

dc_634_12
Akadémiai Doktori Értekezés

**A csonthéjas gyümölcsök antioxidáns hatásában megnyilvánuló
genetikai variabilitás jellemzése**

Hegedűs Attila

**Budapesti Corvinus Egyetem
Genetika és Növénynevelés Tanszék**



Budapest, 2013

*„meg kell tanulni itt a fák
kimondhatatlan tetteit.”*

Nemes Nagy Ágnes

1	BEVEZETÉS.....	7
2	IRODALMI ÁTTEKINTÉS	9
2.1	A GYÜMÖLCS MINT TÁPLÁLÉK	9
2.2	A GYÜMÖLCSFOGYASZTÁS ÉS BIZONYOS BETEGSÉGEK ELŐFORDULÁSÁNAK KAPCSOLATA.....	14
2.3	A GYÜMÖLCSÖK KEDVEZŐ EGÉSZSÉGI HATÁSÚ VEGYÜLETEI	19
2.3.1	<i>C-vitamin</i>	19
2.3.2	<i>Az A-vitamin előanyaga, a β-karotin és más karotinoidok</i>	25
2.3.3	<i>E-vitamin</i>	27
2.3.4	<i>Telítetlen zsírsavak</i>	29
2.3.5	<i>Triterpenoidok</i>	30
2.3.6	<i>Polifenolok</i>	31
2.4	A GYÜMÖLCSÖK ANTIOXIDÁNS KAPACITÁSÁT BEFOLYÁSOLÓ ENDOGÉN ÉS EXOGÉN TÉNYEZŐK	52
2.5	A CSONTHÉJAS GYÜMÖLCSFAJOK FAJTAVÁLASZTÉKA ÉS GYÜMÖLCSEIK ANTIOXIDÁNS JELLEMZÉSE	53
2.5.1	<i>Őszibarack</i>	57
2.5.2	<i>Cseresznyeszilva, japánszilva, kökény és európai szilva</i>	59
2.5.3	<i>Kajszi</i>	62
2.5.4	<i>Cseresznye</i>	65
2.5.5	<i>Meggy</i>	67
2.6	A GYÜMÖLCSÖK ANTIOXIDÁNS KAPACITÁSÁNAK MÓDOSÍTÁSA	71
3	CÉLKITŰZÉS	74
4	ANYAG ÉS MÓDSZER.....	76
4.1	NÖVÉNYANYAG	76
4.2	A FIZIKAI-KÉMIAI PARAMÉTEREK MEGHATÁROZÁSA	77
4.3	EXTRAKCIÓ	78
4.4	ÖSSZES ANTIOXIDÁNS KAPACITÁS MÉRÉSE FRAP-MÓDSZERREL	78
4.5	ÖSSZES ANTIOXIDÁNS KAPACITÁS MEGHATÁROZÁSA TEAC-MÓDSZERREL.....	79
4.6	DPPH GYÖKFÓGÓ KAPACITÁS	79
4.7	A TELJES GYÖKFÓGÓ KAPACITÁS MEGHATÁROZÁSA KEMILUMINESZCENCIÁS MÓDSZERREL	79
4.8	FOTOKEMILUMINESZCENCIÁS MÉRÉS PHOTOCHEM KÉSZÜLÉKKEL	80
4.9	AZ ÖSSZES POLIFENOL-TARTALOM (TPC) MEGHATÁROZÁSA	80
4.10	AZ ÖSSZES MONOMER ANTOCIANINTARTALOM MEGHATÁROZÁSA	80
4.11	A C-VITAMIN-TARTALOM MEGHATÁROZÁSA	81
4.12	DNS-IZOLÁLÁS	81
4.13	RNS-IZOLÁLÁS	82
4.14	CDNS-SZINTÉZIS.....	82
4.15	PRIMERTERVEZÉS A FLAVONOID-BIOSZINTÉZIS GÉNEK PCR-AMPLIFIKÁLÁSÁRA...	82
4.16	A PCR-TERMÉKEK ELLENŐRZÉSE GÉLELEKTROFORÉZISSSEL	83

dc_634_12

4.17	A PCR-TERMÉKEK TISZTÍTÁSA, KLÓNOZÁSA ÉS SZEKVENÁLÁSA	83
4.18	VALÓS IDEJŰ PCR.....	85
4.18.1	<i>A qPCR primerek tervezése</i>	85
4.18.2	<i>A qPCR-reakcióelegy összeállítása</i>	88
4.18.3	<i>Az adatok kiértékelése.....</i>	89
4.18.4	<i>Adatok illesztése („data pooling”)</i>	89
4.19	STATISZTIKAI ÉRTÉKELÉS	90
4.20	BIOINFORMATIKAI ELEMZÉS.....	90
5	EREDMÉNYEK	92
5.1	A CSONTHÉJAS GYÜMÖLCSÖK ANTIOXIDÁNS KAPACITÁSÁNAK ÖSSZEHASZNÁLÁSA.....	92
5.1.1	<i>Az őszibarackfajták antioxidáns kapacitásának jellemzése</i>	93
5.1.2	<i>A diploid szilvafajok és kökénygenotípusok antioxidáns kapacitása</i>	95
5.1.3	<i>A kajszi fajták antioxidáns kapacitásának jellemzése</i>	99
5.1.4	<i>A cseresznyefajták antioxidáns kapacitásának jellemzése</i>	118
5.1.5	<i>A meggyfajták antioxidáns kapacitásának jellemzése.....</i>	123
6	EREDMÉNYEK MEGVITATÁSA	135
6.1	AZ ANTIOXIDÁNS KAPACITÁS FAJOK KÖZÖTTI ÉS FAJON BELÜLI VARIABILITÁSA .	135
6.1.1	<i>A fontosabb csonthéjas gyümölcsfajok összehasonlítása</i>	136
6.1.2	<i>Őszibarack.....</i>	136
6.1.3	<i>Szilvafajok és kökény.....</i>	138
6.1.4	<i>Kajszi.....</i>	139
6.1.5	<i>Cseresznye</i>	142
6.1.6	<i>Meggy.....</i>	144
6.1.7	<i>Potenciális szupergyümölcsök azonosítása és genetikai háttere.....</i>	146
6.2	AZ ANTIOXIDÁNS PARAMÉTEREKET BEFOLYÁSOLÓ TÉNYEZŐK	147
6.3	AZ ANTIOXIDÁNS KAPACITÁST KIALAKÍTÓ FŐ VEGYÜLETCSOPORTOK AZONOSÍTÁSA	149
6.4	A PRUNUS FAJOK GYÜMÖLCSÉNEK FLAVONOID-BIOSZINTÉZISÉBEN FELTEHETŐEN SZEREPET JÁTSZÓ GÉNEK AZONOSÍTÁSA	151
6.5	A FLAVONOID-BIOSZINTÉZIS KANDIDÁNS GÉNEK EXPRESSZIÓS VÁLTOZÁSA	152
6.6	A POTENCIÁLIS SZUPERGYÜMÖLCSÖK VÁRHATÓ FIZIOLÓGIAI HATÁSAINAK ÁTTEKINTÉSE ÉS ELŐZETES TESZTELÉSE ÁLLATKÍSÉRLETEKBEN	158
7	KIEMELT ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK	162
8	FELHASZNÁLT IRODALOM.....	164
9	KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS	184
	MELLÉKLETEK	187
	FAJ- ÉS FAJTANÉV.....	189

Az értekezésben használt rövidítések jegyzéke

18S rRNS	18S riboszómális RNS
4CL	4-kumaroil-CoA-ligáz
ABTS	2,2'-azino-bisz(3-etilbenzotiazolin-6-szulfonsav)
ACL	zsírolható antioxidáns kapacitás (<i>Lipid Soluble Antioxidant Capacity</i>)
ACT	aktin
ACW	vízoldható antioxidáns kapacitás (<i>Water Soluble Antioxidant Capacity</i>)
ANR	antocianidin-reduktáz
ANS	antocianidin-szintáz
AOF	aktív oxigénformák
AS	aszkorbinsav
blast	<i>Basic Local Alignment Search Tool</i>
C3H	<i>p</i> -kumarát-3-hidroxiláz
C4H	cinnamát-4-hidroxiláz vagy fahéjsav-4-hidroxiláz
cDNS	„copy” DNS; mRNS-ről reverz transzkripcióval készített DNS
CH	koleszterin
CHI	kalkon-izomeráz
CHS	kalkon-szintáz
CT	kondenzált tannin
C _T	küszöbciklus érték (<i>threshold cycle</i>)
CV	variációs koefficiens
DAD	diódasoros detektor (<i>Diode Array Detector</i>)
DFR	dihidroflavonol-4-reduktáz
DNS	dezoxiribonukleinsav
dNTP	dezoxinukleozid-trifoszfát
DPPH	1,1-difenil-2-pikrilhidrazil gyök
D _{vm}	varratra merőlegesen mért gyümölcsátmérő
D _{vp}	varrattal párhuzamosan mért gyümölcsátmérő
E	a PCR-reakció amplifikációs hatékonysága (<i>efficiency</i>); illetve
<i>E</i>	a homológia keresés szignifikanciája (<i>expectation value</i>)
eNOS	az endotél sejtek nitrogén-monoxid-szintáz enzime
EST	kifejeződő szekvencia (<i>Expressed Sequence Tag</i>)
F3'5'H	flavonoid-3',5'-hidroxiláz
F3'H	flavonoid-3'-hidroxiláz

dc_634_12

F3H	flavanon-3-hidroxiláz
FLS	flavonol-szintáz
FRAP	vasredukáló kapacitás (<i>Ferric Reducing Antioxidant Power</i>)
GAPDH	glicerinaldehid-3-P-dehidrogenáz
GS	galluszsav
HAT	hidrogénatom-transzfer
HCT	hidroxifahéjsav-transzferáz
HPLC	nagyteljesítményű folyadékkromatográfia (<i>High Performance Liquid Chromatography</i>)
LAR	leukoantocianidin-reduktáz
LC	„ <i>Liquid Chromatography</i> ”, folyadékkromatográfia
NADPH	a NADP^+ (nikotinamid-adenin-dinukleotid-foszfát) redukált formája
NCBI	<i>National Center for Biotechnology Information</i>
ORAC	oxigéngyökfogó kapacitás (<i>Oxygen Radical Absorbance Capacity</i>)
PA	proantocianidin
PAL	fenilalanin-ammónia-liáz
PCR	polimeráz láncreakció (<i>Polymerase Chain Reaction</i>)
qPCR	kvantitatív polimeráz láncreakció (más néven real-time PCR)
REST [®]	<i>Relative Expression Software Tool</i>
RNS	ribonukleinsav
RP-II	RNS-polimeráz II
RT-PCR	Reverz transzkriptáz polimeráz láncreakció
SSC	oldható szárazanyag-tartalom (%)
t.sz.f.	tengerszint feletti magasság
T _a	<i>annealing</i> vagy tapadási hőmérséklet; primerek templáthoz kötődése
TAE	trisz-ecetsav-EDTA
TBE	trisz-bórsav-EDTA
TEAC	trolox egyenértékű antioxidáns kapacitás (<i>Trolox Equivalent Antioxidant Capacity</i>)
TEF-II	transzlációs elongációs faktor II
T _m	a kettősszálú DNS olvadási hőmérséklete
TPC	összes polifenol-tartalom (<i>Total Phenolic Content</i>)
TPTZ	tripiridil-triazin
UBQ10	ubikvitin 10
UGT	UDP glükóz:flavonoid-3-O-glükoziltranszferáz

1 BEVEZETÉS

A csonthéjas gyümölcsöket világszerte ismerik és kedvelik a fogyasztók, elsősorban finom ízük és frissítő hatásuk miatt. Sárga színüket a karotinoidok, a pirosat az antocianin vegyületek adják, melyek más, szintelen polifenolos vegyületekkel együtt jelentős antioxidáns kapacitással rendelkeznek. Ezek egészségvédő, és számos betegség kialakulásával szemben megnyilvánuló gátló hatását széles körben igazolták, és napjainkban is folyamatosan jelennek meg újabb és újabb bizonyítékok. Mindebből az következik, hogy hazánkban és világszerte egyaránt szemléletváltásra van szükség: a gyümölcs nem pusztán élvezeti cikként fogyasztható, de szerepét az egészség tervszerű megőrzésében is hangsúlyoznunk kell.

Ez adja a gyümölcsök táplálkozásbeli szerepének jelentőségét, melyre világszerte felfigyeltek. Magyarország ezen a területen nem mutat kellő aktivitást, jóllehet gyümölcsfajtáink az egészségmegőrzés terén kedvező, olykor kiemelkedő tulajdonságokkal rendelkeznek. A beltartalmi érték jellemzése során a jól ismert refrakció, cukor/sav arány stb. mellé fel kell vegyük az antioxidáns hatást jellemző paramétereket is. A bogyósgyümölcsöket ugyan értékesebbnek vélik ebből a szempontból, de a csonthéjas gyümölcsök jelentősége sem elhanyagolható, különösen, ha bebizonyosodna, hogy vannak olyan genotípusok, amelyek ebből a szempontból összemérhetők a bogyósgyümölcsökkel.

Az egészséges élelmiszerek iránti kereslet rohamosan növekszik. A különleges, nagy antioxidáns kapacitású gyümölcsök (bodza, feketeribiszke, som, homoktövis stb.) mellett a legnépszerűbb gyümölcsöktől is egyre inkább elvárjuk, hogy szolgálják egészségünket. Ennek hatására a nemesítési célok között megjelent egy új, korábban nem követett tulajdonság. A fokozott egészségi hatású gyümölcsöket termő genotípusok ugyanis előállíthatók lehetnek hagyományos módszerekkel. Az új cél köré szerveződő nemesítést funkcionális nemesítésnek nevezik, és világszerte egyre intenzívebben alkalmazzák számos gyümölcsfaj esetében.

E stratégia első és legfontosabb lépése megismerni, hogy a javítani kívánt tulajdonság (a gyümölcs antioxidáns kapacitása) szempontjából milyen mértékű variabilitás áll rendelkezésre a nemesítéshez felhasználható növényanyagban. A funkcionális nemesítési program elindításához nagy antioxidáns kapacitású, donor genotípusokra van szükség. Ilyen genotípusokat jó eséllyel találhatunk a korábban ebből a szempontból nem jellemzett fajták (pl. tájfajták) vizsgálatával. Valószínűleg azonban a régi

dc_634_12

fajták számos értékmérő tulajdonságán javítani kell ahhoz, hogy árutermő ültetvényekben gazdaságosan termeszthetők legyenek.

Ezek a vizsgálatok érdekes információkkal gazdagíthatják a csonthéjas gyümölcsökkel kapcsolatos elméleti ismereteinket, ugyanakkor közvetlenül és haladéktalanul felhasználhatók a gyakorlatban új, kedvező egészségi hatású gyümölcsöt termő fajták előállítására érdekében. Nemzetközi szinten kétségkívül óriási kereslet mutatkozik ilyen fajtákra, és az igény a tragikus egészségi állapotú magyar társadalom esetében sem lehet kétséges. Magyarországon valamennyi csonthéjas gyümölcsfaj termesztése hosszú múltra tekint vissza, így a történelmi és tájfajták által képviselt génvagyon feltehetően ebből a szempontból is bőven rejt még kiaknázatlan lehetőségeket. Ha a genetikai tartalékok megismerését tettek követnék, Magyarország talán jelentős gazdasági eredményeket érhetne el a gyümölcsalapú, egészségtámogató élelmiszerek piacán.

2 IRODALMI ÁTTEKINTÉS

2.1 A gyümölcs mint táplálék

„Nincs kapcsolat az elfogyasztott élelmiszer és az egészség között. Az embereket az élelmiszeripar eteti, ami nincs tekintettel az egészségre, és az egészségipar gyógyítja, ami nincs tekintettel az elfogyasztott ételekre.”

Wendell Berry

Az emberiség gyümölcsökhöz mint táplálékhoz fűződő viszonya, és e viszony történeti korokon átívelő változása jól példázza, hogyan enyészhet el észrevétlen bizonyos szokások, tradíciók érvényessége, majd hogyan éled újjá néhány évszázados tetszhalott állapot után, hogyan vezethet vissza a tudomány a múltbéli, évezredekken át „tudattalanul”, ösztönösen követett normákhoz.

Jóllehet az emberszabású majmok fogazata a mindenevők fogzatának jegyeit hordozza, a ma élő csimpánzok, gorillák és orangutánok elsősorban növényevők. Az ősember csoportosan élt, és a vadászat mellett folyamatosan gyűjtögette az ehető növényeket. Ez a fajta életmód a természetközeli népcsoportok esetén ma is fellelhető még. A vegetarianizmus először Indiában, és tőle függetlenül, az ókori görög világban jelent meg (Spencer, 1996). Mindkét kultúrában elvi, vallási-filozófiai alapokon bontakozott ki. Következtes, az egész közösségben gyakorolt vegetáriánus életmódot egyetlen természeti népnél, vagy őslakos közösségben sem találtak.

A vegetarianizmus jelentősebb színrelépésével a Bibliában találkozhatunk. Mózes első könyve szerint a harmadik napon Isten megteremtette a „gyümölcsfákat, melyek az ő nemek szerint való gyümölcsöket hozzanak” (1. Mózes 1:11). Majd a hatodik napon, az ember megteremtését követően így rendelkezett: „Ímé adtam néktek minden maghozó fűvet, mely vagyon az egész földnek színen, és minden gyümölcstermő és maghozó fát, hogy azok legyenek néktek eledeletekre” (1. Mózes 1:29).

Lippay (1666) *Posoni kertjének Gyümölcsöskert* című kötetében a bevezető gondolatok között találkozhatunk azzal az érdekes magyarázattal, mely szerint az Úr kezdetben azért adta az embernek eleségül a gyümölcsöt, mert azt, amint megérett, készen kapja: csak le kell szakítania a fáról. Minden más táplálékot azonban hosszadalmas, verejtékes munkával képes csak előállítani (a gabonát aratni, csépelni, őrölni kell, majd a kenyeret megsütni; az állatokat elejteni, megnyúzni, főzni vagy sütni): ezzel a büntetéssel sújtja az embert a Paradicsomból való kiűzetést követően. Ha tovább gondoljuk Lippay elképzelését, arra jutunk, hogy a ma embere legkönnyebben úgy találhat vissza a

Paradicsomra jellemző kegyelmi állapothoz, ha ízletes, érett gyümölcsbe harap. A gyümölcs (és más növényi táplálékok) társítása a spirituális világgal más vallások esetében is tetten érhető. Az ó-egyiptomi papok, a perzsa Zarathustra hívei, a buddhizmus, később a zen-buddhizmus követői mind vegetáriánusok voltak. A vegetáriánus népek táplálkozásának fontos részét képezte a gyümölcsök fogyasztása.

E tradíciók érvényessége az ipari társadalmak kialakulásával, a XIX. század végétől, XX. század elejétől kezdődően egyre jobban elhalványul a mindennapi életben. Ezekben az időkben rögzül a legszélesebb körben az a vélekedés, hogy az élethez energia (szénhidrát és zsír) illetve fehérje szükséges, minden egyéb kevésbé lényeges vagy lényegtelen. A magyar nyelvű szakirodalomban alig találunk olyan állítást, mely ellene helyezkedne e téves, de széles körben elfogadott álláspontnak. Talán az egyetlen ilyen tanulmányt egy olyan orvosnak köszönhetjük, aki egyszersmind a magyar kertészképzés megalapítója is: Entz Ferencnek. Már 1882-ben, *A gyümölcséletrendi fontossága* címmel írt művében így vélekedik: „...de miután a természetet megcsalni nem lehet, ez viszont napról napra szaporodó betegségek özönével bünteti azon kihágásokat, melyeket az ember tápszereinek visszas választása által törvényei ellen elkövet (Entz, 1882)”. Egyik első megfogalmazását látjuk itt annak a gondolatnak, hogy a növényi táplálékban szegény étrend a betegségek forrása. Entz ráadásul tovább fűzi gondolatait: „mivel a természet minden intézkedésében mindenütt a legnagyobb bölcsesség nyilatkozik (...), a növényétel legtökéletesebb összetételét a gyümölcsben juttatta érvényre”.

Ezek az eszmék azonban sokáig visszhangtalanok maradnak az orvosi kánonokban. Ez az alapállás tükröződik például a Lenhossék Mihály (híres anatómus professzor, Szent-Györgyi Albert anyai nagybátyja) által szerkesztett, a *Műveltség könyvtára* sorozat köteteként 1914-ben kiadott műben: „A gyümölcsök rengeteg vizet és emészthetetlen alkatrészt tartalmaznak, úgy hogy szervezetünk még a valóban értékes részeket is alig használhatja fel. (...) Mint nehezen emészthető és drága tápszereknek nincs nagyobb jelentőségük (Dalmady, 1914).” Alig tíz év elteltével, Vuk Mihály egy ismeretterjesztő tanulmányában azonban már hírt adott arról, hogy az élelmiszerek megítélésében jelentős változás állott be: „A zsírokat, fehérjéket és szénhidrátokat emésztőszerveink feldolgozzák, úgyhogy ezek látják el szervezetünket a szükséges energiával és meleggel; a fősúlyt tehát élelmünk megítélésénél... (ezek) kellő mennyiségére, illetőleg a belőlük keletkező kalóriák számára helyeztük. Azóta, a háború alatt, Angliában és Amerikában új tanok hódítottak tért, melyekből tudjuk, hogy nem elég, ha táplálékunk kellő mennyiségű fehérjét, zsírt és szénhidrátot tartalmaz, hanem ezenkívül még okvetlenül szükséges, hogy »vitamin«-okat is tartalmazzon; ezekből a vitaminoknak nevezett anyagokból nagyon csekély mennyiség kell,

de ha ez hiányzik, akkor igen súlyos betegségek (rachitis, beriberi, skorbut stb.) fejlődnek ki” (Vuk, 1924). A gyümölcslének nevezett, de valódi gyümölcslevet nem tartalmazó, szintetikus anyagokból gyártott termékekre is kitért, melyek, ahogy írta, „*persze vitaminmentesek*”. Az üzletek polcain manapság is találhatók olyan gyümölcslevek, melyek egyáltalán nem, vagy elhanyagolhatóan kis arányban tartalmaznak valódi gyümölcslevet. Ezek egészségre gyakorolt hatásán azonban az sem segít sokat, ha mesterségesen C-vitamint adagoltak hozzá.

A fordulatra akkor került sor, amikor éppen Lenhossék professzor unokaöccse kalandregénybe illő események sorozatát követően felfedezte a C-vitamint, és igazolta, hogy ezt az anyagot a növények (citrom, paprika stb.) nagy mennyiségben tartalmazzák. A Nobel-díjat 1937-ben vette át felfedezéséért, de a 30-as évek elejére már hazánkban és nemzetközileg egyaránt ismert lett a C-vitamin jelentősége. Ennek következtében a C-vitaminban gazdag zöldségek, gyümölcsök megítélése is fordulóponthoz érkezett. Ráadásul Szent-Györgyi számos más vegyületet (flavonoidok) is izolált a paprikából, melyek kedvező egészségi hatását a közelmúltban ismerte meg a tudomány.

E tudományos felfedezéseknek volt köszönhető, hogy a gyümölcsöket egyre kevesebben tartották jelentéktelen tápértékű élvezeti cikkeknek. A változást jelzi az a képeslap-sorozat, amelyet feltehetően 1933-ban indított útjára a Magyar Királyi Földművelésügyi Minisztérium. A képeslapokon a kor elismert festőművészeinek, grafikusainak munkái láthatók, melyek racionális és emocionális üzenetekkel buzdítanak a gyümölcsfogyasztásra (1. ábra). A „*Gyorsan vegyen gyümölcsöt!*” drámai akusztikával zengő jótanácsként harsan fel egy minden előzmény nélküli, exponálatlan térben. Az emocionális hatás mellett azonban megfontolandó tanácsokat is közölnek a sorozat további lapjai: például a gyümölcsök egészségi hatását hirdetik („*Orvosság helyett gyümölcsöt!*”, vagy „*Idegeit nyugtatja a gyümölcs*”). És megjelenik egy váratlan, de fontos üzenet is, a „*C-vitamin a gyümölcs*”, ami azért is megdöbbentő, hiszen ennek felismerése a képeslapok megjelenéséhez mérten igencsak friss esemény kellett, hogy legyen.



1. ábra. Az 1930-as évek elején kiadott, a gyümölcsfogyasztás népszerűsítését célzó képeslapsorozat.

A reklám minden korosztályt és társadalmi réteget megcélzott, de természetesen a gyermekek, illetve szüleik álltak a középpontban: „*A gyermeknek gyümölcsöt*”, amit az iskolai szünetekben („*Tízpercben gyümölcs*”), az akkor még általánosnak tekinthető nyári, elsősorban mezőgazdasági jellegű munka mellett („*Nyári munkánál is gyümölcs*”), vagy éppen fürdőzéskor, összességében nézve tehát bármikor ajánlott fogyasztani. A legköltőibb üzenet szerint a gyümölcs arra is képes, hogy nyarat varázsoljon a hóviharba temetkező, zordon téli világ közepébe (*Nyár a télben: a gyümölcs*). A művészet a kifejező erőt adja a lapoknak, melyek hátoldalán megtalálható az ár, valamint a címzésnek és üzenetnek szentelt helyen túl egy táblázat is, amiben a „*Hazai és külföldi gyümölcsök C-vitamin-tartalma*” szerepel a Kémiai Intézet és a Kertészeti Akadémia adatai alapján. Csodálatos és irigylésre méltó, hogy a ma is érvényes üzenetek eljuttatására nyolcvan évvel ezelőtt mennyire gyorsan, milyen magas művészi és tudományos színvonalon került sor. Vajon napjainkban teszünk-e ennyit ugyanezen üzenetek eljuttatásáért?

A tudomány fejlődése a XX. század első felében alapvetően változtatta meg a gyümölcs mint táplálék megítélését. Tangl Harald (állatfiziológus professzor) a 40-es évek elején kiadott, első könyveinek egyikében arra hívta fel az olvasók figyelmét, hogy a gyümölcstről már tudható, nélkülözhetetlen táplálék. A leírás kitért arra is, hogy a gyümölcsök többsége ugyan nem szolgáltat jelentős mennyiségű fehérjét és nagy mennyiségű „*füttőanyagot*”, mégis értékes, mert a szervezet működéséhez szükséges védőanyagok, különféle sók és vitaminok találhatók bennük. Elsősorban a C-vitamint és az emberi szervezetben A-vitaminná átalakuló karotint emelte ki (Tangl, 1941). A II. világháború vége felé kiadott *Táplálkozzunk helyesen*¹ szakácskönyvsorozat *Gyümölcsételek* című kötetének bevezetőjét is ugyanez a gondolat hatotta át: „*Ha azt akarjuk, hogy egészséges gyermekek, munkabíró felnőttek legyenek a családban, ha a betegségeket távol akarjuk tartani hozzátartozóinktól, akkor erre a legbiztosabb utat a különböző gyümölcsfogyasztásokon keresztül érjük el.*”

Tangl előbbi tanulmányában is külön értekezett a gyümölcsök víztartalmáról: a szerző szerint az étkezés végén elfogyasztott gyümölcs a gyomor- és bélnedvek képződését segíti: „*A bélbe kerülő nagy nedvmennyisége felszívódik és a benne oldott anyagok nagy részével a véren át eljut a test minden tájékára.*” A gyümölcs reggel aranyat, délnél ezüstöt, este pedig ólmot ér – tartja egy régi közmondás, amit már Tangl is cáfolt: a gyümölcs mindig jó, különösen, ha friss, és ha nyers. Ezenkívül még további fontos megjegyzéseket is tett a szerző: 1. váltogassuk a fajokat, azaz sokféle gyümölcsöt együnk,

¹Gyümölcsételek (Táplálkozzunk helyesen). M. Kir. Közellátásügyi Miniszter Közellátási Hivatal, Budapest. A kiadás éve nem jelölt

hiszen ezek összetétele különböző; 2. aki tudja, héjastól egye a gyümölcsöt, 3. a nap folyamán egy étkezés (tízórai vagy uzsonna) kizárólag gyümölcsből álljon és 4. a gyümölcsöt éretten fogyasszuk, mert a benne lévő tápanyagok akkor érvényesülnek a legtokéletesebben. Ezen ajánlások megalapozottságát a tudomány minden esetben igazolta az elmúlt évtizedek során.

Jóllehet a gyümölcsök fiziológiai hatásának részletes megismeréséhez még rengeteg kutatás szükséges, ma már bizonyított, hogy a gyümölcsfogyasztás kedvező az emberi egészségre. Mindazt, amit ma a tudomány, a rögzített protokollok alapján elvégzett kísérletekből megszerzett tudásként tár elénk, valaha elődeink ösztönösen tudták.

2.2 A gyümölcsfogyasztás és bizonyos betegségek előfordulásának kapcsolata

„Február tizenhetedikén fél négykor azonban valami különös dolog vette kezdetét. Sejtjein belül számtalan vízmolekula hasadásnak indult: ártalmatlan hidrogénatomok és erősen reagens, pusztítóan kártékony, hidroxil szabadgyökök szabadultak fel.

A molekuláris változásokkal egy időben aktivizálódott a szervezet celluláris védelmi rendszere. Ám a szabadgyökökkel folytatott küzdelem során a csatarendbe állított védelmi erők ezen a rendkívüli napon hamar elestek; még az antioxidáns C- és E-vitaminok és a béta-karotin, amelyet Sam naponta, szorgalmasan szedett, sem voltak képesek felvenni a harcot a váratlan, elsőprő erejű támadással szemben.

A hidroxil szabadgyökök kémiai bomlási folyamatot indítottak el Sam Fleming szervezetében. Nem kellett hosszú idő ahhoz, hogy a megtámadott sejthártyákon keresztül meginduljon a folyadék- és elektrolitszivárgás. Ugyanakkor a sejtekben található fehérjeenzimek széthasadtak és inaktivizálódtak. A támadás a DNS-molekulákat sem kerülte el, így bizonyos gének is sérültek.

A Bartleti Városi Kórház egyik ágyán fekvő Sam mit sem tudott a sejtjeiben zajló végzetes molekuláris csatáról. Ő csupán néhány tünetet észlelt: hőemelkedést, emésztési zavarokat, kezdődő tüdőgyulladást.”

(Robin Cook: Végzetes megoldás²)

A redoxi folyamatok valamennyi aerob sejt anyagcseréjének meghatározó részét képezik. A légzés során az elektronok oxigénre áramlása biztosítja a redukált koenzimek oxidálását és az energiaforrásként használható ATP molekulák szintézisét (Hegedűs és Stefanovitsné Bányai, 2012). Az elektronátmenettel járó folyamatok többsége szigorúan szabályozott módon következik be. Ugyanakkor bizonyos elektronok oxigén- vagy nitrogéntartalmú molekulákra kerülésével igen reakcióképes vegyületek, ún. szabadgyökök is kialakulhatnak. Ilyen lehet a szuperoxidgyök ($O_2^{\cdot-}$), hidroxilgyök ($OH^{\cdot}$), nitrogén-monoxid ($NO^{\cdot}$), a peroxinitrit ($ONOO^{\cdot}$), nitrogén-dioxid ($NO_2^{\cdot}$) stb. Ezek a sejtekben képződő, rendkívül reakcióképes vegyületek valamennyi biomolekulában súlyos károkat okozhatnak. Ennek következménye a lipidperoxidáció, valamint a szénhidrátok, fehérjék és nukleinsavak oxidatív károsodása. Az ismert patomechanizmusú betegségek túlnyomó

² Robin Cook (1994): Végzetes megoldás. I.P.C. Könyvek, Budapest.

többségében felmerül a túlzott mértékű, ellenőrizetlen oxidáció okozta károsodás szerepe (Jacob és Burri, 1996).

A részlegesen redukált vegyületek elleni védelem antioxidáns hatású molekulákkal történik. Az antioxidánsok képesek elektronátadással redukálni a reakciópartnerüket, esetleg hidrogénátadással semlegesíteni a szabadgyököket, vagy komplexet alkotni átmeneti fémionokkal, melyek így nem képesek szabadgyökök kialakulását előidézni (Hegedűs és Stefanovitsné Bányai, 2012). A természetes antioxidánsokat több csoportra oszthatjuk. Az úgynevezett intracelluláris, enzimatisz védőrendszer elemei bizonyos enzimek (szuperoxid-dizmutáz, kataláz, peroxidázok, reduktázok stb.), az extracelluláris védőrendszer elemei fehérjék és kis molekulák (cöruoplazmin, transzferrin, ferritin, piruvát, húgysav, glükóz stb.). Az úgynevezett kismolekulás védelemben különböző vitaminok, pl. A-, C-, E-, K-vitamin, tioltartalmú vegyületek (cisztein, ciszteamin, glutation, metionin stb.), nyomelemek (szelén), ubikinon, galluszsav, flavonoidok, fenolsavak és származékaik vesznek részt. Ezek többsége a táplálékkal jut szervezetünkbe.

