

Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, Gödöllő

Csípős paprikafajták bioaktív komponenseinek vizsgálata a
genotípusok, az évjárat és a termesztési mód összefüggésében.

Gyalai Ingrid Melinda

Gödöllő

2025

A doktori iskola

megnevezése: Növénytudományi Doktori Iskola

Tudományága: növénytermesztési és kertészeti tudományok

Vezetője: Prof. Dr. Helyes Lajos

egyetemi tanár, az MTA levelező tagja

Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, Növénytudományi Doktori Iskola

Témavezető: Dr. Lantos Ferenc

egyetemi docens

Szegedi Tudományegyetem, Mezőgazdasági Kar, Növénytudományi és
Környezetvédelmi Intézet

Tartalomjegyzék

1. BEVEZETÉS	6
1.1 Célkitűzések	7
2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS.....	8
2.1. A paprikatermesztés nemzetközi és hazai helyzete.....	8
2.2 A paprika morfológiája és ökológiai igényei	9
2.3 Termesztési módok	11
2.4 Növényvédelem	12
2.5 Csípős paprikák legfontosabb beltartalmi elemei és táplálkozás-élettani jelentőségük.....	16
2.5.1 A fitonutriensek jelentősége	16
2.5.2 Kapszaicinoidok	17
2.5.3 Karotinoidok.....	19
2.5.4 C-vitamin	21
2.5.5 Tokoferolok.....	23
3. ANYAG ÉS MÓDSZER.....	25
3.1 A kísérleti körülmények	25
3.2 Meteorológiai adatok, mérések.....	28
3.4 Betakarítás, minták előkészítése	29
3.5 Analitikai mérések	29
3.5.1 Karotinoidok és tokoferolok mérése	30
3.5.2 Kapszaicinoidok mérése	32
3.5.4 C-vitamin mérése	33
3.6 Adatelemzés	35
4. EREDMÉNYEK ÉS MEGVITATÁSA	37
4.1 Környezeti tényezők (2022-2023)	37
4.2 Terméseredmények (2022-2023).....	39
4.3 Paprika fajták beltartalmi tulajdonsága (2022-2023)	40
4.3.1 Karotinoidok.....	40
4.3.2 Tokoferolok.....	50
4.3.3 Kapszaicinoidok	53
4.3.4 C-vitamin	61
5. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK	64
6. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK.....	69
7. ÖSSZEFOGLALÁS	70

7.1 Summary	72
8. MELLÉKLETEK.....	74
8.1 M1 (Irodalomjegyzék)	74
8.2 M2 (Táblázatok)	95
8.3 M3 Függelék (ábrák)	107
9. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS	112

Jelölések, rövidítések jegyzéke

α -TocHQ: α -tokoferol-hidrokinon

α -Toc: α -tokoferol

α -TocAC: α -tokoferol-acetát

α -TocES: α -tokoferol-szukcinát

CAP: kapszaicin

DC: dihidrokapszaicin

FRX: szabad piros xantofill

FYX: szabad sárga xantofill

HCAP: homokapszaicin

HDC-1: homodehidrokapszaicin -1

HDC-2: homodehidrokapszaicin -2

iDC: a dihidrokapszaicin egy izomerje

NDC: nordihidrokapszaicin

NNDC: nor-nor-dihidrokapszaicin

R/Y: piros/sárga karotinoidok aránya

RXDE: piros xantofill diészter

RXME: piros xantofill monoészter

TCv: összes látható karotinoid

TR: összes piros karotinoid

TY: összes sárga karotinoid

VAP: A vitamin prekursor

YXDE: sárga xantofill diészter

YXME: sárga xantofill monoészter

1. BEVEZETÉS

Az értekezésemben négy különböző típusú csípős paprika beltartalmi elemeit vizsgáltam, az általam választott termesztési mód, a genotípus és az időjárás összefüggésében. A vizsgált fajták a Bhut jolokia (*Capsicum chinense* x *Capsicum frutescens*) chili paprika, a Cserkő (*Capsicum annuum* L. var. *cerasiforme*) cseresznyepaprika, a Szegedi 178 (*Capsicum annuum* L. var. *longum grossum*) fűszerpaprika és a Rekord (*Capsicum annuum* L.) étkezési paprika volt. Ezen fajták Magyarországon ismertek és nagyon kedveltek, régóta termesztjük őket.

A növényi eredetű élelmiszerekben található bioaktív vegyületek alapvetően pozitív egészségügyi hatással vannak az emberi szervezet számára. A bioaktív vegyülettartalom és ezek típusa azonban a genetikai és környezeti tényezők függvényében változhat (Bae et al. 2014). Deepa és munkatársai (2007) érett és éretlen paprikában vizsgálták a C-vitamin és kapszaicinoid tartalmat. Az eredményeik szerint az érett termésekben magasabb volt az aszkorbinsav- és kapszaicinoid tartalom is. Marín et al. (2004) szerint azonban a flavonoidtartalom arányosan csökken a paprika érése során. Az Egyesült Államokban, illetve Ázsiában széles körben foglalkoznak a különböző paprika típusok beltartalmának elemzésével és humánéletteni, illetve farmakognóziaili hatásával (Lantos 2018). A csípős paprika az A-provitamin, az E- és C-vitamin, a karotinoidok és olyan fenolos vegyületeknek forrása, mint a kapszaicinoidok, a kvercetin vagy a luteolin. Ezek a vegyületek antioxidáns hatással, illetve egyéb pozitív biológiai aktivitással rendelkeznek (Batiha et al. 2020). A különböző paprikafajták különböző kombinációban tartalmazzák a karotinoidokat, kapszaicinoidokat és kapszinoidokat, amelyek így a paprikának eltérő színt és csípősséget adnak (Yang et al. 2014).

A környezeti feltételek és az agronómiai tulajdonságok, a genetika és egyéb tényezők megváltoztathatják az élelmiszerek bioaktív tulajdonságait (Jifon et al. 2012), azonban csak néhány tanulmány számolt be a környezeti tényezők és a termesztési módok hatásáról a paprika bioaktív vegyülettartalmára. Hazánkban, leginkább az Alföldön a paprika- és fűszerpaprika-termesztés fő kihívásai közé tartozik a gyakori aszály, a szélsőséges időjárás és az öntözés nehézségei, amelyek jelentősen befolyásolják a termés mennyiségét és minőségét. Kutatói munkám során célul tűztam ki, hogy négy különböző genetikai tulajdonságú paprika beltartalmi elemeit vizsgáljam az adott környezeti feltételek mellett, így tisztább képet kapva arról, hogy ezek a hatások miként befolyásolják a bioaktív elemek jelenlétét a termésekben.

1.1 Célkitűzések

A dolgozatom elkészítéséhez az alábbi célokat fogalmaztam meg:

1. A négy különböző csípős paprika genotípus bioaktív komponenseinek feltárása modern HPLC módszer alkalmazásával.
2. A legfontosabb beltartalmi elemek (kapszaicinoidok, karotinoidok, tokoferlok, C-vitamin) mennyiségének összehasonlítása az általam vizsgált fajták esetén.
3. Fontosnak tartottuk megállapítani, hogy a beltartalmi elemek alakulását milyen tényezők befolyásolták (pl.: genotípus, időjárási körülmények, szedési időpont).
4. Továbbá célként fogalmaztam meg, hogy a három faktor (fajta, évjárat, szedés), valamint ezek interakcióinak hatását meghatározzam a függő változókra (kapszaicinoidok, karotinoidok, tokoferlok, C-vitamin).

2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS

2.1. A paprikatermesztés nemzetközi és hazai helyzete

A paprika (*Capsicum annuum* L.) a *Solanaceae* családba tartozó, egyéves, lágyszárú növény, amelyet világszerte a meleg éghajlatú területeken termesztene, például Ázsiában, Észak-Amerikában, Dél- és Közép-Európában, valamint Afrika trópusi és szubtrópusi részein (Thampi 2004). Őshazájának Amerikát tartjuk, ahol Somos (1981) szerint a kontinens felfedezése előtt már a termesztésével is foglalkoztak. A *Capsicum* nemzetség körülbelül 30 fajból áll, melyek közül az öt termesztésben lévő faj a *C. annuum*, *C. baccatum*, *C. chinense*, *C. frutescens*, and *C. pubescens* (Nadeem et al. 2011). A különböző paprika típusokat a Föld lakóinak több mint egynegyede fogyasztja naponta (Smith 2015) nyersen, vagy feldolgozott formában (Silva et al. 2013).

A FAO (2024) adatai szerint 2022-ben világviszonylatban a nyers chili és étkezési paprika termésátlaga 18 tonna volt hektáronként, összesen több mint 2,02 millió hektárról betakarítva [http1]. Amerikában ebben az évben 250 000 hektár volt a termőterület, 18,8t/ha termésátlaggal. Ázsiában pedig 1,3 millió hektáron termesztették 18,5t/ha termésátlaggal. A világszinten betakarított chili paprika 25%-a Indiából származik, ahol ez az egyik legfontosabb kereskedelmi növény (Pundir et. al. 2016). Az Európai Unióban termelt étkezési paprika legnagyobb hányadát Spanyolország, Olaszország, Hollandia és Magyarország termeli (Isépy 2014). Szabadföldi termesztése hazánkban a XIX. század első felében lendült fel (Terbe et al. 2005), jelenleg pedig a hajtásban termesztett zöldségek közül a paprika van az első helyen, 2250 hektáros termeszto felülettel (Kicska 2016). Mivel hazánk a szabadföldi paprikatermesztés északi határán fekszik, ezért az országban szinte mindenhol lehetőség van a termesztésére. Két fontos termesztési régió alakult ki nálunk: a Dél-Alföld és Észak-Alföld, ezeken belül élenjár Csongrád-Csanád, Hajdú-Bihar, Bács-Kiskun és Pest vármegye.

Az **1. táblázatban** látható a paprikatermesztés területe és a termésmennyiség alakulása hazánkban 2012 és 2022 között a KSH adatai szerint [http2]. Az adatok nem térnek ki az egyes típusokra, hanem csak étkezési és fűszerpaprika csoportokra tagoltak. Az adatok alapján látható, hogy az elmúlt években a termőterület fokozatosan csökken Magyarországon, azonban a termésátlag növekszik, leginkább az étkezési paprikák esetén. Ez a termésátlag növekedés új, nagyobb hozamra képes hibridek használatának is betudható.

1. táblázat. Magyarország étkezési- és fűszerpaprika termesztés adatai 2012-2022 között (KSH 2024)

Év	Terület (ha)		Termésátlag (kg/ha)	
	Étkezési	Fűszer	Étkezési	Fűszer
2012	1999	2398	33270	7950
2013	2071	2271	31930	5700
2014	1892	2495	39300	8050
2015	2579	2347	41170	8780
2016	2648	1948	47370	9740
2017	2425	1971	49900	9820
2018	1774	2045	48110	7340
2019	1852	1910	48950	9510
2020	1527	1676	48900	9010
2021	1612	1639	49720	9280
2022	1353	1214	53370	8420

Forrás: [http2]

2.2 A paprika morfológiája és ökológiai igényei

A paprika lágyszárú, hazánkban egyényári növényként termesztjük. Fő- és oldalgyökerekkel rendelkezik. Hajtásrendszere két különböző típusú lehet, determinált, vagy folytonos növekedésű. Az első 8-10 nóduszig elágazás nélküli, később villás elágazású. A folytonnövő fajták négy ág kialakulásáig fürtös jellegűek, ez után pedig bogasan nőnek tovább. A determinált fajták képesek egy nóduszon több virágot fejleszteni, valamint az ágrendszer növekedését lelassítani. Ennél a típusnál az idősebb hajtások növesztenek rövid szártagú elágazásokat és virágokat (Terbe et al. 2005). A levelek ép szélűek sötétzöld színűek, oválisak, vagy kerekdedek lehetnek, méretük és számuk fajtánként változó tulajdonság. A virágok kétivarúak és önbeporzók. A növényen folyamatosan képződnek, de nem mindegyikből lesz termés. A termőből képződött felfűjt, sokmagvú bogyótermés többféle alakú és színű lehet (Hodossi et al. 2009). Vese alakú magjai az ún. központi húsos oszlopon helyezkednek el. A paprika ezermagtömege 5-7g, a csírázókéességüket pedig kb. 3–4 évig tartják meg (Némethyné és Ertseyné 2009).

A környezeti feltételek együttesen befolyásolják a paprika termés hozamát és a bogyók minőségét (Valiente-Banuet és Gutiérrez-Ochoa 2016). Az egyik legfontosabb feltétel a megfelelő hőmérséklet biztosítása. A paprika sok meleget igényel, hőmérsékleti optimuma 25 ± 7 °C. A megfelelő vegetatív növekedéshez 25 °C körüli nappali hőmérsékletre van szüksége. A magvak csírázásához még ennél is melegebbet igényel. A különböző típusok különböző érzékenységgel reagálnak a számukra túl alacsony, vagy túl magas hőmérsékletre, de mindegyikről elmondható, hogy 10 °C alatti hőmérsékleten már nem fejlődik ki megfelelően a termés, illetve 35 °C fölött a virágok már nem kötnek (Terbe és Slezák 2008). A paprika terméskötődéséhez legalább 5000 lux fényerősséget és kb. 12–14 óra megvilágítást igényel. Egy adott fajta fényigényét nettó és a bruttó tenyészidővel jellemezzük. A bruttó tenyészidő a kiültetéstől a tenyészidőszak végéig tartó teljes periódust jelenti, míg a nettó tenyészidő azon belül a ténylegesen produktív, termésképzéssel és betakarítással jellemezhető időszakot foglalja magában. Az egyes fajták szabadföldi termesztésekor (optimális fényviszonyok mellett) a nettó tenyészidő nyújt támpontot a várható koraiságról (Terbe et al. 2005). Rendkívül fontos szerepet tölt be a növény életében a víz. A paprika vízigényét tekintve a nagy vízfogyasztású növények közé sorolható. A tenyészidőszak során ez akár 1500-2000 mm is lehet (Fehér 2009). 1 gramm szárazanyag előállításához kb. 500g víz szükséges, melyet majd a levelek sztomáin keresztül fog a légkörbe juttatni. Ezért a víz felvétele és leadása egy állandó egyensúlyt igényel, ami, ha felborul, a növényi sejtfolyamatokban zavart okoz, s akár kiszáradáshoz is vezethet (Ördög és Molnár 2011). A növények vízfelhasználását a transzspiráció intenzitása, a termésnövekedés és a párologtatófelület (lomb) mérete határozza meg. A vízfogyasztást (elpárologtatott víz és a keletkezett szárazanyag arányát) transzspirációs együtthatóval fejezzük ki. Ezzel megállapítható, hogy egységnyi szárazanyag előállításához mennyi víz került felhasználásra. A paprika transzspirációs együtthatója 300 körül van. A transzspiráció mértékét növeli a besugárzás és a magas hőmérséklet, valamint a levegő alacsony páratartalma. Ahogy emelkedik a növények párologtatása, úgy csökken a levelek víztartalma, valamint a gyökerek szívóereje növekszik (Balázs 2004). A fejlett zöldségtermesztésben ma már elengedhetetlen az öntözés. Szabadföldi termesztés esetén már feltétlenül szükség van valamilyen öntözési mód használatára, ugyanis hazánk meteorológiai viszonyai alapján a csapadék a paprikatermesztés tenyészidőszakában kevés és egyenlőtlen eloszlású. A tápanyagok kijuttatását pedig sokkal egyszerűbbé teszi például egy csepegtető öntözőrendszer (Lelkes 2009). A paprika talajigényét elsősorban a termesztés módja határozza meg, de mindegyikről elmondható, hogy a gyorsan melegedő, magas humusztartalmú talajokra van szüksége. A talaj kémhatásával szemben szintén igényes, a semleges, vagy enyhén savanyú talaj a legoptimálisabb számára. Sajnos

napjainkban a talajok sótartalma elég feldúsult és különböző vírusokkal, gombákkal fertőződtek el, melyeknek egyik fő oka a talajok egyoldalú kihasználtsága (Terbe 2007). Egy kilogramm paprikatermés kifejlesztéséhez 2,4 g nitrogént (N), 0,4 g foszfort (P_2O_5) és 2,9 g káliumot (K_2O) vesz fel a növény. A tápanyagigény függ a fajtától, környezeti tényezőktől, termésmennyiségtől és a növény korától is. (Terbe és Slezák 2008). Kappel et al. (2006) az étkezési paprika számára szükséges fajlagos tápanyagigényt így állapította meg: nitrogén (N): 2,4-3,8 kg/t, foszfor (P_2O_5): 0,7-1,1 kg/t, kálium (K_2O): 4,9-6,9 kg/t. A makroelemek fontossága vitathatatlan, azonban a mikroelemek esetében nem lehet csak néhányat kiemelni, hiszen a paprika minden mikroelem hiányára érzékeny (Gyulai és Sebestyén 2011). A palántanevelés során kijuttatott tápanyagoknak kiemelt jelentősége van, hiszen a kiegyenlített tápanyagellátás meghatározza a későbbi termesztés sikerét (Ombódi et al. 2003). A tápelemek felvehetőségét nem csak a talajban levő formájuk befolyásolja, hanem a talaj pH értéke is. A legtöbb tápelem 6.5 pH (enyhén savanyú) felett már nem felvehető a növények számára. A molibdén kivételével a legtöbb mikroelem pedig annál könnyebben felvehető, minél savanyúbb a talaj (Sárdi 2011).

2.3 Termesztési módok

Az elmúlt években a szabadföldi paprikatermesztés drasztikus csökkenést mutat, azonban a talaj nélküli termesztés, illetve a két termesztési mód között átmenetet képző konténeres termesztés kezd inkább elterjedni a termesztőberendezésekben. Utóbbi esetben a növény nem a termőtalajba lesz ültetve, hanem általában egy polietilén vödörbe, szerves közegbe, például tőzeg vagy tőzeg és homok megfelelő arányú keverékbe. A talaj nélküli termesztéshez a nevéből adódóan nem használunk talajt, hanem valamilyen más gyökérrögzítő anyagot, például kőzetgyapotot. Ezen közegek tápanyag tartalma egyszerűen szabályozható műtrágyázással, és az esetleg talajból fertőző kórokozók és kártevők teljes mértékben elkerülhetők. Ez kezdetben hatalmas beruházási költség, viszont megtérülése egyértelmű. A hozam akár 10-szer magasabb is lehet (Kicska 2016). Hazánkban a paprikatermesztők nagyobb arányban magyar nemesítésű hibrideket használnak. Gyúró (2007) a paprika fajtahasználatáról megállapította, hogy a kertészek legnagyobb hányada a hibrid fajtákat részesíti előnyben a szabad beporzású fajtákkal szemben, mert ezek teljesítőképessége felülmúlja a szülők tulajdonságait, valamint a hibridek nemesítésével lehetőség van valamilyen rezisztencia beépítésére a növénybe. Ezzel szemben Lantos (2012) kísérletében rávilágított arra, hogy a fajták terméseredményei megfelelő edafikus, ökológiai és termesztéstechnológiai feltételek biztosítása mellett nem marad el a hibridek értékeitől.

Az étkezési paprikát nagyrészt palántázással szaporítjuk, a helyrevetés nem elterjedt módszer. A vetéshez kizárólag fémzárolt vetőmagot használunk. Szabadföldi, vagy termesztőberendezésben történő talajos termesztés esetén a paprika palántázása lehetséges tápkockás vagy tálcás palántáról. A tálcás palántanevelés átmenetet képez a szálas és tápkockás palánta között (Hodossi et al. 2009). A magvetésre szánt földkeverék legfontosabb tulajdonsága, hogy laza szerkezetű, jó vízgazdálkodású, káros anyagoktól mentes legyen. Ilyen anyagok például a homok, sóder, tőzeg. Ha nem akarunk tűzdelést alkalmazni, akkor a magokat vethetjük közvetlenül tápkockába is. A tápkockát készítsük porózus, laza szerkezetű földkeverékből. A tápkockák ideális pH értéke 6,5 körüli. Minden tápkockába egy szem magot vetünk. Gyakorlati szabály, hogy a paprika vetésmélysége maximum 1cm lehet (Mácsai 2009). Érdekes már vetés után védekezni a palántadőlés ellen beöntözéssel. 25°C hőmérsékleten a magok 8 nap alatt kikelnek, majd szikleveles állapottól folyamatosan csökkentjük a hőmérsékletet 17°C-ig. A palántanevelés folyamán a megfelelő szellőztetésről gondoskodni kell. Ezzel szabályozható legkönnyebben a hőmérséklet és a páratartalom is. Az ültetésre alkalmas palánták legalább 4 fejlett levélpárral és fejlett gyökérzettel rendelkeznek. Ültetés előtt célszerű a talajt, vagy közegeket feltölteni és a drénvíz elvezetéséről gondoskodni (Tompos és Gyúros 2005). A **2. táblázatban** a talajos termesztéshez javasolt sor- és tőtávolságokat, ikersoros elrendezésben mutatja be. Függetlenül attól, hogy talajon, vagy talaj nélkül hajtadjuk a paprikát, a hajtási időszakok mindkét esetben érvényesek.

2. táblázat: Ikersoros elrendezésben javasolt sor- és tőtávolságok

Hajtási időszak	Ültetés időpontja	Metszés módja	Sor- és tőtávolság	Hajtás/m ²
Igen korai, korai hajtás	december-február	1 szálas	90+60x20	6,6
		2 szálas	90+60x35	7,6
Közép korai hajtás	március - április	1 szálas	90+50x18	7,9
Hideg hajtás	május	2 szálas	90+50x30	9,5

Forrás: Tompos és Gyúros (2005) – saját szerkesztéssel

2.4 Növényvédelem

A paprikatermesztésben megjelenő kártevők többsége a melegégövről kerültek hazánkba. Mivel melegkedvelők, ezért főként a termesztő berendezésekben találhatók meg, sőt ott át is tudnak telelni. A kártevők nem csak a saját kártételükkel okoznak problémát, hanem vírusok

vektorai is lehetnek. A leggyakoribb kártevők a gyökérgubacs fonálféreg, levéltetvek, tripszek, atkák, molytetvek és a gyapottok-bagolylepke. A kémiai védekezés a legáltalánosabb megoldás, de szerencsére egyre inkább előtérbe kerülnek és elérhetővé válnak a különböző biológiai készítmények is. A gyökérgubacs fonálféreg (*Meloidogyne* spp.) talán a leggyakoribb talajlakó kártevő. A paprika gyökerében élőködnek, ott kezdetben 1-2mm-es gubacsokat képeznek, amik később akár néhány centiméteresre is megnőhetnek, így akadályozzák meg a növény normál tápanyag és vízfelvételét (Kerek és Birkás 2018). A gyökérgubacs fonálféreg károsítás elkerülése érdekében régen metil-bromidot használtak, ma már használata megszűnt, ezért célszerű olyan fajtát választani, ami ellenálló a kártevővel szemben. (Pénzes 2007). A nyugati virágtripsz (*Frankliniella occidentalis*) szintén az egyik legveszélyesebb kártevő a paprikatermesztésben. Mivel polifág faj, nem csak paprikán, hanem paradicsomon és uborkán is élőködik. Kedvező feltételek mellett nagyon gyorsan elszaporodik, akár 10 nemzedéke is lehet egy tenyészidőszak alatt (Molnár et al. 2009). A veszélyességét az is fokozza, hogy a szívogatásán kívül még a paradicsom bronzfoltosság vírus (Tomato spotted wilt virus) vektora is. Ez a kártevő már több növényvédőszer hatóanyagával szemben is ellenálló lett (Molnár et al. 2011). Különösen a fehér húsú paprika állományban okoz erős kártételt. Nem csak a kifejlett rovar, hanem a lárvák is károsítanak. A paprika húsán ezüstös elszíneződés, szívás nyomok láthatók, illetve a bogyók kocsányi részén és oldalán barna elszíneződés jelenik meg. Fejlődéskor a bábok a talajban vannak. Megelőzésére a kémiai védekezésen kívül ellenálló fajtákat javasolt telepíteni, de megfigyelték, hogy metszett állományban sokkal kisebb kártételre számíthatunk, mint a sűrű lombú növényeknél. (Molnár 2008). A levéltetvek (*Aphoide*) a paprika termesztésben a legfontosabb levélkártevők. Szintén a szívogatásuk és ez által terjesztett vírusok okoznak kárt a növényekben. Fűtött körülmények között egész évben fejlődnek, de fűtetlen termesztőberendezésben és szabadföldön is gyorsan szaporodnak. A száron és a leveleken szívogatnak, ami emiatt torzulni kezd. A levéltetű a táplálékát mézharmat formában üríti, ami kiváló felületet képez a korompenész megtelepedésére. Ellenük kémiai szerekkel védekezhetünk (Pénzes 2007). A közönséges takácsatka (*Tetranychus urticae*) az egész évben hasznosított termesztőberendezésekben képes folyamatosan szaporodni, de az alacsony hőmérséklet lassítja a fejlődését. Kedveli a meleget és a szárazabb levegőt, tehát ilyen feltételek mellett tömegesen elszaporodnak. A levél fonáki részén pókhálózóhoz hasonló szövedéket képeznek, és itt szívogatják a leveleket, amik emiatt elsárgulnak és lehullanak. Ellenük atkaölő készítményekkel védekezhetünk a palántaneveléstől a termésszedésig (Pénzes 2007). Szintén jelentős kártételt okoz a gyapottok-bagolylepke (*Helicoverpa armigera*). Imágói berepülnek a növényházba, ahol megtelepednek, majd lárvájuk okozza a kártételt. Általában

júliustól szeptemberig tart a károsításuk. A lárvák berágják magukat a paprika bogyóba, ami emiatt eladhatatlan lesz, és a keletkezett seb miatt a baktériumok tevékenysége a bogyó rothadását is okozza (Pénzes 2007).

A paprika betegségeivel szemben a legjobb védekezés a megelőzés. Rezisztens fajtákat érdemes termesztetni, amivel rengetek növényvédelmi beavatkozás elkerülhető, és kevesebb növényvédőszer kell használni. A klimatikus viszonyok optimális megválasztása és a betegségeket terjesztő kártevők kiszorítása szintén csökkenti a fertőzések veszélyét (Kerek és Birkás 2018). A növénypatogén alternáriás magházrothadást okozó *Alternaria alternata* gomba a paprika bogyón külső és belső fertőzést is okozhat. A termés belsejébe általában virágzáskor a nyitott bibecsatornán keresztül tud behatolni a gomba. Természetesen ez csak akkor történhet meg, ha a termés a bibetájon rosszul záródik. Belső fertőzés jöhet létre a csészelevelek alatt is. A nagyon párás környezet idézheti elő a csészelevelek felpattanását, ami ezzel lehetővé teszi a gomba számára a behatolást. A belső fertőzésnél sokkal hamarabb észrevehető a külső fertőzési utaló tünetek, amikor a termésen fekete, vagy rothadt foltok láthatók, általában a napfény felőli oldalon. Később a foltokon fekete penészgyp jelenik meg, a termések a növényház belső klímájától függően vagy elrothadnak, vagy aszalódnak. A fertőzést az erős éjszakai harmatképződés, a nem egyenletes vízellátás, illetve a napégés is előidézheti (Kovács és Fischl 2014). Védekezőként érdemes ellenálló paprika fajtát termesztetni, vagy virágzás utáni kémiai szereket alkalmazni. Óriási kárt okozhat a paradicsom bronzfoltosság vírus – TSWV (Tomato spotted wilt tospovirus). Ez a vírus olyan hatalmas termésvesztést képes okozni, hogy amint feltűnik, azonnali zárlati intézkedést von maga után. Sárgás, vagy zöldes mozaik foltok jelennek meg a paprika levelén, esetleg gyűrűs foltosság, a fiatal növények pedig a növekedésben is visszamaradnak. A leveleken kívül még a termésen is megjelennek a fertőzés tünetei. Itt barnás színű foltok láthatók, amik beesnek, a termés torzul fejlődött (Budai és Kiss 2003). A betegséget főként tripszek terjeszthetik, ezért a kártevők irtásával és megfelelő higiénia betartásával megelőzhető a fertőzés kialakulása. A fertőzés gyanúja esetén a beteg növényeket azonnal el kell távolítani. Érdemes TSWV rezisztens paprika fajtát választani a termesztéshez. A paprika palántanevelésben rendszeresen előforduló rizoktóniás palántadőlés (*Rhizoctonia solani*) rövid idő alatt sok palánta pusztulását okozhatja. Tünete jellegzetes, a palánta gyökérnyaki része megbarnul, üvegesedik, befűződik, így a növény kidől és elpusztul. A betegség nem csak a palántákat, hanem a kifejlett növényeket is megtámadja (Glits 2009). Itt szintén a gyökérnyaki részen figyelhetők meg a tünetek, azonban ez már parásodik, emiatt a szár meggyengül, majd eltörik, vagy elszárad az egész növény. Mivel ez a kórokozó egy talajlakó gomba, ezért a talaj

kezelésével védekezhetünk ellene. Általában gombaölő készítményekkel vagy talajgőzöléssel előzik meg a fertőzést (Glits és Folk 2000). Monokultúrás paprikatermesztésben gyakran megjelenik a szklerotíniás betegség (*Sclerotinia sclerotiorum*). Nem csak a paprikatermesztésben lehet jelentős betegség, hanem az összes kétszikű növényt megtámadhatja. A tünetek a tövek lankadásával figyelhető meg, amik később elpusztulnak. Jellegzetes tünete van a betegségnek, ugyanis a paprika szára üvegesedik, a szár belsejében pedig fehér micélium és fekete szklerócium látható, ami a betegség előrehaladtával a szár külső részén is megjelenik, majd talajra hullik és így fertőződhet meg a talaj. Amikor kismértékű a fertőzés, és csak néhány tö mutat tüneteket, ekkor elég, ha ezeket a töveket eltávolítjuk és megsemmisítjük. Jelentős mennyiségű fertőzésmegelőzésére ültetés előtti növényvédelmi kezelés szükséges (Glits 2007). A magas hőmérséklet és páratartalom kedvez a xantomónászos betegség (*Xanthomonas vesicatoria*) kialakulásának, ami általában a rosszul szellőző termesztő berendezések betegségének mondható (Simon 2005). A tünetek a növény szinte minden részén megjelennek. A növény szárán és termésén is kerek, barna kiemelkedő foltok láthatók. A levél színén vizenyős foltok jelennek meg, a fonákon pedig kidudorodó foltok vannak. A növényház klímáján kívül a fertőzött vetőmag is okozhatja a betegség kialakulását. Megfelelő védekezéssel a betegség kialakulása megelőzhető, általában réztartalmú szereket alkalmazunk (Glits és Folk 2000). A lisztharmat gombák jellegzetes tünete a fehér micéliumbevonat a fertőzött növényi részek felületén, azonban a paprikalisztharmat (*Leveillula taurica*) elsősorban nem a szövetek felszínén, hanem azok belsejében mutatkozik, csak később törnek fel a levelek felszínére a jól látható fehér micéliumok. Az idősebb levelek eldeformálódnak, kanalasodnak és a levél színén is láthatóvá válnak a micéliumok (Kiss 2014). A betegség megjelenésekor a tünetet mutató növények lombját el kell távolítani és meg kell semmisíteni (Glits és Folk 2000). Szinte minden ismert betegség és kártevő ellen vannak kémiai védekezésre alkalmas szerek, azonban ma már egyre inkább előtérbe került a biológiai védekezés (Avar 2016). A hagyományos kémiai növényvédőszerek használata nehezen beiktatható az állománykezelési munkák közben, vagy a termésbetakarításnál. Számos sikeres kísérlet bemutatta a biológiai növényvédőszerek hasznosságát a gyakorlatban, azonban az utóbbi években megjelentek olyan kártevők is Magyarországon, ami ellen egyelőre nincs biológiai védekezési lehetőség. Ilyen például az ázsiai márványpoloska (*Halyomorpha halys*) és a vándorpoloska (*Nezara viridula*). Ezek a fajok a paprika bogyókat szívogatják, emiatt esztétikai értékük csökken, gyakorlatilag eladhatatlan termékek lesznek. Ezek ellen a legjobb védekezés a megelőzés, azonban ez csak termesztő berendezések esetén megoldható, a szellőzők és ajtók behálózásával, ugyan olyan

megoldással, mint a bagolylepkék ellen. Így ezek a kártevők nem tudnak berepülni a növényházba (Fail 2017).

2.5 Csípős paprikák legfontosabb beltartalmi elemei és táplálkozás-élettani jelentőségük

2.5.1 A fitonutriensek jelentősége

A paprika gazdag forrása az esszenciális ásványi anyagoknak, antioxidáns hatású fitonutriens vegyületekben, például karotinoidokban (Gómez-García és Ochoa-Alejo, 2013), aszkorbinsavban, fenolos vegyületekben, mint például flavonoidokban (Hallmann és Rembiałkowska, 2012). Ezek az antioxidáns vegyületeket számos pozitív egészségügyi előnnyel hozhatók összefüggésbe (Kaur és Kapoor, 2001). Megakadályozzák az érrendszeri endotélsejtek oxidatív stressz okozta károsodását, így elkerülhető a magas vérnyomás kialakulása és progressziója. Ezen túlmenően a paprika kapszaicinoidok kettős funkcióval rendelkeznek: enyhítik az érrendszeri oxidatív stresszt és javítják az endotél-függő értágulatot (Machado et al. 2021). A paprikában található antioxidánsok szintje azonban függ a fajtától, a betakarításkori érettségi állapottól és a klimatikus körülményektől, valamint a tárolás és a feldolgozás körülményeitől (Iqbal et al. 2013). Cervantes-Paz et al. (2012) szerint kutatások kimutatták, hogy például az érett paprika magasabb antioxidáns tulajdonságokkal rendelkezik, mint a zöld, éretlen paprika. Sarpras et al. (2019) három *Capsicum*-fajta fitokémiai, antioxidáns aktivitás és ásványi elem profiljának elemzéséről számol be a bogyófejlődés különböző szakaszaiban. Az elemzés kimutatta, hogy a kapszaicinoidok, fenolok, aszkorbinsav, cukortartalom és származékai, valamint más egészségre kedvező anyagcseretermékek magasabb szintje leginkább a termésfejlődés érett szakaszában volt megfigyelhető, mint a többi szakaszban, minden fajta esetében. Elemzésük azt mutatta, hogy az antioxidáns aktivitás nem mutatott szignifikáns korrelációt az esszenciális elemek (Cu, Fe, Zn, Mo, Mn, B, Ni) mennyiségével a *Capsicum* bogyókban, annak ellenére, hogy ezek az elemek fontos szerepet játszanak az anyagcsere- és élettani folyamatokban.

Lekala et al. (2019) vizsgálták a környezeti tényezők hatását az egyes paprika fajták termésmennyiségére és antioxidáns hatású elemeinek felhalmozódására. Megállapították, hogy az általuk vizsgált legtöbb paprikafajta esetében a piacképes termés hozamot és az össztermést nem befolyásolta a környezeti tényező. Ebben a vizsgálatban azonban a paprikafajták és termesztési környezeti feltételek kölcsönhatása a különböző antioxidáns összetevők felhalmozódására nyilvánvaló eredményeket hozott. Esetükben a szabályozott hőmérsékletű fóliaalagútban történő termesztés elősegítette a magasabb értékesíthető termés hozamot, a karotinoidok felhalmozódását, valamint nagymértékben az aszkorbinsav felhalmozódását.

A közelmúltban megállapították, hogy a pirospaprika összes fenoltartalma és összes antioxidáns aktivitása számos zöldség közül az élmezőnyben van. Az élelmiszerben jelen lévő potenciális antioxidáns vegyületek ismerete azonban nem feltétlenül jelzi az élelmiszer antioxidáns kapacitását. A növényi szövetekben sok különböző antioxidáns komponens található, ezért viszonylag nehéz minden egyes antioxidáns komponenst külön-külön mérni (Guil-Guerrero et al. 2006). Lahbib et al. (2017) vizsgálták a paprika különböző részeinek (magház, perikarpium és mag) kémiai összetételét és antioxidáns aktivitását. Adataik azt mutatták, hogy a paprikában a teljes fenol, teljes flavonoid és kapszaicin szintjét, valamint az antioxidáns aktivitást a fajta és a gyümölcscrész egyaránt befolyásolta. A terméshéjban volt a legmagasabb a fenol- és flavonoid tartalom, míg a magház a kapszaicin fő forrása. Loizzo et al. (2015) kutatása a chilipaprika különböző fajtáinak antioxidáns és fitokémiai profiljának elemzésére összpontosított, mind frissen, mind különböző otthoni feldolgozás (fagyasztás és főzés) után. Eredményeik szerint a friss paprika mutatta a legmagasabb fenol, flavonoid és kapszaicinoid tartalmat, a fagyasztás és a főzés pedig negatívan befolyásolta ezen aktív fitokémiai anyagok tartalmát. A vizsgált paprikafajták közül a *C. baccatum* fajták fenoltartalma a legalacsonyabb, kapszaicin és dihidrokapszaicin tartalma pedig nagyon alacsony. Azt állapították meg, hogy ez összefüggésben van az alacsonyabb antioxidáns aktivitással, míg a *C. annuum* fajták magasabb fenol- és kapszaicinoid-tartalmukkal nagyobb antioxidáns aktivitással rendelkeznek. A fagyasztott paprikával kapott érdekes eredmény a hőmérséklet lassú csökkenése után kialakuló jégkristályok sejtmembránokra gyakorolt hatásával függhet össze, ami megkönnyíti a molekulák távozását az élelmiszer-mátrixból. A paprika kivonatok antioxidáns aktivitásának kifejeződése inkább a különböző fenolos vegyületek (Arnous et al. 2001) vagy más molekulák (pl. vitaminok) közötti szinergizmus következménye lehet.

