócsoport igyekezett tovább vizsgálni a technikát (Lammertyn et al., 1998; Clark et al, 2003). A technika továbbfejlesztése az egyes összetevők még pontosabb, még gyorsabb meghatározását célozta. Ennek eredményeként 2005-ben és az azt követő évben Liu és munkatársai kidolgoztak egy modellt, amely nagyon alacsony hibával volt

képes cukor, savtartalmat és pH-t vizsgálni almában (Liu és Ying, 2005; Liu et al., 2006). Az ő méréseik 812 és 2367 nm közötti tartományban voltak képesek detektálni az egyes összetevőket. A kutatások természetesen nem merültek ki csupán az almán végzett vizsgálatokban, számos tanulmány készült többek között ananász (Guthrie et al, 1998), mandarin (Gomez et al., 2009), körte (Han et al., 2006) és szőlő (Cozzolino et al., 2004) beltartalmi értékeinek vizsgálatára is.

2.3.3.1 A paradicsom fő összetevői és a közeli infravörös spektroszkópia kapcsolata

A paradicsomban előforduló analitikai nehézségekből adódó problémák megoldására elsőként Hong és munkatársai kerestek megoldást 1998-ban, akiket 2003-ban Goula és Adamopoulos követett nedvesség-, sav-, só- és fehérje tartalom meghatározásával paradicsom alapú termékekben. Ők már második derivált spektrum-transzformációt használtak eredményeik eléréséhez (Hong et al., 1998; Goula és Adamopoulos, 2003). A sav/Brix° arány, vagyis az íz kialakulásáért felelős arányszám kutatását Jha és Matsuoka kezdte el paradicsom ívólevekben, akik 1059,5 és 1124,8 nm között találták a legerősebbnek az összefüggéseket (Jha és Matsuoka, 2004). Egész paradicsomban elsők között SSC-t Slaughter és munkatársai (1996) vizsgáltak, melynek eredményeként r^2= 0,89 összefüggést találtak, ami magas korrelációnak mondható és ebből adódóan a becslés hibaértéke is alacsony (SEP=0,33) volt (Slaughter et al, 1996). Szintén erős összefüggéseket találtak Khuriyati és mtsai (2004) is, akik ugyanúgy egész paradicsomban vizsgáltak szárazanyagtartalmat (R^2=0,96).

A mikronutriensek vizsgálata az ezt követő időszakban kezdett el egyre inkább előtérbe kerülni. Pedro és Ferreira (2005) kutatásai során PLS regressziót és spektrumtranszformációkat (deriválás, MSC) használva vizsgálták a paradicsom likopin és egyéb karotinoid tartalmát. Likopin tartalmat r^2=0,99, β-karotin tartalmat pedig szintén r^2=0,99-es pontossággal tudták meghatározni. Ezt követően Halim és munkatársai szintén likopin tartalmat vizsgáltak (Halim et al., 2006) megbízható eredménnyel annyi különbséggel, hogy ők az ATR-IR (csillapított teljes reflektanciás spektroszkópia) módszerrel vettették össze a HPLC által mért referencia adatsort PLS regressziót használva. Az FR-Raman, ATR-IR és a NIR technika összehasonlítására végzett kutatásokat Baranska és kutatócsoportja 2006-ban, ahol azt találtak, hogy mind likopin, mind pedig β-karotin meghatározásra a NIR spektroszkópia alkalmas volt (Baranska et al., 2006). A tudomány itt nem állt meg, Clément és munkatársai 2008-ban a paradicsom érettségét és ízét vizsgálták szintén NIR spektroszkópiával. Egy új elnevezést használva (TMS-paradicsom érettségi állapot) mérték a likopint, keménységet, savtartalmat, pH-t és az SSC-t. Ezen adatok összefüggéséből állapították meg az előbb említett értéket és vizsgálták meg közeli infravörös spektroszkópiával. R^2=0,93-as összefüggést állapítottak meg 0,259-es (RMSEP) becslési hibával (Clément et al., 2008).

A genetikailag eltérő paradicsomok elkülönítését elsőként Rubio-Diaz és munkatársai (2010) kezdték el kutatni, az alapján, hogy az egyes paradicsom fajták (ami ez esetben 24 volt) karotinoid tartalmát 8 különböző gén befolyásolja. Ezek szintjei és típusai az egyes fajtákban különbözőek. Ezeket a karotinoidokat beazonosítva érték el azt, hogy kutatásuk eredményeként sikerült elkülöníteniük az egyes típusokat egymástól és megállapították, hogy a technológia alkalmas ilyen kutatási célra is. VIS/NIR technológiával és egy új fogalom megalkotásával írtak tanulmányt Haiqing és munkatársai, akik a GS (Growing Stage) szó, mint angol rövidítés bevezetésével járultak hozzá a tudomány további fejlődéséhez, ami annyit tesz, hogy az érettségi állapotot napokban fejezik ki. Ezeket az adatokat vetették össze a spektrális értékekkel és azt találták, hogy R^2=0,89-0,92-es értékeket mutat, amihez PLS regressziót használtak. Referencia adatokként a likopin, β-karotin, klorofill, antocianin, víz adatokat vették és ezeket felhasználva alkották meg a kalibrációt (Haiqing et al., 2011).

Magyarországi példát véve a Szent István Egyetem és a lengyel Polish Academy of Sciences közös munkájával karöltve elkészült publikációban a paradicsom karotinoidjait vizsgálva azt találták, hogy az egyes karotinoidok (likopin, lycoxanthin, fitoin stb.) és a NIR spektrumok között magas összefüggés mutatkozik, diódasoros NIR spektrométert használva (Deák et al., 2015). A litvániai kertészeti kutatóközpont publikációja a szárazanyag, Brix°, hús- és héjkeménységet vizsgált különböző érési stádiumok esetében. Minden vizsgálati összefüggésük 0,9 fölötti R^2 értéket mutatott bebizonyítva ezzel is a NIR technika hatékonyságát (Radzevicius, et al., 2016), és tovább erősítve azokat a tudományos bizonyítékokat, melyek alapján mára már biztosan állítható, hogy ez a technika alkalmas beltartalmi mérések meghatározására és ennek tökéletesítésére számos kutatócsoport végez kísérleteket a világ különböző területein.

3. ANYAG ÉS MÓDSZER

3.1 Kísérleti telep bemutatása

Kísérleteimet a gödöllői Szent István Egyetem Kertészeti Intézetének tanüzemében állítottam be 2012 és 2015 között. A terület nagysága 4 hektár, amely a Gödöllői-dombságban terül el. A kísérleti tér talaja enyhén lúgos-semleges kémhatású, laza szerkezetű homokos vályogtalaj. Arany féle kötöttségi értéke 30-40 kötötti, humusztartalma 1,8-2% között mozog (10. táblázat).

10. Táblázat: A kísérleti telep talajának vizsgálati eredményei 2012-2015-ben (mg/kg)

Év	pH	NO_3-N	P_2O_5	K_2O	Ca	Mg	Cu	Bór	Kötöttség
2012	6,5-8,3	100-175	175-200	325-500	500-600	80-130	3-10	1-2	36
2013	5,0-7,0	140	22	206	200	62	0,1	0,32	32
2014	5,0-7.0	200-250	175-250	400-600	600-800	100-150	3-10	1-2	30
2015	5,0-7,0	200-250	175-250	400-600	600-800	100-150	3-10	1-2	36

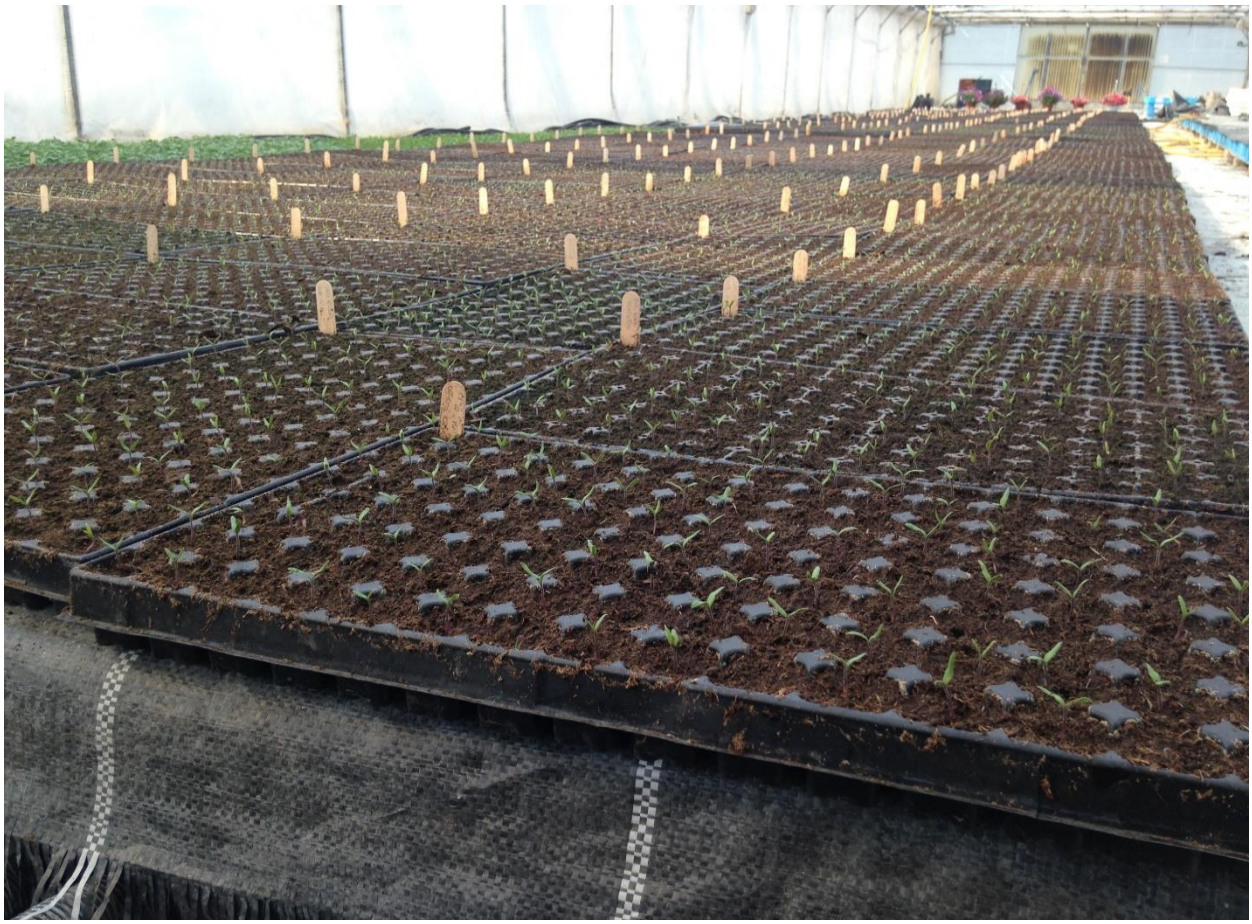
A terület vízkapacitása alacsony, ezzel szemben vízvezető és vízelnyelő képessége megfelelő értékeket mutat. A talajvíz megközelítőleg 4 méter mélyen található, amely már a zöldségfajok, így a paradicsom számára sem hozzáférhető.

3.2 Kísérlet beállítása

A kísérletet négy egymást követő évben egymástól jelentősen eltérő időjárási körülmények mellett, de megegyező termesztéstechnológiai paraméterekkel állítottuk be, ennek szemléltetése a meteorológiai mérések fejezetben bővebben kifejtett. A magvetés ideje így rendszerint április elején-közepén történt, melyeket megközelítőleg egy hónap palántanevelést követően kiültettünk a szabadföldi területre. A kiültetés idejének megválasztásakor fontos tényező a magvetés megfelelő időpontjának kiválasztása. Az 11. ábra a palántanevelést mutatja be.

A palántanevelést a külön erre a célra kialakított, talpfűtéssel rendelkező, nagy légterű, tetőszellőzéssel felszerelt növényházban végeztük, időtartama 5-6 hetet vett igénybe. A palántakori öntözővíz adagokat sok esetben napi rendszerességgel pótoltuk. A műanyag tálcákba való tűzdelést követően a palánták jól fejlődtek, gyökerük 2 hét után már teljesen átszőte a rendelkezésre álló helyet, köszönhetően a fél-láp tőzeg alapú közegnek, valamint a megfelelő

levegő és vízgazdálkodásnak. Ahhoz, hogy a palántákat felkészítsük a szabadföldi körülményekhez, a tető szellőztetőjének nyitását alkalmaztuk, így a szellőzés és a szoláris radiációhoz szoktattuk a növényeket. Ennek köszönhetően a palántaveszteség és a palántákon bekövetkezett destrukció valószínűsége alacsony volt.



11. ábra. Palántanevelés a Kertészeti Technológiai Intézet kíséreti telepén 2015-ben.

A palánták kiültetését megelőzően a talaj előkészítése kombinált magágykészítő géppel 16 cm-es mélységben történt. Indítótrágyaként a teljes kísérleti területen 2–3 hónapos hatástartamú Agroblen 18-8-16+2MgO (Everris International B.V.) műtrágyát juttatunk ki, 299 kg ha-1 N; 133 kg ha-1 P_2O_5 és 266 kg ha-1 K_2O dózisban. A kiültetést követően, egy hónap elteltével (kötődés kezdetekor) NH_4NO3 fejtrágyát (75 kg ha-1 N hatóanyag) adtunk a növényeknek, majd a tenyészidőszak második felében kiegészítő kálium (KNO_3) fejtrágyázás (150 kg ha-1) történt kétszeri kijuttatásban.

Abban az esetben, ha túl korán vetünk megnövekedett nevelési költséggel és előöregedett gyökérrel, ha túl későn, akkor pedig fejletlen növényekkel számolhatunk kiültetéskor, amely egyik esetben sem kedvező. A betakarítás ideje érettségi állapot függvényében augusztus közepén-végén

zajlott. A legfontosabb kísérleti paramétereket a 11. táblázat tartalmazza.

11. táblázat A négyéves kísérlet fontosabb adatai

	2012		2013		2014		2015	
Vizsgált fajták	**UR**	**STR**	**UR**	**STR**	**UR**	**STR**	**UR**	**STR**
Vetés időpontja	**04.08**	**04.08**	**04.06**	**04.06**	**04.03**	**04.03**	**04.11**	**04.11**
Kiültetés időpontja	**05.08**		**05.09**		**05.09**		**05.11**	
Tenyészterület	**120+40x30 cm**							
Vízellátás	**A növény fejlettségétől és a hőmérséklettől függően: 1-6 mm/nap**							
Betakarítás ideje	**08.14**	**08.09**	**08.21**	**08.14**	**08.25**	**08.18**	**08.12**	**08.11**

UR: Uno Rosso, STR: Strombolino

3.3 Kísérletben szereplő fajták jellemzése

A kísérleti területen számos fajta kísérlete folyt, ideértve emelt likopin tartalmú, hagyományos bogyóátlag-tömegű és cseresznyeparadicsom fajtákat is. A doktori értekezésemben két hibriddel foglalkozom részletesen, név szerint az Uno Rosso F_1 és a Strombolino F_1-gyel. Mindkét fajta determinált paradicsom hibrid és ipari felhasználásra nemesített. Az egyes hibridek leírását a forgalmazó által kiadott katalógus alapján mutatom be (12. táblázat)

12. táblázat: A vizsgált fajták jellemzői

Fajta	Tenyészidő	Növekedés	Bogyó átlagsúly	Betakarítás gépi	Betakarítás kézi	Felhasználás
Uno Rosso F_1	középkései	erős	60-70g	+	+	konzervipari
Strombolino F_1	korai	nagyon erős	13-18g	-	+	konzervipari, friss piaci

Uno Rosso F_1: Középkései, erős növekedésű, bőtermő hibrid. Bogyói enyhén megnyúltak, egy színből érnek, 60-70g átlagtömegűek. A paradicsom számára kedvezőtlenebb körülmények között is folyamatosan fejlődik, és sokat köt. Lombja a betegségekre kevésbé érzékeny, tövön tarthatósága kitűnő. Verticilium, fuzárium, és alternária ellenálló.

Strombolino F_1: Korai, kifejezetten erős növekedésű, determinált cseresznye típusú paradicsom. Kiemelkedően jó terméskötödésének köszönhetően, nagy hozamokra képes. Kemény, 13-18 gramm átlagtömegű, szabályos gömb alakú termései repedésre nem hajlamosak. Ipari és friss piaci célra is kiváló. A 12. ábra a kiültetés utáni kísérletet mutatja be 2015-ben, a 13. ábra pedig a már betakarítás előtti állapotot.

12. ábra: Állománykép a kiültetést követő első napokban 2015-ben

13. ábra: Strombolino állománykép a betakarítást megelőző napokban 2015-ben

3.4 Kísérlet során alkalmazott agrotechnika

A kísérlet beállítása során minden évben ugyanazon agrotechnikai műveleteket végeztük el, kezdve ezt a megfelelő vetésforgó betartásával, különböző, de egymástól nem távol eső területeken. Az alap talajművelési munkálatokat követően májusban ültettük ki a palántákat ikersoros elrendezésben 4,2 db növény/m^2 növénysűrűséggel. Az egyes öntözési kezeléseket egymástól elkülönítve valósítottuk meg az esetleges vízátfolyások megakadályozása végett. Az öntözés kivitelezése csepegtető rendszerrel történt, kihasználva ezzel, hogy az öntözővíz valóban csak oda kerüljön, ahol szükség van rá és hogy mindez a lehető leghatékonyabban történhessen meg. Az öntözést a kiültetés után két héttel kezdtük meg és igény szerint, maximum heti 3 alkalommal végeztük (hétfő, szerda, péntek) a várható napi középhőmérséklet alakulásának megfelelően és a növény fejlettségétől függően a következő képlet segítségével határoztuk meg a kiadandó vízmennyiséget:

napi öntözővíz adag (mm) = napi középhőmérséklet×0,2.

A kísérletek során a fenti képlet alapján kiszámolt optimális öntözővíz mennyiség 100%-a, ennek az 50%-a (vízdeficit kezelés), valamint az öntözés nélküli kontroll növényállományokat hasonlítottam össze. Ez alapján a 100%-os optimális vízellátottsággal kezelt növényállomány a napi vízigényüknek megfelelő öntözővizet kaptak, amely adatból számítottam ki az 50%-os állományok öntözési vízadagját is.

A parcellák elrendezése a vetésforgó miatt minden évben másik területre esett, annak standard elrendezését a 14. ábra mutatja be. Figyeltünk, hogy egymás mellé közvetlen ne kerüljön különböző öntözési kezelés, elkerülve ezzel az esetleges átfolyásokat, így ott egy ikersornak megfelelő távolságot hagytunk ki. A szegélyhatásokat figyelembe vettük, a mintavétel során a legszélső sorokat nem vontuk be a kísérletbe.

URK	**STRK**	**UR50**	**STR50**	**UR100**	**STR100**

14. ábra. A kísérleti parcellák elrendezése 2012-2015 -ben (URK: Uno Rosso Kontroll, STRK: Strombolino Kontroll, UR50: Uno Rosso Deficit öntözés, STR50: Strombolino Deficit öntözés, UR100: Uno Rosso Optimális vízellátottságú, STR100: Strombolino Optimális vízellátottságú)

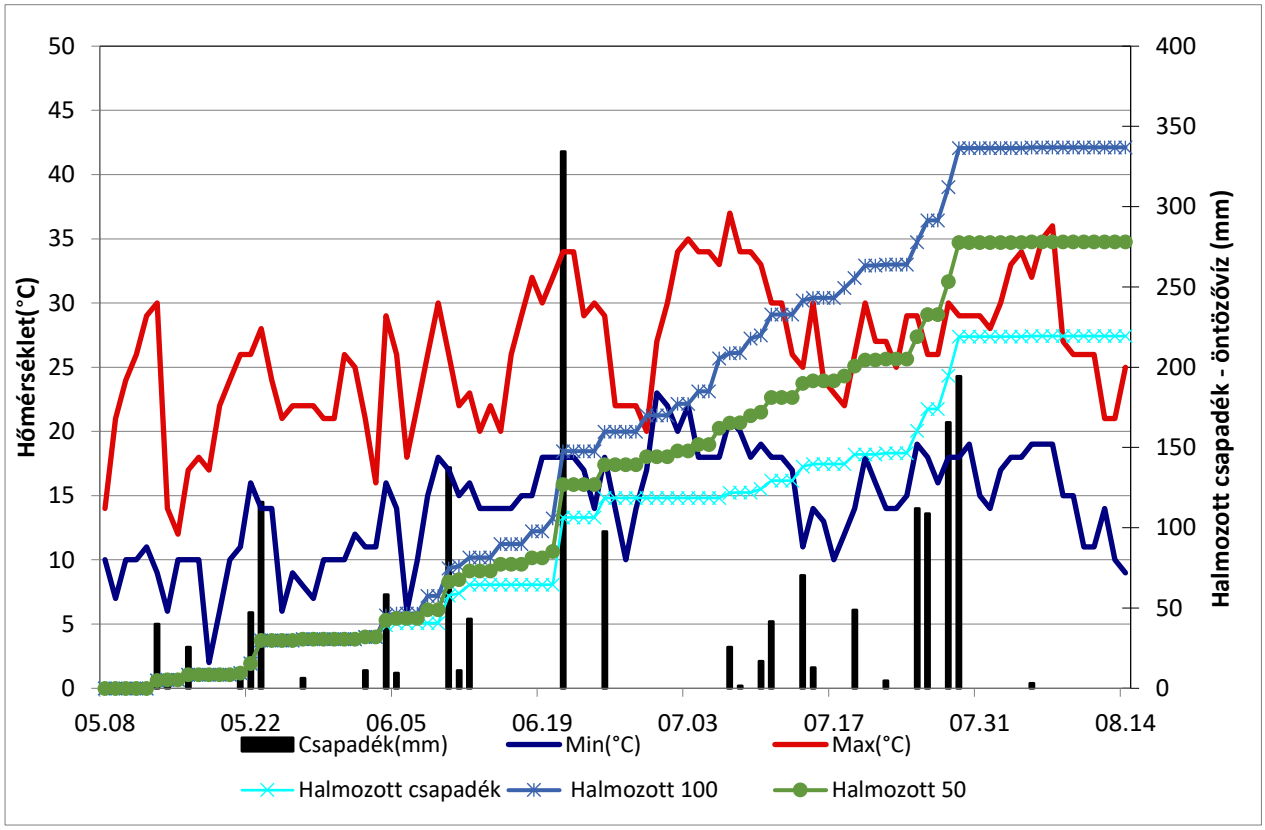
A növényápolási és növényvédelmi munkákat a technológiai elvárásoknak megfelelően végeztük el.