Legalább három évtizede töretlen érdeklődés övezi az antioxidánsok emberi megbetegedések kezelésében, vagy legalább a betegségek kialakulásának megakadályozásában, késleltetésében játszott szerepét. Mindkét területen beszámoltak jelentős sikerekről, ugyanakkor látványos kudarcokról is tudunk. A 70 év feletti nők vérplazmájában a bőségesebb zöldség- és gyümölcsfogyasztás következtében nagyobb β -karotin-tartalom volt kimutatható, ami szoros összefüggést mutatott a hosszabb élettartammal (Nicklett és mts., 2012). A gyümölcsökben és zöldségekben gazdag étrendet fogyasztó emberekben például kisebb eséllyel alakulnak ki daganatos betegségek, miközben vérplazmájuk β -karotin-tartalma szignifikánsan meghaladja a kevesebb zöldséget és gyümölcsöt fogyasztó emberek vérenek β -karotin-tartalmát. Ha azonban β -karotint juttatunk a szervezetbe táplálékkiegészítőként, az nem ad védelmet a daganat kialakulásával szemben, ráadásul a dohányzók körében éppen fokozta a daganat kialakulásának esélyét (Rowe, 1996).

A gyümölcs- és zöldségfogyasztás hatására igazoltan mérséklődik a humán sejtekben a szabadgyökök okozta DNS-károsodás (a daganatos betegségek kialakulásának kockázati tényezője), de az izolált formában szervezetbe kerülő C-vitamin, E-vitamin vagy β -karotin nem gátolja a DNS károsodását (Deng és mts., 1998; Priemé és mts., 1997). Egyre több, egymásnak ellentmondó eredménnyel zárult kutatás látott napvilágot az elmúlt években: a *Cambridge Heart Antioxidant Study* (CHAOS) tanulmány szerint az E-vitamin védelmet nyújt a szív- és érrendszeri betegségekkel szemben, míg a *GISSI-Prevenzione* eredményei szerint nem mutatható ki védőhatás (Halliwell, 2000). A javasolt napi bevitel alatti C-

vitamin-fogyasztás a DNS szabadgyökök általi károsodását idézte elő, de a nagy dózisu C-vitamin-bevitel is ugyanezt a hatást fejtette ki (Podmore és mts., 1998).

Az antioxidáns vegyületek ellentmondásos hatására vonatkozóan az ezredforduló idején Bary Halliwell az „*antioxidáns paradoxon*” fogalom bevezetését javasolta (Halliwell, 2000). Az antioxidáns vegyületek ellentmondásos viselkedése több tényezőre vezethető vissza. A humán sejteket általában redukáló közeg jellemzi (pl. a citoplazmában a redukált és oxidált glutation aránya igen nagy), de bizonyos organelumokban szükség van oxidáló közegre. Az endoplazmatikus retikulumban a naszcens polipeptidláncok helyes térszerkezetének kialakításához, az ún. tekeredéshez a sejt többi részétől eltérő, oxidáló környezet lesz előnyös, ahol lehetőség van diszulfid-kötések kialakítására. Számos gén transzkripció faktorának aktiválása csak egy, a sejtekben átmenetileg kialakuló, oxidáló körülmények között történik meg, vagyis az aktív oxigénformák (AOF) kis mennyiségben stimulálhatják a sejtosztódást. A programozott sejthalál (apoptózis) kialakulása során a sejtben belüli térben fokozódik az oxidáció, de a túlzott mértékű oxidáció a kaszpáz enzimek inaktiválásával le is állíthatja az apoptózis folyamatát. Így az antioxidánsok olykor gátolhatják, néha pedig elősegíthetik az apoptózis bekövetkezését (Hampton és Orrenius, 1998).

Az antioxidánsok bevitelére megelőző hatást fejt ki, vagy akár súlyosbíthatja is az oxidatív károsodást, attól függően, hogy melyik lépésnél csatlakoznak be az események sorozatába. A fémtartalmú fehérjék oxidatív károsodásának következményeképpen a fehérjékben kötött állapotban található átmeneti fémionok felszabadulnak. Ezek a szabad fémionok, különösen redukált állapotukban, tovább fokozzák a szabadgyökök okozta károsodást az ún. Fenton³-reakció ($\text{H}_2\text{O}_2 + \text{Me}^{2+} \rightarrow \text{OH}^- + \text{OH}^\bullet + \text{Me}^{3+}$) útján (Halliwell és Gutteridge, 1992). Egy hatékony antioxidáns (vagyis erős redukálószer) bekerülése ebbe a rendszerbe jelentősen megnövelheti az oxidatív károsodás mértékét: minél erősebb az antioxidáns redukáló képessége, annál nagyobb károsodást okozhat. Mindezt jól példázza, hogy ha állatokat oxidatív károsodást okozó parakvát gyomirtószer hatásának tettek ki, a kezelés előtti C-vitamin-fogyasztás védőhatásának bizonyult, a parakvátkezelés után adott C-vitamin viszont súlyosbította a gyomirtószer okozta károsodást (Ahhang és mts., 1998). Ennek magyarázata, hogy az oxidatív károsodás következtében felaszabadult, átmeneti fémionokat az aszkorbinsav hatékony antioxidánsként redukálta, így a redukált fémek Fenton-reakció során újabb szabadgyököket képeztek. Az antioxidánsok gátolhatják az

³Az elnevezés Henry John Horstman Fenton (1854–1929) nevére utal, aki 1890-ben megalkotta a szennyvizek és egyéb szennyeződések semlegesítésére alkalmas, Fe^{3+} iont és H_2O_2 -t tartalmazó Fenton-reagenst

AOF által kiváltott jelátviteli folyamatokat is, amelyek ahhoz szükségesek, hogy a sejt alkalmazkodni tudjon a szabadgyökök okozta támadáshoz.

A Cambridge-i betegekkel (CHAOS) szemben az olasz (GISSI-Prevenzione) betegek kardiovaszkuláris betegsége annak ellenére alakult ki, hogy mediterrán diétát (zöldségekben és gyümölcsökben gazdag étrend) fogyasztottak (Halliwell, 2000). A betegség azonban kialakult, és lehet, hogy olyan esetek kerültek így a vizsgálatba, ahol az antioxidánsok már nem képesek védőhatást gyakorolni. Az ateroszklerotikus plakkokban igen különböző mennyiségű fémion található az egyes páciensek esetében. Lehetséges, hogy az olasz betegeknél kisebb mennyiségű átmeneti fémion volt a plakkokban, amennyit a flavonoidok kelátolni tudtak, és így az antioxidánsok nem voltak képesek redukálni ezeket a fémionokat. Egyetlen tanulmány sem igazolta azonban, hogy az E-vitamin valóban csökkentené a lipidperoxidáció mértékét a vizsgált páciensekben, pedig ha elfogadjuk, hogy a lipidperoxidáció a kardiovaszkuláris betegségek kialakulásának fontos tényezője, egy esetleges védőhatás csak ezzel lenne megmagyarázható.

Az elmúlt években az orvosbiológiai kutatások nem az egyes, izolált antioxidáns hatású vegyületek alkalmazásában keresték az oxidatív károsodás okozta betegségekkel szembeni védőhatást, hanem több vegyület együttes, kombinált hatásában. Ráadásul számos epidemiológiai tanulmányban arra a következtetésre jutottak, hogy a fokozott gyümölcsfogyasztás feltehetően csökkenti különböző degeneratív betegségek, mint például az érszűkület, szív- és agyi rendellenességek vagy különböző típusú daganatos megbetegedések kialakulásának kockázatát (Block és mts., 1992; Dauchet és Dallongeville, 2008; Terry és mts., 2001). Túlsúlyos emberek esetében igazolták, hogy az oxidatív stresszre és gyulladásra utaló biomarkerek nagyobb értéket mutattak, mint a normál testsúllyal rendelkezőknél. A zöldség és gyümölcsfogyasztás jelentős fokozásával két hét alatt sikerült elérni, hogy a limfociták DNS-károsodása és a citokintermelés mérséklődjön (Yeon és mts., 2012). Egy 690 egészséges ember részvételével elvégzett tanulmány alapján a napi öt alkalommal történő gyümölcsfogyasztás hat hónap alatt jelentős mértékű csökkenést idézett elő mind a szisztolés, mind a diasztolés vérnyomás esetében (John és mts., 2002).

A Cornell Egyetem egyik munkatársa érdekes számításokat végzett arra vonatkozóan, hogy a friss alma antioxidáns kapacitása milyen vegyületeknek köszönhető (Liu, 2003). Egy gramm alma (héj és gyümölcshús együtt) 83,3 μmol C-vitaminnal megegyező antioxidáns kapacitással rendelkezik. Vagyis 100 gramm alma antioxidáns kapacitása 1500 mg C-vitamin antioxidáns kapacitásával egyező értéket mutat. Az alma C-vitamin-tartalma azonban mindössze 5,7 mg/100 g friss tömeg. Ennek alapján az almában

található C-vitamin-mennyiség az alma teljes antioxidáns kapacitásának alig 0,4 %-át adja. Az antioxidáns kapacitás túlnyomó része tehát nem a C-vitaminnak, hanem más fitokemikáliáknak, például a különböző polifenolos vegyületek sokaságának köszönhető. A daganatos sejtek osztódását az almában található vegyületek hatékonyan gátolják, ugyanakkor a héjától megfosztott alma sejtosztódást gátló hatékonysága messze elmaradt a héjas gyümölcs hatékonyságától. A Caco-2 vastagbél-tumorsejtek osztódását a héjas almából készített kivonat dóziszfüggő módon gátolta (Eberhardt és mts., 2000).

A gyümölcsökben közel nyolcezerféle fitokemikália található, melyek molekulatömege, polaritása és oldékonysága igen különböző (Liu, 2003). Ezek a tulajdonságok jelentős mértékben befolyásolják a vegyületek felvehetőségét, és megoszlásukat a sejten belüli organellekben, egyes szervekben, szövetekben. A gyümölcsök kedvező egészségi hatásáért e vegyületek additív és szinergista kapcsolata felelős. A néhány komponensből, számtalan esetben megfelelő információk hiányában összeállított táplálék-kiegészítő tabletták ezért nem versenyezhetnek a gyümölcsök és zöldségek évmilliók alatt kialakult, kiegyensúlyozott és utánozhatatlanul gazdag kémiai összetételével.

A Rákkutatási Világalap és az Amerikai Rákkutatási Intézet (WCRF/AICR) által készített tanulmány minimálisan 600 g napi zöldség- és gyümölcsfogyasztást ajánl a daganatos betegségek prevenciója érdekében (WCRF/AICR, 2007). Magyarországon az átlagos zöldség- és gyümölcsfogyasztás 300–400 g közé tehető (Stables és mts., 2001). Az elmúlt évtizedek során több országban (Ausztrália, Új-Zéland, Kanada, Németország, Franciaország, Egyesült Királyság stb.) nagyszabású promóciós kampányt hirdettek a gyümölcsfogyasztás populációsztintű fokozása érdekében (pl. az észak-amerikai korábban *Five A Day*, jelenleg *Fruits & Veggies – More matters* program, magyar megfelelője a *Naponta 3x*). Ezek zöme jelentősebb eredmény nélkül zárult le (Blanck és mts., 2008; Serdula és mts., 2004). Alternatívát jelenthet a „szupergyümölcs” fogalommal jellemezhető megközelítés: vagyis olyan gyümölcsök fogyasztása, melyek egészségvédő anyagokban gazdagabbak. Ez jobban illeszkedne a fogyasztók nagyobb többségének életformájához, és biztosíthatná, hogy a megszokott mennyiségű gyümölcsfogyasztással fokozottabb mértékű egészségi hatást érjünk el.

Az elnevezés marketing célokat szolgál, jelenleg semmiféle tudományos kritérium nem ismert, amelynek a „szupergyümölcs”-ként forgalmazott élelmiszer meg kell feleljen. A kedvező egészségi hatású vegyületekben gazdag gyümölcsök azonosítása és egészségre gyakorolt hatásuk jellemzése azonban egyre szélesebb körben zajlik. Ezek között számos kevésbé ismert, antioxidáns hatású vegyületekben gazdag trópusi/szubtrópusi (pl. noni,

mangosztán, parapálma, guava stb.) illetve mediterrán eredetű gyümölcsöt (pl. gránátalma) tartanak számon, de sok bogyósgyümölcs (áfonya, fekete ribizske, fekete szeder, bodza stb.) is beletartozik a fogalomba. A terület iránti érdeklődés fokozódását az is mutatja, hogy a Nemzetközi Kertészeti Társaság (ISHS) Szőlő és Bogyósgyümölcsűek Szekciójának a 2012-ben rendezett konferenciájának címebe a *Vaccinium* mellé beemelte az „és egyéb szupergyümölcsök” kifejezést is. Az ISHS bizottságai közül a 2006-ban megalakult *Commission Fruits and Vegetables and Health* a gyümölcsök és zöldségek egészségi hatásával foglalkozó kutatókat tömöríti.

2.3 A gyümölcsök kedvező egészségi hatású vegyületei

A gyümölcsök egészségvédő hatása a bennük képződő és felhalmozódó, biológiailag aktív vegyületeknek köszönhető. Ezek közé tartoznak az élelmi rostok, vitaminok (pl. C- és E-vitamin), terpenoidok (pl. triterpenoidok, karotinoidok) és polifenolok (flavonoidok, fenolsavak). Az élelmi rostok segítik a potenciálisan egészségkárosító vegyületek áthaladását a bélrendszeren, és a gyümölcsök rosttartalmának vérnyomáscsökkentő hatása is ismert (Lairon és mts., 2005). A többi csoport vegyületei eltérő szerkezeti és kémiai sajátosságuk ellenére is rendelkeznek közös tulajdonsággal: közvetlen vagy közvetett *in vitro* antioxidáns (redukáló, gyökfogó vagy fémkelátoló) kapacitás jellemzi e vegyületek túlnyomó többségét. Az alábbiakban áttekintjük a gyümölcsök antioxidáns hatásának kialakításában meghatározó vegyületeket.

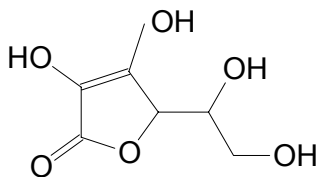
2.3.1 C-vitamin

Évszázadok óta ismert, hogy a hosszú ideig egyoldalúan táplálkozó emberek (pl. a tengeri úton csak sós heringet fogyasztó matrózok) előbb-utóbb skorbutot kapnak. Ez gyengeséggel, erős vérzékenységgel járó betegség, ami végül halálhoz vezet. Előfordult azonban az is, hogy a menthetetlennek hitt betegeket a hajóból egy szigetre tették, ahol gyümölcsöt, más növényeket ehettek, és a betegség csodálatos gyorsasággal elmúlt. Ennek okát nem tudták, de a XVI. századtól a hajósok a hosszú utakra mindig vittek magukkal zöldségfélét, és ezáltal sikerült megelőzniük a skorbutot. A skorbut elkerülésének tudományos bizonyítékát végül Dr. James Lind, a Brit Királyi Haditengerészet *Salisbury* nevű hajójának orvosa szolgáltatta. Az 1747-ben elvégzett tudományos kísérlet az orvostudomány története szempontjából is kiemelkedő jelentőségű: itt alkalmaztak először kontrollcsoportot (Carlisle, 2004). A skorbutban megbetegedett tengerészek egy része narancsot és citromot kapott, más csoportjaik egyéb kezeléseket kaptak. Az egyik csoport

semmilyen kezelést nem kapott (ez volt a kontrollesoport). Az eredmény: a narancs és citrom fogyasztása látványos mértékű és ütemű gyógyulást eredményezett. A skorbut miatt sok százezer ember lelte halálát a tengereken. Gilbert Blane 1780-ban előírta, hogy a brit flotta matrózainak adjanak citromot, és a halálozás a felére esett vissza. Tizenöt év elteltével már hivatalos ajánlasként szerepelt, hogy a tengerészeknek napi 22 ml citromlevet kell kapniuk. A híres felfedezők közül például James Cook már ezt megelőzően is követte ezt a gyakorlatot, így skorbut miatt nem is vesztett embert.

Az 1910-es években Kazimir Funk a rizs héjából kivonta azt a vegyületet, amivel sikerült a beriberinek nevezett betegség, vagyis a B-vitamin-hiány kialakulását meggátolni. Ezt az anyagot B-vitaminnak nevezte el. A *vita* a létfontosságra, az *amin* az anyag természetére utalt. Ez az elnevezés a mai napig megmaradt, jóllehet számos vitamin nem tartalmaz aminocsoportot. Így például a skorbutot gyógyító C-vitamin sem. Az angol nyelvben éppen ezért javasolta Jack Drummond (1891–1952) a „*vitamin*” írásmódot, vagyis az *amine* szóból az e betű elhagyását. A vegyület azonban még nem volt ismert, amikor már tudták, hogy a hagyma, a narancs és főként a citrom tartalmaz egy skorbutellenes szert. Ezért, valamint hogy a „B” betű már foglalt volt, Drummond C-vitaminnak keresztelte el a hatóanyagot. A citromlé koncentráálásából azonban csak igen kis mennyiség volt előállítható belőle.

Szent-Györgyi Albert (1893–1986) az 1920-as években Sir Frederick Gowland Hopkins laboratóriumában azt kutatta, miért színeződik sötétre a bőr a mellékvesekéreg betegsége, az ún. bronzkór vagy Addison-kór következtében. Kiderítette, hogy ez egy vegyület hiányának tudható be, melyből normál esetben ez a szerv sokat tartalmaz. Az anyagot meg is találta a vágóhidakról beszerzett mellékvesékben, és megállapította, hogy az általa hexuronsavnak nevezett anyag megakadályozza a skorbut kialakulását. Összegképletét is meghatározta: $C_6H_8O_6$. Felkérte Sir Norman Haworth professzort, a birminghami egyetem Kémiai Intézetének igazgatóját, hogy segítsen a vegyület szerkezetének megismerésében. A szerkezetmeghatározás kalandregénybe illő fordulatok sorozatát követően sikerült (2. ábra).



2. ábra. A C-vitamin szerkezeti képlete.

Szent-Györgyi 1937-ben részesült Nobel-díjban, melyet – legalább részben – a C-vitaminnal kapcsolatos kutatásaiért ítélte oda neki a Svéd Királyi Tudományos Akadémia. Az aszkorbinsav vízoldható vitamin (Sies és Stahl, 1995), lánctörő antioxidáns. A friss zöldségek, gyümölcsök tárolás vagy főzés hatására C-vitamin-tartalmuk zömét elveszítik (Kim és Padilla-Zakour, 2004). Forrásai a brokkoli, kelbimbó, feketeribizli, kelkáposzta, torma, fehérrépa, petrezselyem, paprika, káposzta, karfiol, karalábé, snidling, csipkebogyó, homoktövis, feketeribiszke, narancsvélő, citromvélő, mustármag, cékla, spenót, szamóca stb. (Hegedűs és Stefanovitsné Bányai, 2012). Különösen nagy aszkorbinsav-tartalmat mutattak ki néhány trópusi gyümölcsben (pl. acerola).

A C-vitamin hiánya esetén a kollagén keletkezése gátolt, kötőszövet-sorvadás következik be. (A skorbut régóta jól ismert tünetei is ennek következtében alakulnak ki.) Szintézise során a protokollagén egy hidroxiláz enzim hatására (O_2 , Fe^{2+} , α -ketoglutársav és aszkorbinsav jelenlétében) oxidálódik, prolinja hidroxiprolinná alakul. Igazolták, hogy az aszkorbinsav segíti a sebgyógyulás folyamatát (Shukla és mts., 1997).

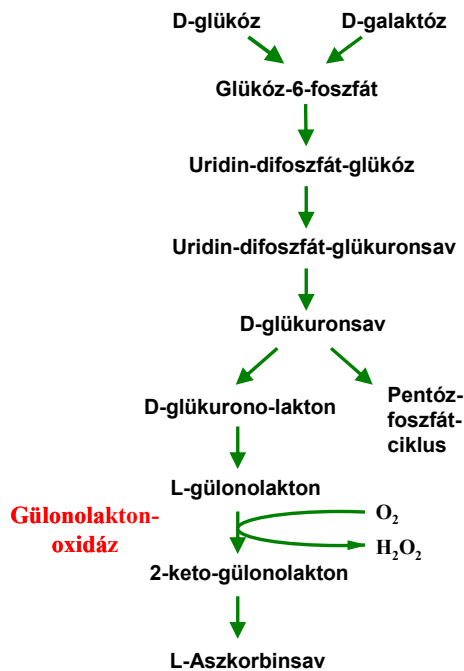
A C-vitamin serkenti az immunrendszer működését, fokozza a fagocita falósejtek mozgékonyágát (Weber és mts., 1996). Emeli a vér glutationszintjét. Részt vesz a karnitin bioszintézisében (zsírok elégetése). Antihisztamin hatása révén csökkentheti az allergiás tüneteket. A prosztaglandinszintézist (közelebbről a ciklooxygenáz enzim aktivitását) is gátolja (ezért a hatásáért nevezik természetes aszpirinnek is). Gátolja a kis sűrűségű lipoprotein (Low Density Lipoprotein, LDL, „rossz koleszterin”) oxidatív károsodását, az ateroszklerózis kialakulását. Növeli a nagy sűrűségű lipoprotein (High Density Lipoprotein, HDL) koleszterinfajta („védő koleszterin”) mennyiségét. Csökkenti a vérlemezkék aggregációját napi 1–2 grammos mennyiség esetén. Szív- és érrendszeri betegségekben szenvedőknél a C-vitamin a nitrogén-monoxid-szintáz enzim (eNOS; EC 1.14.13.39) aktivitásának és a tetrahidrobiopterin (az eNOS kofaktora) mennyiségének fokozásával javította az endotélfunkciót (Wootton-Beard és Ryan, 2011). Véd a szürkehályog kialakulásával szemben a lipidek fénnoxidációjának gátlása révén. Hatással van az idegrendszerre, szerepe van a neurotranszmitterek szintézisében. Gátolja a rákkeltő nitrozaminok kialakulását (Padayatty és mts., 2003).

Az aszkorbinsav-bioszintézisnek több alternatív útja valószínűsíthető a növényi sejtekben (Cruz-Rus és mts., 2012). Az első lehetséges útvonal a glükóz-6-P molekulából indul ki, mely kilenc enzimátikus módosítást követően alakul át aszkorbinsavvá. A folyamat utolsó lépését az L-galaktono-1,4-lakton-dehidrogenáz enzim (GLDH; EC 1.3.2.3) katalizálja. A folyamathoz szükséges valamennyi enzim génjét azonosították

Arabidopsisban és más növényekben. A GDP-mannóz-3'5'-epimeráz kétféle epimert is előállít, melyek közül az egyik (GDP-L-gülóz) a humán aszkorbinsav-bioszintézis úthoz hasonló reakciósorozatot indíthat el. A humán bioszintézisút további enzimeit azonban mindezidáig nem azonosították növényi szövetekben. A másik lehetséges bioszintézisút a sejtfal pektinvegyületeinek lebomlásából származó metil-D-galakturonsavból indul ki. Először szamóca gyümölcsben sikerült bizonyítani a bioszintézisút működését (Agius és mts., 2003). A demetilációt és redukciót követően keletkező L-galaktonsav közvetlenül szubsztálja a GLDH enzimnek (Cruz-Rus és mts., 2012).

Az állatok túlnyomó többsége is képes a C-vitamin előállítására, míg néhány állat (gyümölcssevő denevér, tengerimalac, emberszabású majmok) és az ember nem képes erre. A legtöbb állat glükózból állítja elő a C-vitamint (3. ábra). Az L-gülonolakton-oxidáz (GLO; EC 1.1.3.8) az utolsó enzimatis lépést katalizálja a C-vitamin bioszintézise során. A *GLO* gén szekvenálása igazolta, hogy a patkány (aszkorbinsav-bioszintézisre képes) és az ember *L-gülonolakton-oxidáz* génjének DNS-szekvenciájában számos eltérés mutatható ki. Mivel a patkányból származó gén nagyon hasonló más, a C-vitamin előállítására képes fajok ortológ génjének szekvenciájához, nyilvánvaló, hogy az emberi gén mutat jelentősebb mértékű módosulást. Ez csak abban az esetben lehetséges, ha valamiért a humán gén elvesztette funkcióját, és ilyen módon a mutációk szelekciós szempontból semlegessé váltak. Vagyis az emberi 8-as kromoszómán található *L-gülonolakton-oxidáz* gén az emberi faj evolúciója során működésképtelen pszeudogénné vált: az enzim nem termelődik, így a glükóz az emberi sejtekben nem alakulhat át aszkorbinsavvá.

Az *L-gülonolakton-oxidáz* aktivitását közel 63–58 millió évvel ezelőtt veszítették el az emberszabású majmok ősei. Mindez abból látható, hogy a molekuláris vizsgálatok alapján a főemlősök két alrendje, az orrtükrösök (*Strepsirrhini*) és az orrtükrő nélküliek (*Haplorrhini*) fejlődési ága közel 63-60 millió évvel ezelőtt vált szét. Az orrtükrösök (pl. a makik) képesek az aszkorbinsav-bioszintézisre, míg az orrtükrő nélküliek (pl. gibbon, csimpánz, gorilla) – az emberhez hasonlóan – nem képesek rá. Továbbá, molekuláris genetikai vizsgálatok szerint az orrtükrő nélküli főemlősök közül a koboldmaki-alkatúak (*Tarsiiformes*) fejlődése közel 58 millió évvel ezelőtt elvált az alrend többi tagjától. Mivel azonban a koboldmakik az emberhez hasonlóan nem képesek a C-vitamin-termelésre, ezt a képességet bizonyosan a kialakulásukat megelőzően veszítették el, vagyis a gén inaktiválódása valamikor a 63–58 millió évvel ezelőtti periódusban kellett bekövetkezzen, a legutóbbi molekuláris vizsgálatok alapján 61 millió évvel ezelőtt (Lachapelle és Drouin, 2011).



3. ábra. Az aszkorbinsav bioszintézise a C-vitamint előállítani képes állatok sejtjeiben. A piros színnel jelölt GLO enzim nem termelődik a humán sejtben.

Az emberi *GLO* gén DNS-szekvenciája jelentősen eltér a más fajokban működőképes gén DNS-szekvenciájától. Jóllehet e különbségek nagy része önmagában is tönkretenné a gén által kódolt enzimfehérje funkcióját, feltehetően ezek a gén funkcióvesztését követően alakultak ki a több tízmillió éves fejlődés során: vagyis inkább következménynek tekinthetők, s nem a funkcióvesztés okának. Az eredeti, a gén funkcióvesztését előidéző genetikai módosulás okáról számtalan elmélet született. A Georgia Egyetem kutatói (az író-kutató Jack Challem és E. Will Taylor) szerint a mutációt egy retrovírus vagy retrotranszpozon okozta (Challem és Taylor, 1998). A mutáns gén intronjaiban és hiányzó exonja körül ugyanis *Alu* szekvenciákat mutattak ki. A humán sejtek ennek következtében elveszítettek egy kulcsfontosságú antioxidánst, amely kontroll alatt tarthatná a képződő aktív oxigénformákat. A mutáció bekövetkezése idején nem járt káros következményekkel, mert a főemlősök ősei a trópusi-szubtrópusi területeken bőségesen fogyasztottak C-vitaminban gazdag növényi ételmet. Napjainkra azonban jelentősen megváltozott C-vitamin-bevitel lehetősége, Challem és Taylor pedig valódi tudományos háborút robbantott ki azon állításával, hogy a degeneratív betegségek kialakulásáért az így szabadjára engedett aktív oxigénformák felelősek.

Pauling (1971) könyvet adott ki a C-vitamin megfázással szembeni védőhatásáról, majd ennél is merészebb kijelentést tett: a C-vitamin a rák kezelésére is alkalmas

(Cameron és Pauling, 1976). Később a Pauling megállapításának ellenőrzésére elvégzett, ún. Mayo-tanulmányok cáfolták ezt az állítást (Moertel és mts., 1985). Érdekes azonban, hogy az elmúlt években ismételen előtérbe került a C-vitamin daganatos betegségekkel szembeni hatása, mivel a nagy dózisú, intravénás C-vitamin-bevitel számottevően meghosszabbította az előrehaladott daganatos betegségben szenvedők életét (Padayatty és mts., 2006). Cha és mts. (2013) a közelmúltban állatkísérletekkel igazolták, hogy a nagy dózisú aszkorbinsav-kezelés gátolja a mell- és melanomadaganatok növekedését, amit – legalább részben – az extracelluláris mátrix szerkezetének megóvása magyarázhat. A kezelés ezenkívül gátolta a metasztázisok kialakulását. Ez utóbbi hatás a vaszkuláris endotél növekedési faktor vérplazmabeli mennyiségének jelentős mértékű csökkentéséből adódik. Az Országos Gyógyszerészeti Intézet már Magyarországon is engedélyezte a nagy dózisú C-vitamin-kezelést, amit az Országos Egészségbiztosítási Pénztár is támogat.

Szent-Györgyi (1988) az aszkorbinsav felfedezésének 50. évfordulója alkalmából írt tanulmányában a következő érdekes gondolatokat osztott meg az olvasókkal: *„Az elmúlt évben... nagyon kellemetlen személyes tapasztalatom volt. Tüdőgyulladás döntött le lábamról, s a betegséget hónapokig nem tudtam kiheverni, mígnem rájöttem, hogy az az aszkorbinsav-mennyiség, melyet rendszeresen szedek (naponta 1 g) életkoromban (84 év) már nem elégséges. Amikor növeltem az adagot 1 g-ról 8-ra, panaszaim megszűntek.*

Erősen hiszem, hogy az aszkorbinsav megfelelő alkalmazása alapvetően megváltoztathatja a halálozási statisztikánkat, beleértve ebbe a rákot is. Ezért meg kellene szüntetni azt, hogy az aszkorbinsavat gyógyszernek tekintsük, amit a patikusok milligrammos tablettákban árulnak. Háztartási cikknek kellene lennie, egy sorban a cukorral, sóval és liszttel, és az ABC-ben kilószámra kellene árusítani az aszkorbinsavport.

Az aszkorbinsav olyan vitamin, melyet élelmiszerként kell fogyasztani, mert az emberiség a trópusi dzsungelekben nőtt fel, ahol az aszkorbinsav bőségesen állt rendelkezésre, és semmi szükség sem volt gyártására. Gyanítom, hogy a régi bibliai történet az elveszett paradicsomról tulajdonképpen a bőséges aszkorbinsav-ellátottságról, a trópusi dzsungelről szól.”

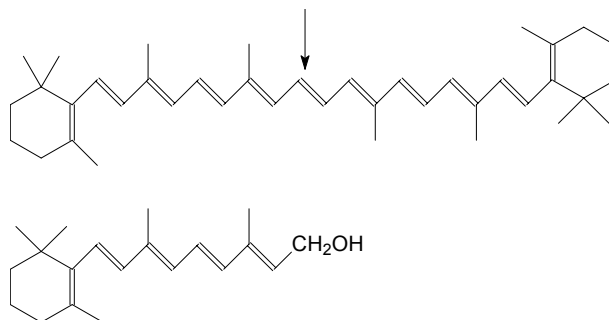
Az aszkorbinsav képes az átmeneti fémionok redukálására, ezért sokáig ezt a prooxidáns hatást komoly veszélyként értékelték. Később azonban igazolták, hogy az aszkorbinsav *in vivo*, még túlzott mennyiségű vasion jelenlétében is véd a lipidek oxidatív károsodása ellen (Chen és mts., 2000). A civilizált társadalmak városi embere számára kétségkívül kisebb az aszkorbinsav-ellátottság mértéke, mint az őserdőkben élő elődeink esetében volt. Ma már tudjuk azonban azt is, hogy az egészség fenntartásához nemcsak az

aszkorbinsav, hanem számos más vegyület (pl. az első ízben szintén Szent-Györgyi által azonosított flavonoidok) együttese szükséges.

2.3.2 Az A-vitamin előanyaga, a β -karotin és más karotinoidok

A karotinoidok kutatása a XIX. század elején kezdődött. A β -karotint először Heinrich Wilhelm Ferdinand Wackenroder izolálta, majd az 1800-as években több karotinmolekulát is megismertek és elneveztek, de szerkezetük ismeretlen maradt (Hegedűs és Stefanovitsné Bányai, 2012). Sir Richard Wilstatte (Kémiai Nobel-díj, 1915) és asszisztense, Walter Mieg, 1907-ben állapították meg a β -karotin összegképletét ($C_{40}H_{56}$). Harry Steenbock 1919-ben felvetette, hogy a β -karotin az A-vitamin előanyaga. A molekula szerkezetét Paul Karrer határozta meg 1930–31-ben: ez volt az első eset, hogy egy vitamin vagy provitamin szerkezetét megismerték. Munkáját 1937-ben Nobel-díjjal jutalmazták.

Az A-vitamin β -karotinból képződik a bélhámsejt enzimjeinek hatására (4. ábra). A β -karotin molekulát egy dioxigenáz enzim bontja le egyik végéről kiindulva. A képződő retinolt a máj raktározza. A túlzott mennyiség mérgező, ezért a β -karotin fogyasztása biztonságosabb. Ha több β -karotint tartalmaz a táplálék, mint amennyi A-vitaminra szüksége van, kevesebb retinolt állít elő a szervezet, a felesleges β -karotin pedig a zsírszövetben raktározódik. Ez kissé sárgára színezheti a bőrt, de nem jelent veszélyt a szervezetre. Ráadásul, éppen a közelmúltban igazolták, hogy már minimális zöldség- és gyümölcs-fogyasztással hat hét alatt elérhető a bőrszín megváltozása. A tanulmányban résztvevők az élénkebb bőrszínű embereket egészségesebbnek és vonzóbbnak tartották (Whitehead és mts., 2012).



4. ábra. A β -karotin (fent) és az A-vitamin (lent) szerkezete. A nyíl a β -karotin molekula azon pontjára mutat, ahol az A-vitamin keletkezéséhez vezető reakciók során elhasad.

