



**Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem**  
Kertészettudományi Intézet

**Különböző termőterületekről származó ipari paradicsom  
(*Solanum lycopersicon* L.) antioxidáns hatású bioaktív anyagainak,  
öntözés és kétféle feldolgozási folyamat során bekövetkező  
változásainak analitikai nyomon követése.**

**Doktori értekezés**

DOI: 10.54598/002260

**Ráth Szilvia**

**2022**

**A doktori iskola**

**Megnevezése:** Növénytudományi Doktori Iskola  
**Tudományága:** növénytermesztési és kertészeti tudományok

**Vezetője:** Dr. Helyes Lajos  
egyetemi tanár, intézetigazgató, az MTA doktora  
Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem,  
Kertészettudományi Intézet

**Téma vezetője:** Dr. Helyes Lajos  
egyetemi tanár, intézetigazgató, az MTA doktora  
Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem,  
Kertészettudományi Intézet

Dr. Daood Hussein  
c. egyetemi tanár, kémiai tudományok kandidátusa (CSc)  
Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem  
Kertészettudományi Intézet

.....  
Az iskola vezető jóváhagyása

.....  
A témavezető jóváhagyása

.....  
A témavezető jóváhagyása

# Tartalomjegyzék

1.	BEVEZETÉS .....	7
2.	IRODALMI ÁTTEKINTÉS.....	9
2.1	AZ IPARI PARADICSOM GAZDASÁGI JELENTŐSÉGE .....	9
2.2	PARADICSOMTERMESZTÉS SZEREPE, JELENTŐSÉGE .....	10
2.3	PARADICSOM TÁPLÁLKOZÁSTUDOMÁNYI JELENTŐSÉGE .....	11
2.3.1	<i>Karotinoid típusú vegyületek</i> .....	13
2.3.1.1	Karotinoidok szerkezeti, biológiai és technológiai aspektusa .....	13
2.3.1.2	A karotinoidok bioszintézise .....	14
2.3.1.3	A paradicsom főbb karotinoid vegyületei.....	16
2.3.1.4	Karotinoidok spektroszkópiai tulajdonságai .....	20
2.3.1.5	A karotinoidok poliénláncának transz-cisz (E/Z)-izomérizációja .....	21
2.3.1.6	Karotinoidok epoxidációja.....	22
2.3.2	<i>Antioxidáns vitaminok</i> .....	23
2.3.2.1	Tokoferolok.....	23
2.3.2.2	C-vitamin.....	26
2.3.3	<i>Fitonutriensek analitikai aspektusa</i> .....	27
2.3.3.1	HPLC módszer .....	27
2.3.3.2	Karotinoidok és C-vitamin elválasztása.....	29
2.3.3.3	Tokoferolok elválasztása.....	30
2.3.3.4	LC-MS azonosítás.....	30
2.4	PARADICSOMTERMESZTÉS OPTIMÁLIS KÖRNYEZETI IGÉNYEI .....	31
2.5	A PARADICSOM VÍZIGÉNYE .....	33
2.6	AZ ÖNTÖZÉS HATÁSA A PARADICSOM FITONUTRIENSEIRE.....	33
2.7	PARADICSOM ÉLELMISZERIPARI FELDOLGOZÁSA, HATÁSA A KÉMIAI ÖSSZETÉTELRE.....	34
3.	CÉLKITŰZÉS .....	37
4.	ANYAG ÉS MÓDSZER .....	38
4.1	A KÍSÉRLETBEN ALKALMAZOTT FAJTA JELLEMZÉSE .....	38
4.2	KÍSÉRLETI HELYSZÍNEK .....	38
4.3	METEOROLÓGIAI PARAMÉTEREK ALAKULÁSA .....	39
4.4	VÍZSTRESSZ KÍSÉRLET.....	41
4.5	OLDHATÓ SZÁRAZANYAG MÉRÉSE .....	41
4.6	PARADICSOM MINTÁK FELDOLGOZÁSA (HIDEG ÉS MELEG ÁTTÖRÉS) .....	42
4.7	VEGYSZEREK.....	43
4.8	FITONUTRIENSEK EXTRAKCIÓJA .....	43
4.8.1	<i>Karotinoid és tokoferol extrakció</i> .....	43
4.8.2	<i>C-vitamin extrakció</i> .....	44
4.9	HPLC MÉRÉSI PARAMÉTEREK.....	45
4.10	HPLC-DAD-MS/MS MÉRÉSI PARAMÉTEREK KAROTINOID SZÁRMAZÉKOK AZONOSÍTÁSÁHOZ.....	46
4.11	STATISZTIKAI ANALÍZIS.....	47
5.	EREDMÉNYEK ÉS MEGVITATÁSA.....	48
5.1	A FITONUTRIENSEK VIZSGÁLATÁNAK FEJLESZTÉSE.....	48
5.1.1	<i>Karotinoidok elválasztása és azonosítása</i> .....	48
5.1.2	<i>Tokoferolok meghatározása</i> .....	51
5.2	OLDHATÓ SZÁRAZANYAG TARTALOM.....	52
5.3	A PARADICSOM FITONUTRIENSEINEK ALAKULÁSA AZ ÖNTÖZÉSI KÍSÉRLETBEN .....	54

5.3.1	<i>Karotinoid tartalom alakulása</i> .....	54
5.3.2	<i>Tokoferol tartalom alakulása</i> .....	58
5.3.3	<i>C-vitamin tartalom alakulása</i> .....	60
5.3.4	<i>Az öntözéses kísérlet eredményeinek összefoglalása</i> .....	61
5.4	<b>A FITONUTRIENS TARTALOM VÁLTOZÁSA A PARADICSOM FELDOLGOZÁSA FÜGGVÉNYÉBEN</b> 62	
5.4.1	<i>Karotinoidok változása</i> .....	62
5.4.2	<i>Tokoferolok reakciója</i> .....	69
5.4.3	<i>C-vitamin reakciója</i> .....	71
6.	<b>KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK</b> .....	75
6.1	<b>KÖVETKEZTETÉSEK A VÍZSTRESSZ KÍSÉRLET EREDMÉNYEI ESETÉBEN, A KÜLÖNBÖZŐ TERMŐTERÜLET FÜGGVÉNYÉBEN, KÉT ÉV ADATAIT VIZSGÁLVA</b> .....	75
6.2	<b>KÖVETKEZTETÉSEK A KÉTFÉLE FELDOLGOZÁSTECHNOLÓGIAI ELJÁRÁSSAL KAPOTT EREDMÉNYEK ESETÉBEN, A KÜLÖNBÖZŐ TERMŐTERÜLET FÜGGVÉNYÉBEN, KÉT ÉV ADATAIT VIZSGÁLVA</b> .....	75
7.	<b>ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK</b> .....	77
8.	<b>ÖSSZEFOGLALÁS</b> .....	78
9.	<b>SUMMARY</b> .....	82
10.	<b>IRODALOMJEGYZÉK</b> .....	86
11.	<b>ÁBRÁK ÉS TÁBLÁZATOK JEGYZÉKE</b> .....	104
12.	<b>MELLÉKLETEK</b> .....	108
13.	<b>A TÉMÁBAN MEGJELENT PUBLIKÁCIÓK LISTÁJA</b> .....	111

## Rövidítések jegyzéke

<b>ATP</b>	adenozin-trifoszfát
<b>CAP</b>	kapszaicin
<b>CBE</b>	(Cold Break Extraction) hideg áttörés
<b>CWSI</b>	növényi vízstressz index
<b>DAD-UV</b>	diódasoros ultraibolya-látható spektrofotometriás detektor
<b>DC</b>	dihydrocapsaicin
<b>DMAP</b>	dimetilallil-pirofoszfát
<b>DMPBQ</b>	2,3-dimetil-6-fítil-1,4-benzokinollá
<b>DNS</b>	deoxiribonukleinsav
<b>ESI</b>	(electrospray ionization) elektroporlasztásos ionizáció
<b>FAO</b>	(Food and Agriculture Organization) Élelmezésügyi és Mezőgazdasági Világszervezet
<b>FL</b>	fluoreszcenciás detektor
<b>FPP</b>	farnezil-pirofoszfát
<b>GGDP</b>	geranil-geranil-difoszfát
<b>GGPP</b>	geranil-geranil-pirofoszfát
<b>GPP</b>	geranil-pirofoszfát
<b>HBE</b>	(Hot Break Extraction) meleg áttörés
<b>HE</b>	hideg áttöréses extrakció
<b>HPLC</b>	High Performance Liquid Chromatography (Nagyteljesítményű Folyadékkromatográfia)
<b>IPP</b>	izopentenil-pirofoszfát
<b>LDL</b>	(low density lipoprotein) alacsony sűrűségű lipoprotein
<b>LOD</b>	detektálható határ
<b>LOQ</b>	kvantifikálás határ
<b>MALDI</b>	(matrix-assisted laser desorption/ionization) mátrixszal segített lézer-deszorpciós ionizáció
<b>ME</b>	meleg áttöréses extrakció
<b>MPBQ</b>	2-metil-6- fítil-1,4-benzokinol
<b>mRNS</b>	messenger ribonukleinsav
<b>MS</b>	(Mass Spectrometry) tömegspektrometria
<b>NDC</b>	nor-dihydrocapsaicin
<b>PDS</b>	fítoén-deszaturáz
<b>PET</b>	potenciális evapotranszspiráció
<b>PG</b>	poligalakturonáz
<b>PME</b>	pektin-metil-észteráz
<b>PSY</b>	fítoén-szintáz enzim
<b>PTFE</b>	teflon membránszűrő
<b>R</b>	resolution
<b>Rf</b>	(retention factor) retenciós faktor
<b>RNS</b>	reaktív nitrogén gyökök
<b>ROS</b>	reaktív oxigén gyökök
<b>RP-HPLC</b>	fordított fázisú kromatográfia
<b>Rt</b>	(retention time) retenciós idő
<b>SDD</b>	stresszfaktor index

<b>TBME</b>	terc-butil-metil-éter
<b>TEPA</b>	Tomato Europe Processors Association
<b>TPN</b>	Theoretical Plate Number
<b>WPTC</b>	The World Processing Tomato Council
<b>Z</b>	cisz
<b>Z/E</b>	cisz-transz
<b>ZDS</b>	ζ-karotin-deszaturáz
<b>α-TES</b>	D-α-tokoferol-acetát
<b>α-TQ</b>	α-tokoferol-kvinon
<b>α-TQH<sub>2</sub></b>	α-tokoferol-kvinon redukált formája
<b>β -T</b>	β-tokoferol

# 1. Bevezetés

A paradicsom (*Solanum lycopersicon L.*) és a belőle készített termékek jelentős szerepet játszhatnak a modern emberi táplálkozásban, fontos vitamin, ásványianyag és antioxidáns forrásnak tekinthetők, mindemellett viszonylag könnyen hozzáférhető élelmiszerek. Az érett paradicsombogyók jelentős mennyiségű értékes fitokémiai anyagot tartalmaznak, amelyek növelik táplálkozásélettani jelentőségét, valamint lehetőséget biztosítanak funkcionális élelmiszerként vagy élelmiszer-összetevőként történő alkalmazásukra. Számos formában fogyasztják, például frissen, hő-kezelve, sűrítve vagy akár szárítva.

A természetes pigmentek közül az antioxidáns hatású karotinoidok jelentős mennyiségben vannak jelen a paradicsomban, illetve paradicsom készítményekben (ivólevek, sűrítvények stb.). Számos tanulmány igazolta e fitonutriensek emberi egészségre gyakorolt pozitív hatásait. Különös jelentőséggel bírnak többek között a rákos megbetegedések (Giovannucci, 1999), a kardiovaszkuláris (Gammone, 2015), illetve a neurodegeneratív betegségek csökkentésében betöltött szerepük miatt (Rao & Rao, 2007). A karotinoidok közül is legnagyobb mennyiségben a bogyó jellegzetes színét biztosító likopin található meg az érett, feldolgozásra alkalmas bogyókban.

Jelentős mennyiségben tartalmaz továbbá a paradicsom C-vitamint és E-vitamint, melyek fontos szerepet játszanak az oxidatív stressz elleni védekezésben (George et al., 2005), és antimikrobiális hatást fejtenek ki (Moreno et al. 2006). Manapság számos tanulmány fókuszál ezeknek a növényi tápanyagoknak az emberi és állati testben betöltött szerepére.

Az ipari paradicsom esetében, ahogyan más zöldségekben is, a növényi tápanyagok koncentrációját számos abiotikus és biotikus tényező befolyásolhatja. Nagy jelentőséggel bír a fajta megválasztása, a termesztési terület agronómiai tulajdonságai, valamint a földrajzi és környezeti jellemzői az adott területnek. (Lenucci et al., 2006, Ilahy et al., 2011).

A paradicsomfélék tápanyagértékének optimalizálásához nagyban hozzájárulhatunk a megfelelő talaj megválasztásával (Meulebroek et al., 2012), vagy az éghajlati szélsőségek kompenzálására tett intézkedésekkel (például: öntözés). A napjainkban egyre inkább tapasztalható időjárási szélsőségek nagy kihívás elé állítják a termelőket, az optimális vízellátottság kulcsszerepet játszik többek között a szabadföldi ipari paradicsom előállításában is. Mind a túl alacsony, mind a túl magas vízellátottság jelentősen befolyásolja a termés mennyiségét és minőségét, amely a feldolgozás szempontjából is kiemelkedő fontosságú.

Magyarországon az ipari paradicsomot különféle tájegységeken termesztik, melyek eltérő talajtulajdonságokkal rendelkeznek (Illés et al., 2016), és számos más környezeti paraméterben is

eltérőek lehetnek egymástól. Ugyanakkor sok egymástól eltérő terület is alkalmas az ipari paradicsom termesztésére, de a különböző agronómiai tulajdonságuk és abiotikus tényezők hozzájárulhatnak a paradicsom tápértékének eltérő mértékéhez, és a feldolgozás során mutatott stabilitásukhoz.

Az ipari paradicsom feldolgozása során alkalmazott technológia egy másik olyan jelentős tényező, amely megváltoztathatja a végtermékek beltartalmi értékeit. A paradicsomtermékek előállításához az ipar jellemzően két különböző technológiát alkalmaz, az 50-60 ° C hőmérsékleten végzett hideg áttöréses extrakciót (HE) és a 90 ° C-on végzett meleg áttöréses extrakciót (ME) (Goodman et al., 2002). Az alapanyag hőkezeléssel való extrakciójának több célja is van. Egyrészt a mikroorganizmusok és az enzimek inaktiválását teszi lehetővé, másrészt segít a szövetek fellazításában a megfelelő érzékszervi tulajdonságok elérése érdekében (Capanoglu et al., 2008). A feldolgozás során a paradicsom bioaktív molekula összetétele a hőkezelés hatására jelentősen megváltozik. Ezen változások követéséhez olyan analitikai protokollt kell alkalmazni, amely az egyes vegyületeket, azok izomereit és származékjait hatékonyan és pontosan képesek elválasztani és kimutatni.



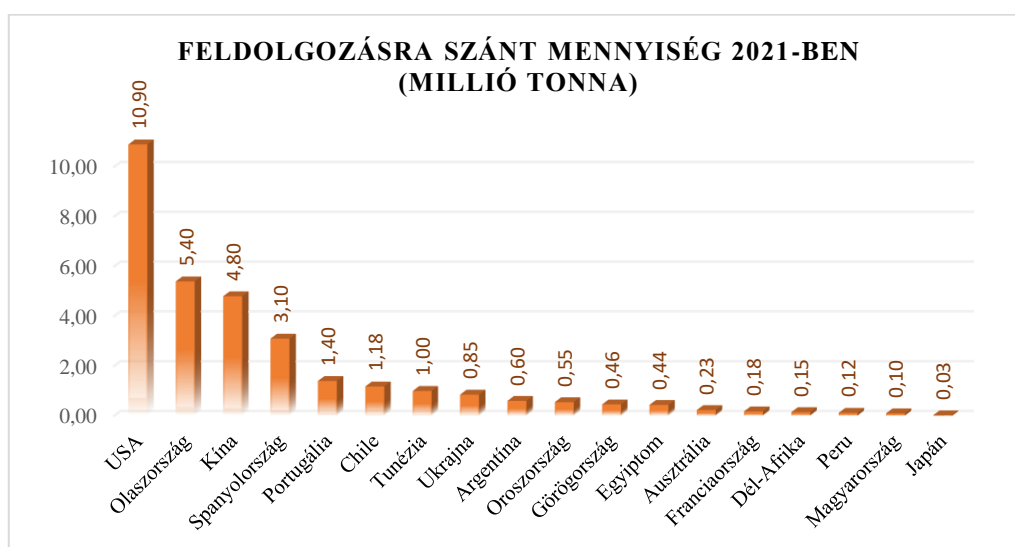
## 2. Irodalmi áttekintés

### 2.1 Az ipari paradicsom gazdasági jelentősége

A paradicsom (*Lycopersicon esculentum*) világszerte jelentős szerepet tölt be az emberi táplálkozásban, az egyik legnagyobb mennyiségben termesztett zöldségnövény. Az összes paradicsomtermesztés mintegy negyedét az ipari felhasználásra szánt fajták teszik ki. A feldolgozásra kerülő ipari paradicsom mennyisége 2020-ban a pandémiának köszönhetően átmeneti visszaesést mutatott (38,6 millió tonna), azonban a 2021-es termésmennyiségre vonatkozó becslések szerint ez a szám idén eléri majd a 38,9 millió tonnát, mely + 0,8 %-os emelkedést jelent (WPTC, 2021).

A 2020-as év nehézségei érzékenyen érintették a szektort, ennek ellenére Európában a paradicsom-alapú termékek fogyasztása növekedett. A feldolgozó üzemek leállásával, és a rövid ideig tartó termelési szünettel a készletek jelentősen csökkentek, az újra indulást követően elmondható, hogy a termelő és feldolgozó kapacitás a maximumán jár (TEPA, 2021).

Jelenleg az USA azon belül is Kalifornia a legnagyobb ipari paradicsom termesztő terület a világon, mint azt az 1. ábra is mutatja, megközelítőleg 11 millió tonna ipari paradicsom feldolgozása várható a 2021-es évben. Ugyanakkor az itt jelentkező öntözési problémáknak köszönhetően ez a szám a tavalyi adatokhoz képest visszaesést jelent. A nagy mennyiségben termelő országok között van még Kína is, azonban itt is csökkenés várható a belpolitikai helyzetnek, illetve ennek következtében az Európai Unió által kivetett kereskedelmi szankcióknak köszönhetően (TEPA, 2021).



1.ábra: Ipari paradicsom mennyisége 2021-es évre vonatkoztatva.

Európában azonban termelésnövekedés várható (1. táblázat), legnagyobb mennyiségben Olaszország, a maga 5,4 millió tonnájával 4,5%-os emelkedést érhet el a tavalyi évhez viszonyítva, ezt követi Spanyolország (3,1 millió tonna), Portugália (1,4 millió tonna) és Ukrajna (~850.000 tonna) (WPTC, 2021). A becült európai termésmennyiségek idén 8,8%-os növekedést jósolnak 2020-hoz képest (TEPA, 2021).

A Tomato Europe Magyarországon az idei évben mintegy 22%-os termésnövekedést prognosztizál, a pandémia időszakához képest, ami 100 000 tonna ipari paradicsomot jelent (TEPA, 2021), mely elengedhetetlen a növekvő fogyasztói igények kielégítéséhez.

### 1. táblázat: Ipari paradicsom termelési adatok (ezer tonnában) az EU-ban

	2015/2020 átlag	2019	2020	2021	2021/2020 különbség	2015/2020-as átlaghoz képest
Olaszország	5.123	4.801	5.166	5.400	4,50%	5,40%
Spanyolország	3.108	3.200	2.650	3.100	17,00%	-0,30%
Portugália	1.470	1.410	1.262	1.400	10,90%	4,70%
Görögország	431	400	420	460	9,50%	11,30%
Franciaország	175	154	136	134	0,70%	-21,90%
Lengyelország	197	175	175	175	9,00%	2,00%
<b>Magyarország</b>	<b>99</b>	<b>100</b>	<b>82</b>	<b>100</b>	<b>22,00%</b>	<b>1,40%</b>
EU össz. termelés	10.695	10.343	9.994	10.875	8,80%	1,70%
Világ össz. termelés	37.919	37.383	38.390	38.819	2,70%	2,40%

## 2.2 Paradicsomtermesztés szerepe, jelentősége

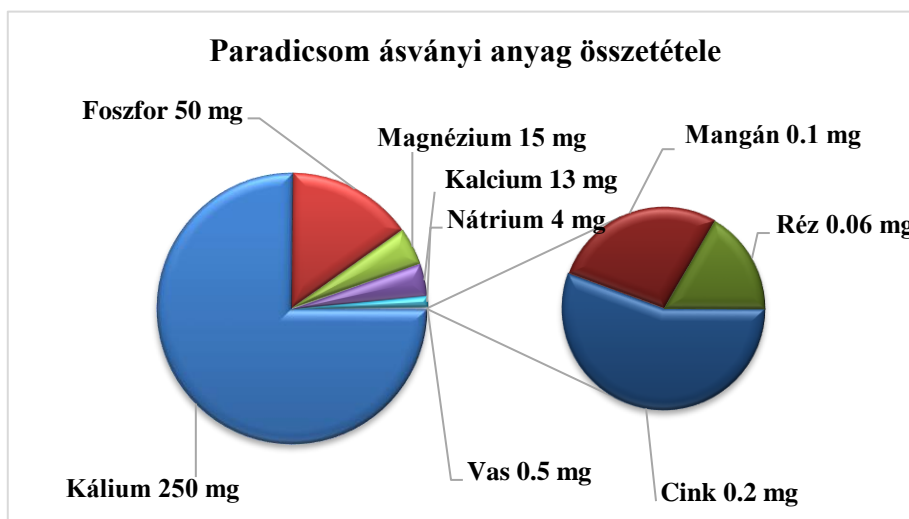
A paradicsom (*Solanum lycopersicon* L.) világszerte az egyik legjelentősebb, és legnagyobb mennyiségben fogyasztott zöldségfaj, akár friss, akár feldolgozott formáját tekintve. Szubtrópusi eredetű növény, őse Dél-Amerikából, azon belül az Andok régiójából származik, domesztikációja elsőként erre a területére feltételezhető (Sims, 1980). A 15.-16. században Európába is eljutott a növény, már elérte az előrehaladott házasítási stádiumot, majd a 18. és 19. században Európa szerte elindult a sokkal intenzívebb házasítási folyamata (Sims, 1980). A 20. századtól kezdődően a *S. lycopersicum* fajból, morfológiailag eltérő fajták és formák széles sorát hozták létre növénynevelés útján. Azóta tudósok és nevelők kutatási és termesztési tevékenységük révén számos paradicsomfajtát (többnyire hibrideket) fejlesztettek ki, melyek nagyfokú változatosságot

mutatnak (Bai és Lindhout, 2007). Ennek a tevékenységnek legfőbb előnye, hogy az adott fajta tulajdonságait a kívánt felhasználási célnak megfelelően optimalizálják.

Az emberi szervezet számára igen fontos vitamin-, ásvány- és antioxidáns forrásnak tekinthető, ennek köszönhetően jelentős szerepet tölt be az egészség megőrzése terén (Lugasi, 2004). Viszonylag könnyen hozzáférhető élelmiszer, melyet számos formában fogyasztanak (frissen, vagy valamilyen feldolgozott formában). Emiatt a jelentős mennyiségű értékes fitokémiai anyag tartalomnak köszönhetően válik jelentőssé funkcionális élelmiszerekként vagy élelmiszer-összetevőként való felhasználása. A fitokémiai összetevők közül a karotinoidok (likopin,  $\beta$ -karotin), a tokoferolok és a C-vitamin különös jelentőséggel bírnak, mivel szerepet játszanak a rák többféle típusának (Giovanucci, 1999) a szív- és érrendszeri-, (Gammone et al., 2015) vagy neurodegeneratív betegségek (Rao et al., 2007) kialakulásának megelőzésében, antioxidáns- valamint immunrendszer támogató hatásuknak köszönhetően. Az ipari paradicsomok esetében a fitonutriensek koncentrációját leginkább befolyásoló tényezők, a gyümölcs érettségi állapota a betakarítás időpontjában, illetve a termesztés körülményei különböző agronómiai, földrajzi és környezeti feltételek mellett (Lenucci et al., 2006; Helyes et al., 2006; Ilahy et al., 2011; De Sio et al., 2019). A paradicsom tápértékét úgy lehet optimalizálni, hogy a megfelelő környezeti paramétereket biztosítjuk a növények számára (Meulebroke et al., 2012). Ugyanakkor ezek a termesztési körülmények a zöldség vízben oldódott szárazanyag-tartalmára, szénhidrát- és savtartalmára is kihatnak (Helyes et al., 2007).

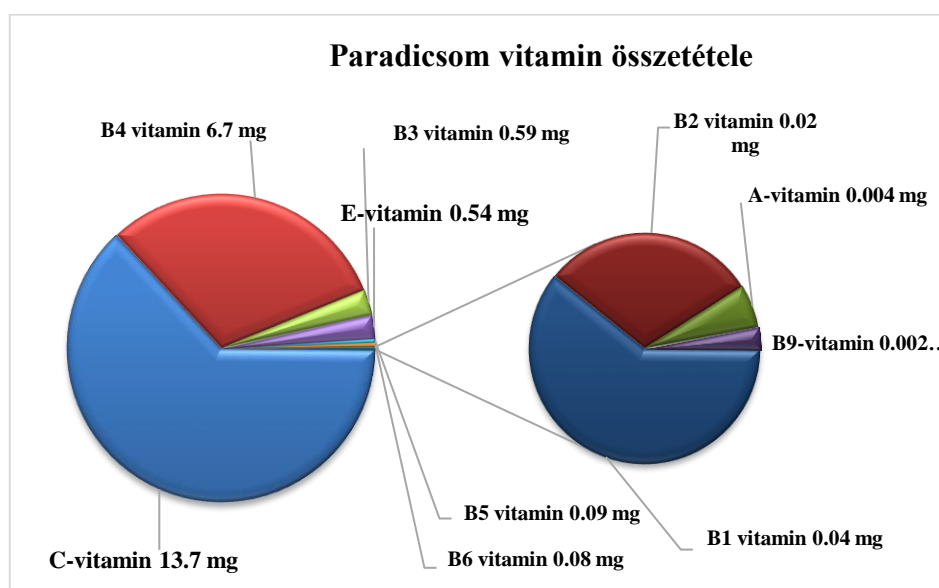
### **2.3 Paradicsom táplálkozástudományi jelentősége**

A paradicsom energiában szegény (97J/100g), azonban táplálkozás élettani szempontból igen jelentős zöldség. Ásványi anyagokban (kálium, foszfor, magnézium, kalcium, nátrium), melyet az 2. ábra szemléltet, és vitaminokban, mint például C-vitaminban (3. ábra) gazdag, elterjedt, viszonylag könnyen hozzáférhető élelmiszer, akár friss, akár feldolgozott formában (sűrítvény, ivólé, szárítmány). Összetételét tekintve a paradicsom termését átlagosan 93,6% -át víz alkotja, míg a szárazanyag tartalom az alábbi módon oszlik el: fehérje 1,1 %, szénhidrát 4,0 %, rost 0,5 %, zsír 0.2 %, hamu 0.6 %.



**2.ábra:** Paradicsom ásványi anyag összetétele 100g termékre vonatkoztatva

A paradicsom antioxidáns vegyületeinek nagy részét terpén típusú vegyületek teszik ki, azon belül is nagy mennyiségben vannak jelen karotinoidok. A karotinoidok az emberi és állati szervezetbe táplálék felvétel útján kerülhetnek, szintetizálni csak növények, gombák, egyes alga fajok és baktériumok képesek. A másik, élelmiszeriparban is gyakran alkalmazott metilált fenolvegyület csoport a tokoferolok (E-vitamin). Olcsóságuk és könnyű alkalmazhatóságuk miatt közkedvelt antioxidáns tulajdonságú vegyületek (E306, E307, E308 és/vagy E309), amelyeket tartósítás céljára alkalmaznak.



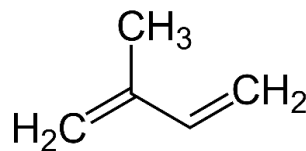
**3.ábra:** Paradicsombogyó átlagos kémiai összetétele 100 g termésre vonatkoztatva

A paradicsomban jelentős arányban van jelen C-vitamin, mely ugyancsak fontos antioxidáns vegyületnek tekinthető. Mind a hőmérséklet, mind a fény jelentős tényező az antioxidáns hatású karotinoid vegyületek szintézise esetében. Továbbá a vízellátottság is jelentős mértékben határozza meg a karotinoidok mennyiségi arányait az érett bogyókban.

### 2.3.1 Karotinoid típusú vegyületek

#### 2.3.1.1 Karotinoidok szerkezeti, biológiai és technológiai aspektusa

A karotinoidok olyan zsírban oldódó 8 izoprén egységből (4. ábra) álló, 40 szénatomot tartalmazó tetraterpén vegyületek, melyek a zöldségek és gyümölcsök színanyagai, ugyanakkor jelentős szerepet töltenek be a fotoszintézis folyamatában és fotoprotektív funkciót töltenek be. A hét, vagy annál több konjugált kettős kötés alkotta poliénláncnak köszönhető speciális fényelnyelő tulajdonságuk. A karotinoidok rendkívül változatos szerkezetűek, azonban alapvetően mind a nyílt láncú  $C_{40}H_{56}$  alapvegyületből (likopin) származtathatók. A  $C_{40}$ -nél rövidebb, de hasonló felépítésű apokarotinoidokat, illetve a több ( $C_{45}$ ,  $C_{50}$ ) izoprén egységből álló származékokat is a karotinoidok közé soroljuk.



4.ábra: Izoprén egység

A magasabb növényi szervezetekben, algákban és fototróf baktériumokban, köztük a cianobaktériumokban szintetizálódó vegyületek, az állati és emberi szervezet, csak táplálék útján képes hozzáférni (Bendich, 1992).

Az élelmiszeripar előszeretettel alkalmazza színezékként a legkülönbözőbb élelmiszerek előállításánál. Már számos tanulmány bizonyította a karotinoidok szerepét az emberi betegségek megelőzésében és az egészség megőrzésében. Jelentős antioxidáns hatásúak, így támogatva az immunrendszer megfelelő működését, és csökkentve a rákos sejtek kialakulásának kockázatát (González-Vallinas et. al, 2013). Továbbá pozitív szerepük van a krónikus betegségek megelőzésében (Ciccione et. al, 2013).

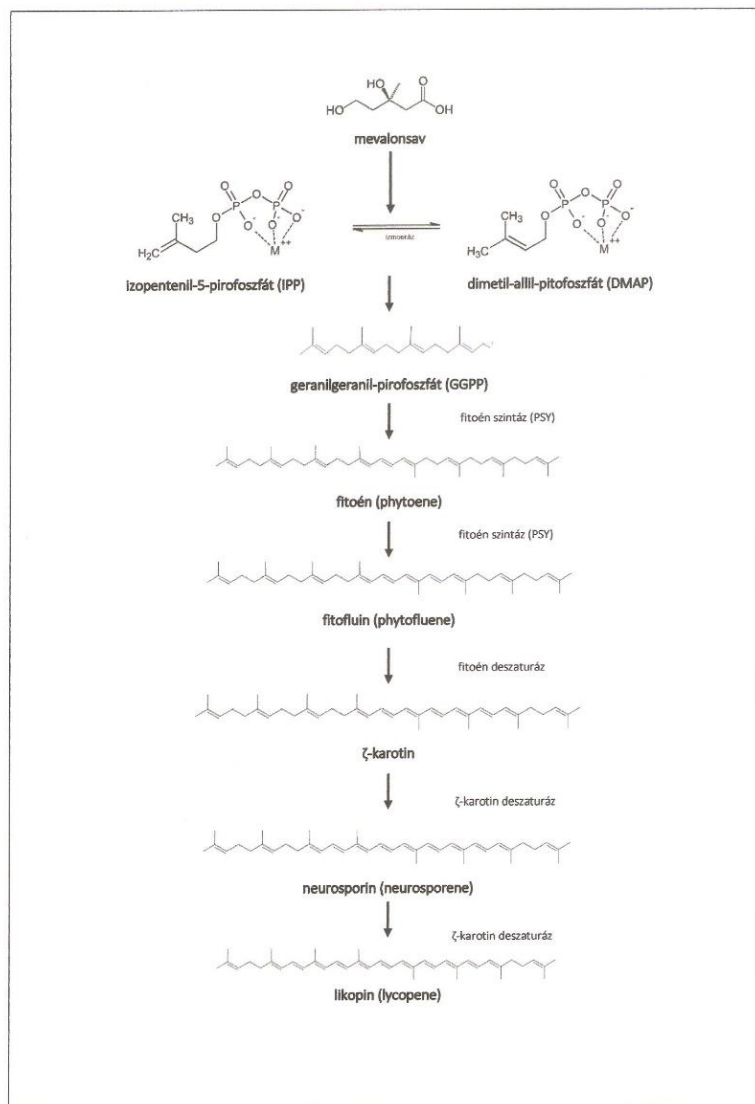
Az emberi szervezetre gyakorolt jótékony hatásmechanizmusuk akkor érvényesül, mikor a sejtekben az oxigén használatából származó szabad gyökök mennyisége igen magas koncentrációt ér el, s azt a sejt már képtelen megfelelően kompenzálni.

Az energia előállításához szükséges folyamat során, az ATP (adenozin-trifoszfát) keletkezésekor szabad gyökök jönnek létre. Ezek a melléktermékek általában a reaktív oxigének (ROS), valamint reaktív nitrogének (RNS), melyek a sejtek redox folyamatából származnak. A ROS és az RNS szerepe kettős, mind toxikus, mind jótékony vegyületekként funkcionálhatnak, hiszen alacsony vagy közepes szintjük jótékony hatással van a sejtek immunfunkcióira. Magas koncentrációkban azonban oxidatív stresszt generálnak, amely károsíthatja a sejt szerkezetét. Az oxidatív stressz jelentős szerepet játszhat a krónikus és degeneratív betegségek kialakulásában. Bár az emberi szervezetben lejátszódó számos mechanizmus szolgál oxidatív stressz ellensúlyozására, természetes antioxidánsok in situ előállításával, egy bizonyos szint felett már szükséges lehet kívülről, élelmiszerek és / vagy táplálék kiegészítők útján emelni mennyiségüket. Az endogén és exogén antioxidánsok együttesen nagyobb eséllyel állíthatják helyre a ROS és az RNS okozta károkat, ezáltal fokozhatják az immunvédelmet, csökkenthetik a rák és a degeneratív betegségek kockázatát (Pham-Huy et al. 2008). Ez esetben a karotinoidok remek alternatívát nyújthatnak, citoprotektív hatásukkal.

Összeségében számos tanulmány bizonyítja, hogy a karotinoid tartalmú élelmiszerek rendszeres fogyasztásával csökken a rákos megbetegedések kialakulásának kockázata, különös tekintettel a bőrráké és a tüdőráké.

### **2.3.1.2 A karotinoidok bioszintézise**

Növényekben a karotinoidok bioszintézise egy erősen szabályozott folyamat, amely a plasztidokon keresztül megy végbe (Cunningham és Gantt 1998; Harker és Hirschberg 1998), a folyamat során mevalonsavból képződő izopentenil-pirofoszfát (IPP), illetve izomer molekulája a dimetilallil-pirofoszfát (DMAP) képzik a folyamat kiinduló vegyületeit (Eisenreich et al., 2001). Elongáció folyamán jön létre ezen kiinduló vegyületekből a geranil-geranil-difoszfát (GGDP) molekula, melyből dimerizáció során fitoén képződik, mely folyamatot a fitoén-szintáz enzim (PSY) katalizálja. A folyamat során létrejövő első negyven szénatomos tetraterpén alapvázból keletkeznek a különböző karotinoidok (Kato, 2004; Diretto et al., 2006; Yamamizo et al.; 2008) A fitoénből kiindulva két enzim, a fitoén-deszaturáz (PDS) és a ζ-karotin-deszaturáz (ZDS vagy CRTQ) által katalizált folyamat során fitofluén majd ζ-karotin keletkezik, végül az ebből kialakuló neurosporént konvertálják likopénná (5. ábra).



**5.ábra:** Karotinoid bioszintézis

A bioszintézis folyamata során a likopin képződése fontos elágazást jelent, a továbbiakban vagy  $\beta$ -karotin és származékai, vagy  $\alpha$ -karotin és ennek származékai keletkeznek. Az  $\alpha$ -karotin talán legfontosabb xantofilje a karotin hidroxiláz által katalizált folyamat során kialakuló lutein, mely fontos szerepet tölt be a növényi szervezetek fényvisszaverő rendszerében (Kato, 2004).

Akárcsak a növényekben, a paradicsomban is a levél xantofil koncentrációját (Ruban et al., 1997), illetve a gyümölcsben jelen lévő karotinoidok felhalmozódását jelentősen befolyásolják a növényre ható környezeti paraméterek, mint például a vízellátottság és a fény intenzitása (Fraser et al. 1994; Giuliano et al. 1993).

A gyümölcs érésének előrehaladtával a karotinoid mennyiség koncentrációja növekszik, összetételük folyamatos változást mutat. Ez a változás elsősorban a likopin koncentrációjának 500-szorosára való növekedésével magyarázható (Fraser et al. 1994).

Az érés során a bogyó zöld stádiumát követően a fitoin szintáz (PSY) és fitoén deszaturáz (PDS) enzimeket kódoló gének mRNS szintézise jelentős mértékben növekszik (Fraser et al. 1994; Giuliano et al. 1993; Pecker et al., 1992), akárcsak a GGDP szintáz enzim mennyisége, mely jelenséget Camara és társai már 1995-ben leírták paprika érése során. A folyamat előrehaladtával a karotinoid bioszintézisben részt vevő gének transzkripciójának fokozódásával határozott színváltozás következik be a termésekben (Corona et al. 1996; Pecker et al. 1992). Ennek köszönhetően a bogyók zöld színe először narancssárgává válik, mely a növekvő  $\alpha$ - és  $\beta$ - karotin koncentrációnak tudható be. Később, az érés folyamán a likopin  $\beta$ -cikláz enzim szintje lecsökken, mely a likopin  $\beta$ -karotinná alakulásáért felelős, így a bogyóban elkezdődik a likopin felhalmozódása, mely újabb színváltozáshoz vezet (Ronen et al., 1999). Végül az érett bogyóban az összes színanyag közel háromnegyed részét a likopin teszi ki, ennek köszönhető a bogyó piros színe (Davies et al., 1981).

### **2.3.1.3 A paradicsom főbb karotinoid vegyületei**

A karotinoidokat leggyakrabban összetételük és polaritásuk szerint csoportosítjuk. Ennek megfelelően két nagy csoportra oszthatók:

- Karotinok (szénhidrogének)
- Xantofilek (oxigént tartalmú karotinoidok)

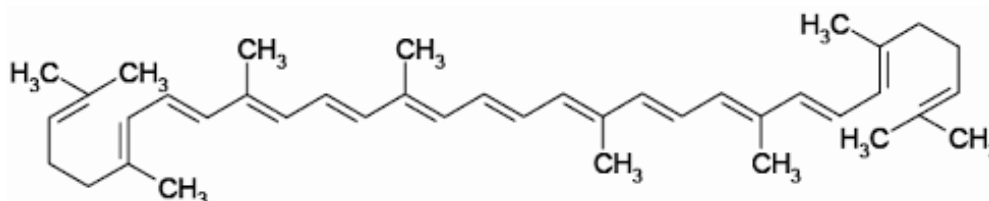
Jelenleg a természetben előforduló közel 700 karotinoid szerkezetét írták már le (Britton, et al., 2004). Ezen karotinoidok töredéke csupán, mely az emberi szervezetben, vérben és szövetekben megtalálható (Khachik et al., 1995). A karotinoidok közül a paradicsom legnagyobb mennyiségben likopint tartalmaz, azonban érdemes megemlíteni  $\beta$ -karotin és likoxantin, fitoén és fitofluén tartalmát is, melyek táplálkozás élettani szempontból nagy jelentőséggel bíró vegyületek. Az analitikai vizsgálatok során kitérünk ezen karotinoidok származékaira. Nem elhanyagolható jelentőséggel bírnak továbbá a karotinoidok cisz-transz (Z/E) -izomerizációi, számos cisz (Z)-izomer és a különböző oxidációs termékek egyaránt.

### **Likopin**

A paradicsomok össz-karotinoid összetételét, és ezen belül a likopin (6. ábra) mennyiségét nagyban befolyásolja a fajtája, a bogyók érési szakasza, és számos abiotikus tényező (víz, hő, fény, talaj tulajdonságai). A likopin számos más gyümölcsben, mint például görögdinnye (Perkins-Veazie et al., 2006), vagy a piros húsú papaja (Wall et al., 2006) is megtalálható, piros színű festékanyag. Az érett paradicsom bogyó össz-karotinoid mennyiségének legnagyobb részét adja,



ennek köszönhető az élénkpiros színe. Egy konjugált kettős kötésből álló szánlanc alkotja ( $C_{40}H_{56}$ ), melynek végei könnyen zárulhatnak, ez esetben a láncvégi kettős kötés megszűnik, egyik vagy mindkét láncvégen. Amennyiben mindkét végen bekövetkezik a folyamat  $\alpha$ - vagy  $\beta$ - karotin keletkezik (Szalai, 1974). A likopin ezen tulajdonságának köszönhetően kétszer akkora a szinglet oxigén megkötő képessége, mint a  $\beta$ - karotiné (Mascio et al., 1990).



**6.ábra:** A likopin szerkezeti képlete

Effektív antioxidáns hatásának köszönhetően bizonyos tumorképződési folyamatok kockázatát csökkenti. E ráktípusok közé tartozik a prosztaták, mely számos, likopin hatásmechanizmusát vizsgáló kutatás alapjául szolgált (Giovannucci E., 2002). Bowen és munkatársai. egy 2002-ben megjelent tanulmánya szerint a kísérletben résztvevő 32 prostata adenokarcinómás beteg 3 héten keresztül történő sűrített paradicsom fogyasztását követően kimutatható volt a prostata szövetekben megnőtt likopin koncentráció, mely elősegítette a DNS károsodás mértékének csökkenését. Ezzel párhuzamosan növekedett a leukocita szint. Ezt erősíti meg Kucuk és munkatársai ugyancsak 2002-ben leírt tanulmánya, melyet 26 prosztatákban szenvedő beteg bevonásával végeztek, 3 héten keresztül. Ezen felül számos tanulmány foglalkozik még tüdő-, és méhnyakrák megelőző hatásával (Giovannucci, 2002), illetve az LDL oxidáció megelőző szerepével (Agarwal et al., 2000).