3.5 Kísérlet során végzett mérések

3.5.1 Meteorológiai mérések

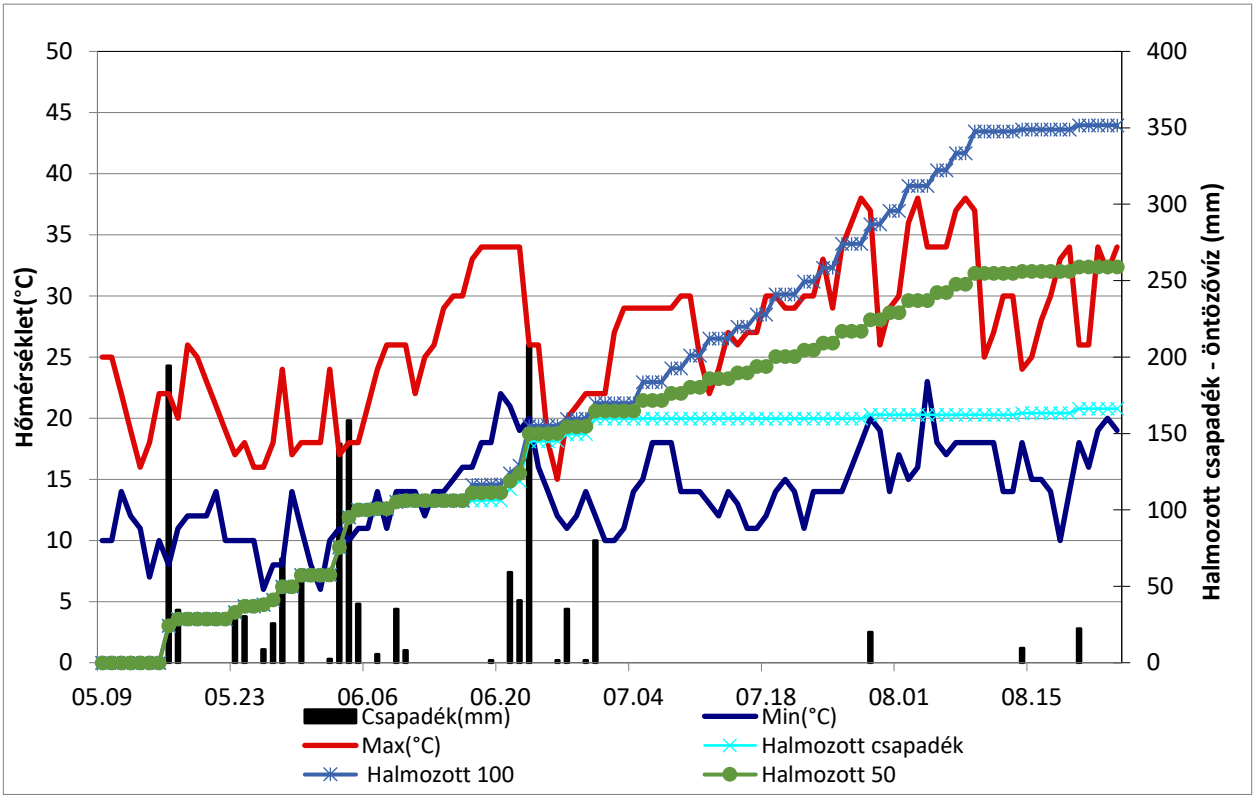
A meteorológiai adatok tartalmazzák minden napra vonatkozóan a lehullott csapadék és az öntözött állományokra kijuttatott víz mennyiségét valamint a minimum és maximum hőmérsékleteket. A halmozott csapadék a tenyészidőszak alatt lehullott összes csapadék mennyiségét jelöli, ami lényegében megfelel a kontroll állományok vízellátottságának is. A hőmérsékleti és csapadék adatokat a telepen felállított meteorológiai állomás segítségével kaptuk meg.

A 2012-es év meterorológiai adatait a 15. ábra mutatja be. A tenyészidőszak alatt (99 nap) a minimum hőmérsékletek átlaga 14,1°C, a maximum átlaghőmérsékleté pedig 26,3 fok volt. A május 8-ai kiültetést követően 20 napig meglehetősen alacsony hőmérséklet volt, átlagosan mindössze 9,4°C. Több olyan nap volt, amikor 2°C volt hajnalban, így a növényállományt a fejlődés kezdetén erős hideghatás érte. A júniusi maximumok is elmaradtak a sok éves átlagtól, zömmel 20-25°C körül alakultak, azonban volt, hogy mindössze 18°C volt, ezáltal nagyok voltak a hőingadozások. Június végén egy erőteljesebb lehülés következett be, ami több napon keresztül 25°C alatti maximum hőmérsékletet eredményezett. A tenyészidő során 219,4 mm csapadék esett. Június 21-én 41,8 mm csapadék volt. Ezt követően a július rendkívül csapadékos és hűvös és fényszegény volt. Ebben a hónapban 12 napon volt csapadék és 95 mm esett. Ennek jelentős hatása volt a termés mennyiségi és minőségi paramétereire.



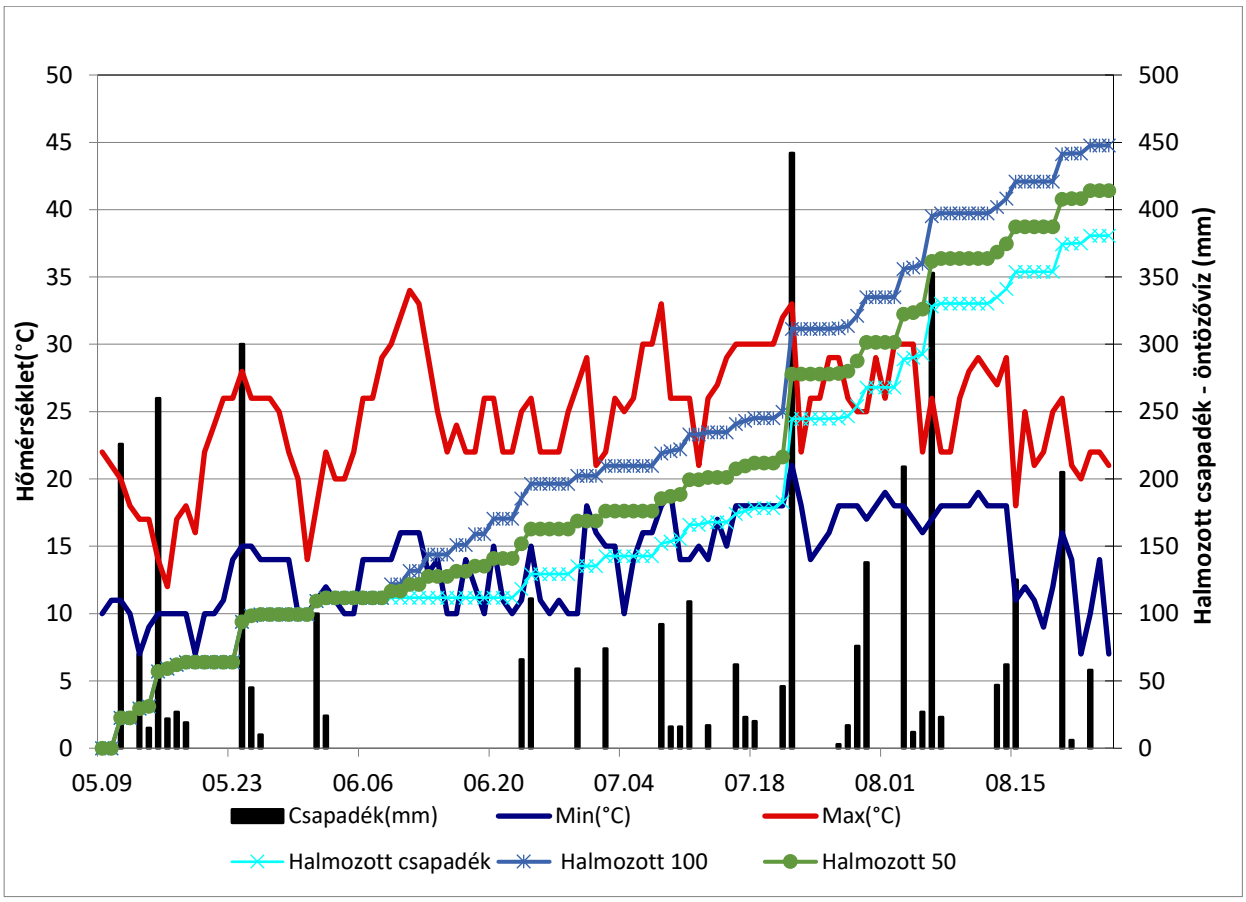
15. ábra: A hőmérséklet, a csapadék és az öntözés alakulása 2012-ben (50=50%-ban öntözött, 100=100%-ban öntözött

A 2013-as évben (16. ábra) a tenyészidőszak 108 napja alatt az átlagos minimum hőmérséklet 13,8°C, a maximum pedig 26,6°C volt. A május 9-én történt kiültetést követően nem volt akkora lehülés, mint 2012-ben. A május a sok éves átlaghoz viszonyítva átlagosnak mondható, azonban június második felében rendkívül meleg volt, a hőmérséklet többször is meghaladta a 30°C-ot. Azonban emellett a június, amely az intenzív lombnövekedés legfőbb időszaka, rendkívül csapadékos volt, 102,4 mm hullott összesen. Ezt egy száraz július követte, egészen 29-éig nem hullott csapadék, ellenben a maximum hőmérsékletek pedig a hónap végén 36-38 C° között alakultak. A betakarítás előtt gyakorlatilag szintén nem volt csapadék, július 1-től másfél hónapig, augusztus 24-ig egész pontosan háromszor fordult elő mindössze 6,5 mm.



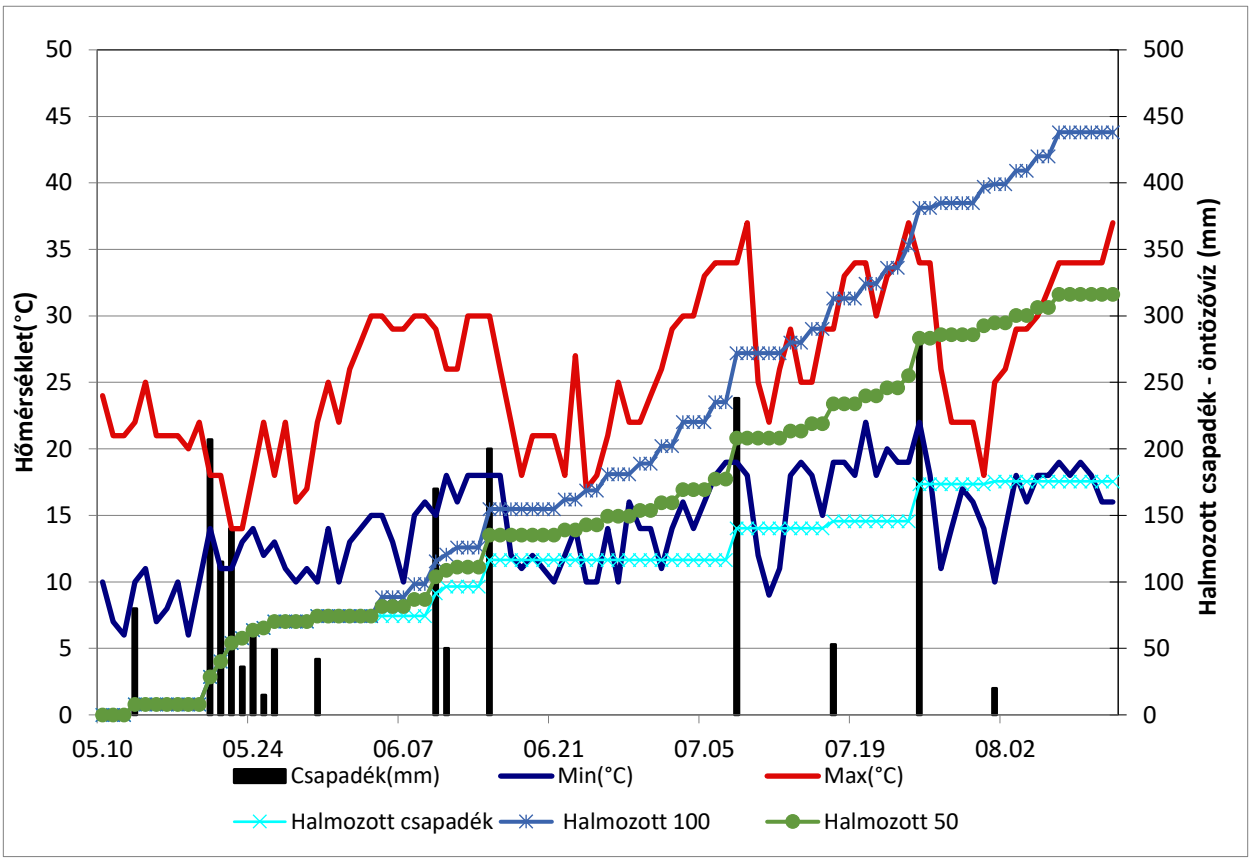
16. ábra: A hőmérséklet, a csapadék és az öntözés alakulása 2013-ban (50=50%-ban öntözött, 100=100%-ban öntözött)

2014-ben (17. ábra) a tenyészidőszak 109 napja alatt a minimum átlaghőmérséklet 13,9°C volt, a maximum pedig 24,6°C. A kiültetést követő 20 nap átlaghőmérséklete 11,1°C a betakarítás előttié pedig 14,2°C, ami rendkívül alacsonynak mondható ebben a két, mondhatni kritikus szakaszban, utóbbinak jelentős negatív hatása volt az érésre. A tenyészidőszak alatt összesen 380,7 mm csapadék hullott, amelyek eloszlása kedvezőtlenül alakult. Egyrésze május második felében hullott, ahol 7 egymást követő napon 60,2 mm esett le, a betakarítás előtti 11 napban pedig 50 mm esett, ami erős ráhatással volt a betakarításkori repedt és ezáltal keletkezett beteg szemek arányára.



17. ábra: A hőmérséklet, a csapadék és az öntözés alakulása 2014-ben (50=50%-ban öntözött, 100=100%-ban öntözött)

A 2015-ös évben (18. ábra) a május 11-ei kiültetést követően a tenyészidőszak augusztus 12-éig tartott, amely 94 napot jelentett. Ez idő alatt a minimum átlaghőmérséklet 14,2°C, a maximum pedig 26,1°C volt. A május elejei minimum hőmérsékletekek alacsonyak voltak, 5-10°C között mozogtak. Ezzel szemben a nappali hőfok optimálisnak volt mondható, a hideg hajnalokat kellemes nappalok követték. A maximum hőmérsékletek nagyon hektikusan alakultak. Júniusban hirtelen melegedés következett be, míg május 28-án mindössze 16°C volt, addig június 3-án már 28°C. Ezt követően több alkalommal elérte a 30°C-ot. Június 20-án megint jelentős csökkenés következett, 10 napig az átlag hőmérséklet 17,7°C volt. Egy rendkívül meleg időszak követte a lehülést, a maximumok több esetben is elértek a 35°C-ot, sőt egyes napokon túl is szárnyalták azt, ami már közelíti a paradicsom számára a kritikus értéket. A betakarítás előtti hetekben megint lehülés érkezett, amely július 31-én érte el mélypontját, ahol 18°C süllyedt a maximum hőmérséklet. Azonban ezt követően egy szignifikáns emelkedés indult el, amely 37°C-ban érte el a maximumát a betakarítás napján, az ezt megelőző néhány napban átlagosan 34,1°C volt. A lombfelület jelentős csökkenésének köszönhetően a bogyók hőmérséklete rendkívül magas volt.



18. ábra: A hőmérséklet, a csapadék és az öntözés alakulása 2015-ben (50=50%-ban öntözött, 100=100%-ban öntözött

3.5.2 Termés mennyisége és minősége

A betakarítás során meghatároztuk a bogyók darabszámát és mennyiségét kezelésenként (4 ismétlésben), Ismétlésenként 10 növényt takarítottunk be. Ezt követően osztályoztuk a termést, piacképes és nem piacképes kategóriákba. A piacképes kategóriát további két részre bontottuk, érett és zöld termésre, ez a kategória foglalja magába a feldolgozóipar számára hasznosítható bogyókat.

3.5.3 Minták előkészítése a beltartalmi vizsgálatokra

A minták a szedést követően a Szent István Egyetem Regionális Egyetemi Tudásközpontjában kerültek mérésre. A paradicsom mintákat a tisztítást, feldarabolást követően turmixgép segítségével homogenizáltam és ezt követően a vizsgálatokig -18°C-on lefagyasztva tároltam.

3.5.4 Analitikai laborvizsgálatok

3.5.4.1 Refrakció (Brix°) meghatározása

Az egyes paradicsom fajták vízoldható szárazanyag tartalma nagy mértékben különbözik, nem is beszélve a környezeti tényezők rájuk gyakorolt hatásáról. A szabadföldi kísérletekből származó paradicsom termések refraktometriás mutatójának meghatározásához KRÜSS DR201-95 típusú (KRÜSS Optronic, Hamburg, Germany) digitális kézi refraktométert használtam, amelynek kalibrálása és szenzortisztítása is desztillált vízzel történt. Minden fajta esetében a piros érettségi állapotú bogyókból, négy ismétlésben öt-öt darabot gyűjtöttem be, tisztítottam meg, daraboltam fel és pürésítettem, majd ezt követően került sor a minták vizsgálatára.

3.5.4.2 Karotinoid összetétel meghatározása

A bogyók turmixolását követően 5 grammot dörzsmozsárban kvarchomokkal pépes állagúra dörzsöltem. Első lépésben 20 ml analitkai tisztaságú metanolt adtam a péphez a víz megkötésére. A metanolos fázist óvatosan Erlenmeyer lombikba átöntöttem. A maradék pépet tovább dörzsöltem a dörzsmozsárban és 10:50 ml arányú metanol: 1,2-diklóretán eleggyel két lépésben tisztára mostam a dörzsmozsarat, majd az Erlenmeyer lombikba 1-2 ml desztillált vizet adtam, hogy biztosan különváljon a két fázis. Rövid állást követően a mintát elválasztó tölcsérbe öntöttem. A pigmentet tartalmazó fázis vízmentes Na_2SO_4 on keresztül álló gömblombikba csepegett, a sóra a maradék víz eltávolítása miatt volt szükség. A mintában lévő oldószert vákuum alatt 40°C-on evaporáltam (RVO 400, Vacuubrand, Németország). A pigment anyagot újra oldottam 5 ml acetonban. 0,45 µm pórus átmérőjű PTFE anyagú HPLC szűrőn szűrtem a mintát az oszlopra való injektálás előtt. A karotinoidok Thermo C30 oszlopon (2,6 µm, 150 × 4,6 mm) lettek elválasztva 30 perces grádiens elúciós módszerrel Daood et al. 2013 módszerfejlesztése alapján. Az egyes csúcsok a retenciós idejük és maximális elnyelésük alapján lettek azonosítva a meglevő standardokkal (β-karotin és 8-apo-karotinál, Sigma Aldrich, Budapest) összehasonlítva és az irodalomban fellelhető eredmények felhasználásával. A vizsgálat során all-transz likopin, cisz-likopin, β-karotin, zeaxanthin, lycoxanthin, valamint lutein tartalom került meghatározásra.

3.5.4.3 C-vitamin tartalom meghatározása

Ez közvetlenül a betakarítás után került meghatározásra. A bogyók turmixolását követően 10 grammot dörzsmozsárban kvarchomokkal pépes állagúra dörzsöltem. A pépesített mintához 30 ml 3%-os meta-foszforsavat adtam két részletben, úgy, hogy a dörzsmozsárból a teljes minta

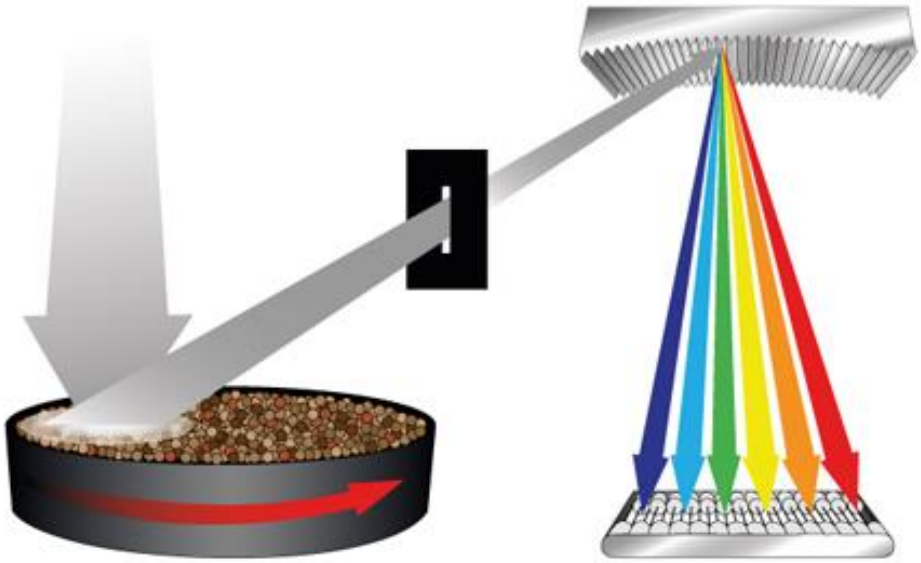
átkerüljön 100 ml-es Erlenmeyer lombikba. Ezt követően a minták egy éjszakát 4ºC-on hűtőszekrényben álltak, majd másnap papírszűrőn átszűrtem és utána 0,45 um lyukátmérójű PTFE anyagú HPLC szűrőn szűrtem a mintát. Az aszkorbinsav injektálása fordított fázisú C18 Nautilus, 150 × 4,6 mm (Macherey-Nagel, Düren, Németország) oszlopra történt, ahol a mozgó fázis 0,01 M KH_2PO_4 (A) és acetonitrilből (B) tevődött össze. A kezdeti folyadékfázis 1% B az A-ban majd 30% B az A-ban 15 percig, majd 1% A a B-ben 5 percig. A folyadékáram végig 0,7 ml/perc volt. A C-vitamin maximális elnyelését 265 nm-en detektáltam. A pontos mennyiségi meghatározáshoz ismert mennyiségű standard anyagot (L-aszkorbinsav, Sigma Aldrich, Budapest) injektáltam, és abból számoltam ki a kapott csúcsokhoz tartozó koncentráció értékeket.

3.5.4.4 Perten DA7200 Közeli Infravörös (NIR) Spektrométer

A közeli infravörös spektrométerrel végzett vizsgálataimat Perten DA7200 (Perten Instruments, Forr-Lab Kft., Magyarország) típusú műszerrel végeztem (19. ábra). Az eszköz diódasoros detektorral van felszerelve, amely segítségével 950 és 1650 nm-es hullámhossztartományban képes adatokat felvenni 2 nm-enként. A feldolgozott mintákat a HPLC vizsgálatokkal egyidőben 75 mm-es forgócsészékbe helyeztük és vettük fel azok spektrumát. A vizsgálat mintánként 6 másodperc alatt elvégezhető, amely a referencia módszerekhez képest rendkívül gyorsnak számít. Ezen felül a módszer roncsolásmentes, így paradicsom esetében nincsen szükség a pürésítésen kívül további előkészítésre. Egy megfelelő kalibrációval így képesek vagyunk akár nagyüzemi körülmények között is gyorsan adatot kapni az egyes beltartalmi összetevőkről. A következő ábra a DA7200 típusú Perten készüléket mutatja.

19. ábra: Perten DA7200 (Fotó: www.perten.com)

A diódasoros technológia optikája nem használ mozgó részeket. Ez nagymértékben javítja a műszer stabilitását, továbbá ezáltal nem igényel nagyfokú karbantartást, tovább tartós marad. A működési elve szerint megvilágítja a mintát egy fehér lámpával, ezáltal a fény egy része elnyelődik (függően a mintától) a többi pedig tükröződik. A visszaverődő fény egy rácsot érint, amely a fényt hullámhosszonként választja szét. A fehér fényből így egy „szivárvány„ szín képződik, melyeket egy detektor képes mérni és alakítani spektrummá. A mozgó tálca segítségével nem csak egy pont mérését teszi lehetővé, hanem a komplett minta teljes felületét, amely jelentősen növeli a mérés pontosságát, komplettebb képet kapunk (20. ábra). A gép segítségével az általam vizsgált paraméterek a következők voltak: Brix° valamint karotinoid tartalom és összetétel.



