

Szent István Egyetem
Mezőgazdaság- és Környezettudományi Kar
Kertészeti Intézet

MIKORRHIZÁLT IPARI PARADICSOMFAJTÁK FŐ ANTIOXIDÁNS HATÁSÚ VEGYÜLETEINEK VIZSGÁLATA HPLC TECHNIKÁVAL

Készítette: Hamow Kamirán Áron
Évfolyam: Környezetmérnök MSc. II.

Belső konzulens: Dr. Helyes Lajos
Beosztása: egyetemi tanár

Külső konzulens: Dudásné Dr. Posta Katalin
Beosztása: egyetemi docens

Gödöllő
2014.

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés és célkitűzések.....	2
2. Irodalmi áttekintés.....	4
2.1 Az ipari paradicsomtermesztés helyzete a világban és hazánkban.....	4
2.2 A paradicsomban előforduló fitonutriensek értékelése.....	6
2.2.1 Szabadgyökök.....	6
2.2.2 Antioxidánsok.....	7
2.2.3 Karotinoidok.....	8
2.2.4 Polifenolok	14
2.2.5 C-vitamin.....	16
2.3 Mikorrhiza – növény és gomba mutualista kapcsolata	18
2.3.1 A kapcsolat természete és működése, előnyei	18
2.3.2 A mikorrhizagombák csoportosítása, tulajdonságaik, előfordulásuk.....	19
2.3.3 A mikorrhizák jelentősége	21
3. Anyag és módszer	22
3.1 Kísérleti terület bemutatása és adottságai	22
3.2 A kísérlet beállítása a palántázástól, a betakarításon át, a minták tárolásáig	22
3.3 Az alkalmazott mérési módszer, a nagyhatékonyságú folyadékkromatográfia (HPLC)	24
3.4 A minták extrakciója HPLC vizsgálatra.....	27
3.4.1 A C-vitamin extrakciója	27
3.4.2 A karotinoidok (likopin és β -karotin) extrakciója	27
3.5 Az általam használt HPLC készülék paraméterei és a mérések körülményei, metodikája	28
3.5.1 A C-vitamin mérés metodikája	29
3.5.2 A likopin és β -karotin mérés metodikája	29
3.5.3 Szárazanyag-tartalom befolyásoló hatása	30
4. Eredmények.....	30
4.1 Az eredmények, feldolgozásuk, magyarázatok.....	30
4.2 Eredmények statisztikai analízise.....	36
5. Értékelés és következtetések.....	37
6. Összefoglalás	40
7. Köszönetnyilvánítás	42
8. Nyilatkozat.....	42
9. Irodalomjegyzék.....	43
10. Mellékletek, függelék	46
10.1 Egytényezős varianciaanalízis eredményei a kezelés szárazanyag-tartalomra vonatkoztatott koncentrációra való hatásának jellemzésére	46
10.1.1 C-vitamin	46
10.1.2 Likopin.....	47
10.1.3 β -karotin	47
10.2 Kéttényezős varianciaanalízisek eredménye a fajtaválasztás és mikorrhizás kezelés kapcsolatának és hatásának jellemzésére.....	48

1. Bevezetés és célkitűzések

Napjainkra világossá vált, hogy a megfelelő táplálkozás hatással van a lakosság egészségére, és fontos a betegségek elleni harcban is, amely a mennyiség mellett táplálékminőségi kérdés. A paradicsomnövényt és termését nagy érdeklődés övezi manapság szakmai körökben humán-táplálkozási és kertészeti szempontból, mivel olyan fontos nutriensek találhatók meg benne nagy mennyiségben, mint a likopin, β -karotin és C-vitamin, melyek antioxidáns vegyületek és az emberi egészség megőrzését szolgálják. A kis gazdaságok, lokális kultúrák és otthoni termesztés felől napjainkra a paradicsomtermelésben a hangsúly az ipari termelés felé tolódott el, korszerű termesztéstechnológiák és hibridek alkalmazásával. A humán étrendben a paradicsom a likopin elsődleges forrása, ugyanakkor magas C-vitamin tartalom is jellemzi egyéb antioxidáns hatású vegyületek mellett (LUGASI et al. 2004, SOCACIU 2008). Antioxidáns tartalmának köszönhetően a paradicsom rendszeres fogyasztása számos betegség megelőzésében játszhat jelentős szerepet (AGARWAL & RAO 2000, DJURIC & POWELL 2001, GERSTER 1997, LAVELLI et al. 2000, PANDEY et al. 1995, WEISBURGER 1998). A C-vitamin kulcsfontosságú szerepet tölt be több degeneratív betegség elleni védekezésben, mint a keringési és daganatos kórok, illetve véd az oxidatív stressz hatására bekövetkező mutációtól is (LUTSENKO et al. 2002, MARCHIOLI et al. 2001). A likopin védi a szívet, mivel csökkenti a szív és keringési, valamint a daganatos betegségek kockázatát (CANENE-ADAMS et al. 2005, GIOVANNUCCI et al. 1995, KUN et al. 2006, OMONI & ALUKO 2005, RAO & AGRAVAL 1999), továbbá javítja a sejtek közötti kommunikációt (ZHANG et al. 1991). A β -karotin szintén óv a káros UV sugárzás okozta oxidatív stressztől, illetve provitamin, az A vitamin prekursora, hiánya vakságot, idő előtti halált is okozhat (MAYNE 1996). Mindezen előnyös hatások miatt is a paradicsom iránti kereslet emelkedő trendet mutat.

Az ipari paradicsomfajták kiemelten fontosak, hiszen nem csak a friss paradicsomot, de a belőle készült termékeket is fogyasztjuk, és a feldolgozást jellemző hőkezelések a friss paradicsomban található *transz*-likopin nagy részét *cisz*-likopinná alakítják, amely az emberi szervezet számára hatékonyabban hozzáférhető. Ugyanakkor az aszkorbinsav, illetve a β -karotin, és a likopin is bomlik e kezelések hatására (RAO & AGARWAL 1999, SOCACIU 2008). Így az ipar számára a beszállított friss paradicsom minőségi mutatói, beltartalmi paraméterei szerepet játszanak a készítendő termék végső antioxidáns kapacitásának és összetételének szempontjából. Bár a beltartalmi paraméterek elsődlegesen genetikailag meghatározottak az egyes paradicsomfajtákban, a környezeti hatások is nagy befolyással bírnak azok koncentrációjára (BRANDT et al. 2006, DUMAS et al. 2003, PÉK et al. 2011). Belátható, hogy a

fenntartható gazdálkodás és a lakosság egészségének megőrzésének érdekében a termesztési körülmények befolyásolásával magasabb hasznos beltartalmi értékek is elérhetőek a termelés során.

A klasszikus termésnövelő anyagok és technikák használata nem mindig vezet a kívánt eredményre, ráadásul sokszor magas költségvonzattal járnak, legyen szó műtrágya, hígtrágya, peszticid vagy egyéb termésnövelő alkalmazásáról. A talajban található bióták, mikroorganizmusok szerepe a talaj és ezáltal a növényi ökoszisztémák életében kulcsfontosságú. Ismeretes, hogy egyes gombafajok, köztük a *mikorrhiza gombák* a növények több mint 85%-val mutualista kapcsolatot alakítanak ki, melynek során a növényt képesek többlet ásványi anyag és víz felvételével támogatni, míg a gombák cukrokat és más szerves vegyületeket nyernek a növénytől. E kapcsolat koevolúciós alapokon nyugszik és kölcsönösen előnyös, a növény környezeti stresszel szembeni ellenálló-képességét nagymértékben növeli, legyen szó patogénekről, aszályról, erózióról, vagy tápelem hiányról (AZCÓN-AGUILAR & BAREA 1996, GIANINAZZI & VOSATKA 2004, JAKUCS 2009, 2013, KAPOOR et al. 2008, ROGER-ESTRADE et al. 2010, VOSATKA & ALBRECHTOVA 2008). Egyes kutatások szerint a *mikorrhizákkal* való kezelés fokozhatja a termésben található beltartalmi értékeket, javítva a termésminőségi mutatókat (CECCARELLI et al. 2010). Azonban a *mikorrhiza* gombák a klasszikus agrotechnikákkal kezelt talajokon nem, vagy csak igen gyenge mértékben megtalálhatóak (OEHL et al. 2003), ily módon alkalmazásuk akár a szabadföldi, akár az üvegházi termesztés során fokozhatja a terméshozamot, a termésbiztonságot és termésminőséget, a klasszikus agrotechnikai módszerekhez képest jóval olcsóbban.

Munkám célja az *arbuszkuláris mikorrhiza gombával* történő kezelés hatásainak vizsgálata a *Heinz*, *UnoRosso*, *Triple Red* (hagyományos bogyó-átlagtömegű ipari hibridek) és *Strombolino* (cseresznye típusú ipari fajta) paradicsomfajták likopin, β -karotin és C-vitamin tartalmára, amelyek a paradicsomban található fő antioxidáns hatású vegyületek. Kutatómunkám során igyekszem arra választ találni, hogy a vizsgált fajták az optimális vízigényük kielégítése mellett mennyiben mutatnak a három vizsgált vegyület koncentrációjának kapcsán szignifikáns változást. Továbbá arra is keresem a választ, hogy a mikorrhizás kezelés okoz-e kvantifikálható változást a vizsgált komponensek koncentrációjában egy fajta esetén. Arra is igyekszem fényt deríteni, hogy több fajtát tekintve mennyire bír szignifikáns befolyással a mikorrhizás kezelés a három vizsgált komponens koncentrációjára.

2. Irodalmi áttekintés

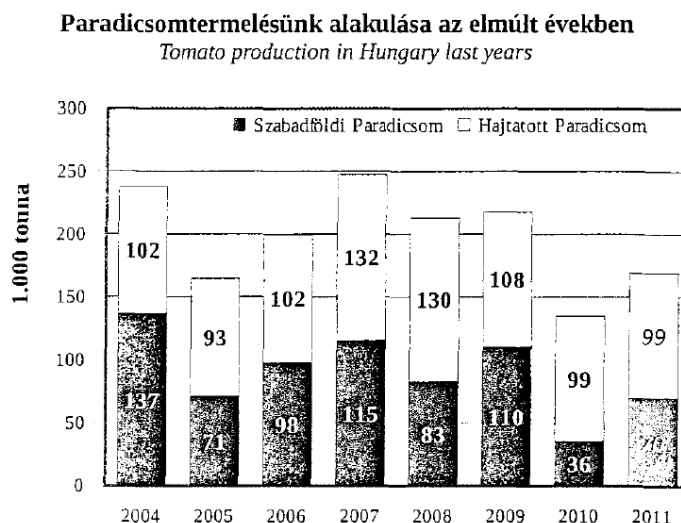
2.1 Az ipari paradicsomtermesztés helyzete a világban és hazánkban

A paradicsomtermesztésben vezető nagyhatalomnak számít: Kína, USA, Törökország, Olaszország és India. Kína termeli a világ összes paradicsomtermésének egynegyedét, de a feldolgozás csak 10% körüli náluk. A friss fogyasztás mellett a feldolgozás meghatározó az USA-ban, Törökországban, Olaszországban és Spanyolországban is. A világ összes termésének körülbelül egyharmada kerül ipari felhasználásra (HELYES 2000). Az ipari paradicsom termésmennyisége világviszonylatban a 2011-es évben 37,2 millió tonna volt, ez közel megegyezik a 2010 évi adatokkal, azonban 12%-kal maradt el a 2009. évi 42,3 millió tonnától. A 2011-es évben termés kiesés elsősorban a mediterrán régió országaiban volt jellemző, ezt a kínai, török és ukrán termelésnövekedés ellensúlyozta. A világ legnagyobb ipari paradicsomtermelője Kalifornia, ahol az elmúlt évek átlagában 11,5 -12 millió tonna termést takarítottak be (FRUITVEB HUNGARY 2011). Az Európai Unióban a frissen, fogyasztási célra, illetve az ipari célra betakarított paradicsom összes termésmennyisége 2011-ben 16,1 millió tonna, míg a 2012-es évben 15,9 millió tonna volt (www.ksh.hu - Eurostat).

Magyarországon a betakarított területek nagysága jelentősen csökkent, ezzel szemben az egy hektárra eső paradicsom termésmennyiség folyamatosan nőtt. Az ipari paradicsom világpiaci nyomott árai miatt az elmúlt években a kisebb termelők felhagytak a növény termesztésével a termőterületek esetében egy erős koncentrálódás indult el, így napjainkban a hazai ipari paradicsom termelt mennyiségének jelentős részét mindössze 8-10 termelő állítja elő. A hazai ipari paradicsomtermesztés Békés megyében a legjelentősebb, illetve fontos még Hajdú-Bihar és Szabolcs-Szatmár-Bereg megyék termelése is (FRUITVEB HUNGARY 2011). Hazánkban a frissen, fogyasztási célra, illetve az ipari célra betakarított paradicsom összes termésmennyisége 2010-ben 134400 tonna, 2011-ben 165200 tonna, 2012-ben 110000 tonna volt (www.ksh.hu - Eurostat).

Magyarországon 2011-ben 1148 hektáron megközelítőleg 70000 tonna ipari paradicsomot takarítottak be, ami a 2010. évi terméstől 96%-kal magasabb, azonban messze elmarad a 2009. évben betakarított 110 ezer tonnától. A 2010. évben a 2-3 szoros mennyiségű csapadék, a hideg időjárás, a százhektáros nagyságrendben pusztító jégverés soha nem látott kiesést okozott az ágazatnak. A 2011-ben az ipari paradicsom termőfelületében tapasztalt csökkenés elsősorban a békéscsabai feldolgozó üzem bezárásából adódott, de a 2010-ben a szélsőséges időjárás miatt elszenvedett pénzügyi veszteség is szerepet játszott. A 2011. évi tenyésztési szezonban a belvízhelyzet miatti gyenge indulást követően az öntözés és a

tenyésztő közepén jött esőnek köszönhetően jó, közepes állományok alakultak ki. A hazai ipari paradicsomtermelés nehezen képes a világ nagy termelőivel – kiemelten Kínával – felvenni a versenyt a feldolgozott termékek terén, így a hazai fogyasztókkal való kapcsolat élénkítése és a termelés helyben történő értékesítése, a minőség javítása kiemelt feladat. Mindezt segítheti, hogy a hagyományos magyar paradicsomkonzerv-márkákat, mint az Arany fácán, az Univer és az Eko a hazai fogyasztók széles köre ismeri és kedveli, de az olcsó importáru és a jelenlegi általános gazdasági nehézségek miatt is a tudatos vásárlás és a hazai termékek népszerűsítése fontos feladat. A 2011-es év kedvezőtlen piaci viszonyai a frisspiaci paradicsom esetén voltak a legszembetűnőbbek, már a szezon elején is alacsony árak mutatkoztak, mert az áruházláncok importtal dolgoztak. Az árak a nyári időszakban is alacsonyak maradtak, a rendkívül meleg, aszályos időszakok miatt pedig minőségi problémák is felléptek. Az importnyomás évről-évre fokozódik, évente közel 20 ezer tonna import paradicsom érkezik be az országba. A versenyt a magyar termelők csak a hozamok növelésével tudják állni. Ennek megfelelően a termesztési felület ugyan csökken, de az előállított mennyiség és átlaghozam jelentősen növekedett az elmúlt években. 2011. évben az átlagterméshozam 22 kg/m^2 volt (FRUITVEB HUNGARY 2011). Ez még mindig elmarad a nyugat-európai versenytársak hozamaitól, ezért a további fejlesztések és kutatások elengedhetetlenek, különösen azok, amelyek a terméshezam növelésére, a termésbiztonság fokozására és a termésminőség javítására irányulnak (1. ábra).



1. ábra: Magyarország paradicsomtermelésének alakulása 2004-2011 (FRUITVEB HUNGARY 2011).

2.2 A paradicsomban előforduló fitonutriensek értékelése

A paradicsom kedvező kémiai összetételének köszönhetően értékes növény táplálkozás-élettani szempontból. Energiaszegény, 100 g friss paradicsom csupán 97 kJ energiát tartalmaz, viszont az emberi szervezet számára hasznos ásványi anyagokban (kálium, foszfor, kalcium) és vitaminokban (C-vitamin) gazdag (1. táblázat).

Összetevők	%	Makroelemek	mg/100g	Mikroelemek	mg/100g	Vitaminok	mg/100g
Víz	93,7	Kálium	335	Vas	5	C-vitamin	30
Szénhidrát	4	Foszfor	24,8	Cink	0,84	Karotin	0,8
Nyersfehérje	1	Kalcium	15,4	Réz	0,25	Tokoferol E	0,5
Nyerszsír	0,2	Magnézium	12,8	Nikkel	0,11	Tiamin (B1)	100
Hamu	0,9	Nátrium	3,3	Mangán	0,48	Riboflavin (B2)	60
Hamualkalitás	5,6	-	-	Kobalt	0,005	Niacin PP .f.	0,5
Energia kJ (cal)	97 (23)	-	-	Króm	0,002	Pantoténsav	0,02

1. táblázat: A paradicsombogyó kémiai összetétele (FEHÉR 1998).

A paradicsom bővelkedik antioxidáns vegyületekben is, amelyek az emberi szervezet egészségének megőrzésében pótolhatatlanok, ennek köszönhetően így a paradicsom rendszeres fogyasztása számos betegség megelőzésében játszhat jelentős szerepet (AGARWAL & RAO 2000, DJURIC & POWELL 2001, GERSTER 1997, LAVELLI et al. 2000, PANDEY et al. 1995, WEISBURGER 1998).

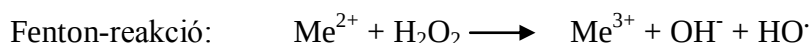
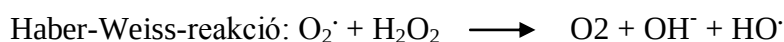
2.2.1 Szabadgyökök

A sejtekben természetes körülmények között lejátszódó jellemzően oxidációs folyamatok során szabadgyökök keletkeznek. A szabadgyökök olyan reaktív oxigén-, nitrogén-, kén- vagy szénközpontú molekulák, illetve molekularészletek, amelyek párosítatlan elektronnal rendelkeznek (2. táblázat), ezáltal gyorsan kémiai reakcióba lépnek más vegyületekkel elektronszerzés céljából (CADENAS 1989).

Oxigén	O ₂	Klór / atomos klór	Cl ₂ / Cl	Hidroxil gyök	OH [•]
Szinglet oxigén	O [•]	Salétromossav	HNO ₂	Peroxil gyök	RO ₂ [•]
Ózon	O ₃	Hipokórossav	HOCl	Alkoxil gyök	RO [•]
Szuperoxid gyök	O ₂ ^{•-}	Szerves peroxidok	ROOH	Peroxinitrit	ONOO ⁻
Hidrogénperoxid	H ₂ O ₂	Nitrogénmonoxid	NO [•]	Peroxinitrites sav	ONOOH

2. táblázat: A jelentősebb szabadgyökök és reaktív formák (CORNETTI 2009).

A szabadgyökök, egy része részt vesz a szervezet normális működésének fenntartásában. Képződésük a normális anyagcsere folyamatokhoz, így a terminális oxidációhoz köthető, másrészt a szervezetben lejátszódó biokémiai reakciók következményei:



A szabadgyökök külső és belső tényezők, biotikus és abiotikus stresszhatások következményeiként is létrejöhetnek (BENZIE 2000, DAVIES 2000). Forrásaik sejten belül a hemoglobin, riboflavin, flavoprotein, mono-oxidáz vegyületek, illetve átmeneti fémionok. A külső tényezők főként az ultraibolya és radioaktív sugárzás, dohányfüst, túlzott alkoholfogyasztás, szmog, stressz, vegyi anyagok, környezetszennyezés és toxinok (TOPORCOV et al. 2004). Káros hatásuk abban rejlik, hogy gyökös mechanizmusú láncreakcióval, amely lipidperoxidáció, a lipideket alkotó zsírsavmolekulákat, a szénhidrátokat, fehérjéket és nukleinsavakat is károsíthatják (CADENAS 1989, DJURIC et al. 1998).

2.2.2 Antioxidánsok

Az antioxidánsok, még ha csekély mértékben is vannak jelen képesek az oxidálandó szubsztát oxidációját csökkenteni, akár gátolni is (HALLIWELL & GUTTERIDGE 1995). Éppen ezért az emberi szervezetben összetett rendszer véd az oxidatív stressz ellen, melynek fontosabb komponenseit a 3. táblázat foglalja össze:

Funkció/szerkezet	példa
vitaminok	E-vitamin, C-vitamin, A-vitamin, riboflavin, niacin, nikotinamid
zsírok	omega-3 és omega-6 zsírsavak
aminosavak, tiolok	hisztidin, glicin, glutamin, cisztein, taurin, N-acetil-cisztein,
proteinek enzimek	albumin, transferrin, kataláz, peroxidáz, szuperoxid-dizmutáz
növényi metabolitok	polifenolok: flavonoidok, karotinoidok: β -karotin, likopin, lutein
ásványi anyagok	cink, vas, réz, szelén
anyagcseretermékek	húgysav, liponsav

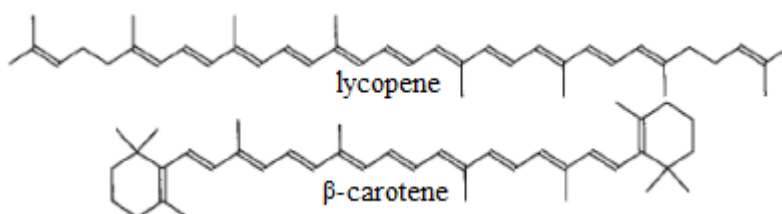
3. táblázat: Antioxidáns védelmi rendszerhez köthető legfontosabb komponensek az emberi szervezetben (CORNETTI 2009).

