

SZENT ISTVÁN EGYETEM

A *SOLANACEAE* CSALÁDBA TARTOZÓ FONTOSABB ZÖLDSÉGEK (PARADICSOM, TOJÁSGYÜMÖLCS, PAPRIKA) NÖVÉNYI TULAJDONSÁGAINAK VIZSGÁLATA SPEKTROSKÓPIÁS MÓDSZEREKKEL

DOKTORI (PhD.) ÉRTEKEZÉS

SZUVANDZSIEV PÉTER

GÖDÖLLŐ

2017

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. Pék Zoltán

Egyetemi docens,

Szent István Egyetem,

Mezőgazdaság- és Környezettudományi Kar,

Kertészeti Intézet

.....
Az iskolavezető jóváhagyása

.....
A témavezető jóváhagyása

TARTALOMJEGYZÉK

1	Bevezetés.....	6
1.1	Általános ismertető.....	6
1.2	Célkitűzések.....	6
2	Irodalmi áttekintés.....	8
2.1	A vizsgált fajok gazdasági jelentősége.....	8
2.2	A vizsgált fajok rendszertana és származása.....	10
2.2.1	Paradicsom.....	10
2.2.2	Tojásgyümölcs.....	12
2.2.3	Paprika.....	13
2.3	A vizsgált fajok táplálkozásélettani jelentősége.....	14
2.3.1	Paradicsom.....	16
2.3.2	Tojásgyümölcs.....	20
2.3.3	Paprika.....	20
2.3.4	Melléktermék.....	21
2.4	Ökológiai igények.....	22
2.4.1	Hőigény.....	22
2.4.2	Vízigény.....	22
2.4.3	Fényigény.....	24
2.4.4	Tápanyagigény.....	24
2.5	Spektroszkópia.....	24
2.5.1	A spektroszkópia általános jellemzése és felhasználása.....	24
2.5.2	A spektroszkópia kialakulásának rövid története.....	26
2.5.3	A spektroszkópia fizikai alapjai.....	26
2.5.4	A spektrális tartományok és mérésben betöltött szerepük.....	26
2.5.5	Hiperspektrális távérzékelés.....	27
2.5.6	A színek szerepe.....	29
2.5.7	Spektroszkópiás eszközök.....	29
2.5.8	Magas nedvességtartalmú kertészeti termékek vizsgálata spektroszkópiás módszerekkel.....	30
2.6	Stressz.....	32
2.6.1	Abiotikus stresszerek.....	33
3	Anyag és módszer.....	38

3.1	A kísérleti tér rövid története	38
3.2	Kísérletek beállítása	39
3.3	Fajták.....	39
3.3.1	Paradicsom.....	39
3.3.2	Tojásgyümölcs	40
3.3.3	Paprika	40
3.4	A kísérleti növényállományok létrehozása	41
3.4.1	Szaporítás.....	41
3.4.2	Palántanevelés.....	41
3.4.3	Talajviszonyok.....	42
3.4.4	Öntözés	42
3.4.5	Árnyékolás	43
3.5	A kísérlet során végzett mérések	44
3.5.1	ASD (American Spectral Devices) FieldSpec HandHeld 2™ spektrométer.....	44
3.5.2	Vízoldható szárazanyag tartalom (°Brix)	49
3.5.3	Nagyhatékonyságú folyadékkromatográfia (High Performance Liquid Chromatography - HPLC)	50
4	Eredmények.....	52
4.1	Az öntözési kezelések hatása az ipari paradicsom terméseredményeire 2012-'15.....	52
4.2	A vizsgált növényállományok levelének spektroszkópiás jellemzői.....	63
4.3	Az öntözés és vízhiány-stressz hatása a paradicsom levelének spektrális tulajdonságaira	66
4.4	Az öntözés hatása a tojásgyümölcs levelének spektrális tulajdonságaira.....	68
4.5	Fotoszelektív hálók hatása Kápia típusú paprikaállomány levélreflektanciájára és termésmennyiségére	74
4.5.1	A fotoszelektív műanyaghálók árnyékoló képességének mérése	79
4.5.2	Fotoszelektív műanyaghálók árnyékoló hatása a paprika mennyiségi- és minőségi paramétereire	83
4.6	Öntözés és vízhiány-stressz hatása a paradicsombogyó beltartalmi értékére és spektrális jellemzőire.....	86
4.7	Új tudományos eredmények	93
5	Következtetések és javaslatok	95
5.1	Az öntözés hatása az ipari paradicsom terméseredményeire 2012-'15	95
5.2	A növényállományok levelének spektroszkópiás jellemzői	95
5.3	Öntözés és vízhiány-stressz hatása a paradicsom levelének spektrális tulajdonságaira	96
5.4	Az öntözés hatása a tojásgyümölcs levelének spektrális tulajdonságaira.....	96

5.5	Fotoszelektív hálók hatása Kápia típusú paprikaállomány levélspektrumára és termésmennyiségére	97
5.5.1	Fotoszelektív műanyagghálók árnyékoló képességének mérése	98
5.5.2	Fotoszelektív műanyagghálók árnyékoló hatása a termés mennyiségi- és minőségi paramétereire	98
5.6	Öntözés és vízhiány-stressz hatása a paradicsombogyó beltartalmi értékére és spektrális jellemzőire.....	99
6	Összefoglalás	101
7	Summary.....	104
8	Mellékletek	107
8.1	M1. Irodalomjegyzék.....	107
8.2	M2. Az ipari paradicsom terméseredményei	121
9	Köszönetnyilvánítás.....	122

1 BEVEZETÉS

1.1 Általános ismertető

A *Solanaceae* családba tartozó zöldségnövények világviszonylatban a kertészeti termelés prominens tagjai, amelyek termesztése és feldolgozása kiemelkedő módon hozzájárul a lakosság élelmezéséhez, valamint lokálisan megélhetést, munkalehetőséget biztosít a fejlődő országoktól a nyugati társadalmakig egyaránt. A burgonyafélék három meghatározó képviselője a paradicsom, a tojásgyümölcs és a paprika, amelyek fogyasztása nyers és/vagy feldolgozott formában hozzájárul az egészség megőrzéséhez. Sok más növényhez hasonlóan, a saját fejlődésük stimulálásához szükséges antioxidáns vegyületek termelnek (Riga et al., 2014), amelyek az emberi szervezet szempontjából a krónikus betegségek kialakulásban preventív faktorként funkcionáló fitonutriens anyagok (Rodler, 2007). Ilyen természetes antioxidáns hatással rendelkező fitokemikáliák a vízben- vagy zsírban oldódó vitaminok, a színanyagok, a polifenolok, a zsírsavak és a mikroelemek, amelyek gyakran szinergizmusban fejtik ki pozitív hatásukat az emberi szervezetben. Jelenlétük prevenciót biztosíthat a rákos elváltozások különböző típusaival szemben, valamint a kardio- és cerebrovaszkuláris betegségek kialakulásában. A vizsgálatba vont, három, *Solanaceae* családba tartozó zöldségnövény-faj terméseire úgy tekinthetünk, mint a bioaktív anyagoknak gyűjtő- és tároló helyére, amelyek hosszabb-rövidebb ideig képesek biztosítani pozitív táplálkozás-élettani hatásukat (Ramadan et al., 2007; Rodler, 2007). Az antioxidáns hatású anyagok kimutatására jelenleg elterjedten használt analitikai módszerek, bár rendkívül pontosak, ugyanakkor nagy beruházás- valamint időigénnyel rendelkező, sok munkafázisú, roncsolásos eljárások, amelyekhez a kinyeréseknél gyakran veszélyes kémiai reagensek szükségesek (Blanco-Díaz et al., 2014). Ezzel ellentétben a spektroszkópiás módszerekkel történő mérés és kutatás lényegesen gyorsabb és egyszerűbb, amelyek a molekulákra jellemző, ún. spektrális ujjlenyomatok tényén alapulnak. Amikor az elektromágneses sugárzás áthatol a minta anyagán, megváltoznak a sugárzás spektrális jellemezői. Ezek a változások megmutatkozhatnak a reflektanciás- (visszaverődés), abszorbanciás- (elnyelődés) és az emissziós (kibocsátás) tulajdonságokon. Ugyanakkor a változás mértéke szoros kapcsolatban állhat a minta kémiai- és fizikai jellemzőivel, valamint a mikrostruktúrás szerkezettel, amely tulajdonságok gyakran összefüggésben vonhatóak fontos beltartalmi paraméterekkel, növényi jellemzőkkel (Nicolai et al., 2007).

1.2 Célkitűzések

Kutatásaim során arra kerestem a választ, hogy spektroszkópiás, roncsolás-mentes eljárás segítségével a *Solanaceae* családba tartozó fontosabb zöldségnövények, milyen beltartalmi

összetevői mutathatók ki, illetve, hogy milyen egyéb növényteni jellemzők határozhatók meg különböző abiotikus környezeti tényezők (vízellátottság) vonatkozásában, valamint, hogy ezek a környezeti faktorok miként hatnak a növények kvantitatív és kvalitatív tulajdonságaira.

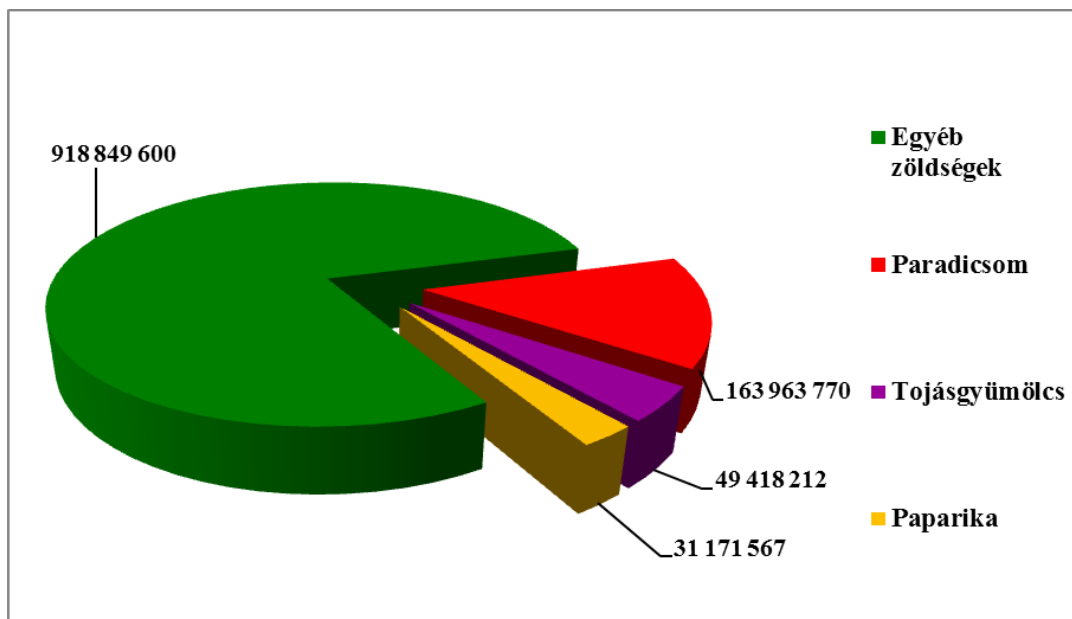
- Az öntözési kezelések hatása az ipari paradicsom termésereedményeire, különös tekintettel az oldható szárazanyag-tartalomra.
- Az ipari paradicsom, tojásgyümölcs és kápia paprika levelek spektroszkópiás jellemzőinek megállapítása FieldSpec HandHeld 2™ Portable spektrométerrel.
- Az öntözés és vízhiány-stressz hatásának megállapítása az ipari paradicsom levelének spektrális tulajdonságaira.
- Az öntözés hatásának megállapítása a tojásgyümölcs levelének spektrális tulajdonságaira.
- Különböző színű műanyagházak, árnyékoló képességének megállapítása és az alattuk nevelt kápia paprikák termésének mennyiségi- és minőségi paramétereire.
- Öntözés és vízhiány-stressz hatásának megállapítása a paradicsombogyó fontosabb beltartalmi paramétereire és spektrális jellemzőire.
- Az ipari paradicsomfajták oldható szárazanyag-, likopin- és összes polifenol tartalmának becslésére alkalmas kalibrációs modellek fejlesztése, pürésített termékek VIS/NIR (325-1075 nm) reflektanciáiból.

A cél érdekében Gödöllőn, a Szent István Egyetem Kertészeti Intézetének, valamint jogelődjének Bemutató és Kísérleti Telepén, 2012-2015 között szabadföldi növényállományokat hoztam létre. Emellett vizsgálataim során különböző színű árnyékolóhálóval fedett, ún. net-house technológiás és fóliával borított termesztő berendezésekben állományokat tanulmányoztam. A betakarított termékek beltartalmi értékeire vonatkozó vizsgálatokat az Országos Élelmiszerbiztonsági és Táplálkozástudományi Intézet Élelmiszerkémiai-analitikai Főosztályán, valamint a Központi Élelmiszer-tudományi Kutatóintézet Élelmiszeranalitikai laboratóriumában, majd később a Szent István Egyetem Regionális Egyetemi Tudásközpontjának Élelmiszeranalitikai Laboratóriumában végeztem. A gyors-spektroszkópiás vizsgálatok alkalmazási területe meglehetősen széleskörű és a rutinanalízisek esetében különösen jelentős lehet, mivel mobilizálható, rövid ideig tart és az ilyen típusú, roncsolás-mentes mérések az analitikai laboratóriumi vizsgálat költségeinek töredékébe kerülnek. Ennek megfelelően, vizsgálataimat egyaránt végeztem terepen és laboratóriumi körülmények között is.

2 IRODALMI ÁTTEKINTÉS

2.1 A vizsgált fajok gazdasági jelentősége

A 21. század egyik legnagyobb, globális méreteket öltő kihívása az élelmiszerbiztonság. 2012-ben a világ népessége elérte a 7 milliárdot és folyamatos emelkedést mutat. Az előrejelzések szerint 2040-re 9 milliárd ember él majd a bolygón. Ilyen méretű humán populáció táplálása, valamint a globális környezeti és gazdasági változások, folyamatosan óriási kihívást jelentenek, mind az alapanyagot termelő agrárszakembereknek, mind a feldolgozóiparnak, mind pedig a szállítmányozást végző logisztikai rendszernek. A növekvő népesség folyamatos ellátást igényel alapvető építőipari-, valamint gyógyszeripari-nyersanyagokból és természetesen a fogyasztás alapját képező természeti javakból, amilyen a tiszta ivóvíz és a változatos élelmiszer. Függetlenül attól, hogy az új fejlesztések- biotechnológiai újítások, génmanipulálás, növényvédelem legyen ez kémiai vagy biológiai, milyen új áttöréseket ér el, a szabadföldi kertészeti termeléshez tartozó tevékenységi körökkel folyamatosan forrásokat von el a már most túlterhelt környezetéből, elsősorban a talajból (Manning, 2015). A kertészeti szempontból igen jelentős zöldség és gyümölcsstermesztés az elmúlt ötven évben nagy változásokon ment keresztül, amely változás egyértelműen vonatkozik a fajtahasználatra, a termesztéstechnológiára és a növényvédelemre, melyek együttesen jelentős hozamnövekedést eredményeztek. A technológiai fejlődés következtében növelhető a termésbiztonság és olyan területek is kiaknázzhatóak kertészeti szempontból, amelyeken néhány évtizede elképzelhetetlen lett volna a termesztés. (Karrou & Oweis, 2012). Öt évtized alatt, a jelentős mennyiségi növekedés mellett egy másfajta fejlődési folyamat is megfigyelhető. Miszerint az 1960-as években a zöldség és gyümölcsstermesztés közel hasonló mennyiségeket produkált, ugyanakkor mára ez komoly mértékben átalakult. Jelenleg a világ zöldségstermesztése több mint 1,1 milliárd tonna évente, amely közel duplája a gyümölcsstermelésnek. A zöldségstermesztési ágazaton belül a paradicsom, a tojásgyümölcs és a paprika gazdasági jelentősége óriási, hiszen ez a három burgonyaféle képezi az össztermés mintegy 20 %-át (FAO, 2015).



1. ábra A paradicsom, a tojásgyümölcs és a paprika mennyiségi megoszlása a világ zöldségtermesztésben (FAO, 2015).

Az ebben a munkában vizsgált zöldségnövények közül a paradicsom a legjelentősebb, amelyből több mint 163 millió tonna termelt a világon 2013-ban. A tojásgyümölcs a második legjelentősebb, közel 50 millió tonnás termésmennyiséggel és ezt követi a paprika 31 millió tonnával (FAO, 2015). Ezeknek a mennyiségeknek, a paradicsom esetében megközelítőleg a kétharmada frisspiaci fogyasztású, míg az egynegyede kerül ipari feldolgozásra (WPTC, 2017). Tojásgyümölcsnél a feldolgozás a megtermelt mennyiség közel 100%-át lefedi, míg paprikánál 10%-ot dolgoz fel az ipar, amelynek döntő többség szárítmány. A termésmennyiségeket figyelembe véve a legjelentősebb paradicsomtermelő országok közé tartozik Kína, India és az Egyesült Államok, amelyek a világ paradicsom termésmennyiségének közel felét, 49%-át adják. Európai viszonylatban pedig Olaszország és Spanyolország kiemelkedő fontosságú a piacon. Ha az ipari paradicsomtermelést vizsgáljuk jelentős átrendeződés tapasztalható. A legnagyobb ipari-paradicsom termelők, az Egyesült Államok, azon belül Kalifornia, valamint Olaszország és Kína, amelyek hárman együtt a világ ipari-paradicsom mennyiségének mintegy 60%-át állítják elő (WPTC, 2017).

A hazai ipari paradicsom termesztés az elmúlt másfél évtizedben drasztikusan csökkent (Hodossi & Dudás, 2010), különösen az Unió csatlakozás után, 2012-'13-ban már az 1000 ha területet sem érte el (Helyes, 2016; Szuvandzsiev & Pék, 2016). Az Unió kvóta kivezetése után a területi koncentrációnak köszönhetően viszont, jelentősen nőttek a termésátlagok. Ennek köszönhetően, napjainkra a hazai ipari paradicsom mennyiségének jelentős hányadát 10-15 termelő állítja elő, és csak azok a termelők maradtak versenyben, akik megfelelő minőségben

tudják a minimum 80 t/ha mennyiséget előállítani (Helyes, 2016). 2013-ban egy pozitív változás indult el, melynek egyik jele a termőterület jelentős növekedése és ezzel egy időben, a termesztés intenzitásának javulása is. Az Univer Product ZRt. egy óriásberuházást hajtott végre feldolgozó kapacitásának bővítésével, amelynek termelési kihatása valószínűleg további bővülést eredményez a jövőben (Szuvandzsiev & Pék, 2016).

A világ tojásgyümölcs termelése még inkább lekorlátozódott néhány országra. Az első kettő Kína és India, amelyek előállítják a világ tojásgyümölcs terménymennyiségének mintegy 85 %-át. Paprika terén, a paradicsomhoz hasonlóan szintén két részre osztható a termelési profil. A frisspiaci fogyasztású, primőr paprikatermesztésben, több mint 50%-os termésmennyiséggel, szintén Kína a világszínvonal, amelyet Mexikó és Törökország követ a sorban. Míg fűszerpaprika és egyéb paprika alapú szárítottanyagok terén az első öt helyen csak Ázsiai országok szerepelnek. India az első, az össztermés 38%-val, majd Kína, Banglades, Thaiföld és Vietnám a jelentősebbek (FAO, 2015).

2.2 A vizsgált fajok rendszertana és származása

A magvas növények főtörzsébe sorolható, mintegy 20 nemzetsége mindegyike magába foglal legalább ezer vagy még ennél is több fajt. Ezek az óriási nemzetségek egyaránt jelentenek problémát és sok esetben megoldásokat is a kutatók számára. Soha nem látott lehetőségeket tartogatnak morfológia-, biogeográfiai-, fejlődéstani-, termesztési-, élelmezési-, növényvédelmi-, toxikológiai- és gyógyszeripari fejlesztések vonatkozásában. A *Solanum* is egy ilyen óriás nemzetség, amely közel 1500 fajt foglal magában és így a 10 legfajgazdagabb nemzetség egyike. Származástani szempontból a *Solanum* nemzetségbe tartozó fajok szinte mindegyike mérséklet- és trópusi égövi kontinensen képviseltetik magukat, meglehetősen nagy morfológiai és ökológiai változatossággal. Ebbe a nemzetségbe tartozó fajok jelentősége vitathatatlan, a teljesség igénye nélkül, gondoljunk csak a szántóföldi káposzta kultúrákban nevelt burgonyára vagy dohányra, illetve az intenzív, szinte megszakítás nélküli növényházi termelésben, óriási produktumot biztosító paradicsomra, tojásgyümölcsre, paprikára, ehető földi cseresznyére (Weese & Bohs, 2007).

2.2.1 Paradicsom

A paradicsom őse a 16. században került be Európába. Feltételezések szerint legelőször *Solanum pomiferum* néven azonosították. Linné, 1753-ban *Solanum lycopersicum* néven, a *Solanum* nemzetség tagjaként rendszerezte, bár ez sokáig vita tárgyát képezte. A molekuláris vizsgálatok és az ezekből származó biztos adatok tették lehetővé, hogy felülvizsgálják, majd

alátámasszák Linné 200 éves vitát kiváltó állítását (Bergougnoux, 2014). A paradicsom fajokon belüli rendszertani csoportosítás alakult ki Muller 1940-es munkájában, aki hat jelentős paradicsom fajt két külön csoportba sorolt, a tipikusan jellemző formák és jegyek alapján. Létrehozva az *Eulycopersicon* alnemzetséget, a *Lycopersicon esculentum* és *Lycopersicon pimpinellifolium* fajokkal, valamint az *Eriopersicon* alnemzetséget, a *Lycopersicon peruvianum*, *Lycopersicon cheesmaniae*, *Lycopersicon hirsutum* és *Lycopersicon glandulosum* fajokkal (Muller, 1940). Ezt követően Rick 1960-as munkájában javaslatot tett újabb osztályozási rendszer kialakítására, amely a vadonélő fajok és a termesztett paradicsom keresztezhetőségének sikerességén alapult. Felismerte, hogy létezik kilenc vad faj, amelyek két külön csoportba oszthatóan keresztezhetőek az "esculentum" és a "peruvianum" komplexeken belül. Az esculentum komplexben sorolt összes faj, azaz a *Lycopersicon esculentum*, a *Lycopersicon pimpinellifolium*, a *Lycopersicon cheesmaniae*, a *Lycopersicon pennellii*, a *Lycopersicon hirsutum*, a *Lycopersicon chmielewskii* és a *Lycopersicon parviflorum* a termesztésbe vont paradicsommal hibridizálhatóak és jelentős ellenálló képesség potenciált rejtenek magukban. Ez a lehetőség biotikus és abiotikus stressztűrés tekintetében, valamint egyéb, termesztők vagy fogyasztók számára kívánatos jellegek kapcsán lehetnek lényegesek (Rick, 1960). Filogenetikai tanulmányok és a DNS-szekvenálás lehetővé tette, hogy létrejöjjön a jelenleg is elismert és használatos csoportosítás, amely a termesztett paradicsom és annak tizenkét vadon élő rokonát kategorizálja. Eszerint a *Solanum juglandifolium* és *Solanum ochranthum*, a paradicsom legközelebbi rokonai a külső csoportokból, valamint három alcsoportot hozott létre, amelyek a *Lycopersicon*, *Eriopersicon* és a *Neolycopersicon*. Rokon fajokként írták le a *Solanum galapense* és a *Solanum cheesmaniae* Galapagos-szigeteki endemikus fajokat. Vad paradicsomfajok őshonosak végig Dél-Amerika nyugati partvidékén a magas Andoktól Ecuador központjáig, valamint Perun keresztül a Chilei Köztársaság északi részéig és a Galapagos-szigeteken. Ebből következik, hogy a vadon élő paradicsomfajok élőhelye lefedi, a Csendes-óceán partvidéki területeit, tengerszint körüli magasságát és felhúzódik az Andok felföldjeire, akár 3300 méteres tengerszint feletti magasságig. Ezek a vad fajok képesek alkalmazkodni arid és esős éghajlathoz egyaránt, gyakran korlátozódik elterjedésük egy-egy szűk lokalitásba, ahol teljesen elszigetelten fejlődnek, alkalmazkodva a klimatikus viszonyokhoz és talajadottságokhoz, ami hozzájárul a vad fajok sokszínűségéhez (Bergougnoux, 2014). A gazdasági-, humán táplálkozás-életteni lehetőségei miatt, a paradicsom termesztése rendkívül széles körben folyik. Ahol az agroklimatikai feltételeket képesek biztosítani a termelők, ott a paradicsom termesztése elindul, ebbe beletartozik a trópusi-, szubtrópusi-, és mérsékelt égöv egyaránt. Ennek az óriási elterjedésnek köszönhetően,

lokálisan kialakuló mikroevolúciós folyamatok vezettek ahhoz, hogy a jelenleg is tapasztalható óriási fenotípusos változatosság létrejöttön termésméret, szín, alak és beltartalmi értékek terén (Csambalik et al., 2017). A 16. században Közép-és Dél-Amerikából érkező szűk genetikai keresztmetszet, majd az ezt folyamatosan kiegészítő további fajtakörök és típusok beáramlása Európába, valamint az öt évszázados termesztés során rengeteg, sikeres ökotípust hozott létre. A múltban ezek kialakításának legfőbb motorja a gazdák szelekciós tevékenysége és nemesítői munkája volt, amivel hozzájárultak a faj diverzifikálásához. A Földközi-tenger partvidéke olyan kiemelt régió, ahol talán a legnagyobb a paradicsomtájfajták változatossága, amely így tekinthető egyfajta második, mesterségesen kialakított géncentrumnak is. A hagyományos tájfajták, mint a Marmande, a San Marzano vagy az Ökörszív (Oxheart) típusok számos helyen széleskörű elismerést kapnak. A nagyfokú változatosságnak köszönhetően, minden csoportban található olyan íz-és zamatanyag összetétel vagy funkcionális minőségi vonás, amely lokálisan meghatározó piaci szereplővé teszi ezeket a Heirloom-fajtákat (Cebolla-Cornejo et al., 2013; Csambalik et al., 2017; Figàs et al., 2015; Pék, Budavári, et al., 2017; Terzopoulos & Bebeli, 2010).

2.2.2 Tojásgyümölcs

A *Solanum* nemzetségbe tartozó jelentős gazdasági potenciállal rendelkező és így igen alaposan kutatott élelmiszernövényeink, mint a paradicsom és a burgonya, mind Újvilági származásúak, ezekkel ellentétben a tojásgyümölcs eredete az Óvilágba vezethető vissza (Meyer et al., 2012). A tojásgyümölcs, padlizsán vagy törökparadicsom (*Solanum melongena*) őshazája hatalmas területet ölel fel. Keresztülhúzódik Észak-kelet-Indián, valamint Burmán, Észak-Thaiföldön, Laoszon és Vietnamon, de vadon élő, közeli rokon fajok megtalálhatók Kína Délnyugati részének egy-egy lokalitásában. A tojásgyümölcs őshazájában, Ázsiában a legkedveltebb és rendkívül széles körben fogyasztott kertészeti termék, Indiában úgy tartják, hogy a zöldségek királya. A géncentrumában több ezer évvel ezelőtt termesztésbe vonták és a szabadföldi termesztést alkalmazzák, míg az őshazájától távol, mint Spanyolország és Olaszország, a fóliával vagy üveggel borított termesztő berendezések alatt intenzív termesztésben nevelik. A termesztésnek ezt a módját sok más területen is, például Észak-Európában is, előnyben részesítik a szabadföldi termesztéssel szemben. Az intenzív termesztésben a hagyományos fajtákat folyamatosan felváltják a stabil hozamot garantáló hibridek, valamint az új termesztéstechnológiai elemek alkalmazása, mint például a gyökéren keresztül fertőző kórokozókat kiiktató oltás, amely hozzájárul a 460 tonnás hektáronkénti átlagos termésmennyiséghez évente. A tojásgyümölcs vad fajainak háziasítása valószínűleg az Indo-Burmai régióban indult

el valamikor az ókorban, szanszkrit feljegyzések is nagy részletességgel jellemzik ezt a növényt, ami az étel- és gyógyszerként való felhasználásának népszerűségére is utal. Jelentős mennyiségű, időszámításunk előtti feljegyzést találtak meg a tojásgyümölcsről ázsiai és arabiai szerzők műveiből, akik többek között, a fajtákat virágaik színe, terméseik színe- és formája, valamint jótékony hatásai szerint már kategorizálták. Az első európai illusztráció 1330-ból származik egy olasz gyógynövény gyűjteményből (De Herbis), amelyben a leveles hajtásrendszer sötétlilára színeződött, nagy, tojásdad alakú terméseket tart. Spanyolországból a 15-17. században került át Amerikába, ahol szintén elterjedt, oly mértékig, hogy a 17. század közepén Brazíliában már széles körben termesztették (Daunay & Janick, 2007). Jól ismert probléma a tojásgyümölcs és vadon élő őseinek igen bonyolult és zavaros rendszertani besorolása és nomenklatúrája. Ez elsősorban a rendkívül széles földrajzi eloszlásnak köszönhető, aminek átláthatóságát tovább homályosítja a nagy genetikai kompatibilitás és a plaztikus fenotípusos megjelenés (Meyer et al., 2013), ugyanakkor a géncentrumon belül kialakult egy ún. "tüskés burgonyafélék", azaz *Leptostemonum* alnemzetség, amely további 30 kisebb-nagyobb rendszertani egységre osztható és közel 500 fajt foglal magába. A *Leptostemonum* alnemzetségbe sorolhatóak, a széles körben termelt és fogyasztott padlizsánfajok mindegyike, mint például a gboma padlizsán (*Solanum macrocarpon* L.), a skarlát padlizsán (*Solanum aethiopicum* L.) és a mi általunk is ismert tojásgyümölcs (*Solanum melongena* L.). A házasított tojásgyümölcs legközelebbi rokonainak, valamint progenitoroknak tekinthető fajokat, a trópusi Afrika és Ázsia szinte egész területén megtalálhatjuk. Ezek közül kiemelendő jelentőségűek a *Solanum incanum* L. és a *Solanum undatum* Lam. fajok, melyeket valószínűsíthető őökként írtak le. A *Solanum incanum* Észak-Afrikától, a Közelkeleten át Indiáig fordul elő, míg a *Solanum undatum* főképpen Burmától a Csendes-óceáni szigetvilágig terjed el. Ezen két faj morfológiai hasonlóságait és citogenetikai egyezéseit alapul véve a házasított tojásgyümölcs (*Solanum melongena*) őseinek tekinthetők és valószínűsíthetően a széleskörű elterjedésük ellenére, csak néhány szűk lokalitású domesztikációs központban alakulhatott ki (Meyer et al., 2012).

2.2.3 Paprika

A *Capsicum* nemzetségbe tartozó növények Dél-amerikai származásúak. Mexikói régészeti feltárások időszámításunk előtt 7500-ra datálják az emberiség első bizonyítható érintkezését a paprikával, ugyanakkor időszámításunk előtt 7000-ból már kulináris történelmi feljegyzéseket is találtak. Columbus 1492-es felfedezőútját követően kerültek be Európába, majd terjedtek tovább Afrikába és Ázsiába. A nemzetség szempontjából, ezek az újonnan meghódított

területek, másodlagos diverzifikációs központokként funkcionáltak és bővítették a fenotípusos variabilitást több ezresre. A termelői- és nemesítői munka motorjaiként a fogyasztói preferenciák szolgálták, melyek kialakították a fajták jellemzőit (Barceloux, 2008; Tsaballa et al., 2015). Az ó-, és újvilágban lezajlott események az elmúlt 500 év alatt, a *Capsicum* nemzetségbe tartozó 36 faj nagymértékű átalakulása mellett, az emberi civilizáció néhány jelentős sarokpontját is átalakították. Ezek összefüggésében a táplálkozás egy kiemelten fontos szegmens, amelyben amellet, hogy a paprika szinte az egész világba eljutott friss vagy feldolgozott formában, a chilli típus okozta a legjelentősebb gasztronómiai váltást és ez a mai napig folyamatosan zajlik. A *Capsicum* complexből három kifejezetten jelentős faj domesztikálása indult el, amelyek származása szorosan kapcsolódik a trópusi éghajlatú Latin-Amerikai alföldhöz és a Caribi-térségekhez, valamint Mexikóhoz. Ezek a fajok a *Capsicum chinense* Jacq. Braziliából, a *Capsicum frutescens* L. a Caribi térségből és a *Capsicum annum* L. Mexikóból. Colonbus és a Mezoamerikai területek későbbi felfedezőinek közbenjárásával a *Capsicum annum* L. mint chilli paprika került be Európába, majd ezt követően más portugál felfedezők eljuttatták a *Capsicum chinense* Jacq. és *Capsicum frutescens* L. fajokat Kelet-Európába, Afrikába és Ázsiába is. Az ezredfordulót követően, modernkori molekuláris vizsgálatok közeli rokonsági kapcsolatokat mutattak ki mindhárom faj között, ugyanakkor a további vizsgálatok bebizonyították, hogy a *Capsicum chinense* Jacq. valamivel távolabbi kapcsolatot mutat (Eshbaugh, 2012). A *Capsicum* nemzetségbe tartozó fajok által termelt alkaloid a kapszaicin, amelynek a jellemző emberi szervezetre gyakorolt tulajdonsága a nyálkahártya ingerelése. Egyéb kapszaicinszerű vegyületek is megtalálhatók a chilli paprikák termésében, amelyek alkaloidok, szintén rendelkeznek a csípősség tulajdonságával. Ilyen vegyületek például a di-hidro-kapszaicin, nor-di-hidro-kapszaicin, homocapszaicin és a homodi-hidro-kapszaicin (Barceloux, 2008). A paprika termésében megtalálható sok hasonló vegyület ellenére a kapszaicin a legdominánsabb és a leginkább felelős a csípősségért. Az élelmiszeriparban fontossá vált a paprika csípőfokának mérhetősége, amelyet a Scoville-egységgel fejeznek ki. A mérés nagy teljesítményű folyadék-kromatográffal történik és folyamatos összehasonlításon alapul. Az enyhén csípős étkezési paprikák néhány száz vagy ezres Scoville-egységet érnek el, míg az igazán magas csípőfokú fajták akár az 500,000 - 1 milliót is (Fett, 2003).

2.3 A vizsgált fajok táplálkozásélettani jelentősége

A humán egészség szempontjából, a destruktív, toxikus hatású oxigénformák és egyéb szabadgyökök hatását 1954-ig homály fedte, majd Gershman és munkatársai publikálták

negatív jellemzőiket. Ezt követően, 1956-ban Denham Harman közli a szabadgyökök jelentős szerepét az öregedés folyamatában. McCord és Fridovich nevéhez fűződik a szuperoxid-dizmutáz enzim 1969-es felfedezése, amely meggyőző bizonyítékokat adott a szabadgyökök és az enzimek közötti működésre az élő rendszerekben (Valko et al., 2007). A szabadgyökök leggyakoribb változatai közé tartozik a hidrogén-peroxid, a hidroxil szabadgyök, szinglett oxigén és a nitrogén-monoxid, amelyek in vivo és in vitro tesztekben is a legmagasabb biológiai intenzitást érték el (Nordberg & Arnér, 2001). Többek között felelősek lehetnek lipid-peroxidációs folyamatokért, sérülést okozhatnak a plazmamembránon és töréseket idézhetnek elő a fehérjéken, valamint a DNS-en egyaránt (Berlett & Stadtman, 1997). Az oxidatív stressz és ezekkel szoros összefüggésbe hozható szabad gyökök azért vannak a kutatások középpontjában, mert az emberi egészségre negatívan ható tényezőként, számos krónikus vagy degeneratív betegség okozói lehetnek. Ilyen káros elváltozások a szív- és érrendszeri betegségek, a rák különböző formáinak patogenezise, a magas vérnyomás, a cukorbetegség vagy az öregedés korai szakaszában fellépő neurodegeneratív rendellenességek (Valko et al., 2007; Vogiatzi et al., 2009). A szabadgyökök a sejtek metabolikus tevékenységei során folyamatosan keletkeznek és a legkülönbözőbb stresszhatás alatt koncentrációjuk megnövekszik a szervezetben (Gill & Tuteja, 2010). Ugyanakkor az oxidatív stressz elleni védelemben az emberi táplálkozás rendkívül fontos szerepet játszik. Ebben az egészségvédő faktorban, figyelemre méltó egységet képviselnek a zöldségekben és gyümölcsökben található fitonutriensek, valamint azok antioxidáns hatása (Morales-Soto et al., 2014). A mai modern orvostudományban rutinszerűen használt epidemiológiai vizsgálatok is kimutatták, hogy a zöldségek- és gyümölcsök gyakori fogyasztása jelentős mértékben csökkenti a krónikus betegségek kialakulásának kockázatát. A zöldségekben és gyümölcsökben jelen lévő természetes fitonutrienseket, mint például a vitaminokat, a színyanyagokat és a fenolos vegyületeket tartják felelősnek ezért a kemopreventív hatásért (Del Giudice et al., 2015). Fogyasztásukkor élvezhető íz- és zamatanyagaik, természetes antioxidáns tartalmuk, illetve az ebből adódó egészségre gyakorolt pozitív hatásuk miatt, kiemelt egységként szerepelnek a humán táplálkozásban (Deng et al., 2013). A különböző vegyületcsoportokba tartozó, antioxidáns hatással rendelkező fitonutriensek mennyiségére és minőségi jellemzőire számos tényező fejt ki hatást, amilyen például az évjáráthatás, a genotípus, a fogyasztott növényi rész érettségének mértéke, termesztési körülmény, valamint az esetlegesen alkalmazott pre- és post-harvest tevékenységek (Deepa et al., 2006, Deepa et al., 2007). A legújabb kutatások azt mutatják, hogy egyes növényi vegyianyagok, mint például a terpének, flavonoidok és az antocianinok, bizonyos körülmények között szinte irrelevánsnak tekinthetők, más, sokkal

erősebb antioxidáns hatással rendelkező fitonutrienssel szemben, amilyenek például a jól ismert vitaminok, de rendkívül fontos megjegyezni, hogy ettől függetlenül negatív hatást egymás jelenlétében sem fejtenek ki. Antioxidáns tulajdonsággal rendelkező fitonutriensek létrejöttének elsődleges oka a növény szervezetének védelme a különböző környezeti hatásokkal szemben. A reaktív oxigénszármazékok ellensúlyozására halmozódnak fel a szövetekben, és így alakul ki a növény antioxidáns védelmi rendszere, amely csökkenti vagy teljesen megakadályozza a káros reakciók lefolyását. Az emberi szervezetre káros, reaktív-oxigénszármazékok legjelentősebb belső forrásai, a sejtanyagcsere folyamatok, az enzimreakciók és a fagocitózis. Ugyanakkor ezen anyagok termelődésének intenzitását nagymértékben képes fokozni a túlzottan magas fizikai aktivitás, az iszkémiás- és reperfüziós (keringési) problémák, a gyulladások, valamint bizonyos mentális állapot, amilyen a stressz vagy a depresszió (Harasym & Oledzki, 2014).

A *Solanaceae* család növényei közül, világviszonylatban a legnépszerűbb zöldségfajok közé sorolható paradicsom (*Solanum lycopersicum* L.), tojásgyümölcs (*Solanum melongena* L.) és paprika (*Capsicum annuum* L.) a kiegyensúlyozott- és egészséges étrend sarokpontjait alkotják (García-Salas et al., 2014). A gyógynövények, illetve a jótékony élettani hatással rendelkező növényi táplálékok fogyasztása az emberi civilizáció kezdetéig nyúlik vissza és a mai modern orvostudomány szerves részét képezi, valamint a gyógyszerkutatás alapját adja (Mukhtar et al., 2008). Számos fajt jegyeztek fel a múltban a Burgonyafélék családjából, amelyek amellet, hogy táplálékként szolgáltak, még egészségmegőrző hatásuk is volt (Dafni & Yaniv, 1994).

2.3.1 Paradicsom

A paradicsom az egész világon a leginkább fogyasztott zöldségek közé tartozik friss és feldolgozott formában egyaránt. Széleskörű elterjedése számos pozitív tulajdonságának köszönhető. A paradicsom bogyó komplex kémiai összetétele már régóta ismert, de csak néhány jelentős íz- és zamatanyag van, ami meghatározza az élvezeti értékét és a felhasználhatóságát. Számos tanulmány jellemezte a savak és cukrok mennyiségének fontosságát, különös tekintettel a sav-cukor arányra, mint fő meghatározója az íznek. Ezen felül, közel 20 illékony összetevő létezik, amelyek felelősek a jellegzetes aromáért és a termést kívánatosá teszik a fogyasztó számára. Ezek a pozitív sajátosságok a feldolgozott termékek nagy részére szintén jellemzőek, így jó piacossággal rendelkeznek. A püré, paszta, hámozott paradicsom konzerv, kockázott paradicsom konzerv, paradicsomlé, gyümölcslé mixek, szószok, levesek és egyéb paradicsom alapú termékek napi rendszerességgel fogyasztott ételkké váltak (Bennett, 2012; Kaur et al., 2013). Tetszetősségén és jó ízén túl, a paradicsom

vegyes összetételű rezervoárja az antioxidáns hatású természetes vegyületeknek, mint a karotinoidek, különös tekintettel a likopinra, a fenolok, a flavonoidok, a tokoferolok és a vitaminok (Riahi & Hdider, 2013). Ezen vegyületek jelenléte az emberi táplálkozásban nagy fontossággal bír, ugyanis egészségmegőrző hatásuk számos betegség esetében a megelőzésen alapul. Klinikai vizsgálatok bebizonyították, hogy a paradicsomból származó, természetes karotinoidekban gazdag étrend prevenciót jelent rákos megbetegedésekkel szemben. Ezek létrejötte, a már említett oxidatív stressz miatt kialakuló reaktív oxigén/nitrogén egyensúlyhiányra, valamint ennek káros hatására vezethető vissza. A paradicsomban is jelen lévő antioxidáns hatású színanyagok preventív hatása a méhnyak-, az emlő-, a prosztatata-, a gyomor-, a vastagbél-, és végbélrák esetében a legjelentősebb. A karotinoidek jelenléte egészséges, tenyésztett sejtvonalon gyengíti a szintén oxidatív stresszre visszavezethető apoptotikus sejthalált, továbbá, nem elhanyagolható módon a karotinoidek jelenléte megelőzi a humán plazmában található lipidek oxidációját, így védelmet biztosít az érelmeszesedés és a szívkoszorúér-betegségek kialakulásában is (Li et al., 2013; Pernice et al., 2010).

2.3.1.1 Oldható szárazanyag-tartalom

Az ipari paradicsomok feldolgozásuk és felhasználásuk kapcsán egyaránt fontos gazdasági-, valamint technológiai értékmérő mutatója a szárazanyag-tartalom. A vízoldható szárazanyag-tartalom (Soluble Solids Content - SSC) vagy más néven refraktometriás mutató meghatározza az adott anyagban oldott szilárd alkotórészek százalékos arányát, melynek leggyakrabban használt mértékegysége a Brix-fok (°Brix). Értéke paradicsom esetén általában 4-7 között változik (Szuvandzsiev et al., 2017). A szárazanyag-tartalmat meghatározza a fajta, a termesztés módja és a termesztés során ható környezeti tényezők. A szabadföldi ipari célú termesztésre alkalmas fajták szárazanyag-termelő képessége jobb, mint a hajtatási célra alkalmas fajtáké. Minél nagyobb a paradicsombogyó refrakció értéke, annál több értékes tápanyagot tartalmaz, annál ízletesebb (Helyes et al., 2014).

Közismert, hogy a jó vízellátottság (öntözés) a bogyók vízoldható szárazanyag-tartalmát szignifikánsan csökkenti, viszont a hektáronkénti szárazanyag hozamot növeli (Pék, Daood, et al., 2017). A °Brix egyrészt fajtatulajdonság, de a környezeti tényezők, különös tekintettel a vízellátottságra, alapvetően befolyásolja (Helyes et al., 2014). A termesztésben célként lehet kitűzni az 5 t/ha szárazanyag hozamot, bár korábban nem tartották elérhetetlennek a 10 t/ha-os értéket sem (Nichols, 2006). Előbbi, a növényállomány vízellátottsága és egyéb termesztés technológiailag szabályozásra alkalmas évjáratokban el lehet érni hazánkban is. Azonban olyan évjáratokban, amikor az érés időszakában sok csapadék hullik ezt nehezebb megvalósítani, hisz

a magas termésátlag alacsony °Brix értékkel párosul. A termésmennyiség növekedésével fokozatosan csökken a bogyók oldható szárazanyag tartalma, vagyis a nagyobb mennyiségű vízutánpótlásnak az egyes bogyók beltartalmára nézve, hígító hatása van (Helyes et al., 2014). Nem elhanyagolható azonban, hogy összességében az öntözés termésátlag növelő és beltartalmat csökkentő hatása nem azonos mértékű. A termésátlag nagyobb mértékben nő, mint amennyivel a bogyók szárazanyagtartalma csökken. Ennek eredményeként az öntözés az összes szárazanyaghozamra pozitív hatást gyakorol (Pék et al., 2014).

A cukor és a sav mennyisége rendkívül szoros összefüggésben van a vízdoldható szárazanyag-tartalommal (Gautier et al., 2008). Paradicsomban a Brix-fok értékének több mint a felét cukrok adják, továbbá savak, fenolok, aminosavak, oldható pektinek, citromsav és ásványi anyagok mennyiségét is reprezentálja a mutató. A termésben található cukortartalom elsősorban szacharózból, fruktózból és glükózból tevődik össze. A növényből a fotoszintézis során asszimilálódott szacharóz transzlokálódik a bogyóba, amelynek egy jelentős része a termésben glükózzá és fruktózzá alakul (Beckles et al., 2012; Helyes, 1999).

A paradicsom termése alapvetően alacsony pH-értékű, ugyanakkor a savtartalomban bekövetkező változás nagy befolyással van a paradicsom ízvilágára (Tieman et al., 2012, 2017). A magas cukor és relatíve alacsony savtartalom adja a legkedvezőbb ízhatású paradicsombogyókat, de általánosságban elfogadott, hogy a „jó” ízű a paradicsom 7-10 közötti cukor - sav aránnyal rendelkezik (Csambalik et al., 2014; Helyes, 1999).

2.3.1.2 Likopin

A paradicsom sok más zöldséghez és gyümölcshöz hasonlóan vitaminforrás. Elsősorban A-, E-, és C-vitamint tartalmaz, amelyek antioxidáns hatású tápanyagok. Ezen felül gazdag polifenolokban is, mint például a flavonoidok valamint a fenolos savak, melyeknek amellett, hogy nem minősülnek tápanyagoknak, szintén fontos egészségmegőrző szereppel rendelkeznek a humán táplálkozásban (Santos-Sánchez et al., 2012). A zöld érettségi szakaszban lévő paradicsombogyó rendkívül gazdag az α -tomatin nevű gliko-alkaloidban, amely amellett, hogy természetes védelmi rendszert jelent a fejlődő bogyó számára, gátolja a humán rákos sejtek növekedését tüdő-, mell-, gyomor-, vastagbél-, valamint májrák esetében, és csökkenti a vérben lévő koleszterin szintjét in vitro körülmények között. Azonban az α -tomatin felhasználhatósági lehetősége meglehetősen kérdéses, mivel az egészséges, normális működésű sejtekre is erős citotoxikus hatást fejt ki (Del Giudice et al., 2015). A paradicsomban található egészségmegőrző hatású anyagok közül a likopin a legjelentősebb, amely egy érett paradicsombogyóban a színért is felelős pigmentek 90%-át is adhatja (Li et al., 2013). Az

emberiség fő likopin forrása a paradicsom (Jarquín-Enríquez et al., 2013), de kisebb mennyiségben a piros terméshúsú görögdinnyében (*Citrullus lanatus*) (Dimitrovski et al., 2010), a rózsaszín húsú- vagy más néven brazil guavában (*Psidium guajava*) (Rojas-Garbanzo et al., 2017) és a piros grapefruitban (*Citrus paradisi*) is megtalálható. Természetes likopin, néhány nem kifejezetten hétköznapi fogyasztású növényi részből szintén kinyerhető, amilyen például a keskenylevelű ezüstfa (*Elaeagnus angustifolia*) érett termése, a piros répatestű sárgarépa (*Daucus sp.*) vagy a csipkebogyó (*Rosa sp.*) (Collins et al., 2006). Az érett paradicsombogyóból készült pép 30-400 mg/kg likopint tartalmaz, amelyből 20-30 mg/kg közvetlenül a héj alatt koncentrálódik (Poojary & Passamonti, 2015; Toor & Savage, 2005). Kimutatták, hogy a paradicsomban szintén megtalálható β -karotinnál a likopin jóval erősebb antioxidáns kapacitással rendelkező fitokemikália. A szervezetben lezajló mechanizmusokat tekintve, a likopin jóval nagyobb hatásfokkal képes csapdába ejteni és így semlegesíti a szabadgyököket. Azonban azt is meg kellett vizsgálni, hogy a bogyóban képződő kéttípusú, all-transz- és cisz-likopinformák közül, melyik rendelkezik nagyobb effektivitással. A kutatások bebizonyították, hogy az all-transz likopin biológiai hozzáférhetősége lényegesen alacsonyabb, s a biológiai aktivitása is kisebb, mint a cisz-likopinformáé. A termodinamikai szempontból stabilabb all-transz- konfigurációja a likopinnek, lényegesen nagyobb mennyiségben van jelen az érett termésben. Mindezt összegezve a paradicsombogyóból kinyert likopin extrakciós technikai megoldásait és a tárolási-, tartósítási körülményeket, a cisz-likopinforma növelése és a mennyiség biztos megtartásának irányába szükséges koordinálni (Blanch et al., 2007). A likopin, all-transz izomerje, megtalálható nagy mennyiségben a nyers paradicsombogyóban, igen stabilan, kristályos formában, a növényi sejt kloropasztiszában. Ennek kinyerése hagyományos eljárás szerint hő közlésével történik, ami megkönnyíti a pigmentek és egyéb vegyületek kiáramlását az oldatba. Bár a megnövelt hőmérséklet megfelelő módon javítja az organellumok kiáramlását a zárt membránokon keresztül, fontos, hogy a hőnek való kitettséget korlátozzuk, amennyire ez lehetséges, ugyanis az oldatban lévő természetes karotinoidok már meglehetősen hőérzékenyek. Számos tanulmányban bebizonyosodott a likopinről, hogy sokkal stabilabban áll ellen a bomlási folyamatoknak, mint például a β -karotin. Ugyanakkor, ha a hőkezelés hosszabb ideig tart, mint egy óra, az kedvez a stabil likopin all-transz izomerjéből cisz izomerbe való átalakulásnak, míg a fény-besugárzással indukált cisz-likopin forma bomlékonyabb a paradicsom alapú termékekben (Ho et al., 2015).

