



Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem

Kertészettudományi Intézet

Doktori (Ph.D.) értekezés tézisei

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

Ráth Szilvia

2022

A doktori iskola

Megnevezése: Növénytudományi Doktori Iskola
Tudományága: növénytermesztési és kertészeti tudományok

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

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

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

.....
Az iskola vezető jóváhagyása

.....
A témavezető jóváhagyása

.....
A témavezető jóváhagyása

A munka előzményei, kitűzött célok

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

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

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

Az ipari paradicsom esetében, ahogyan más zöldségekben is, a növényi tápanyagok koncentrációját számos abiotikus és biotikus tényező

befolyásolhatja. Nagy jelentőséggel bír a fajta megválasztása, a termesztési terület agronómiai tulajdonságai, valamint a földrajzi és környezeti jellemzői az adott területnek. (Lenucci et al., 2006, Ilahy et al., 2011).

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

Magyarországon az ipari paradicsomot különféle tájegységeken termesztik, melyek eltérő talajtulajdonságokkal rendelkeznek (Illés et al., 2016), és számos más környezeti paraméterben is eltérőek lehetnek egymástól. Ugyanakkor sok egymástól eltérő terület is alkalmas az ipari paradicsom termesztésére, de a különböző agronómiai tulajdonságuk és abiotikus tényezőik hozzájárulhatnak a paradicsom tápértékének eltérő mértékéhez, és a feldolgozás során mutatott stabilitásukhoz.

Az ipari paradicsom feldolgozása során alkalmazott technológia egy másik olyan jelentős tényező, amely megváltoztathatja a végtermékek beltartalmi értékeit. A paradicsomtermékek előállításához az ipar jellemzően két különböző technológiát alkalmaz, az 50-60 ° C hőmérsékleten végzett hideg áttöréses extrakciót (HE) és a 90 ° C-on végzett meleg áttöréses extrakciót (ME) (Goodman et al., 2002). Az alapanyag hőkezeléssel való extrakciójának több célja is van. Egyrészt a mikroorganizmusok és az enzimek inaktiválását teszi lehetővé, másrészt

segít a szövetek fellazításában a megfelelő érzékszervi tulajdonságok elérése érdekében (Capanoglu et al., 2008). A feldolgozás során a paradicsom bioaktív molekula összetétele a hőkezelés hatására jelentősen megváltozik. Ezen változások követéséhez olyan analitikai protokollt kell alkalmazni, amely az egyes vegyületeket, azok izomereit és származékjaikat hatékonyan és pontosan képesek elválasztani és kimutatni.

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

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

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

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

Anyag és módszer

A két egymást követő évben zajló kísérlet egyik részét a Szent István Egyetem (a jelenlegi MATE jogelődje) GAK Kht. Kertészeti tanüzemének kísérleti telepén végeztük. Ez a terület a Gödöllői-dombság része, melynek talajára jellemző az enyhén lúgos barna erdőtalaj, fizikai tulajdonságát tekintve agyagos szerkezetű, a kísérlet másik részét a Szent István Egyetem Szarvasi Campusának kísérleti telepén folytattuk le. Az iskolaföld területének talaja agyagos-vályog, félig kötött tulajdonságú.

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

Mind 2018-ban és 2019-ben mind a Szarvasi, mind a Szárítópusztai telephelyeken zajlott vízstressz kísérlet, a szabadföldi ipari paradicsom esetében. A kísérleti területek mindkét év során három egyenlő területre voltak felosztva a különböző vízellátottsághoz igazítva. Az öntözővíz igény AquaCorp v5.0 szoftver segítségével lett kiszámolva. A szoftver a FAO-Penman-Monteith módszer alapján kalkulálja a potenciális evapotranszpirációt (PET) (Allen et.al. 1994). Ennek megfelelően egy parcella öntözése a kiszámított PET érték 100%-val (PET_100), azaz a veszteség teljes mértékének pótlásával, a másiké a számított PET 50%-val (PET_50) valósult meg. A harmadik, ez esetben kontroll parcella a természetes csapadékon túl, a palántázáskor, valamint a tápanyagutánpótláshoz kapcsolt vízmennyiséggel volt öntözve.