Mindazonáltal szervezetünk egyes vegyületeket nem képes előállítani, így azokhoz csak külső forrásból, táplálkozás útján juthat hozzá. Ilyen például az aszkorbinsav, a karotinoidok, a tokoferolok, a flavonoidok (VERTUANI et al. 2004). Meg kell jegyezni, hogy a gyökök befogására való képesség szoros korrelációt mutat az antioxidáns koncentrációjával és reakciókészségével (Cornetti 2009). Szinergens hatás is fellép köztük, így együtt jóval hatékonyabb védelmet szolgáltatnak a szabadgyökökkel szemben (BENZIE 2000, VERTUANI et al. 2004). Az antioxidáns vegyületeket hidrofíl és lipofíl vegyületekre oszthatjuk, a hidrofíl antioxidáns aktivitás szoros összefüggést mutat a C-vitamin tartalommal, míg a lipofíl antioxidáns aktivitás a likopin tartalommal (CANO et al. 2003). A paradicsom összes antioxidáns aktivitása változhat a fajta, érettség és termesztési mód függvényében (LEONARDI

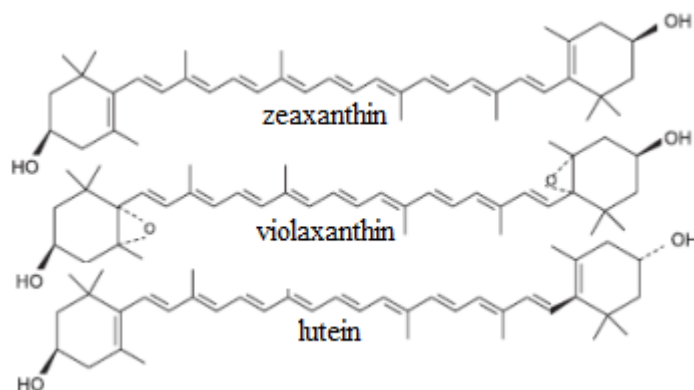
et al. 2000). A hidrofil antioxidáns aktivitásban a genotípus, a lipofilban pedig a bogyó érettségi állapota a mérvadó. Az érés során az antioxidáns aktivitás folyamatosan fokozódik, ami a lipofil antioxidánsoknak (likopin, β -karotin, lipofil polifenolok) köszönhető, mert a hidrofil antioxidánsok szintje (pl. C-vitamin, hidrofil polifenolok) szinte változatlan marad (CANO et al. 2003). A paradicsomban megtalálható legfontosabb antioxidánsok: a karotinoidok, a polifenolok és a C-vitamin (CLINTON 1998, GIOVANELLI et al. 1999, HERTOGE et al. 1992).

2.2.3 Karotinoidok

A karotinoidok a természetben, nagy mennyiségben legszélesebb körben előforduló pigmentek, melyek szerkezeti diverzitásukról és változatos funkcióikról nevezetesek. A karotinoidok zsírban jól oldódnak, az ehető gyümölcsök és zöldségek, de gombák, virágok, madarak, halak és rovarok vörös, narancs, illetve sárga színét is ezek adják. Növényekben a fotoszintetikus szövetekben és kloroplasztokban találhatók, ahol színüket sokszor elfedi a domináns klorofill zöld színe. Két csoportra oszthatók fel. A karotinek csak szén és hidrogénatomokat tartalmaznak, mint a β -karotin, vagy likopin (2. ábra), ezek természetes pigmentek, színük sárgától a vörösig változik. Azon karotinoidokat, amelyek egy, vagy több oxigénatomot tartalmaznak xantofillnek nevezik, színük sárga, legfontosabb képviselőik (3. ábra) a zeaxantin, lutein, violaxantin (SOCACIU 2008). A xantofillek, mivel legalább egy hidroxil csoportot tartalmaznak, polárosabbak a karotineknél (KRINSKY & JOHNSON 2005).

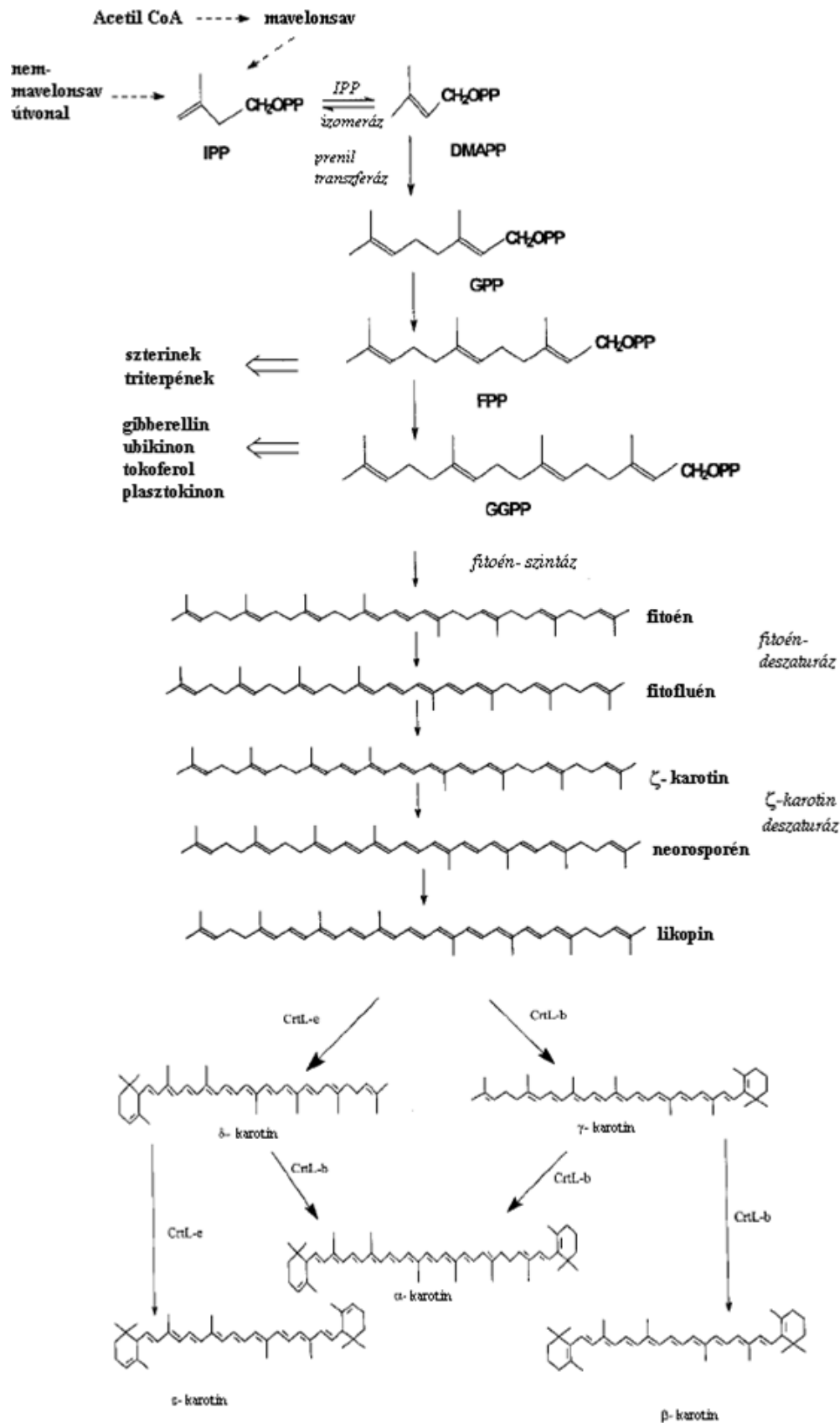


2. ábra: Karotinek (likopin és β -karotin) molekulaszerkezete (BRAMLEY 2002).



3. ábra: Xantofillek (zeaxantin, violaxantin, lutein) molekulaszerkezete (SOCACIU 2008).

A karotinek legjellemzőbb tulajdonsága a hosszú váltakozó kettős és egyszeres kötések sokasága, amely a molekulák központi részét alkotja. Ez az úgynevezett konjugált kötésrendszer, ahol az elektronok delokalizáltak a teljes poliénlánc hosszában. A molekulának e része (kromofór) a felelős a molekula alakjáért, kémiai reakcióképességéért és fényabszorpciós tulajdonságaiért a látható tartományban, így a karotinoidok színéért is. Legalább hét kettős kötés szükséges ahhoz, hogy egy karotinoid befolyással bírjon a fényre. A szín a kettős kötések számával mélyül. A karotinoidok kiváló antioxidáns tulajdonságáért a kettős kötésrendszerükben található delokalizált elektronok sokasága felelős, melyek képesek a szinglet oxigén befogására. A karotinoidok ezen felül számos funkciót töltenek be a növényben, képesek a klorofilokat segíteni, mivel a kék fényt elnyelik, amit a klorofilok nem. Az energia, amit a karotinoidok gyűjtenek a spektrum kék részében a klorofilokba kerül át, így számottevően hozzájárulnak a fotoszintézishez. Védnek a fotooxidációtól is, mivel képesek az UV fény elnyelésére, így védelmezve a sejteket a szinglet oxigén káros hatásaitól, illetve a növényben biokémiai folyamatok során keletkező oxidatív hatású vegyületektől, szabad gyököktől. A karotinoidok antioxidáns hatásának mértéke szerkezetfüggő, a legerősebb hatással a likopin rendelkezik (SOCACIU 2008). Több mint 600 karotinoidot sikerült eddig azonosítani állatokban, növényekben és mikróbákban (KRINSKY & JOHNSON 2005, SOCACIU 2008, YEUM & RUSSEL 2002). A karotinoidok humánegészségügyi pozitív hatásait számos tanulmány bizonyítja, elsősorban antioxidáns tulajdonságuknak köszönhetően megelőző szerepet töltenek be bizonyos daganatos elváltozások, és látási zavarok kialakulásában, így e tanulmányok fokozott zöldség- és gyümölcsfogyasztást javasolnak, a kockázatok csökkentésének érdekében (KRINSKY & JOHNSON 2005).



4. ábra: Karotinoidok bioszintézise (BRAMLEY 2002) - Rövidítések: IPP: izo-pentil-pirofoszfát, DMAPP: dimetil-allil-pirofoszfát, GPP: geranil-pirofoszfát, FPP: farnezilpirofoszfát, GGPP: geranil-geranil-pirofoszfát, CrtL-e: likopin α -cikláz, CrtL-b: likopin β -cikláz.

2.2.3.1 Likopin

Ezen aciklikus szerkezetű (tizenegy konjugált és kettő nem konjugált kettős kötést tartalmazó nyíltláncú molekula - 2. ábra) bioaktív karotin vegyület felelős a paradicsom piros színéért, egyben az egyik legfontosabb karotinoid. Képlete $C_{30}H_{56}$, moláris tömege 536,9 g/mol (SOCACIU 2008). A zöld bogyó klorofilltartalma és az érett piros bogyó karotinoidtartalma egyenes arányban áll egymással (WATADA et al. 1976). A paradicsombogyó pigmenttartalmának 60-64%-át teszi ki, a fennmaradó részt 10-12%-kal a γ -karotin, 10-12%-kal a fitoén, 7-9%-kal a neurosporén, 1-3%-kal a β -ill. δ -karotin és 0-1%-kal a lutein alkotja (LUGASI et al. 2004). A friss feldolgozatlan paradicsomban csak *all-transz* (minden kötés transzhelyzetű) izomerként található meg, ami a növényi plasztiszokban *cisz*-fitoénből képződik (4. ábra) négy lépésben (BRAMLEY 2002). Ezzel szemben a feldolgozott élelmiszerekben hőkezelés hatására a nagyobb energiatartalmú *cisz* izomer aránya elérheti a 65 %-ot is. Ez az izomer energetikai okok következtében kevésbé stabil (TAKEOKA et al. 2001). Az izomerizációt fényenergia is kiválthatja (SOCACIU 2008). A paradicsom feldolgozásakor tipikusan alkalmazott hőkezelés során a *transz* konfiguráció egy része *cisz*-konfigurációvá alakul, amely könnyebben felszívódik az emberi szervezetben, viszont a *cisz* izomer már sokkal érzékenyebb a hőbomlásra, így feldolgozás szempontjából egészségesebb termékek állíthatóak elő magas *all-transz* likopin tartalmú paradicsomokból (RAO & AGARWAL 1999, SOCACIU 2008). A *transz*-likopin a fagyasztást jól viseli: -80°C -on 3 év után is megőrizte stabilitását (THOMAS et al. 1998).

A likopin erőteljes hidrofób tulajdonsága miatt a sejtekben membránhoz kötötten található meg. A likopin fontos védővegyület, hiszen részt vesz a növényben a fény megkötésében a fotoszintézis során a karotinoidoknál ismertetett módon, és szintén véd a káros UV sugárzástól (CLINTON 1998, SOCACIU 2008). Erős antioxidáns tulajdonsága miatt az emberi szervezetben, semlegesíti a sejtekben a szabad gyököket, mielőtt azok megtámadnák a DNS-t, oxidálnák a lipideket, esetleg egyéb károkat okoznának (GIESE 1996). Egyes tanulmányok szerint a pozitív humán-egészségügyi hatások nemcsak az antioxidáns tulajdonságnak köszönhetőek, mivel a likopin csökkenti a krónikus betegségek kockázatát (RAO & AGRAVAL 1999), így például a prosztatarákét (GIOVANNUCCI et al. 1995), javítja a sejtek közötti kommunikációt (Zhang et al. 1991), valamint pozitívan értékelték hatását a hormon- és immunrendszerekre, metabolizmusra (ASTORG et al. 1997, FUHRAMN et al. 1997). Más tanulmányok kiemelték, hogy a likopin védi a szívet, mivel csökkenti a szív és keringési betegségek kockázatát (CANENE-ADAMS et al. 2005, KUN et al. 2006, OMONI & ALUKO 2005).

A likopin a β -karotinhoz viszonyítva kétszer gyorsabban képes a szinglet oxigén semlegesítésére (DI MASCIO et al. 1989).

A különböző bogyók likopintartalma között számottevő különbségek tapasztalhatóak, akár egy növényen belül is. Mivel a likopin szintézise alapvetően genetikailag meghatározott, tehát fajtatulajdonság, a termesztési mód és körülmények, az érettségi állapot erőteljesen befolyásolhatja koncentrációját (BRANDT et al. 2006). A feldolgozatlan paradicsom átlagos likopintartalma 30 mg/kg (HOLDEN et al. 1999). A likopin túlnyomórészt a bőrszövetekben lokalizált, így a bogyóméret fontos tényező, a hagyományos étkezési és ipari fajtákhoz képest az apró szemű, nagyobb fajlagos felületű cseresznyeparadicsomok gazdagabbak likopinban (GEORGE et al. 2004, TOOR & SAVAGE 2005). Az ugyancsak kisméretű, de megnyúlt alakú szilvaparadicsomban (4,65 mg/ 100 g) meg a cseresznyeparadicsomnál (3,43 mg/ 100 g) is nagyobb likopintartalom volt kimutatható (MURATORE et al. 2005). Az érés során folyamatosan emelkedik a likopin mennyisége, maximumát teljes érettségben éri el (CANO et al. 2003). A szabadföldön termesztett fajták több likopint tartalmaznak (5,2-23,6 mg/100 g friss tömeg), mint az üvegházban neveltek (ABUSHITA et al. 2000). Az USA-ban termelt növényen beérett bogyók likopinszintje 33 %-kal volt magasabb a korábban leszedett, utólag beérett bogyókhoz képest (ARIAS et al. 2000). Az eddigi vizsgálatok alapján a Magyarországon termesztett paradicsomfajták likopintartalma 3,9-17,1 mg/ 100 g között alakult (HELYES et al. 2002).

A környezeti paraméterek közül a hőmérséklet és a fény kritikus tényező a likopinkoncentráció szempontjából. Intenzív napsugárzásnak kitett bogyókban, a C-vitaminnal ellentétben, a likopin bioszintézise gátolt, feltehetően a szövetek túlzott felmelegedése miatt (DUMAS et al. 2003), valamint az UV-B sugárzás magasabb szintje miatt szintén visszaeshet a karotinoidok képződése. (GIUNTINI et al. 2005). A likopin képződéséhez a 16-21°C közötti léghőmérséklet az ideális, magasabb hőmérsékleten a szintézis gátolt, így lassabb is, 30-32°C felett pedig a likopin szintézise leáll. (DUMAS et al. 2003, LEONI 1992, HAMAUZZU et al. 1998). Mivel a β -karotin szintézise csak 32°C felett gátolt, illetve ilyen hőmérsékleten elősegített a likopin β -karotinná alakulása, a paradicsombogyók narancssárgás színűek lesznek. A β -karotin szintézise csak 38 °C felett áll le. A paradicsom likopintartalmát közvetett módon a levélfelület nagysága és a terméshez viszonyított helyzete is befolyásolja, mivel a lombzat a szükséges napsugarakat eltakarhatja, árnyékával forró napokon így védve a hő-stressz ellen a likopin szintézisét, míg alacsony hőmérsékletek esetén pont ezen árnyékolás okozhatja az szintézis intenzitásának csökkenését. A napsütésnek teljesen kitett paradicsomban a likopintartalom szignifikánsan csökkent, míg a polifenol és aszkorbinsav

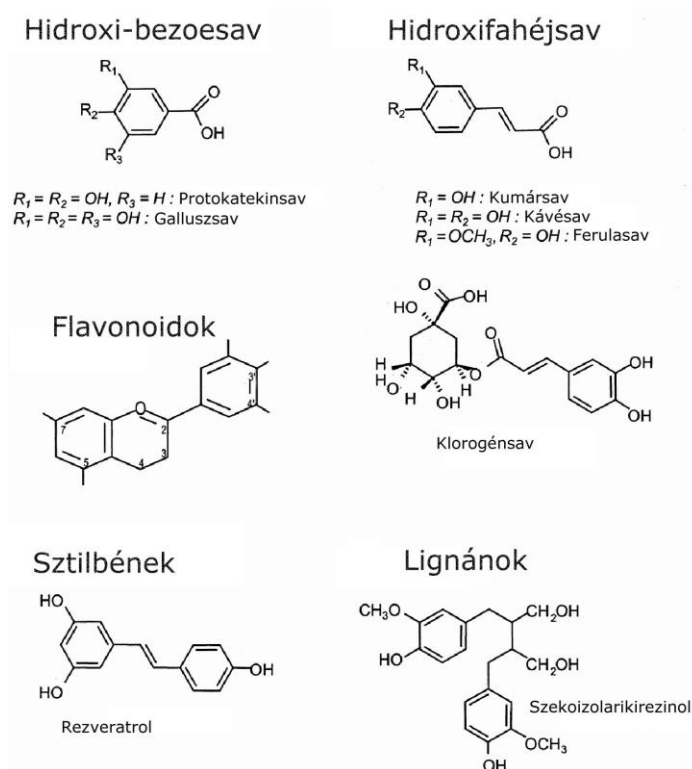
tartalom nőtt (PÉK et al. 2011). A víz- és tápanyagellátás jelentősen befolyásolhatja a paradicsom antioxidánstartalmát. Víztressznek kitett növények bogyójában megemelkedett a likopin szintje, míg a β -karotin és a xantofilok aránya nem változott (DUMAS et al. 2003, ZUSHI & MATSUZOE 1998).

2.2.3.2 β -karotin

A második legfontosabb karotin a narancssárga színű β -karotin (2. ábra), ami kb. 1-3%-át teszi ki a paradicsom teljes karotinoidtartalmának (LUGASI et al. 2004). Képlete $C_{40}H_{56}$, moláris tömege 536,9 g/mol (SOCACIU 2008). Mint azt a bioszintéziseket összefoglaló (4. ábra) is mutatja, a β -karotin a likopin molekula két láncvégének gyűrűvé záródásával jön létre, mely folyamatot a likopin β -cikláz enzim katalizálja, mivel az állati és emberi szervezetben a cikláz enzimek hiányoznak, ezért képződik likopinből β -karotin, majd A-vitamin kizárólag csak növényekben. Humán-egészségügyi hatása vitathatatlan fontosságú, mivel a legtöbb ember számára a Földön az A-vitamin prekursora, bevitele javallott, mivel az A-vitaminnal ellentétben a β -karotin nagy mennyiségű bevitele nem okoz káros hatásokat. A β -karotin 0,6 mg-ja ekvivalens 0,3 mg A vitamin aktivitásával (SOCACIU 2008). E vitamin hiánya vakságot, idő előtti halált is okozhat (MAYNE 1996). Továbbá a többi karotinoidhoz hasonlóan antioxidáns hatásukkal csökkenthetik a különböző krónikus betegségek, daganatos elváltozások kialakulásának kockázatát is. Kiemelt szerepe van embereknél a fotooxidatív stressz elleni harcban, így a bőr védelmében a leégés (erythema solare) ellen. Ezen tulajdonságát a likopinnal együtt hatékonyabban fejti ki, amit kísérlettel is igazoltak. Ennek során a paradicsompürét fogyasztó csoport napsugárzás okozta bőrpír kiterjedése és súlyossága is jelentősen kisebb volt a kontrollcsoportéhoz képest (STAHL & SIES 2003). A karotinoidok mennyisége és antioxidáns aktivitása függ a paradicsom fajtájától (MARTINEZ-VALVERDE et al. 2002) és az érettségi állapotától (ARIAS et al. 2000). A β -karotin tartalom és a paradicsombogyó nagysága fordított arányban áll egymással, de a cseresznyeparadicsomban több β -karotin található, mint a szilvaparadicsomban (MURATORE et al. 2005). Az irodalom szerint érés alatt a β -karotin szintje fokozatosan emelkedik (ABUSHITA et al. 1997; Giovanelli et al. 1999). Más tanulmányok szerint a gyarapodás a bogyók rózsaszín állapotáig tart, majd visszaesés követi (CANO et al. 2003). A paradicsomban az átlagos β -karotintartalom friss paradicsomokra 3,9 mg/kg (HOLDEN et al. 1999). míg egy másik tanulmány 2,9 és 6,2 mg/kg körüli értékeket állapított meg (ABUSHITA et al. 2000).