2.3.2 Tojásgyümölcs

A tojásgyümölcs jelentősége hazánkban nem kifejezetten nagy, ugyanakkor termése olyan mennyiségű és összetételű egészségmegőrző hatással rendelkező fitonutriens-t tartalmaz, hogy antioxidáns kapacitása alapján a 10 legjobb értékkel bíró zöldség között tartják számon (Akanitapichat et al., 2010). Természetesen a beltartalmi összetevőkre egyaránt óriási befolyása van a fajták genetikai jellemzője, a termesztési körülmény, a betakarítás utáni tárolási körülmény, valamint a feldolgozás mértéke. A tojásgyümölcs nagy fenotípusos variációjára ellenére a legtöbb beltartalmi értékre vonatkozó kutatás, az általunk is tesztelt és kísérletbe vont, lila – sötétlila – fekete héjszínű termést érlelő változatokra irányult, a fehér, sárga valamint tarka változatok kevesebb figyelmet kapnak (Zaro et al., 2014).

2.3.2.1 Antocianinok és fenolok

Az antocianinok pigmentek a növényi sejt-vakuolumban, melyek biokémiai csoportosítás szerint a flavonoidfenolok közé tartoznak és rendkívül erős antioxidáns hatással rendelkező fitonutriensek. A tojásgyümölcs héjából készített extraktumokról bebizonyosodott, hogy nagy erővel semlegesítik a szabadgyököket, amelyek károsítják a lipideket és fehérjéket. Ezen felül az antocianinok megszüntetik a véredényekben fejlődő daganatos elváltozásokat, illetve gátolják az áttétek képződését és megállítják a gyulladások kialakulását, amely hosszú távon segít megelőzni az érszűkületek létrejöttét. A *Solanum melongena* termését társítva az étrendhez alacsonyan tartható a stroke, a tüdőrák és a kardiovaszkuláris betegségek kialakulásának kockázata (Moncada et al., 2013). A sötét bogyójú termések héjában található antocianinok közül a naszunin- és a delfinidin konjugátumok jelentősek, míg a terméshúsban nagy mennyiségben megtalálható fenolos vegyületek közül, kiemelendő a kávéssav, a klorogénsav és a p-kumarinsav (García-Salas et al., 2014). Ezekon felül nyomokban megtalálhatóak benne flavonoidok is, mint a kvercetin-3-glükózid, a kvercetin-3-rhamnizid és miricetin-3-galaktozid, amelyek összességükben széleskörű biológiai aktivitást kölcsönöznek a tojásgyümölcsnek. A tojásgyümölcs terméshúsából izolált flavonoidok antioxidáns hatása kiegészül a kromoszóma-degenerációs folyamatok visszafordításával és szerepet játszik a 2-es típusú cukorbetegség valamint a magas vérnyomás elleni küzdelemben is (Kaur et al., 2014).

2.3.3 Paprika

A paprika, ételmezésben betöltött szerepe mellett, rendkívül jelentős zöldségnövény az antioxidáns tulajdonságai miatt. Ez a meglehetősen nagy változatossággal rendelkező nemzetség, magába foglalja a friss fogyasztású csípős és csípmentes változatokat, valamint az

elsősorban fűszerként és ételszínezékként használt típusokat egyaránt (Conforti et al., 2007). Az érett sárga, narancs és piros termésű paprikák színe a terméshúsban felhalmozott pigmentek mennyiségétől függ, amelyekből már több mint negyvenet azonosítottak (Koncsek et al., 2016). A vonzó, piros vagy mélyvörös színű paprikafajták a frisspiaci fogyasztás és a feldolgozott termékek szempontjából is kifejezetten jelentősek, attraktivitásuk, ételszínező hatásuk és magas antioxidáns tartalmuk miatt. (Deepa et al., 2006). A pirosra érő, Kápia típusú paprikák hazánkban egyre növekvő népszerűsége tettek szert az elmúlt néhány évben a Nyugat-Európai, elsősorban Németországi piacok megnyitása kapcsán. A teljes biológiai érettségben betakarított paprikák fontos szerepet játszanak hazánkban a mindennapi táplálkozásban, mind frisspiaci fogyasztás, mind feldolgozóipari felhasználás terén (Ledóné et al., 2013).

2.3.3.1 Színanyagok, vitaminok és fenolos vegyületek

Az érett piros paprikát tartják az egyik leggazdagabb természetes színanyag-forrásnak a zöldségnövények közül. Ilyen színanyag például a β -karotin, ami az A vitamin pro-vitaminja, ezen felül oxigénezett karotinoidek terén is bővelkedik, mint a kapszantin, kapszorubin vagy a kriptokapszaicin, melyek kizárólag erre a nemzetségre jellemző, hatékony szabadgyök-fogó kapacitással rendelkező antioxidáns csoport (Koncsek et al., 2016). A pirosra érő paprika termése közepes vagy nagy mennyiségben tartalmaz természetes fenolokat, mint a quercetin, a lutein és a kapszaicinoidok. Eltekintve a karotinoidek jelentős mennyiségétől, a friss, édes, piros paprikát a legmagasabb C-vitamin tartalommal rendelkező zöldséggé tartják számon (Nagy et al., 2015; Szuvandzsiev et al., 2012). Frissen fogyasztva 100 gramm biztosítja az ajánlott napi C-vitamin bevitel 100 %-át (Pék, 2014). Továbbá jól ismert tény, hogy a fenolos vegyületek hozzájárulnak az érzékszervi megítéléséhez a fontos beltartalmi tényezőknél túl. Módosítják színét, ízét és aromáját egyaránt. Szakirodalmi feljegyzésekből kiderül, hogy miként változtak meg a paprika un. fizikokémiai paraméterei a nemesítés során, amely hatással volt a paprika termésméretére, növekedési erélyére, súlyára, a termés keménységére, színére, összes vízoldható szárazanyag- és savtartalmára. Ugyanakkor fontos szem előtt tartani, hogy a betakarításkori érettségi állapot és a fajták genetikai szabályozása jelentős hatást gyakorol a beltartalmi értékre (Deepa et al., 2006; Serrano et al., 2010; Szuvandzsiev et al., 2016).

2.3.4 Melléktermék

Az antioxidánsok élettani fontosságát, az is jól jelzi, hogy nagy számban indultak meg kutatások a betakarítás, a feldolgozás és termékgyártás során zöldségekből keletkező melléktermékek, valamint hulladékok felhasználására. Ezek az élelmiszeripari hulladékok ugyanis sok faj esetében további potenciális antioxidáns forrásnak tekinthetők, amelyek

könnyedén hasznosíthatók a gyógyszer- és élelmiszeriparban egyaránt, így pozitív gazdasági szegmenst lehet kialakítani a természet további terhelése nélkül (Kabir et al., 2015; Papócsi-Réthy et al., 2011).

2.4 Ökológiai igények

Termesztett kertészeti növényeinek alapvető életfeltételei, amelyen a hőmérséklet, a víz, a fény és a tápanyagok, meglehetősen összetett és dinamikusan változó rendszerként szolgáltatnak lehetőségeket. Hatásuk elsősorban a növények fejlődésén, valamint a termés mennyiségek alakulásán számszerűsíthető a legjobban (Balázs, 2004).

2.4.1 Hőigény

A paradicsom a mérsékelt meleg igényes növények közé tartozik, mely a Markov-Haev szerzőpáros által kifejlesztett hőigénytáblázat alapján a $t = 22 \pm 7$ °C formulával jellemezhető (Somos, 1971). A tojásgyümölcs hőigénye szempontjából ugyanebbe a mérsékelt melegigényes csoportba tartozik, ugyanakkor fejlődésének egyik legkritikusabb időszaka a virágzás és termésnövekedés, amikor is a legkisebb stressz hatásra, például, alacsony hőmérsékletre vagy vízhiányra a növény a virágzás megtorpanásával, a nyílásban lévő virágok leszáradásával, a termések elrúgásával illetve hibás termések kinevelésével válaszol. Mivel a tojásgyümölcs egy közepély gyökeresedésű növény, ezért fontos odafigyelni, hogy a víz és a tápanyagok mennyisége, valamint a talajhőmérséklet is optimális legyen legalább a talaj felső 40-50 centiméteres mélységében (Ertek et al., 2006). A paprika hőigénye a $T = 25 \pm 7$ °C formulával írható le ellentétben az előzőleg tárgyalt két fajjal (Balázs, 2004). Ugyanakkor olyan érzékenységet mutat a hőmérsékletváltozásra, ami különösen szabadföldön számít rendkívül limitáló környezeti faktornak, hogy kiemelt figyelemmel kell kísérni az éjszakai- és nappali-, a talaj- valamint léghőmérséklet alakulását (Zatykó & Márkus, 2010).

2.4.2 Vízigény

Az intenzív kertészeti kultúrák esetében, amelyen a paradicsom-, a tojásgyümölcs- és a paprikatermesztés is, az öntözésnek a termesztéstechnológia szerves részét kell képeznie hazánkban, mivel e nélkül rendkívül megnő a termesztés sikerességének a kockázata, túlságosan nagy lesz az előre nem kalkulálható évjárat hatása, amelyek a termés mennyiségén és minőségén egyaránt megmutatkozhatnak. Magyarország ökológiai adottságainak ismeretében, kijelenthető, hogy az öntözetlen körülmények közötti termesztés a termelés tervezhetetlenségét vonja maga után, ami mind a feldolgozóipar mind pedig a friss piaci fogyasztásra előállított zöldségek esetében erősen ellenjavallt. Különösen igaz ez a Solanaceae

család nagy vízfelhasználással jellemezhető tagjainak termesztésénél (Helyes & Varga, 1994). A paradicsom nagy lombfelületéből és meglehetősen hosszú tenyészidejéből adódóan sok vizet igényel, viszont mélyre, akár 40-60 cm-re hatoló gyökérzetének köszönhetően jól hasznosítja a talaj víztartalmát. Vízfogyasztási együtthatója 30- 60 l/kg, míg transzspirációs együtthatója 240-370 liter között mozog. Napi vízigénye a tenyészidő kezdetén alacsonyabb (2- 3 mm/nap), majd a lombozat fejlődésével folyamatosan emelkedik. A végleges lombfelület kialakulásakor és termésnövekedéskor a 6 mm/nap mennyiséget is elérheti, de a klimatikus változások miatt jellemzővé váló hosszabban elnyúló hőségnapokon ez a szám tovább növekedhet. A paradicsom vízfelvétele a kötődés és bogyónövekedés időszakában a legintenzívebb. Ezek alapján a tenyészidőszak alatt a halmozott vízfogyasztás növényenként akár a 150 l-t is meghaladhatja (Helyes, 1999). A tojásgyümölcs esetében a hiányos öntözés a levélfelület méretének a csökkenésén túl, a termések súlyának és térfogatának depressziójával is jár, ami egyértelműen negatívan hat a piacosságra. A tojásgyümölcs rendszeresen öntözött állományai lényegesen jobb hatásokkal veszik fel a tápanyagot, ami az ipari célra termelt fajták esetében a termésminőség szempontjából is rendkívül fontos (Karam et al., 2011). Hazai tapasztalatok vonatkozásában kijelenthető, hogy a tojásgyümölcs az egész vegetációs időszak alatti jó vízellátottságot igényel, ugyanakkor kijuttatásnál az egyenletességre kell törekedni. A paradicsomhoz hasonlóan, öntözés nélkül, csak a természetes csapadékellátottsággal kalkulálva, Magyarországon egyenetlen termésmennyiségekre lehet számítani, a stressz miatt felhalmozódó keserűanyagok miatt a termése rossz ízű és deformált lesz (Helyes et al., 2015). Ezért, még házikerti termesztés esetén is ellenjavallt a tojásgyümölcs öntözés nélküli termesztése (Balázs, 2004). A paprika érzékenyen reagál a túlságosan magas páratartalomra, hőmérsékletre (Almuktar et al., 2015) és különösen rosszul tűri a vízhiányt. Hazánkban átlagosnak mondható, 600 mm körüli csapadékmennyiséggel rendelkező évjáratban a paprika vízigénye nem fedezhető, ezért a hiányzó mennyiséget, az évjárat csapadékviszonyaihoz alkalmazkodva öntözéssel pótolnunk kell. A paradicsom öntözési rendszeréhez hasonlóan a hőigényre alapozott kalkulációnál, a termesztésben ma gyakorlatilag egyeduralkodó folytonnövő fajták esetében, minden 7 °C hőösszeg hasznosulás után indokolt kijuttatni 1 mm öntözővizet. Az aktuálisan használt termesztéstechnológia tulajdonságait figyelembe vételével a talaj vízkapacitásának 60 %-os telítettségénél már indokolt öntözni, ugyanakkor a lokálisan kialakuló, bármikor, váratlanul bekövetkező csapadéokra számítva, ezt 80-85%-os telítettségig indokolt feltölteni szabadföldön, szem előtt tartva a paprika gyökérrendszerének nagy oxigénigényét (Balázs, 2004).

2.4.3 Fényigény

Fényigény tekintetében, mind a megvilágítás hossza, mind pedig az intenzitása szempontjából (néhány fajta kivételével) a paradicsom, a tojásgyümölcs és a paprika is hosszúnappalos, magas fényigényű növények csoportjába tartoznak (Thomas & Vince-Prue, 1996), melyek szabadföldi termesztése esetén a vegetációs időszakban a megvilágítás hossza nem tekinthető limitáló tényezőnek (Balázs, 2004).

2.4.4 Tápanyagigény

Mindhárom vizsgálatba vont Solanaceae faj, még szabadföldi termesztés esetén is az intenzív zöldségkultúrák közé tartozik, amelyekről egységesen elmondható, hogy tápanyagokban gazdag talajokat igényelnek. Valamint, hogy a termesztés során kialakult tápanyaghiány a termésátlagra és a termés ízére kifejezetten negatívan hat (Balázs, 2004). A három faj közül világviszonylatban a paprikatermesztők kifejezetten a laza szerkezetű, tápanyagokban és szervesanyagban gazdag, jó vízelvezető képességű homokos-vályog talajokat részesítik előnyben (Almuktar et al., 2015). A talajok minőségének és szerkezetének fenntartása érdekében, valamint a növények tápanyaggal való ellátása céljából érdemes szervezestrágyát használni mindhárom kultúra esetében, de a mai intenzív termesztés elképzelhetetlen műtrágyák használata nélkül (Balázs, 2004). Ugyanakkor az egyenetlen tápanyag kijuttatás sok esetben a káros ásványi anyagok felgyülemelését eredményezi és só-stressz érheti a növényeket. Ennek az egyensúlyhiánynak számos oka lehet, amilyen például a tápanyagok hozzáférhetősége, a tápanyagfelvétel intenzitása, a növényen belüli tápanyagok particionálása és szállításuk aktivitása, valamint egyéb stressz okozta fiziológiás inaktivitás (Grattan & Grieve, 1998). Ezek figyelembevételével a paradicsom, a tojásgyümölcs és a paprika termesztés során szükséges a növények fejlődésének és kondíciójának folyamatos ellenőrzése, amelyhez kiváló lehetőséget kínál a terepi spektroszkópia (Szuvandzsiev, Bakó, et al., 2014).

2.5 Spektroszkópia

2.5.1 A spektroszkópia általános jellemzése és felhasználása

A gyors-spektroszkópiás vizsgálatok alkalmazási területe meglehetősen széles körű és a rutinanalízisek esetében különösen jelentősek lehetnek, mivel mobilizálható, lényegesen rövidebb ideig tart, mint az analitikai laboratóriumi vizsgálat, költségük a laboratóriumi vizsgálatok töredékébe kerülnek és roncsolás-menetesen elvégezhetőek. Az elmúlt néhány évtizedben előrelépések történtek a mezőgazdasági termékek, az élelmiszeripari nyersanyagok és a kész termékek spektroszkópiás vizsgálatában (Zude, 2008). Az analitikai laboratóriumok

rohamos fejlődése mellett, új érzékelési eljárások és kiértékelési módszerek, eddig soha nem látott eredményeket hoztak élelmiszereink vizsgálatában a természetstől kezdve, a feldolgozáson át, a kész produktumig. Ennek következtében, jó hatásfokkal üzemelő, intelligens módszerek alakultak ki, hogy élelmiszereink minőségi paraméterei és a minőséggel kapcsolatos attribútumok jellemzése nagy pontossággal történjen meg (Abdullah et al., 2004). Míg a spektroszkópiás módszerek könnyebben használható eljárást biztosítanak, mivel roncsolásmentesen zajlik az eszköz használata, több összetevőre vonatkoztatható a mérés vagy az előrejelzés (Gowen et al., 2007), ezen felül a nagy nedvességtartalmú élelmiszerek, vagy élelmiszeripari alapanyagok beltartalmi paramétereinek meghatározása a gyártósor fennakadása nélkül létrejöhet, ami a mérés és adatfeldolgozás gyorsaságának köszönhető (Szuvandzsiev et al., 2014). Az agrotechnikai módszerek segítségével stabilizálódó termésbiztonság és produktivitás a kertészeti termelést sok helyen az agrárszektor tolóerejévé tette. A rendelkezésre álló kertészeti területek erőforrásainak optimális kihasználása, valamint naprakész információgyűjtés a növények fejlettségi állapotáról és az esetlegesen felmerülő korlátozó tényezők lokalizálása az intenzív termelés sarokpontjai. A legfontosabb biotikus és abiotikus faktorok egy jelentős része kontakt és non-kontakt ún. távérzékeléses spektroszkópiás módszerek segítségével már a terepen jól detektálhatóak és így a negatív hatás mérsékelhető, esetleg teljesen meg is szüntethető (Usha & Singh, 2013)(Usha és Singh, 2013). Különböző spektroszkópiás érzékelők segítségével folyamatos kontroll alatt tartás a meglehetősen diverz kertészeti kultúrák esetében is lehetséges. Ez a diverzitás egyaránt vonatkozik a termelés sokszínűségére, illetve a produktum morfológiai-, beltartalmi- és fizikai sajátosságaira. A kereskedelem, a feldolgozóipar és a vásárlók sokszor az alapinformációkat (termőhely, termesztési körülmény, fogyasztható növényi rész) figyelmen kívül hagyva kategorizálják a termékeket, így a zöldség csoportba az extra intenzív üvegházi termelésből származó termék, ugyanazokra a polcokra kerülhet, mint a szabadföldi kertészetekből érkező növényi részek, ugyanakkor ezek jelentős különbségekkel rendelkezhetnek sok szempontból. A betakarítást követően a kertészeti produktumok keresztül mennek post-harvest műveleteken amíg eljutnak a fogyasztóig. Ilyen műveletek az előválogatás, a válogatás, a mosás, a hűtés, az osztályozás méret, fejlettség, valamint minőség szerint, majd ezt követi a csomagolás. Bizonyos kertészeti termékek hűtőházakban, illetve ellenőrzött vagy teljes mértékig módosított atmoszférájú tárolókban akár hónapokat is eltölthetnek. Ezeken felül néhány növényi rész speciális kezeléseken esik át, ilyen a gáz (etilén) és hő segítségével történő érlelés (banán), egyedi csomagolás (brokkoli, karfiol), vágás és kis-zacskós csomagolás (saláta és gyümölcskeverékek) vagy akár a teljes roncsolás (szőlő, olívaolaj) (Ruiz-Altisent et al., 2010).

2.5.2 A spektroszkópia kialakulásának rövid története

1666-ban Isaac Newton Cambridge-i műhelyében egy háromszög alakú üvegprizmát helyezett a napfény útjába, ami egy kör alakú lyukon világított be a szobájába. Egy lapra kivetítve a prizma által disszociált fehér fényt piros-, sárga-, zöld-, kék- és ibolyakék színekre tudta elkülöníteni, ugyanakkor a számára sem érzékelhető, láthatatlan fényre is felhívta a figyelmet, ami olyan mértékig megragadta a fantáziáját, hogy a "spektrumanak", a latin kifejezésből származó "lat spektrum" = "kép a lélekben" nevet adta neki (Freude, 2006). A közeli infravörös sugárzást Friedrich Wilhelm Herschel fedezte fel 1800-ban és határozta meg a 780 nanométertől 2500 nanométerig terjedő hullámhossztartományt. Valamint azt is megállapította, hogy amikor az infravörös hullám eléri a megvilágított mintát, a beérkező sugárzás reflektáció vagy transzmisszió útján tovább terjedhet vagy abszorbeálódik a minta anyagában (Bart et al., 2007). A görög skopein, azaz látni kifejezéssel kiegészült spektroszkópia kifejezést, 1882-ben Artur Schuster használta először egy, a Viktoria királynőnek tartott előadásában (Freude, 2006).

2.5.3 A spektroszkópia fizikai alapjai

Az ultraibolya-, a látható-, és a közeli infravörös tartományban található fény, elméleti leírásának két módja van: tekinthetünk rá úgy, mint a fotonok korpuszkuláris áramlása, vagy mint egy elektromágneses hullám. A fény a közegben elnyelődéskor okozhat az alapállapottól elérő átmeneti gerjesztettségi állapotot, ami nagyban függ attól, hogy a fényenergia és a közeg kémiai összetevői milyen mértékben lépnek interakcióba. A természetben lezajló folyamatokban a fény hatására kialakuló gerjesztettségi állapotok mértéke és az ezzel összefüggésbe hozható kölcsönhatások jelentős különbségeket mutatnak (Gauglitz & Vo-Dinh, 2003). Az ultraibolya és látható tartományban lévő sugárzás elnyelése elektromos töltöttséget és/vagy vibrációs gerjesztettséget okoz a testekben, amelynek visszaállása a nyugalmi alapállapotba két módon történhet. Vagy emisszió vagy lumineszcens emisszió formájában, amelyek spektroszkópiusan szintén jól érzékelhetők (Gauglitz & Vo-Dinh, 2003).

2.5.4 A spektrális tartományok és mérésben betöltött szerepük

Meglehetősen sok, magas nedvességtartalmú szerves anyag halmaz könnyedén átjárható a ultraibolya és a látható tartományba kategorizált sugárzás számára. Ugyanakkor egyes esetekben, bizonyos típusú szerves anyagok jól elnyelik az ultraibolya és a látható sugárzást, amely hasznos információkat biztosíthat a mennyiségi elemzés vagy a vegyületek azonosításakor. Kombinálva a fizikai adottságból fakadó változásokat, mint például az olvadáspontot, az oldhatóság mértékét vagy a forráspontot, az anyagok azonosításában javulnak

az UV-VIS tartomány sikerességi mutatói. Míg, amikor az UV-VIS tartományt kiegészítjük NIR illetve MIR tartományokon belüli mérésekkel, fontos szerkezeti jellemzőket tudhatunk meg (Chen et al., 2013). UV spektrumban vizsgálva a mintákat alacsony hőmérséklet mellett kaphatunk jobb eredményeket a szerkezeti összetételről a minta anyagán belüli alacsonyabb ütközési és forgási energia miatt. Nagy molekulaszervezetű mintákat szobahőmérsékleten vizsgálva finom, gyakran elmosódó szerkezetet adnak a magas forgási energiaszintek miatt. Az oldószerek mintába keverése és az így fellépő kölcsönhatások miatt ez a módszer is fontos alapja az UV-VIS mérések használhatóságának. Az oldószer kiválasztásánál arra kell törekedni, hogy az UV-VIS tartományban láthatatlan legyen, amennyire ez lehetséges. Az oldószerek hatással lehetnek a sáv szélességre és az intenzitásra a különböző abszorpciós sávokban, az UV-VIS tartományon belül bárhol. A poláris oldószerek drámai hatással lehetnek az oldott anyag spektrális szerkezetére. Egy nem poláros oldószer, amilyen például az alkohol, nem létesít hidrogénkötéseket az oldott anyaggal és így struktúra alakul ki. Míg a poláros oldószerek esetében, amilyen víz, az etanol, vagy a metanol hatására hidrogénkötések jönnek létre, amely az oldott anyag spektrális tulajdonságaiban elkent, maszatos szerkezetet vagy lekerekített abszorpciós sávokat eredményez (Workman, 2001).

2.5.5 Hiperspektrális távérzékelés

A hiperspektrális távérzékeléses rendszerekből származó adatok ígéretes lehetőséget nyújtanak a földfelszín, a talaj és a növénytakaró tulajdonságaink elemzésére (Okin et al., 2001). A távérzékelés ezen módjának alkalmazása az alapvető életfeltételeket biztosító anyagok közül a vízre vezethető vissza. Mivel a Föld népességének száma folyamatosan emelkedik, az életet jelentő vízforrásaink, valamint a vízkészletek kapacitásainak és ciklikusságának nyomonkövetése sok szempontból nélkülözhetetlenné vált. A Földön lévő víz távérzékeléses megfigyelésének adatai széleskörű átláthatóságot biztosítottak idő- és költséghatékony módon a mennyisége-, a minősége- és az eloszlása tekintetében, illetve az egyéb erőforrások esetében is lehetőséget jelentettek. A multispektrális képalkotó rendszerekkel ellátott műholdakat és légi járműveket az 1960-as évek óta használják adatgyűjtésre a szárazföld és a víz megfigyelésére. Egy multispektrális rendszer gyakran akár 3-6 vagy még ennél is több spektrális sávból gyűjt adatokat az elektromágneses sugárzás ultraibolya-, látható- és az infravörös tartományából. Ez a meglehetősen elnagyolt, durva kategorizálása a sugárzás elnyelődő és visszaverődő tartományainak az elsődleges korlátozó tényezője a multispektrális szenzorok által gyűjtött adatok használhatóságának. Az elmúlt húsz év fejlesztéseinek köszönhetően nagy előrelépések történtek ezen a területen és kialakult a hiperspektrális

technológia. A hiperspektrális rendszerek lehetővé tették, hogy akár több száz különböző spektrális sávból gyűjthető legyen információ akár egyetlen mérés alkalmával is, ami így, magas szintű részletességet tesz lehetővé a spektrális adatok terén. Azonban nem szabad elfelejteni, hogy ez a fejlesztés, a kutatásban és a gyakorlatban használható hiperspektrális képalkotó technológia költségeit nagymértékben megnövelte, ezen felül a nagy mennyiségű összegyűjtött adat tárolásának, valamint kezelésének a hardware-es és software-es költségei egyaránt emelkedtek. Természetesen a multispektrális érzékelési rendszereknek is számos pozitív tulajdonsága van, lehetővé teszi például, hogy egy homogén növényállományban elkülönítsük a különböző növényfajokat, megkülönböztessük a sziklakibúvást a talajtól, elkülönítsük a tiszta vizet a zavarostól, valamint a mesterséges (sok esetben kamuflázs) objektumokat a természetestől. Viszont a hiperspektrális távérzékeléses képalkotó rendszerek segítségével sok, nagyon keskeny sávon mozgó, egybefüggő spektrális sáv nyerhető ki a látható-, közeli-, közép-közeli-, és már a termikus tartományba is tartozó elektromágneses sugárzásból (Jung et al., 2006). A hiperspektrális szenzorok jellemzően, több százas nagyságrendben gyűjtik a sávok adatait, amelyek lehetővé teszik a reflexiós-, abszorpciós- és emissziós értékek folyamatos egymásra építését az aktuálisan vizsgált tartományban. Ezek a, bár egybefüggő de mégis keskeny sáv szélességekből felépülő hiperspektrális adatok lehetővé teszik a jóval mélyebbre ható vizsgálatát a Föld felszíni vízkészletre vonatkozó jellemzőinek, de más környezeti- és mezőgazdasági vonatkozású változás monitoringására szintén alkalmas non-kontakt és kontakt módon egyaránt. Fontos megjegyezni, hogy a hiper- és multispektrális adatok térbeli elhelyezkedése nem feltétlenül mutat különbséget, viszont az adat spektrális tartományának felbontása, részletessége igen (Kardeván et al., 2005). A spektrális adatok felbontása utal az elektromágneses sugárzást érzékelő szenzor által mérhető tartományok számára és egyben a tartományok szélességére is. Az érzékelők jó hatásfokkal fogják fel az elektromágneses spektrum nagy részét, ugyanakkor romlik a felbontás, ha ezen a széles sávon a kisszámú széles spektrális tartományokat kell elemezni. Míg a multispektrális távérzékelési rendszerek detektálják a több különböző hullámhossz tartományban lévő elektromágneses sugárzást, addig a hiperspektrális érzékelők akár több száz keskeny, spektrális sávban a látható-, a közeli- és közép-közeli-infravörös tartományban érzékelnek. Ez a nagy felbontás a keskeny spektrális sávok elemzésekor megkönnyíti a finom különbségek érzékelését (Govender et al., 2007).

2.5.6 A színek szerepe

Az emberi szem által érzékelhető komplementer, azaz egymást kiegészítő, kevert színeket az evolúció során, az erre specializálódott, két fénydetektáló sejt típus nyeli el, amelyek az emberi szemben, a retinában találhatók. Hozzávetőlegesen 400-700 nanométeres hullámhossztartományban érzékelnek, majd továbbítják az ingerületet az agyba (Gerd et al., 1999). A szín az anyag meghatározó tulajdonsága, ami rendkívül erősen összefüggésbe hozható az abszorpcióval és a reflexióval. A gyakorlati életben, a szín érzékelése nagyon összetett és számos tényezőtől függ, többek között a megvilágítás spektrumától és abban az esetben, ha az anyag szilárd, a felületi szerkezettől (Gauglitz & Vo-Dinh, 2003). A színek fontosságát az is jól jelzi, hogy a fogyasztók részéről az élelmiszerek megjelenésében a színe a fő szempont és ez egyben minőségi tulajdonság, ami alapján a termékről a vásárló a döntést meghozza. A színérzékelés bonyolultsága az élő anyagok, az élelmiszerek tekintetében is fennáll, ugyanakkor alapvető információkkal szolgál és szorosan kapcsolódik olyan minőséget jelző paraméterekhez, mint a frissesség, az érettség, a változatosság, valamint a homogenitás is. Így az első megítélés mindig a szín alapján történik és csak az után jönnek más attribútumok, mint az illat vagy az íz. Ebből fakadóan a feldolgozó- és élelmiszeripar számára szintén nélkülözhetetlen a termék megfelelő színe, amit a fogyasztók vásárláskor érzékelnek (D. Wu & Sun, 2013). A különböző színtartományok elemzésére eltérő módszerek alakultak ki. Az élelmiszerek színének mérésére leggyakrabban használt eszközök $L^* a^* b^*$ rendszerben végeznek méréseket, amelyek nagyon közel állnak az emberi szem általi érzékeléshez. A színtartományokon belüli számszerűsítés érdekében két- illetve háromdimenziós koordináta-rendszereket használunk. Az L^* érték a lumineszcenciát, azaz a minta fényességét, világosságát értékeli, az a^* érték a zöldből a pirosba való átmenetet detektálja, míg a b^* érték a kékből a sárgába való változást számszerűsíti (León et al., 2006). Egy másik roncsolásmentes színmérési lehetőség, az ultraviola-, a látható- és az infravörös tartományban mérő hiper- és multispektrális eszközök használata, amelyek a minta mérését és software-s elemzést követően képesek fontos beltartalmi összetevők detektálására, valamint mennyiségük meghatározására (Xiaowei et al., 2014).

2.5.7 Spektroszkópiás eszközök

Létezett néhány alapvető eszköztípus, amely alkalmas volt az optikai mérésre és a spektrális tulajdonságok meghatározására, ezek továbbfejlesztésével, ma már gyakorlatilag egy okostelefon optikai háttére és egy optikai rács alkalmas lehet spektrális mérésre. Az alapeszközök és modern változataik mérésének alapját abszorpciós-, reflexiós-, fluoreszcens-,

vagy a Raman spektroszkópia kondenzált és gáz alapú mintáinak színképelemzése adja. Alapvető típusaik a monokromatikus, a polikromatikus és az interferométeres mérési módszerek, melyeknél a sikeres, valamint informatív méréshez az anyag tulajdonságaihoz alkalmazkodva szükséges a hullámhossz megválasztása. Az optikai spektroszkópia mérési tartománya a 200 és 500 nanométeres spektrális sávban kezdődik, amely apavetően az ultraviola, valamint a látható fény tartománya. A hagyományos abszorpciós és reflexiós mérések az ultraviola (UV)-, a látható (VIS) -, a közeli infravörös (NIR) -, a középközeli-infravörös (MIR) - és a távoli infravörös (FIR) tartományokra vannak optimalizálva. Sok kereskedelmi eszköz képes tartományokon átívelő méréseket végezni (UV/VIS/NIR vagy MIR/FIR) és az innen származó adatokat kezelni. Ugyanakkor a fényforrások, a detektorok és egyéb optikai komponensek bonyolultsága korlátozó tényezőként hat az eszközgyártásban. Egyelőre nem alkottak olyan egységes spektroszkópiás eszközt, amely a régiókat teljes lefedő, a különböző abszorpciós, emissziós és reflexiós folyamatokról pontos tájékoztatást tudna nyújtani (Gauglitz és Vo-Dinh, 2003).

2.5.8 Magas nedvességtartalmú kertészeti termékek vizsgálata spektroszkópiás módszerekkel

Az agráriumból származó élelmiszer-alapanyagok vagy már kész élelmiszerek esetében más jelentéssel bír a minőség és az élelmiszer-biztonság, ugyanakkor mindkét termékcsoport tekintetében a produktum osztálya, valamint a célpiacok kritériuma jelentősen befolyásolják értékeiket. A termékek érzékszervi értékelése a legrégebbi, ugyanakkor ma is napi gyakorisággal használt minősítési módszer. A gyakorlatban az értékelést a fogyasztók egy véletlenszerűen kiválasztott csoportja és professzionális élelmiszerelemző szakemberek is végzik. Ez az eljárás viszonylag gyors, de aligha alkalmas nagy mennyiségű minták elemzésére, aminek legfőbb oka az emberi szervezet telítődése és fáradékonysága, valamint jelentős faktort képvisel a szubjektivitás ebben a rendszerben. Ezzel ellentétben a kémiai elemzés meglehetősen objektív eredményeket képes szolgáltatni, különösen akkor, ha az adott mintából már előzőleg vannak mérési eredmények. Még ennél a mérési módszernél is, a pontos eredmény elérése érdekében a megfelelő kalibrálás nélkülözhetetlenül szükséges, ahogy sok esetben a minta komplex, több szakaszos feldolgozása, illetve szakértői elemzése. Mivel egy ilyen kémiai elemzés során a minta súlyosan roncsolódik vagy teljesen megsemmisül, nincs lehetőség a folyamatos nyomon követésre, így a termékpálya során a produktum átalakulásának kronológiai elemzése sok esetben nehézségekbe ütközik. Ezen felül a minták kémiai roncsolásához gyakran szükség van rákkeltő- és/vagy mérgező hatású vegyületekre, amelyeket

a mérést követően meg kell semmisíteni, így ökológiai veszélyt is jelenthetnek (Alander et al., 2013). A látható és közeli infravörös tartományú spektroszkópiás mérések, valamint ezek kiegészítését szolgáló kemometriai vizsgálatok alkalmasak lehetnek a zöldségekben és gyümölcsökben keletkezett antioxidáns hatású vegyületek, érési folyamatok vagy károk detektálására (G. Wu & Wang, 2014). A cukor és ebből adódóan a vízdoldható szárazanyag tartalom, a nedvességtartalom, az antioxidáns vegyületek mennyisége és mechanikai tulajdonságok sok élelmiszeripari alapanyag fontos értékmérője. Általánosan elmondható, hogy a betakarítást követő szállítás, tárolás, tisztítás, feldolgozás és csomagolás számos, sok esetben roncsoló hatást gyakorolhat a termékre (Pan et al., 2015; Szuvandzsiev et al., 2014). Alander és munkatársai (Alander et al., 2013), munkája alapján a spektroszkópiás mérések szerinti termékcsoport kategóriáknak három nagy egysége létezik:

1. folyékony minták
2. viszonylag kis szilárd anyag tartalmú, de nagy nedvességtartalmú minták
3. teljesen szilárd minták

A mezőgazdasági termelésből származó produktumok valamelyik kategóriába besorolhatók, illetve a termék előállítás során egyik kategóriából a másikba kerülhetnek át. A spektrális-, elsősorban a közeli infravörös tartományban történő mérések széles körben elterjedtek és használt módszerek a fehérje-, az olaj-, a keményítő-, a rost-, vagy a nedvességtartalom meghatározására (McCaig, 2002). A VIS/ NIR spektroszkópiás mérések a molekuláris elrendeződésén és ezen molekulák kombinációs rezgésén alapulnak, amik egy teljesen egyedi, biokémiai jellemzőktől is függő spektrális információkat nyújtanak. Ezek a biokémiai jellemzők gyakran a molekulákat alkotó szén-hidrogén, oxigén-hidrogén és nitrogén-hidrogén kémiai kötésekben alapulnak. Az egyedisége miatt hívják ezeket az információkat spektrális ujjlenyomatnak (Wu & Wang, 2014). Minden olyan tényező vagy anyag, amely közvetlen vagy közvetett úton a fogyasztóra nézve veszélyes élelmiszer biztonsági kockázatnak minősíthető. Idegen anyagok, szennyezett anyagok, állagromlás, biológiai ágensek, például gombák, élesztőgombák, penészgombák, baktériumok, vírusok jelenléte (Alander et al., 2013). Ezek detektálásához, a kár mértékének megállapításához a spektrális mérések alkalmasak lehetnek. Egy ilyen esetben a spektrális mérések alapját a roncsolt szöveti területeken bekövetkezett fizikai és kémiai változások kapcsán kialakult, normálistól eltérő vibráció terjedése adja. Széles körben elterjedt és jól értékelhető eljárás a különböző fajtájú zöldségekben és gyümölcsökben okozott szövetkárosodás meghatározása. Többek között ilyen az alma, a körte, az őszibarack, sok trópusi faj, mint a longan vagy a japán viaszbogyó, valamint néhány jelentősebb zöldség,

mint a paradicsom vagy a paprika. Jól kidolgozott optikai technikák léteznek a termékek felületi károsodásának kimutatására és fluoreszcenciás mérési módszerek, amely alkalmas a zúzódások vagy az enyhe hűtési sérülések detektálásához nagy klorofill tartalmú termékek esetében is. Ipari kamerák képesek kategorizálni a gyümölcsöket méret, szín és egyéb megjelenési indexek alapján, azonban ezek a módszerek leginkább a felületi paraméterek, esetlegese sérülések azonosítására alkalmasak. Bár az X-sugaras- és a mágneses rezonanciavizsgálatok nagy potenciállal rendelkeznek a belső struktúra értékelése tekintetében, ezek a berendezések rendkívül drágák és nem alkalmasak on-line rendszerek, gyors, rutinanalíziseinek az elvégzésére (Wu & Wang, 2014). Roncsolásmentes spektrális mérések továbbá alkalmasak a termékek, például a paradicsom érettségének és textúrájának meghatározására. A bogyó keménysége a szövetek merevségével függ össze, amit a kompressziós méréseken túl már spektrális vizsgálatokkal is meg lehet határozni. Ezen felül a beltartalmi értékekkel szorosan összefüggő szín meghatározása is lehetséges. Az egymáshoz közel álló, de más érettségi fázisban lévő termékek, bogyók elkülönítése 100%-ban megoldott, valamint a feldolgozóipar számára lényeges vízdoldható szárazanyag tartalom szintén jó hatásfokkal becsülhető (Sirisomboon et al., 2012). Többek között a termékekben található nagy mennyiségű víz és ezek spektrális mérésekben okozott csúcsainak kiszűrése, valamint a pontosság fokozása érdekében szükséges egy nagyméretű adatbázis létrehozása, amely a terméstípusok egységessége mellett, megfelelő variabilitással is rendelkezik. Szükséges figyelmet fordítani a fajták közötti különbségekre és ezekhez adaptálódó kalibrációs modellek kialakítására (Penchaiya et al., 2009).

2.6 Stressz

Termesztésbe vont növényeink számos olyan tényezőnek vannak kitéve, amelyek korlátozhatják életteljesítményüket, lelassítják vagy gyakran le is állítják növekedésüket, valamint negatívan hathatnak a vegetatív és generatív fejlődési szakaszokra. Ilyen korlátozó stressz-tényezők azokon a területeken is kialakulhatnak egy-egy szűk lokalitásban és/vagy időlegesen a termőkörzetekben, ahol egyébként az adott kultúrnövényeket eredményesen lehet termesztani. A fellépő stressz hatáshoz bizonyos mértékig a növények habitusukkal, testük alakulásával és egyes organelleik működésével, illetve anyagcsere-folyamataik modifikálásával tudnak alkalmazkodni (Szigeti, 2013). A növény, vagy a növényállomány szempontjából különbséget kell tennünk az eltérő stressz tényezők között, így megkülönböztethetünk rövid távú és hosszú távú, akár az egész életciklusra negatívan ható feltételeket. A stressz hatás ereje szempontjából, léteznek alacsony stressz hatású események,

amelyeket részben vagy egészben ellensúlyozni képes a növény az adaptációs-, akklimatizációs képességeivel, illetve a működő javító-, regeneráló mechanizmussal, valamint létrejöhetnek erős stressz hatású események, amik a sejtek, szövetek elhalásához vezethetnek és végső soron a növény pusztulását okozzák. Az adott stresszer forrása lehet abiotikus, biotikus vagy antropogén, amelyek eltérő hatást fejtenek ki és így a válaszreakciók is különbözőek a növény részéről (Lichtenthaler, 1996). A stressznek számos, igen gyakran a köznapi nyelvben is használt jelentése is van, ezért az élettani meghatározása igen fontos. Stressz akkor jelentkezik, ha az organizmus extrém, kedvezőtlen körülményeknek van kitéve, azaz kívül kerül a számára normálisként jellemezhető tartományból (Szigeti, 2013). Ugyanakkor figyelembe kell vennünk azt is, hogy a dinamikusán változó környezeti feltételekhez való alkalmazkodás, egy bizonyos mértékig normális anyagcsere-folyamatokat tesz lehetővé, tehát a napi- és szezonális ciklikusságok gyakorlatilag optimálisnak mondhatók, így azok nem feltétlenül eredményeznek stresszhatást (Shao et al., 2008).

2.6.1 Abiotikus stresszerek

A növények gyakorlatilag immobilis élőlényeknek tekinthetők így növekedésük és fejlődésük nagymértékben függ az élettelen környezeti feltételektől. Ezek az abiógén feltételek, abiotikus hatást fejtenek ki, amelyek gyakran kihívást jelentenek a növénynek, stresszerként mutatkoznak az ökológiai vagy termesztési rendszerekben. Ilyen tényezők a fény mennyisége és minősége, az ásványi táplálkozás szempontjából jelen lévő anyagok kimerülő vagy éppen toxikus mértékig való felhalmozódása, a túlságosan magas vagy alacsony hőmérséklet és az elérhető, hasznosítható vízkészlet. Ezekhez a változó környezeti feltételekhez való alkalmazkodás a növények fejlődését rendkívül rugalmassá és jól szabályozhatóvá tette. Az evolúció során a vadon élő növényfajok az alkalmazkodás különböző szintjeit fejlesztették ki, amely meghatározza földrajzi eloszlásukat. A mezőgazdasági környezetben és azon belül a különösen intenzíven művelt kertészeti termelésben agrotechnikai elemek alkalmazásával a hozamok meglehetősen jól szabályozhatók. Szélsőségesen és váratlanul bekövetkezett abiotikus stressz hatások sok esetben igen jól kiküszöbölhetők (Dolferus, 2014).

2.6.1.1 Napégés, fény stressz

A Földön a biomassza-termelés mértéke nagyrészt a fotoszintézistől függ. A növények felveszik a széndioxidot a légkörből és fényenergia segítségével szénhidrátok előállítására használják, amilyen a szacharóz vagy a keményítő. A fotoszintetikus szén jelenléte a hajtóereje a biomassza-termelésnek, de sok más tényező is befolyással van a növények növekedésére és fejlődésére (Baxter et al., 2005). A fotoszintetikusan aktív radiáció (PAR) mint primer

energiaforrás, az egyik legfontosabb abiotikus környezeti tényező a növényi élet szempontjából. A fény bizonyos mértékű intenzitása és minősége nélkülözhetetlen a növények növekedéséhez, morfogeneziséhez és fiziológiai reakciókhoz (Fan et al., 2013). A szoláris radiáció (SR) természetes összetevője az ultraibolya (UV) sugárzás, amely 100-400 nanométeres tartományban található és három fő sávra osztható, melyek az UV-A (320-400 nm), az UV-B (280-320 nm) és az UV-C (200-280 nm). Az ózonréteg elvékonyodásának következtében az UV-B sugárzási tartomány szinte teljes egésze éri a Föld felszínét az elmúlt néhány évtizedben. Korábbi tanulmányok (1980-as évektől 2000-es évekig) központjában az erősödő UV sugárzás volt és annak hatása a növényekre. Ebben az összefüggésben jelentősebb károsodásokat lehet megfigyelni, a kitétség, bizonyos lokalitásokban különösen erős közvetett vagy közvetlen stresszhatásként éri a növényeket. Roncsolja a DNS-t, negatívan hat a fotoszintézis aktivitására, fajtól függően akár a tápértékre is, valamint gyakran jelentkezik növekedési és fejlődési zavar (Müller et al., 2013; Topcu et al., 2015).

A szabadföldi termesztésben az elmúlt néhány évben folyamatos intenzifikálódási folyamatok zajlottak le, amelyek ma is tartanak. Ilyen, intenzívebb termesztést elősegítő technológiai elem a támrendszeres művelés, a precíziós víz és tápanyag utánpótlás, a bakhátak alkalmazása, vagy a műanyag mulcs, azaz a polietilén talajtakaró fóliák használata, amelyek széles körben elterjedtek a világon. Különösen igaz olyan nagy termelési értékű zöldségnövények esetében, amilyenek például a Solanaceae fajok. A talajtakaró fóliákat azért használják világszerte, mert nagymértékben növelik a gyökérzónát adó talajréteg hőmérsékletét, ami rendkívül pozitív hatású lehet olyan melegigényes növények esetében, mint a paprika (Locher et al., 2005), illetve jelentős gyomelnyomó hatással is rendelkeznek. A talajtakaró fóliákhoz hasonlóan, az ún. fotoszelektív hálók is jelentős pozitív hatással lehetnek az alattuk fejlődő kultúrára, mivel képesek módosítani a szoláris radiációt, javítva a fény minőségén a növények számára. Ez elsősorban abban nyilvánul meg, hogy a hálók a beérkező direkt fény jelentős mennyiségét alakítják át a növények számára kedvezőbb diffúz fényre, így a kultúrát érő sugárzásban a szórt fény relatív aránya lényegesen magasabb lesz. Ezen felül bizonyos spektrumtartományba eső fényt teljesen el is nyelnek, amelyek káros hatást fejthetne ki az növényekre (Selahle et al., 2015). A fotoszelektív hálók egy másik agrotechnikai koncepciót is képviselnek, miszerint nem csak differenciált szűrést biztosítanak a sugárzás terén, de fizikai védelmet is nyújtanak. Ezek együttesen pozitív hatással vannak a termések külső és belső tulajdonságaira, méretére és színére (Ilić et al., 2012). Ugyanakkor a fotoszelektív hálók által kifejtett spektrummodosító hatás a paprikában előforduló bioaktív vegyületekre, piros és sárga színyanyagok mennyiségére még nem teljesen tisztázott hatást gyakorolnak (Selahle et al. 2015; Ombódi et al., 2016). De a

termésbiztonságot növelő spektrummódosító hatáson és fizikai védő funkción túl a hálók védőréteget képviselhetnek nagyobb méretű károsítókkal szemben, így lényeges szempont, hogy kevesebb mennyiségű növényvédő szer válik szükségessé a kártevők elleni védekezésben. Ebből kifolyólag csökkenti a környezeti terhelést és a humán-egészségügyi kockázatok kialakulását egyaránt (Kitta et al., 2014).

2.6.1.2 Ásványi anyagok és a só stressz

A magasabb rendű növények 14 esszenciális tápelem optimális jelenlétét követelik meg a közegtől, hogy növekedésük zavartalan legyen, ugyanakkor vannak korlátozott számban olyan növényfajok, amelyek jelentősebb mennyiségben igényelnek klórt és nikkelt is. Az esszenciális tápanyagok első csoportjába tartozik a szén, a hidrogén, az oxigén, a nitrogén és a kén. Ezek az elemek alkotják a bázisát az aminosavaknak, a nukleinsavaknak, a fehérjéknek és az enzimrendszernek, amelyek az élet alapkövei. A növényi életfolyamatok szoros kapcsolatban vannak az oxidációs- és redukációs folyamatokkal, amelyekhez nélkülözhetetlenek a második csoportba sorolt elemek, ami a foszfor, a bór és a szilícium. Biokémiai szerepük rendkívül hasonló, hiszen mindhárom a növény a talajoldatból anionos formában feshi fel, ebben a formában megtalálhatók a növényi sejtekben, illetve hidroxil csoportokhoz kötődve cukrokat hoznak létre, mint a foszfát, a borát vagy a szilikát. A növényi tápanyagok harmadik csoportját a kén, a kalcium, a magnézium, a nátrium, a mangán és a klór alkotja, amelyek a talajoldatból ionos formában kerülnek felvételre. Ionos formában található meg a növényi sejtekben, ahol a nem specifikus funkciók ellátásában van szerepük, mint például az elektron-potenciál létrehozása. Ugyanakkor a magnézium, rendkívül erős kovalens kötéssel kelátot hoz létre és így a klorofill molekulát alkotója. A magnézium, a mangán és a kalcium tulajdonsága, hogy kelátot képezzen, hasonlóvá teszi ezt a három elemet, a negyedik csoportba tartozó elemekhez. Ezek a vas, a réz, a cink valamint a molibdén, amelyek szintén kelát formájában vannak jelen a növényben és a fő funkciójuk a vegyérték változás megkönnyítése (Kirkby, 2011).