2.5.2 Kapszaicinoidok

A kapszaicinoidok néven ismert vegyületek okozzák a chili, csípős étkezési- és fűszerpaprika bogyók csípős ízét (Reyes-Escogido et al. 2011). Az elsődleges kapszaicinoid a kapszaicin, ezt követi a dihidrokapszaicin, a nordihidrokapszaicin, a homodihidrokapszaicin és a homokapszaicin, 69%, 22%, 7%, 1% és 1% arányban (Fan et al. 2017). A kapszaicin (8-metil-N-vanillil-transz-6-nonénamid) egy kristályos, lipofil, színtelen és szagtalan alkaloid, amelynek molekuláris képlete $C_{18}H_{27}NO_3$. Molekulatömege 305,40 g/mol, zsírban, alkoholban és olajban oldódik. A kapszaicint 1876-ban Tresh kristályosította ki, ő volt az, aki el is elnevezte, majd 1919-ben a molekulaszervezetet Nelson és Dawson (1923) tárta fel. A paprikák csípősségének első megbízható mérése a Scoville-féle organoleptikus teszt volt (Scoville 1912). Ez a teszt a

paprikák kóstolására alapult, ahol a bírálók feljegyezték csípősség szintjét. A mintákat ezután addig hígították, amíg a csípősség már nem volt érzékelhető. Ezt a hígítást nevezik Scoville hőegységnek. Ez a vizsgálat szubjektív, és az ízlelőbizottság tagjai nem tudják meghatározni a mintában lévő egyes kapszaicinoidok mennyiségét. Ez a kóstolós módszer a modern folyadékkromatográfiás meghatározás elterjedésével már nem használatos. A kapszaicinoidok stabil alkaloidok, ezért jellemző, hogy hőmérséklet csak kismértékben befolyásolja, így főzés és fagyasztás során sem veszítenek mennyiségükből (Nagy 2018). A kapszaicin könnyen oldódik metanolban, etanolban, acetonban, kloroformban és lúgos vizes oldatban, de vízben azonban csak alig (Hayman és Kam 2008). Ma már az egyszerű, nagy teljesítményű folyadékkromatográfiás módszer terjedt el a kapszaicin és annak dihidro- és homoszármazékainak elválasztására és meghatározására fluoreszcens és tömegspektrometriás detektálással, izokratikus körülmények között (Daood et al. 2015).

A különböző kapszaicinoid komponensek különböző égő érzést okoznak a szájban. Ezek közül a vegyületek közül pedig a kapszaicin és a dihidrokapszaicin a legcsípősebb és a legnagyobb mennyiségben megtalálható vegyületek (Topuz és Ozdemir 2007). A TRPV1 (transient receptor potential vanilloid 1) egy nagypórusú kationcsatorna, amely a kapszaicin molekuláris érzékelőjeként működik. Amikor a kapszaicinoidok a TRPV1 receptorokhoz kötődnek, égő érzést és fájdalomérzetet váltanak ki (Tao et al. 2023).

2023 óta a világ legerősebb paprikája a Pepper X, csípőssége 2,693,000 Scoville egység (SHU), megelőzve a korábbi rekordert, a Carolina Reapert, melynek csípőssége 1,569,300 SHU volt (http3).

A kapszaicin jelentős figyelmet érdemel a pozitív farmakológiai hatásai miatt, de csak az elmúlt évtizedekben folytak kiterjedt kutatások a biológiai és élettani hatásuk meghatározására, például az antioxidáns (Chen et al. 2015), gyulladáscsökkentő (Kim et al. 2003), rákellenes (Lin et al. 2013; Meral et al. 2014), antibakteriális (Wang et al. 2019), a gyomornyálkahártya-védő (Park et al., 2000) és a zsír felhalmozódását megelőző hatásáról (Lee et al. 2013). Az elmúlt évek kutatásai kimutatták, hogy a kapszaicin képes gátolni a savkiválasztást, serkenteni a lúg- és nyálkakiválasztást, és különösen a gyomornyálkahártya véráramlását, ami segít megelőzni és gyógyítani a gyomorfekélyt (Yan et al. 2021). Azonban kapszaicin klinikai alkalmazását hátráltatja, hogy rossz a vízzoldékonysága (Al-Samydai et al. 2021), emellett erősen irritáló hatású, bőrön és a nyálkahártyákon fájdalmat, égő érzést okoz, még alacsony koncentrációban is (Bode és Dong 2011), ezért helyileg többnyire csak tapasz, krém és kenőcs formában alkalmazható (Mou et al. 2013). Ezért a kapszaicin oldhatóságának növelése és biológiai

hozzáférhetősége fontos kihívás lett a klinikai vizsgálatokban. Ennek érdekében különböző formulációkról, köztük micellák (Zhu et al. 2014), mikroemulziók (Tavano et al. 2011) és nanorészecskék (Desai et al. 2013) vizsgálatáról számoltak be. A különböző formulációk közül a liposzóma fontos lehet a biológiai hozzáférhetőség javításának és az irritáció enyhítésének szempontjából (Liu et al. 2013).

Bae et al. (2014) a legfontosabb bioaktív vegyületek, köztük az aszkorbinsav, a kapszaicinoidok, a flavonoidok és a fenolok tekintetében a fajta, a termesztési időszak és az érettségi szakasz között rendkívül szignifikáns kölcsönhatásokat figyeltek meg. Orrelana-Escobedo et al. (2013) chili paprikák kapszaicinoid tartalmát vizsgálta, és szintén megállapította, hogy a kapszaicinoid tartalmat a környezeti tényezők és a genetika is befolyásolhatja. Egy Észak-kelet Indiában végzett kutatás szerint a *Capsicum. chinense* genotípusok kapszaicintartalma volt a legmagasabb, ezt követte a *C. frutescens*, a *Capsicum pubescens*, majd a *C. annuum* különböző fajtái (Dubey et al. 2015). Souza et al. (2022) által vizsgált genotípusok eredményei nemcsak a kapszaicinoid-tartalomban, hanem a kapszantin és a dihidrokapszantin arányában is különböztek egymástól.

2.5.3 Karotinoidok

A karotinoidok természetes módon a növényekben, algákban, baktériumokban és gombákban található meg, az egyik legelőnyösebb vegyületnek tartják az emberi rákmegelőzés szempontjából, valamint táplálkozási értékük miatt (Kim et al. 2009). Pérez-Gálvez et al. (2003) szerint a karotinoidokban gazdag étrend egyértelműen összefüggésben áll a különböző krónikus betegségek kockázatának csökkentésével, mint például a szív- és érrendszeri betegségek, a rák egyes típusai és az időskori látásromlás.

A biológiai antioxidánsok két csoportba sorolhatók; a preventív antioxidánsok, amelyek a láncindító gyökök keletkezésének elfojtásával csökkentik a lipidperoxidáció megindulását, és a láncbontó antioxidánsok, amelyek a láncindító és/vagy láncterjesztő peroxidok csapdába ejtésével akadályozzák a láncok terjedését (Niki 1987). A karotinoidokat általában a megelőző antioxidánsok közé sorolják (Foote et al. 1970). A kapszantin, a kapszantin-5,6-epoxid és a kapszorubin a fő karotinoidok, amelyek kizárólag a *Capsicum* spp. piros terméseiben található meg. A többi jelentős karotinoid a lutein, zeaxantin, violaxantin, antheraxantin, β -kriptoxantin és β -karotin, amelyek az előbbieket előanyagaként működnek, és sárga, vagy narancssárga színben található. A lutein a zöld gyümölcsökben és zöldségekben jelen lévő karotinoidok egyike (Hornero-Méndez et al. 2000). Ez a pigment antioxidáns, antimutagén és antiproliferatív tulajdonságai révén bizonyítottan csökkenti az időskori súlyos látásromlásért felelős

szemfenéki meszesedés (Marse-Perlman et al. 2001), a szürkehályog (Gale et al. 2001), valamint a stroke, a szív- és érrendszeri betegségek és a rák kialakulásának kockázatát (Holick et al. 2002; Rafi et al. 2015; Trevithick-Sutton et al. 2006; Wang et al. 2006, 2013). A kapszantin a piros termésszínű paprikában található karotinoidok egyike (Topuz és Ozdemir 2007), melynek rákellenes (Donaldson 2004) és érlemeszesedés elleni megelőző hatása is ismert (Maoka et al. 2001; Sun et al. 2005). A kapszantin az összes paprikafajta fő karotinoid komponense, és az összes karotinoid-tartalom több mint 50%-át teszi ki (Mínguez-Mosquera és Hornero-Mendez 1994a, 1994b). A kapszantin, a többi xantofillhez hasonlóan, szintén funkcionális anyagnak tekinthető. Szerkezete 11 konjugált kettős kötést, egy konjugált ketocsoportot és egy ciklopentángyűrűt tartalmaz és a zöld fényt elnyelve visszavert vörös-narancsos árnyalatot ad (Chen et al. 1996). A termésérés során a kapszantin növeli a zsír oldékonyságát azáltal, hogy észteresedik a különböző zsírsavakkal monoészterek és diészterek formájában és az észterezett kapszantin hajlamos arra, hogy könnyebben felhalmozódik a paprikában, mint az észterezetlen kapszantin (Camara és Moneger 1978). Jarén-Galán és Mínguez-Mosquera (1999) szerint azonban a szabad kapszantin stabilabb, mint az észterezett kapszantin, Goda és munkatársai (Goda et al. 1997) szerint pedig a kapszantin stabilitását nem befolyásolja a zsírsavak észterezése. A kapszantin rövid láncú, telített zsírsavakkal észtereződik, mint például a laurinsav és mirisztinsav, míg a sárga xantofilok főként a foszforsavval észtereződnek. hosszú szénláncú zsírsavak, köztük telítetlen formák, mint például az olajsav és a linolsav (Kim et al. 2009).

A fűszerpaprika őrlemények pigmentstabilitása a feldolgozás során számos tényezőtől függ, mint például a fajtától, a nedvességtartalomtól, az érési stádiumtól, az őrlés előtti száraz bogyók minőségétől, a napfénynek való kitettségétől stb. (Biacs és Daood 1994). Mínguez-Mosquera et al. (1994b) megállapították, hogy szárítás és őrlés után a karotinoidok stabilitása csökkent, ezen kívül különböző szárítási módokat is vizsgáltak, ahol az eredményük szerint a szárítási mód nagyban befolyásolja a színstabilitást a tárolási idő alatt is. Ezzel ellentétes eredményt is sikerült kimutatniuk a Bola fajta esetében, ahol ugyanis a vörös pigmentek tartalma a feldolgozás során megnőtt, és a karotinoidok bioszintézisét különösen a szárítás során tudták kimutatni. Ez azt jelenti, hogy a szárítási folyamat nagyban befolyásolja a karotinoid tartalmat. Pérez-Gálvez et al. (2004) a karotinoidtartalom erőteljes növekedését figyelték meg a lassú szárítási (utóérlelési) folyamat modellezése során, és megállapították, hogy ezt a jelenséget az oxidatív hőstressz okozza. Pérez-Ambrocio et al. (2018) megfigyelése szerint a hűtés alatt és zárt csomagolásban tárolt Habanero paprika (*C. chinense*) a zöld színét károsodás nélkül megőrizte. A kék és az

UV-C fény a tárolás első napjaiban pedig serkentette a klorofilok és az összes karotinoid, a flavonoidok, fenolos vegyületek és a kapszaicin szintézisét, ezáltal az antioxidáns kapacitást is.

Számos kromatográfiás módon lehet a karotinoidokat a piros termésszínű paprikából kivonni és meghatározni. Ehhez Almela et al. (1991) a paprika kivonatok zsírsav-észterek lúgos hidrolízisét, és fordított fázisú adszorbenseket alkalmaztak. Mínguez-Mosquera és Hornero-Méndez (1993) pedig a hidrolizálatlan paprika kivonatok az egyes karotinoidokká frakcionálták fordított fázisú, analitikai méretű és gradienselúciós oszlopokon.

Magyarországon a fűszerpaprika egy hungarikum, amit kiváló étel színező képességének és különleges minőségének köszönhet. Ennek egyik legfontosabb mutatója az ASTA érték, amely a termék színezőanyag-tartalmát jelzi. Az ASTA (American Spice Trade Association) szabvány szerint meghatározott érték minél magasabb, annál intenzívebb a paprika színező képessége (Zatykó és Márkus 2006). A Magyar Élelmiszerkönyv 2-8720 irányelve alapján a fűszerpaprika őrlemények minőségi besorolása az ASTA értékek szerint az alábbiak szerint alakul: különleges fűszerpaprika őrlemény: 130 ASTA felett, csemege fűszerpaprika őrlemény: 110-129 ASTA között, édesnemes fűszerpaprika őrlemény: 100-109 ASTA között, rózsza fűszerpaprika őrlemény: 60-99 ASTA között van (Hovorkáné 2007). A paprika fajtája és a termesztési módok jelentősen befolyásolják az ASTA értéket, azonban az minden esetben elmondható, hogy a festéktartalomnak a mennyisége az utóérlelés során jelentősen növekedhet, így az utóérlelt termékek kiváló minőségű őrlemények előállítására alkalmasak (Koncsek 2020). A hazai fűszerpaprika fajták ASTA értékei általában meghaladják a szabványban előírt minimumot. Ugyanakkor a külföldi termékek színezéktartalma gyakran magasabb, ami miatt ezeket gyakran keverik a hazai termékekkel a színmélység növelése érdekében (Csóka 2014).

2.5.4 C-vitamin

Az aszkorbát emlősökben betöltött szerepét az idők során alaposan tanulmányozták, különösen a 18. század utáni időszakban. Ez azonban akkor még nem volt nyilvánvaló, mivel az aszkorbát hiánya az étrendben körülbelül egy hónapig tart, mielőtt a tünetek jelentkeznek. Így ez a betegség jellemzően hosszú tengeri utazások során jelentkezett, friss zöldségekben és gyümölcsökben szűkös étrenddel (Baron 2009). A C-vitamint a huszadik század elején azonosították egy olyan anyag keresése során, amelynek hiánya skorbutot okozna (Hemilä 2006). Szent-Györgyi Albert volt az, aki először vonta ki paprikából ezt a vitamint. A C-vitamin az ember számára nélkülözhetetlen mikrotápanyag, pleiotróp funkciói az elektronadó képességével kapcsolatosak. Erőteljes antioxidáns, és egy bioszintetikus és génszabályozó enzimes család kofaktora. Hozzájárul az immunvédelemhez azáltal, hogy támogatja a

veleszületett és az adaptív immunrendszer különböző sejtfunkcióit, valamint támogatja a kórokozókkal szembeni hámvédő funkciót (Carr és Maggini, 2017).

Az aszkorbinsav létfontosságú, mindenütt jelenlévő anyag az életfolyamatokban. Minden élő szervezet vagy maga állítja elő, vagy a táplálékával jut hozzá, máskülönben elpusztul (Stone, 1972). Egy közepes méretű zöldpaprika bogyó a C-vitamin ajánlott napi adagjának 180%-át is tartalmazhatja, ami kb. 90 mg (Baenas et al. 2019). Bár az ajánlott napi C-vitamin szükséglet országonként változó, az Egyesült Államokban és Kanadában férfiak és nők esetében 90 mg és 75 mg/nap (Fenech et al. 2019). A C-vitamin ajánlott bevitelét Acharya et al. (2023) felnőtteknél valamivel magasabb, 110 mg/nap mennyiségben állapította meg, valamint ennek a vitaminnak a hiánya 8-12 hetes elégtelen bevitel után már tünetekkel jelentkezik.

A C-vitamin az egészséges anyagcsere-folyamatokban is fontos szerepet tölt be. Metabolikus szindrómában (MetS) – mely állapotot elhízás, magas vérnyomás, emelkedett vércukor- és trigliceridszint, valamint alacsony HDL-koleszterin jellemez – gyakran alacsonyabb a C-vitamin szintje a szervezetben (Wong et al. 2020). A C-vitamin az idegrendszerben is létfontosságú szerepet játszik. Az agyban magas koncentrációban van jelen, különösen az idegsejtekben és a neuroendokrin szövetekben, mivel számos idegéletti folyamat függ tőle. Részt vesz a neurotranszmitterek (pl. noradrenalin) szintézisében, valamint az idegsejtek differenciálódásában és érésében. Legfontosabb szerepe az agyban az erős antioxidáns védelem: az aszkorbinsav képes közömbösíteni a reaktív oxigén- és nitrogénygyököket, ezzel óvva az idegsejteket az oxidatív stressztől (Kocot et al. 2017).

A C-vitaminról ismert, hogy kulcsszerepet játszik a kollagén, a test egyik legfontosabb szerkezeti fehérjéjének fenntartásában (Levin 1986), a sebek gyógyulási folyamatában (Naidu 2003; Shukla 1969), a zsírsavszállításban és az energiatermelésben (Hulse et al. 1978), a vas felszívódásában (Hallberg 1981), valamint a megfázás megelőzésében vagy enyhítésében (Pauling 1970). Nincs egyértelmű bizonyíték, de feltehető, hogy a C-vitaminnak szerepe van a szív- és érrendszeri betegségek, valamint bizonyos rákos megbetegedések kockázatának csökkentésében (Naidu 2003). Továbbá a C-vitamin táplálékkal vagy étrend-kiegészítőkkal történő bevitele növelheti a vas biológiai hozzáférhetőségét (Davidsson et al. 1994, Morelli et al. 2020).

Daood et al. (1989) szerint a paprika termésérése szín alapján öt fázisra osztható. Az első szakaszban (zöld termésszín) alacsony mennyiségű aszkorbinsav, tokoferol és β -karotin található, melyek közül az aszkorbinsav volt a domináns antioxidáns, ugyanakkor a tokoferol

és a β -karotin is antioxidáns hatással rendelkezik. A 2. és 4. szakasz között az antioxidáns vegyületek koncentrációja viszonylag állandó szinten maradt, majd az érés utáni szakaszban ezeknek a vegyületeknek a mennyisége csökkenést mutatott. Lekala et al. (2019) vizsgálatai szerint a paprikafajták és a termesztési környezeti feltételek kölcsönhatása a különböző antioxidáns összetevők felhalmozódására hatással volt. Megállapították, hogy a szabályozott hőmérsékletű fóliasátorban történő termesztés magasabb terméshozamot eredményezett és elősegítette a karotinoidok és a C-vitamin felhalmozódását. A betakarítás előtti tényezők közül a fényintenzitás és a hőmérséklet a legfontosabbak a termés végső C-vitamin-tartalmának meghatározásában (Lee és Kader 2000). Ezen kívül a termesztési módok és körülmények szintén befolyásolják a C-vitamin mennyiségét. Például a szabadföldön termesztett paprikák C-vitamin- és szárazanyag-tartalma szignifikánsan magasabb lehet, mint a növényházban nevelt növényeké. Illetve az ökológiai termesztésű paprikák C-vitamin-tartalma is magasabb a hagyományos módszerekkel termesztettekhez képest (Nagy 2018), de ezt Elmann et al. (2016) vitatják.

2.5.5 Tokoferolok

A tokoferolok az E-vitamin családjába tartozó szerves vegyületek egy osztályát alkotják. Erős antioxidáns tulajdonságai miatt gyakran tanulmányozták az α -tokoferol hatását az oxidatív stresszel összefüggésbe hozható krónikus betegségek megelőzésében, és jótékony hatásait is bizonyították (Brigelius-Flohé és Traber 1999). A tokoferolok négy fő formában fordulnak elő: alfa (α), béta (β), gamma (γ) és delta (δ) tokoferol formájában. A négy tokoferol forma közötti különbséget a metilcsoportok száma és elhelyezkedése adja a gyűrűn (Elmadfa és Wagner 2003). Például az α -tokoferol három metilcsoporttal teljesen metilált, míg a γ -tokoferol csak két metilcsoportot tartalmaz (Ju et al. 2009). A négy tokoferol és négy tokotrienol közül azonban csak az α -tokoferol felel meg az emberi E-vitamin-szükségletnek. Annak ellenére, hogy ezeknek az E-vitaminoknak mindegyike hasonló antioxidáns funkcióval rendelkezik, a nem- α -tokoferolokat rosszul ismeri fel a máj α -tokoferol transzfer fehérjéje (Traber és Atkinson 2007).

A tokoferolok fizikai-kémiai tulajdonságaira jellemző a stabilitás: hő hatására kevésbé bomlékonyak, és még élelmiszerfeldolgozás során is nagyrészt megőrzik antioxidáns aktivitásukat (Elmadfa és Wagner 2003). Baenas et al. (2019) szerint C- és E-vitaminok különösen magas antioxidáns aktivitással rendelkeznek, csökkentik a szabad gyökök szintjét és elfojtják a peroxidációs reakciókat az emberi szervezetben, és ezáltal csökkentik a szív- és érrendszeri betegségek és a rák bizonyos fajtáinak kialakulását. A tokoferolok kémiai szerkezetük révén láncmegszakító antioxidánsként működnek a sejtmembránokban. További

védekezési mechanizmusként a szervezetben jelen levő egyéb antioxidánsok - például a C-vitamin - képesek regenerálni az oxidálódott tokoferolt: az aszkorbát elektronátadás útján visszaalakítja a tokoferil gyököt aktív tokoferollá (Traber és Stevens 2011). A tokoferolok antioxidáns hatásán túl további biológiai funkciókat is ellátnak. Szerepük van a génszabályozó folyamatokban, például gátolják bizonyos gyulladásos útvonalak aktiválódását. Kísérletek adatai szerint az α -tokoferol képes csökkenteni a tumor nekrosis faktor hatására indukált gyulladásos citokinek expresszióját (Ungurianu et al. 2021). A tokoferolokat nemcsak emberi élelmiszerekben, hanem az állati takarmányozásban is alkalmazzák: pl.: az állatok étrendjét E-vitaminnal kiegészítve, az javul a hús minősége, mivel késlelteti a hús feldolgozás utáni oxidatív romlását (frissen tartja a színt és az ízt). A marha- vagy baromfitakarmány E-vitamin-kiegészítése bizonyítottan megőrzi a hús élénk színét és csökkenti az avas mellékíz kialakulását, mivel a tokoferolok védnek a zsírban gazdag szövetek oxidációja ellen (Delgado et al. 2020). A kozmetikai ipar is előszeretettel használ tokoferolokat és származékaikat (pl. tokoferil-acetát). Mivel a tokoferolok antioxidánsként védik a zsíros fázisú komponenseket az oxidációtól, krémekhez, bőrápoló szerekhez adják őket, hogy növeljék a termék stabilitását (megakadályozzák az összetevők avasodását), egyúttal a bőrre is jótékony hatást tulajdonítanak nekik (hidratáló, védő funkció) (Singh és Seed 2023). Kiemelendő, hogy az E-vitamin esetében nincs egyetlen specifikus hiánybetegség, amely olyan jellegzetes lenne, mint pl. a skorbut a C-vitaminnál, de súlyos tokoferol hiány esetén komoly tünetek jelentkeznek, ami rávilágít a vitamin szerepére. Az E-vitamin-hiány elsősorban olyan állapotokban fordul elő, ahol a zsírfelszívódás zavart (mivel az E-vitamin zsírban oldódik): ide tartoznak a krónikus hasnyálmirigy-gyulladás, cisztás fibrózis, epepangás, vagy vékonybél-betegségek. A legkomolyabb hiánytünetek az idegrendszeri károsodások: az E-vitamin-hiány jellegzetesen perifériás neuropátiát okoz, mely az idegek károsodásával jár és érzészavarokban, izomgyengeségben és egyensúlyzavarban nyilvánul meg (Traber és Stevens 2011).

Az emberi táplálkozás szempontjából Osuna-García et al. (1998) eredményei megerősítik, hogy a chilipaprika gazdag E-vitamin-forrás. A pirosra érett, száraz chili α -tokoferol szintje a spenótéval (22,5 mg/100 g) és a spárgáéval (26 mg/100 g) egyezik meg száraz tömegre számítva, de négyszer magasabb, mint a paradicsomé (6 mg/100 g) (Booth és Bradford, 1963). Gnayfeed et al. (2001) különböző paprikák vizsgálata során a legmagasabb E-vitamin-értéket a Szegedi 178-ban mérték, amely az érés piros szakaszában tartalmazta a legmagasabb α -tokoferol-tartalmat.

3. ANYAG ÉS MÓDSZER

3.1 A kísérleti körülmények

A kísérletet a lakóhelyemen, az **1. ábrán** látható területen, Pusztaföldváron (Békés vármegye) végeztem szabadföldi körülmények között a 2022 és 2023-as években. GPS koordináták: 46.535054, 20.800754. Blokk: EJYT5-8-17, Hrsz: 117.



1. ábra. A terület elhelyezkedése. Forrás: [http4].

A terület talaja réti csernozjom talaj. A 2022-es és 2023-as évi talajvizsgálati eredmények a **Függelék 1. és 2. táblázatban** látható. Évente nagyjából 2000 óra napsütés várható, ebből nyáron 810-820, télen 190-200. A középhőmérséklet sok évi átlaga: 10,5-10,6 °C. A tenyészidőszak átlaghőmérséklete 17,1-17,6 °C. A csapadék átlaga 550–600 mm, a vegetációs időszakban 340–350 mm. Leggyakoribb szélirány az északi és a nyugati. A termesztéshez nem alkalmaztam talajtakarást és mulcsot sem. A kísérletet randomizált blokk elrendezésben állítottam be, minden fajta esetében négy ismétléssel.

Négy különböző mértékben csípős paprikát választottam a kísérlethez, mind a két évben ezeket termesztettem és vizsgáltam: Bhut jolokia (*Capsicum chinense* x *Capsicum frutescens*) chili paprika, Cserkó (*Capsicum annuum* L. var. *cerasiforme*) cseresznyepaprika, Szegedi 178 (*Capsicum annuum* L. var. *longum grossum*) fűszerpaprika és Rekord (*Capsicum annuum* L.) étkezési paprika (**2. ábra**).



2. ábra. Rekord paprika fajta 2023 júliusában.

A palántanevelés egy alacsony légterű, dupla falú fóliasátorban történt, amiben fűtési lehetőség is volt. A vetéshez 37x37x40 mm lyukméretű szaporítótálcát használtam, amit előzőleg 10 %-os HYPO-val fertőtlenítettem. A magvetéshez Kekkila DSM 3W (Kekkila-BVB, Vantaa, Finnország) tőzegföldet használtam, majd 2022-ben március 13-án vettem el a magokat, 2023-ban pedig március 12-én. A Kekkila tőzeg 70% barna *Sphagnum*-moha tőzeg és 30% érett, sötét *Sphagnum*-moha tőzeg keverékét tartalmazza, mely 0-6 mm szemcseméretű, 1,5 kg/m³ KS1 (15.12.29+Me) starter műtrágyát tartalmaz és 5.9 pH-val rendelkezik. Közvetlenül a magvetés után végeztem el a palántadőlés elleni beöntözést Lalstop K61 WP (korábban Mycostop) gombaölő szerrel. A vetést vékony fóliával letakartam. Az öntözést kelés után hetente két- három alkalommal végeztem. Az első lomblevelek megjelenése után Solinure 7 high N (N:P:K – 24:12:12) műtrágyával öntöztem a palántákat hetente egyszer, szuperfoszfát kiegészítéssel (Timac Agro Hungária, Budapest, P₂O₅: 18 %, CaO: 8 %, S: 12 %).

A kiültetés 2022-ben május 13-án, 2023-ban pedig május 7-én történt. A vizsgálat fajtánként 30 növényen, négy ismétlésben zajlott, így összesen 480 növény került értékelésre. A sortávolság 90 cm, a tőtávolság 30 cm volt, a termesztés során csepegtető öntözés került alkalmazásra. (**3. ábra**).



3. ábra. A kiültetett állomány 2023 júniusában.

A vizet és a tápanyagokat tartályból egy Leo XJWm 90/46 (LEO Group Co., Kft., Zhejiang, Kína) elektromos szivattyú segítségével juttattam ki, melynek maximális teljesítménye 80 liter percenként.

A tápelem utánpótlást a termesztési időszakban a Solinure 5 General purpose (ICL Group Kft., Tel-Aviv, Izrael) komplex műtrágyával végeztem, mely kiváló víz-oldékonysággal rendelkezik. 20% a teljes nitrogén (N) (4,4% nitrát nitrogén; 3,4% ammóniumnitrát; 12,2% karbamid nitrogén), 20 % foszfor pentoxid (P_2O_5), 20,0 % P_2O_5 , 20 % a kálium oxid (K_2O) tartalma. Mikroelemek közül 0,01 % bór (B), 0,010 % réz (Cu), 0,06 % vas (Fe), 0,05 % mangán (Mn), 0,005 % molibdén (Mo), 0,022 % cink (Zn) tartalma. Virágzás utáni időszakban Haifa MKP műtrágyával egészítettem ki a tápoldatot, amely 52% P_2O_5 és 34% K_2O -t tartalmaz. További mikroelem kiegészítésh Tradecorp Bentley (Trade Corporation International S.A.U., Madrid, Spanyolország) mikroelem műtrágyával történt, amely 5,9 % vas (Fe), 3 % mangán (Mn), 1,4 % bór (B), 0,47 % réz (Cu), 0,7 % cink (Zn), 0,2 % molibdén (Mo) és 0,02 % kobalt (Co) tartalommal rendelkezett. Mivel a paprika nagyon érzékeny a kalcium mennyiségére, ezért Fitohorm Ca 40 (FitoHorm Kft., Baja, Magyarország) kalcium oldatot használtam (N: 12 %, CaO: 21 %) lombtrágya formájában. A Solinure 5 G volt a termesztés során az alap műtrágya, melyet 1,5 kg/1000 liter mennyiségben juttattam ki. A Tradecorp Bentley-t 50g/1000 liter, a Haifa MKP-t (Haifa Chemicals Kft., Matam-Haifa, Izrael) 1 kg/1000 liter juttattam ki, valamint még 250ml/1000 liter salétromsavat a megfelelő pH érték fenntartásáért. A tápoldat pH értéke átlagosan 5,5-6 között volt, az EC pedig 2-3mS/cm. Az öntözések gyakoriságát és időtartamát minden esetben a növények igényeihez igazítottam.

3.2 Meteorológiai adatok, mérések

A csapadékot (**13. ábra, Függelék 4. és 5. ábra**), a minimum és a maximum hőmérsékletet (**Függelék 1. és 2. ábra**), valamint a napsugárzás intenzitását (**Függelék 3. ábra**) (Voltcraft LX-10, Conrad Electronic Ltd., Hirschau, Németország) minden nap a déli órákban mértem a virágzás kezdetétől. Az öntözővíz, tápoldat és talaj pH értékét Milwaukee PH600 (Milwaukee Electronics Ltd., Szeged, Magyarország) műszerrel mértem, az EC értékét pedig Adwa AD32-vel (Labornite Ltd., Debrecen, Magyarország), heti egy alkalommal.

3.3. Vizsgált fajták jellemzése

A Bhut Jolokia chili paprikák 6-8 cm hosszúak és 2-3 cm szélesek. Érett bogyója piros színű, vékony húsú felülete göcsörtös [http5]. Indiában is, különösen az északkeleti államokban, a Bhut jolokia (Ghost Chili, *C. chinense* x *Capsicum frutescens*), az egyik legmagasabb csípősséget tartalmazó *Capsicum* faj, amely természetes úton fejlődött ki (Guinness Book of World Records, 2006 http2), az őslakosok hagyományosan használják különböző emberi betegségek, például fejfájás, éjszakai vakság, reuma, ízületi gyulladás, gyomorhurut, gerincferdülés és emésztési betegségek kezelésére (Meghvansi et al. 2010). Sarpras et al. (2019) a Bhut Jolokia fajta esetében a makroelemek szignifikánsan magasabb szintjét figyelték meg a bogyófejlődés érett szakaszaiban, míg a *C. frutescens* termésének minden szakaszában változó mértékben voltak jelen ezek az elemek. Ezzel szemben a *C. annuum* termésének éretlen szakaszában magasabb volt a makroelemek szintje, az érett termésekhez képest. A Bhut Jolokia levélfelülete a többi *C. chinense*-fajtához hasonlóan jellegzetesen ráncos, a termés csípőssége 1 001 304 SHU (Bosland és Baral 2007). Sanatombi és Sharma (2008) szerint ez egy rendkívül csípős chili, egyedi ízzel és aromával, amiből csípős szószokat készítenek. Az általa meghatározott kapszaicin tartalom e fajta esetében tömegszázalékban kifejezve 2,06 volt. C-vitamin tartalma pedig 140mg/100g termés (Kantar et al. 2016).

A Cserkő cseresznyepaprika termése gömb (cseresznye) alakú 3,0-3,5cm magas, 3,5-4,0cm széles, sötétzöldből mélypirosra érő, erős kocsányú, 30-35g átlagtömegű cseresznyepaprika. Húsvastagsága 1,5- 2,0mm, erősen csípős fajta [http6].

A Szegedi 178 fűszerpaprika csüngő termésállású, csípős fűszerpaprika fajta. Bogyója az erek mentén kissé lapított, enyhén behorpadó. Élénkpiros termése kb. 10-12 cm hosszú. A ZKI-Vetőmag Kereskedelmi Kft. ezt a fajtát csípős őrlemény és paprikakrém készítésére is alkalmasnak tartja [http7]. Gnayfeed et al. (2001) vizsgálta paprika fajták karotinoid és α -tokoferol tartalmát, ahol a legmagasabb értékeket a Szegedi 178 fajtánál mérték.

A **Rekord étkezési paprika** egy folytonnövő, hegyes, rendkívül bőtermő csípős étkezési paprika fajta. Bogyója csüngő állású, 18-21 g átlagtömegű, világoszöldből pirosra érik [http8].

3.4 Betakarítás, minták előkészítése

A betakarítás két alkalommal történt mind a két évben. 2022-ben szeptember 8-án és 20-án, 2023-ban pedig augusztus 30-án és szeptember 16-án. A betakarítás minden fajta esetében teljes biológiai érettségben történt. Minden fajta terméséből ismétlésenként legalább 400 gramm lett begyűjtve a vizsgálat céljából. Minden leszedett mintát egy hétig tároltam ládában, szellős helyen, ahogyan azt Banaras et al. (2005) ajánlották, akik megfigyelték, hogy a betakarítás utáni színfejlődés meglehetősen magas volt három napos 20°C-on történő tárolás után, mivel az élettani folyamatok (transzspiráció, légzés, etiléntermelés) 20°C-on viszonylag gyorsak voltak, és fokozták a gyümölcs érését. Emellett Kan et al. (2007) 14 napos tárolás után magasabb karotinoidtartalmat mértek. Gao et al. (2022) azt vizsgálták, hogy a paprika karotinoidtartalma 20°C-on és 30°C-on 24 és 48 óra elteltével megnőtt. A mintákat ez után ketté vágtam és a Szegedi Tudományegyetem, mezőgazdasági Kar szárítószekrényében (Memmert UF55, Memmert GmbH + Co. KG, Schwabach, Németország) szárítottam 24 órán keresztül 60°C-on. Ez a hőmérséklet optimális a szín és egyéb tartalmak megőrzéséhez. Vega-Gálvez et al. (2009) megfigyelték, hogy a 90 °C-os légszáritási hőmérsékleten volt a legalacsonyabb a színérték, 70 °C-on pedig a legmagasabb. A teljesen száraz mintákat szobahőmérsékleten való lehűlés után vákuumfóliáztam. Közvetlenül az analitikai mérések előtt daráltam le a mintákat (Bosch KM13, Robert Bosch GmbH, München, Németország).

3.5 Analitikai mérések

Az elemzésekhez használt összes analitikai minőségű oldószert és vegyszert, valamint HPLC-MS minőségű szerves oldószert a VWR-től (Debrecen, Magyarország) lettek beszerezve. Az anyagok koncentrációja a következő volt: zeaxantin 95%, β -karotin 93%, 8- β -apo-carotenalt 96%, D- α -tokoferol 95 %. 5% (α -Toc), γ -tokoferol 96% (γ -Toc), D- α -tokoferol-acetát 96% (α -TocEs) és β -tokoferol 50 mg/ml (β -Toc), melyek a Sigma-Aldrich-től a Merck-en keresztül lettek beszerezve (Budapest, Magyarország). Az α -tokoferol kinont (α -TocQ) és annak redukált formáját (α -TocHQ) standard α -Toc-ból állítottuk elő FeCl_3 -dal történő oxidációval, majd NaBH_4 -del történő redukcióval etanolban Kruk et al. (2008) szerint.

A vizsgálatokhoz használt HPLC készülék (Hitachi Chromaster, Japán) részei: grádiens pumpa (Model 5110 Pump), automata injektor (Model 5210 Auto Sampler), diódasoros detektor (Model 5430 Diode Array) és fluoreszcens detektor (Model Fluorescens). A készülék

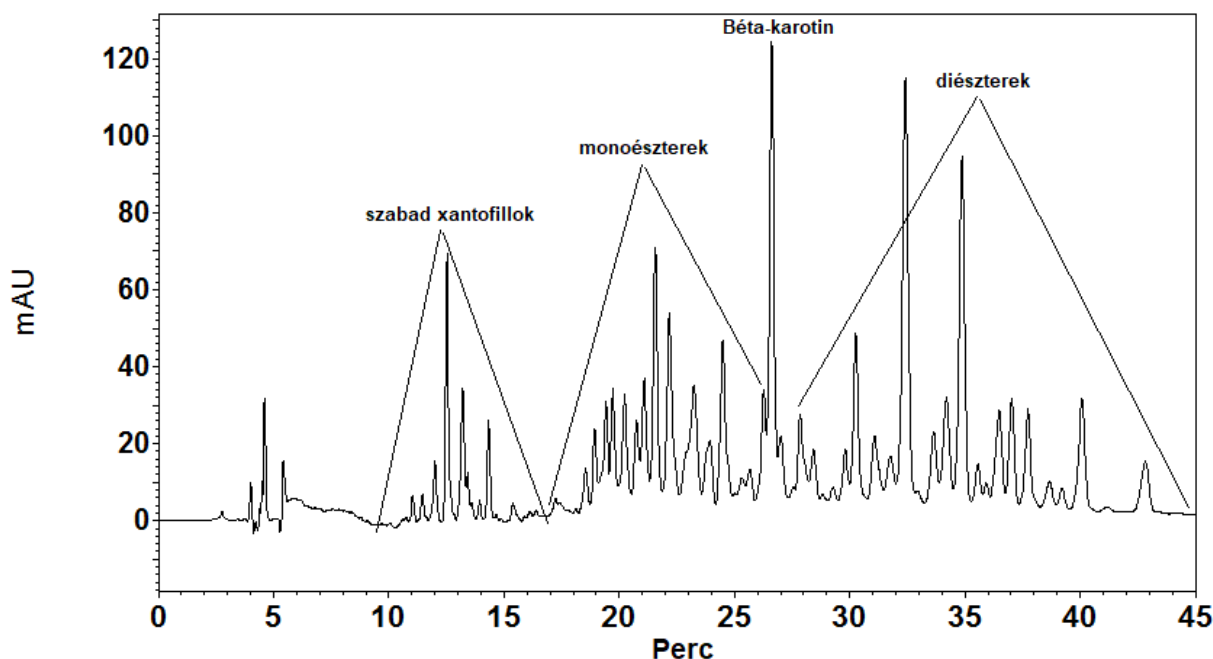
működtetése majd a kromatogramok értékelése EZChrome Elite Software segítségével valósult meg.