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

A feldolgozási folyamat lépései magában foglalták a mosás, aprítás és hőkezelési eljárások sorát. Az iparban alkalmazott kétféle áttörési technológiával dolgoztunk. A hideg áttörés (CBE - Cold Break Extraction) során az aprított paradicsomot 30 percig 60°C-on kezeltük, a meleg áttörés (HBE – Hot Break Extraction) alatt 90°C-on kezeltük a mintát 15 percig. A HBE során a fokozatosság elérésének érdekében, a feldolgozásra szánt aprított alapanyag egy részét előmelegítettük, majd ezt visszavezettük a feldolgozás alatt álló paradicsom termékre. Ezt követően egy forgó hengeres szűrő segítségével választottuk el a magokat és héjat tartalmazó törkölyt az extraktumtól.

A C-vitamin mérésére szánt mintákat frissen szállítottuk a Szent István Egyetem Mezőgazdasági Karának RET analitikai laboratóriumába (Gödöllő). A karotinoid és tokoferol mérésére szánt minták, műanyag tárolóban kerültek lefagyasztásra és -20°C-on tárolásra.

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

A friss mintákból karotinoidok méréséhez minden ismételésként 5 g-ot mértünk ki. A paradicsomlé esetében 10 g-ot. Mozsárban szerves oldószerrel kinyert extraktumokat Hitachi Chromaster HPLC készüléken futtattuk és diódasor-detektorral (195 és 700 nm között) azonosítottuk, EZChrom Elite szoftver segítségével. Ehhez szilárd magvú C-30 -as 150 x 4,6 mm, 2,6 µm (Thermo Scientific, USA) oszlopot használtunk az alábbi

eluens összetétel mellett: (A) 98% -os metanol (B) terc-butil-metil-éter (TBME). HPLC-MS/MS precíziós mérés során totál ionnak és fragmentjeinek m/z alapján történő meghatározását végeztük. Mennyiségi meghatározáshoz és azonosításhoz az alábbi standard anyagokat alkalmaztuk: all-transz-likopin, β -karotin, lutein, β -kriptoxantin és 8-apo-karotinal mint belső standard.

A tokoferolok extrakciója ugyancsak szerves oldószerrel valósult meg. HPLC mérések a karotinoidokhoz hasonlóan Hitachi Chromaster HPLC készülékkel történt, Nucleosil C18-as oszloppal, $3\mu\text{m}$, $150 \times 4,6$ mm (Thermo Scientific, USA) és (A) 8% -os metanol (B) acetonitril: izopropanol: metanol (35:55:10) elúció gradienssel. Detektálásuk FL (fluoreszcens) detektorral (EX:295 és EM:325nm) valósult meg. Csúcsok azonosítása a retenciós idő, standard tokoferollokkal való összehasonlítása alapján.

A C-vitamin extrakciója 3% meta-foszforsavas extrahálással történt. A friss paradicsom minták mindegyikéből 10 g, a paradicsomléből 10 g és a törkölyből 5g minta feldolgozásával. HPLC meghatározás Hitachi Chromaster HPLC készülékkel és EZChrom Elite szoftver történt, Aqua Nucleosil Natutilus (Machary Nagel, Düren, Németország), $3\mu\text{l}$, 150×4.6 mm-es oszloppal, (A) 0,01M KH_2PO_4 (B) acetonitril elúció gradienssel. Az aszkorbinsav detektálása diódasor-detektor (244 nm-en) segítségével történt.

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

Új tudományos Eredmények

1. Új tudományos eredmény (tézis)

Kifejlesztettem paradicsom termékekben előforduló karotinoid színanyagok elválasztására, azonosítására és kvantitatív meghatározására alkalmas HPLC-MS/MS módszert, amellyel 33 vegyületet sikerült elválasztani és azonosítani.