2.6.1.3 Hőmérséklet és hő stressz

Az alapvető, növényeket érő, abiotikus stresszerek közül legnagyobb mértékben és a leginkább mérhető módon, globális tekintetben a hőmérséklet változott az utóbbi évtizedekben. Az abiotikus környezeti hatások egymást nagymértékben befolyásolhatják, felerősíthetik, mivel a bolygó összességében egy dinamikus változó rendszerként modellezhető. Az elkövetkezendő 50-100 évre levetítve a Föld felszínének hőmérséklete 3-5 °C-ot fog emelkedni a kutatók prognózisai szerint (Polle & Luo, 2014). Ezen változásoknak az előjelei már megmutatkoznak kultúrnövényeinken és így a termesztés során szükséges az ehhez való alkalmazkodás is.

2.6.1.4 Vízhiány és szárazság stressz

A növények vízhiánya és a szárazság stressz összetett reakciót vált ki. Elsősorban befolyással van a vízvisszatartásra a növényi sejtekben, szövetekben és szervek szintjén is. Egyaránt okozhat specifikus és nem specifikus válaszreakciókat, ezeken felül hosszantartó adaptációt indukálhat vagy esetenként károsodhatnak, el is halhatnak a szövetek. A növények egy bizonyos mértékig képesek megbirkózni az aszály okozta vízhiánnyal a védekező mechanizmusaik révén. Ilyen védekező mechanizmus a sztómák záródása, ami nagymértékben képes csökkenteni a transpiráció mértékét, illetve új fehérjék szintézise, valamint az ozmotikumok felhalmozása (Cvikrová et al., 2013). Markánsabb szárazság stressz esetén az erre mutatott optimális mértékű válaszreakció és a tolerancia kulcsfontosságú a minél alacsonyabb károsodás elérése érdekében. Ezek a válaszok kémiai vegyületek szabályozó mechanizmusain keresztül valósulnak meg, amelyek például serkentik a sztómazáródás révén az anyagcserefolyamokat a levelekben, illetve befolyásolják a nettó fotoszintetikus aktivitás mértékét, valamint az intercelluláris széndioxid koncentrációt. A növényi hormonok közül az egyik legjelentősebb az abszcizinsav és a brassinosteroid, amelyek együttes jelenléte enyhíti a szárazság okozta stresszt és csökkentik a vízvesztésüket (Shinohara & Leskovar, 2014; Yuan et al., 2010). Mind a szárazság stressz, mind pedig a vízvesztés csökkentése különösen fontos olyan magas víztartalmú termékek esetén, mint a paradicsom, a tojásgyümölcs vagy a paprika.

2.6.1.5 Stresszerek és stressz hatás fokozása

A rutinszerűen vizsgálatba vont haszonnövényeink közül sok, rendszeresen szenved különböző abiotikus stressz hatástól világszerte. A külön-külön tanulmányozott stresszerek, amilyen például a hő-, a szárazság-, a fény-, vagy a só stressz, az intenzív kutatás része évtizedek óta. Azonban egy mezőgazdaságilag művelt területen haszonnövényeink és az egész életközösség gyakran az abiotikus stresszerek kombinációival néznek szembe. Például egy aszály sújtotta területen kialakulhat hő-, vagy só stressz, amely együttállás haszonnövényeinktől további molekuláris és metabolikus választ követelnek. Ezt támasztja alá Mittler összefoglaló munkája, amely a kombinálódott stressz tényezők bonyolultságát emeli ki (Mittler, 2006). A kombinálódott stresszerek komplex jellege miatt, növényeink tolerancia nemesítéséhez feltétel az ezt kódoló esszenciális gének feltérképezése és ellenőrzése, amely nagy technikai kihívást jelent. Ugyanakkor szükséges azt is látni, hogy növények magas fokú toleranciája vagy rezisztenciája a különböző stresszerekkel szemben nagymértékben párosul az elvárhatótól gyengébb növekedési eréllyel és termésmennyiséggel. Ezért a jelenlegi technológiai fejlesztések mellett, nagy termőképességgel rendelkező, értékes kertészeti növényeinket

érdemes agrotechnikai módszerek segítségével védeni. Jelentős kertészeti növények esetében a szik- és lomblevelek flavonoid tartalmának megnövekedését, valamint a biomassza tömeg és levélfelület csökkenését figyelték meg, amikor magas UV-B sugárzást szárazság stresszel kombináltak (Tevini et al., 1983). Bizonyos stresszerek kombinációja viszont előnyökkel is járhat, például ózon stressz esetén a növények toleranciája nagymértékben megnő különböző növénypatogének támadásával szemben. Ha viszont ózonizált növényeket neveltek magas sótartalom jelenlétben, akkor a kultúra hajtás- és gyökérrendszerének növekedésében egyaránt depresszió figyelhető meg. Az esetek nagy többségében a hosszan tartó abiotikus stresszerek hatása a növények védekezésének gyengülését okozza, és fokozott érzékenységet alakít ki a biotikus stresszfaktorok iránt, mint például a kártevők vagy a kórokozók (Mittler, 2006; Welfare et al., 2002).

3 ANYAG ÉS MÓDSZER

3.1 A kísérleti tér rövid története

Kísérleteimet a Szent István Egyetem Kertészeti Intézetének Oktatási, Bemutató és Kísérleti Telepén végeztem, amely Gödöllőn található az Alsóparkban. A terület a Gödöllői-dombság része, melyről Krassay (2010) leírása alapján tudjuk, hogy erdő boríthatta, amíg Grassalkovich I. Antal 1723-ban birtokba nem vette. Ezt követően lényeges változások történtek a területen. Többek között vadaskertet alakítottak ki, apró- és nagyvadakkal a magasabban fekvő területeken. A birtok északi részén, a kastéllyal szemben díszkertet hoztak létre, illetve egy termelő, zöldséges kertet is, amely a mostanáig funkcionáló tanüzem területének jelentős részét lefedte. 1873-ban megkezdődött az Alsópark általános rendezése; ekkor betemették a kastéllyal szemben levő, 1817-ben, III. Antal idején a Rákos-patak felduzzasztásával létrehozott Hattyús tavat, majd 1894-ben a kertészet mellett levő tó feltöltésére is sor került. A jelentősebb terület átalakítás része volt a homokkal való feltöltése bizonyos területeknek, amelynek a nyomait ma is tökéletesen lehet látni. A Kertészeti Tanszék 1954-ben történt megalakulását követően az egyébként is termelő MgTSz kertészeti egység irányítása alá került ez a terület. A Kertészeti Tanszék Tanüzemének területén közvetlenül a megalakulása után, már az ötvenes évek közepén megkezdődtek a kísérleti munkák. Leginkább vízforgalmi kutatások beállítására került sor, majd 1960-tól annyi módosítás történt, hogy szabadföldi kísérletekben is vizsgálták az öntözés termésre gyakorolt hatását, elsősorban paradicsomon (Helyes & Varga, 1994). Az elmúlt 60 évben megszakítás nélkül voltak tápanyag- és vízutánpótlási, valamint fajta-összehasonlító kísérletek különböző zöldségnövények kapcsán, de fontos megjegyezni, hogy a szabadföldi ipari paradicsom-öntözési kísérletek folyamatosan megőrizték jelentőségüket (Helyes & Pék, 2013). Ebben az időszakban a területet kettészelő Rákos-patak jobb és bal partja is művelés alá volt vonva. Káposztafélék valamint hüvelyes növények termesztésével, és így a vetésforgók pontos betartásával próbálták a kísérleti főnövényeket a legjobb körülmények között termesztetni. A 90'- évek közepétől jelentősebb kutatói profilváltás történt a Kertészeti Tanüzemben, amely alapvetően az intenzív zöldségtermesztés irányába terelte az alkalmazott termesztéstechnológiát is. Koncentráltabban kezdték kutatni a *Solanaceae* családba tartozó jelentősebb fajokat, leginkább a paprikát és a paradicsomot, illetve ezek intenzív termesztésben, hajtásban alkalmazott fajtáit. Az intenzifikálás jól megmutatkozott abban is, hogy a tanüzem egyik fő növénye lett a folytonnövő támrendszeres paradicsom, szabadföldi és növényházi hajtásban egyaránt, amely több mint húsz évig meg is őrizte a jelentőségét. Az intenzív zöldségtermesztés irányába történt váltás jelentős átalakításokat követelt a

termesztéstechnológia részéről, elsősorban a vízkijuttatás módja változott. Az esőztető öntözést felváltotta a talaj szerkezetét kímélő, lényegesen precízebb vízkijuttatást lehetővé tevő csepegető öntözés és tápanyag utánpótlás. Ugyanakkor ezzel a váltással együtt járt a vetésforgó kihagyása is a területen és a sok kisebb méretű parcellán megjelent a monokultúrás termesztés és az ezzel járó problémák is (Jeney & Krassay, 1997).

3.2 Kísérletek beállítása

Szabadszíri kísérleteim során arra kerestem a választ, hogy a különböző abiotikus stressz tényezőknek kitett ipari paradicsom-, tojásgyümölcs-, és paprikaállományok, hogyan reagálnak a tenyészidőszak során az eltérő körülményekre, illetve, hogy ezeknek a stressz tényezőknek milyen hiperspektrális módszerrel detektálható jelei mutatkoznak a növényállományok levelén és terméseinek beltartalmi értékén. Ennek elérése érdekében szabadszíri körülmények között eltérő öntözési vízádagokkal ipari paradicsom, tojásgyümölcs és Kápia típusú paprika állományokat neveltem 2012-2015 között, valamint 2013-ban, szintén szabadszírdön különböző színű árnyékoló hálós takarással, un. „screen house” technológiával, egy szárra metszve, Kápia típusú paprika növényeket neveltem. Tehát az abiotikus környezeti tényezők vonatkozásában leginkább szárazság- és besugárzás okozta stressz hatott a növényállományokra negatív tényezőként.

3.3 Fajták

3.3.1 Paradicsom

Doktori munkám során felhasznált ipari paradicsomfajták közül a legjelentősebb az Uno Rosso F1 fajta volt, amely a teljes kísérlet gerincét biztosító fajta volt. Az Uno Rosso F1 fajtán kívül, más hagyományos bogyó-átlagtömegű fajtát is használtam, amilyen a Heinz 9663 F1, a Triple Red F1 és a UG Red F1, illetve egy különlegességnek számító ipari cseresznyeparadicsomot is kísérletbe vontam, ami a Strombolino F1 hibrid volt.

Uno Rosso F1: Négyzetes bogyója gépi betakarításra kifejezetten alkalmas, 65 g bogyó átlagtömegű fajta, melynek óriási jelentősége van például a Török piacon. Kifejezetten magas minőséget képvisel, mint kockázott paradicsomkonzerv.

UG Red F1: Magas hozamú, egyszerre érő, egyenletes bogyóméretű, gépi betakarításra nemesített, 65-75 g bogyó átlagtömegű, korai, kemény bogyójú, magas szárazanyag-tartalmú, püréje közepes viszkozitású, magas likopin tartalmú fajta. Tulajdonságait figyelembe véve kockázott paradicsom-konzervként és püréként biztosítja a legmagasabb minőségi kategóriát.

Triple Red F1: Magas hozamú, egyszerre érő, gépi betakarításra kifejezetten alkalmas, 75-80g bogyótömegű, nagyon korai érésű, egyenletes méretű, kemény bogyójú, jó szárazanyag-tartalmú, közepes viszkozitású, magas likopin tartalmú fajta. Tulajdonságait figyelembe véve kockázott paradicsom-konzervként és püréként biztosítja a legmagasabb minőségi kategóriát (Orosco, 2017).

Heinz 9663 F1: Középerésű, szárazságtűrő, 85 g bogyó átlagtömegű, joint-less típusú, alacsony nitrogén igényű, normál színű, magas likopin tartalmú fajta, amely kifejezetten nagy mennyiségű virágot fejleszt és bogyót köt (Heinz Seed, 2014).

Strombolino F1: Korai érésű, kifejezetten erős növekedésű és nagy terméskötődő képességgel bíró fajta. Bogyója 13-18g átlagtömegű, szabályos gömb alakú, konzervipari és frisspiaci felhasználásra nemesített fajta (Orosco, 2017).

3.3.2 Tojásgyümölcs

Hazánkban mind frisspiaci, mind pedig élelmiszeripari felhasználását tekintve lényegesen alacsonyabb potenciálokkal rendelkező tojásgyümölcs változatossága ellenére egy hibridet vontam be kísérleteimbe, ami a Barcelona F1 volt.

Barcelona F1: Erős növekedése ellenére rövid ízközöket fejlesztő, extra minőséget adó, korai fajta, amely termésének sötét színét a legnagyobb forráságban is megőrzi. Csészelevele tüskementes, kemény, nyúlt csepp alakú termése jól pulton tartható. Termőképessége kiemelkedő fóliás és szabadföldi termesztés esetén is (Orosco, 2017).

3.3.3 Paprika

A szabadföldi paprikakísérletemben, a Balkánon elterjedt és már Nyugat-Európa-szerte is nagy népszerűségnek örvendő Kápia fajtakörbe tartozó Karpia F1 (T119) és Karpex F1 (SK 10) paprikákat használtam. A két hibrid közös jellemzője, hogy folytonnövő, középerős növekedésű, zöldből pirosra érő fajták. A termés méretében és színesedésében igen nagymértékű egyöntetűség érhető el, amely a frisspiaci fogyasztás és a feldolgozás szempontjából egyaránt jelentős.

Karpia F1: bogyója 12-15 cm hosszúságú, vállátmérője 4-6 cm közötti, húsfal vastagsága 5 mm. Stressztűrő képessége kiemelkedő, ez jelentősen megkönnyíti a termelhetőségét, így magas termésátlaggal termesztethető, korai magas piaci potenciál mellett.

Karpex F1: intenzív technológiai elemek alkalmazásával a termesztésében kiemelkedően magas termésátlagokat képes adni, emellett hosszú pulton tartható (Semini Hungária, 2015).

3.4 A kísérleti növényállományok létrehozása

3.4.1 Szaporítás

A palántanevelés során a pontos vetésidőket mindéképpen be kell tartani, ezt a kiültetés időpontjához kell igazítani, úgy, hogy az ültetési kapacitásokat is figyelembe vesszük. A túl korai palántázás növeli a palántanevelés költségét és a palánták gyökerének elöregedéséhez is vezet, viszont a túl kései palántázás fejletlen növényeket eredményezhet, ami a betakarítás és a feldolgozás időpontját tolja ki. Konzervipari célú, determinált növekedési típusú paradicsomfajták vetésére március közepén van az optimális időpont. Mivel a növények 5-6 hetet töltenek palántanevelőben, vagy szikleveles korban tűzdeljük, vagy pedig nagyobb teret hagyva az egyes növényeknek a magokat ritkábbra vetjük (Helyes, 1999). A paradicsomtól kicsit eltérően a tojásgyümölcs- és paprika palántanevelés is 6-8 hétig tart, ugyanakkor a kiültetés évjárat-hatástól függően szintén május első dekádjáig. Tehát érdemes ezt a két fajt egy-két héttel a paradicsomvetés előtt elvetni, ami március elejét jelent. Ugyanakkor figyelembe kell vennünk azt, hogy a vetés időpontjának meghatározásában minden környezeti paraméter komoly befolyással bír, valamint azt, hogy az optimálisnál fiatalabb, valamivel fejletlenebb palánta használata sokkal kisebb szakmai hiba, mint az elöregedett, besült gyökerű, sok esetben megnyúlt növényeké (Balázs, 2004; Zatykó & Márkus, 2010). Kísérleteim során végzett szaporításokat a könnyebb kezelhetőség és palánták megnyúlásának elkerülése érdekében, szabvány 66-os szaporító tálcába végeztem, ahol minden cellába egy mag lett vetve. A vetéshez és így a palántaneveléshez egyaránt, minden évben fel-láp tőzeg alapú keveréket használtam, melynek tömörítése és beöntözése több menetben történt. Tapasztalataim szerint a három faj közül a tojásgyümölcs tolerálja a legkevésbé a sűrű térállást, gyorsan növekvő, nagy kiterjedésű levelei miatt, ezt az optimálisnál valamivel alacsonyabb hőmérsékleten illetve, gyakori, az optimálisnál inkább kevesebb öntözési vízádag utánpótlásával, valamint a tálcák közötti nagyobb tér meghagyásával némileg lehet szabályozni.

3.4.2 Palántanevelés

A palántanevelést mindhárom faj esetében a külön erre a célra kialakított, talpfűtéssel rendelkező, nagylégterű, tetőszellőzéssel és energiaerő-árnyékolással is felszerelt növényházban végeztem. A palántakori öntözési vízádagok tekintetében, gyakran nem volt különbség, ugyanakkor a fejlődő palánták harmonikus ellátásához szükséges vizet, a kifejezetten melegnek sem nevezhető, de jól benapozott tavaszi időszakban is akár napi rendszerességgel pótolni kellett. Különösen igaz ez, az állományok szélén elhelyezkedő

növények esetében, amelyek az aktívabb légmozgás és besugárzás miatt lényegesen többet párologtattak, így az öntözések alkalmával ezek a részek sok esetben dupla vízadagot kaptak. A palántanevelés második szakaszának kezdete a 9 centiméteres átmérővel rendelkező műanyag cserepekbe való átültetéstől volt számítható. A jó levegő és vízgazdálkodású, tápanyagban gazdag fel-láp tőzeg alapú közegben a palánták gyorsan fejlődtek. 2-3 hét alatt teljesen átszötte a gyökérrendszer a rendelkezésükre álló teret. A szabadföldi körülményekhez való adaptálódás érdekében, a kiültetés előtti időszakban a növények edzetése zajlott. Ez a tető szellőztető teljes nyitásában csúcsosodott ki, ami az aktív szellőzés mellett a szabadföldi viszonyokhoz hasonló szoláris radiációt is biztosított a palánták számára. Így a palántaveszteség illetve a palántákon bekövetkezett destrukció, például perzselés valószínűsége minimálisra csökkent.

3.4.3 Talajviszonyok

A tanüzem területén található talaj vályogos homok, amelyen a sokévnnyi termesztés miatt erős kultúr-hatás tapasztalható. A talaj vízkapacitása meglehetősen alacsony, víznyelő- és vízvezető képessége igen jó, amely általánosságban a homoktalajokra jellemző. A felső 30 cm-es talajréteg megközelítőleg 65 mm vizet képes tárolni, míg az alatta található 30-100 cm-ig terjedő réteg mintegy 100 mm. A felső, gyökérszóna által igen jól átjárt 30 cm-es rétegből 21 mm, az alatta levő 70 cm-es rétegből 36 mm a növények által könnyen felvehető talajban tárolható víz mennyisége. Tehát elmondható, hogy a vegetációs időszakban nagy vízigényű kultúrnövényeink vízellátását a talajban tárolt víz csak igen rövid ideig tudja kielégíteni. A talajvíz 3,5-4 m mélyen helyezkedik el, így a növények számára nem vehető fel.

3.4.4 Öntözés

Az élelmezésben óriási mennyiségben felhasznált kertészeti termékek, köztük a kiemelkedően fontos zöldségfélék vitamin- és fitonutriens tartalmuk, valamint bioaktív hatásuk miatti fontosságuk vitathatatlan. Ugyanakkor a legtöbb ilyen gazdag beltartalommal rendelkező növénykultúra rendkívül érzékeny a vízhiányra, amelynek pótlása az alapélelmiszereként szolgáló zöldségek előállítására és a versenyképes piaci termelés szempontjából egyaránt fontos (Pachpute, 2010). A Szent István Egyetem Kertészeti Intézetének Bemutató és Kísérleti Telepén végzett kísérleteim során a vízutánpótlás volt a legjelentősebb, a vegetációs időszakok során szinte folyamatosan indokolt termesztéstechnológiai elem, amelyet a növényállományok megnevelésekor rendszeresen elvégeztem. Az öntözési kísérleteim folyamán kijuttatott vízmennyiség egyértelműen függött a csapadék mennyiségétől és az adott növényállományon alkalmazott kezelés módjától. Az öntözési kezeléseket folyamatosan a növényállomány

aktuális fenofázisához igazítottam, illetve a terület talajadottságainak megfelelően végeztem el. Az optimális vízmennyiség kiszámítását a Szent István Egyetem Kertészeti Intézetében kifejlesztett egyenlet segítségével (Helyes et al., 2012) számoltam ki, amely a következő:

$$I_d (mm) = ((T_{max}(^{\circ}C) + T_{min} (^{\circ}C))/2) \times 0,2 (mm/^{\circ}C)$$

I_d : napi vízigény (mm),

T_{max} : napi maximum hőmérséklet ($^{\circ}C$),

T_{min} : napi minimum hőmérséklet ($^{\circ}C$).

A kijutatott öntözővíz mennyisége az Országos Meteorológiai Szolgálat időjárás előrejelzése alapján volt kiszámolva. A fenti egyenlet alapján, minden héten 2-3 napra előre kiszámítottam a vízigényt. Az öntözővíz mennyisége ebből volt kiszámolva, korrigálva a csapadék mennyiségével. Ha az előző öntözés után lehullott csapadék mennyisége kevesebb volt, mint a számított öntözővíz mennyisége, akkor kiegészítettük az I_d értékére, ha fedezte azt, akkor nem volt kijuttatva öntözővíz. Az öntözés csepegtető öntözőrendszerrel volt megvalósítva melynek, teljesítménye: 4 l/h volt csepegtetőtestenként.

A kísérletek során az optimális (I_d) öntözővíz mennyiség 100%-a, 50%-a és az öntözés nélküli kontroll növényállományok voltak összehasonlítva. A 100%-os öntözéssel kezelt növényállományoknak a napi vízigényüknek megfelelő öntözővíz adagja került visszapótlásra és ennek analógiájára számoltam ki az 50%-os állományok öntözési vízádagját is. Az öntözési kísérletek kiegészítéseként a növények fejlődését természetes módon fokozni képes Symbivit® arbuskuláris mikorrhiza gombával kezelt (M) csoportokat is kialakítottunk. Kiültetéskor minden palánta 25 gramm Symbivit® mikorrhiza készítményt kapott az ültető gödrébe, majd az ültetést követő beiszapoló, indító öntözés segítségével a növények és a mikorrhizagombák kapcsolatot tudtak teremteni (Helyes, Pék, et al., 2015).

3.4.5 Árnyékolás

Az eltérő környezeti források igen jelentős változatosságot mutatnak a különböző földrajzi fekvésű területeken, természetesen ez a szoláris radiációjára, a növények által hasznosítható napenergiára is igaz, így nagyon fontos a lokális adottságokhoz való adaptáció. A fény mennyiségének és intenzitásának hatását már jóval korábban vizsgálták és egyértelműen megállapították, hogy a károsan alacsony besugárzástól kiindulva a megvilágítás erősödésével arányosan növekszik az állomány fejlődésének intenzitása és a biomassa produktum is. A túl erős napsugárzást árnyékolással csökkentve az állományban fokozódó sejtosztódást, a levelek számának emelkedését, valamint a termések számának és méretének növekedését tapasztalták, amelyek így egyértelműen pozitív hatást fejtenek ki a hozamra (Rylski & Spigelman, 1986).

Ugyanakkor a jelenlegi kutatások, a precízen kialakított ún. "net- vagy screenhouses" technológia irányába mozdultak el, amely hálóval borított növényházakat jelent. Ezek a hálók megfelelő fotoszelektív képességekkel rendelkező héjréteggént funkcionálnak. Az alattuk kialakuló mikroklíma gyakran sokkal kedvezőbb a növényállományok számára, növényélettani és morfológiai folyamatok szempontjából, mint szabadföldi termesztés esetén. A háló pozitív irányba módosítja a levegő és a talaj hőmérsékletét, a páratartalmat és a levegő áramlási sebességét, valamint növeli a diffúz radiáció relatív faktorát, amely pozitívan befolyásolja a növények által elnyelhető sugárzás mennyiségét, a fotoszintetikus aktivitás rátáját és az állomány napfény felhasználás hatékonyságát is (Kitta et al., 2014). Ezek az abiotikus környezeti tényezők megmutatkoznak a növényeken, amelyek kondíciójának tanulmányozására számos módszer került kifejlesztésre. Ilyen módszer a roncsolásmentes, gyors tesztek elvégzésére is alkalmas VIS-NIR spektroszkópia, amely a látható-és közeli infravörös tartományban gyűjthet reflektancia, abszorbancia és emisszió adatokat. A spektroszkópiás adatokból gyakran jó hatásokkal következtethetünk a növényekben lejároló biokémiai folyamatok aktivitására, a növények tápláltsági- és vízellátottsági állapotára. Ezek az aktuális állapotjelzők egyaránt vonatkozhatnak a levelek tápanyag- elsősorban nitrogéntartalmára (Knyazikhin et al., 2013), ami a hozambecslés (NDVI) alapját képezheti (Camoglu et al., 2017), valamint a termésekben található antioxidáns hatású színanyagok-, polifenolok mennyiségére, amely kapcsán következtethetünk a beltartalmi paraméterekre (Szuvandzsiev et al., 2014).

3.5 A kísérlet során végzett mérések

3.5.1 ASD (American Spectral Devices) FieldSpec HandHeld 2™ spektrométer

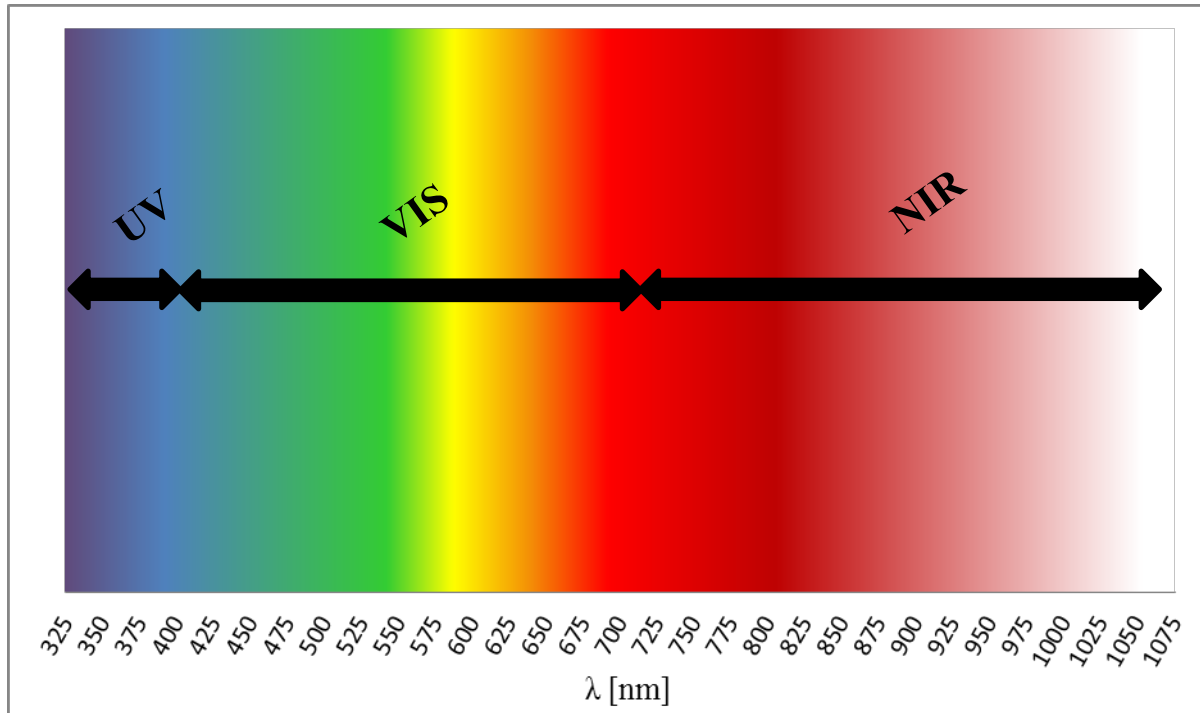
Az ultraviola, a látható és az infravörös tartományban mérő eszközök fejlesztése a laboratóriumi alkalmazástól elszakadva, mára a speciálisan terepi használatra kifejlesztett, hordozható spektrométerek irányába is elmozdult. Spektrális méréseim során, ilyen munka végzésére alkalmas, FieldSpec HandHeld 2™ Portable típusa spektrométert használtam, melynek korszerűsége és hordozhatósága mellé társul a spektroszkópiás műszerekhez szükséges precizitás is.



2. ábra FieldSpec HandHeld 2™ Portable típusú spektroradiométer

Legfontosabb szerkezeti felépítő egységei, a színeképbontásért felelős, optikai ráccsal ellátott monokromátor, az ehhez kapcsolódó nagy érzékenységű detektor és a vezérlőegység, amely a vezérlésen túl, kapcsolatot teremt az adatok kezelésére használt számítógéppel, valamint a sötétáram korrekciós rendszer vagy más néven offset. Nagy jel-zaj arányú spektrumok esetében a műszer automatikusan egy másodrendű szűrést hajt végre, amelynek segítségével pontosítja a mérési eredményeket. Természetesen a laboratóriumi mérések is fontosak, de a terepen történő mérés esetén nélkülözhetlenné válik a környezeti tényezők befolyásának csökkentése, melyek olyan minimális és gyorsan bekövetkező változások esetén is mérési hibát okozhatnak, mint például a hőmérsékletingadozás valamint az ezzel párhuzamosan bekövetkező sötétáram érték nanométerről nanométerre történő változása, mely a detektor felszínén nem egyenletes eloszlást eredményez. Az ilyen és ehhez hasonló hibák kiküszöbölése érdekében, a mérések során nélkülözhetetlen a gyakori fehérreferenciás kalibráció, amely összességében, hozzásegíti a rendszert a minél pontosabb mérési eredmények eléréséhez. A műszer kalibrálásához magas fény-visszaverődést biztosító, standard, ASD kalibrációs paneleket használtam. A FieldSpec HandHeld 2™ Portable spektroradiométer 325-1075 nanométeres hullámhossztartományban méri a spektrális értékeket, ± 1 nanométeres pontossággal. A spektrális felbontás pontatlansága így, a 751 nm-es hullámhossztartományban kevesebb, mint 3 nm.

A FieldSpec HandHeld 2™ Portable típusú spektrométer által lefedett spektrális sávot ábrázolja, valamint ennek a spektrális sávnak a leggyakrabban használt tartományait. Ezek a következők: ultraibolya (UV - ultraviolet), az emberi szem által érzékelhető, látható tartomány (VIS – visible), valamint az infravörös tartományon belül található közeli infravörös tartomány (NIR – near infrared) (3. ábra).



3. ábra A FieldSpec HandHeld 2™ Portable típusú spektrométer által rögzített mérési tartomány 325-1075 nanométeres hullámhossz-tartományban és a jellemző spektrális sávok (UV= ultraibolya tartomány, VIS=látható tartomány, NIR= közeli infravörös tartomány)

A HandHeld 2™ Portable spektrométer használata esetében, a külső természetes, vagy mesterséges fényforrásokra támaszkodó, un. non-kontakt méréseket lehet elvégezni. Az eredmények megtekintésére már a terepen, a mérést követően lehetőség nyílik, egy beépített színes kijelzőn, ami a műszert használó személyes adatgyűjtési tapasztalatainak növekedésével egyfajta kontrollként is szolgálhat, amely így tovább csökkentheti a hibás mérések számát. Azonban a számítógéphez való csatlakoztatással egy lényegesen szélesebb körű RS3 rendszerű spektrális adatfeldolgozási funkciót vehet igénybe a felhasználó (ASDI, 2017).

A terepi alkalmazhatóság további fokozása érdekében a FieldSpec HandHeld 2™ Portable spektrométerhez csatlakoztatható egy Levél Klipsz, amit a műszerrel egy 100 centiméter hosszúságú optikai kábelen köt össze. Az önálló fényforrással rendelkező, nagy intenzitású diódával ellátott, 20 milliméter pontátmérőjű, ASD szabványos szonda, segítségével a szerves és szervetlen összetevők meghatározása, valamint a kontaktmérések sikeressége növelhető.



4. ábra FieldSpec HandHeld 2™ Portable spektroradiométer, a hozzá csatlakoztatott optikai kábellel, szondával, levélklipsszel és akkumulátorral.

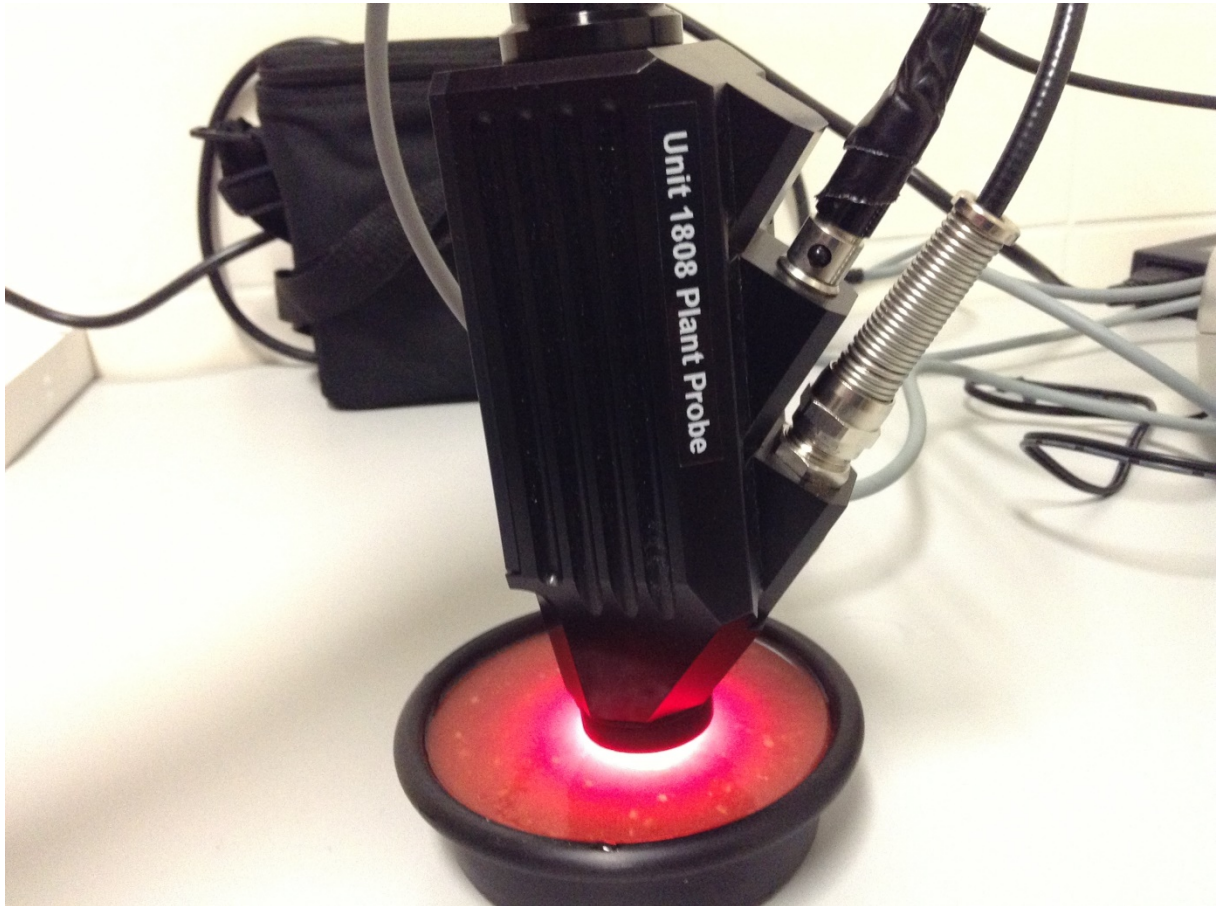
További kiegészítésképpen, az ASD Növénysonda és Levél Klipsz roncsolásmentes, egy kézzel is kezelhető, transzmissziós és reflexiós méréseket tesz lehetővé olyan érzékeny mintákon is, mint az élő növényi szövetek. A kontakt méréseket lehetővé tevő, szondával kompatibilis ASD Levél Klipszet használtam, amely nagymértékben leegyszerűsíti a mérési folyamatokat élő növényállományokban. Ez az egyedi érzékenységgű és kialakítású eszközzés magába foglalja az enyhe, ugyanakkor stabil tartást kölcsönző megfogó/kibocsájtó biztosítóbilleentyű rendszert (4. ábra). Ez az eszközzés lehetővé teszi a célterületen a mintázni kívánt növény mérését anélkül, hogy a levelet eltávolítanánk, vagy bármiféle sérülést okoznánk rajta. A Levél Klipsz további előnyei között szerepel a szondára illeszkedő forgatható fej, amelynek két oldalán, két beágyazott háttérpanel található, így lehetséges, mind a reflexiós (fekete panel), a transzmissziós (fehér panel) mérés lebonyolítása, valamint a tiszta fehér panel, fehér-referenciaként is alkalmazható (ASDI, 2017).

A paradicsom növényállomány levélreflektancia mérését, ASD FieldSpec Handheld 2 Portable Spectroradiometerrel végeztük, 2013 július 10-től, folyamatosan hetente. Minden alkalommal 24 mérés került felvételre, kezeléskombinációként 2 ismétléssel, összesen 120 spektrum került

rögzítésre. Tojásgyümölcs esetén szintén július 10-től, hetente végeztünk levélreflektancia méréseket a két eltérő vízellátottságú állományban, így a betakarítás végéig 11 állapotot rögzítettünk. A hetenként végzett felvételezéseknek köszönhetően összesen 104 spektrumot sikerült gyűjtenünk a 13 mérési időpontban. A kápia hibridek levélreflektancia mérése július 3-tól kezdődött, a különböző színű hálók alatt, a betakarítás végéig 10 alkalommal történt heti rendszerességgel, 4 ismétlésben, melyek összesen 240 spektrumot eredményeztek.

A FieldSpec HandHeld 2™ Portable típusú spektro-radiométerrel végzett mérésekből származó abszorbancia értékek- amelyek összefüggésbe hozhatók a különböző hálók színével- fényáteresztés tekintetében élesen elkülönültek egymástól a spektrumtartomány adott részein. A színes takaróhálók abszorbanciáját (A) az adott háló alatt mért, kalibrációs referenciaként is alkalmazható fehér korong (USP 1119) reflektanciájából (R) számítottuk ki ($A = \log(1/R)$), a korong takarás nélküli reflektancia értékeivel összehasonlítva.

A paradicsom termékek mérése esetében a piros érettségi állapotú bogyókból, négy ismétlésben öt-öt darabot gyűjtöttem be 2012 augusztus 14-én. A termékeket megtisztítottam, felkockáztam és pürésítettem, majd ezt követően spektroszkópiás és analitikai vizsgálatnak vettem alá a mintákat. A spektroszkópiás mérés során a pürésített mintákat egy fekete teflonbevonatú, 75 milliméter átmérőjű, 26 milliméter magasságú edénybe töltöttem és a FieldSpec HandHeld 2™ Portable típusú spektro-radiométer saját fényforrással rendelkező adapterének segítségével világítottam meg 20 milliméter magasságból, amelynek beállításához a műszerhez kialakított fotóállványt használtam (5. ábra).



5. ábra Pürésített ipari paradicsombogyó-minta a FieldSpec HandHeld 2™ Portable típusú spektroradiométer saját fényforrással rendelkező adapterének segítségével megvilágítva fekete teflonbevonatú mintatartóban.

3.5.2 Vízoldható szárazanyag tartalom (°Brix)

A paradicsomon felül a tojásgyümölcs és a paprika beltartalmi értékmérő tulajdonságai is rendkívül fontosak mind friss fogyasztási, mind pedig a feldolgozás vonatkozásában. Ugyanakkor ennek a két fajnak a vízoldható szárazanyag tartalma lényegesen kisebb jelentőségű, mivel itt a termésben felhalmozódó, krónikus betegségek megelőzésében fontos anyagok mennyisége a meghatározóbb (Padmanabhan et al., 2016). A kísérletekből származó paradicsom termések refraktometriás mutatójának meghatározásához KRÜSS DR201-95 típusú (KRÜSS Optronic, Hamburg, Germany) digitális kézi refraktométert használtam (6. ábra), amelynek kalibrálása és szenzortisztítása is desztillált víz segítségével történt. Minden fajta esetében a piros érettségi állapotú bogyókból, négy ismétlésben öt-öt darabot gyűjtöttem be 2012 augusztus 14-én. A terméseket megtisztítottam, felkockáztam és pürésítettem, majd ezt követően vettem alá a mintákat a vizsgálatnak.



6. ábra A KRÜSS DR201-95 típusú (KRÜSS Optronic, Hamburg, Germany) digitális kézi refraktométer mérés közben.

3.5.3 Nagyhatékonyságú folyadékkromatográfia (High Performance Liquid Chromatography - HPLC)

Az analíziseket Chromaster Hitachi 5430-as, diódasoros detektorral ellátott nagyhatékonyságú folyadékkromatográf (7. ábra) segítségével végeztem, amelyhez tartozott egy 5210-es automatikus mintavevő modell, valamint egy 5110-es gradiens-pumpa. Mind a HPLC műszert, mind pedig az analízist egy EZchrom Elite 3.3.2. SP2 verziós szofter üzemeltette. A karotinooidok elválasztását Accucore (Thermo Scientific) C-30, 2.7 μ , 150 x 4.0 mm oszlopon végeztem.



7. ábra Chromaster Hitachi 5430-as modellszámú nagyhatékonyságú folyadékkromatográfia

A likopin tartalom kinyerésért négy ismételésbe 5 gramm pürésített mintához 20 milliliter *n*-hexán-metanol-aceton (2:1:1-es) keveréket adtam, amely 0,05%-ban tartalmazott butil-hidroxitoluol (BHT) vegyületet. Az elegyet ezt követően egy 100 milliliteres Erlenmeyer-lombikba helyeztem és 70 milliliter (6:1-es) diklórmetán oldatot adtam hozzá. Az elegyet ezt követően egy mechanikus rázógépen 15 percig rázattam. Desztillált vizes atmoszféra után a kézi keverést addig alkalmaztam, amíg a diklór-etán fázis egyértelműen el nem szeparálódott a poláros fázisú víz-metanol fázistól. A két tisztán elvált fázist egy szeparáló tölcser segítségével elválasztottuk egymástól, majd a likopinos diklór-etán fázist nátrium-szulfát segítségével vízmentesítettem. Végül a szerves oldószereket vákuumos fogó-párlóban elpárologtattam 40 °C-nál nem magasabb hőmérsékleten. A kinyert maradékot HPLC-acetonban ismét feloldottam, majd ebből a karotinoidok nagy részét kiválóan oldó szerves-oldószeres oldatot a HPLC-oszlopokra injektáltam (Daood et al., 2014).

4 EREDMÉNYEK

Doktori munkám során végzett kísérleteimből származó eredményeket két jelentős részre osztva mutatom be, amelyek közül az első az abiotikus környezeti tényezők, elsősorban öntözővíz és árnyékolás hatásának kimutatása a vizsgált fajok és fajták termésmennyiségére és leveleinek spektrális jellemzőire, majd áttérek a termések beltartalmi értékeinek spektroszkópiás vizsgálati módszereinek lehetőségeire.

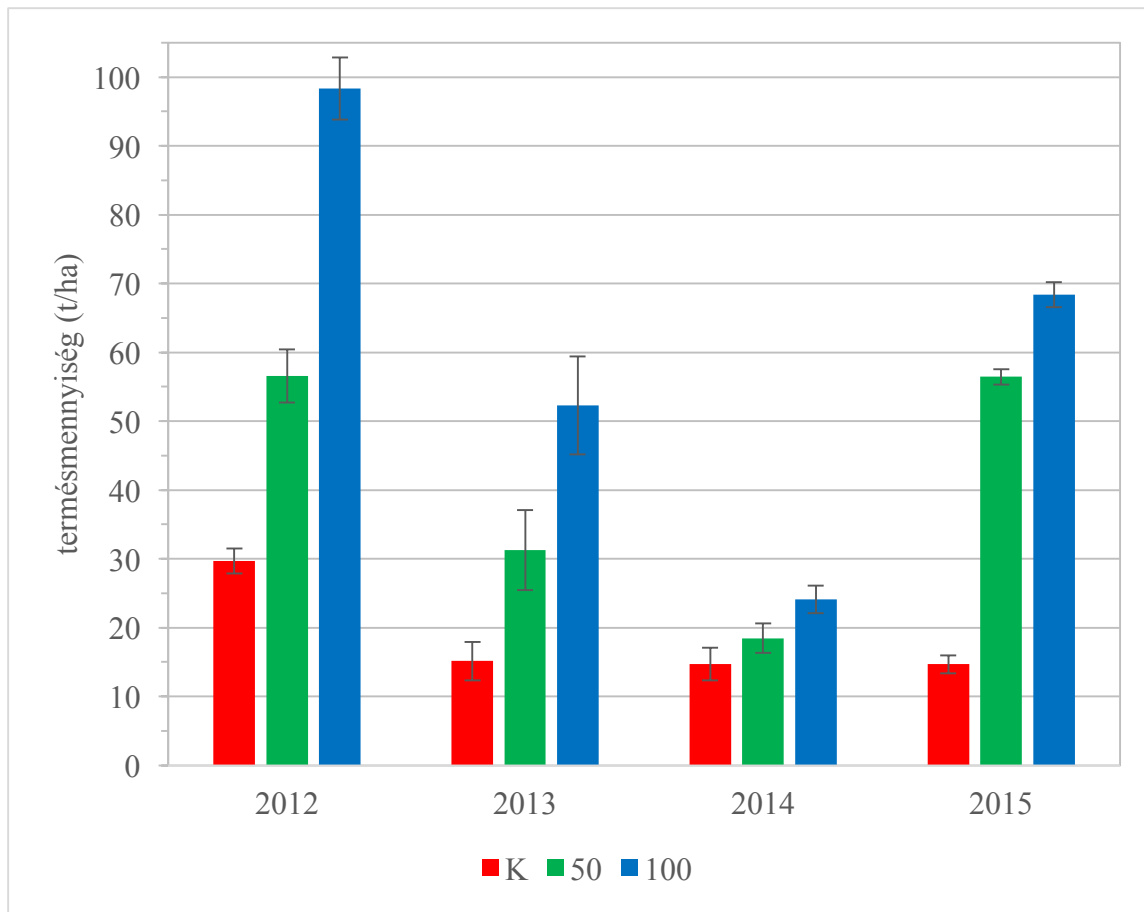
4.1 Az öntözési kezelések hatása az ipari paradicsom terméseredményeire 2012-'15

A folyamatos vízellátottság világszerte probléma és korlátozásokkal küzdő természetstechnológiai elem ezért egyre nagyobb szükség van arra, hogy az öntözési gyakorlat folyamán csökkentsék a kijuttatott víz mennyiségét és növeljék annak hasznosulását. A zöldségnövények fogyasztott része, az esetek nagy többségében magas víztartalmú. Különösen igaz ez a paradicsomra, amely a magas víztartalmú termés kinevelésén túl, olyan nagy vetésterülettel van jelen a világon évről évre, hogy víztakarékos öntözése különösen indokoltá vált. A víztakarékos öntözési módok alkalmazásával csökkenthető a növények vízfogyasztása és a költségek is, valamint minimalizálni lehet a tápanyagok és növényvédő szerek kimosódását, felszíni, ill. felszín alatti természetes vizekbe való jutását. Ugyanakkor szükséges szem előtt tartani, hogy a rossz minőségű öntözővíz vagy az öntözés hiánya negatívan befolyásolhatja a biomassza hozamot, a termésminőséget és élelmiszer biztonsági problémákat vonhat maga után (Favati et al., 2009). Precíz és rendszeres vízkijuttatás esetén is igaz, hogy a vízhiány az ipari paradicsomfajták közül fő vizsgálati irányt képviselő Uno Rosso F1 hibrid esetében is teljes biomassza tömeg csökkenést eredményez, ami az állományok bontásakor egy-egy növény esetében is kifejezetten szembetűnő (8. ábra). A gazdaságosság szempontjából elsődleges termésmennyiség, abban a dinamikusan változó rendszerben, amit szabadföldi termesztési környezetnek hívunk, gyakran szabályozhatatlan faktoroktól függ, melyet összességében évjáráthatásnak nevezünk.