3.5.1 Karotinoidok és tokoferolok mérése

A zsírban oldódó karotinoidokat és tokoferolokat őrölt paprikamintákból vontuk ki egy korábbi protokoll szerint (Daood et al. 2014). Fél gramm jól homogenizált mintát 50 ml 1:1:2: metanol-aceton-diklóretán 1:1:2 arányú keverékének hozzáadásával extraháltunk, kézi rázással, szobahőmérsékleten 15 percig. Az elegyet ezután szűrőpapíron keresztül kerek lombikba szűrtük. Az oldószert vákuumos párologtatóval (PRO-400, Vacuubrand, Németország) 40 °C-on szárazra pároltuk. A maradékot ezután újra feloldottuk 10 ml 55:18:24 metanol-2-propanol-acetonitril keverékben. A 0065 traktumot a HPLC-analízis előtt tovább tisztítottuk egy hidrofób PTFE, 0,22 μ m, 13 mm-es fecskendőszűrőn keresztül.

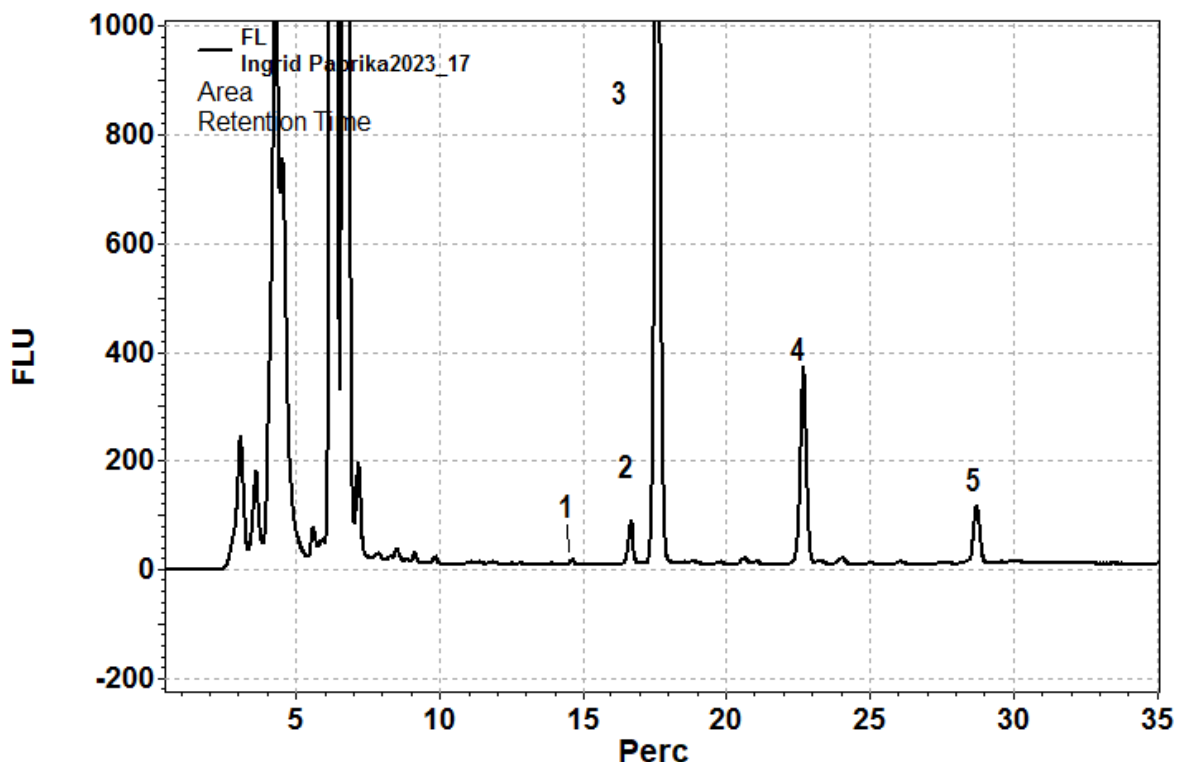
A karotinoidok és a tokoferolok egyidejű HPLC-meghatározását fordított fázisú Nucleodur 100, 3 μ m, 240 x 4,6 mm-es oszlopon végeztük 8% víz-metanolban (A) és 10:35:55 metanol-acetonitril-2-propanol keverékének gradiens elúciójával 0,7 ml/perc áramlási sebességgel. Az egyidejű detektáláshoz a DAD- és a fluoreszcens detektorokat egyazon futtatásban működtettük.

A karotinoidok LC-DAD-MS/MS azonosítását egy Waters Acquity I-osztályú UPLC-rendszerrel végeztük, amelyhez egy Waters Xevo TQ-XS MS/MS-t csatlakoztattunk, Duah et al. (2021a) részletes leírásai szerint. A karotinoidok és a tokoferolok egyidejű HPLC-meghatározását fordított fázisú Nucleodur 100, 3 μ m, 240 x 4,6 mm-es oszlopon végeztük 8% víz-metanolban (A) és 10:35:55 metanol-acetonitril-2-propanol keverékének gradiens elúciójával 0,7 ml/perc áramlási sebességgel. Az egyidejű detektáláshoz a DAD- és a fluoreszcens detektorokat egyazon futtatásban működtettük. A karotinoidokat 225 és 600 nm között detektáltuk (**4. ábra**). A csúcsokat a spektrumtulajdonságaik, tömegspektrumuk (protonált ionok m/z értékei) és retenciós idejük irodalmi adatokkal való összehasonlításával azonosítottuk (Schweiggert et al. 2007; Bonaccrosi et al. 2016). Továbbá a cisz-izomereket a 340 és 362 nm közötti további abszorpciós maximum megjelenése, valamint a Q-arány értéke alapján azonosítottuk (Gupta et al. 2015; Schieber és Carle, 2005). A **Függelék 9. táblázat** összefoglalja, mely karotinoid csoportba mely vegyületek tartoznak.



4. ábra. A vizsgált paprika minták karotinoidjainak HPLC profilja, amelyet C-18, 3 μ , 250 x 4.6 oszlopon választottunk szét, acetonitril-izopropanol gradiens eluálásával metanol-víz oldószerben, 0,7 ml/perc áramlási sebességgel. A detektálás DAD segítségével 190-600 nm hullámhosszon történt. A x-tengely a retenciós időt mutatja (perc), az y-tengely a csúcsterület amplitudóját.

A tokoferolokat Em:295 nm és Ex: 325 nm között detektáltuk (**5. ábra**). A csúcsokat a spektrumtulajdonságaik, tömegspektrumuk (protonált ionok m/z értékei) és retenciós idejük irodalmi adatokkal való összehasonlításával azonosítottuk (Schweiggert et al. 2007; Bonaccrosi et al. 2016). A tokoferolokat a felhasznált vegyszereknél leírt külső standard anyagok alapján azonosítottuk.



5. ábra. A Bhut Jolokia fajta tokoferoljainak HPLC profilja, amelyet C-18, 3 μ , 250 x 4.6 oszlopon választottunk szét, acetonitril-izopropanol gradiens eluálásával metanol-víz oldószerben, 0,7 ml/perc áramlási sebességgel. A detektálás FL detektorral történt Ex: 295 nm és Em: 325 nm hullámhosszon.

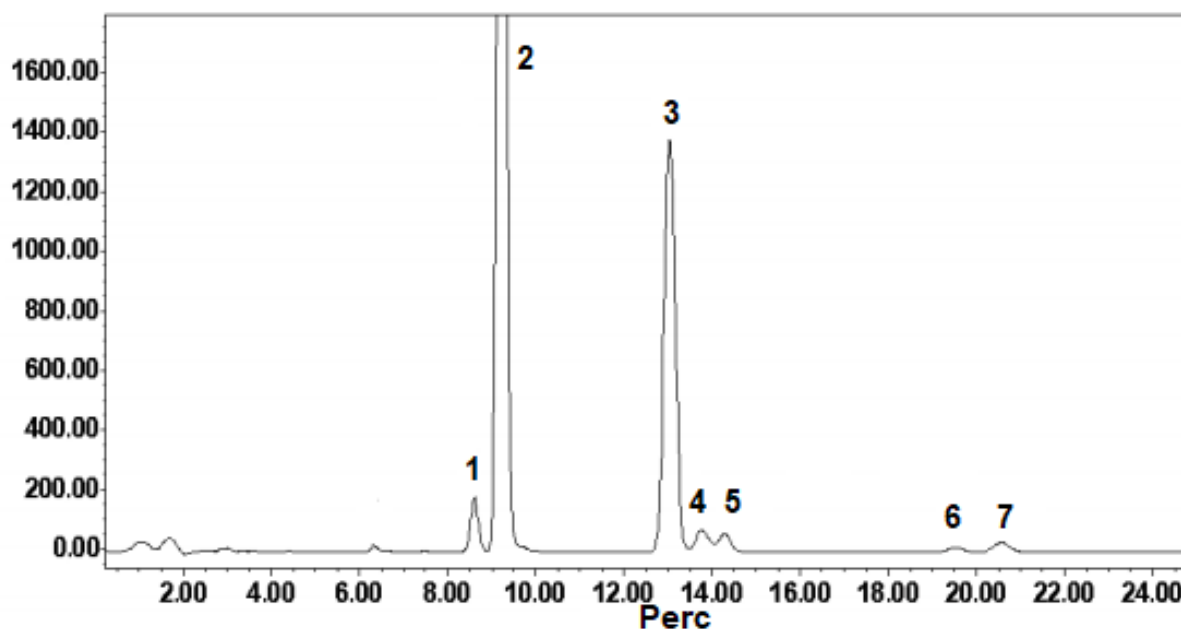
3.5.2 Kapszaicinoidok mérése

A kapszaicinoid-tartalom meghatározásához minden mintából 0,5 g jól homogenizált őrleményt mértünk ki egy Erlenmeyer-lombikba, majd 50 ml HPLC minőségű metanolt adtunk hozzá. A lombikokat egy 300 rpm fordulatszámú mechanikus forgó rázógépbbe (GFL 3005, LAUDA DR. R. WOBSE GMBH & CO. KG, Lauda-Königshofen, Németország) helyeztük 20 percre, majd 5 percen keresztül ultrahangos kezelésnek vetettük alá egy Raypa (Barcelona, Spanyolország) vízfürdős ultrahangos készülék segítségével. A mintákat ezután 0,45 μ m pórusméretű Whatman no.1 szűrőpapíron (Dassel, Németország) átszűrtük.

A szűrt kivonatokat tízszeres hígítással tovább tisztítottuk HPLC minőségű metanollal, majd Chromofil hidrofób PTFE fecskendőszűrőn átengedve készítettük elő a HPLC műszerbe való injektálásra.

A kapszaicinoid kivonatokat egyedi vegyületekre választottuk szét Purospher Star C18, 2,7 μm , 125 mm fordított fázisú oszlopon (Merck Life and Science Kft., Budapest, Magyarország), izokratikus eluálással 48:52 arányú víz–acetonitril elegyben, 0,7 ml/perc áramlási sebességgel, Daood et al. (2015) korábbi tanulmányának módszerét követve. A kapszaicinoidokat fluoreszcens detektorral (Merck Hitachi, Darmstadt, Németország) Ex: 285 nm és Em: 320 nm hullámhossz mellett detektáltuk. Az eluenseket retenciós idejük és egy korábban leírt HPLC-MS/MS protokoll (Daood et al. 2015) alapján azonosítottuk (6. ábra).

A mennyiségi meghatározás a Sigma-Aldrich által biztosított standard nordihidrokapszaicin, kapszaicin és dihidrokapszaicin kalibrációja alapján történt, amelyet a Merckgroup Life and Science Kft. (Budapest, Magyarország) forgalmazott.



6. ábra. A kapszaicinoidok HPLC profilja, amelyet Purospher Star oszlopon választottunk szét víz–acetonitril izokratikus eluálásával. Az x-tengely jelöli a retenciós időt (perc), az y-tengely pedig a csúcsterület amplitudóját. 1: NDC, 2: CAP, 3: DC, 4: HCAP-1, 5: HCAP-2, 6: HDC-1, 7: HDC-2.

3.5.4 C-vitamin mérése

A C-vitamin-tartalom meghatározásához minden mintából 0,5 g paprika őrleményt mértünk ki egy dugóval lezárt lombikba, majd 30 ml lehűtött 3%-os metafoszforsavat adtunk hozzá. A keverékeket egy 300 rpm fordulatszámú mechanikus forgó rázógépből (GFL 3005, LAUDA DR. R. WOBSE & CO. KG, Lauda-Königshofen, Németország) ráztuk 20 percen

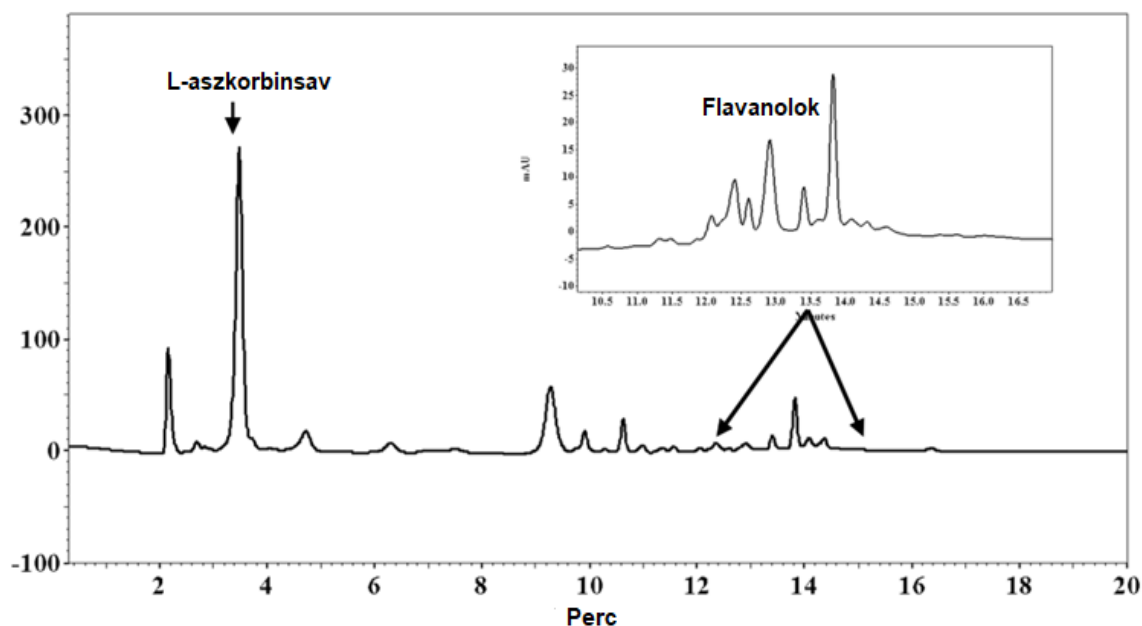
keresztül. Ezután a keverékeket centrifugacsövekbe öntöttük, és 5000 g-n centrifugáltuk 5 percen keresztül. Az így kapott felülúszót egy 0,22 μm pórusméretű, 25 mm-es nejlon fecskendőszűrőn átszűrve tisztítottuk meg, majd injektáltuk a HPLC készülékbe.

Az L-aszkorbinsavat (C-vitamin) a többi szerves savtól és poláris fenolos vegyülettől egy Nautilus C18 aqua, 3 μm , 150 mm-es oszlopon (Machery Nagel, Darmstadt, Németország) választottuk el, ahol gradiens eluálást alkalmaztunk acetonitrillel, 0,01 M kálium-dihidrogén-foszfát pufferben, 0,7 ml/perc áramlási sebességgel. A detektálás 244 nm hullámhosszon történt diódás soros detektor (DAD) segítségével. Az L-aszkorbinsavat a mintacsúcs retenciós idejének és spektrális jellemzőinek összehasonlításával azonosítottuk (**7. ábra**) egy szabványos anyaggal (Sigma-Aldrich, a Merckgroup Life Science Kft. forgalmazásában, Budapest, Magyarország), amely alapján standard görbét készítettünk a mennyiségi meghatározáshoz.

A Hitachi Chromaster műszert használtuk, amely tartalmazta a Model 5440 dióda soros detektort, a Model 5210 automata mintavevőt, a Model 5440 fluoreszcens detektort és a Model 5110 gradiens pumpát. A műszer üzemeltetéséhez és a kromatogramok kiértékeléséhez az EZChrome Elite Software 3.5.1 szoftvert használtuk.

Az LC-MS/MS analízist egy Agilent 1100 HPLC rendszeren végeztük, amely tartalmazott egy gáztelenítőt (G1322A), egy bináris pumpát (G1312A), egy automata mintavevőt (G1313A), egy oszloptermosztátot (G1316A) és egy fluoreszcens detektort (G1314A). A tömegspektrometriás detektálást egy Applied Biosystems API 2000 tripla kvadрупól műszerrel hajtottuk végre. Az adatrögzítés és kiértékelés az SCIEX OS 2.0.1 Analyst szoftverrel történt.

A pozitív elektropray ionforrást az alábbi paraméterekkel alkalmaztuk: IS 5000, CUR 20, TEM 550, GS1 60, GS2 70, CAD 7. Ütköztetés indukálta disszociációhoz (CID), valamint fátýolgázként, porlasztógázként és szárítógázként nitrogént használtunk. A termék ion spektrumokat 25 és 70 eV között, 30 és 600 m/z tartományban rögzítettük Daood et al. (2015) alapján.



7. ábra. A C-vitamin HPLC profilja. Az L-aszkorbinsav (C-vitamin) elválasztását más szerves savaktól és poláros fenolos vegyületektől Nautilus C18 aqua, 3 μ , 150 mm oszlopon végeztük, acetonitril gradiens elegyével 0,01 M kálium-dihidrogén-foszfát pufferben, 0,7 mL/perc áramlási sebességgel. A detektálást 244 nm-en diódasoros detektorral (DAD) hajtottuk végre. Az x-tengely a retenciós időt jelöli (perc), az y-tengely a csúcsterület amplitudóját.

3.6 Adatelemzés

Minden statisztikai elemzést az R 4.2.1-es verziójával végeztünk (RStudio Team, 2020). A karotinoid, tokoferol, kapszaicinoid és C-vitamin koncentrációk hatását az évek, betakarítások és fajták között általános lineáris modell (GLM) segítségével értékeltük. A kezelések hatékonyságát a Wilks-féle lambda (λ) alapján fogadtuk el. A kovarianciamátrix homogenitását (homoszkedaszticitást) a Box-teszt segítségével ellenőriztük. A GLM-modell reziduumaik normalitását a Shapiro-Wilk teszt segítségével ellenőriztük minden függő változó esetében. A normalitást Kolmogorov-Smirnov tesztel ellenőriztük. A grafikonok feletti értékek az átlagot $\pm$ szórást (SD) jelentik. A hatásméretet a parciális eta-négyzet (η^2) segítségével értékeltük, amely a hatásméretet és a megfigyelt teljesítményt adja meg, jelezve a szignifikáns hatás helyes azonosításának valószínűségét. Ennek a mutatónak az értéke 0 és 1 között mozog, ahol a 0 a függetlenséget, az 1,00 pedig a determinisztikus kapcsolatot jelzi.

A vizsgált metabolitprofilok (karotinoidok xantofill vegyületek) mintázatainak vizuális megjelenítésére klaszteralapú hő térképet (heatmap) alkalmaztunk a 'pheatmap' csomag

segítségével az R környezetben (Sfaxi et al. 2025). A bemeneti adatok normalizálása oszloponkénti Z-score transzformációval (1) történt:

$$Z = \frac{x - \mu}{\sigma} \quad (1)$$

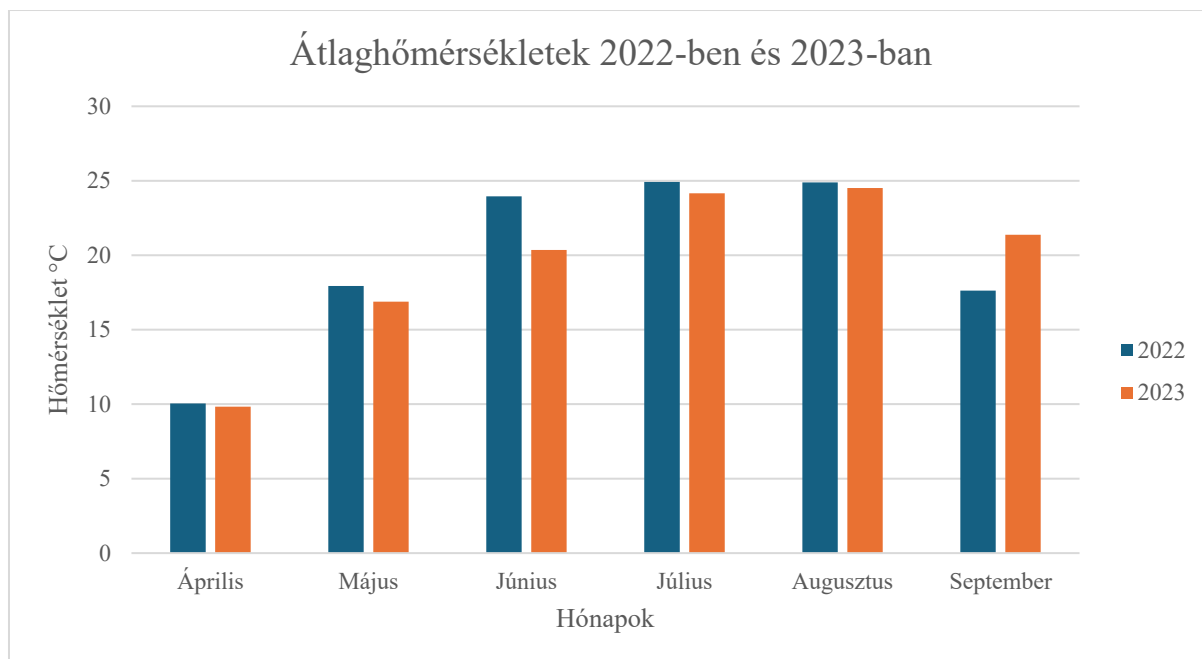
ahol x az egyes mért karotinoid mennyiségek, μ az adott karotinoidra számított átlag az összes fajta esetében, σ pedig a szórása. A hőtésképen alkalmazott színspektrum a koncentrációk eltéréseit szemlélteti: a negatív Z-score értékek (átlag alatti) kék, a pozitív Z-score értékek (átlag feletti) piros színnel jelentek meg. A sor- és oszlopcsoportosítást hierarchikus klaszterezéssel végeztük (Euklideszi-távolság és "complete linkage" módszer alkalmazásával), amely a minták és metabolitok közötti hasonlóságok alapján rendezte a mátrixot. Az egyes cellákban szereplő értékek a standardizált (Z-score) értékeket jelenítették meg numerikusan is.

4. EREDMÉNYEK ÉS MEGVITATÁSA

4.1 Környezeti tényezők (2022-2023)

A vizsgálat két éve között jelentős különbségek voltak a hőmérséklet és a csapadék eloszlásában. Szignifikáns különbségeket találtunk ($p < 0,05$) a júniusi és a szeptemberi átlaghőmérsékletek között is (**8. ábra, Függelék 1. és 2. ábra**). 2022-ben júniusban és júliusban volt a legkevesebb csapadék a vegetációs időszakban, 24-25 °C-os átlaghőmérséklet mellett. 2023-ban ennek az ellenkezője volt igaz, májustól augusztusig összesen 419 mm csapadék hullott. A nyári hónapokban 20-24 °C-os átlaghőmérséklettel. A csapadékmennyiség 2022-ben az első betakarítást megelőző 15-20 napban 41 mm-ről a második szedés időszakára 67 mm-re nőtt (**9. ábra, Függelék 4. és 5. ábra**), miközben a hőmérséklet jelentősen csökkent. 2023-ban a csapadékmennyiség 87 mm-ről 18 mm-re csökkent az első betakarítási időszakról a második betakarítási időszakra, miközben a hőmérséklet enyhén csökkent, és 22 °C felett maradt.

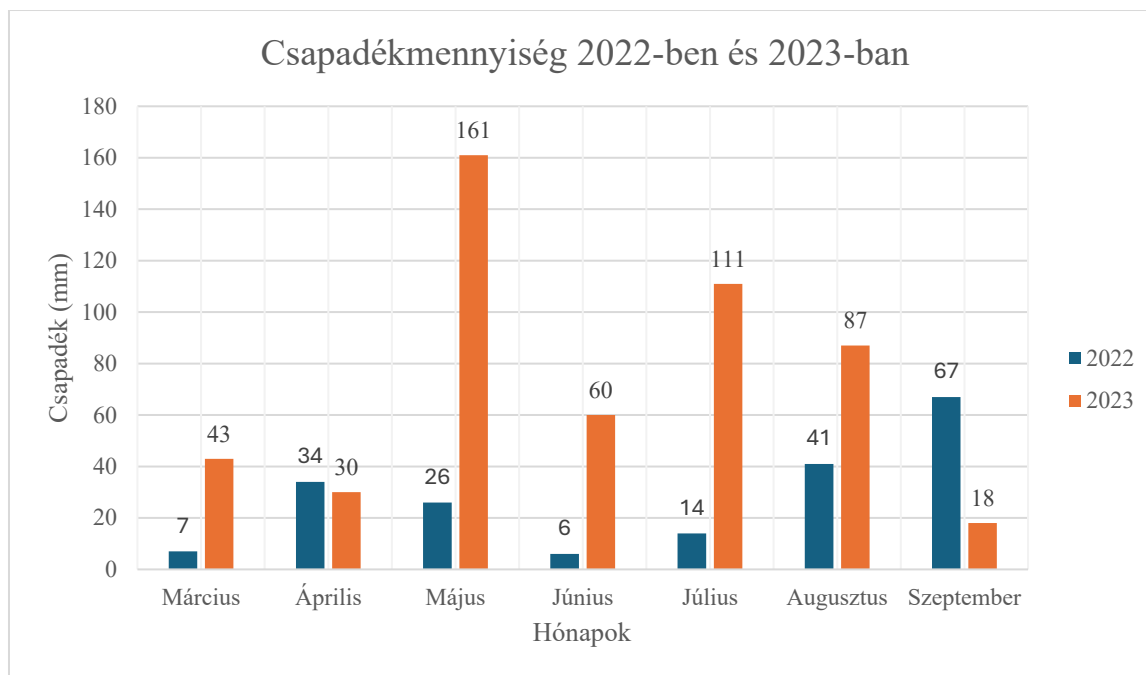
A statisztikai elemzés eredményei alapján áprilisban és májusban nem mutatkozott szignifikáns különbség a két év hőmérsékleti értékei között, ami arra utal, hogy ebben az időszakban a 2022-es és 2023-as hőmérsékleti viszonyok hasonlóak voltak. Június hónapban azonban 2022-ben szignifikánsan magasabb hőmérsékletet mértem, mint 2023-ban ($p < 0,05$), ami arra utal, hogy ebben a hónapban a két év időjárási mintázata jelentősen eltért egymástól. Július és augusztus hónapokban mindkét vizsgált év esetében a mért átlaghőmérsékletek között nem volt statisztikailag kimutatható különbség, vagyis ebben az időszakban a hőmérsékleti viszonyok mindkét évben hasonlóak maradtak. Szeptember hónapban viszont fordított trend volt megfigyelhető: 2023-ban szignifikánsan magasabb volt az átlaghőmérséklet 2022-höz képest ($p < 0,05$), ami arra utal, hogy az év ezen időszakában a két év között jelentős eltérés mutatkozott a hőmérsékleti viszonyokban.



8. ábra. Átlaghőmérséklet adatai 2022-ben és 2023-ban.

2022-ben a maximális hőmérséklet, – az akár 40 °C fölé emelkedő napok száma - valamint az átlaghőmérséklet lényegesen magasabb volt, mint 2023-ban, különösen három héttel az első és második betakarítás előtt (**Függelék 1. ábra**). A 2022-es évben a hosszabb napsütéses időszakok a napenergia intenzitásában is megnyilvánultak (**Függelék 3. ábra**), ami befolyásolhatta a növények fotoszintetikus aktivitását.

A csapadékmennyiséget bemutató diagram alapján (**9. ábra**) jelentős eltérések figyelhetők meg 2022 és 2023 között az egyes hónapokban. 2023 májusában extrém magas csapadékmennyiség (161 mm) volt, míg 2022-ben csupán 26 mm eső esett, ami jelentős eltérés volt. Júniusban is hasonló tendencia figyelhető meg: 2023-ban 60 mm csapadék hullott, míg 2022-ben mindössze 6 mm. Júliusban a 2023-as évben a csapadékmennyiség (111 mm) jelentősen meghaladta a 2022-es értéket (14 mm). 2023 augusztusában (87 mm) több csapadék hullott, mint 2022-ben (41 mm). Ezzel szemben 2022 szeptembere (67 mm) sokkal csapadékosabb volt, mint 2023-ban (18 mm), ami a tenyészidőszak végére fordított csapadékeloszlást eredményezett. Az eredmények alapján 2023-ban az év első felében jóval több csapadék esett, míg 2022-ben a csapadékmennyiség egyenletesebb eloszlást mutatott.



9. ábra. Csapadékmennyiség 2022-ben és 2023-ban.

4.2 Terméseredmények (2022-2023)

A **3. táblázat** összefoglalja az átlagos bogyó tömeget (g/db) és növényenkénti bogyószámot (db/növény) a két termesztési szezon során. A különböző genotípusok jelentősen eltértek a terméshozam jellemzőiben, valamint a terméshozam évjárat típusra adott reakciójában. A legmagasabb terméshozamot a Cserkó fajtánál figyeltük meg, amelyet a Rekord és a Szegedi 178 követett.

3. táblázat. A vizsgált fajták terméseredményei a 2022-es és 2023-as évben.

Átlagos bogyótömeg (g/db)	2022	2023
Bhut jolokia	8,7	9
Cserkó	32,3	28,2
Rekord	22	15,8
Szegedi 178	19,8	19,1
Átlagos bogyószám (db/növény)	2022	2023
Bhut jolokia	18	22
Cserkó	24	21
Rekord	15	13
Szegedi 178	17	15

Terméshozam (g/növény)	2022	2023
Bhut jolokia	156,6	198
Cserkó	775,2	592,2
Rekord	330	205,4
Szegedi 178	336,6	286,5

Az időjárási viszonyokkal kapcsolatban arra az eredményre tudunk következtetni, hogy a 2022-es év magas hőmérséklete és alacsonyabb csapadékmennyisége enyhe növekedést eredményezett a bogyószámban (db/növény) és a termések tömegében (g/db) a 2023-as évben betakarított bogyókhoz képest, amelyeknél a csapadék mennyisége és a hőmérséklet pont ellentétes. Kivételt ez alól a Bhut jolokia fajta, ahol a bogyószám magasabb volt a 2023-as évben tapasztalt alacsony hőmérséklet és magas csapadékmennyiség ellenére is. Az elért eredmények azt mutatják, hogy a betakarítható termésmennyiség nagyban függ a genetikai és klimatikus viszonyoktól. A termések számát és tömegét tekintve a jobb eredmények, a melegebb termesztési szezonokban a magasabb napsugárzási intenzitásnak tulajdoníthatók be (hosszabb napsütéses időszakok), amelyről Camposeco-Montejo et al. (2021) is beszámolt, hogy ezek a feltételek jobb terméshozamot eredményezhetnek (a bogyók mérete, hossza és tömege szempontjából) a szabadföldön termesztett csípős Habanero esetében, összehasonlítva az ugyanazon genotípusú, üvegházban termesztett növényekkel.

4.3 Paprika fajták beltartalmi tulajdonsága (2022-2023)

4.3.1 Karotinoidok

A karotinoid-elemzésre alkalmazott HPLC-módszer kiválóan elkülönítette a mintegy 60 fő és mellékvegyületet (**Függelék 3. táblázat**). A karotinoidok zsírsavakkal észterezett formában fordultak elő, mono- és diészterek formájában. Észterezetlen xantofillok és karotinok, főként β -karotin és annak izomerjei is jelen voltak. Színük, a zsírsavakkal való észteresedésük mértéke és biológiai szerepük szerint eltérő csoportokba soroltam őket. A továbbiakban az A vitamin prekursorokhoz a következő karotinoidokat soroltam: β -karotin, α -karotin és β -kriptoxantin. A vizsgált különböző fajták eltértek a xantofillok zsírsavakkal való észteresítésében. A sárga xantofillok dominánsan monoészterek formájában fordultak elő. A sárga xantofillokhoz hasonlóan a vörös színű karotinoidok is zsírsavakkal észteresített formában voltak jelen, de itt leginkább a diészterek domináltak. A fajták közötti különbség abban mutatkozott meg, hogy a

betakarítást megelőző három hét időjárási viszonyai milyen hatással voltak az észteresítési folyamatra.

A **4. táblázat** a vizsgált két év, a betakarítások és a fajták közötti különbségeket mutatja be a sárga színű karotinoid tartalom tekintetében. Mivel az év, mint tényező hatása szignifikáns volt, a vizsgált fajták között a karotinoid tartalomban az évjáratok és szedési időpontok között jelentős különbségek voltak megfigyelhetők. A 2022-es év első betakarításakor (szeptember 8) a Szegedi 178 fajta szignifikánsan magasabb ($p < 0,05$) értékeket mutatott a szabad sárga xantofill (FYX) tekintetében (370,73 $\mu\text{g/g}$), mint a Bhut Jolokia, a Cserkó és a Rekord fajta a Tukey post hoc teszt szerint. A Bhut Jolokia fajta FYX tartalma (183,31 $\mu\text{g/g}$) jelentősen alacsonyabb volt, míg a Cserkó és Rekord fajták közepes értékeket mutattak (234,27 $\mu\text{g/g}$ és 211,33 $\mu\text{g/g}$), bár különbség nem volt statisztikailag szignifikáns. A sárga xantofill monoészter (YXME) mennyisége a Szegedi 178 fajtánál érte el a legmagasabb értéket (633,67 $\mu\text{g/g}$), amely szignifikánsan meghaladta a többi fajta értékeit, a Rekord első betakarítását kivéve. Ettől a Bhut Jolokia és Cserkó fajták alacsonyabb értékeket mutattak. Az összes sárga karotinoid (TY) mennyisége kiemelkedő a Szegedi 178 és Rekord fajtáknál (1605,60 $\mu\text{g/g}$ és 1506,96 $\mu\text{g/g}$), míg a Cserkó fajtánál jelentősen alacsonyabb (1013,99 $\mu\text{g/g}$) volt. A béta karotin (βc) mennyisége alapján a Bhut Jolokia fajta rendelkezett a legmagasabb értékkel (361,71 $\mu\text{g/g}$), míg a Cserkó fajtánál ez lényegesen alacsonyabb volt (165,61 $\mu\text{g/g}$).

2022 évben a második betakarítás (szeptember 20) során a szabad sárga xanthofillok (FYX) általánosan alacsonyabbak voltak az első betakarításhoz képest. A Szegedi 178 fajta továbbra is kiemelkedő volt (317,57 $\mu\text{g/g}$). A Bhut Jolokia és Cserkó fajták FYX értéke a két betakarítási időpont között kevésbé csökkent, mint a Szegedi 178 és Rekord esetében. A YXME (sárga xantofill monoészter) Szegedi 178 fajtánál volt a legmagasabb (683,04 $\mu\text{g/g}$) és jelentősen nem változott az első betakarításhoz képest, míg a Cserkó fajtánál jelentősen nőtt (544,50 $\mu\text{g/g}$). Az összes sárga karotinoid (TY) esetében a Szegedi 178 és Bhut Jolokia fajták szignifikánsan magasabb értékeket értek el (1780,38 $\mu\text{g/g}$ és 1796,21 $\mu\text{g/g}$), míg a Cserkó és Rekord fajták alacsonyabb koncentrációt mutattak. A βc szempontjából a Bhut Jolokia és Szegedi 178 fajták ismét a legmagasabb értékeket mutatták (455,39 $\mu\text{g/g}$ és 430,11 $\mu\text{g/g}$), míg a Cserkó fajta jelentősen alacsonyabb értéket mutatott (281,43 $\mu\text{g/g}$). A második betakarításkor a sárga xantofillok diészter-frakciójának (YXDE) szintjén jelentős növekedés következett be, különösen a Bhut Jolokia fajtában, amelyben a diészterek tartalma a második betakarításkor bekövetkezett időjárási változások eredményeként kétszeresére nőtt a monoészterekéhez képest. Általában a legtöbb fűszerpaprikában és chilipaprikában a diészterek és monoészterek

aránya 0,5 körül van (Duah et al. 2021a; Souza et al. 2022). A diészterek képződése a sárga xantofilok kémiai stabilitása szempontjából érdekes, különösen a provitamin-aktivitással rendelkező xantofiloknál, mivel az észterezett xantofilok oxidatív károsodással szemben stabilabbnak bizonyultak, mint az észterezetlen, szabad xantofilok (Biacs et al. 1992).

2023-ban az első betakarítás (augusztus 30) során a FYX mennyiségek alacsonyabbak voltak, mint 2022-ben. A legmagasabb FYX értéket a Cserkő fajtánál (130,18 µg/g), illetve a Szegedi 178-nál mértem (125,30 µg/g), amelyek azonban jelentősen alacsonyabbak voltak a 2022-es év értékeihez képest. A YXME szempontjából a Szegedi 178 fajta ismét kiemelkedett (566,23 µg/g). A TY szintén alacsonyabb volt, a Bhut Jolokia fajta értéke mindössze 859,35 µg/g volt, ami jóval alacsonyabb, mint az előző évben. A Szegedi 178 fajta 950,82 µg/g értékkel kiemelkedett. A βc esetében az értékek csökkentek az előző évhez képest, a Bhut Jolokia fajta 132,88 µg/g értéket mutatott, míg a Cserkő fajta csupán 116,45 µg/g értékkel rendelkezett.