2.2.4 Polifenolok

Napjainkra körülbelül 8000 természetes polifenolos vegyület került azonosításra növények gyökeréből, leveléből, virágszirmából, terméséből (HAVSTEEN 2002, SOCACIU 2008). Változataik magas száma a szerkezetükből adódó sokféleségnek köszönhető, mint például a hidroxilcsoportok száma. Közülük a legfontosabbak a fenolos savak, a flavonoidok, a sztilbéné és lignánok (5. ábra).



5. ábra: A fontosabb polifenolos vegyületek alapszerkezete (MANACH et al. 2004).

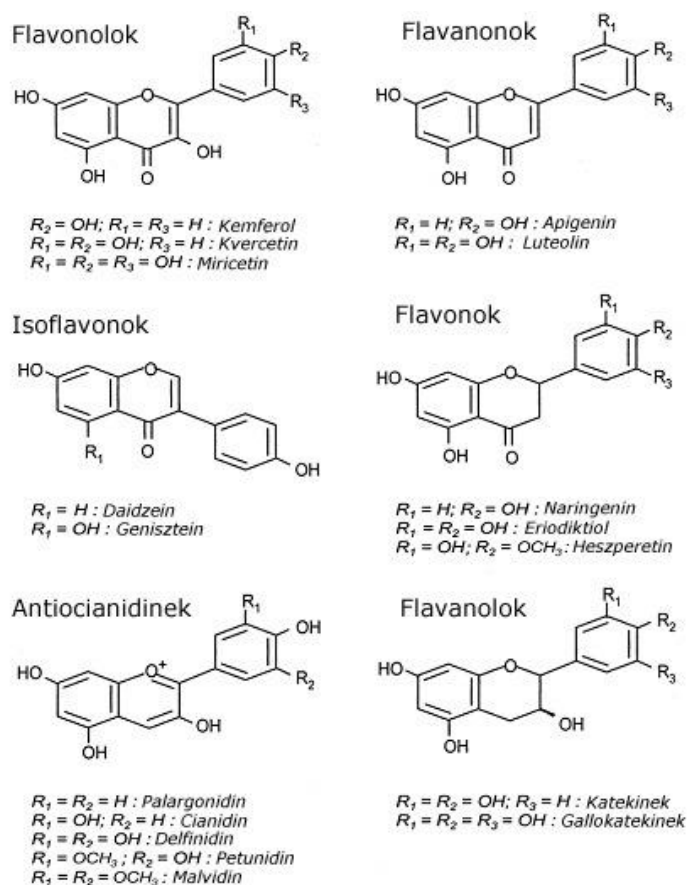
A paradicsom fontos polifenol forrás, polifenoltartalmát befolyásolja a genotípus (fajta, bogyóméret) és a származási hely (MINNOGGIO et al. 2003). A paradicsom polifenoltartalmáról elmondható, hogy 9,2-27 mg/ 100 g (friss tömeg) közötti alakult, a legnagyobb koncentrációval a cseresznyeparadicsom fajták rendelkeztek (GEORGE et al. 2004). Cseresznye- és szívpáradicsomfajták esetén jelentősen nagyobb polifenoltartalmat (42,5-74,9 mg/ 100 g) állapítottak meg (MURATORE et al. 2005). Általánosságban elmondható, hogy a csekély karotinoidtartalmú fajták nagy polifenoltartalommal bírnak, ennek következtében antioxidáns potenciáljuk is erősebb. A növényt élete során számos stressz érheti, ami kihat a metabolikus folyamatokra, magas hőmérséklet által okozott stressz hatására fokozódik a polifenolok termelődése (SOCACIU 2008). A paradicsom fejlődéséhez 25°C az optimális hőmérséklet (RIVERO et al. 2001). A környezeti tényezők

közül a fény is számottevő hatást gyakorol a fenolok termelődésére (SOCIAU 2008). Erős napsugárzás esetén, kiváltképp nagy UV-B sugárzás esetén a fenolok felhalmozódása fokozódik (BRANDT et al. 1995). Ezen megállapításokkal összhangban az üvegházban termesztett cseresznyeparadicsomnál a jó fényellátottságú növények bogyóiban kétszer nagyobb polifenoltartalmat sikerült kimutatni az árnyékban neveltekhez képest (WILKENS et al. 1996). Ugyanakkor fontos megjegyezni, hogy a termesztő berendezések üveg, vagy műanyag anyaga megszűri az UV fényt, így a bogyók héjában kevesebb polifenolos vegyület képződhet (STEWART et al. 2000). A tápanyagellátás, kiváltképpen a C/N egyensúly szignifikáns hatást gyakorol a fenolos vegyületek termelésére, azaz a bőséges N ellátás esetén a növényben főként olyan nitrogéntartalmú komponensek termelődnek, mint a fehérjék. Korlátozott N források esetén a metabolikus folyamatokban a hangsúly a nitrogént nem tartalmazó vegyületek, mint a keményítő, cellulóz, fenolok és terpének szintézise felé tolódik el (HAUKIOJA et al. 1998). A karotinokhoz hasonlóan a polifenolok szintén jól tűrik a magas hőmérsékletet mint az ipari feldolgozást kísérő környezeti körülményt, megfigyelhető a polifenoltartalom látszólagos változása, mivel a hőkezeles hatására lebomló sejtekből a kötésben levő polifenolok felszabadulnak (LAVELLI et al. 1999, SOCACIU 2008).

2.2.4.1 Flavonoidok

A flavonoidok, mint például a flavonolok, flavonok, flavanonok, antocianidinek (6. ábra) a polifenolok csoportjába tartozó természetes növényi másodlagos anyagszertermékek (MANACH et al. 2004, SOCACIU 2008). Nevüket sárga színükről kapták (latinul a sárga flavus). A flavonoidok nagy része különböző cukormolekulákkal glikozidokat alkot. Megtalálhatóak a levélben, bogyókban, és a virágban is (STEWART et al. 2000), de leginkább a bőrszövetben, illetve a bogyó húzában koncentrálnak (GEORGE et al. 2004), így esetükben is igaz, hogy a kisméretű, nagyobb fajlagos felülettel rendelkező bogyók gazdagabbak flavonoidokban (TOOR & SAVAGE 2005). Napjainkra 4000-nél is több flavonoidot sikerült azonosítani, közülük sok erőteljes antioxidáns hatású. A flavonoid vegyületek családján belül kiemelten fontosak az antocianidinek, az antociánok aglikonjai. Napjainkra több mint 500 antocianint ismerünk (CASTANEDA-OVANDO et al. 2009). A magasabb rendű növényekben az antocianidineken belül, különösen a cianidin (50%), a delphinidin (12%), a malvidin (12%), a pelargonidin (12%), valamint a peonidin (7%) és a petunidin (7%) fordulnak elő (CASTANEDA-OVANDO et al. 2009). Ezen vegyületek adják a sötét, vöröses-kékes színüket a bogyós gyümölcsöknek (fekete és piros ribiszke, málna, áfonya stb.), a bordó színét a céklának, a meggynek, vagy a mélylila színét a padlizsánnak (SLIMESTAD & SOLHEIM, 2002,

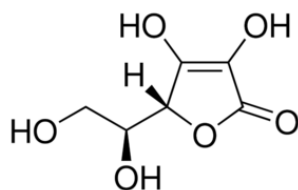
SOCACIU 2008). Az antociánok kémhatás szenzibilis vegyületek, pH-növekedés hatására az enyhén lúgos tartományba érve a pirosból kékes árnyalatúvá változik színük (CASTANEDA-OVANDO et al. 2009). Gyökfogó-, kelátképző, lipidperoxidációt inhibáló hatásuk rendkívüli fontosságú (WANG & LIN 2000). Megfelelő körülmények esetén előszeretettel képeznek fémkomplexeket, ahol a fémion oxidációt katalizáló hatásuk nem érvényesül, ezért indirekt antioxidánsoknak is tekinthetők.



6. ábra: A flavonoidok fontosabb osztályai (MANACH et al. 2004).

2.2.5 C-vitamin

A C-vitamin hazai vonatkozásának okán emliteném meg elsőként Szent-Györgyi Albert nevét, akinek nagyobb mennyiségben először a paprikából sikerült izolálni a kezdetben még hexauronsavnak nevezett vitamint (SVIRBELY & SZENT-GYÖRGYI 1932). Munkásságát 1937-ben orvosi és élettani Nobel-díjjal ismerték el.



7. ábra: Az aszkorbinsav szerkezete (www.sigmaaldrich.com).

A vitaminok közül a C-vitamin (aszcorbinsav) esszenciális mikrotápelem az emberi szervezet normális működéséhez. Testünkben a C-vitamin bioszintéziséhez szükséges L-gulonolakton-oxidáz enzim nem található meg, így a C-vitamint csak táplálkozás útján vehetjük fel (WOODALL & AMES 1997). A C-vitamin fontos szerepet játszik a kollagének és karnitinek szintézisében, mivel e szintézisekhez szükséges enzimek egyik komponense. Továbbá testünk egyik fő vízoldható antioxidánsa, óvja a sejtmembránokat a szabad gyökök káros hatásaitól (LI & SCHELLHORN 2007). A C-vitamin kulcsfontosságú szerepet tölt be több degeneratív betegség elleni védekezésben, mint a keringési, daganatos kórok, illetve véd az oxidatív stressz hatására bekövetkező mutációtól (LUTSENKO et al. 2002, MARCHIOLI et al. 2001). Semlegesíteni tudja például a szuperoxid-, a hidroperoxid-, a hidroxil, a NO és a NO₂ gyököket, valamint a szinglet oxigént. A dohányzás, a műtéti beavatkozások, a környezeti stresszhatások, egyes gyógyszerek növelik a bevitel szükségességét (CAMERON & PAULING, 1976). Pozitív hatásai közül kiemelhető még, hogy csökkenti a vérnyomást, virális és bakteriális fertőzések elleni rezisztenciát növeli, csökkenti a mell-, tüdő-, gyomor-, bél-, száj-, méhnyak- és prosztaták kialakulásának kockázatát (BLOCK 1992, JACOBS 1993). Hiánya skorbutot okoz (LEVINE 1986), amely kór már kis mennyiségű gyümölcs és zöldség fogyasztásával is elkerülhető. Friss gyümölcsökben, különösen a citrus- és zöldségfélékben bőségesen rendelkezésre áll.

Egy tanulmány szerint a Magyarországon termelt salátaparadicsom fajták gazdagabbak C-vitaminban (ABUSHITA et al. 1997). A C-vitamin szintje és a hozam között negatív korreláció áll fenn és ugyanez igaz a C-vitamin és a bogyóméret közötti összefüggésre is. A C-vitamin elsősorban a bőrszövetekben halmozódik fel, hasonlóan a likopinhoz és a polifenolokhoz (GEORGE et al. 2004), a húszállományban és a magokban körülbelül fele akkora mennyiség mutatható ki (TOOR & SAVAGE 2005). Tehát a C-vitamin esetében is igaz, hogy a kisméretű, nagyobb fajlagos felületű cseresznye- és szilvaparadicsom fajták nagyobb C-vitamin tartalommal rendelkeznek. A cseresznyeparadicsom esetében 31,3 mg/ 100 g értéket mutattak ki, míg a szilvaparadicsomfajták C-vitamin tartalma 13,4 - 28,5 mg/100g között alakult (MURATORE et al. 2005).

A környezeti tényezők közül az érés alatt a fény kedvezően hat a C-vitamin felhalmozódására (DUMAS et al. 2003). Amennyiben a levélzet, vagy mesterséges takaróanyag árnyékolja a bogyókat, úgy az aszcorbinsav szintézise csökken (EL-GIZAWI et al. 1993). Ennek megfelelően az üvegházban termesztett paradicsomok általában kevesebb C-vitamint tartalmaztak a szabadföldön neveltekhez képest (LOPEZ-ANDREU et al. 1986). A növényi sejtekben betöltött antioxidáns szerepéből adódóan az aszcorbinsav koncentrációja a

környezeti stressztényezőkkel, főleg a hőmérséklettel és a fénnel szoros kapcsolatban áll (DAVEY et al. 2000). Az aszkorbinsav szintje a bogyó érésével változik, egy tanulmány szerint a paradicsom C-vitamin tartalma folyamatosan emelkedik az érés során (CANTWELL 1998), míg más vizsgálatok szerint az aszkorbinsav szintje az érés folyamán szinte állandó, de a teljesen beérett bogyókban koncentrációja egy kissé megemelkedik (CANO et al. 2003). Egyéb tanulmányok viszont eltérő trendeket figyeltek meg, az érés kezdeti szakaszában növekedést tapasztaltak, ezt később csökkenés követte (ABUSHITA et al. 1997, GIOVANELLI et al. 1999). Mindez az aszkorbinsav antioxidáns funkciójának lehet a következménye, hiszen a sejtek nagy mennyiségű oxigént kötnek meg az érés során, ezzel pedig emelkedik az oxidatív stressz mértéke, aminek ellensúlyozására a növény feltehetően aszkorbinsavat használt fel. Ez a folyamat tipikusan jellemző az utóérő zöldség- és gyümölcsnövényekre. A száron beérett bogyók a likopintartalomhoz hasonlóan, magasabb C-vitamintartalommal rendelkeznek, mint az utóérett társaik (GIOVANELLI et al. 1999).

2.3 Mikorrhiza – növény és gomba mutualista kapcsolata

2.3.1 A kapcsolat természete és működése, előnyei

A talajban élő mikroorganizmusok rendkívül fontos szerepet töltenek be a talaj és az ökoszisztéma működésében, így a mezőgazdasági művelés alá vont területeken is. A talajban található élőlények tevékenysége közvetlen és közvetett módon is befolyásolja a talaj minőségét, a termésminőséget és mennyiséget, a növények zavaró hatásokkal szembeni ellenállóképességét és így a fenntartható mezőgazdasági tevékenységet, erdőgazdálkodást is (ROGER-ESTRADE et al. 2010). Napjainkra felismerték a szakemberek, hogy a klasszikus termésmenvelő anyagok mellett a biotechnológia kutatások eredményeinek felhasználása is lehet megoldás a hatékonyabb és környezetbarát agrotechnikai megoldások kifejlesztésének és alkalmazásának érdekében.

A mikorrhiza kapcsolat a speciális talajgombák és a növények között kialakult szimbiózis (mutualizmus) egyik formája, amit gyökérkapcsoltságnak is neveznek. A kétféle élőlény kölcsönösen segíti egymás táplálékhoz jutását oly módon, hogy a gomba micéliumából kiinduló hifák (gombafonalak) a gazdanövény gyökereit behálózzák. A mutualista kapcsolat alapja, hogy a gomba a növény által fotoszintetizált cukrokat és egyéb szerves anyagokat kap. Eközben a növény a gomba nagy relatív felületű micéliumhálózatának és a növény gyökérzetének hifák általi extenziójának segítségével megnöveli a víz-, illetve ásványi anyag felvételét. A mikorrhiza tápelemfelvételt növelő hatása első sorban kis vagy közepes foszforellátottságú talajban jelentkezik. A mikorrhizált gyökerek ugyanis a talaj pH

befolyásolásával, valamint enzimek (foszfatázok) képzésével egyaránt biztosítják a szervetlen és szerves eredetű foszforformák hasznosítását. Mindemellett a mikorrhizák hasznosak más szempontból is: megnövelik a bizonyos betegségekkel szembeni ellenállóképességet, illetve a növények a szárazságot, aszályt is hatékonyabban képesek átvészelni (AZCÓN-AGUILAR & BAREA 1996, JAKUCS 2009, KAPOOR et al. 2008).

Ezáltal a mikorrhizák számos előnyt biztosíthatnak a fenntarthatóbb gazdálkodás érdekében, az elérhető tápanyagtartalom növelésével, a talajerózió visszafogásával, a talajban jelenlevő patogének elleni harc segítségével, toxikus stressz elleni védőhatásukkal (AZCÓN-AGUILAR & BAREA 1996, GIANINAZZI & VOSATKA 2004, VOSATKA & ALBRECHTOVA 2008). Mindezen túl a mikorrhizák a növények beltartalmi értékeire is hatást gyakorolhatnak, például az articsóka levelének és virágzatának fenolvegyületeinek, antioxidáns tulajdonságának (CECCARELLI et al. 2010), illetve a hagyma C-vitamin tartalmának növelésével (ALBRECHTOVA et al. 2012). Mindebben a gombafonalak jobb abszorpciós képessége nagy szerepet játszik, ennek oka egyrészt kémiai, mivel a gombák sejtmembránja másként viselkedik, mint a növényé, másrészt fizikai, hiszen a gombafonalak átmérője jóval kisebb még a gyökérszőröknél is. Így nagyobb felületen képesek abszorbeálásra, mert több talajtérfogatot tesznek hozzáférhetővé a növény számára. A talajban allokált tápanyagokat a növény gyökérzetébe a hifák citoplazmikus rendszere továbbítja, még hozzá nagyobb arányban, mint azt az ozmózis lehetővé tenné. Ez a gomba oldaláról energiaigényes folyamat, így a gomba cukrokat, keményítőt, fehérjéket és zsírokat, sőt vitaminokat és hormonokat is kap a növénytől. A mutualista kapcsolatot és a két partner összehangolt szabályozását pedig az is bizonyítja, hogy a résztvevők együttesen szintetizálnak olyan fehérjéket (mikorrhizinek), amiket önállóan egyikük sem termel (JAKUCS 2009).

2.3.2 A mikorrhizagombák csoportosítása, tulajdonságaik, előfordulásuk

A mikorrhizákat morfológiai alapon három típusra oszthatjuk: ekto-, endo- és ektoendomikorrhizákra. Az **ektomikorrhiza**-gombák hifái nem hatolnak be a növény gyökerének sejtfalába, csak köpenyt alkotnak a gyökér körül, illetve a gyökért alkotó sejtek közötti járatokat a hifák szövevényes rendszere kitöltheti, ezt Hartig-hálónak is nevezik. Az ektomikorrhizák különösen a nyitvatermőkre jellemzőek. Az **endomikorrhiza**-gombák esetében a hifák a kéregsejtek sejtközötti járataiba és magukba a sejtekbe is behatolnak. A szárazföldi növények több mint 80%-ára jellemző ez a kapcsolat, melyet a gyökérben megtalálható képletek alapján arbuszkuláris mikorrhizának is neveznek (röviden: AM, vagy korábbi nevükön vezikulo-arbuszkuláris mikorrhizák, röviden VAM). Az arbuszkuláris

mikorrhizák hifái behatolnak a növényi sejtfalba, ott a kéregsejtekben duzzadt hólyag formájú (vezikulum) vagy kétirányba elágazó betüremkedéseket (arbuszkulumokat) hoznak létre. A hifák nem hatolnak be a sejt belsejében található protoplazmába, csak betüremkednek a sejtmembránon át. Mindez szignifikánsan növeli az érintkezési felületet a hifa és a növényi sejt citoplazmája között, megkönnyítve a tápanyagok szállítását (AZCÓN-AGUILAR & BAREA 1996, JAKUCS 2009). A talajban található mikroorganizmusok közül az arbuszkuláris mikorrhizák szükségszerű és esszenciális alkotói a fenntartható talaj-növény rendszereknek. A magas trágya és műtrágya felhasználás korában, kevés figyelmet szenteltek a hasznos talajmikroorganizmusoknak, különösen az arbuszkuláris mikorrhizáknak (GIANINAZZI et al. 2010, LAL 2008). Arbuszkuláris mikorrhizákat kizárólag kb. kétszáz fajból álló önálló csoport, az endomikorrhiza-gombák alkotnak. Újabb keletű DNS-vizsgálatok alapján e fajokat külön rendszertani törzsbe különítették el *Glomeromycota* néven. Az ide tartozó gombák többnyire lágyszárú, bár néha fás szárú növényekkel is társulnak, és növényi partner tekintetében egyáltalán nem specifikusak (JAKUCS 2009).

Fosszilis és molekuláris genetikai bizonyítékok egyaránt arra utalnak, hogy ez a mutualizmus 400–460 millió évvel ezelőttre tehető, amikor az első növények megjelentek a szárazföldön. Ebben az időben az arbuszkuláris mikorrhizák különösen nagy segítséget nyújthattak a növényeknek az ellenséges körülmények, mint a tápanyag- és vízhiány leküzdésében, valamint az is belátható, hogy a gombák és a Földünkön található növények nagy része együtt hosszú koevolúciós utat járt be. Tehát a mikorrhizák meghatározó jelentőségűek a Föld mai növénytakarójának létrehozásában és az egyes vegetációtípusok földrajzi elhelyezkedésében is. Az egyes éghajlati övekben, különböző ökológiai viszonyok között élő növény együttesekre különböző mikorrhiza-típusok dominanciája jellemző (AZCÓN-AGUILAR & BAREA 1996, JAKUCS 2013) (4. táblázat).