A növényvilágban elterjedt poliizoprenoid vegyületcsaládnak több mint 700 képviselője ismert (DellaPenna és Pogson, 2006). Ilyen vegyületek még például a lutein, likopin, fukoxantin, kanthaxantin, kriptoxantin, zeaxantin. A karotinoidok tetraterpén származékok, de más terpén vegyületek is rendelkeznek biológiai hatással (lásd később). Zsírban oldódó vegyületek, melyek jelentős mennyiségben fordulnak elő a sárgarépában (β -karotin), citrusfélékben, a sütőtökben és a kukoricában. A likopin a paradicsomban, a szemfenék egészségéhez nélkülözhetetlen lutein a parajban található bőséggel. A gyümölcsök és zöldségek főzése, feldolgozása általában nem csökkenti a karotinoidtartalmat, sőt azok bőségebb felszabadulását és felszívódását eredményezi, ahogyan minden olyan mechanikai hatás, ami a sejtek összetörésével jár (darabolás, aprítás, rágás). Hasonló eredményre jutottak egy EU-projekt keretében is, ahol megállapították, hogy a hiedelemmel ellentétben a feldolgozott paradicsom több likopint tartalmaz, mint a friss (Shi és Maguer, 2000).

Az A-vitaminnak szerepe van a látásban. A retinol retinal aldehid formája komplexet képez az opszinnal (Rando, 1990). Ha foton csapódik be, a 11-cisz formából transz formába alakul át, és egy, a látóidegig tartó reakciósorozat játszódik le. Hiánya szürkületi látásromlást, ún. farkasvakságot okoz. Ezenkívül szerepe van még a hámképződésben, növekedésben, szaporodásban, immunfolyamatokban, csontanyagcserében, a nyálkahártya fiziológiás működésében és a daganatos betegségek megelőzésében. Ez a sejtdifferenciálódást aktiváló hatásuknak köszönhető (Milner, 2010). Az antikarcinogén tulajdonság fémkelátor és szinglet oxigén-semlegesítő hatásukkal is magyarázható.

A karotinoidok, mint elsőrendű antioxidánsok, védenek az oxigén szabadgyökökkel szemben, közömbösítik a peroxidgyököket (Skibsted, 2012). Az antioxidáns védelem megnyilvánulhat a proszttaglandin bioszintézisének gátlásában is. Az arachidonsavból kevesebb proszttaglandin E2 (PGE2) képződik, ami a kaszkádban keletkező szabadgyök-koncentrációt befolyásolja. Az alacsony PGE2 koncentráció az immunfolyamatokban keletkező szabadgyökök mennyiségét csökkenti, ami antikarcinogén hatásban nyilvánul meg. Az A-vitamin beépül a membránok kettős lipdrétegébe, ezzel fokozva a membrán antioxidáns védelmét.

A retinolt vagy annak észterifikált alakját évtizedek óta alkalmazzák a hiánytünetek kezelésére. Ismert az A-hipervitaminózis tünetegyüttese is: nyálkahártya-kiszáradás, bőrhámlás és idegrendszeri panaszok. Vannak adatok az A-vitamin karcinogén és teratogén hatására (Chapman, 2012). A fölös mennyiségű A-vitamin hosszú láncú kisebb, toxikus komponensekre (szabadgyökökre) hasad szét a májban (antioxidánsból prooxidáns lesz), a szabadgyökök károsítják a sejtek DNS-állományát, ami daganatos

megbetegedéshez vezethet. Ezért kedvezőbb β -karotint fogyasztani, amelyből a szervezet az A-vitamint éppen a szükséges mennyiségben állítja elő.

2.3.3 E-vitamin

Kaliforniában Herbert McLean Evans és Katharine Scott Bishop 1922-ben a szárított búzacsíra táplálkozás-élettani hatásával foglalkozott. A kazein, sertézsír, tejzsiradék, élesztő összetételű tápon nevelt patkányok megfelelően fejlődtek, de utódaik elpusztultak (Hegedűs és Stefanovitsné Bányai, 2012). A búzacsírából kivont olajjal kiegészített tápot fogyasztó patkányok egészséges utódokat hoztak világra. Ez tehát a búzacsírából kivont olajnak köszönhető, amit Evans drámai névvel keresztelt el. A görög *tokosz* szó születést jelent, a *fero* pedig azt jelenti, hordozni, vinni. E két szó összetételéből alkotta meg a tokoferol (születéshordozó) kifejezést. Evans 1925-ben nevezte el ezt az anyagot E-vitaminnak, az elsőség ezen a téren azonban mégsem az övé volt. Dr. Bennett Sure, az Arkansasi Egyetem kutatója szintén leírta, hogy a patkányok étrendjéből hiányzó bizonyos faktor meddőséget okoz, és már 1924-ben, Evans előtt egy évvel, javasolta, hogy ezt a hatóanyagot E-vitaminnak nevezzék el.

Egy kis idő elteltével igazolták, hogy az E-vitamin-hiányos embriók véredényei sérülnek, továbbá az állatok izomzata és idegrendszere is károsodik. Az állatok elveszítik normális mozgási képességüket, csirke esetében ilyen az ún. *crazy chicken* tünetegyüttes (Winter, 1956). Ennek nyomán számos betegségben (szívizom-megbetegedés, koszorúér-elégtelenség, kötőszöveti reumatikus fájdalom) eredményesen alkalmazták az E-vitamint, de hatásmechanizmusa ismeretlen volt.

Henrik Dam véleménye szerint az E-vitamin-hiányból eredő betegség oka a zsírsavak és a fehérjék abnormális oxidációja (Dam és Granados, 1945). Megdöbbentő kísérletet mutatott be: E-vitamin-hiányos étrenden nevelt patkányoknál a jól ismert tünetek nem jelentkeztek, ha metilénkéssel egészítette ki a táplálékukat. Ezzel megdőlni látszik minden, a vitaminokkal kapcsolatos addig felhalmozott tudás: ezek szerint a vitamin helyettesíthető! Ez az elsőre abszurd feltételezés végül is segített megérteni a hatásmechanizmust: a metilénké ugyanis gyenge antioxidáns, mely ha nem is teljes egészében, de képes megvédeni a sejteket a tokoferol hiányában fellépő káros oxidációs folyamatoktól.

Zsírban oldódó vitamin. Az első vizsgálatok szerint az E-vitamin elsősorban a generatív folyamatokkal kapcsolatos, utóbb azonban kiderült, hogy hatása lényegesen szélesebb körű, így a tokoferol, vagyis születéshordozó elnevezése csak részben fedi a

Immunserkentő hatása is ismert (Meydan és Beharka, 1998). Serkenti a fagociták működését, csökkenti az E2 prosztaglandin szintjét, ami akadályozza az immunfolyamatokat. Feltehetően gátolja a tumoros betegségek kialakulását. Daganatellenes hatásai: védi a membránt az oxidatív sérüléstől, megakadályozza, hogy a nitrítok (a füstölt, pácolt élelmiszerekből) daganatképző hatású nitrozaminokká alakuljanak. Feltehetően gátolja, hogy a daganatokban vérerek alakuljanak ki, különösen a szukcinát forma (d-alfa-tokoferil-szukcinát) hatékony (Malafa és mts., 2002).

Csak növények szintetizálják. A kromángyűrű a citoplazmában, a fitillánc a kloroplasztisban képződik (DellaPenna és Pogson, 2006). Nagy mennyiségben található a növényi olajokban, magvakban, gabonafélékben (pl. búzacsírában), gyümölcsökben (alma, banán, sárgadinnye, faeper), zöldségfélékben (spárga, spenót, bab, brokkoli, paradicsom). Hiánya ritka, és a minimális napi adag biztosítható egy evőkanál napraforgóolajjal vagy egy kis csészényi dióval.

2.3.4 Telítetlen zsírsavak

Az egyes zsírsavak az élő sejtek lipofil tereiben fontos szerepet játszanak a membránok biológiai funkcióinak oxidációs károsodással szembeni védelmében. Az étkezési zsíradékokat alkotó csaknem valamennyi zsírsav (aszerint, hogy tartalmazznak, vagy nem tartalmazznak telítetlen kötéseket, és ezek száma egy vagy több) az alábbi módon csoportosíthatók: telített, monotelítetlen (monoén) és politelítetlen (polién) zsírsavak (Roche, 1999).

A telítetlen zsírsavak sajátosságaira nemcsak a telítetlen kötések száma, hanem azoknak a zsírsavak alkílláncain elfoglalt helyzete, valamint térbeli szerkezete is hatással van. A kettős kötés helyzete alapján: n-6 ill. ω -6 és n-3 ill. ω -3 alcsoportba sorolhatók. A szám az első kettős kötést jelenti a terminális metilcsoporttól számítva. A telítetlen kötések térbeli szerkezete cisz vagy transz lehet, azaz valamennyi zsírsav e két formában létezhet. Cisz formánál a kettős kötés után elhajlik az alkíllánc, a transz formánál nem. Minél több a telítetlen kötések száma, annál reakcióképesebb és kisebb olvadáspontú a zsírsav. A kettős kötések helyzete speciális reakciókészséget okozhat. A telített és a politelítetlen zsírsavak a vér koleszterinszintjére vonatkozóan ellentétes, növelő ill. csökkentő hatásúak.

Az emberi szervezet számos zsírsavat tud szintetizálni. A két szénatommal való lánc hosszabbítással különböző hosszúságú telített zsírsavakat állít elő, majd azokból deszaturálással telítetlen zsírsavakat képez. Az n-3 és n-6 politelítetlen zsírsavakat azonban az alkíllánc végéhez közeli szénatomoknál deszaturálni képes enzimek hiánya miatt nem

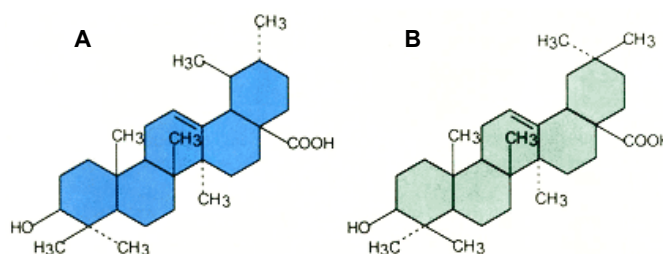
tudja előállítani. Ezek a zsírsavak esszenciálisak, a táplálékkal kell a szervezetbe juttatni, ezeket korábban F-vitaminnak is nevezték. A zsírsavak az energiaforrásként történő felhasználás mellett kétféle módon fejthetik ki hatásukat: szerkezeti változás nélkül beépülve, illetve átalakulva, különböző vegyületek alapanyagaiként.

Táplálkozási szempontból nagyon fontosak az n-6 és n-3 családba tartozó, többszörösen telítetlen zsírsavak. A modern kutatások eredménye alapján az n-6/n-3 arány a 3:1 és 7:1 közé kell, hogy essen, a 10:1 arány kimondottan káros. A nyugati országokban és Magyarországon jelenleg az arány 20:1 és 30:1 közé esik (Simopoulos, 1999). A paleolit korban ez az arány kb. 1:1 lehetett (Meyer és mts., 2003). A többszörösen telítetlen, esszenciális 18:2 linolsav (n-6) és 18:3 alfa-linolénsav (n-3) vegyületek növényi olajok és állati zsiradékok fogyasztásával kerülnek szervezetünkbe.

Hogy milyen vegyületek keletkeznek a prosztoglandin és leukotrién szintézis utakban, az a kiindulási vegyületek koncentrációjától függ. Például a nagy linolsav-koncentráció fokozza a daganatos megbetegedések kialakulásának kockázatát, növeli a trombózisveszélyt. Az n-6 zsírsavak hiánya viszont gátolja a növekedést, a veseműködést, a reprodukciós képességet és a máj elzsírosodását eredményezi. Az n-3 családhoz tartozó alfa-linolénsav csökkenti a vérplazma koleszterinszintjét, az eikozapentaénsav (20:5) a triglicerid-koncentrációt (Chan és mts., 1991). Az olaj- és esszenciális zsírsavtartalom szempontjából kiemelkedő gyümölcsök a homoktövis bogyója, valamint bizonyos héjasgyümölcsök, például dió, mogyoró, mandula (Maguire és mts., 2004). Elsősorban nyers állapotban, ugyanis hőkezelés hatására, sült és főzött formában, mennyiségük csökken. Az antocianinok dokumentált érvédő hatása feltehetően – legalább részben – annak tudható be, hogy növelik a vérplazma n-3 zsírsav-koncentrációját (Martin és mts., 2013).

2.3.5 Triterpenoidok

A triterpének is izoprén vegyületek, de szemben a tetraterpén karotinoidokkal, ezek három terpén molekulából álló, 30 szénatomos, lipofil molekulák. Szerepük elsődlegesen a növényevőkkel, kártevőkkel és kórokozókkal szembeni védelem, valamint a megporzás és magok terjesztésének segítése. Újabban egészségvédő hatásukat is megismerte a tudomány (Thilakarathna és Rupasinghe, 2012). A gyümölcsökben különösen a gyümölcskéjában, illetve a kutikularétegben halmozódnak fel. Biológiai hatásukra tekintettel, ismételtlen a régi „*héjában a »vitamin«*” bölcsesség magyarázatát láthatjuk ebben a tényben. Az urzolsav és az oleanolsav (egymás izomerjei) a gyümölcsökben legnagyobb mennyiségben előforduló triterpén vegyületek (6. ábra).



6. ábra. A gyümölcsökben előforduló legjelentősebb triterpénsavak: **(A)** ursolsav és **(B)** oleanolsav.

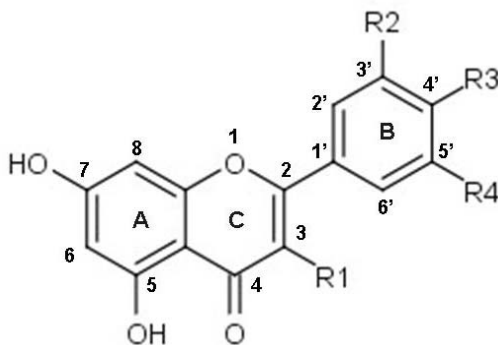
A triterpénsavaknak nincs redukáló vagy rézkelátoló hatása, ugyanakkor 10–20 μM mennyiségben közel 40 %-kal csökkentették az LDL-oxidációt és az ateroszklerózist (Andrikopoulos és mts., 2002; Zhang és mts., 2006). Az ursolsav és oleanolsav számos állatkísérletben igazolták ateroszklerózist gátló hatásukat (Thilakarathna és Rupasinghe, 2012).

2.3.6 Polifenolok

A polifenolos vegyületek a növényi másodlagos anyagcsere termékei, melyek megvédik a növényt a különböző stresszhatásoktól (Haminiuk és mts., 2012; Manach és mts., 2004). A flavonoidok és nem flavonoid jellegű polifenolok számos jelentős kémiai és biológiai hatásért felelősek: antioxidánsok, kelátképzők, elektrofil reagensek befogására képesek, C- és E-vitamin-analóggént viselkednek (Haminiuk és mts., 2012). Rusznyák és Szent-Györgyi (1936) kimutatták a C-vitamin és a bioflavonoidok közötti szoros fiziológiai kapcsolatot, amikor citromból olyan vegyületeket izoláltak, melyek a C-vitamin biológiai hatását képesek voltak megőrizni, stabilizálni. Az anyagot ezért először C2-vitaminnak nevezték el, majd amikor kiderült, hogy fenti vegyületek (a rutin és a naringenin) csökkentik a hajszálerek törékenységet és átjárhatóságát, a P-vitamin (P – permeabilitás) elnevezést javasolták. A vegyületek hatása azonban sokáig ismeretlen volt. Az 50-es években a flavonoidok vitamintermészetével kapcsolatos elmélet megdőlt (Lugasi és Blázovics, 2001). A növényi flavonoidok szerepéről az elmúlt negyven évben számos tudományos megállapítás látott napvilágot, ennek ellenére az emberi szervezetre gyakorolt hatásuk teljes egészében még ma sem tisztázott.

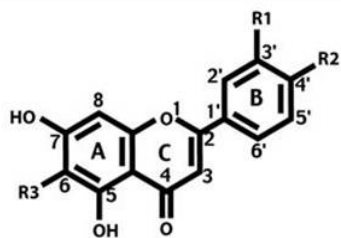
A flavonoidok szerkezete és csoportjai

A flavonoidokra a C6-C3-C6 (difenilpropán) alapváz jellemző. A két benzolgyűrű (A és B) egy oxigénatomot tartalmazó heterociklusos pirán- vagy pirongyűrűn (C) keresztül kapcsolódik (7. ábra). Az alapszerkezet rendkívüli változatosságot biztosít, több ezer különböző szerkezetű flavonoidot ismerünk (Lugasi és Blázovics, 2001). Az alapvázhoz cukormolekulák kapcsolódhatnak glikozidokat hozva létre, amelyek a természetben gyakrabban fordulnak elő. Általában vízoldhatók, és a növényi sejtek vakuólumaiban halmozódnak fel (Bohm, 1999, Seigler, 1998). A flavonoid-glikozidok cukor részét legtöbbször a D-apóz, D-arabinóz, D-galaktóz, D-glükóz, D-glükuronsav és D-ramnóz, vagy ezek kombinációja alkotja.

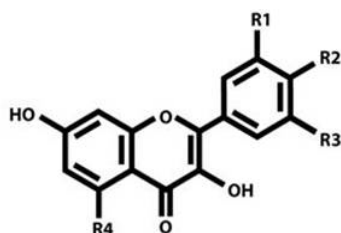


7. ábra. A flavonoidok alapszerkezete.

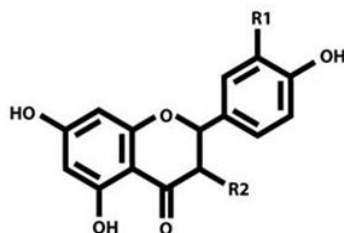
A heterociklusos gyűrű alapján valamint a benzol és benzopirán gyűrűk közötti kapcsolat szerint a flavonoidok a flavonok, flavonolok, flavanonok, flavanonolok, flavanolok, flavan-3-olok, antocianidinek és az izoflavonoidok csoportjába sorolhatók (8. ábra). A különböző flavonoid vegyületek oxidációs állapotukban és a C gyűrű szubsztitúciójában különböznek egymástól.



Flavon	R1	R2	R3
apigenin	H	OH	H
luteolin	OH	OH	H



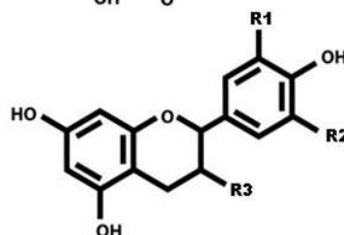
Flavonol	R1	R2	R3	R4
fizetin	OH	OH	H	H
galangin	H	H	H	OH
kvercetin	OH	OH	H	OH
kempferol	H	OH	H	OH
miricetin	OH	OH	OH	OH
izorhamnetin	H	OH	OCH ₃	OH



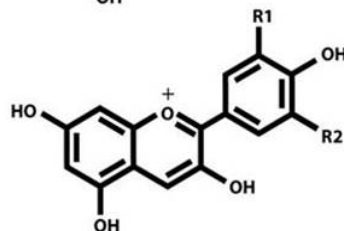
Flavanon	R1	R2
eriodiktiol	OH	H
naringenin	H	H
taxifolin	OH	OH



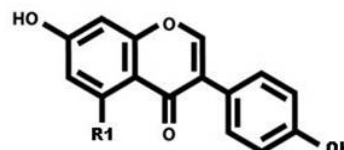
Flavanonol (3-OH flavanon)	R1	R2
dihidro Kempferol	H	H
dihidro Kvercetin	H	OH
dihidro Miricetin	OH	OH



Flavanol	R1	R2	R3
(+) katechin	OH	H	OH
(-) epikatechin	H	OH	OH
(+) gallokatechin	OH	OH	OH



Antocianidin	R1	R2
cianidin	OH	H
malvidin	OCH ₃	OCH ₃
peonidin	OCH ₃	H
pelargonidin	H	H



Izoflavon	R1
daidzein	H
geniszein	OH

8. ábra. Flavonoid csoportok és azok legfőbb tagjai (Hanneken és mts., 2006 alapján, átszerkesztve és kiegészítve).

Flavonok: Fémionokkal képzett komplexeik egyes növényi szövetek színének és ízének kialakításában játszanak szerepet. Leggyakrabban gabonafélékben, gyógy- és fűszernövényekben (kakukkfű, rozmaring), zöldségfélékben (petrezselyem, zeller), valamint citrusfélék héjában fordulnak elő. Legismertebb flavonok az apigenin és a luteolin (Lugasi, 2000; Manach és mts., 2004).

Flavonolok: Általánosan elterjedtek a gyümölcsökben, zöldségfélék leveleiben. A legismertebb flavonolok a kvercetin és a kempferol. Elsősorban a gyümölcs napsugárzásnak kitett szöveteiben, azon belül is a felsőbb rétegekben akumulálódnak (Solovchenko és Schmitz-Eiberger, 2003). Ezért egy adott fán termő gyümölcsök flavonoltartalma is eltérő lehet. Legfőbb flavonolforrások az áfonya, a brokkoli, a fodoroskel és a hagyma. A természetben leggyakrabban nem szabad formában fordulnak elő, hanem cukormolekulák (pl. D-arabinóz, D-galaktóz, D-glükóz, D-ramnóz, D-xilóz) vagy cukorsavak (D-glükuronsav stb.) kapcsolódnak hozzájuk. A vöröshagyma flavonoltartalma 350–1200 mg, az almáé 20–40 mg, a kajszié 25–50 mg egy kg friss tömegre vonatkoztatva (Manach és mts., 2004).

Flavanonok: A flavanonok elsősorban a citrusfélékben szintetizálódnak, leginkább glikozidos formában találhatók meg. A legfőbb aglikonok a grapefruitban található naringenin (glikozidja a naringin), a narancsban található heszperetin (glikozidja a heszperidin) és a citromban található eriodiktiol. A grapefruit keserű ízét a naringenin okozza. A naringenin aglikonra épülő diszacharid eredményezi a naringint, mely keserűbb a naringeninénél. A citrusféléken kívül a paradicsom, csicseriborsó, kömény, bors, berkenye és az édesgyökér tartalmaz flavanonokat nagyobb mennyiségben. A narancslé heszperidintartalma 215–685 mg, a grapefruit heszperidintartalma 100–650 mg/kg friss tömeg (Lugasi, 2000; Manach és mts., 2004).

Flavanol (3-OH flavanon): A 3-OH flavanon vagy dihidroflavonol-glikozidok fungisztikus és gombaölő hatással rendelkeznek. Valószínűleg ez magyarázza a flavanol-glikozidok előfordulását bizonyos gyümölcsök héjában. A csoport legfőbb képviselői a dihidrokempferol, a dihidrokvercetin (taxifolin) és a dihirdomiricetin (Manach és mts., 2004).

Flavanolok (flavan-3-olok): A legegyszerűbb flavanolok a katechin és az epikatechin, melyek egymás izomer vegyületei. Gyakran polimerek formájában fordulnak elő. A katechin, az epikatechin polimerjei, valamint a hozzájuk kapcsolódó fahéjsav és galluszav alkotják a kondenzált tanninokat. Legfőbb forrásai az alma, a feketeribizli, az áfonya, a szőlő, a kajszi és a szamóca. A kajszi gyümölcs átlagosan 100–250 mg, a

cseresznye 50–220 mg, az őszibarack 50–140 mg katechint tartalmaz 1 kg friss tömegre vonatkoztatva (Lugasi, 2000; Manach és mts., 2004).

Antocianidinek: A pigmentként is szolgáló antocianinok (vagy antociánok) az antocianidinek glikozidjai. Alapvázuk a flavilium kation. A flavonoid alapváz negyedik szénatomjáról hiányzik a karbonilcsoport, így a katechinekkel együtt nevezzük őket flavanoknak, mely csoportba a flavan-3-olok és flavan-3,4-diolok tartoznak (8. ábra). A növényekből közel 200 különböző antocianint sikerült izolálni (Shahidi és Naczk, 2004).

Elsősorban bizonyos gyümölcsök (bodza, szeder, meggy, szőlő, cseresznye, szilva stb.), a padlizsán és a vöröskáposzta kékes-vöröses színét eredményezik. A kékszőlőben a petunidin, a delfinidin, a malvinidin stb. glikozidjai mutathatók ki (Shahidi és Naczk, 2004). Fémionokkal (pl. Fe- és Mg-ionok) komplexet alkotva virágszírmok színének kialakításában vesznek részt. Különböző pH-tartományokban eltérő színeket mutatnak; a savastól a semlegesen át a lúgos tartományig pirosas, színtelen, majd kékes színt eredményeznek. A gyümölcsök antocianintartalma az érés előrehaladtával fokozódik (Serrano és mts., 2005). Az antocianidinek legfőbb forrásaként a gyümölcsféléket tartják számon. A bogyósok gyümölcse mellett az alma- és körtefélékben valamint csonthéjasokban legnagyobb mennyiségben a héjban halmozódnak fel. A zöldségek közül nagy mennyiségben fordulnak elő a vöröskáposztában, retekben, rebarbarában valamint lilahagymában. A feketeribiszke és a szeder antocianintartalma a 2–4 g-ot is eléri egy kg friss tömegre vonatkoztatva. A cseresznye malvidintartalma 350–4500 mg/kg, a szilváié 20–250 mg/kg friss tömeg között változik (Lugasi, 2000; Shahidi és Naczk, 2004).

A különböző szerkezetű antocianidinek és az azokból keletkező antociánok színét a hidroxiláció mértéke befolyásolja. A dihidrokempferol egyszeres, majd kétszeres hidroxilációját dihidrokvercetin és dihidromiricetin a flavonoid-3'-hidroxiláz (F3'H) és flavonoid-3'5'-hidroxiláz (F3'5'H) enzimek végzik. A növényi sejtekben termelődő, a vakuólumokban felhalmozódó cianidin vörös, a pelargonidin és peonidin piros, a delfinidin, peonidin és petunidin kék színt eredményez. A színt nem egyetlen típusú antocianinmolekula határozza meg, hanem különböző molekulák együttesen alakítanak ki színárnyalatokat (kopigmentáció), valamint a vakuoláris pH is befolyással van a kérdéses molekulák fényelnyelésére, így látható színére (Koes és mts., 2005; Mol és mts., 1998).

Izoflavonoidok: A flavonoidokra az 1,3-difenilpropán alapváz jellemző. Ezzel szemben az izoflavonoidok 1,2-difenilpropán elrendezést mutatnak. Más flavonoidokra is jellemző, kedvező élettani hatásai mellett manapság nagy figyelem irányul az izoflavonoidok ösztrogénhatására. Legfőbb izoflavonoidok a daidzein és a genisztein. Elsősorban hüvelyes növényekben (*Fabaceae*) fordulnak elő, pl. szójában, babban és

borsóban. A szójabab 580–3800 mg izoflavonoidot tartalmaz 1 kg friss tömegre vonatkoztatva (Lugasi, 2000; Manach és mts., 2004), de a gyümölcsök közt a közelebből nem definiált „ribiszkében” is 2000 mg-ot meghaladó mennyiség volt kimutatható (Liggins és mts., 2000).

A flavonoidok bioszintézise

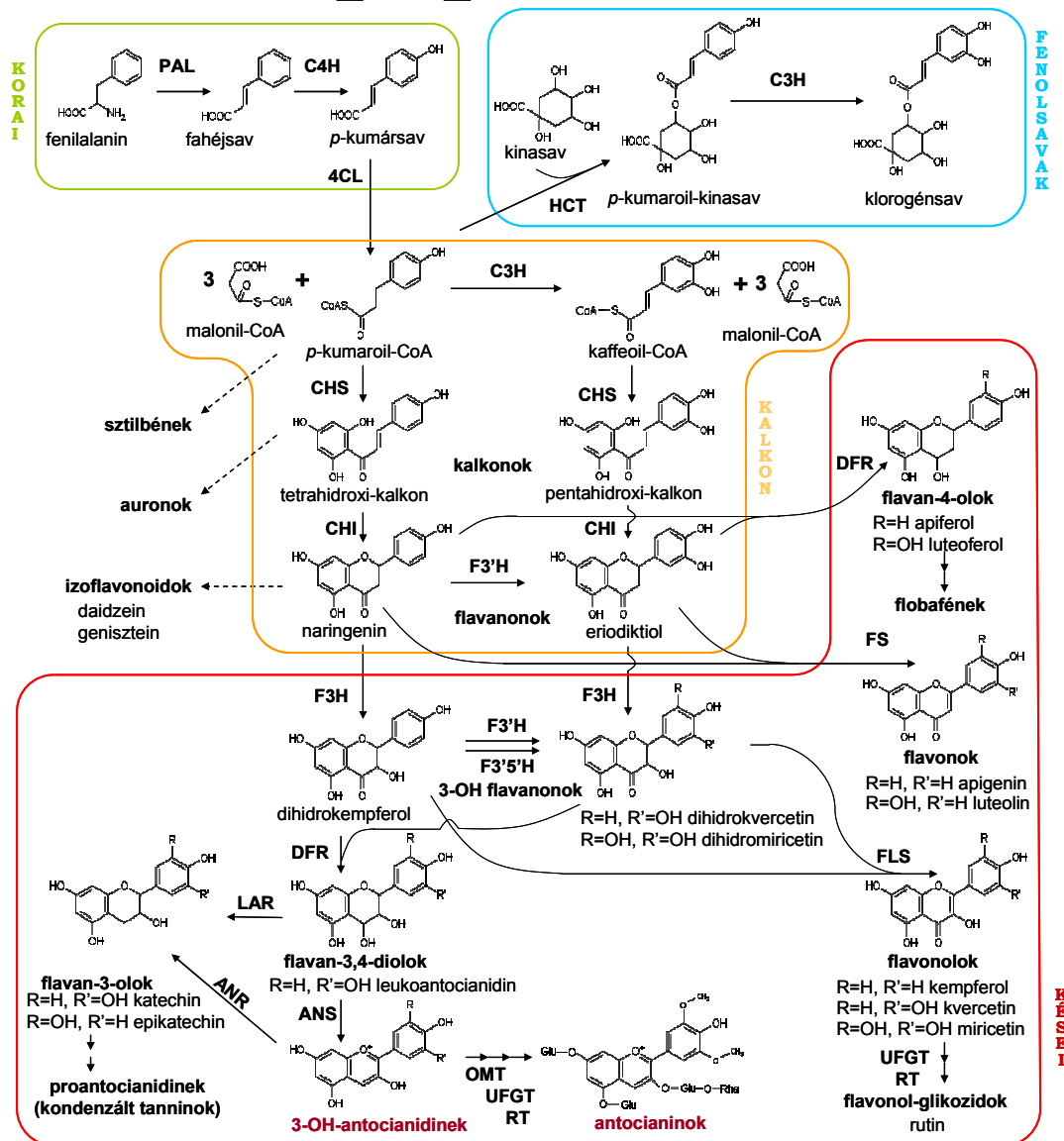
A flavonoidok a fenilpropanoid anyagszerűen szintetizálódnak az endoplazmatikus retikulum citoplazma felőli oldalához lazán kötődő citoplazmás multienzim komplex hatására (Braidot és mts., 2008). A gyümölcsök flavonoid-bioszintéziséről Pfeiffer és Hegedűs (2011) közöltek áttekintő tanulmányt. A fenilalanin-ammónia-liáz (PAL; EC 4.3.1.24) a fenilpropanoid-bioszintézis út első enzime, így jelentős befolyása van minden későbbi reakcióra, beleértve a flavonoid-bioszintézis lépéseit is. A PAL enzim a fenilalanin dezaminálását végzi. A keletkező transz-fahéjsavon a fahéjsav-4-hidroziláz (C4H; EC 1.14.13.11) enzim hidrozilációt végez, mely reakció révén p-kumársav keletkezik. A p-kumársavhoz bizonyos növények tirozinon – tirozin-ammónia-liáz (TAL; EC 4.3.1.23) általi dezamináláson – keresztül jutnak. A p-kumársavra a 4-kumaroil-CoA-ligáz (4CL; EC 6.2.1.12) enzim egy CoA-csoportot kapcsol, mely reakció révén p-kumaroil-CoA molekula keletkezik. A p-kumaroil-CoA több molekula (klorogénsav-származékok, flavonoidok, sztilbén) prekursorául is szolgálhat. A hidroxifahéjsav-transzferáz (HCT; EC 2.3.1.99) enzim segítségével kinasavval történő konjugáció révén p-kumaroil-kinasavvá alakulhat. A p-kumaroil-kinasav p-kumarát-3-hidroziláz (C3H; EC 1.14.13.36) enzim általi hidrozilációja klorogénsavat eredményez. A p-kumaroil-CoA hidrozilációját kaffeoil-CoA-vá szintén a C3H enzim végzi.