20. ábra: A diódasoros technológia működési elve (Fotó: www.perten.com)

3.5.5 Alkalmazott statisztikai módszerek

Mérési eredményeim statisztikai kiértékeléséhez az Unscrambler 10.3 (CAMO Software AS., Oslo, Norvégia) szoftvert alkalmaztam. Ez a szoftver lehetővé teszi, hogy hatékonyan, megbízhatóan végezzünk spektrum transzformációs és regressziós műveleteket.

3.5.5.1 Részleges legkisebb négyzetek (PLS) regresszió

Ez a modul az Unscrambler 10.3-as szoftver részét képezi, amely a referencia és spektrumadatok megadása után hatékony értékelést készít, megad minden paramétert, amelyhez a

kiértékelésnél szükségünk van.

3.5.5.2 Spektrum transzformációs műveletek

A kiértékeléshez négy spektrum transzformációs műveletet és azok kombinációját alkalmaztam. Ezek névszerint az első és második deriváltak, a többszörös szóródási korrekció (MSC) és a standard normál változó (SNV). Az utóbbi 2 művelet deriváltakkal való kombinációját is teszteltem.

4. EREDMÉNYEK

A doktori munkám során a kutatói tevékenységem két részre osztható, egyik része a szabadföldi kísérletekre irányult, a másik pedig a kapott minták laborkörülmények közötti vizsgálatára, koncentrálva a NIR és HPLC eredmények közötti összefüggésekre. A kísérletek során 4 egymástól teljesen eltérő évjáratot sikerült vizsgálnunk, amelyben megtalálható volt egy alapvetően száraz (2013) és ezt követően pedig egy az átlagnál jelentősen csapadékosabb (2014) év is. Szabadföldi termesztés során az évjárathatás rendkívül erőteljesen képes befolyásolni a termesztés eredményességét továbbá az alkalmazott technológiát is. A klímaváltozás egyik jellemző vonása, hogy a szélsőségek gyakorisága nő, így az átlagévekre egyre kevesebb az esély.

4.1 A négy évjáratban a termés mennyiségének alakulása

A termésmennyiséget két különböző szempontból értékeltük, amelyek közül az egyik a vízellátottság a másik pedig a fajtahatás. Mivel a paradicsom magas víztartalommal rendelkezik így az öntözés hatása jól megfigyelhető, főleg azokban az évjáratokban, ahol az aszály mértéke nagyobb méreteket öltött a nyári hónapokban. Az öntözést, a vízellátottsági kezelésekben a betakarítás előtt kb. 2 héttel előbb hagytuk abba. A fajtahatás, mivel két olyan hibridet értékeltünk, amely teljes mértékben eltér egymástól szintén szignifikáns volt. A következőkben a 4 év eredményeit külön értékelve mutatom be.

2012

A 2012-es évjárat a szabadföldi paradicsom öntözési kísérlet lebonyolítására egy rendkívül kedvező év volt, hiszen a hőmérséklet kellően magas a csapadék pedig alacsony volt, nem érte el a vegetációs időszak alatt a 220 mm-t sem. Ezt az vízellátottsági kezelésekkel 278 és 337 mm-re egészítettük ki. Így jól láthatóan elkülönülnek az egyes vízellátottságú kezelések mindkét fajta esetében. Az Uno Rosso F_1-ről az optimális vízellátottsági kezelésben több, mint 130 tonna termést takarítottunk be, amelyből közel 100 tonna (98,3 t/ha) érett, piacképes termés volt. Ez közel duplája az 50%-os vízellátottságúnak és több, mint háromszorosa a kontrollnak. Tehát ebben az évjáratban eredményes termesztést rendszeres öntözéssel lehetett elérni. Hasonlóképpen alakultak a Strombolino F_1 eredményei is, ezáltal mindkét fajta esetében kijelenthetjük, hogy a vízellátottság szignifikánsan hatott a termésátlagokra.

A beteg bogyók aránya azonban jelentős mértékű volt, mivel a betakarítást megelőző időszakban (július) a számottevő csapadék hatására sok bogyó felrepedt és fertőződött is. Emiatt

az Uno Rosso F_1 esetében megközelítőleg 10%, a Strombolino F_1-nél pedig 25% volt a piac számára nem hasznosítható bogyók aránya az optimális vízellátottságú kezelések esetében. Ez az arány a kontroll kezelésekben, Uno Rosso esetében 14% és a cseresznye típusú Strombolino fajtánál pedig 34% volt! A részeletes eredményeket a 13. táblázat mutatja be.

13. táblázat: Termésmennyiség alakulása 2012-ben

(n=4)

Kezelés	Érett (t/ha)	Zöld (t/ha)	Beteg (t/ha)	Összes (t/ha)
URK	29,68±3,65a	17,34±3,63a	7,70±0,97a	54,74±5,59a
UR50	56,56±7,84b	11,66±2,95a	5,61±2,91a	73,84±9,56b
UR100	98,33±9,21c	20,10±7,36a	12,81±1,92b	131,25±16,63c
STRK	15,61±2,04a	9,81±2,31a	13,27±2,83a	38,70±4,59a
STR100	57,43±5,16b	1,72±0,34b	20,46±3,66b	78,93±5,26b

Az eltérő betűvel jelölt értékek egy oszlopon belül szignifikánsan eltérnek egymástól, $p \leq 0,05$ valószínűségi szinten, fajtánként külön vizsgálva.

2013

A 2013-as évet az elmúlt 100 év egyik legszárazabb éveként tartják számon. Részben ennek is tudható be, hogy a termésátlagok jelentősen elmaradtak az előző évhez képes. Nem is beszélve arról, hogy a hajnali minimum hőmérsékletek a kiültetés utáni napokban többször is volt, hogy 5°C köré került. Ez az érték jellemzően ugyanennyivel kevesebb, mint, a paradicsom biológiai nulla pontja, így ez is biztosan hozzájárult az alacsonyabb termésátlagokhoz. A lehullott csapadék mennyisége a tenyészidő során mindösszesen 166 mm volt ebben az évben, amely az előző évinél, (ami szintén nem volt túl magas, 219 mm) is 53 milliméterrel kevesebb. Figyelemre méltó, hogy az a kevés csapadék eloszlása is nagyon kedvezőtlen volt. Június végétől a betakarításig mindössze 3 esős nap volt, összesen 6,5 mm csapadékkal.

Az öntözési kezeléseknél összesen 93 és 186 mm juttatunk ki csepegtető öntözéssel a növényállományokra. A vízhiányt leginkább az Uno Rosso F_1 öntözetlen állománya érezte meg, amelynek 1 hektárra vetíttet termésátlaga megközelítőleg 22 t/ha volt. Ezzel szemben az optimális vízellátottsági kezelésről több, mint négyszeres mennyiséget szedtünk le, közel 98 t/ha mennyiségben. Strombolino F_1 esetében az eredmények azt mutatják, hogy a kontroll és az öntözött kezelések között kevesebb, mint duplája a különbség (28,0 t/ha vs. 51,4 t/ha). Az

alacsonyabb termésmennyiség az előző évhez képest a betakarítás előtti csapadékhiánynak köszönhető, ami viszont a beteg bogyók arányára, ellenben kedvezően hatott, Uno Rosso F_1 optimális vízellátottságú kezelés esetében mindössze 1,8 % volt, Strombolino F_1-nél pedig némileg több, 4,2% (14. táblázat).

14. táblázat: Termésmennyiség alakulása 2013-ban

(n=4)

Kezelés	Érett (t/ha)	Zöld (t/ha)	Beteg (t/ha)	Összes (t/ha)
URK	19,34±6,50a	0,87±1,05a	1,84±0,57a	22,08±7,06a
UR50	54,34±12,08b	2,29±1,40a	4,72±2,01b	61,35±13,64b
UR100	87,08±16,39c	10,52±0,99b	1,81±0,30a	98,46±12,06c
STRK	26,83±1,00a	0,32±0,24a	0,88±0,42a	28,03±1,60a
STR100	48,87±5,98b	1,48±0,51b	2,20±1,22a	51,43±5,87b

Az eltérő betűvel jelölt értékek egy oszlopon belül szignifikánsan eltérnek egymástól, $p \leq 0,05$ valószínűségi szinten, fajtánként külön vizsgálva.

2014

A 2014-es év a szélsőségektől szintén nem volt mentes, ellentétben a 2013-as évvel, itt a nagy mennyiségű csapadék és az alacsony hőmérséklet okozott gondot az ipari paradicsom termesztésében. A vegetációs időszak alatt 381 mm eső esett, amelyet 414 és 447 mm-re egészítettünk ki öntözéssel. A nagy mennyiségű csapadék és annak különösen egyenetlen eloszlása rendkívül alacsony termésátlagokat eredményezett. Uno Rosso F_1 esetében, ugyan tapasztaltunk eltérést a kontroll és az öntözött állományok között összes termésmennyiségben (kontroll: 28,9 t/ha 100%-os kezelés: 51,6 t/ha), ez szignifikáns különbséget jelentett, viszont a vízellátottsági kezelések szignifikánsan nem különböztek. Strombolino F_1 esetében ugyanez a tendencia nem mutatkozott meg (30,8 t/ha vs. 30,1 t/ha), szinte ugyanannyi termést tudtunk betakarítani hektáronként a kontrollról, mint az öntözött kezelésről.

A július elejétől a betakarításig tartó magas csapadék mennyiségnek köszönhetően a növényvédelmi kezelések ellenére számos beteg és repedt termést takarítottunk be. Minden kezelés esetén arányuk 50% körüli értékeket mutat, ami az alacsony termésmennyiség mellett rendkívül kedvezőtlennek mondható. A részletes eredményeket az 15. táblázat mutatja be.

15. táblázat: Termésmennyiség alakulása 2014-ben

(n=4)

Kezelés	Érett (t/ha)	Zöld (t/ha)	Beteg (t/ha)	Összes (t/ha)
URK	14,71±4,83a	2,89±1,48a	11,38±2,81a	28,99±5,12a
UR50	18,47±4,31a	0,65±0,31b	25,37±3,15b	44,48±5,92b
UR100	24,12±4,08a	2,29±0,55a	25,21±4,36b	51,62±7,36b
STRK	13,63±5,72a	1,47±0,02a	15,71±3,34a	30,81±8,17a
STR100	9,71±2,20a	0,68±0,68b	19,79±1,45a	30,18±3,03a

Az eltérő betűvel jelölt értékek egy oszlopon belül szignifikánsan eltérnek egymástól, $p \leq 0,05$ valószínűségi szinten, fajtánként külön vizsgálva.

2015

2015-ös év ellentétben az előző extrém csapadékos évvel, kevésbé volt szélsőséges, mindössze 176 mm csapadék esett a vegetációs időszak alatt. Ezeket 316 és 438 mm-ig pótoltunk a két öntözési kezelésekben. A csapadék eloszlása kedvező volt az ipari paradicsom számára, legalábbis ami az öntözött kezeléseket illeti. A kontroll állományt kétszer is súlytotta egy-egy hosszabb vízhiányos időszak az egyik június második felében a másik pedig a betakarítás előtt, vagyis augusztus elejétől a közepéig. Ez a betakarított termés mennyiségéből is egyértelműen látszik, az Uno Rosso F_1 esetében a kontroll állomány mindössze 19,8 t/ha összes termésmennyiséget adott, ezzel szemben az optimális vízellátottságú több, mint 87 t/ha-t. A Strombolino F_1 az elvárásoknak megfelelően ugyan némileg kevesebbet termett, mint hagyományos bogyóátlagtömegű társa, de cseresznyeparadicsom esetében a 64,9 tonna/ha már nagyon jónak mondható.

16. táblázat: Termésmennyiség alakulása 2015-ben

(n=4)

Kezelés	Érett (t/ha)	Zöld (t/ha)	Beteg (t/ha)	Összes (t/ha)
URK	14,68±2,60a	4,06±1,31a	1,07±0,38a	19,82±3,66a
UR50	56,45±2,31b	3,75±1,72a	7,93±3,07b	68,11±1,82b
UR100	68,41±3,66c	2,89±2,60a	15,70±3,37c	87,01±2,65c
STRK	12,36±1,99a	1,48±0,58a	0,74±0,63a	14,58±2,07a
STR100	56,85±2,72b	3,60±0,76b	4,46±0,73b	64,92±2,92b

Az eltérő betűvel jelölt értékek egy oszlopon belül szignifikánsan eltérnek egymástól, $p \leq 0,05$ valószínűségi szinten, fajtánként külön vizsgálva.

Az eredmények alapján megállapítható, hogy 2015-ben a mesterséges vízpótlásnak jelentős hatása volt a termésmennyiségre. A beteg bogyók száma némileg magasabb volt, mint 2013-ban, optimális vízellátottságú kezelés esetében arányuk az Uno Rosso F_1-nél 18%, Strombolino F_1-nél pedig mindössze 6,8% volt, amely szerint utóbbi jobban alkalmazkodott az adott időjárási körülményekhez (16. táblázat).

4.2 A piacképes termésmennyiség alakulása, értékelése

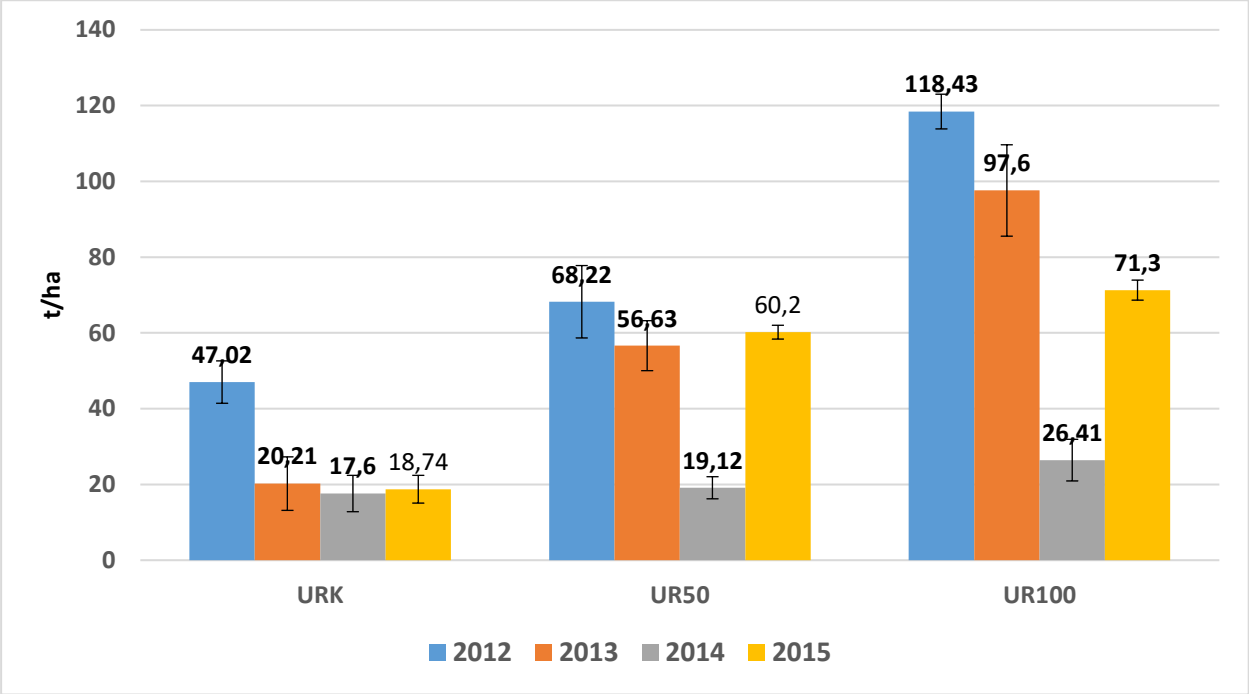
A piacképes termésmennyiség fogalma alatt az érett és a zöld bogyók összegét értjük. Az Uno Rosso F_1 esetében nagyon jól elkülöníthető az évjárat hatása, amely azt mutatja, hogy a 2012-ben voltak a legjobb eredmények, a 2014-es évben pedig a legkisebb piacképes termésátlagok. A 2014-es év minden kezelésben rendkívül alacsony termésátlagot adott. Ez az évtípus is azt igazolja, hogy hazánkban van arra esély, hogy a vízellátottságon kívül az alacsony hőmérséklet, vagy a növényvédelmi problémák (pl. Fitoftóra stb.) miatt nagyon alacsony termésátlagokra számíthatunk.

A kontroll növényállomány, a 2012-es évjáratot leszámítva nem mutatott szignifikáns eltérést. Az Uno Rosso F_1 esetében az öntözetlen kontroll kezelés a négy évjárat során egyedül 2012-ben adott viszonylag értékelhető piacképes termésmennyiséget (47 t/ha). Viszont ez a termésátlag is veszteséges termesztést jelent, mivel nem éri el a fedezeti pontot. A másik három évben kísérleti körülmények között a 20 t/ha -t is alig érte el. A négy év termésátlagát tekintve, ami mindössze 25,9 t/ha volt, tehát a négy eltérő ökológiai adottságú év alapján megállapítható, hogy eredményes (nyereséges) ipari paradicsom termesztést öntözés nélkül nem lehet végezni.

A vízdeficit öntözésnek 2014-es évet kivéve jelentős hatása volt a termésmennyiségre. A másik három év átlagában a piacképes termés átlaga 61,7 t/ha volt. Ez már közelíti az eredményes termesztés szintjét.

Az optimális vízellátottság, a 2014-es év kivételével mindhárom évben számottevő termést adott, amelyek viszont szignifikánsan eltértek egymástól. Az ipari paradicsomtermesztés szempontjából legkedvezőbb év, a 2012. év volt, közel 120 tonna termést adott, ez az érték közel duplája a deficit öntözéshez képest. Ebben az évben megállapítható tehát, hogy az optimális vízellátottság volt a leginkább megfelelő a terméskép zésre. A 2013-a évjárat az 50%-os esetében 56,6 tonnát adott, az optimális pedig közel 100 tonnát hektáronként, ami alapján szintén megállapítható, hogy az optimális vízellátásnak szintén jelentős hatása volt a piacképes termés mennyiségére. 2015-ben a piacképes termésmennyiség a sok beteg termés hatására volt ennyire alacsony.

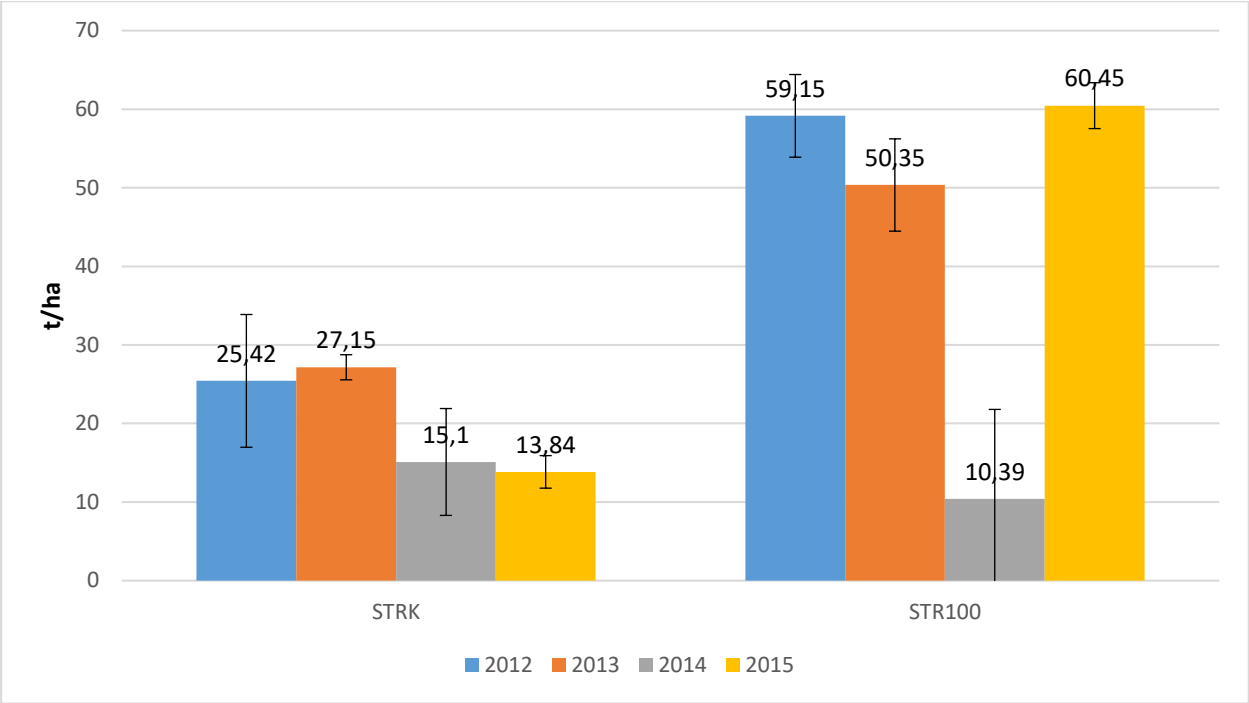
Ennek oka, hogy a betakarítás előtti hetekben egy nap 28 milliméter plusz 2 milliméter csapadék esett, amely nagymértékben növelte a repedt bogyók arányát. A részletes eredményeket az 21. ábra szemlélteti.



21. ábra: A piacképes termésmennyiség alakulása évjárat és a vízellátottság mértéke szerint Uno Rosso F_1 (UR) esetében (2012-2015) (n=4). K=Kontroll, 50 %-os és a 100%-os vízellátottságú kezelésekben.

A Strombolino F_1 esetében nem állítottunk be vízdeficit kezelést, csak kontroll és optimális vízellátottságút. A 2014-es évet hasonlóan lehet értékelni, mint a másik, hagyományos bogyóátlagtömegű fajtánál, sem a kontroll, sem az optimális vízellátottság nem adott értékelhető termésátlagot. Fontos megemlíteni, hogy a cseresznyeparadicsom típus hajlamosabb a repedésre, így ez a piacképes termést még nagyobb mértében rontotta. A kontroll állományok mind a négy évben rendkívül alacsony termésátlagokat adtak, ez a 4 év átlagában mindössze 20,4 t/ha volt.

Ezzel ellentétben a 2014. év kivételével a másik három év során az optimális vízellátottság hatására jelentős piacképes termésátlagot kaptunk. Ez kiemelten igaz a 2012-es és 2015-ös évre, ahol a termésmennyiség elérte a 60 tonna/hektárt, ami már cseresznyeparadicsom esetében kiemelkedőnek számít, tekintve, hogy a beltartalmi értékei (pl. Brix°) jelentősen magasabbak, mint a hagyományos bogyóátlagtömegű ipari hibrideké. Az eredményeket a 22. ábra mutatja be.



22. ábra: A piacképes termésmennyiség alakulása évjárat és a vízellátottság mértéke szerint Strombolino (STR) F_1 fajta esetében (2012-2015) (n=4). K=Kontroll, és az optimális vízellátottságú kezelésekben.

4.3 Brix° és a szárazanyag-hozam alakulása

A feldolgozóipar számára az egyik, hanem a legfontosabb értékmérő tényező a paradicsom szárazanyag-tartalmának alakulása. A Brix hozam alatt az egy hektárról betakarított paradicsom összes szárazanyag tartalmát értjük. Az adatok alapján egyértelműen látszik, hogy a kedvezőbb vízellátottság mértéke negatívan hat a Brix° alakulására, ez a megállapítás megegyezik a szakirodalmi és a korábbi években tapasztalt eredményekkel is. Ugyanakkor jól látszik, hogy e tekintetben sincs két azonos évjárat. A termesztéstechnológia és az alkalmazott fajta mellett az abiotikus tényezők is nagymértékben hozzájárulnak alakulásához, ideértve a hőmérsékletet és a természetes csapadék mennyiségét is. A növények egy hűvösebb, viszonylag fényhiányos évben nem képesek olyan mértékben fotoszintetizálni, mint egy melegebb, naposabb évben, így a cukor előállítása (a cukrok adják a Brix° közel 50%-át) sem lesz ugyanakkora.