8. ábra Az öntözés bimoasszatömeg-termelésre gyakorolt hatása az Uno Rosso F1 ipari paradicsom esetében, egy-egy növényen bemutatva (K=kontroll, 50=50%-ban öntözött, 100=100%-ban öntözött; 2015)

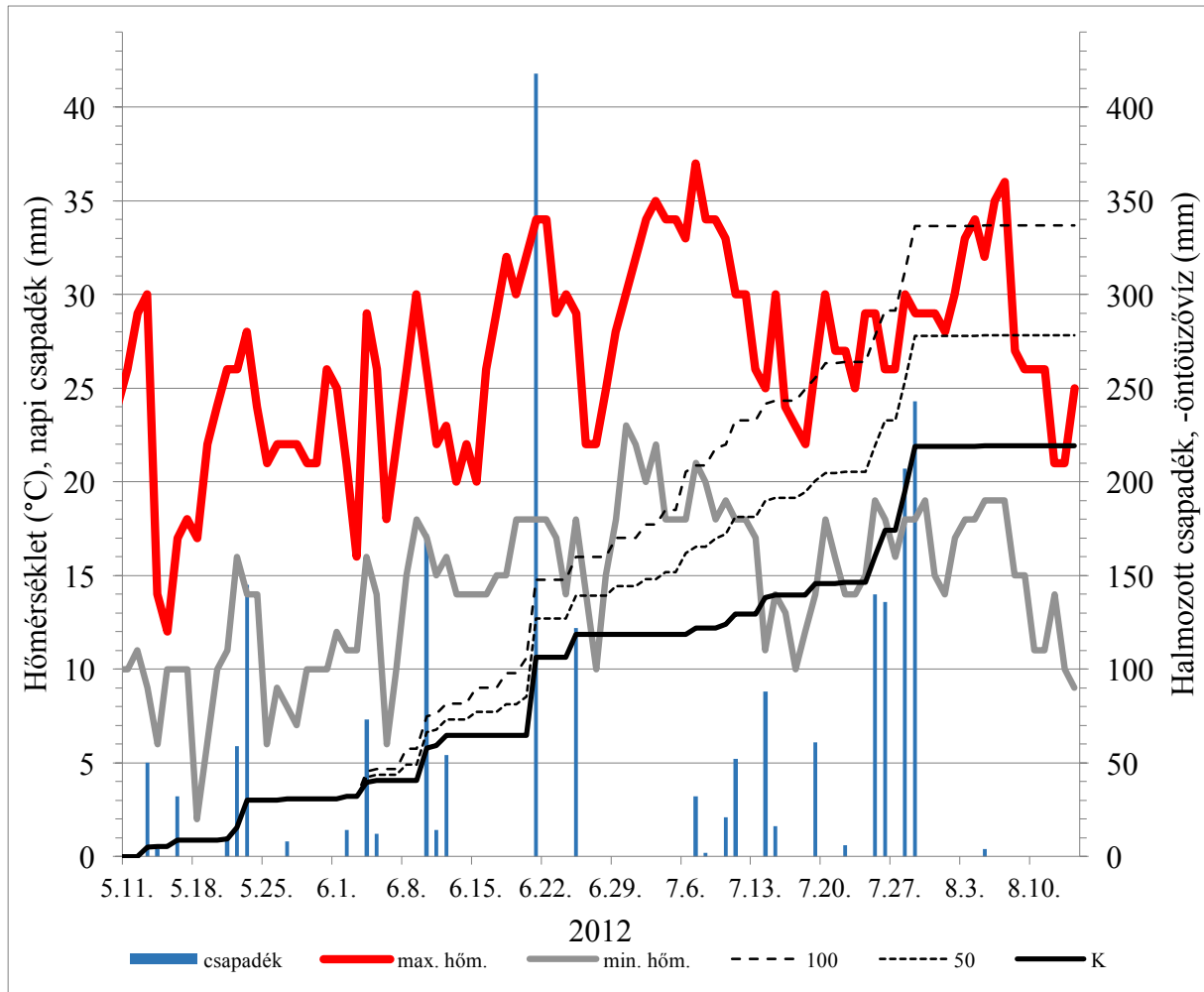
Az ipari paradicsom állományokban végzett kísérleteimet 2012 és 2015 között eltérő évjáráthatások érték. Ezek az eltérő hatások a növények produktumán is jól követhetők. Az öntözést és a termésmennyiséget a vizsgált négy év vonatkozásában a következő ábrán mutatom be az Uno Rosso F1 ipari paradicsom példáján, kontroll, 50% és 100% vízellátottság mellett (9. ábra).



9. ábra Az öntözés és az évjárat hatása az Uno Rosso F1 ipari paradicsom érett termésátlagaira 2012-'15 között, a szignifikáns differenciák különbségvonalával (K=kontroll, 50=50%-ban öntözött, 100=100%-ban öntözött; n=4)

2012-ben végzett öntözési kísérlet során egy kifejezetten jól benapozott, tartósan magas hőmérsékleteket adó vegetációs időszakot zártunk, mely során az öntözés hatása nagyon jól érvényesült. A kiültetéstől a betakarításig 219 mm csapadék hullott, melyet 278 és 337 mm-re egészítettünk ki a két öntözési kezelésben. A csapadék június végéig, közel optimálisan fedezte a növények vízigényét, az öntözött állományoktól nem nagyon különbözött. A június 25-t követő 30 napos időszakban, amikor a bogyófejlődés a legerőteljesebb, megközelítőleg 30 mm csapadék hullott csak, ami már jelentős különbségeket okozott a kezelésekhöz képest. Az öntözést a várható betakarítási időpont előtt, körülbelül két héttel hagytuk abba, mely időszak csapadékmentes volt (10. ábra). Ebből fakadóan a nagy biomasszát nevelő öntözött állományokon sok bogyó kötődött, melyek növekedése és fejlődése töretlen volt, mind a bogyónövekedési-, mind pedig az érési időszakban. A nagy mennyiségű és nagy méretű bogyók együttesen adták a 100 tonna/hektárt megközelítő eredményt a 100%-ban öntözött állományban, míg ennek valamivel több mint a fele érett termésmennyiséget (56,6 t/ha)

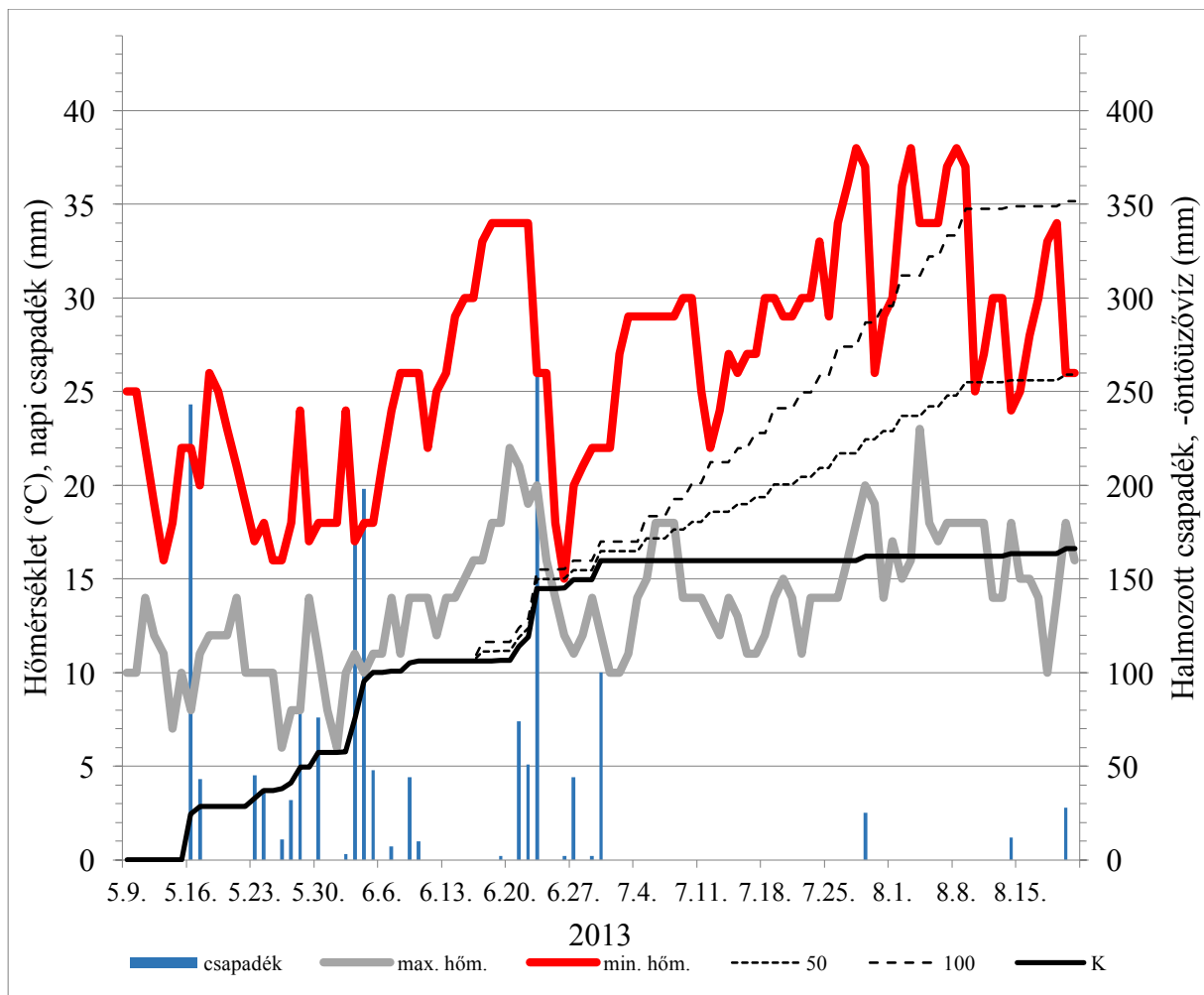
produkált a 50%-os vízellátottságú. A közel optimálisnak mondható besugárzás és hőmérséklet, valamint a viszonylag kiegyenlített csapadék viszonyok ellenére a kontroll állomány gyengébben teljesített, 29,7 tonna/hektár termésmennyiséggel (9. ábra).



10. ábra A hőmérséklet, a csapadék és az öntözés alakulása 2012-ben (K=kontroll, 50=50%-ban öntözött, 100=100%-ban öntözött)

A 2013-as év termésátlagai elmaradtak 2012-től, amely több okra is visszavezetethető. Amellett, hogy ez a vegetációs időszak a 15 legmelegebb közé sorolható 1901-óta (OMSZ, 2017) a jelentős lehűléssel induló júniusi hónap, amely gyakran 5°C-kal is elmaradt az ilyenkor megszokott értékektől, valamint a májusban gyakran előforduló hideg éjszakák nagymértékben visszavetették az ipari paradicsom vegetatív fejlődését és a fővirágzás illetve kötődés is vontatottabbá vált. Ugyanakkor ezt követően egy kifejezetten csapadékhiányos, kiemelkedően napfényes és forró nyári időszak érkezett, melynek átlaghőmérséklete másfél fokkal melegebb volt, mint az országos átlag (OMSZ, 2017). A kiültetéstől a betakarításig 166 mm csapadék hullott, melyet 259 és 352 mm-re egészítettünk ki a két öntözési kezelésben. A csapadék ebben

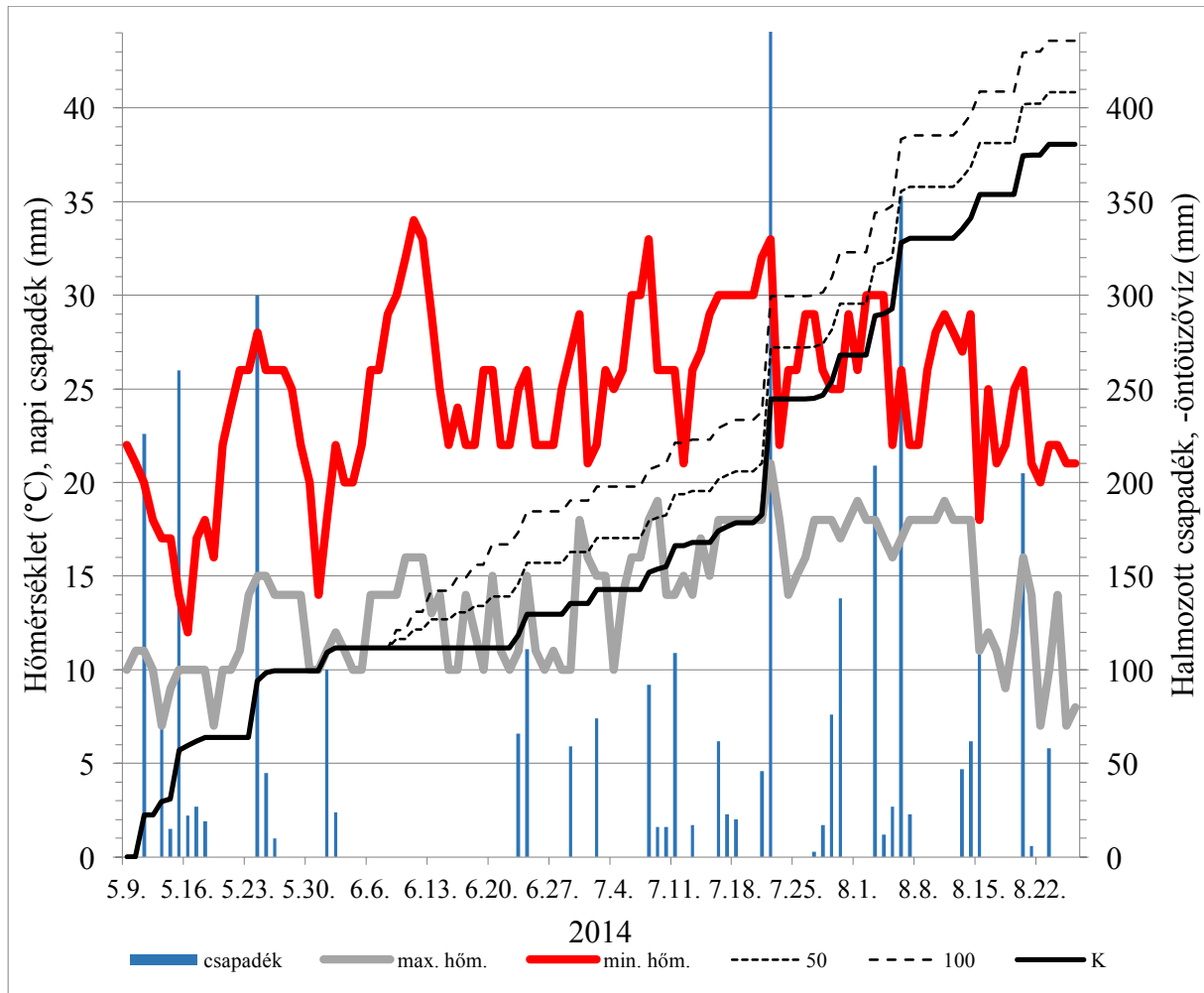
az évben is, közel optimálisan fedezte a növények vízigényét június végéig. Június 30-tól a betakarításig tartó 52 napos időszak azonban, rendkívül aszályosnak mondhatóban, amikor összesen csak 6,5 mm csapadék hullott. Az öntözést a betakarítás előtt, 12 nappal hagytuk abba, mely időszak csapadékmentes volt (11. ábra). Ezek összessége nagyon negatívan hatott az állományok produktivására (31,3 és 52,3 t/ha) különös tekintettel az öntözetlen kontroll állományok eredményére, mely nem érte el a 20 tonna/hektár-os termésmennyiséget sem.



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

A 2014-es év az átlagosnál hűvösebb és csapadékosabb volt, nagyon hasonlított a 2010-es évjáratra (Szuvandzsiev et al., 2013; Szuvandzsiev et al., 2014). A gyakori záporok és zivatarok negatívan hatottak az ipari paradicsom fejlődésére, a benapozottság hiánya érzékelhető volt. A június elején elkezdett öntözési kezelések csak 11 napon át tartottak, mivel a később a folyamatos esőzések ezt szükségtelenné tették. A gyakori csapadék túlhűtötte az állományokat, ami különösen nagy hatású volt az extrém melegektől egyébként is mentes nyári időszakban, a napi középhőmérséklet csak két napon haladta meg a 25°C-ot. Jól jelzi ezt az is, hogy a '14-es

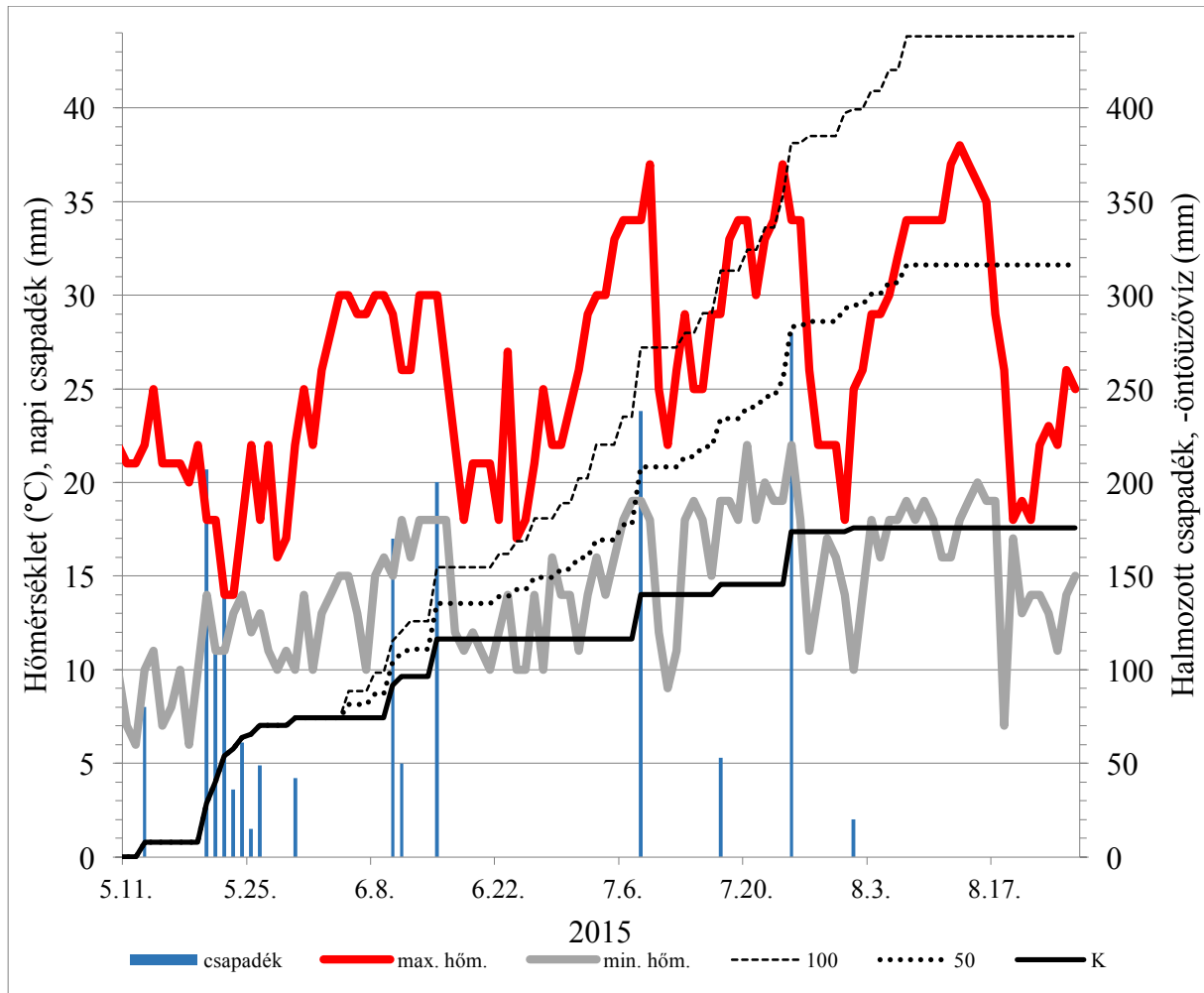
hőmérsékleti abszolút maximum már június első dekádjában beállt és nem érte el a 35 °C-ot sem. A vegetációs időszak középhőmérséklet átlaga 1°C-kal maradt el az előző évektől. A nyári időszakra jellemző volt a magas légköri nedvességtartalom, ami a fővirágzás időszakában a pollen tapadását és termékenyülési problémákat vont maga után. A betakarításig az állományok vízellátottsága alig különbözött, 381, 408 és 435 mm volt sorrendben (12. ábra). Ennek következtében a kezelések termésátlaga 25 t/ha alatt maradt, és csak a 100-as kezelés terméstöbblete volt szignifikánsan magasabb (9. ábra).



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

2015-ben az egész évszakra jellemző hőséget néhány, heves felhőszakadással, sok helyen jégesővel és erős széllel járó lehülés zárta, majd ismét beállt a forróság. Szeptember elejéig 5 hőhullám sújtotta hazánkat, amik mellé különösen csapadékszegény időszakok párosultak (OMSZ, 2015). A kiültetéstől a betakarításig 176 mm csapadék hullott, melyet 316 és 438 mm-re egészítettünk ki a két öntözési kezelésben. A vegetációs időszak alatt két jelentősebb aszályos időszak volt, június közepétől három héten keresztül és augusztus elejétől a betakarításig nem

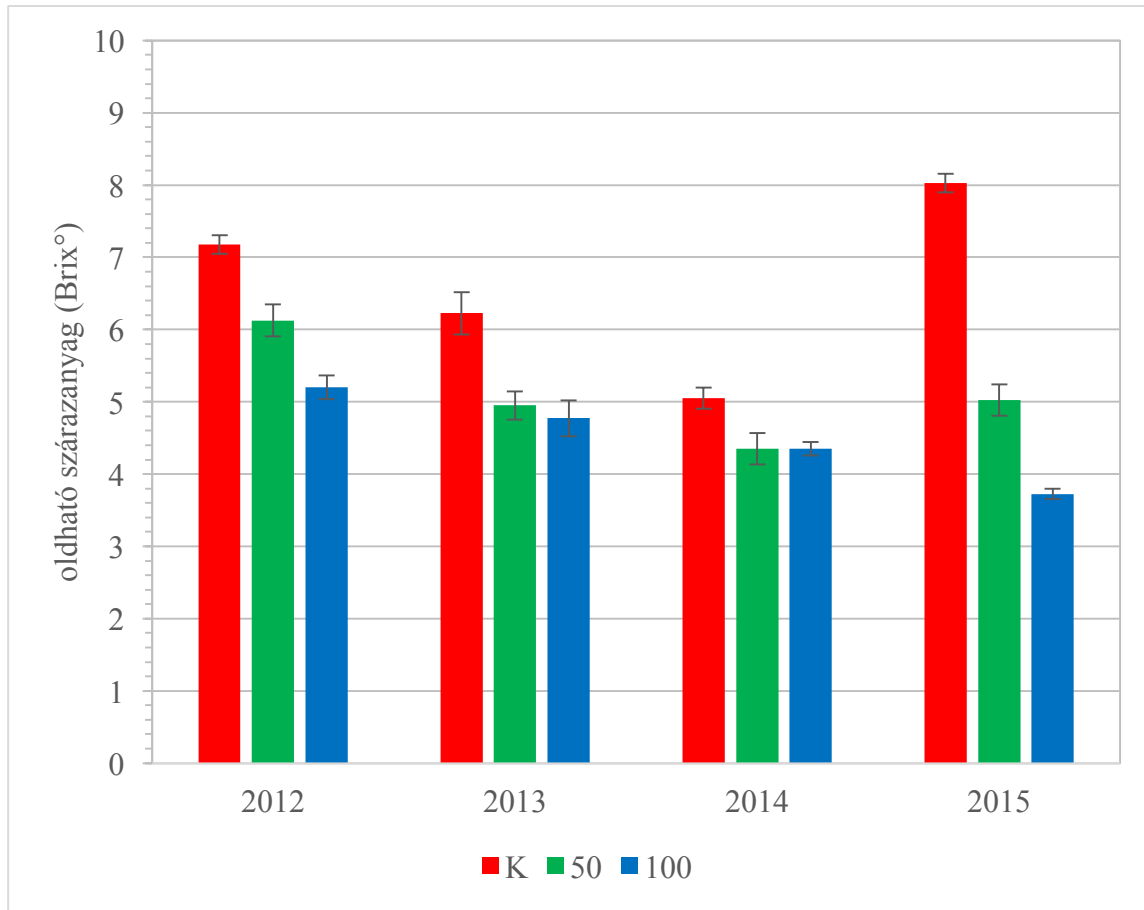
volt mérhető csapadék. Az öntözést a betakarítás előtt, 19 nappal hagytuk abba, mely időszak teljesen csapadékmentes volt (13. ábra). Az aszályos időszakok alatt kialakult szárazság stressz mértékét nem tudta kompenzálni a 2-4 hetente, rövid idő alatt lehulló 20-25 milliméternyi csapadék, így az ipari paradicsom kontroll állománya jelentős mértékben különbözött a két öntözött állománytól és mindössze 14,7 tonna/hektár termésmennyiséget adott. Az öntözött kezelések 56,5 és 68,4 t/ha termésátlaggal, szignifikánsan magasabb eredményt produkáltak (9. ábra).



13. ábra A hőmérséklet, a csapadék és az öntözés alakulása 2015-ben (K=kontroll, 50=50%-ban öntözött, 100=100%-ban öntözött)

Az ipari paradicsom sok értékmerő tulajdonságára nagy hatással lehet az öntözés és annak mértéke, amilyen például a bogyók száma, a bogyók átlagtömege, oldható szárazanyag-tartalma, illetve olyan jelentős beltartalmi paraméter, mint a likopin tartalom (Pék et al., 2014). Előbbiek közül az oldható szárazanyag-tartalom (°Brix) az ipari paradicsom legfontosabb feldolgozóipari tulajdonsága. A következő ábra az oldható szárazanyag-tartalom alakulását szemlélteti a négy kísérleti évben (14. ábra). A bogyók átlagos Brix értékei szignifikánsan

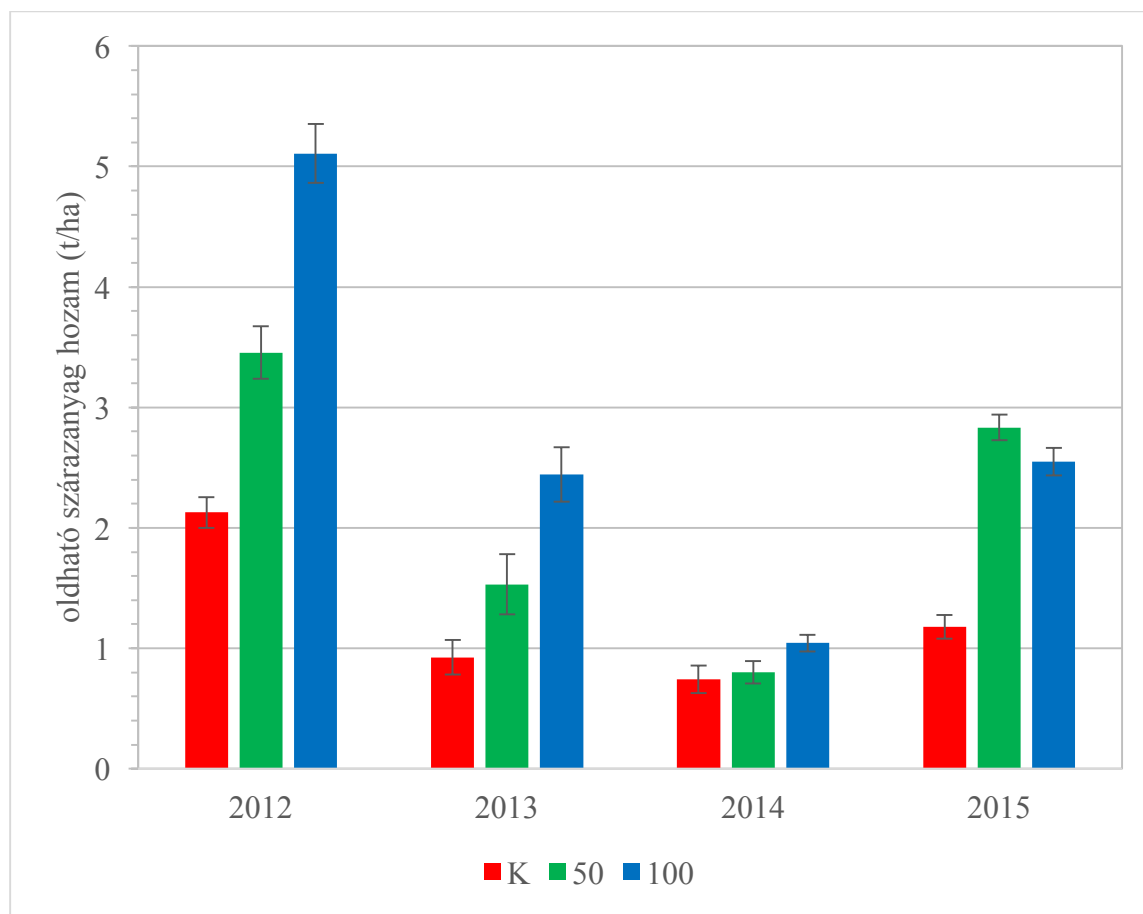
különböztek az egyes évjáratok között, mindhárom kezelésben. Az évjáratokon belül a kontroll bogyók értékei voltak szignifikánsan magasabbak az öntözöttekétől, míg az öntözési kezelések között, csak 2012-ben és 2015-ben volt jelentős különbség. Az értékek a termésátlagokkal pontosan ellentétes mintázatot mutattak a kezeléskombinációkban (9. ábra).



14. ábra Az öntözés és az évjárat hatása a paradicsombogyó vízoldható-száranyag tartalmára (°Brix) az Uno Rosso F1 ipari paradicsom esetében 2012-'15 között, a szignifikáns differenciák különbségvonalalaival (K=kontroll, 50=50%-ban öntözött, 100=100%-ban öntözött)

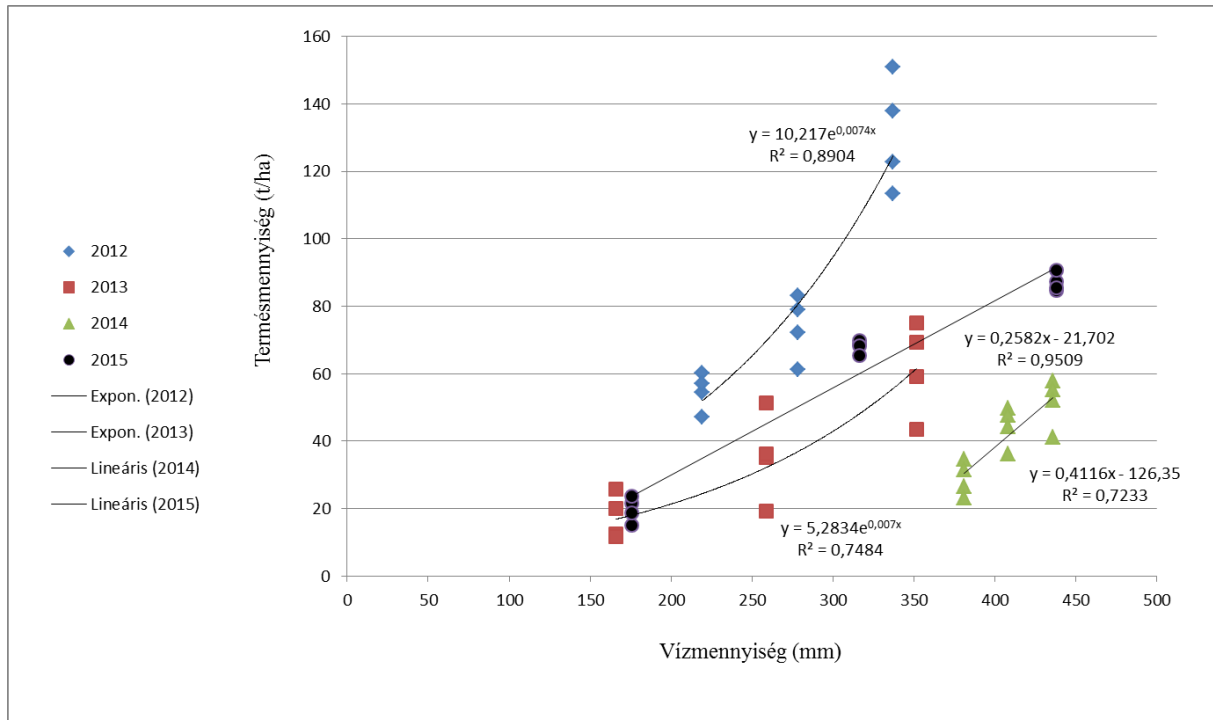
A termelőket és a feldolgozókat összekapcsoló fontos gazdasági mutató a termésátlagokból és a bogyók Brix értékeiből számítható Brix-hozam tekintetében összességében elmondható, hogy bár évjáratonként az öntözött állományokról betakarított bogyók minden esetben hígabbak voltak (14. ábra) az öntözés hatására kötődött nagyobb bogyószám, nagyobb termésmennyiség és alapvetően jobb növény-kondíció ezt általában kompenzálta. Így a 2015 kivételével az öntözött állományokon belül is a 100%-os öntözés eredményezte a legmagasabb száranyag hozamot és az öntözetlen kontroll a legalacsonyabbat (15. ábra). Az eredmények azonban így is messze elmaradnak a jónak értékelhető 5 t/ha-os száranyag termelésétől, ezt csak a 100-

as kezelés 2012-es eredménye múlta felül. Ezen kívül, a még elfogadható 4 t/ha-os eredmény sem tudta megközelíteni egyik kezeléskombináció sem.



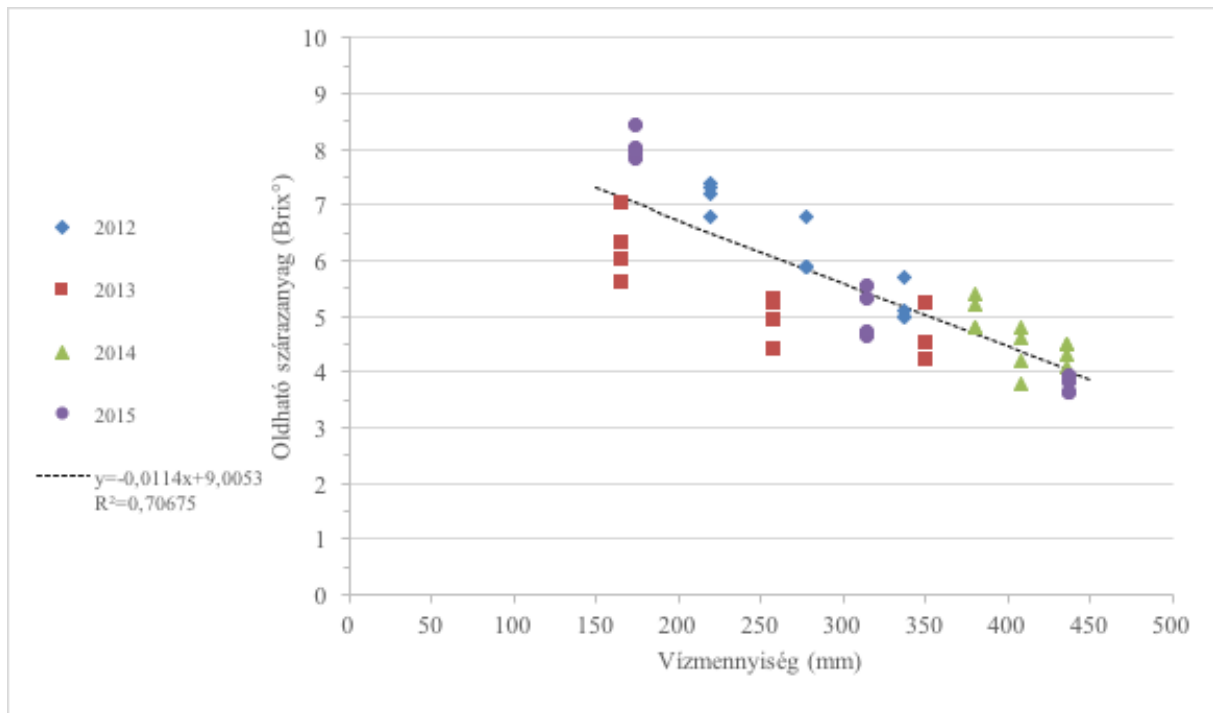
15. ábra Az öntözés és az évjárat hatása a paradicsombogyó vízdoldható-száranyag hozamára (Brix hozam) az Uno Rosso F1 ipari paradicsom esetében 2012-'15 között, a szignifikáns differenciák különbségvonalával (K=kontroll, 50=50%-ban öntözött, 100=100%-ban öntözött)

A terméseredményekből és a vízellátottságból elvégezhető ezek összefüggés vizsgálata. Az öntözésből és a természetes csapadékból származó vízmennyiség évjáratától függően eltérő módon hatott a termésmennyiségre, melyet legpontosabban regressziós függvények segítségével tudtam jellemezni, számszerűsíteni (16. ábra). A vízellátottság pozitívan befolyásolja a termésmennyiséget, a vizsgált vegetációs időszakok alatt, a kapcsolat erősségét számszerűsítő korrelációs koefficiens értéke, minden esetben 72% feletti volt. Ugyanakkor a vízellátottság pozitív hatását két évjáratban, 2012-ben és 2013-ban exponenciális-, míg 2014-ben, valamint 2015-ben lineáris függvényekkel tudtam a legszorosabban jellemezni. A 2014-es évjárat trendje nem illeszkedik a másik háromhoz, teljesen eltérő évjáratípusba tartozik (Szuvandzsiev, Helyes, Neményi, et al., 2014).



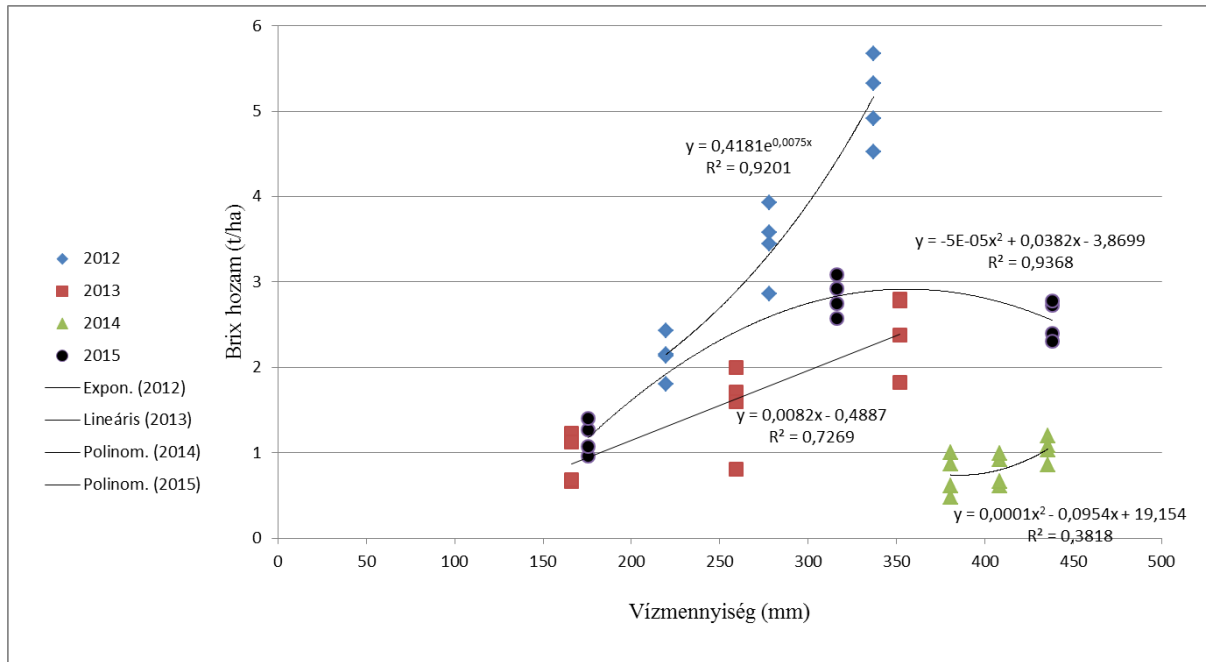
16. ábra Az évjáratokban hullott csapadék és a kijuttatott öntözővíz mennyiségének együttes hatása az Uno Rosso F1 ipari paradicsoma termésmennyiségére, a regressziós függvények egyenleteivel és korrelációs koefficienseivel (n=12)

Hasonlóan az előzőhöz, elvégeztem az oldható szárazanyag-tartalom és a vízellátottság összefüggés vizsgálatát. Az előzővel ellentétben azonban az adatok együttes értékelése esetén egyetlen lineáris trendvonal is szoros összefüggést mutatott a 4 kísérleti év adataival (17. ábra). A vízellátottság negatívan befolyásolja a termésmennyiséget, a vizsgált vegetációs időszakok alatt, a kapcsolat erősségét számszerűsítő korrelációs koefficiens értéke 70% feletti volt, ami az öntözés bogyókra gyakorolt hígító hatásából ered.



17. ábra Az évjáratokban hullott csapadék és a kijuttatott öntözővíz mennyiségének együttes hatása az Uno Rosso F1 ipari paradicsom vízdoldható szárazanyag-tartalmára, a regressziós függvény egyenletével és korrelációs koefficiensével (n=48)

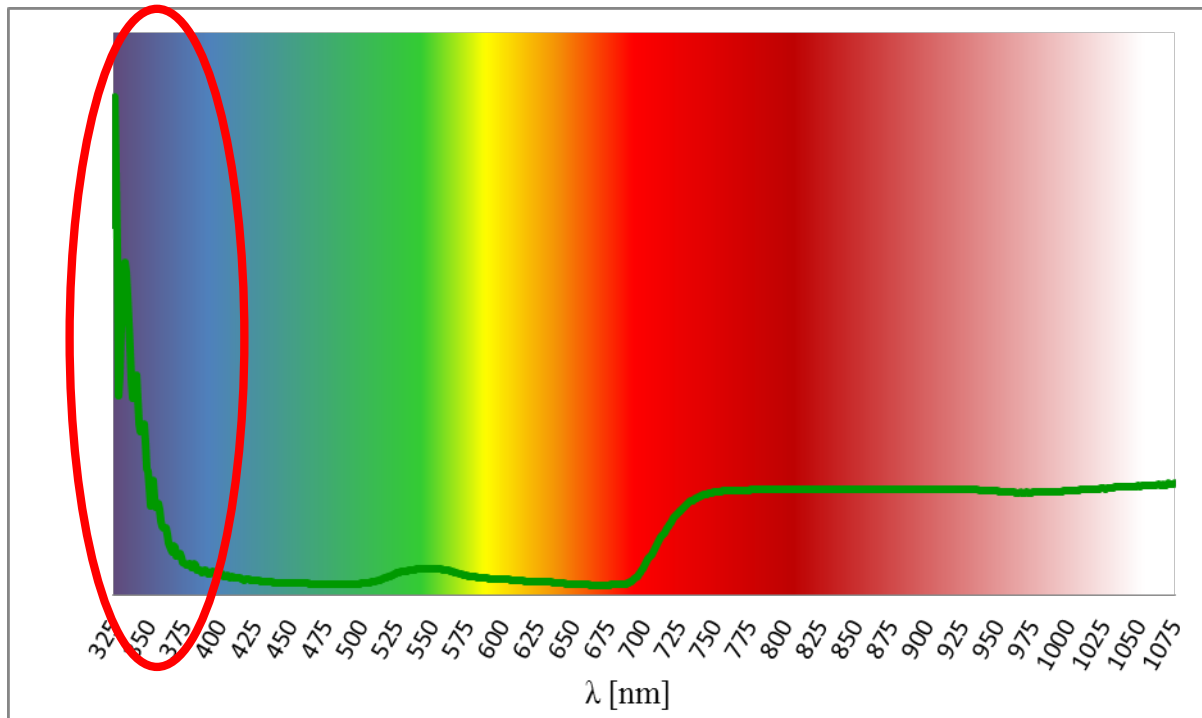
A vízmennyiség-brix hozam közötti összefüggés-vizsgálat elvégzése során kifejezetten érzékelhető volt az eltérő évjáratok hatása. Ugyanakkor számos tanulmány eredménye mellett, ez a grafikon az öntözés fontosságát indokolja. Hiszen az évjáratok közötti különbségek ellenére, a vegetációs időszakok döntő többségében az öntözés amellett, hogy hígítja a bogyókat így alacsonyabb az egyedi termés vízdoldható szárazanyag-tartalma, ezt a lényegesen nagyobb termésmennyiség kompenzáló hatása messze meghaladja (18. ábra). Összességében megállapítható, hogy az évek nagyobb részében, 300 és 400 mm közötti vízmennyiség produkálta a legmagasabb szárazanyaghozamot.



18. ábra Az évjáratokban hullott csapadék és a kijuttatott öntözővíz mennyiségének együttes hatása az Uno Rosso F1 ipari paradicsom Brix-hozamára, a regressziós függvények egyenleteivel és korrelációs koefficienseivel (n=12)

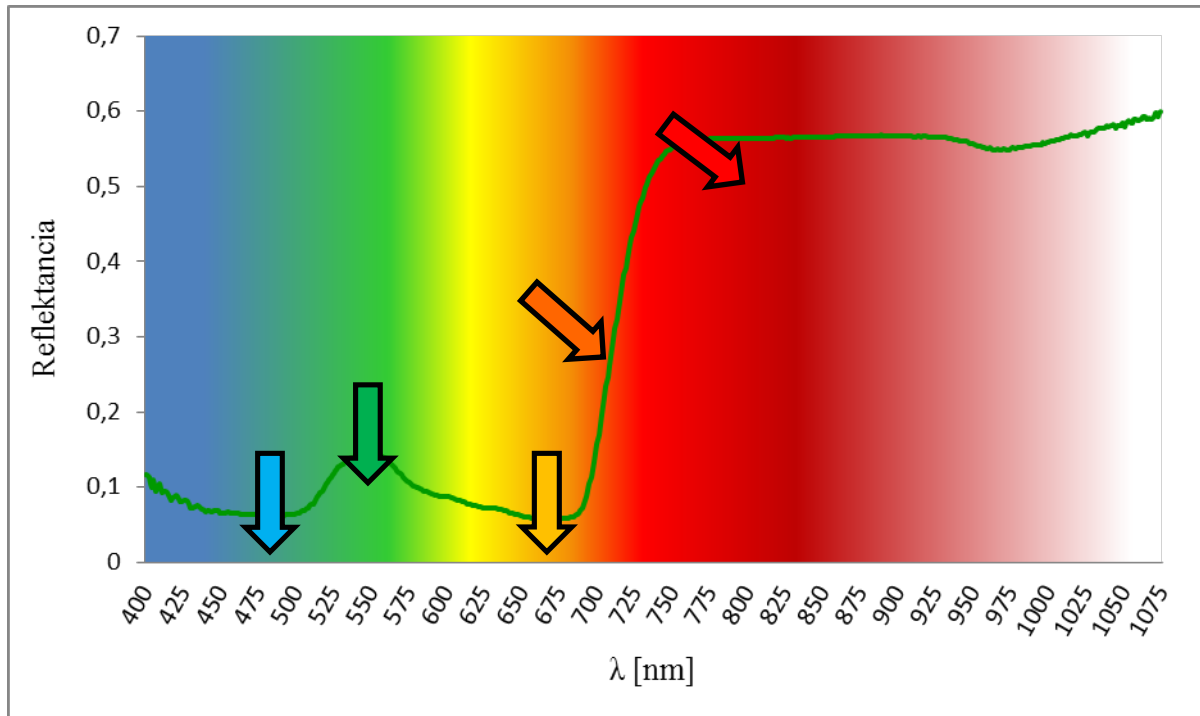
4.2 A vizsgált növényállományok levelének spektroszkópiás jellemzői

Növényi tulajdonságok spektroszkópiás mérésére használt FieldSpec HandHeld 2™ Portable típusú spektrométer mérési tartománya, 325-1075 nanométeres hullámhosszok között volt. A spektrométer által rögzített általános levélspektrum nyers reflektancia értékei (19. ábra), mind az UV, mind a VIS, mind pedig a NIR tartományban jelentősen eltérő rajzolatot mutathatnak, amelyek kiértékelése és hasznosíthatósága is meglehetősen különböző. A növényekről hasznos, spektrális adatok gyűjthetők növénytermesztési és kertészeti tekintetben is a VIS és NIR tartományokban, ami termesztés technológiai döntéshozatalt támogató információ, mint például a vízellátottság mértéke (Lin, et al. 2015). A FieldSpec HandHeld 2™ Portable spektrométer által az UV tartományban felvett nyers reflektancia spektrumok nagy jel-zaj aránya miatt gyakorlatilag használhatatlanok, így a későbbiekben az UV-tartomány értékeit nem jelölöm.



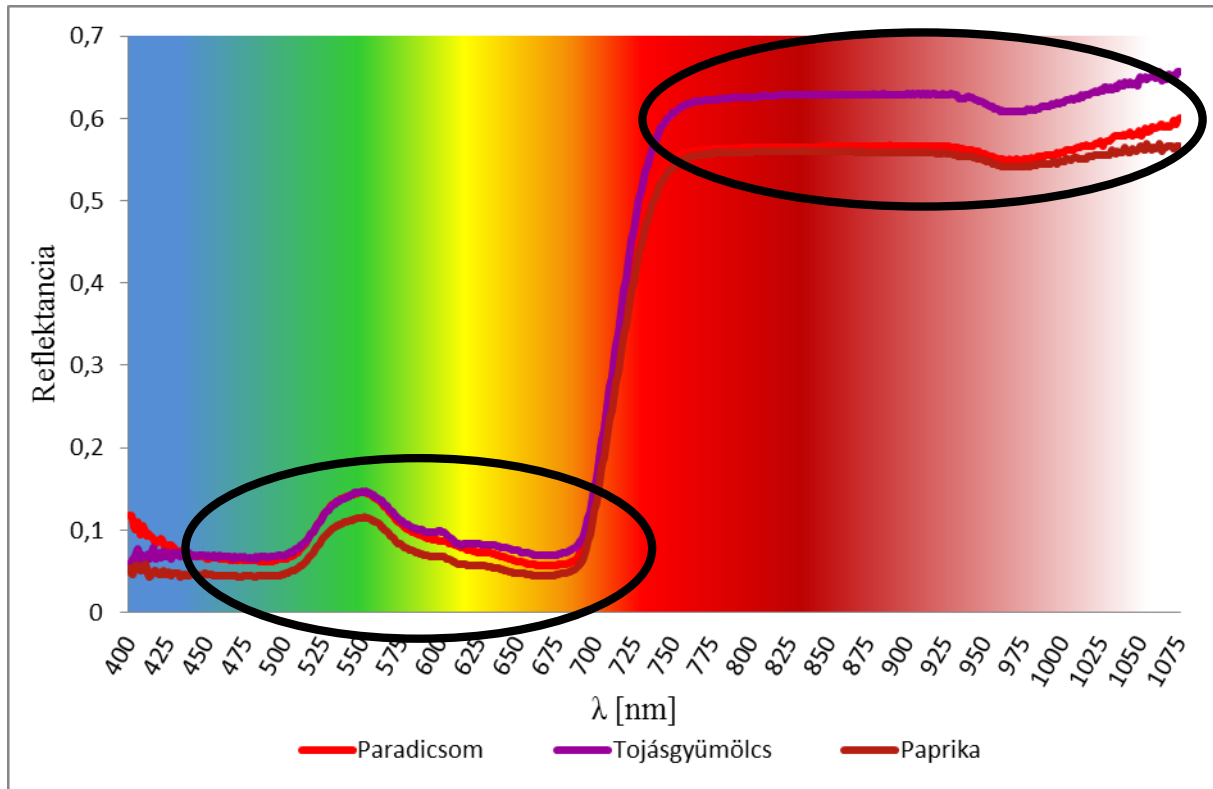
19. ábra A FieldSpec HandHeld 2™ Portable spektrométer által rögzített általános levélspektrum reflektancia értékei, pirossal kiemelve a nagy jel-zaj arányú UV-tartomány.