Éghajlati öv	Talajtípus	Vegetáció-típus	Domináns mikorrhiza	Gomba-partner	Növénypartner
trópusi	ásványi	esőerdő	VAM	VAM-gombák	összes hajtásos növény
			EM	bazídiumos és tömlősgombák	nyitvatermők és egyes zárvatermő fák
		szavanna, fűsivatag	VAM	VAM-gombák	lágyszárú növények és fák
mérsékeltövi	szerves, humusz	fűves puszta	VAM	VAM-gombák	lágyszárú növények
		fenyőerdő és lombdó	EM	bazídiumos és tömlősgombák	nyitvatermők és erdőalkotó zárvatermő fák
szubboréális és magas-hegységi	szerves N-t és P-t tartalmazó, tőzeges	fenyves, tajga	EM	bazídiumos és tömlősgombák	nyitvatermők és egyes zárvatermő fák
		fenyőes	ericoid	tömlősgombák	hangafélék

4. táblázat: A fő mikorrhizatípusok zonális földrajzi eloszlása (JAKUCS 2013).

2.3.3 A mikorrhizák jelentősége

A mikorrhizaképzés jelentőségét a XIX. században fedezték fel, később az 1980-as évekre pedig felismerték, hogy a szárazföldi mohák és szövetes növények természetes vegetációkban élő fajainak 80-90%-a fent ismertetett módon együtt él gombákkal. A mikorrhizáltság olyannyira elterjedt, hogy számos szárazföldi növény vizet felvevő szerve többnyire nem is kifejezetten a gyökér, hanem a mikorrhiza (JAKUCS 2009). A már említett aszálytűrő képesség, illetve fotoszintetikus aktivitás szignifikáns javulását AM kezelés hatására már bizonyították például mandarin (*Citrus tangerine*) esetében is (QIANG-SHENG & REN-XUE 2006). Paradicsom esetén az AM kezelés só (NaCl) és szárazságtűrés javító hatása jelentősegteljes, valamint a stressz hatására megjelenő reaktív oxigénformák detoxifikálására szolgáló enzimek magasabb értéke volt kimutatható a stresszhatás és az azt követő rövid időszakban az AM kezelt egyedekben, a kezeletlen kontrollhoz képest (ZHONGQUN et al. 2007). Az arbuszkuláris mikorrhiza gombapopuláció gyakran csökken a konvencionális agrotechnikákra épülő talajművelés következtében, amit a fungicidek gyakori használatára és a nagy mennyiségű foszfátműtrágyák kihelyezésére (OEHL et al. 2003) vezethetünk vissza.

Sterilizált, vagy szántott talajon a mikorrhizák jelenléte szignifikánsan gyérebb, a termőnövények hozama pedig kisebb a fás területekéhez képest. A mikorrhiza-gombák hiánya lelassíthatja a növények betelepülését a szukcesszió korai szakaszában, főleg az erodálódott talajokon. Érdekes az ajelenség is, amely erdőkben figyelhető meg leginkább, miszerint a gombafonalak több szomszédos fa gyökereinek hálózatát is összekötik és a részt vevő növények is cserélhetnek egymással anyagokat így a több napfényhez jutó és ez által magasabb fotoszintetikus aktivitást mutató egyedek tápanyagainak egy része eljut a kevesebb fényt kapó egyedekhez, valamivel kiegyenlítettebbé téve a fényért folyó harcot (HELGASON et al. 1998, JAKUCS 2009, KAPOOR et al. 2008). Elmondható, hogy azon életközösségek tagjai optimálisan jutnak tápanyaghoz, ahol a talaj mikorrhizált gyökerek hálózatával átjárt (JAKUCS 2009).

Mindezek alapján könnyen belátható, hogy a mikorrhizák kulcsfontosságú szerepet töltenek be az életközösségek szerkezetének alakulásában, azok szabályozásában. Mindemellett a mikorrhizákkal való kapcsolatok megteremtése és megerősítése a szabadföldi termelésben fokozhatja a termés hozamot, növelheti a termésbiztonságot és a fitonutriensek koncentrációjára való hatással a termésminőséget is javíthatja.

3. Anyag és módszer

3.1 Kísérleti terület bemutatása és adottságai

A kísérletet Gödöllőn, a Szent István Egyetem Kertészeti Tanüzemének területén végeztük. A tanüzem területe 4 hektár és közvetlenül mellette folyik a Rákos-patak. A kísérleti terület talajtípusa vályogos-homok, barna erdőtalaj (Ramann-féle, rozsdabarna). Ahogy a legtöbb barna erdőtalaj esetében, itt is erőteljes agyagosodás és gyenge savanyodás jellemző. A felsőbb szintjeinek agyagtartalma általában állandó, de a felhalmozódási szint fele közelítve növekszik. A legfelső rétegének szerkezete lehet morzsás vagy szemcsés, kémhatása gyengén savanyú, vagy semleges. A kísérlet szabadföldön került beállításra, a fent említett barna erdőtalajú területen, amely fizikai féleségét, textúráját tekintve vályogos homok. Vízkapacitás tekintetében alacsony eredményeket mutat, de víznyelő- és vízvezető képessége jó. A talajvíz megközelítőleg 4 méteres mélységben található, ezt a paradicsom gyökérzete már nem képes felvenni és hasznosítani.

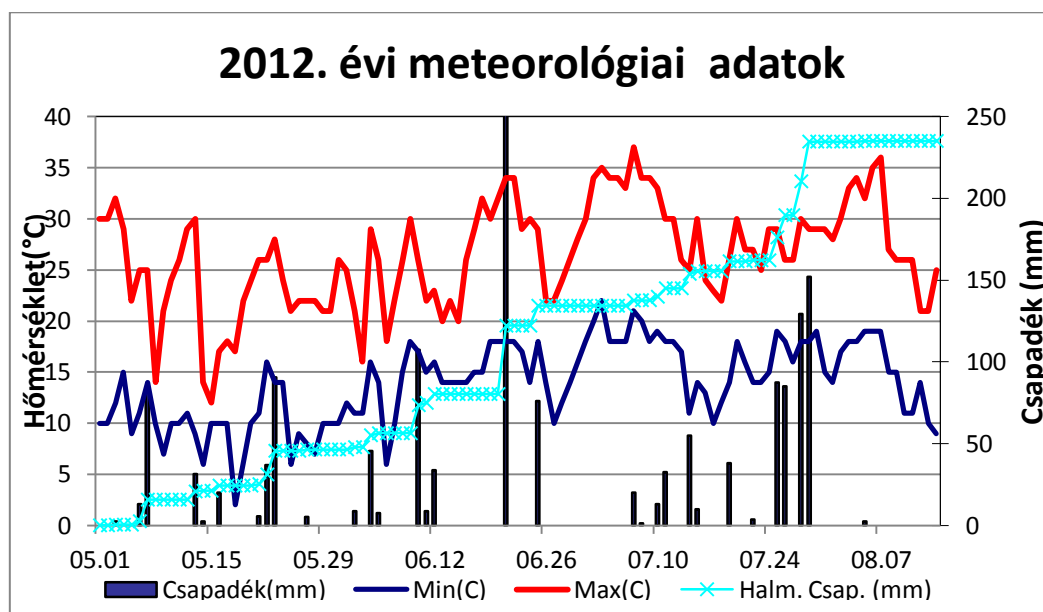
Az Országos Meteorológiai Szolgálat (OMSZ) adatai alapján, Gödöllő éghajlatára a következő paraméterek jellemzőek:

- évi középhőmérséklet: 9-10 °C
- évi átlagos csapadék: 500-550 mm
- szélirány és sebesség: ÉNY, 2-3 m/s
- globálisugárzás: 4550-4600 MJ/m²

3.2 A kísérlet beállítása a palántázástól, a betakarításon át, a minták tárolásáig

A kísérlet egy 883,2 m² nagyságú területen lett elhelyezve, amely egy 50 tonna / ha-os szerves trágya adagot, valamint a kiültetést megelőző napon Cropcare Yaramila komplex 11-22-16 (nitrogén-foszfor-kálium), 40 kg műtrágyát kapott. A kísérlet célja az ipari paradicsomfajták vízigényének 100%-os kielégítése mellett, az arbuszkuláris mikorrhiza gomba hatásának megfigyelése az ipari paradicsomfajták beltartalmi értékeinek tekintetében. Az ültetésre 2012. május 9-én került sor, amikor is más, a területen folyó kísérletek mellett a Heinz, UnoRosso, Triple Red (hagyományos bogyo-átlagtömegű ipari hibridek) és Strombolino (cseresznye típusú ipari fajta) paradicsom (*Lycopersicon esculentum*) palántákat 12 m hosszú ikersorokba telepítettük. Az ikersorok közötti távolság 120 cm volt, a sorok közötti pedig 40 cm, a palántákat 30 cm-re ültettük egymástól. Összesen 4 sort tartalmazott a kísérletem, amiből kettő sor az optimális öntözővíz mennyiségének 100%-át kapta, az ipari paradicsomfajták vízigényének megfelelően. Két sor az optimális öntözővíz mennyiségének 100%-át kapta és arbuszkuláris mikorrhiza készítményt (symbivit®) szórtunk az

ültetőgödörbe. A symbivit® természetes növényi növekedést fokozó szer, mely a mikorrhiza gombák kedvező hatásán alapszik. Összetétel: Természetes agyaghordozó, hat mikorrhiza gomba reprodukciós képleteit tartalmazza spórák, micéliumok és gyökérdarabok formájában (*Glomus intraradices* BEG140, *G. mosseae* BEG95, *G. etunicatum* BEG92, *G. clarodideum* BEG96, *G. microaggregatum* BEG56 és *G. geosporum* BEG199), valamint a mikorrhiza szimbiózis kialakulását elősegítő természetes adalékanyagokat (hínárkivonat, humusz, őrlött ásványi anyagok), por alakú biológiailag bontható poliakrilamid gél. Adagolása szárazon történő alkalmazással történt, a palántalyuk alját 25 gr/palánta mennyiségű szerrel kezeltük, majd a palántákat azonnal elültettük. Kontrollként oltás nélküli növényeket használtunk. A tenyésztidőszak időjárását az alábbi ábra szemlélteti (8. ábra).



8. ábra: A tenyésztidőszak időjárási paraméterei (Tanüzemi mért adatok alapján).

Az időjárási adatokból látható, hogy a halmozott csapadék nem érte el a 250 mm-t a tenyésztidőszak során, miközben az ipari paradicsom esetében a szükséglet akár 600 mm is lehet. Mivel a célom a paradicsomfajták 100%-os, azaz optimális öntözöttség melletti vizsgálata volt, ezért a szükséges öntözés mennyiségét az egyes időszakok során az Országos Meteorológiai Szolgálat előrejelzése alapján végeztük. Az öntözés csepegtető rendszerrel valósult meg heti 3 alkalommal (hétfő, szerda, péntek) a várható napi középhőmérséklet alakulásának megfelelően és a növény fejlettségétől függően (napi öntözővíz [mm] = napi középhőmérséklet*0,2) (HELYES & VARGA 1994). Kezdetben naponta a palánták vízellátására 1 mm mennyiség is elegendő volt, ami a termőidőszak vége felé a párologtató lombfelület megnövekedésével ez 4-6 mm/nap-ra emelkedett. A tenyésztő alatt többször is mechanikai úton gyomirtottuk a területet, hogy elkerüljük a gyomosodást (9. ábra).



9. ábra: A kísérleti tér horolás után (2012.05.25.).

A minták gyűjtésére 2012. augusztus 14.-én került sor, egymenetes betakarítás formájában, amely során minden fajta arbuszkuláris mikorrhizával kezelt és nem kezelt egyedeiből 4-4 ismétlést szedtünk, ismétlésenként 10-10 növény érett bogyóinak felhasználásával és külön rekeszekben való tárolásával. Az így gyűjtött mintákat a szedés napján a Szent István Egyetem Regionális Egyetemi Tudásközpontjának Élelmiszeranalitikai Laboratóriumába szállítottuk, megmostuk, feldaraboltuk, turmixgép segítségével homogenizáltuk és jelzéssel ellátott, zárható mintatartó edényekbe helyeztük. Az egyes ismétlésekhez tartozó minták mérésig -18°C -on voltak tárolva.

3.3 Az alkalmazott mérési módszer, a nagyhatékonyságú folyadékkromatográfia (HPLC)

A HPLC a nagyhatékonyságú (vagy nagynyomású) folyadékkromatográfia (High Performance (Pressure) Liquid Chromatography) rövidítése, amely a folyadékkromatográfia széles körben alkalmazott változata. Minden kromatográfiás analitikai módszer komponensek egymástól való szétválasztásán alapul. A kromatográfiás módszereket csoportosíthatjuk:

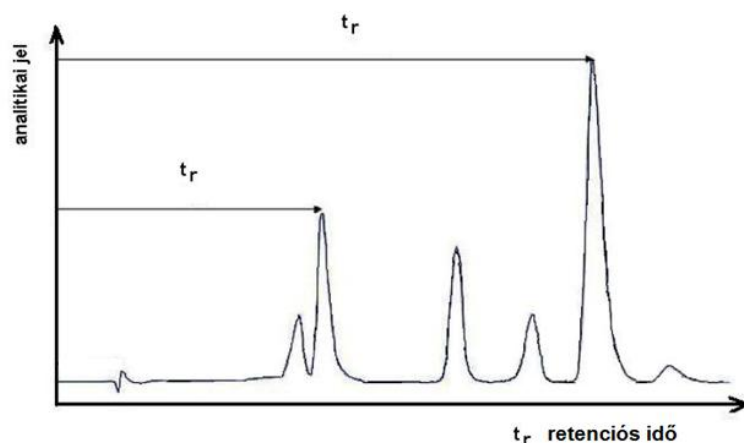
- Állófázis kivitelezése szerint: oszlop és planáris kromatográfia,
- Mintakomponens és az állófázis közötti kölcsönhatás természete szerint: adszorpciós, megoszlásos, ioncserés kromatográfia,
- Mozgófázis halmazállapota szerint: folyadék- és gázkromatográfia.

Minden kromatográfiás eljárás során van egy mozgó fázisunk, amelyet szoros kontaktusba hozunk egy vele nem elegendő állófázissal. A folyadékkromatográfia esetén a mozgó fázis

(eluens) folyadék, amely nem tartalmazhat lebegő részecskéket, gázbuborékokat, így az eluensek megfelelő gáztalanítása szükséges, valamint a minta akár többszöri szűrése 0,45 mikrométeres pórusméretű szűrőn. Mindezek hiányában a készülék rendkívül kis belső átmérőjű csövei, vagy az álló fázis (oszlop, más néven kolonna) töltetszemcsék közötti járatai eltömődhetnek, illetve az apró buborékok elzárhatják az áramlást vagy a detektorban felszabadulva szakaszos jelet okozhatnak. Az állófázis különböző felületi csoportokkal ellátott szilárd anyag, amelyet legtöbbször úgynevezett töltetes analitikai elválasztó oszlopba töltenek, oly módon, hogy a töltést nagyobb nyomáson végzik, mint ami az alkalmazások során fellépne, így megakadályozva a töltet deformálódását (GALBÁCS et al. 2008, POKOL et al. 2011). A mozgó fázis (eluens) állandó áramoltatása mellett a mintaelegy komponensei kölcsönhatásba lépnek az állófázissal és megfelelő kontaktidő után elkülönülnek egymástól. A minta komponenseinek elválasztása eltérő mozgási (migrációs) sebességükből adódóan történik úgy, hogy az állófázis felett nyomáskülönbség hatására kényszeráramot hoznak létre. Másként fogalmazva a komponensek különböző időt töltenek az állófázison, az azzal való kölcsönhatásuk mértékének megfelelően.

A rendszerbe az oszlop után komponenseket elkülönítő valamilyen detektort elhelyezve csúcssorozatot fogunk észlelni, amely az idő függvényében ábrázolja a detektorjeleket. Az ez alapján az adatgyűjtő és kiértékelő egység, illetve a hozzá kapcsolódó mérőprogram, vagy integrátor által rajzolt grafikont kromatogramnak nevezzük.

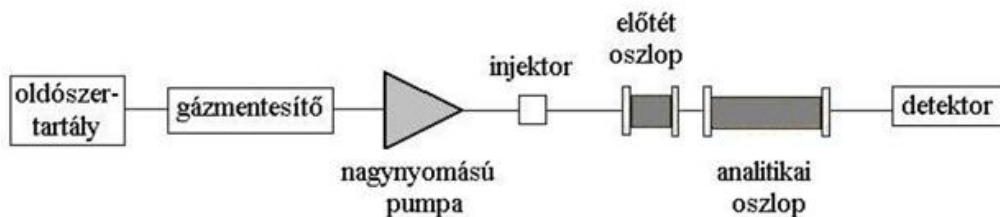
A kromatogram abszcisszáján (x tengely) a retenciós idő, míg ordinátáján (y tengely) az analitok által a detektorban keltett jel intenzitása kerül megjelenítésre (10. ábra). A retenciós idő nem más, mint adott komponens mozgófázisba kerülésétől a komponens detektor által mért maximális koncentrációjának megjelenéséig (görbe csúcsa) eltelt idő. A retenciós időre befolyással bír az álló- valamint a mozgófázis minősége, a nyomás, az áramlási sebesség és a hőmérséklet. Érzékeny detektor alkalmazásával már nyomnyi mennyiségek is kimutathatóak. A leolvasható görbe alatti terület arányos a koncentrációval. Ha ismert koncentrációkkal kalibráljuk a kromatográfot, akkor a kalibrációs görbe felvétele után az ismeretlen minta koncentrációja a görbéről leolvasva meghatározható (GALBÁCS et al. 2008, POKOL et al. 2011).



10. ábra: Egy tipikus HPLC kromatogram (TATÁR & ZÁRAY 2012).

Megkülönböztetünk kétféle elúciós technikát is. Az **izokratikus elúció** során az eluensek koncentrációja időben állandó. Amennyiben a vizsgálni kívánt mintában egymáshoz közeli retenció idővel bíró komponensek találhatók, szükséges lehet a csúcsok megfelelő elválasztásának érdekében a **gradiens-elúció**, amelynek során az eluensek koncentrációját változtatjuk az idő során, ezzel befolyásolva a különböző komponensek retenció idejét, mivel az függ a mozgófázis minőségétől és befolyásolja a komponensek kötöttségének időtartamát az analitikai elválasztóoszlop töltetén (GALBÁCS et al. 2008, POKOL et al. 2011).

A kolonna lehet normálfázisú (NP-HPLC technika), amikor az állófázis poláros, a mozgófázis apoláros. Normál fázisú eljárásnál az apoláris vegyületek távoznak elsőként és a legpolárisabbak utolsóként az oszlopról. Lehet fordított fázisú (RP-HPLC technika), ami ennek az ellentéte, tehát az állófázis apoláros, a mozgófázis poláros. Mivel a fordított fázisú folyadékkromatográfiában egy kevésbé poláros állófázis és egy polárosabb mozgófázis van jelen, előbb az állófázishoz kevésbé kötődő polárosabb vegyületek távoznak az oszlopról, míg az erősebben kapcsolódó apoláros anyagok visszatartása a nagyobb. Ma már rendkívül sokféle választási lehetőség adódik minden speciális feladathoz, a kolonnák fejlesztése napjainkban is folyamatosan zajlik, a lehetőségeinknek leginkább anyagi megfontolások szabhatnak határt, mivel minden oszlop drága, és az újabb típusok különösen azok (TATÁR & ZÁRAY 2012). A teljes rendszer sematikus felépítését a 11. ábra szemlélteti.



11. ábra: Egy HPLC rendszer sematikus felépítése (TATÁR & ZÁRAY 2012).

3.4 A minták extrakciója HPLC vizsgálatra

A célkitűzésben lefektetetteknek megfelelően a minták fő antioxidáns hatású vegyületeinek, a C-vitaminnak, a likopinnak és a β -karotinnak a vizsgálatához nagyhatékonyságú folyadékkromatográfiás módszert (HPLC) használtam, amihez a vizsgálandó komponensek oldatba vitele szükséges. A minták extrakcióját a Szent István Egyetem Regionális Egyetemi Tudásközpontjának Élelmiszeranalitikai Laboratóriumában végeztem el. A mintákat a fagyasztásból való kiengedést követően azonnal elő kell készíteni C-vitamin meghatározásra, mivel az aszkorbinsav rendkívül bomlékony vitamin, míg a karotinoidok stabilabb vegyületek, és a minta gyors visszafagyasztásának esetén koncentrációjuk nem változik a mintában. A Heinz minták aszkorbinsavmérését épp ezért nem valósítottam meg, mivel a minták homogenizálás utáni fagyasztva tárolásáig eltelt időt oly hosszúnak értékeltem, amely már az aszkorbinsav koncentráció csökkenéséhez vezethetett, ez pedig félrevezető mérési eredményeket produkálhatott volna.

3.4.1 A C-vitamin extrakciója

Az aszkorbinsav kinyerését egy, a SZIE-RET Élelmiszeranalitikai laboratóriumában helyben fejlesztett, új metodika alapján végeztem (DAOOD et al. 2013b). Közel tíz gramm mintát mértem be óraüvegre minden esetben (a pontos bemért tömegeket feljegyeztem) és 1g kvarchomok mellett porcelánmozsárban a mintát eldörzsöltem. Ezt követően a mozsárba 20 ml 3%-os meta-foszforsav oldatot adtam, majd dekantáltam egy 100 ml-es csiszolatos Erlenmeyer lombikba. A lombikot ezt követően szobahőmérsékleten, 15 percen keresztül sötétben rázattam, majd a rázatott oldatot 389-es (84g/m^2 , átmérő 90 mm) típusú szűrőpapíron átszűrtem, az így kapott extraktumot pedig $0,45\text{ }\mu\text{m}$ -es nylon fecskendőszűrőn keresztül injektáló fiolába juttattam, majd a fiolát lezártam.