17. táblázat: Brix° alakulása a fajta, az évjárat és az eltérő vízellátottságú kezelések alapján (n=4)

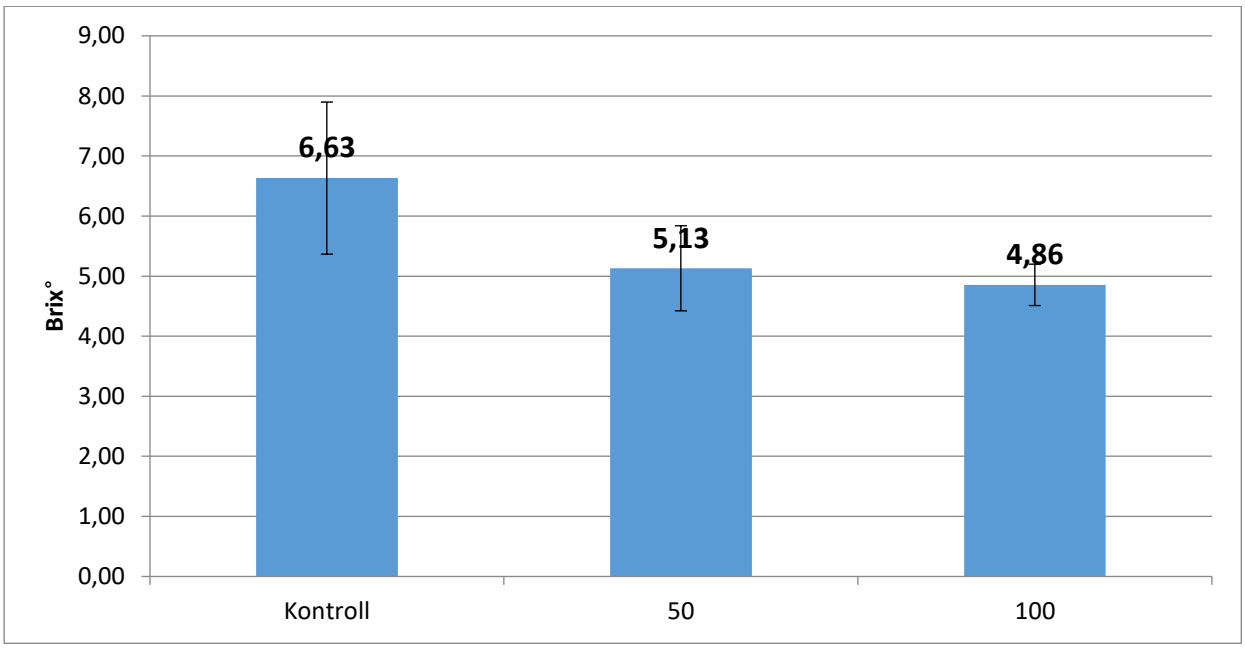
Kezelések	2012	2013	2014	2015
URK	7,20±0,30a	6,20±0,59a	5,10±0,10a	8,03±0,26a
UR50	6,10±0,50b	5,00±0,40b	4,40±0,20b	5,02±0,44b
UR100	5,20±0,30c	4,80±0,50b	4,40±0,10b	3,73±0,15c
STRK	7,60±0,20a	6,60±0,88a	4,60±0,20a	7,35±0,10a
STR100	6,30±0,30b	6,00±0,61a	4,40±0,00a	4,53±0,33b

Az eltérő betűvel jelölt értékek egy oszlopon belül szignifikánsan eltérnek egymástól, $p \leq 0,05$ valószínűségi szinten, fajtánként külön vizsgálva.

A vizsgált négy év alapján (17. táblázat) erősen mutatkozik az évjárathatás, ez az elvárásoknak megfelelően a kontroll állományok esetében mutatkozik a legerőteljesebben. Például a 2014-es csapadékos évben 5,1-es Brix°, míg a 2015-ös évben ezzel szemben közel 3 Brix°-kal magasabb értéket kaptunk az Uno Rosso F_1 esetében, ahol természetesen minden technológiai és termőhelyi feltétel megegyezett. Az eltérő vízellátottságú növény-állományok esetében is megmutatkozik ez a hatás mindkét fajta esetében. Alapszabály, hogy a jobb vízellátottság alacsonyabb Brix°-kal párosul. Négy év álagában az Uno Rosso F_1, a kontroll kezelésben 6,6 Brix°-ot adott, az 50 %-os kezelésnél ez az érték 23%-kal, míg az optimális vízellátottság esetében 27%-kal csökkent. Fontos megemlíteni, hogy az Uno Rosso esetében a Brix° 4 év átlagára vonatkoztatva látszólagosan igen nagy eltérést mutat, azonban szignifikánsan nem különíthető a kontroll és az 50%-os vízellátottsági kezelés, ez alapvetően a 2014-es évnek köszönhető (23. ábra).

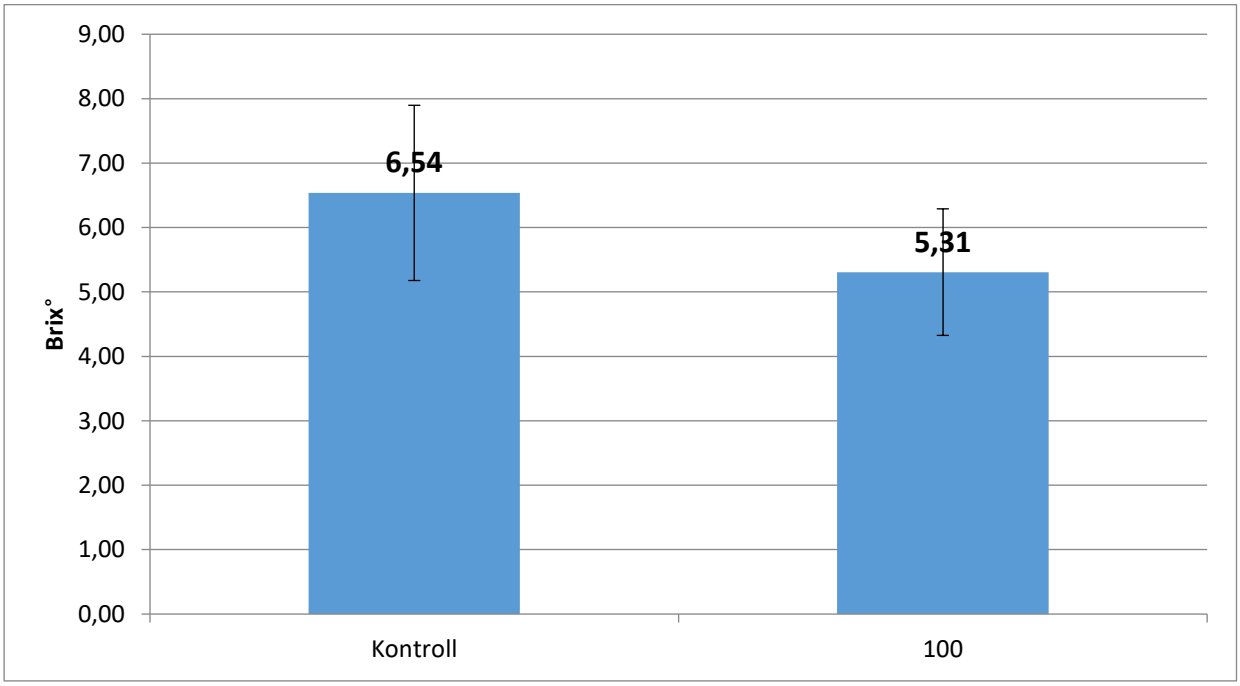
Ezzel szemben az optimális vízellátottságú állomány már szignifikáns eltérést mutat a kontrollhoz képest, még így is, hogy a 2014-es év jelentősen befolyásolta az eredmények kimenetelét. A 2 öntözési kezelés nem mutatott jelentős eltérést e tekintetben.

Az alapvetően eltérő genotípus hatása is jelentős mértékben megmutatkozik. A cseresznyeparadicsom Strombolino F_1 esetében szignifikánsan magasabb a Brix° az öntözött állományoknál, mint az Uno Rosso F_1 esetében. Ez évjárattól függően megközelítőleg minden évben egy Brix fokot jelent az Uno Rosso F_1 hátrányára, amely alól szintén kivételt képez a 2014-es év, mivel ott a csapadék kompenzálta az öntözővíz mennyiségét.



23. ábra: Brix° alakulása a vizsgált négy év átlagában Uno Rosso F_1 esetében (n=4) (50 = deficit öntözés, 100= optimális vízellátottság)

Strombolino F_1 esetében nem vizsgáltunk 50%-os kezelést, így a kontroll és a 100%-os közötti eredmény látható a 24. ábrán. Látszólagosan szintén jelentős a különbség, a vízellátottságtól függően, az optimális vízellátottság esetében 19 %-kal alacsonyabbak az értékek, de a 4 év átlagában, szignifikáns eltérés nem mutatható ki, amelyet az előzőhöz hasonlóan szintén a 2014-es év befolyásolta.



24. ábra: Brix° alakulása a vizsgált négy év átlagában Strombolino F_1 esetében (n=4) (100= optimális vízellátottság)

A Brix hozam alatt az egy hektárról betakarított paradicsom összes szárazanyag tartalmát értjük.

Számos kutatási eredmény megállapította, hogy a kedvezőbb vízellátottság szignifikánsan csökkenti a Brix°-t, de az egységnyi területről (1 ha) betakarítható szárazanyag hozamot viszont szignifikánsan növeli. Tehát a kedvezőbb vízellátottság nagyobb mértékben növeli a termésátlagot, mint ahogy a Brix° csökken. Az általunk vizsgált két eltérő ipari fajta esetében is az öntözött kezelések szárazanyaghozama szignifikánsan magasabb volt, köszönhetően a jelentősen magasabb termésmennyiségeknek. Az évjárathatás az előzőekhez hasonlóan itt is kimutatható, de tendenciálisan megállapítható, hogy az Uno Rosso F_1 esetében a 2014-es évet leszámítva több, mint dupla szárazanyag hozamot adott az optimális vízellátottságú állomány, mint a kontroll, Strombolino F_1 esetében ez valamivel kisebb mértékű volt (18. táblázat).

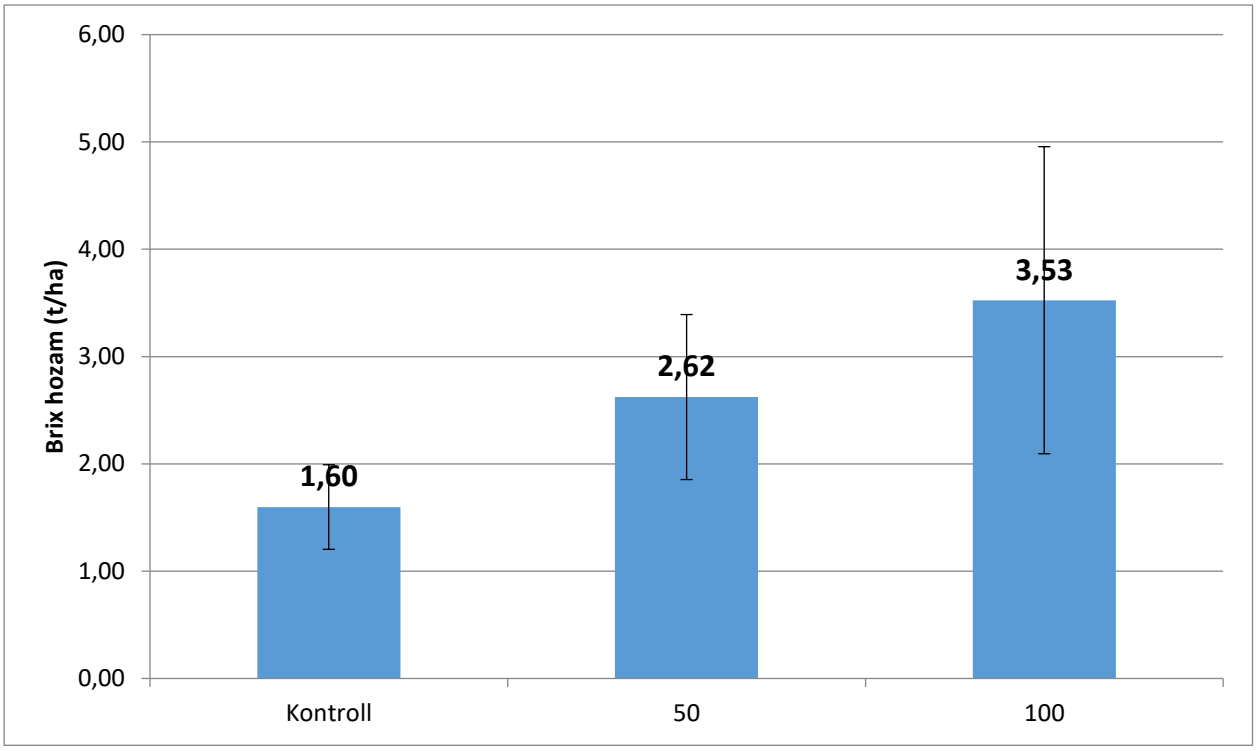
18. táblázat: Brix hozam (t/ha) alakulása évjárat és az öntözési kezelések alapján (n=4)

Kezelések	2012	2013	2014	2015
URK	2,12±0,25a	1,60±0,51a	1,50±0,20a	1,17±0,19a
UR50	3,45±0,44b	2,61±0,51b	1,60±0,20a	2,83±0,22b
UR100	5,10±0,49c	4,35±0,65c	2,10±0,10b	2,55±0,23b
STRK	2,94±0,36a	1,70±0,22a	1,20±0,40a	1,07±0,10a
STR100	4,97±0,43b	3,20±0,60b	1,30±0,30a	2,93±0,33b

Az eltérő betűvel jelölt értékek egy oszlopon belül szignifikánsan eltérnek egymástól, $p \leq 0,05$ valószínűségi szinten, fajtánként külön vizsgálva.

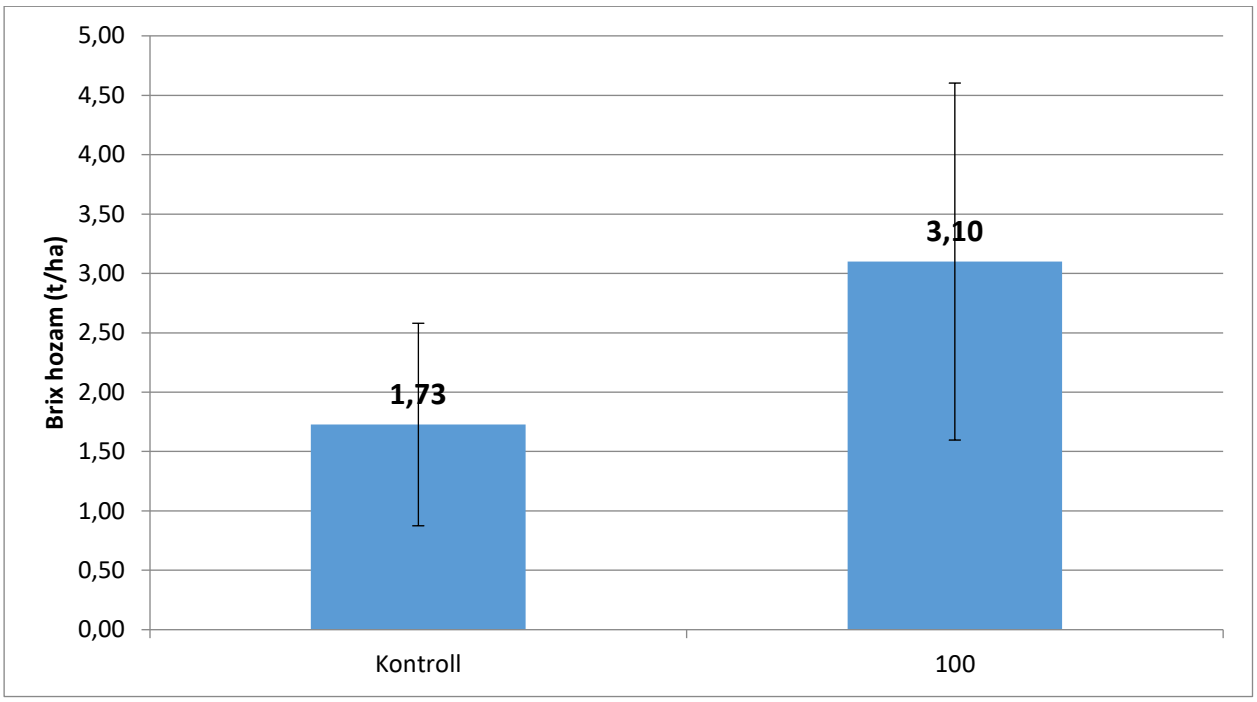
Figyelemre méltó eredmény, hogy a fajták közötti szignifikáns bogyótömeg eltérés ellenére, szignifikánsan nem tért el, az összes szárazanyag hozam, ha a 2012, a 2013 és 2015-ös éveket nézzük se az öntözött, se a kontroll állományoknál. Például a 2012-es év esetében az Uno Rosso F_1 optimális vízellátottságú kezelés 5,1 t/ha, a Strombolino F_1 pedig 4,97 t/ha Brix hozamot mutatott, amely a szórásokat is figyelembe véve nem mutatható ki szignifikáns eltérésnek. Az évjárathatás azonban nagyon erősen képviselteti magát itt is, a leggyengébb (2014) és a legjobb (2012) év között majdnem négyszeres az eltérés Strombolino F_1 öntözött kezelés esetében (4,97 t/ha vs. 1,3 t/ha) és több, mint duplája az Uno Rosso F_1 ugyanezen állományában (5,1 t/ha vs. 2,1 t/ha).

Abban az esetben, ha a 4 vizsgált év átlagában nézzük mindezt, szignifikáns elkülönülést Uno Rosso F_1 esetében csak a kontroll és a 100%-os kezelés esetében tapasztalhatunk, az 50%-osnál ez nem mutatható ki. A diagramon jól látszik az eltérés, azonban a magas szórás miatt szignifikáns különbséget nem tudtunk kimutatni (25. ábra).



25. ábra: A szárazanyag hozam alakulása négy év átlagában (n=4) (Fajta: Uno Rosso F_1).

Strombolino F_1 esetében a Brix hozam hasonló eredményeket mutat, mint a Brix°, vagyis látszólagosan nagy eltérés tapasztalható, ha külön-külön vizsgáljuk az éveket (ez esetben kimutatható szignifikáns különbség), azonban, ha a 4 év átlagát nézzük, akkor a magas szórásnak köszönhetően (2014. év) szignifikancia nem mutatható ki (26. ábra).



26. ábra: A szárazanyag hozam alakulása négy év átlagában (n=4) (Fajta: Strombolino F_1).

4.4 Fitonutriensek értékelése

A fitonutriensek értékelése több szempontból is rendkívül fontos részét képezi mind a feldolgozóipar számára, mind pedig a humán-egészségügy területén egyaránt. Számos nagy feldolgozóipari cég, már külön vizsgálatokat végez a likopin tartalom és a hozam vizsgálatára és értékét már a termék címkéjén fel is tüntetik. Ezen felül ismeretes az egyes fitonutriensek színe és annak a termék színére gyakorolt hatása, gondolva itt elsősorban szintén a likopinra, amely azáltal, hogy piros nagymértékben hozzájárul a végtermék minőségéhez. További fontos tényező, hogy antioxidáns tulajdonságuk révén növelik a termék eltarthatóságát is.

Folyamatosan újabb és újabb kutatások bizonyítják a fitonutriensek humán-egészségügyi hatásait a teljesség igénye nélkül a rákmegelőzésben, koleszterincsökkentésben és a szív és érrendszeri problémák elleni harcban (Johary et al., 2012; Cheng et al., 2019). Éppen ezért rendkívül fontos, hogy milyen fitovegyületek, milyen mennyiségben vannak jelen egy adott fajtában és ezt a környezeti és termesztéstechnológiai tényezők hogyan befolyásolják.

4.4.1 Összes karotinoid tartalom alakulása

Az összes karotinoid tartalom a paradicsomban található több, mint 60 féle karotinoid típusnak az összeségét mutatja meg. A karotinoidok a szakirodalomban bővebben részletezett

humán-egészségügyi és feldolgozóipari szerepe szintén számottevő. Éppen ezért fontos részét képezték a kutatói munkámnak.

19. táblázat: Összes karotinoid tartalom alakulása a vizsgált években (n=4) (Fajta: Uno Rosso F_1)

Kezelés/Év	2012	%	2013	%	2014	%	2015	%
Kontroll (µg/g)	116,98±2,46a	100	80,32±3,59a	100	40,89±1,63a	100	137,37±6,32a	100
50% önt. (µg/g)	128,80±3,25b	110	98,24±2,22b	122	41,19±1,22a	101	138,10±5,63a	101
100% önt. (µg/g)	116,92±5,21a	100	90,44±2,36c	113	31,85±1,45b	78	94,27±4,85b	68

Az eltérő betűvel jelölt értékek egy oszlopon belül szignifikánsan eltérnek egymástól, $p \leq 0,05$ valószínűségi szinten.

Az 19. táblázat az Uno Rosso fajta esetében mutatja be az összes karotinoid érték alakulását. Az adatokból kitűnik, hogy az évjáratnak jelentős hatása van a karotinoid tartalomra. A kontroll kezelésben az összes karotinoid koncentráció 40,9 és 137,4 µg/g között ingadozott. Ez több mint háromszoros eltérés. Ez alapvetően, a környezeti tényezőkkel, a hőmérséklettel és a csapadék mennyiségével és eloszlásával magyarázható. Ha a kontroll állomány összes karotinoid értékét vesszük 100%-nak a táblázat,,%``-al jelzett oszlopa jelzi az ettől való éltérést. Az eredmények rendkívül vegyes képet mutatnak, míg 2013-ban a vízellátottság pozitívan befolyásolta az értékekét (deficit öntözés esetén 22% -al, optimális vízellátottság esetén pedig 13%- al növelte), ezzel szemben a többi évben pedig csökkentette, 2014-ben például 22%- al, 2015-ben pedig 32%- al az optimális vízellátottságú kezelésben.

20. táblázat: Összes karotinoid tartalom alakulása a vizsgált években (n=4) (Fajta: Strombolino F_1)

Kezelés/Év	2012	%	2013	%	2014	%	2015	%
Kontroll (µg/g)	168,67±1,69a	100	121,16±1,22a	100	64,14±3,15a	100	n.a.	n.a.
100% önt. (µg/g)	159,94±2,47b	95	126,56±2,49b	104	56,05±4,56b	87	n.a.	n.a.

Az eltérő betűvel jelölt értékek egy oszlopon belül szignifikánsan eltérnek egymástól, $p \leq 0,05$ valószínűségi szinten. (n.a. = nincs adat).

Hasonló következtetés vonható le a cseresznye típusú fajta esetében is (20. táblázat). A Strombolino F_1 esetében is vegyes képet mutat az eredménytábla, ugyan ez esetben három évet vizsgáltunk, de itt sem mutatható ki egyértelmű különbség, 2012-ben 5%-al kevesebb, 2013-ban 4%-al több, ezzel szemben 2014-ben pedig megint 13%-al kevesebb volt az összes karotinoid tartalom a kezelések között.