A látható és közeli infravörös tartományokban felvett spektrális értékek segítségével a növényzettel borított területek általános jellemzését reflexiós értékek alapján végezhetjük (Huber et al., 2014), amelyek sok esetben gyors és megbízható alapot adnak, olyan fontos jellemzőkre, mint a levél szerkezete, a víztartalom, a nitrogén szint, a magnézium mennyisége a klorofill molekulában, vagy a hasznosuló sugárzás. Különösen fontosak ezek a paraméterek szabadföldi körülmények között (Rotbart et al., 2013), ahol haszonnövényeink lényegesen több, negatívan ható, biotikus és abiotikus környezeti tényezőnek vannak kitéve. A spektrális görbék által történő jellemzésre, a növények reflektancia görbéjében megtalálható néhány hangsúlyos szakasz kifejezetten alkalmas (20. ábra), melyek sorrendben a következők: kék tartomány abszorpciós maximum (460-480 nm), zöld tartomány refleksiós csúcs (520-560 nm), narancs-piros tartomány abszorpciós maximum (640-680 nm), vörös tartományban található ún. „vörös él” (700-770 nm), majd az ezt követő ún. „vörös plató” (770-1000 nm).



20. ábra Átlagos növény-levél spektrum reflektancia görbéje és hangsúlyos szakaszai: kék tartomány abszorpciós maximum (460–480 nm), zöld tartomány refleksiós csúcs (520–560 nm), narancs-piros tartomány abszorpciós maximum (640–680 nm), vörös él (700–770 nm) és vörös plató (770–1000 nm).

A különböző fajok, de még a fajon belüli fajták, illetve az adott fajtan belüli különböző fejlődési állapotok is különválaszthatók a növények diszkriminatív információkat tartalmazó spektrális jellemzői alapján. A fiatal egyedek, vagy egy nagyobb növény fiatalabb hajtásai is eltérő morfológiai (sejtfal vastagság, sejtközötti járatok és viaszréteg) és biokémiai (víz-, pigment- és szénhidrát tartalom) jellemzőkkel rendelkeznek, mely az eltérő spektrális adatokban is megmutatkozik, amit kategóriák kialakítására vagy osztályozásra használhat a mezőgazdaság, illetve az erdőgazdálkodás is (Ghiyamat et al. 2013; Orova et al., 2015; Serbin et al., 2012). Ebből következik, hogy a dolgozatomban vizsgált három fajt, jelentősebb spektrális felbontás használata nélkül is el tudtam különíteni a VIS-NIR tartományban rögzített reflektancia spektrumok alapján (21. ábra), ami a későbbiekben non-kontakt légifelvelelek használata esetén, mint a kultúrák elkülönítésére alkalmas spektrális diszkriminatív információ szolgálhat.

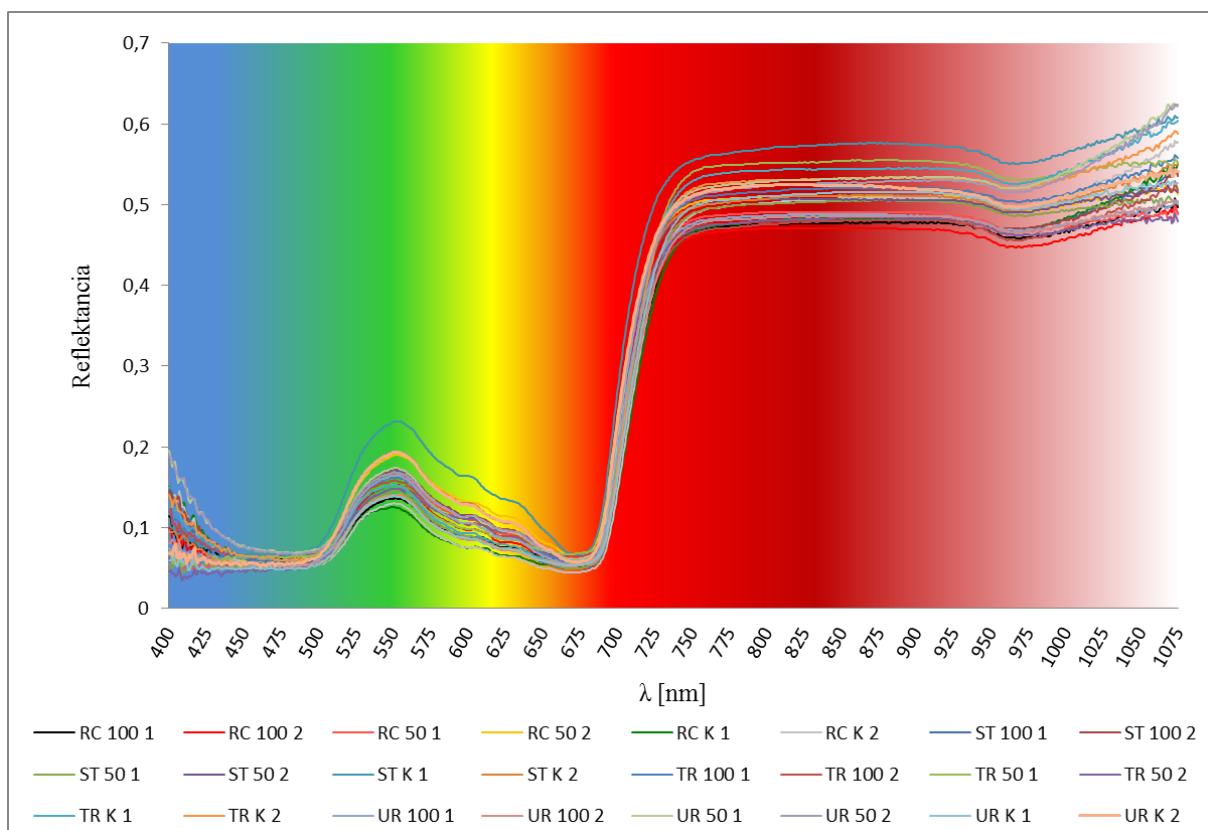


21. ábra A paradicsom, a tojásgyümölcs és a paprika VIS-NIR tartományban rögzített levél reflektancia spektruma, valamint a kijelölt részekben található spektrális különbségek.

4.3 Az öntözés és vízhiány-stressz hatása a paradicsom levelének spektrális tulajdonságaira

Az ipari paradicsom vízellátottságának levél-spektroszkópiás vizsgálata során a különböző fajták esetében az evapotranspiráció mértékében ugyanolyan öntözési vízádagokat juttattam ki az állományokra. Így 2013-ban is létrehoztam a 100%-ban és 50%-ban öntözött, valamint az öntözetlen kontroll állományokat. A növények lombfelületének reflektancia értékei egyértelműen szoros kapcsolatban vannak a levelekben zajló biokémiai és biofizikai állapottal és azok változásával. Egy erősebb negatív kapcsolat mutatható ki a klorofill koncentráció és a látható tartomány spektrális értékei között, amíg az infravörös tartomány és a klorofill koncentráció között a kapcsolat pozitív. Tehát minél magasabb a klorofill koncentráció, annál jelentősebb az elnyelődés a látható tartományban, különösen a fotoszintetikusán aktív elnyelődési tartományokban, viszont az infravörös tartományban a klorofill koncentráció növekedésével a reflektancia értékek is növekednek (Lin et al., 2015). Ebben a kísérletben használt Uno Rosso F1, Red Code F1, Triple Red F1 és Strombolino F1 fajták és öntözési kezelések kombinációjának nyers levél reflektancia értékeit a 22. ábra mutatja be. A paradicsom növényállomány levél reflektancia mérését, ASD FieldSpec Handheld 2 Portable

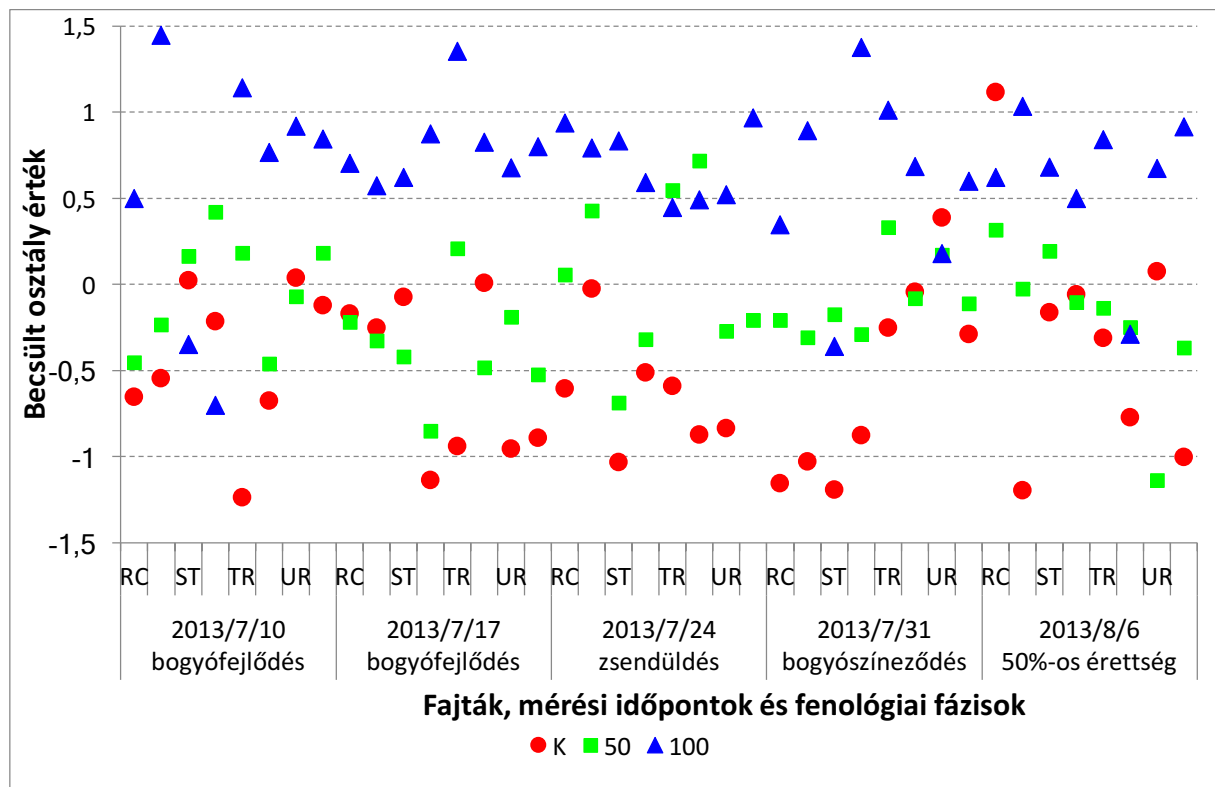
Spectroradiometerrel végeztük, július 10-től, folyamatosan hetente. Az eszköz 325-1075 nm hullámhossz-tartományban mér, minden alkalommal 24 mérés került felvételre, ami azt jelenti, hogy kezeléskombinációnként 2 spektrum került rögzítésre (22. ábra). A spektrális adatok feldolgozásához részleges legkisebb négyzetek elvén alapuló diszkriminancia elemzéssel (PLS-DA), hogy megállapítsuk a levélreflektancia spektrumok és a vízellátottság összefüggését. Az adatok feldolgozása az Unscrambler 9.7 szoftverrel történt. A legalacsonyabb reflektancia értékeket 510 nm-es, míg a legmagasabbakat, a 750-1075 nm-es tartományban mértük, amelyen belül, a közeli infravörös régióban 960 nm-nél egy lokális abszorpciós maximum látható. A közeli infravörös tartomány bizonyos szakaszain nem lehet különbséget felfedezni, ugyanakkor a 900 nm-től 1000 nm-ig terjedő hullámhossz tartományban a fajtáktól független, de az öntözési kezelések diszkriminációjára alkalmas különbségek mutatkoztak. A vízellátottság és a spektrális reflektancia legjobb összefüggéseit, a spektrum adatok 900-1000 nm-es tartományra szűkítése, valamint az előfeldolgozási algoritmusok közül az első derivált alkalmazása esetén értük el.



22. ábra A különböző vízellátottságú ipari-paradicsomfajták átlagos levélreflektanciái (UR= Uno Rosso F1, RC=Red Code F1, TR=Triple Red F1, ST= Strombolino F1, K=kontroll, 50=50%-ban öntözött, 100=100%-ban öntözött)

A szoftver által kiszámított modell alkalmas volt a három különböző vízellátottságú növényállomány elkülönítésére, a becslés pontosságát jellemző p-értékek pedig, 0,0032,

0,0028, 0,008, 0,0011 és 0,0008 voltak, az egymást követő mérési időpontok sorrendjében. A modell használhatóságát keresztvalidációval ellenőriztük. A növények vízellátottságát három értékhez rendeltük: -1,0 (K), 0 (50) and 1,0 (100), míg a hibahatár 0,5 volt. Az ilyen módon, a keresztvalidáció által becsült értékeket mutatja minden kezeléskombináció összes mintavételi időpontjára a következő ábra (23. ábra). A becsült értékek közül a 100-as kezelés esetén 8, az ötvenes kezelés esetén 5, és a kontroll esetén 9 érték került a hibahatáron kívülre. A keresztvalidáció becslése során a kontroll állomány adta a legkevésbé pontos eredményt (Szuvandzsiev et al., 2015).

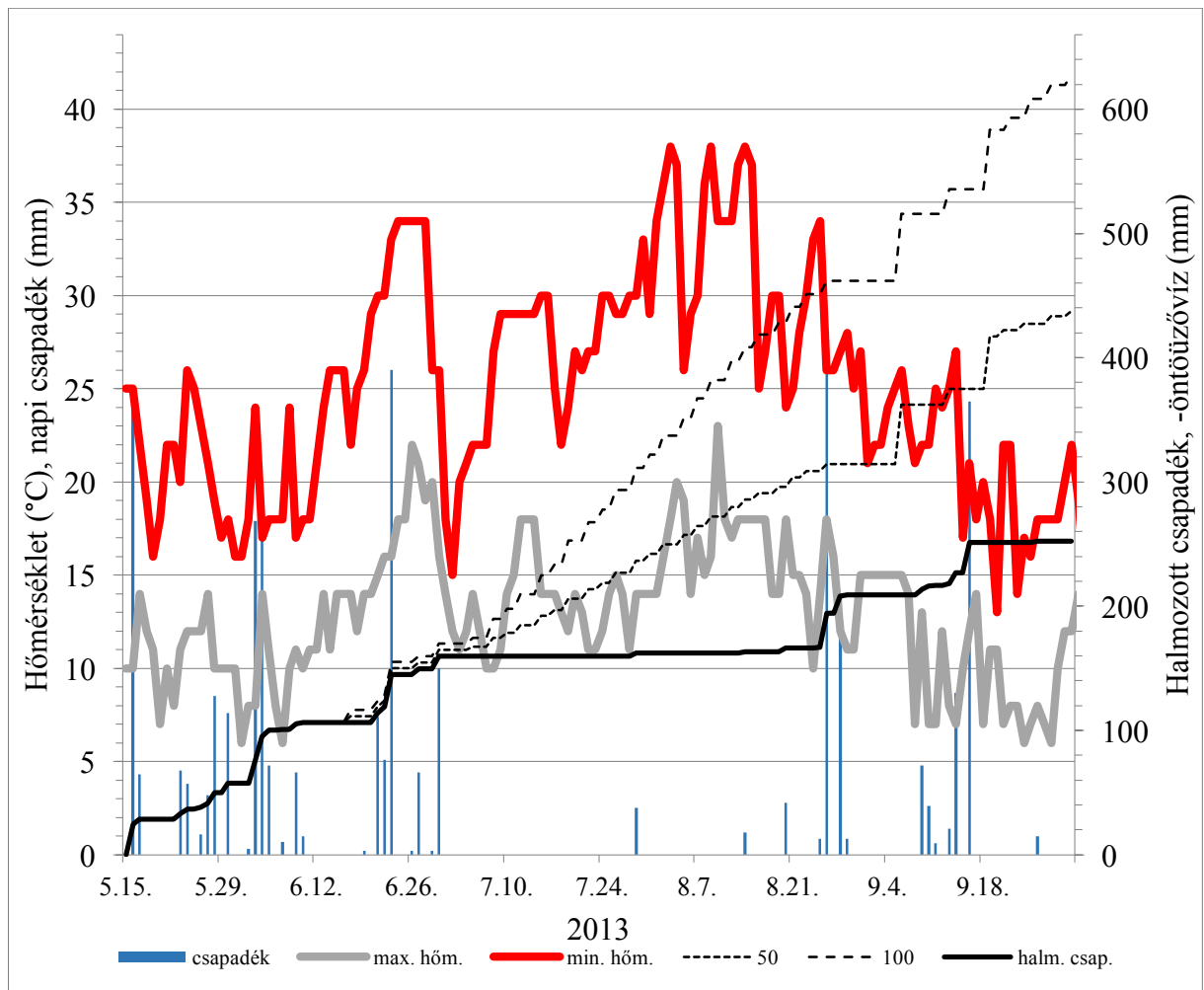


23. ábra A keresztvalidációval becsült vízellátottsági osztály értékek. Osztályértékek: -1,0 (Kontroll), 0 (50) and 1,0 (100), hibahatár 0,5.

4.4 Az öntözés hatása a tojásgyümölcs levelének spektrális tulajdonságaira

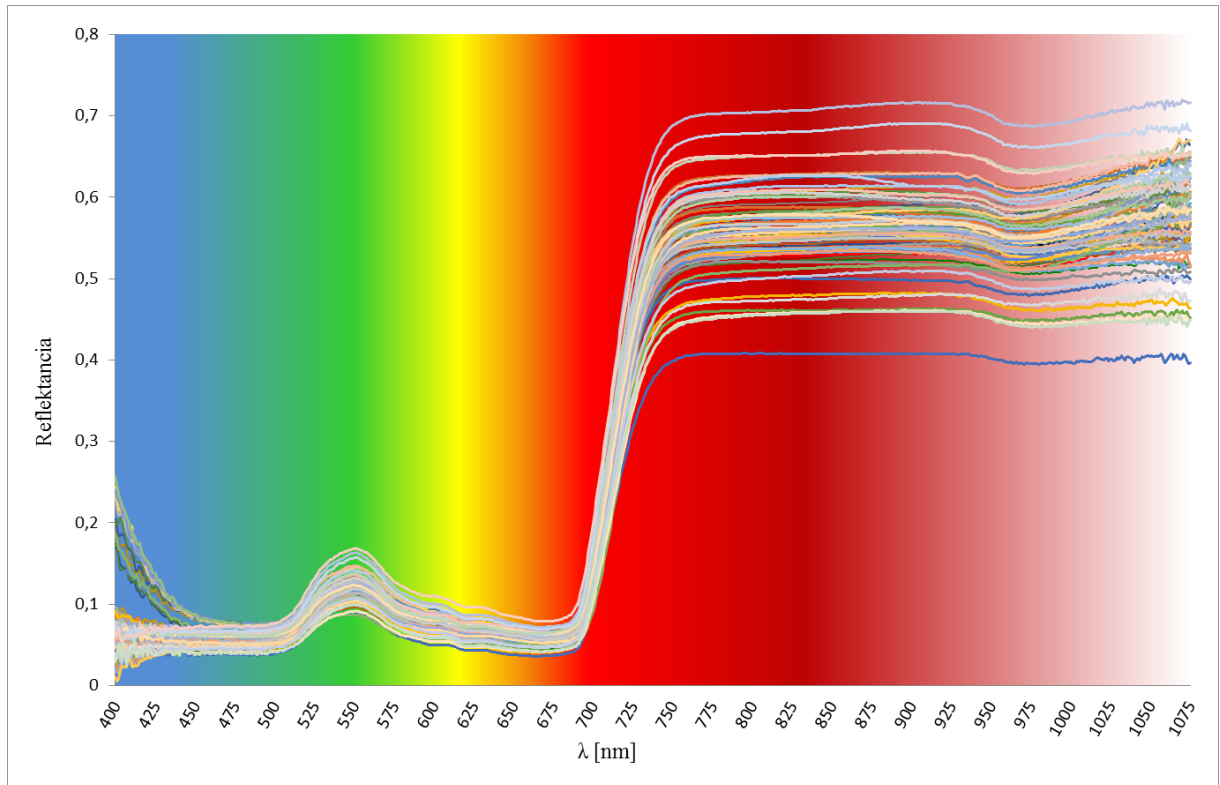
A kísérlet során a 100%-os öntözésben részesült, illetve az 50%-os öntözést kapott növények voltak összehasonlítva a számított vízigényük (I_d) alapján. A 100%-os kezelésnél a növények napi vízigényének megfelelő öntözővíz volt kijuttatva. A kiültetés után nem volt szükség öntözésre május 15 és július 6 között, mivel május hónap közepétől július első dekádjáig elegendő csapadék hullott (24. ábra). A kiültetéstől a betakarítás végéig 252 mm csapadék hullott, melyet 437 és 627 mm-re egészítettünk ki a két öntözött állományban. Mivel a csapadék, a tojásgyümölcs esetében általában nem fedezi a növények vízigényét, ezért öntözetlen kontroll nem került beállításra, különös tekintettel a június 30-tól kezdődő aszályos

időszakra (52 nap), amikor összesen csak 6,5 mm csapadék hullott. Az augusztus végétől érkező nagyobb mennyiségű csapadék, pedig majdnem teljesen fedezte az optimális vízellátottságot.



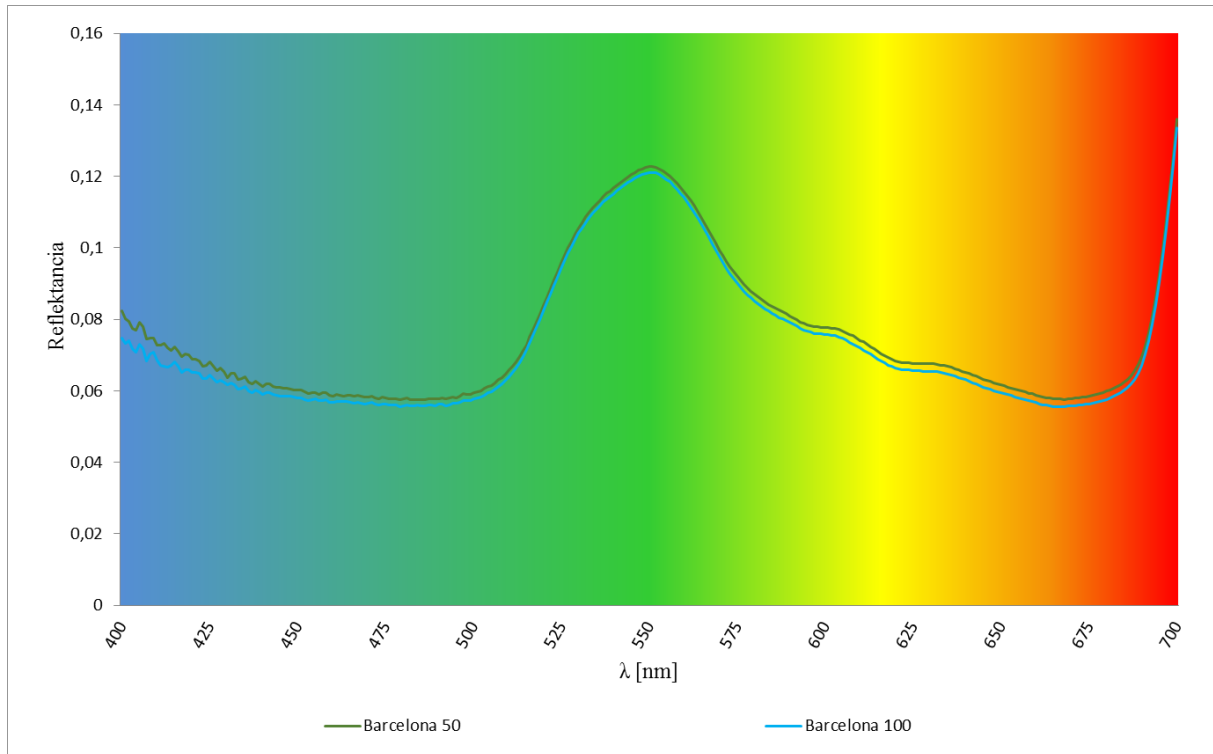
24. ábra A hőmérséklet, a csapadék és az öntözés alakulása, a tojásgyümölcs állományban, 2013-ban (K=kontroll, 50=50%-ban öntözött, 100=100%-ban öntözött)

A spektroszkópia a fény és az anyag kölcsönhatásának tudománya. A légkörön áthaladó elektromágneses sugárzás, fény, a talajfelszínen kölcsönhatásba kerül az ott lévő objektumokkal, mint például a növényi levelekkel. Amikor fény éri a levelet, a spektrum egy része visszatükröződik, amelyet reflektanciának is neveznek. A reflektanciát a levélfelszín és a levél szövetei, valamint a bennük található biokémiai komponensek mennyisége és eloszlása befolyásolja. Ezek a megállapítások a tojásgyümölcs esetében is igazak. E növényállományon július 10-től, hetente végeztünk levélreflektancia méréseket a két eltérő vízellátottságú állományban, így a betakarítás végéig 11 állapotot rögzítettünk (25. ábra). A hetenként végzett felvételezéseknek köszönhetően összesen 104 spektrumot sikerült gyűjtenünk a 13 mérési időpontban.



25. ábra A 2013-ban rögzített, tojásgyümölcs levélen felvett összes reflektancia görbe VIS-NIR tartományban (400-1075 nm)

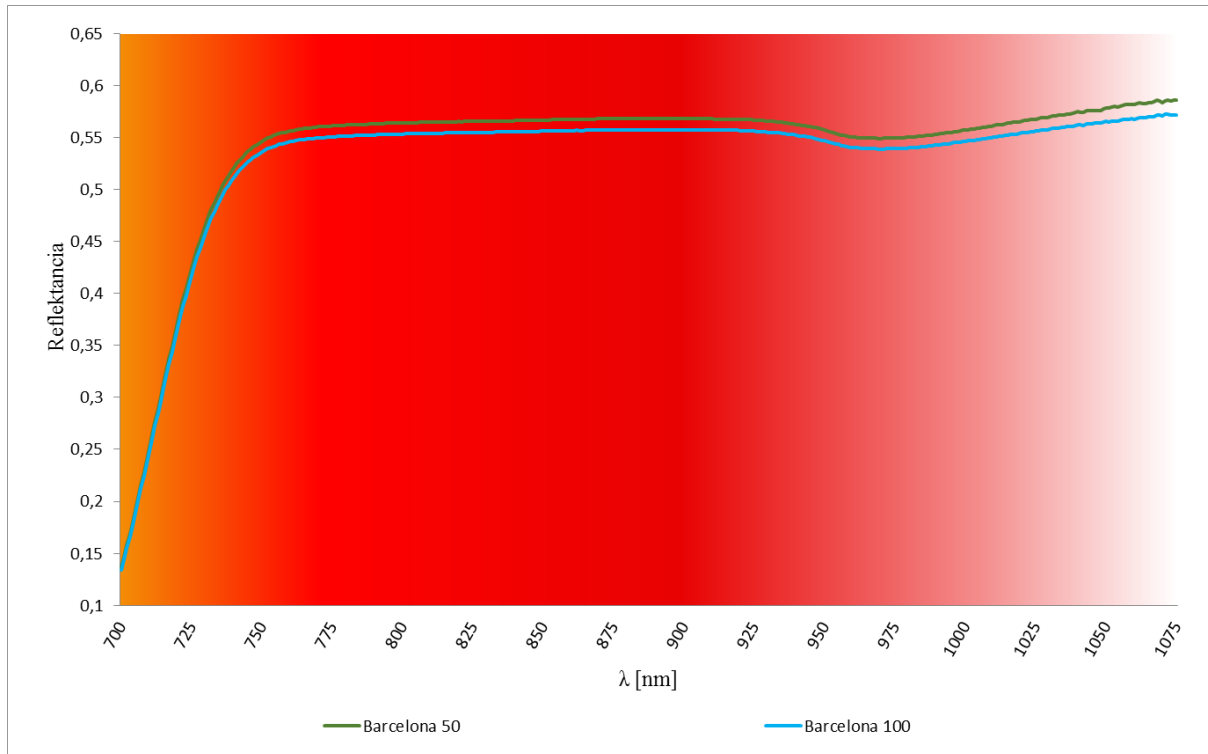
A tojásgyümölcs növényállomány zöld lombzatának reflektancia görbéje jellegzetes mintázatú, ami a növényzet biológiai tulajdonságaival magyarázható. A látható tartományban (400-700 nm) lévő alacsony reflektancia értékek a levelek klorofill aktivitását jelzik. A növény levelei a kék és a vörös spektrumot nyelik el hatékonyabban, míg a zöld tartományban sugárzott energiát nagyobb mértékben visszaverik, lokális maximumot eredményezve. Mivel a látható tartomány zöld sávjában legnagyobb a visszaverés, ezért látja szemünk az egészséges leveleket zöldnek. Ha a növényt valamilyen biotikus (pl. betegség), vagy abiotikus (pl. vízhiány vagy só) stressz éri akkor csökken a fotoszintézis teljesítménye és lassul a növekedése, ami a növényzet spektrális tulajdonságainak változását is eredményezi (Leone et al., 2007; C. Xie & He, 2016). A spektrum reflektancia minimum és maximum értékei mérséklődnek. A hosszabb ideig tartó stressz hatása szemmel is jól látható, mivel a vörös és a zöld fény nagyobb mértékben verődik vissza, a levelek sárgulnak (26. ábra).



26. ábra A 2013-ban rögzített tojásgyümölcs levelére jellemző átlagolt reflektancia görbék a kijuttatott öntözési vízadagok alapján csoportosítva, VIS tartományban (400-700 nm) (Barcelona50=50%-ban öntözött; Barcelona 100=100%-ban öntözött; n=44).

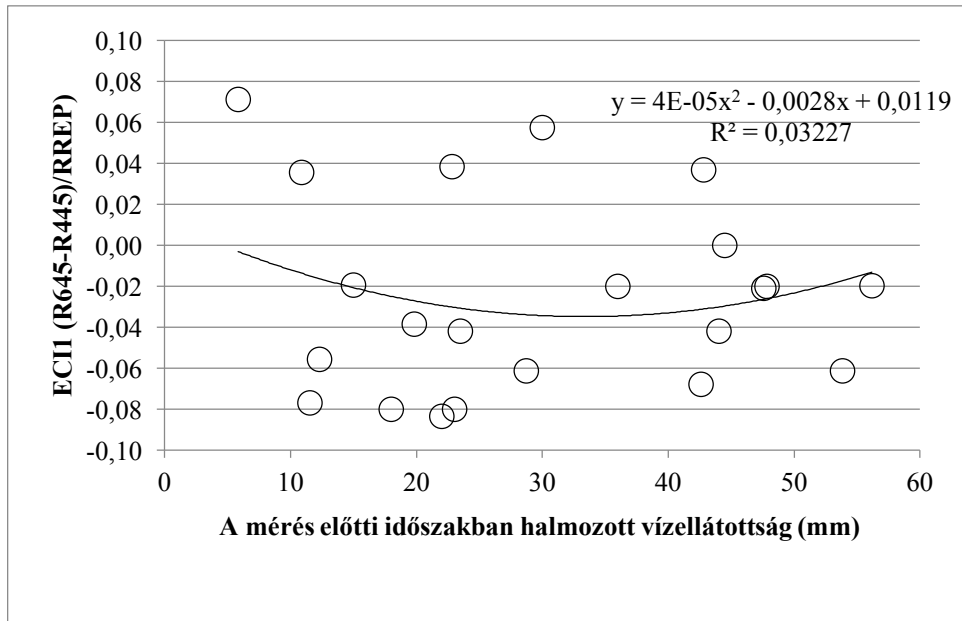
A közeli infravörös tartományban a reflektancia görbe ugrásszerű megemelkedése a levelek sejtszerkezetének tulajdonítható. Egyes fajtáknál a levelek belső szerkezete különbözik egymástól, ami eltérő reflektanciát eredményez. Ez lehetőséget ad az egyes fajták elkülönítésére még akkor is, ha a látható spektrum tartományban azok nagyon hasonlítanak egymásra. A reflektancia értékek alapján érthető, hogy ha a két kezeléskombináció elkülönítéséhez csak a látható spektrum tartományt választanánk, akkor a különbség nem lenne olyan nagy. Ha viszont infravörös tartományban készült felvételeket használunk, akkor megkülönböztethetők (Liu et al., 2014). A reflektancia értékek különbsége ebben a tartományban szembetűnő, a felvételen az 50-es kezelés értékei magasabbak, tehát ezek a levelek világosabb színűek.

A 27. ábra által ábrázolt tojásgyümölcs reflektancia értékek megfelelnek Lin és munkatársai (2015) eredményeinek, miszerint az infravörös tartományban, a klorofill koncentráció növekedésével a reflektancia értékek is növekednek.



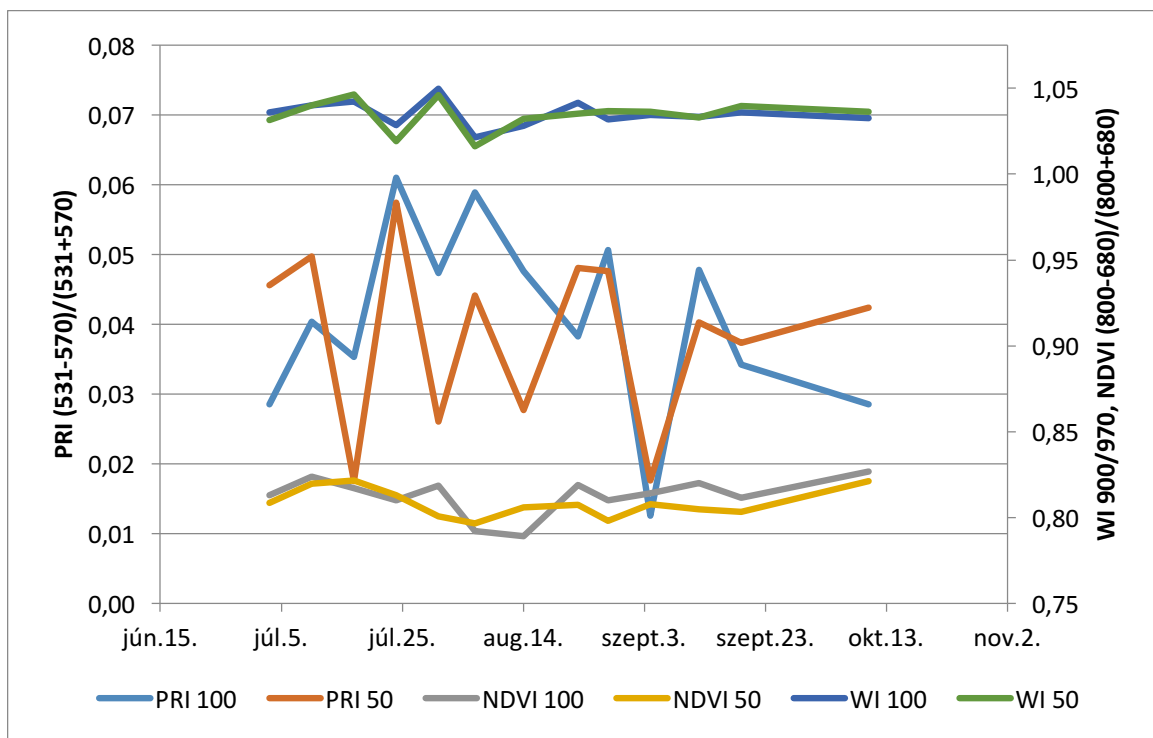
27. ábra A 2013-ban rögzített tojásgyümölcs levelére jellemző átlagolt reflektancia görbék a kijuttatott öntözési vízádagok alapján csoportosítva, NIR tartományban (700-1075 nm) (Barcelona50=50%-ban öntözött, Barcelona 100=100%-ban öntözött).

A növényállományok értékelésében, a leggyakrabban használt vegetációs indexek, az NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), PRI (Photochemical Reflectance Index), WI (Water Index) és az ECI1 (Effective Chlorophyll Indicator: difference-based red edge reflectance ratio index) amelyek a levelek reflektanciáiból számított dimenziómentes mérőszámok. Egy adott terület vegetációs aktivitását fejezi ki az $NDVI = (R_{800} - R_{680}) / (R_{800} + R_{680})$, ahol a vörös (RED, 600-700 nm) tartományban jelentős a klorofill elnyelése- mérsékelt reflektancia (RRED), - a közeli infravörösben (NIR, 700-800 nm) pigment nem nyel el, sőt a celluláris struktúra fényt szór -magas RNIR. A NDVI korrelál a területet takaró növényzet fajlagos klorofill tartalmával hasonlóan, mint a $PRI = (R_{531} - R_{570}) / (R_{531} + R_{570})$ (Lin et al., 2015; Peñuelas et al., 1997), vagy a $WI = R_{900} / R_{970}$ (Rahimzadeh-Bajgiran et al., 2012). Az $ECI1 = (R_{645} - R_{445}) / R_{REP}$ esetén a fotoszintézis két elnyelési reflektanciájából és a vörös él pozíciójának (REP), stressz hatására történő változásából számítható (Dawson & Curran, 1998), amely szoros összefüggésben van a klorofilltartalommal (Lin et al., 2015). Eredményeink sem a vörös él eltolódását, sem az ebből számított összefüggést nem igazolták, ami szintén a vízhiánymentes technológiát jelzi (28. ábra).



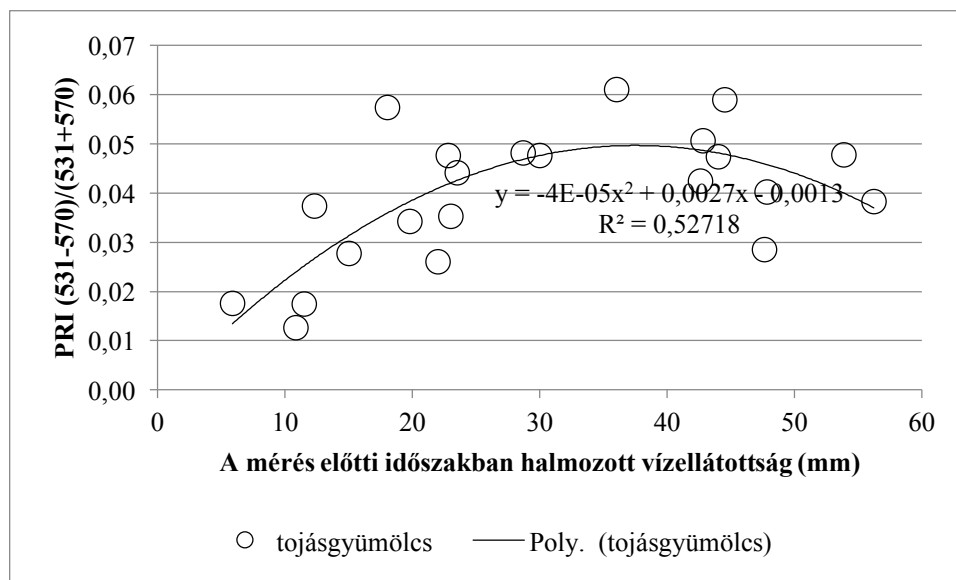
28. ábra A tojásgyümölcs levelére jellemző átlagolt reflektancia adatokból számított ECI 1 értékek, a méréseket megelőző időszak vízellátottságának viszonylatában (Barcelona F1; ECI 1 = Effective Chlorophyll Indicator; n=24).

Az előbb felsorolt indexek közül, legszemléletesebb különbség a PR index esetén volt mérhető (29. ábra).



29. ábra A 2013-ban rögzített tojásgyümölcs levelére jellemző átlagolt reflektancia adatokból számított vegetációs indexek a tenyészidőszak alatt; Fajta Barcelona F1 (PRI= Photochemical Reflectance Index; NDVI= Normalized Difference Vegetation Index; WI=Water Index; 50=50%-ban öntözött, 100=100%-ban öntözött).

A vegetációs indexek és vízellátottság összefüggéseit vizsgálva, szintén csak a PR index és a vízellátottság között sikerült kimutatni értékelhető összefüggést, melyet legszorosabban egy másodfokú polinom függvénnyel lehet jellemezni (30. ábra).



30. ábra A tojásgyümölcs levelére jellemző átlagolt reflektancia adatokból számított PR index értékek, a méréseket megelőző időszak vízellátottságának viszonylatában (Barcelona F1; PRI= Photochemical Reflectance Index; n=22).

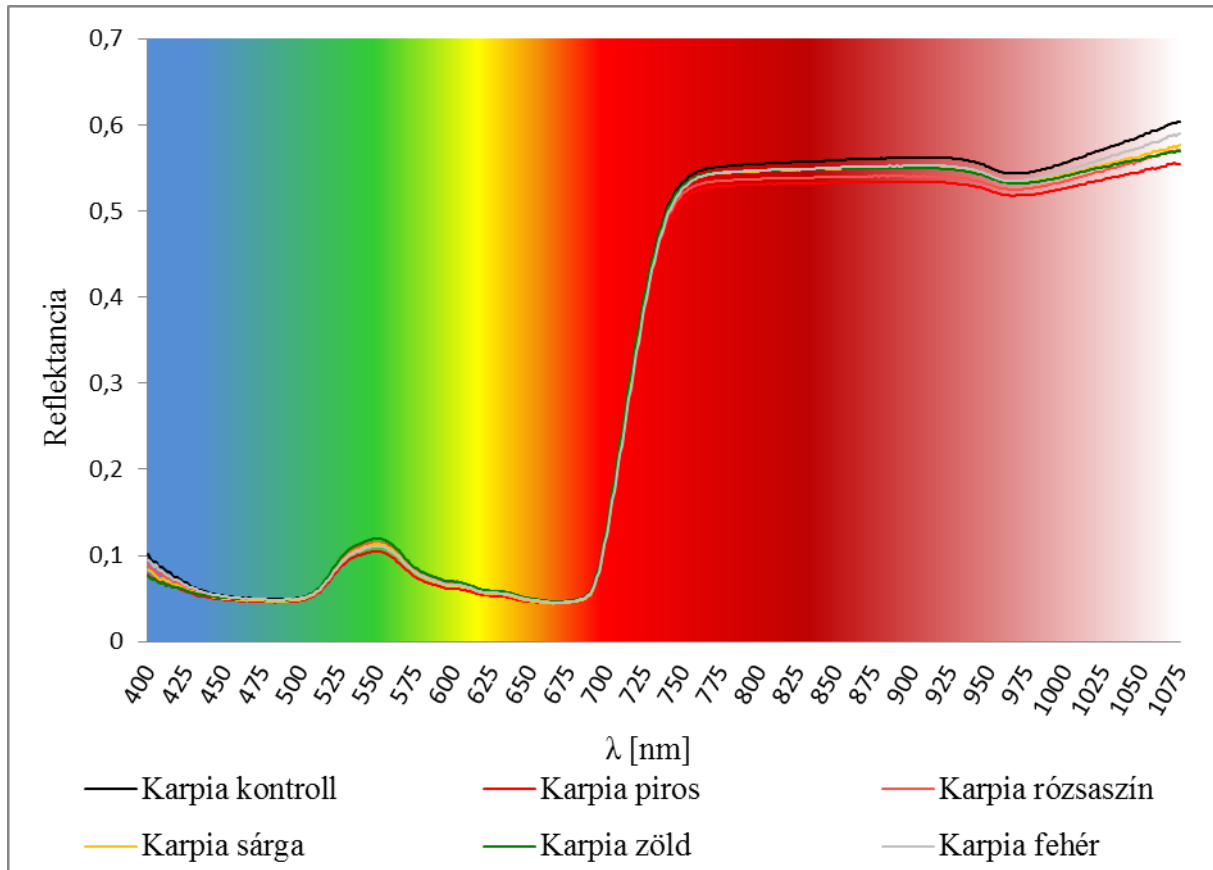
4.5 A fotoszelektív hálók hatása Kápia típusú paprikaállomány levélreflektanciájára és termésmennyiségére

A különböző színű takaróanyagok használata a kertészeti termesztésben, nagy múltra tekint vissza külföldön, míg hazánkban hagyományosan általában csak zöld színű hálót alkalmaztak árnyékolóként (Ilić & Fallik, 2017; Ledóné Darázsi et al., 2013; Shahak, 2014). A legújabban fejlesztett műanyag hálók alkalmazása többirányú: árnyékoló-, jégvédő-, szélvédő- és a kártevők elleni hatásukat is vizsgálták (Ben-Yakir et al., 2014; Ilić & Fallik, 2017; Shahak, 2014). Az alattuk előállított élelmiszer minősége is megváltozik (Shahak et al., 2016). A Kertészeti Intézetben 2012-ben kezdődtek az ezzel kapcsolatos kutatások (Ledóné Darázsi et al., 2013). Ennek egyik jelentős állomása volt a 2013-as árnyékolási kísérlet, mely során megvizsgáltam két Kápia típusú paprikafajta levélspektrumát az árnyékolás nélküli kontroll állományban és a különböző színű hálók alatt (31. ábra) illetve méréseket végeztem a hálók abszorpciós tulajdonságai terén is.

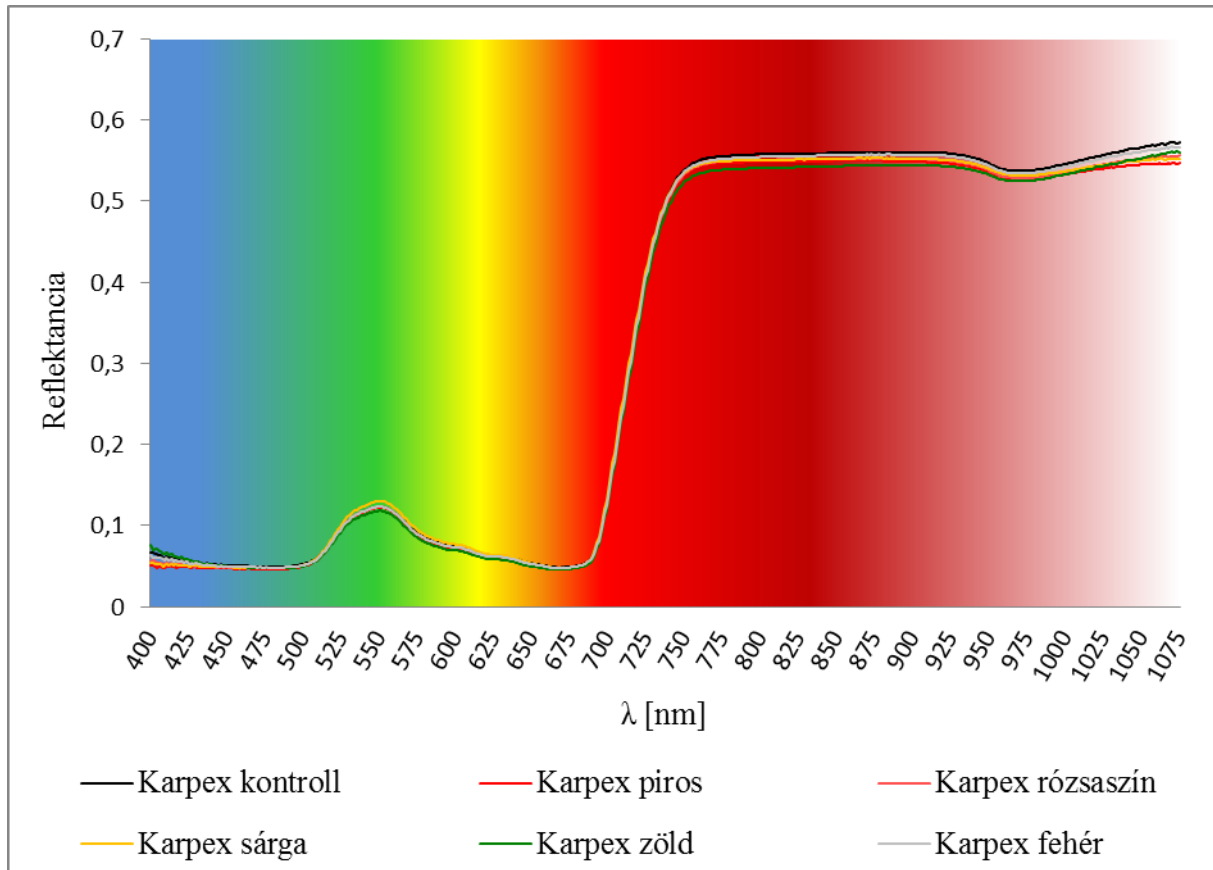


31. ábra Különböző színű fotoszelektív halókkal árnyékolt Karpia F1 és Karpex F1 paprika állományok.

A levelek reflektancia spektruma a felszínük tulajdonságaiból és szöveti szerkezetükből adódóan eltérő jellemzőket mutatott a kezelések hatására, amelyből adott hullámhosszra vonatkozóan következtethetünk a növény fiziológiai folyamataira, valamint fotoszintetikus aktivitására. A vegetációs időszak során rögzített Karpia F1 és Karpex F1 paprikák levélspektrumait a következő két ábrán mutatom be (32. ábra-33. ábra).