Az emberi szervezetbe a likopin is csak ételmiszerrel juttatható be, emésztésüket, felszívódásukat, metabolizmusukat követő tanulmányoknak rendkívül jelentős szerepe van egészségmegőrző tulajdonságuk megismerésében. Ezen kísérleteknek köszönhetően, ma már tudjuk, hogy a likopin transz formája kevésbé aktívan hasznosul, mint cisz-izomer formája. A paradicsom feldolgozás során az emésztőenzimek aktivitásának köszönhetően megszűnik a sejtfalak integritása, a likopint tartalmazó membránok bontása intenzívebb likopin hasznosulást eredményez (Rao et al., 1998).

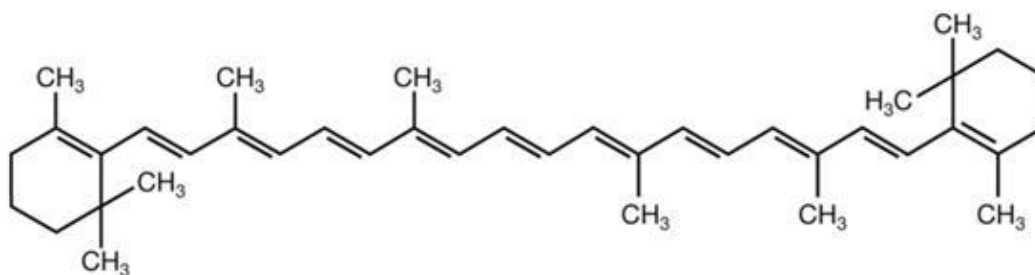
A hőkezelés elősegíti a növényi sejtfal feltárását, ezáltal az elfogyasztott paradicsom készítmény likopin tartalmának a tápcsatornából való jobb felszívódást is (Khachik et al., 1992, Stahl et al., 1992).

## ***β-karotin***

A β-karotin (7. ábra) a karotinoidok legelterjedtebb formája a természetben és az élelmiszerekben egyaránt (Rodríguez-Amaya et al., 2008). Az A-vitamin provitaminjaként szolgál, az élelmiszeripar pedig előszeretettel alkalmazza színezékként. A β-karotin két szimmetrikus részből épül fel, ez a szerkezet a karotináz enzim hatására két molekulává (retinollá) bomlik, így létrehozva az A-vitamint. Ennek folyamata az alábbi módon megy végbe:



Ez a 8 izoprén egységből felépülő molekula, 11 kettős kötést tartalmazó  $C_{40}H_{56}$  összegképletű, két végén β-jonon gyűrűvel rendelkezik.



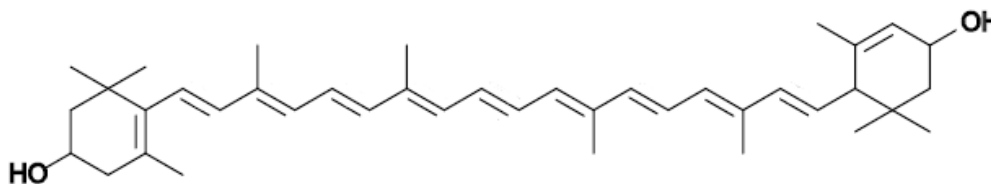
**7.ábra:** A β-karotin szerkezeti képlete

Legfőbb forrásuk a sárgarépa, de jelentős mennyiségben található meg édesburgonyában (Van Jaarsveld et al., 2006), tök és sütőtök félékben (Azevedo-Meleiro et al., 2007), sárgadinnyében és sárgabarackban (Dragovic-Uzelac et al., 2007). A paradicsom szintén tartalmaz kisebb mennyiségben β-karotint. Ezen zöldségeken és gyümölcsökön kívül más növényekben is előfordul a klorofill kísérelőjeként.

Akárcsak a többi karotinoid, a β-karotin is fontos antioxidáns, citoprotektív tulajdonságú, ezen tulajdonságát elsőként vizsgálták az összes karotinoid közül. Az 1980-as évek első felében már aktívan foglalkoztak a β-karotin bélből való felszívódásával, és ennek egészség megőrző szerepével (Patrick, 2000).

## Lutein

A paradicsom a Xantofilek közül legnagyobb mennyiségben luteint tartalmaz (9,9-10,5 mg/g dm) (Montesano et al., 2012). A lutein (8. ábra) az  $\alpha$ -karotinból alakul ki, a karotin hidroxiláz által katalizált folyamat során. Ez a hidroxil csoportot tartalmazó vegyület elsősorban a leveles zöldségekben, brokkoliban, kukoricában (Perry et al., 2009), borsóban, cukkíniben, fehérrepában vagy spenótban található meg. Kisebb mennyiségben a paradicsom is tartalmazza. A lutein egy sárga színű xantofil, két vége egy  $\beta$ - és egy  $\epsilon$ - gyűrűt tartalmaz.



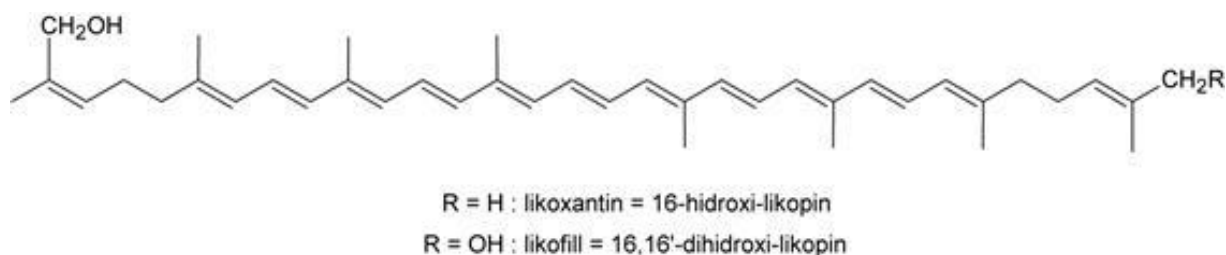
**8.ábra:** A lutein szerkezeti képlete

A lutein elsősorban a baromfitenyészetekben jut jelentős szerephez, mint táplálékkiegészítő. Fő forrása a főként amerikai kontinensen termesztett bársonyvirág sziromleveléből készült por (Khalil et al., 2012), mely segít a madarak bőrének és tojásuk sárgájának erőteljesebb színezettségnek kialakulásában (Gómez et al., 1978). Élelmiszer adalékként általában nem alkalmazzák, lévén a feldolgozás során erősen instabil, így emberi szervezetbe többnyire zöldségek és gyümölcsök fogyasztásával lehet bevinni. Ha az étrend nem tartalmazza megfelelő mennyiségben, pótlása erősen ajánlott, hiányában fokozott a szürkehályog és az időskori makula-degeneráció kialakulásának kockázata. A lutein nagy koncentrációban a szemben, azon belül a retinán található sárgafoltban van jelen. Ennek a xantofilnek jellemzője, hogy abszorbeálja a szembe beérkező káros ultraibolya sugárzást, ezen felül jelentős antioxidáns szerepe is van, amely az UV sugárzás hatására keletkezett reaktív oxigén (ROS) hatástalanítására szolgál (Sujak et al., 1999). Számos tanulmány bizonyította, hogy megnövelt lutein bevitel mellett bizonyos szembetegségekben szenvedők látása javult (Alves-Rodrigues & Shao, 2004). A luteinnek jelentősége van továbbá a bőr védelmében, valamint csökkentheti a szív- és érrendszeri betegségek kialakulásának kockázatát (Granado et al., 2003)

Ismert felhasználási területei még a gyógyszer- és kozmetikai ipar, az étrendkiegészítőként való használata, valamint takarmányozás céljára nemcsak baromfitenyészetek, de állatkertek is alkalmazzák. Az ipar rendszerint tisztított kristályos luteint dolgoz fel, melynek előállítását szigorú szabályokhoz kötik, annak menősege és biztonságos alkalmazhatósága érdekében (Alves-Rodrigues & Shao, 2004).

## Likoxantin

A likoxantin (9. ábra) aciklikus xantofil, mely kis mennyiségben van jelen a paradicsom bogyóban, azonban könnyen elkülöníthető vegyületet, amelynek abszorpciós spektruma ( $\lambda_{\max}$  445 470, 502 nm hullámhosszon) majdnem azonos a likopinéval (Ben-Aziz et.al 1973). 1936-ban izolálták paradicsombogyóból (Zechmeister és Cholnoky, 1936).



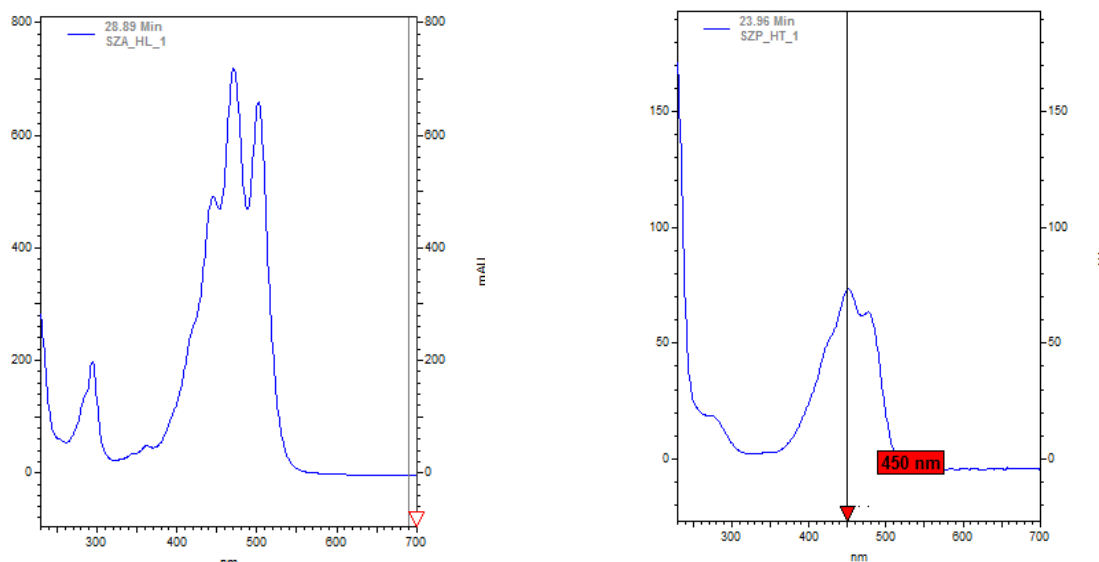
9.ábra: A likoxantin és likofil szerkezeti képlete

### 2.3.1.4 Karotinoidok spektroszkópiai tulajdonságai

A karotinoidok többsége színes, fényelnyelése a látható, 400-800 nm-es tartományába esik. A karotinoidok azonosításának alapjául az ultraibolya és a látható fény tartományában mért spektrum szolgál. A poliénlánc (kromofór) sajátos tulajdonsága az adott molekula abszorpciós maximuma ( $\lambda_{\max}$  nm), ennek köszönhetően azonosíthatók, jellemzően a legtöbb karotinoid két vagy három abszorpciós maximummal (10.ábra) rendelkezik (Molnár, 2013).

A paradicsom fő színanyaga, a likopin rendelkezik a legtöbb konjugált kettős kötéssel (11), ennek köszönhetően a legnagyobb hullámhosszú fényt abszorbeálja ( $\lambda_{\max}$ -ai: 443, 470, 501), ez eredményezi az erős és intenzív piros színt (10. ábra).

A likopin, mint karotinoid alapvegyület végcsoportjainak ciklizációja a spektrumok eltolódását eredményezi, így az elnyelési maximumok eltolódnak alacsonyabb hullámhosszok felé. A paradicsomban ugyancsak jelen lévő  $\gamma$ - karotin abszorpciós maximuma már 436, 460, 490 nm-en a  $\beta$ -karotiné pedig 450, 477 nm-en azonosítható (10.ábra).



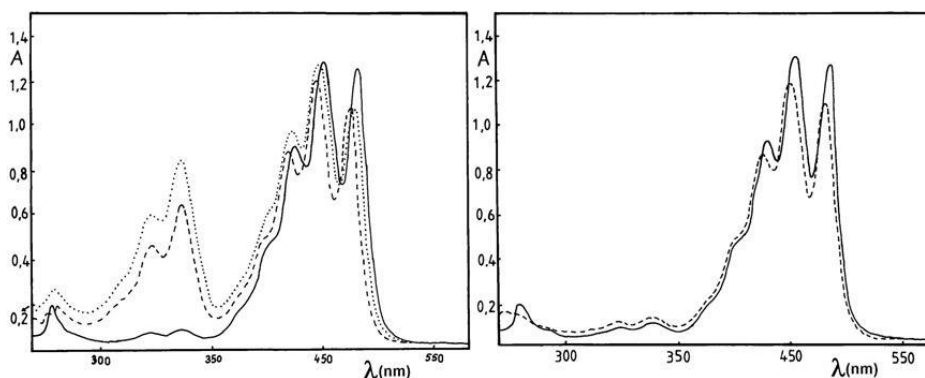
**10.ábra:** *Likopin abszorpciós spektruma és  $\beta$ -karotin abszorpciós spektruma*

### 2.3.1.5 A karotinoidok poliénláncának transz-cisz (E/Z)-izomerizációja

A karotinoidok poliénláncának geometriai módosulásainak oka hosszú ideje képezi kutatások témáját. Régóta bizonyított, hogy a környezeti paraméterek változása hatással van a karotinoidok szerkezetére. Az izomerizáció mértéke a hőmérséklet emelkedésével növekszik, ennek hatása az élelmiszer feldolgozás során is jelentkezik.

A spektrumban szintén változást okoznak a kettős kötések geometriai izomerizációi, mely során mono-, di- és poli-cisz-izomerek egyaránt keletkeznek (Rodriguez-Amaya, 2008). A cisz-izomerek kismértékű csökkenő eltolódást mutatnak (2-5 nm) a spektrumon, az össz-transz kiindulási vegyülethez képest. Továbbá megjelenik egy plusz cisz-csúcs, melynek intenzitása változó mértékű, a kettős kötés pozíciójának megfelelően az adott molekula esetében (Britton G., 1995). A kromofór vagy poliénláncon 9-, 13-, 15-, 13'- és 9'-helyzetű kettőskötéseinek izomerizálódása folytán termodinamikailag stabilabb, szterikusan nem gátolt izomerek képződnek (Molnár, 2013). Bár elméletben a geometriai izomerek száma a likopinnál 1056, illetve a  $\beta$ -karotinnál 272 lehet, ezek közül azonban a likopinnak csak 72, a  $\beta$ -karotinnak pedig csak 20 izomerje tekinthető termodinamikailag stabilnak (Molnár, 2013).

A cisz-csúcs intenzitása a (15Z) -izomerek esetében a legnagyobb, majd a (13Z) -, és (13'Z) -izomerek csúcsintenzitása csökken, ennek értelmébe a (9Z) - és (9'Z) -izomereké a legalacsonyabb (11. ábra).

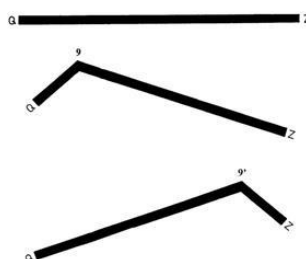


**11.ábra:**

*Bal oldal: Az össz-transz-, 13-cisz- és 15-cisz-violaxantin spektruma*

*Jobb oldal: Az össz-transz- és a 9-cisz-violaxantin spektruma*

A (9Z) - és (9'Z) -izomerek szerkezete közötti különbséget a 12. ábra szemlélteti:



**12.ábra:** *Aszimmetrikus karotinoid össz-transz-, 9-cisz- és 9'-cisz-izomerjének egyszerűsített képlete*

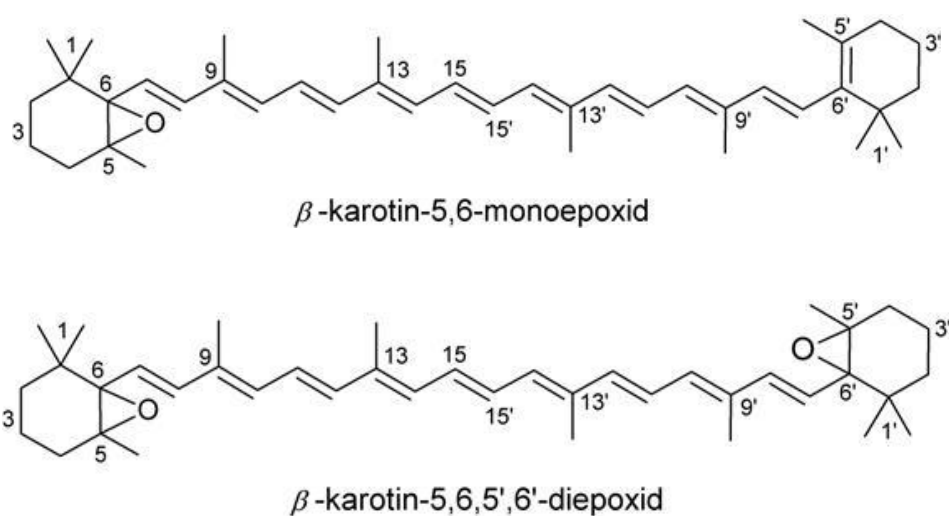
### 2.3.1.6 Karotinoidok epoxidációja

A karotinoid-epoxidok jelentős szerepet játszanak a növények fotoszintézisének folyamatában. OH-csoportokat tartalmazó karotinoidok észtereiből, illetve karotinoid szénhidrogénekből állnak.

A paradicsom bogyója számos karotinoid-epoxidot tartalmaz, azonban ezek többsége nagyon kis mennyiségben van jelen. Számos kutatás foglalkozott már ezen vegyületek izolálásával, kromatográfiás, spektroszkópiás vizsgálatok révén. Ezek közé tartoznak a paradicsom aciklusos karotinoid szénhidrogénjei, mint például a fitoén, fitofluén, likopin, és  $\beta$ -karotin epoxidjai (Ben-Aziz et al., 1973). Karrer és Jucker az 1950-es években már leírták a természetben előforduló ciklikus karotinoidok epoxidjait, de az aciklikus epoxidok természetben való elfordulásával, növények szövetének kivonatában elsőként Abraham Ben-Aziz és munkatársainak tanulmánya foglalkozott a 70-es évek első felében. A tanulmány kitért arra is, hogy jellemzően kis mértékben

vannak jelen a gyümölcsben, mennyiségük azonban változik mechanikai behatás következtében. Ez lehet a bogyó fizikai sérülése (Glover és Redfearn, 1953), vagy akár élelmiszeripari feldolgozása. Más tanulmány bizonyította, hogy az epoxidok mennyisége az érés során is változik, nagyobb mennyiségben vannak jelen a túlérlett paradicsomban (Ben-Aziz et. al, 1973). Ezen epoxidok a karotin oxidatív lebomlásának korai termékei, a lebomlási folyamatot a hőmérséklet jelentős mértékben befolyásolja (Chichester és Nakayama, 1965). A karotinoid epoxidok analitikai azonosítása során figyelembe kell venni, hogy abszorpciós spektrumuk kis mértékben eltolódik az össz-transz vegyülethez képest.

A  $\beta$ -karotin-monoepoxid A-vitamin-hatású, a  $\beta$ -karotin-diepoxid nem (13. ábra).



13. ábra:  $\beta$ -karotin mono- és diepoxidja

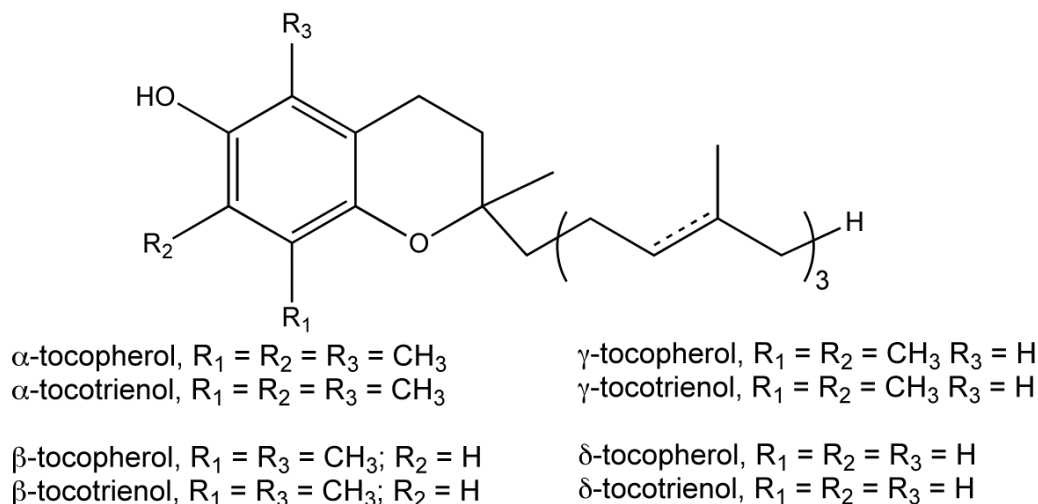
## 2.3.2 Antioxidáns vitaminok

### 2.3.2.1 Tokoferolok

Más néven E-vitaminok, zsírban oldódó, metilált fenolvegyületek csoportja. A természetben az E-vitaminok 8 különböző formában, négy tokoferol, illetve négy tokotrienol fordulhatnak elő, ezeket a metilcsoportok helyzetétől és számától függően csoportosítjuk (14. ábra). Ennek értelmében alfa, béta, gamma és delta előtaggal jelöljük őket (14. ábra) (Antal és Regöly-Mérei, 2012). Mindegyikük rendelkezik molekula végi kromanol gyűrűvel (2,3-dihidro-benzopirán gyűrűvel), mely egy hidroxil csoportot tartalmaz. Ennek a tulajdonságnak köszönhetően antioxidáns tulajdonságúak, aminek jelentős szerepe van abban, hogy az élelmiszeripar előszeretettel alkalmazza, mint táplálékkiegészítőt. A tokoferolok egy tizenhat szénatomos,

telített, míg a tokotrienolok tizenhat szénatomos, 3 kettős kötést tartalmazó oldalláncot tartalmaznak (Bíró et al.,2015).

A molekulák hidrofób oldalláncai, az élő szervezetekben található különböző membránokon való átjutást segítik elő.



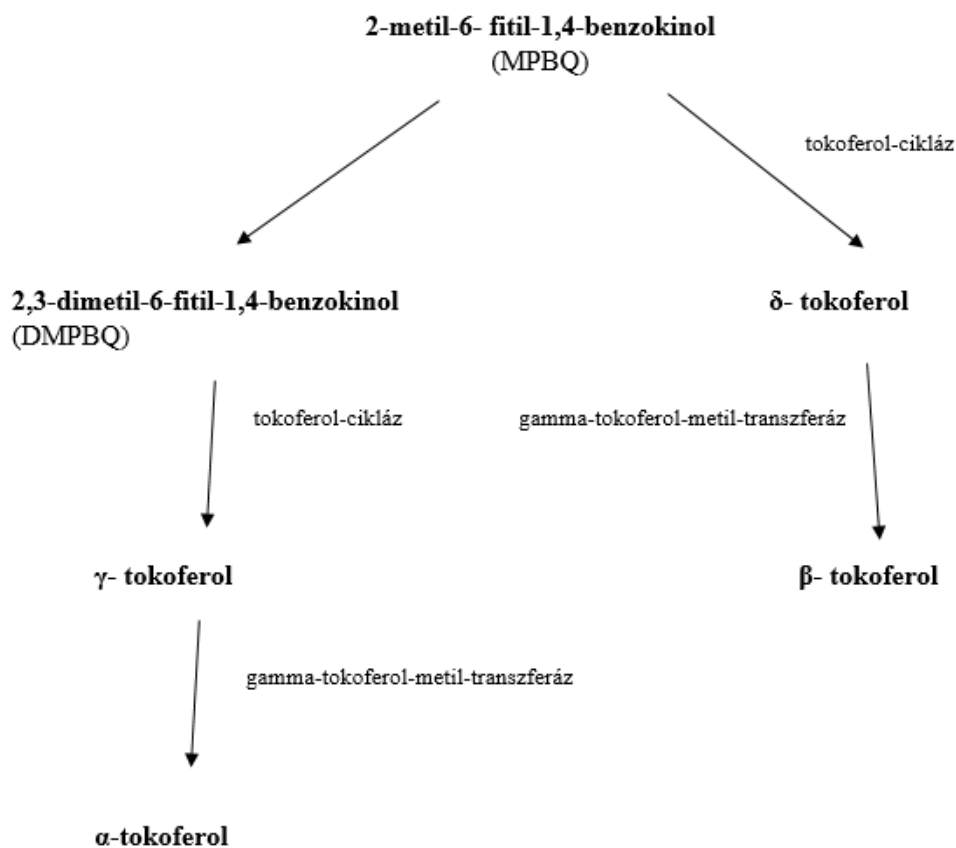
**14. ábra:** *Tokoferolok csoportosítása*

A tokoferolok jellemzően halványsárga színűek, szagtalan, viszkózus olajok. Akárcsak a karotinoidok hőre, fényre, oxidálószerekre és bázisokra érzékenyek. Vízben nem, alkoholban kevésbé, de zsírokban jól oldódnak (Fitzpatrick et al., 2012).

A mai napig számos kutatás foglalkozik a tokoferolok szerepének pontos megértésével, a növények anyagcsere folyamata során, azonban ez teljes egészében még nem ismert (Bíró et al., 2015).

Tokoferol szintézisre csak a növények és egyes baktériumok (cianobaktériumok) képesek, kis mennyiségben esetleg egyes élesztőgombák. Eddigi kutatások azt mutatják, hogy a tokoferolok és tokotrienolok szintézise megegyezik, mely vagy a mevalonsav, vagy a sikimisav útvonalakon valósul meg (Schultz et al., 1991, Bergmüller et al., 2003). A bioszintézis során a 2-metil-6-fitil-1,4-benzokinol (MPBQ) vagy metileződik 2,3-dimetil-6-fitil-1,4-benzokinollá (DMPBQ), mely eredményeképp tokoferol-cikláz katalizálta folyamat során delta-tokoferol képződik, vagy ugyancsak a tokoferol-cikláz enzim segítségével gamma-tokoferol keletkezik. Ezt követően gamma-tokoferol-metil-transzferáz katalizálta reakcióban a delta-tokoferolból béta-tokoferol, a gamma-tokoferolból pedig alfa-tokoferol jön létre (Arango és Heise, 1998; Sattler et al., 2003).





**15. ábra:** *Tokoferol bioszintézis útvonalai*

A tokoferol szintézis (15. ábra) a növényekben a környezeti stressz indukálta folyamat (Szarka et al., 2012). Növényi termékekben, azon belül is elsősorban a magvakban a terminális oxidáció során keletkező szabadgyökök elleni védekezés lehet az antioxidáns hatású  $\gamma$ -tokoferol felhalmozódásának oka (Bíró et al., 2015).

Az emberi szervezetben a vékonybélben keresztül szívódnak fel majd jutnak a portális keringésbe, a lipidben gazdag szövetekben raktározódnak, mint például a máj, agy, lép, tüdő, vese, szív szövetei (Pearson & Barnes, 1970). A különböző tokoferolok antioxidáns hatékonysága változó mértékű, legnagyobb mértékben az  $\alpha$ -tokoferol (100%), majd a  $\beta$ - (22%), végül a  $\gamma$ - (1%), és a  $\delta$ -tokoferol (1%) érvényesül (Hennig, 1972).

A tokoferolok számtalan jótékony hatást fejtenek ki mind az állati, mind az emberi szervezetre, így nem csupán az élelmiszeripar alkalmazza, de használják takarmánykiegészítőként is. A fentiekben már említett erős antioxidáns hatásuk (Rock et al., 1996) mellett szerepük van a koleszterinszint csökkentésében (Katsanidis & Addis, 1999), tumorszuppressziós hatásuk van (Blázovics, 2009), lassítják az érlelmeszesedést (Kaul et al., 2001), valamint segítenek kivédeni a kardiovaszkuláris megbetegedéseket (Hess et al., 1991). Ezen felül részt vesznek bizonyos hormonok szabályozásában (Inal et al., 1997), a legújabb kutatásoknak köszönhetően pedig igazolódni látszik pozitív hatásuk a csontok egészségére, a megfelelő emésztési folyamatokra, a

bőr egészségére (Dorgan et al., 2004). Fontos kiemelni az alfa- és a gamma-tokoferol gyulladáscsökkentő hatását, mely a gyulladást kiváltó gének transzkripciójának gátlásával valósul meg (Reiter et al., 2007; Campbell et al., 2003).

Paradicsom esetében tokoferolokat a mag tartalmaz legnagyobb mennyiségben (Vági et al., 2007). A paradicsom késztermékekkel végzett kísérletek során bizonyították, hogy az E-vitamin és a likopin szinergista hatásának köszönhetően a vizsgált cukorbetegknél csökkent a miokardiális infarktus kockázati tényezője (Upritchard et al. 2000). Ugyanakkor a  $\beta$ -karotin és az  $\alpha$ -tokoferol kombinációja szignifikánsan nagyobb hatékonysággal gátolja a lipid-peroxidáció folyamatát. Ez az együttes hatás radikális mértékben emeli az antioxidáns kapacitásukat (Palozza et al., 1992). Szinergista hatást mutattak ki az E- és a C-vitamin között is (Frankel, 1998).

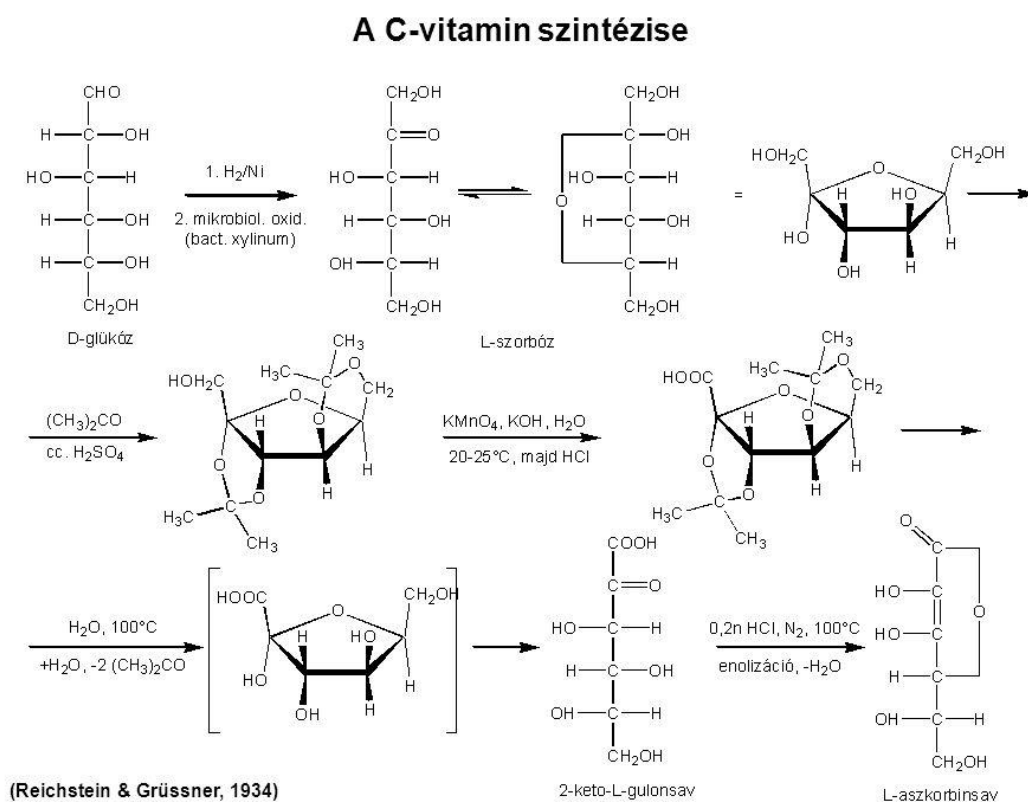
### **2.3.2.2 C-vitamin**

Az aszkorbinsav antioxidáns hatású szerves sav, melynek egészségre gyakorolt pozitív hatása már régóta köztudott. Pozitív hatása van a kardiovaszkuláris betegségekben szenvedő betegekre, kedvezően befolyásolja a koleszterinszintet, csökkenti a trombózis és atherogenezis kialakulásának kockázatát. Az idős emberek, dohányosok, cukorbeteg, magas vérnyomásúak és az ösztrogén tartalmú fogamzásgátlót szedő nők esetében bizonyítottan csökkent a plazma C-vitamin szintje, melyet egészség megőrzés céljából érdemes pótolni (Simon, 1992).

A C-vitamin lényegében cukorszármazéknak tekinthető, szintézise D-glükózból indul, a folyamat során 2-keto-L-gulonsav képződik, majd végül sósav jelenlétében, magas hőmérsékleten végbemenő enolizáció révén L-aszkorbinsavat kapunk (16. ábra).

A paradicsom jelentős C-vitamin forrás, azonban mennyiségét nagyban befolyásolják a biotikus és abiotikus tényezők, valamint a fajta. Számos tanulmány foglalkozott mennyiségi meghatározással, az aszkorbinsav koncentrációk a 8 mg/100g mennyiségtől egészen 56 mg/100g értékig terjedtek (George et al., 2004). Jelentős környezeti tényezőnek tekinthető a fényintenzitás mértéke a paradicsom érése során. Kedvező fényviszonyok mellett nő a C-vitamin tartalom (Dumas et al., 2003, Lee et al., 2000), így a szabadföldön termesztett paradicsom nagyobb koncentrációban tartalmazza, mint az üvegházban nevelt növények bogyói (Herrmann, 1976). A paradicsom aszkorbinsav koncentrációja kis mértékben, de fokozatosan növekszik az érés során (Cantwell, 1998), a száron beérett, és frissen betakarított bogyók magasabb mennyiséget tartalmaznak, mint utóérlelés esetében (Giovanelli et al., 1999). A tárolás és a feldolgozás is jelentősen befolyásolja a C-vitamin tartalom alakulását. Alacsony páratartalmú, és magas hőmérsékletű tárolási körülmények kedvezőtlenül befolyásolják a C-vitamin szintjét (Ezell-Wilcox, 1959). Több tanulmányban is bizonyították a feldolgozás során bekövetkező C-vitamin csökkenést (Davey et al. 2000, Nguyen & Schwartz, 1998). A friss bogyóban az aszkorbinsav a

savas pH-nak köszönhetően viszonylag stabil (Davidek et al., 1990), de a különböző paradicsomtermékek, mint a paradicsomlé, paradicsom sűrítmény, paradicsomszósz, vagy leves előállítása során az oxidációs folyamatoknak köszönhetően jelentős csökkenés következik be (Gahler et al., 2003). A késztermékek esteében a tárolásnak is jelentős szerepe van abban, hogy a feldolgozást követően a megmaradt C-vitamin tartalom ne csökkenjen tovább. A nem transzparens kínálóegységek (mint például a tetra pack típusú csomagolás), megvédi a terméket a további aszkorbinsav veszteségtől (Sánchez-Moreno et al., 2006).



16. ábra: C-vitamin szintézise

## 2.3.3 Fitonutriensek analitikai aspektusa

### 2.3.3.1 HPLC módszer

Napjainkban a nagynyomású folyadékkromatográfia (High Performance Liquid Chromatography: HPLC) segítségével hatékonyan és nagy precizitással vagyunk képesek a komponensek elválasztására. Története az 1960-as évek közepéig nyúlik vissza, az elmúlt 50 év

alatt olyan fejlődésen ment keresztül, hogy manapság a leggyakrabban alkalmazott analitikai módszer, melyet a kutatás, a gyógyszer-, az élelmiszer-, a kozmetikai ipar, és számtalan más terület is egyaránt használ. A gyógyszeripar elsősorban minőségi és mennyiségi meghatározásokra, bizonyos bomlástermékek kimutatására, vagy reakciók nyomon követésére alkalmazza. Különböző hatósági szervek munkáját is jelentős mértékben segítheti, drog-, vagy doppingszeranalízisben, víz-, vagy egyéb környezeti minták bemérésével, toxikus vegyületek analízisével. A munka szempontjából számunkra érdekes élelmiszeripari vizsgálatokban is óriási jelentőséggel bír, és nem csupán a fitonutriensek azonosítása és mennyiségi meghatározása miatt, de segítségével peszticidek, színezékek vagy egyéb élelmiszer adalékanyagok meghatározása is lehetséges.

A komponensek elválasztása mozgó és álló fázis közti megoszláson alapul, a minta fizikai és kémiai tulajdonságai alapján (Martin és Guiochon, 2005). A mozgó fázist nagy nyomással áramoltatjuk át a kis szemcseméretű kromatográfiás oszlopon, azaz az álló fázison. Itt következik be az elválasztás, ezt követően a komponensek eltérő méretükből adódóan különböző retenciók időben érkeznek a detektorba. A retenciók idő függ még attól is, hogy az álló és mozgó fázis között milyen kölcsönhatás lép fel (Liu and Lee, 2006). Mind az álló-, mind a mozgó fázis helyes megválasztása befolyásolja az elválasztás hatékonyságát, az elválasztandó komponensek anyagi minősége, azaz kémiai tulajdonsága határozza meg az alkalmazott módszert. A napjainkban is használt módszereket az 2. táblázat foglalja össze.

## 2. táblázat: Kromatográfiás módszerek összefoglalása

<b>Kromatográfiás módszer</b>	<b>Állófázis</b>	<b>Mozgófázis</b>
Normál fázisú kromatográfia (NP-HPLC)	poláris töltet	apoláris
Fordított fázisú kromatográfia (RP-HPLC)	apoláris töltet	poláris
Ionpár kromatográfia (MPIC)	apoláris töltet	poláris oldószer + ionpároképző
Ioncserés kromatográfia (HPIC)	töltéssel rendelkező töltet	puffer
Ion kizárásos kromatográfia (HPICE)	kationcserélő töltet	puffer
Méretkizárásos kromatográfia (SEC)	nagy pórus átmérőjű töltet (gél)	víz vagy szerves oldószer
Hidrofób kölcsönhatáson alapuló kromatográfia (HIC)	hidrofób felületű töltet	sótartalmú oldat

Ezen feltételek mellett fontos a rendszerben uralkodó nyomás megválasztása a mérés folyamán, ez a mai HPLC berendezések esetében akár 1200-1500 bart is jelenthet.

Az 1990-es évekre vált elterjedt technikává a fordított fázisú, szilikagél alapú folyadékkromatográfias módszerek alkalmazása a fitonutriensek azonosítására (Khachik, et al., 1991, Pfander et al., 1994). Méréseink során ezzel a technológiával dolgoztunk, ebben a rendszerben az eluens polárosabb, mint az állófázis. Az alkalmazott állófázisok többsége módosított szilikagél, előnyük, hogy nagy mechanikai stabilitással rendelkeznek, a gyakorlati alkalmazásban akár nagy nyomás mellett is végezhetjük a méréseinket. A szilikagél olyan szilanizálási reakcióval előállított polikovasav alapú anyag, mely felületét hidroxil csoportok borítják (Fekete J., 2006). Módosításkor a hidroxil csoportokat általában alkil-klór-szilánokkal reagáltatják. A felvitt szénlánc hossza lehet C8, C18, C22 vagy C30 (Fekete, 2006).

Ezeket figyelembe véve, összefoglalható, hogy az elválasztás hatékonyságot milyen tényezők befolyásolhatják:

- eluensek megválasztása (a vizsgálni kívánt komponens kémiai tulajdonsága alapján)
- szilikagél szemcsék mérete, alakja, pórus méretük
- szilanizációs folyamat során felvitt szénlánc hossza (C8, C18, C22 vagy C30)
- a megfelelő nyomás kiválasztása a mérés során
- környezeti hőmérséklet stabilizálása

### **2.3.3.2 Karotinoidok és C-vitamin elválasztása**

A karotinoid komponensek és ezek izomerjeinek, illetve a C vitamin azonosítására a nagy érzékenységgel bíró HPLC berendezésekhez kapcsolt diódasoros ultraibolya-látható spektrofotometriás detektor (DAD-UV) gondoskodik. A karotinoidok spektrofotometriai tulajdonságai, mint például a több abszorpciós maximum miatt ez a detektor típus a legalkalmasabb karotinoidok azonosításra. Az elmúlt évtizedekben számos mérés esetén alkalmaztak C<sub>18</sub>-as kromatográfias töltettel rendelkező oszlopokat karotinoidok és poliaromás szénhidrogének mérése során (Sander & Wise, 1987 and Craft, 1992). A rövidebb szénlánccal rendelkező C<sub>8</sub>-as oszlopok szelektivitása a karotinoidok esetében ugyanis sokkal rosszabb, mint egy hosszú szénláncú módosított szilikagél állófázis esetében. Azonban igazán nagy előrelépés a napjainkban már elterjedt C<sub>30</sub>-as töltetek használata, akár a paradicsom mérések során is (Rodríguez-Amaya et al., 2008; Sander et al., 2000; Lin és Chen 2003). Ezen töltetek előnye, hogy a karotinoid méréshez leggyakrabban alkalmazott oldószerekkel kompatibilisek, teljes polaritás tartományukban használható (Erika, 2006).

### **2.3.3.3 Tokoferolok elválasztása**

Az E-vitaminok azonosításakor fluoreszcenciás (FL) detektort alkalmaztunk, amely a DAD detektorénál is nagyobb érzékenységgű és szelektivitású. Az FL-detektor működése azon alapszik, hogy sötét háttér előtt detektálja a gerjesztett vegyület által kibocsájtott fényt, ami nagyobb, mint a gerjesztő fény maga. Előnyös tulajdonságai mellett azonban ügyelni kell arra, hogy a rendszer rendkívül érzékeny a környezeti hőmérsékletváltozásra, valamint az ennek következtében megváltozó eluens viszkozitásra. Így minden esetben érdemes hangsúlyt fektetni a termosztálásra. A körültekintő mintaelőkészítés és a rendszer megfelelő karbantartása ugyancsak elengedhetetlen, hiszen a detektor számára ugyancsak jelentős zavart jelenthetnek a lebegő szilárd anyagok, valamint a DAD detektor számára már láthatatlan méretben előforduló buborékok (Snyder & Kirkland, 1979).