Fajtaösszehasonlítás esetében a Strombolino F_1 2013 és 2014-es években is magasabb értékeket mutatott, ez igaz a kontroll és az öntözött kezelésekre is. 2013-ban ez számszerűen 90,4 mg/100g áll szemben a 126,5 mg/100g-al, ez 40%-os eltérést jelent a cseresznyeparadicsom javára, 2014-ben még ennél is magasabb 75%-os volt a különbség (31,8 mg/100g vs. 56,0 mg/100g).

Ezen adatok alapján összeségében nem jelenthető ki, hogy a vízellátottság akár pozitívan, akár negatívan befolyásolná az összes karotinoid tartalom alakulását, ezzel szemben a fajta megválasztása igen. A Strombolino F_1 szignifikánsan magasabb karotinoid tartalommal rendelkezik, függetlenül az öntözés vagy az évjárat hatásától.

4.4.2 Likopin tartalom alakulása

A likopin tartalom meghatározása az utóbbi években számos kutatás alapját képezi, ahogyan az a szakirodalmi áttekintésben is látható. Arról már korábban is szó volt, hogy a feldolgozóipar és a humánszektor is figyelemmel kíséri az eredményeket, hiszen mindkét szempontból fontos értékmérő tényező a mennyisége. Korábbi publikációk alapján ismeretes, hogy képződését nagymértékben befolyásolják az időjárási tényezők, a teljesség igénye nélkül ideértve a hőmérsékletet, fényt és a csapadékot. Éppen ezért mivel a szabadföldi termesztés erőteljesen kivan téve az adott évjárat viszontagságainak, ez a likopin tartalomra gyakorolt hatást sem kerüli el.

További fontos értékmérő tényező humán táplálkozási oldalról az all-trans és cisz-likopin tartalom mennyisége, aránya. Az emberi szervezet számára a cisz-likopin jelentősen jobb felszívódású, mint az all-trans típus, éppen ezért a hatása is kedvezőbb. Cisz izomerek hő hatására keletkeznek, így feldolgozás során ez az arány és mennyiség jelentősen javul. Ezáltal a ketchupok, ivólevek vagy akár sűrítmények humán élettani hatása likopin szempontjából jelentősen kedvezőbb.

Az Uno Rosso F_1 esetében a 21. táblázat alapján egyértelműen látszik az adott évjáratok hatása a likopin mennyiségének alakulására. A bogyók összes likopin tartalma vízellátottságtól és évjárattól függően 27,03 és 119,35 µg/g között ingadozott, ez közel 4,5 szeres eltérés. A 2014-es év kiemelkedően alacsony likopin koncentrációt adott. Alapvetően a nagy mennyiségű csapadék

negatívan befolyásolta a likopin tartalmat. A likopin koncentráció szempontjából a 2012-es év volt a legkedvezőbb, mindhárom kezelésben a likopin koncentráció mértéke meghaladta a 100 µg/g értéket, a 3 kezelés átlagában pedig 110,7 µg/g volt. Ez alapvetően a betakarítás megelőző egy hét hőmérsékleti értékeivel indokolható. A maximum hőmérséklet 20-25 C° a minimum pedig 10- és 15 C° között alakult, ami elősegítette a likopin bioszintézisét.

21. táblázat: A likopin tartalom alakulása a különböző évjárat és öntözési kezelések hatására
(Fajta: Uno Rosso F_1) (n=4)

Évjárat		All-trans Likopin (µg/g)	Cisz-Likopin (µg/g)	Σ Likopin (µg/g)
2012	**Kontroll**	103,62±1,14a	2,09±0,47a	105,71±,0,86a
	50	117,11±1,06b	2,24±0,40a	119,35±0,88b
	100	104,81±8,46a	2,32±0,34a	107,13±4,65a
2013	**Kontroll**	68,96±16,82c	0,78±0,53b	69,74±8,62c
	50	85,06±2,68d	1,24±0,39b	86,30±1,53d
	100	76,02±3,06c	1,91±1,07ab	77,93±2,06c
2014	**Kontroll**	33,90±1,97d	1,93±0,26a	35,83±1,12e
	50	32,22±5,70d	1,54±0,02b	33,76±3,86e
	100	25,18±6,09d	1,85±0,33ab	27,03±3,21f
2015	**Kontroll**	100,62±1,97a	14,28±0,64c	114,90±1,31g
	50	97,24±3,15a	19,84±1,35d	117,08±2,25b
	100	66,10±7,24c	12,68±1,87c	78,78±4,55c

Az eltérő betűvel jelölt értékek egy oszlopon belül szignifikánsan eltérnek egymástól, $p \leq 0,05$ valószínűségi szinten.

Ezzel szemben a 2015-ös évben a betakarítás előtt, vagyis az érés utolsó fázisában (likopin termelődés szempontjából a legkritikusabb időszak) érkezett egy erőteljes felmelegedés. A betakarítás előtti egy hétben a maximum hőmérsékletek lényegesen meghaladták a 30 C°-t. Ezzel indokolható a cisz izomérek arányának jelentős mértékű növekedés az all-transzhoz képest.

Az előző három évben arányuk néhány % között mozgott, ez 2015-ben a kontroll állománynál az összes likopin tartalmához képest elérte a 14,2%-ot, az optimálisan öntözött állománynál pedig 19,2%-ot. Ez a különbség igen jelentősnek mondható.

22. táblázat: A likopin tartalom alakulása a különböző évjárat és öntözési kezelések hatására
(Fajta: Strombolino F_1) (n=4)

Év	Kezelések	All Trans Likopin (µg/g)	9-Cisz-Likopin (µg/g)	Σ Likopin (µg/g)
2012	**Kontroll**	142,18±3,95a	8,02±1,89a	150,20±2,92a
	100	133,25±2,75b	7,45±0,65a	140,70±1,70b
2013	**Kontroll**	94,47±6,99c	7,35±3,40a	101,82±5,19c
	100	100,34±3,13c	9,05±4,71a	109,39±3,92c
2014	**Kontroll**	51,48±8,14d	2,03±0,68b	53,51±4,46d
	100	42,91±1,81d	3,10±0,36c	46,01±1,08e
2015	**Kontroll**	n.a.	n.a.	n.a.
	100	n.a.	n.a.	n.a.

Az eltérő betűvel jelölt értékek egy oszlopon belül szignifikánsan eltérnek egymástól, $p \leq 0,05$ valószínűségi szinten. (n.a. = nincs adat)

Hasonló tendencia mutatkozik a Strombolino F_1 esetében is (22. táblázat), a legkedvezőbb év itt is a 2012-es volt, a 2014-es év adta a leggyengébb eredményeket. A Strombolino F_1 cisz, all transz aránya azonban kedvezőbb volt 2013-ban, mint az Uno Rosso F_1 esetében. A kontroll állományoknál 7,2%-kal (101,8 µg/g összes likopin tartalmaz 7,3 µg/g cisz-likopint), az öntözöttnél 8,3%-kal (109,4 µg/g összes likopin tartalmaz 9,0 µg/g cisz-likopint) volt magasabb szemben az Uno Rosso F_1-el, ahol 1,1% (69,7 µg/g összes likopin tartalmaz 0,8 µg/g cisz-likopint) és 2,5% (77,9 µg/g összes likopin tartalmaz 1,9 µg/g cisz-likopint) a cisz aránya az all transhoz képest kezelésenként.

A fajták közötti eltérés tehát egyrészről megmutatkozik a cisz, all-trans arányban, másrészről az összes likopin mennyiségében. Utóbbi az optimális vízellátottságú kezelések esetében nyilvánul meg a legerőteljesebben. A 2012-es évben 31%-al (107,1 µg/g vs. 140,7 µg/g), a 2013-asban 40%-kal (77,9 µg/g vs. 109,4 µg/g) és 2014-esben pedig 70%-kal (27,0 µg/g vs. 46,01 µg/g) volt magasabb a Strombolino F_1 összes likopin tartalma, mint az Uno Rosso F_1. Ebből az a konzekvencia vonható le, hogy mivel az érés során az egyéb környezeti tényezőket tekintve nem volt különbség, így az alacsonyabb bogyótömegű Strombolino F_1 koncentráltabban tartalmazza a likopint, így ugyanakkora tömeg elfogyasztásával nagyobb mennyiséghez jut hozzá az emberi szervezet is.

4.4.3 Likopin hozam alakulása

A likopin hozam az érett, nem beteg termések és az összes likopin tartalomból kalkulálható ki. Értéke az egy hektárra vetített mennyiségét jelöli kilogrammban.

23. táblázat: Likopin hozam alakulása (kg/ha)
(n=4)

Kezelések	2012	2013	2014	2015
URK	3,05±0,12a	1,33±0,06a	0,51±0,09a	1,67±0,13a
UR50	6,61±0,34b	4,67±0,30b	0,60±0,06a	6,60±0,22b
UR100	9,73±0,26c	6,70±0,33c	0,65±0,14a	5,33±0,19c
STRK	2,37±0,09a	2,70±0,11a	0,72±0,12a	n.a.
STR100	8,44±0,25b	5,32±0,22b	0,44±0,06b	n.a.

UR= Uno Rosso, STR= Strombolino
Az eltérő betűvel jelölt értékek egy oszlopon belül szignifikánsan eltérnek egymástól, $p \leq 0,05$ valószínűségi szinten, fajtánként külön vizsgálva (n.a. = nincs adat).

A likopin hozam, az évjáratok, a kezelések és az alkalmazott fajták tekintetében rendkívül széles határok között változott (0,44-9,73 kg/ha). A legalacsonyabb értékeket az ipari paradicsomtermesztés számára nagyon kedvezőtlen ökológiai adottságú évben, 2014-ben kaptuk. Itt egy kezelésben sem érte el a szinte értékelhetetlenek számító 1 kg/ha mennyiséget. A legmagasabb likopin „hozamot” mindkét hibrid esetében az optimális vízellátottság mellett 2012-ben kaptuk. Az Uno Rosso esetében 9,73, míg a Strombolino esetében 8,44 kg/ha mennyiségben. Figyelemre méltó eredmény, hogy a prémium termékek előállítására kiválóan alkalmas cseresznye típusú ipari fajta likopin hozama jelentősen megközelítette a hagyományos bogyóátlagtömegű Uno Rosso F_1-et (23. táblázat).

4.4.4 Egyéb karotinoidok koncentrációjának alakulása

Az ún. egyéb karotinoidok közül leggyakrabban a β-karotin és a zeaxanthin, lycoxanthin merül fel paradicsom esetében, mint domináns színanyag. Ahogyan a szakirodalmi részben már részletezve volt, a sárga színanyag, a β-karotin humán-egészségügyi hatása mára már megkérdőjelezhetetlen, főként a látás folyamatában játszik kiemelkedő szerepet, mint az A-vitamin provitaminja. Éppen ezért mennyisége fontos értékmérő tényező lehet a fogyasztók számára. A zeaxanthin és a lutein hatásmechanizmusa szintén a szem egészségének megőrzése szempontjából fontos, az emberi szervezetben főként a retina középső részében koncentrálódik, megvédve a szemet az oxidatív károsodásoktól (Bamini, 2016).

2012-ben a β-karotin tartalomban az Uno Rosso F_1 esetében nem mutatkozott szignifikáns eltérés a kontroll és a két vízellátottságú kezelés között (2,28 µg/g és 2,80 µg/g ingadozott), ezzel szemben a Strombolino F_1-nél az optimális vízellátottsági kezelés szignifikánsan (58%-kal) magasabb volt (3,63 µg/g vs. 5,75 µg/g). A 2 fajta közötti különbség is jól látható, a cseresznyeparadicsomszignifikánsan magasabb β-karotin tartalommal rendelkezett, mint a hagyományos bogyóátlagtömegű hibrid.

24. táblázat: Az egyéb fontosabb karotinoid koncentráció alakulása 2012-ben (n=4)

	β-karotin (µg/g)	**Zeaxanthin (µg/g)**	**Fitoin (µg/g)**	**Lycoxanthin (µg/g)**	**Σ (µg/g)**	**Egyéb karotinoidok (µg/g)**
URK	2,39±0,29a	1,10±0,14a	1,07±0,01a	2,09±0,24a	6,65±0,17a	4,62±0,36a
UR50	2,80±0,90a	0,80±0,17a	1,24±0,06b	3,42±0,13b	8,26±0,32b	1,19±0,08b
UR100	2,28±0,61a	0,56±0,13b	0,92±0,09c	2,19±0,35a	5,95±0,32c	3,84±0,22c
STRK	3,63±0,47a	0,39±0,01a	3,33±0,28a	2,64±0,07a	9,99±0,20a	8,48±0,16a
STR100	5,75±0,82b	0,49±0,07b	1,84±0,35b	2,02±0,19b	10,10±0,36a	9,14±0,07c

Az eltérő betűvel jelölt értékek egy oszlopon belül szignifikánsan eltérnek egymástól, $p \leq 0,05$ valószínűségi szinten, fajtánként külön vizsgálva.

Ez a zeaxanthin esetében pont az ellenkezőjét mutatja, az Uno Rosso F_1 javára hasonló mértékben. A lyconxanthin-nál ugyan mérhető volt szignifikáns különbség a 2 fajta között a kontroll állományoknál, de mértéke alacsonyabb (2,09 µg/g vs. 2,64 µg/g) és az öntözött esetében

ellenben nem volt kimutatható (2,19 µg/g vs. 2,02 µg/g).

A vizsgált 4 főbb és az ún. egyéb karotinoidok mennyiségét vizsgálva a Strombolino F_1 szignifikánsan magasabb mennyiséget tartalmazott, mind öntözött, mind a kontroll állományoknál. Az részletes eredményeket a 24. táblázat mutatja be.

A 2013-as év tendenciájában nem mutat eltérést a 2012-estől se β-karotin, se zeaxanthin és lycoxanthin esetében, mennyiségben azonban igen, mindhárom fitovegyület vizsgálatakor ebben az évben szignifikánsan alacsonyabb értékeket mértünk. 2012-ben a β-karotin szintje a kontroll állománynál 342%-kal (2,39 µg/g vs. 0,65 µg/g), öntözöttnél 225%-kal (3,63 µg/g vs. 1,63 µg/g) volt magasabb, mint 2013-ban.

A zeaxanthin esetében a két fajta között kezelésenként nincs szignifikáns eltérés, ellenben az Uno Rosso F_1 optimális vízellátottság esetén 200%-al (0,56 µg/g vs. 0,28 µg/g) hozott jobb eredményt 2012-ben ehhez az évhez képest.

A fajták között β-karotin esetében a Strombolino F_1 az öntözött állománynál 335%-kal (0,88 µg/g vs 2,95 µg/g), kontroll esetében pedig 250%-kal (0,65 µg/g vs. 1,63 µg/g) mutat magasabb értékeket a hagyományos bogyóátlagtömegű Uno Rosso F_1-nél. Se a zeaxanthin, se a lycoxanthin esetében nem mutatkozott szignifikáns különbség a fajták és a kezelések között.

25. táblázat: Az egyéb fontosabb karotinoid koncentráció alakulása 2013-ben (n=4)

	β-karotin (µg/g)	**Zeaxanthin (µg/g)**	**Lycoxanthin (µg/g)**	**Σ (µg/g)**	**Egyéb karotinoidok (µg/g)**
URK	0,65±0,15a	0,63±0,10a	1,78±0,48a	3,06±0,24a	7,52±0,26a
UR50	1,13±0,10b	0,38±0,05b	1,40±0,22ab	2,91±0,12a	9,03±0,32b
UR100	0,88±0,11c	0,28±0,05c	1,03±0,16b	2,19±0,11b	10,32±0,16c
STRK	1,63±0,45a	0,63±0,09a	1,32±0,12a	3,58±0,22a	15,76±0,41a
STR100	2,95±0,61b	0,27±0,02b	1,10±0,09b	4,32±0,24b	12,85±0,36b

Az eltérő betűvel jelölt értékek egy oszlopon belül szignifikánsan eltérnek egymástól, $p \leq 0,05$ valószínűségi szinten, fajtánként külön vizsgálva.

Ha az egyéb vizsgált karotinoidok mennyiségét vizsgáljuk, akkor az előző évekhez hasonlóan a Strombolino F_1 mindkét öntözési kezelés hatására szignifikánsan magasabb értékeket mutat, mint az Uno Rosso F_1. Ez a különbség a kontroll kezelések esetében 209%-kal (7,52 µg/g

vs. 15,76 µg/g), míg az optimális vízellátottságú esetében pedig 121%-kal (10,32 µg/g vs. 12,85 µg/g) volt magasabb. A 3 vizsgált főbb karotinoid (β-karotin, zeaxanthin, lycoxanthin) összes mennyiségében szintén a Strombolino F_1 volt eredményesebb, az öntözött állományok között közel duplája volt a különbség (2,19 µg/g vs. 4,32 µg/g) (25. táblázat).

Megállapítható összességében, hogy a Strombolino F_1 mindkét vízellátottsági kezelés esetén nagyobb mennyiségben tartalmazott karotinoid típusú vegyületeket, mint az Uno Rosso F_1.

A szélsőségesesen csapadékos 2014-es év vizsgálata során a vizsgált karotinoidok tekintetében nincs egyértelmű összefüggés az adatok között, legalábbis, ha az adott fajtán belüli vízellátottsági kezeléseket vizsgáljuk. A legmagasabb értékeket az esetek nagy részében Uno Rosso F_1-nél a deficit öntözés mutatta, Strombolino F_1-nél pedig egyes esetekben a kontroll máskor pedig az optimális vízellátottságú kezelés eredményezte.

Ha fajtánként vetítjük le a 26. táblázatban látható adatokat, akkor tendenciálisan az előző évekhez hasonló eredményeket kapunk a vizsgált karotinoidok esetében, vagyis a Stombolino F_1 mind az öntözött, mint pedig a kontroll állományok esetében kb. 200%-kal volt eredményesebb.

Ez a különbség a β-karotin és az egyéb karotinoidok között a leginkább jelentős, előbbinél az optimálisan öntözöttek 187%-kal (2,22 µg/g vs. 4,17 µg/g), utóbbinál pedig 254%-kal (1,85 µg/g vs. 4,70 µg/g) mutattak magasabb értékeket. Zeaxanthin esetében a két fajta közötti kontroll állományok között nincs szignifikáns eltérés, ezzel szemben az öntözöttnél a Strombolino F_1 200%-al (0,24 µg/g vs 0,48 µg/g) többet tartalmazott.

26. táblázat: Az egyéb fontosabb karotinoid koncentráció alakulása 2014-ben (n=4)

	β-karotin (µg/g)	**Zeaxanthin (µg/g)**	**Lycoxanthin (µg/g)**	**Σ (µg/g)**	**Egyéb karotinoidok (µg/g)**
URK	1,48±0,35a	0,36±0,04ab	0,72±0,07a	2,56±0,15a	2,50±0,42a
UR50	3,42±0,14b	0,49±0,24a	0,70±0,16ab	4,61±0,18b	2,82±0,26a
UR100	2,22±0,40c	0,24±0,14b	0,51±0,09b	2,97±0,21c	1,85±0,15b
STRK	3,83±0,74a	0,37±0,11a	0,80±0,18a	5,00±0,34a	5,63±0,32a
STR100	4,17±0,36a	0,48±0,06a	0,69±0,04a	5,34±0,15a	4,70±0,18b

Az eltérő betűvel jelölt értékek egy oszlopon belül szignifikánsan eltérnek egymástól, $p \leq 0,05$ valószínűségi szinten, fajtánként külön vizsgálva.

2015 a szabadföldi paradicsom számára ideális évjáratnak bizonyult, amelyet a

termésmennyiségek és a beltartalmi paraméterek is alátámasztanak. A β-karotin alakulása Uno Rosso F_1 esetében kezelésenként nem mondható szignifikánsnak, lutein esetében azonban igen, az egyre növekvő víz kijuttatása folyamatosan csökkentette a mennyiségét. Ezáltal a kontroll és az optimális vízellátottságú kezelés között 284%-os (1,99 µg/g vs. 0,70 µg/g) eltérés mutatkozik. Ugyanez a tendencia figyelhető meg az egyéb karotinoidok esetében is, ahol a növekvő kijuttatott víz hatására folyamatosan alacsonyabb lett az értéke. (27. táblázat).

27. táblázat: Az egyéb fontosabb karotinoid koncentráció alakulása 2015-ben (n=4)

	β -karotin (µg/g)	**Lutein (µg/g)**	**Σ (µg/g)**	**Egyéb karotinoidok (µg/g)**
URK	2,74±0,31ab	1,99±0,29a	4,73±0,30a	17,74±1,21a
UR50	3,44±0,46a	1,09±0,18b	4,53±0,32a	16,49±0,96a
UR100	2,22±0,48b	0,70±0,11c	3,92±0,27b	12,57±0,88b
STRK	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
STR100	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.

Az eltérő betűvel jelölt értékek egy oszlopon belül szignifikánsan eltérnek egymástól, $p \leq 0,05$ valószínűségi szinten, fajtánként külön vizsgálva.

4.4.5 C-vitamin tartalom alakulása

Ugyan a paradicsom nem tartozik tipikusan azon növények közé, amelyet a C-vitamin tartalma miatt fogyasztunk, értéke meglehetősen széles skálán mozog, ha fajtákra vagy akár öntözési kezelésekre vetítjük vissza.

28. táblázat: C-vitamin tartalom alakulása fajtánként és öntözési kezelésenként (2012-2015) (n=4)

		2012	2013	2014	2015
C-vitamin (µg/g)	**URK**	132,21±39,64a	n.a.	n.a.	330,15±30,43a
	UR50	115,73±2,29a	n.a.	n.a.	286,56±26,12ab
	UR100	140,01±23,25a	149,40±32,90a	n.a.	273,22±14,11b
	STRK	194,46±20,65a	n.a.	n.a.	n.a
	STR100	244,05±29,67a	310,56±56,91a	n.a.	n.a.

Az eltérő betűvel jelölt értékek egy oszlopon belül szignifikánsan eltérnek egymástól, $p \leq 0,05$ valószínűségi szinten, fajtánként külön vizsgálva (n.a. = nincs adat).

C-vitamin mérésére nem rendszeresen került sor. A 2014-es évben egyik hibridnél és kezelésnél sem történt C-vitamin meghatározás. Így az adatok hiányossága miatt teljeskörű értékelésre nem volt lehetőségem, de a rendelkezésre álló adatokból azonban néhány következtetés levonható. A C-vitamin értékek 115,7 és 330,1 µg/g között ingadoztak. Ez megfelel az elvárásoknak. A fajták esetében a 2102-es évben a különböző vízellátottságú kezelések között nem találtunk szignifikáns különbséget. Legszembetűnőbb volt a fajták közötti eltérés, ahol ebben az évben a 100%-os vízellátottságú kezelés esetében a Strombolino F_1 cseresznyeparadicsom 74%-kal adott magasabb értéket (140,01 µg/g vs. 244,05 µg/g), de a kontroll esetében is szignifikánsnak eltérést kaptunk (132,21 µg/g vs. 194.46 µg/g). A 2015-ös évben az Uno Rosso F_1 vizsgálati eredményei álltak mindössze rendelkezésre, ahol a kontroll és a 100%-os vízellátottságú kezelések között szignifikáns eltérés mutatkozott (330,15 µg/g vs. 273,22 µg/g) a kontroll állomány javára (28. táblázat).

Összeségében megállapítható, hogy statisztikai összefüggés a rendelkezésre álló adatok alapján a fajták között mutatkozott, a kezelések között ez bizonyosan nem jelenthető ki.