3.4.2 A karotinoidok (likopin és β -karotin) extrakciója

A karotinoidok kinyerését, egy a SZIE-RET Élelmiszeranalitikai laboratóriumában helyben fejlesztett metodika alapján végeztem (DAOOD et al. 2013a). Közel öt gramm mintát mértem be óraüvegre minden esetben (a pontos bemért tömegeket feljegyeztem) és 1g kvarchomok, valamint 0,5g aszkorbinsav mellett porcelánmozsárban erélyesen eldörzsöltem, majd 20 ml HPLC minőségű metanolt hozzáadva tovább dörzsöltem. A mozsárból a felülúszó részt dekantáltam egy 250 ml-es csiszolatos Erlenmeyer lombikba. A mozsárban a maradék mintát 60 ml 1:5 térfogatarányú HPLC minőségű metanol:1,2-diklóretán oldat kis részleteivel felöntöttem és továbbdörzsöltem, majd dekantáltam (szintén a 250 ml-es Erlenmeyer lombikba), a 60 ml oldatot úgy felhasználva, hogy a legutolsó dekantáláskor színanyag

jelenlétét már szabad szemmel nem lehetett érzékelni a mozsárban. Az Erlenmeyer lombikba ezután 1 ml bidesztillált vizet adtam, a poláris és apoláris rész elválasztásának érdekében, majd a lombikot 15 percen keresztül mechanikusan rázattam. Az így elkészült oldat alsó, apoláris fázisát választótölcsér segítségével választottam le, oly módon, hogy a választótölcsérből lassan csepegő apoláris alsó fázist 389-es (84g/m^2 , átmérő 90 mm) típusú szűrőpapírra helyezett vízmentes Na_2SO_4 -on (nátrium-szulfát víz megkötésének érdekében) keresztül egy 150 ml-es gömbblombikba szűrtem. A gömbblombikból az oldószert ezt követően 30°C -on vákuum jelenlétében elpárologtattam rotadesztilláló berendezés segítségével, majd a gömbblombik szélére kivált színyanyagokat a gömbblombikba juttatott 5 ml HPLC minőségű acetonban oldottam fel. Az így elkészült acetonban felvett karotinoid extraktumot $0.45\mu\text{m}$ teflon (PTFE) fecskendőszűrőn keresztül HPLC injektáló fiolába szűrtem, majd a fiolát lezártam.

3.5 Az általam használt HPLC készülék paraméterei és a mérések körülményei, metodikája

Méréseimet a Szent István Egyetem Regionális Egyetemi Tudásközpontjának (SZIE-RET) Élelmiszeranalitikai Laboratóriumában végeztem el. Az itt található készülék egy Merck-Hitachi HPLC (12. ábra), amely az alábbi modulokból épül fel:

- **Chromaster 5110** - Pumpát, alacsony nyomású gradiens egységet, hatsatornás gáztalanítót, pumpamosót, dinamikus mixert magában foglaló modulegység
- **Chromaster 5210** - Automata mintaadagoló rendszert, injektor tű és mosókészülékét tartalmazó modulegység
- **Chromaster 5440** - Fluoreszcens detektor modulegység
- **Chromaster 5430** - Diódasoros detektor (DAD - Diode Array Detector) modulegység
- **Gyártó:** Hitachi
- **Forgalmazó:** Merck Group



12. ábra: SZIE MKK RET
Élelmiszeranalitika Laboratórium:
Merck-Hitachi HPLC készüléke
(www.hitachi-hta.com).

A mérést és kiértékelését a készülékhez tartozó, gyártó által biztosított EZChrome Elite programcsomaggal végeztem, az alkalmazott standardecket a SZIE MKK RET bocsátotta rendelkezésemre.

3.5.1 A C-vitamin mérés metodikája

A C-vitamin mérését egy még meg nem jelent, a SZIE-RET Élelmiszeranalitikai laboratóriumában helyben fejlesztett, validált új metodika alapján végeztem (DAOOD et al. 2013b). Az előkészített extraktumokból minden esetben 20 µl-t injektáltam. Az aszkorbinsav egy fordított fázisú, Nucleosil 100-5C18 Nautilus (3µm) 150 x 4.6 mm HPLC oszlopon került elválasztásra, 0,7 ml/perc áramlási sebesség mellett, az alábbi 5. táblázatban foglalt gradiens-elúciós programmal.

Idő (perc)	A eluens (0,01M KH ₂ PO ₄)	B eluens (Acetonitril)
0	99%	1%
20	40%	60%
25	99%	1%

5. táblázat: A C-vitamin mérésénél használt gradiens-elúció programja.

A C-vitamin detektálását a diódasoros detektorral végeztem, 190 és 300 nm között. A mennyiségi analízishez a csúcsok integrálását a jelen készüléken észlelhető maximális C-vitaminhoz tartozó abszorbancia hullámhosszán, 264 nm-en végeztem. A kalibráláshoz 4 pontos kalibrációt használtam, 30, 60, 90 és 120 µg/ml-es standard segítségével. A csúcsterületek koncentrációba való átszámításakor a 90 µg/ml-es standardhoz tartozó csúcsterületet vettem alapul.

3.5.2 A likopin és β-karotin mérés metodikája

A karotinoidok mérését egy a SZIE-RET Élelmiszeranalitikai laboratóriumában, helyben készített és validált metodika alapján végeztem (DAOOD et al. 2013a). Az előkészített extraktumokból minden esetben 20 µl-t injektáltam. A karotinoidok egy fordított fázisú, cross-linked Nucleosil ISIS C-18 (3µm) 250 x4.6 mm HPLC oszlopon, kerültek elválasztásra, 0,7 ml/perc áramlási sebesség mellett, 6. táblázatban foglalt gradiens-elúciós programmal:

Idő (perc)	A eluens (Víz)	B eluens (Aceton)	Idő (perc)	A eluens (Víz)	B eluens (Aceton)
0	20%	80%	23	5%	95%
12	12%	88%	26	20%	80%
17	5%	95%	30	20%	80%

6. táblázat: A karotinoidok mérésénél használt gradienselúció programja.

A karotinoidok detektálását a diódasoros detektorral végeztem, 200 és 700 nm között. A mennyiségi analízishez a csúcsok integrálását a jelen készüléken észlelhető maximális likopinhoz tartozó abszorbancia hullámhosszán, 474 nm-en végeztem, ugyanezen érték a β-karotin esetében 455 nm volt. A kalibráláshoz 5 pontos kalibrációt használtam 20, 40, 60, 80 és 100 µg/ml-es standard segítségével. A csúcsterületek koncentrációba való átszámításakor a β-karotin 100 µg/ml-es standardjéhez tartozó „total” csúcsterületet vettem alapul (β-karotin és

izomerjeinek csúcsterület összege), mivel az alkalmazott standardben a β -karotin és izomerjeinek összessége volt 100 $\mu\text{g/ml}$.

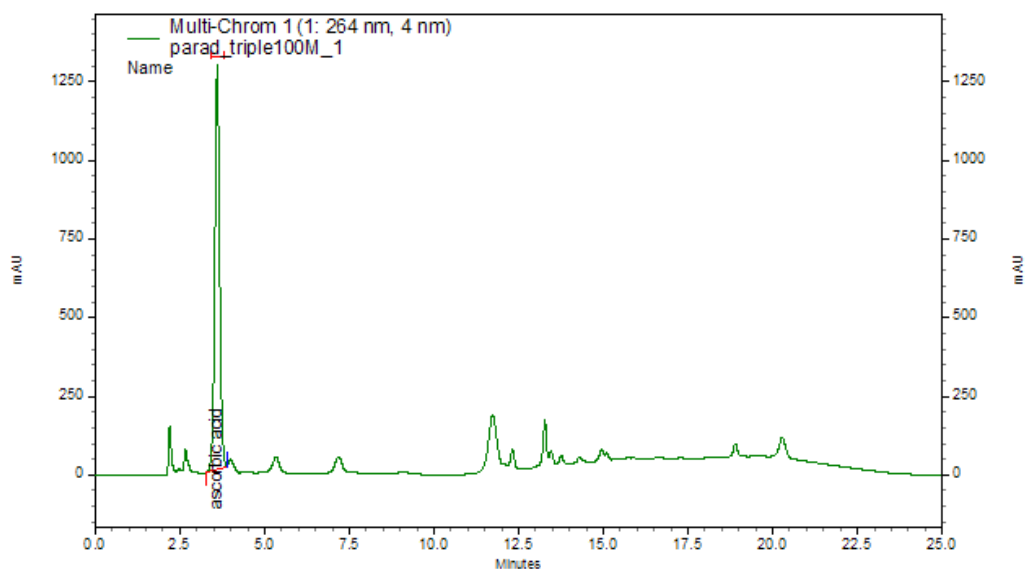
3.5.3 Szárazanyag-tartalom befolyásoló hatása

A minták szárazanyagtartalmát az Országos Élelmezés és Táplálkozástudományi Intézet mérte meg, így az egyes mintákhoz tartozó végső koncentrációkat szárazanyag-tartalomra vonatkoztatottan adhattam meg, ami valósághűbb reprezentálása a komponensek koncentrációjának. A szárazanyag-tartalommal való korrekciónak köszönhetően, az egységnyi száraz tömegre vonatkoztathattam adataimat, a különböző fajták esetén, ami a teljes bevitt likopinmennyiséget hűebben reprezentálja, egységnyi minta esetén, hiszen a minta víztartalma nem befolyásolja a koncentráció megállapítását.

4. Eredmények

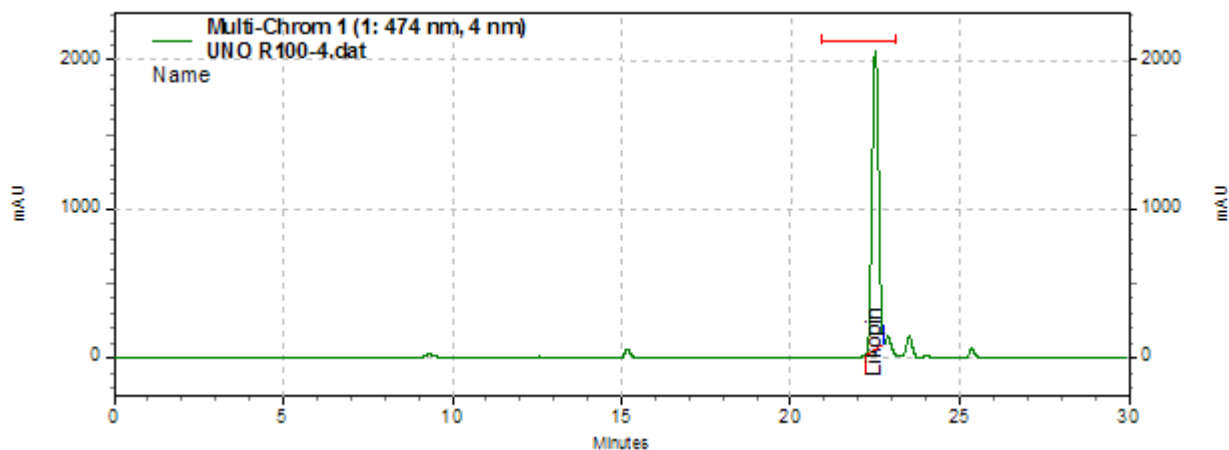
4.1 Az eredmények, feldolgozásuk, magyarázatok

Az egyes mérésekhez tartozó kromatogramokat az EZChrome szoftver segítségével értékeltem, a komponensekhez tartozó csúcsterületeket a pontosság érdekében manuális integrálással határoztam meg minden egyes kromatogram esetében. A szemléltetés érdekében a 13. ábra egy C-vitamin mérés, míg a 14. ábra egy karotinoidmérés kromatogramjait és integrálásuk utáni jelentést mutatja be:



1: 264 nm, 4 nm	Results		
Retention Time	Area	Height	Name
3.600	51155384	5140570	ascorbic acid
Totals	51155384	5140570	

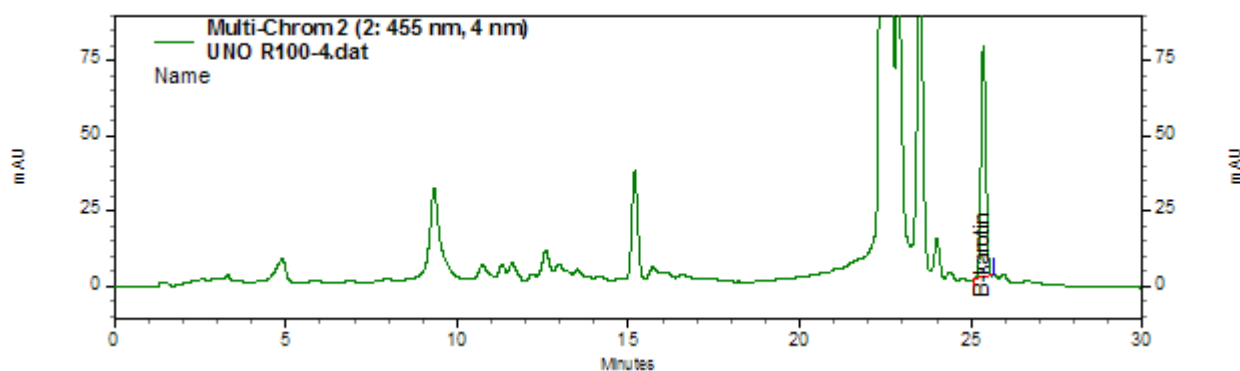
13. ábra: C-vitamin mérés – Triple_100/1 Mikorrhizált.



1: 474 nm, 4 nm

Results

Retention Time	Area	Height	Name
22.507	107547486	8009774	Likopin
Totals	107547486	8009774	



2: 455 nm, 4 nm

Results

Retention Time	Area	Height	Name
25.360	3017025	308158	B-karotin
Totals	3017025	308158	

14. ábra: Karotinoid mérés – Uno Rosso 100/4.

Az EZChrome programmal kinyert mérendő komponensekhez tartozó csúcsterületek koncentrációba való átváltására az alábbi formulát alkalmaztam:

Mért oldat koncentrációja [mg/kg] = adott komponenshez tartozó csúcsterület * koefficiens

Koefficiens = (standard koncentrációja [µg/ml] / standardhoz tartozó csúcsterület) * mérendő oldat oldószerének mennyisége [ml]/ bemért minta tömege [g]

Az oldószer mennyisége 20 ml C-vitamin és 5 ml karotinoidok mérésének esetében, ahogy azt a kinyerések leírásánál is ismertettem. **Az arbuszkuláris mikorrhizával kezelt mintákat sorszámukban nagy M betű jelöli.** A mért mintaoldatok koncentrációját az alábbi táblázatok foglalják össze:

	Triple Red	Uno Rosso	Strombolino
Minta:	C-vitamin-koncentrációja [mg/kg]		
100/1	267, 5	133,0	245,2
100/2	257,7	176,1	282, 6
100/3	252,4	177,5	371,4
100/4	293,0	111,0	341,5
Átlag	267,6	149,4	310,2
Szórás	18,0	32,9	56,9
100M/1	428,7	195,2	236,7
100M/2	342,5	201, 9	252,4
100M/3	414,3	214,0	322, 2
100M/4	332,7	145,7	344,2
Átlag	379,6	189,2	288,9
Szórás	49,0	30,0	52,4

7. táblázat: A vizsgált fajták C-vitamin-koncentrációjának alakulása.

C-vitamintartalom és a bogyóméret között negatív korreláció áll fent, a C-vitamin a borszövetekben halmozódik fel elsősorban, a húszállományban és a magokban körülbelül fele akkora mennyiség mutatható ki GEORGE et al. (2004) és TOOR & SAVAGE (2005) szerint. Tehát a C-vitamin esetében igaz, hogy a kisméretű, nagyobb fajlagos felületű cseresznye- és szilvaparadicsom fajták nagyobb C-vitamintartalommal rendelkeznek. MURATORE et al. (2005) cseresznyeparadicsom esetében 31,3 mg/ 100 g értéket, míg a szilvaparadicsomfajták C-vitamin tartalmának esetében 13,4 - 28,5 mg/100g közötti értéket mutatott ki. **Látható, hogy mért adataim a szakirodalomban foglalt értékekkel egy tartományba esnek, a kezeletlen minták között pedig valóban a cseresznyeparadicsom fajta C-vitamintartalma a legmagasabb.**

	Heinz	Triple Red	Uno Rosso	Strombolino
Minta:	likopin-koncentrációja [mg/kg]			
100/1	78,0	132,4	109,5	116,0
100/2	102,8	121,5	84,1	84,8
100/3	83,0	118,8	109,9	115,9
100/4	78,4	125,7	95,0	117,8
Átlag	85,6	124,6	99,6	108,6
Szórás	11,7	5,9	12,4	15,9
100M/1	100,3	92,9	106,5	118,6
100M/2	97,9	106,6	102,5	119,4
100M/3	95,8	115,9	60,6	125,5
100M/4	105,0	120,1	98,8	125,3
Átlag	99,7	108,9	92,1	122,2
Szórás	4,0	12,0	21,3	3,7

8. táblázat: A vizsgált fajták likopin-koncentrációjának alakulása.

ABUSHITA et al. (2000) szerint a szabadföldön termesztett fajták magasabb, 5,2-23,6 mg/100 g *alltransz*-likopintartalommal jellemezhetőek. Mint az látható a 8. táblázatban, az **általam szabadföldön nevelt paradicsomok vizsgálata is ezen intervallumon belüli.** HOLDEN et al.

(1999) szerint a feldolgozatlan paradicsom átlagos likopintartalma 30 mg/kg, **MURATORE et al. (2005)** szerint a megnyúlt alakú szilvaparadicsomban 4,65 mg/ 100 g a likopintartalom, míg a cseresznyeparadicsomnál 3,43 mg/ 100 g, de **ezen irodalmi munkákhoz képest háromszoros likopintartalmat mutattam ki minden mintámban.** A likopin túlnyomórészt a bőrszövetekben lokalizált, a hagyományos étkezési és ipari fajtákhoz képest az apró szemű, nagyobb fajlagos felületű cseresznyeparadicsomok gazdagabbak likopinban TOOR & SAVAGE (2005) és GEORGE et al. (2004) szerint, **esetemben szignifikáns változás nem volt észlelhető a fajták között. A magas likopintartalom** feltehetően az **ideális termesztési körülményeknek volt köszönhető,** hiszen kísérletemben a talaj egységesen jó tápanyapotenciállal rendelkezett, a növények ideális vízmennyiséget kaptak, a hőmérséklet (8. ábra) pedig kedvezett a likopin szintézisének. Mindezt az is alátámasztja, hogy a mérési kromatogramokban az *all-transz* likopin jelenléte a domináns, míg ha bomlás vagy izomerizáció lett volna jellemző, akkor a *cisz*-likopin izomerek (likopin csúcsot követő két kisebb csúcs) jelintenzitásai intenzívebbek lennének. (14. ábra).

	Heinz	Triple Red	Uno Rosso	Strombolino
Minta:	β -karotin-koncentrációja [mg/kg]			
100/1	2,2	3,7	2,2	6,6
100/2	2,1	2,4	1,5	3,9
100/3	2,0	2,1	2,8	5,6
100/4	1,9	2,7	2,7	5,0
Átlag	2,0	2,7	2,3	5,3
Szórás	0,1	0,7	0,6	1,1
100M/1	1,9	2,6	2,3	4,8
100M/2	1,8	2,0	2,1	8,7
100M/3	1,5	2,7	1,8	8,5
100M/4	1,7	3,6	1,9	5,8
Átlag	1,7	2,6	2,0	6,9
Szórás	0,2	0,5	0,2	1,9

9. táblázat: A vizsgált fajták β -karotin-koncentrációjának alakulása.

A paradicsomban az átlagos β -karotintartalom friss paradicsomokra 3,9 mg/kg HOLDEN et al. (1999) szerint, míg ABUSHITA et al. (2000) alapján a β -karotintartalom 2,9 és 6.2 mg/kg között alakul. A 9. táblázatban bemutatott **általam mért értékek az irodalomban megjelöltektől csekély mértékben, de elmaradnak a hagyományos bogyó-átlagtömegű ipari fajták esetében, ami azzal magyarázható, hogy a 8. ábrán bemutatott hőmérsékleti viszonyok a tenyészidő során kedveztek a likopin szintézisének, és nem volt tartósan olyan magas hőmérséklet, amely a likopin β -karotinná alakulását szolgálta volna.** Mindezt a DUMAS et al (2003), LEONI (1992) és HAMAUZU et al. (1998) által fogalmazottak is alátámasztják, miszerint a likopin képződéséhez a 16-21°C közötti léghőmérséklet az ideális,

magasabb hőmérsékleten a szintézis gátolt, így lassabb is, 30-32°C felett pedig a likopin szintézise leáll, 32°C felett elősegített a likopin β -karotinná alakulása. **Méréseim igazolják MURATORE et al. (2005) általi megállapítást, miszerint a β -karotintartalom és a paradicsombogyó nagysága fordított arányban áll egymással, de a cseresznyeparadicsomban több β -karotin található, mint a szilvaparadicsomban, hiszen az általam vizsgált cseresznyeparadicsom fajta a Strombolino két-háromszoros β -karotintartalmat mutat a hagyományos bogyó-átlagtömegű hibridekhez képest.**

Mint azt korábban említettem, a szárazanyag-tartalomra vonatkoztatott koncentrációk megfelelőbb tájékoztatást nyújtanak az alkalmazott kezelés hatásainak kapcsán, mert a minta víztartalma nem torzítja a ténylegesen esetlegesen elfogyasztásra vagy feldolgozásra kerülő antioxidáns tömegét. A kezelés hatásának jellemzését a következő 4.2-es fejezetben, a lenti 10., 11., 12., táblázatban helyet kapó adatokkal végzett statisztikai vizsgálatok alapján ismertetem. **A szárazanyag-tartalomra vonatkoztatott koncentrációk** esetében a **konverziót az alábbi formula** szerint végeztem:

Komponens koncentráció [mg/kg] a mintában szárazanyag-tartalomra vonatkoztatottan =
Mért oldat komponensének koncentrációja [mg/kg] / (szárazanyag-tartalom [%] /100)

Így a három antioxidáns hatású vegyület koncentrációja az alábbiak szerint alakul:

C-vitamin-koncentráció [mg/kg] szárazanyagra vonatkoztatva			
Minta:	Triple Red	Uno Rosso	Strombolino
100/1	3429,3	2250,3	3574,2
100/2	3445,4	2930,6	3637,0
100/3	2829,3	2614,1	4731,8
100/4	3599,3	1859,2	4469,7
Átlag	3325,8	2413,6	4103,1
Szórás	339,7	462,4	585,0
100M/1	5656,1	3281,2	3151,5
100M/2	4116,2	3077,5	3370,3
100M/3	5140,6	3170,5	3644,6
100M/4	4281,7	2520,7	3876,7
Átlag	4798,7	3012,4	3510,8
Szórás	726,9	338,3	316,5

10. táblázat C-vitamin-koncentráció [mg/kg] szárazanyagra.