A flavonoid-bioszintézis egy molekula p-kumaroil-CoA vagy kaffeoil-CoA és három molekula malonil-CoA kondenzációjával kezdődik, mely tetrahydroxi- vagy penta-hydroxi-kalkont eredményez (9. ábra). Ezt a reakciót a kalkon-szintáz enzim (CHS; EC 2.3.1.74) katalizálja. Az auronok a kalkonokból keletkeznek. A kalkonokból izomerizáció útján flavanonok – pl. naringenin vagy eriodiktól – keletkeznek a kalkon-izomeráz enzim (CHI, EC 5.5.1.6) hatására. Ezekből a központi intermedierekből a bioszintézis több útvonal felé ágazhat el, melyek mindegyike különböző típusú flavonoid molekulák kialakulásához vezet. A flavanon-3-hidroziláz (F3H; EC 1.14.11.9) a flavanonok C-3 pozíciójú hidrozilációja révén 3-OH flavanonokat képez. Az F3H enzim által keletkezett dihidrokempferol C-3' pozíciójú való hidrozilációját a flavonoid-3'-hidroziláz (F3'H; EC 1.14.13.21) enzim végzi, melynek következtében dihidrokvercetin keletkezik. A dihidrokempferol C-3' és C-5' pozíciójú való kétszeres hidrozilációját a flavonoid-3'5'-

dc_634_12

hidroxiláz (F3'5'H; EC 1.14.13.88) enzim végzi, melyet követően dihidromiricetin keletkezik. A dihidrokempferol, dihidrokvercetin és dihidromiricetin a 3-OH flavanonok közé tartoznak. Az izoflavonoidok szintén a flavanonokból keletkeznek az izoflavon-szintáz (citokróm-P450-monooxygenáz) enzim (IFS; EC 1.14.13.86) hatására. Az antocianinok bioszintézise a dihidroflavonol-4-reduktáz (DFR; EC 1.1.1.219) enzim működésével kezdődik, melynek során a dihidroflavonolok flavan-3,4-diolokká (leukoantocianidinekké) redukálódnak. Ez utóbbi vegyületeket az antocianidin-szintáz (ANS; EC 1.14.11.19) alakítja át antocianidinekké vagy a leukoantocianidin-reduktáz (LAR; EC 1.17.1.3) katechinné. Az epikatechin cianidinből keletkezik az antocianidin-reduktáz (ANR, EC 1.3.1.77) enzim által. A glikozidok képződését egy nagy glikoziltranszferáz enzimesalád tagjai, például az UDP glükóz:flavonoid-3-O-glükoziltranszferáz (UFGT; EC 2.4.1.91) enzim katalizálják. A glikoziláció jelentős mértékben stabilizálja az antocianidinek szerkezetét.

A flavonoid-bioszintézis köztitermékeit szerkezetük illusztrációjával tüntettük fel a 9. ábrán. A bioszintézis útvonalban résztvevő enzimeket négy csoportra osztottuk. A korai enzimek közé tartoznak a fenilpropanoid útvonal enzimjei, vagyis a PAL, C4H és 4CL. A fenolsavak termelődését a HCT és C3H enzimek segítik elő. A kalkonok keletkezését és átalakítását katalizáló CHS és CHI a korai és kései reakciócsoportot kötik össze. A késői enzimek közé soroltuk a hidroxilációban résztvevő enzimeket, mint a F3H, F3'H és F3'5'H. Emellett késői enzimként tüntettük fel a DFR, LAR, ANS, ANR, FLS és UFGT enzimeket is.



9. ábra. A flavonoid-bioszintézis enzimatis lépései. PAL: fenilalanin-ammónia-liáz, C4H: fahéjsav-4-hidroxiláz, 4CL: 4-kumaroil-CoA-ligáz, HCT: hidroxifahéjsav-transzferáz, C3H: p-kumará-3-hidroxiláz, CHS: kalkon-szintáz, CHI: kalkon-izomeráz, FS: flavon-szintáz, F3H: flavanon-3-hidroxiláz, F3'H: flavonoid-3'-hidroxiláz, F3'5'H: flavonoid-3'5'-hidroxiláz, FLS: flavonol-szintáz, DFR: dihidroflavonol-4-reduktáz, ANS: antocianidin-szintáz, LAR: leukoantocianidin-reduktáz, ANR: antocianidin-reduktáz, OMT: O-metil-transzferáz, UFGT: UDP glükóz:flavonoid-3-O-glükoziltranszferáz, RT: ramnozil-transzferáz.

A flavonoid-bioszintézisben résztvevő gének közül elsőként az *FLS* és a *CHS* géneket izolálták petrezselyemből (*Petroselinum hortense* Hoffm.) (Kreuzaler és mts., 1979, 1983). A flavonoid-bioszintézis kulcsenzimeit az *Ericaceae* és *Rosaceae* családokba tartozó néhány gyümölcsfaj (pl. áfonya, őszibarack, alma, körte és szamóca) esetében is izolálták és jellemezték (Davies, 1993; Fischer és mts., 2003, 2007; Kim és mts., 2003; Pfeiffer és mts., 2006). Egymástól távolabbi rokonságban álló fajok (szőlő, szamóca,

Arabidopsis és *Citrus*) DNS-szekvenciái szintén elérhetők, egyes esetekben azok expresszióját is vizsgálták (Aharoni és mts., 2001; Kobayashi és mts., 2001; Moriguchi és mts., 2001).

Az eukarióta gének kifejeződése transzkripciós faktoroktól függ. A transzkripciós faktorok elősegíthetik vagy gátolhatják bizonyos gének kifejeződését. A transzkripciós faktorok fehérjék, melyek szekvenciaspecifikus módon kötődnek bizonyos gének promóterrégióihoz. A promóterrégión összeépülő transzkripciós komplex segítségével az RNS-polimeráz II enzim meg tudja kezdeni a transzkripciót. Számos transzkripciós faktort különböző kétszikű növényekben is azonosítottak, ami e molekulák növényfajok közötti funkcionális konzerváltságát mutatja (Schijlen és mts., 2004). A flavonoid-bioszintézis MYB és MYC családokba tartozó transzkripciós faktorok szabályozása alatt áll (Aharoni és mts., 2001; Vom Endt és mts., 2002). Ezek a fehérjék jelenlétükkel serkentik vagy gátolják a flavonoid-bioszintézishez tartozó gének transzkripcióját. Termelődhetnek belső (pl. növényi hormonok) vagy külső (pl. UV, mikrobák) jelre adott válaszként. A MYC transzkripciós faktorok doménje a bHLH (basic-Helix-Loop-Helix) fehérje, mely lehetővé teszi a MYC DNS-hez kötődését. A legtöbb növényi MYB fehérje DNS-hez kötődését egy hélix-fordulat-hélix motívum, az ún. R2 és R3 ismétlődő egységek teszik lehetővé. A MYC és MYB transzkripciós faktorok összekapcsolódva, transzkripciós komplexként kötődnek bizonyos gének promóteréhez (Mol és mts., 1998).

A transzkripciós faktorok szekvenciáitól *upstream* irányban elhelyezkedő, transzpozon indukálta mutációkat tartják felelősnek, vagy legalább is feltételezik ezek szerepét a különböző gyümölcsszín-változatok kialakulásában (Dondini és mts., 2008; Espley és mts., 2007; Kobayashi és mts., 2001). Alma gyümölcsében kimutatták, hogy a MYB transzkripciós faktorok szövetspecifikusan fejtik ki hatásukat: míg a *MYB10* transzkriptuma a hús-, a *MYB1* transzkriptuma a héjszövetben van jelen nagyobb mennyiségben. A ‘Stella’ cseresznyefajta gyümölcse vörös színű a több *MYB10* transzkriptum, és ennek következtében keletkező nagyobb mennyiségű antocianinnak köszönhetően. Ezzel szemben a vizsgálatba vont másik fajta, a ‘Rainier’ sárga gyümölcshúsában a *MYB10* transzkriptummennyisége hatszor kevesebb a ‘Stella’-éhoz képest (Lin-Wang és mts., 2010). A vérnarancs gyümölcshúsában bekövetkező antocianin-bioszintézist a *Ruby* nevű MYB transzkripciós faktor kifejeződése teszi lehetővé, amelyet egy hidegindukált retrotranszpozon szabályoz (Butelli és mts., 2012).

A MYB transzkripciós faktorok bizonyos esetekben gátolhatják a fenilpropanoid-bioszintézist, így a flavonoidok képződését (Saad és mts., 2009). A szamóca (*Fragaria* × *ananassa* Duch.) nagyobb antocianintartalommal rendelkezett, mint a vizsgált erdei

szamóca (*Fragaria vesca* L.). Az erdei szamóca gyümölcsét kisebb transzkriptummennyiség jellemezte valamennyi flavonoidbioszintézis génre nézve, a MYB1 transzkripció faktor expressziója viszont nagyobb volt. Vagyis a MYB1 transzkripció faktor az erdei szamócában gátolta a flavonoid-bioszintézist.

Flavonoid-bioszintézis a bogyós gyümölcsökben

A flavonoid-bioszintézisutat különböző növényfajokban részletesen jellemezték (Winkel, 2006). *Vitis vinifera*-ban a flavonoid-bioszintézishez kapcsolódó gének expresszióját (főképp antocianidinek és proantocianidinek) egyaránt vizsgálták a vörös és fehér szőlő bogyóiban és magjában (Bogs és mts., 2006, Boss és mts., 1996a, Castellarin és mts., 2007a). A génexpresszió jelentős különbségeket mutat gyümölcsrészek és fajták szerint, különösképpen az antocianinszintézis génjei esetében. A piros bogyójú szőlőfajtákban a bogyóhéjban minden enzim kifejeződik, jóllehet különböző időbeli mintázattal. A bogyó húzában expressziójuk kisebb mértékű, különösen a *PAL* és *UFGT* gének kifejeződése gátolt (Boss és mts., 1996b). Ez a két gén kódolja az antocianinok bioszintézise során az első és utolsó reakciót katalizáló enzimeket. Az *UFGT* végzi az antocianidinek glikolizációját az antocianinok (színes és stabil molekulák) képződése során. A fehér bogyójú fajták héjában az *UFGT* gén kifejeződése nem volt kimutatható, és más gének expressziója is kisebb mértékű volt a vörös héjszínű fajtákkal összehasonlítva (Boss és mts., 1996b). Ennek oka a *Gret1* (*grapevine retrotransposon 1*) retrotranszpozon inszerciója a VvMYBA1 transzkripció faktor kódoló gén promóterébe (Kobayashi és mts., 2004).

A glikoziláció az élő sejtekben található számos kis molekula aktivitásának, anyagcseréjének és elhelyezkedésének összehangolásában játszik fontos szerepet. A növényekben sokféle glükoziltranszferáz enzim vesz részt ebben a folyamatban, melyek különböző másodlagos anyagcseretermékek illetve mérgező anyagok glikozilációjával védik a sejt működését. A vörös szőlőben található *UFGT* enzim felelős az antocianinok képződéséért. Offen és mts. (2006) kimutatták, hogy a VvUFGT1 enzim *in vitro* körülmények között számos flavonoidot elfogadott szubsztrátként. A cukormolekulával szembeni specificitása is szélesebb körűnek mutatkozott. A VvUFGT1 enzim háromdimenziós szerkezetét is meghatározták.

A flavonoidok B-gyűrűjének hidroxilációját a flavonoid-3'-hidroxiláz (F3'H) és a flavonoid-3'5'-hidroxiláz (F3'5'H) enzimek katalizálják, de a folyamathoz citokróm-b5-re is szükség lehet. Bogs és mts. (2006) azonosították azokat a géneket, amelyek a F3'H, F3'5'H enzimeket, valamint egy feltételezett citokróm-b5 enzimet kódolják, és vizsgálták

transzkripció szabályozásukat a szőlő gyümölcsében. A *VvF3'H* virágzás előtt fejeződött ki, amikor 3'-hidroxilált flavonolok termelődtek. Virágzás után mindhárom gén kifejeződött, ekkor proantocianidinek (PA) keletkeztek. A gyümölcs héjában az érés kezdetén mindhárom gén expressziója kis mértékben volt kimutatható, ami később emelkedett. Mindez a 3'- és 3',5'-hidroxilált antocianinok felhalmozódását vonta maga után. A vörös szőlővel ellentétben, ahol az érés során a *VvF3'H*, *VvF3'5'HI* és *VvCytoB5* gének expressziója nagymértékű volt, fehér szőlőben a *VvF3'5'HI* és *VvCytoB5* gének expressziója gátolt, ami transzkripcionális szabályozásbeli különbségre utal.

Az *F3'H* és 3',5'-hidroxilázokat kódoló gének a szőlő minden, flavonoidokat tartalmazó szövetében kifejeződnek, legfőképpen az érő piros bogyók héjában, ahol főként antocianinok képződnek (Castellarin és mts., 2007a). A vörös cianidin és kék delfinidin aglikont tartalmazó antocianinok felhalmozódása és a génkifejeződés időbeli szabályozása közti összefüggés igazolta, hogy a *VvF3'H* és *VvF3'5'H* expressziója összhangban van az érő bogyók színváltozásával.

Az elérhető EST szekvenciák alapján két *LAR* cDNS-t azonosítottak levélből Pfeiffer és mts. (2006). Szőlő levélszövetéből *ANR* cDNS-eket is izoláltak és jellemeztek. A kismértékű szubsztrátspecifitás ellenére, *in vivo* mindkét enzim különbözőképpen hidroxilált katechineket és epikatechineket szintetizál. Vörös bogyójú fajták héjában a *VvLAR2* és *VvANR* gének expressziója a PA-szintézis időbeli szabályozottságát mutatja, mely szerint a génexpresszió a szőlőbogyó korai fejlődési állapotában kezdődik, és az érés kezdetéig tart (Bogs és mts., 2005).

Walker és mts. (2007) kutatása szerint két nagyon hasonló gén, melyek a MYB transzkripció faktorok családjába tartoznak (*VvMYBA1* and *VvMYBA2*), képes szabályozni a bogyóban zajló antocianin-bioszintézist (és így a szín változását) az *UFGT* promóterén keresztül. A fehér szőlő *VvMYBA2* génjének funkcióvesztését két nem konzervatív aminosavcserével járó mutáció okozta. Ehhez hasonlóan, azonosítottak egy *VvMYBPA1* transzkripció faktort, mely a PA-ek képződését szabályozza a szőlő magjában és héjában (Bogs és mts., 2007). A szőlőgenom megismerését követően azonosíthatóvá válnak a közeljövőben a szabályozó elemek, és fény derülhet a flavonoid-bioszintézis struktúrgénjeinek genomon belüli elhelyezkedésére is, ami a szőlőnemesítés szempontjából is jelentős információ.

A málna (*Rubus idaeus* L.) gyümölcsszínének és aromájának kialakulása nagymértékben függ a fenilpropanoid anyagcsereút termékeitől. Kumar és Ellis (2001) eredményei alapján a málnában kifejeződő PAL enzimet két gén (*RiPAL1* és *RiPAL2*) kódolja. A *RiPAL1* 88%-os hasonlóságot mutat aminosavszinten a *RiPAL2*-vel, de

filogenetikai vizsgálatuk különböző csoportokba sorolta a *RiPAL1* és *RiPAL2* géneket. Habár minden vizsgált vegetatív és generatív szövetben kimutatható volt mindkét gén expressziója, a *RiPAL1* elsősorban a korai gyümölcseréssel hozható kapcsolatba, míg a *RiPAL2* expressziója a virág és gyümölcs fejlődésének későbbi szakaszában vált jelentőssé. A különböző szövetekben lévő transzkriptumok mennyiségének meghatározása azt mutatta, hogy levélben, gyökérben, hajtásban, illetve az éretlen és érett gyümölcsökben a *RiPAL1* gén transzkriptuma 3–10-szer nagyobb mennyiségben van jelen, mint a *RiPAL2* géné. Ennek alapján úgy tűnik, hogy a két *RiPAL* gén eltérő szabályozási mechanizmus alatt áll.

A szamóca gyümölcse sok antocianint tartalmaz, ami az érett gyümölcsnek piros színt ad. Egy feltételezett glükoziltranszferáz gént (*FaGT1*) sikerült klónozni szamóca gyümölcséből készített cDNS könyvtárból. A rekombináns *FaGT1* UDP-glükózt kapcsol antocianidinekhez és kisebb mértékben flavonolokhoz, 3-O-glikozidokat állítva elő (Griesser és mts., 2008). A kvantitatív polimeráz láncreakcióval (qPCR) végzett vizsgálatok felfedték, hogy a *FaGT1* gén transzkriptuma alig mutatható ki a zöld gyümölcsben, míg a génexpresszió a félérett és érett, piros színű gyümölcsökben drámai mértékben megnövekedett. Jelentős mennyiségű epiafzelechin – melyet az ANR képez pelargonidinből – volt azonban kimutatható *FaGT1*-csendesített növények gyümölcsében, ami az *FaGT1* és *FaANR* között meglévő, a közös antocianidin szubsztrátokért zajló kompetícióra utal. Ennélfogva, az *FaGT1* enzim egy fontos elágazási pontot képvisel a flavonoid-bioszintézis során, hiszen hatására a bioszintézis az antocianinok vagy PA-ek képződésének irányába tolódik el.

A proantocianidinek szerepet játszanak a fejlődésben lévő gyümölcs gombafertőzésekkel szembeni védelmében, ami a növényvédelem területén is felhasználható lehet. Ezért a kultúrnövények gyümölcsében és levelében zajló PA-bioszintézis intenzíven tanulmányozott folyamat. A PA-bioszintézis és az antocianin-bioszintézis számos reakciója megegyezik, de más útvonalon halad tovább a leukoantocianidin molekula leukoantocianidin-reduktáz (LAR) általi, katechinné történő, vagy a cianidin molekula antocianidin-reduktáz (ANR) általi, epikatechinné történő redukcióját követően (9. ábra).

Jaakola és mts. (2002) a flavonoid-bioszintézis génjeinek gyümölcserés során bekövetkező expressziós változását tanulmányozták áfonya (*Vaccinium myrtillus* L.) gyümölcsében az antocianinok, PA-ek és flavonolok felhalmozódásával együtt. Vizsgálataikat vad típusú és színyanyagokban hiányos mutáns genotípusokon végezték el. Az áfonyában zajló flavonoid-bioszintézis öt génjének (*PAL*, *CHS*, *F3H*, *DFR* és *ANS*)

cDNS fragmentumait izolálták, szekvenálták, és megvizsgálták expressziós mintázatukat. A málnában lévő *PAL* paralógokhoz hasonlóan (Kumar és Ellis, 2001), minden egyes génből több izoformát találtak. Ennek alapján feltételezhető, hogy az áfonya vizsgált flavonoid-bioszintézis génjei multigén családokat alkotnak.

Jaakola és mts. (2002) összefüggést mutattak ki az áfonya flavonoid-bioszintézisében résztvevő gének expressziója és az antocianinok felhalmozódása között. A bogyó fejlődésének korai szakaszaiban a PA-ek és a kvercetin voltak jelen a legnagyobb mennyiségben, ami az érés során csökkent. Feltételezték, hogy az éretlen gyümölcsök fokozott PA-tartalma a gyümölcsök idő előtti elfogyasztása ellen nyújt védelmet, mivel a proantocianidinek fanyar ízű vegyületek (Harborne, 1997). Az érés későbbi szakaszaiban az antocianinok mennyisége jelentősen megnőtt, és az érett bogyó legnagyobb mennyiségben jelenlévő flavonoid komponenseivé válnak. Az áfonya flavonoid-bioszintézisében szerepet játszó gének kifejeződése már a legkorábbi érési állapotokban megfigyelhető, majd az érés végén újra, hasonlóan a szőlő esetében kimutatott expressziós mintázathoz (Boss és mts., 1996a; Kobayashi és mts., 2001). A fehér vagy rózsaszínű mutánsokban a flavonoid-bioszintézis minden vizsgált génjének expressziója mérsékelt volt.

Flavonoid-bioszintézis a fán termő gyümölcsökben

Az alma antocianin-bioszintézisének megismerése érdekében a gyümölchéj szövetéből készült cDNS könyvtárak használatával azonosították az *F3H*, *DFR*, *ANS*, és *UFGT* géneket (Kim és mts., 2003). A cDNS-ekhez tartozó aminosav-szekvenciák nagy hasonlóságot mutattak más növényekből származó szekvenciákkal. Minden ide tartozó gén multigén család tagja. Az almagenom-szekvencia megismerését követően az *F3H* génnek 7, az *F3'H* génnek 178 feltételezett paralóg kópiáját találták meg (Velasco és mts., 2010). Kim és mts. (2003) az antocianin-bioszintézis génjeinek mRNS-eit elsősorban héjszövetben mutatták ki, és a gének expressziója fény hatására indukálódott. A piros héjú fajták héjában bőséges mennyiségű transzkriptumot mutattak ki, míg a piros fedőszínnel nem rendelkező fajták esetén jóval kevesebbet, ami arra utal, hogy a *F3H*, *DFR*, *ANS* és *UFGT* gének döntő szerepet játszanak az alma héjszínének kialakításában.

Az alma érése során a héjban lévő UDPGal:flavonoid-3-*O*-glükóziltranszferáz (UGalT) aktivitása szintén összefüggést mutatott az antocianinfelhalmozódással (Ju és mts., 1995). A gyümölcsökben éretlentől érett állapotig állandó és viszonylag nagy CHS aktivitás és flavonoidtartalom volt kimutatható. Napfény hatásának kitett alma vizsgálata során az adatok azt mutatják, hogy a CHS nem játszik szabályozó szerepet az antocianinok

bioszintézisében. A gyümölcs érése során az UFGalT aktivitás összefüggésben állt az antocianinszintézissel, de ebben a folyamatban nem ez volt az egyedüli szabályozó elem, miután ez az enzim 90 nappal a virágzás után is aktív volt, amikor antocianin még nem volt kimutatható. Ju és mts. (1995) feltételezték, hogy az UFGalT a kvercetin-glikozidok és antocianinok képződését is katalizálja, és az antocianinok keletkezése valószínűleg inkább a cianidin jelenlétén múlik, mint az UFGalT aktivitásán. Az antocianin-bioszintézis szabályozásának legfőbb lépései azok, amelyek során dihidrokvercetinből cianidin keletkezik (a DFR és ANS enzimek segítségével).

Az antocianin-bioszintézis összehangolt szabályozása feltételezhetően egy általános transzkripciós faktoron keresztül történik. Egy R2R3 MYB transzkripciós faktort kódoló gént izoláltak almából ('Cripps Pink'), melyet *MdMYB1*-nek neveztek el (Tako és mts., 2006). Éró almagyümölcsben a *MdMYB1* transzkripciója összefüggést mutatott az antocianin-bioszintézissel a piros fedőszint tartalmazó héjszövetben. Amikor a sötétben fejlődő gyümölcsöket napfénynek tették ki, a *MdMYB1* transzkripciós szintje néhány nap alatt megemelkedett a héj antocianintartalmával együtt. A piros héjú almafajtákban a *MdMYB1* gén transzkripciója jóval jelentősebb volt a nem piros héjú fajtákkal összehasonlítva. A *MdMYB1* gén promóterében számos polimorfizmust azonosítottak. Egy polimeráz láncreakción és enzimes hasításon alapuló molekuláris markert (*dCAPS: derived Cleaved Amplified Polymorphic Sequence*) terveztek, mely a héjszín öröklődésének megfelelő hasadást mutatott a piros és nem piros gyümölcsű szülők utódnemzedékében. Következésképpen az almahéjszín kialakulásának genetikai alapja a *MdMYB1* expressziója. Espley és mts. (2009) kimutatták, hogy a *MYB10* gén promóterének mutációja következtében az egész növényben megemelkedett az antocianinszint, és egy különleges, vörös lombszínű és gyümölcshúsú fenotípus jött létre.

Fischer és mts. (2003) *Malus* és *Pyrus* DFR géneket klónoztak, szekvenáltak, és kimutatták, hogy az enzim flavanon-4-reduktáz aktivitással is rendelkezik. Prohexadion-Ca alkalmazása során *in vivo* körülmények között különleges 3-dezoxiflavonoidok keletkeztek almalevélben. Ezeket a vegyületeket a tűzelhalással szembeni fokozott rezisztenciával hozták összefüggésbe.

Míg az antocianin-bioszintézis molekuláris alapjait számos gyümölcs esetén vizsgálták, keveset tudunk arról, hogy a flavonoid struktúrgének hogyan szabályozzák a kondenzált tanninok (CT) és flavonolok termelődését. Mivel a PA-ek is fontos rezisztenciafaktorok, az almalevél katechin- és epikatechin-bioszintézisének vizsgálatára is jelentős figyelem irányult (Pfeiffer és mts., 2006). *LAR* és *ANR* cDNS-eket izoláltak és funkcionálisan jellemezték azokat. Tako és mts. (2006) három – a CT szintézisében

résztvevő – gént vizsgáltak; két *LAR*-t és egy *ANR*-t, a ‘Cripps Red’ piros gyümölcsű fajta héjszövetéből izolált cDNS felhasználásával. A vizsgált héjszövetek mind zöld, mind piros fedőszín esetén bőséges mennyiségben tartalmazták az *ANR* gén transzkriptumát az érés korai szakaszában, ami összhangban állt a CT-ok felhalmozódásával. A *LAR1* gén transzkriptumait kimutatták zöld héjban az érés korai szakaszában, míg a *LAR2* transzkriptuma csak fiatal gyümölcsökben volt jelen. A gyümölcs érése során a CT-ok bioszintézisében résztvevő gének transzkriptumai sokkal kisebb mértékben voltak jelen az antocianinok felhalmozódásának idejében, mint más flavonoid-bioszintézis géneké. Az eredmények arra utalnak, hogy az alma héjszövetében zajló CT-bioszintézis az antocianinoktól eltérő szabályozás alatt állt.

A körte (*Pyrus* sp.) és alma összehasonlító Southern-analízise kimutatta, hogy a két nemzetség flavonoid-bioszintézis génei hasonló genomi elrendeződést mutatnak (Fischer és mts., 2007). Homológia-alapú klónozási eljárást alkalmaztak, hogy a flavonoid-bioszintézis legfőbb géneihez eljussanak körte esetén, ami a *PAL*, *CHS*, *CHI*, *F3H*, *FLS*, *DFR*, *LAR 1* és *2*, *ANS* és *ANR* gének esetében sikeres volt. Jelentős különbségeket mutattak ki a *Malus* nemzetséggel való összehasonlítás során az enzimek szubsztrátspecifitásában és a gének kópiaszámában.

A ‘Red d’Anjou’ körtegyümölcsön végzett expressziós analízis kimutatta, hogy a gyümölcs *PAL* transzkriptum-tartalma a tárolás alatt csökken (0–1 °C, 90–95 % RP, 126 nap), de a tárolást követő periódus során (szobahőmérséklet, 1 vagy 7 nap) újra növekszik a légzésintenzitás és etiléntartalom növekedésével párhuzamosan (MacLean és mts., 2007). Ezzel ellentétben a *CHS* transzkriptum mennyisége drámaian lecsökkent az egyhetes tárolást követő időszakban. A *PAL* aktiválódása, valamint a későbbi, tárolás utáni *CHS* inaktiválódás arra utal, hogy a folyamat a flavonoidmolekulák bioszintézisétől a klorogénsav felépítésének irányába tolódik el.

A hagyományos és vérnarancs összehasonlításával kívánták azonosítani azokat a géneket, melyek a vérnarancs hússzínének kialakításáért felelősek (Licciardello és mts., 2008). A vizsgálatok során az antocianin-bioszintézisben résztvevő géneket, például a *PAL*, *CHS*, *DFR*, *ANS*, *UFGT*, *GST* és egy szabályozó gént azonosítottak. A későbbiekben Cultrone és mts. (2009) azt találták, hogy a CsMYC2, a MYB és MYC család egy tagja a fenilpropanoidok bioszintézisét szabályozza a *Citrus* nemzetségben.

Molekuláris vizsgálataink kezdetén csonthéjas gyümölcsökből csupán néhány flavonoid-bioszintézisben résztvevő gén szekvenciája volt ismert, például a *PAL* őszibarackból (El Ghaouth és mts., 2003), cseresznyéből (Wiersma és Wu, 1998), kajsziból és egy *Prunus cerasifera* × *Prunus munsoniana* hibridből (Pina és Errea, 2008), a *CHS*

cseresznyeszilvából (DQ856583) és őszibarackból (Tsuda és mts., 2004); a *DFR* cseresznyeszilvából (EF683133); és az *ANS* cseresznyeszilvából (EF683132) és őszibarackból (Tsuda és mts., 2004). Az elmúlt évben számos őszibarack és cseresznye szekvenciával bővült a GenBank/EMBL/DDBJ adatbázis.

Az őszibarack és nektarin gyümölcshéjban működő antocianin-bioszintézis géneken részletes vizsgálatokat végeztek Tsuda és mts. (2004). A piros héjú 'Akatsuki' őszibarackban és a sötétpiros 'Flavortop' nektarinban az antocianin-bioszintézis gének expressziója párhuzamot mutatott az antocianinfelhalmozódással a gyümölcs héjszövetében. A főbb struktúrgének expressziója jelentősen megnövekedett az érett gyümölcsben az antocianin mennyiségével együtt. Bár a fehér színű 'Mochizuki' őszibarack esetén a *CHS* és *DFR* gének expressziója nem volt kimutatható érett gyümölcsben, a *CHI*, *F3H*, *ANS* és *UFGT* gének kifejeződtek. Piros elszíneződést a héjon csak ritkán észleltek a 'Mochizuki' őszibarack vizsgálatakor. Ezekben a pirosra színeződött szövetekben a *CHS* és *DFR* gének is határozott expressziót mutattak az érett gyümölcsben. Ezen eredmények alapján feltételezhető, hogy a héj antocianin-bioszintézis folyamatának legfőbb szabályozói a *CHS* és *DFR* gének az érett, piros színű őszibarack és nektarin esetén.

A flavonoid-bioszintézis kulcsenzimeit kódoló gének tanulmányozása kiemelkedően fontos abból a szempontból, hogy részletesebben megismerjük a gyümölcsfák polifenolos vegyületeinek anyagcseréjét. Ily módon a *Rosaceae* és más növénycsaládok flavonoid-bioszintézisének evolúciós kapcsolataira is fény derülhet.

A flavonoidok kémiai tulajdonságai

A flavonoidok legfontosabb tulajdonságai között a szabadgyökfogó (*scavenger*) hatás, a lipidperoxidációt gátló hatás és a fémkelátképző hatás említhető meg (Haminiuk és mts., 2012). A gyökfogó képesség a szuperoxidgyökkel szembeni leginkább tanulmányozott hatást, valamint a kevésbé ismert, hidroxilgyökkel szembeni hatást foglalja magában (Lugasi és Blázovics, 2001). Vannak adatok egyéb szabadgyökökkel szembeni hatásról is. A gyökfogó képesség szerkezeti feltételei az o-dihidrox csoportok jelenléte; a 4-oxo funkcióhoz konjugált helyzetű 2,3 kettős kötés és a 3-OH és 5-OH csoportok megléte.

A flavonoidokat erős lipidperoxidációt gátló hatás jellemzi (Terao és mts., 1994). A miricetin és kvercetin erős OH[•]-*scavenger* (Rafat Husain és mts., 1987). A kvercetin a ciklooxygenázt gátolja, a rutin a ciklooxygenázt stimulálja (Alcaraz és Ferrandiz, 1987). A kvercetin gátolja a Ca²⁺-ATP-áz működését, ezáltal befolyásolja a Ca²⁺ intracelluláris

koncentrációját, így csökkentheti a trombocita-aggregációt. Bizonyos flavonoidok gyulladáscsökkentő hatása is jelentős, ami ciklooxygenáz-gátló tulajdonságuknak köszönhető (Garcia-Lafuente és mts., 2009). A flavonoidok antioxidáns hatása alatt a C-vitamint oxidációtól védő hatásukat, egyéb könnyen oxidálódó szubsztátok, membránlipidek védelmét, illetve kelátképző tulajdonságukat (réz- és vasionokkal való kelátképzés) értjük (Haminiuk és mts., 2012).

Szabadgyökfogó tulajdonságuk hátterében kétféle mechanizmus áll. Egyfelől gátolják a szuperoxidgyök-képző és számos más, AOF keletkezésében részt vevő enzim aktivitását, másrészt a flavonoidok termodinamikailag képesek az erősen oxidáló tulajdonságú szabadgyökök redukálására. A flavonoidok antioxidáns hatása elsődlegesen az aktív oxigénformák képződési láncreakciójának kezdetén (szuperoxidgyökök képződése) nyilvánul meg. Így különböznek a legtöbb szintetikus antioxidánstól, amelyek elsősorban hidroxilgyök-*scavengerek*. A flavonoidok antioxidáns hatása pl. az érfalvédelemben jelentős, egyrészt a szuperoxidgyökök befogásával azt közvetlenül védik, másrészt egy enzimet, a prosztaciklin-szintetázt óvják a hidroxilgyökök és a lipidperoxilgyökök hatásától (Robak és Gryglewski, 1988). A legismertebb vegyületek közül a miricetin, kvercetin, szilibinin, szilimarín, szilidianin vegyületek a lipoxignázt és prosztaglandin-szintézist gátló hatásúak (Alcaraz és Ferrandiz, 1987).

A flavonoidok felszívódása és metabolizmusa

Az élelmiszer eredetű flavonoidok felszívódását és metabolizmusát főként szerkezetük határozza meg, valamint szerepet játszik ebben a glikoziláció, aciláció, más fenolos vegyületekkel kialakított konjugáció (Lugasi, 2000). Az élelmiszerek más vegyületei szintén befolyásolják a flavonoidok hozzáférhetőségét. A flavonoidok általában rosszul szívódnak fel, kivéve a katechint. A flavonoid aglikonok közvetlenül is felszívódhatnak a vékonybél nyálkahártyáján. A glikozidokat először hidrolizálni kell, az emlősökben azonban hiányzik a β -glükózidáz, ezek felszívódása nem tekinthető jelentős mértékűnek a vékonybélben. A legtöbb glükózid átkerül a vastagbélbe, ahol a vastagbélbaktériumok hatására megtörténik a glikozidkötés hidrolízise, és a szabad aglikonok felszívódnak.