4.5 Közeli infravörös spektroszkópiás vizsgálatok eredményeinek értékelése

A NIR technológia jelentősége egyre tágabb teret nyer az analitikai vizsgálatok tekintetében, az olcsó, gyors és roncsolásmentes vizsgálatok egyre szélesebb körben kezdenek el terjedni mind az ipari, mindpedig a laboratóriumi körülmények között egyaránt. A feldolgozó ipar számára kijelölt cél nem más, mint az, hogy a paradicsomról minél hamarabb, a lehető legtöbb információt tudjunk meg a beltartalmi paraméterekről, lehetőleg minél alacsonyabb költségen. Jövőbeli távlati cél ugyan, de egyáltalán nem elképzelhetetlen cél, hogy a vásárlók között is elterjedhessen a technológia és már az áruházakban meg lehesseb állapítani a termékek beltartalmát, analitikai összetételét. Éppen ezért ezen kutatások térhódítása az utóbbi években megnövekedett, egyre több olyan publikáció lát napvilágot, ami ezt a kérdéskört taglalja, ezeket részletesen a szakirodalmi részben mutattam be. Paradicsom esetében teljesen átfogó, több beltartalmi paraméterre és karotinoid típusra is kiterjedő vizsgálatok száma rendkívül alacsony, egyes összetevőkre egyáltalán nem terjed ki, mi ezen hiányosságok bővítését tűztük ki célul.

A laboratóriumi és a termesztéstechnológiai vizsgálatokat a 2012-es évben indítottuk el, amelyben 64 turmixolt paradicsom minta NIR vizsgálatát végeztük el, mind a két hybrid esetében. Ezzel párhuzamosan elvégeztük az analitikai vizsgálatokat is HPLC módszerrel. Célunk az volt, hogy minél erősebb összefüggést találjunk a Brix°, cukor és savtartalom, cukor/sav arány, az egyes színanyagok és a NIR spektrumok között, különböző statisztikai módszerek használatával.

A zöldségnövények, ezen belül is a paradicsom víztartalma kiemelten magas és jól ismert, hogy a víz nagy moláris abszorpciós koefficiense miatt az infravörös tartományban magas az elnyelődése, így esetlegesen különböző információkat elfedhet a spektrumból. Bizonyos minta-előkészítési módszerek, mint például a minták vízetelenítése különböző módszerekkel, alkalmasak lehetnek ezek kiküszöbölésére.

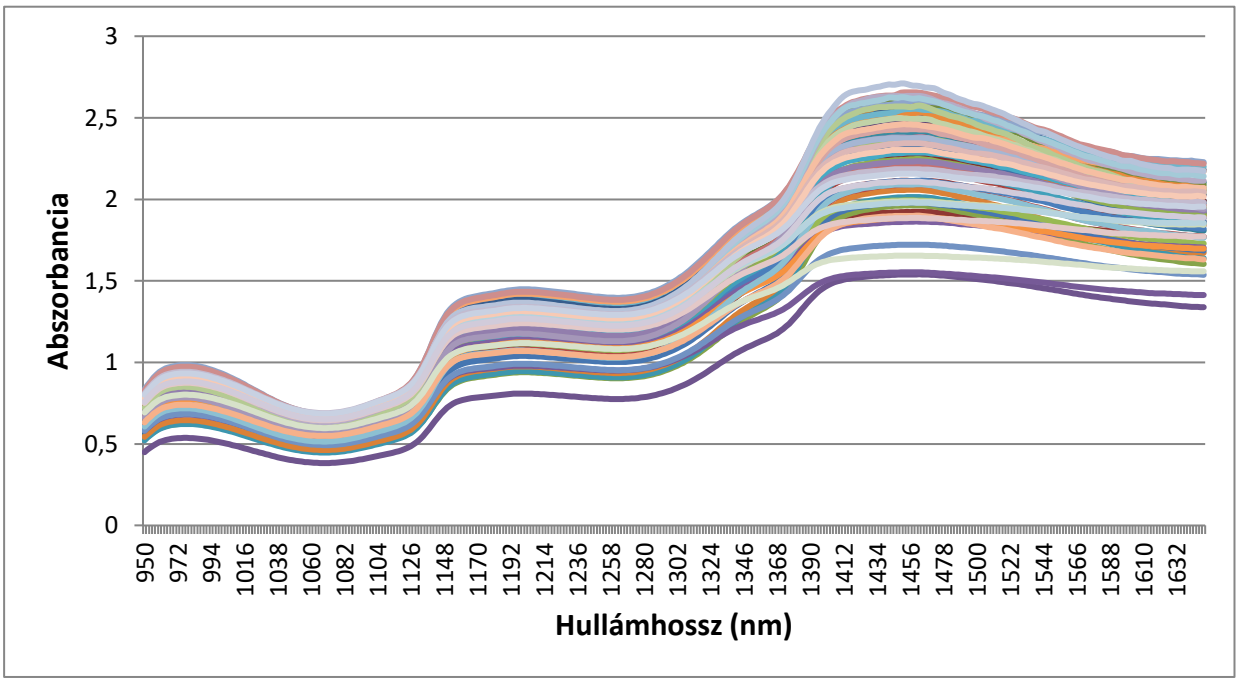
29. táblázat: Az analitikai mérések eredményei

	N	TARTOMÁNY	ÁTLAG±SD	SEL
Brix°	64	3,90-8,30	5,60±1,10	0,24
Savtartalom (g/100g)	64	0,39-0,87	0,54±0,10	0,02
Cukortartalom (g/100g)	64	1,80-4,20	3,22±0,56	0,21
Cukor/sav arány	64	2,57-8,48	6,18±1,34	0,59

SEL: Laboratóriumi középhiba, SD: Szórás, N: Mintaszám **(**Deák et al., 2015 alapján**)**

Viszont ezzel szemben ezen módszerek alkalmazása által a NIR elveszíti legfőbb előnyét, a gyorsaságát, így a vizsgálataink során nem használtunk semmilyen víztelenítési laboratóriumi műveletet. A mintákat friss, turmixolt formában mértük le, a homogenizálás végett, de egyéb mintaelőkészítést nem alkalmaztunk.

Az eredményeket elsőkörösen a makrokomponensek értékelésével mutatom be, melyeket majd követnek az egyes karotinoid típusú vegyületek is. A vizsgált beltartalmi (Brix°, savtartalom, cukortartalom, cukor/sav arány) értékek tartományai és szórása, valamint a laboratóriumi középhiba értéke (SEL) a 29. táblázatban láthatóak és megegyeznek a szakirodalomban megtalálható adatokkal, értékük széleskörű, Brix° esetében az alacsonynak mondható 3,90-től egészen a magas értékű 8,30-ig terjed. A minták spektrumait a 27. ábrán mutatom be. Az ábra jól szemlélteti, hogy a víz abszorpciós csúcsai 1170-1190 nm, illetve 1434-1478 nm között helyezkednek el.



27. ábra: A paradicsom minták nyers spektruma (Deák et al., 2015 alapján)

Az értékelés következő szakaszában az összefüggéseket mutatom be. A megfelelő kalibrációhoz az Unscrambler 10.3-as verziószámú szoftvert alkalmaztunk a PLS regresszió modul használatával. Ahhoz, hogy megfelelő PLS modellt készítsünk a PLS faktorok száma, illetve a spektrumtranszformációs műveletek alkalmazása rendkívül fontos paraméterek.

30. táblázat: A kereszt-validáció eredményei a főbb komponensekre 64 minta esetében

	Nyers spektrum		1st derivált		2nd derivált		SNV		MSC	
	R^2	RMSECV	R^2	RMSECV	R^2	RMSECV	R^2	RMSECV	R^2	RMSECV
Brix°	0,80	0,49	0,75	0,54	0,79	0,52	0,76	0,52	0,77	0,53
Savtartalom (g/100g)	0,55	0,06	0,39	0,07	0,56	0,06	0,60	0,06	0,59	0,06
Cukortartalom (g/100g)	0,59	0,35	0,61	0,36	0,57	0,37	0,58	0,36	0,57	0,36
Cukor/sav arány	0,41	1,02	0,58	0,91	0,57	0,86	0,44	0,85	0,58	0,86

RMSECV: Kereszt-validáció hibája **(**Deák et al., 2015 alapján**)**

MSC: Többszörös szóródás korrekció

SNV: Standard normal változó

Az optimális faktorszámot a legalacsonyabb RMSECV és a legmagasabb R^2 alapján határoztam meg, amelyhez kereszt validációt használtam. A spektrumtranszformációk közül négyet (1st és 2nd derivált, SNV, MSC) vizsgáltam. A vizsgált eredmények a 30. táblázatban kerülnek bemutatásra. Jól látható a transzformációs műveletek szerepe abban, hogy megtaláljuk a leginkább kedvezőbb eredményeket. A 31. táblázat tartalmazza a kalibrációs szett, vagyis a spektrumtrasznformációs műveletek legerősebb összefüggéseit. A legkedvezőbb összefüggést, vagyis a legalacsonyabb RMSECV-t (keresztvalidációs hiba) és a legmagasabb R^2-et a Brix° esetében kaptam. Ha a cukortartalmat nézzük a legmagasabb R^2 és a legalacsonyabb RMSECV az 1st derivált transzformáció mellett mutatkozott 7 PLS faktor mellett, számszerűleg ez az R^2 a keresztvalidáció során 0,61-et mutatott 0,36-os keresztvalidációs hiba mellett, ellenben cukor/sav aránynál az MSC (többszörös szóródás korrekció) mutatta a legkedvezőbb eredményt, de ezen összefüggés a magas hibafaktor miatt nem mondhatóak erősnek.

31. táblázat A kalibrációs szett eredményei a főbb komponenseknél 64 minta esetében

	Spektrum-transzformáció	PC	R^2_C	RMSE	R^2_{CV}	RMSECV
Brix°	**Nyers spektrum**	12	0,96	0,22	0,81	0,48
Savtartalom	**SNV**	13	0,92	0,02	0,63	0,06
Cukortartalom	**1st derivált**	7	0,76	0,27	0,61	0,36
Cukor/sav arány	**MSC**	15	0,92	0,35	0,58	0,86

R^2_C: R^2 kalibráció **(**Deák et al., 2015 alapján**)**

R^2_{CV}: R^2 kereszt-validáció

RMSE: becslés átlagos négyzetes hibája

RMSECV: kereszt validáció átlagos négyzetes hibája

PC: főkomponens szám

Megállapítottam továbbá, hogy mivel a PC (főkomponens szám) magas, a precíz meghatározáshoz növelni kell még a minták számát.

A vizsgálatok másik részét a karotinoid típusú vegyületek mérése jelentette, mivel mennyiségben jelentősen elmaradnak a fentebb vizsgált komponensektől, így kimutathatóságuk is nagyobb kihívást jelent. Az előzőekhez hasonlóan az analitikai adatokat a 32. táblázat mutatja szórás és a laboratóriumi középhiba mellett. Korábbi tanulmányok nem foglalkoznak cis-likopin és zeaxanthin, lycoxanthin tartalom meghatározásával NIR készülékkel, így ezek az eredmények nem hasonlíthatók korábbi adatokhoz, mondhatni teljesen újnak tekinthetők.

32. táblázat: A karotinoid vegyületek analitikai méréseinek eredményei.

	N	TARTOMÁNY	ÁTLAG±SD	SEL
Lycoxanthin(µg/g)	64	0,09-2,72	0,93±0,58	0,07
All-trans likopin (µg/g)	64	70,00-263,00	124,30±4,66	1,05
Cis-likopin (µg/g)	64	1,52-15,10	7,71±2,95	0,40
Fitoin (µg/g)	64	0,78-3,63	1,50±0,63	0,13
Zeaxanthin(µg/g)	64	0,15-0,53	0,30±0,10	0,02
β-karotin (µg/g)	64	0,63-4,24	1,44±0,99	0,17
Összes karotinoid (µg/g)	64	35,31-134,22	63,17±23,39	1,77

SEL: laboratóriumi középhiba, N: mintaszám (Deák et al., 2013 alapján)

A vizsgált tartományok az előzőekhez hasonlóan szintén rendkívül széleskörűek, kiemelve például a likopint, ahol 70 µg/g-től egészen 263 µg/g-ig lévő skálán elhelyezkedő eredmények is mutatkoztak, vagy akár a lycoxanthin, amely a méginkább szélsőséges 0,09-2,72 µg/g közötti értékekeket mutat, természetesen a fajta, illetve a termesztéstechnológiai kezelések is alapvetően befolyásolják.

33. táblázat: A keresztvalidáció eredményei karotinoid vegyületekre 64 minta alapján.

	Nyers spektrum		**1st derivált**		**2nd derivált**		**SNV**		**MSC**	
	R^2	RMSECV	R^2	RMSECV	R^2	RMSECV	R^2	RMSECV	R^2	RMSECV
Lycoxanthin (µg/g)	0,78	0,27	0,83	0,23	0,85	0,23	0,76	0,28	0,79	0,26
All-trans likopin (µg/g)	0,76	2,34	0,78	2,18	0,84	1,85	0,73	2,42	0,76	2,29
Cis-likopin (µg/g)	0,77	1,40	0,81	1,29	0,75	1,44	0,74	1,52	0,73	1,56
Fitoin (µg/g)	0,72	0,34	0,78	0,29	0,76	0,31	0,74	0,32	0,69	0,35
Zeaxanthin (µg/g)	0,72	0,05	0,76	0,05	0,77	0,05	0,80	0,04	0,73	0,05
β-karotin (µg/g)	0,74	0,50	0,76	0,48	0,68	0,57	0,70	0,54	0,70	0,55
Összes karotinoid (µg/g)	0,70	12,65	0,82	10,31	0,80	10,64	0,70	12,62	0,72	12,30

RMSECV: Kereszt-validáció hibája **(**Deák et al., 2013 alapján**)**

MSC: Többszörös szóródás korrekció

SNV: Standard normál változó

Ahogyan a többi komponens esetében itt is többfajta spektrumtranszformációs műveletet teszteltem a nyers spektrumon felül (33. táblázat). Az eredmények között jelentős különbségek mutatkoznak, de az megállapítható, hogy a derivált spektrumok mutatták a legerősebb összefüggéseket. Példaként all-trans likopin esetében a 2nd derivált spektrum 0,84-es R^2-et mutatott 1,85 µg/g hiba mellett, míg az SNV művelet ezzel szemben mindössze csak 0,73-as R^2-et, 2,42 µg/g hibával. A többi komponens esetében is hasonló tendencia mutatkozik, éppen ezért rendkívül fontos megválasztani a megfelelő műveletet a legjobb eredmény megtalálása érdekében.

34. táblázat: A kalibrációs szett eredményei karotinodok esetén 64 minta alapján.

	Spektrum transzformáció	PC	R^2_C	RMSE (µg/g)	R^2_{CV}	RMSECV (µg/g)
Lycoxanthin	2nd derivált	4	0,93	0,15	0,85	0,23
All-trans likopin	2nd derivált	6	0,95	1,04	0,84	1,85
Cis-likopin	1st derivált	6	0,92	0,83	0,81	1,29
Fitoin	1st derivált	6	0,90	0,19	0,78	0,29
Zeaxanthin	2nd derivált	4	0,88	0,03	0,77	0,05
β-karotin	1st derivált	5	0,88	0,34	0,76	0,48
Összes karotinoid	1st derivált	5	0,90	7,19	0,82	10,31

R^2_C: R^2 kalibráció **(**Deák et al., 2013 alapján**)**

R^2_{CV}: R^2 kereszt-validáció

RMSE: becslés átlagos négyzetes hibája

RMSECV: kereszt validáció átlagos négyzetes hibája

PC: főkomponens szám

Ahogyan azt korábban bemutattam, ez esetben is a derivált spektrumok mutatták a legerősebb összefüggéseket, az egyes komponensek esetében eltérően, van, ahol az 1st derivált és van, ahol a 2nd derivált eredményei (34. táblázat) mutatkoztak a legeredményesebbnek. Az összefüggések keresztvalidáció során a legtöbb esetben 0,80 körüliek vagy afölöttiek, amely 64 minta esetében jónak mondható, főként alacsony hibahatár mellett. A legerősebb összefüggést a lycoxanthin (R^2_{CV}=0,85, RMSECV=0,23 µg/g) mutatta, amelyet szorosan követ az all -trans (R^2_{CV}=0,84, RMSECV=1,85 µg/g) és a cis-likopin (R^2_{CV}=0,81, RMSECV=1,29 µg/g). A főkomponens szám jelentősen alacsonyabb a karotinoid vegyületek esetében (4-6), ellentétben a makrokomponensek 7-15-ig terjedő skálájával szemben.

A kísérleteket 2013-ban tovább folytattuk, ahol a vizsgálatba 120 mintát vontunk bele, megnézve, hogy a megnövelt mintaszám hogyan, milyen irányban változtat az eredményeken. A főbb karotinoidok mellett a Brix° is vizsgálatra került, mint a feldolgozóipar számára egy fontos értékmérő tényező. A vizsgált tartományok az előző évhez hasonlóan szintén tág határok között alakultak, köszönhetően a fajták és az öntözési kezelések közötti eltéréseknek, ez például likopin esetében 31,50 - 109,20 µg/g, vagy β-karotinnál 0,49 – 3,87 µg/g közötti értékeket jelent **(**35. táblázat).

35. táblázat: Az analitikai mérések eredményei

	N	TARTOMÁNY	ÁTLAG±SD	SEL
All-trans likopin (µg/g)	120	31,50-109,20	77,07±12,92	2,45
Cis-likopin (µg/g)	120	0,25-3,28	1,23±0,27	0,12
Lycoxanthin (µg/g)	120	0,54-3,33	1,42±0,23	0,15
Zeaxanthin (µg/g)	120	0,01-0,96	0,46±0,05	0,03
β-karotin (µg/g)	120	0,49-3,87	1,55±0,57	0,08
Brix°	120	3,75-8,40	5,58±1,12	0,24

SEL: Laboratóriumi középhiba, SD: Szórás, N: Mintaszám

Az előző évhez hasonlóan az elemzéshez különböző spektrumtranszformációs műveleteket használtunk, mint az első és második deriváltakat (Savitzky-Golay filter), standard normál változót (SNV) és a többszörös szóródás korrekciót (MSC). A vizsgálatokat a spektrumtranszformációs műveletek kombinálásával (mint például a deriválást kombináltuk MSC-vel) tovább bővítettük, amely néhány esetben további eredményességet jelentett (36. táblázat).

36. táblázat: A kalibrációs szett eredményei 120 minta alapján

	Brix°	All-Transz Likopin	Cis-Likopin	Lycoxanthin	Zeaxanthin	β-karotin
Spektrum-transzformáció	1st derivált + MSC	1st derivált	1st derivált + MSC	1st derivált + MSC	1st derivált + MSC	2nd derivált
Hullámhossz	950-1552	950-1650	950-1650	950-1650	950-1650	950-1300
R^2_C	0,84	0,78	0,83	0,88	0,83	0,90
RMSE (µg/g)	0,47	6,68	0,23	0,25	0,09	0,17
RPD	2,54	2,11	2,46	2,93	2,42	3,18
R^2_{CV}	0,77	0,75	0,76	0,84	0,75	0,89
RMSECV (µg/g)	0,55	6,88	0,27	0,28	0,10	0,17
PC	6	2	8	7	7	4

R^2_C: R^2 kalibráció **(**Deák et al., 2015 alapján**)**

R^2_{CV}: R^2 kereszt-validáció

RMSE: becslés átlagos négyzetes hibája

RMSECV: kereszt-validáció átlagos négyzetes hibája

All-trans likopin esetében a 2-es főkomponens szám (PC) mellett kaptuk a legkedvedvezőbb értékeket az első derivált + MSC kombinációval (R^2_{CV} = 0,75, RMSECV = 6,88 µg/g). Tianhua és munkatársai (Tianhua et al., 2013) szintén vizsgáltak likopin tartalmat NIR technológiával, de ők mindössze 28 mintát vontak be és az eredményességük is gyengébb lett (RMSECV = 9,19 µg/g).

Brix° tartalom vizsgálatakor az előző évvel ellentétben a mintaszám növelése gyengébb összefüggést hozott. Az $R^2_{CV=}$0,77-es, ezzel szemben 2012-ben 64 minta esetében 0,81-es értéket mutatott. Előző évben a nyers spektrum mutatta a legerősebb összefüggést, ezzel szemben 2013-ban pedig az első derivált + MSC kombináció bizonyult eredményesebbnek.

Az egyéb karotinoidok közül, mint a cis-likopin, lycoxanthin és zeaxanthin, ha nem is sokkal, de alacsonyabb összefüggést mutattak a megnövelt mintaszám esetében, ezzel szemben a β-karotin esetén magasabbat (R^2_{CV}=0,89 vs R^2_{CV}=0,76), amelyhez a keresztvalidáció hibájának javulása is párosult (0,17 µg/g vs. 0,48 µg/g).

5. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK (TÉZISEK)

- Számszerűsítettem a 4 évjárat alapján, hogy az ökológiai tényezők (vízellátottság, hőmérséklet) alakulása a tenyészidő során szignifikánsan befolyásolja a termés mennyiségi és minőségi paramétereit.
- Megállapítottam, hogy a Brix° a két vizsgált hibrid és a négy kísérleti év eredményei alapján, húsz vízellátottságú kezeléséből tizenhárom esetben mutatott a konzervipari elvárásoknak megfelelő, 5 Brix° feletti értéket.
- Megállapítottam, hogy a likopin összetételét, tekintve a cisz-likopin koncentrációja szignifikánsan magasabb, ha a betakarítást megelőző egy hétben a maximum hőmérséklet meghaladja a 30 C°-ot. Ez táplálkozás-élettani szempontból is fontos megállapítás.
- Megállapítottam, hogy a közeli infravörös spektroszkópia (NIR) 950-1650 nm-es tartománya megfelelő spektrumtranszformációs műveletek segítségével alkalmas a feldolgozóipar számára is kiemelten fontos Brix° (R^2_{cv}=0,81) és likopin (R^2_{cv} =0,84) meghatározására.

6. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK

A négyéves kísérletek során lehetőségem volt vizsgálni alapvetően eltérő ökológiai körülmények között az ipari paradicsom különböző paramétereit, amiben szerepelt aszályos és az átlagnál csapadékosabb év is. A klímakutatók, a klímaváltozás kapcsán a szélsőségek gyakoriságát említik, ezért jövőben átlagos időjárású évekre valószínűleg egyre ritkábban számíthatunk. Magyarországon egyre nagyobb lesz az esély arra, hogy nagyon meleg és hűvös évek is előfordulnak. Ez az ipari paradicsom számára nagy termesztési kockázatot jelenthet.

A termésmennyiségek alakulása kapcsán megállapítható, hogy szignifikáns eltérés mutatkozott mind a vizsgált fajták, mind pedig a vízellátottsági kezelések között. Az évjárathatás erősen megmutatkozott, a 2012-es évben több, mint négyszer annyi termést takarítottunk be, mint 2014-ben az öntözött kezelések esetében. A kontroll (öntözetlen) állományok egyik évben sem közelítették meg a gazdaságosnak mondható küszöbértéket. Ez is igazolja azt, hogy öntözési lehetőség nélkül eredményes termesztésre nem lehet számítani. A hagyományos bogyóátlagtömegű Uno Rosso F_1 mind a négy évben szignifikánsan nagyobb piacképes termésmennyiséget adott, mint a cseresznye típusú Strombolino F_1.