### **2.3.3.4 LC-MS azonosítás**

Bizonyos komponensek pontosabb azonosításához és mennyiségi meghatározásához a folyadékkromatográfiás módszer tömegspektrometriával való kombinálása kiváló lehetőséget nyújt. A fentiekben taglalt HPLC módszer során a kromatogramm elemzésekor a retenciós idő és a spektrum ad információt a molekula azonosításához. A tömegspektrometria azonban teljes képet ad az adott molekula szerkezetéről, így annak azonosítása sokkal megbízhatóbbá válik. A két műszer összekapcsolása napjainkban közvetlen módon lehetséges az atmoszférikus nyomáson működő ionizációs technológiáknak köszönhetően. Az egyik ilyen módszer az elektroporlasztásos ionizáció (electrospray ionization, ESI), mely a 80' - as évek végétől vált alkalmazott módszerré, a mátrixszal segített lézer-deszorpciós ionizációval (matrix-assisted laser desorption/ionization, MALDI) párhuzamosan (Imre, 2009).

A karotinoidok *in vivo* végbemenő *cis*-*transz* izomerizációja a betakarítási folyamatot követően, majd a feldolgozás során jelentős aránybéli változáson megy keresztül. Függetlenül a feldolgozási folyamat során alkalmazott fizikai behatás mértékétől, illetve az adott karotinoidok sejtlokalizációjától, a *cis*-izomerek képződése és stabilitása nagy mértékben változhat (Lin, 2005; Shanchéz, 2006). Táplálkozástudományi szempontból ennek nagy jelentősége lehet, hiszen a likopin *cis*-izomerjei biológiailag aktívabbak és hozzáférhetőbbek az *all-transz* formáknál (Cooperstone et al., 2015).

Napjainkban számos kutatás irányul különböző paradicsomtermékekben azonosított karotinoidok *all-trans* és *cis* izomerjeinek elválasztására és mennyiségi meghatározására. A hatékony elválasztáshoz a C30 töltetű oszlopok, megfelelő gradienselektúrával történő alkalmazása

(Sander, et al., 2000) bizonyult a leghatékonyabbnak, mely HPLC-DAD technológia ötvözése MS / MS módszerrel pontos mennyiségi meghatározást tehet lehetővé a mérések során.

Ezek a módszerfejlesztések hatékonyak bizonyulhatnak a geometriai izomerek szétválasztásában, többek között az oxigén molekulát nem tartalmazó karotinoidek, illetve a xantofilek cisz-izomerjeinek pontos meghatározásában.

## 2.4 Paradicsomtermesztés optimális környezeti igényei

Az ipari paradicsom esetében, akár csak más zöldségfajoknál, a fitonutriensek koncentrációját leginkább befolyásoló tényezők közé tartoznak a bogyók érettségi szintje (Helyes et al., 2006) a betakarítás időpontjában, az agronómiai, földrajzi és környezeti feltételek (Lenucci et al., 2006, Helyes et al. 2006, Ilahy et al., 2011). A paradicsom bogyók tápértéke a megfelelő környezeti paraméterek biztosításával optimalizálható, mint például a megfelelő termőterület megválasztása (Meulebroek et al., 2012), illetve az időjárási szélsőségek kompenzálására tett intézkedések (például az öntözés vagy árnyékolás).

A paradicsom meleg- és fényigényes növény, intenzív növekedési szakaszában a 20-25 °C nappali, valamint a 15-17°C éjjeli hőmérséklet optimális a növény számára. A 13°C alatti és a 30°C feletti **hőmérséklet** is kedvezőtlenül hat, mind a pollenképződés, mind a kötődés mértékére (Allaire et al., 2004). A hőmérséklet továbbá kihat a bogyók napi növekedési rátájára, és ezáltal az érett bogyók méretére, a termés formájára, színére és állagára is. Magasabb hőmérsékleten a fürtképződés folyamata felgyorsul, melynek köszönhetően lerövidül az érési idő, ez a folyamat azonban kisebb bogyóméretet eredményez. 30-32 °C-os hőmérséklet felett a likopin képződése gátolt (Dumas et al., 2003; Helyes et al., 2006), azonban a  $\beta$ -karotin szintézis még 38°C-ig aktív marad, mely folyamat a bogyók színváltozásával járhat. A túlzottan alacsony éjszakai hőmérséklet lassítja az érés folyamatát, és deformált bogyókat eredményezhet (Tomer et al., 1998). Jelentősen csökkenhet a likopin termelése is (Koskitalo és Ormrod, 1972).

A paradicsom **fényigényes** növény, megfelelő növekedéséhez legalább 5000 lux megvilágítás szükséges (Balázs, 1985), jelentős befolyásoló tényező még a megvilágítás hossza is. Magyarországi viszonyok között a minimális 10 órás megvilágítás elengedhetetlen, mely feltétel a tavaszi hónapoktól kezdődően adott is. A fényintenzitás befolyásolja a bogyók szárazanyag-tartalmát, az elraktározott keményítő mennyiségét (Ho, 1996), és a cukortartalmát is (Roddick, et al., 1993). A hőmérsékleti és UV-B sugárzás mellett meghatározó tényezők még a **vízellátottság**, illetve a termőtalaj minősége. A növény vízfogyasztási együtthatója 30-60 l/kg között mozog (Helyes, 1999), vízfelvétele fenológiai fázisonként eltér. A kötődés és a bogyónövekedés időszakában igen intenzív (5-6 mm/nap), a zöldtömeg öregedésével azonban csökken.

Összeségében elmondható, hogy a hosszú tenyészidő miatt a paradicsom vízigényes növény, a rendszeres vízpótlással biztosítható a hajtás akadálytalansága, a megfelelő virágkötődés, és a termés kívánt növekedése, azok darabszáma és átlagtömege (Helyes, 1999). Az öntözéssel ugyanakkor a termés számos más tulajdonságát befolyásolhatjuk, többek között a °Brix - ot, a cukortartalmat (Balázs, 1985), a savtartalmat és ezáltal a pH értéket (Matthews et.al., 1979), valamint a C-vitamin tartalmat is (Kaniszewski et.al., 1987). Már régebbi tanulmányok is bizonyítják, hogy víz-stressz hatására a bogyók likopin szintje megemelkedik (Dumas et al., 2003). Ha a **páratartalom** 30%-on alul van, rosszul termékenyülnek a paradicsom virágjai.

A paradicsom **szervesanyag-igénye** nagy, hasonlóan más ökológiai tényezőkhöz fejlődési állapottól függ a tápanyag felvétel mértéke. Ez a kezdeti fejlődési stádiumban, illetve a bogyóérés előre haladtával a legmagasabb. Fontos szerepet játszik többek között a nitrogén, a foszfor, a kálium és kalcium is a megfelelő növekedésben. A megfelelő mennyiségű nitrogénnek fontos szerepe van a virágzás, a kötődés és a bogyónövekedés időszakában. Hiánya esetén a hajtásnövekedés lassul, a bogyóméret csökken, a levelek elsárgulnak, a szár megnyúlik. Ugyanakkor kedvezőtlenül hat a bogyók beltartalmi paramétereire, így például az oldható szárazanyag- és cukortartalomra, illetve a savtartalomra (Locascio et.al., 1984). A megfelelő foszforellátottság nagyon fontos a palánták esetében, nélkülözhetetlen a virágzás és a kötődés időszakában. Hiányában a növény fejlődése nem lesz megfelelő, a levelek elszíneződnek. A kálium ugyancsak jelentős szerepet tölt be a megfelelő szárazanyag- és cukortartalom kialakításában, valamint segíti a növény betegségekkel szembeni ellenállóságát. A kalcium szerepet játszik a sejtmembrán védelmében, részt vesz a sejtek ozmoregulációjában (Marschner, 1995) és segíti a szövetek kórokozókkal szembeni ellenállását. Megfelelő kalciumellátottság mellett csökken a bogyórepedés és a csúcsrothadás kockázata (Ho, 1999).

A különböző tulajdonságokkal rendelkező **talajok** is jelentősen befolyásolják a termés minőségét, és beltartalmi paramétereit. Magyarországon az ipari paradicsomot különböző talajtípusokon termesztik, mint például a legoptimálisabbnak számító, humuszban gazdag homok vagy homokos vályog talajok, de jól fejlődik akár középkötött talajon is (Illés et al., 2016). A talaj savasságát jól tolerálja, azonban a semleges talaj-pH, kedvező a termesztés oldaláról. Mind a homok vagy homokos vályog, mind a középkötött talajtípus alkalmas az ipari paradicsom termesztésére, azonban különböző agronómiai és ökológiai tulajdonságaik miatt, a termések tápértéke eltérhet.



## 2.5 A paradicsom vízigénye

Tenyészidejéből következően a paradicsom vízigényes növény, folyamatos vízigénye miatt elengedhetetlen a száraz időszakokban a vízutánpótlás biztosítása (Helyes, 1999). Ellenkező esetben nagyfokú vízhiány léphet fel, amely negatívan befolyásolja a termésmennyiséget és minőséget egyaránt. Míg a megfelelő vízutánpótlás biztosítható a termesztés folyamán különböző öntözési technológiákkal, a napjainkban egyre inkább jellemző időjárási szélsőségek megjelenésével, a nagymértékű csapadék által előidézett túlzott vízmennyiség nem korlátozható szabadföldi termesztés esetében. A túlzott vízellátottság ugyancsak nagymértékben befolyásolja az ipari paradicsom minőségi mutatóit. Ennek értelmében mind a túl sok, mind a túl kevés víz vízstresszt idéz elő a növényben (Helyes, 1999). Túlzott csapadékmennyiség esetén megfigyelhető, hogy a paradicsom növekedése gátolt (Fiebig és Dodd, 2016).

A növényt érő vízstressz mérésére és nyomon követésére érdemes több módszert és értékszámot együttesen alkalmazni, a pontatlanságok kiküszöbölése érdekében. A leggyakrabban alkalmazott módszerek a stresszfaktor index (SDD) (Jackson et al., 1977), a növényi vízstressz index (CWSI) (Jackson et al., 1981), az infravörös termográfia (Jones, 2004), és a FAO által fejlesztett AquaCorp modellező szoftver, amely jelentős vízstressz esetén kiválóan alkalmazható (Takács et al., 2018).

Optimális körülmények között a megfelelő mértékű öntözéssel az ipari paradicsom megfelelő °Brix-a, cukor-, és savtartalma révén kiváló alapanyagot biztosít a belőle gyártott késztermékekhez. Vízstressz hatására azonban a bogyók fitonutriens tartalma és összetétele megváltozik, mely előnytelen tulajdonságot adhat a feldolgozandó alapanyagoknak (Dumas et al., 2003).

Ez nemcsak a végtermék esetében járhat minőségromlással, de a gyártástechnológia folyamatát is megnehezítheti. Ennek kiküszöbölésére végeznek minőségi ellenőrzéseket a feldolgozó üzemek, melyek hivatottak a feldolgozásra alkalmatlan alapanyag kiszűrésére.

## 2.6 Az öntözés hatása a paradicsom fitonutrienseire

A fentiekben ismertetett ökológiai tényezők, mind hatással vannak a szabadföldön termesztett ipari paradicsom minőségére, a bogyók tápértékére. Ennek ellenére a szabadföldi termesztés esetében gyakran nem megoldható minden abiotikus tényező befolyásolása, így például a fény vagy a hőmérséklet, illetve a páratartalom mértéke. Azonban a vízellátottság befolyásolható, melyre számos lehetőség áll rendelkezésünkre.

Több tanulmány is foglalkozott az öntözés hatásával az ipari paradicsom termésmennyiségére és minőségére. Az ipar számára legjelentősebb tulajdonságok a vízdoldható szárazanyag tartalom (°Brix), az összes szénhidrát tartalom és a savtartalom. A °Brix értékének majd 70%-át a redukáló cukrok adják. Az ipari paradicsom esetén ez az érték jellemzően 4 és 7 között változik (Atherton és Rudich, 1986), melyet számos tényező befolyásol, mind biotikus, mind abiotikus hatások (Helyes, 1999). Az érzékszervi szempontból fontos ízt és zamatot a cukor- és a savtartalom egymáshoz viszonyított aránya határozza meg. A fitonutriensek alakulására fontos hatást gyakorol az öntözés és tápanyag-ellátási technológia (Zhu et al., 2018). A közelmúltban folytatott kutatások eredményei bizonyították, hogy a magasabb vízellátottság mellett a növények nagyobb termésmennyiséget produkálnak, azonban ez a tényező negatívan befolyásolja a °Brix értékét (Helyes et al., 2009). Továbbá a megnövekedett vízellátottság a bogyóérés folyamata alatt a paradicsom legfőbb karotinját, a likopin mennyiségét is negatívan befolyásolja. Riggi et al. (2008) mérési eredményei az állomány öntözése mellett 8%-os likopin szint csökkenést mutattak ki. Alacsony vízellátottság mellett tehát a paradicsomban szignifikánsan magasabb likopin és  $\beta$ -karotin koncentráció mutatható ki (Favati et al., 2009).

## **2.7 Paradicsom élelmiszeripari feldolgozása, hatása a kémiai összetételre**

A paradicsom feldolgozása révén növelhetjük a termék eltarthatóságát, és bővíthetjük az élelmiszer piac termékpalettáját (pl.: sűrített paradicsom, paradicsompaszta, paradicsomlé, lecsó, szárított paradicsom). A mikrobiális biztonság növelése mellett ugyanakkor szem előtt kell tartanunk a feldolgozás során a paradicsomtermékek minőségi paramétereinek alakulását. A szín, az aroma és az állag elengedhetetlenül fontos tényezők (Hayes et al., 1998). Nemcsak friss formájára, de a különböző készítményekre is igen nagy fogyasztói igény mutatkozik. Általában a feldolgozás menete során a bogyók az előkezelést követően hőkezelésen esnek át mind ipari, mind háztartási eljárások esetén. A különböző feldolgozási technológiák eltérően befolyásolhatják a beltartalmi paraméterek alakulását. A paradicsom termikus feldolgozása során bekövetkező fontos reakciók egyike az össz transz-likopin, cisz-likopin formába történő izomerizációja, mely a termék színváltozását eredményezi (Rodrigo et al., 2007). A paradicsom feldolgozás során bekövetkező változásokkal számos tanulmány foglalkozott (Sieso & Crouzet, 1977; Sanchez-Moreno et al., 2006). A paradicsomlé fitonutrienseinek vizsgálata során leírták az illékony alkotóelemek és a C-vitamin tartalom jelentős csökkenését 10 percig tartó 100 ° C hőmérsékleten végzett kezelést követően (Sieso & Crouzet, 1977; Abdel-Rahman, 1982). A paradicsomlé vörös színét gyorsabban veszti el magas kezelési hőmérsékleten, mint alacsonyabban, ahol a végtermék természetes színe megőrizhető (Goodman et al., 2002; Sanchez-Moreno et al., 2006). Ugyanakkor a hőkezelés növeli

a paradicsomlé antioxidáns kapacitását, a likopin extrahálhatóságának fokozódásával (Anese et al., 1999; Anese et al., 2002; Sanchez-Moreno et al., 2006). A bogyóban jelenlévő likopin relatíve jó ellenálló képességgel bír a hővel szemben, míg más antioxidánsok, beleértve az általunk is vizsgált aszkorbinsavat, tokoferolokat és  $\beta$ -karotint is, gyorsabban bomlanak le a termikus feldolgozás során (Abushita, et al., 2000).

Az ipar alapvetően két hőkezelési eljárást alkalmaz: a meleg- és a hideg áttörést. A meleg áttörés (hot break), tipikusan 85-90° C-os kezelési hőmérsékletet jelent, amely során aromaanyagok és a viszkozitás szempontjából fontos enzimek inaktiválása következik be. A paradicsomtermékek konzisztenciáját a pektin összetétel befolyásolja. Amint a bogyó szöveteiben jelen lévő pektinbontó enzimek, mint a pektin-metil-észteráz (PME) és a poligalakturonáz (PG) inaktiválódnak, egy viszkozusabb terméket kapunk (Bel-Haj, 1981; Fito et al., 1983). Hatásmechanizmusuk oly módon érvényesül, hogy a PME demetilező hatására a pektint a PG tovább bontja, mivel ez az enzim a pektin-lánc szegmenseire hat. A pektinláncok lebontása csökkenti a lé viszkozitását, amely a termék előállítás szemszögéből kedvezőtlen folyamat (Hsu, 2008). Ez a magas hőmérséklet ugyanakkor kedvezőtlen a lipoxigenáz működése szempontjából, mely a telítetlen zsírsavak bontása során létrejövő aromaanyagok létrehozásában játszik fontos szerepet (Goodman et al, 2006).

A hideg áttörésnél (cold break) a homogenizált paradicsomot 60 °C-ra melegítik a feldolgozás folyamán. Az alacsonyabb hőmérséklet segíti a szín- és ízkomponensek megtartását, azonban ez a hőmérséklet nem teljes mértékben inaktiválja a PME és PG enzimeket. Ezáltal lehetővé teszi a pektin tartalom egy részének lebontását, csökkentve a lé viszkozitását (Luh és Daoud, 2008). Amennyiben a feldolgozás során célunk a PME és a PG teljes inaktiválása, például paradicsomlé gyártása során, úgy 78 °C-nál magasabb hőmérsékleten minimum 40 másodpercig kell végezni a hőkezelést, biztos eredmény eléréséhez azonban érdemes a 90°C-on 5 perc kezelést választani (De Sio et al., 1995). A hideg áttöréses eljárás előnye a meleggel szemben, hogy a végterméknek természetesebb színe marad, illetve aroma anyagokban gazdagabb lesz (Gould 1992).

Alternatív megoldást jelenthet olyan nem termikus feldolgozási eljárás, mely a hidrosztatikus nyomás előnyeit alkalmazza. (Popper & Knorr, 1990; Knorr, 1993). Ez egy olyan technológiai eljárás, amely 200–700 MPa közötti nyomást fejt ki a homogenizált paradicsomra, amely hatékonyan csökkenti a mikroorganizmusok, és a termékminőséget befolyásoló enzimek aktivitását (Hoover et al., 1989, Weemaes et al. 1999). Ez a feldolgozási eljárás lehetővé teszi, hogy a nagy nyomás mellett ne legyen szükség magas hőmérséklet alkalmazására, ezzel javítva a késztermék érzékszervi tulajdonságait (Cheftel, 1992). Mind a PG, mind a PME enzimek inaktiválása megoldható adott nyomás és hőmérséklet együttes kombinálásával. A PG enzim inaktiválására tett kísérletek során bebizonyosodott, hogy már 550 MPa / 20 ° C (Fachin et al.,

2003) együttes alkalmazása eredményes lehet. A paradicsomban jelen lévő PME enzim aktivitásának gátlása 800 MPa / 70°C hőmérséklet 20 percig történő fenntartásával ugyancsak megoldható (Crelier, et al., 2001). Ezek az eredmények bizonyítják, hogy a maximális határfok elérésére napjainkban létezik olyan módszer, mely a meleg áttörésnél alkalmazott technológiánál kíméletesebb megoldást jelenthet a paradicsom feldolgozásban.

Az elmúlt években kezdtek jelentősebb mértékben foglalkozni a paradicsom feldolgozásakor visszamaradó törköly hasznosításának lehetőségével. Elsősorban paradicsomhéjból és magvakból álló frakció, melyek megoszlása és szárazanyag tartalma attól függő, hogy melyik feldolgozási eljárást alkalmaztuk. Ez a maradvány anyag a teljes feldolgozni szánt paradicsom össztömegének 3–5% -át teszi ki (Colle et. al., 2010). A törkölynek azért is lehet nagy jelentősége, mert a visszamaradó frakciók, nagy mennyiségű likopint tartalmazhatnak még, hiszen a héj alatti külső bőrrétegben az érési folyamat során ezen karotinoid felhalmozódik (Kaur et. al., 2008). Ennek a visszanyerési eljárásnak az a nehézsége, hogy a törköly minden esetben a növényi szövetek tömör egységét takarja, amely nagy nehézséget okoz az oldószerek extrahálási eljárások során történő alkalmazásakor. További nehézséget jelent a likopin bomlási hajlandósága (Colle et. al., 2010). A folyamatot elősegítheti bizonyos enzimek alkalmazása.

### 3. Célkitűzés

A kutatómunka során kitűzött céljaim egyike, választ kapni egyrészt az ipari paradicsomot ért vízstressz hatásának vizsgálata a táplálkozásélettani szempontból jelentős antioxidáns kapacitású bioaktív komponensekre.

A másik jelentős célkitűzésem a karotinoidok, tokoferolok és a C-vitamin változásainak tanulmányozása volt az ipari paradicsom hideg és meleg áttöréses technológiával előállított ivólevében és melléktermékében, a paradicsom törkölyben. Mindezt az abiotikus tényezők függvényében vizsgálva, és arra keresve a választ, hogy befolyásolják-e a paradicsom késztermékek fitonutrienseinek arányát, mennyiségét és stabilitását.

Ennek elemzéséhez a specifikusan ezen vizsgálatokhoz fejlesztett, érzékeny és pontos eredményt biztosító HPLC és LC-MS módszerek alkalmazása megfelelő háttérrel biztosíthat.

Az LC/MS módszerfejlesztés keretén belül, C30 -as típusú oszlop használata mellett, az eddigiektől eltérő, specifikus gradienselúció kidolgozása volt a cél, mely segítségével remélhető volt a fő poláris, illetve kevésbé poláris karotinoid molekulák detektálása mellett ezek geometriai izomerjei és származékjainak pontos kimutatása is.

## 4. Anyag és módszer

### 4.1 A kísérletben alkalmazott fajta jellemzése

A kísérletben UG812 J (United Genetics Seeds Co., Hollister, CA) közép-korai tenyészidejű, nyitott lombú, több célra is hasznosítható hibridet vizsgáltunk. Optimális tenyészideje a kiültetéstől számítva 98-100 nap. Jó stressztűrésének és terméskötődésének köszönhetően megbízhatóan magas termésátlagokra képes, átlagos bogyótömege 65-70 g. Általánosan jó vízdoldható szárazanyag-tartalommal (5,4 - 5,6 °Brix) rendelkezik, illetve egy színből érik (OROSCO Kft.).

### 4.2 Kísérleti helyszínek

Méréseinket agyagos-vályog típusú, félig kötött tulajdonságú, illetve enyhén lúgos, barna erdőtalajon, fizikai tulajdonságát tekintve agyagos szerkezetű talajról származó ipari paradicsom mintákkal végeztük, két egymást követő évben (2018-2019).

Gödöllő-Szárítópuszta, a továbbiakban **Szárítópuszta**: A két egymást követő évben zajló kísérlet egyik részét a Szent István Egyetem GAK Kht. Kertészeti tanüzemének kísérleti telepén végeztük. Ezen terület a Gödöllői-dombság része, melynek talajára jellemző az enyhén lúgos barna erdőtalaj, fizikai tulajdonságát tekintve agyagos szerkezetű (41% homok, 47,5% iszap és 11,5% agyag). Arany-féle kötöttségi értéke (Ka): 28-42 között mozog. A talaj vízkapacitása alacsony, vízelnyelő- és vízelvezető képessége igen jó. Értelemszerűen így a nyári időszakban a növények vízellátottságát csak rövid ideig képes biztosítani. Az állomány megfelelő és egyenletes vízellátottsága, a tenyészidő alatt csepegtető rendszer által biztosított, a léghőmérséklet alakulásának függvényében. Cél, hogy ezen idő alatt a vízellátottságot optimálisnak lehessen tekinteni. A kiültetés randomizált teljes blokk kialakításban, négy ismétlésben történt, 150 cm-es sortávra és 18,6 cm-es tőtávolságra, mind a két év során. A tenyészidőszak hossza minden évben hasonló időintervallumot ölelt fel, 2018-ban a kiültetés május 17.-én, 2019-ben május 16.-án történt. A betakarítás 2018-ban augusztus 27.-én, 2019-ben szeptember 2.-án zajlott le.

**Szarvas**: A kétéves kísérlet másik részét a Szent István Egyetem Szarvasi Campusának kísérleti telepén folytattuk le. Az iskolaföld területének talaja agyagos-vályog, félig kötött tulajdonságú, az alábbi szemcseméret eloszlással: 37% agyag-, 29,4% homok- és 33,6% iszap-frakcióval. Humusztartalma 3%, kémhatása enyhén savanyú (pH=6,68). Ennek köszönhetően a talaj

vízkapacitása jóval magasabb, mint a gödöllői talajé. Víznyelő- és vízelvező képessége sokkal alacsonyabb a szárítópusztainál, így a növények vízellátottsága sokkal hosszabb ideig biztosított a nyári aszályos időszakokban. Azonban a tenyészidőszak alatti optimális vízellátottság érdekében, esőszerű öntözést (Center pivot) alkalmaztunk. A kiültetés szimpla sorokba 140 cm-es sortávra és 20 cm-es tőtávolságra, géppel történt, a tenyészidőszakok hossza az alábbiak szerint alakult: 2018-ban a kiültetés május 8.-án, 2019-ben május 17.-én történt. A betakarítás 2018-ban augusztus 14.-én, 2019-ben augusztus 27.-én zajlott le.

### **4.3 Meteorológiai paraméterek alakulása**

#### **Hőmérséklet:**

Szárítópusztán és Szarvason a tenyészidőszakban mért átlag hőmérsékletet tekintve nem észlelhetünk számottevő különbséget, bár a szarvasi adatok minden esetben kicsivel magasabb értéket mutatnak (3. táblázat). Jelentős különbségeket a 30°C-ot meghaladó napi csúcshőmérsékletű napok számában láthatunk, legkiemelkedőbb különbséget a 2019-es év adatai mutatnak szarvason, ahol 16 nappal több 30°C feletti csúcshőmérsékletet mértek. Mind a bogyóérés szempontjából fontos - a betakarítást megelőző 3 hét adatait-, mind a tenyészidő átlag hőmérsékletét tekintve elmondható, hogy a szarvasi terület melegebb és szárazabb.

#### **Csapadék:**

A 2018-as és 2019-es évek csapadékmennyisége hasonlóan alakult a szárítópusztai telephelyen. Amíg a 2018-as szezonban 305 mm csapadék, addig 2019-ben közel 321 mm csapadék esett a termesztési időszak egésze alatt. Ezekhez az értékekhez viszonyítva Szarvason jóval kevesebb csapadék hullott mind a két év során, ezen belül is a 2018-as év kiemelkedően szárazabb volt, mint 2019-ben mind a két helyszín esetén (3. táblázat). Ebben az évben Szarvason ugyanis csak 127 mm csapadékot hullott. A 2018-as és 2019-es szárítópusztai tenyészidőszakra vonatkozó napi csapadékmennyiségek jól nyomon követhetők az 1. és 2. mellékletekben, akárcsak a 2018-as szarvasi adatok a 3. mellékletben. 2019-es évben a bogyóérés szempontjából meghatározó időszakot tekintve a szarvasi helyszínen csak egy kiugróan magas csapadékmennyiség volt detektálható (25,8 mm), melyet a 4. melléklet mutat be.

**3. táblázat: 2018 és 2019-es évek szarvasi és szárítópusztai meteorológiai adatai**

Meteorológiai paraméterek	Szárítópuszta		Szarvas	
	2018	2019	2018	2019
Átlaghőmérséklet (°C) a tenyészidőszakban	21,6	21,3	22,3	22,5
Átlaghőmérséklet (°C) az utolsó 3 hétben	23,8	23,55	25,5	24,6
Átlag min. hőmérséklet (°C) a betakarítást megelőző 3 hétben	17,1	16,9	19,4	17,3
30 °C-ot meghaladó napok száma a tenyészidőszakban	28	44	34	57
30 °C-ot meghaladó napok száma a betakarítást megelőző 3 hétben	18	13	20	15
32 °C-ot meghaladó napok száma a tenyészidőszakban	11	18	15	21
32 °C-ot meghaladó napok száma a betakarítást megelőző 3 hétben	8	9	13	11
Csapadékmennyiség (mm) a tenyészidőszakban	304,6	285,8	126,9	256,5
Csapadékmennyiség (mm) a betakarítást megelőző 3 hétben	44,7	23	8,6	5,9

Összességében elmondható a két terület összevetését követően, hogy Szarvas egy jellemzően szárazabb és melegebb tájegység, szemben Szárítópusztával, ahol jóval több csapadék és kevésbé meleg nappali hőmérséklet mérhető. A két év összehasonlítása során pedig megállapítható, hogy 2018-ban hektikusabb időjárási körülmények között zajlott le a bogyóérés folyamata a szárítópusztai termőterületen.



## 4.4 Vízstressz kísérlet

Mind 2018-ban és 2019-ben mind a Szarvasi, mind a Szárítópusztai telephelyeken zajlott vízstressz kísérlet, a szabadföldi ipari paradicsom esetében. A Szárítópusztai kísérleti terület mindkét év során három, nagyjából egyenlő területre volt felosztva a különböző vízellátottsághoz igazítva. Az öntözővíz igény AquaCorp v5.0 szoftver segítségével lett kiszámolva. Ez a szoftver a FAO-Penman-Monteith módszer alapján kalkulálja a potenciális evapotranszpirációt (PET) (Allen et.al. 1994). Ennek megfelelően egy parcella öntözése a kiszámított PET érték 100%-val (PET\_100), azaz a veszteség teljes mértékének pótlásával, a másiké a számított PET 50%-val (PET\_50) valósult meg. A harmadik, ez esetben kontroll parcella a természetes csapadékon túl, a palántázáskor, valamint a tápanyagutánpótláshoz kapcsolt vízmennyiséggel volt öntözve (4. táblázat). A szarvasi kísérleti területen hasonló eljárás zajlott le (4. táblázat).

A vízstressz hatását a betakarítást követően összehasonlító vizsgálattal monitoringoztam, °Brix, és a növényre jellemző fitonutriens értékek mérésével.

### 4. táblázat: Csapadékmennyiség és öntözési vízmennyiségek Szarvason és Szárítópusztán 2018, és 2019-es tenyészidőszak alatt

	Csapadék (mm)	PET_K (mm)	PET_50 (mm)	PET_100 (mm)	Csapadék + öntözés (mm) PET_K	Csapadék + öntözés (mm) PET_50	Csapadék + öntözés (mm) PET_100
<b>Szarvas 2018</b>	<b>126,9</b>	43,8	131,0	213,5	<b>170,7</b>	<b>257,9</b>	<b>340,4</b>
<b>Szarvas 2019</b>	<b>256,5</b>	27,6	81,3	135,0	<b>284,1</b>	<b>337,8</b>	<b>391,5</b>
<b>Szárítópuszta 2018</b>	<b>304,6</b>	45,0	80,2	160,3	<b>349,6</b>	<b>384,8</b>	<b>464,9</b>
<b>Szárítópuszta 2019</b>	<b>320,8</b>	45,0	63,9	106,6	<b>365,8</b>	<b>384,7</b>	<b>427,4</b>

## 4.5 Oldható szárazanyag mérése

A 4 ismétlésben betakarított mintákat, mind a két évben, még aznap a Szent István Egyetem Regionális Egyetemi Tudásközpontjának Élelmiszer analitikai Laboratóriumába szállítottuk, és a mérésekhez szükséges módon előkészítettük.

Az ismétlésekből reprezentatív mintavételt követően homogenizáltuk a bogyók egy részét, majd KRÜSS DR201-95 (KRÜSS Optronic, Hamburg, Germany) digitális kézi refraktométerrel vízdoldható szárazanyag tartalom meghatározása történt. A vízdoldható szárazanyag-tartalom

refraktometriás mutató, mely megadja az adott anyagban oldott szilárd alkotórészek százalékos arányát. Mértékegysége °Brix. A minták °Brix értéke is hasonlóképpen informatív adat, mely előre vetítheti további analitikai mérések eredményét (Clément et al., 2008).

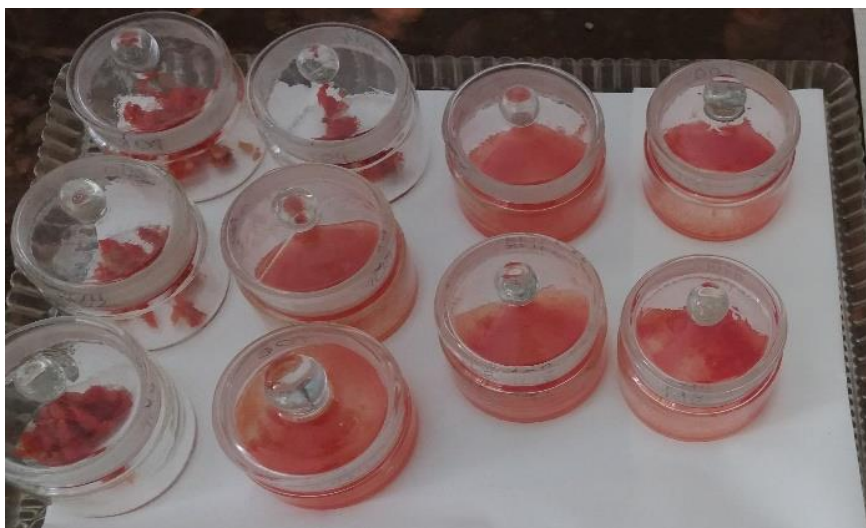
Az eredményeknek megfelelően kezeltük a továbbiakban a feldolgozásra szánt kísérleti csoportot. A már említett 4 ismétlésben betakarított minták egy másik részének kontroll csoportját, melyet teljesen érett, mélyvörös színű bogyók tettek ki (ezek megközelítően 40 növényről származtak), mind a két helyszínről, mind a két év során szállítottuk a Szent István Egyetem Élelmiszertudományi Kar, gyümölcs-zöldség feldolgozásra alkalmas laborjába (Budapest). A minták maradékait, további mérések elvégzésének céljára különítettük el, azaz a megfelelő tárolóedényekben -20°C-on tároltuk a továbbiakban.

#### **4.6 Paradicsom minták feldolgozása (Hideg és meleg áttörés)**

A feldolgozási folyamat lépései magában foglalták a mosás, aprítás és hőkezelési eljárások sorát. Az iparban alkalmazott kétféle áttörési technológiával dolgoztunk. A hideg áttörés (továbbiakban CBE - Cold Break Extraction) során az aprított paradicsomot 30 percig 60°C-on kezeltük, a meleg áttörés (továbbiakban HBE – Hot Break Extraction) alatt 90°C-on kezeltük a mintát 15 percig. A HBE során a fokozatosság elérésének érdekében, a feldolgozásra szánt aprított alapanyag egy részét előmelegítettük, majd ezt visszavezettük a feldolgozás alatt álló paradicsom termékre. Ennek a folyamatnak köszönhetően értük el a kíméletes és fokozatos hőkezelést.

A melegítés folyamatát követően egy forgó hengeres szűrő segítségével választottuk el a magokat és héjat tartalmazó paradicsom törkölyt az extraktumtól. A C-vitamin mérésére szánt mintákat frissen szállítottuk a Szent István Egyetem Mezőgazdasági Karának RET analitikai laboratóriumába (Gödöllő). A karotinoid és tokoferol mérésére szánt minták, műanyag tárolóban kerültek lefagyasztásra és -20°C-on tárolásra.

Továbbá szárazanyag tartalom méréshez, mintánkként 2 g frissen feldolgozott lé és törköly kimérésére volt szükséges (17. ábra), melyre a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem Kémia Tanszék laboratóriumában (Gödöllő) került sor.



17. ábra: Szárazanyag tartalom mérésére előkészített minták

## 4.7 Vegyszerek

Az elemzésekhez használt analitikai minőségű oldószerek és vegyszerek, valamint a HPLC-MS minőségű szerves oldószer a VWR-től (Debrecen, Magyarország) kerültek beszerzésre. Az alkalmazott standardok - zeaxanthin 95%,  $\beta$ -karotin 93%, 8-  $\beta$ -apo-karotin 96%, D- $\alpha$ -tokoferol 95,5 % ( $\alpha$ -T),  $\gamma$ -tokoferol 96% ( $\gamma$ -T), D- $\alpha$ -tokoferol-acetát 96% ( $\alpha$ -TES) és  $\beta$ -tokoferol 50 mg/ml ( $\beta$ -T) - a Sigma-Aldrich cégtől származnak melyeket a Merck Kft.-n keresztül (Budapest, Magyarország) rendeltünk. Az  $\alpha$ -tokoferol-kvinont ( $\alpha$ -TQ) és redukált formáját ( $\alpha$ -TQH<sub>2</sub>) a standard  $\alpha$ -T-ből állítottuk elő FeCl<sub>3</sub>-mal végzett oxidációval, majd NaBH<sub>4</sub>-gyel végzett etanolos redukcióval (Kruk et al., 2008).

## 4.8 Fitonutriensek extrakciója

### 4.8.1 Karotinoid és tokoferol extrakció

A rendelkezésünkre álló friss mintákból minden ismétlésből 5 g-ot mértünk ki. A paradicsomlé esetében 10 g minta szolgált kiindulásképp. A mintákat 1 g kvarchomokkal porcelán mozsárban erőteljesen dörzsöltük, majd 20 ml analitikai tisztaságú metanol hozzáadása után folytattuk a mozsaralást. Az ülepedést követően a felülúszó folyadékot dekantáltuk Erlenmeyer lombikba. Ezt követően a már homogén mintát 1:5 arányú 60 ml analitikai tisztaságú metanol: 1,2-diklóretán eleggyel, kis szakaszokban öntöttük fel és mozsaraltuk tovább, oly módon, hogy a folyamatosan keletkező felülúszót mindig dekantáltuk az Erlenmeyer lombikba. Az utolsó 10 ml eleggyel a mozsár falán esetlegesen feltapadt színanyagot mostuk le az adott minta lombikjába, ezzel biztosítva a kinyert színanyagok maradéktalan gyűjtését. A lombikban lévő mintához 1 ml

desztillált vizet juttatunk, a poláris és apoláris részek elválasztásának céljára. Az erős mechanikai rázást követően, a mintákat választó tölcserbe helyeztük, így az apoláris fázis, amivel tovább kívántunk dolgozni, a tölcser aljára kerülve, könnyen elvált a poláris fázistól. Az alsó frakciót lassan csöpögtetve 389-es (84 g/m<sup>3</sup>, 90 mm átmérőjű) típusú szűrőpapírra helyezett vízmentes nátrium-szulfáton (Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) keresztül szűrtük gömblombikba. Így a minta bepárlása lehetővé vált, melyet rotadesztilláló készülék segítségével az alábbi paraméterek mellett végeztünk: vízhőmérséklet: 40 °C, rpm: 70, végső nyomás: 70 bar (18. ábra). A lombikban maradt színyanyagot végül 10 ml HPLC tisztaságú acetonban oldottuk vissza. Az így keletkező extraktumot 0,45 µm teflon (PTFE) fecskendőszűrőn keresztül HPLC fiolába szűrtük át, és zártuk.



**18. ábra:** *Minta bepárlása rotadesztilláló készülékkel*

#### **4.8.2 C-vitamin extrakció**

Az aszkorbinsav meghatározásához a kontrollként kezelt frissen betakarított paradicsom bogyókat rozsdamentes acél késsel vágunk apró darabokra, majd 10 g mintát azonnal 3% metafoszforsavval extrahálunk. A feldolgozott mintáknál, mind a zöldséglé, mind a törköly esetében 5-10g mintát mértünk be, melyeket mozsárban kvarc homok hozzáadásával dolgoztunk fel 30-50 ml 3%-os metafoszforsav segítségével. Az elegyet áthelyeztük dugóval rendelkező Erlenmeyer-lombikba és 15 percig rázópadra helyeztük. A keletkezett felülúszót Hahnemüehle DF 400-125 szűrőpapíron engedték át. A HPLC oszlopra való injektálást megelőzően a szűrletet Whatman 0,22 µm-os cellulóz-acetát fecskendőszűrőn tisztítottuk meg.

## 4.9 HPLC mérési paraméterek

A táplálkozástudományi szempontból fontos, nem illékony komponensek meghatározásához, fordított fázisú kromatográfiát (RP-HPLC) alkalmazunk, melynek álló fázisa apoláros töltetű, míg mozgó fázisa poláros. A nagy mechanikai stabilitás érdekében az állófázis esetében többnyire módosított szilikagélt alkalmaznak (szilikagél felülete -C6, -C8, -C18, -fenil, csoporttal módosítva). Szilikagél állófázis alkalmazása esetén fokozottan figyelni kell a mozgó fázis kémhatására, az nem haladhatja meg a 8-9 pH értéket. Erősen lúgos közegben ugyanis elérhetjük a szilikagél oldhatósági értékét.

A karotinoidokat és a tokoferolokat Hitachi Chromaster HPLC készülék segítségével detektáltuk, amely egy 5110-es jelzésű szivattyúból, egy 5430-as modell dióda-érzékelőből, valamint egy 5440-es típusú fluoreszcencia detektorból áll össze. Az elkülönítést és az adatfeldolgozást az EZChrom Elite szoftver működtette. A karotinoid vegyületeket 195 és 700 nm között detektáltuk. A mérést C-30 magú, 150 x 4,6 mm, 2,6  $\mu\text{m}$  (Thermo Scientific, USA) oszloppal, és (A) terc-butil-metil-éter (TBME) illetve (B) 98% -os metanolos gradiens elúciójának alkalmazásával valósítottuk meg. Az elúció 100% B-vel kezdődött, 23 perc alatt B-ben 30% A-ra változott, ami 5 percig izokratikus maradt, 3 perc alatt 100% B-re fordult, majd 4 percig izokratikus maradt. A karotinoidok kvantitatív meghatározásához minden vegyületet integráltunk a maximális abszorpciós hullámhosszon, amelyet a diódasor-detektor spektrumelemző kijelzője szolgáltatott. Ezeknek a karotinoidoknak mennyiségi meghatározásához és azonosításához standard anyagokat, például all-transz-likopint,  $\beta$ -karotint, luteint,  $\beta$ -kriptoxantint alkalmaztunk. A csúcsokat spektrális jellemzőik és retenciós idejük összehasonlítása alapján a rendelkezésre álló standard anyagok, például lutein,  $\beta$ -karotin és likopin, valamint az irodalmi adatok alapján határoztuk meg (Rodriguez-Amaya, 2001; Lee et.al., 2001; Lin és Chen, 2003; De Faria et. al., 2009).