Kivételt képeznek ebből a szempontból a kvercetin-glikozidok és az antocianinok. Korábban úgy gondolták, hogy a kvercetin-glikozidok részleges abszorpciója az *ileum* (csípőbél) vastagbélhez közeli szakaszán is megtörténhet, az ott kolonizálódott bélbaktériumok hatására. Újabb vizsgálatok szerint a kvercetin-glikozidok a vékonybélben található laktáz vagy laktáz-florizin-hidroláz (LPH; EC 3.2.1.108) enzim hatására

deglikozilálódhatnak, majd az aglikonok passzív transzporttal átjutnak a sejtmembránon (Day és mts., 2003). Egy másik lehetőség, hogy az intakt glikozidok a Na-függő glükóz-transzporter (SGLT1) segítségével belépnek a bélhámsejtekbe, ahol a citoplazmatikus β -glükozidáz deglikozilálja a molekulát. Kiderült, hogy a kvercetin-4'-glikozid mindkét úton bejuthat a sejtekbe, míg a kvercetin-3-glikozid csak az LPH-útvonalon. Az almában található kvercetin felvehetősége sokkal rosszabbnak bizonyult a vöröshagymában található kvercetin felvehetőségénél (Hollman és mts., 1997). Ennek magyarázata, hogy a hagymában kvercetin aglikon és kvercetin-glikozidok találhatók, míg az almában nincs szabad kvercetin aglikon, a kevés kvercetin-3-glükozid mellett ugyanakkor található kvercetin-ramnozid, kvercetin-xilozid, kvercetin-galaktozid és más olyan formák, melyeket az LPH nem képes hatékonyan hidrolizálni. Így ezek vékonybélbeli felvehetősége elmarad a vöröshagymában található kvercetin-vegyületekétől.

Az antocianinok felszívódása glikozid formájukban is lehetséges a gyomorban és a vékonybél *jejunum* (éhbél) szakaszán (Sancho és Pastore, 2012). A felszívódás mértéke azonban kicsi, és egy bizonyos telítési mennyiség fölött további antocianinmolekulák felszívódása nem lehetséges. A vastagbél mikroflórája az antocianinok felvételében is fontos szerepet játszik. Az antocianinok kétféle útvonalon juthatnak el a vastagbélbe: egyrészt a vékonybélből kerülnek ide azok az antocianinmolekulák, amelyek nem szívódtak fel a gyomorban és *jejunumban*, másrészt a felszívódott antocianinok kiválasztódhatnak az epeváladékba, és az epével ürülnek a vékonybél *duodenum* (patkóbél) szakaszába. A vastagbélben a többi flavonoiddal egyező módon megtörténik a cukorkomponens hidrolízise.

A flavonoidok metabolizálásának fő helye a máj, de más szervek sem zárhatók ki, például a vese vagy a bélnyálkahártya. A flavonoidok és bizonyos antocianinok metabolizmusuk során glükuronsavval konjugálódnak vagy metilálódnak (Walle, 2004). A vegyületek szulfátokkal is konjugálódhatnak. A vastagbélben felszabaduló flavonoid aglikonok és antocianidinek fenolsavas vegyületekké bomlanak (Nurmi és mts., 2009), melyek újra felszívódhatnak (*reszorpció*). Ezek némelyike is rendelkezik szabadgyökfogó sajátsággal. Az elfogyasztott flavonoidok és ezek metabolitjai is *in vivo* antioxidáns hatást mutatnak. Humán szervezetben az antocianinok metabolizmusának egyik fő terméke a protokatekusav, amit a többi fenolsavhoz hasonlóan, nagyobb kémiai és mikrobiológiai stabilitás jellemez, mint az összetettebb, flavonoidvázis vegyületeket (Forester és Waterhouse, 2010). Részben ez magyarázhatja, miért gondolták korábban, hogy a flavonoidok/antocianinok felszívódása igen korlátozott mértékű. Másrészt a közelmúltban kimutatták, hogy a négy héten át kevés antocianinnal kiegészített tápot fogyasztó sertések

valamennyi vizsgált szövetében azonos mértékű akkumuláció figyelhető meg, ugyanakkor a vérplazmában és a vizeletben nem volt antocianin (Kalt és mts., 2008).

A katechin és epikatechin felszívódása a vékonybél hámsejtjeiben történik meg. Ellentétben a kvercetinrel, az epikatechin nem glükuronizálódik sem a máj mikroszómákban, sem a vékony- vagy vastagbélben. Mind a máj, mind a bélszövetek tartalmazzák a folyamathoz szükséges uridin-difoszfát-glükuronozil-transzferáz enzimet, amely számos más flavonoid átalakítását is elvégzi. Az epikatechin ezzel szemben szulfonálódik a májban és a bélhámsejtek citoplazmájában, ami arra utal, hogy a szulfonálás az epikatechin metabolizálódásának fő útja (Vaidyanathan és Walle, 2002).

A klorogénsavnak csak elenyésző része abszorbeálódik a vékonybélben, nagyobbik részét a vastagbélben élő baktériumok alakítják át hippursavvá vagy m-kumársavvá. Ezek felszívódnak, és megjelennek a vizeletben is (Gonthier és mts., 2003).

A flavonoidok biológiai funkciója és egészségi hatása

Közel 8000 polifenolos vegyület, ebből mintegy 5000 flavonoid ismert (Ross és Kasum, 2002). Mint a növényi metabolizmus másodlagos termékeinek, számos funkciót tulajdonítanak a növényvilágban: pigmentálás; az UV-fény, a mikroorganizmusok és egyéb növényi kártevők, gombák, csigák, rovarok elleni védelem (repellens hatás); enzimaktivitások regulációja; szignálfunkció a nitrogénkötő baktériumok számára (Dixon és Paiva, 1995; Firmin és mts., 1986; Winkel-Shirley, 2002). Az ételkészítőként szolgáló növényi anyagokban természetes színezőanyagok, ízkomponensek, antioxidánsok. A flavonoidok legtöbbször halványsárgás vagy tejfehér színű anyagok.

A flavonoidok számtalan kedvező humánegészségi hatása ismert. Ezek közé tartozik például (Karius és mts., 2012; Lampe, 1999; Martin és mts., 2013; Yao és mts., 2004):

- Antioxidáns hatás és/vagy szabadgyökfogás
- Immunmoduláns és gyulladáscsökkentő hatás, nagy valószínűséggel az arachidonsav-metabolizmus módosításán keresztül (foszfolipáz-A2 gátlása, ciklooxygenáz-gátlás, lipoxigenáz-gátlás)
- Allergia- és asztmaellenes hatás
- Enzimek aktivitásának módosítása, általában gátlása (xantinoxidáz, cAMP-foszfodiészteráz)
- Antivirális hatás
- Antibakteriális hatás
- Ösztrogénaktivitás (izoflavonoidok)

dc_634_12

- Mutagenezist és karcinogenezist gátló hatás (pl. a daganatképződésben szerepet játszó gének kifejeződésére, poszt-transzkripcionális szabályozására hatnak bizonyos mikro-RNS-ek »miRNS-ek« expressziójának módosításával)
- Hepatoprotektív hatás
- A véredényrendszer működését, állapotát befolyásoló, antiateroszklerotikus hatás
- Vérelmezekék összetapadását gátló hatás
- Vaszkuláris permeabilitás csökkentése
- Az n-3 zsírsavak vérplazmabeli mennyiségének módosítása
- A bélrendszer baktériumflórájának összetétele (pl. az antocianinok és metabolitjaik kedveznek a *Bifidobacterium* és *Lactobacillus* törzsek szaporodásának)
- Epigenetikai hatások (DNS-metiláció, hisztonmetiláció/-demetiláció)

A fenti tulajdonságok több esetben egymással összefüggnek, például a hepatoprotektív hatás a szabadgyökfogó tulajdonsággal, az antioxidáns hatás a xantinoxidáz-gátlással, az antiallergiás, asztmaellenes hatás az 5-lipoxigenáz gátlással. A flavonoidok antioxidáns tulajdonságainak mértéke alapvetően az adott molekula szerkezetétől függ, s az antioxidáns hatás erőssége szoros és pozitív összefüggést mutat a hidroxiláció mértékével. Kimutatták, hogy bizonyos flavonoidok képesek az LDL koleszterin azon helyeire bekötődni, amelyek érzékenyek az oxidációra (Wang és Goodman, 1999).

A korábban a fiziológiai hatás szempontjából elsődlegesnek tartott antioxidáns és gyökfogó tulajdonság tényleges szerepe egyre kétségesebbnek tűnik (Fraga és mts., 2012). Kakaófogyasztást követően csak rövid időre (2–4 óra) és rendkívül kis (20 nM–6 µM) mennyiségben növekszik a vérplazma flavanoltartalma (Holt és mts., 2002), ami a sokkal nagyobb (25–50 µM) C- és E-vitamin-tartalom (Frei és mts., 1988; Moran és mts., 1993) mellett nem javíthatja számottevő mértékben az antioxidáns kapacitást. Az átmeneti fémionok kelátolása szintén hasonló okokból nem magyarázhatja a flavonoidok hatását. Feltételezhető, hogy hatásukat elsősorban a prooxidáns enzimek (pl. NADPH-oxidáz) gátlásával (Steffen és mts., 2008), a NADPH-oxidáz aktivitásának fokozását előidéző membránreceptorokhoz történő kapcsolódással (Erlejman és mts., 2008), a redoxi szabályozás alatt álló szignál molekulákkal (pl. NF-κB, kinázok stb.) történő kötődéssel és a nitrogén-monoxid (NO[•]) keletkezésében szerepet játszó enzimek (pl. NOS) aktivitásának növelésével (Ramirez-Sanchez és mts., 2010) érik el.

A NO[•] legfőbb forrása az endotél sejtek nitrogén-monoxid-szintáz enzimje (Fraga és mts., 2012). Ugyanez az enzim kedvezőtlen körülmények esetén szuperoxidgyököt képez

NO[•] helyett. A NO[•] diffúzióval átjut az endotélsejtek membránján, és belép az érfal simaizomsejtjeibe, ahol a sejten belüli receptorához, a guanilil-cikláz enzimhez kötődik. Az így aktivált enzim guanozin-monofoszfát (GMP) molekulából ciklikus GMP-t (cGMP) hoz létre. Ez a vegyület aktiválja a cGMP-függő-protein-kináz enzimet, melynek hatására bekövetkezik az érfali simaizomsejtek elernyedése. Mindez az ér tágulását és az ér által ellátott szerv jobb vérellátását idézi elő. A flavonoidok a NO[•] mennyiségét három mechanizmus útján befolyásolják: az eNOS enzim expressziójának/aktivitásának fokozásával, a szuperoxid- és más szabadgyökökkel szembeni gyökfogó hatással, a NADPH-oxidáz expressziójának/aktivitásának gátlásával.

Az antocianinokkal kapcsolatosan egyre több, sejtvonalakon, állati szervezeteken elvégzett kísérlet, illetve humán vizsgálat igazolja, hogy az izulinrezisztencia csökkentése, a hasnyálmirigy β -sejtjeinek védelme, az inzulin kiválasztás fokozása és a cukrok vékonybélben történő felszívódásának gátlása révén csökkentik a vércukorértéket (Sancho és Pastore, 2012). Ezek a hatások részben antioxidáns tulajdonságukra, részben enzimgátló és más sajátásaikra vezethetők vissza, és elsősorban a 2-es típusú cukorbetegség számára jelenthetnek terápiás lehetőséget.

A közelmúltban a komoly nemzetközi reputációnak örvendő *Circulation* folyóirat egy széles körű, hosszú időtartamú nyomon követéses tanulmány eredményét publikálta (Cassidy és mts., 2013). A 93.600, 25 és 42 év közötti nő részvételével 18 éven át tartó vizsgálat igazolta, hogy az áfonya és szamóca heti három alkalommal vagy gyakrabban történő fogyasztása 34 %-kal csökkentette az akut miokardiális infarktus bekövetkezésének gyakoriságát. Ez a védőhatás az antocianinoknak volt köszönhető, más polifenolos vegyületek nem gyakoroltak szignifikáns hatást az infarktus bekövetkezési valószínűségére.

Állatkísérletek tanúsága szerint a zöldség- és gyümölcsfogyasztással szervezetbe kerülő polifenolok segítenek az értelmi képesség idős kori megőrzésében (Galli és mts., 2002). Az Egyesült Királyságban 8.000 ember megkérdezésével készített tanulmány eredménye is arra utalt, hogy a több zöldséget és gyümölcsöt fogyasztó emberek mentális egészsége, jólléte kedvezőbb, mint azoké, akik kevesebbet fogyasztanak (Blanchflower és mts., 2013). Hasonló eredményekkel zárult egy kanadai felmérés is. A tapasztalatokat összegző szerzők felhívták a figyelmet arra, hogy a zöldség- és gyümölcsfogyasztás segíthet a depresszió és szorongás megelőzésében (McMartin és mts., 2013).

A galluszsavról, katechinről és kvercetinről kimutatták, hogy hatékonyan gátolják a fehérjék glikozilációját, ami a cukorbetegség okozta szövődmények legfőbb kiváltó tényezője (Wu és mts., 2009). Tekintettel arra, hogy a fehérjék glikációja során oxidatív

folyamatok is szerepet játszanak, a polifenolok hatása részben antioxidáns tulajdonságukra vezethető vissza. A flavonoidok kelátképző tulajdonsága tovább fokozza a hatást, hiszen azokat az átmeneti fémionokat képesek komplexbe zární, amelyek az oxidáció fokozásával a glikációt is megindítják.

A fenolsavak és flavonoidok befolyásolják bizonyos antioxidáns hatású enzimfehérjéket kódoló gének expresszióját, a sejtek szignálfolyamatait. A kakaó flavonoidokban gazdag kivonata például gátolta a tumornekrózis faktor (TNF- α) által indukált endotél növekedési faktorok expresszióját azáltal, hogy gátolta a foszfoinozitol-3-kináz és a mitogén-aktivált proteinkináz-1 aktivitását (Kim és mts., 2010).

A flavonoidok daganatos betegségekkel szembeni védőhatását egyre erősebb bizonyítékok támasztják alá. A kvercetin és a katechin esetében 32 %-kal, a flavonolok 27 %-kal, az epikatechin 26 %-kal és a proantocianidinek 22 %-kal csökkentették az emésztőszervi daganatok kialakulásának esélyét (Theodoratou és mts., 2007). A flavonoidbevitel és az emésztőszervi daganatok előfordulása között fordított arányosság volt kimutatható. A gyümölcsök polifenolos komponenseinek daganatellenes hatását a génexpresszió befolyásolásától a szignáltranszdukciós folyamatokig Chen és Kong (2005) áttekintő tanulmánya összegzi.

2.4 A gyümölcsök antioxidáns kapacitását befolyásoló endogén és exogén tényezők

Mivel a gyümölcsök antioxidáns kapacitását nagymértékű variabilitás jellemzi, rendkívül jelentős kutatási célnak ígérkezett az ennek hátterében álló tényezők feltárása. Már munkánk kezdetén ismert volt, hogy az antioxidáns kapacitást és a gyümölcsökben felhamozódó antioxidáns hatású vegyületek mennyiségét döntő mértékben a genotípus határozza meg, ahogyan ezt a bogyósgyümölcsűek (Connor és mts., 2002; Hegedűs és mts., 2008), almatermésűek (Ercisli és mts., 2012a; van der Sluis és mts., 2001), csonthéjasok (Cantin és mts., 2009; Sass-Kiss és mts., 2005; Scalzo és mts., 2005a) és egyéb mediterrán, szubtrópusi fajok (Ercisli és mts., 2008, 2012b) esetében is igazolták. A genotípus mellett más tényezők hatása is ismertté vált. Ezek közül az évjárat hatását igazolták például áfonya (Howard és mts., 2003) és alma (van der Sluis és mts., 2001) esetében.

A gyümölcs érési állapota is szignifikánsan befolyásolja az antioxidáns kapacitást, valamint az összes polifenol- és C-vitamin-tartalmat: cseresznye esetében a gyümölcsfejlődés korai szakaszában valamennyi paraméter csökkenő tendenciát mutatott,

majd óriási mértékű növekedésbe kezdett az érett állapot kialakulásáig. Ez az időszak egybeesett az antocianinfelhalmozódásból származó sötétpiros gyümölcsszín kialakulásával (Serrano és mts., 2005). A polifenolos vegyületek mennyisége a kajsziérés elején csökkent, később változatlan maradt, vagy kismértékű növekedést mutatott (Dragovic-Uzelac és mts., 2007a). A héj és gyümölcshús összes polifenol-tartalma csökkent az alma (Kondo és mst., 2002) és a sárga húsú nektarin (Andreotti és mts., 2008) érése során is. Kajszi esetében a karotinoidtartalom (elsősorban a β -karotin) az érés során fokozatosan növekedett, ami a zöld $\rightarrow$ sárga színátmenetért felelős (Dragovic-Uzelac és mts., 2007a; Katayama és mts., 1971). Szilva esetében az antioxidáns kapacitás az érés során folyamatosan növekedett (Díaz-Mula és mts., 2008; Kristl és mts., 2011). A korai érésű kajszi fajta gyümölcsének antioxidáns kapacitása és összes polifenol-tartalma jelentősen elmaradt a később érő fajta gyümölcsetől (Leccese és mts., 2008), ami arra utal, hogy a gyümölcsfejlődéshez rendelkezésre álló időtartam hossza arányban áll a képződő antioxidáns hatású vegyületek mennyiségével.

A földrajzi terület is befolyásolta a kajszi karotinoidtartalmát (Dragovic-Uzelac és mts., 2007; Munzuroglu és mts., 2003). A nagyobb tengerszint feletti magasság esetében a fajta C-vitamin-tartalma meghaladta az ugyanazon fajta alacsonyabb területeken fekvő ültetvényekben szüretelt gyümölcsre jellemző értékeket (Munzuroglu és mts., 2003).

2.5 A csonthéjas gyümölcsfajok fajtaválasztéka és gyümölcsaik antioxidáns jellemzése

A bogyósgyümölcsökről igazolták, hogy nagy mennyiségben tartalmaznak polifenolos vegyületeket és antioxidáns hatásuk is jelentős (Connor és mts., 2005; Hannum, 2004; Moyer és mts., 2002). Hasonló vizsgálatok csonthéjas gyümölcsök esetében alig egy évtizedre tekintenek vissza.

A gyümölcsök antioxidáns hatásának értékelésére számos módszert dolgoztak ki. A jellemzéshez egyrészt lehetőségünk van bizonyos antioxidáns hatású vegyületek/vegyületcsoportok mennyiségének meghatározására (pl. az összes antocianintartalom spektrofotometriás meghatározása vagy egyes antocianin komponensek kvantifikálása kapcsolt analitikai rendszerekkel). Ezek az információk igen értékesek, de a gyümölcsökben jelenlévő több ezer komponens együttes hatásáról nem adnak információt. Jellemezhetjük ugyanakkor az ezen vegyületek együttes, additív és szinergista vagy antagonistá kapcsolatainak eredőjeként kialakuló *in vitro* antioxidáns (redukáló képesség, szabadgyökfogó hatás) kapacitást is. Ezek az adatok kellő körültekintéssel alkalmasak

lehetnek a nyers növényi táplálékok feltételezett egészségi hatásának összevetésére (Olsson és mts., 2004; Yang és mts., 2004). *In vivo* antioxidáns hatást jellemző módszerek is ismertek, melyekhez leggyakrabban sejtkultúrákat vagy kísérleti állatokat használnak (Frei és Higdon, 2003; Wolfe és Liu, 2007).

Napjainkban a leírt módszerek száma meghaladja a 100-at (Cornelli, 2009). Sztenderd vegyületek antioxidáns kapacitásának meghatározása különböző módszerekkel egymástól eltérő sorrendet állított fel a vegyületek között (Tabart és mts., 2009), ami indokoltá teszi azt a széles körben elfogadott megközelítést, hogy a gyümölcsök *in vitro* antioxidáns kapacitásának jellemzéséhez minden esetben több, különböző kémiai háttérű mérőmódszert kell használni (Ozgen és mts., 2006). Az *in vitro* antioxidáns kapacitás mérésére alkalmas módszerek csoportosítására a reakciómechanizmus kínál lehetőséget. Ezek alapján elektronátmeneten és hidrogénátvitelen alapuló módszereket különböztetünk meg (Huang és mts., 2005).

A hidrogénátvitelen (HAT) alapuló módszerek között az ORAC (oxigéngyökfogó kapacitás), a TRAP (teljes peroxilgyökfogó kapacitás), a luminolgyökfogó kapacitás (fotokemilumineszcencia mérése), a krocín és más karotinoid vegyületek elszíntelenedésén alapuló módszerek szerepelnek. Az elektronátmeneten alapuló mérések között a FRAP (ferri-ionok redukálásán alapuló módszer), a CUPRAC (Cu^{2+} -ionok redukálásán alapuló technika), a TEAC [az ABTS, 2,2'-azino-bisz(3-etilbenzotiazolin-6-szulfonsav gyök semlegesítése)], a DPPH (1,1-difenil-2-pikrilhidrazil gyök semlegesítése) ismert, újabban többek között krómionok (Cr^{6+}) redukálásán alapuló eljárást is kidolgoztak (Isik és mts., 2013). Az eredetileg összes polifenol-tartalom meghatározásaként ismertetett, Folin-Ciocalteu-reagenssel szembeni redukáló képességet (TPC módszer) antioxidáns kapacitás meghatározására szolgáló eljárásnéven is értékelhetjük (Huang és mts., 2005), hiszen a reakció nem szelektív a polifenolos vegyületekre. A felsorolt mérőmódszerek közül a kísérletek során használt technikák kémiai háttérét, előnyeit és hátrányait mutatjuk be részletesebben.

A kemilumineszcenciás módszer egyik változatában a kémiai reakció a $\text{H}_2\text{O}_2/\text{OH}^\bullet$ mikroperoxidáz-luminol rendszer gátlásán alapszik (Blázovics és mts., 1999). A $\text{H}_2\text{O}_2/\text{OH}^\bullet$ mikroperoxidáz-luminol rendszer lúgos pH-n fényt bocsát ki, mert a vasionok hatására a H_2O_2 -ból $\text{OH}^\bullet$ gyök keletkezik Fenton-típusú reakcióban, és a gyök a luminolt gerjeszti. A luminol aminosavak stabil anionná alakul át és $h\nu$ kvantum (420 nm) távozik. Ha a rendszerhez bármilyen antioxidánst adunk, a reakció gátlódik. A gátlás mértéke és a vizsgált biológiai anyag gyökfogó tulajdonsága között matematikai statisztikai módszerrel

kapcsolat igazolható. A teljes gyökfogó kapacitás (TRSA) értéke annál kisebb, minél erősebb az antioxidáns aktivitás, ami gátolja a szabadgyökös reakciót.

A fenti technikának némileg módosított változata a fotokemilumineszcencián alapuló módszer, amelyet Popov és Lewin (1994, 1996) írtak le. A mérés elve: a fényérzékeny komponensből UV fény hatására szuperoxidgyökök válnak szabaddá. Ezek egy részét a minta antioxidánsai eliminálják, míg a másik részük reagálni fog egy „detektor” vegyülettel, amely hatására fotonok emittálódnak (Popov és Lewin, 1994, 1996). A Photochem márkanévű készülék ezt a fotokemilumineszcenciát méri, így az antioxidáns kapacitást közvetett módon kapjuk meg. A készüléket gyártó cég (Analytic Jena, Jéna, Németország) kiadványában az szerepel, hogy a készülék képes a zsír- (ACL, *Lipid Soluble Antioxidant Capacity*) és vízoldható antioxidáns kapacitás (ACW, *Water Soluble Antioxidant Capacity*) meghatározására (Balogh, 2011). A szoftver automatikusan meghatározza a vak és a kalibrációs oldatok összefüggéséből az adott minta antioxidáns kapacitását troloxra (ACL) illetve aszkorbinsavra (ACW) vonatkoztatva. Ehhez a vízoldható antioxidáns kapacitás esetében a *lag* fázis időben való eltolódását használja fel, míg zsírolható antioxidáns kapacitásnál a kirajzolt görbe alatti terület segítségével kapjuk meg az értékeket. A gyártó állítása szerint a mérésekhez szükséges kitekkel a kivitelezés gyors és egyszerű.

A FRAP módszer kidolgozása Benzie és Strain (1996) nevéhez fűződik. Alapja, hogy a ferri-ionokat (Fe^{3+}) az antioxidánsok ferro-ionokká (Fe^{2+}) redukálják. A reakció során a TPTZ (2,4,6-tripiridil-S-triazin) komplexképző segítségével oldatban tartott ferro-ionok keletkeznek, ami kék színű terméket képez. A színváltozás spektrofotometriásan ($\lambda=593$ nm-en) nyomon követhető (Benzie és Strain, 1996; Huang és mts., 2005). A módszer előnye, hogy gyors, egyszerű, olcsó, reprodukálható, és nem igényel drága laboratóriumi felszerelést (Apak és mts., 2007). Hátrány azonban, hogy a vasionok rossz oldékonysága miatt a reakció jóval a fiziológiai pH (enyhén savas, közel semleges) alatti tartományban zajlik, így a technika nem érzékeny a tiol típusú antioxidánsokra (pl. glutation) (Kranl és mts., 2005). A karotinoidok sem rendelkeznek vasredukáló képességgel, egyes komponensek (pl. kávésav, ferulasav) reakcióideje hosszabb az általánosan alkalmazottnál, ezért azokat a FRAP nem méri (Apak és mts., 2007; Balogh, 2011).

A TPC módszer kidolgozása Singleton és Rossi (1965) nevéhez fűződik. A Folin-Ciocalteu reagens sárga színű Mo^{6+} ionja a vizsgált mintában található antioxidánsoktól elektront vesz fel, és kék színű Mo^{5+} ionná redukálódik. A keletkező kék színű termék spektrofotométerrel ($\lambda=765$ nm-en) detektálható. A technika elnevezése nem teljesen

pontos, mivel nemcsak a fenolok, hanem a vízdoldható, elektronleadásra képes antioxidánsok (az aszkorbinsav és a Cu^+ -ionok) is képesek redukálni a reagenst. Előnye, hogy egyszerű, olcsó, reprodukálható, és nem igényel drága laboratóriumi felszerelést (Huang és mts., 2005). Hátránya többek között, hogy lúgos (nem fiziológiás) pH-n zajlik a reakció (Frankel és Meyer 2000) és nem szelektív a polifenolokra (Apak és mts., 2007; Balogh, 2011).

A kevésbé informatív TEAC néven ismert módszer kidolgozása Miller és mts. (1993) nevéhez fűződik. Az ABTS [2,2'-azino-di-(3-etilbenzotiazolin)-6-szulfoninsav] oxidációjával sötétzöld színű ABTS^+ kation keletkezik, mely antioxidáns molekulák jelenlétében elszíntelenedik (Stratil és mts., 2007). A színreakció spektrofotometriásan ($\lambda=734$ nm-en) nyomon követhető. Vonatkoztatási alapként az E-vitamin vízdoldható formáját, a troloxot (6-hidrox-2,5,7,8-tetrametilkromán-2-karboxilsav) használjuk. A mérőmódszer előnye, hogy kivitelezése olcsó, egyszerű, gyors és a gyök viszonylag stabil. Hátránya többek között a hosszú minta-előkészítés, és hogy a mesterségesen előállított gyök nem hasonlít a fiziológiás körülmények között képződő, kevésbé stabil gyökökhöz (Balogh, 2011; Frankel és Meyer, 2000).

A DPPH gyök megkötésén alapuló antioxidáns kapacitást mérő módszer (Blois, 1958) egyike a legelső, ilyen jellegű méréstechnikáknak. A reakció a következőképpen zajlik: a sötétlila színű gyök antioxidánsokkal reagálva elveszíti színét. Széles körben alkalmazzák, mert a molekula kereskedelmi forgalomban kapható, stabil, kevésbé reakcióképes, és kevésbé agresszív, ami a mérés kivitelezése során hasznos. Hátránya ugyanez a stabilitás, vagyis hogy reakcióképessége a sejtben normál anyagcsere során keletkező gyököktől jelentősen eltérő. Egy időben vita zajlott, hogy a reakció hidrogénatom átvitelén vagy elektronátmeneten alapul-e. Korábban HAT reakcióként tartották számon a DPPH gyök és az antioxidánsok között lejátszódó reakciót, de később igazolták, hogy valójában az elektronátmenet meghatározó a reakciókinetika során (Huang és mts., 2005). Fény-, oxigén-, pH- és oldószerfüggő. További problémát jelent a szerkezetből adódó rossz hozzáférhetőség. A kis molekulák jobban odaférnek a DPPH gyökhöz, így nagyobb antioxidáns kapacitás értéket mutatnak. A mérés hullámhosszán (517 nm-en) a karotinoidok és az antocianinok interferenciája is számottevő lehet (Apak és mts., 2007).

2.5.1 Őszibarack

*„És érik már az őszi, bár
tombol még a nyárszőke ég,
a fény sűrű mézfelhőként szitál
kopasz és molyhos főkre szerteszét.”*

Az őszibarack fajtaválaszték kialakulása

Az őszibarack [*Prunus persica* (L.) Batsch] Kínából származó, diploid ($2n = 16$) gyümölcsfaj (Faust és Timon, 1995). A 2011. évi 21.530.701 tonnás világtermésből Magyarország 43.145 tonnával részesedett (Faostat, 2011). A KSH (2013) adatai alapján a 2011. évi össztermés valamivel kevesebb (41.735 t) volt, melyet összesen 5,5 milliárd Ft-ért értékesítettünk. A teljes termőterület 6.530 ha volt.

Őszibarack-fajtaválasztékunk komoly nemzetközi befolyást tükröz. Ennek kialakulása messzire vezet. A XIX. század közepétől a magvaváló francia fajták terjedtek el Magyarországon, olykor magyar elnevezések alatt (pl. 'Szép Örnő' a 'Belle Garde' fordításából; 'Gyümölcskertek királynője' a 'Reine des Vergers' fajtából). Entz Ferenc számos kiváló, sárga húsú magyar tájfajtát írt le (Rapaics, 1944). E fajták érésideje a július végétől szeptember közepéig tartó időszakra esett. Ez lett végül elterjedésük gátja is, mert időközben az amerikai nemesítés új célként tűzte ki a korai érésű duranci barackok nemesítését, melyből hihetetlen gyorsan lett divat. Az első fajta Missouri Államban született meg, az 'Amsden', mely nevét nemesítőjétől kölcsönözte (Rapaics, 1944). Sikerességét mutatja, hogy miközben már az 1896-ban telepítésre ajánlott fajták között is megtalálható volt Magyarországon (Földművelésügyi Magyar Királyi Ministerium, 1896), még a legutóbbi Nemzeti Fajtajegyzék is tartalmazza (NÉBIH, 2012). Ez az amerikai divat vezetett végül ahhoz, hogy az őszibarack magyar elnevezése ma már furcsán cseng. A XIX. század végén, a filoxéra pusztítását követően a szőlővidékek helyén őszibarack ültetvények létesültek, ahová elsősorban a divatos, korán érő, új amerikai fajtákat telepítették.

A 2012. évi Nemzeti Fajtajegyzéken 49 fajta található, melyek többsége, több mint 60 %-a, az Egyesült Államok nemesítési programjaiból származik (NÉBIH, 2012). A Magyarországon nemesített fajták között is találhatók olyanok, amelyek amerikai fajták leszármazottjai (pl. 'Arany csillag'). A 30-as éveket megelőzően már megtalálhatók Magyarországon az amerikai eredetű, híres 'Champion', 'Elberta' vagy 'J.H. Hale' fajták (Horn, 1937). A termesztett fajták túlnyomó többségének eredete a 'Chinese cling' kínai fajtára vezethető vissza, így a közös eredet és az őszibarack öntermékenyülő fenotípusa

miatt a fajták genetikai variabilitása jelentősen elmarad más *Prunus* fajokétól (Hegedűs és mts., 2006; Scorza és mts., 1985).

A korlátozott genetikai variabilitás ellenére az őszibaracknak számos, gazdasági szempontból is jelentős fenotípusos változata ismert. A gyümölcs lehet fehér, sárga és vérpiros húsú, magvaváló és duránci típusú, alakja gömbölyű vagy lapos. A frissen fogyasztott gyümölcsön kívül az őszibarackból többek között befőtt, rostos gyümölcslé, íz, dzsem, aszalvány és gyorsfagyasztott natúr gyümölcs is készül.

Magyar eredetű fajtaként az 'Apolka', 'Arany csillag', 'Elvira', 'Mariska', 'Nektár H.', 'Piroska', 'Remény', 'Szegedi arany' szerepelnek. Magyarországon is régóta ismert, egyes vélemények szerint francia eredetű fajta a 'Vérbarack', melynek gyümölcshúsa vérpiros színű (Mohácsy, 1954). Gyümölcsei igen későn, szeptember utolsó harmadában érnek. Honosítási fajtakísérletek jelenleg is folynak, különösen a lapos barackokra (pl. 'Belmondo', 'Piatta Bianca', 'UFO-4'), lapos nektarinokra ('Mesembrine', 'Ornella', 'Nect. Platt White') és egyéb fajtákra ('Stark Saturn' és 'Sweet Lady') kiterjedően. A konzervipari fajták sárga húsú, duránci változatok, a hagyományos 'Babygold' sorozat tagjainak többsége a 'J.H. Hale' fajta leszármazottja (Szabó és Timon, 2000).