A Brix° kapcsán megállapítható, hogy az évjáratok között jelentős eltérés mutatkozik mind az öntözött mind pedig a kontroll állományok esetén, a legmagasabb és legalacsonyabb értékek között az Uno Rosso F_1 esetében 1,5 a Strombolino F_1 esetében pedig közel 2 Brix° volt a különbség. A két fajta között a cseresznyeparadicsom hibrid szignifikánsan magasabb Brix° értékeket adott a hagyományos bogyó-átlagtömegűhöz képest, 4 év átlagában 17%.-kal. Mivel a cseresznyeparadicsom magasabb Brix°-kal rendelkezik, ennek következtében a Brix hozamok tekintetében nem mutatkozott szignifikáns eltérés a fajták között.

Az összes karotinoid-tartalom vizsgálata nem mutatott egyértelmű összefüggést a vízellátottsági kezelések között, a fajták esetében viszont igen, a Strombolino F_1 35-40%-kal magasabb koncentrációban tartalmazta.

Eredményeim alapján megállapítható, hogy az összes karotinoid tartalom jelentős részét a likopin teszi ki, ezért tendenciálisan hasonló eredmények mutatkoztak. Az évjárathatás erősen megnyilvánult, a leggyengébb 2014-es és a legkedvezőbb 2012-es év között négyszeres eltérést mértem az optimális vízellátottságú kezelések esetén. A fajták között a Strombolino F_1 30-70%-kal mutatott jobb eredményeket a vizsgált években. Ezzel szemben az Uno Rosso F_1 likopin hozam tekintetében szignifikánsan magasabb eredményeket mutatott minden kezelés esetében.

Az egyéb vizsgált karotinoidok tekintetében hasonló megállapításokat tehetünk, mint a likopinnál, vagyis, hogy a Strombolino F_1 szignifikánsan magasabb mennyiségben tartalmazza, mint az Uno Rosso F_1 és az évjáratok között jelentős az eltérés, a 2014-es év szintén rendkívül

alacsony mennyiségeket hozott.

A C-vitamin vizsgálatakor szintén megállapítható, hogy az egyes évjáratok nagymértékben befolyásolták a mennyiségét, 2012 és 2015-ös kísérleti évek között közel kétszeres volt az eltérés. Továbbá megállapítható az is, hogy a két vizsgált hibrid között is volt szignifikáns eltérés, 2013-ban több, mint duplája volt a különbség C-vitamin tartalomban az optimális vízellátottságú kezelések esetén.

A közeli infravörös spektroszkópia (NIR) vizsgálati eredményei alapján megállapítható, hogy a 950-1650 nm-es hullámhossztartomány alkalmas, mind a Brix° (R^2_{cv}=0,81), sav (R^2_{cv}=0,63) és cukortartalom (R^2_{cv}=0,61), valamint karotinoid típusú vegyületek (likopin: R^2_{cv} =0,84) mérésére alacsony hibával. A különböző spektrumtranszformációs műveletek segítségével az összefüggések tovább erősíthetőek.

7. ÖSSZEFOGLALÁS

Doktori munkám két fő céljai közül az első az volt, hogy megvizsgáljam és értékeljem az eltérő vízellátottságú kezelések és az évjáratok hatását az ipari paradicsom termésképzésére, valamint az egyes makro- és mikronutriensek alakulására két, egymástól eltérő paradicsom hibrid esetében. A hagyományos bogyóátlagtömegű Uno Rosso F_1 és cseresznyeparadicsom Strombolino F_1 mindkettő ipari termesztésre javasolt paradicsom hibrid. A másik célkitűzésem az volt, hogy a kapott beltartalmi eredményeket összevessem a közeli infravörös spektroszkópia (NIR) eredményeivel és a lehető legerősebb összefüggést mutassam ki közöttük.

A paradicsom táplálkozás-élettanilag fontos szerepe megkérdőjelezhetetlen, éppen ezért kiemelt helyett kapott a kutatások terén, hiszen gyakorlatilag szinte már napi szinten látnak napvilágot az újabbnál újabb tanulmányok, tudományosan bizonyított eredmények, a beltartalmi értékeinek humán-egészségügyi jelentőségéről.

A szabadföldi kisparcellás 4 ismétléses kísérleteket a gödöllői Szent István Egyetem kertészeti tanüzemében állítottuk be 4 éven keresztül 2012-2015 között, ahol minden évben azonos termesztéstechnológia (palántázás, tápanyagutánpótlás, növényvédelem stb.) mellett tudtuk vizsgálni a különböző vízellátottságú kezeléseket és az eltérő bogyó típusú ipari célú hibrideket. A négy év, mondhatni teljesen eltérő időjárási körülményeket mutatott, az egészen száraztól az extrém csapadékosig, ez az eredményeimet még szélesebb körűvé teszi. Az egyik leginkább szélsőséges a 2014-es év volt, ahol az öntözési kezelések jelentősége a nagymértékű csapadéknak köszönhetően szinte jelentéktelenné vált, hiszen a természetes csapadék a paradicsom vízigényét maximálisan kielégítette, sőt mondhatni túl is szárnyalta, ami már negatívan hatott az eredményességre. Ezzel szemben áll a 2013-as vagy akár 2015-ös év, ahol a tenyészidőszakban hullott csapadék mennyisége összesen megközelítőleg 150 mm volt (2014-ben közel 400 mm), teljesen eltérően hatott a termésmennyiségre, valamint a beltartalmi paraméterek (Brix°, likopin, stb.) alakulására.

A laborvizsgálatok első részét a turmixolást követően a hagyományos analitikai vizsgálatok jelentették, ideértve a Brix° mérését refraktométerrel és a karotinoid típusú vegyületek detektálását HPLC készülékkel. Az eredményeket fajtánként, kezelésenként és évjáratonként külön értékeltem, összefüggéseket keresve a fent már említett évjárati hatások és az eltérő vízellátottságú növényállományok között.

Szignifikánsan kimutatható volt az évjárathatás az antioxidáns vegyületek mennyiségére, valamint az egyes évek vizsgálatakor előfordult, hogy többszörös eltérés mutatkozott azonos kezelések között. A vizsgált két paradicsom hibrid között szintén szignifikáns eltérést mutattunk ki, megállapítottuk, hogy a Strombolino F_1 szinte minden tekintetben magasabb beltartalmi értékeket mutatott és ez az egy hektárra vetített likopin és Brix° hozam vizsgálatakor is

versenyképessé tette az Uno Rosso F_1-el szemben, hiszen minimális eltérések mutatkoztak e tekintetben.

A leturmixolt minták másik felét közeli infravörös spektroszkópiás (NIR) vizsgálatoknak vetettük alá egyidőben a HPLC vizsgálatokkal, amelyből első körben egy spektrumot kaptunk 950 és 1650 nm közötti hullámhossztartományban. Minden egyes így kapott spektrumhoz tartozik párhuzamosan egy analitikai eredménysor, amelyet statisztikai módszerekkel, Unscrambler 10.3-as szoftverrel vetettünk alá különböző matematikai műveleteknek, hogy összefüggéseket találjunk közöttük. A nyers spektrumot spektrumtranszformációs műveletekkel tovább tudtuk javítani, ideértve a deriválást (első és második), standard normál változót (SNV) vagy a többszörös szóródás korrekciót (MSC), illetve ezek kombinálását.

A makromolekulák (fehérjék, szénhidrátok stb.) és a NIR spektrumok között már számos szakirodalom talált összefüggéseket, viszont ezek főként alacsony víztartalmú gabonákra, tápokra terjedtek ki, mellyel szemben a paradicsom víztartalma 95% körüli és jól ismert, hogy ez jelentősen nehezíti az eredményesség kimutatását, hiszen az egyes vízcsúcsok fontos információkat fedhetnek el a spektrumban. Ugyan megtalálható néhány tanulmány a Brix° és a NIR közötti kapcsolatra vonatkozóan paradicsom esetében is, de ezen publikációk száma korlátozott és alacsony mintaszámot vesznek alapul legtöbb esetben. Mi az első évben 64-et, a második évben pedig 120 mintát vizsgálatunk, amelyek a kezeléseknek és a fajtaspecifikus eltérésnek köszönhetően nagyon széleskörben fedik le az eredményskálát egészen a 3,70-8,40-es Brix° értékig. A kapott összefüggés szoros, megfelelő egy kalibráció elkészítéséhez.

Ezzel szemben a karotinoidok vizsgálatával meglehetősen kevesen próbálkoztak, vagy volt rá lehetőségük. Akik végeztek ilyen jellegű kutatásokat, azoknak sem terjedtek ki a vizsgálatai mindössze csak néhány típusra, koncentrálva főként a likopinra, hiszen a karotinoidok közül a legnagyobb mennyiségben ez található meg a paradicsomban. De a likopinon felül számos táplálkozás-élettanilag fontos karotinoid jelen van a bogyóban a teljesség igénye nélkül a β-karotin, lutein vagy a zeaxanthin, melyekről számos orvosi tanulmány számol be, mint egészségügyileg értékes vegyületről. Mennyiségük azonban jóval alacsonyabb, mint a likopinnak, éppen ezért kimutathatóságuk is nehezebb feladat. Az eredményeink alapján azonban ezen vegyületek mennyisége is eredményesen megállapítható, erős összefüggést mutatnak a HPLC adatok a vizsgált NIR spektrumokkal. Az összefüggések erősítése a vízcsúcsok eltüntetésével lenne lehetséges, melyek számos információt fednek el, viszont ennek eléréséhez jelenleg nem áll rendelkezésre olyan módszer, amely kellően gyors és megbízható lenne.

Összességében megállapítható, hogy négy év szabadföli kísérletei rendkívül széleskörűen fedték le az eltérő időjárási helyzeteket, ez vonatkozik a csapadék mennyiségére eloszlására és a hőmérsékletre is. Így ezek az abiotikus tényezők mind a termésmennyiségre, mind pedig a

beltartalmi értékekre szignifikánsan hatottak és ezen különbségek a két eltérő bogyótípusú fajta bevonásával tovább erősödtek. A Strombolino cseresznyeparadicsom magasabb beltartalmi értékeket mutatott, ellenben termésmennyiségben a legtöbb esetben elmaradt az Uno Rosso hagyományos bogyóátlagtömegű fajtától.

A közeli infravörös spektroszkópiás (NIR) vizsgálatok Perten DA 7200 típusú készülékkel alkalmasnak bizonyultak paradicsom bogyók Brix°, cukor, sav és karotinoid típusú vegyületek vizsgálatára, amely a jövőben mind a feldolgozóipar számára mind pedig a human-egészségügy számára hasznos megoldásnak bizonyulhat. Továbbá, fontos megjegyezni, hogy a legfőbb előnye a NIR vizsgálatoknak, illetve a kalibráció elkészítésének, hogy mindezen vizsgálatokat gyorsan és roncsolásmentesen lehet elvégezni, jelentősen olcsóbban, mint a jelenleg használt laborvizsgálati módszerekkel.

8. MELLÉKLETEK

8.1 M1. Irodalomjegyzék

ABONYI, J. (2006): Adatbányászat a hatékonyság eszköze. *Veszprémi Egyetem kiadványa, 233.*

ANTHON, G.E., BARRETT, D.M. (2003): Thermal inactivation of lipoxygenase and hydroperoxytrienoic acid lycase in tomatoes. *Food Chemistry 80: 1-5.*

ASTLEY, S.B., ELLIOTT, R.M., ARCHER D.B., SOUTHON, S. (1994): Evidence that dietary supplementation with carotenoids and carotenoid-rich foods modulates the DNA damage: repair balance in human lymphocytes. *British Journal Nutrition, 91: 63-72.*

ATHERTON, J.G., RUDICH, J. (1986): The tomato crop. *Chapman and Hall, London.*

AZEVEDO-MELEIRO, C.H., RODRIGUEZ-AMAYA, D.B. (2007): Qualitive and quantitative differences in carotenoid composition among Cucurbita moschata, Cucurbita maxima and Cucurbita pepo. *Journal of Agricultural and Food Chemistry, 55: 4027-4033.*

BALÁZS, G., BUGYI, ZS., GERGELY, Sz., HEGYI, A., HEVÉR, A., SALGÓ, A., TÖMÖSKÖZI, S. (2011): Élelmiszeranalitika gyors és automatizálható módszerei, *Nemzeti tankönyvkiadó*

BALÁZS, S. (1994): Zöldségtermesztők kézikönyve. *Mezőgazda Kiadó, Budapest*

BAMINI, G. (2016): The Role of Nutrition in Age-Related Eye Diseases, *In: MARCO, M., EUGENIO, M.: Molecular Basis of Nutrition and Aging, 433-446.*

BARANSKA, M., SCHUTZE, W. and SCHULZ, H., (2006): Determination of Lycopene and β-Carotene Content in Tomato Fruits and Related Products: Comparison of FT-Raman, ATR-IR, and NIR Spectroscopy. *Analytical Chemistry, 78: 8456-8461.*

BARNES, R. J., DHANOA, M. S., & LISTER, S. J. (1989). Standard normal variate transformation and de-trending of near-infrared diffuse reflectance spectra. *Applied spectroscopy,* 43(5), 772-777.

BARTON, F.E. (2004): Porgress in near infrared spectroscopy the people, the instrumentation, the application. *In Near Infrared Spectroscopy: Proceeding of the 11th International Conference, NIR Publications, Chichester, 13-18.* In: Gergely Sz (2005): Közeli infravörös spektroszkópia alkalmazása a búza érésdinamikai folyamatainak követésében, *PHD értekezés.*

BATTILANI A., SOLIMANDO D., PLAUBORG F. L., ANDERSEN M. N., JENSEN C. R. SANDEI L. (2009): Water saving irrigation strategies for processing tomato. *Acta Horticulturae. 832: 69-76.*

BEECHER, G. R. (1998) Nutrient content of tomatoes and tomato products. *Experimental Biology and Medicine. 218:98-100.*

BEERH, O.P., SIDDAPPA, G.S., (1959): A rapid spectrophotometric method for the detection and estimation of adulterants in tomato ketchup. *Food Technology, 13:414/418.*

BELLON-MAUREL, V. (1992): Application de la spectroscopie proche infrarouge au controle en ligne de la qualité des fruits et legumes. *Thése de doctorat. I'Institut National Polytechnique de Toulouse, France*

BERÉNYI M. (1970): The effect of irrigation on the composition of processing tomatoes. *Duna-Tisza Közi Mezőgazdasági Kísérleti Intézet, 5:47- 59. p.*

BHANDARI, S. R., CHO, M. C., & LEE, J. G. (2016): Genotypic variation in carotenoid, ascorbic acid, total phenolic, and flavonoid contents, and antioxidant activity in selected tomato breeding lines. *Horticulture, Environment, and Biotechnology, 57(5):440-452.*

BIRTH, G.S., DULL, G.G., RENFROE, W.T., KAYS, S.J. (1995): Nondestructive spectrophotometric determination of dry matter in onions. *Journal of American Society for Horticultural Science, 110:297-303.*

BÖHM, V., & BITSCH, R. (1999). Intestinal absorption of lycopene from different matrices and interactions to other carotenoids, the lipid status, and the antioxidant capacity of human plasma. *European Journal of Nutrition, 38(3):118-125.*

BOILEAU, A. C., MERCHEN, N. R., WASSON, K., ATKINSON, C. A., ERDMAN, J. W. (1999). Cis-lycopene is more bioavailable than trans-lycopene in vitro and in vivo in lymph-cannulated ferrets. *The Journal of nutrition, 129(6):1176-1181.*

BRANTHÔME, F. X. (2019): WPTC Crop update. *Tomato News October*

BREKSA A.P., ROBERTSON L.D., LABATE J.A, KING B.A., KING D.E. (2015): Physicochemical and morphological analysis of ten tomato varieties identifies quality traits more readily manipulated through breeding and traditional selection methods. *Journal of Food Composition and Analysis, 42:16-25*

BURNS, D. A., CIURCZAK, E. W. (2008): *Handbook of near-infrared analysis 3rd edition, 836*

BURGE, J., MICKELSEN, O., NICKLOW, C., MARSH, G. L. (1975). Vitamin C in tomatoes: comparison of tomatoes developed for mechanical or hand harvesting. *Ecology of Food and Nutrition, 4(1):27-31.*

CHASSE, G.A., MAK, M.L., DERETEY E., FARKAS, I., TORDAY, L.L, PAPP, J.G (2001) An ab initio computational study on selected lycopene isomers. *Journal of Molecular Structure (Theochem), 571:27–37*

CHENG, H.M., KOUTSIDIS, G., LODGE, J.K., ASHOR, A.W., SIERVO, M., LARA, J. (2019): Lycopene and tomato and risk of cardiovascular diseases: A systematic review and meta-analysis of epidermiological evidence. *Critical Reviews in Food Ascience and Nutrition, 59 (1): 141-158.*

CLARK, C.J., MCGLONE, V.A., JORDAN, R.B. (2003): Detection of brownheart in 'Braeburn' apple by transmission NIR spectroscopy. *Postharvest Biology and Technology, 28:87–96.*

CLÉMENT, A., DORAIS, M., VERNOM, M. (2008): Multivariate Approach to the Measurement of Tomato Maturity and Gustatory Attributes and Their Rapid Assessment by Vis-NIR Spectroscopy. *Journal of Agricultural and Food Chemistry. 56:1538–1544.*

CLINTON, S.K., EMENHISER, S.J., SCHWARTZ, D.G., BOSTWICK, A.W., WILLIAMS, B.J., ERDMAN J.W. (1996): Cis-trans lycopene isomers, carotenoids, and retinol in the human prostate. *Cancer Epidemiol. Biomarkers and Prevention, 5:823-833.*

CLINTON, S. K. (1998): Lycopene: chemistry, biology, and implications for human health and disease. *Nutrition Reviews, 56:35-51.*

COBLENTZ, WILLIAM W. (1905): *Investigations of infrared spectra. 1-198.*

COLLA, G. BATISTELLI, A., MOSCATELLO, S., PROIETTI, S., CASA, R., CASCIO, B., LEONI, C. (2001): Effects of reduced irrigation and nitrogen fertigation rate on yield, carbohydrate accumulation, and quality of processing tomatoes. *Acta Horticulturae, 542:187-196.*

CONFALONIERI, M., FORNASIER, F., URSINO, A., BOCCARDI, F., PINTUS, B., ODOARDI, M. (2001). The potential of near infrared reflectance spectroscopy as a tool for the chemical characterisation of agricultural soils. *Journal of Near Infrared Spectroscopy, 9(2):123-132.*

COZZOLINO, D., MURRAY, I. (2002). Effect of sample presentation and animal muscle species on the analysis of meat by near infrared reflectance spectroscopy. *Journal of Near Infrared Spectroscopy, 10(1):37-44.*

COZZOLINO, D., ESLER, M. B., DAMBERGS, R. G., CYNKAR, W. U., BOEHM, D. R., FRANCIS, I. L., GISHEN, M. (2004). Prediction of colour and pH in grapes using a diode array spectrophotometer (400-1100 nm). *Journal of Near Infrared Spectroscopy, 12:105-112.*

DALMADI, I., SEREGÉLY, Z., KAFFKA, K., FARKAS, J. (2007): Néhány többváltozós kemometriai módszer alkalmazása műszeres analitikai vizsgálatok értékelésére. *Élelmiszervizsgálati Közlemények. 2007/4(53):222-238.*

DAOOD, H. G., BENCZE, G., PALOTÁS, G., PÉK, Z., SIDIKOV, A., HELYES, L. (2013): HPLC analysis of carotenoids from tomatoes using cross-linked C18 column and MS detection. *Journal of Chromatographic Science, 52(9):985-991.*

DAVIES J.N., HOBSON G.E., MCGLASSON W.B. (1981) The constituents of tomato fruit-the influence of environment, nutrition, and genotype. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 15:205-80.*

DAVIES, A.M.C (1999): An introduction to near infrared (NIR) spectroscopy. *https://www.impublications.com/content/introduction-near-infrared-nir-spectroscopy*

DAVIES, A.M.C. (2000): William Herschel and the discovery of near infrared. *Spectroscopy Europe, 12:10–16.*

DAVIES, A.M.C. (2005): An introduction to near infrared spectroscopy. *NIR News, 16: 9-11.*

DEÁK, K., SZIGEDI, T., HELYES, L. (2013): Nondestructive determination of carotenoid content and composition in tomatoes using near infrared spectroscopy. *Proceeding in: International Symposium Quality Management of Fruits and Vegetables for Human Health, Bangkok. 33.*

DEÁK, K., SZIGEDI, T., PÉK, Z., BARANOWSKI, P., HELYES, L. (2015): Carotenoid determination in tomato juice using near infrared spectroscopy. *International Agrophysics, Volume 29, Issue 3,275–282.* DOI: 10.1515/intag-2015-0032

DEÁK, K., SZIGEDI, T., PÉK, Z. (2015): Az ipari paradicsom minőségének meghatározása közeli infravörös spektroszkópiával. *Kertgazdaság, 47(1): 3-7.*

DING, H. B., XU, R. J. (1999). Differentiation of Beef and Kangaroo Meat by Visible/Near-Infrared Reflectance Spectroscopy. *Journal of Food Science,64(5):814-817.*

DORAIS M., EHRET, D.L., PAPADOPOULOS A.P. (2008): Tomato (Solanum lycopersicum) health components: from the seed to the consumer. *Phytochemistry Reviews, 7:231-250*

DRAGOVIC-UZELAC, V., LEVAJ, B., MRKIC, V., BURSAC, D., BORAS, M. (2007): The content of polyphenols and carotenoids in three apricot cultivars depending on stage maturity and geographical region. *Food Chemistry, 102:966-975.*

DUMAS, Y., DADOMO, M., DI LUCCA, G., GROLIER, P. (2003): Effects of environmental factors and agricultural techniques on antioxidant content of tomatoes. *Journal of the Science of Food and Agriculture, 83:369-382.*

ENGELMANN, N.J., CLINTON, S.K., ERDMAN, J.W. JR. (2011): Nutritional aspects of phytoene and phytofluene, carotenoid precursors to lycopene. *Advances in Nutrition, 2:51–61.*

ERBA, D., CASIRAGHI, M.C., RIBAS-AGUSTI, A., CACERES, R., MARFA, O., CASTELLARI, M. (2013): Nutritional value of tomatoes (Solanum lycopersicum L.) grown in greenhouse by different agronomic techniques. *Journal of Food Composition and Analysis, 31:245-251.*

FARKAS J. (1985): A paradicsom biologiaja. 19-63. In: Balazs S. (szerk.): Paradicsomtermesztes, *Budapest: Mezőgazdasagi Kiado, 312.*

FAO (2014): http://faostat.fao.org/faostat/

FAO (2017): http://faostat.fao.org/faostat/

FAVATI, F., LOVELLI S., GALGANO F., MICCOLIS V., DI TOMMASO T., CANDIDO V. (2009): Processing tomato quality as affected by irrigation scheduling, *Scientia Horticulturae, 122: 562-571.*

FAWSI, W.W., CHALMERS, T.C., HERRERA G., MOSTELLER, F. (1993) Vitamin A supplementation and child mortality: a meta-analysis. *Journal os the American Medical Association, 269:898-903.*

FEHÉR, B. (1998): Zöldségtermesztők zsebkönyve. *Budapest: Mezőgazda Kiado, 540 p.*

FRUITVEB (2019): A zöldség és gyümölcs ágazat helyzete Magyarországon, *4-6.*

GERGELY, SZ. (1998): Közeli infravörös spektroszkópia alkalmazása növényfeldolgozási folyamatok követésében. *Diplomadolgozat, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Biokémiai és Élelmiszertechnológiai Tanszék, 21.*

GAMA, J. J. T., TADIOTTI, A. C., SYLOS, C. M. (2009). Comparison of carotenoid content in tomato, tomato pulp and ketchup by liquid chromatography. A*limentos e Nutrição Araraquara, 17(4):353-358.*

GIOVANNUCCI, E., RIMM, E. B., LIU, Y., STAMPFER, M. J., WILLETT, W. C. (2002). A prospective study of tomato products, lycopene, and prostate cancer risk. *Journal of the National Cancer Institute, 94(5):391-398.*

GOMEZ, A.H., HE, Y., PEREIRA, A.G. (2009): Non-destructive measurement of acidity, soluble solids and firmness of Satsuma mandarin using Vis/NIR spectroscopy techniques. *Journal of Food Engineering, 77:313–319.*

GOODWIN, T.W., JAMIKORN M. (1952): Biosynthesis of carotenes in ripening tomatoes. *Nature 70:104-105.*

GOULA, A.M., ADAMOPULOS, K.G. (2003): Estimating the composition of tomato juice products by near-infrared spectroscopy. *Journal of Near Infrared Spectroscopy, 11. 123–136.*

GOULD, W.A. (1992): Tomato production, Processing and Technology Baltimore, USA: *CTI Publications*

GUTHRIE, J.A., WEDDING, B., WALSH, K.B. (1998): Robustness of NIR calibrations for soluble solids in intact melon and pineapple. *Journal of Near Infrared Spectroscopy*, 6, 259–265.