2023-ban a második betakarítás (szeptember 16) során a FYX értékek alacsonyak maradtak. A Szegedi 178 fajta továbbra is kiemelkedett (145,77 µg/g) a fajták között, de FYX értékei jóval alacsonyabbak voltak, mint 2022-ben. A βc mennyisége kevesebb volt az előző évhez képest, a Cserkő fajta esetében csupán 74,09 µg/g volt, míg a Bhut Jolokia fajta 162,59 µg/g.

A YXDE mennyisége szempontjából kiemelném, hogy a 2023-as évben az első és második szedés során minden fajta esetén alacsonyabb értéket kaptam, mint az adott fajtánál 2022-ben, bármelyik szedés esetén. A vizsgált fajtákban (a Szegedi 178 kivételével) azonosított fő sárga színű karotinoidok és provitamin A értékei magasabbak, mint a Silveira Agostini-Costa et al. (2017) által a szabadföldi körülmények között termesztett Jalapeno fajtában meghatározott értékek.

Összességében a 2022-es év magasabb értékeket mutatott minden sárga karotinoid esetében, míg a 2023-as év alacsonyabb eredményeket hozott ezen beltartalmi elemek szempontjából, ami a kedvezőtlen termesztési körülményekre utalhat. A Szegedi 178 fajta általában jobb beltartalmi mutatókkal rendelkezett, míg a Cserkő és Rekord fajták alacsonyabb értékeket értek el. A fő faktorok hatását a **Függelék 4. és 5. táblázata** tartalmazza.

4. táblázat. A fajta, betakarítási idő és évjárat hatása a sárga színű karotinoid-csoportok koncentrációjára (µg/g szárazanyag) csipős paprika örölményekben.

Év	Betakarítás	Fajta	FYX	YXME	YNDE	TY	AP	βc
2022	1	BHJ	183,31 ± 1,50 AXa	459,86 ± 4,57 AXab	346,62 ± 8,57 AXa	1351,50 ± 18,02 AXab	425,10 ± 4,78 AXb	361,71 ± 4,03 AXb
		CS	234,27 ± 0,49 AXa	387,83 ± 1,16 AXa	226,28 ± 1,06 AXa	1013,99 ± 1,01 AXa	207,69 ± 0,58 AXa	165,61 ± 0,54 AXa
		R	211,33 ± 0,29 AXa	553,47 ± 0,65 AXbc	389,28 ± 0,70 AXa	1506,96 ± 1,51 AXb	438,83 ± 0,77 AXb	352,89 ± 0,68 AXb
		SZ178	370,73 ± 4,00 AXb	633,67 ± 5,83 AXc	308,21 ± 0,99 AXa	1605,60 ± 4,98 AXb	420,47 ± 4,57 AXb	292,99 ± 1,23 AXb
	2	BHJ	167,17 ± 0,62 AXa	443,72 ± 2,07 AXa	714,09 ± 4,41 AYb	1780,38 ± 9,50 AXa	529,26 ± 2,78 AXb	455,39 ± 2,47 AXc
		CS	226,19 ± 1,58 AXb	544,50 ± 6,14 AYab	393,93 ± 11,40 AXa	1446,05 ± 20,51 AXa	378,70 ± 6,22 AYa	281,43 ± 1,55 AYa
		R	159,99 ± 0,43 AYa	528,80 ± 1,16 AXa	415,84 ± 0,98 AXa	1479,55 ± 2,09 AXa	469,19 ± 0,66 AYab	374,92 ± 0,47 AYb
		SZ178	317,57 ± 0,88 AXc	683,04 ± 1,57 AXb	365,49 ± 0,98 AYa	1796,21 ± 3,28 AYa	509,71 ± 1,32 AXab	430,11 ± 1,20 AYbc
	1	BHJ	118,89 ± 0,49 BXab	442,35 ± 1,67 AXa	150,31 ± 0,34 AXb	859,35 ± 2,70 BXa	400,70 ± 1,33 AXab	132,88 ± 0,62 BXa
		CS	130,18 ± 0,49 BXb	543,66 ± 1,03 BXbc	86,32 ± 0,29 BXa	888,59 ± 2,10 BXa	435,34 ± 1,15 BXab	116,45 ± 0,44 BXa
		R	102,66 ± 0,24 BXa	452,46 ± 1,75 BXab	165,11 ± 0,71 BXb	868,40 ± 2,93 BXa	398,11 ± 1,56 AXa	125,88 ± 0,46 BXa
		SZ178	125,30 ± 0,76 BXb	566,23 ± 3,99 AXc	106,51 ± 1,03 BXa	950,82 ± 6,68 BXa	482,46 ± 3,19 AXb	139,68 ± 0,85 BXa
2023	2	BHJ	125,61 ± 0,27 BYb	277,05 ± 0,57 BYb	204,07 ± 0,37 BYc	769,33 ± 1,37 BYb	218,63 ± 0,37 BYc	162,59 ± 0,24 BYc
		CS	119,41 ± 0,29 BXab	230,34 ± 0,74 BYa	97,96 ± 0,47 BXa	521,80 ± 1,62 BYa	107,47 ± 0,48 BYa	74,09 ± 0,32 BYa
	2	R	111,32 ± 0,28 BXa	270,90 ± 0,91 BYab	264,54 ± 0,63 BYd	790,79 ± 2,06 BXb	220,90 ± 0,51 BYc	144,03 ± 0,34 BYc
		SZ178	145,77 ± 0,41 BXc	336,11 ± 1,51 BYc	163,92 ± 1,19 BYb	768,01 ± 3,80 BXb	183,84 ± 1,14 BYb	122,21 ± 0,81 BXb

A táblázat a következő rövidítéseket használja: szabad sárga xantofillok (FYX), sárga xantofill monoészter (YXME), sárga xantofill diészter (YXDE), összes sárga karotinoid (TY), A-vitamin prekursorok (AP), β-karotin (βc). Minden érték négy független ismétlés átlagát ± SD jelenti. A különböző betűk eltérő csoportokat jelölnek: a nagybetűk (AB) az évek közötti, valamint a betakarítások közötti különbségeket mutatják (XY); a kisbetűk a fajták közötti különbségeket jelzik. (Tukey-féle HSD teszt, $p < 0,05$).

Az **5. táblázat** a piros karotinoidok alakulását mutatja be, ahol látható a fajták, szedések és az évjárat hatása a függő változókra. Az évjáráthatás erősen szignifikáns hatással volt a legtöbb vizsgált karotinoidra ($F_{(10,39)} = 604,5$; $p < 0,001$; Wilk's $\lambda = 0,006$; részleges $\eta^2 = 0,99$). Hasonlóképpen, a betakarítási időpontok ($F_{(10,39)} = 388,89$; $p < 0,001$; Wilk's $\lambda = 0,009$; részleges $\eta^2 = 0,99$) és a fajták közötti különbségek is szignifikánsak voltak ($F_{(30,115)} = 75,01$; $p < 0,001$; Wilk's $\lambda = 0,00014$; részleges $\eta^2 = 0,94$). A legnagyobb hatást az évek és a betakarítások közötti különbségeknél figyeltem meg, mindkettőnél a legmagasabb részleges η^2 -értékkel (kb. $\sim 99,00\%$).

A három fő faktor hatását Tukey post hoc tesztel mutatom be, ahol a 2022-es év első betakarítása (szeptember 8) során a Szegedi 178 (454,55 $\mu\text{g/g}$), valamint Cserkó (369,82 $\mu\text{g/g}$) mutatta a legmagasabb szabad piros xantofill (FRX) értéket, amelyek jelentősen meghaladták a Bhut Jolokia (112,27 $\mu\text{g/g}$) és Rekord (159,80 $\mu\text{g/g}$) fajták értékeit. A piros xantofill monoészterek (RXME) szempontjából szintén a Szegedi 178 fajta tartalmazta a legnagyobb mennyiséget (1097,39 $\mu\text{g/g}$), míg a Cserkó (634,25 $\mu\text{g/g}$) és Rekord (577,14 $\mu\text{g/g}$) fajták közepes értékeket, a Bhut Jolokia pedig a legalacsonyabb értéket mutatta (428,33 $\mu\text{g/g}$). A piros xantofill diészter (RXDE) mennyisége a Szegedi 178 fajtánál volt a legmagasabb (2183,01 $\mu\text{g/g}$), míg a Rekord fajta (1680,86 $\mu\text{g/g}$) a második legmagasabb értéket mutatta. Az összes piros karotinoid (TR) szintén a SZ178 fajtánál volt a legmagasabb (3734,95 $\mu\text{g/g}$), míg a Rekord (2417,79 $\mu\text{g/g}$) és Cserkó (2033,31 $\mu\text{g/g}$) fajták alacsonyabb, a Bhut Jolokia esetében pedig a legalacsonyabb volt (1871,70 $\mu\text{g/g}$). A TCv (összes látható karotinoid) alapján a Szegedi 178 fajta 5340,55 $\mu\text{g/g}$ értékkel szignifikánsan magasabb volt a többi fajtához képest, mindkét szedés estén.

2022-es év második betakarítása (szeptember 20) során minden vizsgált fajta esetében az összes piros karotinoidok, piros xantofill mono- és diészterek, valamint a szabad piros xantofillok (FRX) koncentrációja csökkent a második betakarításból származó termésekben az első betakarításhoz képest, ami azt jelzi, hogy a 2022-es év második betakarítása idején az időjárási viszonyok nem voltak kedvezőek a vörös xantofillok bioszintéziséhez, különösen a Rekord (60,24 $\mu\text{g/g}$) és Cerkó (278,23 $\mu\text{g/g}$) esetén. A Szegedi 178 fajta továbbra is a legmagasabb értéket mutatta (419,85 $\mu\text{g/g}$), de csökkenést figyeltünk meg az első betakarításhoz képest. A RXME a Bhut Jolokia fajtánál volt a legalacsonyabb (336,97 $\mu\text{g/g}$), míg a Szegedi 178 (1075,78 $\mu\text{g/g}$) és Cserkó (582,99 $\mu\text{g/g}$) fajták magasabb értékeket mutattak. A RXDE tekintetében a Szegedi 178 fajta kiemelkedő értéket mutatott (2102,33 $\mu\text{g/g}$), míg a Cserkó (1096,92 $\mu\text{g/g}$) és Bhut Jolokia (777,44 $\mu\text{g/g}$) fajták alacsonyabb értékeket értek el. A diészterek aránya nem esett egybe az összes piros karotinoid magas értékeivel. A TR mennyisége a Szegedi 178 fajtánál

volt a legmagasabb (3597,97 µg/g), azonban az első betakarításhoz képest a Rekord (2159,60 µg/g) és Bhut Jolokia (1207,93 µg/g) fajtánál szignifikáns csökkenés volt. A TCv szintén a Szegedi 178 fajtánál volt a legmagasabb (5394,18 µg/g), míg a Bhut Jolokia 2988,31 µg/g értéket ért el. Arimboor et al. (2015) hét különböző kínai *C. annuum* és *C. chinense* fajtában vizsgálták a kapszantin koncentrációját és mindegyikben alacsonyabb mennyiséget találtak, mint az általam vizsgált mintákban, a Rekord fajtát kivéve.

A 2023-as szezonban a vörös karotinoid csoportok tartalma általában szignifikánsan alacsonyabb volt ($p < 0,01$), mint a 2022-ben ugyanezen karotinoid csoportok esetében mért érték. Az ilyen nagy eltérés valószínűleg a 2023-as év jelentősen magasabb csapadékszintjének köszönhető (az ültetéstől a betakarításig tartó időszakban). A másik eltérés a két évszak között az volt, hogy a betakarítás időpontja ellentétes hatást mutatott a vörös színű karotinoidokra. A második betakarítási időszak időjárási tényezői a legtöbb vizsgált fajtánál a karotinoid tartalom enyhe, vagy szignifikáns növekedését okozták. A 2023-as év első betakarítása (augusztus 30) során a RXME szempontjából a Cserkő fajta mutatta a legmagasabb értéket (394,44 µg/g), míg a Rekord fajta (265,99 µg/g) a legalacsonyabbat. A RXDE mennyisége szintén csökkent, a Szegedi 178 fajta tartalmazta a legnagyobb mennyiséget (627,03 µg/g), míg a Rekord fajta (503,09 µg/g) és Bhut Jolokia fajta (495,54 µg/g) alacsonyabb volt. Az összes piros karotinoid (TR) alapján a Cserkő (1132,71 µg/g) és Szegedi 178 fajta 1112,56 µg/g-mal szignifikánsan különböztek a Rekord (830,94 µg/g) és Bhut Jolokia (904,12 µg/g) eredményeitől. Az összes látható karotinoid (TCv) mennyiségét megnézve is hasonló tendenciát láthatunk, a Szegedi 178 fajta 1931,07 µg/g-mal magasabb értéket mutatott.

A második betakarítás (szeptember 16) során a szabad piros xantofilok (FRX) mennyisége tovább csökkent a Bhut Jolokia kivételével, az első betakarításhoz képest. A Szegedi 178 fajta továbbra is a legmagasabb értéket mutatta (175,78 µg/g). A RXME tekintetében a Bhut Jolokia fajta magasabb értékkel rendelkezett (360,24 µg/g), míg az Rekord fajta továbbra is a legalacsonyabb volt (268,11 µg/g). A RXDE szintén a Szegedi 178 fajtánál volt a legmagasabb (785,60 µg/g), míg a Cserkő fajtánál alacsonyabb volt az értéke (463,50 µg/g). Az összes piros karotinoid (TR) esetében a Szegedi 178 fajta 1467,75 µg/g-mal továbbra is legnagyobb volt, ami szignifikánsan különbözött a többi fajtától. A TCv szintén a Szegedi 178 fajtánál volt a legmagasabb (2463,34 µg/g), ami ugyancsak szignifikánsan magasabb a többi fajtához képest.

5. táblázat. A fajta, betakarítási idő és évjárat hatása a piros színű karotinoid-csoportok koncentrációjára ($\mu\text{g/g}$ szárazanyag) csípős paprika öröleményekben.

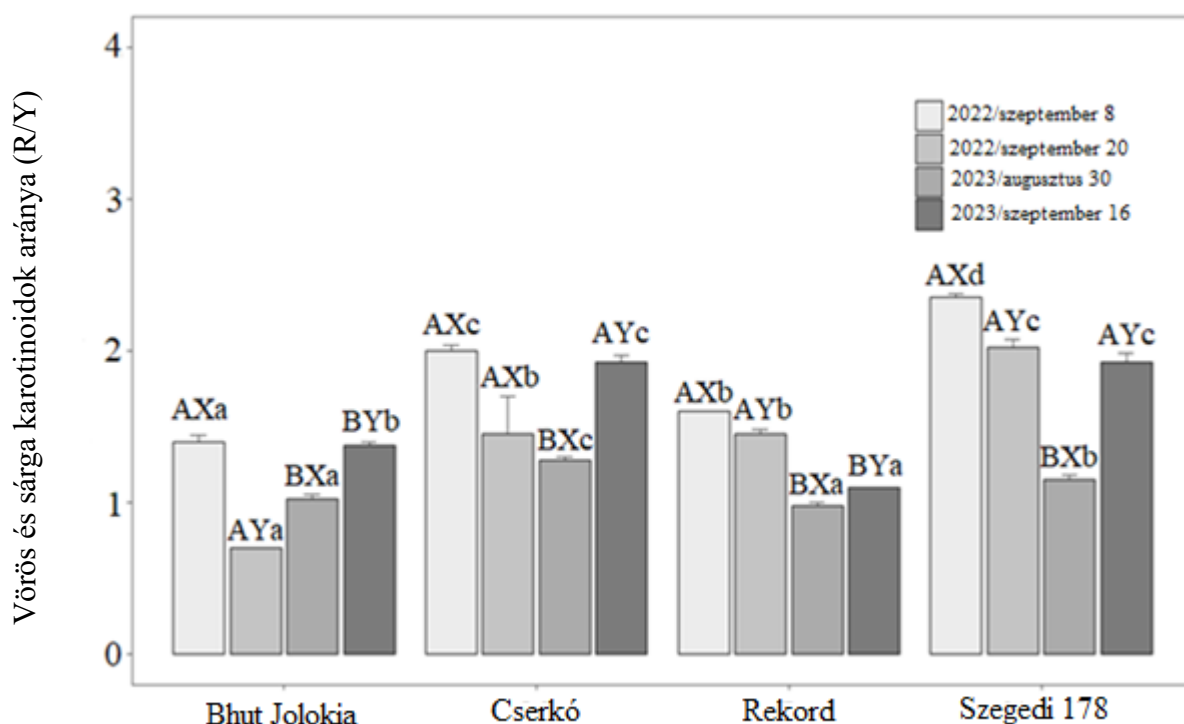
Év	Betakarítás	Fajta	FRX	RXME	RXDE	TR	TCv
2022	1	BHJ	112,27 $\pm$ 0,79 AXa	428,33 $\pm$ 3,41 AXa	1331,10 $\pm$ 19,08 AXab	1871,70 $\pm$ 23,18 AXa	3223,20 $\pm$ 41,15 AXa
		CS	369,82 $\pm$ 0,97 AXb	634,25 $\pm$ 1,00 AXb	1029,24 $\pm$ 2,39 AXa	2033,31 $\pm$ 2,51 AXa	3047,30 $\pm$ 2,16 AXa
		R	159,80 $\pm$ 0,49 AXa	577,14 $\pm$ 0,95 AXb	1680,86 $\pm$ 1,86 AXb	2417,79 $\pm$ 3,03 AXa	3924,75 $\pm$ 4,23 AXa
		SZ178	454,55 $\pm$ 4,33 AXb	1097,39 $\pm$ 4,38 AXc	2183,01 $\pm$ 8,40 AXc	3734,95 $\pm$ 14,73 AXb	5340,55 $\pm$ 19,56 AXb
	2	BHJ	93,53 $\pm$ 0,26 AXa	336,97 $\pm$ 1,85 AXa	777,44 $\pm$ 5,31 AYa	1207,93 $\pm$ 7,26 AYa	2988,31 $\pm$ 16,67 AXa
		CS	278,23 $\pm$ 0,79 AYb	582,99 $\pm$ 3,46 AXb	1096,92 $\pm$ 12,90 AXb	1958,13 $\pm$ 16,49 AXb	3404,18 $\pm$ 10,75 AYab
		R	60,24 $\pm$ 0,39 AYa	450,73 $\pm$ 2,19 AYa	1648,62 $\pm$ 4,08 AXc	2159,60 $\pm$ 6,22 AYb	3639,15 $\pm$ 8,15 AYb
		SZ178	419,85 $\pm$ 1,49 AXc	1075,78 $\pm$ 3,45 AXc	2102,33 $\pm$ 3,44 AXd	3597,97 $\pm$ 7,50 AXc	5394,18 $\pm$ 9,58 AXc
2023	1	BHJ	100,83 $\pm$ 0,41 AXab	307,74 $\pm$ 1,61 BXab	495,54 $\pm$ 1,82 BXa	904,12 $\pm$ 3,79 BXa	1629,47 $\pm$ 5,92 BXab
		CS	171,32 $\pm$ 1,05 BXc	394,44 $\pm$ 0,88 BXc	566,95 $\pm$ 1,36 BXab	1132,71 $\pm$ 2,98 BXb	1896,82 $\pm$ 4,90 BXb
		R	61,86 $\pm$ 0,10 BXa	265,99 $\pm$ 1,03 BXa	503,09 $\pm$ 1,89 BXa	830,94 $\pm$ 2,89 BXa	1522,66 $\pm$ 5,40 BXa
		SZ178	132,37 $\pm$ 0,82 BXbc	353,15 $\pm$ 1,82 BXbc	627,03 $\pm$ 3,86 BXb	1112,56 $\pm$ 6,25 BXb	1931,07 $\pm$ 12,11 BXb
	2	BHJ	107,20 $\pm$ 0,30 BXb	360,24 $\pm$ 0,97 AYb	580,55 $\pm$ 1,20 BYb	1047,99 $\pm$ 2,42 AYb	1949,27 $\pm$ 4,39 BYb
		CS	166,50 $\pm$ 0,32 BXb	357,34 $\pm$ 1,01 BYb	463,50 $\pm$ 1,53 BYa	987,34 $\pm$ 2,68 BYab	1617,24 $\pm$ 4,46 BYa
		R	60,12 $\pm$ 0,30 AXa	268,11 $\pm$ 1,01 BXa	558,29 $\pm$ 1,40 BXb	886,52 $\pm$ 2,68 BXa	1804,51 $\pm$ 5,24 BYab
		SZ178	175,78 $\pm$ 0,33 BYc	506,37 $\pm$ 1,72 BYc	785,60 $\pm$ 3,33 BYc	1467,75 $\pm$ 5,15 BYc	2463,34 $\pm$ 9,62 BYc

A táblázat a következő rövidítésekkel használja: szabad piros xantofilok (FRX), piros xantofil monoészter (RXME), piros xantofil diészter (RXDE), összes piros karotinoid (TR), összes látható karotinoid (TCv). Minden érték négy független ismétlés átlagát $\pm$ SD jelenti. A különböző betűk jelentősen eltérő csoportokat jelölnek: a nagybetűk (AB) az évek közötti, valamint a betakarítások közötti különbségeket mutatják (XY); a kisbetűk a fajták közötti különbségeket jelzik. (Tukey-féle HSD teszt, $p < 0,05$).

Az évjárat okozta eltérések és a betakarítási idő hatása a színminőségre és a színstabilitásra jobban látható és követhető a vörös és a sárga karotinoidok aránya (R/Y) alapján, amelyet a **10. ábra és Függelék 8. táblázat** mutat. Az R/Y arány a 2022-ben vizsgált összes fajta esetében a második betakarítás felé csökkenő tendenciát mutatott, ami valószínűleg a levegő hőmérsékletének csökkenése miatt következett be, különösen a betakarítást megelőző éjszaka (**Függelék 1. ábra**). A 2022-es évtől eltérően az R/Y arány 2023-ban minden fajtánál növekvő tendenciát mutatott a második betakarításkor, amikor a csapadék jelentősen alacsonyabb volt. A legmagasabb R/Y arányt az Szegedi 178-as örleményéből mutattam ki a 2022-es termesztési időszak első betakarításakor, illetve ennél és a Cserkő fajtánál a 2023-as második betakarításkor. Az ilyen arány magas értékei fontosak a paprikából készült termékek minőségének, piaci értékének és várható tárolhatóságának értékelésében.

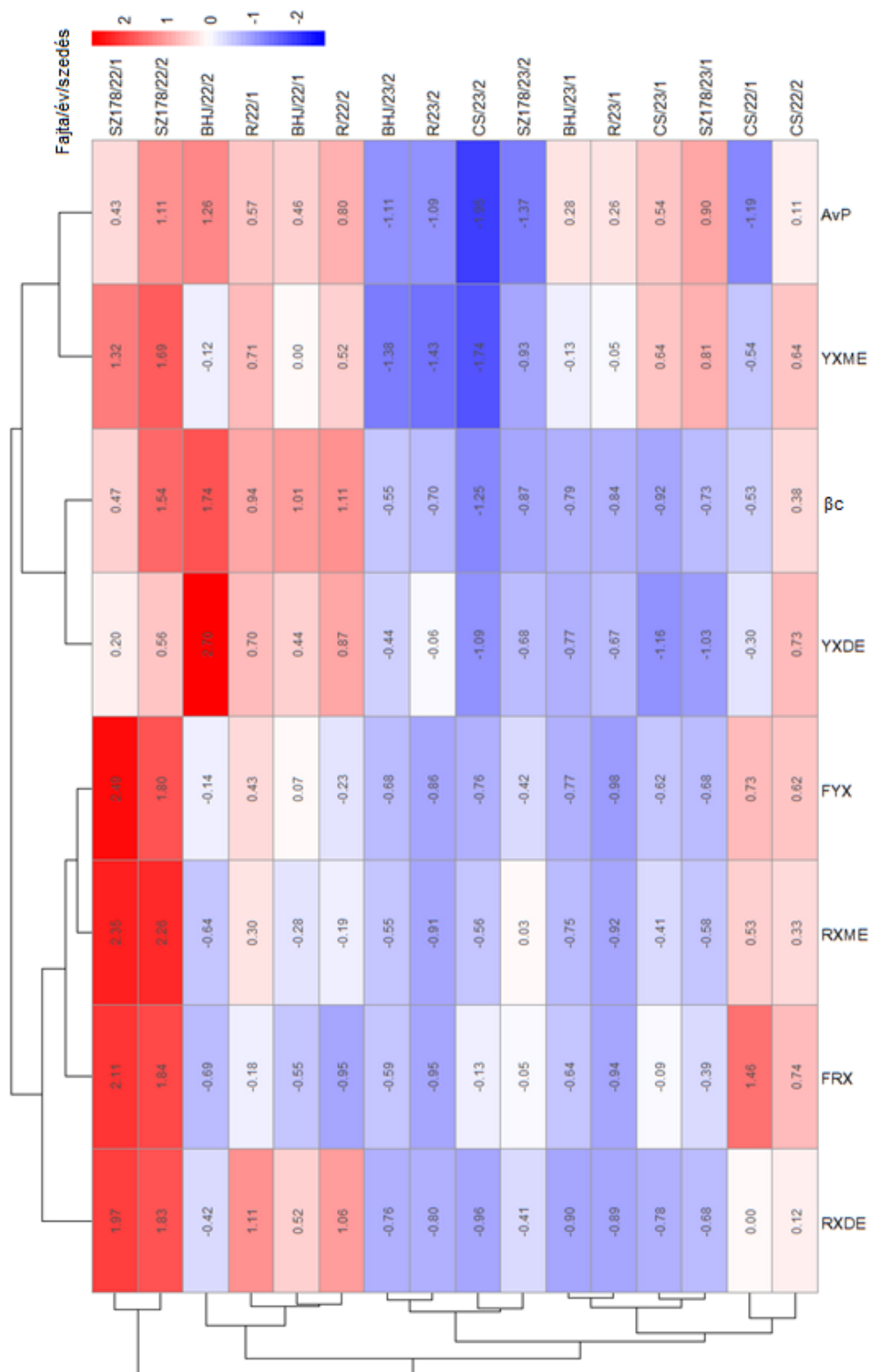
A 2022-es év első betakarítása során a Szegedi 178 fajtánál találtam a legmagasabb arányszámot (2,35). A Rekord fajta esetében az arány 1,6 volt, míg a Bhut Jolokia fajtánál volt a legalacsonyabb (1,4). A második betakarítás során ezen arányok csökkentek, különösen a Bhut Jolokia fajtánál, amely mindössze 0,7 volt. A Cserkő és Rekord fajták egyaránt 1,45, illetve 1,45 R/Y értéket értek el, míg a Szegedi 178 fajta továbbra is a legmagasabb arányt mutatta (2,025).

A 2023-as év első betakarításában az összes vizsgált fajta a R/Y arányában alacsonyabb értékeket mutatott a 2022-es évhez képest. A Cserkő fajta 1,275, míg a Bhut Jolokia 1,025 volt. A Rekord fajta volt a legalacsonyabb 0,975 értékű, míg a Szegedi 178 fajta 1,15 volt. A második betakarítás során a Szegedi 178 és Cserkő fajták 1,925 és 1,925 R/Y aránnyal az élen jártak, míg a Bhut Jolokia fajta 1,375 volt. A Rekord fajta maradt a legalacsonyabb értéken (1,1). Az eredmények alapján a 2023-as év alacsonyabb értékeket mutatott a R/Y tekintetében minden fajtánál az első szedés esetén.



10. ábra. A vörös és sárga karotinoidok aránya (R/Y). A nagybetűk (AB) a fajták közötti különbségeket mutatják az egyes évek között, valamint a betakarítások között (XY); a kisbetűk az ugyanazon évek fajtái közötti különbségeket jelzik. Az oszlopok az átlagértékeket mutatják, a hibaszávok a szórást jelölik. Az oszlopok feletti különböző betűk szignifikáns különbséget jeleznek (Tukey HSD teszt, $p < 0,05$).

A **11. ábra** a vizsgált karotinoidok Z-score adatait mutatja. A sorok a különböző paprika fajtákat (illetve fajták x év x szedés kombinációit) mutatják, az oszlopok pedig az egyes karotinoid komponenseket jelzik. A különböző színek a Z-score értékeket tükrözi, ahol piros vagy vörös színt kap az a cella, amely az adott komponensből (adott oszlop) átlag feletti mennyiséget mutat az adott paprikafajtánál (adott sor) az adott évben és betakarítási időben. Kék szín jelzi, hogy az adott komponens mennyisége átlag alatti. A fehér vagy nagyon világos szín pedig a közel átlagos értéket mutatja.



11. ábra. A paprika fajták hőértéke a karotinoid komponensek alapján (Z-pontszám normalizálva). A piros szín magas Z-score-t, azaz az átlagtól való pozitív irányú eltérést, míg a kék szín negatív eltérést jelez. A 0-hoz közeli értékek (fehér) azt jelzik, hogy az összetevő koncentrációja közel van az átlaghoz, és nincs jelentős különbség a fajták között. A vonalak hierarchikus klaszterezést ábrázolnak, a fajtákat és a karotinoid komponenseket hasonlóságuk alapján csoportosítják.

A hőtérképről leolvasható, hogy a Szegedi 178 a 2022-es év első és második szedésében több karotinoid komponensben is felül múlta a többi fajta, év, és szedés eredményeit. Ebben az esetben a RXDE, FRX, RXME, FYX és YXME mennyiségei jóval az átlag felett voltak. A Bhut Jolokia és Rekord fajták esetében szintén a 2022-es év első és második szedésében látható nagyobb eltérés, viszont itt a YXDE, YXME, β c és AvP tartalomban volt pozitív eltérés az átlagoktól. A legnagyobb eltérés negatív irányba minden fajta esetében a 2023-as év második szedésében volt tapasztalható. Leginkább a sárga színű karotinoidok esetében. Összességében elmondható, hogy a vizsgált komponensek közül a 2022-es év első és második szedésében volt a legtöbb átlagnál magasabb mennyiségű karotinoid. A 2023-as évben pedig az átlagnál többnyire alacsonyabbak, leginkább a második szedés esetén.

4.3.2 Tokoferolok

Az E-vitamin-vegyületek elválasztására és meghatározására alkalmazott fordított fázisú HPLC protokoll lehetővé tette a fő tokoferolok és származékaik elválasztását, kivéve a dehidrogénezett tokotrienolokat, amelyek alig fordulnak elő a fűszerpaprikában. A fluoreszcens módon kimutatható tokoferolok közül az α -tokoferol és származékai bőségesen megtalálhatók a különböző vizsgált fajták kivonataiban, a β - és γ -analógok kisebb komponensek. Az α -tokoferol szabad formája, az E-vitamin biológiai aktív analógja mellett a főként acetáttal és zsírsavakkal észterezett formák is jelentős mennyiségben jelentek meg a HPLC-profilon. Korábbi tanulmányokban publikálták (Duah et al. 2021a; Souza et al. 2022), az E-vitamin észtereit specifikus enzimek hidrolizálják az emberi bélben biológiailag aktív α -tokoferollá. Ami az α -tokoferol-hidrokinont (α -TocHQ), az E-vitamin bomlástermékét illeti, annak nincs E-vitamin-aktivitása, de magas biológiai szerepét, mint nagy aktivitású antioxidáns (Kruk et al. 2016) figyelembe kell venni a fűszerpaprika táplálkozási jelentősége szempontjából.

Az **6. táblázat** a különböző fajták tokoferol-tartalmának változását mutatja a különböző betakarítási időpontokban. A különböző csípős paprika fajták tokoferol-tartalmára az évjárat jelentős hatással volt. 2022-ben az összes tokoferol és α -tokoferol legmagasabb szintjét a Szegedi 178 paprikában találtam meg, amelyet a Bhut Jolokia és a Cserkó fajták követek.

Az évjárat változása erősen és szignifikánsan befolyásolta a paprika tokoferol-tartalmát ($F_{(4,45)} = 32,34$; $p < 0,001$; Wilk's $\lambda = 0,25$; részleges $\eta^2 = 0,74$). Hasonlóképpen, a betakarítás ($F_{(4,45)} = 32,34$; $p < 0,001$; Wilk's $\lambda = 0,23$; részleges $\eta^2 = 0,76$) és a fajta ($F_{(12,119)} = 98,70$; $p < 0,001$; Wilk's $\lambda = 0,0017$; részleges $\eta^2 = 0,87$) hatása is jelentős volt. A fajtáknak volt a legerősebb

hatása a paprika tokoferol-tartalmára, a részleges η^2 értékek meghaladták a 87,00 %-ot (Függelék 7. táblázat).

A 2022-es év első betakarításában a Szegedi 178 fajta mutatta a legmagasabb értékeket minden tokoferol esetében, különösen az α -Toc (601,08 $\mu\text{g/g}$) és az összes tokoferol (Total) (938,50 $\mu\text{g/g}$) tekintetében. A Cserkő fajta szintén kiemelkedő α -TocHQ (167,36 $\mu\text{g/g}$) értéket mutatott. A Bhut Jolokia és Rekord fajtákban alacsonyabb mennyiséget mértem, különösen a Rekord fajta esetében, ahol a Total (280,15 $\mu\text{g/g}$) volt a legalacsonyabb. A második betakarítású Rekord α -TocHQ és Szegedi 178 α -TocAC tartalmán kívül a többi fajta esetében nem volt szignifikáns különbség az első betakarításhoz képest. A Szegedi 178 továbbra is a legmagasabb α -Toc (580,69 $\mu\text{g/g}$) és Total (981,53 $\mu\text{g/g}$) mennyiséget mutatta, míg a Rekord fajtánál ez utóbbi továbbra is alacsony volt Total (301,75 $\mu\text{g/g}$) értékkel. A Cserkő fajta α -TocHQ 167,36 $\mu\text{g/g}$ -ról 114,54 $\mu\text{g/g}$ -ra csökkent az első betakarításhoz képest, azonban ez a csökkenés nem volt statisztikailag szignifikáns.

A 2023-as év első betakarításában az α -Toc és Total mennyiségei kiemelkedtek a 2022-es évhez képest a legtöbb fajta esetében. Például a Bhut Jolokia fajta, ahol jelentős növekedést mutatott az α -Toc (752,12 $\mu\text{g/g}$) és Total (997,00 $\mu\text{g/g}$) mennyisége. A Cserkő fajta α -TocHQ (260,77 $\mu\text{g/g}$) értéke kiugróan magas volt, míg a Szegedi 178 és Rekord fajtákban közepes mennyiséget mértem. A második betakarítás során az α -TocHQ tartalomban csökkenést tapasztaltam, bár ez szignifikánsan csak a Bhut jolokia és Rekord fajtáknál volt bizonyítható. A Szegedi 178 fajtánál azonban továbbra is kiemelkedő volt α -Toc (836,01 $\mu\text{g/g}$) és Total (1205,98 $\mu\text{g/g}$) tokoferol mennyisége. A Cserkő fajta α -TocHQ (255,25 $\mu\text{g/g}$) és Total (966,81 $\mu\text{g/g}$) értékei szintén magasak maradtak. Összességében a Rekord fajta kivételével az összes fajtában kimutatott α -tokoferol koncentráció magasabb volt, mint amit Karaman et al. (2023) találtak, akik az α -tokoferol mennyiségét vizsgálták *Capsicum annuum* $\times$ *Capsicum frutescens* rekombináns beltenyésztett paprika vonalakban. A Rekord fajtán kívül az összes többi, általam vizsgált fajtának magasabb volt az E-vitamin szintje, mint amit Koch et al. (2002) mutattak ki, akik a Top Girl (*Capsicum annuum* L.) paprikafajta α -tokoferol tartalmát vizsgálták az érés különböző szakaszaiban. Souza et al (2022) a Hetényi, Unikal és Unjol fajták 60 °C-on szárított, teljes tokoferoltartalmát vizsgáló munkájukban az általam vizsgált fajtákhoz közeli E-vitamin értékeket kaptak, kivéve a Rekord fajtát, amelynek egyik betakarításkor sem volt ilyen magas a koncentrációja. Meg kell említeni, hogy a Szegedi 178 magasabb értéket mutatott, mint a szerzők (Souza et al. 2022) által vizsgált három fajta.

6. táblázat. A fajta, betakarítási időpont és évjárat hatása a tokoferolok koncentrációjára ($\mu\text{g/g}$ szárazanyag) csipős paprika őrléményekben.