Az őszibarack antioxidáns kapacitásának jellemzése

A fehér és sárga húsú őszibarackok és nektarinok polifenol-tartalma hasonló szélsőértékek között változott, de az azonos típusú fajtákon belül 10-szeres különbségek is kimutathatók voltak (Tomás-Barberán és mts., 2001). Fehér és sárga húsú, kaliforniai nektarin- és őszibarackfajták C-vitamin- és polifenol-tartalmában nem mutatkozott jelentős eltérés, de a sárga húsú fajták karotinoidtartalma közel tízszerese volt a fehér húsú fajtákra jellemző értéknek (Gil és mts., 2002). A sárga húsú 'Redhaven' és fehér húsú rügymutáns változata, a 'Redhaven Bianca' vizsgálatával igazolták, hogy a dioxigenáz enzimeknek jelentős szerepe van az őszibarack karotinoid-bioszintézisére (Brandi és mts., 2011).

A nektarin és molyhos őszibarack fő fenolos vegyületei között a hidroxicinnamátok, proantocianidinek, flavonolok és antocianinok mutathatók ki (Tomás-Barberán és mts., 2001; Veberic és Stampar, 2005). A piros fedőszínnel borított gyümölcsök héjában cianidin-glikozidokat azonosítottak. Az őszibarack héja lényegesen nagyobb mennyiségben tartalmazza az antioxidáns hatású vegyületeket, mint a gyümölcshús (Andreotti és mts., 2008; Manzoor és mts., 2012).

A fehér és sárga húsú őszibarackfajták antioxidáns kapacitásában közel háromszoros különbség volt kimutatható, ugyanakkor a vérbarack változatok gyümölcseit 5–13-szor

nagyobb antioxidáns kapacitás jellemezte, mint a legnagyobb antioxidáns kapacitású fehér- és sárga húsú őszibarackokat (Vizzotto és mts., 2007). Az őszibarack antioxidáns kapacitása jelentősen elmaradt a japánszilvától (Cevallos-Casals és mts., 2006).

Scalzo és mts. (2005a) bizonyították, hogy az őszibarack antioxidáns kapacitását befolyásolja az alanyhatás. Egy nemesítési program 15 hibridpopulációjának összesen 218 genotípusát értékelve megállapították, hogy az egyes hibridcsaládokban az antioxidáns vegyületek eltérő összetétele mutatható ki (Cantín és mts., 2009). A C-vitamin-tartalom nem mutatott korrelációt az antioxidáns kapacitással, az évjárat nem befolyásolta szignifikáns mértékben sem az összes antioxidáns kapacitást, sem az egyes antioxidáns hatású vegyületek mennyiségét. Egy érdekes *in vivo* vizsgálat alapján kiderült, hogy három, közel azonos antioxidáns kapacitású fajta gyümölcse közül csak egy növelte meg a vérplazma antioxidáns kapacitását az elfogyasztását követő 1–4 óra elteltével (Dalla Valle és mts., 2007). Noratto és mts. (2009) igazolták, hogy az őszibarack klorogénsav- és neoklorogénsav-tartalmának köszönhetően jelentős mértékben gátolta az ösztrogén-dependens mellráksejtek osztódását. Az őszibarack más flavonoid vegyületei a vastagbél-daganat-sejtekkel szemben bizonyultak hatásosnak (Lea és mts., 2008).

2.5.2 Cseresznyeszilva, japánszilva, kökény és európai szilva

*„Ha vége, búcsút int a nyár
s ragyog reánk a szilvakék,
miként ha minden ablakunk ma már
az égi szenvedélyre nyílna még.”*

Egyes szilvafajok jellemzői, magyarországi felhasználásuk

A japánszilva (*Prunus salicina* Lindl.) Kínában a Jangce folyó völgyében alakult ki, ezért kínai szilvaként, és érdekes módon, kínai japánszilvaként is emlegetik. Gömbölyű formájú, kerekded, nagy gyümölcsei sárgás, kékeslila, kékesvörös, esetleg kékesfekete színűek. A szilvagyümölcs alatt világszerte e diploid faj ($2n = 16$) gyümölcseit értik, nem az általunk szilvaként számon tartott *P. domestica* gyümölcsét. A mediterrán területeken, Észak- és Dél-Amerikában és Ázsiában jelentős területeken termesztik, de újabban hazánkban is létesült néhány ültetvény. A jelenleg termesztett fajták a Luther Burbank által vezetett USA-beli nemesítési programból származnak, és túlnyomó többségükben kínai, amerikai és európai szilvák többszörös fajhibridjei (Byrne, 1989). A magyar termést július végétől frissen fogyaszthatjuk egészen szeptember végéig, október közepéig.

A cseresznyeszilva (*Prunus cerasifera* Ehrh.) Délkelet-Ázsiától a Kaukázuson át a balkáni területekig őshonos, diploid ($2n = 16$) faj (Faust és Surányi, 1999). Az európai szilva alanyaként használt, francia cseresznyeszilvát mirobalán néven ismerik. A régóta termesztett cseresznyeszilvák genomjába számos közeli faj, így japánszilva-, őszibarack- és kajszigének is bekerülhettek (Eryomine, 1991). Kicsi, kb. 2,5 cm átmérőjű gyümölcse változatos színekben fordul elő: lehet sárga, piros, bíbor vagy fekete (Liu és mts., 2008). Magyarországon csak háztáji felhasználása ismert, elsősorban friss gyümölcsként fogyasztják, de Közép-Ázsia területein változatos felhasználású gyümölcsfaj.

A kökény (*Prunus spinosa* L.) a Kaukázustól Európáig, Észak-Afrikaig sokfelé előforduló, tetraploid ($2n = 32$) faj. Feltételezések szerint a *Prunus cerasifera* és a *Prunus microcarpa* C.A.Mey hibridje (Eryomine, 1991). A gyümölcs hússzíne zöldes, a héj kékes árnyalatú. Magyarországon termesztése igen korlátozott, bár az utóbbi években terjed, szelekciós nemesítéssel Szőke Ferenc magánnemesítő több ígéretes fajtajelöltet is előállított. Egészségvédő termékek keresett alkotója.

A kökényszilva (*Prunus insititia* L.) tövises ágú cserje vagy kis fa, termése gömbölyű, mérete elmarad az európai szilva gyümölcsétől. Hexaploid ($2n = 48$) faj (Faust és Surányi, 1999). Ide tartoznak az alanyként használt 'Saint Julien' klónok, vagy a régi 'Bódi' (Boldogasszony) szilva, mely még fellelhető a Tiszántúlon. Jelenleg gyümölcséért termesztett fajtája nem szerepel a Nemzeti Fajtajegyzéken (NÉBIH, 2012).

Az európai szilva (*Prunus domestica* L.) a *Prunoideae* alcsalád hexaploid ($2n = 48$) faja. Kelet-Európa kaukázusi területeiről származik, eredete bizonytalan. Korábban a cseresznyeszilva és kökény hibridjének tekintették (allopoliploid), mások kizárólag a cseresznyeszilvából eredeztetik (autopoliploid). Miután e fajok maguk is vegyes genetikai háttérrel rendelkeznek, az európai szilva genomja is hordozhat cseresznyeszilva-, japánszilva-, őszibarack- és kajszigéneket (Hegedűs és Halász, 2006). A gyümölcs általában liláskék vagy sötétkék színű, de vannak már éretten is zöldes, pirosas és sárgás változatok. Alakjuk hosszúkás, megnyúlt. Magvaváló vagy nem magvaváló voltak, valamint érési idejük alapján is megkülönböztetjük őket.

A 2011. évi 11.353.707 tonnás világtermésből (diploid és hexaploid szilvák, továbbá kökény együttes mennyisége) Magyarország 37.338 tonnával részesedett (Faostat, 2011). A teljes termőterület 8.397 ha volt (KSH, 2011). A 2011. évi értékesítés folyó áron 2,8 milliárd Ft bevételt eredményezett. Az európai szilvából a friss fogyasztáson túl befőtt, lekvár, íz, dzsem, lé, aszaltvány, töltelék, savanyúság vagy gyümölcspárlat is készülhet.

A 'Besztercei' szilva egyike legősibb szilvafajtáinknak, ez az első számontartott tájfajta (Rapaics, 1944), melynek szelektált klónjai a mai napig megtalálhatók a Nemzeti

Fajtajegyzéken (NÉBIH, 2012). Az ‘Ageni’ szilva és az ‘Althann ringló’ ugyanúgy telepítésre ajánlott fajták voltak a XIX. század végén (Földművelésügyi Magyar Királyi Ministerium, 1896), mint napjainkban. Se szeri, se száma azonban a fajtaneveknek, melyek sokáig fellelhetők voltak az országban, de egy ideje lekerültek a Nemzeti Fajtajegyzékről (pl. ‘Späth Anna’, ‘Kirke szilvája’, ‘Olasz kék’), de olyat is találunk, amelynek neve is régen feledésbe merült már (‘Victoria’, ‘Tarka Perdrigon’, ‘Biondeck korai szilvája’, ‘Cochet szilvája’, ‘Jeruzsálemi kék szilva’, ‘Majlandi Császárszilva’, ‘Hartvöss sárga szilvája’, ‘Páczelt szilva’ stb.) (Horn, 1936). A hazai fajtahasználat szempontjából jelentős változás volt a csacsaki fajták honosítása a 90-es évek elején, míg a tavalyi évben fogadták el a szilvahimlővírussal szemben ellenálló ‘Jojo’-t és ‘Haganta’-t és egy penyigei tájszelekcióból származó klónt (‘Nemtudom P3’) (NÉBIH, 2012). A tavalyi Fajtajegyzékre már három japánszilva is felkerült (‘Black King’, ‘Super Giant’ és ‘Sweet Autumn’).

A szilvák és kökény antioxidáns kapacitásának jellemzése

A ‘Black Beaut’ és ‘Angeleno’ japánszilvafajták kiemelkedő polifenol-tartalommal rendelkeznek (Tomás-Barberán és mts., 2001). A japánszilvafajták C-vitamin- és karotinoidtartalma az őszibarack- és nektarinfajtákhoz hasonló, míg polifenol-tartalmuk nagyobb (Gil és mts., 2002). Szintén a ‘Black Beaut’ és ‘Angeleno’ fajták mutatták a legnagyobb antioxidáns értéket (FRAP). A sárga húsú ‘Shiro’ bioaktív komponenseire a művelésmód jelentős hatást gyakorolt (Lombardi-Boccia és mts., 2004). Cevallos-Casals és mts. (2006) 14 vörös húsú japánszilvafajta összes polifenol-tartalmát, antocianintartalmát, antioxidáns kapacitását és antimikrobiális hatását vizsgálva több mint négyszeres különbséget mutattak ki a legkedvezőbb és leggyengébb genotípusok között.

Vizzotto és mts. (2007) 45 japánszilvafajta és –hibrid antioxidáns kapacitását, összes polifenol-tartalmát és antocianintartalmát hasonlították össze. A piros gyümölcshúsú japánszilvafajták összes polifenol-tartalma és antocianintartalma meghaladta a sárga gyümölcshúsú fajtákra jellemző értékeket, de antioxidáns kapacitásuk szignifikánsan nem különbözött azokétól. A japánszilva legjelentősebb antioxidáns hatású polifenolos vegyületének a klorogénsav bizonyult (Chun és mts., 2003). A betakarítást követő hűtőtárolás során az antioxidáns kapacitás és összes polifenol-tartalom sem csökkent számottevő mértékben (Díaz-Mula és mts., 2009). A szilva antioxidáns kapacitásának 30–50 %-át a lipofil antioxidáns kapacitás adja, amelyben a karotinoidtartalomnak meghatározó szerepe van.

A cseresznyeszilva összes polifenol-tartalmában közel ötszörös variabilitást, a héj antocianintartalmában tízszeres különbséget, antioxidáns kapacitásában (FRAP)

négyszeres eltérést mutattak ki a vizsgált genotípusok között (Wang és mts., 2012). A Törökországban szelektált cseresznyeszilva genotípusok polifenol-tartalma más diploid szilvafajokhoz hasonló volt, ugyanakkor antioxidáns kapacitásuk nem volt jelentős (Gündüz és Saracoglu, 2012).

A kökény antioxidáns kapacitása (hidroxilgyökfogó hatása) és összes polifenol-tartalma több vad gyümölcs között is előkelő helyezést ért el (Egea és mts., 2010). A kökény nagy antioxidáns kapacitása és polifenol-tartalma ellenére csak mérsékelt biológiai hatást mutatott állatkísérletekben (Widén és mts., 2012).

Az európai szilva összes polifenol- és flavonoidtartalma meghaladja az almára jellemző értékeket (Kim és mts., 2003). Az összes polifenol-tartalmat, antioxidáns kapacitást (FRAP) és színparamétereket vizsgálva, egy kanadai nemesítési programban 4–5-szörös variabilitást mutattak ki, ami jó alapnak mutatkozik funkcionális nemesítési programok indításához (Rupasinghe és mts., 2006). Az európai szilva legfőbb polifenolos komponense szintén a klorogénsav és a neoklorogénsav volt, de a katechin és epikatechin is jelentős (Hillis és Swain, 1959; Slimestad és mts., 2009; Usenik és mts., 2008a). A klorogénsav állatkísérletekben szorongásoldó hatást mutatott (Bouayed és mts., 2007). A szilvagümölcs antioxidáns kapacitásának jelentős részét képviselik a nem vízzoldható, és savas hidrolízissel sem kivonható proantocianidin vegyületek (Kristol és mts., 2011). Az európai szilva gyümölcshéját közel 20-szor nagyobb antioxidáns kapacitás jellemzi, mint a gyümölcshúst (Usenik és mts., 2013). A közelmúltban kimutatták, hogy az európai szilva gyümölcshéja rezveratrolt is tartalmaz, ráadásul többet, mint a japánszilva gyümölcshéja (Sebastia és mts., 2012). Az érés során a polifenolos vegyületek mennyisége gyakorlatilag változatlan volt (Usenik és mts., 2008a), miközben az antocianintartalom növekedett (Usenik és mts., 2009). Az érett gyümölcs legjelentősebb antocianin vegyülete a cianidin-3-rutinozid, de peonidin-glikozidok jelenlétét is igazolták.

2.5.3 Kajszi

*„Fenn a lombok smaragd egén
sok száz aranyló fény tekint
a kajszivilág kellős közepén
le ránk, hevítve hűlő éveink!”*

A magyarországi kajszi-fajtaválaszték kialakulása

A kajszi (*Prunus armeniaca* L.) Kínából származó, diploid ($2n = 16$) gyümölcsfaj (Faust és mts., 1998). A kajszi evolúciójában a Kárpát-medence és környéke fontos terület

volt (Halász és mts., 2007). Az európai fajták túlnyomó része öntermékenyülő, míg az ázsiai és az újabb észak-amerikai fajták önmeddők. A gyümölcs alapszíne a sárgásfehértől a mély narancssárgáig terjed, fedőszíne olykor teljesen vörös, bíbor. A 2011. évi 3.834.475 tonnás világtermésből Magyarország 24.766 tonnával részesedett (Faostat, 2011). A teljes termőterület 5.072 ha volt (KSH, 2011). A 2011. évi értékesítés 4,3 milliárd Ft árbevételt eredményezett. A feldolgozóipar befőttet, dzsemet, ízt, rostos gyümölcslevet, aszalványt, gyümölcskrémet, töltelékét és párlatot készít belőle.

A magyarországi kajszit már a XVI. századtól kedvelt volt Nyugat-Európában (Rapaics, 1944), amit a „*magna et optima*” vagy „*Ungarische Beste*” elnevezések is híven tükröznek. Számtalan feljegyzés tanúsítja, hogy az Alföldre az ottomán hódoltság idején Törökországból hoztak kajszicsemetéket (Nyujtó és Surányi, 1981). Az ebből a régióból származó fajtakörök (magyarkajszit, óriáskajszit) kapcsolatát a jelenleg Törökországban termesztett fajtákkal molekuláris vizsgálataink is megerősítették (Halász és mts., 2010). Érdekes megjegyezni, hogy az európai kajszira jellemző öntermékenyülés genetikai eredete is Törökországig volt visszavezethető, és ehhez jelentős mértékben hozzájárult a magyar fajták vizsgálata. A XVIII. században jelentek meg a francia kajszik Magyarországon. Ilyen volt például a ‘Nancy’, melynek leszármazottja a ma is termesztett ‘Budapest’ fajta. A régi magyar fajtákon kívül a Nemzeti Fajtajegyzéken megtalálhatók a Ceglédi Gyümölcstermesztési Kutató-Fejlesztő Intézet fajtái valamint a Budapesti Corvinus Egyetem korai érésű, örmény eredetű fajtái, továbbá a honosított, üzbégi eredetű ‘Szamarkandszkij rannij’ és az afgán eredetűként számon tartott ‘Roxana’ (NÉBIH, 2012).

A kajszit hosszú időn át olyan szűk ökológiai tűrőképességű fajként jellemezték, melynek eredményes termesztéséhez a helyi fajták javasolhatók (Mády és Szalay, 2003). Erre látszik rácsafolni az utóbbi évek tendenciája, vagyis hogy egyre több külföldi fajtát honosítanak hazánkban, olyan fajtákat, melyek világszerte sokfelé bizonyították már alkalmazkodóképességüket, termesztethezességüket. Ide tartoznak a kanadai ‘Harcot’, az USA-beli ‘Bayoto’, ‘Toyaco’, ‘Toyesi’, ‘Toyuda’, az új-zélandi ‘Larclid’ fajták, és a legutóbb honosított német, szilvahimlővírussal szemben rezisztens fajták (pl. ‘Clarina’ és ‘Mino’). Számos új fajta tesztelése folyik jelenleg is árutermő ültetvényekben (‘Bergarouge’, ‘Latter Sabatini’, ‘Ninfa’, ‘Polumella’, ‘Perlecot’, ‘San Castrese’, ‘Vitulo’ stb.).

E folyamat hatására azonban a régi magyar fajták napjainkban is, szinte „észrevétlen” lekerülhetnek a Nemzeti Fajtajegyzékről, ahogyan ez a tavalyi évben a ‘Rakovszky kajszit’-val is megtörtént. Leendő társaival együtt remélhetőleg nem jut majd

az egykorvult, rég eltűnt ‘Kancellár’, ‘Mund kajsi’, ‘Holub-cukor kajsi’, ‘Onossay-féle kajsi’ és ‘Pirospofás’ sorsára.

A kajsi antioxidáns kapacitásának jellemzése

A kajsi antioxidáns vegyületei közül először a karotinoidok (Ruiz és mts., 2005a) és a polifenolok (Ruiz és mts., 2005b) minőségi és mennyiségi megoszlását vizsgálták HPLC-vel néhány spanyol fajtán és nemesítési alapanyagon. A magyar kajszifajták karotinoid-összetételét Sass-Kiss és mts. (2005) hasonlították össze. A kajsigyümölcsben a klorogénsav mellett neoklorogénsav, proantocianidinek, illetve kvercetin- és kempferol-glikozidok találhatók nagyobb mennyiségben (Ruiz és mts., 2005b; Veberic és Stampar, 2005). A kajsi gyümölcshéj klorogénsav-, epikatechin- és rutintartalma felülmúlja az őszibarackra jellemző, hasonló értékeket (Veberic és Stampar, 2005).

A mediterrán területeken termesztett fajták antioxidáns kapacitásának és összes polifenol-tartalmának vizsgálatát Olaszországban és Görögországban is elvégezték. Előbbi vizsgálatban Leccese és mts. (2008) a korai érésű kajszifajták gyümölcsében szignifikánsan kisebb antioxidáns kapacitást mértek, mint a később érő gyümölcsökben. A görög Drogoudi és mts. (2008) a legnagyobb antioxidáns kapacitást egy amerikai × görög hibrideredetű új fajtában mérték. Az amerikai fajtákat átlagosan nagyobb antioxidáns kapacitás és polifenol-tartalom jellemezte, mint a görög fajtákat. Később a török Malatya-régióban termesztett kajsi beltartalmi értékeit határozták meg, köztük az összes polifenol-tartalmat, karotinoidtartalmat és ásványi-elem-tartalmat (Akin és mts., 2008).

Kajsi esetében igazolták a polifenol-tartalom változását a gyümölcsérés folyamán, illetve a termőterület befolyásoló hatását (Dragovic-Uzelac és mts., 2007a; Hegedűs és mts., 2011). Az évjárat szignifikáns befolyásoló hatását első ízben eredményeink (Hegedűs és mts., 2010) bizonyították (lásd később), amit utóbb más termőtájakon is megerősítettek (Leccese és mts., 2012a). A különböző genotípusok esetében ugyanazon környezeti változás az antioxidáns kapacitás/összes polifenol-tartalom eltérő mértékű módosulását idézte elő. Leccese és mts. (2012b) eredményei alapján a legnagyobb antioxidáns kapacitás és polifenol-tartalom azokra a fajtákra volt jellemző, melyek pedigréjében más kajszifaj (pl. *Prunus mandshurica*, *P. brigantiaca*) is megtalálható.

A közelmúltban bizonyították, hogy a kajszifogyasztás a kis dózisértékű röntgensugárzás okozta károsodást (Ugras és mts., 2010), illetve a miokardiális iszkémia-reperfüziós károsodást is (Parlakpınar és mts., 2009) képes mérsékelni. A kajsi karotinoid vegyületeit (különösen a luteint) hatékonynak találták az amyloid- β peptidek aggregációjának gátlásában (Katayama és mts., 2011). Ennek következtében a kajsi és más jelentős

luteintartalmú gyümölcsök kivételes perspektívát képezhetnek olyan betegségek megelőzése terén, mint például az Alzheimer-kór. Jiménez és mts. (2008) kimutatták, hogy a mélyhűtés kismértékű, a konzervipari feldolgozás jelentős mértékű veszteséget idéz elő a kajszi antioxidáns kapacitásában.

2.5.4 Cseresznye

*„Vér pirosával int feléd
a görcsös, vén cseresznyeág,
szíved a szíve, lüktet, szinte ég
s függ az időn, nevet reád*

*testvér-sorsba forrt fűrtökön,
mint két iker: egyben a más
magát csodálja élő tükrökön –
mosolya sodró áradás.”*

A magyarországi cseresznye-fajtaválaszték kialakulása

A cseresznye (*Prunus avium* L.) a *Rosaceae* család *Prunoideae* alcsaládjába tartozó, diploid ($2n = 16$) faj. Fája 20–25 méterre is megnő. Május végén, júniusban általában párban lecsüngő, formás, szív alakú, gömbölyded, csonthéjas gyümölcssei nyitják meg a nyári gyümölcsök sorát. Fajtától függ héjának puhasága és a gyümölcshús lédús volta (G. Tóth, 1997a; Szabó és mts., 2011). A korán érő cseresznyék általában világosabbak, a későiek sötétebb színűek. A 2011. évi 2.240.491 tonnás világtermésből Magyarország 7.722 tonnával részesedett (Faostat, 2011). A teljes termőterület 2.270 ha volt. A 2011. évi cseresznyeértékesítés folyó áron 1,9 milliárd Ft bevételt eredményezett (KSH, 2011). A cseresznye feldolgozása során elsősorban befőtt, a sötét hússzínűekből dzsem készül.

Egy magyar korai cseresznyét már a XVI. században kedveltek Bécsben, mely Rapaics (1944) véleménye szerint azonos lehetett a XX. század elején ‘Májusi korai szívcsesznye’-ként ismert fajtával. A kapcsolatot az is valószínűsíti, hogy egy bécsi kiadású pomológiai munka is bemutat ugyanezen a néven egy cseresznyefajtát (Kraft, 1792). Száz évvel később is megtalálható a Magyarországon telepítésre ajánlott fajták között (Földművelésügyi Magyar Királyi Ministerium, 1896), ahogyan további negyven év elteltével is (Horn, 1939). Végül feltehetően az 1973-ban megjelent ‘Münchebergi korai’ fajta következtében szorult ki a termesztésből.

A fekete színű, festőlevű gyümölcsöt termő változatok is régtől fogva ismertek voltak Magyarországon. Híresebb képviselői például az ‘Entz feketecseresznyéje’ vagy a

‘Nagy fekete ropogós cseresznye’, melynek ‘Ölyvedi cseresznye’ néven egy tájfajtáját is megkülönböztették (Rapaics, 1944). Napjainkban az Eger környékén szelektált ‘Szomolyai fekete’ tájfajta a legnépszerűbb íze és feldolgozásra, mélyhűtésre egyaránt alkalmas gyümölcse miatt (G. Tóth, 1997a). Szőke Ferenc magánnemesítő jelenleg is folytat tájszelekciós munkát a Lövőpetri környékén begyűjtött feketecseresznye-változatokkal.

A XIX. században jelentős hatással voltak a magyar cseresznyetermesztésre a Rajna vidékéről hozzánk került nyugati cseresznyék. Innen eredeztethetők a mai napig a Nemzeti Fajtajegyzéken található ‘Hedelfingeni óriás’ fajta és a ‘Germersdorfi’ klónok (NÉBIH, 2012). A pomológiai szempontból tekintélyes genetikai változékonyságot mutató tájfajták sokasága tűnt azonban el a termesztésből az 1940 és 1960 közötti években (Növényfajtamínősítő Tanács Titkársága, 1961; Unghváry József Faiskolája, 1939). Az elmúlt, megközelítőleg 150 év alatt a német eredetű fajták is „asszimilálódtak”, hiszen ezek genetikailag nem azonosak a Németországban azonos név alatt számon tartott fajtákkal (Békefi, 2008).

Az elmúlt években a magyar fajtaválaszték jelentősebb bővülését eredményezték az Érdi Gyümölcs- és Dísznövénytermesztési Kutató-Fejlesztő Kht. öntermékenyülő (pl. ‘Alex’, ‘Paulus’, ‘Petrus’) és önmeddő (pl. ‘Katalin’ és ‘Linda’) fajtái. A külföldi fajták honosításának sikerét igazolja a német ‘Regina’ és az ukrán ‘Krupnoplodnaja’ magyarországi megjelenése. Jelenleg is találhatók árutermő ültetvényeinkben kipróbálásra szánt fajták (pl. a kanadai ‘Celeste’ és ‘Santina’, az észak-amerikai ‘Chelan’, ‘Firm Red’ és ‘Giant Red’, vagy az olasz ‘Ferrovia’) (Szabó és mts., 2011).

A cseresznye antioxidáns kapacitásának jellemzése

A cseresznye antocianintartalmát és antioxidáns kapacitásának érés alatti változását Serrano és mts. (2005) vizsgálták. Chaovanalikit és Wrolstad (2004a) három cseresznyefajta összes antocianin-, összfenol-tartalmát és antioxidáns kapacitását (oxigéngyök-semlegesítő és vasredukáló kapacitás) jellemezték. A ‘Bing’ antocianintartalma meghaladta a ‘Montmorency’ meggyfajtáét, bár összfenol-tartalma és antioxidáns kapacitása kisebb volt. A cseresznye polifenolos vegyületei közül a hidroxicinnamátok voltak meghatározók, melyek stabilitását a feldolgozás kedvezőtlenül befolyásolta (Chaovanalikit és Wrolstad, 2004b). A cseresznye klorogénsav-, epikatechin- és rutintartalma azonos az őszibarack és kajsz gyümölcshúsban mérhető értékekkel, vagy kismértékben meghaladja azokat (Veberic és Stampar, 2005). A cseresznyefajták között közel négyszeres különbséget mutattak ki az antioxidáns kapacitásban (Kelebek és Selli, 2011). Olasz, francia, szerb és magyar fajták között ennél is kisebb volt a variabilitás

(Usenik és mts., 2008b). Az egyik kiemelkedő antioxidáns kapacitású fajta – meglepő módon – a sárgás gyümölcshúsú ‘Ferrador’ volt.

Humán kísérletekkel igazolták, hogy 280 g cseresznye (‘Bing’ fajta) elfogyasztása szignifikánsan csökkentette a vizsgált egészséges nők vérplazmájában mérhető húgysav-koncentrációt, ami a cseresznye hatóanyagainak köszvényellenes hatására utal (Jacob és mts., 2003).

2.5.5 Meggy

„Öleli a földet az ég
karjai közt kitárt útja:
örzi rubintra érő gyümölcsét
a Nap, s tűzvirágok nyílnak újra...”

A magyar meggy-fajtaválaszték kialakulása

A meggy (*Prunus cerasus* L.) feltételezések szerint a vadon termő csepleszmeggy (*P. fruticosa* Pall.) és a cseresznye tetraploid ($2n = 32$) fajhibridje, amit az utóbbi években molekuláris vizsgálatokkal is igazoltak (Dirlewanger és mts., 2009). Sötétszürke kérgű bokor vagy fa. A cseresznyénél rövidebb életű. Fajtái között önmeddők és öntermékenyülők is vannak (Hegedűs, 2006). A 2011. évi 3.834.475 tonnás világtermésből Magyarország 24.766 tonnával részesedett (Faostat, 2011). A KSH adatai alapján azonban a 2011. évben 61.735 t volt az összes termés, melynek értékesítése folyó áron 13,8 milliárd Ft bevételt eredményezett (KSH, 2011). A teljes termőterület 14.486 ha volt. Termése különösen a feldolgozóipar számára értékes: befőtt, dzsem, ivólé, szörp, bor és likőr, gyorsfagyasztott natúr meggy, aszalvány, gyümölcskrém stb. készül belőle. A gyümölcshús és -lé színe alapján két csoportot különítünk el: az egyik csoportba az ún. *amarella* meggyek tartoznak (a gyümölcshús világos, a leve csaknem színtelen), míg a *morello* típusú meggyeket sötétpiros hússzín jellemzi és festőlevűek (G. Tóth, 1997b).

A meggy Rapaics (1944) szerint az első gyümölcse a magyarságnak, erre utal neve is. Az a tény, hogy számos olyan település létezik hazánkban, melynek nevében a meggy szó megtalálható, azt mutatja, hogy régtől fogva sokféle termesztett, kedvelt gyümölcs volt. A XVII. században ‘Spanyol meggy’ néven terjednek el a mai meggyre hasonlító gyümölcsű fajták, a XIX. század végén pedig már fellelhető hazánkban a feltehetően spanyol eredetű, de hozzánk a Rajnavidekről érkező ‘Ostheimi meggy’ (Földművelésügyi Magyar Királyi Ministerium, 1896). Különösen érdekes, hogy az orvos Entz Ferenc a következőképpen írt erről a fekete színű, festőlevű fajtáról: „*Ha van gyümölcsfa, mely*

Magyarországon a hatóságok figyelmét megérdemelné, az Ostheimi meggyfa az, miután gyümölcse nemcsak az egészséges étszerek készletét szaporítja, hanem minálunk egyenesen az éghajlat sajátosságai által szükségessé vált és számos betegségeket megelőző gyógyszerek sorozatába tartozik. (Rapaics, 1944)” A fajta valamikor az ötvenes évek végén kívül került a szaporításra javasolt fajták körén, és napjainkban sajnos már nem fellelhető.

Érdekes megfontolni, hogy az ‘Ostheimi meggy’-et egy időben a ‘Cigánymeggy’ helyett javasolták, melynek három klónja jelenleg is megtalálható a Nemzeti Fajtajegyzéken (NÉBIH, 2012). Ez a kis gyümölcsű, fekete festőlevű gyümölcsöt termő, hazánkban kialakult, ismeretlen eredetű fajta igen savas gyümölcsei miatt elsősorban feldolgozásra (légyártás) használatos. Jóllehet az ‘Ostheimi meggy’ elveszett, számos nagy antocianintartalmú gyümölcsöt termő fajta ismert napjainkban is, például az ‘Érdi jubileum’ és a ‘Csengődi’. A közelmúlt fajtabejelentései között megtalálhatók a VN jelű, Vásárosnamény területén szelektált klónok (Szőke Ferenc, szóbeli közlés), melyek gyümölcshéja és -húsa érett állapotban egyaránt fekete színű.

A másik régi, messzeföldön híres meggyfajtánk a ‘Pándy’ meggy, melynek szintén csak három szelektált klónja szaporítható (NÉBIH, 2012). Számos társneve ismert, pl. ‘Kőrösi meggy’ (Havasy, 1939), sokáig üvegmeggyként is nevezték, ami halványpiros színű, nem festőlevű gyümölcshúsára utal. Kiváló meggyfajta, amit az is bizonyít, hogy az egykoron sok gondot okozó önmeddősége ellenére is meg tudta őrizni népszerűségét. Rapaics (1944) ugyanakkor beszámolt arról is, hogy sikerült öntermékenyülő változatot találni a ‘Pándy’ meggy állományában.