A munkában fejlesztett új LC/MS módszer 35 perc alatt kiválóan elválasztotta és azonosíthatóvá tette a fő karotinoidokat, illetve azok geometriai izomerjeit és származékait. A minták kromatográfiás profilja öt likopin geometriai izomert, 2 β -karotin izomert és ezen karotinoidok több mono-, és di-epoxidját választotta el egymástól. Az azonosítás során a protonált ion tömeget meghatározásával, megkülönböztethetővé váltak egymástól a karotinok és származékaik a fragment ionjaik alapján. Az oxigén csoportot tartalmazó xantofilek az alapszerkezet tömegénél nehezebbek, mint például azt a lutein és a likoxantin esetén is láthatjuk. A karotinoidok hidroxil, vagy epoxid csoporttal rendelkező elemei is eltérő molekulasúllyal rendelkeznek, a hidroxil csoportot tartalmazók jellemzően +17, az epoxid származékok +16 értékkel nagyobb molekulasúlyúak. A hidroxil csoporttal rendelkező karotin fragmentálása során víz molekula lép ki, ez a vízvesztés bizonyítja a hidroxil csoport meglétét. A maradványtömeg pedig megmutatja, pontosan hány hidroxil csoportot tartalmazott az adott molekula. A γ -karotin, a likoxantin, illetve fitoén és fitofluén is hatékonyan detektálhatóak voltak minden mintában.

2. Új tudományos eredmény (tézis)

Két szokatlan karotinoid vegyületet, di-hidroxi-ciklo-likopin adduktot és dimetoxi likopint, először azonosítottam a friss, illetve feldolgozott paradicsom termékekben.

A HPLC-MS/MS módszer segítségével szokatlan karotinoid típusú vegyületeket detektáltunk, mind friss mind feldolgozott mintákban. A totál (molekuláris) ion, illetve a fragment ionok $[M \text{ és } M+H]^+$ tanulmányozása alapján a dihidroxi ciklolikopin adduktot és a dimetoxi likopint először azonosítottunk paradicsom termékekben (Daood et al., 2021). A dimetoxi likopin magas antioxidáns kapacitással rendelkező bioaktív vegyület, még a di-hidroxi-ciklo-likopin addukt feltételezhetően baktérium anyagcsere termék, mely további jelentős kutatási témák alapjául szolgálhat a jövőben.

3. Új tudományos eredmény (tézis)

A HPLC-FL módszer fejlesztésével megállapítottam, hogy az E vitamin (α -tokoferol) fő oxidációs terméke az α -tokoferol hidrokvinon (α -TQH₂) és nem az α -tokoferol kvinon (α -TQ).

A kimutatott tokoferolok közül az α -T, majd az α -TQH₂ és az α -T észter volt a domináns. A mérések fókuszában a domináns α -T (a biológiailag aktív E-vitamin forma) és származékai álltak, amelyek biológiai és táplálkozásélettani szerepe igen jelentős. A telítetlen homológokat, tokotrienolokat nem sikerült kimutatni a paradicsom minták vizsgálata során. Ugyancsak nem lehetett kimutatni a

fluorometriásan inaktív α -TQ-t UV-tartományában, ami arra utal, hogy bizonyos endogén hatások in vivo redukálják α -TQH₂-re az érési folyamat előrehaladtával.

4. Új tudományos eredmény (tézis)

A 2018-ban és 2019-ben mért adatok alapján megállapítható, hogy az UG812 J hibrid ipari paradicsom esetében a vízstressz befolyásolja az érés során a karotinoid szintézis folyamatát, végeredményben eltolja a likopin - β -karotin arányt, esetenként, a β -karotin emelkedését eredményezi a paradicsomban.