A 10. táblázat alapján látható, hogy a kezeletlen minták közül a cseresznyeparadicsom hibrid Strombolino-ban található a legnagyobb C-vitamin-koncentráció, ami az irodalmi adatok helyességét erősíti meg. Az is megállapítható, hogy az egyes fajták közötti különbség szignifikánsnak tűnik a C-vitamin tartalom tekintetében, így a fajtaválasztás fontos lehet az aszkorbinsavtartalom alakulásában.

Likopin-koncentráció [mg/kg] szárazanyagra vonatkoztatva				
Minta:	Heinz	Triple Red	Uno Rosso	Strombolino
100/1	1220,5	1697,1	1852,9	1691,5
100/2	1489,5	1624,8	1399,7	1091,0
100/3	1229,6	1332,0	1618,4	1476,4
100/4	1086,5	1543,7	1592,0	1542,0
Átlag	1256,5	1549,4	1615,7	1450,2
Szórás	168,5	157,9	185,7	255,8
100M/1	1443,4	1225,9	1789,6	1578,7
100M/2	1601,9	1281,1	1563,2	1594,3
100M/3	1400,3	1438,3	897,0	1419,6
100M/4	1600,2	1545,1	1709,5	1411,4
Átlag	1511,5	1372,6	1489,8	1501,0
Szórás	105,0	146,0	406,2	99,0

11. táblázat: Likopin-koncentráció [mg/kg] szárazanyagra.

A 11. táblázatban foglaltak alapján a **kezeletlen minták között ugyan eltérés figyelhető meg az átlagos likopintartalomban, de az nem tűnik szignifikánsnak, így a fajtaválasztásnak nem volt számottevő hatása a likopintartalomra.**

β-karotin-koncentráció [mg/kg] szárazanyagra vonatkoztatva				
Minta:	Heinz	Triple Red	Uno Rosso	Strombolino
100/1	33,8	47,8	37,5	96,9
100/2	30,0	31,8	24,1	50,4
100/3	29,9	23,0	41,1	70,9
100/4	26,8	32,6	44,7	66,0
Átlag	30,1	33,8	36,8	71,0
Szórás	2,9	10,3	9,0	19,3
100M/1	27,8	34,7	39,0	64,1
100M/2	28,9	23,6	32,2	115,5
100M/3	22,3	33,2	26,1	95,8
100M/4	26,3	41,9	33,5	65,2
Átlag	26,3	33,4	32,7	85,1
Szórás	2,9	7,5	5,3	25,0

12. táblázat: β -karotin-koncentráció [mg/kg] szárazanyagra.

A 12. táblázat adatai szerint, a **β -karotin-koncentráció a kezeletlen minták esetében azonos a hagyományos bogyó-átlagtömegű ipari hibrdek esetén, míg a cseresznyeparadicsom hibrid a strombolino β -karotin-koncentrációja kiemelkedően magas hozzájuk képest, ezen eredmények pedig összhangban vannak a szakirodalmi feldolgozásban foglaltakkal. A fajtaválasztás így módon a vizsgált hagyományos bogyó-átlagtömegű ipari hibrdek között nem mondható befolyásoló tényezőnek a β -karotin-koncentráció tekintetében.**

A 10., 11., 12. táblázatban foglalt antioxidáns koncentrációk közti eltérések az egyes fajták és a hozzájuk tartozó mintáknál a feldolgozott szakirodalom alapján genetikai és környezeti faktorokkal magyarázhatóak. A környezeti faktorok kapcsán az esetleges különbség abból fakadhat, hogy a kísérlet beállításánál az egyes bogyókra jutó fény

menyiségét nem tudtuk szabályozni így a PÉK et al (2011) által ismertett levelek árnyékoló hatása, és a bogyókat érő napsugarak beesési szöge befolyásolhatta a bogyók antioxidáns tartalmát. Ezt valamelyest biztosan kompenzálta a szárazanyag-tartalommal való korrekció és a minták előállítása, mivel a mintákból 4-4 ismétlést szedtünk, ismétlésenként 10-10 növény érett bogyóinak felhasználásával, így a bogyónkénti eltérések valószínűleg kevésbé befolyásolták az átlagkoncentrációk reprezentativitását, az esetleges magas szórásértékek hátterében, viszont ezen jelenségek állhatnak, mivel az extrakciós és mérési módszer helyben előzőleg azonos beállítások mellett validálásra került, az antioxidáns komponensek kinyerése megfelelő volt a mintaelőkészítés során.

4.2 Eredmények statisztikai analízise

A mérések értékelését követően **varianciaanalíziseket végeztem** a Microsoft Office 2007 programcsomag Excel programjának Analysis ToolPak nevű bővítményével (5%-os szignifikancia szintet tekintve, $\alpha = 0,05$), amelyeket a 10.1-es és 10.2-es mellékletek tartalmaznak. Az **egytényezős varianciaanalízisek** alapján (10.1-es melléklet, 12., 13., 14. táblázatok) elmondható, hogy a **likopin-koncentráció a Heinz fajtánál a kezelés hatására szignifikánsan*** ($p=0,042$) **nőtt, míg a β -karotin-koncentráció nem változott szignifikánsan.** A *Triple Red* esetében a likopin- és β -karotin-koncentráció **nem változott szignifikánsan, míg a C-vitamin tartalom szignifikánsan**** ($p=0,010$) **nőtt.** Az *Uno Rosso* esetében a likopin- és β -karotin-koncentráció **nem változott szignifikánsan, míg a C-vitamin-koncentráció szintén szignifikánsan nőtt** ($p=0,082$), de csak 10%-os szignifikancia szintet figyelembe véve. A *Strombolino* esetében a likopin, a β -karotin és a C-vitamin-koncentráció **sem változott szignifikánsan.** Ennek oka az lehet, hogy a mikorrhiza kevésbé volt képes e cseresznyeparadicsom hibridre hatni, mivel a kisebb bogyó-átlagtömegű paradicsomok gyökérzete erőteljesebb, hisz ezek közel állnak a vad típusokhoz. Mint az irodalmi feldolgozásból ismeretes, a *mikorrhizák* a gyökerekhez kapcsolódva fejtik ki hatásukat, de ez fejlettebb gyökérzettel rendelkező fajták esetén csekély változást okozhat, az ideális életfeltételek és környezeti paraméterek biztosításának esetén. A vizsgált fajták és a *mikorrhiza* kapcsolatára végzett **kéttényezős varianciaanalízisek** alapján (10.2-es melléklet, 15., 16., 17. táblázatok) a ***mikorrhizás* kezelésnek és a fajtának sem volt szignifikáns hatása a likopin-koncentrációváltozásában.** Ez és a megfigyelt magas likopintartalom feltehetően az ideális termesztési körülményeknek volt **köszönhető**, hiszen kísérletemben a talaj egységesen jó tápanyagpotenciállal rendelkezett, a növények pedig az ipari paradicsom számára ideális vízmennyiséget kapták, a hőmérséklet (8.

ábra) pedig az irodalmi adatok alapján kedvezett a likopin szintézisnek. **A mikorrhizás kezelés hatása nem volt szignifikáns, de a fajtának szignifikáns*** ($p=8,23 \cdot 10^{-8}$) hatása volt a β -karotin-koncentrációra, kölcsönhatás nem volt tapasztalható. A C-vitamin-koncentrációra, a mikorrhizás kezelés szignifikáns* ($p=0,022$), míg a fajta megválasztása különösen szignifikáns*** ($p=6,15 \cdot 10^{-5}$) hatást gyakorolt, valamint a C-vitamin esetében szignifikáns** ($p=0,001$) a kapcsolat a fajta és a mikorrhizás kezelés hatása között.**

5. Értékelés és következtetések

Kutatómunkám során igyekeztem arra választ találni, hogy a vizsgált fajták optimális vízellátottság mellett mennyiben mutatnak a három vizsgált vegyület koncentrációjának kapcsán szignifikáns változást, továbbá arra is kerestem a választ, hogy a mikorrhizás kezelés okoz-e kvantifikálható változást a vizsgált komponensek koncentrációjában egy fajta esetén. Arra is igyekszem fényt deríteni, hogy több fajtát tekintve mennyire bír szignifikáns befolyással a mikorrhizás kezelés a három vizsgált komponens koncentrációjára.

A mért kezeletlen minták C-vitamin-koncentrációja az irodalmi adatoknak megfelelő tartományba esik és méréseim megerősítik az irodalomban foglaltakat, miszerint a **Strombolino** fajta, amely kisebb bogyóméretű ipari hibrid, **rendelkezik a legnagyobb aszkorbinsav tartalommal**. A feldolgozott irodalommal összhangban megállapítottam, hogy **az egyes fajták közötti különbség szignifikáns a C-vitamin tartalom tekintetében**, így a **fajtaválasztás fontos lehet az aszkorbinsavtartalom alakulásában**.

A kezeletlen mintáim likopintartalmáról elmondható, hogy **az Abushita et al. (2000) által szabadföldön termesztett fajták likopintartalmára megállapított értékintervallumon belüliek**. Ugyanakkor **más tanulmányok által jelzett likopintartalomhoz képest mintáim likopintartalma magasnak mondható, ez feltehetően az optimális termesztési körülményeknek volt köszönhető**, hiszen kísérletemben a talaj egységesen jó tápanyagpotenciállal rendelkezett, a növények pedig az ipari paradicsom számára optimális vízmennyiséget kaptak, a hőmérséklet (8. ábra) pedig kedvezett a likopin szintézisnek. Mindezt az is alátámasztja, hogy a mérési kromatogramokban az *all-transz* likopin jelenléte volt a domináns, míg ha bomlás vagy izomerizáció lett volna jellemző, akkor a *cisz*-likopin izomerek (likopin csúcsot követő két kisebb csúcs) jelintenzitásai intenzívebbek lennének. (14. ábra). **A kezeletlen minták között ugyan eltérés volt megfigyelhető az átlagos likopintartalomban, de az nem szignifikáns, így a fajtaválasztásnak nem figyeltem meg számottevő hatását a likopintartalomra**, tehát nem sikerült bizonyítani azon irodalomban

jegyzett megállapítást sem, miszerint a kisebb bogyó-átlagtömegű fajták magasabb likopintartalommal lennének jellemezhetőek.

A kezeletlen mintáim β -karotin tartalma a hagyományos bogyó-átlagtömegű ipari hibridek (*Heinz*, *Triple Red*, *Uno Rosso*) valamivel alatta marad a szakirodalomban jegyzett értékintervallumnak, ez azzal magyarázható, hogy a 8. ábrán bemutatott hőmérsékleti viszonyok a tenyészidő során kedveztek a likopin szintézisének, és nem volt tartósan olyan magas hőmérséklet, amely a likopin β -karotinná alakulását szolgálta volna. A fajtaválasztás így módon a vizsgált hagyományos bogyó-átlagtömegű ipari hibridek között nem mondható befolyásoló tényezőnek a β -karotin-koncentráció tekintetében, de a kis bogyó-átlagtömegű ipari hibrid, a *Strombolino* esetében a β -karotin az irodalomban jelzettek szerint alakult és megerősíti azon megállapításokat, amely az ilyen fajták magasabb β -karotin tartalmáról számol be, mivel a *Strombolino* kétféle háromszoros β -karotin tartalmat mutat az általam vizsgált hagyományos bogyó-átlagtömegű hibridekhez képest.

Az *arbuszkuláris mikorrhizával* történő kezelés fajtánkénti hatásairól az elvégzett varianciaanalízisek alapján elmondható volt, hogy a likopin-koncentráció a *Heinz* fajtánál a kezelés hatására szignifikánsan* ($p=0,042$) nőtt, míg a β -karotin-koncentráció nem változott szignifikánsan. A *Triple Red* esetében a likopin és β -karotin-koncentráció nem változott szignifikánsan, míg a C-vitamin tartalom szignifikánsan** ($p=0,010$) nőtt. Az *UnoRosso* esetében a likopin és β -karotin-koncentráció nem változott szignifikánsan, míg a C-vitamin-koncentráció szintén szignifikánsan nőtt ($p=0,082$), de csak 10%-os szignifikancia szintet figyelembe véve. A *Strombolino* esetében a likopin, a β -karotin és a C-vitamin-koncentráció sem változott szignifikánsan. Ennek oka az lehet, hogy a mikorrhiza kevésbé volt képes e cseresznyeparadicsom hibridre hatni, mivel a kisebb bogyó-átlagtömegű paradicsomok gyökérzete erőteljesebb, s mint az irodalmi feldolgozásból ismeretes, a mikorrhizák a gyökerekhez kapcsolódva fejtik ki hatásukat, de ez fejlettebb gyökérzettel rendelkező fajták esetén csekély változást okozhat, az ideális életfeltételek és környezeti paraméterek biztosításának esetén.

A vizsgált fajták és a mikorrhiza kapcsolatára végzett kétféle varianciaanalízisek alapján elmondható, hogy összességében a kezelésnek és a fajtának sem volt szignifikáns hatása a likopin-koncentrációváltozására. Ez és a megfigyelt magas likopintartalom feltehetően az ideális termesztési körülményeknek volt köszönhető, hiszen kísérletemben a talaj egységesen jó tápanyagpotenciállal rendelkezett, a növények az ipari paradicsom számára optimális vízmennyiséget kapták, a hőmérséklet pedig kedvezett a

likopin szintézisének. A *mikorrhizás* kezelés hatása nem volt szignifikáns, de a fajtának szignifikáns*** ($p=8,23 \cdot 10^{-8}$) hatása volt a β -karotin-koncentrációra, kölcsönhatás nem volt tapasztalható. A C-vitamin-koncentrációra, a *mikorrhizás* kezelés szignifikáns* ($p=0,022$), míg a fajtaválasztás különösen szignifikáns*** ($p=6,15 \cdot 10^{-5}$) hatást gyakorolt, valamint a C-vitamin esetében szignifikáns** ($p=0,001$) a kapcsolat a fajta és a *mikorrhizás* kezelés hatása között.

Ezen eredmények alapján kijelenthető, hogy a karotinoidok közül a β -karotin-koncentrációra az *arbuszkuláris mikorrhizával* történő kezelés az életfeltételek ideális biztosítása esetén nem gyakorolt hatást, míg a likopin esetében a négy vizsgált fajta közül csak a *Heinz* hibridre volt szignifikáns koncentrációemelkedés megfigyelhető a kezelés hatására. Feltételezhető, hogy a likopin tartalom ugyan nőhet bizonyos fajták *arbuszkuláris mikorrhizával* történő kezelés során még akkor is, ha a termesztési körülményei ideálisak és magas likopintartalmú fajokkal dolgozunk, de sok faj esetében a kezelés nem hoz szignifikáns változást. A β -karotin tartalomban a fajtaválasztás fontos lehet, de inkább a kisebb és hagyományos bogyó-átlagtömegű ipari hibridek közt mutatkozik eltérés, az előbbieik javára, mely megfigyelés összhangban van a szakirodalmi adatokkal és megfigyelésekkel. A C-vitamin tartalom az *arbuszkuláris mikorrhizával* történő kezelés hatására minden mért fajtában emelkedett, de csak a hagyományos bogyó-átlagtömegű ipari hibridek esetében volt e változás szignifikáns. Az is kijelenthető, hogy a C-vitamin tartalom szignifikáns fokozódása is különböző mértékű a vizsgált két hagyományos bogyó-átlagtömegű ipari hibrid esetén. Ez alapján valószínű, hogy az *arbuszkuláris mikorrhizával* történő kezelés különböző paradicsomfajok esetén fokozza a C-vitamin tartalmat, még ideális termesztési körülmények esetén is, de ennek mértéke eltérő, függ a megválasztott fajtától, a vad fajtákhoz közel álló típusok pedig nem feltétlen mutatnak változást a kezelés hatására.

Érdemes lenne nem csak optimális öntözöttség mellett vizsgálni a különböző paradicsomfajták antioxidáns tartalmára és más paramétereire megvizsgálni az *arbuszkuláris mikorrhizával* történő kezelés hatásait, hiszen szerényebb tápanyagellátottság, vagy vízhiány, aszály esetén, a mikorrhizagombák termésminőségjavító hatásai erélyesebbek lehetnek.

6. Összefoglalás

A paradicsomnövényt és termését nagy érdeklődés övezi manapság szakmai körökben humán-táplálkozási és kertészeti szempontból, hiszen olyan fontos nutriensek találhatók meg benne nagy mennyiségben, mint a likopin, β -karotin és C-vitamin, melyek antioxidáns vegyületek és az emberi egészség megőrzését szolgálják. **Munkám célja** az arbuszkuláris *mikorrhizával* történő kezelés hatásainak vizsgálata volt az optimális termesztési körülmények biztosítása mellett a *Heinz*, *UnoRosso*, *Triple Red* (hagyományos bogyó-átlagtömegű ipari hibridek) és *Strombolino* (cseresznye típusú ipari fajta) paradicsomfajták likopin, β -karotin- és C-vitamintartalmára, amelyek a paradicsomban található fő antioxidáns hatású vegyületek. **A szakirodalmi áttekintés során** igyekeztem bemutatni a paradicsomtermesztés helyzetét, a paradicsomban megtalálható fitonutrienseket, különös tekintettel az antioxidáns hatású vegyületekre, melyeknek kémiai, növényélettani és humánegészségügyi szerepére, hatásaira és fontosságára is kitértem. Továbbá a *mikorrhizagombák* típusait, *mikorrhizák* és növény mutualista kapcsolatát és e kapcsolat jelentőségét igyekeztem ismertetni. **A vizsgálati módszerek részben ismertettem** a Szent István Egyetem Kertészeti Tanüzemének területén berendezett szabaföldi ültetési kísérlet beállítását, ismertettem a jelen munkában a likopin-, β -karotin- és C-vitamintartalom mérésére alkalmazott nagyhatékonyságú folyadékkromatográfia (HPLC) elméleti hátterét, valamint a mintaelőkészítés és a mérések menetét, körülményeit, amelyeket a SZIE MKK RET Élelmiszeranalitika Laboratóriumában végeztem el. Mintáim szárazanyagtartalmának meghatározását az Országos Élelmezés- és Táplálkozástudományi Intézet (OÉTI) végezte. **A mérési eredmények feldolgozása és az eredmények irodalmi adatokkal való összevetése, értékelése során arra jutottam, hogy optimális termesztési paraméterek esetén egy év eredményei alapján:**

A mért kezeletlen minták C-vitamin-koncentrációja az irodalmi adatoknak megfelelő tartományba esik, ígymegerősítik az irodalomban foglaltakat, miszerint a *Strombolino* fajta, amely kisebb bogyóméretű ipari hibrid **rendelkezik a legnagyobb aszkorbinsavtartalommal**. A feldolgozott irodalommal összhangban, az egyes fajták közötti különbség szignifikáns a C-vitamintartalom tekintetében, így a fajtaválasztás fontos lehet az aszkorbinsavtartalom alakulásában.

A kezeletlen mintáim likopintartalmáról megállapítottam, hogy az ABUSHITA et al. (2000) által jelzett likopintartalmakkal egy intervallumba esnek. Ugyanakkor más tanulmányok által jelzett értékekhez képest mintáim likopintartalma magasnak mondható, ami feltehetően az optimális termesztési körülményeknek volt köszönhető. A

kezeletlen minták között ugyan eltérés volt megfigyelhető az átlagos likopintartalomban, de az nem szignifikáns, így a fajtaválasztásnak nem figyeltem meg számottevő hatását. A kezeletlen mintáim β -karotin tartalma a hagyományos bogyó-átlagtömegű ipari hibridek (*Heinz, Triple Red, Uno Rosso*) esetében valamivel alatta marad a szakirodalomban jegyzett értéktartományoknak, ami azzal magyarázható, hogy a hőmérsékleti viszonyok a tenyészidő során kedveztek a likopin szintézisének, és nem volt tartósan olyan magas hőmérséklet, amely a likopin β -karotinná alakulását szolgálta volna. A fajtaválasztás így a vizsgált hagyományos bogyó-átlagtömegű ipari hibridek között nem mondható befolyásoló tényezőnek a β -karotin-koncentráció tekintetében. A kis bogyó-átlagtömegű ipari hibrid, a *Strombolino* esetében a β -karotintartalom az irodalomban jelzettek szerint alakult, így megerősítettem azon megállapításokat, amely az ilyen fajták magasabb β -karotintartalmáról számol be, mivel a *Strombolino* két-háromszoros β -karotintartalmat mutat az általam vizsgált hagyományos bogyó-átlagtömegű hibridekhez képest.