Év	Betakarítás	Fajta	α -TocHQ	α -Toc	α -TocAC	α -TocES	Total
2022	1	BHJ	28,19 $\pm$ 5,15 AXa	515,11 $\pm$ 71,68 AXbc	34,03 $\pm$ 6,53 AXa	26,09 $\pm$ 4,88 AXa	603,43 $\pm$ 87,39 AXb
		CS	167,36 $\pm$ 9,73 AXd	433,41 $\pm$ 18,89 AXb	83,47 $\pm$ 5,66 AXb	63,64 $\pm$ 3,36 AXb	747,88 $\pm$ 28,39 AXb
		R	35,20 $\pm$ 5,78 AXb	129,62 $\pm$ 8,33 AXa	60,81 $\pm$ 2,59 AXb	54,52 $\pm$ 1,69 AXb	280,15 $\pm$ 12,32 AXa
		SZ178	90,25 $\pm$ 17,33 AXc	601,08 $\pm$ 60,45 AXc	151,70 $\pm$ 20,42 AXc	95,49 $\pm$ 18,39 AXc	938,50 $\pm$ 110,50 AXc
	2	BHJ	27,87 $\pm$ 1,36 AXa	445,67 $\pm$ 38,58 AXbc	37,75 $\pm$ 2,63 AXa	21,78 $\pm$ 1,58 AXa	533,07 $\pm$ 43,30 AXab
		CS	114,54 $\pm$ 44,39 AXb	337,37 $\pm$ 126,84 AXb	91,94 $\pm$ 36,49 AXb	52,08 $\pm$ 19,56 AXb	595,92 $\pm$ 227,03 AXb
		R	51,83 $\pm$ 8,12 AYa	136,12 $\pm$ 16,89 AXa	58,97 $\pm$ 3,07 AXab	54,83 $\pm$ 4,19 AXb	301,75 $\pm$ 23,81 AXa
		SZ178	100,83 $\pm$ 7,31 AXb	580,69 $\pm$ 66,14 AXc	198,43 $\pm$ 10,82 AYc	101,57 $\pm$ 13,54 AXc	981,53 $\pm$ 79,17 AXc
2023	1	BHJ	43,38 $\pm$ 5,70 BXa	752,12 $\pm$ 89,08 BXa	139,18 $\pm$ 35,49 BXb	62,32 $\pm$ 13,61 BXa	997,00 $\pm$ 142,65 BXa
		CS	260,77 $\pm$ 32,37 BXC	676,01 $\pm$ 57,00 BXa	55,10 $\pm$ 8,28 BXa	76,36 $\pm$ 4,64 BXa	1068,23 $\pm$ 66,42 BXa
		R	115,56 $\pm$ 26,77 BXb	402,61 $\pm$ 303,15 AXa	96,88 $\pm$ 28,52 BXab	62,29 $\pm$ 5,40 BXa	677,34 $\pm$ 356,16 AXa
		SZ178	151,71 $\pm$ 27,81 BXb	675,23 $\pm$ 292,33 AXa	100,54 $\pm$ 21,20 BXab	62,08 $\pm$ 6,35 BXa	989,56 $\pm$ 335,54 BXa
	2	BHJ	31,54 $\pm$ 1,99 BYa	765,56 $\pm$ 38,52 BXc	175,74 $\pm$ 17,79 BXb	55,95 $\pm$ 6,33 BXa	1028,79 $\pm$ 63,67 BXb
		CS	255,25 $\pm$ 22,81 BXd	550,35 $\pm$ 28,07 BYb	92,69 $\pm$ 9,66 AYa	68,52 $\pm$ 4,05 AYb	966,81 $\pm$ 55,19 BXb
		R	56,65 $\pm$ 10,37 AYb	206,73 $\pm$ 22,25 BXa	87,11 $\pm$ 6,37 BXa	50,21 $\pm$ 3,85 AYa	400,70 $\pm$ 39,60 BXa
		SZ178	119,78 $\pm$ 7,16 BXc	836,01 $\pm$ 23,80 BXd	168,36 $\pm$ 6,68 BYb	81,83 $\pm$ 5,28 BYc	1205,98 $\pm$ 18,89 BXc

Az ábrán található elnevezések a következőket jelentik: α -TocHQ: α -tokoferol-hidrokinon; α -Toc: α -tokoferol; α -TocAC: α -tokoferol-acetát; α -TocES: α -tokoferol-szukcinát; Total: összes azonosított tokoferol.

Minden érték négy független ismétlés átlagát $\pm$ SD jelenti. A különböző betűk szignifikáns eltéréseket jelölnek a csoportok között. A nagybetűk (AB) a fajták közötti különbségeket mutatják az évek között, valamint a betakarítások közötti eltéréseket (XY). A kisbetűk a fajták közötti különbségeket jelzik. A hasonló betűvel jelölt értékek az oszlopon belül nem különböznek szignifikánsan egymástól (Tukey HSD teszt, $p < 0,05$).

4.3.3 Kapszaicinoidok

Az alkalmazott HPLC protokoll kiváló elválasztási lehetőséget biztosított nyolc kapszaicin-származék azonosítására. A kimutatott és azonosított kapszaicinoidok a következők voltak: nor-nor-dihidro-kapszaicin (NNDC), nor-dihidro-kapszaicin (NDC), kapszaicin (CAP), dihidro-kapszaicin (DC), homokapszaicin (HCAP), a DC egy izomerje (iDC), homo-dihidro-kapszaicin-1 (HDC-1) és homo-dihidro-kapszaicin-2 (HDC-2). A kapszaicinoidok HPLC profilja hasonló volt a legtöbb magyar csípős fűszerpaprikához (Nagy et al. 2017), valamint néhány olasz genotípushoz (Tsagkaris et al. 2025). A genetikai tényezők eredményeként a különböző csípős paprikák jelentős eltérést mutattak az egyes és a teljes kapszaicinoidok tartalmában és arányában.

Mindhárom fő tényező – év, betakarítás és fajta – szignifikáns hatással volt a mért paraméterekre (Év: Wilks' $\lambda = 0,024$, $F_{(6,43)} = 292,38$, $p < 0,001$, részleges $\eta^2 = 0,97$; Betakarítás: Wilks' $\lambda = 0,25$, $F_{(6,43)} = 21,03$, $p < 0,001$, részleges $\eta^2 = 0,74$; Fajta: Wilks' $\lambda = 0,00037$, $F_{(18,122)} = 103,52$, $p < 0,001$, részleges $\eta^2 = 0,92$). Az év $\times$ betakarítás (Wilks' $\lambda = 0,34$, $F_{(6,43)} = 13,94$, $p < 0,001$, részleges $\eta^2 = 0,66$), év $\times$ fajta (Wilks' $\lambda = 0,0013$, $F_{(18,122)} = 63,54$, $p < 0,001$, részleges $\eta^2 = 0,89$), valamint betakarítás $\times$ fajta (Wilks' $\lambda = 0,231$, $F_{(18,122)} = 13,94$, $p < 0,001$, részleges $\eta^2 = 0,38$) kétváltozós kölcsönhatások szintén szignifikánsnak bizonyultak. Ezen felül az év, betakarítás és fajta közötti háromváltozós kölcsönhatás is szignifikáns volt (Wilks' $\lambda = 0,20$, $F_{(18,122)} = 5,11$, $p < 0,001$, részleges $\eta^2 = 0,41$). A legnagyobb hatások az évek és a fajták közötti különbségek esetében voltak megfigyelhetők, mivel ezek mutatták a legmagasabb részleges η^2 értéket (**Függelék 6. táblázat**).

A 2022-es év során a kapszaicinoidok tartalma jelentősen eltért a fajták között (**7. táblázat**) azonban a betakarítás időpontja csak elvétve volt szignifikánsan meghatározó tényező. Az első betakarítás során a Bhut Jolokia fajta NDC (nordihidro-kapszaicin) tartalma 36,11 $\mu\text{g/g}$ volt, míg a Cserkő fajta sokkal magasabb értéket mutatott (246,31 $\mu\text{g/g}$). A Rekord fajtánál közepes értéket mértem (82,39 $\mu\text{g/g}$), míg a Szegedi 178 fajta 195,02 $\mu\text{g/g}$ értékkel a Cserkő után a második legmagasabb volt. A CAP (kapszaicin) tartalom a legmagasabb (1586,36 $\mu\text{g/g}$) a Bhut Jolokia fajtánál, míg legalacsonyabb mennyiség (514,24 $\mu\text{g/g}$) a Rekord fajtában volt. A DC (dihidro-kapszaicin) mennyiség hasonlóan magas volt a Szegedi 178 fajtánál (1263,53 $\mu\text{g/g}$) és a Cserkő fajtánál (1133,67 $\mu\text{g/g}$), míg a legalacsonyabb (640,13 $\mu\text{g/g}$) Bhut Jolokia fajtánál volt. A HCAP (homokapszaicin) mennyiségéből a Szegedi 178 fajta 30,33 $\mu\text{g/g}$ -ot, míg a Cserkő és Rekord fajták 9,87 $\mu\text{g/g}$, illetve 10,37 $\mu\text{g/g}$ -ot tartalmaztak. A HDC-2

(homodihidrokapsozaicin-2) tartalom a Cserkő fajtánál volt a legmagasabb (92,25 µg/g), míg a Bhut Jolokia fajta esetében mértem a legkevesebbet (5,27 µg/g).

A második betakarítás során a NDC tartalom a vizsgált fajtákban minden esetben emelkedett, bár szignifikánsan ez nem volt bizonyítható. A Bhut Jolokia fajtában 37,88 µg/g-ot, míg a Cserkő fajta esetében 268,84 µg/g-ot mértem, amely az egyik legmagasabb volt. A CAP tartalom növekedett a Bhut Jolokia fajtánál (1734,01 µg/g), a Cserkő fajta esetében azonban csökkent (1319,94 µg/g) az első betakarításhoz képest. A DC (dihidrokapsozaicin) értékek növekedést mutattak minden fajta esetében, különösen a Szegedi 178 (1448,39 µg/g) és a Cserkő (1171,11 µg/g) fajtáknál, valamint a Rekord fajtánál, ahol a legnagyobb arányú volt a növekedés (522,76 µg/g-ról 744,30 µg/g-ra, bár ezek az értékek nem voltak szignifikánsan bizonyíthatók. A HCAP értéke a Bhut Jolokia fajtában jelentős csökkenést mutatott a második betakarítás alkalmával (35,04 µg/g-ról 10,05 µg/g-ra), ami szignifikáns volt. A HDC-2 tartalom a második betakarítás során is a Cserkő fajtánál volt a legmagasabb (104,98 µg/g), ami szignifikánsan különbözött a többi fajta eredményétől. A különböző betakarítási időpontok és genotípusok között szignifikáns eltérések figyelhetők meg, amelyeket a Tukey's HSD teszt ($p < 0,05$) is megerősített.

A 2023-as évben a NDC értéke az első betakarítás során a Szegedi 178 fajtánál volt a legmagasabb (208,28 µg/g), azonban a második betakarításra jelentős csökkenés következett be (47,26 µg/g), míg a többi fajtánál kisebb mértékű változás volt tapasztalható. A CAP koncentráció a Szegedi 178 esetében a legkiemelkedőbb (1233,90 µg/g), amely a második betakarításkor tovább növekedett (1430,46 µg/g), míg a Rekord fajtánál szintén észlelhető egy növekedés (558,50 µg/g). A DC tekintetében is a Szegedi 178 fajta mind az első (1417,39 µg/g), mind a második betakarításkor (1425,24 µg/g) a legmagasabb értékeket mutatta, míg a többi fajtánál alacsonyabb DC szintek voltak mérhetőek. Az első betakarítás során a HCAP tartalom a Szegedi 178 fajtánál jelentősen magasabb (63,04 µg/g) volt a többi fajtához képest, ennek értéke jelentősen lecsökkent (15,18 µg/g) a második betakarításra. Hasonlóképpen változott a HDC-2 a Szegedi 178 fajtánál; az első betakarítás során magas értéket mértem (81,22 µg/g), amely a második betakarításkor szignifikánsan csökkent (76,42 µg/g), de továbbra is meghaladták a többi fajta értékeit. Az eredmények azt mutatják, hogy a statisztikai tesztek alapján a fajták és a betakarítási időpontok között szignifikáns különbségek voltak kimutathatók ($p < 0,05$), ami arra utal, hogy mind a genetikai háttér, mind pedig a betakarítás időpontja jelentős hatással van a vizsgált paraméterek értékeire.

7. táblázat. Kapszaicinoid-tartalom ($\mu\text{g/g}$ DW) = $\mu\text{g/g}$ szárazanyag) alakulása a fajta, betakarítási időpont és az évszázad hatására a 2022-es és 2023-as években.

Év	Betakarítás	Fajta	NDC	CAP	DC	HCAP	HDC-2
2022	1	BHJ	36,11 $\pm$ 5,36 AXa	1586,36 $\pm$ 123,35 AXc	640,13 $\pm$ 85,04 AXa	35,04 $\pm$ 4,86 AXb	5,27 $\pm$ 0,52 AXa
		CS	246,31 $\pm$ 25,12 AXd	1339,94 $\pm$ 73,36 AXbc	1133,67 $\pm$ 83,22 AXb	9,87 $\pm$ 0,90 AXa	92,25 $\pm$ 6,84 AXd
		R	82,39 $\pm$ 3,50 AXb	514,24 $\pm$ 38,25 AXa	522,76 $\pm$ 26,40 AXc	10,37 $\pm$ 0,81 AXa	29,41 $\pm$ 1,26 AXb
		SZ178	195,02 $\pm$ 22,33 AXc	1200,74 $\pm$ 124,39 AXb	1263,53 $\pm$ 123,30 AXb	30,33 $\pm$ 4,12 AXb	65,38 $\pm$ 6,30 AXc
	2	BHJ	37,88 $\pm$ 1,10 AXa	1734,01 $\pm$ 44,41 AXc	646,98 $\pm$ 7,70 AXa	10,05 $\pm$ 1,08 AYa	10,16 $\pm$ 0,37 BXa
		CS	268,84 $\pm$ 16,28 AXc	1319,94 $\pm$ 145,89 AXb	1171,11 $\pm$ 103,56 AXb	8,28 $\pm$ 0,70 AYa	104,98 $\pm$ 6,78 AXd
		R	129,41 $\pm$ 21,22 AXb	771,99 $\pm$ 147,49 AXab	744,30 $\pm$ 125,36 AXab	14,15 $\pm$ 2,10 AXa	43,10 $\pm$ 5,67 BYb
		SZ178	239,06 $\pm$ 32,32 AXc	1401,93 $\pm$ 132,62 AXb	1448,39 $\pm$ 161,53 AXc	37,91 $\pm$ 5,04 AXb	81,01 $\pm$ 10,60 AXc
2023	1	BHJ	73,04 $\pm$ 9,72 BXa	919,09 $\pm$ 26,91 BXb	854,83 $\pm$ 38,27 BXb	25,58 $\pm$ 11,99 AXb	18,98 $\pm$ 3,23 BXa
		CS	38,72 $\pm$ 3,58 BXa	246,03 $\pm$ 38,21 BXa	289,00 $\pm$ 32,97 BXa	5,56 $\pm$ 1,65 BXa	22,76 $\pm$ 1,35 BXa
		R	48,61 $\pm$ 9,55 BXa	241,38 $\pm$ 38,18 BXa	337,19 $\pm$ 51,57 BXa	12,01 $\pm$ 1,38 AXab	29,57 $\pm$ 4,49 BXa
		SZ178	208,28 $\pm$ 31,47 AXb	1233,90 $\pm$ 218,18 AXc	1417,39 $\pm$ 224,81 AXc	63,04 $\pm$ 12,52 BXc	81,22 $\pm$ 11,50 BXb
	2	BHJ	51,03 $\pm$ 23,31 AXa	786,38 $\pm$ 490,60 BXb	775,94 $\pm$ 72,51 BXa	17,23 $\pm$ 1,78 AXa	22,90 $\pm$ 1,56 AXa
		CS	38,28 $\pm$ 5,49 BXa	202,29 $\pm$ 59,04 BYa	267,50 $\pm$ 63,36 BXa	4,08 $\pm$ 0,92 BYa	20,59 $\pm$ 2,05 BYab
		R	81,18 $\pm$ 10,84 BYa	558,50 $\pm$ 154,48 AYab	664,62 $\pm$ 98,34 AYa	13,66 $\pm$ 1,54 AXa	39,77 $\pm$ 4,62 AYab
		SZ178	47,26 $\pm$ 54,49 BYa	1430,46 $\pm$ 236,65 BYab	1425,24 $\pm$ 218,95 AXc	15,18 $\pm$ 1,78 BYb	76,42 $\pm$ 9,64 BYb

Minden érték négy független ismétlés átlagát $\pm$ SD jelenti. A különböző betűk szignifikáns eltéréseket jelölnek a csoportok között. A nagybetűk (AB) a fajták közötti különbségeket mutatják az évek között, valamint a betakarítások közötti eltéréseket (XY). A kisbetűk a fajták közötti különbségeket jelzik. A hasonló betűvel jelölt értékek az oszlopon belül nem különböznek szignifikánsan egymástól (Tukey HSD teszt, $p < 0,05$). A rövidítések jelentése a következő: NDC: nordihidrokapcsaicin, CAP: kapszaicin, DC: dihidrokapszaicin, HCAP: homokapszaicin, HDC-2: homodihidrokapcsaicin -2.

Összességében a Bhut Jolokia, Cserkó és Szegedi 178 fajták kapszaicin és dihidrokapszaicin koncentrációja hasonlóan magas volt, mint az olyan erősen csípős fajtáké, mint a Corneto sottile és a Numex, amelyeket Olaszország két különböző régiójában termesztettek (Tripodi et al. 2018). A Scoville-csípősségi egység (SHU) tekintetében ezek a fajták 36 292 és 40 293 közötti tartományban helyezkedtek el. A Rekord fajta ezzel szemben 16 740 SHU értékkel rendelkezik, ami mérsékelt csípős paprikának minősül. Usman et al. (2014) hasonló kapszaicin és dihidrokapszaicin összkoncentrációt figyelt meg a Bangladesben termesztett AVPP0002 és AVPP0805 fajták esetében, míg Shams et al. (2023) valamivel magasabb értékeket talált a Maras és Habanero fajtákban, mint amit a jelen tanulmányban a Rekord genotípusnál látható. Schmidt et al. (2017) Ausztriában vizsgálta a Jalapeño (*C. annuum*) és Bhut Jolokia (*C. chinense*) paprikákat, és a bogyók magházában (placenta) és a magokban 296 µg/g és 233 µg/g szárazanyagra vonatkoztatott kapszaicin és dihidrokapszaicin koncentrációt talált. A jelen vizsgálatban elért fő kapszaicinoid koncentrációk jelentősen alacsonyabbak voltak minden fajtánál, mint az extrém csípős Naga King chili esetében, amely 2,54 g/100 g szárazanyag kapszaicin, 0,50 g/100g dihidrokapszaicin és 0,02 g/100 g nordihidrokapszaicin értékeket mutatott (Ananthan et al. 2018). Duah et al. (2021a) és Souza et al. (2022) több különböző hibridben, köztük az igen csípős Unijol fajtában vizsgálta a kapszaicinoidok mennyiségét. Ettől eltérően, a kísérletben egyik fajta sem mutatott olyan magas kapszaicinoid koncentrációkat, mint az Unijol.

A **8. táblázatban** a CAP/DC (kapszaicin/dihidrokapszaicin) aránya látható, ahol jelentős eltéréseket tapasztaltam az egyes fajták és betakarítási időpontok között a 2022-es és 2023-as években. Ez a két komponens alkotja a csípős paprikák teljes kapszaicinoid-tartalmának legnagyobb részét, valamint ezek aránya 1:1, 2:1, vagy 1:2 lehet attól függően, hogy *C. annuum*, *C. pubescens*, vagy *C. frutescens* fajtáiról van-e szó (Govindarajan & Sathyanarayana 1991; Manirakiza et al. 2003; González-Zamora et al. 2013). Az első betakarítás során a 2022-es évben a Bhut Jolokia fajta mutatta a legmagasabb értéket (2,48), amely 2023-ban jelentősen csökkent (1,08). A Cserkó fajta esetében az arány szintén csökkent, 1,18-ról 0,58-ra. A Rekord fajtában 2022-ben 0,98 értéket mértem, amely kisebb volt a 2023-as évben (0,72). A Szegedi 178 fajta pedig a legalacsonyabb értékeket mutatta 2022-ben, ekkor 0,95 volt a CAP/DC értéke. A második betakarítás során szintén csökkenés volt megfigyelhető a legtöbb fajtánál. A Bhut Jolokia fajta 2022-ben az első betakarítás alkalmával a CAP/DC arány 2,48 értéket mutatott, amely a második betakarításra 2,03-ra csökkent, majd 2023-ban 1,08-ról 1,01-re csökkent, bár ezekben az esetekben a különbség nem volt statisztikailag bizonyítható. A 2022 és 2023

években a második szedést összehasonlítva a Cserkó fajta esetében a CAP/DC arány 1,13-ról 0,76-ra csökkent, míg a Rekord fajta esetében ez 1,04-ről 0,84-re csökkent. A Szegedi 178 fajta esetében az érték 2022-ben 0,97 volt, míg 2023-ban enyhén emelkedett 1,01. Összességében a Bhut Jolokia fajta mutatta a legmagasabb CAP/DC arányt mindkét évben és betakarítási időpontban. A 2023-as évben az előző év eredményeihez képest minden fajta esetében csökkent az arány, kivéve a Szegedi 178 esetében, ahol enyhe növekedés volt megfigyelhető. CAP/DC arányok statisztikai elemzése során az évek és szedési időpontok szerint nem, csupán a fajták között találtam szignifikáns különbséget. Duelund és Mouritsen (2017) Dániában végzett kutatása során a csípős paprikák kapszaicin és dihidrokapszaicin arányát vizsgálta, és az általuk meghatározott értékek kissé alacsonyabbak voltak, mint általam a Bhut Jolokia esetében mért értékek. Más fajtáknál ez az arány 0,97 és 1,04 között változott, ami hasonló ahhoz, amit néhány csípős paprika fajta zöld vagy teljesen érett állapotban történő szedés után figyeltek meg. Az időjárási tényezők változása miatt a Bhut Jolokia fajtánál az arány jelentősen csökkent, 2022-ben 2,4-ről 1,08-ra a 2023-as évben.

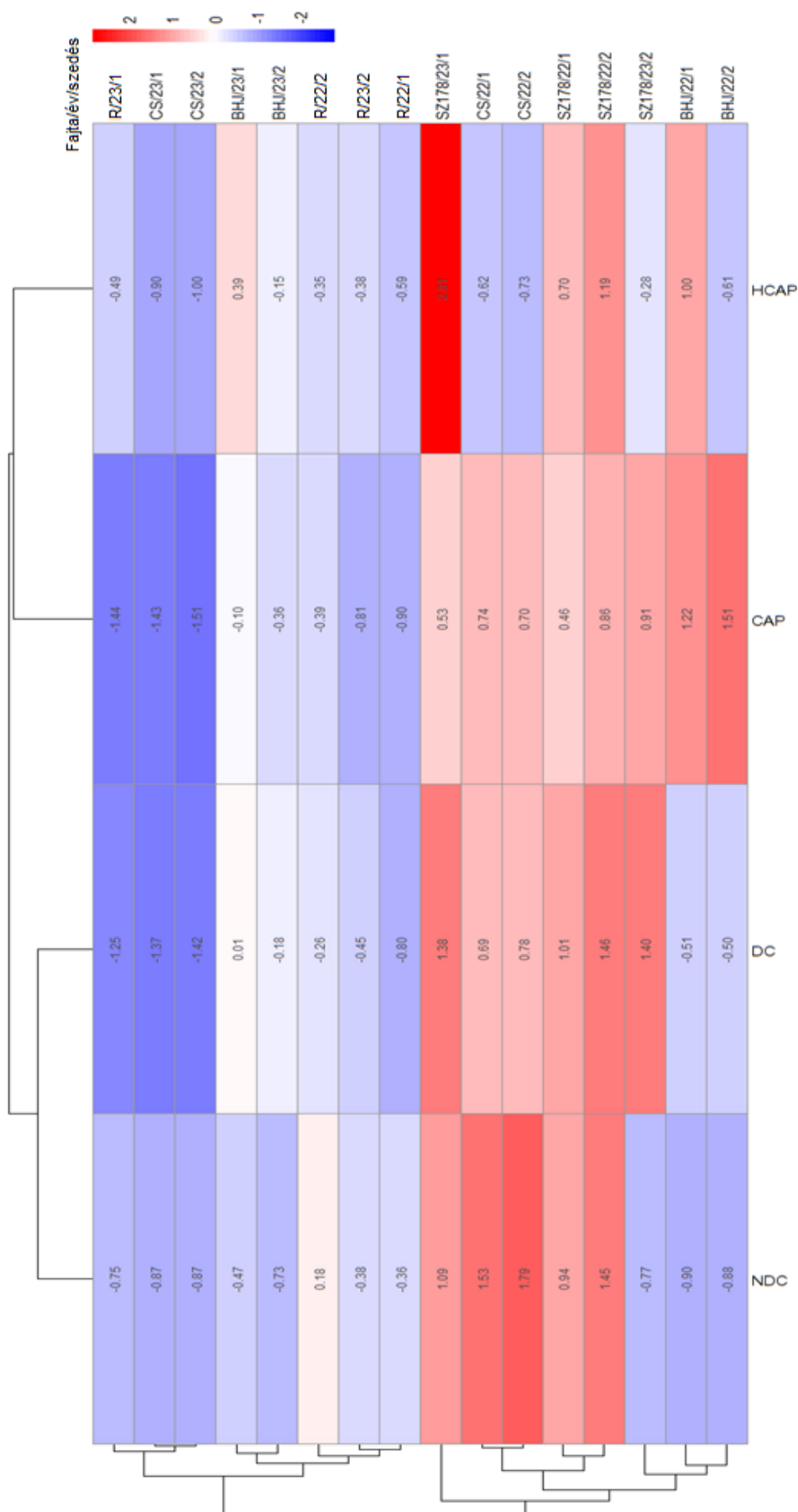
8. táblázat. A kapszaicin és dihidrokapszaicin (CAP/DC) arány alakulása a fajták, betakarítási időpontok és évjárat hatására a 2022-es és 2023-as években

Év	Betakarítás	Fajta	CAP/DC
2022	szeptember 8	Bhut Jolokia	$2,48 \pm 0,33^{AXa}$
		Cserkó	$1,18 \pm 0,06^{AXb}$
		Rekord	$0,98 \pm 0,07^{AXc}$
		Szegedi 178	$0,95 \pm 0,12^{AXc}$
	szeptember 20	Bhut Jolokia	$2,03 \pm 0,05^{AXa}$
		Cserkó	$1,13 \pm 0,10^{AXb}$
		Rekord	$1,04 \pm 0,20^{AXb}$
		Szegedi 178	$0,97 \pm 0,16^{AXb}$
2023	augusztus 30	Bhut Jolokia	$1,08 \pm 0,03^{AXa}$
		Cserkó	$0,58 \pm 0,04^{AXb}$
		Rekord	$0,72 \pm 0,11^{AXc}$
		Szegedi 178	$0,87 \pm 0,12^{AXc}$
	szeptember 16	Bhut Jolokia	$1,01 \pm 0,08^{AXa}$
		Cserkó	$0,76 \pm 0,13^{AXcb}$
		Rekord	$0,84 \pm 0,10^{AXb}$
		Szegedi 178	$1,01 \pm 0,11^{AXa}$

Minden érték az átlagot $\pm$ SD jelöli, $n = 4$. A nagybetűk (AB) az évek közötti változást jelzi, az X a betakarítások közötti különbségeket mutatják, míg a kisbetűk az azonos évben vizsgált fajták közötti eltéréseket jelzik. Az oszlopon belüli azonos betűkkel jelölt átlagok nem különböznek szignifikánsan egymástól (Tukey-féle HSD teszt, $p < 0,05$).

A **12. ábrán** jól megfigyelhető, hogy néhány fajta a legtöbb kapszaicinoid esetében inkább negatív Z-score-t kapott (kék szín), vagyis az átlaghoz képest alacsonyabb az egyes kapszaicinoidok tartalma. Ez főleg a CAP és DC mennyiségénél jelentkezett a 2023-as év első és második szedésekor a Rekord és Cserkó fajtáknál. Ezzel szemben a 2022-ben betakarított fajták, mind a két szedése esetén több kapszaicinoidnál is magasabb értékeket (piros szín) mutat, ami azt jelzi, hogy ezek a paprika minták erőteljesebb kapszaicinoid-profillal rendelkeztek. A Szegedi 178 fajta esetén láthatjuk, hogy a legtöbb vizsgált kapszaicinoid mennyiségében átlag feletti eredménnyel rendelkezik.

Az egyes fajták összehasonlításakor látszik, hogy ugyanannak a fajtának a különböző évjáratái és szedési időpontjai is eltéréseket okoztak az egyes kapszaicinoidok mennyiségében. Ez arra utal, hogy a környezeti tényezők (esetemben az időjárás és betakarítási idő) jelentősen befolyásolták a csípősséget adó vegyületek szintjét ugyanazon fajtákban is. Az eredmények segíthetnek rávilágítani arra, hogy egy-egy kapszaicinoid mennyire stabil vagy változékony különböző körülmények között, különböző fajták esetén.



12. ábra. A paprika fajták hőértéke a kapszaicinoid komponensek alapján (Z-pontszám normalizálva). A piros szín magas Z-score-t, azaz az átlagtól való pozitív irányú eltérést, míg a kék szín negatív eltérést jelez. A 0-hoz közeli értékek (fehér) azt jelzik, hogy az összetevő koncentrációja közel van az átlaghoz, és nincs jelentős különbség a fajták között. A vonalak hierarchikus klaszterezést ábrázolnak, a fajtákat és a kapszaicinoid komponenseket hasonlóságuk alapján csoportosítják.

4.3.4 C-vitamin

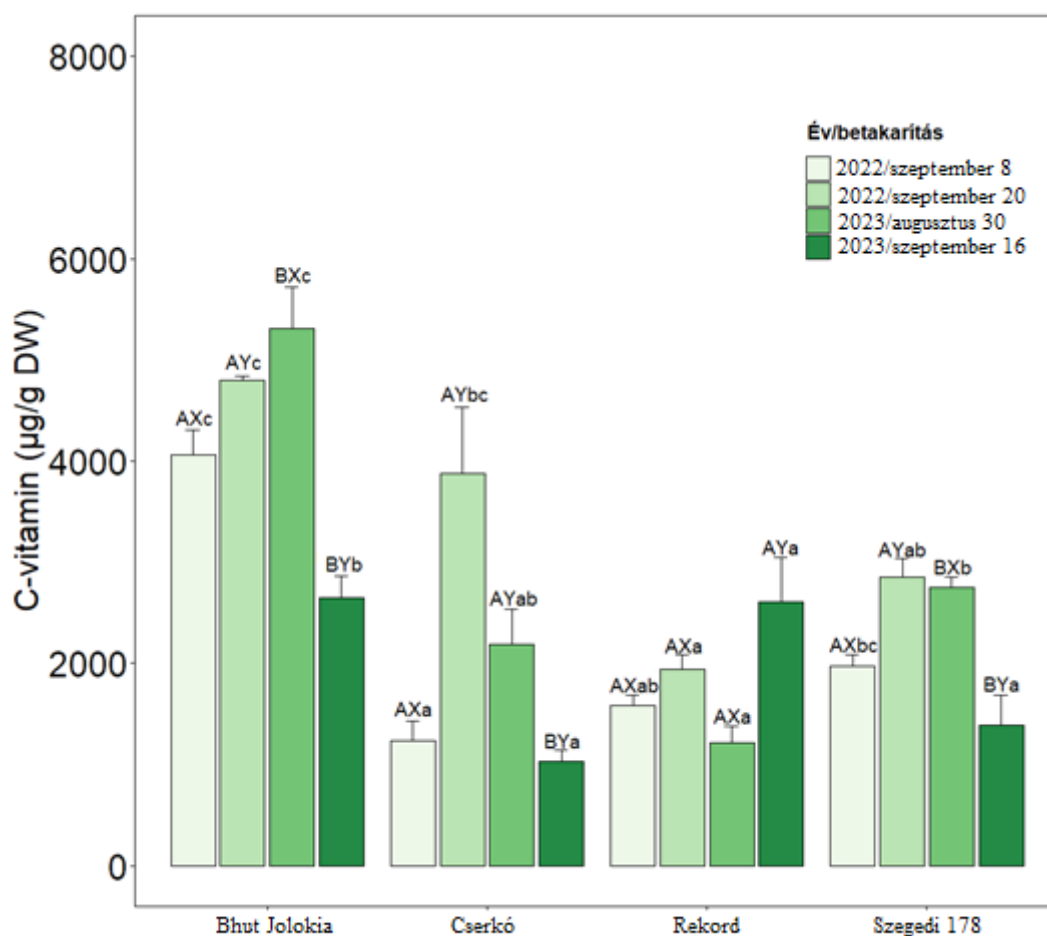
Az alkalmazott analitikai protokoll lehetővé tette az L-aszkorbinsav – a természetben előforduló leggyakoribb biológiai formájú C-vitamin – hatékony elválasztását a kísérő szerves savaktól és vízdoldékony fenolos vegyületektől. Különösen figyelemre méltó, hogy a szárított és őrölt minták jelentős mennyiségű C-vitamint tartalmaztak annak ellenére, hogy a 60 °C-on, 24 órán át tartó szárítás káros hatással lehet rá. Ez összhangban áll korábbi kutatásokkal, amelyek szerint a megfelelően érett fűszerpaprika nem túl magas hőmérsékleten történő szárítása vagy nem változtatta meg, vagy növelte a C-vitamin tartalmát a szárazanyagban (Giannakourou & Taoukis, 2021; Martínez et al. 2005).

C-vitamin tartalom tekintetében a vizsgált genotípusok értékei jelentős eltéréseket mutattak az egyes években és betakarítási időpontokban egyaránt (**13. ábra**). 2022 évben az első betakarítás során a legmagasabb C-vitamin tartalmat (4060,67 µg/g) a Bhut Jolokia fajtánál mértük, míg a legalacsonyabbat (1232,46 µg/g) Cserkó fajtánál. A Rekord fajta közepes értéket produkált (1577,77 µg/g), míg a Szegedi 178 fajta ennél valamivel magasabbat mutatott (1975,42 µg/g). A második betakarítás során minden fajtánál C-vitamin tartalom növekedését figyeltük meg. A Bhut Jolokia fajta értéke 4795,38 µg/g-ra emelkedett, valamint a Cserkó fajta is jelentős növekedést mutatott (3873,64 µg/g). A Rekord fajta enyhe növekedést produkált az első betakarításhoz képest (1942,52 µg/g), míg a Szegedi 178 fajta értékei jelentősen növekedtek (2849,03 µg/g).

A 2023 évben az első betakarításkor a Bhut Jolokia fajtában a C-vitamin tartalom jelentősen nőtt az előző évihez képest és a legmagasabb (5309,00 µg/g) volt a fajták között. Ilyen körülmények alatt a Cserkó fajta C-vitamin tartalma (2188,13 µg/g) volt, ami jelentősen csökkent az előző év második betakarításhoz képest. A Rekord fajta értékei csökkentek (1217,88 µg/g) az előző év szedéseire képest, bár ez statisztikailag nem volt bizonyítható. Ebben az évben a második betakarítás során minden fajtánál a C-vitamin tartalomban csökkenés volt megfigyelhető a Rekord fajta kivételével, ami a korábbi szedésekhez képest ebben az esetben szignifikánsan magasabb volt. A Szegedi 178 fajta C-vitamin tartalma pedig szignifikánsan csökkent (1392,39 µg/g) ezen év első szedéséhez képest. A Bhut Jolokia fajta 2646,74 µg/g értéket mutatott, míg a Cserkó fajta eredménye csökkent (1034,01 µg/g) (**13. ábra**).

Összességében a Bhut Jolokia fajta mindkét évben és betakarítási időpontban a legmagasabb C-vitamin értékeket mutatta, míg a Cserkó és Rekord fajták általában alacsonyabb

eredményeket produkáltak. A 2023-as évben a legtöbb fajta esetében (a Rekord kivételével) a második betakarításra csökkenés volt megfigyelhető.



13. ábra. A C-vitamin tartalom változása a 2022-es és 2023-as évben, két különböző szedési időpontban. A nagybetűk (AB) a fajtákon belüli különbségeket mutatják az egyes évek között, valamint a betakarítások között (XY); a kisbetűk az ugyanazon évek különböző fajtái közötti különbségeket jelzik. Az egy oszlopon belüli, azonos betűvel jelölt átlagok nem különböznek szignifikánsan (Tukey HSD teszt, $p < 0,05$).

A betakarítás időpontjában fennálló meteorológiai viszonyok hatását vizsgálva megállapítottuk, hogy az összes genotípus esetében szignifikáns növekedés volt tapasztalható a C-vitamin koncentrációjában, ahogy a csapadékmennyiség is jelentősen emelkedett ($p < 0,01$) az első termesztési szezon második betakarításakor (9. ábra, Függelék 4. és 5. ábra). Különösen a Cserkő fajtánál volt ez a növekedés kiemelkedő, ahol a C-vitamin koncentrációja közel háromszorosára emelkedett, ezzel a Bhut Jolokia után a második legmagasabb szintet elérve.

Kutatási eredményeim rámutatnak arra, hogy a genotípus meghatározó tényező volt a klímaviszonyokhoz való alkalmazkodásban, amely befolyásolta a karotinoid, tokoferol, kapszaicinoid- és C-vitamin-tartalom változását. A vizsgált csípős paprikák fitokémiai összetevőinek reakciója, az éghajlati tényezők változására különböző volt attól függően, hogy a genotípus mennyire volt képes alkalmazkodni a környezeti feltételekhez. Ennek megfelelően például a Bhut Jolokia és Cserkő fajták kulcsfontosságú forrásai lehetnek a kapszaicinoidoknak és a C-vitaminnak, mivel jól alkalmazkodtak a vizsgált két év eltérő időjárási tényezőihez. Emellett megállapítható, hogy elengedhetetlen a termesztési terület abiotikus tényezőihez legjobban megfelelő paprika fajták kiválasztása a magas hozam és kiváló minőség elérése érdekében.

5. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK

Az összes sárga karotinoid tekintetében jelentős különbség volt megfigyelhető a 2022-es és a 2023-as szezon között. A 2022-es évben a második betakarítás alkalmával a termékek β -karotin-tartalma magasabb volt, mint az első betakarításkor mért érték, ami valószínűleg az abiotikus tényezők, mint a levegő hőmérséklete, a csapadék és a napsütéses időszak változása miatt következett be, ami megegyezik a Duah et al. (2021b) által megállapított eredményekkel. A β -karotin abiotikus tényezőkre adott válasza minden vizsgált fajtánál hasonló volt, kiemelve a Szegedi 178 fajtát, ahol 2022-ben a második betakarításnál 46%-os növekedést mértem az első betakarításhoz képest. A β -karotinhoz hasonló változási tendencia volt megfigyelhető az összes A-vitamin prekursor esetében is. Ez a növekedés az emberi táplálkozás szempontjából előnyös, mivel ezek a vegyületek hozzájárulnak az A-vitamin ajánlott étrendi beviteléhez (RDI) és a megengedhető napi mennyiséghez (RDA), és létfontosságú bio-antioxidánsként működnek, csökkentve néhány veszélyes betegség kockázatát (Aziz et al. 2020). A 2023-as szezonban az A vitamin prekursor koncentráció tekintetében ellentétes tendenciát találtam, mivel az első betakarításkor magasabb értékeket ($p < 0,01$) kaptam, mint a második betakarításkor, ami alátámasztja azt az elképzelést, hogy a fő sárga karotinoidok bioszintézisét jelentősen befolyásolják a betakarítást megelőző időjárási hatások. A β -karotin esetében a különböző fajták eltérő módon reagáltak az időjárás hatásaira; enyhe növekedés (a Bhut Jolokia és a Rekord fajtáknál), vagy enyhe csökkenés (a Cserkó és a Szegedi 178 fajtáknál) volt tapasztalható. Az A vitamin prekursor legnagyobb mértékű csökkenését (76%) a Cserkó esetében figyeltem meg, amelyet a Szegedi 178 fajta 54%-os csökkenése követett, ami az időjárás hatásaira való nagyfokú érzékenysügről árulkodik. Gebregziabher et al. (2023) szerint a környezeti tényezők befolyásolják a paprikafajták karotinoid-tartalmát, ahol ezek a hatások felelősek a karotinoidok mennyiségéért, ezért a termesztési régiót figyelembe kell venni a paprika karotinoid-tartalma szempontjából.