A mérési eredmények egyértelműen kimutatták, hogy az öntözés a totál karotinoid koncentráció csökkenését eredményezte, ezen belül is a legjelentősebb a likopin és származékainak csökkenése. Ez alól kivételt képez a β -karotin, és származékainak mennyiségi változása. Leginkább a β -karotin mennyisége jelentős vízstressz hatására stagnáló vagy épp növekvő tendenciát mutatott. A 2018-as szarvasi minták esetében a legjelentősebben csökkenő likopin szint mellett a β -karotin csökkenése, arányaiban jócskán elmarad tőle, 2019-ben pedig már emelkedés figyelhető meg nemcsak a β -karotin, de származékai esetében is. A szárítópusztai minták esetében is hasonló jelenség tapasztalható. Ez arra enged következtetni, hogy a vízstressz befolyásolja az érés során a karotinoid szintézis folyamatát, és végeredményben eltolhatja a likopin- β -karotin arányát a paradicsomban.

5. Új tudományos eredmény (tézis)

Megállapítottam, hogy a betakarítás előtti hőmérséklet, illetve az eső mennyisége jelentősen befolyásolja a fitonutriensek tartalmát, illetve, stabilitását a feldolgozás során.

A karotinoidok, tokoferolok és a C-vitamin esetében nyomon követhető volt a feldolgozás során lezajló mennyiségi változásuk, melynek aránya szoros összefüggést mutatott a termesztési helyszínek klímaviszonyainak olykor hektikus változásával. Minél inkább eltérő időjárási paraméterek mutatkoztak a paradicsom termesztés optimális ökológiai igényeitől, annál bizonytalanabb és a szakirodalmi adatoktól eltérőbb eredményeket lehetett detektálni. Ezen mérések alapján megállapítható, hogy az abiotikus tényezők jelentősen befolyásolják ezen bioaktív molekulák stabilitását a feldolgozási folyamat során.

6. Új tudományos eredmény (tézis)

Bebizonyítottam, hogy magas vízellátás (nagy mennyiségű eső) és alacsony hőmérséklet mellett termesztett paradicsomban, az alapvetően is kevesebb mennyiségben jelen lévő C-vitamin stabilitása jelentősen csökken a feldolgozási folyamat során.

A C-vitamin stabilitását befolyásoló termikus kezelés és a feldolgozás alatt álló termék víztartalmának drasztikus csökkenése mellett a 2018-as és 2019-es szezonok mintái eltérő reakciót mutatnak. A drasztikus különbség okaként az abiotikus tényezők is

számottevő befolyással bírhatnak, így például a napfényes időszakok, a csapadékmennyiség és a jelentős hőmérsékleti eltérés a növények növekedése során, illetve a betakarítást megelőző, a bogyó fejlődésére kritikus jelentőséggel bíró időszakban. Ezek mind nagymértékben csökkenthetik az L-aszkorbinsav stabilitását. Az 3. táblázat adatai azt mutatják, hogy a homokos talajon termesztett állomány esetében a 32°C feletti hőmérséklet lényegesen több, valamint a csapadék mennyisége 3-5-ször nagyobb volt, mint az agyagos vályogtalaj esetében. A nagymennyiségű csapadék magasabb víztartalmú terméshez vezet, mely néhány a vitamin stabilitásáért felelős enzim instabilitását okozhatja. A bogyókat ért hosszas UV sugárzás pedig jelentős változásokat indukál a bioaktív komponens összetételében.

Következtetések és javaslatok

Kitűzött céljaim egyike az volt, hogy választ kapjak az ipari paradicsomot ért vízstressz hatására a táplálkozásélettani szempontból jelentős antioxidáns kapacitású bioaktív komponensekre. Eredményei rámutattak, hogy mind a két szezonban termesztett állománynál csökkent a Brix°, mely az irodalmi adatokkal összhangban áll. Ezen felül a vizsgált fitonutriens mennyiségi és minőségi összetételére sem gyakorolt pozitív hatást az öntözés, a vízstressz ugyanis befolyásolja az érés során a karotinoid szintézis folyamatát, ennek hatására a likopin - β -karotin aránya megváltozott. Emelkedett vízellátottság mellett a karotinoidok mennyiségi csökkenést mutattak, a β -karotin kivételével. Esetében stagnálás, néhol emelkedés volt detektálható. Másrészt csökkentette az össz-tokoferol mennyiséget is, mely ugyancsak, az össz-karotinoid szinthez hasonlóan, előnytelen a paradicsom magas antioxidáns kapacitású bioaktív fitonutriens tartalma szempontjából. A C-vitamin mennyiség változatlan marad, így megállapítható, hogy a magas vízmennyiség inkább előnytelen hatást gyakorolt az általam vizsgált bioaktív anyagokra.