A β -karotin-koncentrációra az *arbuszkuláris mikorrhizával* történő kezelés nem gyakorolt hatást, míg a likopin esetében a négy vizsgált fajta közül csak a *Heinz* hibridre volt szignifikáns koncentrációemelkedés megfigyelhető. Feltételezhető, hogy a likopintartalom ugyan nőhet bizonyos fajták *arbuszkuláris mikorrhizával* történő kezelés során még akkor is, ha magas likopintartalmú fajokkal dolgozunk, de más fajok esetében nem feltétlen igaz. A β -karotintartalomban a fajtaválasztás fontos lehet, de inkább a kisebb és hagyományos bogyó-átlagtömegű ipari hibridek közt mutatkozik eltérés, az előbbiek javára. A C-vitamintartalom az *arbuszkuláris mikorrhizával* való kezelés hatására csak a hagyományos bogyó-átlagtömegű ipari hibridek esetében változott szignifikánsan. Az is kijelenthető, hogy a C-vitamin tartalom fokozódása is különböző mértékű a vizsgált két hagyományos bogyó-átlagtömegű ipari hibrid esetén. Ez alapján valószínű, hogy az *arbuszkuláris mikorrhizával* történő kezelés különböző paradicsomfajok esetén fokozza a C-vitamin tartalmat, de ennek mértéke eltérő, függ a megválasztott fajtától.

Végezetül érdekesnek tartottam az *arbuszkuláris mikorrhizával* történő kezelés hatásainak további vizsgálatát a paradicsomban található antioxidáns vegyületekre és a paradicsom egyéb paramétereire, a paradicsomnövény különböző víz- és tápanyagellátottsága mellett, ennek kapcsán 2013-ban állítottunk be a SZIE Kertészeti Intézettel szabadföldi kísérletet, jelenleg az eredmények értékelési fázisban vannak.

7. Köszönetnyilvánítás

Szeretném ezúton is megköszönni Dr. Helyes Lajos és Dudásné Dr. Posta Katalin konzulenseimnek a sok türelmet, segítséget és tanácsot, amivel támogatták munkámat. Kiemelten köszönöm Dr. Daood Hussein SZIE RET Élelmiszeranalitika laborvezetőnek szakmai tanácsait és segítségét. Hálámat szeretném kifejezni továbbá a SZIE RET Élelmiszeranalitika Laboratórium laboránsainak és kutatóinak útmutatásáért, illetve Dr. Halász Gábornak, Dr. Pék Zoltánnak és Deák Konrád PhD hallgatónak a megtartott konzultációkért és szakmai tanácsaikért, valamint az Országos Élelmezés- és Táplálkozástudományi Intézetnek a minták szárazanyagtartalmának meghatározásáért. Mindemellett köszönet a **„Élelmiszerbiztonsági feltételeknek megfelelő növényi és állati eredetű élelmiszer alapanyagok előállításához kapcsolódó alap és ipari kutatás” tárgyú, KTIA_AIK_12-1-2012-0012 számú pályázat anyagi támogatásáért.** Végül de, nem utolsósorban köszönöm a gödöllői Szent István Egyetem Kertészeti Tanüzem dolgozóinak a kísérlet körülményeinek biztosítását.

8. Nyilatkozat

Én, Hamow Kamirán Áron, a Szent István Egyetem Mezőgazdaság- és Környezettudományi Kar Környezetmérnök MSc II. évfolyamos hallgatója nyilatkozom, hogy a TDK dolgozat saját munkám, melynek elkészítése során a felhasznált irodalmat korrekt módon, a jogi és etikai szabályok betartásával kezeltem.

A TDK dolgozat állam- vagy szolgálati titkot nem tartalmaz.

Gödöllő, 2014. április hó 28. nap

9. Irodalomjegyzék

1. 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*, 48:2075-2081.
2. ABUSHITA A. A., HEBISHI E. A., DAOOD H. G. & BIACS P. A. (1997): Determination of antioxidant vitamins in tomatoes. – *Food Chemistry*, 60: 207-212.
3. AGARWAL S. & RAO A.V. (2000): Tomato lycopene and its role in human health and chronic diseases – *Canadian Medical Association Journal*, 163:739-744.
4. ALBRECHTOVA J., LATR A., NEDOROST L., POKLUDA R., POSTA K. & VOSATKA M. (2012): Dual Inoculation with Mycorrhizal and Saprotrophic Fungi Applicable in Sustainable Cultivation Improves Yield and Nutritive Value of Onion – *The Scientific World Journal*, Volume 2012, Article ID 374091, 8 pages: <http://dx.doi.org/10.1100/2012/374091>
5. ARIAS R., LEE T. C., LOGENDRA L. & JANES H. (2000): Correlation of lycopene measured by HPLC with the L*, a*, b* color readings of a hydroponic tomato and the relationship of maturity with color and lycopene content. – *Journal of Agricultural Food Chemistry*, 48:1697-1702.
6. ASTORG P., GRADELET S., BERGES R. & SUSCHETET M. (1997): Dietary lycopene decreases the initiation of liver preneoplastic foci by diethylnitrosamine in the rat. – *Nutrition and Cancer*, 29: 60-68.
7. AZCÓN-AGUILAR C. & BAREA J. M. (1996): Applying mycorrhiza biotechnology to horticulture: significance and potentials. – *Scientia Horticulturae*, 68:1-24.
8. BENZIE I. F. F. (2000): Evolution of antioxidant defence mechanisms. – *European Journal of Nutrition*, 39:53-61.
9. BLOCK G. (1992): The data support a role of antioxidants in reducing cancer risk. – *Nutritional Review*: 207-213.
10. BRAMLEY P. M. (2002): Regulation of carotenoid formation during tomato fruit ripening and development. – *Journal of Experimental Botany*, 53/377: 2107-2113.
11. BRANDT S., GIANNINI A. & LERCARI B. (1995): Photomorphogenic responses to UV radiation III: a comparative study of UVB effects on anthocyanin and flavonoid accumulation in wild type and aurea mutant of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). – *Photochemistry and Photobiology*, 62: 1081-1087.
12. BRANDT S., PÉK Z., BARNA É., LUGASI A. & HELYES L. (2006): Lycopene content and colour of ripening tomatoes as affected by environmental conditions. – *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 86:568–572.
13. CADENAS E. (1989): Biochemistry of oxygen-toxicity. – *Annual Review of Biochemistry*, 58:79-110.
14. CAMERON E. & PAULING L. (1976): Supplemental ascorbate in supportive treatment of cancerprolongation of survival times in terminal human cancer.1. – *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 73:3685-3689.
15. CANENE-ADAMS K., CAMPBELL J.K., ZARIPHEH S., JEFFERY E.H. & ERDMAN, J.W. (2005): The tomato as a functional food. – *Journal of Nutrition*, 135: 1226–123
16. CANO A., ACOSTA M. & ARNAO M. B. (2003): Hydrophilic and lipophilic antioxidant activity changes during on-vine ripening of tomatoes (*Lycopersicon esculentum* Mill.). – *Postharvest Biology and Technology*, 28: 59-65.
17. CANTWELL, M. (1998): Optimum procedures for ripening tomatoes. – Kader, A. (Ed.): *Management of fruit ripening. Postharvest Horticulture Series*, 9. Postharvest Outreach Program. University of California, Davis, pp. 80-88.
18. CASTANEDA-OVANDO A., PACHECO-HERNANDEZ M. D., PAEZ-HERNANDEZ M. E., RODRIGUEZ J. A. & GALAN-VIDAL C. A. (2009): Chemical studies of anthocyanins: A review. – *Food Chemistry*, 113:859-871.
19. CECCARELLI N., CURADI M., MARTELLONI L., SBRANA C., PICCIARELLI P. & GIOVANNETTI M. (2010): Mycorrhizal colonization impacts on phenolic content and antioxidant properties of artichoke leaves and flower heads two years after field transplant – *Plant and Soil*, 335/1: 311–323
20. CLINTON S. K. (1998): Lycopene: chemistry, biology, and implications for human health and disease. – *Nutrition Reviews*, 56: 35-51.
21. CORNETTI U. (2009): Antioxidant use in nutraceuticals. – *Clinics in Dermatology*, 27:175-194.
22. DAOOD H. G., BENCZE GY., PALOTÁS G., PÉK Z., SIDIKOV A. & HELYES L. (2013a): HPLC Analysis of Carotenoids from Tomatoes Using Cross-Linked C18 Column and MS Detection. – *Journal of Chromatographic Science* 2013: 1-7.
23. DAOOD H. G., PALOTÁS G., PALOTÁS G., SOMOGYI GY., PÉK Z. & HELYES L. (2013b) Carotenoid and antioxidant content of ground paprika from plastic house- cultivated new hybrid peppers. – *Journal of Chromatographic Science* 2013: nyomtatás alatt
24. DAVEY M. W., VAN MONTAGU M., INZE D., SANMARTIN M., KANELIS A., SMIRNOFF N., BENZIE I. J. J., STRAIN J. 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.
25. DAVIES K. J. A. (2000): Oxidative stress, antioxidant defenses, and damage removal, repair, and replacement systems. – *Free Radical Biology and Medicine*, 50:279-289.
26. DI MASCO P., KAISER S. & SIES H. (1989): Lycopene as the most efficient biological carotenoid singlet oxygen quencher. – *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 274: 532-538.
27. DJURIC Z. & POWELL L. C. (2001): Antioxidant capacity of lycopene-containing foods. – *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 52:143-149.
28. DJURIC Z., DEPPER J. B., UHLEY V., SMITH D., LABABIDI S., MARTINO S. & HEILBRUN L. K. (1998): Oxidative DNA damage levels in blood from women at high risk for breast cancer are associated with dietary intakes of meats, vegetables, and fruits. – *Journal of the American Dietetic Association*, 98:524-528.
29. DUMAS Y., DADOMO M., DI LUCCA G. & GROLIER P. (2003): Effects of environmental factors and agricultural techniques on antioxidant content of tomatoes. – *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 83: 369-382.
30. 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.
31. FEHÉR B. (1998): *Zöldégetmesztők zsebkönyve – Mezőgazda Kiadó, Budapest* pp. 540.
32. FUHRMAN B., ELIS A. & AVIRAM M. (1997): Hypocholesterolemic effect of lycopene and β -carotene is related to suppression of cholesterol synthesis and augmentation of LDL receptor activity in macrophage. – *Biochemical and Biophysical Research Communications* 233: 658-662.
33. GALBÁCS G., GALBÁCS Z., SIPOS P. (2008): *Műszeres analitikai kémiai gyakorlatok. – JATEPress, Szeged*, pp. 114-118.

34. GEORGE B., KAUR C., KHURDIYA D. S. & KAPOOR H. C. (2004): Antioxidants in tomato (*Lycopersium esculentum*) as a function of genotype. – *Food Chemistry*, 84: 45-51.
35. GERSTER H. (1997): The potential role of lycoepne for human health. *Journal of the American College of Nutrition* – 16:109-126.
36. GIANINAZZI S. & VOSATKA M (2004): Inoculum of arbuscular mycorrhizal fungi for production systems: science meets business. – *Canadian Journal of Botany* 82/8: 1264–1271.
37. GIANINAZZI S., GOLLOTE A., BINET M. N., TUINEN VAN D., REDECKER D. & WIPF D. (2010): Agroecology: the key role of arbuscular mycorrhizas in ecosystem services – *Mycorrhiza*, 20/8: 519-530.
38. GIESE J. (1996): Antioxidants: tools for preventing lipid oxidation. – *Food Technology*, 11:73-81.
39. GIOVANELLI, G., LAVELLI, V., PERI, C., & NOBILI, S. (1999): Variation in antioxidant compounds of tomato during vine and post-harvest ripening. – *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 79: 1583-1588.
40. GIOVANNUCCI E., ASCHERIO A., RIMM E. B. STAMPPER M. J., COLDITZ G. A. & WILLET W. C. (1995): Intake of carotenoids and retinol in relation of risk of prostate cancer. – *Journal of the National Cancer Institute*, 87: 1767-1776.
41. GIUNTINI D., GRAZIANI G., LERCARI B., FOGLIANO V., SOLDATINI G. F. & RANIERI A. (2005): Changes in carotenoid and ascorbic acid content in fruits of different tomato genotypes related to the depletion of UV-B radiation. – *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53: 3174-3181.
42. HALLIWELL B. & GUTTERIDGE J. M. C. (1995): The definition and measurement of antioxidants in biological-systems. – *Free Radical Biology and Medicine*, 18:125-126.
43. HAMAUZY Y., CHACHIN K. & UEDA Y. (1998): Effect of postharvest storage temperature on the conversion of 14C-mevalonic acid to carotenes in tomato fruit. – *Journal of the Japanense Society for Horticultural Science*, 67: 549-555.
44. HAUKIOJA E., OSSIOV V., KORICHEVA J., HONKANEN T., LARSSON S. & LEMPA K. (1998): Biosynthetic origin of carbon-based secondary compounds: cause of variable responses of woody plants to fertilization? – *Chemoecology*, 8: 133-139.
45. HAVSTEEN B. H. (2002): The biochemistry and medical significance of the flavonoids. – *Pharmacology & Therapeutics*, 96:67-202.
46. HELGASON T., DANIELL T. J., HUSBAND R., FITTER A. H. & YOUNG J. P. W. (1998): Ploughing up the wood-wide web? – *Nature* 394:431
47. HELYES L. & VARGA GY. (1994): Irrigation demand of tomato according to the results of three decades. – *Acta Horticulturae*, 376: 323- 328.
48. HELYES L. (2000): A paradicsom termesztésének fejlődési irányai. *Gazdálkodás*, 3: 57-66.
49. HELYES L., LUGASI A., BRANDT S., VARGA GY., HOVARI J. & BARNA E. (2002): A paradicsom likopin tartalmát befolyásoló tényezők értékelése, elemzése. – *Kertgazdaság*, 34, 1-8.
50. HERTOGE, M. G. L., FESKENS, E. J., & KROMHOUT, D. (1997): Antioxidant flavonols and coronary heart disease risk. – *The Lancet*, 349: 699.
51. HOLDEN J. M., ELRIDGE A. L., BEECHER G. R., BUZZARD I. M., BHAGWAT S., DAVIS C. S., DOUGLASS L. W., GEBHARDT S., GAYTOWITZ D. & SCHAKEL S. (1999): Carotinoid content of US Foods: an update of the database. – *Journal of Food Composition and Analysis*, 12:169-196.
52. JACOBS M.M. (1993): Diet, nutrition, and cancer research: An overview – *Nutrition Today* 19-23.
53. JAKUCS E. (2009): A föld alatti gombavilág titkai. – *Természet Világa* 140/9: 413-415.
54. JAKUCS E. (2013): A gombák titkos története II. – *Természet Világa* 144/8: 365-367.
55. KAPOOR R., SHARMA D. & BATHNAGAR A. K. (2008): Arbuscural mycorrhizae in micropropagation systems and their potential applications. – *Scientia Horticulturae*, 116:227-239.
56. KRINSKY N. I. & JOHNSON E. J. (2005): Carotenoid actions and their relation to health and disease – *Molecular Aspects of Medicine*, 26: 459-516.
57. KUN, Y., LULE U.S. & XIAO-LIN, D. (2006): Lycopene: its properties and relationship to human health. – *Food Reviews International*, 22: 309–333.
58. LAL R. (2008): Soils and sustainable agriculture. A review. – *Agronomy for Sustainable Development*, 28/1: 57-64
59. LAVELLI V., PERI C. & RIZZOLO A. (2000): Antioxidant activity of tomato products as studied by model reactions using xanthine oxidase, myeloperoxidase, and copper-induced lipid peroxidation. – *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48: 1442-1448.
60. LAVELLI, V., HIPPELI, S., PERI, C. & ELSTNER, E. F. (1999): Evaluation of radical scavenging activity of fresh and air-dried tomatoes by three model reactions. – *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 47: 3826-3831.
61. LEONARDI C., ABROSINO P., ESPOSITO F. & FOGLIANO V. (2000): Antioxidant activity and carotenoid and tomatine contents in different typologies of fresh consumption tomatoes. – *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48: 4723-4727.
62. LEONI, C. (1992): Industrial quality as influenced by crop management. – *Acta Horticulturae*, 301:177-184.
63. LEVINE M. (1986): New concepts in the biology and biochemistry of ascorbic acid. – *New England Journal of Medicine*, 314: 892-902
64. LI Y. & SCHELLHORN H. E. (2007): New developments and novel therapeutic perspectives for vitamin C. – *Journal of Nutrition*, 137:2171-2184.
65. LOPEZ-ANDREU F. J., LAMELA A., ESTEBAN R. M. & COLLADO J. G. (1986): Evolution of quality parameters in the maturation stage of tomato fruit. – *Acta Horticulturae*, 191: 387-394.
66. LUTSENKO E.A., CARCAMO J.M. & GOLDE D.W. (2002): Vitamin C prevents DNA mutation induced by oxidative stress. – *Journal of Biological Chemistry*, 277: 16895–16899.
67. MANACH C., SCALBERT A., MORAND C., REMESY C. & JIMENEZ L. (2004): Polyphenols: food sources and bioavailability. – *American Journal of Clinical Nutrition*, 79:727-747.
68. MARCHIOLI R., SCHWEIGER C., LEVANTESI G., TAVAZZI L. & VALAGUSSA F. (2001): Antioxidant vitamins and prevention of cardiovascular disease: epidemiological and clinical trial data. – *Lipids*, 36: 53–63.
69. MARTINEZ-VALVERDE I., PERIAGO M. J., PROVAN G. & CHESSON. A. (2002): Phenolic compounds, lycopene and antioxidant activity in commercial varieties of tomato (*Lycopersicum esculentum*). – *Journal of Science of Food and Agriculture*, 82: 323-330.
70. MAYNE S.T.(1996): Beta-carotene, carotenoids and disease prevention in humans. – *FASEB Journal*, 10: 690–701.

71. MINNOGGIO M., BRAMATI L., SIMONETTI P., GARDANA C., LEMOLI L., SANTANGELO E., MAURI P. L., SPIGNO P. SORESSI G. P. & PIETTA P. G. (2003): Polyphenol pattern and antioxidant activity of different tomato lines and cultivars. – *Annals of Nutrition & Metabolism*, 47/2: 64-69.
72. MURATORE G., LICCIARDELLO F. & MACCARONE E. (2005): Evaluation of the chemical quality of a new type of small-sized tomato cultivar, the plum tomato (*Lycopersicon lycopersicum*). – *Italian Journal of Food Science*, 17/1: 75-81.
73. OEHL F., SIEVERDING E., INEICHEN K., MÄDER P., BOLLER T. & WIEMKEN A. (2003): Impact of land use intensity on the speciesdiversity of arbuscular mycorrhizal fungi in agroecosystems of Central Europe – *Applied Environmental Microbiology*, 69/5: 2816–2824.
74. OMONI A.O. & ALUKO R.E. (2005): The anticarcinogenic and anti-atherogenic effects of lycopene: a review. – *Trends in Food Science and Technology*, 16: 344–350.
75. PANDEY D.K., SHEKELLE R., SELWYN B.J., TANGNEY C. & STAMLER J. (1995): Dietary vitamin C and beta carotene and risk of death in middle-aged men. – *American Journal of Epidemiology*, 142: 1269-1278.
76. PÉK Z., SZUVANDZSIEV P., NEMENYI A., HELYES L & LUGOSI A. (2011): The Effect of Natural Light on Changes in Antioxidant Content and Color Parameters of Vine-ripened Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) Fruits – *HortScience*, 46/4:583–585.
77. POKOL GY., GYURCSÁNYI E.R., SIMON A., BEZÜR L., HORVAI GY., HORVÁTH V. & DUDÁS K. M. (2011): *Analitikai kémia III.* – Typotex, Budapest, pp. 308-349.
78. QIANG-SHENG W. & REN-XUE X. (2006): Arbuscular mycorrhizal fungi influence growth, osmotic adjustment and photosynthesis of citrus under well-watered and water stress conditions. – *Journal of Plant Physiology*, 163:417-425.
79. RAO A. V. & AGRAVAL S. (1999): Role of lycopene as an antioxidant carotenoid in the prevention of chronic diseases: A review – *Nutrition research*, 19/2: 305-323.
80. RIVERO R. M., RUIZ J. M., GARCIA P. C., LOPEZ-LEFEBRE L. R., SANCHEZ E. & ROMERO, L. (2001): Resistance to cold and heat stress: accumulation of phenolic compounds in tomato and watermelon plants. – *Plant Science*, 160: 315-321.
81. ROGER-ESTRADE J., ANGER C., BERTRAND M. & RICHARD G. (2010): Tillage and soil ecology: partners for sustainable agriculture. – *Soil and Tillage Research*, 111/1: 33-40.
82. SLIMESTAD R. & SOLHEIM H. (2002): Anthocyanins from black currants (*Ribes nigrum* L.). – *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50:3228-3231.
83. SOCACIU C. (2008): Food colorants, chemical and functional properties – CRC Press Taylor & Francis Group, New York, pp. 51-54., 57-67., 127-139., 160-163, 177-188., 220-221., 231., 51-231.
84. STAHL W. & SIES H. (2003): Antioxidant activity of carotenoids. – *Molecular Aspects of Medicine*, 24:345-351.
85. STEWART A. J., BOZONNET S., MULLEN, W., JENKINS G. I., LEAN M. E. J. & CROZIER A. (2000): Occurrence of flavonols in tomatoes and tomato-based products. – *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48: 2663-2669.
86. SVIRBELY L. J. & SZENT-GYÖRGYI A. (1932): The chemical nature of vitamin C. – *The Biochemical Journal*, 26:865-870.
87. TAKEOKA G. R., DAO L., FLESSA S., GILLESPIE D. M., JEWELL W. T., HUEBNER B., BERTOW D. & EBLER S. E. (2001): Processing effects on lycopene content and antioxidant activity of tomatoes. – *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49: 3713-3717.
88. TATÁR E. & ZÁRAY GY. (2012): *Környezetminőség* – Typotex, Budapest, pp. 151-161.
89. THOMAS J. B., DEUWER D. L., KLINE M. C. & SHARPLESS K. E. (1998): The stability of retinal, α -tocopherol, trans-lycopene, and trans β -carotene in liquid- frozen and lyophilised serum. – *Clinica Chimica Acta*, 276: 75-87.
90. TOOR R. K. & SAVAGE G. P. (2005): Antioxidant activity in different fractions of tomatoes. – *Food Research International*, 38: 487-494.
91. TOPORCOV T. N., ANTUNES J. L. F. & TAVARES M. R. (2004): Fat food habitual intake and risk of oral cancer. – *Oral Oncology*, 40:925-931.
92. VERTUANI S., ANGUSTI A. & MANFREDINI S. (2004): The antioxidants and pro-antioxidants network: An overview. – *Current Pharmaceutical Design*, 10:1677-1694.
93. VOSATKA M. & ALBRECHTOVA J. (2008): Theoretical aspects and practical uses of mycorrhizal technology – *Floriculture, Ornamental and Plant Biotechnology*, 5: 466–479.
94. WANG S. Y. & LIN H. S. (2000): Antioxidant activity in fruits and leaves of blackberry, raspberry, and strawberry varies with cultivar and developmental stage. – *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48:140-146.
95. WATADA A. E., NORIS K. H., WORTHINGTON J. T. & MASSIE D. R. (1976): Estimation of chlorophyll and carotenoid content of whole tomato by light absorbance technique. – *Journal of Food Science*, 41: 329-332.
96. WEISBURGER J.H. (1998): Evaluation of the evidence on the role of tomato products in disease prevention. – *Proceedings of the Society for Experimental Biology and Medicine*, 218: 140-143.
97. WILKENS R.T., SPOERKE J.M. & STAMP N.E. (1996): Differential responses of growth and two soluble phenolics of tomato to resource availability. – *Ecology*, 77: 247-258.
98. WOODALL A. A. & AMES B. N. (1997): diet and oxidative damage to DNA: The importance of Ascorbate as an antioxidant – Packer L, Fuchs J eds. *Vitamin C in Health and Disease*, Marcel-Dekker, New York, 193-203.
99. YEUM, K. J. & RUSSEL, R. M. (2002): Carotenoid bioavailability and bioconversion. – *Annual Review of Nutrition*, 22: 483-504.
100. ZHANG L., COONEY R. V. & BERTRAM J. S. (1991): Carotenoids enhance gap junctional communication and inhibit lipid peroxidation in C3H/10T1/2 cells: relationship to their cancer chemopreventive action. – *Carcinogenesis*, 12: 2109-2114.
101. ZHONGQUN H., CHAOXING H., ZHIBIN Z., ZHIRONG Z. & HUAISONG W. (2007): Changes of antioxidative enzymes and cell membrane osmosis in tomatocolonized by arbuscular mycorrhizae under NaCl stress. – *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 59:128–133.
102. ZUSHI K. & MATSUZOE N. (1998): Effect of soil water deficit vitamin C, sugar, organic acid, amino acid and carotene contents of large-fruited tomatoes. – *Journal of the Japanense Society for Horticultural Science*, 67: 933-937.
103. FRUITVEB HUNGARY (2011): A zöldség és gyümölcs ágazat helyzete Magyarországon
104. http://www.ksh.hu/docs/hun/eurostat_tablak/tabl/tag00035.html
105. www.hitachi-hta.com
106. www.sigmaaldrich.com