Feltehetően ezek közül szelektálták a jelenleg ‘Újfehértói fürtös’ néven számon tartott fajtát Pető Ferenc és munkatársai az 1960-as években. Az Istenes Dániel kertjében kiválasztott fa később öntermékenyülőnek bizonyult, és 1970-ben előzetes, 1978-tól végleges állami elismerést kapott ‘Újfehértói fürtös’ néven (Szabó, 2008). Később kiderült, hogy a fajta *S*-genotípusa és mikroszatellit profilja gyakorlatilag azonos a ‘Pándy’ meggyel, leszámítva, hogy a tetraploid meggy négy *S*-allélja közül kettő funkcióvesztéses mutációt szenvedett az ‘Újfehértói fürtös’ genomjában (Hauck és mts., 2006). Az öntermékenyülés a második mutáció eredményeként jött létre. A ‘Pándy’ meggy négy allélja közül csak az egyik funkcióképtelen, így a diploid (két *S*-allélt hordozó) pollenszemekben csak olyan allélkombinációk alakulhatnak ki, ahol az egyik vagy mindkét allél funkcióképes. A legalább egy funkcióképes allélt hordozó pollentömlőket a bibe felismeri, és a pollentömlők növekedését, a termékenyülés bekövetkezését megakadályozza. Az öntermékenyüléshez arra van szükség, hogy a pollentömlőben legalább két funkcióját veszített *S*-allél legyen jelen, ahogyan az ‘Újfehértói fürtös’

esetében történt. Ebben az esetben a bibe nem ismeri fel a pollent, és nem utasítja el: a termékenyülés akadálytalan.

Az 'Újfehértói fürtös' igen sikeres hazai és nemzetközi karriert futott be. A Michigan Állami Egyetem munkatársai 1984-ben honosították 'Balaton' néven. A különböző amerikai meggyfajták között a 'Montmorency' fajtával együtt e fajta beltartalmi értékei, fitokemikáliái bizonyultak a legkiemelkedőbbnek, melyek vizsgálatából számos tudományos közlemény és szabadalom született. Több európai országban (Németország, Lengyelország, Szerbia stb.) is termesztik. Jelenleg készül a fajta 40 éves történetéről szóló, Pető Ferenc által jegyzett, összefoglaló tanulmány.

Az északkelet-magyarországi tájszelekció napjainkig számos fajtát adott, köztük a 'Debreceni bőtermő', 'Éva', 'Kántorjánosi 3', 'Petri' fajtákat. A honosításnak gyakorlatilag nincs szerepe a magyar fajtaválaszték kialakításában, leszámítva a volt Jugoszlávia területéről hazánkba érkezett 'Oblacsinszka' fajtát, mely elsősorban feldolgozásra alkalmas gyümölcsöt terem. Megtalálható még néhány ültetvényben a 'Fanal' nevű, német eredetű, sötétpiros gyümölcsű, festőlevű, elsősorban ipari fajta is, mely feltehetően a német 'Latos meggy' hibridutódja (Faluba, 1982).

A másik csoport tagjai, az *amarella* meggyek, szintén régóta fellelhetők hazánk területén. Több ilyen változat látható már Kraft (1792) pomológiai művében, és száz év elteltével, a XIX. század végén telepítésre ajánlott fajták között is megtalálhatók a feltehetően francia eredetű 'Királyi Amarella' és a 'Nyári piros amarella' elnevezések alatt (Földművelésügyi Magyar Királyi Ministerium, 1896). A már említett, a XVII. század óta ismert 'Spanyol meggy' is ebbe a csoportba tartozik. Ennek tájfajtáit is megkülönböztették (pl. nagykőrösi vagy balatonfüredi 'Spanyol meggy'). Értékét híven mutatják Jókai Mór (1896) szavai, aki még azzal is megvádolta a féltékeny tulajdonosokat, hogy kertjében azért nem eredt meg soha a fajta, mert szándékosan életképtelen csemetéket/szaporítóanyagot adtak belőle: „*S ez az én kedvencz gyümölcsöm hiányzik a kertemből. Se a kész csemetéje, se az ojtóága nem éled meg nálam. Ha babonás volnék, azt hinném, hogy megátkozták. Az olaszok nem féltékenyebbek Tintoretto festményeire, mint a fürediek, kőrösiek a spanyolmeggy specialitásaikra. Volt egy ismerősnőm, a kinek a kertjében a legritkább fajta virágok voltak találhatók, minőket díszkertészeknél sem látunk. Ha kértünk tőle azoknak a virágoknak a magvából, szívesen adott. De abból egy szem se kelt ki. A féltékeny urnő előbb – leforrázta az ajándék magokat.*”

Az Amerikai Egyesült Államok legelterjedtebb, szintén francia eredetű, 'Montmorency' nevű fajtája is *amarella* meggy. Kecel környéki tájszelekció eredményezte a 'Pipacs 1' fajtát és a 'Pipacs 2' fajtajelöltet, melyek közül az előbbi 1980-tól szerepel a

Nemzeti Fajtajegyzéken (NÉBIH, 2012). Jellegzetesen kesernyés ízű gyümölcsét tortameggyként használták, és Nyugat-Európába exportálták hosszú időn át, hiszen sárga gyümölcshúsa nem okozott elszíneződést a süteményeken. Nemesítője Kovács Sándor (1927–2004), a Budapesti Corvinus Egyetem Gyümölcstermő Növények Tanszék jogelődjének oktató-kutató tanára. Nemesítői sikereit híven tükrözi, hogy a ‘Pipacs 1’-en kívül nyolc alma- és meggyfajtája szerepel mind a mai napig a Nemzeti Fajtajegyzéken (NÉBIH, 2012). A szintén pipacsmeggyek közé sorolt magyar ‘Korai pipacs’ a ‘Pándy’ és a ‘Császár’ hibridje (Apostol, 2003), így hasonló neve ellenére genetikailag jelentősen különbözik a ‘Pipacs 1’ fajtától.

A meggy antioxidáns kapacitásának jellemzése

A meggy számos különböző antioxidáns vegyületet tartalmaz, ezek közül legjelentősebbek a melatonin (Burkhardt és mts., 2001), perillil alkohol, ellágsav, flavonoid komponensek (Wang és mts., 1999), köztük az antocianinok (Bonerz és mts., 2007; Chaovanalikit és Wrolstad, 2004a; Kang és mts., 2003; Seeram és mts., 2001a). A ‘Montmorency’ meggyfajta polifenolos vegyületei közül a flavanolok a meghatározó csoport, melyek stabilitását a feldolgozás nem befolyásolja (Chaovanalikit és Wrolstad, 2004b). Olasz meggyfajtákban a színtelen flavonoidok és kinasav-származékok jelentős antioxidáns kapacitását igazolták (Piccolella és mts., 2008).

A meggy és a belőle készített termékek összes antioxidáns kapacitását számos módszerrel (FRAP, TEAC, ORAC stb.) vizsgálták (Blando és mts., 2004; García-Alonso és mts., 2004; Karakaya és mts., 2001). A magyar meggyfajták és néhány bosnyák klón gyümölcsének vízdoldható és zsírdoldható antioxidáns kapacitását Veres és mts. (2005) jellemezték Photochem (Analytik Jena) készülékkel. A fajták közül a ‘Csengődi’ és ‘Kántorjánosi’ mutatta a legnagyobb antioxidáns kapacitást. A ‘Csengődi’ antocianintartalma is kimagaslónak bizonyult tíz meggyfajta vizsgálatakor (Sass-Kiss és mts., 2005). A meggy legnagyobb antioxidáns kapacitást mutató vegyületei közül a kempferolt és a melatonint 2:1 arányban, a cianidin-rutinozidot és az izoramnetin-3-rutinozidot 1:4 arányban erős szinergista hatás jellemzi (Kirakosyan és mts., 2010).

A meggy gyümölcsének és fontosabb biológiai hatással rendelkező vegyületeinek egészségi hatásairól McCune és mts. (2011) készítettek átfogó tanulmányt. A meggy antocianin glükozidjai jelentős mértékű ciklooxygenáz-gátlást mutattak (Seeram és mts., 2001b), melyekről később igazolták, hogy kísérleti állatokban hatékonyan csökkentik a gyulladásos eredetű fájdalomérzetet (Tall és mts., 2003). A meggyből készült termékek közül a gyümölcs-sűrítmény őrizte meg leginkább antioxidáns és gyulladáscsökkentő

hatását (Ou és mts., 2012). A mélyhűtés során maradt meg a legtöbb antocianin, a sűrítést követően a legtöbb procianidin. Egy másik kísérletben azt tapasztalták, hogy a sűrítmenyből visszahígított gyümölcsle gátolta a ciklooxygenáz-2 (COX-2) enzimet az egerek májában és vérében, de nem mutatott ilyen hatást az agysejtekben (Saric és mts., 2009). A meggy COX-gátló hatása megegyezett közel 10 μ M ibuprofen gátló hatásával (Ferretti és mts., 2010).

Humán kísérletek alapján igazolódott, hogy a túlzott fizikai igénybevételből eredő izomsérülések kialakulása is mérsékelhető meggylé fogyasztásával (Connolly és mts., 2006). A nyálban megtalálható, káros baktériumokkal szemben megnyilvánuló antibakteriális hatás a meggy érésével, az antocianinfelhalmozódás menetével párhuzamosan fokozódott (Hevesi és mts., 2012). A legerősebb hatást a legnagyobb antocianintartalmú 'Érdi jubileum' fajta mutatta. Állatkísérletekben a liofilizált meggy hatására csökkent valamennyi hiperlipidémiára utaló paraméter (trigliceridszint, a májszövet zsírtartalma stb.) (Seymour és mts., 2008). Ezenkívül a meggyből izolált antocianin és annak cianidin aglikonja mérsékelte az egér emésztőszervi daganatsejtek és humán vastagbél-daganatsejtek növekedését (Kang és mts., 2003). Khoo és mts. (2011) Dániában termesztett meggyfajták gyümölcsének antioxidáns és daganatellenes hatását hasonlították össze. A 'Fanal' egyike volt a legkiemelkedőbb fajtáknak mindkét szempontból.

2.6 A gyümölcsök antioxidáns kapacitásának módosítása

Az antioxidáns hatású vegyületek mennyiségének megőrzése vagy fokozása jelentős célkitűzés valamennyi tápláléknövény esetében. A lehetőségek spektruma a nemesítéstől kezdődően, a termesztési körülményeken át a posztharvest technológiákig terjed. A gyümölcsök antioxidáns hatású vegyületei közül a polifenol-tartalom sokkal érzékenyebben reagál a környezeti hatásokra, mint a C-vitamin- vagy karotinoidtartalom (Kalt, 2005). A tárolás során a C-vitamin-tartalom általában gyors csökkenést mutat (Lee és Kader, 2000), ami nem jellemző a polifenolokra és a karotinoidokra. A C-vitamin és a polifenol-tartalom azonban sokkal jelentősebb mértékű veszteséget szenved a feldolgozás során, mint a karotinoidtartalom (Kalt, 2005).

A napsütésnek kitett almagyümölcsök antocianin- és kvercetin-tartalma meghaladta az árnyékban fejlődő gyümölcsökét (Awad és mts., 2000). Bizonyos gyümölcsfajok esetén a szárazság és a sóstressz is fokozta néhány polifenolos vegyület mennyiségét. A nagy adagú nitrogéntrágyázás és jó vízellátottság csökkenti a C-vitamin-tartalmat (Lee és Kader,

2000). A nappali és éjszakai hőmérséklet növelésével fokozható volt az üvegházban nevelt szamóca fenolsav-, flavonol- és antocianintartalma (Wang és Zheng, 2001). Őszibarack és körte esetében a biotermesztés hatására nagyobb antioxidáns kapacitást és polifenol-tartalmat mértek, mint a hagyományos termesztésből származó ugyanazon fajták esetében (Carbonaro és mts., 2002). A szilva antioxidáns hatású vegyületeinek mennyiségében is mutatkozott különbség a hagyományos vagy biotermesztés hatására (Lombardi-Boccia és mts., 2004).

A szamóca, málna és áfonya antioxidáns kapacitását és polifenol-tartalmát a 10-30 °C-os, 8 napos tárolás fokozta (Kalt és mts., 1999). Szignifikánsan fokozódott az UV-C (200–280 nm) sugárzásnak kitett szamóca összes polifenol-tartalma és antocianintartalma (Erkan és mts., 2008), valamint a trópusi gyümölcsök antioxidáns hatása és flavonoidtartalma (Alothman és mts., 2009). Az oxigénhiányos légtér és a 10 %-ot nem meghaladó CO₂-koncentráció képes lassítani a betakarítást követő C-vitamin-vesztéséget (Lee és Kader, 2000).

A gyümölcsök polifenol-tartalma fokozható ún. elicitor vegyületek kijuttatásával, melyek elsődleges szerepe a kórokozókkal szembeni védelem. Ezt a hatásukat részben a növényi polifenolos komponensek mennyiségi növelésével érik el, ami azonban ezek humán egészségre gyakorolt hatása miatt is kedvező lehet. A kitozán, a benzotiadiazol, a harpin fehérje, a metil-jazmonát, az 1-metilciklopropán és más vegyületek számos gyümölcsfaj esetében fokozták az összes polifenol-tartalmat vagy bizonyos polifenolos vegyületek mennyiségét (Ruiz-García és Gómez-Plaza, 2013).

A genetikai transzformáció segítségével jelentősen módosítható a növényi polifenolos vegyületek anyagcsereútja. A természetes változékonyság határain túllépő új tulajdonságok előállítása biotechnológiai módszerekkel az ún. superdomesztikáció folyamata (Vaughan és mts., 2007). A kukorica levélszínéért felelős gén almában történő kifejeztetése például jelentősen megnövelte a transzgénikus alma cianidin-3-galaktozid, epikatechin- és katechintartalmát (Li és mts., 2007).

A genetikai transzformációval történő fajta-előállítás komplex, drága folyamat, és fogyasztói megítélése igen kérdéses, ezért a hagyományos nemesítés perspektivikusabb megoldást kínálhat. Ilyen nemesítési programok akkor tervezhetők, ha kellően nagy variabilitást képvisel a nemesítési alapanyag, és találhatók kiemelkedő antioxidáns hatású/polifenol-tartalmú egyedek, melyeket donor genotípusként használhatunk a keresztezések tervezésénél. Fontos továbbá, hogy kellő mértékű legyen a javítani kívánt tulajdonság heritabilitása. Ezen szempontok alapján áfonya és málna esetében közel egy évtizede igazolták egy ilyen program megvalósíthatóságát (Connor és mts., 2002, 2005).

Később számóca esetében is hasonló eredmények születtek (Capocasa és mts., 2008). A szükséges variabilitás biztosítása számos esetben csak úgy lehetséges, hogy a közeli rokon vad fajokat használták a keresztezéses nemesítési program nyitó lépéseként (Scalzo és mts., 2005b). Fán termő gyümölcsök esetében szintén valószínűsíthető egy ilyen program sikere, jóllehet konkrét eredményekről a fásszárú kultúrnövények hosszabb generációs idejéből adódóan még nem számoltak be. Felvetődött és megkezdődött azonban a megközelítés alkalmazása őszibarack és cseresznye esetében (Cantín és mts., 2009; Díaz-Mula és mts., 2009).

Mindennek alapján a gyümölcsök antioxidáns hatásának növelésére, és feltételezhető egészségi hatásuk fokozására számos megközelítés alkalmazható. Ezek közül az első és legalapvetőbb megoldás a termesztés biológiai alapjait képező fajták javítása nemesítés útján, melyet a nemesítési alapanyagok elérhető, legszélesebb körén elvégzett biokémiai/genetikai vizsgálatok kell megelőzzenek.

3 CÉLKITŰZÉS

A gyümölcsök antioxidáns kapacitásának jellemzésére fordított közel egy évtizedes munkánk a bogyógyümölcsök és az alma Magyarországon termesztett világfajtáinak és hazai fajtáinak vizsgálatával vette kezdetét. Ezt követően a jelen értekezésben bemutatott kísérletek az ebből a szempontból sokkal kevésbé ismert csonthéjas gyümölcsök vizsgálatára összpontosítottak, mely munkát az alábbi kutatási célok mentén valósítottuk meg:

- 1) A csonthéjas gyümölcsök átlagos antioxidáns kapacitásának összehasonlítása.
- 2) A jelentősebb gazdasági értékű és néhány különleges csonthéjas gyümölcs antioxidáns hatásában megnyilvánuló intraspecifikus variabilitás jellemzése.
- 3) A variabilitás hátterében álló tényezők azonosítása.
- 4) Kiemelkedő antioxidáns kapacitású, ún. szupergyümölcsöt termő fajták/genotípusok azonosítása.
- 5) A kiemelkedő antioxidáns kapacitásban szerepet játszó vegyületcsoportok azonosítása.

Két gyümölcsfaj, a kajszi és a meggy esetében szélesebb mintakörön, több év során elvégzett, részletesebb vizsgálatokra is lehetőségünk nyílt. Ezek a kísérletek a következő fő célok köré szerveződtek:

- 6) Felmérni a kajszi antioxidáns kapacitásának változását az érés folyamán, eltérő gyümölcsrészek és genotípusok szerint.
- 7) A kajszi és a meggy flavonoid-bioszintézisében feltételezhetően szerepet játszó gének azonosítása.
- 8) Jellemezni néhány flavonoid-bioszintézis gén expresszióját a kajszi és a meggy érése során két eltérő antioxidáns kapacitású gyümölcsöt termő genotípus esetében.
- 9) Kiválasztani azokat a géneket, melyek szerepe vélelmezhető az eltérő antioxidáns kapacitás kialakításában.
- 10) Előzetesen felmérni a szupergyümölcsként ajánlható meggyfajták potenciális kuratív hatását.

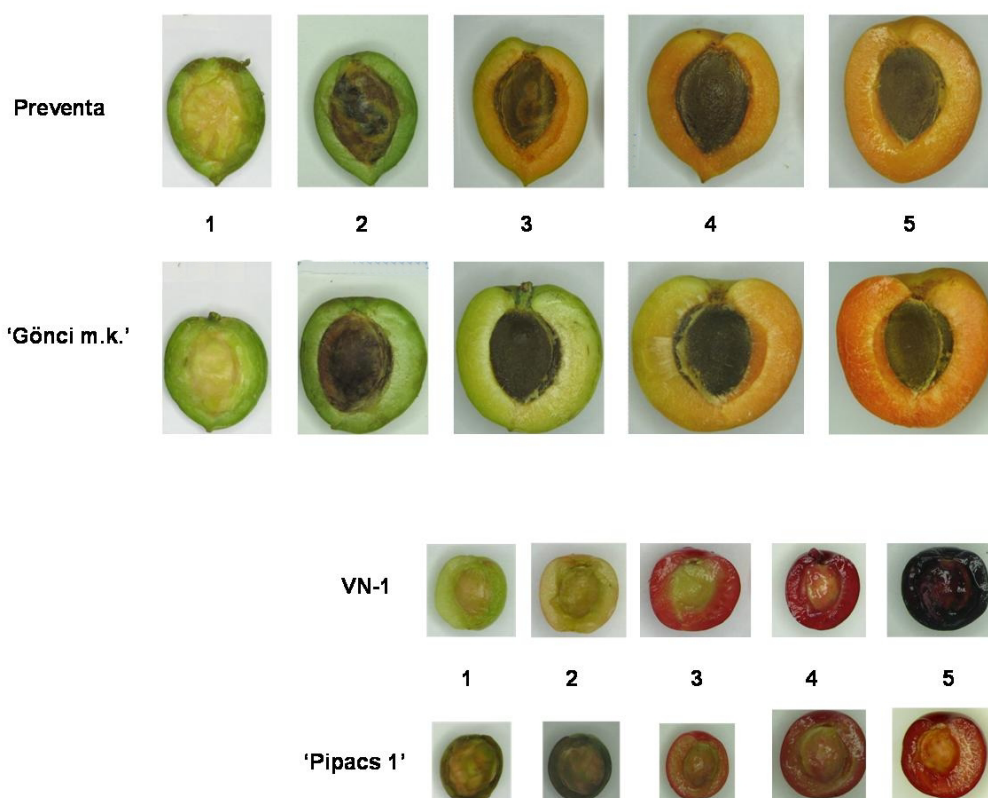
dc_634_12

Munkánk hosszú távú célja, hogy hozzájáruljon a csonthéjas gyümölcsök egészségtudatos táplálkozásban betöltött szerepének megismeréséhez, és felhasználásukkal új, meghatározott egészségi hasznosságú, vagy bizonyos terápiás célokat támogató élelmiszerek kialakítására is sor kerülhessen. Nem titkolt célja volt munkánknak, hogy alátámasszuk a még jelenleg is hozzáférhető genetikai variabilitás megőrzésének szükségszerűségét és ésszerűségét. Számos fajtáról derülhet ki, hogy olyan értékeket is hordoz, melyeket még fel sem ismertünk, ahogyan ez nem egyszer meg is történt. A gyümölcsfák genetikai alapjait vagyontárgyként kell kezelnünk, és megőriznünk a következő generációk számára. Jelen munkában ennek az értékmentésnek egy aspektusát kívánom bemutatni.

4 ANYAG ÉS MÓDSZER

4.1 Növényanyag

Az antioxidáns hatás jellemzéséhez kilenc faj összesen 133 fajtáját használtuk fel. A mintagyűjtés helyét és a gyümölcsök legfontosabb tulajdonságait az 1. melléklet tartalmazza. A flavonoid-bioszintézis gének azonosításához és a transzkriptomikai vizsgálatokhoz hat kajszi-genotípust ('Aurora', 'Ceglédi arany', 'Gönci magyarkajszi', 'Harcot', Preventa és 18/61-es hibrid), továbbá három meggy-genotípust ('Pipacs 1', 'Újfehértói fürtös' és VN-1 hibrid) használtunk fel. A génexpresszió vizsgálatához a kajszi- és meggy-gyümölcsöket két-két fajtáról öt különböző érési stádiumban szedtük le (10. ábra).



10. ábra. A kajszi ('Gönci magyarkajszi' és Preventa) illetve meggy ('Pipacs 1' és VN-1) transzkriptomikai vizsgálatához felhasznált gyümölcsök érési állapota. A gyümölcsök mérete az egyes fajokon belül, a fajták és az egyes érési állapotok között méretarányos.

Kajszi esetében az egyes érési állapotokra a következő fenotípusos tulajdonságok voltak jellemzőek: 1: éretlen, kisméretű, zöld színű gyümölcs, 2: nagyobb méretű, zöld

gyümölcs, 3: közel kifejlett méretű, zöld gyümölcs, 4: kifejlett méretű, színeződő gyümölcs, 5: teljesen érett, a fajtára jellemző méretű és színű gyümölcs. A meggy esetében: 1: éretlen, kisméretű, zöld gyümölcs, 2: a piros fedőszín megjelenik, 3: világospiros színű gyümölcs, 4: nagyobb, intenzívebb piros színű gyümölcs, 5: teljesen érett, a fajtára jellemző méretű és színű gyümölcs (10. ábra).

4.2 A fizikai-kémiai paraméterek meghatározása

A friss gyümölcsök méretét (magasság, varratra merőlegesen és varrattal párhuzamosan mért átmérő), tömegét és színparamétereit 10–35 ismétlésben rögzítettük. A tömegértékeket g-ban két tizedesjegy-pontossággal vettük fel, a méreteket digitális tolómérővel mm-ben rögzítettük két tizedesjegy-pontossággal. Az eredményeket egy tizedesjegyre kerekítve tüntettük fel. A gyümölcsökből préselt lé oldható szárazanyag-tartalmát (%) digitális refraktométerrel (ATAGO Corporation, Tokió, Japán) mértük 3–10 ismétlésben. A titrálható savtartalmat kajszis és meggy homogenizált gyümölcséből (10 g) határoztuk meg 10-szeres hígítást követően. A 10 ml extraktumot 0,1 M NaOH-dal titráltuk, mintánként két párhuzamos titrálást végeztünk. A savtartalmat almasav %-ban fejeztük ki. Az oldható szárazanyag-tartalom és titrálható savtartalom arányát (SSC/TA) kajszis és meggy esetében az íz jellemzésére használtuk (Ledbetter és mts., 2006). A meggy gyümölcshomogenizátum pH-ját HANNA pH212 digitális pH-mérővel (Woonsocket, USA) határoztuk meg.

A gyümölcsök színét jellemző CIELAB színkoordinátákat (X, Y és Z) Konica Minolta CR-410 típusú (Tokió, Japán) színmérő készülék használatával határoztuk meg. A koordináta adatokból kiszámíthatók a CIELAB L^* , a^* és b^* értékek, melyek szintén egy koordináta-rendszer tengelyeinek feleltethetők meg. Két további számított paraméter a C^* és H^0 . A telítettség, vagy más néven króma (C^*) a világosság tengelytől (L^*) való távolságot jelenti; $C^* = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2}$. A színezeti szög (H^0) a színtérben a színvektor irányának a vörös iránytól való elforgatását jelenti, értékét fokban adjuk meg; $H^0 = \arctan(b^*/a^*)$ (Akin és mts., 2008, Ruiz és mts., 2005b).

4.3 Extrakció

A gyümölcskivonatokat közel 100 g friss tömegű, magozott, de a héjától meg nem fosztott gyümölcsből készítettük. A homogenizálást tumixgéppel (Bosch MMR0800, Stuttgart, Németország; 350 W, 4 °C, 2 × 2 perc) végeztük, majd a gyümölcspépet centrifugáltuk (Mikro 22 R, Hettich Zentrifugen, Tuttlingen, Németország; 18750 g, 20 perc, 4°C), a vizsgálatokhoz a felülúszót használtuk. Szükség esetén az ülepített gyümölcshomogenizátumot Eppendorf-csövekben -32 °C-on tároltuk.

A kajszi és meggy különböző érési állapotú gyümölcseit -80°C-on tároltuk, majd liofilizáltuk (Scanvac CoolSafe™ 110-4, Lyngø, Dánia; -110 °C-os jégcsapda, 3–4 nap), folyékony nitrogénben eldörzsöltük, majd ismét liofilizáltuk (-110 °C-os jégcsapda, 2–3 nap). A mintákat lezárt Falcon-csövekben, sötétben tároltuk. Az antioxidáns kapacitás mérése során a mintákat Milli-Q (MQ) vízben (18,2 MΩcm) szuszpendáltuk az alábbiak szerint: 10 mg elporított minta + 1 ml MQ víz. Mintánként három párhuzamos kivonást és mérést végeztünk. A minták MQ vízben való oldódását vortexeléssel segítettük, és egy órára hűtött ultrahangos vízfürdőbe helyeztük. Mivel a minták kis mennyiségben tartalmaztak vízben nem oldódó komponenseket is, az oldatokat centrifugálással (Mikro 22 R; 8.000 g, 10 perc, 23 °C) ülepítettük, majd a felülúszót új csövekbe pipettáztuk. Az így nyert mintákat a mérésekig -32 °C-on tároltuk a vizsgálatig. A méréseket Nicolet Evolution 300 BB (Thermo Electron Corporation, Cambridge, Egyesült Királyság) típusú spektrofotométeren végeztük.

A minta-előkészítésnek megfelelően az antioxidáns paramétereket vagy az ülepített gyümölcspép feülúszójának egy liter térfogatára számítva adtam meg, vagy a magozott, de héjától meg nem fosztott gyümölcs friss (100 g) illetve száraz (1 g) tömegére vonatkoztatva.

4.4 Összes antioxidáns kapacitás mérése FRAP-módszerrel

Az összes antioxidáns kapacitást, az ún. FRAP-értéket (*Ferric Reducing Antioxidant Power*) Benzie és Strain (1996) módszerével mértük ($\lambda=593$ nm). Az eredmények a vasionokkal (Fe^{3+}) szembeni redukáló képesség mértékét jellemzik. Az eredményeket mmol aszkorbinsav egyenérték/L ülepített gyümölcshomogenizátum, illetve mmol aszkorbinsav egyenérték/100 g friss illetve 1 g száraz tömeg mértékegységben adtuk meg.

4.5 Összes antioxidáns kapacitás meghatározása TEAC-módszerrel

Az összes antioxidáns kapacitást TEAC módszerrel (*Trolox Equivalent Antioxidant Capacity*) Miller és mts. (1993) alapján is meghatároztuk. A 2,2'-azino-di-(3-etilbenzotiazolin)-6-szulfoninsav (ABTS) gyökképzés a következők szerint történt: ABTS (7,0 mmol/L) és kálium-perszulfát (125,0 mmol/L) 49:1 arányú oldatát 12 órára sötétben, szobahőmérsékleten állni hagytuk. Ezt követően a reakcióelegy abszorbanciáját pH 7,4 foszfát-pufferrel hígítva 0,7-re állítottuk be. Az oldatból 1960 µl-t 40 µl mintaoldattal egészítettünk ki. Az ABTS gyök redukálásával bekövetkező elszíntelenedést spektrofotométeren mértük ($\lambda=734$ nm), az ABTS és a mintaoldat összeöntését követő 20 perc elteltével. Az eredményeket mmol trolox egyenérték/L ülepített gyümölcshomogenizátum illetve mmol trolox/g száraz tömeg dimenzióban fejeztük ki.

4.6 DPPH gyökfogó kapacitás

Az 1,1-difenil-2-pikrilhidrazil (DPPH) stabil szabadgyökkel szembeni semlegesítő hatást Blois (1958) módszerével végeztük, a Hatano és mts. (1988) által javasolt módosítások figyelembevételével. A DPPH vegyületet 100 % metanolban oldottuk (9 mg/100 ml). A gyümölcs-felülúszó 50 µl-ét 950 µl desztillált vízzel és 1 ml metanollal elegyítettük, melyhez 0,5 ml DPPH-oldatot adtunk. Rázást követően 30 percig 37 °C-on inkubáltuk. Az abszorbanciát spektrofotométerrel ($\lambda=517$ nm) mértük. A méréshez a tömény, a 10-szeresre illetve 100-szorosra hígított gyümölcs-felülúszót használtuk. A legjellemzőbb eltéréseket a 10-szeresre hígított minták esetén mértük, így ezt a hígítást használtuk a további vizsgálatokhoz.

4.7 A teljes gyökfogó kapacitás meghatározása kemilumineszcenciás módszerrel

A minták teljes gyökfogó kapacitását Lumat 9501 készülékkel (Berthold, Bad Wildbad, Németország) kemilumineszcenciás módszerrel ($\lambda = 420$ nm) határoztuk meg (Blázovics és mts., 1999). Az emittált fényt 390 és 620 nm között detektáltuk. A reakcióelegy a következő összetevőket tartalmazta: H_2O_2 (0,30 ml, 10^4 -szer hígított 33 % H_2O_2 -oldat), mikroperoxidáz (0,30 ml, 1 mM) és a luminol lúgos kémhatású (pH = 9,8) oldata (0,05 ml, 0,07 mM). Az emittált fotonokat 30 s időintervallumon át gyűjtöttük, az eredményeket az RLU %-ban fejeztük ki (RLU = *relative light unit*), ami a következő képlet alapján számolható: $\text{RLU \%} = \text{RLU}_{\text{minta}} * 100 / \text{RLU}_{\text{vak}}$. A 100-szor hígított

gyümölcs-felülúszó mintákból 0,05 ml-t adtunk a luminololdathoz, melyeket 10 s keverést követően mértünk.

4.8 Fotokemilumineszcenciás mérés Photochem készülékkel

A víz- (ACW) és zsírolldható (ACL) antioxidáns kapacitás meghatározása a Popov és Lewin (1994, 1996) által leírt fotokemilumineszcencia elvén történt. Az eredményeket vízzoldható antioxidáns kapacitás esetében mmol aszkorbinsav/L, míg zsírolldható antioxidáns kapacitás esetében mmol trolox/L adtuk meg. A mérés menete a gyártó cég által kiadott dokumentációban megfogalmazottak alapján történt (Analytic Jena, 2008). A vizsgálathoz a gyártó által forgalmazott, négyféle reagensoldatot használtuk, melyek összetétele nem ismert. A vízzoldható antioxidáns kapacitás meghatározásakor a mintát a nem ismert hígító oldattal elegyítjük, a zsírolldható antioxidáns kapacitás mérésekor metanollal. A készülék szoftvere a vízzoldható antioxidáns kapacitás mérése esetén a minta és a vak oldat ún. lag fázisának meredeksége felhasználásával automatikusan koncentrációt számol (nmol aszkorbinsavra vonatkoztatva) az alábbiak alapján: meghatározza a görbe első deriváltját, meghatározza az inflexiós pontot, ezen keresztül érintőt húz, az érintő által x tengelyen kimetszett szakasz meghatározza a lag fázis idejét, végül a vak és a minta lag fázis ideje közti különbség megadja az antioxidáns kapacitásra jellemző paramétert. A zsírolldható antioxidáns kapacitás kiszámításához a szoftver a vak és a minta görbe alatti területét integrálással határozza meg, különbségükből és a vak görbe alatti területéből hányadost képez ($\int_{\text{vak}} \text{átlag} - \int_{\text{minta}}$) / $\int_{\text{vak}} \text{átlag}$, és nmol troloxra vonatkoztatja.

4.9 Az összes polifenol-tartalom (TPC) meghatározása

Az összes polifenol-tartalom mennyiségét ($\lambda=760$ nm) a Singleton és Rossi (1965) által leírt módszer alapján, Folin-Cicolteu reagens használatával határoztuk meg. Az eredményeket mg galluszsav egyenérték/ml ülepített gyümölcshomogenizátum, illetve mg galluszsav egyenérték/g száraz tömeg mértékegységben adtuk meg.