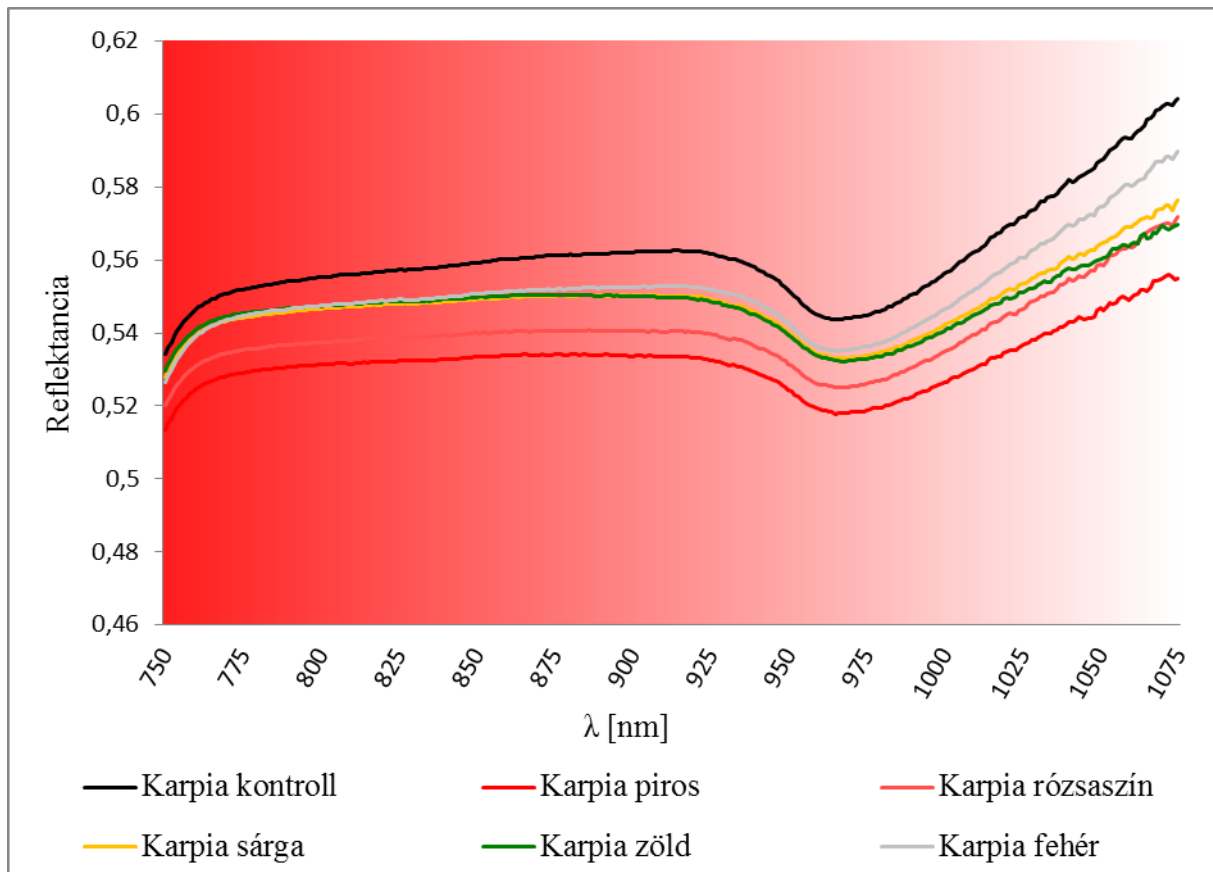


32. ábra Karpia F1 paprikafajta leveleinek átlagolt reflektancia görbéi VIS-NIR tartományban (400-1075 nm) a fotoszelektív hálók színe alapján diszkriminálva



33. ábra Karpex F1 paprikafajta leveleinek átlagolt reflektancia görbéi VIS-NIR tartományban (400-1075 nm) a fotoszelektív hálók színe alapján diszkriminálva

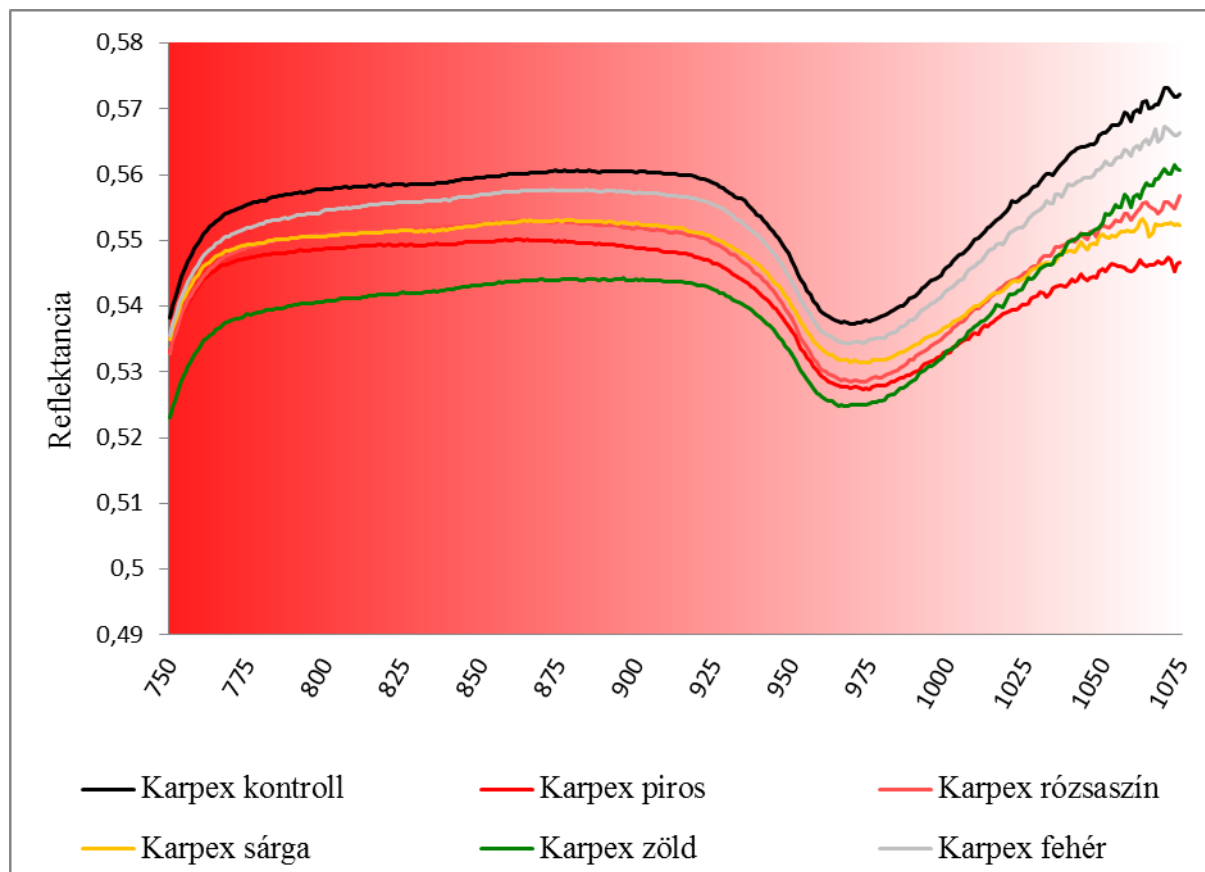
A 700 nanométeres tartományon túl, különös tekintettel a vörös élt követő, vörös plató reflektancia tartományt vizsgálva elkülönülést mutattam ki, a kontroll és a különböző színű hálók alatt mért levél reflektancia értékei között. Karpia F1 paprika esetében a kontroll állományon mértük a legmagasabb reflektációs értékeket, majd ezt követte sorban a fehér, sárga, zöld, rózsaszín és a piros háló alatt fejlődött levelek reflektancia értékei (34. ábra).



34. ábra Karpia F1 paprikafajta leveleinek átlagolt reflektancia görbéi NIR tartományban (750-1075 nm) a fotoszelektív hálók színe alapján diszkriminálva

A másik Kápia típusú paprika hibrid, a Karpex F1 levél reflektancia görbéi egymáshoz képest szorosabban álltak és reflektanciás tulajdonságaik terén eltérő sorrendet mutattak, kontroll, fehér, sárga, rózsaszín, piros és zöld, színű háló alatti csökkenő értékekkel (35. ábra).

Hasonlóan a paradicsom és tojásgyümölcs állományok levélreflektanciáihoz, a paprikáknál is, 960 nm-nél egy lokális abszorpciós maximum észlelhető. A közeli infravörös tartomány bizonyos szakaszain nem lehet különbséget felfedezni, ugyanakkor a 750 nm-től 1000 nm-ig terjedő hullámhossz tartományban a kezelések diszkriminációjára alkalmas különbségek mutatkoztak.



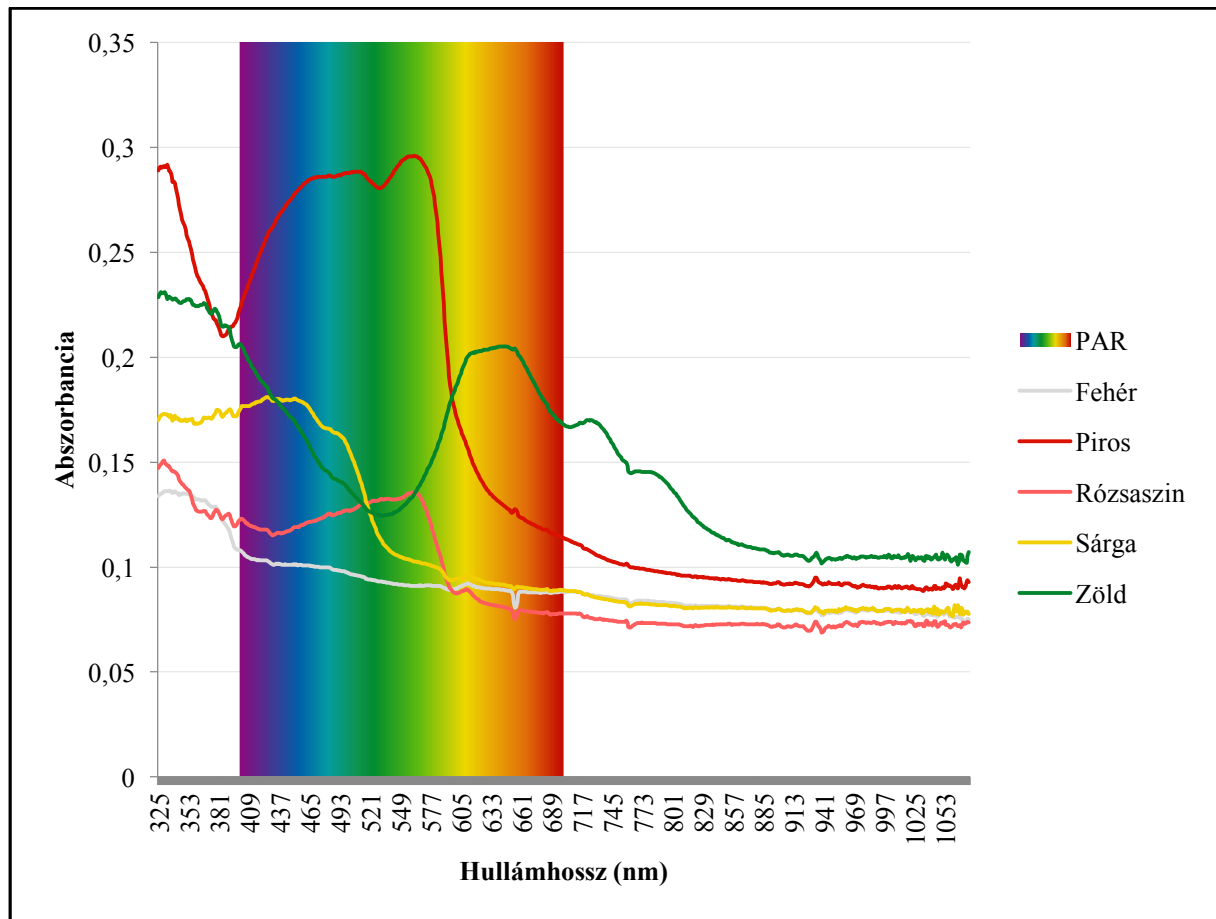
35. ábra Karpex F1 paprikafajta leveleinek átlagolt reflektancia görbéi NIR tartományban (750-1075 nm) a fotoszelektív hálók színe alapján diszkriminálva

A fotoszelektív hálók spektrummódosító hatása miatt kialakult eltérő sugárzási viszonyokból következik, hogy mindkét fajtánál a különböző kezelések reflektancia görbéi eltérnek és elkülönülnek egymástól. A különböző színű árnyékolók levélreflektancia módosító hatását, hazai kísérletből származó eredményekkel, először publikáltuk Magyarországról (Ledóné et al., 2013).

4.5.1 A fotoszelektív műanyagból árnyékoló képességének mérése

A növények felületét érő, Napból érkező globális sugárzás több tartományra osztható, azonban a növények élettani folyamataikhoz csak a PAR tartományban található sugárzás elengedhetetlen, így a burkolóanyagok nyújtotta sugárzás-manipuláló hatás számos lehetőséget kínál (Lamnatou és Chemisana, 2013). Kísérletünkben használt különböző árnyékoló hálók (31. ábra), eltérő színűek (fehér, sárga, rózsaszín, piros és zöld) és szerkezetűek voltak, emiatt eltérő fényintenzitás-csökkentő és spektrum-módosító hatást fejtettek ki az alattuk fejlődő paprikaállományokra. Mivel a hálók árnyékoló hatása nagymértékben összefüggésben áll a szövési sűrűséggel, a kísérletünk során alkalmazott hálók mindegyike 40%-os árnyékolási faktorról volt lejárva.

A FieldSpec HandHeld 2™ Portable típusú spektro-radiométerrel végzett mérésekből származó abszorbanca értékek- amelyek összefüggésbe hozhatók a különböző hálók színével-fényáteresztés tekintetében élesen elkülönültek egymástól a spektrumtartomány adott részein. A hálók fényáteresztő képességének számszerűsítése érdekében az abszorbanca értékeiket vizsgálva a hullámhossz függvényében (36. ábra) kimutatható, hogy a hálók színüktől függő spektrum-módosító hatása eltérő, így abszorbanciájuk a hullámhossz függvényében változó. Az ábra tehát szemlélteti a színes árnyékoló hálók átlag abszorbanca értékeit, amely a hálók fényelnyelő-képességét mutatja a fény spektrumának függvényében 325 és 1075 nm-es hullámhossz-tartományban. A hálók abszorbanciáját az adott háló alatt mért, kalibrációs referenciaként is alkalmazható fehér korong (USP 1119) reflektanciájából számítottuk ki: $A=\log(1/R)$ összefüggéssel. Ebben az összefüggésben R a reflektanciát jelöli. A diagramon látható, hogy a növények számára jelentős PAR tartományban, 400 nm-től a piros színű háló abszorbanciája a legmagasabb, majd ezt követi a zöld háló abszorbanca értéke. Tovább haladva ebben a tartományban 598 nm-es spektrális sávot követve azonban egy felcserélődés figyelhető meg és a zöld háló mutat magasabb értékeket a piros hálónál. A sárga, rózsaszín és fehér hálók abszorbanca értékei 600 nm felett közel teljesen azonosak.



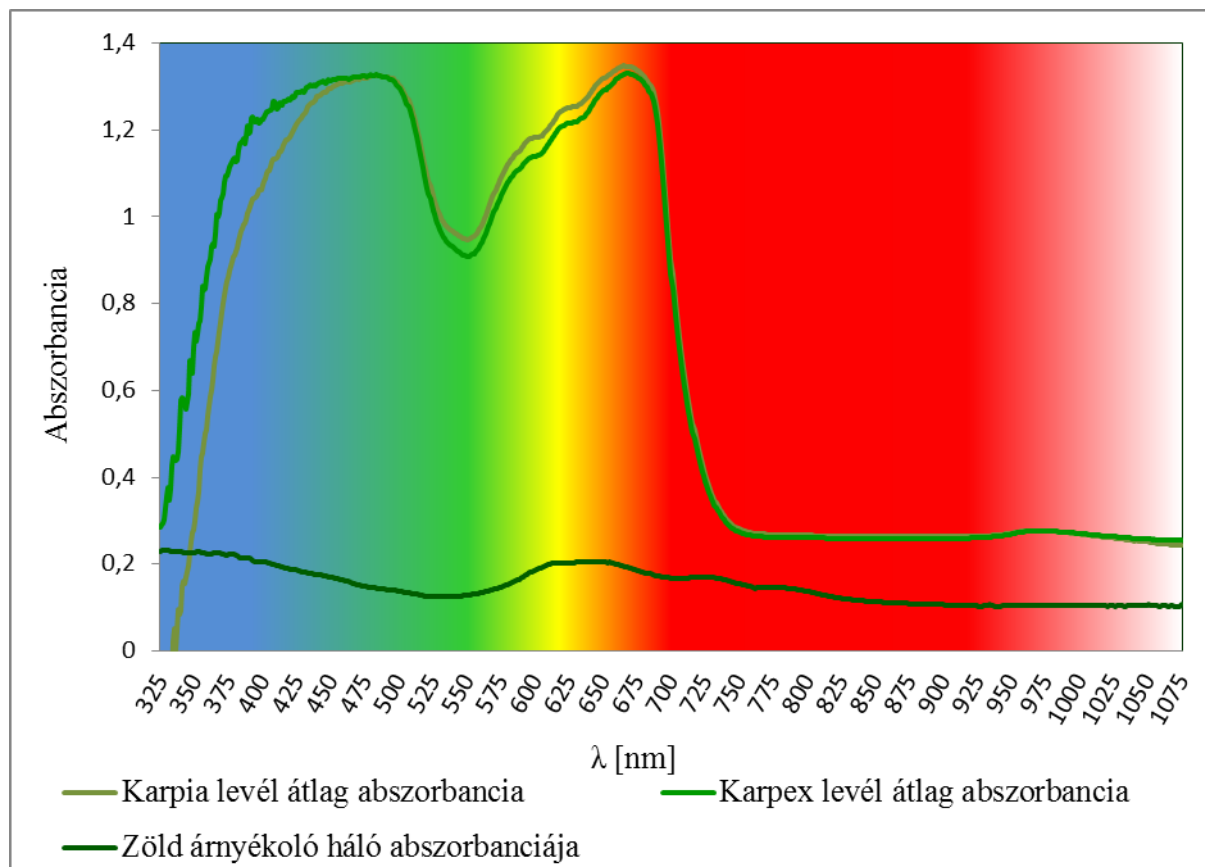
36. ábra A FieldSpec HandHeld 2™ Portable típusa spektroradiométerrel rögzített abszorbancia értékek a kísérletünkben használt különböző színű fotoszelektív árnyékoló hálóról.

Az hálókra jellemző elnyelési maximumokat az 1. táblázat tartalmazza, amelyből kiolvasható, hogy a teljes, mért hullámhossztartományt vizsgálva a piros színű háló fényelnyelése volt a legjelentősebb. Ezt követte a zöld, sárga, rózsaszín, majd a fehér háló abszorbancia értékének maximuma. Fontos kiemelni, hogy a fehér háló abszorbancia görbéje 335 nm-nél mutatja a maximális értéket ($A=0,136$), mivel ez az UV-tartomány egyébként is zajos és a műszerünk által spektrális elemzésre alkalmatlan tartományban található, itt a növényi élet számára nagy jelentőséggel bíró PAR tartományban lévő maximális értéket vettem figyelembe. Hasonlóképpen jártam el a a zöld háló esetében is, ahol így a 400 nm-es hullámhosszávon 0,206 volt az abszorbancia maximum.

1. táblázat A kísérletünkben használt különböző színű fotoszelektív árnyékoló hálókra jellemző abszorbanca-maximum értékek és a hozzájuk kapcsolódó hullámhossz (nm)

	Abszorbanca	Hullámhossz (nm)
Fehér	0,108	400
Piros	0,295	562
Rózsaszín	0,135	563
Sárga	0,181	426
Zöld	0,205	645

A legtöbb növény fotoszintetikus érzékenységeinek maximuma a kék és piros sugárzási tartományban található. Ez a tulajdonság sok tényezőtől függhet és akár fajonként is változhat, de három, kifejezetten jelentős elnyelődési szakaszt el lehet különíteni, egy sötétkéket (455-485 nm), egy világos- vagy zöldeskéket (485-505 nm) és egy pirosat (620-760 nm). Mind a beérkező nyers, mind pedig a manipulált sugárzás esetén a legfontosabb a fény mennyisége mellett a kék és piros fény optimális arányának megtalálása (Mitchell et al., 2015). A kék tartományban található sugárzás, a növekedés kezdeti szakaszában jelentős és a sejtek megnyúlását eredményezi, míg a vörös- és infravörös fény a maga termikus vagy termikushoz közeli hatásait kifejtve a sejtek töppedését vonja maga után, valamint a vegetatív szakaszból a generatív szakaszba való átválást, a virágzást, illetve az érést serkenti (Lamnatou és Chemisana, 2013). A növényi élet alapját adó klorofill-a és klorofill-b fotoszintetikusán aktív pigmentek által lefedett abszorbanca jellemzését a vizsgálatba vont Kápia fajták esetén a következő ábrán látható hullámhossz függvényben mutatom be. A hazai termesztésben leggyakrabban használt zöld színű árnyékoló háló elnyelési csúcsa egybeesik a klorofill-a és klorofill-b maximális abszorbanca értékével, amely így amellet, hogy védelmet nyújthat a Napból érkező káros sugárzás perzselő hatása ellen, nagymértékben visszavetheti az alatta fejlődő paprikaállományok produktivitását (37. ábra).

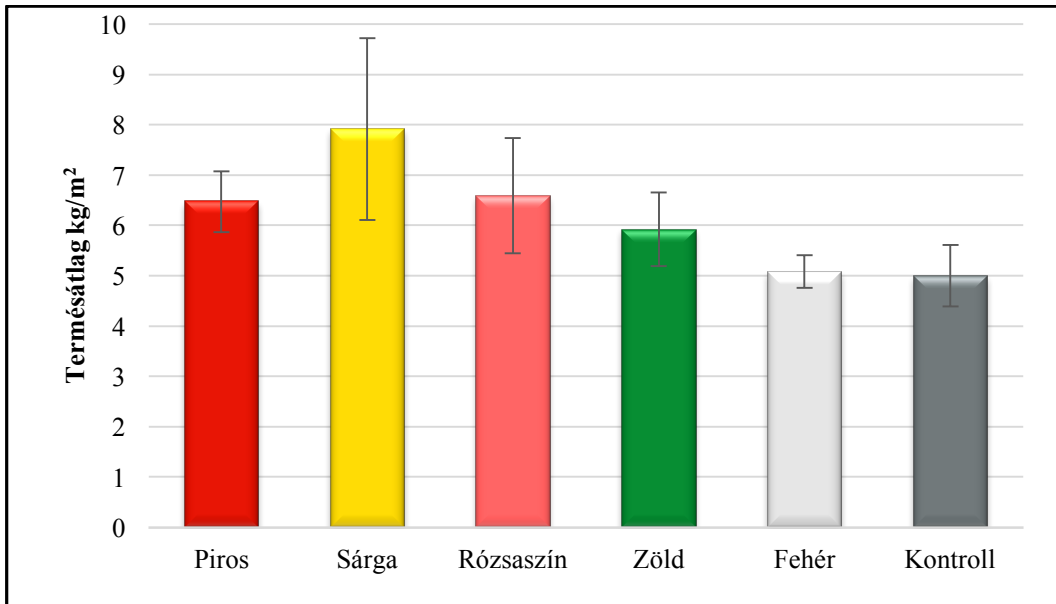


37. ábra Kárpia F1 és Karpex F1 paprika hibridek által a tenyészidőszak során mutatott átlagos abszorbancia értékek, valamint a zöld színű árnyékoló háló abszorbanciája

4.5.2 A fotoszelektív műanyaghálók árnyékoló hatása a paprika mennyiségi- és minőségi paramétereire

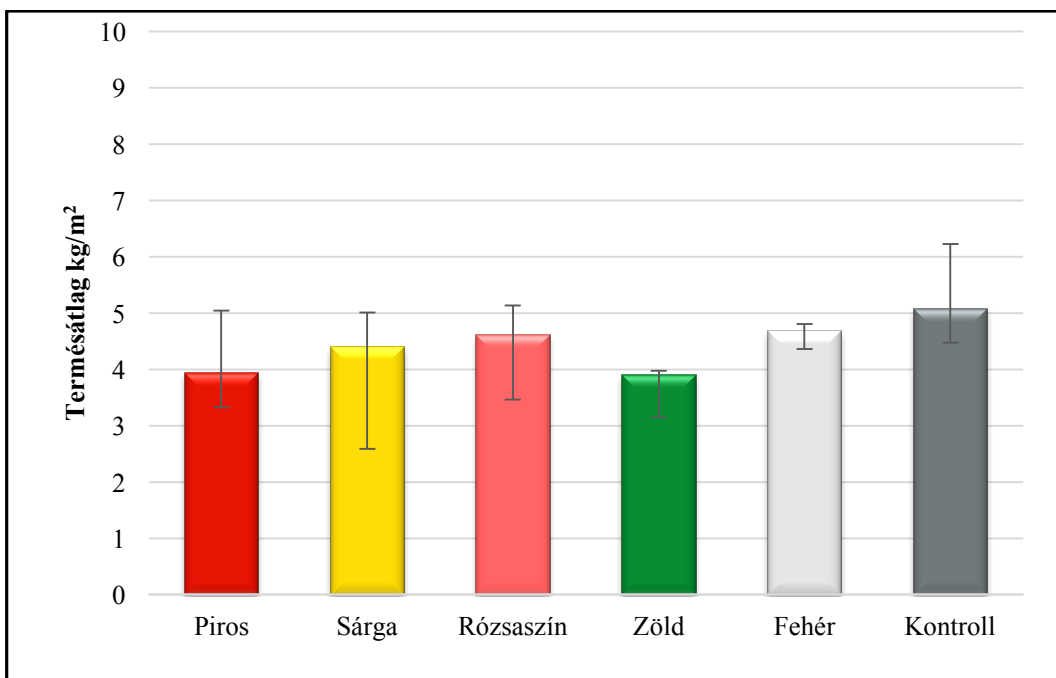
A különböző színű árnyékoló hálók eltérő hatást gyakoroltak az alatta termesztett állomány betakarított termésének mennyiségére és minőségére.

A két paprika hibrid termésátlagának értékeit a különböző színű árnyékoló hálók alatt a 38. ábra és a 39. ábra szemlélteti. A diagramokon látható, hogy a Karpex F1 és Karpia F1 termésátlag sorrendje eltérő (a szórási értékeket figyelembe véve), az adott kezeléseket tekintve. A Karpex F1 fajta átlagos hozama $6,2 \text{ kg/m}^2$ volt, míg a Karpia F1 fajta mindössze $4,4 \text{ kg/m}^2$ -es hozamot mutatott. A takaratlan, kontroll állomány hozama nem adott számottevő különbséget a két hibrid között, 5 kg/m^2 termést eredményezett a Karpex F1 fajtánál, míg a Karpia F1 fajta esetén $5,1 \text{ kg/m}^2$ -es termésátlagot ért el. A Karpex F1-et külön vizsgálva a kontroll kezelés hozta a legalacsonyabb termésmennyiséget. Ennek viszonylatában a hozamtöbblet alapján felállított sorrend: fehér (101,6%), zöld (118,4%), piros (129,4%), rózsaszín (131,8%) és sárga (158,2%) színű háló.



38. ábra A Karpex F1 paprika átlagos hozama a különböző színű árnyékoló hálók alatt, a szignifikáns differenciák különbségvonalával (n=4)

Ehhez képest Karpia F1 esetén a kontroll állomány hozama mutatta a legmagasabb értéket. A kontrollhoz viszonyított százalékos termésmennyiség-különbségek szerinti növekvő rangsor a következő: zöld (76,6%), piros (77,4%), sárga (86,4%), rózsaszín (90,7%), fehér (92,2%).

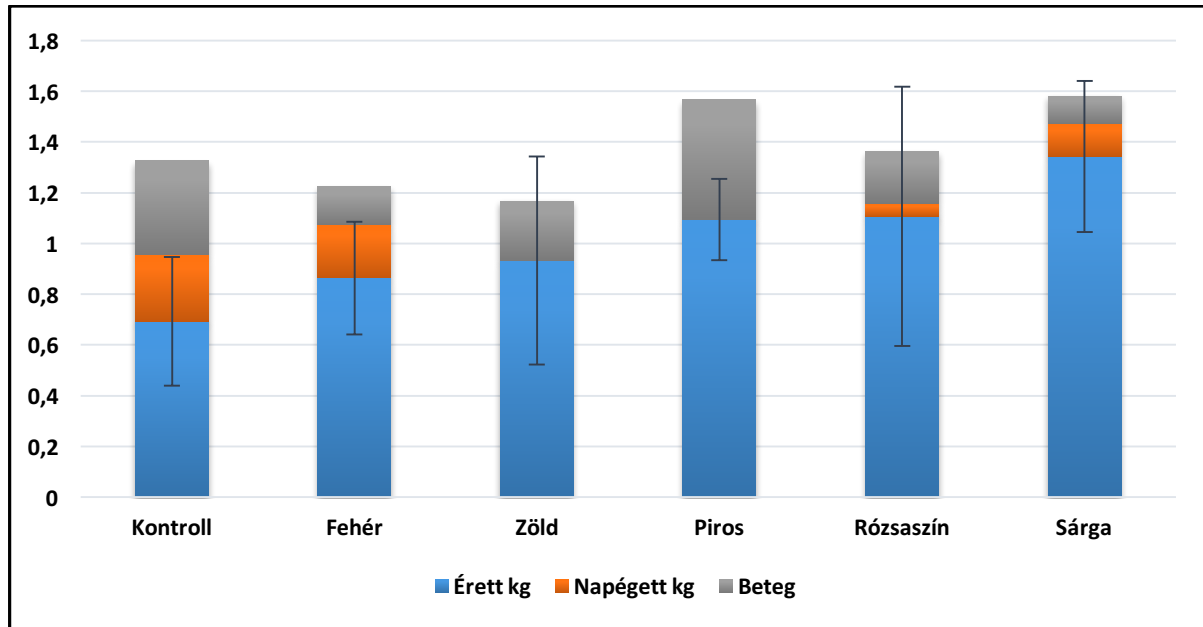


39. ábra A Karpia F1 paprika átlagos hozama a különböző színű árnyékoló hálók alatt, a szignifikáns differenciák különbségvonalával (n=4)

A Karpex F1 hibridnél a fehér, míg Karpia F1 fajta kezelésében a zöld háló hatása okozta a legrosszabb eredményeket az átlaghozamban.

A Karpex F1 fajta termésmennyiségét és annak minősítés (érett, napégett és beteg bogyók) szerinti megoszlását a 40. ábra mutatja. A kontroll és a fehér színű hálóval árnyékolt állomány

hozamában jelentek meg legnagyobb arányban a napégett termékek. Ezzel ellentétben a piros és zöld hálók alatt nem fordult elő a terméseken napégés. A fajta hozamára erős hatást gyakorolt a beteg bogyók magas aránya, ezzel magyarázható a sárga és a kontroll közötti jelentős különbség (40. ábra).



40. ábra A Karpex F1 paprika tövenkénti átlagos termés mennyisége a különböző színű árnyékoló hálók alatt ($n=4 \pm SzD_{5\%}$)

Összegezve megállapítható, hogy mindkét fajtánál láthatóan, a sárga színű árnyékoló háló mind abszolút termésátlagban, mind pedig egészséges termésátlagban pozitív hatással teljesített. A Karpex F1 fajta esetén jelentősebbek a kezelések közötti különbségek. Az egészséges termékek tekintetében a sárga árnyékoló háló alatti állomány átlagtömegben, több mint kétszeresen teljesített, a kontrollhoz képest.

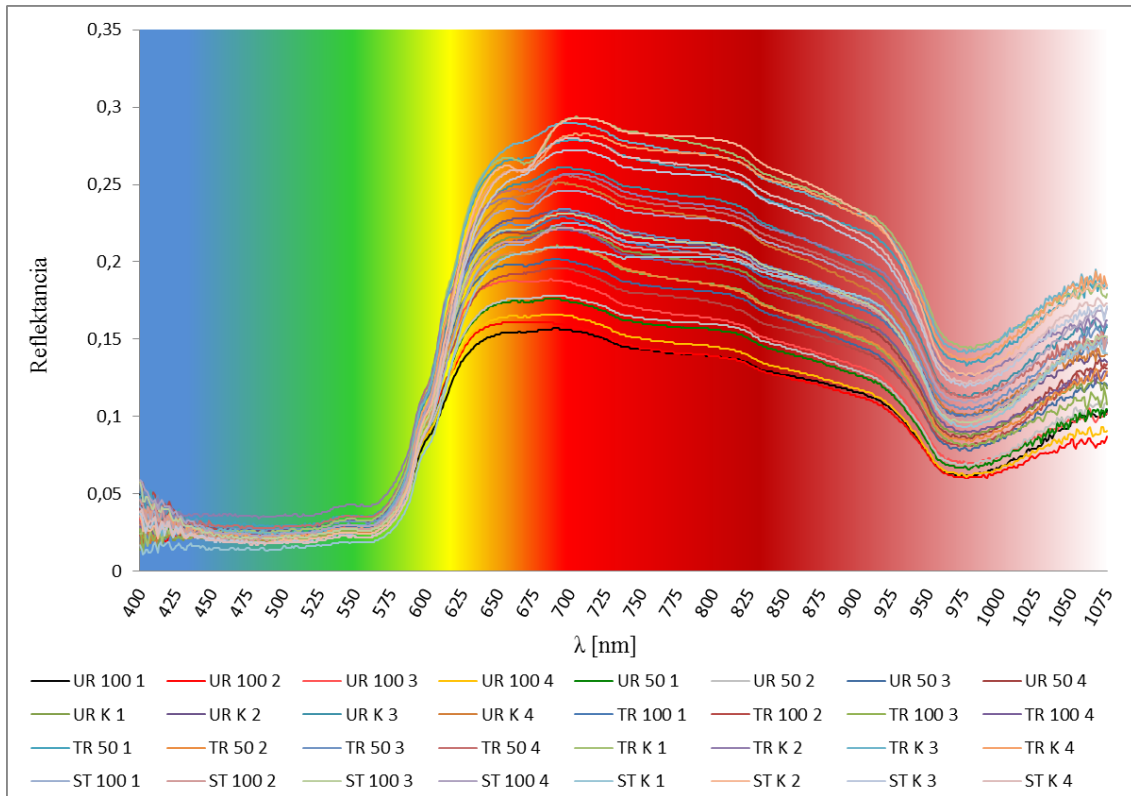
Paprikán végzett kísérletek során külföldi kutatók is vizsgálták a piros, sárga és 'pearl' hálók hatását a hozamra, majd vetették össze a kontrollként használt, hagyományos fekete árnyékoló háló hatásával. A teljes termesztési szezonban, az egy növényre vonatkoztatott gyümölcszám 30-40%-kal magasabb volt a színes hálók alatt. Mialatt a gyümölcsméret hasonló volt a különböző kezelések során, a fotoszelektív hálók 30-40%-kal magasabb hozamot eredményeztek, mint a kontroll állomány (Shahak, 2008).

Minőség tekintetében a színes árnyékoló hálókkal alkalmazott kezelések felülmúlták a kontroll állomány teljesítményét. Az összehasonlító vizsgálat alapján a sárga és piros színű hálók alkalmazását részesíthetik előnyben (Ledóné, 2014).

4.6 Az öntözés és vízhiány-stressz hatása a paradicsombogyó beltartalmi értékére és spektrális jellemzőire

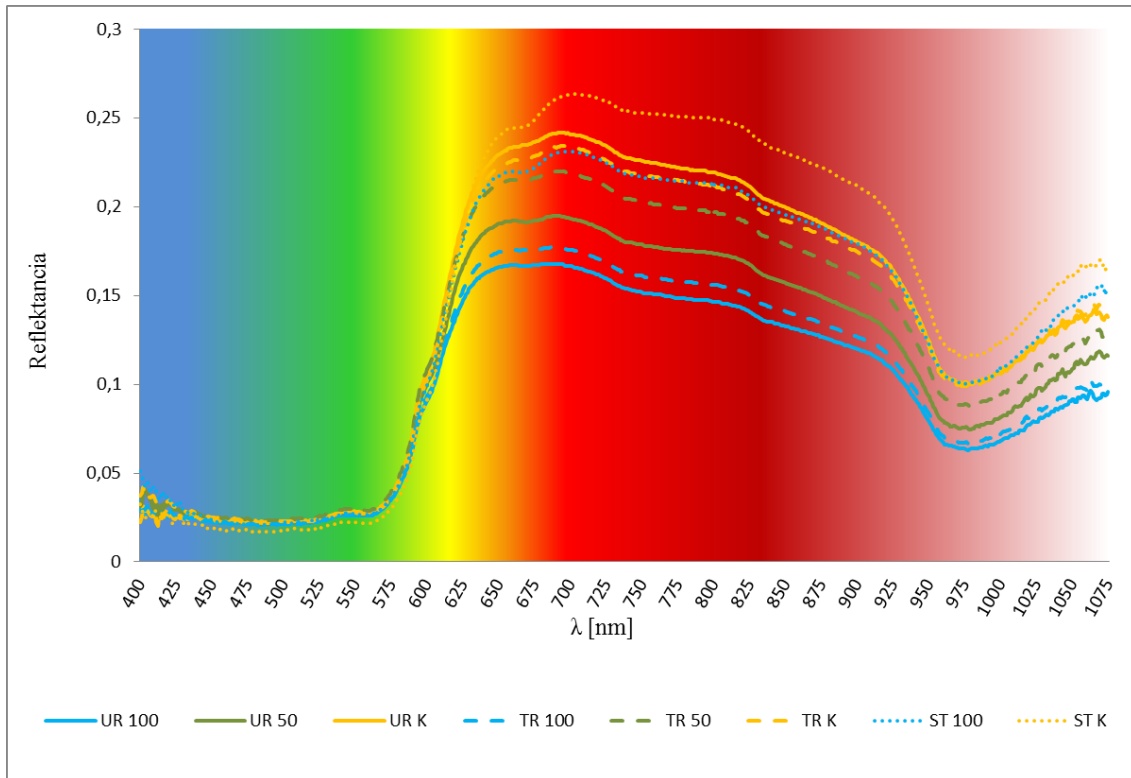
A 2012-es ipari paradicsom öntözési kísérlet során három különböző ipari paradicsom hibridet vizsgáltam, amelyek az Uno Rosso F1 mellett a Triple Red F1, az UG Red, a Heinz 9663 F1 és a Strombolino F1 voltak.

A paradicsom termékek mérésére, négy ismétlésben (5 bogyó/ismétlés), 2012 augusztus 14-én került sor. A termékeket tisztítása, aprítása és pürésítését követően, spektroszkópiás és analitikai vizsgálatnak vettem alá a mintákat. Közvetlenül a spektroszkópiás mérések után minden mintának megmértem a vízdoldható szárazanyag-, likopin-, és összes polifenol tartalmát. Az oldható szárazanyagtartalom meghatározására KRÜSS DR201-95 digitális refraktométert használtam (6. ábra). A pürésített paradicsombogyók spektroszkópiás eredményei nyers formában is meglehetősen eltérő mintázatott adtak, az eddig bemutatott levélspektrumokhoz hasonlóan (41. ábra). A vizsgált hibridek termései éretten mind pirosak, mely színért a legnagyobb arányban jelen lévő karotinoid, a likopin (Brandt et al., 2006), illetve annak izomerjei a felelősek (Pék et al., 2014). Az érett paradicsom végső színének kialakításában azonban több karotinoid is szerepet játszik, mely elsősorban genetikai adottság (Daood et al., 2014; Ilahy et al., 2017), de a környezeti tényezők, például a hőmérséklet is erősen befolyásolhatja (Helyes, Pék, & Lugasi, 2006; Helyes, Pék, Brandt, & Lugasi, 2006; Pék, Szuvandzsiev, Nemenyi, Helyes, & Lugasi, 2011). A likopin után a β -karotin van jelen számottevő mértékben, melynek reflektanciája a narancssárga spektrumba esik. Az érett paradicsomban a klorofill majdnem teljesen lebomlik, így zöld komponensek elenyésző mennyiségben vannak jelen a színes karotinoidokhoz képest (41. ábra). Az ábráról az is leolvasható, hogy a termékek reflektanciája jelentősen eltér a levelekétől (22. ábra), nincs a látható és infravörös tartomány határát jelentő vörös él, viszont az infravörös tartomány vörös platója, és a levélreflektanciák esetén jelentkező jelentős abszorpciós maximum 960 nm-nél, itt is megfigyelhető. A termékek minimális klorofill tartalmára utal az az összefüggés, amelyet már a leveleknél is kimutattam, miszerint a látható tartományban negatív, míg az infravörös tartományban pozitív összefüggés van a klorofill tartalom és a reflektancia adatok között (Lin et al., 2015).



41. ábra Az eltérő öntözési kezelésű ipari paradicsomfajták pürésített bogyoinak reflektancia spektrumán mért reflektanciák VIS-NIR tartományban.

A könnyebb átláthatóság és a különbségek határozottabb kimutatásának érdekében a kapott eredményeket átlagoltam, majd fajtánként is diszkrimináltam a kapott spektrális értékeket, amelyek minden fajta esetében hasonló mintázatot és sorrendet eredményeztek. A könnyebb érthetőségért nem tüntettem fel az összes hibrid eredményét (42. ábra). Az előbb ismertetett szabályszerűségeken túl szembevetendő, hogy a különböző vízellátottságú növényekről származó termékek reflektanciái, mennyire elkülönülnek. Ez az elkülönülés 625 nm-től figyelhető meg, vagyis a narancs komponens (β -karotin) reflektanciájától, egészen a műszer által rögzített végső hullámhosszig, 1075 nm-ig. Az összes vizsgált hibrid esetén, fordított összefüggés figyelhető meg a növények vízellátottsága és a terméseik reflektanciája között a 625-1075 nm-es tartományban. A reflektancia értékek ilyen mértékű elkülönülése valószínűsítette felhasználhatóságukat egy kalibrációs előrejelző modell megalkotásában.



42. ábra Ipari-paradicsomfajták különböző vízellátottságú állományaiból származó, pürésített bogyóin mért átlagolt reflektancia spektrumok VIS-NIR tartományban.

A mintaszám növelésének- és így a pontosabb eredmények elérésnek érdekében az Uno Rosso F1 (UR), a Triple Red F1 (TR) és a Strombolino F1 (ST) fajták mellett Heinz 9663 F1 (H) és Ug Red F1 (UGR) hibridekből származó méréseket, azok mikorrhizált kezeléseiből származó eredményeivel is kiegészítettük (Helyes, Pék, et al., 2015). Így 2012-ben összességében 64 mintát pürésítettünk és analizáltunk a laboratóriumban, amelynek eredményét a következő táblázatban összesítettem. **(2. táblázat).**

2. táblázat 2012-ben ipari-paradicsomfajták bogyójának átlagos beltartalmi paramétereit (UR= Uno Rosso F1, TR=Triple Red F1, ST= Strombolino F1, H=Heinz 9663 F1, UGR = Ug Red F1, 100=100%-ban öntözött, 75=75%-ban öntözött, 50=50%-ban öntözött, K=kontroll, M= arbuszkuláris mikorrhiza gombával kezelt; n=4 ±SzD_{5%})

	Refrakció (°Brix)	Likopin (mg/100g)	Polifenol (mg/100g)
URK	7,18±0,13	11,93±0,74	70,75±1,84
UR50	6,13±0,22	9,98±0,40	60,85±1,85
UR75	5,93±0,07	9,38±0,69	55,25±2,36
UR100	5,20±0,16	9,40±0,18	50,38±0,77
UR100 M	5,33±0,16	8,03±0,34	56,55±3,43
H100	5,69±0,16	12,75±0,85	54,98±0,90
H100 M	5,65±0,18	8,65±0,49	56,15±2,26
TRK	9,60±0,30	18,00±0,43	83,35±1,01
TR50	7,65±0,08	13,03±0,38	68,75±1,49
TR75	7,16±0,04	10,25±0,48	73,03±2,66
TR100	6,75±0,17	10,78±0,48	79,90±1,62
TR100 M	6,73±0,17	9,18±0,38	71,33±4,13
UGR	5,70±0,25	8,93±0,45	54,05±2,81
STK	7,55±0,10	25,15±0,47	100,65±3,34
ST100	6,83±0,30	18,78±0,43	91,13±4,95
ST100 M	6,38±0,08	14,93±1,08	87,55±2,23

A modellalkotás következő lépéseként hibás méréseket (kilógó spektrumokat) kerestem főkomponens analízissel (Principal Component Analysis, PCA). A kilógó spektrumok vizsgálata során az STK és a TRK mintasor 3 adatát választotta ki a szoftver, az 550-975 nm-es tartományból. Mindhárom magas szárazanyag-, likopin-, és polifenol-tartalom jellemzi, melyek kihagyásával, csökken a paraméterek intervalluma, ami negatívan befolyásolhatja a modellek predikciós képességét (Badr & Noureldien, 2006). A megmaradó 61 spektrum állt rendelkezésre a legkisebb négyzetek módszerének (Partial Least Square Regression, PLSR) algoritmusával történő feldolgozásra. A legmegbízhatóbb modell kiválasztása, a becslés négyzetes középhiba értéke (Root Mean Square Error of Cross Validation, RMSECV) alapján történt, az előfeldolgozási algoritmusok közül, a nyers spektrumok első deriváltját és a Savitzky-Golay szűrőt felhasználva. A modell értékelését a determinációs együtthatóval végeztem (R^2). Ennek elősegítését a mintaszám jelentős növelésével tovább lehetett volna fokozni (3. táblázat).

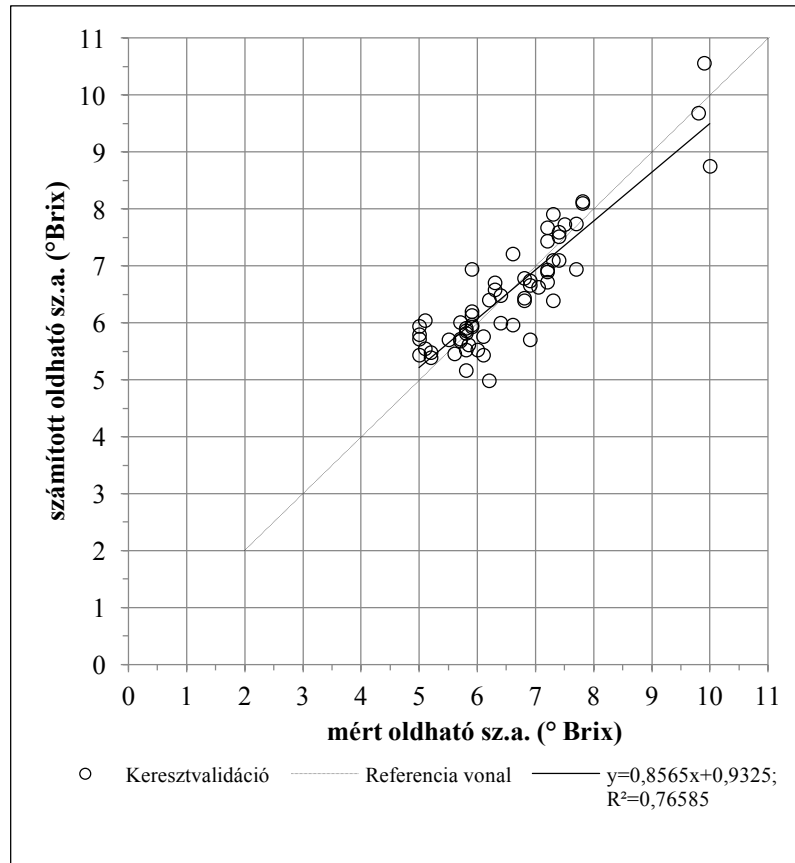
3. táblázat Kalibrációs modell előrejelző-képessége oldható sz. a.-, likopin- és polifenoltartalom vontkozásában, a nyers spektrumok első deriváltja és Savitzky-Golay filter használatával (n=61).

Beltartalmi paraméter	Kalibráció		Keresztvalidáció		RMSECV%	Faktorok	Variancia
	R ²	RMSEC	R ²	RMSECV			
Oldható sz. a. (°Brix)	0,88	0,39	0,77	0,51	6,6	6	98,86
Likopin (mg/100g)	0,91	1,27	0,75	1,99	7,6	7	99,06
Polifenol (mg/100g)	0,81	6,53	0,72	7,63	10,0	4	97,83

Az eredményeket meglehetősen nehezen lehet összehasonlítani más kutatásból származó eredményekkel, melynek oka a műszer, a feldolgozás, a minták elő-feldolgozása, és a kezeléskombinációk okozta speciális hatások összessége. A legtöbb ilyen vizsgálatot a közeli infravörös tartomány egy keskeny régiójában, 800-1100 nm-es tartományban végzik, amelyek valószínűleg korlátozzák az olyan alkalmazások fejlesztését, amelyek elegendő prediktív kapacitást biztosítanak a komplexebb minőségi paraméterek meghatározásához (Ecartot et al., 2013; He et al., 2005; Pedro & Ferreira, 2007; Peiris et al., 1998; L. Xie et al., 2008; Zhang et al., 2012).

Az oldható szárazanyag kalibrációhoz, az első hat faktort felhasználva, a variancia 98,86%-ban, majdnem adatvesztés nélkül közelíti a változókat, a keresztvalidáció korrelációs koefficiense $R^2=0,77$, a kalibráció hibája 0,51 °Brix, ami 6,6%-os hibának felel meg.