Az eredmények alapján további kísérleteimet a kontroll körülmények között nevelt állománnyal végeztem, ebből a csoportból származó minták kerültek feldolgozásra, mérésre és kiértékelésre.

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

adatokkal szolgálnak arról, hogy mily módon változnak meg a paradicsom fitonutriensek mennyiségei és aránya, két különböző feldolgozás technológia alkalmazása mellett, a tájegységtől és az adott évjárat abiotikus tényezőinek eltérő tulajdonságai függvényében. E haszonnövények tápanyag elemzése során, a hatékony kromatográfiás eljárások alkalmazásával pontosan detektálható volt a paradicsom és késztermékei bioaktív alkotóelemeiben bekövetkező változás, valamint elsőként sikerült leírunk paradicsom késztermékekben előforduló bizonyos karotinoid származékokat. Ennek elemzéséhez a specifikusan ezen vizsgálatokhoz fejlesztett, érzékeny és pontos eredményt biztosító HPLC és LC-MS módszerek alkalmazása megfelelő háttérrel biztosíthat.

A vizsgálatokból levonható legfontosabb következtetés, hogy a növényi tápanyagok stabilitását és bomlási folyamatát jelentősen befolyásolja a termesztés helyszíne és ezekhez a területekhez köthető évszakonként változó egyéb abiotikus tényezők.

Ennek tudatában érdemes a rendelkezésre álló termőterületen termesztett paradicsomnak és késztermékeinek monitoringozása, annak érdekében, hogy a feldolgozásra leginkább alkalmas módszert ki lehessen választani, a magas tápanyag-tartalommal bíró termék előállítása céljából.

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

A jövőben mindenképpen érdemes lenne a két elsőként leírt karotinoid származék, a di-hidroxi-ciklo-likopin addukt és a di-metoxi-likopin további vizsgálata és elemzése, mert számos jelentős eredményt adhatnának ezek a kutatások. A paradicsom termékmintákban ugyancsak elsőként leírt α -tokoferol-hidro-kvinonnal zajló mérések is számtalan új eredménnyel szolgálhatnának még a jövőben.

Irodalomjegyzék

- Allen, R. G., Smith, M., Pereira, L. S. & Perrier, A. (1994): An Update for the Calculation of Reference Evaporation, ICID Bull. 43, 35–92.
- Capanoglu, E., Beekwilder, J., Boyacioglu, D., Hall, R., & de Vos, R. (2008): Changes in antioxidant s and metabolite profile during production of tomato paste Journal of Agricultural and Food Chemistry, 56, 964-973
- Daood, H. G., Ráth, Sz., Palotás, G., Halász, G., Hamow, K., Helyes, L. (2021): Efficient HPLC Separation on a Core-C30 Column with MS2 Characterization of Isomers, Derivatives and Unusual Carotenoids from Tomato Products. Journal of Chromatographic Science, doi: <https://doi.org/10.1093/chromsci/bmab085>
- Gammone, M.A., Riccioni, G. & D’Orazio, N. (2015): Carotenoids potential allies of cardiovascular health? Food & Nutrition Research, 59: 26762
- George, S.A., Brat, P. Alter P, & Amiot M. J. (2005): Rapid Determination of Polyphenols and Vitamin C in Plant-Derived Products. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 53, 1370-1373
- Giovannucci, E. (1999): Tomatoes, tomato-based products, lycopene, and cancer: Review of the epidemiologic literature. Journal of the National Cancer Institute, 91(4): 17.
- Goodman, C. L., Fawcett, S., & Barringer, S. A. (2002): Flavor, Viscosity, and Color Analyses of Hot and Cold Break Tomato Juices. Journal of Food Science, 67(1), 404–408. doi:10.1111/j.1365-2621.2002.tb11418.x