A különböző vizsgált fajták különböznek a xantofilok zsírsavakkal történő észterezésében is. A sárga xantofilok túlnyomórészt monoészterek formájában észtereződtek. A fajták közötti eltérés a betakarítást megelőző időjárás észteresedési folyamatra gyakorolt hatásának tudható be.

A 2022-es szezon második betakarításakor a legmagasabb A-provitamin- és β -karotin-szint a Bhut Jolokiánál, majd a Szegedi 178-nál volt. A Bhut Jolokia fajta örleményéből, naponta 10 g elfogyasztása 380 μ g retinolaktivitás-egyenértéknek (RAE) felel meg. Ez az USA Orvosi

Intézete (<http9>) szerint a felnőtt férfiak számára ajánlott étrendi adag 42%-át, a felnőtt nők számára pedig 45%-át teszi ki.

A sárga xantofilokhoz hasonlóan a vörös színű karotinoidok is zsírsavakkal észtereződve fordultak elő, ahol a diészterek domináltak. Ezek felelősek a vörös színért és annak stabilitásáért a friss- és feldolgozott piros paprikakészítményekben, egyetértve Jang et al. (2022) eredményeivel, akik megállapították, hogy a piros színű paprika termésének teljes karotinoidtartalma szorosan korrelál a piros xantofilok tartalmával.

Megállapítható, hogy a betakarítás előtti hűvösebb időjárás és a nagy mennyiségű csapadék negatívan befolyásolta a vörös pigment bioszintetikus útját (Duah et al. 2021b). A vörös karotinoidok fő csoportjai az összes látható karotinoiddal párhuzamosan hajlamosak változni, mivel a paprika mintákban a vörös xantofilok domináltak. Mivel a vörös xantofilok diésztereinek és monoésztereinek szintje párhuzamos volt az összes piros karotinoid-tartalommal, várható, hogy a Szegedi 178 és a Rekord fajtákból készült termékek eltarthatósága és piacképessége sokkal magasabb, mint a többi fajtáé. A diészterek arányának fajták közötti eltérése megváltoztathatja a különböző paprika fajtákból származó készítmények tárolási stabilitására vonatkozó várakozásokat. Emellett Kan et al. (2007) 14 napos tárolás után magasabb karotinoidtartalmat mértek. Gao et al. (2022) azt vizsgálták, hogy a paprika karotinoidtartalma 20°C-on és 30°C-on 24 és 48 óra elteltével megnőtt. Vega-Gálvez et al. (2009) megfigyelték, hogy a 90 °C-os légszárítási hőmérsékleten volt a legalacsonyabb a színérték, 70 °C-on pedig a legmagasabb. Kimutatható volt, hogy minél kisebb a csapadékmennyiség, annál magasabb a vörös pigmentek aránya. Hasonló eredményeket kapott Duah et al. (2021a); Ráth et al. (2020) is. Az ő eredményükben is látható, hogy az alacsonyabb hőmérséklet és a magas csapadékmennyiség nem kedvez a vörös karotinoidok bioszintézisének paprikában és paradicsomban. Úgy tűnik, hogy a 2022-es évszak abiotikus tényezői, mint a hőmérséklet és a csapadék, ideálisak voltak a kiemelkedő tulajdonságok (pl.: intenzív piros szín és magas tápérték) kialakulásához.

Tíz gramm 2023-ban betakarított Szegedi 178 fajta örölt paprikája 8,3 mg E-vitamint tartalmazott, ami a megengedhető napi mennyiség (RDA) 56%-ának felel meg, és ha az α -tokoferol-acetátot és az α -tokoferol-szukcinátot az emberi bélben az acil-hidrolázok általi hidrolízis után az E-vitamin prekursorainak tekintjük, akkor a legjobb csípős paprika 10 grammja a vitamin RDA-jának 72%-át biztosíthatja (Institute of Medicine, 2021). A Rekord fajta tartalmazta a legalacsonyabb E-vitamin- és összes tokoferol-mennyiséget, ami kérdésessé teheti szárított és örölt termékeinek tárolhatóságát. A vörös színű karotinoidokhoz hasonlóan az

E-vitamin is pozitívan reagált ($p < 0,05$) a csapadékszint csökkenésére a Szegedi 178 fajta második betakarításakor 2023-ban, mely valószínűleg a karotinoidok és a tokoferolok bioszintézisének közös biokémiai tényezője miatt következhetett be. Ez a tendencia minden E-vitamin-komponensre is igaz volt. Érdekes, hogy 2022-ben, amikor több volt a csapadék mennyisége, nem volt szignifikáns különbség a betakarítások között a különböző fajták E-vitamin-szintjében, kivéve a Cserkót, amelynél a második betakarításkor a vitamin szintje szignifikánsan csökkent ($p < 0,05$). Ez a megállapítás hangsúlyozza, hogy az E-vitamin abiotikus tényezőkre adott válasza genotípusonként eltérő.

Az E-vitamin fő oxidációs terméke az α -tokoferol-hidrokinon, amely oxidációval keletkezik, majd gyors redukcióval a reaktív hidrogéndonorok, például a C-vitamin és a polifenolok által. Ezért a paprika redoxpotenciáljának indexeként szolgálhat. A különböző csípős paprika-fajták jelentősen különböztek az α -TocHQ-tartalma tekintetében. Az α -tokoferol-hidrokinon koncentrációja szignifikánsan magasabb volt ($p < 0,01$) a 2023-as szezon első betakarításakor, amikor a csapadék jelentősen magasabb volt, mint 2022-ben. Kivétel ez alól a második betakarítás, amikor a csapadékmennyiség változása a legtöbb vizsgált fajta esetében szignifikáns csökkenést eredményezett az E-vitamin mennyiségében, kivéve a Cserkó és Szegedi 178 fajtákat, amelyet nem befolyásolt a betakarítási időpont előtti csapadékmennyiség. A kapott eredmények azt mutatták, hogy az E-vitamin oxidációjának mértéke független a vitamin bioszintézisétől, és inkább az oxidációs-redukciós útvonalakat szabályozó genetikai tényezőktől függ (Nakamura és Omaye 2009). A paprika őrlemények eltarthatósága szempontjából az α -TocHQ nagymértékű felhalmozódása arra utalhat, hogy az oxidációs stressz (Liebler és Burr 2000) a teljes élelmiszer-mátrixot veszélyezteti, és csökkenti a tárolási stabilitást, ezáltal pedig a termék piacképességét (Pérez-Gálvez et al. 2009).

Mivel a 2022-es év második betakarításának időjárási tényezői jelentősen eltértek az első betakarítást megelőző időszakhoz képest, várható volt, hogy a genotípusok eltérő választ adnak az abiotikus változásokra a két betakarítási időpont között.

A homokapszaicin időjárási tényezőkre adott reakciója genotípusfüggő volt. A HDC-1 tartalom azonosítása nem volt egyértelmű a vizsgálat során, vagy mennyisége olyan alacsony volt, hogy nem lehetett pontosan meghatározni, ezért ez dolgozatban nem szerepel. A HDC-2 izomer mennyiségében 2022-ben a fajtákat összehasonlítva a legtöbb esetben szignifikáns különbség volt megfigyelhető ($p < 0,01$), a fajtákat azonban a Rekord második szedését kivéve nem befolyásolta a betakarítási időpont.

A 2023-as termesztési évben közvetlenül a betakarítást megelőző időszakot a 2022-es évhez képest viszonylag magasabb hőmérséklet (29 °C) és rendkívül alacsony csapadék (18 mm) jellemezte. A kapszaicinoidok időjárási tényezőkre adott válasza néhány héttel a betakarítás előtt elsősorban genetikai tényezőktől függött.

Megállapítható, hogy a csípősségért felelős anyagok környezeti tényezőkre adott reakcióját a két fontos abiotikus faktor (levegő hőmérséklete és csapadék) kölcsönhatása nagyban befolyásolja. A levegő hőmérsékletéről kimutatták, hogy befolyásolja a kapszaicin bioszintézisért felelős gének expresszióját különböző paprikafajtákban. González-Zamora et al. (2013) egy tanulmányában kimutatta, hogy a levegő hőmérsékletének emelkedése növeli a kapszaicin és dihidrokapszaicin szintjét. Yang és munkatársai (2024) több tanulmányt áttekintve arra a következtetésre jutottak, hogy a magas hőmérséklet sok, de nem minden csípős *Capsicum* genotípus esetében növelte a kapszaicinoidok tartalmát. Naves et al. (2019) hangsúlyozták, hogy bizonyos fajták esetében a magas hőmérséklet kedvező hatással van a kapszaicinoidok felhalmozódására, míg más fajtáknál a hatás negatív lehet. A termesztési hely levegő hőmérséklete összefügg a napsütéses órák számával és a napsugárzás intenzitásával. Bár a fényintenzitás kapszaicinoid tartalomra gyakorolt hatása nem mindig egyértelmű, sok tanulmány szerint egy optimális fényintenzitás szükséges a kapszaicinoid bioszintézis szabályozásához és a paprika kapszaicinoid tartalmának növeléséhez (Jiménez-Viveros et al. 2023; Arya et al. 2025). Ezenkívül kimutatták, hogy a magas fényintenzitásnak való kitettség jelentősen növelte egyes vad genotípusok kapszaicinoid tartalmát. A jelen tanulmányban a 2022-es évben mért magas kapszaicin és dihidrokapszaicin koncentrációk, amikor a magas sugárzási intenzitás és maximális hőmérséklet az első betakarítást megelőzően néhány napig meghaladta a 40 °C-ot, alátámasztja ezeket a megfigyeléseket.

A másik éghajlati változó, amely hozzájárulhatott a kapszaicinoidok alacsony tartalmához 2023-ban, a magas csapadékmennyiség lehetett. Bizonyított, hogy bizonyos esetekben a túlzott öntözés vagy a jelentős csapadékmennyiség csökkentheti a kapszaicinoid tartalmat bizonyos genotípusokban. Más tanulmányok szerint a vízhiány vagy enyhe szárazság növeli a kapszaicinoidok bioszintézisét szabályozó enzimek aktivitását, míg a túlzott vízellátás ellentétes hatást fejt ki ezekre az enzimekre (Ruiz-Lau et al. 2011; Bosland, 1992; Rathnayaka et al. 2021; Phimchan et al. 2014).

Az egyik analitikai paraméter, amely segít a kapszaicinoidok változásának jobb megértésében genetikai variáció és éghajlati változások szempontjából, a kapszaicin/ dihidrokapszaicin arány. A legmagasabb arányt (2,4) a Bhut Jolokia fajtánál mértük mindkét vizsgált évben és

betakarítási időben. A Bhut Jolokia fajtánál elért legmagasabb kapszaicin/dihidrokapszaicin arány közel áll a legtöbb hagyományosan termesztett magyar csípős paprika genotípus értékeihez. A 2022-es és 2023-as év első és második betakarítása között bekövetkezett időjárási változás nem eredményezett szignifikáns különbséget az arányban egyik vizsgált genotípus esetében sem. A kapszaicin/dihidrokapszaicin arány változása inkább a betakarítás előtti csapadékmennyiséggel, mintsem a levegő hőmérsékletének változásával hozható összefüggésbe. Az eredmények alátámasztják azt a tényt, hogy a magas vízellátás csökkenti a kapszaicinoidok bioszintézisét szabályozó enzimek aktivitását bizonyos csípős paprika fajták esetében. A kapszaicinoidok bioszintézisében részt vevő enzimek közül a hidrogenázok katalizálják a kapszaicin dihidro-származékainak szintézisét. A 2023-as év második betakarítása előtti drasztikus csapadékcsökkenés az arány jelentős növekedését eredményezte az első betakarításhoz képest, ami megerősíti azt a megfigyelést, hogy az enyhe szárazság (alacsony vízellátás) kedvezően hat a kapszaicin szintézisét katalizáló enzimek (kapszaicin-szintáz) aktivitására, miközben bizonyos mértékig csökkenti a dihidrokapszaicin-szintáz enzim aktivitását (Ruiz-Lau et al. 2011; Yang et al. 2024).

Az eredmények megerősítik, hogy a magas csípősségű paprikák esetében a C-vitamin bioszintézisére jelentős hatással van a csapadék vagy az öntözés által növekvő vízellátás, míg az alacsony vagy közepes csípősségű fajták esetében a csökkent vízellátás vagy enyhe szárazság elősegíti a C-vitamin felhalmozódását. A vízellátás és a C-vitamin tartalom közötti pozitív összefüggés nem egyezik Duah et al. (2021b) korábbi megállapításával, amely szerint fordított kapcsolat áll fenn a vízellátás és a C-vitamin szint között. Valójában a csapadékmennyiség növekedése a talaj nedvességtartalmának emelkedéséhez vezet, amelyet korábban összefüggésbe hoztak a chili paprikákban felhalmozódó C-vitamin mennyiségével. A 2022-es évben a magas napfényintenzitásnak való kitettség, amely során a levegő hőmérséklete néhány napon keresztül meghaladta a 40 °C-ot, hozzájárulhatott a C-vitamin szintézisét szabályozó biokémiai tényezők növekedéséhez.

6. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

- A csípőspaprikák zsírban oldódó fitokemikáliák tartalmát elsősorban az időjárási viszonyok szezonális változása befolyásolta. A sárga xantofillok többsége monoészterként észtereződött. A fajták közötti eltérések hátterében a betakarítást megelőző időjárási hatások állhatnak, amelyek befolyásolták az észteresedést.
- A genotípusok hatása nagymértékben befolyásolta a karotinoid és a tokoferol-tartalmat.
- A kapott eredmények azt mutatták, hogy az E-vitamin oxidációjának mértéke leginkább az oxidációs-redukciós útvonalakat szabályozó genetikai tényezőktől függ.
- A kapszaicinoid- és C-vitamin-tartalom mennyiségének változása, valamint meteorológiai tényezőkre adott reakciója nemcsak a genotípussal, hanem a genotípus és az évjárathatás közötti kölcsönhatással is jelentősen összefügg.
- A csípős paprikák fitokémiai összetevőinek érzékenysége az évjárathatásra genotípusfüggő; a 2022-es és 2023-as termesztési időszakban mért eltérő csapadékmennyiség (154 mm és 437 mm), a betakarítást megelőző átlaghőmérséklet (2023-ban szignifikánsan magasabb volt, $p < 0,05$), amely előidézhette kedvező, vagy kedvezőtlen változásokat.

7. ÖSSZEFOGLALÁS

A kutatásban négy különböző csípős paprikafajta (Bhut jolokia, Cserkó, Szegedi 178, Rekord) bioaktív komponenseit – karotinoidokat, tokoferolokat, kapszaicinoidokat és C-vitamin tartalmat – vizsgáltam két egymást követő évben (2022 és 2023), szabadföldi termesztésben. A kísérlet célja annak a vizsgálata volt, hogy a genotípus, az évjárat és a termesztési körülmények (elsősorban a hőmérséklet, a csapadék, valamint a betakarítási időpont) miként befolyásolják a termések beltartalmi értékeit.

A növényi minták analitikai feldolgozását nagy teljesítményű folyadékkromatográfiával (HPLC) végeztük: a zsírban oldódó fitokemikáliák (karotinoidok és tokoferolok) elválasztására fordított fázisú HPLC-DAD/FLD-MS módszert alkalmaztunk, míg a kapszaicinoidok mennyiségi meghatározása fluoreszcens detektorral történt. A C-vitamin esetében vizes extrakciót és dióda soros detektort (DAD) használtunk. A statisztikai elemzést többváltozós (MANOVA) és általános lineáris modellekkel (GLM) végeztük, külön elemezve a genotípus, az évjárat és a betakarítási időpont hatásait.

A vizsgált négy csípőspaprika-fajta mindegyike más-más komponensben bizonyult kiemelkedőnek. A Bhut Jolokia fajtánál volt a legmagasabb a kapszaicinoid-tartalom, míg a Szegedi 178 tartalmazta a legmagasabb karotinoid-koncentrációt. Ez arra utal, hogy a genetikai különbségek a paprikákban a bioaktív anyagok sajátos kombinációját eredményezik. A karotinoidok (különösen a vörös xantofilok) mennyisége és összetétele erősen függött az évjárat adottságoktól. A forró, szárazabb tenyészidőszak (2022) magasabb vörös pigment- és A-provitamin-szintet eredményezett. A Szegedi 178 fajta kiemelkedően magas összes vörös karotinoid (TR) tartalmat mutatott, ami a piros szín intenzitásában és a stabilitásban is megnyilvánult. Ezzel szemben a C-vitamin esetében épp fordított tendenciát kaptam: a betakarítást megelőző magasabb csapadékmennyiség, magasabb C-vitamin mennyiséget eredményezett.

A tokoferolok koncentrációját szintén nagymértékben befolyásolta az időjárás, a szedési időpont és a genotípus. A Szegedi 178 és a Bhut Jolokia fajták bizonyultak a legjobb E-vitamin-forrásnak. A több csapadék esetenként segítette a tokoferolok felhalmozódását, de a hatás nagymértékben fajtafüggő volt. A legmagasabb tokoferol koncentrációkat a vizsgált két év első betakarításai alkalmával mértem.

A kapszaicinoidok koncentrációja szempontjából a Bhut Jolokia és a Szegedi178 különösen magas értékeket mutatott (főként a kapszaicin és dihidrokapszaicin). A kapszaicinoid-tartalmat befolyásolta a hőmérséklet és a csapadék mennyisége, de a fajta genetikai háttere kulcsszerepet játszott abban, hogyan reagált a változó környezeti tényezőkre. A második betakarítások alkalmával sok esetben magasabb kapszaicinoid-tartalmat mértem. Például 2022-ben a Bhut Jolokia fajta második betakarítása esetén magasabb nordihidrokapszaicin, kapszaicin, dihidrokapszaicin értéket kaptam, mint az első betakarításkor. 2023-ban, a csapadékosabb év első betakarítása alkalmával a különböző kapszaicinoidok mennyisége szignifikánsan csökkent a 2022-es értékekhez képest, ezzel szemben a 2023-as második betakarításkor, amikor jelentősen kevesebb csapadék előzte meg a betakarítást, ebből lehet következtetni arra, hogy ez pozitív hatással volt a kapszaicinszintézist katalizáló enzimek (kapszaicin-szintáz) aktivitására.

A magas csípősségű paprikák esetében a C-vitamin bioszintézisére jelentős hatással van a vízellátottság mértéke, míg az alacsony vagy közepes csípősségű fajták esetében a csökkent vízellátás, vagy enyhe vízstressz elősegíti a C-vitamin felhalmozódását

Az eredmények hasznosíthatóak a fajtaválasztásban, a termesztéstechnológia optimalizálásában, valamint a feldolgozóipar számára értékes, magas biológiai értékű paprikából készült termékek előállításában.

7.1 Summary

In this research, I investigated the bioactive components—carotenoids, tocopherols, capsaicinoids, and vitamin C—of four different hot pepper varieties (Bhut Jolokia, Cserkó, Szegedi 178, Rekord) over two consecutive years (2022 and 2023) under open-field cultivation. The aim of the experiment was to explore how genotype, year, and cultivation conditions (primarily temperature, rainfall and harvesting time) influence the nutritional value of the peppers.

The analytical processing of the pepper samples was carried out using high-performance liquid chromatography (HPLC): for the separation of fat-soluble phytochemicals (carotenoids and tocopherols), a reversed-phase HPLC-DAD/FLD-MS method was applied, while the quantitative determination of capsaicinoids was performed with a fluorescence detector. For vitamin C, aqueous extraction and a diode array detector (DAD) were used. The statistical analysis was conducted with multivariate methods (MANOVA) and general linear models (GLM), separately examining the effects of genotype, year, and harvest time.

Each of the four hot pepper varieties studied proved to be outstanding in different components. For instance, the extremely pungent Bhut Jolokia variety had the highest capsaicinoid content, while Szegedi 178 contained the highest concentration of carotenoids. This suggests that genetic differences in peppers result in a distinctive combination of bioactive substances. The amount and composition of carotenoids (particularly red xanthophylls) were strongly dependent on the annual climatic conditions. The hot, drier growing season (2022) resulted in higher red pigment and provitamin A levels. The Szegedi 178 variety showed an exceptionally high total red carotenoid (TR) content, reflected in both the intensity and stability of its red color. By contrast, an opposite trend was observed for vitamin C: higher precipitation prior to harvest led to increased vitamin C content.

Tocopherol concentration was also significantly influenced by weather conditions, harvest timing, and genotype. The Szegedi 178 and Bhut Jolokia varieties proved to be the best sources of vitamin E. In some cases, higher rainfall promoted tocopherol accumulation, but the effect was strongly genotype-dependent. The highest tocopherol concentrations were measured during the first harvests in both years.

Regarding capsaicinoid content, Bhut Jolokia and Szegedi 178 displayed particularly high values (mainly capsaicin and dihydrocapsaicin). The amount of capsaicinoids was influenced by temperature and precipitation, yet the genetic background of the variety played a key role in

how it responded to changing environmental factors. In many cases, I measured higher capsaicinoid content during the second harvest. For example, in 2022, the second harvest of Bhut Jolokia yielded higher nordihydrocapsaicin, capsaicin, and dihydrocapsaicin values compared to the first harvest. In 2023—a rainier year—the first harvest generally showed a reduction in the various capsaicinoid levels compared to 2022, whereas the second harvest of 2023, preceded by significantly less rainfall, had a positive effect on the activity of the enzymes (capsaicin synthase) that catalyze capsaicin synthesis.

In highly pungent peppers, vitamin C biosynthesis is greatly affected by increased water supply through rainfall or irrigation, whereas in low- or medium-pungency varieties, reduced water supply or mild drought promotes the accumulation of vitamin C.

These findings can be utilized in variety selection, optimization of cultivation technology, and the production of high-value pepper products in the processing industry.

8. MELLÉKLETEK

8.1 M1 (Irodalomjegyzék)

1. Acharya, I, Pokharel, A, Weisman, D, S, (2023). Spontaneous Retroperitoneal Hematoma in Vitamin C Deficiency. *J Community Hosp Intern Med Perspect.* 2023; 13(2): 41–45. <https://doi.org/10.55729/2000-9666.1161>
2. Agostini-Costa, T, S, Gomes, I, S, Palhares, L, A, M, Reifschneider, F, J, B, Ribeiro, C, (2017). Carotenoid and total vitamin C content of peppers from selected Brazilian cultivars. *Journal of Food Composition and Analysis.* 57:73-79. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfca.2016.12.020>
3. Almela, L, López-Ropca, J, M, Candella, M, E, Alcazar, M, D, (1991). Carotenoid composition of new cultivars of red pepper for paprika. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 39, 1606–1609. <http://dx.doi.org/10.1021/jf00009a013>
4. Al-Samydai, A, Aburjai, T, Alshaer, W, Azzam, H, Al-Mamoori, F, (2019). Qualitative and Quantitative Analysis of Capsaicin from *Capsicum annum* Grown in Jordan. *International Journal of Research in Pharmaceutical Sciences.* 10(4), 3768-3774. DOI: 10.26452/ijrps.v10i4.1767
5. Ananthan, R, Subhash, K, Longvah, T, (2018). Capsaicinoids, amino acid and fatty acid profiles in different fruit components of the world hottest Naga king chilli (*Capsicum chinense* Jacq). *Food Chem.* 2018, 238, 51–57. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.12.073>
6. Arimboor, R, Natarajan, R, B, Menon, K, R, Chandrasekhar, L, P, Moorkoth, V, (2015). Red pepper (*Capsicum annum*) carotenoids as a source of natural food colors: analysis and stability-a review. *J Food Sci Technol.* 2015 Mar;52(3):1258-71. <https://doi.org/10.1007/s13197-014-1260-7>
7. Arnous, A, Makris, D, P, Kefalas, P, (2001). Effect of principal polyphenolic components in relation to antioxidant characteristics of aged red wines. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49, 5736-5742. <https://doi.org/10.1021/jf010827s>
8. Arya M, Kumar G, Giridhar P. (2025). Unraveling the Photoregulatory Mechanisms of Capsaicinoids Biosynthesis and Accumulation of Capsaicinoids in *Capsicum annum* In Vitro Cultures. *Physiol Plant.* 2025 Jul-Aug;177(4):e70370. doi: 10.1111/ppl.70370. PMID: 40583837.
9. Avar, L, (2016). A paprika biotermesztése. Magyar Mezőgazdaság, Vol.71, No.23. pp.22-23.

10. Aziz, E, Batool, R, Akhtar, W, Rehman, S, Shahzad, T, Malik, A, Arif, S, A, (2020). Xanthophyll: Health benefits and therapeutic insights. *Life sciences*, 240, 117104. <https://doi.org/10.1016/j.lfs.2019.117104>
11. Bae, H, Jayaprakasha, G, K, Crosby, K, Yoo, K, S, Leskovar, D, I, Jifon, J, Patil B, S, (2014). Ascorbic acid, capsaicinoid, and flavonoid aglycone concentrations as a function of fruit maturity stage in greenhouse-grown peppers. *Journal of Food Composition and Analysis* 33 (2014) 195–202. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfca.2013.11.009>
12. Baenas, N, Belovi M, Ilic, N, Moreno, D, A, García-Viguera, C, (2019). Industrial use of pepper (*Capsicum annum* L.) derived products: Technological benefits and biological advantages. *Food Chemistry*, 274, 872–885. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.09.04>
13. Balázs, S, (2004). Zöldségtermesztők kézikönyve. Mezőgazda Kiadó, Budapest. <https://regi.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tkt/zoldsegetermesztok/ch10s02.html> (letöltés dátuma: 2022.05.09).
14. Banaras, M, Bosland, P, W, Lownds, N, K, (2005). Effects of harvest time and growth conditions on storage and post-storage quality of fresh peppers (*Capsicum annum* L.). *Pakistan Journal of Botany*, 37(2), 337.
15. Baron, J, H, (2009). Sailors' scurvy before and after James Lind – a reassessment. *Nutr: Rev.* 67, 315–332. <https://doi.org/10.1111/j.1753-4887.2009.00205.x>
16. Batiha, G, E-S, Alqahtani, A, Ojo, O, A, Shaheen, H, M, Wasef, L, Elzeiny, M, Ismail, M, Shalaby, M, Murata, T, Zaragoza-Bastida, A, Rivero-Perez, N, Beshbishy, A, M, Kasozi, K, I, Jeandet, P, Hetta, H, F, (2020). Biological Properties, Bioactive Constituents, and Pharmacokinetics of Some *Capsicum* spp. and Capsaicinoids. *International Journal of Molecular sciences*. 21(15). 1-35. <https://doi.org/10.3390/ijms21155179>
17. Biacs, P, A, Czinkotai, B, Hoschke, A, (1992). Factors affecting stability of coloured substances in paprika powders. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 40(3), 363-367. <https://doi.org/10.1021/jf00015a001>
18. Biacs, P, A, Daood, H, G, (1994). High performance liquid chromatography with photodiode-array detection of carotenoids and carotenoid esters in fruits and vegetables. *J. Plant Physiol.* 1994, 143, 520–525. [https://doi.org/10.1016/S0176-1617\(11\)81816-X](https://doi.org/10.1016/S0176-1617(11)81816-X)
19. Bode, A, M, Dong, Z, (2011). The two faces of capsaicin. *Cancer Res.* 71 (8), 2809–2814. <https://doi.org/10.1158/0008-5472.CAN-10-3756>.

20. Bonaccorsi, I, Cacciola, F, Utczas, M, Inferrera, V, Giuffrida, D, Donato, P, Dugo, P, Mondello, L, (2016). Characterization of the pigment fraction in sweet bell peppers (*Capsicum annuum* L.) harvested at green and overripe yellow and red stages by offline multidimensional convergence chromatography/liquid chromatography–mass spectrometry. *Journal of Separation Science*, 39, 3281-3291. <https://doi.org/10.1002/jssc.201600220>
21. Booth, V, H, Bradford, M, P, (1963). Tocopherol contents of vegetables and fruits. *Brit. J. Nutr.* 1963, 17, 575-581. <https://doi.org/10.1079/bjn19630060>
22. Bosland P, W, (1992). Chiles: A diverse crop HortTechnology 2 6 10.
23. Bosland, P, W, Baral, J, B, (2007). ‘Bhut Jolokia’ - The World’s Hottest Known Chile Pepper is a Putative Naturally Occurring Interspecific Hybrid. *Hortscience* 42(2):222–224. 2007. <http://dx.doi.org/10.21273/HORTSCI.42.2.222>
24. Brigelius-Flohé, R, Traber, M, G, (1999). Vitamin E: function and metabolism. *The FASEB Journal* 13.10 (1999): 1145-1155. <https://doi.org/10.1096/fasebj.13.10.1145>
25. Budai, Cs, Kiss, F, (2003). A hajtatott paprika növényvédelméről. *Növényvédelmi tanácsok*, Vol.12, No.6. 12.
26. Camara, B, & Moneger, R, (1978). Free and esterified carotenoids in green and red fruits of *Capsicum annuum* (Bush red peppers). *Phytochemistry*. 1978, 17 (1), 91–93. [https://doi.org/10.1016/S0031-9422\(00\)89686-7](https://doi.org/10.1016/S0031-9422(00)89686-7)
27. Camposeco-Montejo, N, Flores-Naveda, A, Ruiz-Torres, N, Álvarez-Vázquez, P, Niño-Medina, G, Ruelas-Chacón, X, Torres-Tapia, M, A, Rodríguez-Salinas, P, Villanueva-Coronado, V, García-López, J, I, (2021). Agronomic Performance, Capsaicinoids, Polyphenols and Antioxidant Capacity in Genotypes of Habanero Pepper Grown in the Southeast of Coahuila, Mexico. *Horticulturae* 2021, 7, 327. <https://doi.org/10.3390/horticulturae7100372>
28. Carr, A, C, Maggini S, (2017). Vitamin C and immune function. *Nutrients* 9.11 (2017): 1211. <https://doi.org/10.3390/nu9111211>
29. Cervantes-Paz, B, Yahia, E, M, Ornelas-Paz, J, J, Gardea-Béjar, A, A, Ibarra-Junquera, V, Pérez-Martínez, J D, (2012). Effect of heat processing on the profile of pigments and antioxidant capacity of green and red jalapeño peppers. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*. 60, 10822–10833. <https://doi.org/10.1021/jf303091u>

30. Chen, C, W, Lee, T, C, Ho, C, T, (1996). Antioxidative Effect and Kinetics Study of Capsanthin on the Chlorophyll-Sensitized Photooxidation of Soybean Oil and Selected Flavor Compounds. In: Spices, Flavor Chemistry and Antioxidant Properties; Risch, S.J.; Ho, C.T.; Ed.; ACS: Washington, DC, 1996; 188–198.
31. Chen, K, S, Chen, P, N, Hsieh, Y, S, Lin, C, Y, Lee, Y, H, Chu, S, C, (2015). Capsaicin protects endothelial cells and macrophage against oxidized low-density lipoprotein-induced injury by direct antioxidant action. *Chem-Biol. Interact.* 228, 35-45. <https://doi.org/10.1016/j.cbi.2015.01.007>
32. Csóka, M, (2014). Fűszerpaprika örlemények szín- és illattulajdonságainak vizsgálata. Doktori értekezés. Élelmiszertudományi Doktori Iskola, Budapest. pp. 122-123.
33. Daood, H, G, Vinkler M, Márkus F, Hebshi E, A, Biacs P, A, (1996). Antioxidant vitamin content of spice red pepper (paprika) as affected by technological and varietal factors. *Food Chemistry*, Volume 55, Issue 4, April 1996, Pages 365-372. [https://doi.org/10.1016/0308-8146\(95\)00136-0](https://doi.org/10.1016/0308-8146(95)00136-0)
34. Daood, H, G, Halász, G, Palotás, G, Palotás, G, Bodai, Zs, Helyes, L, (2015). HPLC Determination of Capsaicinoids with Cross-Linked C18 Column and Buffer-Free Eluent. *Journal of Chromatographic Science*, Volume 53, Issue 1, January 2015, Pages 135–143. <https://doi.org/10.1093/chromsci/bmu030>
35. Daood, H, G, Palotás, G, Somogyi, G, Pék, Z, Helyes, L, (2014). Carotenoid and antioxidant content of ground paprika from indoor-cultivated traditional varieties and new hybrids of spice red peppers, *Food Research International*, 650: pp.231-237. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.04.048>
36. Davidsson, L, Galan, P, Kastenmayer, P, Cherouvrier, F, Juillerat, M, A, Hercberg, S, Hurrell, R, F, (1994). Iron bioavailability studied in infants: The influence of phytic acid and ascorbic acid in infant formulas based on soy isolate. *Pediatr. Res.* 1994, 36, 816–822. <https://doi.org/10.1203/00006450-199412000-00024>
37. Deepa, N, Kaur, C, George, B, Singh, B, Kapoor, H, C, (2007). Antioxidant constituents in some sweet pepper (*Capsicum annuum* L.) genotypes during maturity. *LWT - Food Science and Technology* 40, 121–129. <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2005.09.016>
38. Delgado, A, Al-Hamimi, S, Fawzy, R, M, Wit, D, M, Durazzo, A, Nyam, K, L, Issaoui M, (2020). Contribution of Tocols to Food Sensorial Properties, Stability, and Overall Quality. *Journal of Food Quality*. 2020, 8885865, 8 pages <https://doi.org/10.1155/2020/8885865>

39. Desai, P, R, Marepally, S, Patel, A, R, Voshavar, C, Chaudhuri, A, Singh, M, (2013). Topical delivery of anti-TNF α siRNA and capsaicin via novel lipid-polymer hybrid nanoparticles efficiently inhibits skin inflammation in vivo. *Journal of Controlled Release: Official Journal of the Controlled Release Society* 170: 51–63. <https://doi.org/10.1016/j.jconrel.2013.04.021>
40. Donaldson, M, S, (2004). Nutrition and cancer: a review of the evidence for an anticancer diet. *Nutr. J.* 3, 19. <https://doi.org/10.1186/1475-2891-3-19>
41. Duah, A, S, Souza, C, S, Daood, H, G, Pék, Z, Neményi, A, Helyes, L, (2021a). Content and response to γ -irradiation before over-ripening of capsaicinoid, carotenoid, and tocopherol in new hybrids of spice chili peppers. *LWT-Food Sci. Technol.* 2021, 147, 111555. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111555>
42. Duah, A, S, Souza, S, C, Nagy, Zs, Pék, Z, Neményi, A, Daood, H, G, Vinogradov, Sz, Helyes, L, (2021b). Effect of water supply on physiological response and phytonutrient composition of chili peppers. *Water*, 13(9), 1284. <https://doi.org/10.3390/w13091284>
43. Dubey, R, K, Singh, V, Upadhyay, G, Pandey, A, K, Prakash, D, (2015). Assessment of phytochemical composition and antioxidant potential in some indigenous chilli genotypes from North East India. *Food Chemistry* 188 (2015) 119–125. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.04.088>
44. Duelund, L, Mouritsen, O, G, (2017). Contents of capsaicinoids in chilies grown in Denmark. *Food Chem.* 2017, 221, 913–918. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.11.074>
45. Elmadfa I, Wagner K, H, (2003). Non-Nutritive Bioactive Food Constituents of Plants: Tocopherols (Vitamin E). *Int. J. Vitam. Nutr. Res.*, 73 (2), 2003, 89–94. <https://doi.org/10.1024/0300-9831.73.2.89>
46. Elmann, A, Garra, A, Alkalai-Tuvia, S & Fallik, E (2016). Influence of organic and mineral-based conventional fertilization practices on nutrient levels, anti-proliferative activities and quality of sweet red peppers following cold storage. *Israel Journal of Plant Sciences*, 63(1), 51–57. <https://doi.org/10.1080/07929978.2016.1151286>
47. Fail, J, (2017). A hajtatott paprika biológiai növényvédelme. *Agrofórum*, Vol.28, No.7. 158-161.
48. Fan, Y, Lu, Y, M, Yu, B, Tan, C, P, Cui, B, (2017). Extraction and purification of capsaicin from capsicum oleoresin using an aqueous two-phase system combined with chromatography. *Journal of Chromatography B* 1063 (2017) 11–17. <https://doi.org/10.1016/j.jchromb.2017.07.006>

49. Fehér, B, (2009). A tápanyagot minél több részletben adagoljuk. *Kertészet és szőlészet*, Vol.58, No.16. 27.
50. Fenech, M, Amaya I, Valpuesta V, Botella, M, A, (2019). Vitamin C content in fruits: Biosynthesis and Regulation. *Front. Plant Sci*, 24. Volume 9 - 2018 | <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.02006>.
51. Foote, C, S, Chang, Y, C, Denny, R, W, (1970). Chemistry of singlet oxygen. X. Carotenoid quenching parallels biological protection. *J. Am. Chem. Soc.* 1970. 92, 5216–5218. <https://doi.org/10.1021/ja00720a036>
52. Gale, C, R, Hall, N, F, Phillips, D, I, Martyn, C, N, (2001). Plasma antioxidant vitamins and carotenoids and age-related cataract. *Ophthalmology* 108, 1992-1998. [https://doi.org/10.1016/s0161-6420\(01\)00833-8](https://doi.org/10.1016/s0161-6420(01)00833-8)
53. Gao, C, A, Mao, Q, Wan, H, Yao, Z, Zhou, G, Ruan, M, Cheng, Y, (2022). Effects of storage temperature on the post-harvest quality of chili pepper (*Capsicum annum* L.). *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 30, 226-235. <https://doi.org/10.12357/cjea.20210586>
54. Gebregziabher, B, S, Gebremeskel, H, Debesa, B, Ayalneh, D, Mitiku, T, Wendwessen, T, Habtemariam, E, Nur, S, Getachew, T, (2023). Carotenoids: Dietary sources, health functions, biofortification, marketing trend and affecting factors—A review. *Journal of Agriculture and Food Research*, 14, 100834. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2023.100834>
55. Giannakourou M & Taoukis P, S (2021). Changes during Food Freezing and Frozen Storage. *Foods* 2021, 10, 2525. <https://doi.org/10.3390/foods10112525>
56. Glits, M, (2007). A paprika baktériumos és gombás betegségei. *Zöldségtermesztés*, Vol. 38, No.4. pp.17-18.
57. Glits, M, (2009). A paprika védelmének növénykórtani sajátosságai. *Agrofórum*, Vol.20, No.8. pp.71.
58. Glits, M, Folk, Gy, (2000). *Kertészeti növénykórtan*. Mezőgazda Kiadó, Budapest. 304-320.
59. Gnayfeed, M, H, Daood, H, G, Biacs, P, A, Alcaraz, C, F, (2001). Content of bioactive compounds in pungent spice red pepper (paprika) as affected by ripening and genotype. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 81, 1580–1585. <https://doi.org/10.1002/jsfa.982>
60. Goda, Y, Nakamura, S, Sakamoto, S, Ishikawa, K, Maitani, T, Yamada, T, (1997). Photo-stability of coloring constituents in paprika color. *J. Food Hyg. Soc. Jpn.*, 1997, 38 (4), 240–247. doi 10.3358/shokueishi.38.4_240

61. Gómez-García, M, R, Ochoa-Alejo, N, (2013). Biochemistry and molecular biology of carotenoid biosynthesis in chilli peppers (*Capsicum* spp.). *International Journal of Molecular Science*, 14, 19025–19053. <https://doi.org/10.3390/ijms140919025>
62. González-Zamora, A, Sierra-Campos, E, Luna-Ortega, J, G, Pérez-Morales, R, Ortiz, J, C, Garcia-Hornández, J, L, (2013). Characterization of different *Capsicum* varieties by evaluation of their capsaicinoids content by high performance liquid chromatography, detection of pungency and effect of high temperature. *Molecules* 2013, 18, 13471–13486. <https://doi.org/10.3390/molecules181113471>
63. Govindarajan V, S, Sathyanarayana M, N, (1991). *Capsicum*-production, technology, chemistry, and quality. Part V. Impact on physiology, pharmacology, nutrition and metabolism; structure, pungency, pain and desensitization sequences. *Crit. Rev. Food Sci.* 1991;29:435–473. doi: 10.1080/10408399109527536
64. Guil-Guerrero, J, L, Martínez-Guirado, C, Rebolloso-Fuentes, M, M, Carrique-Pérez, A, (2006). Nutrient composition and antioxidant activity of 10 pepper (*Capsicum annuum*) varieties. *Eur Food Res Technol* (2006) 224: 1–9. <https://doi.org/10.1007/s00217-006-0281-5>
65. Gupta, P, Sreelakshmi, Y, Sharma, R (2015). A rapid and sensitive method for the determination of carotenoids in plant tissues by high performance liquid chromatography. *Plant Methods*, 11, 1–12. <https://doi.org/10.1186/s13007-015-0051-0>
66. Gyulai, B, Sebestyén, E, (2011). Étkezési paprika tápanyag-utánpótlása. *Agrárágazat*, Vol.12, No.9. pp.36-38.
67. Gyúros, J, (2007). Gondolatok a paprika fajtahasználatról. *Zöldségtermesztés*, Vol.38, No.4. pp.6-7.
68. Hallberg, L, (1981). Bioavailability of dietary iron in man. *Annual Review of Nutrition*, 1, 123–127. <https://doi.org/10.1146/annurev.nu.01.070181.001011>
69. Hallmann, E, Rembiałkowska, E, (2012). Characterisation of antioxidant compound in sweet bell pepper (*Capsicum annuum* L.) under organic and conventional growing system. *Journal of Science of Food and Agriculture*, 92, 2409–2415. <https://doi.org/10.1002/jsfa.5624>
70. Hayman, M, Kam P, C, (2008). Capsaicin: A review of its pharmacology and clinical applications. *Current Anaesthesia & Critical Care* 19: 338–343. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cacc.2008.07.003>
71. Hemilä H, Ph.D. Tézis. University of Helsinki; Helsinki, Finland: 2006. Do vitamins C and E affect Respiratory Infections?