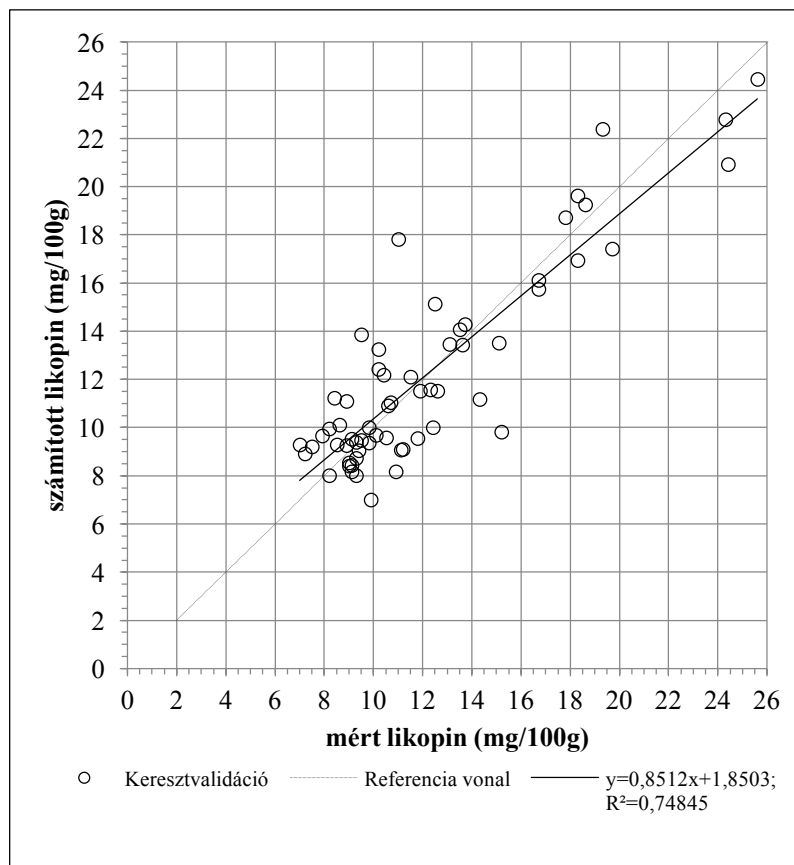
A keresztvalidáció ellenőrzéseként a következő ábrán feltüntettem a regressziós modell által kiszámított értékeket, az eredeti adatok viszonylatában (43. ábra). Az ábrán, a jobb érthetőség érdekében, feltüntettem a referenciavonalat, amely a tökéletes modell megfelelője lenne. A modell közel 80%-os pontosságú becslést ad a nyers paradicsom püré oldható szárazanyag tartalmának meghatározására, az 550-975 nm-es hullámhossztartomány reflektancia értékeiből. A regressziós egyenes értékeiből következik, hogy 6,45 °Brix alatt túl-, e fölött alulbecsli az oldható szárazanyag tartalmat.



43. ábra Az ipari paradicsom oldható szárazanyag tartalmának kereszt-validációs értékei, továbbá a kereszt-validáció lineáris regressziós egyenese (n=61)

A likopin tartalom kalibrációjához, az első hét faktort felhasználva, 99,06%-ban, gyakorlatilag adatvesztés nélkül magyarázza a reflektancia értékek varianciáját. A keresztvalidáció korrelációs koefficiense $R^2=0,75$, a kalibráció hibája 1,99 mg/100g, ami 7,6%-os hibának felel meg.

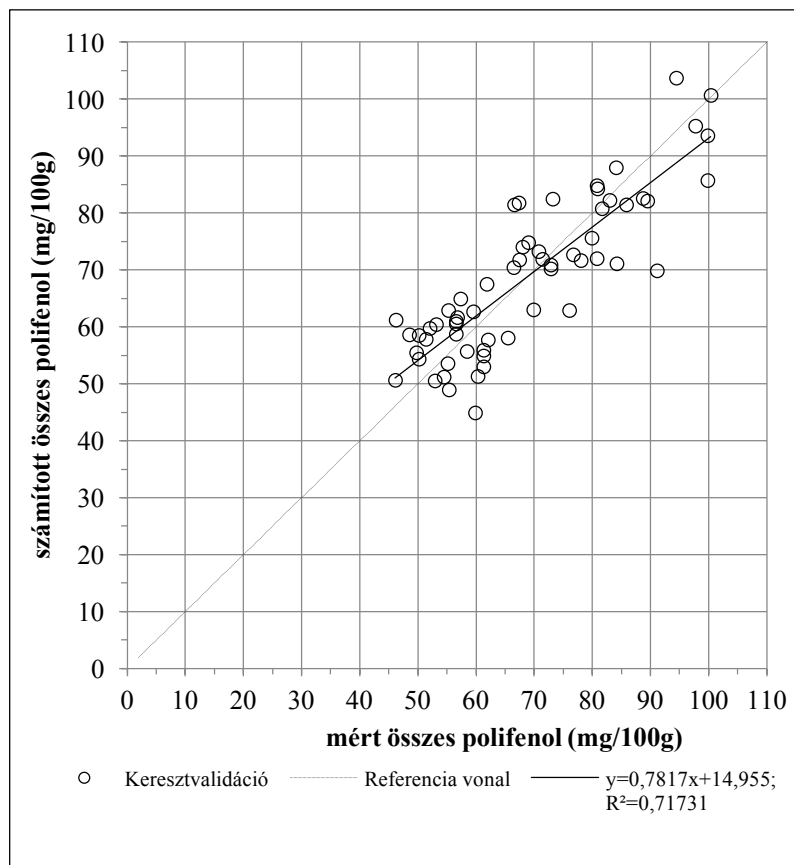
A keresztvalidáció visszaellenőrzéseként ábrázoltam a regressziós modell által kiszámított értékeket, az eredeti adatok viszonylatában (44. ábra). A referenciavonalat, ebben az esetben is a tökéletes modell megfelelője lenne. A modell 75%-os pontosságú becslést ad a nyers paradicsom püré likopintartalmának meghatározására, az 550-975 nm-es hullámhossztartományban. A lineáris regresszió egyenlete 12,45 mg/100g -nál metszi a referencia egyenest, ezért a modell ez alatt túl-, míg e fölött alulbecsli a likopin értékeket.



44. ábra Az ipari paradicsom likopin tartalmának kereszt-validációs értékei, továbbá a kereszt-validáció lineáris regressziós egyenese (n=61)

A polifenol tartalom kalibrációja hozta a leggyengébb összefüggést, mivel, az első négy faktor felhasználásával, csak 97,83%-ban magyarázza a reflektancia értékek varianciáját. A keresztvalidáció korrelációs koefficiense $R^2=0,72$, a kalibráció hibája 7,63 mg/100g, ami 10,0%-os hibának felel meg.

A keresztvalidáció visszaellenőrzése a következő ábrán látható (45. ábra). A referenciavonal, ebben az esetben is a tökéletes modell megfelelője lenne. A modell 72%-os pontosságú becslést ad a nyers paradicsom püré polifenol tartalmának meghatározására, a lineáris regresszió egyenlete 68,5 mg/100g -nál metszi a referencia egyenest, ezért a modell ez alatt túl-, míg e fölött alulbecsli a mért polifenol értékeket.



45. ábra Az ipari paradicsom összes polifenol tartalmának kereszt-validációs értékei, továbbá a kereszt-validáció lineáris regressziós egyenese (n=61)

4.7 Új tudományos eredmények

1. A csapadék, vagy öntözővíz formájában rendelkezésre álló víz, jelentős, pozitív ($R^2=0,72$) és negatív ($R^2=0,70$) hatással van a termésmennyiségre és a bogyók vízdoldható szárazanyag-tartalmára sorrendben.
2. A dolgozatomban vizsgált három faj (paradicsom, tojásgyümölcs, paprika) leveleit, jelentősebb spektrális felbontás-, valamint előfeldolgozó eljárás használata nélkül is el tudtam különíteni a VIS-NIR tartományban (325-1075 nm-es) rögzített nyers reflektancia spektrumok alapján.
3. Az ipari paradicsomfajták levél-reflektancia vizsgálata során a különböző víz ellátottságú állományok- és a hibridek között is, diszkriminációra alkalmas különbségeket tudtam kimutatni a közeli infravörös tartományban, amely alapján fajtától és kezeléstől függetlenül sikerült modellezni a vízellátottságot.
4. Tojásgyümölcs levél-reflektancia vizsgálata során a különböző vízellátottságú állományok esetében diszkriminációra alkalmas különbségeket tudtam kimutatni, és az ebből számított PRI (Photochemical Reflectance Index), szoros ($R^2=0,53$; n=22)

összefüggést mutatott a mérés időszakát megelőzően kijuttatott öntözővíz mennyiségével.

5. A paprika árnyékolásra használt színes takaróhálók árnyékoló- és a levelek reflektanciájára gyakorolt hatását, először vizsgáltuk Magyarországon. A közeli infravörös tartomány reflektancia spektrumában (750-1000 nm), a kezelések diszkriminációjára alkalmas különbségeket mutattam ki.
6. A fotoszelektív hálók abszorbancia értékeinek megállapítására a FieldSpec HandHeld 2™ Portable típusú spektrométerrel végzett mérésekből kiderül, hogy a hálók jelentős különbségekkel rendelkeznek az abszorpció tekintetében.
7. A hazai termesztésben leggyakrabban használt zöld színű árnyékoló háló elnyelési csúcsa egybeesik a paprika levelének maximális abszorbancia értékével, amely így amellet, hogy védelmet nyújthat a Napból érkező káros sugárzás perzselő hatása ellen, nagymértékben visszavetheti az alatta fejlődő paprikaállományok produktivitását.
8. A vizsgált különböző színű műanyag hálók közül a sárga színű alatti paprika növények hozták a legtöbb értékesíthető termést.
9. Az ipari paradicsomok pürésített bogyóin mért reflektancia értékekből különbséget tudtam kimutatni a különböző hibridek- és ezeken belül, a különböző vízellátottságú kezelések között a látható- és közeli infravörös tartományban. Az ipari paradicsomok pürésített bogyóinak spektrális eredményeiből származó információk az öntözési vízáradatok tekintetében diszkriminációra alkalmas rajzolatot mutattak.
10. Az ipari paradicsomfajták pürésített bogyóiból és az 550-975 nm-es tartomány reflektancia spektrumából származó kalibrációs modell, alkalmas az oldható szárazanyag becslésére a 4-7 °Brix-os intervallumban.

5 KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK

5.1 Az öntözés hatása az ipari paradicsom terméseredményeire 2012-'15

Meteorológiai szempontból, a vizsgált négy évjárat jelentősen eltért egymástól. A Kertészeti Intézetben folytatott 36 éves tartamkísérlet alapján, hat évjárat típust határoztak meg (Helyes & Varga, 1994). E szerint, a vizsgált négy évjáratból három (2012, 2013 és 2015) esetén a rendszeres öntözés feltétlenül szükséges volt a megfelelő termés hozam kialakulásához (D évjárat típus), míg a 2014-es év az F évjárat típusba sorolható, amikor vízellátástól függetlenül kicsi a termésátlag, a hűvös csapadékos időjárás miatt (Szuvandzsiev, Helyes, Neményi, et al., 2014). A több évtizedes tartamkísérletben megállapított összefüggés alapján, előbbi évjárat típus a leggyakoribb (42%) Magyarországon, tehát nem képzelhető el sikeres ipari paradicsom termesztés öntözés nélkül (Helyes & Varga, 1994).

A vízellátottság pozitívan befolyásolta a produkciót, melyet legpontosabban jellemző függvények alapján, a rendelkezésre álló vízmennyiség, minimum 72%-ban határozza meg a termésátlagot, 70 %-ban pedig, az oldható szervesanyag-tartalmat, hasonlóan a korábbi eredményekhez (Bócs et al., 2011; Helyes et al., 2012; Patané & Cosentino, 2010). Bár az öntözés mellett, hogy hígítja a bogyókat és így alacsonyabb az egyedi termés vízzeloldható szervesanyag-tartalma, ezt a lényegesen nagyobb termésmennyiség kompenzáló hatása messze meghaladja, ami a szervesanyag hozamban realizálódik.

5.2 A növényállományok levelének spektroszkópiás jellemzői

A vegetációkutatásban már régebb óta használt légi- és terepi hiperspektrális spektroszkópia, napjainkban egyre nagyobb szerephez jut a precíziós növénytermesztésben is, különös tekintettel a kertészeti növényekre (Pék, Szuvandzsiev, et al., 2017). Ehhez szükség volt a spektrométerek fejlesztésére, melyek egyre kisebbekké és könnyebbekké váltak, így akár drónokra is szerelhetők (Bareth et al., 2015; Jung et al., 2015). A különböző növényfajok, vagy egy faj eltérő fenológiai fázisai is eltérő morfológiai- (sejtfal vastagság, sejtközötti járatok és viaszréteg) és biokémiai (víz-, pigment- és szénhidrát tartalom) jellemzőkkel rendelkeznek, mely az eltérő spektrális tulajdonságaikban is megmutatkozik, amit kategóriák kialakítására vagy osztályozásra használhat a mezőgazdaság, illetve az erdőgazdálkodás is (Ghiyamat et al., 2013; Orova et al., 2015; Serbin et al., 2012). Vizsgálataim során a paradicsom, tojásgyümölcs és paprika leveleinek reflektív spektrális értékei alapján, roncsolásmentesen sikerült a fajok elkülönítése.

5.3 Öntözés és vízhiány-stressz hatása a paradicsom levelének spektrális tulajdonságaira

A Kertészeti Intézetben végzett hat évtizedes öntözési tartamkísérlet, több mint három évtizeddel ezelőtt egészült ki az infravörös távhőmérővel történő roncsolásmentes lombfelszín hőmérséklet mérésekkel (Helyes, 1990). Ennek folytatásaként pedig, 2011-ben kezdődtek a mérések hordozható, látható- és közeli infravörös (VIS/NIR) spektrométeres eszközökkel (Szuvandzsiev et al., 2015). A vizsgálatok célja, az öntözés hatásainak megállapítása, különböző szabadföldön termesztett zöldségfajok reflektív tulajdonságaira. Ennek keretében folytak vizsgálatok paradicsom, tojásgyümölcs és paprika növényeken is (Helyes, Nagy, et al., 2015; Ledóné Darázs, 2013; Szuvandzsiev, Helyes, Lugasi, et al., 2014).

Az ipari paradicsom esetén az optimális vízellátottság, csak öntözéssel képzelhető el a legtöbb termőhelyen. A növényállomány vízellátottsági állapotának rendszeres és gyors felmérésére szolgáló eszközök tehát, tovább javíthatják a gazdaságossági mutatókat. A látható és közeli infravörös (VIS/NIR) spektroszkópia, egy ilyen speciális eszköz, amely felhasználható erre a célra (Szuvandzsiev et al., 2015). Segítségével gyors, roncsolásmentes és valós idejű információk gyűjthetők a növényállományról és a termésekről, kiszolgálva a növekvő mennyiségi és minőségi igényeket (Kavdir et al., 2007).

A vizsgálat demonstrálta, hogy a látható- és közeli infravörös spektroszkópia felhasználható a paradicsom levélreflektancia adatok segítségével a vízellátottság meghatározásában a fajtától és a fenológiai fázistól függetlenül (Pék, Szuvandzsiev, et al., 2017).

Az öntözési kezelések ipari-paradicsomfajták levél reflektanciájának értékelése során szerzett eredményekből arra a következtetésre jutottam, hogy az alacsonyabb reflektancia értékek a jobb vízellátottságú növényeknél jellemzők, míg kisebb-nagyobb vízhiányt elszenvedő, és ezért nagyobb stressznek kitett növények levelei magasabb reflektancia értékekkel jellemezhetők (Peñuelas & Filella, 1998; Ulissi et al., 2011). Valamint, az aktuálisan használt hibrid esetben, abszolút fajtaspecifikus, nagyobb számú spektrális felvételezésen alapuló adatsor összeállítása szükséges ahhoz, hogy biztonságosan használható becsléseket végezhesünk a reflektancia értékek alapján.

5.4 Az öntözés hatása a tojásgyümölcs levelének spektrális tulajdonságaira

A tojásgyümölcs vízellátottsági kísérletben öntözetlen kontroll állományt nem vizsgáltunk, mivel ez a faj nagyon vízigényes. A paradicsom esetén alkalmazott módszer segítségével, két különböző ellátottságú állományt hoztunk létre (100 és 50) 2013-ban. Az évjáratot egy

meglehetősen aszályos időszak jellemezte, amely június végétől, augusztus közepéig tartott. A vízhiányos állapotok, tehát ez alatt az időszak alatt fordulhattak elő.

A levélspektrumok látható tartományban felvett reflektancia értékei, kisebb szórást mutattak, mint az infravörös tartományban. A látható tartományban folyik a fotoszintézis, melynek magasabb reflektancia értékei azt jelentik, hogy a növényeket valamilyen biotikus, vagy abiotikus stresszhatás éri (Leone et al., 2007; C. Xie & He, 2016). Az általam vizsgált időszakban azonban a két eltérő állomány reflektancia átlagai nem különültek el lényegesen.

Az infravörös tartományban megfordul a vízhiány hatása, alacsonyabb értékeket produkálnak a stresszelt növények (Lin et al., 2015). Az eredményeink alapján ez sem állítható, mivel a gyengébb vízellátottságú növények levelei mutattak magasabb reflektanciát ebben a tartományban is. Ez azt valószínűsíti, hogy még ezeknek a növényeknek is megfelelő volt a vízellátásuk.

A növényállományok produktivitásának számszerűsítésére, a levelek látható és közeli infravörös reflektanciájából számított indexeket is alkalmaztunk (ECI 1, NDVI, PRI, WI), melyek közül az első a vízstressz okozta vörös él eltolódáson alapul (Lin et al., 2015). Az összefüggés erőssége ($R^2=0,03$) azonban nem támasztotta alá, hogy a növények vízhiányosak voltak. Az NDVI és WI indexekkel sem sikerült statisztikailag igazolható összefüggést kimutatni. Az indexek közül csak a PRI mutatott akkora változatosságot az aszályos időszakban, hogy a vízellátottsággal való összefüggése számottevő legyen ($R^2=0,52$). Összegezve elmondható, hogy a néhány hullámhossz adataiból számított vegetációs indexek kevesebb információval rendelkeznek, ezért kevésbé alkalmasak a növényállományok pontos jellemzésére.

5.5 A fotoszelektív hálók hatása Kápia típusú paprikaállomány levélspektrumára és termésmennyiségére

A paprika árnyékolásra használt színes takaróhálók hatását a levelek reflektanciájára, először vizsgáltuk Magyarországon, egy több éves kutatás keretében (Ledóné Darázs et al., 2013; Attila Ombódi et al., 2015). A levelek reflektancia spektruma a felszínük tulajdonságaiból és szöveti szerkezetükből adódóan eltérő jellemzőket mutatott a kezelések hatására, hasonlóan a paradicsom és tojásgyümölcs állományok levélreflektanciáihoz. A látható tartományban felvett reflektancia értékek, kisebb szórást mutattak, mint az infravörös tartományban, és 960 nm-nél egy jelentős abszorpciós maximum észlelhető. A közeli infravörös tartományban (750-1000 nm), a kezelések diszkriminációjára alkalmas különbségek mutatkoztak.

A két hibrid eredményei eltérőek, abban azonban megegyeznek, hogy az infravörös tartományban a kontroll, vagyis takaratlan állomány, mutatta a legmagasabb reflektanciát, ami a magasabb klorofilltartalomra utal (Lin et al., 2015), ez a különbség azonban a látható tartományban nem okoz szignifikáns eltérést. Ezzel ellentétes tendenciát tapasztalt számos kutató paprika (Ilić et al., 2017), paradicsom (Ilić et al., 2015) és spenót (Bergquist et al., 2007) esetén, magasabb klorofill tartalmat detektálva az árnyékoló hálók alatt fejlődő leveleken, mely a hálók alatti diffúz sugárzás növekedésével magyarázható (Ilić & Fallik, 2017). Ezt támasztja alá az a kísérleti eredmény is, amelyben a különböző mértékben árnyékolt paprika növények levelein mért nettó fotoszintézis mértéke, nem csökkent körülbelül 30%-os árnyékoltsági szintig, amelyet a PSII rendszer hatékonyságának növekedése okozhatott (Díaz-Pérez, 2013).

5.5.1 A fotoszelektív műanyagghálók árnyékoló képességének mérése

A különböző színű műanyag takarók használata a kertészeti termesztésben több célt is szolgálhat, árnyékoló-, jégvédő-, szélvédő- és a kártevők elleni hatásuk is van (Ben-Yakir et al., 2014; Ilić & Fallik, 2017; Shahak, 2014). Az általunk végzett kísérletekben, a Magyarországon kapható színes (fehér, sárga, rózsaszín és zöld) műanyagghálókat, és egy izraeli gyártású piros színű hálót vizsgáltunk, melyek mindegyike 40%-os árnyékolási faktorról volt legyártva. Vizsgálataink során a hálókat árnyékoló hatásuk szempontjából vizsgáltuk csak, és a 325-1075 nm-es hullámhossz tartományban 1 nm-es pontossággal megállapítottuk az árnyékolóképességüket. A piros és a zöld háló abszorbanciája volt a legmagasabb, különösen a PAR (400-700 nm) tartományban. Ez alapján elmondható, hogy a hazai gyakorlatban, a termelők által leggyakrabban használt zöld színű háló, a legrosszabb választás a vizsgált anyagok közül, mivel a piros hálót nem is forgalmazzák Magyarországon. A másik három háló árnyékolóképessége viszont nem érte el az ígért abszorbancia értéket, még a PAR régióban sem. A különböző mértékben árnyékoló hálókat, faj-, fajta-, termesztési mód- és termőhely specifikusan kell alkalmazni a használat céljának megfelelően (besugárzás-, jég-, szél- és kártevők elleni védelem), de valószínűleg az összes követelményt egy anyaggal nem lehet kielégíteni egyszerre.

5.5.2 A fotoszelektív műanyagghálók árnyékoló hatása a termés mennyiségi- és minőségi paramétereire

A két paprika hibrid leveleinek eltérő reakciója a különböző színű hálókkal történő takarásra, eltérő eredményeket hozott a termésátlagokban is. A Karpex F1 szignifikánsan magasabb

termésátlagot ért el, az összes takarás alatt, mint a Karpia F1, a kontroll állományban is ez volt a sorrend, de ott a nem volt szignifikáns a többlet az előbbi javára.

A legjelentősebb különbséget viszont az jelentette, hogy a Karpex F1 minden kezelésben felülmúlta a kontroll termésátlagait, míg a Karpia F1 esetén a kontroll múlta felül az összes kezelést. A fajták, tehát jelentős különbségeket mutathatnak az árnyékolás hatására (Díaz-Pérez, 2013, 2014). A kezelések termésátlagainak sorrendje is eltért a két hibrid esetén. A Karpex F1 a sárga háló alatt érte el a legmagasabb termésátlagot ($7,91 \text{ kg/m}^2$), amit már mások is tapasztaltak (Shahak et al., 2016).

A betakarított bogyók minőségi paramétereinek figyelembevételével készült összehasonlítás is hasonló eredményt hozott. A sárga háló hozta a legtöbb értékesíthető termést, míg a kontroll a legkevesebbet. Utóbbin fordult elő a legtöbb napégett és nem piacképes termés is, amely a hálók egyéb hatásaira vezethető vissza (Ben-Yakir et al., 2014; Ilić et al., 2017). A zöld és a piros hálók alatt nem fordult napégett termés, ami felveti a túlzott árnyékoló hatást, ami a produkció rovására megy. A piros hálót izraeli cég fejlesztette, ahol valószínűleg erőteljesebb besugárzást kell szűrni, míg a magyar gyártású zöld háló a dísznövénytermesztésben került először felhasználásra, ahol nem számít ilyen mértékű fotoszintetikus aktivitás veszteség, különös tekintettel a nem teljesen zöld levelű levéldísznövényekre.

5.6 Az öntözés és vízhiány-stressz hatása a paradicsombogyó beltartalmi értékére és spektrális jellemzőire

Az oldható szárazanyag- ($^{\circ}\text{Brix}$) és a színanyag tartalom az ipari paradicsom két legfontosabb feldolgozóipari tulajdonsága. Mindkettő fontos fajtatulajdonság (Helyes et al., 2006; Ilahy et al., 2017), de a környezeti tényezők, különös tekintettel a vízellátottságra, alapvetően befolyásolják (Helyes et al., 2014). Az eltérő vízellátottság következtében kialakuló, különböző vízdoldható szárazanyag tartalommal rendelkező paradicsom termések szolgáltak alapjául egy VIS/NIR reflektancián alapuló kalibrációs modell kidolgozásának.

A paradicsom látható tartományban készült reflektancia felvételei, nemcsak az elsődlegesen a színért felelős likopint és β -karotin-t (Pék et al., 2014), de a nyomokban jelen lévő, nem teljesen lebomlott klorofillt is jelezték. A szembetűnő szabályszerűség, hogy a különböző vízellátottságú növényekről származó termések reflektanciái, mennyire elkülönülnek 625-1075 nm-ig. Az összes vizsgált hibrid esetén, fordított összefüggés figyelhető meg a növények vízellátottsága és a terméseik reflektanciája között a 625-1075 nm-es tartományban. A reflektancia értékek ilyen mértékű elkülönülése valószínűsítette felhasználhatóságukat egy kalibrációs előrejelző modell megalkotásában.

A modellalkotás legfontosabb eleme, a beltartalmi paraméterek és a reflektancia spektrumok közötti összefüggés keresése. Ehhez leggyakrabban a részleges legkisebb négyzetek elvén alapuló regressziós analízist (PLSR) szokták felhasználni (Camps et al., 2016; Flores et al., 2009; Liu et al., 2015). Ezt a többváltozós analízist általában megelőzi egy válogatási eljárás, amellyel a hibás spektrumok szűrése végezhető, például a főkomponens analízis (PCA) alkalmas erre a feladatra (He et al., 2005; Xie et al., 2008). A PLSR analízist azonban nemcsak a nyers spektrumokon szokták végezni, hanem a nyers adatsorok első- vagy második deriváltján, valamint egyéb előfeldolgozási algoritmust is alkalmaznak (Savitzky & Golay, 1964). E módszerek közül, a nyers spektrumok első deriváltját és a Savitzky-Golay szűrőt vettem igénybe a modellalkotás során, a kilógó spektrumok kiválogatására is alkalmas 550-975 nm-es tartományban, nem választva külön a kalibrációs és validációs adatsort.

Az ilyen módon megalkotott oldható szárazanyag kalibrációs modell, 0,51 °Brix-os hibája magasabb, mint a kizárólag a közeli infravörös tartományból származó kalibrációs modelleké (Ecarnot et al., 2013; He et al., 2005; Pedro & Ferreira, 2007; Peiris et al., 1998; Xie et al., 2008; Zhang et al., 2012). Ennek egyik valószínűsíthető oka az általunk használt refraktométer mérési pontatlansága (± 0.2 °Brix), a másik pedig az alacsonyabb mintaszám ($n=61$) lehetett. A 6,6%-os hiba ellenére azonban, alkalmasnak tartom a kalibrációs modellt az oldható szárazanyag becslésére a 4-6 °Brix-os intervallumban, amely újabb minták mérésével tovább pontosítható (Szuvandzsiev et al., 2014).

A likopin modell 7,6%-os becslési hibája jónak mondható, bár közzismert, hogy a látható tartományban, egyszerűbb eszközökkel végzett mérésekből is meglehetősen pontosan lehet becsülni a koncentrációját, hagyományos paradicsomokban (Brandt et al., 2006; Pék et al., 2010; Toor & Savage, 2005). Az általunk fejlesztett modell továbbfejlesztve azonban, pontosabb becsléseket tehet lehetővé.

A polifenol tartalom becslése volt a leggyengébb (10,0%-os hiba), ami nem meglepő a fenolos vegyületek nagy száma miatt (Lucini et al., 2017), és alkalmatlannak tekinthető a polifenol tartalom előrejelzésére, spektrális reflektancia adatokból.

6 ÖSSZEFOGLALÁS

Doktori munkám során arra törekedtem, hogy világviszonylatban és Magyarországon is jelentős *Solanaceae* családba tartozó zöldségfajok roncsolásmentes spektroszkópiás vizsgálatával a zöldség termelés számára is hasznosítható eredményeket érjek el.

A *Solanaceae* családban megtalálható paradicsom, tojásgyümölcs és paprika, amelyek frisspiaci áruként és konzervált termékeként egyaránt hozzájárulnak a lakosság ételmezéséhez. Az egészséges táplálkozás alapját adó antioxidáns vegyületek nagy mennyiségben megtalálhatók a termésekben és feldolgozva akár hosszabb távon is képesek biztosítani az emberi szervezet számára ezeket.

Szabadföldi kísérleteimben az említett fajok konzervipari célra is alkalmas fajtáival foglalkoztam, melyeken abiotikus tényezők okozta stressz-hatásait vizsgáltam. Elsősorban deficit-öntözési-, valamint fotoszelektív-hálós árnyékolási kezeléseket állítottam be.

Kísérleteimet a Szent István Egyetem Kertészeti Tanüzemében végeztem, amely Gödöllőn található az Alsóparkban. A terület a Gödöllői-dombság részeként az öntözési kísérletek beállítására kifejezetten alkalmas, hiszen fekvéséből adódóan a talajvíz 5 méter mélységben található, így nem okoz zavart a kezelésekből.

A spektroszkópiás méréseket FieldSpec HandHeld 2™ Portable típusú spektro-radiométerrel végeztem el, melynek laboratóriumi precizitása mellé párosul a hordozhatóság is. Így a növényállományokon végzett roncsolásmentes terepi méréseim elvégzése közel laboratóriumi pontossággal történhetett. Méréseim során a spektro-radiométerrel 325-1075 nanométeres hullámhossztartományban rögzítettem a spektrális értékeket, amely magába foglalja az ultraviola- (UV), az emberi szem által látható- (VIS – visible), valamint az infravörös (IR – infrared) tartományon belül található közeli infravörös (NIR – near infrared) tartományt egyaránt. Ugyanakkor az UV tartomány értékeit rendkívül magas jel-zaj aránya miatt nem használtam a diszkriminációra alkalmas különbségek kimutatására. A FieldSpec HandHeld 2™ Portable spektrométerhez egyaránt használhattam a külső, természetes vagy a belső, mesterséges fényforrást, így kontakt és nonkontakt méréseket egyaránt végeztem. A műszeren található kijelző segítségével a kapott spektrális eredményeket már a terepen ellenőriztem, ami nagyban hozzájárult a hibás eredmények kiszűréséhez és újraméréséhez.

A PhD munkám során végzett kísérleteimből származó eredményeket két jelentős egységre osztva mutatom be. Ezek közül az első, az abiotikus környezeti tényezők leveleken kimutatható spektrális jellemzőire vonatkozik, míg a másik a paradicsombogyó beltartalmi értékeinek változására és azok spektrális-diszkriminációs lehetőségeire.

A spektrometriai vizsgálatból származó levélspektrumok nyers reflektancia értékei a VIS és NIR tartományban, akár fajtánként is jelentősen eltérő rajzolatot mutattak, melyek kiértékelése és hasznosíthatósága is meglehetősen különböző. A levelek esetében a VIS és a NIR tartományban található elnyelődési- és visszaverődési görbék jelentős összefüggésben vannak a klorofill koncentrációval, ami közvetlenül determinálja a növények által létrehozott primer produktumot. Ipari paradicsomfajtákon végzett öntözési kezelések és az azokról származó levélspektrumok kiértékelésekor a közeli infravörös tartomány bizonyos szakaszain nem tudtam különbséget felfedezni. Ugyanakkor a 900 nm-től 1000 nm-ig terjedő hullámhossz tartományban az öntözési kezelések között diszkriminációra alkalmas különbségek mutatkoztak. A szintén öntözési kezelést kapott tojásgyümölcsök lombzatának reflektancia görbéjének jellegzetes mintázata szintén a növények biológiai aktivitásának tulajdonságaival magyarázható. A látható tartományban (400-700 nm) lévő alacsony reflektancia értékek a levelek klorofill aktivitását jelezte.

Az öntözővíz utánpótlási kezelések mellett egy másik abiotikus tényező vonatkozásában is végeztem vizsgálatokat, amely a fény volt. A Napból érkező természetes fényt, különböző színű fotoszelektív hálókkal módosítottam úgynevezett screen-house technológia segítségével. A kísérletbe két Kápia típusú paprika hibrid levélspektrumát vizsgáltam az árnyékolás nélküli kontroll állományban és a különböző színű hálók alatt. A paprikalevelek spektrális tulajdonságai a felszínük tulajdonságaiból és szöveti szerkezetükből adódóan eltérő jellemzőket mutattak, amelyből adott hullámhosszra vonatkozóan következtethetünk a növény fiziológiai folyamataira, valamint fotoszintetikus aktivitására. A fotoszelektív hálók spektrummodosító hatása miatt kialakult eltérő sugárzási viszonyokból következik, hogy mindkét fajtánál a különböző kezelések reflektancia görbéi eltérnek. Ezt követően megvizsgáltam a kísérletben felhasznált fotoszelektív hálók spektrális jellemzőit, melyből kiderült, hogy hazai termesztésben leggyakrabban használt zöld színű árnyékoló háló elnyelési csúcsa egybeesik a klorofill-a és klorofill-b maximális abszorbancia értékével. A zöld színű háló amellelt, hogy védelmet nyújthat a Napból érkező káros sugárzás perzselő hatása ellen, nagymértékben visszavetheti az alatta fejlődő paprikaállományok produktivitását is.

Az öntözési kezelések további hatásait vizsgálva ipari paradicsom azonos érettségi állapotú bogyóit pürésítettem, majd ezt követően spektroszkópiás és analitikai vizsgálatnak vettem alá. A pürésített paradicsombogyók spektroszkópiás eredményei minden fajta esetében hasonló mintázatot és sorrendet mutattak az öntözési vízadagok vonatkozásában. Ezeket a spektrális eredményeket összevettem az analitikai laboratórium beltartalmi vizsgálati eredményeivel. A részleges legkisebb négyzetek regresszió (PLSR) modell segítségével a fő antioxidáns

összetevők (likopin, polifenolok) és a vízdoldható szárazanyag tartalom (°Brix) a paradicsom püré felszíni spektrumok első deriváltjával kielégítő becslést képes adni.

Összességében elmondható, hogy a FieldSpec HandHeld 2™ Portable típusú spektrométerrel végzett spektroszkópiás vizsgálatok a paradicsom, a tojásgyümölcs és a paprika állományok leveleinek vizsgálata esetében alkalmas a különböző abiotikus stresszerek hatásának diszkriminációjára. Ezek az eljárások a jövőben a termesztést támogató gyors, roncsolásmentes vizsgálati módszerekké válhatnak. Továbbá elmondható, hogy a vizsgálatba vont ipari paradicsomfajták pürésített bogyóinak spektrális adatai diszkriminációra alkalmasak az öntözési vízáradatok tekintetében. Valamint, hogy fontos beltartalmi paraméterek a spektrális eredmények elő-feldolgozása mellett jó hatásfokkal becsülhetők ezzel a gyors, roncsolásmentes módszerrel.

7 SUMMARY

In my PhD work I tried to reach usable results for vegetable production with nondestructive spectroscopic analysis of vegetable species important in both Hungary and world wide belonging to the *Solanaceae* family.

Tomatoes, eggplants and peppers, members of the *Solanaceae* family as fresh-market products and canned goods are contributing to the food source of the general public. Antioxidant compounds which are found in large quantities in these fruits and as processed products can provide on a long term the basis of a healthy diet for the human body.

In my open field experiments I examined canning purpose varieties of these species, on which I studied the effects of abiotic stress. I mainly set up deficit irrigation- and photo-selective net shielding treatments.

I carried out my experiments in the Experimental Farm of the Institute of Horticulture at Szent István University, which is located in the Lower Park of Gödöllő. This area is part of the Gödöllő Hills, thus its location makes it very suitable for the setting up of irrigation experiments because the groundwater level is below 5 meters, so it does not interfere with irrigation treatments.

I carried out the spectroscopic measurements with FieldSpec HandHeld 2™ Portable spectro-radiometer which coupled with the laboratory precision has portability properties also. Therefore, the nondestructive measurements on the field crops occurred at nearly laboratory accuracy. During my measurements I recorded the spectral values in the 325-1075 nm wavelength range with the spectro-radiometer which includes the ultraviolet- (UV), the visible range to the human eye (VIS - visible) as well as the infrared range (IR) within which the near infrared (NIR - near infrared) range. However, I did not use the UV range spectral values in the detection of discrimination suitable for differences due to the extremely high signal-to-noise rate. I used both the Field Spec 2™ Portable handheld spectro-radiometer with outer, natural and internal, artificial light source, therefore I made contact and noncontact measurements too. The display which can be found on the instrument allowed me to check the obtained spectral data in the field, which greatly contributed to the filtering out of incorrect data.

Results from my PhD work experiments are described in two major units. The first of these, applies to the impact of abiotic environmental factors on plant leaf detectable spectral characteristics, while the other one to the changes in nutritional values of tomato fruits and the possibilities of their spectral-discrimination.

The raw reflectance data of leaf spectra from the investigation with spectroradiometer in VIS and NIR range, even showed significantly different patterns with each variety, the evaluation and usability of which is quite different. In the case of the leaf absorbance- and reflectance curves in VIS and NIR range there is significant relation with the chlorophyll concentration, which directly determines the creation of plant primary products. In the case of the effect of irrigation treatments on different processing tomato varieties during the evaluation of derived leaf spectral data in the near-infrared range I could not discover any differences. However, between the irrigation treatments the 900 nm to 1000 nm wavelength range was suitable for discrimination of differences. Reflectance data from eggplant foliage, subjected to irrigation treatment also showed typical pattern explained by the properties of the plants' biological activity. The low reflectance values in visible range (400-700 nm) indicated leaf chlorophyll activity.

Besides the irrigation water supply treatments I performed investigations with another abiotic factor which was the natural light. I modified the natural sun light with different color photoselective nets, using so called screen-house technology. In this experiment I investigated leaf spectra of two varieties of Kapia pepper types under control conditions without shading and under different colored nets. The spectral characteristic of pepper leaves showed different parameters due to the properties of the surface and tissue structure, from which at specific wavelengths we can derive plant physiological processes and photosynthetic activity. Due to the photosynthetically selective nets modifying effect of spectra creating different radiation conditions for both varieties resulted in the different reflectance data. Following this I investigated the spectral characteristics of the photo-selective nets used in my experiment, which revealed that the absorbance peak of the most commonly used green shading net in Hungarian cultivation coincides with the maximum absorption peaks of chlorophyll-a and chlorophyll-b. Additional to the green net's protection against harmful, scorching effect of solar radiation, it may also greatly hinder the productivity of the shaded growing pepper plantation. Examining the further effects of irrigation treatments, I made puree from same maturity stage processing tomato fruits and subsequently investigated the samples with spectroscopic and analytical methods. Results of spectroscopic investigation of all pureed tomato variety fruits showed similar pattern and sequence to related irrigation water dose. I compared these spectral data to analytical laboratory chemical composition results. The partial least squares regression (PLSR) models of the antioxidant components (lycopene, phenolics) and soluble solids ($^{\circ}$ Brix), with the 1st derivative of the tomato puree surface spectra as attributes, seem to satisfactorily explain majority of the measured instances.

In summary, the performed spectroscopic investigations with the Field Spec Handheld 2™ Portable type spectroradiometer is suitable for the discrimination of the effects of different abiotic stress factors in the case of tomato, eggplant and pepper leaves. These procedures can become fast, nondestructive testing methods to support the cultivation in the future. Furthermore, it can be stated that spectral data from mashed processing tomato fruits is suitable for discrimination in relation to irrigation water doses. As well as, important chemical composition parameters can be estimated with high efficiency in addition to preprocessing of spectral results with this fast, nondestructive method.

8 MELLÉKLETEK

8.1 M1. Irodalomjegyzék

- ABDULLAH, M. Z., GUAN, L. C., LIM, K. C., & KARIM, A. A. (2004). The applications of computer vision system and tomographic radar imaging for assessing physical properties of food. *Journal of Food Engineering*, 61(1 SPEC.), 125–135.
- AKANITAPICHAT, P., PHRAIBUNG, K., NUCHKLANG, K., & PROMPITAKKUL, S. (2010). Antioxidant and hepatoprotective activities of five eggplant varieties. *Food and Chemical Toxicology*, 48(10), 3017–3021.
- ALANDER, J. T., BOCHKO, V., MARTINKAUPPI, B., SARANWONG, S., & MANTERE, T. (2013). A Review of Optical Nondestructive Visual and Near-Infrared Methods for Food Quality and Safety. *International Journal of Spectroscopy*, 2013, 1–36.
- ALMUKTAR, S. A. A. A. N., SCHOLZ, M., AL-ISAWI, R. H. K., & SANI, A. (2015). Recycling of domestic wastewater treated by vertical-flow wetlands for watering of vegetables. *Water Practice and Technology*, 10(3), 445–464.
- ASDI. (2017). HandHeld 2: Hand-held VNIR Spectroradiometer. Retrieved from <https://www.asdi.com/products-and-services/fieldspec-spectroradiometers/handheld-2-portable-spectroradiometer> Keresőprogram: Google. Kulcsszavak: HandHeld 2 VNIR Spectroradiometer. Lekérdezés időpontja: 2017.07.15.
- BADR, N., & NOURELDIEN, N. A. (2006). Examining Outlier Detection Performance for Principal Components Analysis Method and its Robustification Methods. *International Journal of Advances in Engineering & Technology*, 6(2), 573–582.
- BALÁZS, S. (2004). *Zöldségtermesztők kézikönyve*. Mezőgazda Kiadó.
- BARCELOUX, D. G. (2008). *Medical toxicology of natural substances*. Hoboken: John Wiley & Sons.
- BARETH, G., AASEN, H., BENDIG, J., GNYP, M. L., BOLTEN, A., JUNG, A., MICHELS, R., & SOUKKAMÄKI, J. (2015). Low-weight and UAV-based Hyperspectral Full-frame Cameras for Monitoring Crops: Spectral Comparison with Portable Spectroradiometer Measurements. *Photogrammetrie - Fernerkundung - Geoinformation*, 2015(1), 69–79.
- BAXTER, C. J., CARRARI, F., BAUKE, A., OVERY, S., HILL, S. A., QUICK, P. W., FERNIE, A. R., & SWEETLOVE, L. J. (2005). Fruit carbohydrate metabolism in an introgression line of tomato with increased fruit soluble solids. *Plant and Cell Physiology*, 46(3), 425–437.
- BECKLES, D. M., HONG, N., STAMOVA, L., & LUENGWILAI, K. (2012). Biochemical factors contributing to tomato fruit sugar content: a review. *Fruits*, 67(1), 49–64.
- BEN-YAKIR, D., ANTIGNUS, Y., OFFIR, Y., & SHAHAK, Y. (2014). Photosensitive nets and screens can reduce insect pests and diseases in agricultural crops. *Acta Horticulturae*, 1015, 95–102.
- BENNETT, A. B. (2012). Taste: Unraveling tomato flavor. *Current Biology*, 22(11), R443–R444.
- BERGOUIGNOUX, V. (2014). The history of tomato: From domestication to biopharming. *Biotechnology Advances*, 32(1), 170–189.
- BERGQUIST, S. Å. M., GERTSSON, U. E., NORDMARK, L. Y. G., & OLSSON, M. E. (2007).

- Ascorbic acid, carotenoids, and visual quality of baby spinach as affected by shade netting and postharvest storage. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55(21), 8444–8451.
- BERLETT, B. S., & STADTMAN, E. R. (1997). Protein oxidation in aging, disease, and oxidative stress. *The Journal of Biological Chemistry*, 272(33), 20313–20316.
- BLANCH, G. P., RUIZ DEL CASTILLO, M. L., DEL MAR CAJA, M., PÉREZ-MÉNDEZ, M., & SÁNCHEZ-CORTÉS, S. (2007). Stabilization of all-trans-lycopene from tomato by encapsulation using cyclodextrins. *Food Chemistry*, 105(4), 1335–1341.
- BLANCO-DÍAZ, M. T., DEL RÍO-CELESTINO, M., MARTÍNEZ-VALDIVIESO, D., & FONT, R. (2014). Use of visible and near-infrared spectroscopy for predicting antioxidant compounds in summer squash (*Cucurbita pepo* ssp *pepo*). *Food Chemistry*, 164, 301–308.
- BŐCS, A., PÉK, Z., & HELYES, L. (2011). Simultaneous impact of the different water supply and year type on processing tomato yield. *International Journal of Horticultural Science*, 17(1–2), 79–81.
- BRANDT, S., PÉK, Z., BARNÁ, É., LUGASI, A., & HELYES, L. (2006). Lycopene content and colour of ripening tomatoes as affected by environmental conditions. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 86(4), 568–572.
- CAMOGLU, G., DEMIREL, K., & GENÇ, L. (2017). Use of infrared thermography and hyperspectral data to detect effects of water stress on pepper. *Quantitative InfraRed Thermography Journal*, 6733(June), 1–14.
- CAMPS, C., DELTHEIL, L., GILLI, C., & CARLEN, C. (2016). Using the soluble solids accumulation in tomatoes from fruit setting until harvest for the construction of a predictive model by hand-held NIR spectroscopy. *Acta Horticulturae*, 1119, 321–328.
- CEBOLLA-CORNEJO, J., ROSELLÓ, S., & NUEZ, F. (2013). Phenotypic and genetic diversity of Spanish tomato landraces. *Scientia Horticulturae*, 162, 150–164.
- CHEN, Q., ZHANG, C., ZHAO, J., & OUYANG, Q. (2013). Recent advances in emerging imaging techniques for non-destructive detection of food quality and safety. *TrAC - Trends in Analytical Chemistry*, 52, 261–274.
- COLLINS, J. K., PERKINS-VEAZIE, P., & ROBERTS, W. (2006). Lycopene: From plants to humans. *HortScience*, 41(5), 1135–1144.
- CONFORTI, F., STATTI, G. A., & MENICHINI, F. (2007). Chemical and biological variability of hot pepper fruits (*Capsicum annuum* var. *acuminatum* L.) in relation to maturity stage. *Food Chemistry*, 102(4), 1096–1104.
- CSAMBALIK, L., DIVÉKY-ERTSEY, A., PAP, Z., ORBÁN, C., STÉGERNÉ MÁTÉ, M., GERE, A., STEFANOVITS-BÁNYAI, É., & SIPOS, L. (2014). Coherences of instrumental and sensory characteristics: Case study on cherry tomatoes. *Journal of Food Science*, 79(11), C2192–C2202.
- CSAMBALIK, L., DIVÉKY-ERTSEY, A., PUSZTAI, P., BOROS, F., ORBÁN, C., KOVÁCS, S., GERE, A., & SIPOS, L. (2017). Multi-perspective evaluation of phytonutrients – Case study on tomato landraces for fresh consumption. *Journal of Functional Foods*, 33, 211–216.
- CVIKROVÁ, M., GEMPERLOVÁ, L., MARTINCOVÁ, O., & VANKOVÁ, R. (2013). Effect of drought and combined drought and heat stress on polyamine metabolism in proline-over-producing tobacco plants. *Plant Physiology and Biochemistry*, 73, 7–15.

- DAFNI, A., & YANIV, Z. (1994). Solanaceae as medicinal-plants in israel. *Journal of Ethnopharmacology*, 44(114658), 11–18.
- DAOOD, H. G., BENCZE, G., PALOTÁS, G., PÉK, Z., SIDIKOV, A., & HELYES, L. (2014). HPLC Analysis of Carotenoids from Tomatoes Using Cross-Linked C18 Column and MS Detection. *JOURNAL OF CHROMATOGRAPHIC SCIENCE*, 52(9), 985–991.
- DAUNAY, M., & JANICK, J. (2007). History and Iconography of Eggplant. *Chronica Horticulture*, 47(3), 16–22.
- DAWSON, T. P., & CURRAN, P. J. (1998). Technical note A new technique for interpolating the reflectance red edge position. *International Journal of Remote Sensing*, 19(11), 2133–2139.
- DEEPA, N., KAUR, C., GEORGE, B., SINGH, B., & KAPOOR, H. C. (2007). Antioxidant constituents in some sweet pepper (*Capsicum annuum* L.) genotypes during maturity. *LWT - Food Science and Technology*, 40(1), 121–129.
- DEEPA, N., KAUR, C., SINGH, B., & KAPOOR, H. C. (2006). Antioxidant activity in some red sweet pepper cultivars. *Journal of Food Composition and Analysis*, 19(6–7), 572–578.
- DEL GIUDICE, R., RAIOLA, A., TENORE, G. C., FRUSCIANTE, L., BARONE, A., MONTI, D. M., & RIGANO, M. M. (2015). Antioxidant bioactive compounds in tomato fruits at different ripening stages and their effects on normal and cancer cells. *Journal of Functional Foods*, 18, 83–94.
- DENG, G. F., LIN, X., XU, X. R., GAO, L. L., XIE, J. F., & LI, H. BIN. (2013). Antioxidant capacities and total phenolic contents of 56 vegetables. *Journal of Functional Foods*, 5(1), 260–266.
- DÍAZ-PÉREZ, J. C. (2013). Bell pepper (*Capsicum annuum* L.) crop as affected by Shade level: Microenvironment, plant growth, leaf gas exchange, and leaf mineral nutrient concentration. *HortScience*, 48(2), 175–182.
- DÍAZ-PÉREZ, J. C. (2014). Bell pepper (*Capsicum annuum* L.) crop as affected by shade level: Fruit yield, quality, and postharvest attributes, and incidence of phytophthora blight (Caused by *Phytophthora capsici* Leon.). *HortScience*, 49(7), 891–900.
- DIMITROVSKI, D., BICANIC, D., LUTEROTTI, S., VAN TWISK, C., BUIJNSTERS, J. G., & DÓKA, O. (2010). The concentration of trans-lycopene in postharvest watermelon: An evaluation of analytical data obtained by direct methods. *Postharvest Biology and Technology*, 58(1), 21–28.
- DOLFERUS, R. (2014). To grow or not to grow: A stressful decision for plants. *Plant Science*, 229, 247–261.
- ECARNOT, M., BAOGONEKCZYK, P., TESSAROTTO, L., & CHERVIN, C. (2013). Rapid phenotyping of the tomato fruit model, Micro-Tom, with a portable VIS-NIR spectrometer. *Plant Physiology and Biochemistry*, 70, 159–163.
- ERTEK, A., ŞENSOY, S., KÜÇÜKYUMUK, C., & GEDIK, I. (2006). Determination of plant-pan coefficients for field-grown eggplant (*Solanum melongena* L.) using class A pan evaporation values. *Agricultural Water Management*, 85(1–2), 58–66.
- ESHBAUGH, W. H. (2012). The Taxonomy of the Genus *Capsicum*. In V. Russo (Ed.), *Peppers: botany, production and uses* (pp. 13–28). CABI.