A C-vitamin (L-aszorbinsav) elválasztása során az aqua Nucleosil Natutilus (Machary Nagel, Düren, Németország), 3  $\mu\text{l}$ , 150 x 4.6 mm-es oszlopot alkalmaztuk. A mérés során (A) acetonitril és 0,01M  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  (B) gradiens elúcióját alkalmaztuk. Az elválasztás 2% A-val kezdődött B-ben, majd 15 perc alatt ez az érték 30% - ra növekedett, ami 5 percig izokratikus maradt, végül 5 perc alatt a kezdeti állapotra állt vissza a rendszer.

#### **4.10 HPLC-DAD-MS/MS mérési paraméterek karotinoid származékok azonosításához**

A karotinoidok HPLC-vel történt elválasztását és azonosításuk helyességét LC-MS módszer segítségével tehetjük teljes mértékben bizonyossá. Az LC-MS segítségével történő azonosítás során a protonált ion tömeget ( $m/z$ ) határozzuk meg, ennek segítségével a karotinokat és származékaikat a fragment ionjaik alapján képesek vagyunk megkülönböztetni, és azonosítani. Minden karotinnak jellegzetes fragment mintázata van, jellemzően a végzáró ion tér el egymástól. Az eltérő fragmentek alapján könnyedén elkülöníthető egymástól a likopin és a  $\beta$ -karotin is.

Az oxigén csoportot tartalmazó xantofilek az alapszerkezet tömegénél nehezebbek, mint például azt a lutein és a likoxantin esetén is láthatjuk.

A karotinoidok hidroxil, vagy epoxid csoporttal rendelkező elemei is eltérő molekulasúllyal rendelkeznek, a hidroxil csoportot tartalmazóak jellemzően +17, az epoxid származékok +16 értékkel nagyobb molekula súlyúak. A hidroxil csoporttal rendelkező karotin fragmentálása során víz molekula lép ki, ez a vízvesztés bizonyítja a hidroxil csoport meglétét. A maradványtömeg pedig megmutatja, pontosan hány hidroxil csoportot tartalmazott az adott molekula.

A cisz izomerekre jellemző volt egy extra abszorpciós maximum megjelenése 340 és 362 nm között, valamint a Q-arány értéke (Aman et.al., 2005; Lin és Chen, 2003).

A karotinoidokat C-30 típusú, 2,6  $\mu$ , 150 x 4,6 mm-es oszlopon (Accucore, Thermo-Scientific, USA) választottuk el gradiens eluálással, a következő paraméterek mellett: (A): 2% víz metanolban (B): terc-butil-metil-éter. Az eluálás 97% A-val és 3% B-vel kezdődött, 25 perc alatt a B csatorna arányában 35% -ra emelkedett, ezt követően 5 percig izokratikus maradt, majd 5 perc alatt 97% A-ra és 3% B% -ra állt vissza az arány. Az áramlási sebesség 0,6 ml / perc volt. A karotinoidokat diódasoros detektorral 190 és 700 nm között detektáltuk.

Az MS / MS detektálás során és az ESI forrásparaméterek optimalizálásához all-trans  $\beta$ -karotin standardot használtuk. Valamennyi mérést pozitív ionizációs üzemmóddal hajtottuk végre, a következő beállításokkal:

- kapilláris feszültség: 1,5 kV
- porlasztó gáz nyomása: 7 bar
- elhagyási hőmérséklet: 400 ° C
- kúpos gázáram: 200 L / h
- gázáram: 800 L / h
- forrás hőmérséklet: 150 ° C

Mivel a mérés során számos különféle ismeretlen vegyület detektálása volt várható, kúp feszültség-rámpát alkalmaztunk 30 és 75 V között, ahol a gradiens 0,15 V / Da volt.

A kvadrupolok egységfelbontásra lettek beállítva, míg az ütközés során az argont 5,0-t alkalmaztuk 0,15 ml / perc sebességgel. Az ütközési energia beállításához rámpát alkalmaztunk 5 és 60 eV között, a gradiens 0,061 V / Da volt. A lágy átviteli mód szerepe az volt, hogy csökkentse a forráson belüli fragmentációs hatások lehetőségét az első kvadrupol előtt.

A minták HPLC-vel történő elválasztását és DAD detektorral történő detektálását követően (10  $\mu$ l / perc metanol, 1%-os hangyasav tartalommal), fecskendőpumpával történő injektálással juttattuk a tömegspektrométer ESI-forrása felé az (M + H) + ionok képződésének fokozása érdekében. A legtöbb karotinoid M + ion formátumú, így az (M + H) + ion forma esetén további megerősítésre van szükség a karotinoidok anyaiion tömegére. Az anyaiion azonosításához az MS 2-vizsgálatot 5–30 percig végeztük 500-650 m/z tartományban. Az ismeretlen vegyületek meghatározásához ütközési energia rámpa alkalmazásával fragmentáltunk. Az ismeretlen 'A' vegyület esetében 19,68 perc 598,4 m/z-nél eluálva, az ismeretlen 'B' vegyületet 17,38 perc 567,4 m/z -nél eluálva és ismeretlen 'C' vegyületnél, 11,776 perc 611 m/z-nél eluálva, fragmentálva kaptuk a termékion-spektrumokat.

A kvantitatív meghatározást az egyes csúcsterületek integrálásával végeztük a DAD által biztosított maximális abszorpciós hullámhosszon, és azt a belső standard 8- $\alpha$ - $\beta$ -karotinoidhoz viszonyítottuk, amelyet az extrakció előtt ismert koncentrációban a mintákhoz fűztünk. Ezen kívül a rendelkezésre álló standard luteint,  $\beta$ -karotint és az összes transz-likopint használtuk külső standardként.

#### **4.11 Statisztikai analízis**

A statisztikai elemzéshez az IBM SPSS statisztikai programot használtunk az átlagérték  $\pm$  szórás meghatározására. A mérési adatok összehasonlítása során egytényezős varianciaanalízist (ANOVA), majd Tukey post-hoc tesztet alkalmaztam.

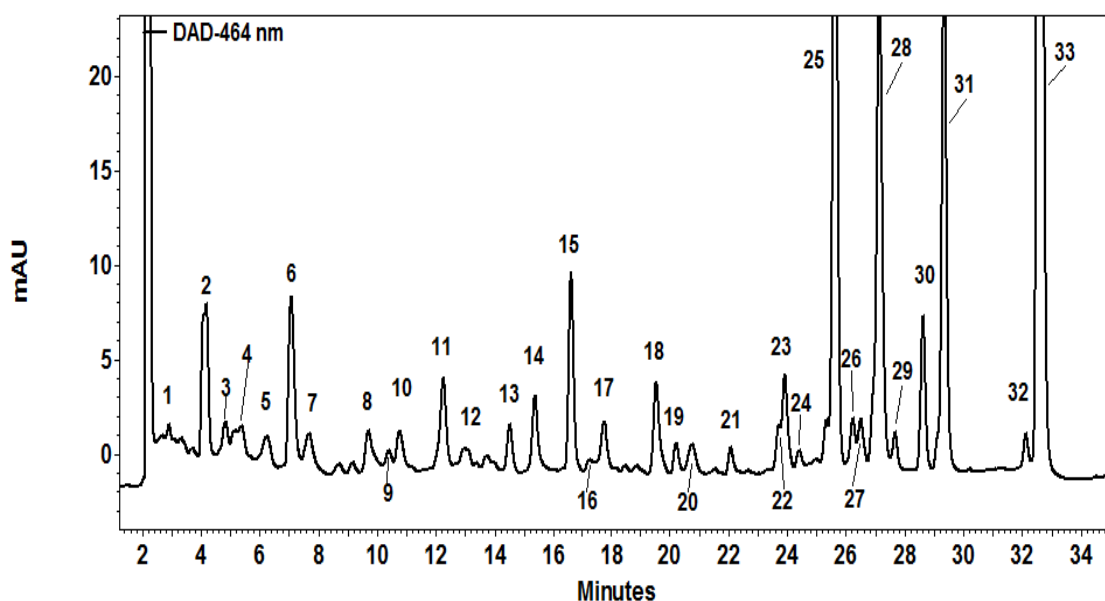
## 5. Eredmények és megvitatása

### 5.1 A fitonutriensek vizsgálatának fejlesztése

#### 5.1.1 Karotinoidok elválasztása és azonosítása

A munkában fejlesztett LC/MS módszer 35 perc alatt kiválóan elválasztotta és azonosította a fő karotinoidokat, illetve azok geometriai izomerjeit és származékait. A minták kromatográfiás profilja öt likopin geometriai izomert, 2  $\beta$ -karotin izomert és ezen karotinoidok több mono-, és di-epoxidjait választotta el egymástól (19. ábra és 5. és 6. táblázatok).

Mint azt a módszer leírásánál említettem, a karotinoidok HPLC-vel történt elválasztását és azonosításuk helyességét LC-MS módszer segítségével ellenőriztük vissza. Az azonosítás során a protonált ion tömeget határozzuk meg, ennek segítségével tudjuk megkülönböztetni egymástól a karotinokat és származékaikat a fragment ionjaik alapján.



**19. ábra:** *Friss paradicsom termés karotinoid típusú vegyületek HPLC profilja 460 nm-en.*

A komponensek azonosítása: 1. 13-cis-violaxantin, 2. lutein, 3.  $\beta$ -kriptoxantin epoxid, 4. cis-luteokrom, 5. klorofill B, 6. Z- $\beta$ -karotin diepoxid, 7. Z-cis- $\beta$ -karotin diepoxid, 8. 5-cis- $\beta$ -kriptoxantin, 9.  $\alpha$ -kriptoxantin, 10. 9Z- $\gamma$ -karotin epoxid, 11. di-OH- ciklolikopin -addukt, 12.  $\beta$ -kriptoxantin, 13. 9-Z-mutatokrom, 14. cis-neurosporin epoxid, 15. mutatokrom, 16.  $\beta$ -karotin epoxid, 17. Z-likopin epoxid, 18. klorofill A, 19. tetra-dehidro- $\gamma$ -karotin, 20. dimetoxi likopin, 21. pheophytin A, 22. 13Z-  $\beta$ -karotin, 23. likoxantin, 24.  $\alpha$ -karotin, 25.  $\beta$ -karotin, 26. di-Z- likopin, 27. 13'Z-likopin, 28. 13Z likopin, 29. neurosporin, 30.  $\gamma$ -karotin, 31. 9Z likopin, 32. 5Z-likopin, 33 all-trans likopin



Az oxigén csoportot tartalmazó xantofilek az alapszerkezet tömegénél nehezebbek, mint például azt a lutein és a likoxantin esetén is láthatjuk.

A karotinoidok hidroxil, vagy epoxid csoporttal rendelkező elemei is eltérő molekulásúllyal rendelkeznek, a hidroxil csoportot tartalmazók jellemzően +17, az epoxid származékok +16 értékkel nagyobb molekula súlyúak. A hidroxil csoporttal rendelkező karotin fragmentálása során víz molekula lép ki, ez a vízvesztés bizonyítja a hidroxil csoport meglétét. A maradványtömeg pedig megmutatja, pontosan hány hidroxil csoportot tartalmazott az adott molekula.

A HPLC-MS/MS módszer segítségével szokatlan karotinoid típusú vegyületeket detektáltunk, mind friss mind feldolgozott mintákban. A totál (molekuláris) ion, illetve a fragment ionok  $[M$  és  $M+H]^+$  tanulmányozása alapján a dihidroxi ciklolikopin adduktot és a dimetoxi likopint először azonosítottunk paradicsom termékekben (Daood et al., 2021), ezek az ionok kiemelve szerepelnek az 5. és 6. táblázatokban. A  $\gamma$ -karotin, a likoxantin, illetve fitoén és fitofluén is hatékonyan detektálhatóak voltak minden mintában. Salomon és munkatársai (2020) ugyanezt a típusú C30 - as oszlopot használták mérésük során, azonban eltérő gradienselúcióval, így csak a fő poláris, illetve kevésbé poláris karotinoidokat választották el a vizsgált paradicsomtermékek vizsgálatakor LC-DAD protokoll alkalmazásával.

**5. táblázat:** *A karotinoidok tulajdonságai és spektrális jellemzői HPLC-DAD méréssel, C-30 töltetű oszlopon, TBME gradiens elúciójával 2% víz metanolban.*

No.	Karotinoidok	Rt	Rf	Max. abszorbancia $\lambda$				TPN (N)	R
1	13-Cis-violaxanthin	2.91	0.31	343	404	427	464	1833	1.51
2	Lutein	4.18	0.87		421	444	472	3786	2.92
3	$\beta$ -kryptoxanthin epoxid	5.39	1.42		420	440	468	6295	1.82
4	cis-luteochrom	6.28	1.82		411	435	460	8553	4.06
5	Chlorophyll b	7.08	2.17		462	655		10870	0.90
6	Z- $\beta$ -karotin diepoxid	7.69	2.45	343	416	436	463	12792	0.90
7	Z-cis- $\beta$ -karotin diepoxid	9.71	3.35	343	410	434	462	20426	1.61
8	5-cis- $\beta$ -kryptoxanthin	10.3	3.65	345	423	450	475	23288	1.52
9	$\alpha$ -kryptoxanthin	10.83	3.86		419	446	472	24993	1.41
10	9Z- $\gamma$ -karotin epoxid	11.23	4.13	341	429	454	485	25062	1,61
11	<b>di-OH- ciklo likopin -adduct</b>	11.73	4.52		430	455	490	26964	1.31
12	$\beta$ -kryptoxanthin	12,93	4.79		425	451	476	36207	1.11
13	9-Z-mutatochrom	14.54	5.52	342	406	429	457	45754	2.07
14	cis-neurosporin epoxid	15.38	5.90	344	410	434	461	51205	0.90
15	Mutatochrom	16.63	6.46	343	412	434	461	59881	2.00
16	$\beta$ -karotin epoxid	17,20	6.71		422	451	476	64079	0.81
17	Z-likopin epoxid	20.75	6.95	344,358	430	457	494	68013	0.80
18	Chlorophyll a	17.72	7.76		430	656		82684	0.70
19	tetra-dehydro- $\gamma$ -karotin	20.25	8.31		440	471	502	93269	1.09
20	<b>dimethoxy likopin</b>	19.54	8.90		430	455	490	98235	1.03
21	pheophytin a	7.221	9.24		409	665		107081	2.09
22	13Z- $\beta$ -karotin	23.68	9.62	345	417	443	473	121458	1.01

23	Likoxantin	23.93	9.73		443	470	502	124233	0.7
24	$\alpha$ -karotin	24.41	9.95		417	443	474	129431	0.90
25	$\beta$ -karotin	25.62	10.49		423	452	478	142063	0.91
26	di-Z- likopin	26.22	10.76	342,357	445	471	492	148843	1.00
27	13'Z-likopin	26.50	10.90	344,358	442	468	497	151534	1.04
28	13Z likopin	27.15	11.17	344,358	441	464	494	164896	1.01
29	neurosporin	27.67	11.41		419	440	469	165896	1.01
30	$\gamma$ -karotin	28.60	11.83		436	460	491	177220	1.03
31	9Z likopin	29.36	12.16	342,361	441	466	496	188419	0.91
32	5Z-likopin	32.10	13.40		440	469	498	223160	1.07
33	All-trans likopin	32.63	13.64		445	472	503	229558	-

Rt= retenciósi idő (min), Rf= retenciósi faktor, TPN= Theoretical Plate Number, R= Resolution

**6. táblázat: Friss paradicsomból kivont HPLC-MS/MS protokollal meghatározott karotinoidok molekuláris, protonált és fragment (töredék) ionjai.**

Karotinoidok	[M] <sup>+</sup>	[M+H] <sup>+</sup>	Fragment ionok									
13-Cis-violaxanthin	600.4	601.4	583.6	565.5	509.5	309.8	221.2	205.1	182.9	142.1	128.1	73.0
Lutein	568.2	569.2	551.2	533.1	476.2	430.1	413.1	338.2	197.1	175.2	145.3	119.2
Z- $\beta$ -kriptoxantin epoxid	567.4	568.4	549.9	535.5	476.2	345.0	267.1	209.1	183.1	177.1	140.9	72.7
cis-luteochrom	567.3	568.4	549.8	499.6	475.8	457.1	398.9	281.0	221.2	205.2	155.4	72.9
$\beta$ - kriptoxantin epoxid	567.4	568.4	499.4	269.0	267.1	255.1	241.1	209.1	183.1	177.1	140.9	73.0
Z- $\beta$ -karotin diepoxid	567.4	568.4	499.3	445.1	351.3	309.2	281.1	267.1	254.8	243.0	177.1	73.0
Z- $\beta$ -karotin diepoxid	567.4	568.4	500.1	445.1	351.2	309.2	281.1	267.1	254.8	243.0	177.1	73.0
$\alpha$ - kriptoxantin	552.4	553.4	535.2	479.2	471.3	447.1	429.2	281.1	267.1	209.1	176.9	119.3
9Z- $\gamma$ -karotin epoxid	552.4	553.4	484.2	444.4	429.2	281.0	267.0	254.6	221.2	205.2	176.8	72.9
<b>di-OH-ciklolikopin addukt</b>	610.2	611.2	575.1	501.2	444.2	337.2	319.2	313.2	379.3	263.2	245.2	239.1
$\beta$ - kriptoxantin	552.5	553.4	535.4	444.4	430.4	281.1	267.1	254.8	243.0	209.1	176.9	119.4
9Z-mutatochrom	552.4	553.4	472.3	460.3	335.1	267.1	254.8	209.1	221.2	177.1	205.3	72.9
Z-neurosporin hidroxid	554.5	555.6	538.3	485.8	450.1	446.4	401.1	269.1	267.1	250.9	209.1	137.2
Mutatochrom	552.4	553.4	471.6	460.2	447.1	335.1	267.1	254.8	221.3	205.1	165.1	72.7
$\beta$ -karotin epoxid	552.4	553.4	484.2	495.3	351.2	336.2	221.1	205.3	141.3	123.2	81.3	72.9
Z-likopin epoxid	552.4	553.3	537.1	472.1	461.1	446.8	377.3	251.3	233.6	209.2	171.4	72.8
tetra-dehydro- $\gamma$ -karotin	532.2	533.3										
<b>dimethoxy likopin</b>	598.4	599.4	566.3	526.9	373.2	331.1	267.1	251.2	233.8	209.0	201.1	73.0
13Z- $\beta$ -karotin	552.4	553.4	444.2	429.2	398.9	269	267.2	254.6	243.0	209.1	177.1	119.1
Likoxantin	552.4	553.3	484.6	467	392	269.1	267.1	250.9	233.8	223.1	209.0	171.0
$\alpha$ -karotin	536.4	537.4	444.4	430.4	398.9	281.1	267.1	254.8	243.0	209.1	176.9	119.4
$\beta$ -karotin	536.4	537.4	444.2	429.2	398.9	281.0	267.0	254.6	243.0	209.1	176.8	119.3
di-9Z likopin	536.4	537.4										
13'Z-likopin	536.4	537.4										
13Z- likopin	536.4	537.4	467.3	444.5	411.1	387.3	375.3	281.3	269.1	267.1	209.0	171.0
neurosporin	538.4	539.4	469.8	446.1	401.3	377.2	283.3	271.1	269.1	253.0	147.1	137.3
$\gamma$ -karotin	536.4	537.4	468.1	444.4	429.2	281.0	267.0	254.6	243.0	209.2	176.8	119.3
9Z- likopin	536.4	537.4	467.4	444.5	431.2	387.3	375.2	281.3	269.1	267.1	209.0	171.0
5Z-likopin	536.4	537.4										
All-trans likopin	536.4	537.4	467.2	444.5	375.1	281.3	269.1	267.1	250.9	233.8	209.0	171.0

A fejlesztett módszert a visszanyerés (recovery), tökéletesség vagy pontosság (precision), koncentráció - csúcs terület közötti linearitás (linearity), detektálható határ (LOD) és kvantifikálás határ (LOQ) alapján validáltuk. Az eredményeket a 7. táblázat foglalja össze. Minden validálási paraméter megerősítette, a kidolgozott módszer megfelel a precíz, érzékeny és reprodukálható HPLC elválasztásnak és kvantitatív meghatározásnak.

**7. táblázat:** A karotinoidok HPLC - elválasztásának validálási paramétereit a Core C30 oszlopon, TBME gradienssel és 2% -os metanolos vízzel eluálva.

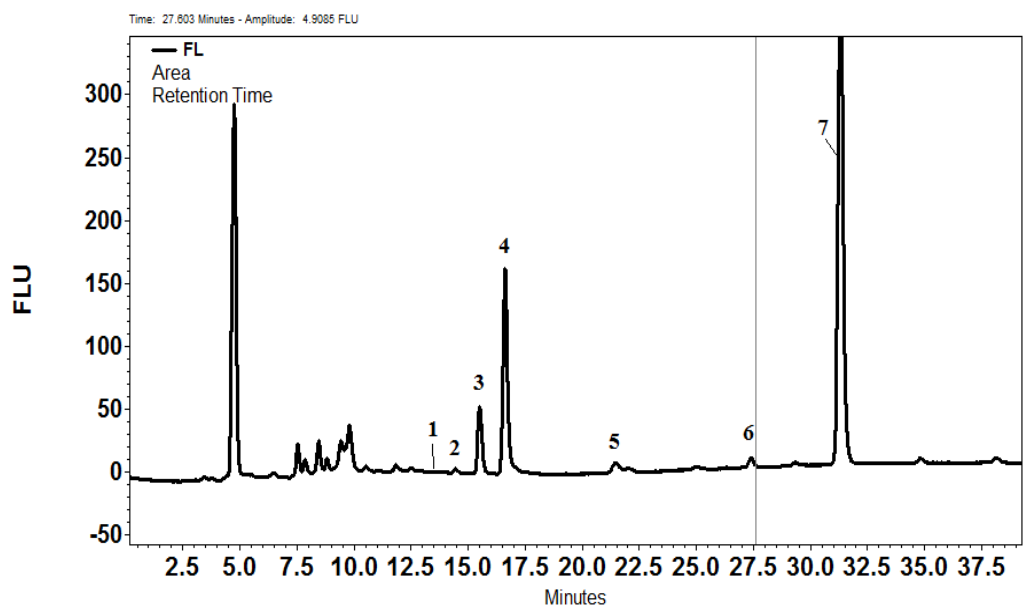
Karotinoidok	Detektálási határérték µg/ml		Pontos RSD%		Linearitás	
	LOD	LOQ	intra-day	inter-day	R <sup>2</sup>	egyenlet
Lutein	0.017	0.056	2.38	3.13	0.9999	y=1.0476x-0.1346
8-apo-karotinal	0.009	0.029	2.18	3.21	0.9974	Y=0.256x+0.845
β-karotin	0.008	0.031	4.45	6.86	0.9966	Y=0.2768x-0.0211
Likopin	0.014	0.046	1.81	4.16	0.9994	Y=8.43x-0.27
Karotinoidok	Visszanyerés					
	Kezdeti+20µg hozzáadott µg/g	found µg/g	%	Kezdeti+50µg hozzáadott µg/g	found µg/g	%
Lutein	1.3+20	21.27	99.9±0.14	1.3+50	51.24	99.8±0.2
8-apo-karotinal	0+50	48.9	97.8±1.78	0+250	239.05	95.6±2.7
β-karotin	9.8+50	58.01	97.0±0.95	9.8+100	106.88	97.2±2.3
Likopin	132+50	171.69	94.3±1.52	132+100	221.19	95.3±1.53

### 5.1.2 Tokoferolok meghatározása

A munka során nem hidrolizált kivonatokat vizsgáltunk, hogy az endogén vegyületek valódi összetételében bekövetkező változásokat nyomon követhessük. Az acetilezett tokoferolok jelenlétének megerősítésére a kivonatokat 30% -os kálium-hidroxid -oldattal, petróleum éterben 1 órán keresztül szappanosítottunk, hogy a különböző analógok molekuláin lévő észterrészeket hidrolizáljuk. A hidrolízis az α-tokoferol után eluált csúcsok eltűnéséhez és a szabad analógok csúcsterületeinek növekedéséhez vezetett.

A kimutatott tokoferolok közül az α-T, majd az α-TQH<sub>2</sub> és az α-TES volt a domináns (20. ábra). A mérések fókuszában a domináns α-T (a biológiailag aktív E-vitamin forma) és származékai álltak, amelyek biológiai és táplálkozásélettani szerepe igen jelentős. A telítetlen homológokat, tokotrienolokat nem sikerült kimutatni a paradicsom minták vizsgálata során. Ugyancsak nem

lehetett kimutatni a fluorometriásan inaktív  $\alpha$ -TQ-t UV-tartományában, ami arra utal, hogy bizonyos endogén hatások in vivo redukálják  $\alpha$ -TQH<sub>2</sub>-re az érési folyamat előrehaladtával.

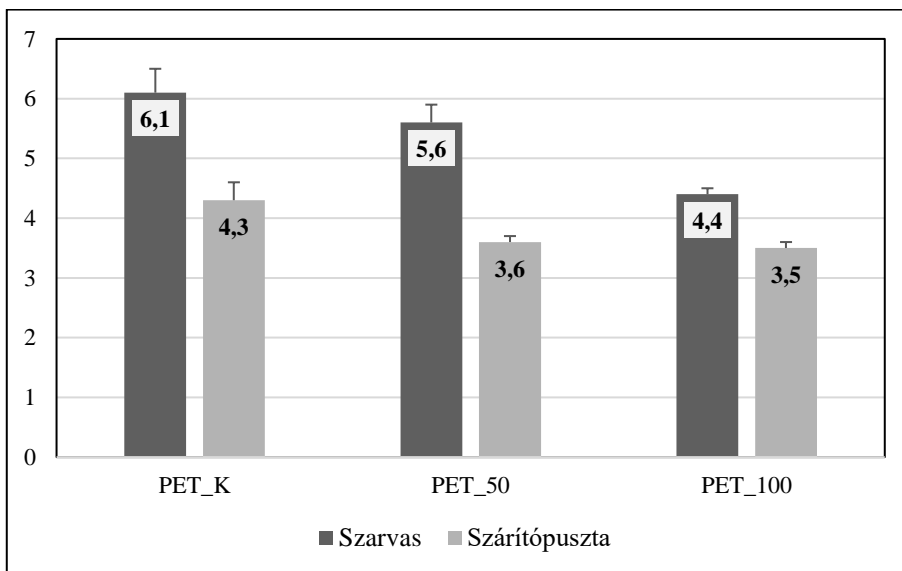


**20. ábra:** A paradicsom-tokoferolok HPLC profilja Nucleosil C18, 3 $\mu$ , 250 x 4,6 mm oszlopon elválasztva, metanol, 2-propanol, acetonitril (10:55:35) összetételű gradiens elúcióval, 7% -os vízben oldott metanolban. Az ábrán jelzett számok: 1:  $\gamma$ -tokoferol, 2:  $\beta$ -tokoferol, 3:  $\alpha$ -tokoferol-kvinon, 4:  $\alpha$ -tokoferol, 5:  $\gamma$ -tokoferol-észter, 6:  $\beta$ -tokoferol-észter, 7:  $\alpha$ -tokoferol-észter

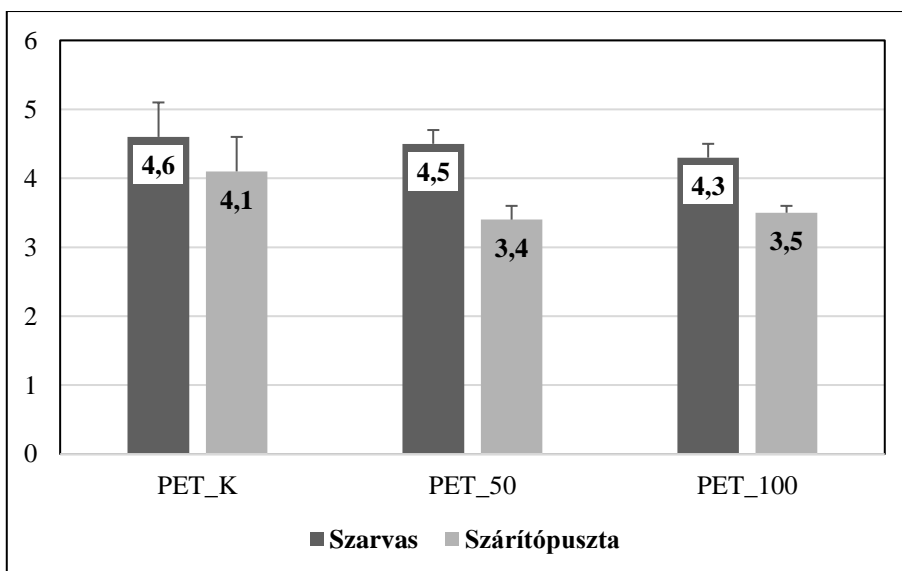
## 5.2 Oldható szárazanyag tartalom

A mérési eredmények alapján, egyértelműen elkülöníthetők egymástól a két tájegységen termesztett ipari paradicsom eredményei. Az oldható szárazanyag tartalom (°Brix) esetében mind a két év során a szarvasi minták bizonyultak magasabb értékűnek. Szarvason a talaj jobb víztartó kapacitása is a termesztés kedvezőbb feltételeit szolgálhatja, azonban ez a tulajdonság önmagában nem sokat javít, egy aszályosabb területen termesztett ipari paradicsomfajta vízigényének teljeskörű kielégítésében. Mind a két év során kevesebb csapadék esett Szarvason (2018-ban 126,9 mm 2019-ben 256,5 mm), legfőképp az intenzív bogyónövekedés, és bogyóérés időszakában, mint Szárítópusztán (3.táblázat). Ennek megfelelően a bogyók °Brix-a magasabb értékeket adott, a részletes adatokat az 5. és 6. mellékletekben foglaltam össze. Ezzel szemben Szárítópusztán jóval nagyobb mennyiségű csapadék volt jellemző a tenyészidőszak alatt, különösképpen a betakarítást megelőző hétben (3. táblázat). Mint azt már korábbi szakirodalmi adatok is alátámasztották, az oldható szárazanyag tartalom csökkenésében fokozott szerepe van a megnövekedett

vízellátottságnak (Helyes et. al.,1999). A °Brix értékek ennek megfelelően alacsonyabban alakultak a betakarított minták esetében, mint azt az 21. és 22. ábrák is mutatják. Ez azért is nagyon fontos mert a konzervgyárak az átvételi árat a °Brix-hoz is kötik. Általában az elvárás az 5-ös °Brix érték, e felett felárat, ez alatt pedig levonást alkalmaznak. Tehát a hektáronkénti termelési érték nem csupán a termésátlagtól, hanem a vízdoldható szárazanyag-tartalomtól is függ.



**21. ábra:** Helyszín és öntözővíz mennyiség hatása az UG 812 J ipari paradicsom hibrid °Brix-nak alakulására 2018-ban.



**22. ábra:** Helyszín és öntözővíz mennyiség hatása az UG 812 J ipari paradicsom hibrid °Brix-nak alakulására 2019-ben.

## 5.3 A paradicsom fitonutrienseinek alakulása az öntözési kísérletben

### 5.3.1 Karotinoid tartalom alakulása

Az eredmények azt mutatják, hogy a két év során, mind a szarvasi, mind a szárítópusztai minták esetében szoros összefüggés mutatkozott a karotintartalom, és a bogyóérés szempontjából leginkább fontos időszak alatt hullott csapadékmennyiség között. A 2019-es szezonban a betakarítást megelőző 3 hétben Szárítópusztán mintegy 23 mm csapadék esett, mely érték közel egy tizede mondható el a szarvasi csapadék mennyiségéről, amely 2,3 mm-et jelentett, ugyanezen időszakban. A 2019-es szárítópusztai kontroll minták likopin átlagaként 145  $\mu\text{g/g}$  mennyiséget mértünk, még ugyan ebben az évben a szarvasi minta átlaga 223  $\mu\text{g/g}$  -ot adott (9. táblázat). Ezek az adatok összhangban állnak a szakirodalmi adatokkal, ahol több kísérletben is alátámasztották, hogy nagyobb mértékű vízellátottság mellett, szignifikánsan csökkenő karotinoid szint mutatható ki (Liu et al. 2009). A 2018-as össz-karotinoid mennyiségek összehasonlítása esetén nem tapasztaltunk ekkora differenciát a két kísérleti terület mintái között. Ez esetben a szárítópusztai likopin mennyiség átlaga 232  $\mu\text{g/g}$  értéket adott, még a szarvasié 208  $\mu\text{g/g}$ -ot (8. táblázat). Bár Szárítópusztán jóval nagyobb mértékű csapadékmennyiség hullott ebben a szezonban is, azonban az össz-karotinoid mennyiségének alakulásában nagy szerepet játszhatott, hogy a bogyófejlődés és bogyóérés időszakán kívül hullott ezen csapadék jelentős hányada (megközelítően 80-90%). Vagyis a paradicsom fejlődésének legmeghatározóbb időszaka száraznak mondható. Az esővízen túl a további öntözés, a totál karotinoid koncentráció csökkenését eredményezte, ezen belül is a legjelentősebb a likopin és származékainak csökkenése, amit a 8. és 9. táblázat mutat be részletesen.

**8. táblázat:** *Ipari paradicsom karotinoid összetétele, azok mennyiségi alakulása az öntözés függvényében a 2018-as termesztési kísérletben.*

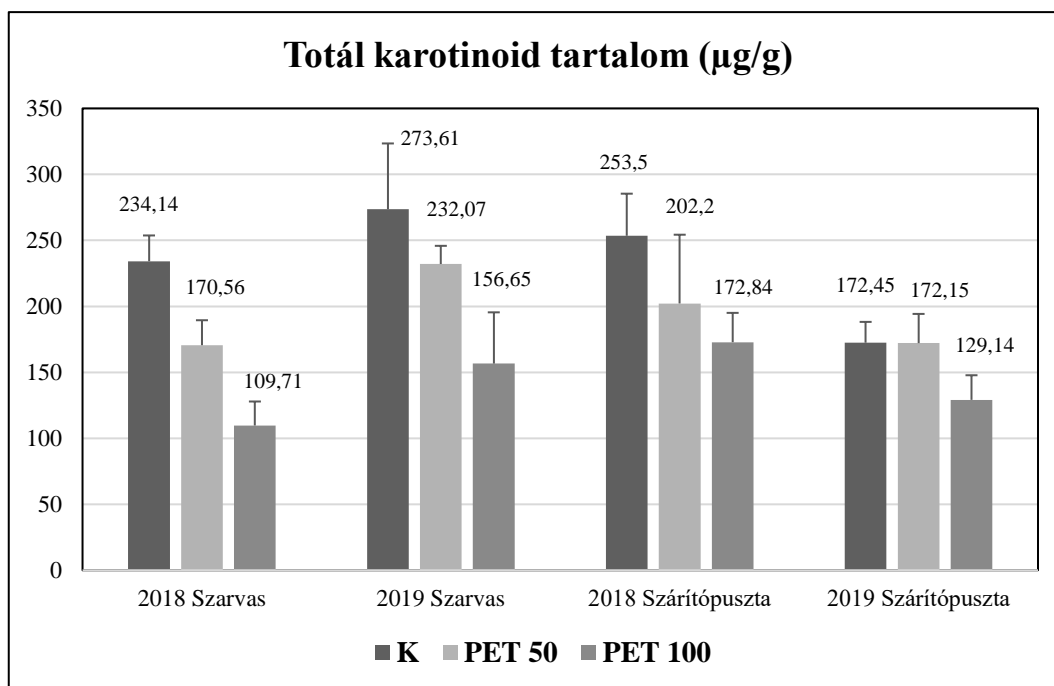
Karotinoidok	2018_Ipari paradicsom öntözés		
	Kontroll	PET_50	PET_100
<b>Szárítópuszta</b>			
likopin	232,45 ± 36,08	181,87 ± 50,99	149,5 ± 23,87
Z-likopin9	1,24 ± 0,49	1,21 ± 0,47	1,34 ± 0,26
γ-karotin	1,29 ± 0,33	1,04 ± 0,3	0,99 ± 0,19
Z-likopin13	3,01 ± 1,23	6,22 ± 3,74	3,6 ± 0,45
β-karotin	4,38 ± 1,6	3,87 ± 1,26	3,65 ± 1,17
likoxantin	5,13 ± 2,23	4,44 ± 1,39	3,54 ± 0,62
Z-likopin-dimetoxid	1,79 ± 0,36	1,28 ± 0,55	1,5 ± 0,13
Z-likopin-diepoxid	0,66 ± 0,12	0,42 ± 0,15	0,49 ± 0,08
Z-β-karotin epoxid	3,44 ± 0,82	1,83 ± 0,19	2,62 ± 0,44
Z-β-karotin diepoxid	0,97 ± 0,2	0,74 ± 0,24	0,96 ± 0,02
Z'-β-karotin diepoxid	0,95 ± 0,21	0,65 ± 0,15	0,9 ± 0,13
lutein	1,33 ± 0,26	0,82 ± 0,26	0,89 ± 0,25
Fitoin	7,71 ± 3,07	6,66 ± 2,22	5,81 ± 0,93
OH-fitoin	1,44 ± 0,51	1,51 ± 0,4	1,08 ± 0,26
Fitofluén	4,22 ± 1,35	3,66 ± 1,37	3,04 ± 0,42
<b>Szarvas</b>			
likopin	208,23 ± 19,78	146,48 ± 16,61	92,59 ± 15,77
Z-likopin9	0,9 ± 0,47	0,79 ± 0,16	0,48 ± 0,17
γ-karotin	1,06 ± 0,13	0,64 ± 0,07	0,67 ± 0,19
Z-likopin13	4,11 ± 1,42	4,87 ± 0,96	1,34 ± 0,38
β-karotin	3,5 ± 0,91	2,81 ± 0,2	2,71 ± 0,67
likoxantin	7,53 ± 0,35	4,96 ± 0,9	2,17 ± 0,41
Z-likopin-dimetoxid	2,1 ± 0,23	1,35 ± 0,1	0,93 ± 0,63
Z-likopin-diepoxid	0,79 ± 0,08	0,16 ± 0,02	0,38 ± 0,25
Z-β-karotin epoxid	4,21 ± 0,26	2,8 ± 0,15	2,82 ± 0,18
Z-β-karotin diepoxid	1,37 ± 0,14	1,05 ± 0,21	0,66 ± 0,36
Z'-β-karotin diepoxid	1,29 ± 0,22	0,7 ± 0,08	0,5 ± 0,34
lutein	1,46 ± 0,27	1,33 ± 0,51	1,11 ± 0,23
Fitoin	6,79 ± 0,17	5,8 ± 1,41	3,75 ± 1,08
OH-fitoin	1,78 ± 0,52	1,49 ± 0,19	1,01 ± 0,22
Fitofluén	4,21 ± 0,33	3,64 ± 0,83	2,39 ± 0,56

**9. táblázat:** Ipari paradicsom karotinoid összetétele, azok mennyiségi alakulása az öntözés függvényében a 2019-es termesztési kísérletben.

Karotinoidok	2019_Ipari paradicsom öntözés		
	Kontroll	PET_50	PET_100
<b>Szárítópuszta</b>			
likopin	145,36 ± 8,32	140,75 ± 20,59	101,08 ± 17,31
Z-likopin9	2,72 ± 0,42	2,38 ± 0,49	1,47 ± 0,61
γ-karotin	1,28 ± 0,08	1,43 ± 0,29	1,16 ± 0,15
Z-likopin13	4,46 ± 0,50	6,75 ± 1,55	5,59 ± 0,75
β-karotin	6,25 ± 0,61	7,80 ± 1,10	6,68 ± 1,30
likoxantin	2,91 ± 0,05	2,79 ± 0,24	2,32 ± 0,39
Z-likopin-dimetoxid	2,07 ± 0,12	2,03 ± 0,27	1,81 ± 0,27
Z-likopin-diepoxid	1,11 ± 0,23	0,88 ± 0,35	0,41 ± 0,16
Z-β-karotin epoxid	4,72 ± 0,70	4,66 ± 0,75	4,29 ± 0,86
Z-β-karotin diepoxid	1,59 ± 0,22	1,57 ± 0,26	1,39 ± 0,27
Z'-β-karotin diepoxid	1,42 ± 0,11	1,41 ± 0,19	1,28 ± 0,27
lutein	1,19 ± 0,22	1,66 ± 0,74	1,61 ± 0,53
Fitoin	7,32 ± 0,82	7,98 ± 0,90	6,13 ± 0,70
Fitofluén	3,83 ± 0,70	4,23 ± 0,32	3,12 ± 0,18
<b>Szarvas</b>			
likopin	223,01 ± 27,41	207,18 ± 14,38	123,66 ± 32,14
Z-likopin9	1,44 ± 0,06	1,65 ± 0,33	0,58 ± 0,08
γ-karotin	1,46 ± 0,16	1,46 ± 0,06	1,00 ± 0,18
Z-likopin13	5,52 ± 1,74	6,13 ± 1,22	6,79 ± 2,94
β-karotin	5,40 ± 0,52	6,10 ± 0,51	4,31 ± 0,33
likoxantin	6,65 ± 1,61	5,63 ± 0,08	3,79 ± 1,03
Z-likopin-dimetoxid	1,09 ± 0,30	1,12 ± 0,09	4,06 ± 0,61
Z-likopin-diepoxid	0,62 ± 0,17	0,66 ± 0,03	1,65 ± 0,30
Z-β-karotin epoxid	2,10 ± 0,59	2,17 ± 0,16	8,62 ± 1,20
Z-β-karotin diepoxid	0,66 ± 0,17	0,72 ± 0,05	2,84 ± 0,42
Z'-β-karotin diepoxid	0,56 ± 0,16	0,59 ± 0,01	2,36 ± 0,25
lutein	1,90 ± 0,17	1,80 ± 0,14	1,31 ± 0,12
Fitoin	8,56 ± 2,35	7,87 ± 0,85	5,20 ± 0,86
Fitofluén	3,79 ± 1,05	2,27 ± 0,31	2,29 ± 0,26



Jelentős csökkenés a PET 100 önzési csoport esetében tapasztalható, mind a két szezonalban, mind a 2 különböző termesztési helyszínen (23. ábra).