72. Hodossi, S, Kovács, A, Terbe, I, (2009). Zöldségtermesztés szabadföldön. Mezőgazda Kiadó, Budapest. Pp.141, 144.
73. Holick, C, N, Michaud, D, S, Stolzenberg-Solomon, R, Mayne, S, T, Pietinen, P, Taylor, P, R, Virtamo, J, Albanes, D, (2002). Dietary carotenoids, serum b-carotene, and retinol and risk of lung cancer in the Alpha-Tocopherol, Beta-Carotene cohort study. *Am. J. Epidemiol.* 156, 536-547 <https://doi.org/10.1093/aje/kwf072>
74. Hornero-Méndez, D, Gómez-Ladrón, de G, R, Mínguez-Mosquera, M, I, (2000). Carotenoid biosynthesis changes in five red pepper (*Capsicum annuum* L.) cultivars during ripening. Cultivar selection for breeding. *J. Agric. Food Chem.* 48, 3857-3864 <https://doi.org/10.1021/jf991020r>
75. Hovorkáné, H, ZS, (2007). Fűszerpaprika örlemények érzékelt és mért színjellemzői. Doktori értekezés. Élelmiszertudományi Doktori iskola, Budapest. pp. 20.
76. Hulse, J, D, Ellis, S, R, Henderson, L, M, (1978). Carnitine biosynthesis-beta hydroxylation of trimethyllysine by an a-keto glutarate dependent mitochondrial dioxygenase. *The Journal of Biological Chemistry*, 253, 1654–1659. [https://doi.org/10.1016/S0021-9258\(17\)34915-3](https://doi.org/10.1016/S0021-9258(17)34915-3)
77. Institute of Medicine. Food and Nutrition Board. Dietary Reference Intakes for Vitamin A, Vitamin K, Arsenic, Boron, Chromium, Copper, Iodine, Iron, Manganese, Molybdenum, Nickel, Silicon, Vanadium, and Zinc . Washington, DC: *National Academy Press*; 2021.
78. Iqbal, Q, Amjad, M, Asi, M, R, Ariño, A, (2013). Characterization of Capsaicinoids and Antioxidants in Hot Peppers as Influenced by Hybrid and Harvesting Stage. *Plant Foods Hum Nutr* (2013) 68:358–363. <https://doi.org/10.1007/s11130-013-0386-5>
79. Isépy, A, (2014). A paradicsom és a paprika piaci helyzete. *Kertészet és szőlészet*, Vol.63, No.3. pp.10.
80. Jang, S, Kim, G, W, Han, K, Kim, Y, M, Jo, J, Lee, S, Y, Kwon, J, K, Kang, B, C, (2022). Investigation of genetic factors regulating chlorophyll and carotenoid biosynthesis in red pepper fruit. *Front. Plant Sci.* 2022 Sep 15;13:922963. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.922963>
81. Jarén-Galán, M, Mínguez-Mosquera, M, I, (1999). Effect of pepper lipoxygenase activity and its linked reactions on pigments of the pepper fruit. *J. Agric. Food Chem.* 1999, 47, 4532–4536. <https://doi.org/10.1021/jf9900682>
82. Jifon, J, L, Lester, G, Stewart, M, Crosby, C, Leskovar, D, I, (2012). Fertilizer use and functional quality of fruits and vegetables. Chapter 9: Fertilizer Use and Human Health.

- In: Proceedings of the Conference Name, Conference Location. The International Fertilizer Industry Association (IFA) and the *International Plant Nutrition Institute* (IPNI), Cincinnati, Ohio, date Oct. 21-24, 2012.
83. Jiménez-Viveros Y, Núñez-Palenius H, G, Fierros-Romero G, Valiente-Banuet J, I, (2023). Modification of Light Characteristics Affect the Phytochemical Profile of Peppers. *Horticulturae* 2023, 9(1), 72; <https://doi.org/10.3390/horticulturae9010072>
 84. Ju J, Picinich, S, C, Yang, Z, Zhai, Y, Suh, N, Kong A, N, Yang, C, S, (2009). Cancer-preventive activities of tocopherols and tocotrienols. *Carcinogenesis*. 2009 Sep 11;31(4):533–542. <https://doi.org/10.1093/carcin/bgp205>
 85. Kan, E, L, Sargent, S, A, Simonne, A, Shaw, N, L, Cantliffe, D, J, (2007). Changes in the postharvest quality of datil hot peppers as affected by storage temperature. *Proceedings of Florida State Horticultural Society*, 120,246–250. 2007.
 86. Kantar M, B, Anderson, J, E, Lucht, S, A, Mercer, K, Bernau, V, Case, K, A, Le, N, C, Frederiksen, M, K, DeKeyser, H, C, Wong, Z, Z, Hastings, J, C, Baumler, D, J, (2016). Vitamin Variation in *Capsicum* Spp. Provides Opportunities to Improve Nutritional Value of Human Diets. *PLOS ONE*. 1-12. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0161464>
 87. Kappel, N, Terbe, I, Szabó, Zs, J, (2006). Az étkezési paprika (*Capsicum annuum* L.) fajlagos tápanyagigénye. *Kertgazdaság*, Vol.38, No.1. pp.3-13.
 88. Karaman, K, Pinar, H, Ciftci, B, Kaplan, M, (2023). Characterization of phenolics and tocopherol profile, capsaicinoid composition and bioactive properties of fruits in interspecies (*Capsicum annuum* X *Capsicum frutescens*) recombinant inbred pepper lines (RIL). *Food Chemistry*, 423, 136173. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.136173>
 89. Kaur, C, Kapoor, H, C, (2001). Antioxidants in fruits and vegetables – The millennium’s health. *International Journal of Food Science and Technology*, 36, 703–725. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2001.00513.x>
 90. Kerek, M, Birkás, Z, (2018). A hajtatott paprika növényvédelmi technológiája. *Növényvédelem*, Vol.79, No.5. pp.204-210.
 91. Kicska, T, (2016). Az intenzitás növelésének ökonómiai megítélése a paprikahajtatásban, különös tekintettel a termesztőberendezés típusára. *Journal of antral European green innovation*, Vol.4, No.3. pp.59-72.
 92. Kim, C, S, Kawada, T, Kim, B, S, Han, I, S, Choe, S, Y, Kurata, T, Yu, R, (2003). Capsaicin exhibits anti-inflammatory property by inhibiting IκB-α degradation in LPS-

- stimulated peritoneal macrophages. *Cell. Signal.* 15 (3), 299–306.
[https://doi.org/10.1016/s0898-6568\(02\)00086-4](https://doi.org/10.1016/s0898-6568(02)00086-4)
93. Kim, S, Ha, T, Y, Hwang, I, K, (2009). Analysis, Bioavailability, and Potential Healthy Effects of Capsanthin, Natural Red Pigment from *Capsicum* spp. *Food Reviews International*, 25:198–213. <https://doi.org/10.1080/87559120902956141>
 94. Kiss, L, (2014). Ismeretlen ismerős: a paprikalisztharmat. *Kertészet és szőlészet*, Vol.50, No.10. pp.461-466.
 95. Koch, M, Arango, Y, Mock, H, P, Heise, K, P, (2002). Factors influencing α -tocopherol synthesis in pepper fruits. *Journal of plant physiology*, 159, 1015-1019.
<https://doi.org/10.1078/0176-1617-00746>
 96. Kocot, J, Luchowska-Kocot, D, Kielczykowska, M, Musik, I, Kurzepa, J, (2017). Does Vitamin C Influence Neurodegenerative Diseases and Psychiatric Disorders? *Nutrients*. 2017 Jun 27;9(7):659. <https://doi.org/10.3390/nu9070659>
 97. Koncsek, A, Daoud, G, H, Helyes, L, Véha, A, (2020). Fűszerpaprikák színezéktartalom felhalmozódási dinamikája különböző termesztési körülmények között. *Kertgazdaság* 52 (2020) 1. pp. 65-66.
 98. Kovács, J, Fischl, G, (2014). A paradicsom és a paprika alternáriás betegségei (*Alternaria* spp.). *Agrofórum*, Vol.25, No.5. pp.47.
 99. Kruk, J, Szymanska, R, Krupinska, K, (2008). Tocopherol quinone content of green algae and higher plants revised by a new high-sensitive fluorescence detection method using HPLC—Effects of high light stress and senescence. *Journal of Plant Physiology*, 165, 1238–1247. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2008.03.006>
 100. Kruk, J, Szymanska, R, Nowicka, B, & Dluzewska, J, (2016). Function of isoprenoids quinones and chromanols during oxidative stress in plants. *New Biotechnology*, 33, 636–643. <https://doi.org/10.1016/j.nbt.2016.02.010>
 101. Lahbib, K, Dabbou, S, Bok, S, E, Pandino, Gaetano, Lombardo, S, Gazzah, M, E, (2017). Variation of biochemical and antioxidant activity with respect to the part of *Capsicum annuum* fruit from Tunisian autochthonous cultivars. *Industrial Crops & Products*. 104 (2017) 164-170. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.04.037>
 102. Lantos, F, (2012). A fajta és a hibridek vetélkedése az étkezési paprika hajtásban. *Őstermelő, Gazdálkodók lapja*, Vol.16, No.2. pp.82-84.
 103. Lantos, F, (2018). *Capsicum* genus. „A paprika fajok eredete”. Kiadta a Szentes Városért Közalapítvány, és a Duna-r Vetőmag Kft. ISBN 978-615-00-3030-2. pp.4.

104. Lee, G, R, Shin, M, K, Yoon, D, J, Kim, A, R, Yu, R, Park, N, H, Han, I, S, (2013). Topical application of capsaicin reduces visceral adipose fat by affecting adipokine levels in high-fat diet-induced obese mice. *Obesity* 21 (1), 115–122. <https://doi.org/10.1002/oby.20246>
105. Lee, S, K, Kader, A, A, (2000). Preharvest and postharvest factors influencing vitamin C content of horticultural crops. *Postharvest Biology and Technology* 20 (2000) 207–220. [https://doi.org/10.1016/S0925-5214\(00\)00133-2](https://doi.org/10.1016/S0925-5214(00)00133-2)
106. Lekala, C, S, Madani, K, S, H, Phan, A, D, T, Maboko, M, M, Fotouo, H, Soundy, P, Sultanbawa, Y, Sivakumar, D, (2019). Cultivar-specific responses in red sweet peppers grown under shade nets and controlled-temperature plastic tunnel environment on antioxidant constituents at harvest. *Food Chemistry*, 275. 85-94. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.09.097>
107. Lelkes, J, (2009). Zöldségfélék mikroöntözése (paradicsom, paprika, uborka). Értékálló aranykorona: országos mezőgazdasági szaklap, Vol.9, No.5. pp.11-12
108. Levin, M, (1986). New concepts in the biology and biochemistry of ascorbic acid. *The New England Journal of Medicine*, 31, 892–902. <https://doi.org/10.1056/nejm198604033141407>
109. Liebler D, C, & Burr J, A, (2000). Antioxidant reactions of α -tocopherolhydroquinone. *Lipids* 35, 1045–1047 (2000). <https://doi.org/10.1007/s11745-000-0617-8>
110. Lin, C, H, Lu, W, C, Wang, C, W, Chan, Y, C, Chen, M, K, (2013). Capsaicin induces cell cycle arrest and apoptosis in human KB cancer cells. *BMC Complement. Altern. M.* 13 (1), 1–9. <https://doi.org/10.1186/1472-6882-13-46>.
111. Liu, X, W, Sun, Zhang, B, Tian, B, Tang, X, Qi, N, He, H, Li, H, Jin, X, (2013). Clarithromycin-loaded liposomes offering high drug loading and less irritation. *International Journal of Pharmaceutics* 443: 318–327. <https://doi.org/10.1016/j.ijpharm.2013.01.023>
112. Loizzo, M, R, Pugliese, A, Bonesi, M, Menichini, F, Tundis, R, (2015). Evaluation of chemical profile and antioxidant activity of twenty cultivars from *Capsicum annuum*, *Capsicum baccatum*, *Capsicum chacoense* and *Capsicum chinense*: A comparison between fresh and processed peppers. *LWT - Food Science and Technology* 64 (2015) 623-631. <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2015.06.042>
113. Machado, F, B, Macedo, I, Y, L, Campos, H, M, Moreno, E, K, G, Silva, M, F, B, Neto, J, R, O, Ramalho, R, R, F, Nascimento, A, R, Vaz, B, G, Cunha, L, C, Ghedini,

- P, C, Diclescu, V, C, Gil, E, S, (2021). Antioxidant activity of thirty-six peppers varieties and vasorelaxant of selected varieties. *Food Bioscience* 41 (2021) 100989. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2021.100989>
114. Mácsai, I, (2009). A paprika-palántanevelés gyakorlata. *Kertészet és szőlészet*, Vol.58, No.4 pp.10-11.
 115. Manirakiza P.A., Covaci A., Schepens P. Pungency principles. In: de A.K., editor. *Capsicum*. The genus *Capsicum*. Taylor and Francis; London, UK: 2003. pp. 71–86.
 116. Maoka, T, Mochida, K, Kozuka, M, Ito, Y, Fujiwara, Y, Hashimoto, K, Enjo, F, Ogata, M, Nobukuni, Y, Tokuda, H, (2001). Cancer chemopreventive activity of carotenoids in the fruits of red paprika *Capsicum annuum* L. *Cancer Lett.* 172, 103-109. [https://doi.org/10.1016/s0304-3835\(01\)00635-8](https://doi.org/10.1016/s0304-3835(01)00635-8)
 117. Marín, A, Ferreres, F, Tomas-Barberan, F, A, Gil, M, I, (2004). Characterization and quantitation of antioxidant constituents of sweet pepper (*Capsicum annuum* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 52 (12) 3861–3869. <https://doi.org/10.1021/jf0497915>
 118. Marse-Perlman, J, A, Fisher, A, I, Klein, R, Palta, M, Block, G, Millen, A, E, Wright, J, D, (2001). Lutein and zeaxanthin in the diet and serum and their relation to age-related maculopathy in the third national health and nutrition examination survey. *Am. J. Epidemiol.* 153, 424-432. <https://doi.org/10.1093/aje/153.5.424>
 119. Martínez S, López M, González-Raurich M, Alvarez A, B, (2005). The effects of ripening stage and processing systems on vitamin C content in sweet peppers (*Capsicum annuum* L.). *Int J Food Sci Nutr.* 2005 Feb;56(1):45-51. doi: 10.1080/09637480500081936
 120. Meghvansi, M, K, Siddiqui, S, Khan, M, H, Gupta, V, K, Vairale, M, G, Gogoi, H, K, Singh, L, (2010). Naga chilli: A potential source of capsaicinoids with broad-spectrum ethnopharmacological applications. *Journal of Ethnopharmacology*, 132(1), 1–14. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2010.08.034>
 121. Meral, O, Alpay, M, Kismali, G, Kosova, F, Cakir D, U, Pekcan, M, Yigit, S, Sel, T, (2014). Capsaicin inhibits cell proliferation by cytochrome c release in gastric cancer cells. *Tumor Biol.* 35 (2014) 6485–6492. <https://doi.org/10.1007/s13277-014-1864-6>
 122. Mínguez-Mosquera, M, I, Hornero-Méndez, D, (1993). Separation and quantification of carotenoid pigment in red pepper (*Capsicum annuum* L.) paprika and oleoresin by reversed phase HPLC. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 41, 1616–1620. <https://doi.org/10.1021/jf00034a018>

123. Mínguez-Mosquera, M, I, Hornero-Mendez, D, (1994)a. Formation and transformation of pigments during the fruit ripening of *Capsicum annuum* cv. Bola and Agridulce. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 42, 38–44.
<https://doi.org/10.1021/jf00037a005>
124. Mínguez-Mosquera, M, I, Hornero-Mendez, D, (1994)b. Comparative study of the effect of paprika processing on the carotenoids in peppers (*Capsicum annuum*) of the Bola and Agridulce varieties. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 42, 1555–1560. <https://doi.org/10.1021/jf00043a031>
125. Molnár, A, (2008). A fajtaválasztás lehetséges szerepe a tripszek elleni hatékonyabb védekezésben, hajtatott paprika állományban. *Agrofórum*, Vol.19, No.9. pp.70.
126. Molnár, A, Szabó, Á, Fail, J, Kis, K, Péntes, B, (2011). Tripszek (*Thysanoptera*) természetes ellenségeinek hatékonyságát befolyásoló tényezők, hajtatott paprika állományban. *Növényvédelem*, Vol.47, No.1. pp.17.
127. Molnár, A, Terbe, I, Kiss, K, (2009). A nyugati virágtripsszel szembeni ellenállóság vizsgálatának újabb eredményei hajtatott paprika állományban. *Agrofórum*, Vol.20, No.11. pp.45-47.
128. Morelli, M, B, Gambardella, J, Castellanos, V, Trimarco, V, Santulli, G, (2020). Vitamin C and Cardiovascular Disease: An Update. *Antioxidants* 9(12).
<http://dx.doi.org/10.3390/antiox9121227>
129. Mou, J, Paillard, F, Turnbull, B, Trudeau, J, Stoker, M, Katz, N, P, (2013). Efficacy of Qutenza (capsaicin) 8 % patch for neuropathic pain: A meta-analysis of the Qutenza Clinical Trials Database. *Pain* 154: 1632–1639.
<https://doi.org/10.1016/j.pain.2013.04.044>
130. Nadeem, M, Anjum, F, M, Khan, M, R, Saeed, M, Riaz, A, (2011). Antioxidant Potential of Bell Pepper (*Capsicum annum* L.) A Review. *Pak. J. Food Sci.* 2011, 21, 45–51.
131. Nagy, Zs, (2018). Chili paprika minőségi paramétereinek alakulása különböző színű árnyékoló hálók, genotípusok és érésfázisok függvényében. PhD értekezés, Szent István Egyetem, Növénytudományi Doktori Iskola, Gödöllő. pp.12.
132. Nagy Zs, Daoood H, G, Koncsek A, Molnár H, Helyes L, (2017). The simultaneous determination of capsaicinoids, tocopherols, and carotenoids in pungent pepper powder. *Journal of Liquid Chromatography & Related Technologies*, 2017, VOL. 40, NO. 4, 199–209. <http://dx.doi.org/10.1080/10826076.2017.1297722>

133. Naidu, K, A, (2003). Vitamin C in human health and disease is still a mystery? An overview. *Nutrition Journal*, 2, 7. <https://doi.org/10.1186/1475-2891-2-7>
134. Nakamura Y, K & Omaye S, T, (2009). Vitamin E-modulated gene expression associated with ROS generation. *Journal of Functional Foods*. Volume 1, Issue 3, 2009, Pp. 241-252. doi:10.1016/j.jff.2009.02.002
135. Naves, E, R, Silva, L, Á, Sulpice, R, Araújo, W, L, Nunes-Nesi, A, Peres, L, E, P, Zsögön, A, (2019). Capsaicinoids: Pungency beyond *Capsicum*. *Trend Plant Sci.* 2019, 24, 109–120. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2018.11.001>
136. Nelson, E, K, (1923). The constitution of capsaicin, the pungent principle of *Capsicum*. *III. J. Am. Chem. Soc.* 1923, 45, 2179-2181 <https://doi.org/10.1021/ja02228a011>
137. Némethyné, U, H, Ertseyné, P, K, (2009). Zöldségvetőmag termesztés. Mezőgazda Kiadó, Budapest. pp.58-61.
138. Niki, E, (1987). Antioxidants in relation to lipid peroxidation. *Chem. Phys. Lipids*. 1987, 44, 227–253. [https://doi.org/10.1016/0009-3084\(87\)90052-1](https://doi.org/10.1016/0009-3084(87)90052-1)
139. Ombódi, A, Locher, J, Dimény, J, (2003). Különböző hatásmechanizmusú műtrágyák hatása a palántaföld ionaktivitására és a paprika palánták minőségére. *Kertgazdaság*, Vol.35, No.1, pp.77-83.
140. Orellana-Escobedo, L, Garcia-Amezquita, L, E, Olivas, G, I, Ornelas-Paz, J, J, Sepulveda, D, R, (2013). Capsaicinoids content and proximate composition of Mexican chili peppers (*Capsicum* spp.) cultivated in the State of Chihuahua. *CyTA-Journal of Food* 11 (2), 179–184. <https://doi.org/10.1080/19476337.2012.716082>
141. Osuna-García, J, A, Wall, M, M, Waddell, C, A, (1998). Endogenous Levels of Tocopherols and Ascorbic Acid during Fruit Ripening of New Mexican-Type Chile (*Capsicum annuum* L.) cultivars *J. Agric. Food Chem.* 1998, 46, 5093–5096. <https://doi.org/10.1021/jf980588h>
142. Ördög, V, Molnár, Z, (2011). Növényélettan. Debreceni Egyetem, NyugatMagyarországi Egyetem, Pannon Egyetem. https://regi.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/0010_1A_Prez_02-Novenyeleltan/01Vizpotencial_1_1.html (megtekintés dátuma: 2023.09.20).
143. Park, J, S, Choi, M, A, Kim, B, S, Han, I, S, Kurata, T, Yu, R, (2000). Capsaicin protects against ethanol-induced oxidative injury in the gastric mucosa of rats. *Life Sci.* 67 (25), 3087–3093. [https://doi.org/10.1016/S0024-3205\(00\)00890-0](https://doi.org/10.1016/S0024-3205(00)00890-0).

144. Pauling, L. (1970). Vitamin C and common cold. *JAMA*. 1971 Apr 12;216(2):332. PMID: 5107925.
145. Péntes, B, (2007). A paprika kártevői elleni kémiai védekezés lehetőségei. *Zöldségtermesztés*, Vol.38, No.4, pp.18-20.
146. Pérez-Ambrocio, A, Guerrero-Beltrán, J, A, Aparicio-Fernández, X, Ávila-Sosa, R, Hernández-Carranzad, P, Cid-Pérez, S, Ochoa-Velasco, C, E, (2018). Effect of blue and ultraviolet-C light irradiation on bioactive compounds and antioxidant capacity of habanero pepper (*Capsicum chinense*) during refrigeration storage. *Postharvest Biology and Technology* 135 pp. 19-26. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2017.08.023>
147. Pérez-Gálvez, A, Hornero-Mendez, D, Minguez-Mosquera, M, I, (2004). Changes in the carotenoid metabolism of *Capsicum* fruits during application of modelized slow drying process for paprika production. *J Agric. Food Chem*. 2004, 52, 518–522. <https://doi.org/10.1021/jf0350616>
148. Pérez-Gálvez, A, Hornero-Mendez, D, Minguez-Mosquera, M, I, (2009). Stability of Paprika without Supplementary Antioxidants during Storage under Industrial Controlled Conditions. *J. Agric. Food Chem*. 2009, 57, 11, 4718–4723. <https://doi.org/10.1021/jf804058m>
149. Pérez-Gálvez, A, Martin, H, D, Sies, H, Stahl, W, (2003). Incorporation of carotenoids from paprika oleoresin into human chylomicrons. *Br. J. Nutr*. 2003, 89 (6), 787–793. <http://dx.doi.org/10.1079/BJN2003842>
150. Phimchan P, Chanthai S, Bosland Paul, W, Techawongstien S, (2014). Enzymatic changes in phenylalanine ammonia-lyase, cinnamic-4-hydroxylase, capsaicin synthase, and peroxidase activities in capsicum under drought stress. *J Agric Food Chem*. 2014 Jul 23;62(29):7057-62. doi: 10.1021/jf4051717.
151. Pundir, R, Rani, R, Tyagi, S, Pundir, P, (2016). Advance review on nutritional phytochemical, pharmacological and antimicrobial properties of chili. *International Journal of Ayurveda and Pharma Research*. vol 4, issue 4. pp. 53-57.
152. Rafi, M, M, Kanakasabai, S, Gokarn, S, V, Krueger, E, G, Bright, J, J, (2015). Dietary lutein modulates growth and survival genes in prostate Cancer cells. *J. Med. Food* 18, 173-181. <https://doi.org/10.1089/jmf.2014.0003>
153. Ráth, Sz, Égei, M, Horváth, K, Andryie, B, Daoood, H, G, (2020). Effect of different ecological conditions on content of phytonutrients in industrial tomatoes. *Acta Alimentaria*, 49(2), 225-234. <http://dx.doi.org/10.1556/066.2020.49.2.12>

154. Rathnayaka R, M, S, M, B, Kondo F, Prabandaka S, S, Nemoto K, Matsushima K, (2021). Drought Stress Induced an Increase in the Pungency and Expression of Capsaicinoid Biosynthesis Genes in Chili Pepper (*Capsicum annuum* L.). The Horticulture Journal, Volume 90 Issue 4 Pages 410-419. <https://doi.org/10.2503/hortj.UTD-282>
155. Reyes-Escogido, M, L, Gonzalez-Mondragon, E, G, Vazquez-Tzompantzi E, (2011). Chemical and Pharmacological Aspects of Capsaicin. *Molecules* 2011, 16, 1253-1270. <https://doi.org/10.3390/molecules16021253>
156. Ruiz-Lau, N, Medina-Lara, F, Minero-García, Y, Zamudio-Moreno, E, Guzmán-Antonio, A, Echevarría-Machado, I, & Martínez-Estévez, M, (2011). Water Deficit Affects the Accumulation of Capsaicinoids in Fruits of *Capsicum chinense* Jacq. *HortScience*, 46(3), 487–492. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.46.3.487>
157. Sanatombi, K, Sharma G, J, (2008). Capsaicin content and pungency of different *Capsicum* spp. cultivars. *Not. Bot. Hort. Agrobot. ClujNap.* 36 89–90. <https://doi.org/10.15835/nbha362345>
158. Sárdi, K, (2011). Tápanyag-gazdálkodás. Pannon Egyetem Georgikon Kar, Keszthely. pp.9.
159. Sarpras, M, Ahmad, I, Rawoof, A, Ramchiary, N, (2019). Comparative analysis of developmental changes of fruit metabolites, antioxidant activities and mineral elements content in Bhut jolokia and other *Capsicum* species. *LWT - Food Science and Technology* 105. pp. 363-370. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.02.020>
160. Schieber, A, Carle, R, (2005). Occurrence of carotenoid cis-isomers in food: Technological, analytical, and nutritional implications. *Trends in Food Science & Technology*, 9, 416–422. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2005.03.018>.
161. Schmidt, A, Fiechter, A, Fritz, E, M, Mayer, H, K, (2017). Quantitation of capsaicinoids in different chilies from Austria by a novel UHPLC method. *J. Food Compos. Anal.* 2017, 60, 32–37. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2017.03.015>
162. Schweiggert, U, Kurz, C, Schieber, A, Carle, R, (2007). Effects of processing and storage on the stability of free and esterified carotenoids of red peppers (*Capsicum annuum* L.) and hot chilli peppers (*Capsicum frutescens* L.). *European Food Research and Technology*, 225, 261-270. <https://doi.org/10.1007/s00217-006-0413-y>
163. Scoville, W, L, (1912). Note on *Capsicums*. *The Journal of the American Pharmaceutical Association*, 1 (5) (1912), pp. 453-454. <https://doi.org/10.1002/JPS.3080010520>

164. Sfaxi, A, Tavaszi-Sárosi, S, Kovács, F, Patonay, K, Radácsi, P, Juhász, Á, (2025). Comparative Evaluation of Different Mint Species Based on Their In Vitro Antioxidant and Antibacterial Effect. *Plants* 14. <https://doi.org/10.3390/plants14010105>
165. Shams, M, Yuksel, E, A, Agar, G, Ekinci, M, Kul, R, Turan, M, Yildirin, E, (2023). Biosynthesis of capsaicoids in pungent peppers under salinity stress. *Physiol. Plantar.* 2023, 175, 13889. <https://doi.org/10.1111/ppl.13889>
166. Shukla, S, P, (1969). Level of ascorbic acid and its oxidation in the liver of Scorpion. *Palamnaeus bengalensis. Experientia*, 25, 602–604. <https://doi.org/10.1007/bf01896537>
167. Silva, R, L, Azevedo, J, Pereira, J, M, Valentao, P, Andrade, B, P, (2013). Chemical assessment and antioxidant capacity of pepper (*Capsicum annuum* L.) seeds. *Food Chem. Toxicol.* 53, 240–248. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2012.11.036>
168. Simon, Z, (2005). Paradicsom és a paprika termesztése és növényvédelme. *Östermelő, gazdálkodók lapja*, Vol.9, No.3. pp.37-39.
169. Singh, V, K, Seed, T, M, (2023). Development of gamma-tocotrienol as a radiation medical countermeasure for the acute radiation syndrome: current status and future perspectives. *Expert Opinion on Investigational Drugs*. Volume 32, 2023 - Issue 1. pp. 25-35. <https://doi.org/10.1080/13543784.2023.2169127>
170. Smith S, H, (2015). In the shadow of a pepper-centric historiography: Understanding the global diffusion of capsicums in the sixteenth and seventeenth centuries. *Journal of Ethnopharmacology* 167 (2015) 64–77. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2014.10.048>
171. Somos, A, (1981). A paprika. Akadémiai kiadó, Budapest. pp.15.
172. Souza, S, C, Daood, H, G, Duah, A, S, Vinogradov, S, Palotás, G, Neményi, A, Helyes, L, Pék, Z, (2022). Stability of carotenoids, carotenoid esters, tocopherols and capsaicinoids in new chili pepper hybrids during natural and thermal drying. *LWT – Food Science and Technology* 163. 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113520>
173. Stone, I, (1972). The Natural History of Ascorbic Acid in the Evolution of the Mammals and Primates and Its Significance for Present-Day Man. *Journal of Orthomolecular Medicine*. Volume 1, Number 2-3, 1972. pp. 82-89.
174. Sun, X, Yang, X, Wang, E, (2005). Chromatographic and electrophoretic procedures for analyzing plant pigments of pharmacologically interests. *Anal. Chim. Acta* 547, 153-157. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2005.05.051>

175. Tao, L, Yang, G, Sun, Tiantian, Tao, J, Zhu, C, Yu, H, Cheng, Y, Yang, Z, Xu, M, Jiang, Y, Zhang, W, Wang, Z, Ma, W, Wu, L, Xue, D, Wang, D, Yang, W, Zhao, Y, Horsefield, S, Kobe, B, Zhang, Z, Tang, Z, Li, Q, Zhai, Q, Dooley, S, Seki, E, Liu, P, Xu, J, Chen, H, Liu, C, (2023). Capsaicin receptor TRPV1 maintains quiescence of hepatic stellate cells in the liver via recruitment of SARM1. *Journal of Hepatology*, Volume 78, Issue 4, April 2023, 805-819. <https://doi.org/10.1016/j.jhep.2022.12.031>
176. Tavano, L, Alfano, P, Muzzalupo, R, Cindio, B, (2011). Niosomes vs microemulsions: New carriers for topical delivery of Capsaicin. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces* 87: 333–339. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2011.05.041>
177. Terbe, I, (2007). Az étkezési paprika tápanyag- és talajigénye. *Kertészet és szőlészet*, Vol.56, No.16. pp.6-8.
178. Terbe, I, Hodossi, S, Kovács, A, (2005) Zöldségtermesztés termesztőberendezésekben. Mezőgazda Kiadó, Budapest. pp. 133-152.
179. Terbe, I, Slezák, K, (2008). Talaj nélküli zöldségajtatás. Mezőgazda Kiadó, Budapest. Pp.221-243.
180. Thampi, P, S, S, (2004). A glimpse of the world trade in *Capsicum*. In A. K. De (Ed.). Chapter 2. *Capsicum*, the genus *Capsicum*. London, UK: CRC Press Inc., Taylor & Francis Group.pp.16. <https://doi.org/10.1201/9780203381151>
181. Tompos, D, Gyúró, J, (2005). A paprika tápoldatos (vödrös, konténeres) termesztéstechnológiájának rendszere. *Hajtatás, korai termesztés*, Vol.36, No.4. pp.16-20.
182. Topuz, A, Ozdemir, F, (2007). Assessment of carotenoids, capsaicinoids and ascorbic acid composition of some selected pepper cultivars (*Capsicum annuum* L.) grown in Turkey. *Journal of Food Composition and Analysis* 20(7):596-602. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2007.03.007>
183. Traber, M, G, Atkinson, E, N, (2007). Vitamin E, antioxidant and nothing more. *Free Radical Biology and Medicine* 43.1 (2007): 4-15. <https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2007.03.024>
184. Traber, M, G, Stevens, J, F, (2011). Vitamins C and E: Beneficial effects from a mechanistic perspective. *Free Radic Biol Med.* 2011 May 25;51(5):1000–1013. <https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2011.05.017>
185. Trevithick-Sutton, C, C, Foote, C, S, Collins, M, Trevithick, J, R, (2006). The retinal carotenoids zeaxanthin and lutein scavenge superoxide and hydroxyl radicals: a chemiluminescence and ESR study. *Mol. Vis.* 12, 1127-1135.