- Ilahy, R., Hdider, C., Lenucci, M.S., Tlili, I. & Dalessandro, G. (2011): Antioxidant activity and bioactive compound changes during fruit ripening of high-lycopine tomato cultivars. *J. Agric. Food Chem.*, 24: 588-595.
- Illés, G., Fonyó T., Pásztor, L., Bakacsi ZS. & Laborczi, A. (2016): Agroclimate 2 project of compilation of digital soil-type map of Hungary. *Erdészettudomány Közlemények*, 6, 17-24.
- Lenucci, M.S., Cadinu, D., Taurino, M., Piro, G. & Dalessandro, G. (2006): Antioxidant composition in cherry and high-pigment tomato cultivars. *J. Agric. Food Chem.*, 54: 2606-2613.
- Meulebroek, L.V., Vanhaecke, L., Swaef, T.D., Steppe, K. & Brabander, H.D. (2012): U-HPLC-MS/MS to quantify liposoluble antioxidants in red-ripe tomatoes, grown under different stress levels. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 60: 566-573.
- Moreno, S, Scheyer, T., Romano, C. S. & Vojnov, A'N A. (2006): Antioxidant and antimicrobial activities of rosemary extracts linked to their polyphenol composition. *Free Radical Research*; 40, 223–231.
- Rao, A.V. & Rao, L.G. (2007): Carotenoids and human health. *Pharmacological Research*, 55: 207-216.

Az értekezés témaköréhez kapcsolódó publikációk

Nemzetközi, Impakt faktoros folyóiratban megjelent:

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

Idegen nyelvű, magyar Impakt faktoros folyóiratban megjelent:

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

Idegen nyelvű, magyar nem Impakt faktoros folyóiratban megjelent:

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

Magyar nyelvű, nem Impakt faktoros folyóiratban megjelent:

1. **Ráth, Sz.**; Égei, M.; Horváth, K.; Daood, H. (2019): Különböző termőhelyen és évjáratban termesztett ipari paradicsom fontosabb karotinoid vegyületeinek mennyiségi összehasonlítása. KERTGAZDASÁG (1998) 51: 3 pp. 56-65., 10 p.

2. Horváth, K. Zs; Andryei, B.; **Ráth, Sz**; Égei, M. (2020): Vízellátás és a növekedést serkentő baktériumok hatása az ipari paradicsom termésére és minőségére. KERTGAZDASÁG (1998) 52: 2 pp. 59-66., 8 p.,

Konferencia kiadványok:

1. Bulgan, A. Horváth, K. Zs. **Ráth, Sz.** Nemeskéri, E. Neményi, A. Pék, Z. Helyes, L. (2019): Effect of plant growth promoting rhizobacteria (PGPRS) on yield and quality of processing tomato under water deficiency. Conference presentation, Doctoral student conference of Debrecen University.

Hamow, K. Á. Ambrózy, Zs. **Ráth, Sz.** Pék, Z. Posta, K. (2019): Follow-up of the degradation of thiamethoxam and its metabolite clothianidin in open field cultivated industrial tomatoes influence of mycorrhizal inoculation. In: Centre of the Region Haná for Biotechnological Agricultural Research Plant Biotechnology: Green for Good V Olomouc, Csehország: European Federation of Biotechnology (2019) pp. 31-31., 1 p.

2. Helyes, L., **Ráth, Sz.** Daood, H.G. Nagy, Zs. (2017): Simultaneous HPLC determination of bioactive phytochemicals in tomatoes. In: 21. World Congress of Clinical Nutrition: Program and Abstract Book p. 86. 1 p.