**23. ábra:** 2018-as és 2019-es szarvasi és szárítópusztai minták össz-karotinoid tartalmának összehasonlítása.

A totál karotinoid jelentős mennyiségi csökkenése alól kivételt képez a  $\beta$ -karotin, és származékainak mennyiségi változása. Ezen molekulák mennyisége a jelentős vízstressz hatására stagnáló vagy épp növekvő tendenciát mutatnak. A 2018-as szarvasi minták esetében a legjelentősebben csökkenő likopin szint mellett a  $\beta$ -karotin csökkenése, arányaiban jócskán elmarad tőle, 2019-ben pedig már emelkedés figyelhető meg nemcsak a  $\beta$ -karotin, de származékai esetében is (8. és 9. táblázat). A szárítópusztai minták esetében is hasonló jelenség tapasztalható. Ez arra enged következtetni, hogy a vízstressz befolyásolja az érés során a karotinoid szintézis folyamatát, mint azt Riggi et al. 2008-as tanulmányában is leírta, és végeredményben eltolhatja a likopin-  $\beta$ -karotin arányát a paradicsomban.

Ugyanakkor elmondható, hogy a nagyfokú vízstressz közvetett módon is befolyásolhatta a likopin és ezáltal a 23. ábrán bemutatott össz-karotinoid koncentrációt azáltal, hogy nagyobb gyümölcsöket indukált, melyek magasabb víztartalma hígító hatással volt ezen fitonutriensekre (Helyes et al. 2014).

### 5.3.2 Tokoferol tartalom alakulása

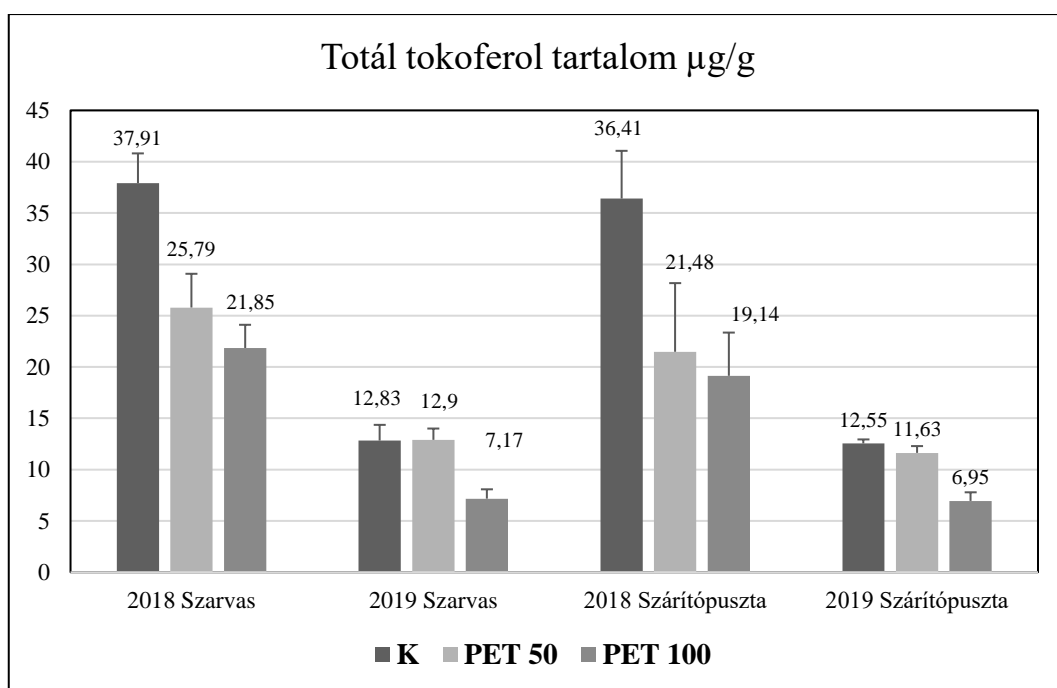
A két egymást követő év során vizsgált minták esetében is a fordított fázisú HPLC protokoll jó elválasztást biztosított a fő tokoferolok esetében (10. táblázat).

**10. táblázat:** *Ipari paradicsom karotinoid összetétele, azok mennyiségi alakulása az öntözés függvényében a 2018-as és 2019-es termesztési kísérletekben.*

Tokoferolok	Ipari paradicsom öntözés		
	Kontroll	PET_50	PET_100
<b>2018 Szárítópuszta</b>			
$\alpha$ -tokoferol	16,3 ± 1,5	9,9 ± 1,0	7,7 ± 1,6
$\alpha$ -tokoferol észter	17,0 ± 1,9	10,5 ± 1,4	5,8 ± 1,1
$\alpha$ -tokoferol kvinon	2,8 ± 0,7	7,5 ± 2,3	4,0 ± 0,8
$\gamma$ -tokoferol	0,1 ± 0,0	0,1 ± 0,0	0,1 ± 0,1
$\beta$ -tokoferol	0,3 ± 0,1	0,2 ± 0,2	0,3 ± 0,3
<b>2018 Szarvas</b>			
$\alpha$ -tokoferol	14,80 ± 1,1	10,60 ± 1,1	8,1 ± 1,3
$\alpha$ -tokoferol észter	15,7 ± 1,3	10,9 ± 0,7	8,5 ± 0,8
$\alpha$ -tokoferol kvinon	6,1 ± 0,6	5,8 ± 2,8	3,9 ± 1,6
$\gamma$ -tokoferol	0,1 ± 0,0	0,0 ± 0,0	0,1 ± 0,0
$\beta$ -tokoferol	1,1 ± 0,1	0,1 ± 0,0	0,3 ± 0,1
<b>2019 Szárítópuszta</b>			
$\alpha$ -tokoferol	3,9 ± 0,1	4,5 ± 0,3	1,8 ± 0,6
$\alpha$ -tokoferol észter	5,5 ± 0,3	5,6 ± 0,6	4,1 ± 0,6
$\alpha$ -tokoferol kvinon	2,7 ± 0,4	1,3 ± 0,2	1,1 ± 0,1
$\gamma$ -tokoferol	0,2 ± 0,0	0,1 ± 0,0	0,1 ± 0,1
$\beta$ -tokoferol	0,2 ± 0,0	0,1 ± 0,1	0,0 ± 0,0
<b>2019 Szarvas</b>			
$\alpha$ -tokoferol	4,5 ± 0,4	5,1 ± 0,5	1,6 ± 0,2
$\alpha$ -tokoferol észter	4,7 ± 1,2	4,9 ± 0,8	3,5 ± 0,3
$\alpha$ -tokoferol kvinon	3,3 ± 0,1	2,5 ± 0,1	1,8 ± 0,9
$\gamma$ -tokoferol	0,1 ± 0,0	0,1 ± 0,1	0,1 ± 0,2
$\beta$ -tokoferol	0,2 ± 0,0	0,3 ± 0,1	0,2 ± 0,0

A totál tokoferol mennyiségek összehasonlítása során megállapítható, hogy nemcsak a 2 különböző termesztési helyszín környezeti sajátosságai, hanem az eltérő évjáratok összetett hatásai is jelentősen befolyásolták az ipari paradicsom beltartalmi értékeinek alakulását. Az öntözési csoportoknál hasonló tendencia figyelhető meg a totál tokoferol mennyiségi változása során, mint a totál karotinoidok esetében. Az E-vitamin, észterei és oxidált származékai a 2018-as kísérleti évben jóval magasabb értéket (36.41-37.91  $\mu\text{g/g}$ ) értek el, mint 2019-ben (12.55-12,83  $\mu\text{g/g}$ ). A két terület között azonos évjáratban, azonban nem volt megfigyelhető jelentős különbség.

A mért értékek jelentős össz-tokoferol csökkenést mutatnak a PET 100 kezelés esetén, akár csak a karotinoid eredmények esetében. Összehasonlítva a 2 szezon eredményeit (24. ábra), 2018-ban már a PET 50 öntözési kezelésnél is megfigyelhető volt a szignifikáns csökkenés a kontroll csoporthoz képest, 2019-ben ez csak a PET 100 öntözési kezeléssel mondható el.



**24. ábra:** 2018-as és 2019-es szarvasi és szárítópusztai minták össz-tokoferol tartalmának összehasonlítása

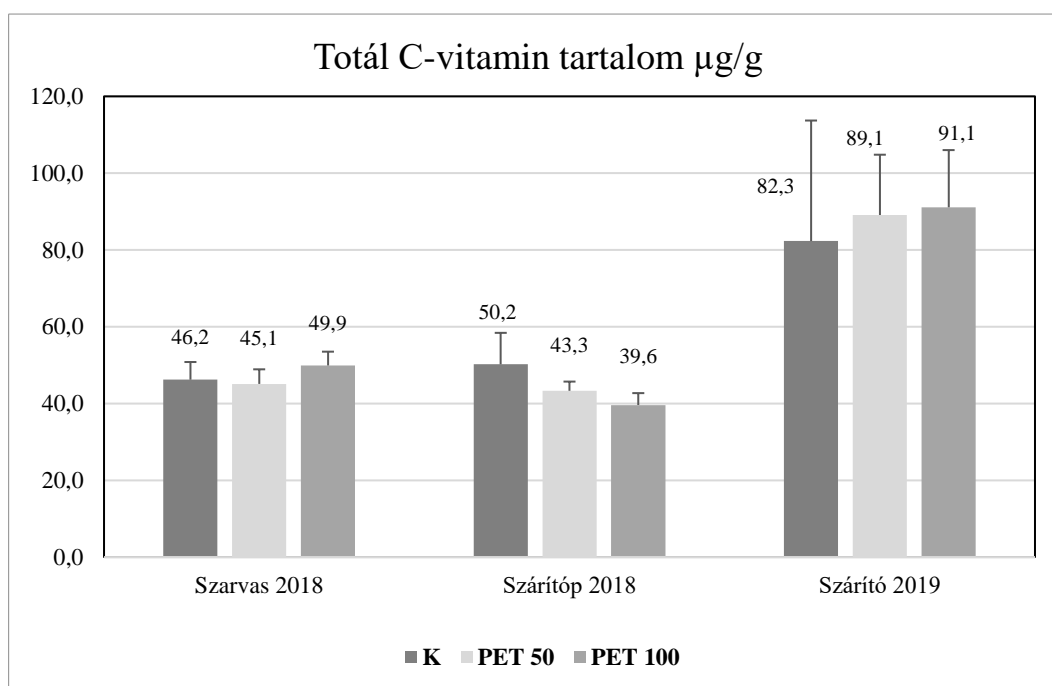
### 5.3.3 C-vitamin tartalom alakulása

A C-vitamin vizsgálata során csak a 2018-as évjárat esetén volt lehetőségünk mind a két kísérleti helyről származó minták mérésére, 2019-es évben csupán a szárítópusztáról származó minták eredményeit tudtam detektálni. A mért C-vitamin mennyiségek így is érdekes eredményt mutattak (25.ábra).

Számos tanulmány leírja, hogy az öntözés hatására megnövekedett hozam és a savtartalom között fordított arányosság lép fel (Colla et al., 2000; Mitchell et al., 1991; Sanders et al., 1989), illetve azt, hogy az öntözés gyakorisága nemcsak a savtartalmat, hanem a cukor- és a C-vitamin tartalmat is jelentősen befolyásolja (Kaniszewski et al., 1987). Ezzel szemben Alvino és munkatársai (1980) szerint az öntözési gyakoriság nem hat a bogyó színére, pH értékére és savtartalmára. Matthews (1979) szerint viszont gyakoribb öntözés esetén a savtartalom csökken, a pH érték pedig emelkedik. Bár a szakirodalom jelentős része az öntözés sav- és C-vitamin tartalom befolyásoló hatásáról számol be, jelen kísérlet során az öntözési kezeléseket között nem voltak detektálhatók szignifikáns különbségek. Annál inkább mutatott a két különböző szárítópusztai évjárat jelentős eltérést, a 2019-es évjárat öntözési kezelése majdnem dupla mennyiségű C-vitamint tartalmaztak a 2018-as évjárat mintáihoz képest (25. ábra).

A két évjárat közötti jelentős különbséget tehát más környezeti tényező indukálta. Az érés alatt a paradicsom bogyót ért fény kedvezően hat a C-vitamin felhalmozódására (Dumas et al., 2003; Lee & Kader, 2000), az aszkorbinsav koncentrációja a környezeti stressztényezőkkel, mint például a hőmérséklettel és a fénytel szoros kapcsolatban áll (Davey et al., 2000). Ennek bizonyítékául szolgálnak El-Gizawi és munkatársai (1993) illetve Venter (1977) tanulmányai, melyek arról számolnak be, hogy a levelek, vagy egyéb mesterséges takaróanyag által árnyékolt bogyókban mérséklődött az aszkorbinsav szintézise. Ugyancsak fontos szem előtt tartani, hogy az aszkorbinsav szintje a bogyó érésével változik, és szezonális jelleget ölt, az aktív növekedés időszakában intenzívebb a képződése (Fox & Cameron, 1995). Bár a 2018-as és 2019-es évek tenyész időszakainak átlaghőmérsékletében nem mutatkozik jelentős eltérés (5. melléklet), azonban a 30°C feletti hőmérsékletű, intenzív napsütéses napok száma közel duplája volt 2019-ben, az előző évben detektálthoz képest. Ráadásul ez a napsütéses, meleg időszak 2019-ben nem közvetlenül a betakarítás előtti időszakra volt jellemző Szárítópusztán. Ezzel ellentétben a 2018-as tenyészidőszak esetén a jóval rövidebb ideig tartó meleg, és napos idő nagy százalékban a betakarítást megelőző 3 hétben volt megfigyelhető. Ez hozzájárulhatott a bogyók érésének gyorsulásához, mely a légzésintenzitás fokozódásához, ez által a sejtek nagy mennyiségű oxigén megkötéséhez vezetett. A fokozott oxidatív stressz hatásának kiküszöbölésére pedig a növény az antioxidáns funkciójának köszönhetően aszkorbinsavat használt fel (Türk et al., 1993).

Ha e logika mentén figyelembe vesszük a 2019-es év hőmérsékleti, és időjárási paramétereit, feltehetően a szarvasi telephelyről származó minták is hasonló eredményt mutattak volna a 2019-es szárítópusztai adatokhoz hasonlóan.



**25. ábra:** 2018-as szarvasi és szárítópusztai minták, illetve 2019-es szárítópusztai C-vitamin tartalmának összehasonlítása.

#### 5.3.4 Az öntözéses kísérlet eredményeinek összefoglalása

Az ipari paradicsom termesztés célja, nem csak a termésmennyiség és bogyó méret növelése, hanem a termésminőség (oldható szárazanyag, szín, pH, viszkozitás) optimalizálása a feldolgozás számára legelőnyösebb beltartalmi értékek megőrzésével. Ezen túlmenően a fenntartható termesztés megvalósítása is elengedhetetlen szempont (Pék et al., 2019). A feldolgozó üzem szempontjából is alap kritérium a paradicsom megfelelő minősége, így a termésmennyiség csupán irányadó tulajdonság, amelynél fontos szerepet játszanak a megfelelő beltartalmi értékek (mint például a °Brix is).

A vízstressz kísérlet mérési eredményei, mind a két szezonban termesztett állomány esetében csökkenő °Brix-ot mutatott, mely az irodalmi adatokkal összhangban áll. Ezen felül a vizsgált fitonutriensek mennyiségi és minőségi összetételére sem gyakorolt szignifikáns pozitív hatást. Ezen eredmények tudatában célszerűnek ítélem meg, hogy további kísérleteimet a kontroll

körülmények között nevelt állománnyal végezzem. Ennek megfelelően ebből a csoportból származó minták kerültek feldolgozásra, mérésre és kiértékelésre.

## **5.4 A fitonutriens tartalom változása a paradicsom feldolgozása függvényében**

A paradicsomlé feldolgozása során az iparban jellemzően két technológiai eljárást alkalmazva (hideg - vagy meleg áttöréses extrakció), az alapanyag nagy hőnek van kitéve. A csomagolási és pasztörözési eljárások is mind befolyásolhatják a termék fitonutrienseinek változását. A feldolgozott alapanyag két fő részre osztható, a zöldség levére, és a törkölyre, mely tartalmazza a magokat, héjat, illetve a zöldséghúsból keletkező pépet. A feldolgozás során a molekulák várhatóan kémiai változásokon mennek keresztül, mely befolyásolja biológiai aktivitásukat és stabilitásukat.

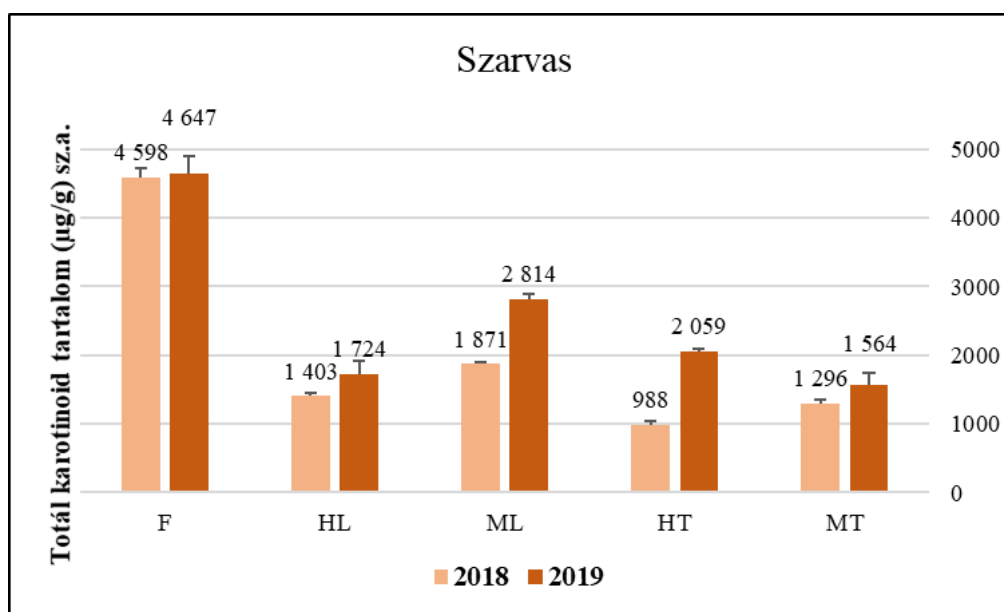
### **5.4.1 Karotinoidok változása**

A két fő karotinoid és származékai mellett a  $\gamma$ -karotint, a neurosporént, a likoxantint és a nehezen detektálható fitoént és fitofluént is hatékonyan elválasztotta az alkalmazott módszer, szinte minden mintában kimutathatók voltak. A likopin fő származékait a 9-, és 13-cisz-izomerek és epoxidok tették ki, míg az all-transz- $\beta$ -karotin származékai között az epoxidok domináltak. Az all-transz-likopin az össz-karotinoid mennyiség 85-87%-át tette ki a mintákban, amely arány egybe esik a likopinban gazdag ipari paradicsomban leírt eredményekkel. A jelen tanulmány elsősorban a karotinoid vegyületekre összpontosít, melyek a feldolgozott paradicsom termékek minőségét, tápanyagértékét és kémiai stabilitását legnagyobb mértékben befolyásolják.

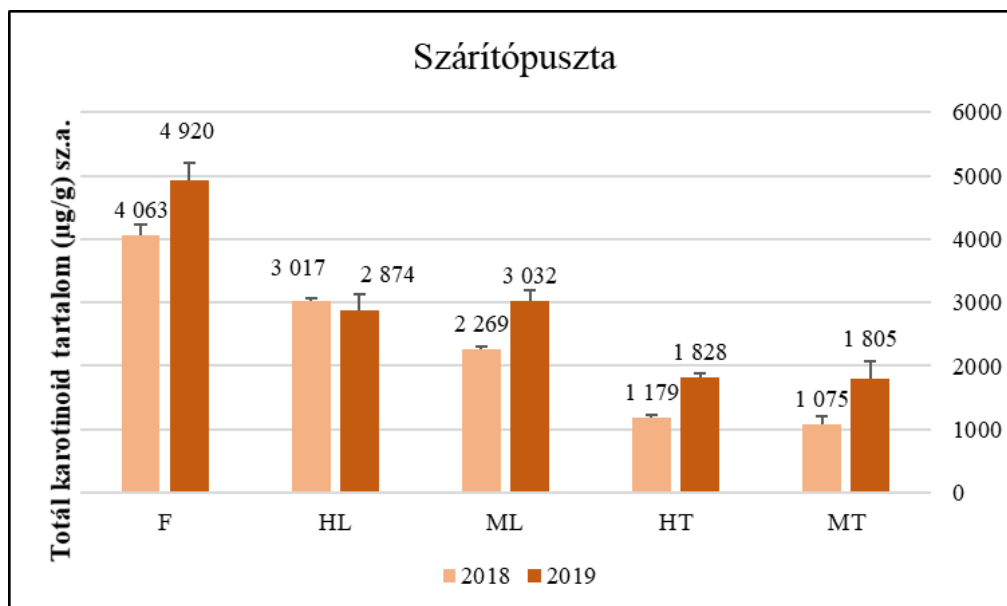
A minták előkészítése és maga a karotinoid extrakció oly módon történt, mely folyamat során minimális degradáció következett be (sötétbarna üvegeszközök használata, antioxidánsok jelenléte és vákuum bepárlás) ennek köszönhetően a friss, kontrollként kezelt paradicsomban a cisz-izomerek és az oxigén tartalmú származékok jelenléte, és mennyisége feltárta a bogyók érése során végbemenő enzimek által katalizált (izomeráz, hidroxiláz és dioxigenáz) de-novo bioszintézis útját (Schwartz et al., 2001; Bramley, 2002; Deli és Osz, 2004; Gama et al., 2006). A paradicsom betakarítását követően a karotinoidok és származékjaik mennyiségét és stabilitását

legvalószínűbben befolyásoló tényezők között szerepel a termesztőközeg tápanyag tartalma (Fanasca et al., 2006), valamint a hőkezelés és a tárolás módja (Sharma et al., 1996).

A vizsgált, két különböző helyről származó ipari paradicsom minták össz-karotinoid tartalma mindkét szezonban, 3500-4800  $\mu\text{g/g}$  (a sz.a.-ban), amely érték 175-230  $\mu\text{g/g}$  –nak felel meg a nyers mintára vonatkoztatva (továbbiakban *fw*t). Ez az érték magasabbnak bizonyult, mint Ilahy és munkatársai (2011) által mért 75-147  $\mu\text{g/g}$  *fw*t érték, de alacsonyabb a Mayeaux és munkatársai (2006) által mért 3310  $\mu\text{g/g}$  *fw*t értékhez képest, különböző ipari paradicsom fajtáknál. Amint azt az 26. ábra mutatja az agyagos-vályog talajban termesztett friss paradicsomban mért totál karotinoid szintje közel azonos a két szezonban, azonban a belőle készült lé és törköly karotinoid szintje a 2019-es évben szignifikánsan magasabb volt. Ez az eredmény arra enged következtetni, hogy az évjáratok eltérő abiotikus behatásai nagymértékben befolyásolják a karotinoidok stabilitását a paradicsom feldolgozása során.



**26. ábra:** Szarvason termesztett paradicsom kétféle módon történt feldolgozásából nyert lé- és törköly termékeinek össz-karotinoid tartalma ( $\mu\text{g} / \text{g}$  *fw*t). Rövidítések: *F* - Friss minta (vagy Feldolgozatlan), *HL* - Hideg áttörésből származó paradicsom leve, *ML* - Meleg áttörésből származó paradicsom leve, *HT* - Hideg áttörésből származó paradicsom törköly, *MT* - Meleg áttörésből származó paradicsom törköly.



**27. ábra:** Szárítópusztán termesztett paradicsom kétféle módon történt feldolgozásából nyert lé- és törköly termékeinek össz-karotinoid tartalma ( $\mu\text{g} / \text{g}$  dwt). Rövidítések: *F* - Friss minta (vagy Feldolgozatlan), *HL* - Hideg áttörésből származó paradicsom leve, *ML* - Meleg áttörésből származó paradicsom leve, *HT* - Hideg áttörésből származó paradicsom törköly, *MT* - Meleg áttörésből származó paradicsom törköly.

A homokos talajon termesztett paradicsomnál (27. ábra) a két év közötti eredmények esetében szignifikáns különbséget ( $p < 0,01$ ) csak a HT és MT minták között találtunk. A HL és ML minták karotinoid tartalma a friss paradicsomhoz képest csökkentek a héj és mag frakció eltávolítása következtében, mely a paradicsom szárazanyag tartalmának legnagyobb részét teszi ki. A lé és a törköly szétválasztásával a karotinoid mennyiség is szétoszlik, elsősorban a likopin tartalom (Toor & Savage, 2005; Chandra & Ramalingam, 2011). Egyes tanulmányokban 60-80 %-os likopin veszteséget írtak le a törköly frakció eltávolítása esetében (Vinha et al., 2014). A mérések során esetünkben az agyagos-vályog talajról származó mintáknál 56-67% -os karotinoid veszteséget tapasztaltunk 2018-ban, míg 2019-ben 39-56%-ost. A homokos talajból származó mintáknál ez a veszteség nagyobb volt a meleg áttöréssel technológiánál 2018-ban, ebben az évben a HT és MT esetében 44%-os, illetve 51%-os veszteséget mértünk a paradicsomlénél, 2019-ben pedig 33%-os és 49%-os veszteségeket. Ezek az eredmények újfent arra engednek következtetni, hogy a termőtalaj befolyással van a karotinoidok stabilitására, a paradicsom hideg és meleg áttöréssel történő feldolgozásakor.

Az agyagos talajból származó paradicsom meleg áttöréssel történő feldolgozása magasabb karotinoid tartalmat eredményez, mint a hideg áttörés. A  $90^{\circ}\text{C}$ -os hőkezelés inaktiválhatja a karotinoidok lebontásáért felelős enzimeket, mint például a lipoxigenázt, amely oxidálja a



karotinoidokat, telítetlen zsírsav oxidációval (Biacs & Daood, 2000; Angaman et al., 2014). Ezen felül a hőkezelés folyamata elősegíti a karotinoidok extrahálhatóságát, a sejtfalak és membránok megbontása révén, ezáltal lehetővé teszi a kötött karotinoidok felszabadulását és oldódását (Capanoglu et al., 2008; Urbonaviciene et al., 2012). Figyelemre méltó eredmény, hogy meleg áttöréssel készült termékekben, vagyis a lé és a törköly szárazanyag tartalmában a karotinoid koncentrációja szignifikánsan magasabb ( $p < 0,01$ ), mint a nyers paradicsom szárazanyag tartalmában. Ez az eredmény alátámasztja a fent említett elgondolást, megállapítható, hogy a magas hőmérsékleten történő kezelés megnövekedett karotinoid tartalmat eredményez a feldolgozott termékekben (Tonucci et al., 1995).

A törköly frakció szárazanyagának karotinoid tartalma alacsonyabb volt, mint a nyers paradicsomnál, és a belőle nyert lénél, mivel állománya nagy részben tartalmaz magokat és héjat (exoderma). A mezodermának, a külső héjhoz tapadó vékony sejt rétege alkotja a törköly frakció legjelentősebb karotinoid tartalmát. A feldolgozás során a mezoderma legnagyobb részét a melegítés és az áttörés folyamán extrahálják a lébe. A lé karotinoid tartalmát és annak stabilitását nagyban befolyásolják a tenyészidőszak környezeti (abiotikus) változásai.

A homokos talajon termesztett paradicsom esetében a hideg áttöréssel extrahált lé szárazanyagra vonatkoztatva szignifikánsan nagyobb mennyiségű karotinnal rendelkezett, mint a melegen extrahált paradicsomlé.

Az egyes karotinoidok mennyiségében bekövetkező változásokat, a különböző feldolgozási formák során a 11. és 12. táblázatok szemléltetik. Mivel a paradicsom esetében a likopin a legnagyobb mennyiségben jelen lévő karotinoid, így az össz-karotinoid változásával jellemzően egyenesen arányos mennyiségi változása. Hasonló tendencia mondható el más karotinoidoknál is, mint például a  $\gamma$ -karotin,  $\beta$ -karotin, fitoin és fitofluén esetében. Egyes mintáknál megfigyelhető, hogy a lé és a törköly együttes karotinoid értéke lényegesen magasabb volt a nyersanyaghoz képest. A növekedés mértékét nagyban befolyásolta az évjárat, a talaj típusa és a feldolgozás módja.

A legnagyobb növekedést (237%) a 2019-es évben, a homokos talajon termesztett paradicsom hideg áttöréssel történő feldolgozásakor a  $\beta$ -karotin esetében figyeltük meg a kinyert lé és törköly mintákban, míg a 2018-as mérések eredményei között a legnagyobb növekedést (200%) ugyancsak a homokos talajról származó lutein érte el, lé és törköly mintákban a hideg áttöréssel történő feldolgozást követően. Ugyanezen talajban a lutein növekedése 2019-ben -19% és 0% volt a hideg- és meleg extrakciót követően, ez esetben szembeötlő a különböző évjáratok környezeti változásainak befolyása a paradicsom extrahálása során zajló biokémiai folyamatokra. A termőtalaj típusa kifejtette eltérő hatását az egyes karotinoidok reakciójára, az eltérő feldolgozási módok körülményei között. Mindkét termesztési évben a főbb karotinoid komponensek (nem

bomlástermékek) tartama szignifikánsan magasabb volt a hideg extrahálást követően, mint a meleg során a homoki paradicsom termékek esetében, azonban ellenkező tendencia figyelhető meg ( $p < 0,01-0,001$ ) az agyagos talajon termesztettekből nyert mintáknál.

Megállapítható, hogy a karotinoidok változásának módját és mértékét a két különböző feldolgozási technológia során, három tényező befolyásolhatja. Ezen tényezők a karotinoid szintézisének folyamata, a karotinoidok bomlási folyamata, valamint a karotinoidok extrahálhatóságát befolyásoló tényezők. Fraser és munkatársai (2002) megállapították, hogy a paradicsomban található mikrobákból további fitoszintáz szintetizálódhat, amely a fitoin és más karotinoidok, mint például a likopin, a  $\beta$ -karotin és a lutein szintézisét befolyásolhatja. Heinonen és Meyer (2002) munkája során a biokémiai és termikus kezelést követően nyert törköly mintákban található fehérje-karotinoid komplexeket és a bőrfrakció oldhatatlan rostjait vizsgálta, ahol jellemzően a karotinoidok kötődnek. D'Evoli és munkatársai (2013) szerint a paradicsom hőkezelése bár a pigmentek lebomlását eredményezi, de az extrahálhatóság határfokát jelentősen növeli. Ezen túlmenően Seybold és mtsai (2004) vizsgálataikra alapozva írták meg, hogy a likopin pozitív vagy negatív válasza a hőkezelésre a paradicsom érési fázisától és genetikai tulajdonságaitól függ.

A karotinoidok geometriai izomerjei, epoxidjai és hidroxilált származékai, a talaj típusától és a különböző évjáratok abiotikus tényezőinek változásától függően eltérő reakciókat mutattak a hideg-, és a meleg hőkezeléses extrakció során. Mind két évben az agyagos talajon termesztett paradicsom meleg áttöréses feldolgozással nyert lé mintáiban magasabb volt az izomerek és a bomlástermékek aránya, mint a hideg áttöréssel nyert mintában, míg a homoktalajon termesztett paradicsom esetében pont ellentétes eredményt detektáltunk. Ez a talaj típustól függő hatásra utal.

A karotinoidok oxidatív lebontásáért felelős enzimek maximális aktivitásához szükséges, talajban lévő tápanyagok szintje közötti különbség okozhatja a hideg áttöréssel nyert lében a karotinoid származékok magasabb koncentrációját. Mivel a  $90^{\circ}\text{C}$ -on történő hőkezelés, a meleg áttöréses technológia során, képes inaktiválni az enzimrendszerek többségét, a cisz-izomerek, epoxidok és hidroxilált származékok mennyiségi növekedése valószínűleg a hő- és a molekuláris oxigén-indukált reakcióknak köszönhető. Temitope és munkatársai (2009) megállapította, hogy a paradicsom két órán át tartó hőkezeléses feldolgozása során az össz transz-likopin koncentrációja lényegesen csökken ( $91 \mu\text{g/g szá\%-ról}$ ,  $51 \mu\text{g/g szá\%-ra}$ ), a cisz-izomerek szintje azonban növekszik. Lin és Chen (2005)  $80^{\circ}\text{C}$ -os 2 percg tartó paradicsom hőkezelést követően a mintákban 20%-os össz-transz-likopin csökkenést, míg a cisz-izomerek mennyiségében 34%-os emelkedést jegyzett.

**11. táblázat:** Szarvason és Szárítópusztán termesztett paradicsom kétféle módon történt feldolgozásából nyert lé és törköly termékekben előforduló legfontosabb karotinoidok tartalma ( $\mu\text{g} / \text{g dw}$ ) 2018-ban. Rövidítések: HL - Hideg áttörésből származó paradicsom leve, ML - Meleg áttörésből származó paradicsom leve, HT - Hideg áttörésből származó paradicsom törköly, MT - Meleg áttörésből származó paradicsom törköly.

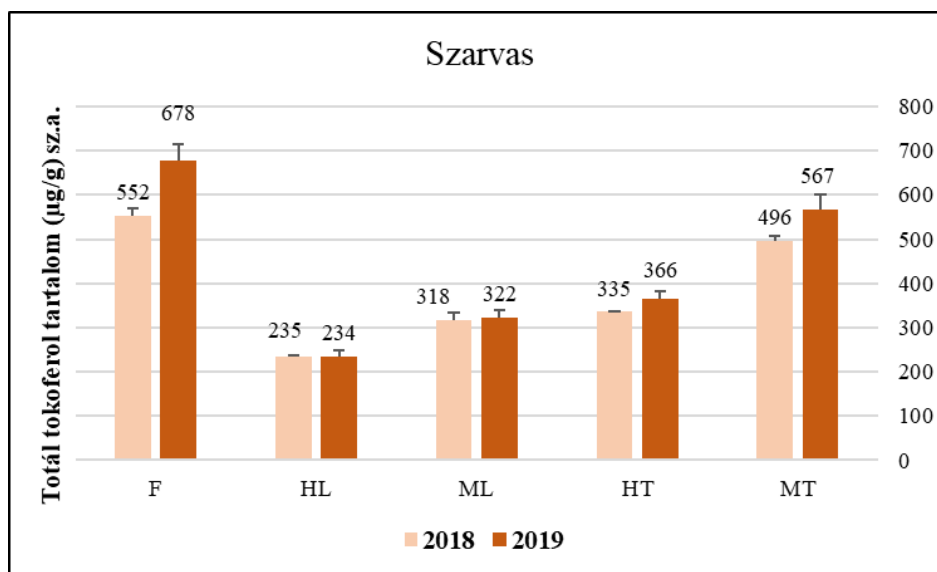
Karotinoidok	Paradicsom termékek				
	Nyers-kontroll	HL	ML	HT	MT
<b>Szarvas</b>					
Likopin	3786,3 $\pm$ 142,6	1104,3 $\pm$ 49,1	1543,0 $\pm$ 63,1	791,8 $\pm$ 38,8	1068,6 $\pm$ 61,5
9Z-likopin	17,8 $\pm$ 1,1	7,7 $\pm$ 1,2	15,1 $\pm$ 1,9	3,0 $\pm$ 0,6	4,3 $\pm$ 0,5
$\Upsilon$ -karotin	16,7 $\pm$ 2,6	4,6 $\pm$ 0,1	8,8 $\pm$ 0,6	4,3 $\pm$ 0,1	5,7 $\pm$ 0,3
13Z-likopin	73,5 $\pm$ 9,3	99,8 $\pm$ 4,3	112,7 $\pm$ 3,6	61,7 $\pm$ 5,0	62,5 $\pm$ 6,4
$\beta$ -karotin	61,7 $\pm$ 9,9	33,3 $\pm$ 0,7	40,9 $\pm$ 0,9	40,4 $\pm$ 1,9	56,8 $\pm$ 1,6
Likoxantin	117,7 $\pm$ 5,3	35,0 $\pm$ 0,2	48,0 $\pm$ 0,4	18,8 $\pm$ 0,6	27,3 $\pm$ 1,6
Z-likopin-dimetoxid	35,2 $\pm$ 1,1	18,8 $\pm$ 1,8	19,7 $\pm$ 1,7	9,4 $\pm$ 0,3	12,2 $\pm$ 0,3
Z-likopin-epoxid	11,9 $\pm$ 0,8	6,5 $\pm$ 0,7	7,5 $\pm$ 0,2	3,7 $\pm$ 0,4	4,8 $\pm$ 0,2
Z- $\beta$ -karotin epoxid	68,7 $\pm$ 1,9	37,6 $\pm$ 1,3	45,6 $\pm$ 0,5	18,6 $\pm$ 1,0	23,4 $\pm$ 1,01
Z- $\beta$ -karotin diepoxid	71,7 $\pm$ 5,7	44,3 $\pm$ 1,4	51,8 $\pm$ 1,2	22,5 $\pm$ 1,1	22,5 $\pm$ 1,0
Z'- $\beta$ -karotin diepoxid	75,9 $\pm$ 4,7	37,5 $\pm$ 0,9	43,0 $\pm$ 0,86	19,8 $\pm$ 0,8	23,2 $\pm$ 1,0
Lutein	21,0 $\pm$ 0,8	15,8 $\pm$ 0,3	21,5 $\pm$ 0,7	14,1 $\pm$ 0,26	21,3 $\pm$ 0,6
Fitoin	108,7 $\pm$ 2,4	88,5 $\pm$ 0,6	92,0 $\pm$ 0,4	46,7 $\pm$ 2,4	57,4 $\pm$ 1,5
OH-fitoin	31,6 $\pm$ 6,1	16,6 $\pm$ 0,7	14,4 $\pm$ 0,3	9,4 $\pm$ 0,5	9,3 $\pm$ 0,2
Fitofluén	69,1 $\pm$ 3,2	50,0 $\pm$ 0,5	54,4 $\pm$ 0,8	29,8 $\pm$ 1,5	37,9 $\pm$ 1,0
OH-fitofluén	7,2 $\pm$ 1,4	2,6 $\pm$ 0,4	2,3 $\pm$ 2,2	1,3 $\pm$ 0,1	1,5 $\pm$ 0,1
<b>Szárítópuszta</b>					
Likopin	4018,3 $\pm$ 131,6	2583,7 $\pm$ 65,1	1887,1 $\pm$ 67,0	829,5 $\pm$ 36,9	912,9 $\pm$ 120,4
9Z-likopin	13,5 $\pm$ 2,5	17,3 $\pm$ 1,3	16,4 $\pm$ 7,4	16,5 $\pm$ 4,2	3,5 $\pm$ 0,6
$\Upsilon$ -karotin	14,6 $\pm$ 0,8	12,2 $\pm$ 1,9	8,0 $\pm$ 0,8	5,2 $\pm$ 0,6	5,2 $\pm$ 0,6
13Z-likopin	31,2 $\pm$ 3,4	165,7 $\pm$ 5,0	113,8 $\pm$ 6,3	192,8 $\pm$ 10,8	33,5 $\pm$ 5,7
$\beta$ -karotin	52,1 $\pm$ 5,3	41,6 $\pm$ 2,2	32,9 $\pm$ 4,9	60,2 $\pm$ 2,9	53,2 $\pm$ 2,4
Likoxantin	56,2 $\pm$ 6,7	74,6 $\pm$ 3,9	53,9 $\pm$ 0,4	19,0 $\pm$ 1,1	20,3 $\pm$ 2,4
Z-likopin-dimetoxid	21,3 $\pm$ 2,0	27,5 $\pm$ 3,1	19,8 $\pm$ 2,1	143 $\pm$ 0,4	7,9 $\pm$ 0,6
Z-likopin-epoxid	7,8 $\pm$ 0,6	9,8 $\pm$ 2,4	6,8 $\pm$ 1,1	4,4 $\pm$ 0,2	2,9 $\pm$ 0,1
Z- $\beta$ -karotin epoxid	40,6 $\pm$ 4,9	65,5 $\pm$ 6,0	44,3 $\pm$ 2,3	24,9 $\pm$ 0,6	16,7 $\pm$ 1,3
Z- $\beta$ -karotin diepoxid	11,7 $\pm$ 1,3	20,2 $\pm$ 2,2	14,4 $\pm$ 0,9	8,9 $\pm$ 0,1	5,7 $\pm$ 0,5
Z'- $\beta$ -karotin diepoxid	11,7 $\pm$ 1,6	18,1 $\pm$ 0,3	12,6 $\pm$ 0,7	8,3 $\pm$ 0,1	5,1 $\pm$ 0,3
Lutein	16,2 $\pm$ 1,6	15,1 $\pm$ 0,7	13,6 $\pm$ 0,1	14,3 $\pm$ 1,1	14,3 $\pm$ 0,7
Fitoin	81,4 $\pm$ 11,4	110,5 $\pm$ 17,7	93,0 $\pm$ 3,3	48-7 $\pm$ 2,3	40,5 $\pm$ 2,1
OH-fitoin	16,0 $\pm$ 2,6	16,9 $\pm$ 3,1	11,6 $\pm$ 1,9	6,7 $\pm$ 0,3	4,7 $\pm$ 0,3
Fitofluén	46,6 $\pm$ 1,8	47,8 $\pm$ 4,5	43,8 $\pm$ 8,72	27,3 $\pm$ 4,7	22,5 $\pm$ 4,6
OH-fitofluén	4,1 $\pm$ 1,3	2,2 $\pm$ 0,2	2,4 $\pm$ 0,1	1,7 $\pm$ 0,1	1,1 $\pm$ 0,1

**12. táblázat:** Szarvason és Szárítópusztán termesztett paradicsom kétféle módon történt feldolgozásából nyert lé és törköly termékek karotinoid-tartalma ( $\mu\text{g} / \text{g dwt}$ ) 2019-ben. Rövidítések: HL - Hideg áttörésből származó paradicsom leve, ML - Meleg áttörésből származó paradicsom leve, HT - Hideg áttörésből származó paradicsom törköly, MT - Meleg áttörésből származó paradicsom törköly.