186. Tripodi P, Cardi T, Bianchi G, Migliori C, A, Schiavi M, Rotino G, L & Lo Scalzo R, (2018). Genetic and environmental factors underlying variation in yield performance and bioactive compound content of hot pepper varieties (*Capsicum annuum*) cultivated in two contrasting Italian locations. *Eur Food Res Technol* 244, 1555–1567 (2018). <https://doi.org/10.1007/s00217-018-3069-5>
187. Tsagkaris A, S, Cafarella C, Rigano F, Louckova A, Dugo P, Mondello L, Hajslova J, (2025). Bioactive compounds in 19 chili pepper varieties cultivated in Italy: Suspect screening and in vitro enzyme inhibitory effect. *Food Research International*. Volume 219, November 2025, 117051. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2025.117051>
188. Ungurianu, A, Zanfirescu, A, Nițulescu, G, Margină, D, (2021). Vitamin E beyond Its Antioxidant Label. *Antioxidants* (Basel). 2021 Apr 21;10(5):634. <https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2011.05.017>
189. Usman, M, G, Rafii, M, Y, Ismail, M, R, Malek, A, Latif, M, A, (2014). Capsaicin and dihydrocapsaicin determination in chili pepper genotypes using ultra-fast liquid chromatography. *Molecules* 2014, 19, 6474–6488. <http://dx.doi.org/10.3390/molecules19056474>
190. Valiente-Banuet, J, I, Gutiérrez-Ochoa, A, (2016). Effect of Irrigation Frequency and Shade Levels on Vegetative Growth, Yield, and Fruit Quality of Piquin Pepper (*Capsicum annuum* L. var. *glabriusculum*). *Hortscience* 51(5):573–579. 2016. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.51.5.573>
191. Vega-Gálvez, A, DiScala, K, Rodríguez, K, Lemus-Mondaca, R, Miranda, M, López, J, Perez-Won, M, (2009). Effect of air-drying temperature on physico-chemical properties, antioxidant capacity, colour and total phenolic content of red pepper (*Capsicum annuum*, L. var. Hungarian). *Food Chemistry*, 117, 647-653. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.04.066>
192. Wang, M, Tsao, R, Zhang, S, Dong, Z, Yang, R, Gong, J, Pei, Y, (2006). Antioxidant activity, mutagenicity/anti-mutagenicity, and clastogenicity/anti-clastogenicity of lutein from marigold flowers. *Food Chem. Toxicol.* 44, 1522-1529. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2006.04.005>
193. Wang, M, X, Jiao, J, H, Li, Z, Y, Liu, R, R, Shi, Q, Ma, L, (2013). Lutein supplementation reduces plasma lipid peroxidation and C-reactive protein in healthy nonsmokers. *Atherosclerosis* 227, 380-385. <https://doi.org/10.1016/j.atherosclerosis.2013.01.021>

194. Wang, X, Yu, L, Li, F, Zhang, G, Zhou, W, Jiang, X, (2019). Synthesis of amide derivatives containing capsaicin and their antioxidant and antibacterial activities. *J. Food Bioch.* 43 (12), 13061 <https://doi.org/10.1111/jfbc.13061>
195. Wong, S, K, Chin, K, Y, Ima-Nirwana, S, (2020). Vitamin C: A Review on its Role in the Management of Metabolic Syndrome. *Int J Med Sci.* 2020 Jun 27;17(11):1625–1638. <https://doi.org/10.7150/ijms.47103>
196. Yan, X, Huang, Z, Wu, Y, Yu, Z, Yang, K, Chen, Z, Wang, Z, (2021). Sequential loading of inclusion complex/nanoparticles improves the gastric retention of *Vladimiriae Radix* essential oil to promote the protection of acute gastric mucosal injury. *Int. J. Pharmaceut.* 610, 121234 <https://doi.org/10.1016/j.ijpharm.2021.121234>.
197. Yang, H, J, Kwon, D, Y, Kim, M, J, Kim, D, S, Kang, S, Shin, B, K, Lee, J, J, Moon, N, R, Daily J, W, Park, S, (2014). Red peppers with different pungencies and bioactive compounds differentially modulate energy and glucose metabolism in ovariectomized rats fed high fat diets. *Journal of Functional Foods* 7 (2014) 246 – 256. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2014.02.004>
198. Yang, Y, Gao, C, Ye, Q, Liu, C, Wan, H, Ruan, M, Zhou, G, Wang, R, Li, Z, Diao, M, Cheng, Y, (2024). The influence of different factors on the metabolism of capsaicinoids in pepper (*Capsicum annum* L.). *Plants* 2024, 13, 2887. <https://doi.org/10.3390/plants13202887>
199. Zatykó, L, Márkus, F, (2006). Étkezési és fűszerpaprika termesztése. Mezőgazda Kiadó, Budapest. pp. 88-89. ISBN 978-963-286-566-9.
200. Zhu, Y, Peng, W, Zhang, J, Wang, M, Firempong, C, K, Feng, C, Liu, H, Xu, X, Yu, J, (2014). Enhanced oral bioavailability of capsaicin in mixed polymeric micelles: Preparation, in vitro and in vivo evaluation. *Journal of Functional Foods* 8: 358–366. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2014.04.001>

Internetes források:

http1: <https://www.fao.org/faostat/en/#data> (megtekintve: 2025.09.10)

http2: https://www.ksh.hu/stadat_files/mez/hu/mez0013.html (megtekintve: 2023.10.08)

http3: <https://www.guinnessworldrecords.com/world-records/hottest-chili> (megtekintve: 2023.12.12)

http4:

<https://www.google.com/maps/@46.53496,20.8017028,196m/data=!3m1!1e3?authuser=0&en>

[try=tту&g_ep=EgoyMDI0MTIxMS4wIKXMDS0ASAFQAw%3D%3D](#) (letöltés dátuma: 2024.12.19)

http5: <https://chilis.hu/szellem-chili> (megtekintve: 2024.12.05)

http6: <https://webshop.szentesisimag.hu/cserko> (megtekintve: 2024.12.05)

http7: <https://zkivetomag.hu/fuszerpaprika/39-szegedi-178-1g.html> (megtekintve: 2024.12.05)

http8: <https://kertimag.eu/bogyosok/rekord.html> (megtekintve: 2024.12.05)

8.2 M2 (Táblázatok)

Fügelék 1. táblázat. A 2022-es év talajvizsgálati eredménye

pH-KCl	Vízben oldható össz. só (m/m %)	Arany féle kötöttségi szám (KA)	Szénsavas mész (m/m%)	Humusz tartalom (K ₂ Cr ₂ O ₇ /H ₂ SO ₄) (m/m%)	Foszfor-pentoxid (AL) (mg/kg)	Kálium-oxid (AL) (mg/kg)
7,23	<0,02	46	5,63	3,6	421	541
Nátrium (AL) (mg/kg)	Magnézium (Kálium-klorid oldható) (KCl) (mg/kg)	Mangán (mg/kg)	Réz (mg/kg)	Cink (mg/kg)	Nitrit-nitrát-nitrogén (mg/kg)	Szulfát (mg/kg)
73,7	169	28,3	1,86	1,81	15,9	<5,0

Fügelék 2. táblázat. A 2023-as év talajvizsgálati eredménye

pH-KCl	Vízben oldható össz. só (m/m %)	Arany féle kötöttségi szám (KA)	Szénsavas mész (m/m%)	Humusz tartalom (K ₂ Cr ₂ O ₇ /H ₂ SO ₄) (m/m%)	Foszfor-pentoxid (AL) (mg/kg)	Kálium-oxid (AL) (mg/kg)
7,24	0,04	44	5,75	3,82	489	507
Nátrium (AL) (mg/kg)	Magnézium (Kálium-klorid oldható) (KCl) (mg/kg)	Mangán (mg/kg)	Réz (mg/kg)	Cink (mg/kg)	Nitrit-nitrát-nitrogén (mg/kg)	Szulfát (mg/kg)
64,1	149	31,7	2,36	2,4	32,2	<5,0

Függelék 3. táblázat. A vizsgált karotinoidok

Sorszám	Karotinoid
1	kapszorubin
2	kukurbitaxantin B
3	2,5-diOH-karpoxanthin
4	kapszantin epoxid
5	violaxantin
6	kapszantin
7	kukurbitaxantin A
8	cis-kapszantin
9	cis-kukurbitaxantin A
10	lutein
11	zeaxantin
12	cis-zeaxantin
13	β -cryptokapszin
14	kukurbitaxantin ME
15	β -cryptokapszin ME
16	kukurbitaxantin ME-2
17	β -cryptoxantin
18	kapszantin epoxid ME-1
19	cis-kapszantin ME
20	kukurbitaxantin ME-3
21	cis-kapszantin ME-2
22	kapszantin ME-1
23	anteraxantin ME
24	cis-kapszantin ME-3
25	kapszantin epoxid ME-2
26	zeaxantin ME-1
27	anteraxantin ME-2
28	cis-anteraxantin ME
29	cis- β -cryptokapszin ME-2
30	cis-kapszorubin ME
31	zeaxantin ME-2

32	β-karotin
33	kapszantin epoxid DE
34	cis-β-karotin
35	kapszorubin DE-1
36	kapszorubin DE-2
37	cis-kapszantin epoxid DE-1
38	cis-kapszorubin DE
39	kapszorubin DE-3
40	kapszantin DE-1
41	β-cryptoxantin ME
42	cis-kapszantin DE-1
43	kapszantin DE-2
44	cis-β-cryptoxantin ME
45	zeaxantin DE-1
46	cis-kapszorubin DE-1
47	kapszantin DE-3
48	zeaxantin DE-2
49	cis-kapszantin DE-2
50	cis-kapszorubin DE-2
51	kapszantin DE-4
52	zeaxantin DE-3
53	cis-kapszorubin DE-3
54	cis-kapszantin DE-3
55	zeaxantin DE-4
56	zeaxantin DE-5
57	cis-zeaxantin DE-1

Függelék 4. táblázat. A vizsgált csípőspaprika örlemények MANOVA eredménye, amelyek a genotípus, a betakarítási idő és az évjárat hatásait mutatja be a sárga és piros színű karotinoid csoportok koncentrációjára (µg/g DW).

Tényezők	Függő változó	F-érték	Szignifikancia szint	Hatás nagysága (η^2)
Év	TCv	856,51	***	0,95
	FRX	364,74	***	0,88
	RXME	715,72	***	0,94
	RXDE	746,82	***	0,94
	TR	861,80	***	0,95
	FYX	332,31	***	0,87
	YXME	96,32	***	0,67
	YXDE	159,60	***	0,77
	TY	320,15	***	0,87
	VAP	78,20	***	0,62
	β_c	926,81	***	0,95
Fajta	TCv	82,37	***	0,84
	FRX	267,89	***	0,94
	RXME	268,47	***	0,94
	RXDE	82,28	***	0,84
	TR	138,19	***	0,90
	FYX	50,71	***	0,76
	YXME	21,64	***	0,57
	YXDE	13,21	***	0,45
	TY	11,46	***	0,42
	VAP	17,48	***	0,52
	β_c	54,23	***	0,77
Betakarítás	TCv	1,82	ns	0,04
	FRX	15,65	***	0,25
	RXME	1,83	ns	0,04
	RXDE	2,30	ns	0,05
	TR	4,02	ns	0,08
	FYX	4,49	*	0,09

YXME	40,68	***	0,46
YXDE	30,60	***	0,39
TY	0,97	ns	0,02
VAP	31,48	***	0,40
β_c	40,94	***	0,46

Megjegyzés: '*' $p < 0,05$ '**' $p < 0,01$ '***' $p < 0,001$. Tekintettel az átfogó teszt szignifikanciájára, az egyváltozós főhatásokat a Bonferroni korrekcióval határoztuk meg. A η^2 értékek jelzik a hatás nagyságát, ami a modellben az egyes tényezők által adott variancia arányát jelenti.

Függelék 5. táblázat. A MANOVA eredményei a genotípus, valamint a betakarítási idő és az évjárat közötti interakció hatásait mutatják be a sárga és piros színű karotinoid csoportok koncentrációira (µg/g DW).

Tényezők	Függő változó	F-érték	Szignifikancia szint	Hatás nagysága (η^2)
Év * Fajta kölcsönhatás	TCv	37,34	***	0,70
	FRX	97,82	***	0,86
	RXME	134,39	***	0,89
	RXDE	46,24	***	0,74
	TR	75,40	***	0,82
	FYX	31,16	***	0,66
	YXME	4,98	***	0,24
	YXDE	4,04	**	0,20
	TY	3,01	*	0,16
	VAP	6,05	**	0,27
	βc	17,21	***	0,52
Év * Betakarítás kölcsönhatás	TCv	3,05	ns	0,06
	FRX	31,96	***	0,40
	RXME	27,12	***	0,36
	RXDE	8,92	**	0,16
	TR	18,23	***	0,28
	FYX	9,89	**	0,17
	YXME	86,20	***	0,64
	YXDE	6,81	*	0,12
	TY	31,37	***	0,40
	VAP	171,77	***	0,78
	βc	46,61	***	0,49
Fajta * Betakarítás kölcsönhatás	TCv	0,95	ns	0,06
	FRX	4,96	**	0,24
	RXME	6,54	**	0,29
	RXDE	3,52	*	0,18
	TR	2,82	*	0,15
	FYX	0,36	ns	0,02

	YXME	0,13	ns	0,01
	YXDE	3,56	ns	0,18
	TY	1,47	ns	0,08
	VAP	1,05	ns	0,06
	β_c	2,04	ns	0,11
Év * Fajta * Betakarítás	TCv	4,52	*	0,22
kölcsönhatás	FRX	1,61	ns	0,09
	RXME	2,51	ns	0,14
	RXDE	6,49	**	0,29
	TR	4,11	*	0,20
	FYX	2,03	ns	0,11
	YXME	6,95	**	0,30
	YXDE	5,12	**	0,24
	TY	4,02	*	0,20
	VAP	5,75	**	0,26
	β_c	7,21	***	0,31

Megjegyzés: '*' $p < 0,05$ '**' $p < 0,01$ '***' $p < 0,001$. Tekintettel az átfogó teszt szignifikanciájára, az egyváltozós főhatásokat a Bonferroni korrekcióval határoztuk meg. A η^2 értékek jelzik a hatás nagyságát, ami a modellben az egyes tényezők által adott variancia arányát jelenti.

Függelék 6. táblázat. A MANOVA eredményei a genotípus, valamint a betakarítási idő és az évjárat közötti interakció hatásait mutatják be a kapszaicinoid csoportok koncentrációira ($\mu\text{g/g}$ DW).

Tényezők	Függő változó	F-érték	Szignifikancia	Hatás
			szint	nagyság (η^2)
Év	nor-dihidro kapszaicin	224,856	***	0,82
	kapszaicin	170,716	***	0,78
	dihidro kapszaicin	48,387	***	0,50
	homo- kapszaicin	12,486	**	0,21
	homo- dihidro kapszaicin -1	246,650	***	0,84
	homo- dihidro kapszaicin -2	211,034	***	0,81
Betakarítás	nor- dihidro kapszaicin	2,293	ns	0,05
	kapszaicin	0,282	ns	0,01
	dihidro kapszaicin	5,230	*	0,10
	homo- kapszaicin	11,296	**	0,19
	homo-dihidro kapszaicin -1	40,444	***	0,46
	homo- dihidro kapszaicin -2	51,690	***	0,52
Fajta	nor- dihidro kapszaicin	99,501	***	0,86
	kapszaicin	39,766	***	0,71
	dihidro kapszaicin	135,272	***	0,89
	homo- kapszaicin	7,452	***	0,32
	homo-dihidro kapszaicin -1	83,909	***	0,84
	homo- dihidro kapszaicin -2	66,618	***	0,81
Év * Betakarítás	nor- dihidro kapszaicin	44,437	***	0,48
	kapszaicin	11,273	**	0,19
	dihidro kapszaicin	1,739	ns	0,03
	homo- kapszaicin	11,795	**	0,20
	homo- dihidro kapszaicin -1	58,628	***	0,55
	homo- dihidro kapszaicin -2	8,579	**	0,15
Év * Fajta	nor- dihidro kapszaicin	90,737	***	0,85
	kapszaicin	15,305	***	0,49
	dihidro kapszaicin	59,014	***	0,79
	homo-kapszaicin	6,451	**	0,29

	homo- dihidrokapszaicin -1	53,913	***	0,77
	homo- dihidrokapszaicin -2	47,017	***	0,75
Betakarítás *	nor- dihidrokapszaicin	12,223	***	0,43
Fajta	kapszaicin	5,783	**	0,27
	dihidrokapszaicin	3,803	*	0,19
	homo- kapszaicin	5,927	*	0,27
	homo- dihidrokapszaicin -1	9,275	***	0,37
	homo- dihidrokapszaicin -2	5,534	**	0,26
Év * Betakarítás *	nor- dihidrokapszaicin	15,410	***	0,49
Fajta	kapszaicin	5,267	**	0,25
	dihidrokapszaicin	0,990	ns	0,06
	homo-kapszaicin	5,618	*	0,26
	homo-dihidrokapszaicin-1	15,247	***	0,49
	homo-dihidrokapszaicin-2	2,649	ns	0,14

Megjegyzés: '*' $p < 0,05$ '***' $p < 0,01$ '****' $p < 0,001$. Tekintettel az átfogó teszt szignifikanciájára, az egyváltozós főhatásokat a Bonferroni korrekcióval határoztuk meg. A η^2 értékek jelzik a hatás nagyságát, ami a modellben az egyes tényezők által adott variancia arányát jelenti.

Függelék 7. táblázat. A MANOVA eredményei a genotípus, valamint a betakarítási idő és az évjárat közötti interakció hatásait mutatják be a tokoferol csoportok koncentrációira ($\mu\text{g/g DW}$).

Tényezők	Függő változó	F-érték	Szignifikancia szint	Hatás nagyság (η^2)
Év	α -TocHQ	120,82	***	0,72
	α -Toc	50,89	***	0,51
	α -TocAC	31,22	***	0,39
	α -TocES	7,35	**	0,13
Fajta	α -TocHQ	233,35	***	0,94
	α -Toc	47,15	***	0,75
	α -TocAC	66,59	***	0,81
	α -TocES	64,54	***	0,80
Betakarítás	α -TocHQ	12,40	***	0,21
	α -Toc	1,91	ns	0,04
	α -TocAC	28,38	***	0,37
	α -TocES	0,77	ns	0,02
Év * Fajta	α -TocHQ	23,07	***	0,59
	α -Toc	0,81	ns	0,05
	α -TocAC	64,17	***	0,80
	α -TocES	32,01	***	0,67
Év *	α -TocHQ	4,67	*	0,09
Betakarítás	α -Toc	0,02	ns	0,00
	α -TocAC	4,47	*	0,09
	α -TocES	0,03	ns	0,00
Fajta *	α -TocHQ	1,19	ns	0,07
Betakarítás	α -Toc	1,94	ns	0,11
	α -TocAC	8,50	***	0,35
	α -TocES	4,91	***	0,23
Év * Fajta *	α -TocHQ	7,53	***	0,32
Betakarítás	α -Toc	1,94	ns	0,11
	α -TocAC	1,08	ns	0,06
	α -TocES	1,42	ns	0,08

Megjegyzés: '*' $p < 0,05$ '**' $p < 0,01$ '***' $p < 0,001$. Tekintettel az átfogó teszt szignifikanciájára, az egyváltozós főhatásokat a Bonferroni korrekcióval határoztuk meg. A η^2 értékek jelzik a hatás nagyságát, ami a modellben az egyes tényezők által adott variancia arányát jelenti.

Függelék 8. táblázat. A fajta, betakarítási idő és az évjárat hatása a sárga és piros színű karotinoidok (R/Y) koncentrációjára ($\mu\text{g/g}$ szárazanyag) paprika őrleményekben.

Év	Betakarítás	Fajta	R/Y arány
2022	szeptember 8	Bhut Jolokia	$1,4 \pm 0,08^{AXa}$
		Cserkó	$2 \pm 0,08^{AXc}$
		Rekord	$1,6 \pm 0,001^{AXb}$
		Szegedi 178	$2,35 \pm 0,05^{AXd}$
	szeptember 20	Bhut Jolokia	$0,7 \pm 0,001^{AYa}$
		Cserkó	$1,45 \pm 0,5^{AXb}$
		Rekord	$1,45 \pm 0,05^{AYb}$
		Szegedi 178	$2,02 \pm 0,09^{AYc}$
2023	augusztus 30	Bhut Jolokia	$1,02 \pm 0,05^{BXa}$
		Cserkó	$1,27 \pm 0,05^{BXc}$
		Rekord	$0,97 \pm 0,05^{BXa}$
		Szegedi 178	$1,15 \pm 0,05^{BXb}$
	szeptember 16	Bhut Jolokia	$1,37 \pm 0,05^{BYb}$
		Cserkó	$1,92 \pm 0,09^{AYc}$
		Rekord	$1,1 \pm 0,001^{BYa}$
		Szegedi 178	$1,92 \pm 0,12^{AYc}$

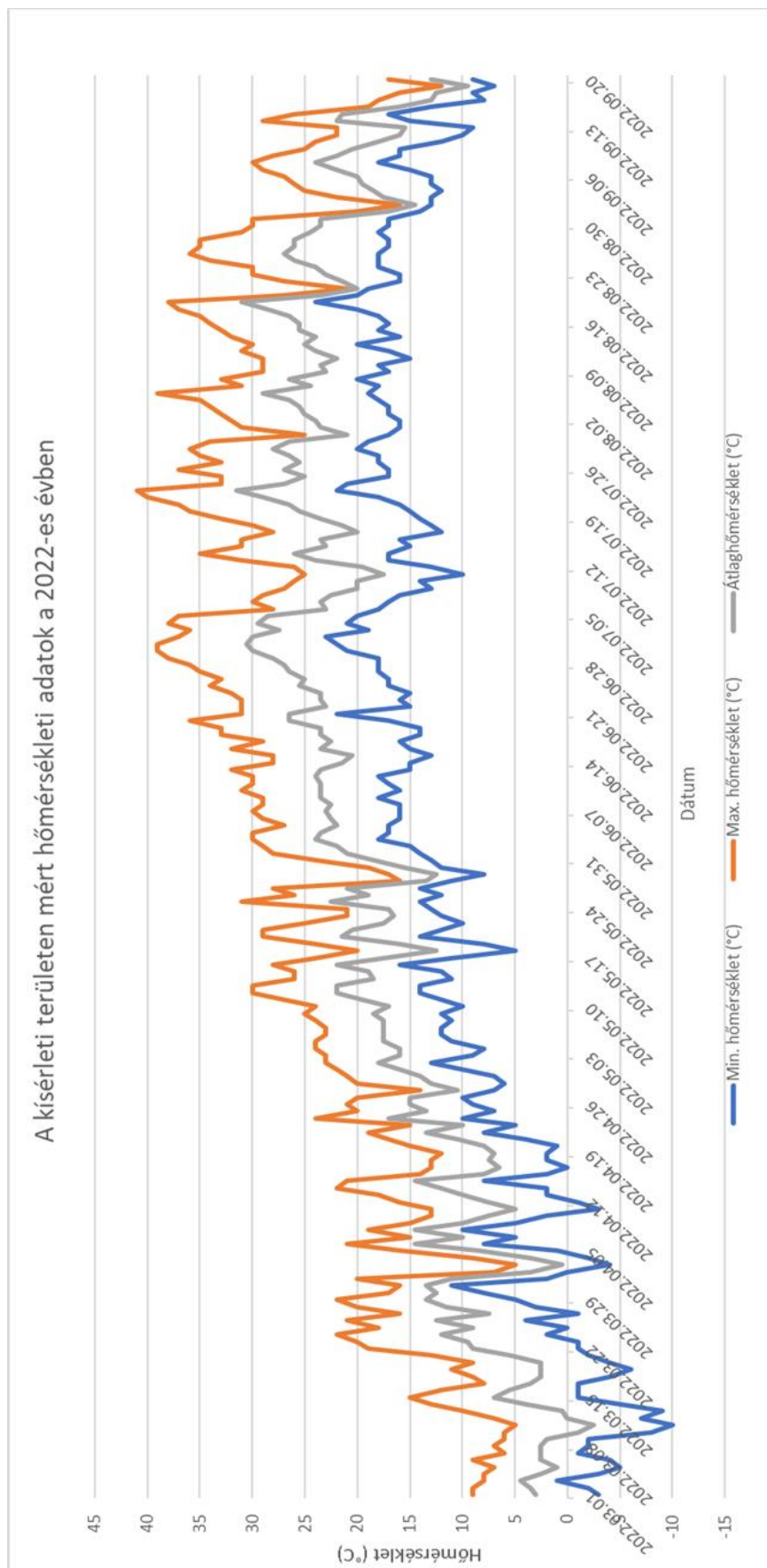
A táblázat a következő rövidítéseket használja: piros és sárga színű karotinoidok aránya (R/Y). Minden érték négy független ismétlés átlagát $\pm$ SD jelenti. A különböző betűk jelentősen eltérő csoportokat jelölnek: a nagybetűk (AB) az évek közötti, valamint a betakarítások közötti különbségeket mutatják (XY); a kisbetűk a fajták közötti különbségeket jelzik. Tukey-féle HSD teszt, $p < 0,05$.

Függelék 9. táblázat. Az azonosított sárga és piros karotinoidok csoportosítása

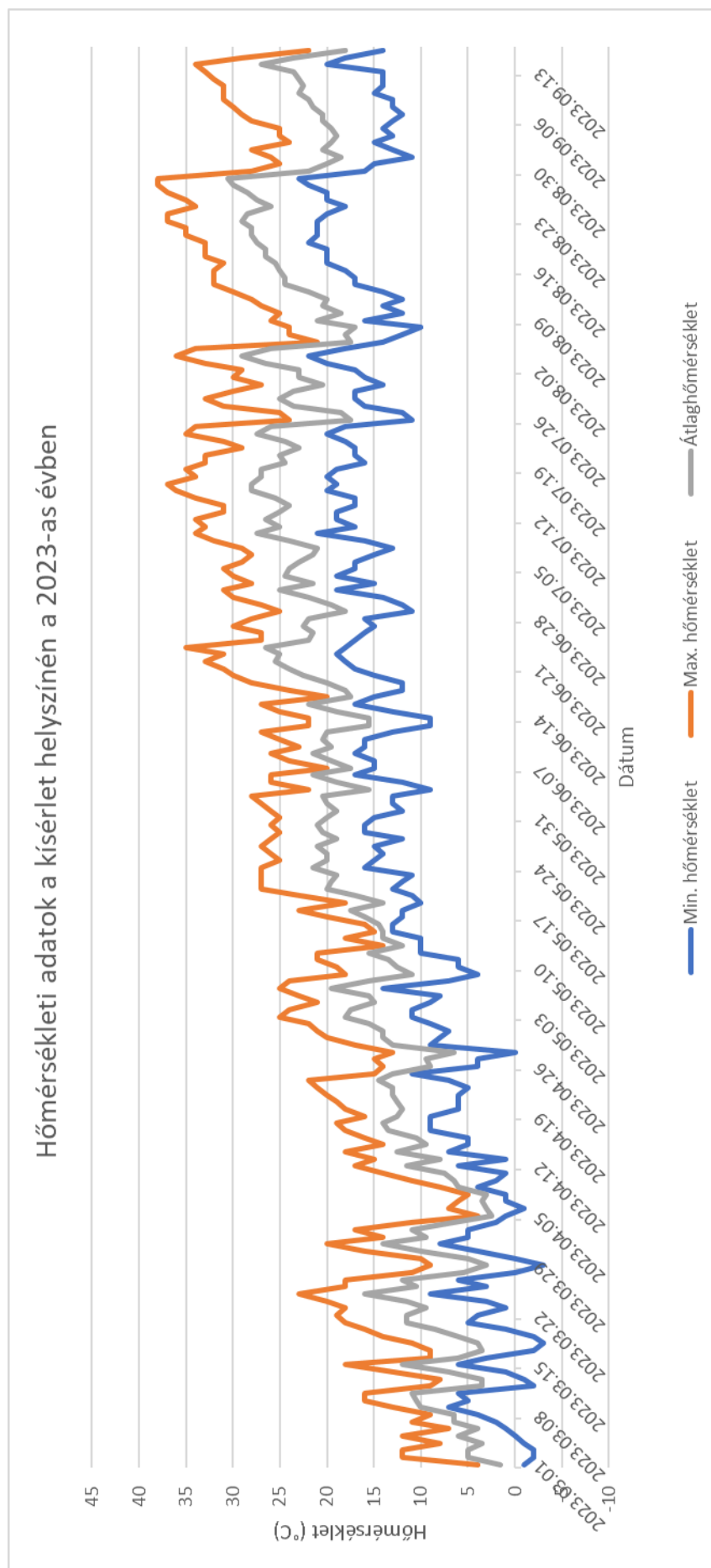
FYX	YXME	YXDE	AvP	FRX	RXME	RXDE
kukurbitaxantin B	kukurbitaxantin ME	zeaxantin DE	β -kriptoxantin	kapszorubin	β -kriptokapszin ME	kapszorubin DE
2,5-dihidroxi-karpoxantin	anteraxantin ME	cisz-zeaxantin DE	β -karotin	kapszantin epoxid	cisz- β -kriptokapszin ME	kapszantin epoxid DE
violaxantin	zeaxantin ME		cisz- β -karotin	cisz-kapszantin epoxid	kapszantin ME	cisz-kapszorubin DE
kukurbitaxantin A	cisz-anteraxantin ME		β -kriptoxantin ME	kapszantin	cisz-kapszantin ME	kapszantin DE
cisz-kukurbitaxantin A	β -kriptoxantin ME			cisz-kapszantin	kapszantin epoxid ME	cisz-kapszantin DE
lutein				β -kriptokapszin		
zeaxantin						
cisz-zeaxantin						
β -kriptoxantin						

A táblázat jelölései: FYX: szabad sárga xantofilok; YXME: sárga xantofil monoészterek; YXDE: sárga xantofil diészterek; AvP: A vitamin provitaminok; FRX: szabad piros xantofilok; RXME: piros xantofil monoészterek; RXDE: piros xantofil diészterek.

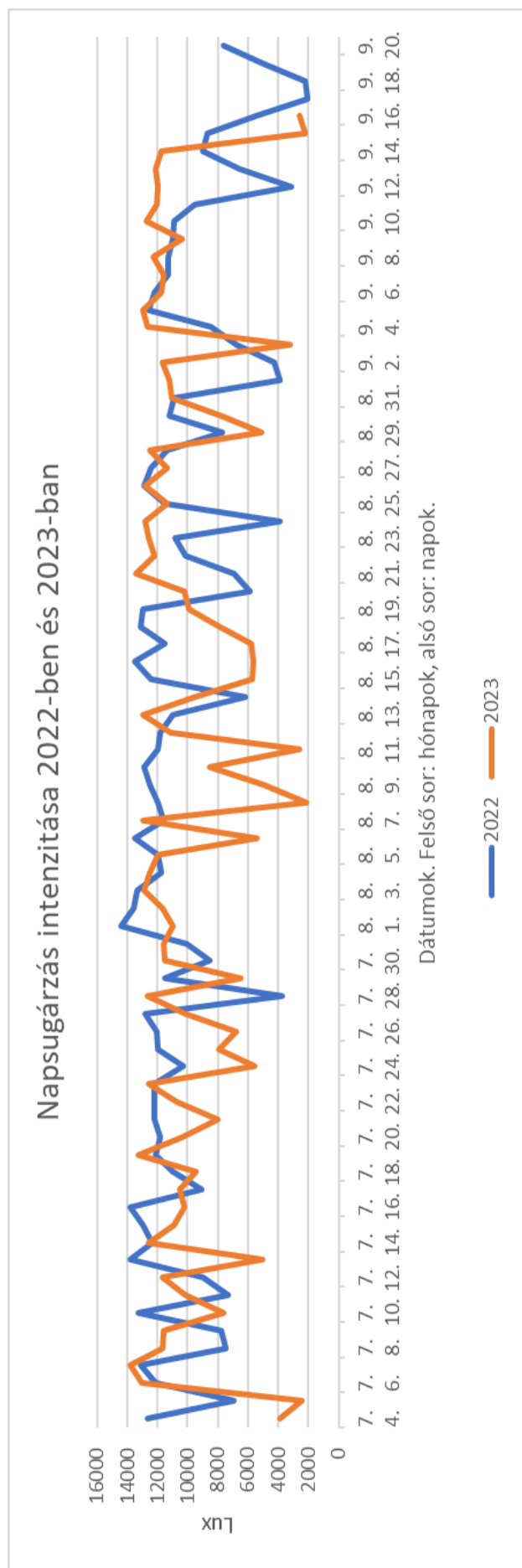
8.3 M3 Függelék (ábrák)



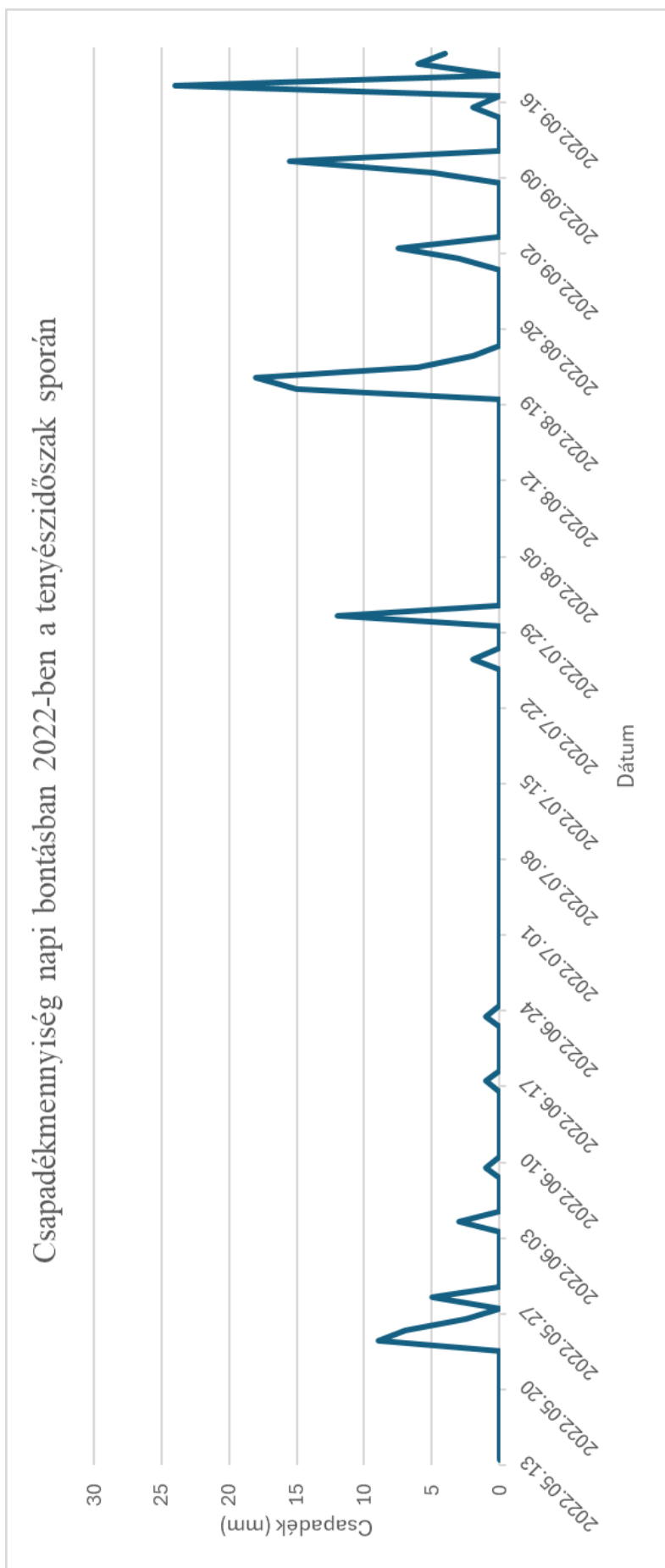
Függelék 1. ábra. A kísérlet területén mért hőmérsékleti adatok a 2022-es évben.



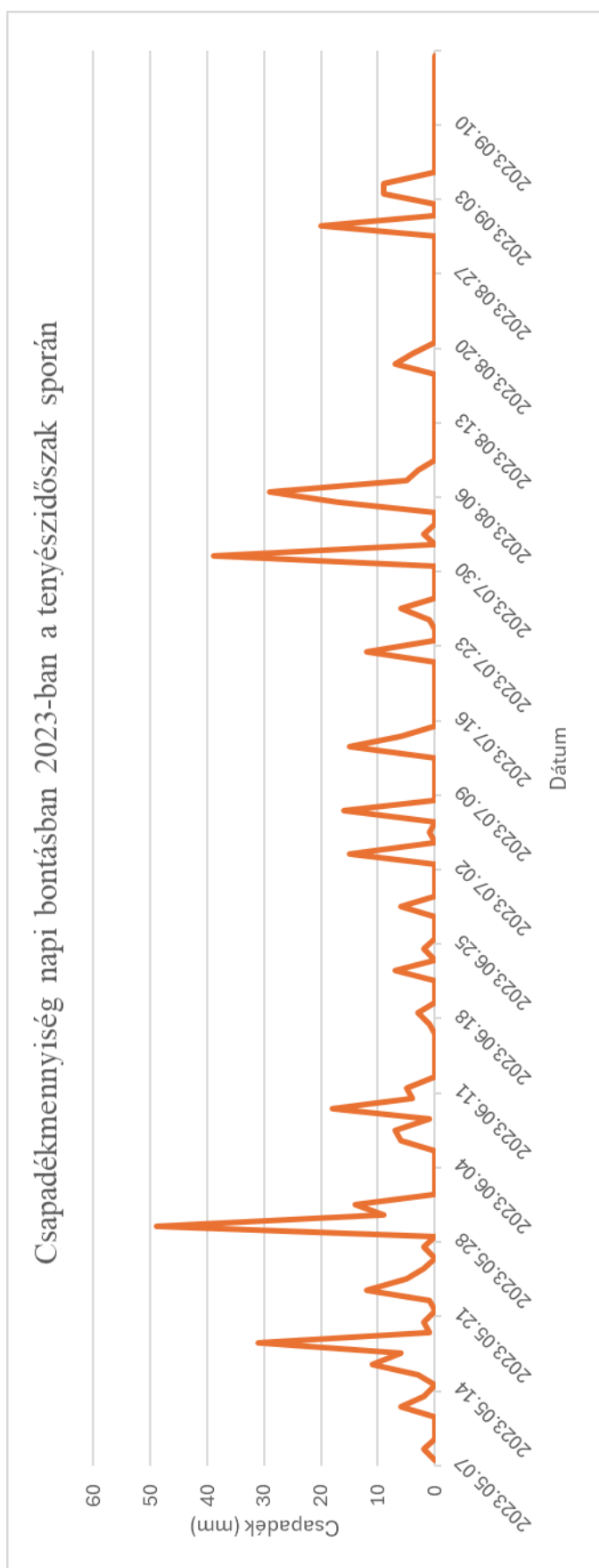
Függelék 2. ábra. A kísérlet helyszínén mért hőmérsékleti adatok 2023-ban.



Függelék 3. ábra. A napsugárzás intenzitása a kísérleti területen lux-ban kifejezve.



Függelék 4. ábra. A csapadékmennyiség napi bontásban feljegyezve 2022-ben az ültetéstől az utolsó betakarításig.



Függelék 5. ábra. A csapadékmennyiség napi bontásban feljegyezve 2023-ban az ültetéstől az utolsó betakarításig.

9. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Szeretném konzulensemnek, Dr. Lantos Ferencnek megköszönni a kutató munkám során adott tanácsait és segítségét. Prof. Dr. Helyes Lajos tanár úrnak a kutatómunkámban és publikálásban nyújtott segítségét. Köszönöm Dr. Daood Husseinnek az analitikai mérésekben és publikációkban nyújtott segítségét.