10. Mellékletek, függelék

10.1 Egytényezős varianciaanalízis eredményei a kezelés szárazanyag-tartalomra vonatkoztatott koncentrációra való hatásának jellemzésére

10.1.1 C-vitamin

C-vitamin tartalom (mg/kg) szárazanyagra			Egytényezős varianciaanalízis						
	Triple Red	Mikorrhizált Triple Red	ÖSSZESÍTÉS						
			Csoportok	Darabszám	Összeg	Átlag	Variancia		
100/1	3429,2891	5656,1248	Triple Red	4	13303,3	3325,82	115425		
100/2	3445,3886	4116,2424	Mikorrhizált Triple Red	4	19194,7	4798,67	528367,5		
100/3	2829,3381	5140,5919	VARIANCIAANALÍZIS						
100/4	3599,2763	4281,7019	Tényezők	SS	df	MS	F	p-érték	F krit.
Átlag	3325,8230	4798,6652	Csoportok között	4338528,539	1	4338529	13,47803	0,010439	5,987378
Mikorrhizálás kezelés okozta átlagos szárazanyag-tartalomra vonatkoztatott C-vitamin koncentráció változása			44,29%	Csoporton belül	1931377,718	6	321896		
				Összesen	6269906,257	7			
C-vitamin tartalom (mg/kg) szárazanyagra			Egytényezős varianciaanalízis						
	Uno Rosso	Mikorrhizált Uno Rosso	ÖSSZESÍTÉS						
			Csoportok	Darabszám	Összeg	Átlag	Variancia		
100/1	2250,3112	3281,1638	Uno Rosso	4	9654,18	2413,54	213813,4		
100/2	2930,5730	3077,5142	Mikorrhizált Uno Rosso	4	12049,8	3012,44	114424		
100/3	2614,0673	3170,4486	VARIANCIAANALÍZIS						
100/4	1859,2276	2520,6494	Tényezők	SS	df	MS	F	p-érték	F krit.
Átlag	2413,5448	3012,4440	Csoportok között	717360,5718	1	717361	4,370987	0,08152	5,987378
Mikorrhizálás kezelés okozta átlagos szárazanyag-tartalomra vonatkoztatott C-vitamin koncentráció változása			24,81%	Csoporton belül	984712,0243	6	164119		
				Összesen	1702072,596	7			
C-vitamin tartalom (mg/kg) szárazanyagra			Egytényezős varianciaanalízis						
	Strombolino	Mikorrhizált Strombolino	ÖSSZESÍTÉS						
			Csoportok	Darabszám	Összeg	Átlag	Variancia		
100/1	3574,1764	3151,5284	Strombolino	4	16412,6	4103,14	342214,6		
100/2	3636,9571	3370,3338	Mikorrhizált Strombolino	4	14043,1	3510,77	100183,3		
100/3	4731,7630	3644,5838	VARIANCIAANALÍZIS						
100/4	4469,6751	3876,6485	Tényezők	SS	df	MS	F	p-érték	F krit.
Átlag	4103,1429	3510,7736	Csoportok között	701802,8422	1	701803	3,172722	0,125166	5,987378
Mikorrhizálás kezelés okozta átlagos szárazanyag-tartalomra vonatkoztatott C-vitamin koncentráció változása			-14,44%	Csoporton belül	1327193,848	6	221199		
				Összesen	2028996,69	7			

12. táblázat: Egytényezős varianciaanalízis - C-vitamin.

10.1.2 Likopin

Likopin tartalom (mg/kg) szárazanyagra			Egytényezős varianciaanalízis ÖSSZESÍTÉS						
	Heinz	Mikorrhizált Heinz							
100/1	1220,4909	1443,3930	Csoportok	Darabszám	Összeg	Átlag	Variancia		
100/2	1489,4944	1601,9360	Heinz	4	5026,091	1256,523	28401,59		
100/3	1229,5998	1400,3001	Mikorrhizált Heinz	4	6045,78	1511,445	11013,91		
100/4	1086,5055	1600,1514	VARIANCIAANALÍZIS						
Átlag	1256,5226	1511,4451	Tényezők	SS	df	MS	F	p-érték	F krit.
Mikorrhizálás kezelés okozta átlagos szárazanyagtartalomra vonatkoztatott Likopin koncentráció változása	20,29%		Csoportok között	129970,9256	1	129970,9	6,594914	0,042446	5,987378
			Csoporton belül	118246,5055	6	19707,75			
			Összesen	248217,4311	7				

Likopin tartalom (mg/kg) szárazanyagra			Egytényezős varianciaanalízis ÖSSZESÍTÉS						
	Triple Red	Mikorrhizált Triple Red							
100/1	1697,0516	1225,9293	Csoportok	Darabszám	Összeg	Átlag	Variancia		
100/2	1624,8072	1281,0760	Triple Red	4	6197,515	1549,379	24930,88		
100/3	1331,9772	1438,2582	Mikorrhizált Triple Red	4	5490,341	1372,585	21316,12		
100/4	1543,6793	1545,0773	VARIANCIAANALÍZIS						
Átlag	1549,3788	1372,5852	Tényezők	SS	df	MS	F	p-érték	F krit.
Mikorrhizálás kezelés okozta átlagos szárazanyagtartalomra vonatkoztatott Likopin koncentráció változása	-11,41%		Csoportok között	62511,95212	1	62511,95	2,703395	0,151239	5,987378
			Csoporton belül	138741,005	6	23123,5			
			Összesen	201252,9572	7				

Likopin tartalom (mg/kg) szárazanyagra			Egytényezős varianciaanalízis ÖSSZESÍTÉS						
	Uno Rosso	Mikorrhizált Uno Rosso							
100/1	1852,8908	1789,6016	Csoportok	Darabszám	Összeg	Átlag	Variancia		
100/2	1399,7062	1563,1547	Uno Rosso	4	6462,937	1615,734	34494,34		
100/3	1618,3703	897,0010	Mikorrhizált Uno Rosso	4	5959,205	1489,801	164972,6		
100/4	1591,9701	1709,4477	VARIANCIAANALÍZIS						
Átlag	1615,7343	1489,8012	Tényezők	SS	df	MS	F	p-érték	F krit.
Mikorrhizálás kezelés okozta átlagos szárazanyagtartalomra vonatkoztatott Likopin koncentráció változása	-7,79%		Csoportok között	31718,30061	1	31718,3	0,318031	0,59323	5,987378
			Csoporton belül	598400,7118	6	99733,45			
			Összesen	630119,0124	7				

Likopin tartalom (mg/kg) szárazanyagra			Egytényezős varianciaanalízis ÖSSZESÍTÉS						
	Strombolino	Mikorrhizált Strombolino							
100/1	1691,4543	1578,6709	Csoportok	Darabszám	Összeg	Átlag	Variancia		
100/2	1091,0125	1594,2536	Strombolino	4	5800,779	1450,195	65440,55		
100/3	1476,3641	1419,5360	Mikorrhizált Strombolino	4	6003,893	1500,973	9795,883		
100/4	1541,9485	1411,4329	VARIANCIAANALÍZIS						
Átlag	1450,1949	1500,9733	Tényezők	SS	df	MS	F	p-érték	F krit.
Mikorrhizálás kezelés okozta átlagos szárazanyagtartalomra vonatkoztatott Likopin koncentráció változása	3,50%		Csoportok között	5156,908226	1	5156,908	0,137085	0,723914	5,987378
			Csoporton belül	225709,2847	6	37618,21			
			Összesen	230866,1929	7				

13. táblázat: Egytényezőes varianciaanalízis - likopin.

10.1.3 β-karotin

B-karotin tartalom (mg/kg) szárazanyagra			Egytényezős varianciaanalízis ÖSSZESÍTÉS						
Heinz	Mikorrhizált Heinz								
100/1	33,8033	27,8426	Csoportok	Darabszám	Összeg	Átlag	Variancia		
100/2	29,9468	28,8681	Heinz	4	120,392469	30,09811725	8,319917		
100/3	29,8853	22,2571	Mikorrhizált Heinz	4	105,3038381	26,32595953	8,439606		
100/4	26,7570	26,3360	VARIANCIAANALÍZIS						
Átlag	30,0981	26,3260	Tényezők	SS	df	MS	F	p-érték	F krit.
Mikorrhizálás kezelés okozta átlagos szárazanyagtartalomra vonatkoztatott B-karotin koncentráció változása	-12,53%		Csoportok között	28,45834773	1	28,45834773	3,396081	0,114924006	5,987377584
			Csoporton belül	50,27857056	6	8,37976176			
			Összesen	78,7369183	7				
B-karotin tartalom (mg/kg) szárazanyagra			Egytényezős varianciaanalízis ÖSSZESÍTÉS						
Triple Red	Mikorrhizált Triple Red								
100/1	47,8189	34,7061	Csoportok	Darabszám	Összeg	Átlag	Variancia		
100/2	31,8336	23,5914	Triple Red	4	135,2311051	33,80777627	106,2182		
100/3	22,9933	33,1903	Mikorrhizált Triple Red	4	133,4155997	33,35389992	56,89063		
100/4	32,5853	41,9278	VARIANCIAANALÍZIS						
Átlag	33,8078	33,3539	Tényezők	SS	df	MS	F	p-érték	F krit.
Mikorrhizálás kezelés okozta átlagos szárazanyagtartalomra vonatkoztatott B-karotin koncentráció változása	-1,34%		Csoportok között	0,41200749	1	0,41200749	0,005052	0,945646421	5,987377584
			Csoporton belül	489,3264335	6	81,55440559			
			Összesen	489,738441	7				
B-karotin tartalom (mg/kg) szárazanyagra			Egytényezős varianciaanalízis ÖSSZESÍTÉS						
Uno Rosso	Mikorrhizált Uno Rosso								
100/1	37,4759	38,9566	Csoportok	Darabszám	Összeg	Átlag	Variancia		
100/2	24,0507	32,1522	Uno Rosso	4	147,296237	36,82405925	81,11555		
100/3	41,1101	26,0981	Mikorrhizált Uno Rosso	4	130,6976217	32,67440543	27,88414		
100/4	44,6595	33,4907	VARIANCIAANALÍZIS						
Átlag	36,8241	32,6744	Tényezők	SS	df	MS	F	p-érték	F krit.
Mikorrhizálás kezelés okozta átlagos szárazanyagtartalomra vonatkoztatott B-karotin koncentráció változása	-11,27%		Csoportok között	34,43925365	1	34,43925365	0,631915	0,45693775	5,987377584
			Csoporton belül	326,9990578	6	54,49984296			
			Összesen	361,4383114	7				
B-karotin tartalom (mg/kg) szárazanyagra			Egytényezős varianciaanalízis ÖSSZESÍTÉS						
Strombolino	Mikorrhizált Strombolino								
100/1	96,8477	64,1331	Csoportok	Darabszám	Összeg	Átlag	Variancia		
100/2	50,3762	115,4731	Strombolino	4	284,0872066	71,02180165	372,7629		
100/3	70,8459	95,7869	Mikorrhizált Strombolino	4	340,5742502	85,14356256	624,3682		
100/4	66,0174	65,1811	VARIANCIAANALÍZIS						
Átlag	71,0218	85,1436	Tényezők	SS	df	MS	F	p-érték	F krit.
Mikorrhizálás kezelés okozta átlagos szárazanyagtartalomra vonatkoztatott B-karotin koncentráció változása	19,88%		Csoportok között	398,8482621	1	398,8482621	0,799992	0,405543116	5,987377584
			Csoporton belül	2991,393271	6	498,5655452			
			Összesen	3390,241533	7				

14. táblázat: Egytényezőes varianciaanalízis - β-karotin.

10.2 Kéttényezős varianciaanalízisek eredménye a fajtaválasztás és mikorrhizás kezelés kapcsolatának és hatásának jellemzésére

E részben bemutatott varianciaanalízisekben (va), a „Minta” a kezelést, az „Oszlop” a fajtát jelöli.

C-vitamin koncentráció értékek szárazanyagra (mg/kg)	Triple Red	Uno Rosso	Strombolino			
100/1	3429,2891	2250,3112	3574,1764			
100/2	3445,3886	2930,5730	3636,9571			
100/3	2829,3381	2614,0673	4731,7630			
100/4	3599,2763	1859,2276	4469,6751			
100M/1	5656,1248	3281,1638	3151,5284			
100M/2	4116,2424	3077,5142	3370,3338			
100M/3	5140,5919	3170,4486	3644,5838			
100M/4	4281,7019	2520,6494	3876,6485			
Kéttényezős varianciaanalízis ismétlésekkel						
ÖSSZESÍTÉS	Triple Red	Uno Rosso	Strombolino	Összesen		
100/1						
Darabszám	4	4	4	12		
Összeg	13303,29203	9654,1791	16412,57168	39370,04		
Átlag	3325,823007	2413,5448	4103,142921	3280,837		
Variancia	115425,0349	213813,39	342214,5996	703271,4		
100M/1						
Darabszám	4	4	4	12		
Összeg	19194,66099	12049,776	14043,09437	45287,53		
Átlag	4798,665249	3012,444	3510,773592	3773,961		
Variancia	528367,5377	114423,95	100183,3498	820518,4		
Összesen						
Darabszám	8	8	8			
Összeg	32497,95302	21703,955	30455,66605			
Átlag	4062,244128	2712,9944	3806,958257			
Variancia	895700,8938	243153,23	289856,67			
VARIANCIAANALÍZIS						
Tényezők	SS	df	MS	F	p-érték	F krit.
Minta	1459027,957	1	1459027,957	6,189194	0,02288	4,413873
Oszlopok	8219740,62	2	4109870,31	17,43406	6,15E-05	3,554557
Kölcsönhatás	4298663,996	2	2149331,998	9,117462	0,001842	3,554557
Belül	4243283,59	18	235737,9772			
Összesen	18220716,16	23				

15. táblázat: Kéttényezős va - C-vitamin.

Likopin

Likopin koncentráció értékek szárazanyagra (mg/kg)	Heinz	Triple Red	Uno Rosso	Strombolino		
100/1	1220,4909	1697,0516	1852,8908	1691,4543		
100/2	1489,4944	1624,8072	1399,7062	1091,0125		
100/3	1229,5998	1331,9772	1618,3703	1476,3641		
100/4	1086,5055	1543,6793	1591,9701	1541,9485		
100M/1	1443,3930	1225,9293	1789,6016	1578,6709		
100M/2	1601,9360	1281,0760	1563,1547	1594,2536		
100M/3	1400,3001	1438,2582	897,0010	1419,5360		
100M/4	1600,1514	1545,0773	1709,4477	1411,4329		
Kéttényezős varianciaanalízis ismétlésekkel						
ÖSSZESÍTÉS	Heinz	Triple Red	Uno Rosso	Strombolino	Összesen	
100/1						
Darabszám	4	4	4	4	16	
Összeg	5026,091	6197,515	6462,937	5800,779463	23487,32	
Átlag	1256,523	1549,379	1615,734	1450,194866	1467,958	
Variancia	28401,59	24930,88	34494,34	65440,54559	50250,18	
100M/1						
Darabszám	4	4	4	4	16	
Összeg	6045,78	5490,341	5959,205	6003,893386	23499,22	
Átlag	1511,445	1372,585	1489,801	1500,973347	1468,701	
Variancia	11013,91	21316,12	164972,6	9795,882641	44766,9	
Összesen						
Darabszám	8	8	8	8		
Összeg	11071,87	11687,86	12422,14	11804,67285		
Átlag	1383,984	1460,982	1552,768	1475,584106		
Variancia	35459,63	28750,42	90017	32980,8847		
VARIANCIANALÍZIS						
Tényezők	SS	df	MS	F	p-érték	F krit.
Minta	4,42302	1	4,42302	9,81896E-05	0,992176	4,259677
Oszlopok	114805	3	38268,33	0,849543973	0,480488	3,008787
Kölcsönhatás	229353,7	3	76451,22	1,697191323	0,194266	3,008787
Belül	1081098	24	45045,73			
Összesen	1425261	31				

16. táblázat: Kéttényezős va - likopin.

β-karotin

β-karotin koncentráció értékek szárazanyagra (mg/kg)	Heinz	Triple Red	Uno Rosso	Strombolino		
100/1	33,8033	47,8189	37,4759	96,8477		
100/2	29,9468	31,8336	24,0507	50,3762		
100/3	29,8853	22,9933	41,1101	70,8459		
100/4	26,7570	32,5853	44,6595	66,0174		
100M/1	27,8426	34,7061	38,9566	64,1331		
100M/2	28,8681	23,5914	32,1522	115,4731		
100M/3	22,2571	33,1903	26,0981	95,7869		
100M/4	26,3360	41,9278	33,4907	65,1811		
Kéttényezős varianciaanalízis ismétlésekkel						
ÖSSZESÍTÉS	Heinz	Triple Red	Uno Rosso	Strombolino	Összesen	
100/1						
Darabszám	4	4	4	4	16	
Összeg	120,3925	135,2311	147,2962	284,0872066	687,007	
Átlag	30,09812	33,80778	36,82406	71,02180165	42,93794	
Variancia	8,319917	106,2182	81,11555	372,7628638	400,1643	
100M/1						
Darabszám	4	4	4	4	16	
Összeg	105,3038	133,4156	130,6976	340,5742502	709,9913	
Átlag	26,32596	33,3539	32,67441	85,14356256	44,37446	
Variancia	8,439606	56,89063	27,88414	624,3682266	742,5064	
Összesen						
Darabszám	8	8	8	8		
Összeg	225,6963	268,6467	277,9939	624,6614568		
Átlag	28,21204	33,58084	34,74923	78,0826821		
Variancia	11,24813	69,96263	51,63404	484,320219		
VARIANCIANALÍZIS						
Tényezők	SS	df	MS	F	p-érték	F krit.
Minta	16,50868	1	16,50868	0,102697909	0,751389	4,259677
Oszlopok	12836,41	3	4278,805	26,61777746	8,29E-08	3,008787
Kölcsönhatás	445,6492	3	148,5497	0,924104721	0,444188	3,008787
Belül	3857,997	24	160,7499			
Összesen	17156,57	31				

17. táblázat: Kéttényezős va - β -karotin.