- FAN, X.-X., XU, Z.-G., LIU, X.-Y., TANG, C.-M., WANG, L.-W., & HAN, X. (2013). Effects of light intensity on the growth and leaf development of young tomato plants grown under a combination of red and blue light. *Scientia Horticulturae*, *153*, 50–55.
- FAO. (2015). FAOSTAT Crops Production. Retrieved from <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>
- 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*(4), 562–571.
- FETT, D. D. (2003). Botanical Briefs : Capsicum Peppers. *Cutis*, *72*(1), 21–23.
- FIGÀS, M. R., PROHENS, J., RAIGÓN, M. D., FITA, A., GARCÍA-MARTÍNEZ, M. D., CASANOVA, C., BORRÀS, D., PLAZAS, M., ANDÚJAR, I., & SOLER, S. (2015). Characterization of composition traits related to organoleptic and functional quality for the differentiation, selection and enhancement of local varieties of tomato from different cultivar groups. *Food Chemistry*, *187*, 517–524.
- FLORES, K., SÁNCHEZ, M. T., PÉREZ-MARÍN, D., GUERRERO, J. E., & GARRIDO-VARO, A. (2009). Feasibility in NIRS instruments for predicting internal quality in intact tomato. *Journal of Food Engineering*, *91*(2), 311–318.
- FREUDE, D. (2006). Introduction. In *Spectroscopy* (p. 6). Retrieved from <http://home.uni-leipzig.de/energy/pdf/freusel.pdf>
- GARCÍA-SALAS, P., GÓMEZ-CARAVACA, A. M., MORALES-SOTO, A., SEGURA-CARRETERO, A., & FERNÁNDEZ-GUTIÉRREZ, A. (2014). Identification and quantification of phenolic compounds in diverse cultivars of eggplant grown in different seasons by high-performance liquid chromatography coupled to diode array detector and electrospray-quadrupole-time of flight-mass spectrometry. *Food Research International*, *57*, 114–122.
- GAUGLITZ, G., & VO-DINH, T. (2003). *Handbook of Spectroscopy*. WILEY-VCH.
- GAUTIER, H., DIAKOU-VERDIN, V., BÉNARD, C., REICH, M., BURET, M., BOURGAUD, F., POËSSEL, J. L., CARIS-VEYRAT, C., & GÉNARD, M. (2008). How does tomato quality (sugar, acid, and nutritional quality) vary with ripening stage, temperature, and irradiance? *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *56*(4), 1241–1250.
- GHIYAMAT, A., SHAFRI, H. Z. M., MAHDIRAJI, G. A., SHARIFF, A. R. M., & MANSOR, S. (2013). Hyperspectral discrimination of tree species with different classifications using single- and multiple-endmember. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, *23*(1), 177–191.
- GILL, S. S., & TUTEJA, N. (2010). Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. *Plant Physiology and Biochemistry*, *48*(12), 909–930.
- GOVENDER, M., CHETTY, K., & BULCOCK, H. (2007). A review of hyperspectral remote sensing and its application in vegetation and water resource studies. *Water SA*, *33*(2), 145–151.
- GOWEN, A. A., O'DONNELL, C. P., CULLEN, P. J., DOWNEY, G., & FRIAS, J. M. (2007). Hyperspectral imaging - an emerging process analytical tool for food quality and safety control. *Trends in Food Science and Technology*, *18*(12), 590–598.
- GRATTAN, S. R., & GRIEVE, C. M. (1998). Salinity-mineral nutrient relations in horticultural crops. *Scientia Horticulturae*, *78*(1–4), 127–157.

- HARASYM, J., & OLEDZKI, R. (2014). Effect of fruit and vegetable antioxidants on total antioxidant capacity of blood plasma. *Nutrition*, 30(5), 511–517.
- HE, Y., ZHANG, Y., PEREIRA, A. G., GÓMEZ, A. H., & WANG, J. (2005). Nondestructive determination of tomato fruit quality characteristics using VIS/NIR spectroscopy technique. *International Journal of Information Technology*, 11(11), 97–108.
- HEINZ SEED. (2014). International Brochure 2014. Retrieved from http://www.heinzseed.com/new/HeinzSeed_IntlCat_2014.pdf Keresőprogram: Google. Kulcsszavak: Heinz 9663 tomato variety descriptions. Lekérdezés időpontja: 2017.07.15.
- HELYES, L. (1990). Relations among the water supply, foliage temperature and the yield of tomato. *ACTA HORTICULTURAE*, 227, 115–121.
- HELYES, L. (1999). *A paradicsom és termesztése*. SYCA Szakkönyvszolgálat.
- HELYES, L. (2016). Az ipariparadicsom-termesztés jelene, jövője. *Kertgazdaság*, 48(3), 84–90.
- HELYES, L., DIMÉNY, J., PÉK, Z., & LUGASI, A. (2006). Effect of the variety and growing methods as well as cultivation conditions on the composition of tomato (*Lycopersicon lycopersicum* (L.) Karsten) fruit. *Acta Horticulturae*, 712, 511–516.
- HELYES, L., LUGASI, A., DAOOD, H. G., & PÉK, Z. (2014). The Simultaneous Effect of Water Supply and Genotype on Yield Quantity, Antioxidants Content and Composition of Processing Tomatoes. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 42(1), 143–149.
- HELYES, L., LUGASI, A., & PÉK, Z. (2012). Effect of irrigation on processing tomato yield and antioxidant components. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 36(6), 702–709.
- HELYES, L., NAGY, Z., DAOOD, H. G., PÉK, Z., & LUGASI, A. (2015). The simultaneous effect of heat stress and water supply on total polyphenol content of eggplant. *Applied Ecology and Environmental Research*, 13(2), 583–595.
- HELYES, L., & PÉK, Z. (2013). *Summary of the most important scientific results of the Institute of Horticulture, Szent István University Gödöllő, (2003-2012)*. Szent István Egyetemi Kiadó.
- HELYES, L., PÉK, Z., BRANDT, S., & LUGASI, A. (2006). Analysis of antioxidant compounds and hydroxymethylfurfural in processing tomato cultivars. *Horttechnology*, 16(4), 615–619.
- HELYES, L., PÉK, Z., DAOOD, H. G., & POSTA, K. (2015). Effect of mycorrhizae on main antioxidant content of processing tomato. In *Acta Horticulturae* (Vol. 1081, pp. 105–110).
- HELYES, L., PÉK, Z., & LUGASI, A. (2006). Tomato fruit quality and content depend on stage of maturity. *HortScience*, 41(6), 1400–1401.
- HELYES, L., & VARGA, G. (1994). Irrigation demand of tomato according to the results of three decades. *Acta Horticulturae*, 376, 323–328.
- HO, K. K. H. Y., FERRUZZI, M. G., LICEAGA, A. M., & SAN MARTÍN-GONZÁLEZ, M. F. (2015). Microwave-assisted extraction of lycopene in tomato peels: Effect of extraction conditions on all-trans and cis-isomer yields. *LWT - Food Science and Technology*, 62(1), 160–168.
- HODOSSI, S., & DUDÁS, L. (2010). Konzervipari paradicsomtermesztés. *Agrofórum*, 21(2), 100–102.

- HUBER, S., TAGESSON, T., & FENSHOLT, R. (2014). An automated field spectrometer system for studying VIS, NIR and SWIR anisotropy for semi-arid savanna. *Remote Sensing of Environment*, 152, 547–556.
- ILAHY, R., SIDDIQUI, M. W., PIRO, G., LENUCCI, M. S., HDIDER, C., & HELYES, L. (2017). A focus on high-lycopene tomato cultivars: horticultural performance and functional quality. *Acta Horticulturae*, (1159), 57–64.
- ILIĆ, Z. S., & FALLIK, E. (2017). Light quality manipulation improves vegetable quality at harvest and postharvest: A review. *Environmental and Experimental Botany*, 139(January), 79–90.
- ILIĆ, Z. S., MILENKOVIĆ, L., STANOJEVIĆ, L., CVETKOVIĆ, D., & FALLIK, E. (2012). Effects of the modification of light intensity by color shade nets on yield and quality of tomato fruits. *Scientia Horticulturae*, 139, 90–95.
- ILIĆ, Z. S., MILENKOVIĆ, L., ŠUNIĆ, L., BARAĆ, S., MASTILOVIĆ, J., KEVREŠAN, Ž., & FALLIK, E. (2017). Effect of shading by coloured nets on yield and fruit quality of sweet pepper. *Zemdirbyste-Agriculture*, 104(1), 53–62.
- ILIĆ, Z. S., MILENKOVIĆ, L., ŠUNIĆ, L., & FALLIK, E. (2015). Effect of coloured shade-nets on plant leaf parameters and tomato fruit quality. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 95(13), 2660–2667.
- JARQUÍN-ENRÍQUEZ, L., MERCADO-SILVA, E. M., MALDONADO, J. L., & LOPEZ-BALTAZAR, J. (2013). Lycopene content and color index of tomatoes are affected by the greenhouse cover. *Scientia Horticulturae*, 155, 43–48.
- JENEY, L., & KRASSAY, L. (1997). A Gödöllői Erzsébe-park története és leírása. Retrieved from http://epa.oszk.hu/02400/02451/00047/pdf/EPA02451_Erdeszettorteneti_Kozlomenyek_32_1997_085-167.pdf Keresőprogram: Google. Kulcsszavak: A Gödöllői Erzsébet-park leírása. Lekérdezés időpontja: 2017.07.15.
- JUNG, A., KARDEVÁN, P., & TŐKEI, L. (2006). Hyperspectral Technology in Vegetation Analysis. *Progress in Agricultural Engineering Sciences*, 2(1), 95–117.
- JUNG, A., VOHLAND, M., & THIELE-BRUHN, S. (2015). Use of a portable camera for proximal soil sensing with hyperspectral image data. *Remote Sensing*, 7(9), 11434–11448.
- KABIR, F., TOW, W. W., HAMAUZU, Y., KATAYAMA, S., TANAKA, S., & NAKAMURA, S. (2015). Antioxidant and cytoprotective activities of extracts prepared from fruit and vegetable wastes and by-products. *Food Chemistry*, 167, 358–362.
- KARAM, F., SALIBA, R., SKAF, S., BREIDY, J., ROUPHAEL, Y., & BALENDONCK, J. (2011). Yield and water use of eggplants (*Solanum melongena* L.) under full and deficit irrigation regimes. *Agricultural Water Management*, 98(8), 1307–1316.
- KARDEVÁN, P., REISINGER, P., TAMÁS, J., & JUNG, A. (2005). A parlagfű detektálás távérzékelési módszereinek vizsgálata. I. rész – A távérzékelési képek osztályozási hatékonyságának növelése a parlagfű (*Ambrosia artemisiifolia* L) reprezentatív spektrumainak terepi DGPS mérésekkel történő. *Magyar Gyomkutatás És Technológia*, 6(2), 54–67.
- KARROU, M., & OWEIS, T. (2012). Water and land productivities of wheat and food legumes with deficit supplemental irrigation in a Mediterranean environment. *Agricultural Water Management*, 107, 94–103.

- KAUR, C., NAGAL, S., NISHAD, J., KUMAR, R., & SARIKA. (2014). Evaluating eggplant (*Solanum melongena* L) genotypes for bioactive properties: A chemometric approach. *Food Research International*, 60, 205–211.
- KAUR, C., WALIA, S., NAGAL, S., WALIA, S., SINGH, J., SINGH, B. B., SAHA, S., SINGH, B., KALIA, P., JAGGI, S., & SARIKA. (2013). Functional quality and antioxidant composition of selected tomato (*Solanum lycopersicon* L) cultivars grown in Northern India. *LWT - Food Science and Technology*, 50(1), 139–145.
- KAVIDIR, I., LU, R., ARIANA, D., & NGOUAJIO, M. (2007). Visible and near-infrared spectroscopy for nondestructive quality assessment of pickling cucumbers. *Postharvest Biology and Technology*, 44(2), 165–174.
- KIRKBY, E. (2011). *Introduction, Definition and Classification of Nutrients. Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants: Third Edition*. Elsevier Ltd.
- KITTA, E., BAILLE, A. D., KATSOUULAS, N., RIGAKIS, N., & GONZÁLEZ-REAL, M. M. (2014). Effects of cover optical properties on greenhouse radiative environment and sweet pepper productivity. *Biosystems Engineering*, 122, 115–126.
- KNYAZIKHIN, Y., SCHULL, M. A., STENBERG, P., MOTTUS, M., RAUTIAINEN, M., YANG, Y., MARSHAK, A., LATORRE CARMONA, P., KAUFMANN, R. K., LEWIS, P., DISNEY, M. I., VANDERBILT, V., DAVIS, A. B., BARET, F., JACQUEMOUD, S., LYAPUSTIN, A., & MYNENI, R. B. (2013). Hyperspectral remote sensing of foliar nitrogen content. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110(3), E185–E192.
- KONCSEK, A., DAOOD, H. G., & HELYES, L. (2016). Kinetics of carotenoid degradation in spice paprika as affected by storage temperature and seed addition. *Acta Alimentaria*, 45(4), 459–468.
- LEDÓNÉ DARÁZSI, H. (2013). Influence of colour net shading on quantity and quality of sweet pepper yield. In *Review on Agriculture and Rural Development* (pp. 429–434).
- LEDÓNÉ DARÁZSI, H., PÉK, Z., SZUVANDZSIEV, P., OMBÓDI, A., & HELYES, L. (2013). Effect of different colour of shading nets on spectral reflectance and SPAD values on 'Capia' type red sweet pepper leaves. In *XV EUCARPIA Meeting on Genetics and Breeding of Capsicum and Eggplant* (pp. 395–399).
- LEÓN, K., MERY, D., PEDRESCHI, F., & LEÓN, J. (2006). Color measurement in L*a*b* units from RGB digital images. *Food Research International*, 39(10), 1084–1091.
- LEONE, A. P., MENENTI, M., BUONDONNO, A., LETIZIA, A., MAFFEI, C., & SORRENTINO, G. (2007). A field experiment on spectrometry of crop response to soil salinity. *Agricultural Water Management*, 89(1–2), 39–48.
- LI, H., DENG, Z., LIU, R., LOEWEN, S., & TSAO, R. (2013). Carotenoid compositions of coloured tomato cultivars and contribution to antioxidant activities and protection against H₂O₂-induced cell death in H9c2. *Food Chemistry*, 136(2), 878–888.
- LICHTENTHALER, H. K. (1996). Vegetation Stress: An Introduction to the Stress Concept in Plants. *Plant Physiology*, 148(1–2), 4–14.
- LIN, C., POPESCU, S. C., HUANG, S. C., CHANG, P. T., & WEN, H. L. (2015). A novel reflectance-based model for evaluating chlorophyll concentrations of fresh and water-stressed leaves. *Biogeosciences*, 12(1), 49–66.

- LIU, C., LIU, W., CHEN, W., YANG, J., & ZHENG, L. (2015). Feasibility in multispectral imaging for predicting the content of bioactive compounds in intact tomato fruit. *Food Chemistry*, *173*, 482–488.
- LIU, L., HUANG, W., PU, R., & WANG, J. (2014). Detection of internal leaf structure deterioration using a new spectral ratio index in the near-infrared shoulder region. *Journal of Integrative Agriculture*, *13*(4), 760–769.
- LOCHER, J., OMBÓDI, A., KASSAI, T., & DIMÉNY, J. (2005). Influence of coloured mulches on soil temperature and yield of sweet pepper. *European Journal of Horticultural Science*, *70*(3), 135–141.
- LUCINI, L., ROCCHETTI, G., KANE, D., & TREVISAN, M. (2017). Phenolic fingerprint allows discriminating processed tomato products and tracing different processing sites. *Food Control*, *73*, 696–703.
- MANNING, D. A. C. (2015). How will minerals feed the world in 2050? *Proceedings of the Geologists' Association*, *126*(1), 14–17.
- MCCAIG, T. N. (2002). Extending the use of visible/near-infrared reflectance spectrophotometers to measure colour of food and agricultural products. *Food Research International*, *35*(8), 731–736.
- MEYER, R. S., KAROL, K. G., LITTLE, D. P., NEE, M. H., & LITT, A. (2012). Phylogeographic relationships among Asian eggplants and new perspectives on eggplant domestication. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, *63*(3), 685–701.
- MEYER, R. S., KNAPP, S., KAROL, K. G., LITTLE, D. P., NEE, M., & LITT, A. (2013). Reply to J. Samuels: Taxonomic notes on several wild relatives of *Solanum melongena* L. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, *69*(1), 306–307.
- MITCHELL, C. A., DZAKOVICH, M. P., GOMEZ, C., BURR, J. F., HERNÁNDEZ, R., KUBOTA, C., CURREY, C. J., BOTH, A. J., BOURGET, C. M., MORROW, R. C., MENG, Q., & RUNKLE, E. S. (2015). Light-Emitting Diodes in Horticulture. *Horticultural Reviews*, *43*, 1–88.
- MITTLER, R. (2006). Abiotic stress, the field environment and stress combination. *Trends in Plant Science*, *11*(1), 15–19.
- MONCADA, A., MICELI, A., VETRANO, F., MINEO, V., PLANETA, D., & D'ANNA, F. (2013). Effect of grafting on yield and quality of eggplant (*Solanum melongena* L.). *Scientia Horticulturae*, *149*, 108–114.
- MORALES-SOTO, A., GARCÍA-SALAS, P., RODRÍGUEZ-PÉREZ, C., JIMÉNEZ-SÁNCHEZ, C., CÁDIZ-GURREA, M. DE LA L., SEGURA-CARRETERO, A., & FERNÁNDEZ-GUTIÉRREZ, A. (2014). Antioxidant capacity of 44 cultivars of fruits and vegetables grown in Andalusia (Spain). *Food Research International*, *58*, 35–46.
- MUKHTAR, M., ARSHAD, M., AHMAD, M., POMERANTZ, R. J., WIGDAHL, B., & PARVEEN, Z. (2008). Antiviral potentials of medicinal plants. *Virus Research*, *131*(2), 111–120.
- MULLER, C. H. (1940). *A revision of the genus Lycopersicon* Miscellaneous Publication No. 382. US Department of Agriculture.
- MÜLLER, V., ALBERT, A., BARBRO WINKLER, J., LANKES, C., NOGA, G., & HUNSCHE, M. (2013). Ecologically relevant UV-B dose combined with high PAR intensity distinctly affect plant growth and accumulation of secondary metabolites in leaves of *Centella asiatica* L. Urban.

Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology, 127, 161–169.

- NAGY, Z., DAOOD, H., AMBRÓZY, Z., & HELYES, L. (2015). Determination of Polyphenols, Capsaicinoids, and Vitamin C in New Hybrids of Chili Peppers. *Journal of Analytical Methods in Chemistry*, 2015.
- NICHOLS, M. A. (2006). Towards 10 t/ha Brix. *Acta Horticulturae*, 724, 217–223.
- NICOLAÏ, B. M., BEULLENS, K., BOBELYN, E., PEIRS, A., SAEYS, W., THERON, K. I., & LAMMERTYN, J. (2007). Nondestructive measurement of fruit and vegetable quality by means of NIR spectroscopy : A review. *Postharvest Biology and Technology*, 46, 99–118.
- NORDBERG, J., & ARNÉR, E. S. J. (2001). Reactive oxygen species, antioxidants, and the mammalian thioredoxin system1 1This review is based on the licentiate thesis ‘Thioredoxin reductase—interactions with the redox active compounds 1-chloro-2,4-dinitrobenzene and lipoic acid’ by Jonas Nordberg,. *Free Radical Biology and Medicine*, 31(11), 1287–1312.
- OKIN, G. S., ROBERTS, D. A., MURRAY, B., & OKIN, W. J. (2001). Practical limits on hyperspectral vegetation discrimination in arid and semiarid environments. *Remote Sensing of Environment*, 77(2), 212–225.
- OMBÓDI, A., PÉK, Z., SZUVANDZSIEV, P., LUGASI, A., LEDÓNÉ DARÁZSI, H., & HELYES, L. (2016). Effect of coloured shade nets on some nutritional characteristics of a kapia type pepper grown in plastic tunnel. *Columella : Journal of Agricultural and Environmental Sciences*, 3(2), 25–33.
- OMBÓDI, A., PÉK, Z., SZUVANDZSIEV, P., TASKOVICS, Z. T., KÖHÁZI-KIS, A., KOVÁCS, A., LEDÓNÉ DARÁZSI, H., & HELYES, L. (2015). Effects of external coloured shade nets on sweet peppers cultivated in walk-in plastic tunnels. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 43(2), 398–403.
- OMSZ. (2017). Éghajlati visszatekintő. Retrieved from http://www.met.hu/eghajlat/magyarorszag_eghajlata/eghajlati_visszatekinto/
Keresőprogram: Google. Kulcsszavak: éghajlati visszatekintő. Lekérdezés időpontja: 2017.07.15.
- OROSCO, K. (2017). Vetőmag katalógus 2017. Retrieved from <http://orosco.hu/letoltesek>
Keresőprogram: Google. Kulcsszavak: orosco letöltések. Lekérdezés időpontja: 2017.07.15.
- OROVA, K., PETRÓCZKI, K., & BEKE, J. (2015). Mechanization in greenhouse tomato culture and indoor culture for research purposes. *Mechanical Engineering Letters*, 13(2), 66–73.
- PACHPUTE, J. S. (2010). A package of water management practices for sustainable growth and improved production of vegetable crop in labour and water scarce Sub-Saharan Africa. *Agricultural Water Management*, 97(9), 1251–1258.
- PADMANABHAN, P., CHEEMA, A., & PALIYATH, G. (2016). Solanaceous Fruits Including Tomato, Eggplant, and Peppers. In B. Caballero, P. M. Finglas, & F. Toldrá (Eds.), *Encyclopedia of Food and Health* (pp. 24–32). Elsevier Ltd.
- PAPÓCSI-RÉTHY, K., KISS, Z., KERTI, A., & LÁSZLÓ, B. (2011). A paradicsom, mint likopinforrás alkalmazása japán fűrjben. *Állattenyésztés És Takarmányozás*, 60(4), 429–436.

- PATANÈ, C., & COSENTINO, S. L. (2010). Effects of soil water deficit on yield and quality of processing tomato under a Mediterranean climate. *Agricultural Water Management*, 97(1), 131–138.
- PEDRO, A. M. K., & FERREIRA, M. M. C. (2007). Simultaneously calibrating solids, sugars and acidity of tomato products using PLS2 and NIR spectroscopy. *Analytica Chimica Acta*, 595(1–2 SPEC. ISS.), 221–227.
- PEIRIS, K. H. S., DULL, G. G., LEFFLER, R. G., & KAYS, S. J. (1998). Near-infrared (NIR) Spectrometric Technique for Nondestructive Determination of Soluble Solids Content in Processing Tomatoes. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 123(6), 1089–1093.
- PÉK, Z. (2014). A „Szentesi paprika (OFJ)” egészséges táplálkozásban betöltött szerepe. In H. Ledóné Darázi (Ed.), *A „Szentesi paprika” (OFJ) termesztési és minőségbiztosítási kézikönyve* (pp. 13–17). TÉSZ-ÉSZ Nonprofit Kft.
- PÉK, Z., BUDAVÁRI, N., TUAN, L. A., DAOOD, H. G., HALÁSZ, K., GYULAI, G., & SZUVANDZSIEV, P. (2017). Amerikai örökségfajta (heirloom) paradicsomok talaj nélküli termesztetőségének, morfológiai és beltartalmi értékeinek vizsgálata. *Kertgazdaság*, 49(1), 9–17.
- PÉK, Z., DAOOD, H. G., NEMÉNYI, A., HELYES, L., & SZUVANDZSIEV, P. (2017). Seasonal and irrigation effect on yield parameters and soluble solids content of processing cherry tomato. *Acta Horticulturae*, 1159, 45–49.
- PÉK, Z., HELYES, L., & LUGASI, A. (2010). Color changes and antioxidant content of vine and postharvest-ripened tomato fruits. *HortScience*, 45(3), 466–468.
- PÉK, Z., SZUVANDZSIEV, P., DAOOD, H. G., NEMÉNYI, A., & HELYES, L. (2014). Effect of irrigation on yield parameters and antioxidant profiles of processing cherry tomato. *Central European Journal of Biology*, 9(4), 383–395.
- PÉK, Z., SZUVANDZSIEV, P., NEMÉNYI, A., & HELYES, L. (2017). Precíziós mérési módszerek alkalmazhatósága az ipari paradicsom vízellátottságának spektrális vizsgálatában. In *Prega Science* (pp. 34–35). Agroinform.
- PÉK, Z., SZUVANDZSIEV, P., NEMÉNYI, A., HELYES, L., & LUGASI, A. (2011). The effect of natural light on changes in antioxidant content and color parameters of vine-ripened tomato (*Solanum lycopersicum* L.) fruits. *HortScience*, 46(4), 583–585.
- PENCHAIYA, P., BOBELYN, E., VERLINDEN, B. E., NICOLAÏ, B. M., & SAEYS, W. (2009). Non-destructive measurement of firmness and soluble solids content in bell pepper using NIR spectroscopy. *Journal of Food Engineering*, 94(3–4), 267–273.
- PEÑUELAS, J., & FILELLA, I. (1998). Visible and near-infrared reflectance techniques for diagnosing plant physiological status. *Trends in Plant Science*, 3(4), 151–156.
- PEÑUELAS, J., PIÑOL, J., OGAYA, R., & FILELLA, I. (1997). Estimation of plant water concentration by the reflectance Water Index WI (R900/R970). *International Journal of Remote Sensing*, 18(13), 2869–2875.
- PERNICE, R., PARISI, M., GIORDANO, I., PENTANGELO, A., GRAZIANI, G., GALLO, M., FOGLIANO, V., & RITIENI, A. (2010). Antioxidants profile of small tomato fruits: Effect of irrigation and industrial process. *Scientia Horticulturae*, 126(2), 156–163.

- POLLE, A., & LUO, Z. BIN. (2014). Biotic and abiotic interactions in plants: Novel ideas for agriculture and forestry in a changing environment. *Environmental and Experimental Botany*, 108, 1–3.
- POOJARY, M. M., & PASSAMONTI, P. (2015). Optimization of extraction of high purity all-trans-lycopene from tomato pulp waste. *Food Chemistry*, 188, 84–91.
- RAHIMZADEH-BAJGIRAN, P., MUNEHIRO, M., & OMASA, K. (2012). Relationships between the photochemical reflectance index (PRI) and chlorophyll fluorescence parameters and plant pigment indices at different leaf growth stages. *Photosynthesis Research*, 113(1–3), 261–271.
- RAMADAN, M. F., ZAYED, R., & EL-SHAMY, H. (2007). Screening of bioactive lipids and radical scavenging potential of some solanaceae plants. *Food Chemistry*, 103(3), 885–890.
- RIAHI, A., & HDIDER, C. (2013). Bioactive compounds and antioxidant activity of organically grown tomato (*Solanum lycopersicum* L.) cultivars as affected by fertilization. *Scientia Horticulturae*, 151, 90–96.
- RICK, C. (1960). Hybridization Between *Lycopersicon Esculentum* and *Solanum Pennellii*: Phylogenetic and Cytogenetic Significance. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 46(1), 78–82.
- RIGA, P., MEDINA, S., GARCÍA-FLORES, L. A., & GIL-IZQUIERDO, Á. (2014). Melatonin content of pepper and tomato fruits: Effects of cultivar and solar radiation. *Food Chemistry*, 156, 347–352.
- RODLER, I. (2007). *Táplálkozás és a rák*.
- ROJAS-GARBANZO, C., GLEICHENHAGEN, M., HELLER, A., ESQUIVEL, P., SCHULZE-KAYSERS, N., & SCHIEBER, A. (2017). Carotenoid Profile, Antioxidant Capacity, and Chromoplasts of Pink Guava (*Psidium guajava* L. Cv. 'Criolla') during Fruit Ripening. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 65(18), 3737–3747.
- ROTBART, N., SCHMILOVITCH, Z., COHEN, Y., ALCHANATIS, V., EREL, R., IGNAT, T., SHENDEREY, C., DAG, A., & YERMIYAHU, U. (2013). Estimating olive leaf nitrogen concentration using visible and near-infrared spectral reflectance. *Biosystems Engineering*, 114(4), 426–434.
- RUIZ-ALTISENT, M., RUIZ-GARCIA, L., MOREDA, G. P., LU, R., HERNANDEZ-SANCHEZ, N., CORREA, E. C., DIEZMA, B., NICOLAÏ, B., & GARCÍA-RAMOS, J. (2010). Sensors for product characterization and quality of specialty crops-A review. *Computers and Electronics in Agriculture*, 74(2), 176–194.
- RYLSKI, I., & SPIGELMAN, M. (1986). Effect of shading on plant development, yield and fruit quality of sweet pepper grown under conditions of high temperature and radiation. *Scientia Horticulturae*, 29(1–2), 31–35.
- SANTOS-SÁNCHEZ, N. F., VALADEZ-BLANCO, R., GÓMEZ-GÓMEZ, M. S., PÉREZ-HERRERA, A., & SALAS-CORONADO, R. (2012). Effect of rotating tray drying on antioxidant components, color and rehydration ratio of tomato saladette slices. *LWT - Food Science and Technology*, 46(1), 298–304.
- SAVITZKY, A., & GOLAY, M. J. E. (1964). Smoothing and Differentiation of Data by Simplified Least Squares Procedures. *Analytical Chemistry*, 36(8), 1627–1639.

- SELAHLE, K. M., SIVAKUMAR, D., JIFON, J., & SOUNDY, P. (2015). Postharvest responses of red and yellow sweet peppers grown under photo-selective nets. *Food Chemistry*, *173*, 951–956.
- SEMINIS HUNGÁRIA. (2015). Színes paprikák és választékbővítő paprika fajták katalógusa. Retrieved from https://seminishu.s3.amazonaws.com/wp-content/uploads/2015/11/Seminis_Színes-paprikák-és-választékbővítőpaprika-fajtak.pdf Keresőprogram: Google. Kulcsszavak: színes paprikák és választékbővítő paprika fajták katalógusa. Lekérdezés időpontja: 2017.07.15
- SERBIN, S. P., DILLAWAY, D. N., KRUGER, E. L., & TOWNSEND, P. A. (2012). Leaf optical properties reflect variation in photosynthetic metabolism and its sensitivity to temperature. *Journal of Experimental Botany*, *63*(1), 489–502.
- SERRANO, M., ZAPATA, P. J., CASTILLO, S., GUILLÉN, F., MARTÍNEZ-ROMERO, D., & VALERO, D. (2010). Antioxidant and nutritive constituents during sweet pepper development and ripening are enhanced by nitrophenolate treatments. *Food Chemistry*, *118*(3), 497–503.
- SHAHAK, Y. (2008). Photo-selective netting for improved performance of horticultural crops. A review of ornamental and vegetable studies carried out in Israel. *Acta Horticulturae*, *770*, 161–168.
- SHAHAK, Y. (2014). Photosensitive netting: An overview of the concept, r and d and practical implementation in agriculture. *Acta Horticulturae*, *1015*, 155–162.
- SHAHAK, Y., KONG, Y., & RATNER, K. (2016). The wonders of yellow netting. *Acta Horticulturae*, *1134*, 327–334.
- SHAO, H. B., CHU, L. Y., JALEEL, C. A., & ZHAO, C. X. (2008). Water-deficit stress-induced anatomical changes in higher plants. *Comptes Rendus - Biologies*, *331*(3), 215–225.
- SHINOHARA, T., & LESKOVAR, D. I. (2014). Effects of ABA, antitranspirants, heat and drought stress on plant growth, physiology and water status of artichoke transplants. *Scientia Horticulturae*, *165*, 225–234.
- SIRISOMBOON, P., TANAKA, M., KOJIMA, T., & WILLIAMS, P. (2012). Nondestructive estimation of maturity and textural properties on tomato ‘Momotaro’ by near infrared spectroscopy. *Journal of Food Engineering*, *112*(3), 218–226.
- SOMOS, A. (1971). *A paradicsom*. Akadémiai Kiadó.
- SZIGETI, Z. (2013). A növényi stressz alapjelenségei. In F. Fodor (Ed.), *A növényi anyagcsere élettana* (pp. 295–318). Eötvös Lóránd Tudományegyetem. Retrieved from http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop412A/2011-0073_novenyi_anyagcsere/ch10.html# Keresőprogram: Google. Kulcsszavak: A növényi anyagcsere élettana. Lekérdezés időpontja: 2017.07.15.
- SZUVANDZSIEV, P., BAKÓ, G., HELYES, L., & PÉK, Z. (2014). Spektroszkópiás vizsgálatok alkalmazási lehetőségei a málna a szamóca és a paradicsom minőségi paramétereinek meghatározására. *Kertgazdaság*, *46*(2), 17–23.
- SZUVANDZSIEV, P., DAOOD, H. G., POSTA, K., HELYES, L., & PÉK, Z. (2017). Application of VIS-NIR reflectance spectra for estimating soluble solid and lycopene content of open-field processing tomato fruit juice from irrigation and mycorrhiza treatments. *Acta Horticulturae*, (1159), 73–78.

- SZUVANDZSIEV, P., HELYES, L., LUGASI, A., SZÁNTÓ, C., BARANOWSKI, P., & PÉK, Z. (2014). Estimation of antioxidant components of tomato using VIS-NIR reflectance data by handheld portable spectrometer. *International Agrophysics*, 28(4), 521–527.
- SZUVANDZSIEV, P., HELYES, L., NEMÉNYI, A., & PÉK, Z. (2014). Effect of Water Supply on Yield Characteristics of Processing Cherry Tomato. *Acta Horticulturae*, 1038, 587–592.
- SZUVANDZSIEV, P., & PÉK, Z. (2016). Az ipari paradicsom termesztés hazai és nemzetközi helyzete. *Agrofórum*, 27(4), 150–153.
- SZUVANDZSIEV, P., PÉK, Z., DAOOD, H. G., & HELYES, L. (2012). Effect of water supply and temperature on main fruit components of red sweet pepper. *Növénytermelés*, 61(Suppl 1.), 101–104.
- SZUVANDZSIEV, P., PÉK, Z., DAOOD, H. G., & HELYES, L. (2013). Effect of magnesium and copper micronutrients on irrigated and rain fed tomato yield and quality. *Növénytermelés*, 62(Suppl 1.), 79–82.
- SZUVANDZSIEV, P., PÉK, Z., NAGY, Z., DAOOD, H. G., SEIDAZIMOVA, D., NEMÉNYI, A., & HELYES, L. (2016). Correlation between carotenoid components of chili pepper fruits and VIS/NIR reflectance. In *XVI. EUCARPIA Capsicum and Eggplant Working Group Meeting* (pp. 212–217). Diamond Congress.
- SZUVANDZSIEV, P., PÉK, Z., SZÁNTÓ, C., & HELYES, L. (2015). Application of VIS-NIR reflectance spectra for estimating water supply effect on open field processing tomato. In *Acta Horticulturae* (Vol. 1081, pp. 191–196).
- TERZOPOULOS, P. J., & BEBELI, P. J. (2010). Phenotypic diversity in Greek tomato (*Solanum lycopersicum* L.) landraces. *Scientia Horticulturae*, 126(2), 138–144.
- TEVINI, M., IWANZIK, W., & TERAMURA, A. H. (1983). Effects of UV-B Radiation on Plants During Mild Water Stress II. Effects on Growth, Protein and Flavonoid Content. *Zeitschrift Für Pflanzenphysiologie*, 110(5), 459–467.
- THOMAS, B., & VINCE-PRUE, D. (1996). *Photoperiodism in Plants*. Academic Press.
- TIEMAN, D., BLISS, P., MCINTYRE, L. M., BLANDON-UBEDA, A., BIES, D., ODABASI, A. Z., RODRÍGUEZ, G. R., VAN DER KNAAP, E., TAYLOR, M. G., GOULET, C., MAGEROY, M. H., SNYDER, D. J., COLQUHOUN, T., MOSKOWITZ, H., CLARK, D. G., SIMS, C., BARTOSHUK, L., & KLEE, H. J. (2012). The chemical interactions underlying tomato flavor preferences. *Current Biology*, 22(11), 1035–1039.
- TIEMAN, D., ZHU, G., RESENDE, M. F. R., LIN, T., NGUYEN, C., BIES, D., RAMBLA, J. L., BELTRAN, K. S. O., TAYLOR, M., ZHANG, B., IKEDA, H., LIU, Z., FISHER, J., ZEMACH, I., MONFORTE, A., ZAMIR, D., GRANELL, A., KIRST, M., HUANG, S., & KLEE, H. (2017). A chemical genetic roadmap to improved tomato flavor. *Science*, 355(6323), 391–394.
- TOOR, R. K., & SAVAGE, G. P. (2005). Antioxidant activity in different fractions of tomatoes. *Food Research International*, 38(5), 487–494.
- TOPCU, Y., DOGAN, A., KASIMOGLU, Z., SAHIN-NADEEM, H., POLAT, E., & ERKAN, M. (2015). The effects of UV radiation during the vegetative period on antioxidant compounds and postharvest quality of broccoli (*Brassica oleracea* L.). *Plant Physiology and Biochemistry*, 93, 56–65.
- TSABALLA, A., GANOPOULOS, I., TIMPLALEXI, A., ALIKI, X., BOSMALI, I., IRINI, N. O.,

- ATHANASIOS, T., & MADESIS, P. (2015). Molecular characterization of Greek pepper (*Capsicum annuum* L) landraces with neutral (ISSR) and gene-based (SCoT and EST-SSR) molecular markers. *Biochemical Systematics and Ecology*, *59*, 256–263.
- ULISSI, V., ANTONUCCI, F., BENINCASA, P., FARNESELLI, M., TOSTI, G., GUIDUCCI, M., TEI, F., COSTA, C., PALLOTTINO, F., PARI, L., & MENESATTI, P. (2011). Nitrogen concentration estimation in tomato leaves by VIS-NIR non-destructive spectroscopy. *Sensors*, *11*(6), 6411–6424.
- USHA, K., & SINGH, B. (2013). Potential applications of remote sensing in horticulture-A review. *Scientia Horticulturae*, *153*, 71–83.
- VALKO, M., LEIBFRITZ, D., MONCOL, J., CRONIN, M. T., MAZUR, M., & TELSER, J. (2007). Free radicals and antioxidants in normal physiological functions and human disease. *The International Journal of Biochemistry & Cell Biology*, *39*(1), 44–84.
- VOGIATZI, G., TOUSOULIS, D., & STEFANADIS, C. (2009). The role of oxidative stress in atherosclerosis. *Hellenic Journal of Cardiology: HJC = Hellēnikē Kardiologikē Epitheōrēsē*, *50*(5), 402–9.
- WEESE, T. L., & BOHS, L. (2007). A Three-Gene Phylogeny of the Genus *Solanum* (Solanaceae). *Systematic Botany*, *32*(2), 445–463.
- WELFARE, K., YEO, A. R., & FLOWERS, T. J. (2002). Effects of salinity and ozone, individually and in combination, on the growth and ion contents of two chickpea (*Cicer arietinum* L.) varieties. *Environmental Pollution*, *120*(2), 397–403.
- WORKMAN, J. J. (2001). *Handbook of organic compounds NIR, IR, Raman, and UV spectra featuring polymers and surfaces*. Academic Press.
- WPTC. (2017). World Production estimate. Retrieved from <http://www.wptc.to/releases-wptc> Keresőprogram: Google. Kulcsszavak: world production estimate of tomatoes for processing. Lekérdezés időpontja: 2017.04.29.
- WU, D., & SUN, D. W. (2013). Colour measurements by computer vision for food quality control - A review. *Trends in Food Science and Technology*, *29*(1), 5–20.
- WU, G., & WANG, C. (2014). Investigating the effects of simulated transport vibration on tomato tissue damage based on vis/NIR spectroscopy. *Postharvest Biology and Technology*, *98*, 41–47.
- XIAOWEI, H., XIAOBO, Z., JIEWEN, Z., JIYONG, S., XIAOLEI, Z., & HOLMES, M. (2014). Measurement of total anthocyanins content in flowering tea using near infrared spectroscopy combined with ant colony optimization models. *Food Chemistry*, *164*, 536–543.
- XIE, C., & HE, Y. (2016). Spectrum and Image Texture Features Analysis for Early Blight Disease Detection on Eggplant Leaves. *Sensors*, *16*(5), 676.
- XIE, L., YING, Y., LIN, H., ZHOU, Y., & NIU, X. (2008). Nondestructive determination of soluble solids content and pH in tomato juice using NIR transmittance spectroscopy. *Sensing and Instrumentation for Food Quality and Safety*, *2*(2), 111–115.
- YUAN, G. F., JIA, C. G., LI, Z., SUN, B., ZHANG, L. P., LIU, N., & WANG, Q. M. (2010). Effect of brassinosteroids on drought resistance and abscisic acid concentration in tomato under water stress. *Scientia Horticulturae*, *126*(2), 103–108.

ZARO, M. J., CHAVES, A. R., VICENTE, A. R., & CONCELLÓN, A. (2014). Distribution, stability and fate of phenolic compounds in white and purple eggplants (*Solanum melongena* L.). *Postharvest Biology and Technology*, 92, 70–78.

ZATYKÓ, L., & MÁRKUS, F. (2010). *Étkezési és fűszerpaprika termesztése*. Mezőgazda Kiadó.

ZHANG, R., RAO, X., GAO, Y., HU, D., & YING, Y. (2012). Inspection of soluble solid content for tomatoes in different positions based on hyperspectral diffuse transmittance imaging. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 29(23), 247–252.

ZUDE, M. (ED.). (2008). *Optical Monitoring of Fresh and Processed Agricultural Crops*. CRC Press.

8.2 M2. Az ipari paradicsom terméseredményei

4. táblázat Uno Ross F1 ipari paradicsom hibrid termés-, Brix- és Brix hozam eredményei 2012-2015 évjáratokban

	Érett		Zöld		Beteg		Összes		Brix	Brix hozam	Víz
2012	t/ha	g/db	t/ha	g/db	t/ha	g/db	t/ha	g/db			
UR K/1	31,66692	30,52209	15,62513	22,59036	7,291725	67,30769	54,58377	30,10504	6,8	2,153351	219,4
UR K/2	25,0002	33,51955	14,16678	26,98413	7,91673	76	47,08371	34,12592	7,2	1,800014	219,4
UR K/3	28,75023	36,50794	22,50018	19,01408	8,958405	50	60,20882	26,38051	7,4	2,127517	219,4
UR K/4	33,3336	29,30403	17,08347	19,90291	6,66672	94,11765	57,08379	35,83115	7,3	2,433353	219,4
UR 50/1	48,54206	40,17241	11,04176	32,31707	1,62918	32,58333	61,21299	26,26821	5,9	2,863981	278,2
UR 50/2	66,6672	42,10526	7,812563	21,06742	8,641736	32,92063	83,1215	24,02333	5,9	3,933365	278,2
UR 50/3	58,3338	40,46243	14,58345	24,13793	6,016715	34,38095	78,93396	24,74533	5,9	3,441694	278,2
UR 50/4	52,70876	36,03989	13,24177	14,1875	6,154216	23,82258	72,10474	18,51249	6,8	3,584195	278,2
UR 100/1	90,41739	53,44828	11,45843	33,95062	11,45843	56,12245	113,3342	35,88034	5	4,52087	337
UR 100/2	111,2509	58,29694	24,16686	44,27481	15,62513	98,68421	151,0429	50,31399	5,1	5,673795	337
UR 100/3	93,33408	50,79365	16,87514	35,21739	12,5001	85,71429	122,7093	42,93133	5,7	5,320043	337
UR 100/4	98,33412	62,59947	27,91689	44,66667	11,66676	49,12281	137,9178	39,09724	5	4,916706	337
2013											
UR K/1	11,04176	14,85981	0,13889	4	1,25001	13,84615	12,43066	8,176492	6	0,662505	166,2
UR K/2	9,791745	12,7027	0,208335	4,285714	1,597235	25,55556	11,59732	10,63599	7	0,685422	166,2
UR K/3	21,87518	19,32515	1,3889	4,545455	2,569465	33,63636	25,83354	14,37674	5,6	1,22501	166,2
UR K/4	17,84737	15,67073	1,458345	5,121951	0,83334	24	20,13905	11,19817	6,3	1,124384	166,2
UR 50/1	45,48648	37,86127	1,25001	10	4,652815	37,22222	51,3893	21,27087	4,4	2,001405	259
UR 50/2	32,36137	26,17978	0,763895	7,857143	2,08335	33,33333	35,20862	16,84256	5,3	1,715153	259
UR 50/3	30,83358	31,04895	2,569465	18,5	2,708355	48,75	36,1114	24,57474	5,2	1,603346	259
UR 50/4	16,45847	30,38462	1,041675	9,375	1,736125	31,25	19,23627	17,7524	4,9	0,806465	259
UR 100/1	66,6672	42,85714	6,9445	10,86957	1,319455	31,66667	74,93116	21,34834	4,2	2,800022	351,7
UR 100/2	45,76426	35,43011	7,708395	14,8	5,625045	31,15385	59,0977	20,34599	5,2	2,379741	351,7
UR 100/3	61,73661	33,9313	6,38894	15,33333	1,319455	27,14286	69,445	19,10187	4,5	2,778147	351,7
UR 100/4	35,00028	35,24476	7,430615	24,31818	0,97223	23,33333	43,40313	20,72407	5,2	1,820015	351,7
2014											
UR K/1	20,8335	38,46154	2,395853	19,16667	11,45843	33,33333	34,68778	22,74038	4,8	1,000008	380,7
UR K/2	10,10425	35,92593	1,25001	20	15,10429	30,85106	26,45855	21,69425	4,8	0,485004	380,7
UR K/3	16,14596	39,74359	4,791705	17,03704	10,62509	32,90323	31,56275	22,42096	5,4	0,871882	380,7
UR K/4	11,77093	41,85185	3,125025	23,07692	0,83334	40	23,22935	26,23219	5,2	0,612088	380,7
UR 50/1	19,27099	37	1,041675	10	29,37524	30	49,6879	19,25	4,8	0,925007	408,3
UR 50/2	23,75019	38	0,312503	10	23,64602	33,8806	47,70872	20,47015	4,2	0,997508	408,3
UR 50/3	13,33344	35,55556	0,729173	17,5	22,18768	27,66234	36,25029	20,17947	4,6	0,613338	408,3
UR 50/4	17,50014	28,96552	0,520838	12,5	26,25021	32,30769	44,27119	18,4433	3,8	0,665005	408,3
UR 100/1	29,1669	39,43662	1,875015	20	26,87522	28,98876	57,91713	22,10635	4,1	1,195843	435,7
UR 100/2	19,16682	57,5	2,91669	23,33333	19,06265	35,19231	41,14616	29,00641	4,5	0,862507	435,7
UR 100/3	24,16686	36,25	1,770848	17	29,27107	29,27083	55,20878	20,63021	4,5	1,087509	435,7
UR 100/4	23,95853	44,23077	2,604188	27,77778	25,62521	36,17647	52,18792	27,04625	4,3	1,030217	435,7
2015											
UR K/1	12,3125	14,81203	2,15625	7,040816	0,75	13,33333	15,21875	8,796545	7,8	0,960375	175,6
UR K/2	15,84375	15,13433	4,4375	6,960784	1,3125	12,72727	21,59375	8,705596	8	1,2675	175,6
UR K/3	12,78125	15,6705	4,53125	6,590909	1,5	17,77778	18,8125	10,0098	8,4	1,073625	175,6
UR K/4	17,8125	16,14731	5,125	19,29412	0,75	17,14286	23,6875	13,14607	7,9	1,407188	175,6
UR 50/1	55,125	30,05111	4,375	8,092486	9,25	25,29915	68,75	15,86068	5,3	2,921625	316,2
UR 50/2	59,84375	31,39344	2,03125	8,333333	8,03125	35,69444	69,90625	18,85531	4,6	2,752813	316,2
UR 50/3	54,8125	26,77863	2,65625	10,625	10,8125	28,59504	68,28125	16,49967	4,7	2,576188	316,2
UR 50/4	56,03125	31,34615	5,84375	9,589744	3,65625	10,35398	65,53125	12,82247	5,5	3,081719	316,2
UR 100/1	66,75	38,76588	4,1875	10,22901	13,6875	60	84,625	27,24872	3,6	2,403	438,1
UR 100/2	71,73438	39,85243	0,5625	10	14,90625	30,38217	87,20313	20,05865	3,8	2,725906	438,1
UR 100/3	64,03125	35,44983	5,9375	23,45679	20,6875	60,73394	90,65625	29,91014	3,6	2,305125	438,1
UR 100/4	71,125	38,90598	0,875	8,235294	13,5625	52,28916	85,5625	24,85761	3,9	2,773875	438,1

9 KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Köszönetemet szeretném kifejezni témavezetőmnek, Dr. Pék Zoltán habilitált egyetemi docensnek és Dr. Helyes Lajos intézetigazgatónak, hogy a PhD éveim alatt mind a terepi munkák, mind pedig a tudományos publikációk tekintetében rengeteg segítséget nyújtva irányítottak.

Külön köszönet illeti Dr. Daood Hussein kandidátust, a Szent István Egyetem Regionális Egyetemi Tudásközpont Analitikai Laboratóriumának vezetőjét, aki a laboratóriumi munkák útvesztőjében támogatásával irányt mutatott.

Szeretném megköszönni a Szent István Egyetem Kertészeti Intézetében és jogelődjeiben, valamint az intézethez tartozó Kertészeti Tanüzemben tevékenykedő minden tisztelt munkatársamnak a segítséget, amit a mindennapokban nyújtottak nekem.

Végül köszönetet szeretnék mondani Gúth Lindának, a Családomnak és Barátaimnak, akik végtelen türelemmel és odafigyeléssel biztos háttérrel teremtve támogattak.