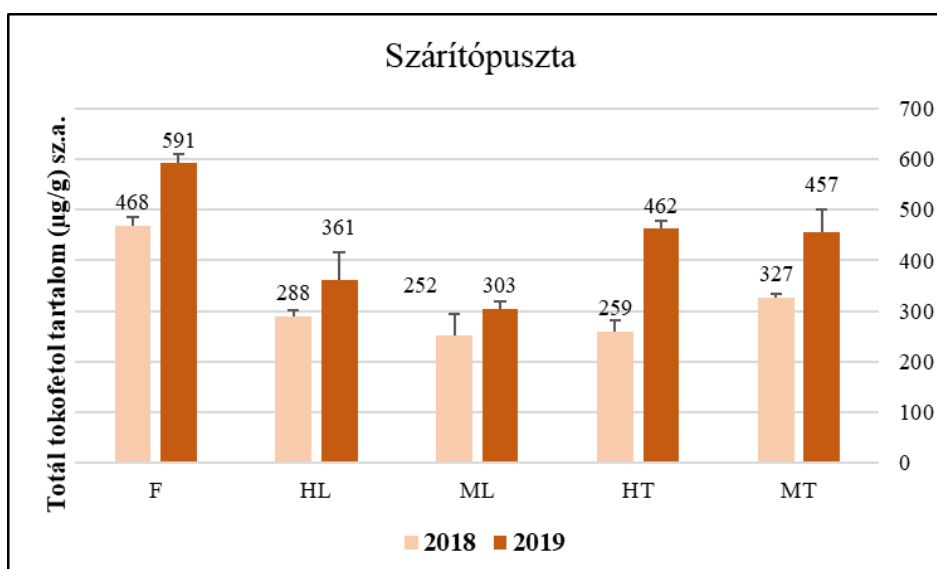
Karotinoidok	Paradicsom termékek				
	Nyers-kontroll	HL	ML	HT	MT
<b>Szarvas</b>					
likopin	4054,6±274,2	1452,5±108,9	2104,5±76,0	1206,1±39,1	1552,4±53,9
9Z-likopin	25,7±5,3	10,1±0,6	14,8±0,5	30,4±2,8	17,1±0,9
$\gamma$ -karotin	20,9±2,3	7,3±0,7	10,7±0,3	7,7±0,6	6,6±0,6
13Z-likopin	76,2±5,3	107,0±2,7	134,1±10,3	311,8±17,4	236,3±17,8
$\beta$ -karotin	65,2±7,3	34,2±2,1	51,3±2,2	33,4±0,7	37,4±5,4
likoxantin	94,8±23,1	45,8±4,5	69,7±2,7	46,0±2,2	32,4±4,7
Z-likopin-dimetoxid	15,7±4,3	48,6±3,1	61,1±1,5	41,0±0,6	40,2±1,0
Z-likopin-diepoxid	8,8±2,4	12,7±0,8	15,1±0,2	9,9±1,1	10,9±0,5
Z- $\beta$ -karotin epoxid	30,0±8,5	102,1±6,5	128,3±2,8	81,7±1,5	87,8±1,3
Z- $\beta$ -karotin diepoxid	9,8±2,6	31,1±2,3	39,2±1,0	25,6±0,7	28,8±0,3
Z'- $\beta$ -karotin diepoxid	8,0±2,4	25,9±1,5	31,4±0,8	19,6±0,5	23,8±0,4
lutein	27,2±2,4	9,8±1,5	12,8±0,9	12,2±0,5	14,4±1,2
Fitoin	122,6±33,2	92,0±4,0	119,9±1,4	113,7±2,6	95,3±11,2
OH-fitoin	13,7±5,3	16,7±0,6	12,6±0,4	15,6±0,4	9,6±1,2
Fitofluén	52,6±15,7	47,1±2,5	60,3±1,9	57,0±0,8	47,2±5,3
<b>Szárítópuszta</b>					
likopin	4164,6±265,8	2634,7±150,3	2422,7±138,6	1516,3±234,2	1360,5±42,2
9Z-likopin	20,0±2,8	23,5±4,4	13,2±0,8	16,0±0,3	8,2±1,1
$\gamma$ -karotin	21,1±0,7	21,3±1,4	13,3±0,6	10,4±0,1	9,7±1,4
13Z-likopin	93,5±11,5	74,3±8,4	93,9±14,4	270,1±11,1	84,9±7,9
$\beta$ -karotin	80,0±8,3	104,2±10,2	55,4±4,4	86,8±4,6	74,0±7,3
likoxantin	100,2±4,6	48,5±0,8	70,8±3,6	30,4±0,7	31,7±2,6
Z-likopin-dimetoxid	77,3±7,7	34,5±2,1	60,3±3,6	38,5±0,8	34,0±3,5
Z-likopin-diepoxid	19,4±1,8	18,3±3,8	15,9±0,2	8,9±0,3	7,1±0,1
Z- $\beta$ -karotin epoxid	149,4±11,0	78,7±11,7	127,7±6,4	77,5±2,0	71,2±6,9
Z- $\beta$ -karotin diepoxid	46,7±2,9	26,6±3,7	39,0±2,0	23,7±0,6	21,1±1,3
Z- $\beta$ -karotin diepoxid	37,5±2,6	23,7±1,8	31,6±1,5	19,5±0,3	17,0±0,7
lutein	19,4±0,6	19,8±3,7	13,6±0,5	13,9±0,4	14,0±1,3
Fitoin	151,4±0,7	122,0±13,7	98,8±4,9	67,8±3,0	62,4±9,8
OH- fitoin	36,4±0,9	18,2±2,3	0,0	13,8±0,2	9,8±1,7
Fitofluén	80,6±4,6	63,8±11,7	53,8±2,6	39,2±1,5	37,4±6,1

## 5.4.2 Tokoferolok reakciója

Az össz-tokoferol tartalom változásait a termesztési időnnel és a talaj típusával összefüggésében az 28. ábra és az 29. ábra prezentálja. A mért adatok jelen munkában jóval magasabb tokoferol tartalmat mutatnak az ipari paradicsomban, mint a korábban közzétett publikációkban, ahol is 22-47  $\mu\text{g/g}$  sz.a. (Seybold et al., 2004), illetve 291  $\mu\text{g/g}$  sz.a. (Gharbi et al., 2017) össz-tokoferol tartalmakat mértek.



**28. ábra:** Szarvason termesztett paradicsom kétféle lé- és törköly termékeinek össz-tokoferol tartalma ( $\mu\text{g} / \text{g}$  dwt). Rövidítések: F - Friss minta (vagy Feldolgozatlan), HL - Hideg áttörésből származó paradicsom leve, ML - Meleg áttörésből származó paradicsom leve, HT- Hideg áttörésből származó paradicsom törköly, MT- Meleg áttörésből származó paradicsom törköly.



**29. ábra:** Szárítópusztán termesztett paradicsom kétféle lé- és törköly termékeinek össz-tokoferol tartalma ( $\mu\text{g} / \text{g dwt}$ ). Rövidítések: *F* - Friss minta (vagy Feldolgozatlan), *HL* - Hideg áttörésből származó paradicsom leve, *ML* - Meleg áttörésből származó paradicsom leve, *HT* - Hideg áttörésből származó paradicsom törköly, *MT* - Meleg áttörésből származó paradicsom törköly.

Mindkét termesztési szezonban az agyagos-vályog talajban termesztett paradicsomok esetén a hideg áttöréses technológiával kinyert lé és törköly mintából kisebb tokoferol szint volt kimutatható, mint a meleg áttöréses technológia esetében ( $p < 0,01$ ). Ellentétes tendencia figyelhető meg a homokos talajon termesztett paradicsomlénél. A tokoferolok viselkedése hasonló a karotinoidokéhoz, lévén mindkettő szintézise ugyanazon az úton, a kloroplaszt membránján megy végbe (Quadrana et. al., 2013). A meleg áttöréses technológiából származó paradicsomlé és törköly magasabb tokoferol tartalmáért nagy valószínűséggel az oxidáló enzimek hőstabilitása, a hő hatására történő felszabadulásának és inaktiválódásának mértéke állhat. A paradicsomban hőkezeléskor végbemenő folyamatok során az antioxidáns tulajdonságú vegyületek lehetséges kölcsönhatásait, és ezen belül a tokoferol szintjének módosulását Martínez-Hernandez et.al. (2016) tanulmányában vizsgálták. Az össz-tokoferol tartalom magas szintje valószínűleg annak köszönhető, hogy a keletkező mellékterméket nagyrészt héj és mag alkotja, melyek nagy mennyiségű  $\gamma$ -tokoferol forrást jelentenek (Abushita, et al., 2000).

A mért eredmények azt mutatják (13. táblázat), hogy jellemzően az észterezetlen  $\alpha$ -tokoferol tartalom alacsonyabb volt, mint az acetilezett  $\alpha$ -tokoferolé a kinyert paradicsomlében, amely arra enged következtetni, hogy az antioxidáns hatással bíró vegyületek aktív szerepet töltenek be az oxidációs folyamatokkal szemben. A feldolgozási folyamat során bekövetkező kémiai változások során, az acetilezett származék nagyobb kémiai stabilitással rendelkezik. A törköly esetében az  $\alpha$ -tokoferol oxidált formájának ( $\alpha$ -tokoferol-kvinon) szintje fordítottan arányos az  $\alpha$ -tokoferol tartalommal, amely igazolja ez utóbbi jelentős antioxidáns aktivitását, különösen a feldolgozás melléktermékére vonatkoztatva, aminek víztartalma viszonylag alacsony (17% sz.a.).

A termesztési szezonokat összehasonlítva, egyértelmű differencia tapasztalható az össz tokoferol tartalom tekintetében, a 2019-es évben jelentős növekedés tapasztalható, különösen a homoktalajon termesztett állomány esetében ( $p < 0,01$ ), míg a hideg áttöréses technológia kisebb mértékű csökkenést eredményezett a Szárítópusztán termesztett paradicsomnál.

**13. táblázat:** Szarvason és Szárítópusztán termesztett paradicsom kétféle módon történt feldolgozásából nyert lé és törköly termékek tokoferol-tartalma ( $\mu\text{g} / \text{g dwt}$ ) 2018-ban és 2019-ben.

Tokoferolok	Paradicsom termékek				
	Nyers-kontroll	HL	ML	HT	MT
	Szarvas (2018)				
$\alpha$ -tokoferol	202,4 $\pm$ 19,6	106,7 $\pm$ 0,5	149,2 $\pm$ 0,7	98,9 $\pm$ 7,9	155,9 $\pm$ 5,0
$\alpha$ -tokoferol észter	243,3 $\pm$ 11,3	103,4 $\pm$ 1,0	158,4 $\pm$ 1,3	93,3 $\pm$ 5,6	156,0 $\pm$ 4,5
$\alpha$ -tokoferol hidro-kvinon	95,0 $\pm$ 5,1	21,3 $\pm$ 0,2	23,9 $\pm$ 0,1	157,6 $\pm$ 5,1	116,3 $\pm$ 3,8
$\gamma$ -tokoferol	1,96 $\pm$ 0,2	2,3 $\pm$ 0,2	2,7 $\pm$ 0,6	7,7 $\pm$ 0,8	25,1 $\pm$ 1,7
$\beta$ -tokoferol	10,3 $\pm$ 0,6	1,2 $\pm$ 0,3	1,2 $\pm$ 0,1	1,5 $\pm$ 0,1	1,9 $\pm$ 0,1
	Szarvas (2018)				
$\alpha$ -tokoferol	208,5 $\pm$ 9,4	116,1 $\pm$ 9,1	108,1 $\pm$ 23,4	96,5 $\pm$ 4,5	115,4 $\pm$ 5,1
$\alpha$ -tokoferol észter	217,9 $\pm$ 12,3	121,0 $\pm$ 11,3	107,7 $\pm$ 13,1	67,2 $\pm$ 4,9	103,3 $\pm$ 3,5
$\alpha$ -tokoferol hidro-kvinon	37,1 $\pm$ 5,6	27,8 $\pm$ 1,3	32,6 $\pm$ 4,8	100,8 $\pm$ 5,4	73,9 $\pm$ 7,6
$\gamma$ -tokoferol	3,4 $\pm$ 0,2	2,3 $\pm$ 0,3	2,9 $\pm$ 0,4	13,7 $\pm$ 3,8	16,7 $\pm$ 1,2
$\beta$ -tokoferol	2,8 $\pm$ 0,7	1,52 $\pm$ 0,2	1,8 $\pm$ 0,1	1,7 $\pm$ 0,1	1,3 $\pm$ 0,1
	Szarvas (2019)				
$\alpha$ -tokoferol	257,1 $\pm$ 3,7	101,06 $\pm$ 5,6	148,6 $\pm$ 6,6	92,6 $\pm$ 3,0	143,3 $\pm$ 7,8
$\alpha$ -tokoferol észter	279,8 $\pm$ 6,7	119,4 $\pm$ 6,4	161,6 $\pm$ 6,8	68,8 $\pm$ 6,9	114,7 $\pm$ 8,3
$\alpha$ -tokoferol hidro-kvinon	82,3 $\pm$ 2,0	22,2 $\pm$ 1,2	42,3 $\pm$ 2,0	196,5 $\pm$ 7,6	146,1 $\pm$ 14,1
$\gamma$ -tokoferol	3,7 $\pm$ 0,6	0,7 $\pm$ 0,1	0,9 $\pm$ 0,1	28,1 $\pm$ 6,9	49,7 $\pm$ 8,4
$\beta$ -tokoferol	3,2 $\pm$ 0,3	0,8 $\pm$ 0,1	2,4 $\pm$ 0,1	13,9 $\pm$ 2,4	19,7 $\pm$ 1,7
	Szarítópuszta (2019)				
$\alpha$ -tokoferol	294,1 $\pm$ 1,1	157,2 $\pm$ 4,0	138,6 $\pm$ 6,8	133,7 $\pm$ 5,4	154,9 $\pm$ 10,9
$\alpha$ -tokoferol észter	351,1 $\pm$ 9,4	172,6 $\pm$ 8,2	152,2 $\pm$ 7,9	172,3 $\pm$ 14,6	163,8 $\pm$ 10,6
$\alpha$ -tokoferol hidro-kvinon	84,8 $\pm$ 3,3	43,4 $\pm$ 1,7	34,95 $\pm$ 1,5	163,5 $\pm$ 14,6	113,1 $\pm$ 14,4
$\gamma$ -tokoferol	3,5 $\pm$ 0,3	2,4 $\pm$ 0,2	2,07 $\pm$ 0,2	48,2 $\pm$ 0,3	13,4 $\pm$ 0,9
$\beta$ -tokoferol	3,2 $\pm$ 0,1	2,9 $\pm$ 1,3	2,5 $\pm$ 0,1	7,4 $\pm$ 3,3	8,3 $\pm$ 2,2

### 5.4.3 C-vitamin reakciója

Munkám során a C-vitamin meghatározására alkalmazott HPLC módszer segítségével csak az L-aszkorbinsav detektálására került sor, lévén a detektálás egy hullámhosszon valósult meg. Így a C-vitamin tartalom jelentős része detektálásra került, azonban ez nem jelent teljes mennyiséget. A dehidro-aszkorbinsav kimutatására nem alkalmas a protokoll.

Mivel a C-vitamin érzékeny mind a hőre, mind a molekuláris oxigénre, így a kísérlet során várható volt a feldolgozás folyamata, illetve a hőkezelés során csökkenő mennyisége. A 14. táblázat bemutatja a feldolgozatlan kontroll, a zöldséglé és a melléktermékekben (törköly) bekövetkező L-askorbinsav mennyiség változását, a két különböző termőterületről származó paradicsom mintákban, két egymást követő évben. A kontroll, vagyis nyers paradicsomban mért C-vitamin tartalom (1200 µg-1300 µg/g szárazanyag tartalom) közel áll a fajtában leírt átlagos C-vitamin tartalomhoz (Hdider et al., 2013).

A 2018-as eredmények érdekes számokat mutatnak, a hideg áttörési technológiával előállított paradicsomlében a vitamin koncentrációja növekedett ( $p < 0,05$ ) a különböző talajokon termesztett paradicsomoknál. A növekedés valószínűsíthetően a héj és a mag frakciók eltávolítása miatt következhetett be, melyek jóval kevesebb vízoldható vitamint tartalmaznak, illetve szerepet játszhat az is, hogy a HT technológia alacsonyabb hőmérsékletet igénylő kezelést jelenet, mint a MT-s eljárás. Ezzel szemben a meleg áttörési technológiával feldolgozott minták esetében 100% - os C-vitamin veszteséget detektáltunk 2018-ban a két termőterületi mintákban.

**14. táblázat:** Szarvason és Szárítópusztán termesztett paradicsom kétféle módon történt feldolgozásából nyert lé és törköly termékek C-vitamin tartalma (g / g dwt) 2018-ban és 2019-ben.

Paradicsom termék	2018	2019
<b>Szarvas</b>		
Nyers	1215±42	1242±159
HL	1348±43	1254±29
ML	0,0	373±18
HT	0,0	50±3
MT	0,0	7±2
<b>Szárítópuszta</b>		
Nyers	1140±101	1508±31
HL	1379±81	1730±39
ML	0,0	719±11
HT	0,0	478±10
MT	0,0	656±8

A különböző szezonok eltérő abiotikus tényezőinek hatásai a termikus feldolgozás folyamata során növelték a C-vitamint stabilitását. A 2019-es évben a nagyrészt homokos talajú termőterületről származó meleg áttöréssel feldolgozott minták esetében kétszer annyi C-vitamin mennyiség volt kimutatható, mint az agyagos-vályog talajban termesztett paradicsom esetében.



Ebben az évben a feldolgozás folyamata az L aszkorbinsav mennyiségben a homokos talajból származó paradicsom esetén 52,3%-os, még az agyagos talajból származó esetén 70,3%-os veszteséget okozott. Ezek az arányok alátámasztják korábbi kísérletek során mért számadatokat, Chanforan és munkatársai 2012-ben megjelent publikációjában 80%-os, míg egy másik kísérlete során 50%-os veszteséget állapítottak meg a paradicsomfeldolgozás során. A feldolgozás mellékterméke, azaz a törköly, esetében az agyagos-vályog talajból származó minták mind a hideg, mind a meleg áttöréssel feldolgozás során szignifikánsan alacsonyabb ( $P < 0,001$ ) mennyiségű L-aszkorbinsavat tartalmaztak, mint a homokos talajból származó mintákból nyertek.

A hideg áttöréssel technológia során alkalmazott 60°C-os hőkezelés és annak időtartama nem olyan hosszú, hogy inaktiválhassa az aszkorbinsav stabilitásáért felelős enzimeket, így a HTL mintákban a C-vitamin koncentráció hasonló mennyiséget mutatott a kontroll mintákkal. Ez az eredmény minden tenyészidőszak mindkét talajtípusból származó mintákra igaznak bizonyult. A C-vitamin stabilitásának okaként az aszkorbinsav-oxidáz alacsony aktivitását már több kísérlet során bizonyították (Yahia et al., 2001; Abdelgawad et al., 2019; Munyaka et al., 2010). Anthon és munkatársai (2002) párhuzamot állítottak az aszkorbinsav stabilitása és a peroxidázok koncentrációja és aktivitása között paradicsomlében. A levekben tapasztalt változatlan koncentrációjú C-vitamin szint további lehetséges oka a stabilizáló, és/vagy regeneráló enzimek magas aktivitása. Az eredmények alapján megállapítható, hogy a magas L-aszkorbinsav szint korrelál a mono-dehidro-aszkorbinsav-reduktáz, a kataláz, és a szuperoxid-dizmutáz nagy aktivitásával, mely enzimek felelősek az L-aszkorbinsav regenerálódásáért, valamint antioxidáns kapacitásuk védelmet nyújt annak oxidációja ellen (Davey et al., 2000; Stevens et al., 2008; Melliduo et al., 2012).

A feldolgozási melléktermékekben, törkölyben bekövetkező változások, a feldolgozási folyamatok, a szezononkénti eltérő abiotikus paraméterek és a különböző termőtalajok függvényében, még további vizsgálatokat igényelnek, hogy biztos következtetéseket lehessen levonni. A vitamin koncentrációjának drámai csökkenése figyelhető meg a meleg áttöréssel technológiával feldolgozott agyagos-vályog talajból származó mintáknál. Ez a jelentős változás valószínűsíthetően több ok valamelyikének, vagy együttes hatásának köszönhető. 90°C-on történő hosszabb idejű hőkezelés a C-vitamin instabilitását eredményezi, előnyös feltételeket biztosít különböző lebontó folyamatoknak, valamint a magas hőmérséklet, repedést hoz létre a sejtfelszínnek és membránok felületén, mely során a gyümölcs héj alatti sejtrétegéhez és a magvak endospermiumaihoz kötött oxidatív enzimek felszabadulnak. Az irodalom három peroxidáz izoenzimet is megemlít, melyek a paradicsombőr sejtfalához, vagy a héjhoz kötött frakció plazmamembránjaihoz kapcsolódnak (Andrews et al., 2002). Morohashi (2002) tanulmányában leírja, hogy a peroxidáz a paradicsommagok endospermiumának mikropoláris régiójában

aktiválódik, ezen enzimek nagy hőstabilitással bírnak, kémiai vagy termikus úton eluáltak, illetve képesek oxidálni az aszkorbinsavat.

A C-vitamin stabilitását befolyásoló fentiekben leírt tényezőkön túl, a termikus kezelés és a termék víztartalmának drasztikus csökkenése mellett a 2018-as és 2019-es szezonok mintái eltérő reakciót mutatnak. A drasztikus különbség okaként az abiotikus tényezők is számottevő befolyással bírhatnak, így például a napfényes időszakok, a csapadékmennyiség és a jelentős hőmérsékleti eltérés a növények növekedése során, illetve a betakarítást megelőző, a bogyó fejlődésére kritikus jelentőséggel bíró időszakban. Ezek mind nagymértékben csökkenthetik az L-aszkorbinsav stabilitását. Az 3.táblázat adatai azt mutatják, hogy a homokos talajon termesztett állomány esetében a 32°C feletti hőmérséklet lényegesen több, valamint a csapadék mennyisége 3-5-ször nagyobb volt, mint az agyagos vályogtalaj esetében. A nagymennyiségű csapadék magasabb víztartalmú terméshez vezet, mely néhány a vitamin stabilitásáért felelős enzim kimosódását okozhatja. Massot és munkatársai (2013) megállapították, hogy a magas hőmérséklet gátolja az aszkorbinsav szintézisét a paradicsomban. A bogyókat ért hosszas UV sugárzás pedig jelentős változásokat indukál a bioaktív komponens összetételében (Jagadeesh et.al., 2011).

## **6. Következtetések és javaslatok**

### **6.1 Következtetések a vízstressz kísérlet eredményei esetében, a különböző termőterület függvényében, két év adatait vizsgálva**

A tanulmány első felének eredményei rámutattak, hogy mind a két szezonban termesztett állomány esetében csökkent a °Brix, mely az irodalmi adatokkal összhangban áll. Ezen felül a vizsgált fitonutriens mennyiségi és minőségi összetételére sem gyakorolt pozitív hatást az öntözés, a vízstressz ugyanis befolyásolja az érés során a karotinoid szintézis folyamatát, ennek hatására a likopin -  $\beta$ -karotin aránya megváltozik. Méréseim rámutattak, hogy emelkedett vízellátottság mellett a karotinoidok mennyiségi csökkenést mutattak, a  $\beta$ -karotin kivételével. Esetében stagnálás, néhol emelkedés volt detektálható. Másrészt csökkentette az össz-tokoferol mennyiséget is, mely ugyancsak, az össz-karotinoid szinthez hasonlóan, előnytelen a paradicsom magas antioxidáns kapacitású bioaktív fitonutriens tartalma szempontjából.

A C-vitamin mennyiség változatlan marad, így megállapítható, hogy a magas vízmennyiség inkább előnytelen hatást gyakorolt az általam vizsgált bioaktív anyagokra. Ezen eredmények alapján további kísérleteimet a kontroll körülmények között nevelt állománnyal végezzem, ebből a csoportból származó minták kerültek feldolgozásra, mérésre és kiértékelésre.

### **6.2 Következtetések a kétféle feldolgozástechnológiai eljárással kapott eredmények esetében, a különböző termőterület függvényében, két év adatait vizsgálva**

A kutatómunka eredményei új adatokkal szolgálnak arról, hogy mily módon változnak meg a paradicsom fitonutriensek mennyisége és aránya, két különböző feldolgozás technológia alkalmazása mellett, a talaj típusától és az adott évjárat abiotikus tényezőinek eltérő tendenciái függvényében. E haszonnövények tápanyag elemzése során, a hatékony kromatográfias eljárások alkalmazásával pontosan detektálhatjuk a paradicsom és késztermékei bioaktív alkotóelemeiben bekövetkező változásokat, valamint elsőként sikerült leírunk paradicsom késztermékekben előforduló bizonyos karotinoid származékokat.

A vizsgálatokból levonható legfontosabb következtetés, hogy a növényi tápanyagok stabilitását és bomlási folyamatát jelentősen befolyásolja a termesztés helyszíne és ezekhez a területekhez köthető évszakonként változó egyéb abiotikus tényezők. Ennek tudatában érdemes a rendelkezésre álló termőterületen termesztett paradicsomnak és késztermékeinek monitoringozása, annak

érdekében, hogy a feldolgozásra leginkább alkalmas módszert ki lehessen választani, a magas tápanyag-tartalommal bíró termék előállítására céljából.

Érdemes lenne továbbá megfontolni a feldolgozás technológia során keletkező magas tokoferol tartalommal rendelkező és mindezidáig méltatlanul hanyagolt törköly frakció termékfejlesztéssel, új, kreatív ötletekkel történő felhasználását az élelmiszeripar részéről, ezzel is növelve a magas antioxidáns kapacitással rendelkező élelmiszerek termékpalettáját.

## 7. Új tudományos eredmények

Doktori dolgozatomban az ipari paradicsom karotinoid, tokoferol és C-vitamin tartalom és összetétel változásának nyomon követését valósítottam meg, mind vízstressz kísérletben szereplő nyers ipari paradicsom esetében, mind pedig normál vízellátottságú alapanyagból hideg, illetve meleg áttöréses technológiával előállított ivólében és törkölyben. Mindezt a termőtalaj típusának függvényében vizsgálva. Munkám célja az volt, hogy választ találjak arra a kérdésre, hogy ezen abiotikus tényezők milyen mértékben befolyásolják a paradicsom késztermékek fitonutrienseinek arányát és mennyiségét. A megfelelő kromatográfiai módszerek alkalmazásával a karotinoidok, tokoferolok és C-vitamin változások meghatározásával kívántam monitoringozni a környezeti hatások következményeit, mind az öntözési, mind a feldolgozás technológiai kísérletben.

A vizsgálat végeredményeként, új tudományos eredményeimet az alábbi pontokba gyűjtöttem:

1. Kifejlesztettem paradicsom termékekben előforduló karotinoid színanyagok elválasztására, azonosítására és kvantitatív meghatározására alkalmas HPLC-MS/MS módszert, amellyel 33 vegyületet sikerült elválasztani és azonosítani.
2. Két szokatlan karotinoid vegyületet, di-hidroxi-ciklo-likopin adduktot és dimetoxi likopint, először azonosítottam a friss, illetve feldolgozott paradicsom termékekben.
3. A HPLC-FL módszer fejlesztésével megállapítottam, hogy az E vitamin ( $\alpha$ -tokoferol) fő oxidációs terméke az  $\alpha$ -tokoferol hidro-kvinon ( $\alpha$ -TQH<sub>2</sub>) és nem az  $\alpha$ -tokoferol kvinon ( $\alpha$ -TQ).
4. A 2018-ban és 2019-ben mért adatok alapján megállapítható, hogy az UG812 J hibrid ipari paradicsom esetében a vízstressz befolyásolja az érés során a karotinoid szintézis folyamatát, végeredményben eltolja a likopin -  $\beta$ -karotin arányt, esetenként a  $\beta$ -karotin emelkedését eredményezi a paradicsomban.
5. Megállapítottam, hogy a betakarítás előtti hőmérséklet, illetve az eső mennyisége jelentősen befolyásolja a fitonutriensek tartalmát, illetve, stabilitását a feldolgozás során.
6. Bebizonyítottam, hogy magas vízellátás (nagy mennyiségű eső) és alacsony hőmérséklet mellett termesztett paradicsomban, az alapján is kisebb mennyiségben jelen lévő C-vitamin stabilitása jelentősen csökken a feldolgozási folyamat során.

## 8. Összefoglalás

A paradicsom (*Solanum lycopersicon L.*) és a belőle készített élelmiszeripari termékek jelentős szerepet játszanak az emberi táplálkozásban, fontos vitamin, ásványianyag és antioxidáns forrásnak tekinthetők, könnyen hozzáférhető, funkcionális élelmiszerként vagy élelmiszer-összetevőként alkalmazhatjuk őket, akár friss, hőkezelt, sűrített vagy akár szárított formában.

Az ipari paradicsom megfelelő tápanyagértékének kialakulásához számos biotikus és abiotikus tényező járul hozzá. Ebben a tanulmányban a megfelelő termő terület megválasztása és az éghajlati szélsőségek (emelt csapadékmennyiség modellezése) hatása mellett kívántam monitoringozni a paradicsom és ezáltal a belőle, két különböző feldolgozás technológiával (50-60 °C hőmérsékleten végzett hideg áttöréses extrakcióval - HE és a 90 °C-on végzett meleg áttöréses extrakcióval ME) előállított élelmiszeripari termékek fitonutriens összetételében és mennyiségében bekövetkező változásokat, két egymást követő évben.

A tanulmány fő célkitűzése a fentiekben leírtaknak megfelelően a karotinoid-, és tokoferol tartalom és összetétel, valamint a C-vitamin tartalom változásainak felderítése és nyomon követése volt UG812 J (United Genetics Seeds Co., Hollister, CA) közép-korai tenyészidejű, nyitott lombú, ipari paradicsom hibridben. A két különböző termőterület eltérő talajtani tulajdonságokkal rendelkeznek, a szárítópusztai talaj agyagos szerkezetű (41% homok, 47,5-es iszap és 11,5% agyag), még a szarvasi terület talaja agyagos-vályog típusú (37% agyag-, 29,4% homok- és 33,6% iszap-frakció), valamint eltérő éghajlati tényezők jellemzik. Ennek megfelelően Szárítópusztai talaja alacsonyabb vízkapacitású, csapadékosabb és hűvösebb éghajlatú, mint Szarvas. A tenyészidőszak hossza mind a 2 év során, mind a két termőterület esetében 100 napot ölelt fel.

A vízstressz kísérlet során az öntözővíz igény AquaCorp v5.0 szoftver segítségével lett meghatározva, a potenciális evapotranspiráció (PET) kiszámításával. Ezt követően mindkét kísérleti területen egy parcella öntözése a kiszámított PET érték 100%-val (PET\_100), azaz a veszteség teljes mértékének pótlásával, a másiké a számított PET 50%-val (PET\_50) illetve a kontroll parcella a természetes csapadékon túl, csak a palántázáskor került öntözésre. A vízstressz hatását a betakarítást követően összehasonlító vizsgálatokkal követtem nyomon, °Brix, és a már felsorolt fitonutriens értékek mérésével, mely eredményeként megállapítottam, hogy az ipari feldolgozás szempontjából a kontroll csoport rendelkezett a leg előnyösebb tulajdonságokkal, így ezzel a csoporttal folytattam a további kísérleteimet.

A feldolgozási folyamat során a mosást és aprítást követően az iparban alkalmazott két különböző áttörési technológiát alkalmaztam. A hideg áttörés (továbbiakban CBE - Cold Break Extraction) során az aprított paradicsomot 30 percig 60°C-on kezeltem, a meleg áttörés (továbbiakban HBE – Hot Break Extraction) alatt 90°C-on melegítettem a mintát 15 percen keresztül. Ezt követően történt a lé és a törköly szétválasztása. Minden rendelkezésre álló minta esetében szárazanyag tartalom mérés történt.

A karotinoidok és tokoferolok extrakcióját 1:5 arányú 60 ml analitikai tisztaságú metanol: 1,2-diklóretán elegyvel, rotadesztilláló készülék segítségével valósítottam meg, míg a C-vitamin esetében 3% metafoszforsavval extraháltam a mintákat. A karotinoidok, tokoferolok és C-vitamin HPLC vizsgálatát egy Hitachi Chromaster készülék segítségével végeztem, amely egy 5110-es jelzésű típusú gradiens pumpából, egy 5430-as modell dióda-érzékelőből, valamint egy 5440-es típusú fluoreszcencia detektorból áll. Az elválasztást és az adatfeldolgozást az EZChrom Elite szoftver végzi. A karotinoidok és tokoferolok egyidejű mérését egy C-30 magú, 150 x 4,6 mm, 2,6 µm (Thermo Scientific, USA) oszloppal, és (A) terc-butil-metil-éter (TBME) illetve (B) 98% -os metanolos gradiens elúciójának alkalmazásával valósítottam meg.

A karotinoid vegyületek detektálása 195 és 700 nm között történt. A kontroll és a feldolgozott minták vizsgálata során 35 perces HPLC protokollt alkalmaztam, amely kiválóan elválasztotta a fő karotinoidokat, geometriai izomerjeit, illetve származékait. A paradicsom és a belőle készült termékek kromatográfiás profilja öt likopin geometriai izomert, 2 β-karotin izomert és ezen karotinoidok több mono-, és di-epoxidját tartalmazza. Az ezen felül a γ-karotint, a neurosporént, a likoxantint, illetve a fitoént és fitofluént is hatékonyan elválasztotta az alkalmazott módszer. A likopin fő származékait a 9-, és 13-cisz-izomerek és epoxidok tették ki, míg az all-transz-β-karotin származékai között az epoxidok domináltak. Az all-transz-likopin az össz-karotinoid mennyiség 85-87%-át tette ki ez az arány egybe esik az irodalmi adatokkal.

A karotinoidok HPLC-vel történt elválasztását és azonosításuk helyességét és pontosságát LC-MS módszer segítségével ellenőriztük vissza. Az azonosítás során a protonált ion tömeget határozzuk meg, ennek segítségével tudjuk megkülönböztetni egymástól a karotinokat és származékaikat a fragment ionjaik alapján. A fejlesztett LC/MS módszer ugyancsak 35 perc alatt kiválóan elválasztotta és azonosította a fő karotinoidokat, illetve azok geometriai izomerjeit és származékait. A már HPLC mérésein során elválasztott és azonosított karotinoidokon túl, azonban szokatlan karotinoid típusú vegyületeket is sikerült detektálni, mind friss mind feldolgozott mintákban. A totál (molekuláris) ion, illetve a fragment ionok [M és M+H] + tanulmányozása alapján a dihidroxi ciklolikopin adduktot és a dimetoxi likopint először azonosítottunk paradicsom

termékekben. Ezen kívül a  $\gamma$ -karotin, a likoxantin, illetve fitoén és fitofluén is hatékonyan detektálhatóak voltak minden mintában, ezzel is megerősítve jelenlétüket.

Az eredmények azt mutatták, hogy mind a két évben a szarvasi területen termesztett paradicsom meleg áttöréssel feldolgozással nyert lé mintáiban magasabb volt az izomerek és a bomlástermékek aránya, mint a hideg áttöréssel nyert mintában, míg a szárítópusztai területen termesztett paradicsom esetében pont ellentétes eredményt detektáltam. Ez az eltérő abiotikus tényezők hatására utal. A karotinoidok oxidatív lebontásáért felelős enzimek maximális aktivitásához szükséges, talajban lévő tápanyagok szintje közötti különbség is befolyásolhatta a hideg áttöréssel nyert lében a karotinoid származékok magasabb koncentrációját. Mivel a 90°C-on történő hőkezelés, a meleg áttöréssel technológia során, képes inaktiválni az enzimszisztemek többségét, a cis-izomerek, epoxidok és hidroxilált származékok mennyiségi növekedése valószínűleg a hő- és a molekuláris oxigén-indukált reakcióknak köszönhetőek.

Az fő tokoferolok ( $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ - tokoferolok), észtereik és oxidált származékai elválasztása során is hatékonyan bizonyult az alkalmazott módszer. A legjelentősebb mennyiségben az  $\alpha$ -tokoferol, annak acetilezett észtere és oxidált formája (kvinon) volt jelen a mintákban. A  $\gamma$ -tokoferol számottevő mennyiségben a törköly frakciókból volt kimutatható, azon belül is a magokban. A tokoferolok pontosabb azonosítására és hatékonyabb elválasztására fejlesztett fordított fázisú elválasztási módszer fókuszában a domináns  $\alpha$ -tokoferol (a biológiailag aktív E-vitamin forma) és származékai álltak, amelyek biológiai és táplálkozásélettani szerepe igen jelentős. Ezen kívül ugyancsak jelentős eredmény volt kimutatható a módszerfejlesztés révén, hiszen elsőként sikerült azonosítani paradicsom késztermékekben  $\alpha$ - tokoferol-hidro-kvinont, melynek antioxidáns kapacitása magas igen magas és FL detektor segítségével detektálható. Valamint biztonsággal azonosíthatóvá vált a legnagyobb mennyiségben jelen lévő  $\alpha$ -tokoferol észter származék is.

A termesztési szezonokat összehasonlítva, egyértelmű differencia tapasztalható az össz-tokoferol tartalom tekintetében, a 2019-es évben jelentős növekedés tapasztalható, különös tekintettel a szárítópusztai területen termesztett állományánál. Az abiotikus tényezők tekintetében a hideg áttöréssel technológia kisebb mértékű össz-tokoferol csökkenést eredményezett a szárítópusztai paradicsom mintáknál. A mért eredmények azt mutatják, hogy a kinyert paradicsomlében az észterezetlen  $\alpha$ -tokoferol tartalom alacsonyabb volt, mint az acetilezett észterezetten  $\alpha$ -tokoferolé. A feldolgozási folyamat során bekövetkező kémiai változások során, az acetilezett származék nagyobb kémiai stabilitással rendelkezik. A törköly esetében az  $\alpha$ -tokoferol oxidált formájának ( $\alpha$ -tokoferol-kvinon) szintje fordítottan arányos az  $\alpha$ -tokoferol tartalommal, amely igazolja ez utóbbi jelentős antioxidáns aktivitását.



A C-vitamin (L-aszkorbinsav) elválasztása során az aqua Nucleosil Natutilus (Machary Nagel, Düren, Németország), 3  $\mu$ l, 150 x 4.6 mm-es oszlopot alkalmaztam. Az elválasztás gradiens elúcióval történt (A) acetonitril és (B) 0,01M  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  segítségével.

A C-vitamin stabilitását befolyásoló termikus kezelés és a termékek víztartalmának drasztikus csökkenése mellett a szezononként jelentős eltéréssel jelentkező abiotikus tényezők is hozzájárultak a minták eltérő reakcióihoz. Ezen tényezők mind nagymértékben befolyásolták az L-aszkorbinsav stabilitását. A szárítópusztán termesztett állománynál a 32°C feletti hőmérsékletű napok száma lényegesen több, valamint a csapadék mennyisége is jelentősen nagyobb volt, mint a szarvasi területen termesztett állomány esetében. A nagymennyiségű csapadék magasabb víztartalmú terméshez vezet, mely néhány a vitamin stabilitásáért feleős enzim stabilitásának változását okozhatja, illetve a magas hőmérséklet gátolja az aszkorbinsav szintézisét.

## 9. Summary

Tomato (*Solanum lycopersicon* L.) and its products can play a significant role in modern human diet as important sources of vitamins, minerals, and antioxidants as well as their being relatively easily accessible foods. Among phytochemicals, carotenoids are of special interest due to their role in the reduction of the onset of several types of cancer (Giovannucci, 1999) and cardiovascular (Gammone et al. 2015) or neurodegenerative diseases (Rao and Rao, 2007). Tocopherols and vitamin C components play an important role in the defense against oxidative stress (George et al. 2005). The factors most likely to affect the concentration of phytonutrients in the industrial tomato, as in other vegetables may include variety, ripening stage at harvest, agronomical, geographical, and environmental conditions (Lenucci et al. 2006; Ilahy et al. 2011). The nutritive value of tomato fruit can be optimized by the application of suitable cultural practices such as the right choice for topsoil (Meulebroek et al. 2012).

The type of technology used in tomato juice processing is another factor that may cause alteration in quality components of the final products. To produce tomato products industrial varieties, which are resistant to mechanical injuries, are to be used. Usually, the cold-break extraction carried out at 50-60°C and hot-break extraction (HBE) carried out at 90 °C are the widely used technological processes to produce tomato juice (Goodman et al. 2002).

The main objective of the present work was to investigate how the place of cultivation, abiotic factors, and the method of processing affect the content and thermal stability of carotenoids, tocopherols, and vitamin C in tomatoes. To follow the compositional changes on the phytochemicals it is necessary to use the analytical protocol that provides efficient and precise separation and detection of the individual compounds and their isomers and derivatives.

The experiments were performed at two different locations (Szarvas, Szárítópuszta) with the UG812J (United Genetics Seeds Co., Hollister, CA) industrial tomato hybrid. The two different production areas have several environmental and ecological properties (soils specifications Szárítópuszta: 41% sand, 47.5% sludge and 11.5% clay, Szarvas: 37% clay, 29, 4% sand and 33.6% sludge). The length of the growing season was 100 days both during the 2 years and in the two growing areas. Szárítópuszta is a part of Gödöllő territory, which is characterized by high precipitation and low temperature during the cultivation season of vegetables, in contrast to Szarvas.

In the water stress experiment, the irrigation water demand could be used with AquaCorp v5.0 software to calculate the potential evapotranspiration (PET). Subsequently, in both experimental areas, irrigation of one plot with 100% of the calculated PET value (PET\_100), i.e. with full replacement of the loss, the other with the calculated PET with 50% (PET\_50) or the control plot

beyond the natural precipitation, only irrigated during planting. The effect of water stress on the harvest is performed by comparative test observation, °Brix, and the measurement of the phytonutrient values already listed, which I concluded that industrial processing is required by the control group with the most advantageous properties, thus with group continuity and further experiments.