HAIQING, Y., BOYAN, K., ABDUL, M. M. (2011): In Situ Determination of Growing Stages and Harvest Time of Tomato (Lycopersicon esculentum) Fruits Using Fiber-Optic Visible–Near-Infrared (Vis-NIR) Spectroscopy. *Society for Applied Spectroscopy. 65 (8):931-938.*

HALIM, Y., SCHWARTZ, S.J., FRANCIS, D., BALDAUF, N.A., RODRIQUEZ-SAONA, L.E. (2006): Direct determination of lycopene content in tomatoes (Lycopersicon esculentum) by attenuated total reflectance infrared spectroscopy and multivariate analysis. *Journal of AOAC International 89(5): 1257-62.*

HALL, C. (1961): The effect of low storage temperature ont he color, carotenoid pigments, self life and firmness of ripening tomatoes. *Proceedings of the American Society for Horticultural Science, 78:480-487.*

HAMNER, K. C., MAYNARD, L. A. (1942). Factors influencing the nutritional value of the tomato. A review of literature. *US Deptartment of Agriculture Miscellaneous Publication, 52*.

HAN, D., TU, R., LU, C., LIU, C., WEN, Z. (2006): Nondestructive detection of brown core in the Chinese pear 'Yali' by transmission visible-NIR spectroscopy. *Food Control 17:604–608.*

HART, D.J., SCOTT, K.J. (1995): Development and evaluation of and HPLC method for the analysis of carotenoids in foods, and measurement of the carotenoid content of vegetables and fruits comminly consumed in the UK. *Food Chemistry, 54: 101-111.*

HARRIS, J.R. (1996): Subcellular Biochemistry, Ascorbic Acid: Biochemistry and Biomedical Cell Biology, *vol. 25.*

HEINONEN, M.I., OLLILAINEN, V., LINKOLA, E.K. (1989): Carotenoids in Finnish foods: vegetables, fruits and berries. *Journal of Agricultural and Food Chemistry, 37: 655-659.*

HELYES, L. (1999): A paradicsom és termesztése. *SYCA Szakkönyvszolgálat, Budapest: 233*

HELYES, L., PÉK, Z., BRANDT, S., VARGA, GY., BARNA, É., HÓVÁRI, J., LUGASI, A. (2003): Influence of harvest date on fruit technological traits of five processing tomato varieties. *Acta Horticulturae. 604: 531–537.*

HELYES, L., PÉK, Z., LUGASI, A. (2006): Tomato fruit quality and content depend on stage of maturity. *HortScience. 41: 1400-1401.*

HELYES L. (1990): Relations among the water supply, foliage temperature and the yield of tomato. *Acta Horticulturae 227:115-121.*

HELYES, L. (2005). The role and significance of irrigation. *Journal of Farming, 49:63-69.*

HELYES L., PÉK Z., LUGASI A.(2008): Function of the variety technological traits and growing conditions on fruit components of tomato (Lycopersicon lycopersicum (L) Karsten). *Acta Alimentaria 37(4): 427-436.*

HELYES, L., DIMÉNY, J., BŐCS, A., SCHOBER, GY., PÉK, Z. (2009): The effect of water and potassium supplement on yield and lycopene content of processing tomato. *Acta Horticulurae. 823: 103-108.*

HERSCHEL, W., DREYER, L. E. (1912): The Scientific Papers of Sir William Herschel, Volume I. *The Royal Society and The Royal Astronomical Society, and Dulau & CO,. Ltd.*

HIRAOKA, M., FIRBANK, M., ESSENPREIS, M., COPE, M., ARRIDGE, S. R., VAN DER ZEE, P., DELPY, D. T. (1993). A Monte Carlo investigation of optical pathlength in inhomogeneous tissue and its application to near-infrared spectroscopy. *Physics in medicine and biology, 38(12): 1859.*

HOBSON, G.E. (1987): Low-temperature injury and the storage of ripening tomatoes. *Journal of Horticultural Science, 62:55-62.*

HONG, T. L., TSOU, S. C. S., TSAI, S. J. (1998): Evaluation of soya bean quality for tofu processing by near infrared spectroscopy. *Journal of Near Infrared Spectroscopy. 6(1-4):325-328.* http://dx.doi.org/10.1255/jnirs.216

HUMPHRIES, J.M., KHACHIK, F. (2003): Distribution of lutein, zeaxanthin and realted geometric isomers in fruit, vegetables, wheat and pasta products. *Journal of Agriculture and Food Chemistry. 51:1322-1327.*

JAUREGUI, J.I.; LUMBRERAS, M.; CHAVARRI, M.J.; MACUA, J.I. (1999): Dry weight and brix degree correlation in different varieties of tomatoes intended for industrial processing. *Acta Horticulturae, 487: 425-430.*

JHA, S.N., MATSUOKA, T. (2004): Nondestructive determination of acid brix ration (ABR) of tomato juice using near infrared (NIR) spectroscopy, *International Journal of Food Science and Technology, 39:425–430.*

JOHARY, A., JAIN, V., MISRA, S. (2012) Role of lycopene in the prevention of cancer. *International Journal of Nutrition, Pharmacology, Neurological Diseases, 2(3):167-70*

JOHNSON, E. J. (2012): A possible role for lutein and zeaxanthin in cognitive function in the elderly. *The American Journal of Clinical Nutrition, 96:1161-1165.*

KANISZEWSZKI, S., ELKNER, K., RUMPEL, J. (1987): Effect of N fertilization and irrigation on yield, nitrogen status in plants and quality of fruits of direct seeded tomatoes. *Acta Horticulturae, 200:195-202.*

KARPPI, J., KURL, S., MAKIKALLIO, T.H., RONKAINEN, K., LAUKKANEN, JA. (2013): Low levels of plasma carotenoids are associated with an increased risk of atrial fibrillation. *European Journal of Epidemiology, 28:45–53.*

KHACHIK, F., CARVALHO, L., BERNSTEIN, P.S., MUIR, G.J., ZHAO, D.Y., KATZ, N.B. (2002): Chemistry, distribution, and metabolism of tomato carotenoids and their impact on human health. *Experimental Biology and Medicine, 227:845–51.*

KHURIYATI, N., MATSUOKA, T., KAWANO, S. (2004): Precise near infrared spectral acquisition of intact tomatoes in interactance mode. *Journal of Near Infrared Spectroscopy, 12: 391–395.*

KIM, D.S., NA, H., KWACK, Y., CHUN, C. (2014) Secondary metabolite profiling in various parts of tomato plants. *Korean Journal of Horticultural Science and Technology, 32:252-260.*

KLEIN, B.P., PERRY, A. K. (1982): Ascorbic acid and vitamin A activity in selected vegetables from different geographic of the United States. *Journal of Food Science, 47:941-948.*

KOTIKOVA, Z., LACHMAN, J., HEJTMANKOVA, A., HEJTMANKOVA, K. (2011): Determination of antioxidant activity and antioxidant content in tomato varieties and

evaluation of mutual interactions between antioxidants. *LWT- Food Science and Technology, 44:1703-1710.*

KRINSKY, N.I., LANDRUM, J.T., BONE, R.A. (2003): Biologic mechanisms of the protective role of lutein and zeaxanthin in the eye. *Annual reviews of Nutrition. 23:171-201.*

KUBOTA, C., KROGGEL, M., TORABI, M., DIETRICH, K.A., KIM, H.J., FONSECA, J., THOMSON, C.A. (2012) Changes in selected quality attributes of greenhouse tomato fruit as affected by pre- and postharvest environmental conditions in year-round production. *Hortscience, 47:1698-1704.*

LAMMERTYN, J., NICOLAI, B., OOMS, K., DE SMEDT, V., DE BAERDEMAEKER, J. (1998): Nondestructive measurement of acidity, soluble solids, and firmness of Jonagold apples using NIR spectroscopy. *Transactions of the ASAE, 41:1089–1094.*

LAPUSHNER, D., BAR, M., GILBOA, N., FRANKEL, R. (1990): Positive heterotic effects for °brix in high solid f1 hybrid cherry tomatoes. *Acta Horticulturae, 277: 207-212.*

LEBOEUF, J., SHORTT, R., TAN, C., VERHALLEN, A. (2008). Irrigation scheduling for tomatoes - an introduction. *Ontario Minstry of Agriculture, Food and Rural Affairs. URL http://www. omafra. gov. on. ca/english/crops/facts/08-011. pdf.*

LEE, S. K., KADER, A. A. (2000): Preharvest and postharvest factors influencing vitamin C content of horticultural crops. *Postharvest Biology and Technology, 20:202-220.*

LEIVA-BRONDO, M., VALCARCEL, M., MARTÍ, R., ROSELLÓ, S., CEBOLLA-CORNEJO, J. (2016): New opportunities for developing tomato varieties with enhanced carotenoid content. *Scientia Agricola, 73(6):512-519.*

LEONI, C., JONGEN, W. (2002): Improving the nutritional quality of processed fruits and vegetables: the case of tomatoes. *Fruit and vegetable processing: improving quality, 52-66.*

LINCOLN, R. E., ZSCHEILE, F. P., PORTER, J. W., KOHLER, G. W., CALDWELL, R. M. (1943): Provitamin A and vitamin C in the genus Lycopersicon. *Botanical Gazette, 105(1):113-115.*

LIU, Y., YING, Y. (2005): Use of FT-NIR spectrometry in non-invasive measurements of internal quality of _Fuji‘ apples. *Postharvest Biology and Technology, 37: 65–71.*

LIU, Y., YING, Y., YU, H., FU, X. (2006): Comparison of the HPLC method and FT-NIR analysis for quantification of glucose, fructose and sucrose in intact apple fruits. *Journal of Agricultural and Food Chemistry, 54:2810–2815.*

LIU, K., ZHANG, T.Q., TAN, C.S., ASTATKIE, T. (2011): Responses of fruit yield and quality of processing tomato to drip-irrigation and fertilizers phosphorus and potassium. *Agronomy Journal, 103:1339- 1345.*

LOVÁSZ, T., MERÉSZ, P., SALGÓ, A. (1994): Application of near infrared transmission spectroscopy for the determination. *Journal of Near Infrared Spectroscopy 2(1): 213-221.*

LUGASI, A., HÓVÁRI J., BÍRÓ L., BRANDT S., HELYES L. (2004): Elelmiszereink likopin tartalmat befolyasolo tenyezők es a hazai lakossag likopin-bevitele. *Magyar Onkológia, 48(2):131-136.*

MARTINEZ, A., STINCO, C.M., MELENDEZ-MARTINEZ, A.J. (2014): Free radical scavenging properties of phytofluene and phytoene isomers as compared to lycopene: a combined experimental and theoretical study. *The Journal of Physical Chemistry B., 118:9819–25.*

MALEWSKI, W., MARKAKIS, P. (1971): Ascorbic acid content of the developing tomato fruit. *Journal of Food Science, 36(3):537-537.*

MATSUZOE, N., ZUSHI, K., JOHJIMA, T. (1998): Effect of soil water deficit on colouring and carotene formation in fruits of red, pink and yellow type cherry tomatoes. *Journal of Japanese Society for Horticultural Science, 67:600-606.*

MCCOLLUM, E.V., DAVIS, M. (1915): The nature of the dietary deficiencies of rice. *The Journal of Biological Chemistry, 23:181-4.*

MILADI, S., GOULD, W.A., CLEMENTS, R.L. (1969): Health processing effect on starch, sugars, proteins, amino acids of tomato juice. *Food Tecnolology, 23:93.*

MURATORE, G., LICCIARDELLO, F., MACCARONE, E. (2005): Evaluation of the chemical quality of a new type of small-sized tomato cultivar, the plum tomato (Lycoprsicon lycopersicum). *Italian Journal of Food Science, 17(1):75-81.*

MURRAY, I. (2004): Scattered information: philosophy and practice of near infrared spectroscopy. *In Near Infrared Spectroscopy: Proceddings of the 11th International Conference, Ed by Davies*

NAES, T., ISAKSSON, T., FEARN, T., DAVIES, T. (2004): A User-friendly Guide to Multivariate Calibration and Classification. *Technometrics, 46(1):109.*

NGUYEN, M. L., SCHWARTZ, S. J. (1999): Lycopene: chemical and biological properties. *Food Technology, 53:38-45.*

NORRIS, K. H. (1964): Design and development of a new moisture meter. *Agricultural Engineering, 45:370.*

NORRIS, K. H., HART, J. R. (1965): Direct spectrophotometric determination of moisture content of grain and seeds. *International Symposium on Humidity and Moisture. 19-25.*

OSBORNE, B.G., FEARN, T. (1986) (1): Physics of the interaction of radiation with matter. *In Near Infrared Spectroscopy in Food Analysis, Longman Scientific & Technical, Harlow, 43-56.* In GERGELY, SZ. (2005): Közeli infravörös spektroszkópia alkalmazása a búza érésdinamikai folymatainak követésében, *PHD értekezés, 2005*

OSBORNE, B. G., FEARN, T. (1986) (2): "Introduction." *In Near Infrared Spectroscopy in Food Analysis, 1-19. Harlow: Longman Scientific & Tecnical*

OZAKI, Y., MORITA, S., DU, Y. (2007): *Spectral Analysis. 54. In: OZAKI Y., MCGLURE, W.F., CHRISTY, A.A, (2007): Near-Infrared Spectroscopy in Food Science and Technology. John Wiley&Sons, Inc, Hoboken, New Jersey*

PEDRO, A.M., FERREIRA, M.M. (2005): Nondestructive Determination of Solids and Carotenoids in Tomato Products by Near-Infrared Spectroscopy and Multivariate Calibration. Analytical Chemistry, 77:2505-2511.

PEDRO, A.M., FERREIRA, M.M. (2007): Simultaneously calibrating solids, sugars and acidity of tomato products using PLS2 and NIR spectroscopy. *Analytica Chimica Acta, 595:221-227.*

PERKINS-VEAZIE P., COLLINS, J.K., PAIR, S.D., ROBERTS, W. (2001): Lycopene content differs among red-fleshed watermelon cultivars. *Journal of the Science of Food and Agriculture, 8:1-5.*

PINELA, J., BARROS, L., CARVALHO, A.M., FERREIRA, I.C. (2012): Nutritional composition and antioxidant activity of four tomato (Lycopersicon esculentum L.) farmer'varieties in Northeastern Portugal homegardens. *Food and Chemical Toxicology, 50:829-34.*

POKOL, G. (2011): Analitikai Kémia. *Typotex Kiadó*

PORCU, O.M., RODRIGUEZ-AMAYA, D.B. (2006): Variation in the carotenoid composition of acerola and its processed products. *Journal of the Science of Food and Agriculture, 86:1916-1920.*

QUARESIMA, V., LEPANTO, R., FERRARI, M. (2003): The use of near infrared spectroscopy in sports medicine. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness, 43(1):1.*

RADZEVICIUS, A., VISKELIS, J., KARKLELIENE, R. ((2016): Determination of tomato quality attributes using near infrared spectroscopy and reference analysis. *Zemdirbyste-Agriculture, 103 (1):91–98.*

RAO, A. V., AGARWAL, S. (2000). Role of antioxidant lycopene in cancer and heart disease. *Journal of the American College of Nutrition, 19(5):563-569.*

RASMUSSEN, H.M., MUZHINGI, T., EGGERT, E.M.R., JOHNSON, E.J. (2012): Lutein, zeaxanthin, meso-zeaxanthin content in egg yolk and their absence in fish and seafood. *Journal of Food Composition and Analysis, 27:139-144.*

REEVES, J. B., MCCARTY, G. W., MEISINGER, J. J. (1999): Near Infrared Reflectance Spectroscopy for the Analysis of Agricultural Soils. *Journal of Near Infrared Spectroscopy, 7:179-193.*

RIGGI, E., PATANÉ, C., RUBERTO G. (2008): Content of carotenoids at different ripening stages in processing tomato in relation to soil water availability, *Australian Journal of Agricultural Research, 59:348- 353.*

RINNAN, A., VAN DEN BERG, F., ENGELSEN, S. B. (2009). Review of the most common pre-processing techniques for near-infrared spectra. *Trends in Analytical Chemistry, 28(10): 1201-1222.*

RODRIGUEZ-AMAYA, D.B., KIMURA, M., GODOY, H.T., AMAYA-FARFAN, J. (2008): Updated Brazilian database on food carotenoids: factors affecting carotenoid composition. *Journal of Food Composition Analysis. 21:445-463.*

ROY, S., ANANTHESWARAN, R., SHENK, J., WESTERHAUS, M.O., BEELMAN, R. (1993): Determination of moisture content of mushrooms by VIS-NIR spectroscopy. *Journal of the Science of Food and Agriculture, 63: 355-360.*

RUBIO-DIAZ, E. D., NARDO, D. T., SANTOS, A., JESUS, D. S., FRANCIS, D., RODRIGUEZ-SAONA, E. L. (2010): Profiling of nutritionally important carotenoids from genetically-diverse tomatoes by infrared spectroscopy. *Food Chemistry 120:282-289.*

SCOTT, K. J., HART, D. J. (1995): Development and evaluation of an HPLC method for the analysis of carotenoids in foods, and the measurement of the carotenoid content of vegetables and fruits commonly consumed in the UK. *Food Chemistry, 54:101-111.*

SHAISH, A., HARARI, A., KAMARI, Y., SOUDANT, E., HARATS, D., BEN-AMOTZ A. (2008): A carotenoid algal preparation containing phytoene and phytofluene inhibited LDL oxidation in vitro. *Plant Foods for Human Nutrition, 63:83–6.*

SLAUGHTER, D.C., BARRETT, D., BOERSIG, M. (1996): Nondestructive Determination of Soluble Solids in Tomatoes using Near Infrared Spectroscopy. *Journal of Food Science. 61(4): 695-697.*

SMIRNOFF, N. (1996). Botanical briefing: the function and metabolism of ascorbic acid in plants. *Annals of botany, 78(6):661-669.*

SOMMER, A. (1993): Vitamin A, infectious disease and childhood mortality; a 2 cent solution? *The Journal of Infectious Diseases, 167:1003-7.*

SOMOS, A. (1971): A paradicsom. *Akadémiai Kiadó, Budapest, 408*

STAHL, W., SIES, H. (1992): Uptake of lycopene and its geometrical isomers is greater from heat-processed than from unprocessed tomato juice in humans. *The Journal of Nutrition, 122:2161-6.*

STAHL, W., SIES, H. (1996): Lycopene: a biologically important carotenoid for humans? *Archives of Biochemistry and Biophysiscs, 336:1-9.*

STAHL, W., SIES H. (2012): β-Carotene and other carotenoids in protection from sunlight. *The American Journal of Clinical Nutrition, 96:1179–1184.*

STOKES, L. (1979): Economical and practical evaluation of an online NIR instrument for controlling protein in soybean-meal. *Cereal Foods World, 24(9):460-460.*

TAKEOKA, G.R., DAO, L., FLESSA, S., GILLESPIE D.M., JEWLL, W.T., HUEBNER, B., BERTOW., D., EBELER, S.E. (2001): Processing effects on lycopene content and antioxidant activity of tomatoes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry, 49:3713-3717.*

TIANHUA, L., GUOYING, S., JIANMIN, W., MIN, W., JIALIN, H. (2013): Prediction of lycopene content in late mature tomato based on NIR spectroscopy and siPLS. *International Journal os Applied Mathematics and Statistics, 48: 172-180.*

TOMATO NEWS DOSSIER (2014): Italy: The main global exporter of tomato products. *1-20.* http://www.wptc.to/pdf/releases/2014%20CONSUMPTION%20STUDY%20-%20TN%20JUNE%202014.pdf

TOMES, M.L. (1963): Temperature inhibition of carotene synthesis in tomato. Botan. *Gazatte 24: 180-185.*

TORRE DE LA R., RUIZ, R., M, LATTOR, A. (1999): Contribution of the nontomatoingredients to the final Brix value of two tomato sauces. *Acta Horticulturae, 487:77- 84.*

TSUCHIKAWA, S., YONENOBU, H., SIESLER, H. W. (2005): Near-infrared spectroscopic observation of the ageing process in archaeological wood using a deuterium exchange method. *Analyst, 130(3):379-384.*

WILLS, R.B.H., WIMALASIRI, P., GREENFIELD, H. (1984): Dehydroascorbic acid levels in fresh fruit and vegetables in relation to total vitamin C activity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry, 32:836-838.*

WORKMAN, J.J. JR., BURNS, D.A. (1992): Commercial NIR instrumentation, *In Handbook of Infrared Analysis, Ed by BURNS, D.A, CIURCZAK E.W., MARCEL, D., Inc., New York, 37-51.*

ZECHMEISTER, L., LEROSEN, A.L., WENT, F.W., PAULING, L. (1941): Prolycopene, a naturally occuring stereoisomer of lycopene. *Proceedings of the National Academy of Sciences, 27:468.*

ZEGBE-DOMINGUEZ, J.A., BEHBOUDIAN, M.H., LANG A., CLOTHIER B.E. (2003): Deficit irrigation and partial rootzone drying maintain fruit dry mass and enhance fruit quality in 'Petopride' processing tomato (Lycopersicon esculentum Mill), *HortScience, 98:505-510.*

ZHU, Q., ZHANG, M., MA, Q. (2012): Copper-based foliar fertilizer and controlled release urea improved soil chemical properties, plant growth and yield of tomato. *Scientia Horticulturae, 143: 109-114.*

ZU, K., MUCCI, L., ROSNER, B.A., CLINTON, S.K., LODA, M., STAMPFER, M.J., GIOVANNUCCI, E. (2014): Dietary lycopene, angiogenesis, and prostate cancer: a prospective study in the prostate-specific antigen era. *Journal of the National Cancer Institute, 106:430*

9. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Köszönetet szeretnék mondani témavezetőmnek, Dr. Helyes Lajos intézetigazgatónak a kutatói munkám és publikációim során nyújtott kiemelt segítségéért, valamint Dr. Pék Zoltán Tanár Úrnak a terepi és szakmai háttértámogatásáért.

Köszönettel tartozom továbbá Dr. Daood Husseinnek, az analitikai labor vezetőjének, aki laborismereteket számomra elérhetővé tette, valamint a laborban és a Kertészeti Tanüzemben dolgozó összes kollégának, akik segítsége elengedhetetlen volt.

Végül de nem utolsó sorban külön köszönet illeti családomat, barátaimat, akik türelmükkel és motivációval segítették munkámat.