Fully ripe fruits with deep red color (Raw) were freshly harvested from at least 40 plants from the two locations in 4 replicates for each. Processing of tomato for juice extraction was carried out in the Department of Food Industry, Faculty of Food Science of the University of Agricultural and Life Sciences (Budapest, Hungary). The processing included washing, shredding, cold-break extraction (CBE) hot-break extraction (HBE) and pasteurization. In the case of HBE, the shredded tomato batch was heated to 90 °C for 15 min, while CBE was performed at 60°C for 30 min using steam-heated, double jacket cookers. The pomace, which contains the peels and seeds from cold-break (CBP) and hot-break (HBP) extractions were separated by using rotatory roller sieves. The juices were packaged in plastic bottles and stored at -20°C when not immediately analyzed. In the case of CBE, the entire stock was heated to 60°C and stored as for the hot break-extracted samples. The fruits of the raw tomato materials (control) were homogenized in a warring blender and kept at -20°C until the analysis of carotenoids and tocopherols.

The extraction of carotenoids and tocopherols was carried out with a 1: 5 mixture of 60 ml of analytically pure methanol: 1,2-dichloroethane using a rotary distillation apparatus, while in the case of vitamin C, the extraction was performed with 3% metaphosphoric acid. A Hitachi Chromaster HPLC instrument consisting of a Type 5110 gradient pump, a Model 5430 diode sensor, and a Type 5440 fluorescence detector was used for the determination of different phytonutrients. Separation and data processing are performed by EZChrom Elite software. Simultaneous measurements of carotenoids and tocopherols were performed on a C-30 core 150 x 4.6 mm, 2.6µm column (Thermo Scientific, USA) with a gradient elution of (A) tert-butyl methyl ether (TBME) in 1% water in methanol (B).

Carotenoid compounds were detected between 195 and 700 nm. During the analysis of the control and the processed samples, I used a 35-min HPLC protocol, which separated the main carotenoids, geometric isomers or derivatives from the outside. Chromatographic profile of tomatoes and manufactured products between five geometric isomers of lycopene, 2 β-carotene isomers and several mono- and di-epoxides of these carotenoids. In addition, γ-carotene, neurosporen, residual xanthine, or phytoene and phytofluene are also efficiently selected for the method used. The major derivatives of lycopene were the 9- and 13-cis isomers and epoxides, while the all-trans-β-carotene derivatives were dominated by epoxides. All-trans-lycopene accounted for 85–87% of the total carotenoid amount, a ratio that is consistent with literature data.

From the results obtained it seems that the interaction between some biochemical and physical factors could determine the tendency and magnitude of change of carotenoids during CBE and HBE. This indicates an effect depending on the soil type too. The difference between the levels of nutrients in the soil required for the maximal activity of the enzymes responsible for the oxidative degradation of carotenoids may lead to higher concentrations of carotenoid derivatives in the cold-breaking juice. Because of the heat treatment at 90 ° C during hot-break (HBP) extractions technology is able to inactivate most enzyme systems, the increase in the amount of cis isomers, epoxides, and hydroxylated derivatives is likely due to heat- and molecular oxygen-induced reactions.

The HPLC provided a good separation of the main tocopherol analogs ( $\alpha$ - $\beta$ - $\gamma$ -tocopherols), their esters and oxidized derivatives. The dominant compounds are  $\alpha$ -tocopherol and its acylated ester and reduced  $\alpha$ -tocopherol quinone ( $\alpha$ TQH<sub>2</sub>), while  $\gamma$ -tocopherol is abundant in the pomace fraction as it distributes high proportion of seeds, the main source of  $\gamma$ -tocopherol.

Tocopherol content of raw tomato and juices in 2019 was higher than in 2018 irrespective of the cultivation location. As the number of days in excess at 30°C is substantially higher in 2019 than in 2018 in both locations it is evident that the concentration of tocopherol in tomato is temperature- and sunshine-dependent. In both cultivation seasons and location, homogenization and heating of tomato fruits resulted in a significant loss of both free and acylated  $\alpha$ -tocopherol in juices as a great portion of the exocarp is removed with the pomace fraction. The difference in climate between the two locations manifested itself in changing the response of tocopherols to thermal processing. CBE of tomato cultivated at lower temperature and higher precipitation produced juice and pomace with higher tocopherol content as compared to that obtained with HBE ( $p < 0.01$ ) despite the effect of high heating temperature on release of the compounds from peel and seed membranes. The opposite trend was observed in juice from tomato cultivated with at temperature and low precipitation with which content of vitamin E components was higher in HBE. The response of tocopherols to thermal treatments was almost similar to that noticed for carotenoids.

The obtained results showed that the unesterified  $\alpha$ -tocopherol content in the extracted tomato juice was lower than that of the acetylated esterified  $\alpha$ -tocopherol. During the chemical volatilities that occur during the processing process, the acetylated derivative has greater chemical stability. In the case of pomace, the level of the oxidized form of  $\alpha$ -tocopherol ( $\alpha$ -tocopherol quinone) is inversely proportional to the  $\alpha$ -tocopherol content, which confirms the latter's significant antioxidant activity.

Vitamin C (L-ascorbic acid) was separated on aqua C18, 3 $\mu$ , 150 x 4.6 mm column (Nataulis from Machery Nagel, Düren, Germany), with a gradient elution of acetonitrile (A) in 0.01M KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>(B). The separated compounds were detected by DAD between 190 and 400nm. Identification and quantification of L-ascorbic acid were based on calibration curve of standard material. Under the used conditions L-ascorbic acid had an absorption maximum at 262 nm, at which the area was integrated.

As being heat- and molecular oxygen- sensitive substantial loss was expected for vitamin C as a function of thermal processing. The vitamin C content of raw tomato was 1200-1300  $\mu$ g/g dry weight. It is believed that differences in the sunshine period, precipitation, and temperature during plant growth and before fruit harvest might cause a great decrease to the ascorbic acid stabilizing factors. In addition to the thermal treatment affecting the stability of vitamin C and the drastic decrease in the water content of the products, abiotic factors with significant seasonal variations also contributed to the different reactions of the samples. All of these factors greatly influenced the stability of L-ascorbic acid. The number of days with a temperature above 32°C was significantly more and the amount of precipitation was also significantly higher in Szárítópuszta than Szarvas. Based on the factors affecting stability and content of vitamin C in tomato it can be said that one or more of these factors may stand beyond the dramatic decrease in thermally treated juices and pomaces in cultivation season of 2018. It is believed that differences in the sunshine period, precipitation, and temperature during plant growth and before fruit harvest might cause a great decrease to the ascorbic acid stabilizing factors.

## 10. Irodalomjegyzék

- Abdelgawad, K.F., El-Mogy, M.M., Mohamed, M. I. A., Garchery, C., & Stevens, R. (2019): Increasing ascorbic acid and salinity tolerance of cherry tomato plants by suppressed expression of the ascorbate oxidase gene. *Agronomy*, 9, 51-64.
- Abdel-Rahman, A. (1982): The chemical constituents of tomato seeds. *Food Chemistry*, 9 (4), 315–318. doi:10.1016/0308-8146(82)90084-x
- Abushita, A. A., Daood, H. G., & Biacs, P. A. (2000): Change in Carotenoids and Antioxidant Vitamins in Tomato as a Function of Varietal and Technological Factors. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48 (6), 2075–2081. doi:10.1021/jf990715p
- Agarwal, S., Rao, A.V. (2000): Tomato lycopene and its role in human health and chronic diseases. *CMAJ* 163 (6) 739-744;
- Allaire, S., Caron, J., Ménard, C., & Dorais, M. (2004): Growing media varying in particle size and shape for greenhouse tomato. *Acta Horticulturae*, (644), 307–311. doi:10.17660/actahortic.2004.644.41
- Allen, R. G., Smith, M., Pereira, L. S. & Perrier, A. (1994): An Update for the Calculation of Reference Evaporation, *ICID Bull.* 43, 35–92.
- Alves-Rodrigues, A., & Shao, A. (2004): The science behind lutein. *Toxicology Letters*, 150 (1), 57–83. doi: 10.1016/j.toxlet.2003.10.031
- Alvino, A.; Zerbi, G.; (1980): Water status, stomatic resistance and transpiration, with relation to different levels of water deficit in maize, tomato, tobacco and sugar-beet. *Rivista di Agronomia (Italy)*, 14(3), 210-220.
- Aman, R., Schieber, A., & Carle, R. (2005): Effects of Heating and Illumination on Trans–Cis Isomerization and Degradation of  $\beta$ -Carotene and Lutein in Isolated Spinach Chloroplasts. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(24), 9512–9518. doi:10.1021/jf050926w
- Andrews, J., Adams, S.R., Burton, K.S. & Evered, C.E. (2002): Subcellular localisation of peroxidase in tomato fruit skin and the possible implications of the regulation of fruit growth. *Journal of Experimental Botany*, 53, 1853-1691
- Anese, M., Falcone, P., Fogliano, V., Nicoli, M. C., & Massini, R. (2002): Effect of Equivalent Thermal Treatments on the Color and the Antioxidant Activity of Tomato Puree. *Journal of Food Science*, 67(9), 3442–3446. doi:10.1111/j.1365-2621.2002.tb09603.x
- Anese, M., Manzocco, L., Nicoli, M. C., & Lericci, C. R. (1999): Antioxidant properties of tomato juice as affected by heating. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 79(5), 750–754. doi:10.1002/(sici)1097-0010(199904)79:5<750: aid-jsfa247>3.0.co;2-a

- Angaman, D.M., Renato, M., Azcón-Bieto, J. & Boronat, A. (2014): Oxygen consumption and lipoxygenase in isolated tomato fruit chromoplasts, *Journal of Plant Sciences*, 2, 5-8
- Antal M., Regöly-Mérei A. (2012): Az E vitamin szerepe az egészség megőrzésében. *Magyar Tudomány*. 7: 861–868
- Anthon, G.E., Sekine, Y., Watanabe, N. & Barrett, D.M. (2002): Thermal inactivation of pectin methylesterase, polygalacturonase and peroxidase in tomato juice. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50, 6153-6159
- Arango Y., Heise K. P. (1998): Tocopherol synthesis from homogentisate in *Capsicum annuum* L. (yellow pepper) chromoplast membranes: evidence for tocopherol cyclase. *Biochem. J.* 336: 531–533
- Atherton, J.G. & Rudich, J. (1986): *The Tomato Coproduction* Chapman & Hall, London, U.K.
- Azevedo-Meleiro, C. H., & Rodriguez-Amaya, D. B. (2007): Qualitative and Quantitative Differences in Carotenoid Composition among *Cucurbita moschata*, *Cucurbita maxima*, and *Cucurbita pepo*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55 (10), 4027–4033. doi:10.1021/jf063413d
- Bai, Y., & Lindhout, P. (2007): Domestication and Breeding of Tomatoes: What have We Gained and What Can We Gain in the Future? *Annals of Botany*, 100(5), 1085–1094. doi:10.1093/aob/mcm150
- Balázs S. (1985): *Paradicsomtermesztés*. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest. pp. 63-91.
- Bel-Haj H. M. (1981): Effect of cultivars, break temperature, pulping and extraction methods on the viscosity of tomato juice – dissertation
- Ben-Aziz, A., Britton, G.T., Goodwin, W., (1973): Carotene epoxides of *Lycopersicon esculentum*., Volume 12, Issue 11, Pages 2759-2764, [https://doi.org/10.1016/0031-9422\(73\)85095-2](https://doi.org/10.1016/0031-9422(73)85095-2)
- Bendich, A. (1992): Safety Issues Regarding the Use of Vitamin Supplements. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 669(1), 300–310. doi:10.1111/j.1749-6632.1992.tb17109.x
- Bergmüller, E., Porfirova, S., Dörmann, P., (2003): Characterization of an Arabidopsis mutant deficient in  $\gamma$ -tocopherol methyltransferase *Plant Molecular Biology*, 52, 1181–1190.
- Biacs, P. & Daood, H.G. (2000): Lipoxygenase-catalysed degradation of carotenoids from tomato in presence of antioxidant vitamins, *Biochemical Society Trans*, 28, 839-845
- Bíró, A., Nemes, A., Remenyik J., (2015): Sour cherry seed as an industrial gamma tocopherol source. *Acta Agraria Debreceniensis*, - ojs.lib.unideb.hu 1 2/17/15 12:16 PM
- Blázovics A. (2009): A szabad gyököktől a táplálkozás tudományáig. *Orvosi Hetilap*. 150. 2: 53–63.

- Bowen, P., Chen, L., Stacewicz-Sapuntzakis, M., Duncan, C., Sharifi, R., Ghosh, L., Christov-Tzelkov, K., Breemen, R. V. (2002): Tomato Sauce Supplementation and Prostate Cancer: Lycopene Accumulation and Modulation of Biomarkers of Carcinogenesis. *Experimental Biology and Medicine*, 227(10), 886–893. doi:10.1177/153537020222701008
- Bramley, P.M. (2002): regulation of carotenoid formation during tomato fruit ripening and development. *Journal of Experimental Botany*, 53, 2107-2113.
- Britton, G., (1995): Structure and properties of carotenoids in relation to function. *FASEB J.*, 9: 1551-1558.
- Britton, G., Liaaen-Jensen, S., Pfander, H., Verlag, B., (2004): Carotenoids: handbook, Birkhäuser Verlag, Basel – Boston – Berlin 2004. ISBN 3-7643-6180-8.
- Camara B., Hugueney P., Bouvier F., Kuntz M., Moneger R., (1995): Biochemistry and molecular biology of chromoplast development. *Int Rev Cytol* 163: 175–247
- Campbell, S.–Stone, W.–Whaley, S.–Krishnan, K. (2003): Development of gamma-tocopherol as a colorectal cancer chemopreventive agent. *Critical reviews in oncology/Hematology*. 47: 249–259
- Cantwell, M. (1998): Optimum procedures for ripening tomatoes. In: Management of fruit ripening, A. Kader (ed.). Postharvest Horticulture Series No. 9. Postharvest Outreach Program, University of California, Davis.
- Capanoglu, E., Beekwilder, J., Boyacioglu, D., Hall, R, & de Vos, R. (2008): Changes in antioxidants and metabolite profile during production of tomato paste *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56, 964-973
- Chandra, H.M. & Ramalingam, S. (2011): Antioxidant potentials of skin, pulp and seed fractions of commercially important tomato cultivars. *Food Science and Technology*, 20, 15-21.
- Chanforan, C., Loonis, M., Mora, N., Caris-Veyrat, C., & Dufour, C. (2012): The impact of industrial processing on health-beneficial tomato microconstituents. *Food Chemistry*, 134(4), 1786–1795. doi: 10.1016/j.foodchem.2012.03.077
- Cheftel, J. C. (1992): Effects of high hydrostatic pressure on food constituents: an overview. In *High Pressure and Biotechnology*, C. Balny, R. Hayashi, K. Heremans, and P.J. Masson, (Ed.) p. 195-209. Libbey Eurotext, London.
- Chichester, C. O. and Nakayama, T. O. M. (1965): Chemistry and Biochemistry of Plant Pigments (GOODWIN, T. W., ed.), p. 439, Academic Press, London.
- Ciccone, M. M., Cortese, F., Gesualdo, M., Carbonara, S., Zito, A., Ricci, G., Pascalis F.G., Scicchitano P., Riccioni, G. (2013): Dietary Intake of Carotenoids and Their Antioxidant and Anti-Inflammatory Effects in Cardiovascular Care. *Mediators of Inflammation*, 1–11. doi:10.1155/2013/782137



- Clément, A., Dorais, M., & Vernon, M. (2008): Multivariate Approach to the Measurement of Tomato Maturity and Gustatory Attributes and Their Rapid Assessment by Vis-NIR Spectroscopy. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56(5), 1538–1544. doi:10.1021/jf072182n
- Colla, G.; Mitchell, J. P.; Joyce, B.A.; Huyck, L.M.; Wallender, W.W.; Temple, S.R.; Hsiao, T.C.; Poudel, D. D. (2000): Soil Physical Properties and Tomato Yield and Quality in Alternative Cropping Systems. *Agronomy Journal*, 92 (5), 924-932.
- Colle, I., Lemmens, L., Van Buggenhout, S., Van Loey, A., & Hendrickx, M. (2010): Effect of Thermal Processing on the Degradation, Isomerization, and Bioaccessibility of Lycopene in Tomato Pulp. *Journal of Food Science*, 75(9), C753–C759. doi:10.1111/j.1750-3841.2010.01862.x
- Cooperstone J.L., Raiston R. A., Riedl K.M., Haufe T.C., Schweigert R.M., King S. A., Timmers C.D., Francis D.M., Lesinski G.B., Clinton S.K. & Schwart S.J. (2015): Enhanced bioavailability of lycopene when consumed as cis-isomers from tangerine compared to red tomato juice, a randomized, cross-over clinical trial. *Molecular Nutrition and Food Research*, 59, 658-669.
- Corona, V., Aracri, B., Kosturkova, G., Bartley, G. E., Pitto, L., Giorgetti, L., Scolnik, P. A., Giuliano, G. (1996): Regulation of a carotenoid biosynthesis gene promoter during plant development. *The Plant Journal*, 9(4), 505–512. doi:10.1046/j.1365-313x.1996.09040505.x
- Craft, N. E. (1992): Carotenoid reversed-phase high-performance liquid-chromatography methods - Reference compendium. *Method Enzymol*, 213, 185-205.
- Crelier, S., Robert, M.-C., Claude, J., & Juillerat, M.-A. (2001): Tomato (*Lycopersicon esculentum*) Pectin Methylsterase and Polygalacturonase Behaviors Regarding Heat- and Pressure-Induced Inactivation. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49(11), 5566–5575.
- Cunningham, F. X., & Gantt, E. (1998): Genes and enzymes of carotenoid biosynthesis in plants. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 49(1), 557–583. doi: 10.1146/annurev.arplant.49.1.557
- D'Evoli, I., Lombardi-Boccia, G. & Lucarini, M., (2013): Influence of heat treatments on carotenoid content of cherry tomatoes. *Foods*, 2, 352-363
- Daood, H. G., Ráth, Sz., Palotás, G., Halász, G., Hamow, K., Helyes, L. (2021): Efficient HPLC Separation on a Core-C30 Column with MS2 Characterization of Isomers, Derivatives and Unusual Carotenoids from Tomato Products. *Journal of Chromatographic Science*, doi: <https://doi.org/10.1093/chromsci/bmab085>

- Davey, M. W., Montagu, M.V, Inzé, D., Sanmartin, M., Kanellis, A., Smirnoff, N., Benzie, I.J.J, Strain, J., Favell, D., & Fletcher, J. (2000): Plant L-ascorbic acid: chemistry, function metabolism, bioavailability and effects of processing. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 80, 825-860.
- Davidek, J., Velisek, J., & Pokorny, J. (1990): Chemical changes during food processing, 4.10: Ascorbic and dehydroascorbic acid (vitamin C). Czechoslovak Medical Press, Avicenum, Prague
- Davies, J. N., Hobson, G. E., & McGlasson, W. B. (1981): The constituents of tomato fruit — the influence of environment, nutrition, and genotype. *C R C Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 15(3), 205–280. doi:10.1080/10408398109527317
- De Faria, A. F., Hasegawa, P. N., Chagas, E. A., Pio, R., Purgatto, E., & Mercadante, A. Z. (2009): Cultivar influence on carotenoid composition of loquats from Brazil. *Journal of Food Composition and Analysis*, 22(3), 196–203. doi: 10.1016/j.jfca.2008.10.014
- De Sio, F., Dipollina, G., Villari, G., Loiudice, R., Laratta, B., & Castaldo, D. (1995): Thermal resistance of pectin methylesterase in tomato juice. *Food Chemistry*, 52(2), 135–138. doi:10.1016/0308-8146(94)p4192-i
- De Sio, F., Rapacciuolo, M., De Giorgi, A., Trifiró, A., Giullano, B., Morano, G., Cuciniello, A., Caruso, G. (2019): Yield, quality, antioxidant, and sensorial properties of diced tomato as affected by genotype and industrial processing in Southern Italy. *Acta Alimentaria*. 48, (1), 132-14.,
- Deli, J., & Osz, E. (2004): Carotenoid 5,6-, 5,8- and 3,6-epoxides. *Arkivoc*, 7, 150-168
- Diretto, G., Tavazza, R., Welsch, R., Pizzichini, D., Mourgues, F., Papacchioli, V., Beyer, P., Giuliano, G. (2006): Metabolic engineering of potato tuber carotenoids through tuber-specific silencing of lycopene epsilon cyclase. *BMC Plant Biology*, 6(1), 13. doi:10.1186/1471-2229-6-13
- Dorgan, J. F., Boakye, N. A., Fears, T. R., Schleicher, R. L., Helsel, W., Anderson, C., Robinson, J., Guin, J. D., Lessin, S., Ratnasinghe, L. D., & Tangrea, J. A., (2004): Serum Carotenoids and  $\alpha$ -Tocopherol and Risk of Nonmelanoma Skin Cancer. *American Association for Cancer Research, Cancer Epidemiol Biomarkers Prev* 2004; 13(8): August 1276-1282
- Dragovic-Uzelac, V., Levaj, B., Mrkic, V., Bursac, D., & Boras, M. (2007): The content of polyphenols and carotenoids in three apricot cultivars depending on stage of maturity and geographical region. *Food Chemistry*, 102(3), 966–975. doi: 10.1016/j.foodchem.2006.04.001

- Dumas, Y., Dadomo, M., Giuseppe, D.L. & Grolie, P. (2003): Effects of environmental factors and agricultural techniques on antioxidant content of tomatoes. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 83: 369 – 382
- Eisenreich, W., Rohdich, F., & Bacher, A. (2001): Deoxyxylulose phosphate pathway to terpenoids. *Trends in Plant Science*, 6(2), 78–84. doi:10.1016/s1360-1385(00)01812-4
- El-Gizawi, A.M., Abdallah, M.M.F., Gomaa, H.M., & Mohamed, S.S. (1993): Effect of different shading levels on tomato plants. 2. Yield and fruit quality. *Acta Horticulturae* 323: 349–354.
- Ezell, B.D., & Wilcox, M.S., (1959): Loss of vitamin C in fresh vegetables as related to wilting and temperatures. *J. Agric. Food Chem.* 7: 507.
- Fachin, D., Van Loey, A. M., Ly Nguyen, B., Verlent, I., Indrawati, & Hendrickx, M. E. (2003): Inactivation kinetics of polygalacturonase in tomato juice. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 4(2), 135–142. doi:10.1016/s1466-8564(02)00090-5
- Fanasca, S., Colla, G., Maiani, G., Venneria, E., Rouphael, Y., Azzini, E., & Saccardo, F. (2006): Changes in Antioxidant Content of Tomato Fruits in Response to Cultivar and Nutrient Solution Composition. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54(12), 4319–4325. doi:10.1021/jf0602572
- 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. doi: 10.1016/j.scienta.2009.06.026
- Fekete, J. (2006): Folyadékkromatográfia elmélete és gyakorlata. Edison House Kft.
- Fiebig, A., Dodd, I. C.: (2016): Inhibition of tomato shoot growth by over-irrigation is linked to nitrogen deficiency and ethylene. *Physiologia Plantarum*. 156. 1: 70–83.
- Fito PJ, Clemente G, Sanz FJ. (1983): Rheological behavior of tomato concentrate (hot break and cold break). *J Food Eng*, 2(1):51-62.
- Fitzpatrick T. B., Basset G. J., Borel P., Carrari F., Dellapenna D., Fraser P. D., Hellmann H., Osorio S., Rothan C., Valpuesta V., Caris-Veyrat C., & Fernie A. R. (2012): Vitamin efficiencies in humans: can plant science help? *The Plant Cell*. 24. 2: 395–414
- Fox, B.A., & Cameron, A.G., (1995): *Food Science, Nutrition & Health*, 6th Edition, Chapter 13: Vitamins. J.W. Arrowsmith Ltd., Bristol, UK, pp. 236–242.
- Frankel E. N. (1998): Lipid oxidation. *The Oily Press* 187–225. pp.
- Fraser, P. D., Truesdale, M. R., Bird, C. R., Schuch, W., & Bramley, P. M. (1994): Carotenoid Biosynthesis during Tomato Fruit Development (Evidence for Tissue-Specific Gene Expression). *Plant Physiology*, 105(1), 405–413. doi:10.1104/pp.105.1.405

- Fraser, P.D, Romer, S., Shipton, A.A., Mills P.B., Kiano, J.W., Misawa, N., Drake, et al. (2002): Evaluation of transgenic tomato plants expressing an additional phytoene synthase in a fruit-specific manner. *Proceeding of the National Academy of Science (PNAS)*, 99, 1092-1097
- Gahler, S., Otto, K., & Böhm, V., (2003): Alterations of Vitamin C, Total Phenolics, and Antioxidant Capacity as Affected by Processing Tomatoes to Different Products. *J. Agric. Food Chem.* 51(27), 7962-7968.
- Gama J.J.T., Tadiotti A.C., & de Sylos C.M. (2006): Comparison of carotenoid content in tomato, tomato pulp and ketchup by liquid chromatography, *Brazilian Journal of Food and Nutrition (Alim. Nutr. ,Araraquara)*, 17, 353-358.
- Gammone, M.A., Riccioni, G. & D’Orazio, N. (2015): Carotenoids potential allies of cardiovascular health? *Food & Nutrition Research*, 59: 26762
- George, B., Kaur, C., Khurdiya, D. S., & Kapoor, H. C. (2004): Antioxidants in tomato (*Lycopersium esculentum*) as a function of genotype. *Food Chemistry*, 84(1), 45–51. doi:10.1016/s0308-8146(03)00165-1
- George, S.A., Brat, P. Alter P, & Amiot M. J. (2005): Rapid Determination of Polyphenols and Vitamin C in Plant-Derived Products. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53, 1370-1373
- Gharbi, S., Renda, G., La Barbera, L., Amri, M., Messina, C.M. & Santulli, A. (2017): Tunisian tomato by-products, as a potential source of natural bioactive compounds. *Natural Product Research*, 31, 626-631
- Giovanelli, G., Lavelli, V., Peri, C., & Nobili, S. (1999): Variation in antioxidant components of tomato during vine and post-harvest ripening. *Journal of Science of Food and Agriculture*, 79, 1583–1588
- Giovannucci, E. (2002): A Review of Epidemiologic Studies of Tomatoes, Lycopene, and Prostate Cancer. *Experimental Biology and Medicine*, 227(10), 852–859. doi:10.1177/153537020222701003
- Giovannucci, E. (1999): Tomatoes, tomato-based products, lycopene, and cancer: Review of the epidemiologic literature. *Journal of the National Cancer Institute*, 91(4): 17.
- Giuliano, G., Bartley G. E., Scolnik, P.A, (1993): Regulation of Carotenoid Biosynthesis during Tomato Development. *THE PLANT CELL ONLINE*, 5(4), 379–387. doi:10.1105/tpc.5.4.379
- Glover, J. & Redfearn, E. R. (1953): *Biochem. J.* 54 - 2, VIII.
- Gómez, R., A. Alonso, & M. Martín (1978): Carotenoid absorption in chicken intestine. *Rev. Esp. Fisiol.*, 34:257–259.

- González-Vallinas, M., González-Castejón, M., Rodríguez-Casado, A., & Ramírez de Molina, A. (2013): Dietary phytochemicals in cancer prevention and therapy: a complementary approach with promising perspectives. *Nutrition Reviews*, 71(9), 585–599. doi:10.1111/nure.12051
- Goodman C.L., Fawcett S., & Barringer S.A. (2006): Flavor, Viscosity, and Color Analyses of Hot and Cold Break Tomato Juices <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2002.tb11418.x>
- Goodman, C. L., Fawcett, S., & Barringer, S. A. (2002): Flavor, Viscosity, and Color Analyses of Hot and Cold Break Tomato Juices. *Journal of Food Science*, 67(1), 404–408. doi:10.1111/j.1365-2621.2002.tb11418.x
- Gould, W. V. (1992): *Tomato Production, Processing and Technology*. CTI Publications, Baltimore
- Granado, F., Olmedilla, B., Blanco, I., (2003): Nutritional and clinical relevance of lutein in human health DOI: <https://doi.org/10.1079/BJN2003927> Volume 90, Issue 3, pp. 487-502
- Harker, M., & Hirschberg, J. (1998): Molecular biology of carotenoid biosynthesis in photosynthetic organisms. *Photosynthesis: Molecular Biology of Energy Capture*, 244–263. doi:10.1016/s0076-6879(98)97019-7
- Hayes, W. A., Smith, P. G., & Morris, A. E. J. (1998): The Production and Quality of Tomato Concentrates. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 38(7), 537–564. doi:10.1080/10408699891274309
- Hdider, C., Ilahy, R., Tlili, I., Lenucci, S, C. & Dalessandro, G. (2013): Effect of maturity on the antioxidant content and antioxidant activity of high-pigment tomato cultivars grown in Italy. *Food*, 7, Special issue), 1-7
- Heinonen, I.M., & Meyer, A.S. (2002): Antioxidants in fruit, berries and vegetables. In: Jongen w.(ed) *Fruit and vegetable: processing improving quality*. Woodhead Publishing Ltd and CRC press, Cambridge, pp56-59
- Helyes L. (1999): *A paradicsom és termesztése*. SYCA Szakkönyvszolgálat, Budapest. 233
- Helyes, L., Dimény, J., Pék, Z. & Lugasi, A. (2006): Effect of maturity stage on content, color and quality of tomato (*Lycopersicon lycopersicum* (L.) Karsten) fruit. *Int. Journal of Horticultural Science*, 12(1): 41-44.
- Helyes, L., Lugasi, A. & Pék, Z. 2007. Effect of natural light on surface temperature and lycopene content of vine ripened tomato fruit. *Canadian Journal of Plant Science*, 87(4): 927-929.
- 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. doi:10.15835/nbha4219396

- Helyes, L., Varga, G., Dimény, J., & Pék, Z. (1999): The simultaneous effect of variety, irrigation and weather on tomato yield. *Acta Horticulturae*, (487), 499–506. doi:10.17660/actahortic.1999.487.83
- Hennig A. (1972): Mineralstoffe – Vitamine – Ergotropika. Deutsche Landwirtschaftsverlag, Berlin, 312–322. pp.
- Herrmann, K. (1976): Flavonols and flavones in food plants: a review. *International Journal of Food Science & Technology*, 11(5), 433–448. doi:10.1111/j.1365-2621.1976.tb00743.x
- Hess, D., Keller, H.E., Oberlin, B., Bonfanti, R., & Schüep W. (1991): Simultaneous determination of retinol, tocopherols, carotenes and lycopene in plasma by means of high-performance liquid chromatography on reversed phase. *Int J Vitam Nutr Res.*, 61(3):232-238.
- Ho, L.C. (1996): The mechanism of assimilate partitioning and carbohydrate compartmentation in fruit in relation to the quality and yield of tomato. *Journal of Experimental Botany*, 47, 1239-1243
- Ho, L.C. (1999): The physiological basis for improving tomato fruit quality. *Acta Hort.*, 487, 33-40.
- Hoover, D. G. ; Metrick, C; Papineau, A. M; Farkas, D. F; Knorr, D. (1989): Biological effects of high hydrostatic pressure on food microorganisms *Food technology (Chicago)*. 43, (3), 99-107.
- Hsu, K.-C. (2008): Evaluation of processing qualities of tomato juice induced by thermal and pressure processing. *LWT - Food Science and Technology*, 41(3), 450–459. doi: 10.1016/j.lwt.2007.03.022
- Ilahy, R., Hdider, C., Lenucci, M.S., Tlili, I. & Dalessandro, G. (2011): Antioxidant activity and bioactive compound changes during fruit ripening of high-lycopine tomato cultivars. *J. Agric. Food Chem.*, 24: 588-595.
- Illés, G., Fonyó T., Pásztor, L., Bakacsi ZS. & Laborezi, A. (2016): Agroclimate 2 project of compilation of digital soil-type map of Hungary. *Erdészettudomány Közlemények*, 6, 17-24.
- Imre, T., (2009): Fehérjék nemkovalens komplexképzésének és glikozilációjának tömegspektrometriás vizsgálata. *Értekezés / repozitorium.omikk.bme.hu*
- Inal, M., Sunal, E., Kanbak, G., & Zeytinoğlu, S. (1997): Effects of postmenopausal hormone replacement and  $\alpha$ -tocopherol on the lipid profiles and antioxidant status. *Clinica Chimica Acta*, 268 (1-2), 21–29. doi:10.1016/s0009-8981(97)00153-8
- Jackson, R. D., Idso, S. B., Reginato, R. J., Pinter, J. P. J. (1981): Canopy temperature as a crop water stress indicator. *Water resources research*. 17 (4), 1133–1138.
- Jackson, R. D., Reginato, R. J., Idso, S. B.: (1977): Wheat canopy temperature: A practical tool for evaluating water requirements. *Water Resources Research*, 13 (3), 651–656.

- Jagadeesh, S.L., Charles, M.T., Garipey, Y., Goyette, B., Raghavan, G.S.V. & Vigneault, C. (2011): Influence of postharvest UV-C hormesis on the bioactive components of tomato during post-treatment handling. *Food Bioprocess Technology*, 4, 1463-1472.
- Jones, H. G. (2004): Application of Thermal Imaging and Infrared Sensing in Plant Physiology and Ecophysiology. *Advances in Botanical Research*, 41, 107–163.
- Kaniszewski, S., Elkner, K. & Rumpel, J. (1987): Effect of nitrogen fertilization on yield, nitrogen status in plants and quality of fruits of direct seeded tomatoes. *Acta Hort.* 200:195-202.
- Karrer, P. & Jucker, E. (1950): Carotenoids. Elsevier, New York.
- Kato, M. (2004): Accumulation of Carotenoids and Expression of Carotenoid Biosynthetic Genes during Maturation in Citrus Fruit. *PLANT PHYSIOLOGY*, 134(2), 824–837. doi:10.1104/pp.103.031104
- Katsanidis, E., Addis, P.B., (1999): Novel HPLC analysis of tocopherols, tocotrienols, and cholesterol in tissue. 27 (11–12), 1137-1140.
- Kaul, N., Devaraj, S., & Jialal, I. (2001):  $\alpha$ -Tocopherol and Atherosclerosis. *Experimental Biology and Medicine*, 226 (1), 5–12. doi:10.1177/153537020122600102
- Kaur, D., Wani, A. A., Oberoi, D. P. S., & Sogi, D. S. (2008): Effect of extraction conditions on lycopene extractions from tomato processing waste skin using response surface methodology. *Food Chemistry*, 108 (2), 711–718. doi: 10.1016/j.foodchem.2007.11.002
- Khachik, F., Beecher, G., Smith, J.C. Jr. (1995): Lutein, Lycopene, and their oxidative metabolites in chemoprevention of cancer. *J Cell Biochem (Suppl22)*: 236-246.
- Khachik, F., Goli, M. B., Beecher, G. R., Holden, J., Lusby, W. R., Tenorio, M. D., & Barrera, M. R. (1992): Effect of food preparation on qualitative and quantitative distribution of major carotenoid constituents of tomatoes and several green vegetables. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 40 (3), 390–398. doi:10.1021/jf00015a006
- Khachik, F., Beecher, G. R., & Goli, M. B. (1991): Separation, identification, and quantification of carotenoids in fruits, vegetables and human plasma by high performance liquid chromatography. *Pure and Applied Chemistry*, 63, 71-80.
- Khalil, M., Raila, J., Ali, M., Islam, K. M. S., Schenk, R., Krause, J.P., Schweigert, F.J., & Rawel, H. (2012): Stability and bioavailability of lutein ester supplements from *Tagetes* flower prepared under food processing conditions. *Journal of Functional Foods*, 4(3), 602–610. doi: 10.1016/j.jff.2012.03.006
- Knorr, D., (1993): Effects of high-hydrostatic-pressure processes on food safety and quality. *Food technology*, Chicago, 47 (6), 156-161.

- Koskitalo, L. N., & Ormrod, D. P. (1972): Effect of sub-optimal ripening temperatures on the color quality and pigment composition of tomato fruit. *Journal of Food Science*, 37(1), 56–59. doi:10.1111/j.1365-2621.1972.tb03384.x
- Kruk, J., Szymańska, R., & Krupinska, K. (2008): Tocopherol quinone content of green algae and higher plants revised by a new high-sensitive fluorescence detection method using HPLC–Effects of high light stress and senescence. *Journal of Plant Physiology*, 165, 1238-1247. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2008.03.006>
- Kucuk, O., Sarkar, F. H., Djuric, Z., Sakr, W., Pollak, M. N., Khachik, F., Mousum Banerjee, John S. Bertram, Wood, D. P. (2002): Effects of Lycopene Supplementation in Patients with Localized Prostate Cancer. *Experimental Biology and Medicine*, 227 (10), 881–885. doi:10.1177/153537020222701007.
- Lee, H. S., & Castle, W. S. (2001): Seasonal Changes of Carotenoid Pigments and Color in Hamlin, Earlygold, and Budd Blood Orange Juices. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49 (2), 877–882. doi:10.1021/jf000654r
- Lee, S.K., Kader, A.A., (2000): Preharvest and postharvest factors influencing vitamin C content of horticultural crops. *Postharvest Biol. Technol.*, 20: 207–220.
- Lenucci, M.S., Cadinu, D., Taurino, M., Piro, G. & Dalessandro, G. (2006): Antioxidant composition in cherry and high-pigment tomato cultivars. *J. Agric. Food Chem.*, 54: 2606-2613.
- Lin, C. H. & Chen B. H. (2005); Stability of carotenoids in tomato juice during storage. *Food Chemistry*, 221, 837-846.
- Lin, C. H. & Chen, B. H. (2003): Determination of carotenoids in tomato juice by liquid chromatography. *J. Chromatography A*. 1012, 103-109
- Lin, C. H. & Chen, B. H. (2005): Stability of carotenoids in tomato juice during storage. *Food Chemistry*, 90, 837-846
- Liu, M., & Lee M.L. (2006): Ultrahigh pressure liquid chromatography using elevated temperature. *Journal of Chromatography.*, 1104: 198-202.
- Liu, H., Weisman, D., Ye, Y.B., Cui, B., Huang, Y.H., Colon-Carmona, A., & Wang, Z.H (2009): An oxidative stress response to polycyclic aromatic hydrocarbon exposure is rapid and complex in *Arabidopsis thaliana*. *Plant Sci*. 176: 375-382.
- Locascio, S. J., Wiltbank, W. J., Gull, D. D., & Maynard, D. N. (1984): Fruit and Vegetable Quality as Affected by Nitrogen Nutrition. ACSESS Publications. doi: 10.2134/1990.nitrogenincropproduction.c42



- Lugasi, A., Hóvári, J., Bíró, L., Brandt, S. & Helyes, L. (2004): Az élelmiszereink likopintartalmát befolyásoló tényezők és a hazai lakosság likopin bevitele. *Magyar Onkológia*, 48(2): 131-136.
- Luh, B. S., & Daoud, H. N. (2008): Effect of break temperature and holding time on pectin and pectic enzymes in tomato pulp. *Journal of Food Science*, 36(7), 1039–1043. doi:10.1111/j.1365-2621.1971.tb03341.x
- Marschner H. (1995): Relationships between mineral nutrition and plant diseases and pests. In *Mineral Nutrition of Higher Plants*, 2nd edition. Ed. H Marschner, pp. 436–460. Academic Press, London
- Martin, M., & Guiochon, G. (2005): Effects of high pressure in liquid chromatography. *Journal of Chromatography A*, 1090(1-2), 16–38. doi: 10.1016/j.chroma.2005.06.005
- Mascio, P. D., Devasagayam, T. P. A., Kaiser, S., & Sies, H. (1990): Carotenoids, tocopherols and thiols as biological singlet molecular oxygen quenchers. *Biochemical Society Transactions*, 18 (6), 1054–1056. doi:10.1042/bst0181054
- Massot, C., Bancel, D., Lauri, F.L., Truffault, V., Baldet, P., Stevens, R. et al. (2013): High temperature inhibits recycling and light stimulation of the ascorbate pool in tomato despite increased expression of biosynthesis genes. *PloS ONE*, 8, e84474
- Matthews, R. E. F. (1979): Classification and nomenclature of viruses. *Intervirology* 12, 132-296
- Mayeaux, M., Xu, Z., King, I.M. & Prinyawiwatkul, W. (2006): Effect of cooking conditions on the lycopene content in tomatoes. *Journal of Food Science*, 71, 461-464
- Mellidou, I., Keulemans, J., Kanellis, A.K. & Davey, M.W. (2012): Regulation of fruit ascorbic acid concentrations during ripening in high and low vitamin C tomato cultivars. *Bio Medical Centre Plant Biology*, 12, 239-252
- Meulebroek, L.V., Vanhaecke, L., Swaef, T.D., Steppe, K. & Brabander, H.D. (2012): U-HPLC-MS/MS to quantify liposoluble antioxidants in red-ripe tomatoes, grown under different stress levels. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 60: 566-573.
- Mitchell, J. P., Shennan, C., Grattan, S. R., May, D.M. (1991): Tomato Fruit Yields and Quality under Water Deficit and Salinity. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 116 (2), 215–221. DOI: <https://doi.org/10.21273/JASHS.116.2.215>
- Molnár, P. (2013): *Kartotinoidok és Szteroidok*. Pécsi Tudományegyetem Farmakognóziái Tanszék,
- Moreno, S, Scheyer, T., Romano, C. S. & Vojnov, A. N. A. (2006): Antioxidant and antimicrobial activities of rosemary extracts linked to their polyphenol composition. *Free Radical Research*; 40, 223–231.

- Morohashi, Y. (2002): Peroxidase activity develops in the micropylar endosperm of tomato seeds prior to radical protrusion. *Journal of Experimental Botany*, 53, 1643-1650.
- Munyaka, A.W., Makule, E.E., Oey, I., Loey, A.V. & Hendrickx, M. (2010): thermal stability of L-ascorbic acid and ascorbic acid oxidase in Broccoli. *Journal of Food Science*, 75, C336-C340.
- Nguyen, M. L., & Schwartz, S. J. (1998): Lycopene stability during food processing. *Proceedings of the Society for Experimental Biology and Medicine*, 218, 101–105
- Palozza, P., Moulla, S., & Krinsky, N. I. (1992): Effect of  $\beta$ -carotene and  $\alpha$ -tocopherol on radical-initiated peroxidation of microsomes. *Free Radical Biology and Medicine*, 13 (2), 127–136.
- Patrick, L., (2000): Beta-carotene: the controversy continues. *Alternative medicine review: a journal of clinical therapeutic*. 5(6): 530-45. PMID: 11134976
- Pearson, C.K. & Barnes, M. M. (1970): The absorption and distribution of the naturally occurring tocochromanols in the rat. *Br J Nutr.*, 24 (2): 581-587.
- Pecker, I., Chamovitz, D., Linden, H., Sandmann, G., & Hirschberg, J. (1992): A single polypeptide catalyzing the conversion of phytoene to zeta-carotene is transcriptionally regulated during tomato fruit ripening. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 89 (11), 4962–4966. doi:10.1073/pnas.89.11.4962
- Pék, Z., Pintérné Gálfi, Zs., Takács, S., Palotás G. (2019): Az ipari paradicsom termesztés helyzete. *Kertgazdaság*, 51. évfolyam 3. szám 66-74
- Perkins-Veazie, P., Collins, J. K., Davis, A. R., & Roberts, W. (2006): Carotenoid Content of 50 Watermelon Cultivars. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54 (7), 2593–2597. doi:10.1021/jf052066p
- Perry, A., Rasmussen, H., & Johnson, E. J. (2009): Xanthophyll (lutein, zeaxanthin) content in fruits, vegetables and corn and egg products. *Journal of Food Composition and Analysis*, 22(1), 9–15. doi: 10.1016/j.jfca.2008.07.006
- Pfander, H., Riesen, R., & Niggli, U. (1994): HPLC and SFC of carotenoids - scope and limitations. *Pure and Applied Chemistry*, 66, 947-954.
- Pham-Huy, L.A., He H., & Pham-Huy, C. (2008): Free Radicals, Antioxidants in Disease and Health. *Int J Biomed Sci*, 4 (2), 89–96.
- Popper, L., & Knorr, D. (1990): Application of high-pressure homogenization for food preservation. *Food Technology*, 44, 84–89.
- Quadrana, L., Almeida, J., Ojalza, S.N., Duffy, T., & Corredo da Silva, J.V. (2013): Transcriptional regulation of tocopherol biosynthesis in tomato. *Plant Molecular Biology*, 81, 309-325.

- Rao, A. V., Waseem, Z., & Agarwal, S. (1998): Lycopene content of tomatoes and tomato products and their contribution to dietary lycopene. *Food Research International*, 31 (10), 737–741. doi:10.1016/s0963-9969(99)00053-8
- Rao, A.V. & Rao, L.G. (2007): Carotenoids and human health. *Pharmacological Research*, 55: 207-216.
- Reiter, E., Jiang, Q., & Cristen, S. (2007): Anti-inflammatory properties of alfa and gamma-tocopherol. *Molecular Aspects of Medicine*. 28: 668–691.
- Riggi, E., Patané, C., & Ruberto, G., (2008): Content of carotenoids at different ripening stages in processing tomato in relation to soil water availability. *Australian Journal of Agricultural Research*, 59 (4), 348-353. <https://doi.org/10.1071/AR07215>
- Rock, C.L., Jacob, R.A., & Bowen, P.E. (1996): Update on the Vitamin C, Vitamin E, and the Carotenoids. *J. Am. Diet. Assoc.*, 96 (7), 693–702.
- Roddick, J. G., Rijnenberg, A. L., & Ikekawa, N. (1993): Developmental effects of 24-epibrassinolide in excised roots of tomato grown in vitro. *Physiologia Plantarum*, 87 (4), 453–458. doi:10.1111/j.1399-3054.1993.tb02493.x
- Rodrigo, D., van Loey, A., & Hendrickx, M. (2007): Combined thermal and high pressure colour degradation of tomato puree and strawberry juice. *Journal of Food Engineering*, 79 (2), 553–560. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2006.02.015
- Rodriguez-Amaya D.B. (2001): A guide to carotenoid analysis in food. Ilsi Press, Washington, pp.14-22.
- Rodriguez-Amaya D.B., Kimura M., Godoy H.T., & Amaya-Farfan (2008): Updated Brazilian database on food carotenoids: factors affecting carotenoid composition. *J. Food Comp Analysis*, 21: 445-463.
- Ronen, G., Cohen, M., Zamir, D., & Hirschberg, J. (1999): Regulation of carotenoid biosynthesis during tomato fruit development: expression of the gene for lycopene epsilon-cyclase is down-regulated during ripening and is elevated in the mutantDelta. *The Plant Journal*, 17 (4), 341–351. doi:10.1046/j.1365-313x.1999.00381.x
- Ruban, A. V., Phillip, D., Young, A. J., & Horton, P. (1997): Carotenoid-Dependent Oligomerization of the Major Chlorophyll a/b Light Harvesting Complex of Photosystem II of Plants†. *Biochemistry*, 36 (25), 7855–7859. doi:10.1021/bi9630725
- Salomon, M. V., Piccoli, P., Fontana, A., (2020): Simultaneous determination of carotenoids with different polarities in tomato products using a C30 core-shell column based approach. *Microchemical Journal*, 159, , 105390, doi: <https://doi.org/10.1016/j.microc.2020.105390>

- Sánchez-Moreno, C., Plaza, L., Begoña de Ancos, M., & Cano, P. (2006): Nutritional characterisation of commercial traditional pasteurised tomato juices: carotenoids, vitamin C and radical-scavenging capacity. *98* (4), 749-756.
- Sander, L. C., & Wise, S. A. (1987): Effect of phase length on column selectivity for the separation of polycyclic aromatic-hydrocarbons by reversed-phase liquid-chromatography. *Anal Chem*, *59*, 2309-2313.
- Sander, L.C., Sharpless, K.E., Pursch, M. (2000): C-30 stationary phase for the analysis of food by liquid chromatography. *J. Chromatography A*, *880*, 189-202.
- Sanders, D.C., Howell, T. A., Hile, M.M.S., & Hodges, L. (1989): Yield and quality of processing tomatoes in response to irrigation rate and schedule. *Journal of the American Society for Horticultural Science*
- Sattler, S. E., Cahoon, E. B., Coughlan, S. J., & Dellapenna, D. (2003): Characterization of tocopherol cyclases from higher plants and cyanobacteria. evolutionary implications for tocopherol synthesis and function. *Plant Physiology*, *132*, 2184–2195.
- Schultz, J.R., Tansey, T., Gremke, L., & Storti, R.V. (1991): A muscle-specific intron enhancer required for rescue of indirect flight muscle and jump muscle function regulates *Drosophila* tropomyosin I gene expression. *Mol. Cell. Biol.*, *11*, 1901-1911.
- Schwartz, K., Bertelsen, G., Nissen, L.R., Gardner, P.T., Heinonen, M.I., & Hopia, A. (2001): Investigation of plant extracts for the protection of processed foods against lipid oxidation. Comparison of antioxidant assay based on radical scavenging, lipid oxidation, analysis of the principal antioxidant compounds. *European Food Research and Technology*, *212*, 1-42.
- Seybold, C., Fröhlich, K., Bitch, R., Otto, K. & Böhm, V. (2004): Change in content of carotenoids and vitamin E during tomato processing. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *52*, 7005-7010.
- Sharma, S.K. & Maguer, M.L. (1996): Kinetics of lycopene degradation in tomato pulp solids under different processing and storage conditions. *Food Research International*, *29*, 309-315.
- Sieso, V., & Crouzet, J. (1977): Tomato volatile components: Effect of processing. *Food Chemistry*, *2*(4), 241–252., doi:10.1016/0308-8146(77)90042-5
- Simon, J. A. (1992): Vitamin C and cardiovascular disease: a review. *Journal of the American College of Nutrition*, *11* (2), 107-125.
- Sims, W. L. (1980): History of tomato production for industry around the world. *Acta Horticulturae*, *100*, 25-26.
- Snyder, L.R., Kirkland, J.J., & Dolan, J.W. (1979): *Introduction to modern liquid chromatography - A Wiley-Interscience Publication Inc., New York*

- Stahl, W., & Sies, H. (1992): Uptake of Lycopene and Its Geometrical Isomers Is Greater from Heat-Processed than from Unprocessed Tomato Juice in Humans. *The Journal of Nutrition*, 122 (11), 2161–2166. doi:10.1093/jn/122.11.2161
- Stevens, R., Page, D., Gouble, B., Garchery, C., Zamir, D. & Causse, M. (2008): Tomato fruit ascorbic acid content is linked with monodehydroascorbate reductase activity and tolerance to chilling stress. *Plant, Cell and Environment*, 31, 1086-1096
- Sujak, A., Gabrielska, J., Grudziński, W., Borc, R., Mazurek, P., & Gruszecki, W. I. (1999): Lutein and Zeaxanthin as Protectors of Lipid Membranes against Oxidative Damage: The Structural Aspects. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 371 (2), 301–307. doi:10.1006/abbi.1999.1437
- Szalai, I., (1974): *Növényélettan I-II*. Tankönyvkiadó, Budapest, 290-392.
- Szarka, A., Tomasskovics, B., & Bánhegyi, G., (2012): The ascorbate-glutathione- $\alpha$ -tocopherol triad in abiotic stress response. *International Journal of Molecular Sciences*. 13. 4: 4458–4483.
- Takács S., Molnár T., Csengeri E., & Le, A. T., (2018): Application of AquaCrop in Processing Tomato Growing and Calculation of Irrigation Water. *Acta Agraria Debreceniensis*, (74), 183–187. doi: <https://doi.org/10.34101/actaagrar/74/1687>
- Temitope, A.O., Eloho, A.P. & Olubunmi I.D. (2009): Lycopene content in tomatoes (*Lycopersicon esculentum* Mill): Effect of thermal heat and its health benefits. *Fresh Produce*, 3, 40-43
- TEPA, (2021): Tomato Europe Processors Associations, forrás: <https://tomatoeurope.eu/>
- Tomer, E., Moshkovits, H., Rosenfeld, K., Shaked, R., Cohen, M., Aloni, B., & Pressman, E. (1998): Varietal differences in the susceptibility to pointed fruit malformation in tomatoes: histological studies of the ovaries. *Scientia Horticulturae*, 77 (3-4), 145–154. doi:10.1016/s0304-4238(98)00170-8
- Tonucci, L.H, Holden, J.M., Beecher, G.R., Khachik, F., Davis C.S. & Mulokozi, G. (1995): carotenoid content of thermally processed tomato-based food products. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 43, 579-586
- Toor, R.K. & Savage, G.P. (2005): Antioxidant activity in different fractions of tomatoes. *Food Research International*, 38, 487-494
- Türk, R.; Seniz, V.; Özdemir, N.; Süzen, M.A.; (1993): Changes in the chlorophyll carotenoid and lycopene contents of tomatoes in relation to temperature. *ISHS Acta Horticulturae* 368, 856-862: *International Symposium on Postharvest Treatment of Horticultural Crops*. DOI: 10.17660/ActaHortic.1994.368.102

- Upritchard, J. E., Sutherland, W. H., & Mann, J. I. (2000): Effect of supplementation with tomato juice, vitamin E, and vitamin C on LDL oxidation and products of inflammatory activity in type 2 diabetes. *Diabetes Care*, 23(6), 733–738. doi:10.2337/diacare.23.6.733
- Urbonaviciene, D., Viskelis, P., Viskelis, J., Jankauskiene, J., & Bobinas, C. (2012): Lycopene and  $\beta$ -carotene in non-blanched and blanched tomatoes. *Journal of Food and Agricultural Environment*, 10, 142-146
- Vági, E., Simándi, B., Vásárhelyiné, K. P., Daood, H., Kéry, Á., Doleschall, F., & Nagy, B. (2007): Supercritical carbon dioxide extraction of carotenoids, tocopherols and sitosterols from industrial tomato by-products. *The Journal of Supercritical Fluids*, 40 (2), 218–226. doi:10.1016/j.supflu.2006.05.009
- Van Jaarsveld, P. J., Marais, D. W., Harmse, E., Nestel, P., & Rodriguez-Amaya, D. B. (2006): Retention of  $\beta$ -carotene in boiled, mashed orange-fleshed sweet potato. *Journal of Food Composition and Analysis*, 19 (4), 321–329. doi:10.1016/j.jfca.2004.10.007
- Venter, F., (1977): Solar radiation and vitamin C content of tomato fruits. *Acta Horticulturae* 58, 121–127.
- Vinha, A.F., Alves, R.C., Barreira S.V.P., Castro A., Costa, A.S.G.& Olivieira, M.B.P.P. (2014): Effect of peel and seed removal on the nutritional value and antioxidant activity of tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) fruits, *LWT-Food Science and Technology*, 55, 197-202
- Wall, M. M. (2006): Ascorbic acid, vitamin A, and mineral composition of banana (*Musa* sp.) and papaya (*Carica papaya*) cultivars grown in Hawaii. *Journal of Food Composition and Analysis*, 19 (5), 434–445. doi: 10.1016/j.jfca.2006.01.002
- Weemaes, C., Ooms, V., Indrawati, Ludikhuyze, L., Broeck, I., Loey, A., & Hendrickx, M. (1999): Pressure-Temperature Degradation of Green Color in Broccoli Juice. *Journal of Food Science*, 64 (3), 504–508. doi:10.1111/j.1365-2621.1999.tb15072.x
- WPTC, (2021): World Processing Tomato Council, forrás: <https://www.wptc.to/>
- Yahia, E.M., Contreras-Padilla, M. & Gonzalez-Aguilar, G. (2001): Ascorbic acid content in relation to ascorbic acid oxidase activity and polyamine content in tomato and bell pepper fruits during development, maturation and senescence. *Lebensmittel Wissenschaft & Technolog*, 34(7):452-457, doi:10.1006/fstl.2001.0790
- Yamamizo C., Kishimoto S., Ohmiya A., (2008): Carotenoid composition and carotenogenic gene expression during *Ipomoea* petal development. *J. Exp. Bot.*, 61(3): 709-719.
- Zechmeister L., Cholnoky L., (1936): *Ann. Chem.*, 523,101
- Zhu, G., Wang, S., Huang, Z., Zhang, S., Liao, Q., Zhang, C., Huang, S. (2018): Rewiring of the Fruit Metabolome in Tomato Breeding. *Cell*, 172 (1-2), 249–261.

Montesano, D., Gennari, O., Seccia, S., Albrizio, S., (2012): A Simple and Selective Analytical Procedure for the Extraction and Quantification of Lutein from Tomato By-Products by HPLC–DAD. *Food Anal. Methods*, 5:710–715 DOI 10.1007/s12161-011-9305-2

## 11. Ábrák és táblázatok jegyzéke

1. ábra: Ipari paradicsom feldolgozásra szánt mennyisége 2021-es évre vonatkoztatva. Forrás: World Processing Tomato Council, <https://www.wptc.to/> alapján saját szerkesztés.
2. ábra: Paradicsom ásványi anyag összetétele 100g termékre vonatkoztatva. Forrás: <http://gardeninvest.hu/a-paradicsomrol.html>, alapján saját szerkesztés.
3. ábra: Paradicsom vitamin összetétele 100g termékre vonatkoztatva. Forrás: <http://gardeninvest.hu/a-paradicsomrol.html>, alapján saját szerkesztés
4. ábra: Izopren egység. Forrás: Wikipedia, <https://hu.wikipedia.org/wiki/Izoprenoidok>
5. ábra: Karotinoid bioszintézis. Forrás: saját szerkesztés
6. ábra: Likopin szerkezeti képlete. Forrás: <http://hu.gmp-factory.com/herbal-medicine/anti-tumor/lycopene.html>
7. ábra:  $\beta$ -karotin szerkezeti képlete. Forrás: [https://hr.wikipedia.org/wiki/Vitamin\\_A](https://hr.wikipedia.org/wiki/Vitamin_A)
8. ábra: A lutein szerkezeti képlete. Forrás: [http://www.vilaglex.hu/Lexikon/Html/Xantophy\\_.htm](http://www.vilaglex.hu/Lexikon/Html/Xantophy_.htm)
9. ábra: A likoxantin és a likofil szerkezeti képlete. Forrás: Dr. Molnár Péter (2013): Karotinoidok és Szteroidok kézirata [https://dtk.tankonyvtar.hu/bitstream/handle/123456789/3405/2011-0016\\_09\\_karotinoidok\\_es\\_szteroidok.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://dtk.tankonyvtar.hu/bitstream/handle/123456789/3405/2011-0016_09_karotinoidok_es_szteroidok.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
10. ábra: Likopin abszorpciós spektruma és  $\beta$ -karotin abszorpciós spektruma. Saját forrás.
11. ábra: Bal oldal: Az össz-transz-, 13-cisz- és 15-cisz-violaxantin spektruma, Jobb oldal: Az össz-transz- és a 9-cisz-violaxantin spektruma. Forrás: Dr. Molnár Péter (2013): Karotinoidok és Szteroidok kézirata [https://dtk.tankonyvtar.hu/bitstream/handle/123456789/3405/2011-0016\\_09\\_karotinoidok\\_es\\_szteroidok.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://dtk.tankonyvtar.hu/bitstream/handle/123456789/3405/2011-0016_09_karotinoidok_es_szteroidok.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
12. ábra: Aszimmetrikus karotinoid össz-transz-, 9-cisz- és 9'-cisz-izomerjének egyszerűsített képlete. Forrás: Dr. Molnár Péter (2013): Karotinoidok és Szteroidok kézirata [https://dtk.tankonyvtar.hu/bitstream/handle/123456789/3405/2011-0016\\_09\\_karotinoidok\\_es\\_szteroidok.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://dtk.tankonyvtar.hu/bitstream/handle/123456789/3405/2011-0016_09_karotinoidok_es_szteroidok.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
13. ábra:  $\beta$ -karotin mono- és diepoxidja. Forrás: Dr. Molnár Péter (2013): Karotinoidok és Szteroidok kézirata [https://dtk.tankonyvtar.hu/bitstream/handle/123456789/3405/2011-0016\\_09\\_karotinoidok\\_es\\_szteroidok.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://dtk.tankonyvtar.hu/bitstream/handle/123456789/3405/2011-0016_09_karotinoidok_es_szteroidok.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
14. ábra: Tokoferolok csoportosítása. Forrás: <https://hu.wikipedia.org/wiki/Tokoferol>
15. ábra: Tokoferol bioszintézis útvonalai. Forrás: saját szerkesztés
16. ábra: A C-vitamin szintézise. Forrás: Reichstein & Grüssner (1934) ábrája, web: <https://slideplayer.hu/slide/2185696/>
17. ábra: Száranyag tartalom mérésére előkészített minták.
18. ábra: Minta bepárlására rotadesztilláló készülékkel.



19. ábra: Friss paradicsom termés karotinoid típusú vegyületek HPLC profilja 460 nm-en. A komponensek azonosítása: 1. 13-Cis-violaxanthin, 2. Lutein, 3.  $\beta$ -kryptoxanthin epoxid, 4. cis-luteochrom, 5. Chlorophyll b, 6. Z- $\beta$ -karotin diepoxid, 7. Z-cis- $\beta$ -karotin diepoxid, 8. 5-cis- $\beta$ -kryptoxanthin, 9.  $\alpha$ -kryptoxanthin, 10. 9Z- $\gamma$ -karotin epoxid, 11. di-OH- ciklo-likopin - addukt, 12.  $\beta$ -kryptoxanthin, 13. 9-Z-mutatochrom, 14. cis-neurosporin epoxid, 15. Mutatochrom, 16.  $\beta$ -karotin epoxid, 17. Z-likopin epoxid, 18. Chlorophyll a, 19. tetra-dehydro- $\gamma$ -karotin, 20. dimethoxy likopin, 21. pheophytin a, 22. 13Z-  $\beta$ -karotin, 23. Likoxantin, 24.  $\alpha$ -karotin, 25.  $\beta$ -karotin, 26. di-Z- likopin, 27. 13'Z-likopin, 28. 13Z likopin, 29. neurosporin, 30.  $\gamma$ -karotin, 31. 9Z likopin, 32. 5Z-likopin, 33 All-trans likopin
20. ábra: A paradicsom-tokoferolok HPLC profilja Nucleosil C18, 3 $\mu$ , 250 x 4,6 mm oszlopon elválasztva, metanol, 2-propanol, acetonitril (10:55:35) összetételű gradiens elúcióval, 7% -os vízben oldott metanolban. Az ábrán jelzett számok: 1:  $\gamma$ -tokoferol, 2:  $\beta$ -tokoferol, 3:  $\alpha$ -tokoferol-kvinon, 4:  $\alpha$ -tokoferol, 5:  $\gamma$ -tokoferol-észter, 6:  $\beta$ -tokoferol-észter, 7:  $\alpha$ -tokoferol-észter
21. ábra: Helyszín és öntözővíz mennyiség hatása az UG 812 J ipari paradicsom hibrid °Brix-nak alakulására 2018-ban.
22. ábra: Helyszín és öntözővíz mennyiség hatása az UG 812 J ipari paradicsom hibrid °Brix-nak alakulására 2019-ben.
23. ábra: 2018-as és 2019-es szarvasi és szárítópusztai minták össz-karotinoid tartalmának összehasonlítása.
24. ábra: 2018-as és 2019-es szarvasi és szárítópusztai minták össz-tokoferol tartalmának összehasonlítása.
25. ábra: 2018-as szarvasi és szárítópusztai minták, illetve 2019-es Szárítópusztai C-vitamin tartalmának összehasonlítása.
26. ábra: Az agyagos-vályog talajban (Szarvas) termesztett paradicsom kétféle módon történt feldolgozásából nyert gyümölcsle- és törköly termékeinek össz-karotinoid tartalma ( $\mu\text{g} / \text{g dwt}$ ). Rövidítések: F - Friss minta (vagy Feldolgozatlan), HL - Hideg áttörésből származó paradicsom leve, ML - Meleg áttörésből származó paradicsom leve, HT - Hideg áttörésből származó paradicsom törköly, MT - Meleg áttörésből származó paradicsom törköly.
27. ábra: A homokos-vályog talajban (Szarvas) termesztett paradicsom kétféle módon történt feldolgozásából nyert gyümölcsle- és törköly termékeinek össz-karotinoid tartalma ( $\mu\text{g} / \text{g dwt}$ ). Rövidítések: F - Friss minta (vagy Feldolgozatlan), HL - Hideg áttörésből származó paradicsom leve, ML - Meleg áttörésből származó paradicsom leve, HT - Hideg áttörésből származó paradicsom törköly, MT- Meleg áttörésből származó paradicsom törköly.

28. ábra: Az agyagos-vályog talajban (Szarvas) termesztett paradicsom kétféle lé- és törköly termékeinek össz-tokoferol tartalma ( $\mu\text{g} / \text{g dwt}$ ). Rövidítések: F - Friss minta (vagy Feldolgozatlan), HL - Hideg áttörésből származó paradicsom leve, ML - Meleg áttörésből származó paradicsom leve, HT - Hideg áttörésből származó paradicsom törköly, MT - Meleg áttörésből származó paradicsom törköly.

29. ábra: Szárítópusztán termesztett paradicsom kétféle lé- és törköly termékeinek össz-tokoferol tartalma ( $\mu\text{g} / \text{g dwt}$ ). Rövidítések: F - Friss minta (vagy Feldolgozatlan), HL - Hideg áttörésből származó paradicsom leve, ML - Meleg áttörésből származó paradicsom leve, HT - Hideg áttörésből származó paradicsom törköly, MT - Meleg áttörésből származó paradicsom törköly.

1. táblázat: Ipari paradicsom előrejelzési adatok (ezer tonnában) az EU-ban. Forrás: Tomato Europe Processors Associations, <https://tomatoeurope.eu/>

2. táblázat: Kromatográfiai módszerek összefoglalása Forrás: <http://tamop412a.ttk.pte.hu/files/kemia7/www/ch07s03.html>

3. táblázat: 2018 és 2019-es évek szarvasi és szárítópusztai meteorológiai adatai

4. táblázat: Csapadékmennyiség és öntözési vízmennyiségek Szarvason és Szárítópusztán 2018, és 2019-es tenyészidőszak alatt.

5. táblázat: A karotinoidok tulajdonságai és spektrális jellemzői HPLC-DAD méréssel, C-30 töltetű oszlopon, TBME gradiens elúciójával 2% víz metanolban.

6. táblázat: Friss paradicsomból kivont HPLC-MS/MS protokollal meghatározott karotinoidok molekuláris, protonált és fragment (töredék) ionjai.

7. táblázat: A karotinoidok HPLC -elválasztásának validálási paraméterei a Core C30 oszlopon, TBME gradienssel és 2% -os metanolos vízzel eluálva.

8. táblázat: Ipari paradicsom karotinoid összetétele, azok mennyiségi alakulása az öntözés függvényében a 2018-as termesztési kísérletben.

9. táblázat: Ipari paradicsom karotinoid összetétele, azok mennyiségi alakulása az öntözés függvényében a 2019-es termesztési kísérletben.

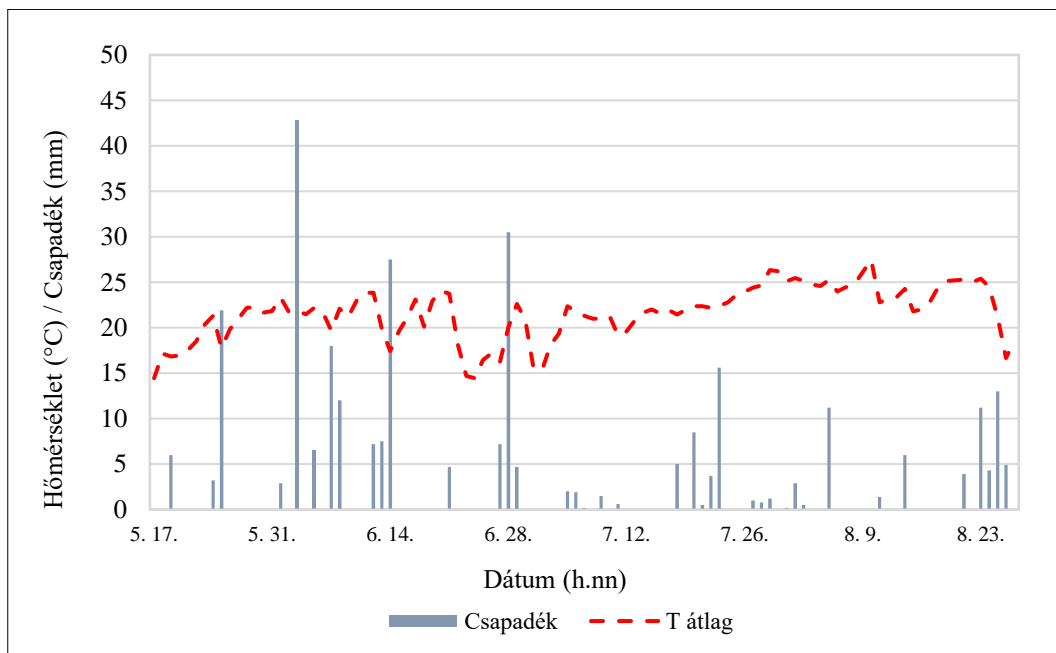
10. táblázat: Ipari paradicsom karotinoid összetétele, azok mennyiségi alakulása az öntözés függvényében a 2018-as és 2019-es termesztési kísérletekben.

11. táblázat: Szarvason és Szárítópusztán termesztett paradicsom kétféle módon történt feldolgozásából nyert lé és törköly termékekben előforduló legfontosabb karotinoidok tartalma ( $\mu\text{g} / \text{g dwt}$ ) 2018-ban. Rövidítések: HL - Hideg áttörésből származó paradicsom leve, ML - Meleg áttörésből származó paradicsom leve, HT - Hideg áttörésből származó paradicsom törköly, MT- Meleg áttörésből származó paradicsom törköly.

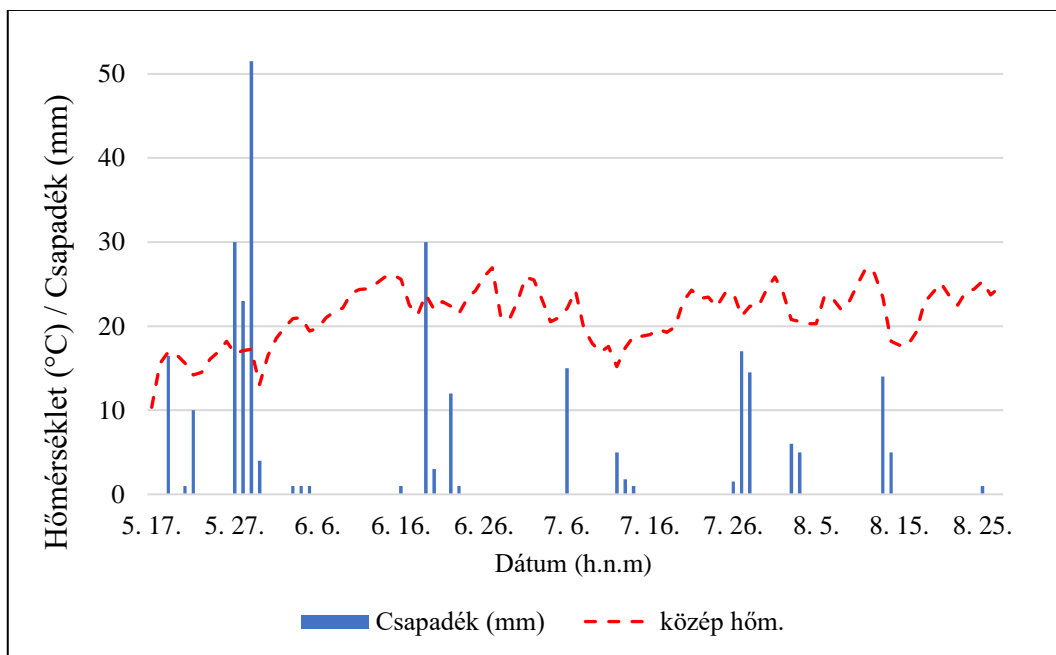
12. táblázat: Szarvason és Szárítópusztán termesztett paradicsom kétféle módon történt feldolgozásából nyert lé és törköly termékek karotinoid-tartalma ( $\mu\text{g} / \text{g dwt}$ ) 2019-ben. Rövidítések: HL - Hideg áttörésből származó paradicsom leve, ML - Meleg áttörésből származó paradicsom leve, HT - Hideg áttörésből származó paradicsom törköly, MT - Meleg áttörésből származó paradicsom törköly.
13. táblázat: Homokos-vályog és agyagos-vályog talajban termesztett paradicsom kétféle módon történt feldolgozásából nyert lé és törköly termékek tokoferol-tartalma ( $\mu\text{g} / \text{g dwt}$ ) 2018-ban és 2019-ben.
14. táblázat: Homokos-vályog és agyagos-vályog talajban termesztett paradicsom kétféle módon történt feldolgozásából nyert lé és törköly termékek C-vitamin tartalma ( $\text{g} / \text{g dwt}$ ) 2018-ban és 2019-ben.

## 12. Mellékletek

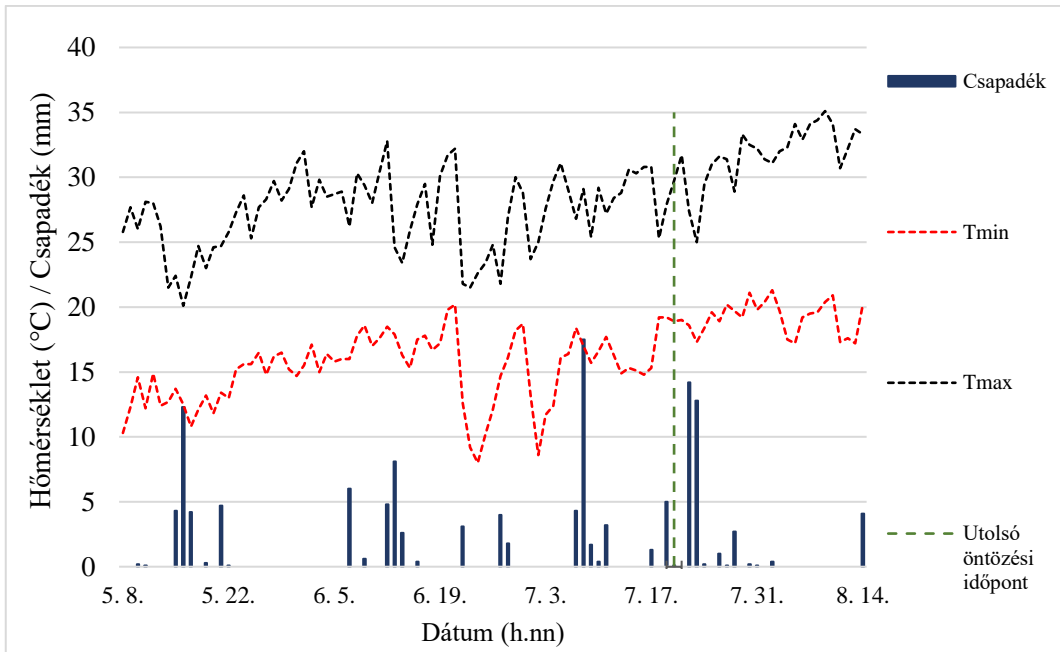
1. **melléklet:** Szárítópuszta 2018-as év hőmérsékleti (°C) és csapadékmennyiségi (mm) adatainak összefoglaló grafikonja.



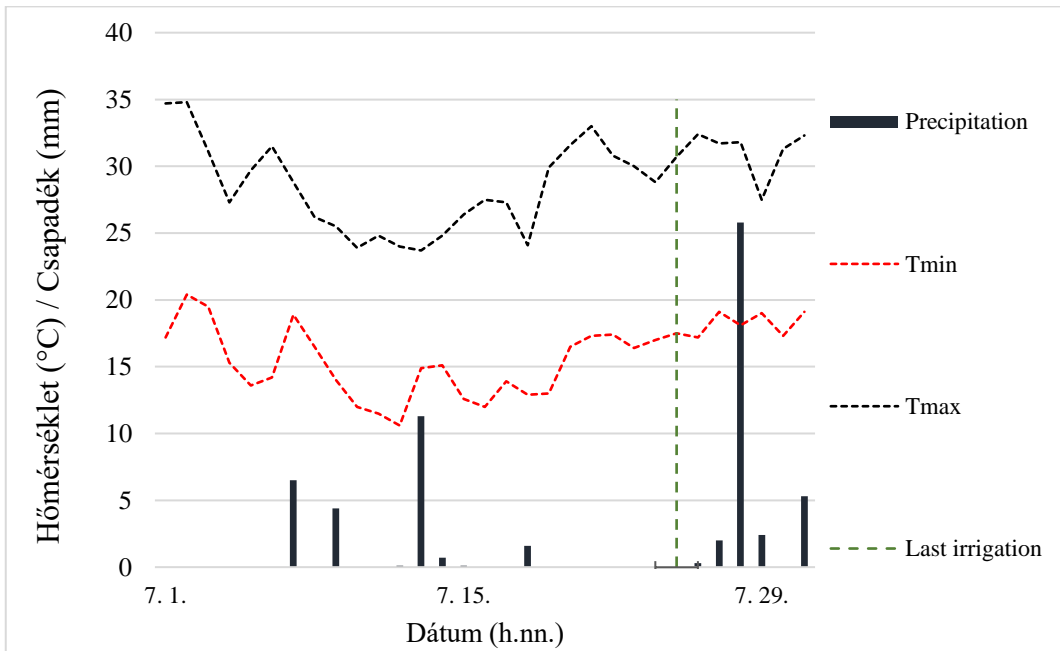
2. **melléklet:** Szárítópuszta 2019-as év hőmérsékleti (°C) és csapadékmennyiségi (mm) adatainak összefoglaló grafikonja.



**3. melléklet:** Szarvas 2018-as év hőmérsékleti (°C) és csapadékmennyiségi (mm) adatainak összefoglaló grafikonja.



**4. melléklet:** Szarvas 2019-as év hőmérsékleti (°C) és csapadékmennyiségi (mm) adatainak összefoglaló grafikonja.



5. melléklet: Szarvasi öntözéses kísérlet mintáinak °Brix adatai

Szarvas	2018 °Brix			2019 °Brix		
	1	2	3	1	2	3
K_1	6,1	6,0	6,1	5,0	4,9	5,0
K_2	6,7	6,8	6,6	3,9	3,8	4,1
K_3	5,8	6,0	5,6	5,1	4,5	5,2
K_4	5,9	5,8	6,0	4,7	4,6	4,7
50_1	5,1	5,2	5,2	4,4	4,5	4,5
50_2	5,6	5,8	5,6	4,6	4,8	4,7
50_3	6,0	5,7	5,7	4,6	4,8	4,8
50_4	5,5	5,5	5,6	4,1	4,1	4,4
100_1	4,1	4,5	4,6	4,1	4,0	4,0
100_2	4	4,4	4,2	4,4	4,5	4,6
100_3	4,5	4,5	4,5	4,4	4,3	4,2
100_4	4,5	4,4	4,5	4,2	4,2	4,3

6. melléklet: Szárítópuszta öntözéses kísérlet mintáinak °Brix adatai

Szárítópuszta	2018 °Brix			2019 °Brix		
	1	2	3	1	2	3
K_1	4,6	4,3	4,5	4,4	4,3	4,5
K_2	3,7	4,0	4,0	3,3	3,3	3,3
K_3	4,3	4,5	4,4	4,1	4,4	4,4
K_4	4,2	4,4	4,1	4,4	4,4	4,3
50_1	3,8	3,8	3,9	3,5	3,4	3,5
50_2	3,7	3,7	3,8	3,1	3,1	3,1
50_3	3,4	3,5	3,4	3,4	3,3	3,5
50_4	3,6	3,5	3,7	3,7	3,5	3,8
100_1	3,5	3,6	3,6	3,6	3,6	3,5
100_2	3,3	3,3	3,3	3,4	3,4	3,4
100_3	3,6	3,5	3,7	3,3	3,2	3,6
100_4	3,4	3,2	3,2	3,6	3,6	3,6

### 13. A témában megjelent publikációk listája

Nemzetközi, Impakt faktoros folyóiratban megjelent:

1. Daood, H. G; **Ráth, Sz**; Palotás, G; Halász, G; Hamow, K; Helyes, L. (2021): Efficient HPLC Separation on a Core-C30 Column with MS2 Characterization of Isomers, Derivatives and Unusual Carotenoids from Tomato Products, JOURNAL OF CHROMATOGRAPHIC SCIENCE, Paper: bmab085  
<https://doi.org/10.1093/chromsci/bmab085>

Idegen nyelvű, magyar Impakt faktoros folyóiratban megjelent:

1. **Ráth, Sz.**; Égei, M.; Horváth, K.; Andryei, B.; Daood, H. G. (2020): Effect of Different Ecological Conditions on Content of Phytonutrients in Industrial Tomatoes, ACTA ALIMENTARIA: AN INTERNATIONAL JOURNAL OF FOOD SCIENCE 49: 2 pp. 225-234, 10 p.

Idegen nyelvű, magyar nem Impakt faktoros folyóiratban megjelent:

1. Bulgan, A., Horváth, K. Zs., **Ráth, Sz.**, Nemeskéri, E. Neményi, A., Pék, Z., L. (2020): Effect of plant growth promoting Rhizobacteria (PGPRS) on yield and quality of processing tomato under water deficiency, ACTA AGRARIA DEBRECENIENSIS / AGRÁRTUDOMÁNYI KÖZLEMÉNYEK: 2 pp. 19-22., 4 p.

Magyar nyelvű, nem Impakt faktoros folyóiratban megjelent:

1. **Ráth, Sz.**; Égei, M.; Horváth, K.; Daood, H. (2019): Különböző termőhelyen és évjáratban termesztett ipari paradicsom fontosabb karotinoid vegyületeinek mennyiségi összehasonlítása. KERTGAZDASÁG (1998) 51: 3 pp. 56-65., 10 p.
2. Horváth, K. Zs; Andryei, B.; **Ráth, Sz**; Égei, M. (2020): Vízellátás és a növekedést serkentő baktériumok hatása az ipari paradicsom termésére és minőségére. KERTGAZDASÁG (1998) 52: 2 pp. 59-66., 8 p.,

Konferencia kiadványok:

1. Bulgan, A. Horváth, K. Zs. **Ráth**, Sz. Nemeskéri, E. Neményi, A. Pék, Z. Helyes, L. (2019): Effect of plant growth promoting rhizobacteria (PGPRS) on yield and quality of processing tomato under water deficiency. Conference presentation, Doctoral student conference of Debrecen University.
2. Hamow, K. Á. Ambrózy, Zs. **Ráth**, Sz. Pék, Z. Posta, K. (2019): Follow-up of the degradation of thiamethoxam and its metabolite clothianidin in open field cultivated industrial tomatoes influence of mycorrhizal inoculation. In: Centre of the Region Haná for Biotechnological Agricultural Research Plant Biotechnology: Green for Good V Olomouc, Csehország: European Federation of Biotechnology (2019) pp. 31-31., 1 p.
3. Helyes, L., **Ráth**, Sz. Daood, H.G. Nagy, Zs. (2017): Simultaneous HPLC determination of bioactive phytochemicals in tomatoes. In: 21. World Congress of Clinical Nutrition: Program and Abstract Book p. 86. 1 p.



## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Ezúton szeretnék köszönetet mondani témavezetőimnek Dr. Helyes Lajosnak és Dr. Daood Husseinnek a kutatási téma és feltételeinek biztosításáért, a publikációk és disszertáció elkészültéhez nyújtott jelentős szakmai segítségükért, és biztatásukért.

Külön szeretném megköszönni Dr. Pék Zoltánnak és Dr. Neményi Andrásnak a szabadföldi kísérletben nyújtott segítségét és útmutatását.

Hálával tartozom a MATE MKK Kertészeti Intézet munkatársainak, a Tanüzem dolgozóinak, valamint a Kertészeti Intézet doktoranduszainak, akik munkájukkal hozzájárultak az értekezés elkészültéhez.

Végül, de nem utolsó sorban megköszönöm családtagjaim és barátaim odaadó támogatását, végtelen türelmét és lelkesítését, mellyel végig támogatták ezt az időszakomat!