4.10 Az összes monomer antocianintartalom meghatározása

A mérést 200 mg mintából, Lee és mts. (2005) módszere alapján két eltérő kémhatáson (pH 1,0 és pH 4,5), illetve két különböző hullámhosszon (520 és 700 nm-en) végeztük el. Az eredményeket mg cianidin-3-glükozid egyenérték/100g friss tömeg illetve

dc_634_12

µg cianidin-3-glükozid egyenérték/ml ülepített gyümölcs-homogenizátum egységben fejeztük ki az alábbi számítással:

$$\text{Abszorbancia} = (A_{520\text{nm}} - A_{700\text{nm}}) \text{ pH } 1,0 - (A_{520\text{nm}} - A_{700\text{nm}}) \text{ pH } 4,5$$

Összantocianin-tartalom (mg/L) = $(A * M_w * \text{hígítás} * 1000) / (\epsilon / l)$, ahol cianidin-3-glükozid standard esetén $M_w = 449,2 \text{ g/mol}$ és $\epsilon = 26.900 \text{ mol}^{-1} \text{ cm}^{-1}$, l = a fényút hossza cm-ben.

4.11 A C-vitamin-tartalom meghatározása

A C-vitamin mennyiségi meghatározása a BCE Alkalmazott Kémia Tanszéken kidolgozott módszer alapján történt (Engel és mts., 2010). A homogenizált gyümölcsmintákból 1 g-ot mértünk 15 ml térfogatú centrifugacsőbe, majd térfogatát 10 ml-re egészítettük ki 2 %-os metafoszforsav-oldattal. Ezek után a mintákat centrifugáltuk (8 °C, 8.500 g, 20 perc), majd a felülúszót 0,45 µm-es pórusátmérőjű membránszűrőn átszűrtük. A szűrletből 5 ml-t sötét üvegedénybe mértünk, és 2,5 ml 4 %-os L-cisztein oldatot adtunk hozzá. A pH-ját 12,5 %-os ammónia-oldattal 7 és 7,2 közötti értékre állítottuk, és öt percen keresztül mágneses keverővel kevertettük. Az öt perc elteltével a pH-t 2,5 és 2,8 közé állítottuk 20 %-os metafoszforsavval. A kívánt pH elérése után az oldatot 15 ml-es centrifugacsőbe töltöttük, és 10 ml-re egészítettük ki MilliQ vízzel. Ezt végül 0,22 µm-es pórusátmérőjű membránszűrőn szűrtük át.

Az elválasztás és a mennyiségi meghatározás HPLC-DAD rendszerrel (Agilent, Santa Clara, USA) a következő kromatográfiás feltételek között valósult meg:

- Állófázis: Restek Ultra Aqueous C18, 5 µm, 3,2 x 1510 mm
- Mozgófázis: 98 % 0,1 %-os hangyasav/víz elegy és 2 % 0,1 %-os hangyasav/metanol elegy
- Áramlási sebesség: 500 µl/perc
- Időtartam: 5 perc (Retenció idő: 2,7 perc)
- Detektálás: UV-detektor, Agilent 1500, 254 nm-en

Az L(+)-aszcorbinsav (Fluka, St. Louis, USA) azonosítását retenció ideje alapján végeztük. Az eredményeket mg/100 g friss gyümölcs értékben fejeztük ki.

4.12 DNS-izolálás

A genomi DNS-t kajszi- és meggy-levelekből DNeasy Plant Mini Kittel vontuk ki (Qiagen, Hilden, Németország) a gyártó utasításait (*Plant Tissue Protocol*) követve.

4.13 RNS-izolálás

Az RNS-kivonáshoz a forró bórsavas extrakciót alkalmaztuk (Wan és Wilkins, 1994). Az RNS izolálása során közel azonos mennyiségű (~200 mg) mintát használtunk fel. Az RNS DN-áz (Fermentas Life Sciences, Burlington, Kanada) emésztését a gyártó utasításai szerint végeztük. Az RNS- és cDNS-szuszpenzió mennyiségi és minőségi ellenőrzését (A_{260}/A_{280} és A_{260}/A_{230} arányok meghatározása) Nano Drop ND-1000 (NanoDrop Technologies, Wilmington, USA) spektrofotométerrel végeztük.

4.14 cDNS-szintézis

A tisztított RNS reverz transzkripcióját RevertAid™ First Strand cDNA Synthesis kittel (Fermentas) végeztük. Minden reakcióba azonos mennyiségű, 1 µg RNS-t mértünk be. A szintézis során külön oligo(dT)₁₈ vagy random hexamer primert alkalmaztunk. A cDNS-szintézis reakciói során reakciónként 20 U RiboLock ribonukleáz inhibitort valamint 200 U M-MuLV reverz transzkriptáz enzimet használtunk fel. A PCR és qPCR során reakciónként hozzávetőleg 50 ng cDNS-t használtunk fel.

4.15 Primertervezés a flavonoid-bioszintézis gének PCR-amplifikálására

Az NCBI GenBank és EST adatbázisaiból letöltött szekvenciák illesztése alapján az alábbi enzimeket kódoló génekre manuálisan terveztünk primereket: *PAL* (fenilalanin-ammónia-liáz), *C4H* (fahéjsav-4-hidroxiláz), *4CL* (4-kumaroil-CoA-ligáz), *CHS* (kalkon-szintáz), *CHI* (kalkon-izomeráz), *F3H* (flavanon-3-hidroxiláz), *F3'H* (flavonoid-3'-hidroxiláz), *F3'5'H* (flavonoid-3'5'-hidroxiláz), *DFR* (dihidroflavonol-4-reduktáz), *ANS* (antocianidin-szintáz), *ANR* (antocianidin-reduktáz), *LAR* (leukoantocianidin-reduktáz), *UFGT* (UDP-glükóz:flavonoid-3-O-glükoziltranszferáz), *FLS* (flavonol-szintáz) és *GAPDH* (glicerinaldehid-3-P-dehidrogenáz). A *PAL* génre a korábban cseresznyére tervezett primerpárt használtuk (Sonneveld és mts., 2003).

A PCR-hez 50 ng DNS-t vagy cDNS-t használtunk 25 µl végtérfogatban. A PCR-elegy összetétele az alábbi volt: 10× reakciópuffer (Fermentas), 2,5 mM MgCl₂, 0,2 mM dNTP, 0,3 µM az adott primerekből és 1 U *Taq* DNS-polimeráz (Fermentas). A PCR során alkalmazott hőmérsékleti ciklus a következő lépésekből állt: 95 °C 2 min, 35 ciklus során 95 °C 30 s, 53–60 °C (a primer szekvenciájától függően) 1 min és 72 °C 1 min, majd 72 °C 5 min.

A PCR Peltier Thermal Cycler PTC-200 (MJ Research, Waltham, USA) típusú készülékben történt. A primerek nukleotidsorrendjét, tapadási hőmérsékleteit (T_a), a felhasznált templátot és a termék méretét az 1. táblázat tartalmazza.

4.16 A PCR-termékek ellenőrzése gélelektroforézissel

A PCR-termékek elektroforézisét 1 %-os, a qPCR termékek elektroforézisét 2,5 %-os agarózgélben végeztük (1,5 h 100 V). A nukleinsavakat etídium-bromid (Merck, Whitehouse Station, USA) fluoreszcens festékkel mutattuk ki, 1-kb+ DNS-markert (Promega, Madison, USA) és GeneRuler Low Range DNS-markert (Fermentas) használtunk.

4.17 A PCR-termékek tisztítása, klónozása és szekvenálása

A megfelelő méretű PCR-termékek agarózgélből történő kivágását éles szikével, izolálását QIAquick Gel Extraction Kit (Qiagen) segítségével végeztük a gyártó utasításait követve.

A klónozáshoz a pGEM-T Easy Vector Systemet (Promega) használtuk. A ligálás egy éjszakán át 4 °C-on 10 µl végtérfogatban történt: 20–50 ng tisztított PCR-termék, 3 U T4 DNS-ligáz, 50 ng pGEM-T Easy Vector, 2× puffer (60 mM Tris-HCl, 20 mM MgCl₂, 20 mM DTT, 2 mM ATP, 10 % polietilén-glikol) (Promega), desztillált vízzel kiegészítve. A klónozott fragmentumokat JM109 kompetens sejtekbe transzformáltuk. Az LB/ampicillin/IPTG/X-gal szilárd táptalajon kinőtt telepekből kolónia PCR-rel ellenőriztük a transzformáció sikerességét. A felhasznált primerek az M13-F (GTAAAACGACGGCCAGT) és M13-R (CAGGAAACAGCTATGAC) voltak, az alábbi programon: 95 °C 2 min, 40 ciklus során 95 °C 30 s, 55 °C 45 s és 72 °C 1,5 min, majd 72 °C 5 min. A kolónia-PCR során keletkezett termékek méretét 1 % TAE agarózgélben ellenőriztük.

A plazmidokat Rapid Plasmid DNA Mini-Prep Kittel (Biobasic, Markham, Kanada) izoláltuk. Szekvenciájuk meghatározása ABI PRISM 54 3100 Genetic Analyzer (Applied Biosystem, Foster City, USA) automata DNS-szekvenátorral történt. Valamennyi vizsgált gén esetében három klón szekvenálását végeztük el mindkét irányban. A DNS-szekvenciákat benyújtottuk a *National Center for Biotechnology Information* (NCBI) GenBank nemzetközi adatbázisba (8. és 12. táblázatok).

dc_634_12

1. táblázat. A PCR során felhasznált primerek nukleotidsorrendje

Primer neve	Primer szekvenciája	T _a (°C)	Templát	Termék mérete (bp)
PAL-F3	CAAATTGAAGCTGCAGCAATTATGGA	60	kajszi és meggy	1036
PAL-R4	GGTAAGACCTGCATTCCGTAATCCTGT			
C4H-F1	CTTCACBAACAARGTSGTSC	56,5	kajszi és meggy	678
C4H-R1	CYTTSAYCACRGCTTGTVAG			
4CL-F1	GAGATTTGCATTAKAGGTGACCA	57	kajszi és meggy	442
4CL-R1	GCTMTCAASTCCTTCCGCAAGAT			
CHS-F1	GCTCAAAGAAAAATTCCAGCG	56	kajszi és meggy	758
CHS-R	GGTGTGCAATCCAGAATAG			
CHI-F	GAARGGYAAGACSGCCSAGGAG	57,5	kajszi és meggy	481
CHI-R	TCSAMTTTYCATTTCGGC			
F3H-F	GAWATYCCGATCATYTCSCT	53	kajszi és meggy	874
F3H-R	TCATCTTCTTCTTGACATCTC			
F3'H-F	AGCTGCACAAGAGGTTTGATG	58	kajszi és meggy	886
F3'H-R	AGTAGCAGCTAGGAGGCAC			
F3'5'H-F1	TTACAAGCTGTGATGAAAGAAAC	55,5	kajszi és meggy	380
F3'5'H-R1	CCAAACTTCTCWGAAAGATCCA			
DFR-F1	GAAGAAGGTGAAGCATCTGYTGGA	60	kajszi és meggy	F1+R=498
DFR-F2	GACGCACYTGACGCTGTGGAAGG		kajszi	F2+R=459
DFR-R	GTAATGAGGCTTGGTGGCATGGA		kajszi és meggy	
ANS-F1	CTCARGTTCCMACCATTTGATTG	53	meggy	F1+R=769
ANS-F2	ATCCCAAARGAGTACATCAG	53	kajszi	F2+R=811
ANS-R	CATGAAATCCTCACCTTCTC		kajszi és meggy	
ANR-F	GAAACTTAGCAACTGAAAGAGC	55	kajszi	846
ANR-R	GCTCAGGAACACTGGTATTG		kajszi	
LAR-F	GTGCYACYGGYTTCATCGGGAG	58	kajszi	F+R=751
LAR-R	CTTTCTGGTATRCGRTTMTCTGCAG		kajszi	
LAR-F2	GTTYGTVGICYGAAGCYAGCCT		kajszi	F2+R3=432
LAR-F3	CCTTCTAAGGCTGACAYCRTCAA		kajszi és meggy	F3+R3=362
LAR-R2	GGTGGVABAACCTCVGAAGG		meggy	F3+R2=395
LAR-R3	WAGTAGGGCCAAGARGCAAT		kajszi	
UFGT-F4	CCDCCGKTGTAYCCKGTGG	60	kajszi és meggy	F4+R1=410
UFGT-R1	TTCCACCCRCARTGRGABAC			
UFGT-F6	GMTYGCHGGRTTYGTSVTC	57	kajszi	F6+R3=1006
UFGT-R3	GCTCTTYTCACTMATYTCTTCAC			
GAPDH-F3	GAYTGGAGRGGTGGAMRWG	57	kajszi	569
GAPDH-R5	GTGTAACCCAAGAYKCCSTT			

4.18 Valós idejű PCR

4.18.1 A qPCR primerek tervezése

Valós idejű qPCR kísérleteink során hat különböző referenciagén expressziós stabilitását vizsgáltuk a ‘Gönci magyarkajszi’ és Preventa, valamint a VN-1 és ‘Pipacs 1’ gyümölcshéjból és -húsból készített, öt érési fázist reprezentáló mintákon. Ezek közül három korábban leírt (18S rRNS: 18S riboszómális RNS; UBI10: ubikvitin 10; TEF-II: transzlációs elongációs faktor II) és három saját tervezésű (ACT: aktin; GAPDH: gliceraldehid-3-P-dehidrogenáz; RP-II: RNS-polimeráz II) primer szerepelt. A referenciagének stabilitásának vizsgálatokhoz alkalmazott primerek nukleotidsorrendje a 2. táblázatban található.

2. táblázat. Az egyes referenciagének stabilitásának vizsgálatához szükséges primerek

Primer neve	Primer szekvenciája	Termék (bp)	T _a (°C)	Forrás
18SRNS-F	TAGTTGGTGGAGCGATTTGTCTG	114	60	Tong és mts., 2009
18SRNS-R	CTAAGCGGCATAGTCCCTCTAAG			
ACT-F	GTGCCTGCCATGTATGTTGCCA	226	60	saját tervezés
ACT-R	CAGTGGTGGTGAACATGTACCCYC			
UBQ10-F	AAGGCTAAGATCCAAGACAAAGAG	146	57	Tong és mts., 2009
UBQ10-R	CCACGAAGACGAAGCACTAAG			
RP-II-F3	CATGCCAAGTGGTCACCTGCAG	126	60	saját tervezés
PR-II-R3	GGTAGGACTACTTTCAACCCAAGCCTTC			
TEF-II-F	GGTGTGACGATGAAGAGTGATG	129	56	Tong és mts., 2009
TEF-II-R	TGAAGGAGAGGGAAGGTGAAAG			
GAPDH-F9	CTTGCMAGGTYATY MAYGAYAG	150	55	saját tervezés
GAPDH-R6	GCTRGGAATGATGTTGAAKG			

A referenciagének primerjeinek optimális tapadási hőmérsékletét gradiens PCR segítségével határoztuk meg. A gradiens PCR kísérleteket PTC-200 (MJ Research) készüléssel végeztük. A PCR során alkalmazott hőmérsékleti ciklus a következő lépésekből állt: 95 °C 2 min, 40 ciklus során 95 °C 20 s, 52–64 °C 20 s és 72 °C 20 s, majd 72 °C 1 min. A tapadási hőmérséklet 48 °C-tól 64 °C-ig fokozatosan változott (48,0 °C, 48,1 °C, 49,5 °C, 51,2 °C, 52,1 °C, 54,0 °C, 56,3 °C, 57,9 °C, 60,1 °C, 61,9 °C, 63,2 °C, 64 °C). A hat primerkombináció felhasználásával végzett kísérletek végén olvadáspontanalízist végeztünk.

Hígítási mátrix készítése során a primerkoncentrációkat: 0,05 µM, 0,3 µM, 1 µM és 2 µM végkoncentráció, valamint a cDNS mennyiségét 50, 100 és 150 ng értékek között vizsgáltuk. Ezt követően egy másik hígítási mátrixot készítettünk, melyben a primerkoncentrációt egy szűkebb tartományban (0,1 µM, 0,3 µM és 0,6 µM) változtattuk,

dc_634_12

és különböző mennyiségű MgCl_2 -ot (3 mM, 4 mM és 5 mM) adtunk az egyes PCR-elegyekhez. A hígítási mátrixokat a qCHI F1+R1 primerpárral (3. táblázat), és a Preventa gyümöleshús mintasorozat felhasználásával készítettük. A hat referenciagén expressziós stabilitásának vizsgálatát követően a legnagyobb expressziós stabilitást mutató *RP-II* gént alkalmaztuk a qPCR kísérletek során.

A célgének, vagyis a *PAL*, *C4H*, *4CL*, *HCT* (hidroxifahéjsav-transzefráz), *C3H* (*p-kumarát-3-hidroxiláz*), *CHS*, *CHI*, *F3H*, *F3'H*, *F3'5'H*, *DFR*, *FLS*, *ANS*, *ANR*, *LAR*, *UFGT*, *MYB* (*MYB transzkripció faktor*) és *MYB10* (*MYB10 transzkripció faktor*) expresszióját saját tervezésű primerpárokkal vizsgáltuk. A *PAL*, *C4H*, *4CL*, *CHS*, *CHI*, *F3H*, *F3'H*, *DFR*, *LAR*, *ANS*, *ANR* és *UFGT* enzimek, valamint a *MYB* transzkripció faktor génexpressziós vizsgálata során felhasznált primerpárok saját szekvenciák alapján készültek. A *C3H* és *4CL* enzimet kódoló gén kifejeződésének vizsgálata Dardick és mts. (2010) által közölt *C3H* és *4CL* (F2 és R2) primerszekvenciával történt. A *HCT*, *FLS* és *F3'5'H* kandidáns gének expressziós vizsgálatához szükséges primerek a kérdéses gének NCBI GeneBank adatbázisban található homológ szekvenciák és az őszibarack genomsekvencia (<http://www.rosaceae.org/node/355>) alapján készültek. A *MYB10* transzkripció faktor génexpressziós vizsgálata a Lin-Wang és mts. (2010) által közölt primerszekvenciákkal történt. A valós idejű PCR-kísérletek során felhasznált primerek szekvenciái, a felhasznált templát, valamint a primerek által felszaporított termék hossza a 3. táblázatban található.

A célgének expressziós vizsgálatához használt, specifikus primereket egy bizonyos qPCR protokollhoz, „*assay*”-hez terveztük. Ennek értelmében minden primer olvadási hőmérséklete (T_m) 65–66 °C, GC-tartalma 40 és 60%, hossza 18–27 bp, a felszaporított termék hossza 150–240 bp között mozgott. Az *assay* során minden qPCR paraméter (hőmérséklet, időtartam) változatlan volt.

dc_634_12

3. táblázat. A valós idejű PCR kísérletek során felhasznált, a célgénekre tervezett, specifikus primerek

Primer neve	Primer szekvenciája	Templát	Termék hossza (bp)
qPAL-F	TGTCTGGAGGCAGGAACCCAAG	kajszi	147
qPAL-R	AGTTCACGTCTTGGTTGTGCTGCTC		
qPAL-F2	GCTAAGAAGTTGCACGAGCAGGA	meggy	115
qPAL-R2	TGGTGGAGTACCGGATCACTTCG		
qC4H-F1	GGCGGTTGCAGCTGATGATGTAC	kajszi és meggy	191
qC4H-R1	CAAGTAGCCTCTCAAGAAGGGTCTC		
q4CL-F1	CAAGGGCAACCATAGACAAGGAAGG	kajszi	205
q4CL-R1	TCATCCTTCATTGGGACAACAGC		
q4CL-F2*	CCAACCTCACCTACGCTCAACTCTG	meggy	127
q4CL-R2*	CACCACTGGGAAGAAGATGGAG		
qHCT-F1	CTGGTTACTTTGGCAATGTGATTTTCAC	kajszi és meggy	172
qHCT-R1	GACAGATCAGGCTGAAGCTCAAG		
qC3H-F*	TCAGACTACTTCCGTTTGGAGCAG	kajszi és meggy	166
qC3H-R*	ACAAGCCCTGGATTTTCCGAC		
qCHS-F2	AGTGGTGTGGACATGCCTGG	kajszi és meggy	133
qCHS-R2	AGTCCTTGGCCAACCGGAG		
qCHI-F1	CCACTAACCGGCCAGCAATA	kajszi és meggy	104
qCHI-R1	TTCTCAATGGCCTTGGCTTC		
qF3H-F1	TCTACCCAAAATGCCCCCAACC	kajszi	162
qF3H-R1	CGAAGGCTCCTTCCACTGGTT		
qF3H-F2	GTGGATCACCGTTCAACCAGTGG	meggy	146
qF3H-R2	GAATGTGGCTATGGACAGCCTGC		
qF3'H-F1	GACACGTCATCAAGCACAGTGG	kajszi és meggy	212
qF3'H-R1	GCCATGCGAGGCAACGAG		
qF3'5'H-F1	GTGGGAGGCTACACCATTCC	kajszi és meggy	213
qF3'5'H-R1	CACCATCCTCTCAGCCATTGC		
qDFR-F2	TGAGTCCAAAGACCCCGAGAAC	kajszi	F2+R2=127
qDFR-R2	CACGGTTCCTGCTGAGGATGTA	kajszi	F3+R2=74
qDFR-F3	TTGAATTTTGCCGCTCTGTCAA	kajszi és meggy	F3+R3=143
qDFR-R3	AAATGGGCCAATCACAAGAGTTG	meggy	
qFLS-F1	GTGGTGGCTCACACCGACATGTC	kajszi és meggy	121
qFLS-R1	TGACAAGGGCATTAGGGATGTAC		
qANS-F1	GCTAAGGAAGTGGGGCGCT	kajszi	160
qANS-R1	CAAGCTCTGGCTGAGGGCAA		

dc_634_12

Primer neve	Primer szekvenciája	Templát	Termék hossza (bp)
qANS-F2	ATGCAGGGAGGAGTTGAAGAAGG	meggy	133
qANS-R2	TTGCTCAATGGGAAGATCGAAAA		
qANR-F1	CCACCCAACCCATCTCAAAG	kajszi és meggy	F1+R1=102
qANR-R1	TGACGGCATAGCCCTTCTCT		
qANR-R2	TCTTCTTCTGATTGTCAGGGTCTC	kajszi	F1+R2=138
qLAR-F1	GGCACTGATGGAGAACTGCTAAGAG	kajszi	F1+R1=171
qLAR-F2	AGGCGCTATAATCTTACATGGGGTGA		F2+R1=207
qLAR-R1	GGATCAGCCCTGTCCACATCG		
qLAR-F3	CCTCTTGACCCTTCTAAGGCTGAC	meggy	102
qLAR-R2	CAGTTTCTCCATCAGTGCCTTATCAG		
qUFGT-K-F1	AGTGGCTTGATGATCAGCCTC	kajszi	F1+R1=135
qUFGT-K-F2	GTGTTCTGTGCTTTGGGAGC		F2+R1=103
qUFGT-K-R1	CGTAGGGACCACAAGAACCG		
qUFGT-M-F1	GCTTTGGTGAGGACCAGGTG	meggy	156
qUFGT-M-R1	CGAGGAACCCTTCAGGCAAG		
qMYB-F2	AGGAGCTTGGACTAGAGAGGAAGATGA	kajszi és meggy	239
qMYB-R2	GAGCAATCAATGACCACCTGTTTCCT		
qMYB10-F1	GGAAGAGCTGTAGACTAAGGTGGTTG	kajszi és meggy	131
qMYB10-R1	GAGCAATCAATGACCACCTGTTTCC		

A *-gal jelölt primerek a Dardick és mts. (2010) által közölt, őszibarack gyümölcsének vizsgálatára tervezett primerek.

4.18.2 A qPCR-reakcióelegy összeállítása

A valós idejű PCR kísérleteket Rotor Gene 6000 készülékben (Corbett Research, Qiagen) végeztük. Munkánk során az EvaGreen® (Biotium, Hayward, USA) nem szekvencia-specifikus fluoreszcens festéket használtuk. Kísérleteinkben MyTaq™ HS Mix (2×) komplex DNS-polimeráz oldatot (Bioline, London, Anglia) használtunk. A 20 µl-es végtérfogató reakcióelegy az alábbi összetevőket tartalmazta: 2× MyTaq™ HS Master Mix, 20× EvaGreen® (Biotium), 0,6 µM az adott primerekből és 50 ng cDNS.

A qPCR során alkalmazott hőmérsékleti ciklus a következő lépésekből állt: 95 °C 2 min, 40 ciklus során 95 °C 8 s, 60 °C 8 s és 72 °C 8 s. Az olvadáspont-analízis („*Melting Analysis*”) során – 72 °C 90 s elteltével – a hőmérséklet 70 °C-ról 95 °C-ra emelkedett 0,25 °C-onként, a detektálás hőmérsékletenként 5 s eltelte után történt. A választott csatorna: *Melt A on Green* volt. Valamennyi valós idejű PCR-reakciót három (szükség esetén több) ismétlésben végeztünk el.

4.18.3 Az adatok kiértékelése

A valós idejű PCR-adatokat a Rotor-Gene 6000 Series Software 1.7 segítségével rögzítettük. Az adatok kiértékelése során a „*Comparative Quantitation Analysis*” funkciót választottuk. Ekkor a program a második derivált maximuma módszerével automatikusan TOP („*Take Off Point*”) értékeket számít, ami ciklusszám értéknek (C_T) feleltethető meg (McCurdy és mts., 2008; Pfeiffer és mts., 2012). Egy amplifikációs görbe exponenciális szakasza a TOP-tól az amplifikációs görbe második deriváltjának maximumáig tart.

A „Comparative Quantitation” módszer az egyes PCR-görbék TOP értékei mellé feltünteti a PCR-hatékonyság (E) értékét is. Ez egy 1-től 2-ig terjedő érték, mely a PCR hatékonyságot 0 % és 100 % között jellemzi. Az adatok kiértékelése során a TOP, valamint PCR-hatékonysági értékeket használtuk fel. Ezen értékeket a REST[®] 2009 („*Relative Expression Software Tool*”) V2.0.13 programba (Pfaffl és mts., 2002) tápláltuk. A relatív expressziós értékeket a program az alábbi egyenlet alapján számítja ki (Pfaffl, 2001; Pfaffl és mts., 2002):

$$\text{Rel. expresszió} = [(E_{\text{referenciagén}})^{CT_{\text{minta}}} / (E_{\text{célgén}})^{CT_{\text{minta}}}] / [(E_{\text{referenciagén}})^{CT_{\text{kontroll}}} / (E_{\text{célgén}})^{CT_{\text{kontroll}}}]$$

4.18.4 Adatok illesztése („data pooling”)

Az adatok egy halmazban való kiértékelését és az eredmények együttes, összevető elemzését nevezik „data pooling”-nak. Minden lehetséges laboratóriumi műveletet, pl. RNS-izolálás, cDNS-szintézis stb. azonos körülmények között végeztünk el. Azonos mennyiségű (1000 ng) RNS felhasználásával készültek a cDNS-oldatok, és a valós idejű PCR-kísérleteket is azonos mennyiségű (50 ng) cDNS felhasználásával végeztük.

Az összes qPCR-reakció során meghatározott TOP és E értéket összevetettük. Kiszámítottuk a legnagyobb és legkisebb expressziót mutató minták esetén az E^{TOP} hatványértéket. A legnagyobb expressziót mutató minta E^{TOP} értéke volt a legkisebb, a legkisebbet mutató mintáé a legnagyobb érték. Ezek $1,79^{18,5} = 47619,08$ és $1,78^{35,7} = 870951722,53$. A TOP = 18,5 és $E = 1,79$ értékekkel rendelkező minta (1. érési fázisú Preventa héj, *CHS*) mutatta a legnagyobb expressziót. A TOP = 35,7 és $E = 1,78$ értékekkel rendelkező minta (4. érési fázisú VN-1 hús, *PAL*) mutatta a legkisebb expressziót. Ezeket a TOP és E értékeket betápláltuk minden egyes mintasorozathoz tartozó REST fájlba, a program az egyes mintasorozatok relatív expressziós értékeit ezekhez viszonyítva állapította meg.

4.19 Statisztikai értékelés

A gyümölcsfajok antioxidáns kapacitásának és összes polifenol-tartalmának összehasonlításához – a normalitás és szóráshomogenitás vizsgálatát követően – Welch-próbát használtunk, mert a csoporton belüli szórások nem voltak egyenlők. Szignifikánsan eltérő csoportnak a 0,05-nél kisebb P értéket mutató csoportokat tekintettük. Az adatok ábrázolásához *boxplot* diagramot használtunk, mely lehetővé teszi a medián (középső érték) körüli szóródás bemutatását is.

A fajták antioxidáns paramétereinek összehasonlítása során valamennyi fajta esetében három párhuzamos kivonást végeztünk. Az adatok összehasonlítása során – a normalitás és szóráshomogenitás vizsgálatát követően – egytényezős varianciaanalízist (ANOVA) használtunk. A varianciaanalízist kiegészítő középérték-összehasonlító tesztek közül a Duncan-féle szignifikáns differencia analízist végeztük el, létrehozva a kezelések homogén csoportjait a különböző jellemzők alapján. A csoporton belüli varianciák egyezőségét a Levene-teszttel ellenőriztük. A genotípus illetve évjárat befolyásoló hatását a kajszi- és meggyfajták antioxidáns kapacitására és összes polifenol-tartalmára kéttényezős varianciaanalízissel vizsgáltuk.

A szignifikáns különbségeket $P \leq 0,05$ szinten határoztuk meg. Az ábrákon és a táblázatokban az eltérő betűk a szignifikánsan eltérő átlagokat jelölik. Az antioxidáns hatást jellemző paraméterek közötti összefüggés-vizsgálathoz a Pearson-féle korrelációs koefficiens értékét határoztuk meg. A korrelációs együttható szignifikanciáját t -próbával határoztuk meg a következő képlet alapján (Sváb, 1981):

$$t = r * \sqrt{(n-2) (1-r^2)} ,$$

ahol n = az adatpárok száma, a szabadságfokok száma $FG=n-2$.

A relatív szórás (variációs koefficiens, $CV\%$) értékét az alábbi képlet alapján számítottuk: $CV = 100 * s / \bar{X}$, ahol s = szórás, $\bar{X}$ = számtani középérték. A statisztikai kiértékeléshez az SPSS 13.0 (SPSS Inc., Chicago, USA) programcsomagot használtuk.

4.20 Bioinformatikai elemzés

Az NCBI és EST adatbázisokból letöltött nukleotid- és aminosav-szekvenciákat a BioEdit v.7.0.9.0 (Hall, 1999) programmal illesztettük. A primerek alapvető tulajdonságait, illetve a PCR-reakciókat gátló másodlagos struktúrák (self-dimer, hetero-dimer, hajtű szerkezet) kialakulásának valószínűségét az IDT Oligo Analyzer szoftver (www.idtdna.com) használatával ellenőriztük.

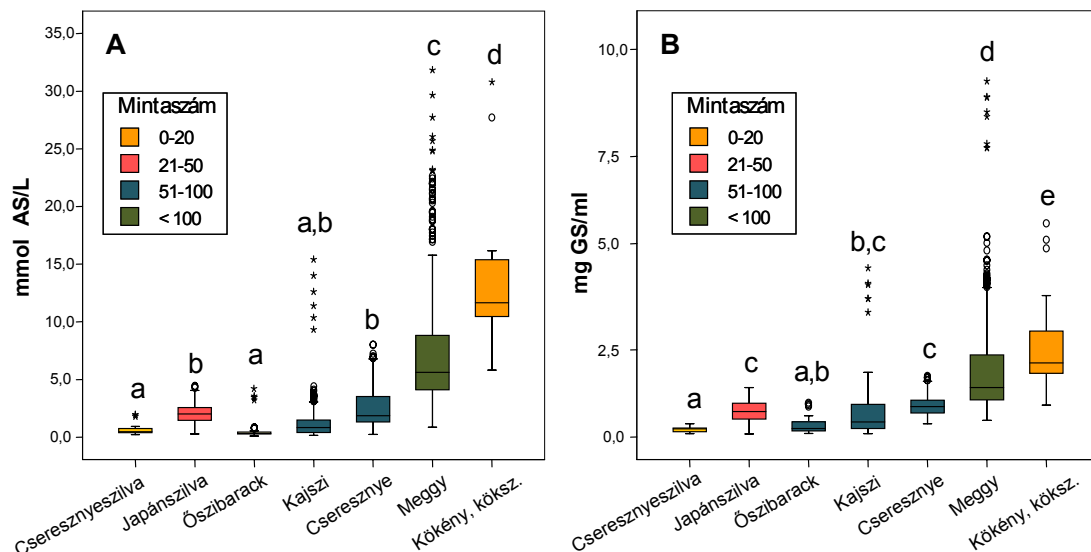
dc_634_12

A homológiakeresés során az NCBI *blastn* programot használtuk (Altschul és mts., 1990). Az azonosított kajszi és meggy szekvenciákat kereső szekvenciaként használva *blastx* keresést (BLOSUM62 paraméterrel) hajtottunk végre az őszibarackgenomon a Phytozome v9.0 szoftver használatával (Goodstein és mts., 2013) annak tisztázása érdekében, hogy a vizsgált csonthéjas fajok legközelebbi ismert genomszekvenciájú rokonában hány példányban találhatók meg a homológ szekvenciák.

5 EREDMÉNYEK

5.1 A csonthéjas gyümölcsök antioxidáns kapacitásának összehasonlítása

Vizsgálatainkat kilenc különböző csonthéjas faj eltérő számú (7 cseresznyeszilva, 15 japánszilva, 17 őszibarack, 40 kajszi, 26 cseresznye, 18 meggy, 7 kökény, két európai szilva $\times$ kökény hibrid, két európai szilva és egy kökényszilva) genotípusán végeztük el. A 11. ábrán látható *boxplot* ábrázolás mintaszáma a fajtaszám és a párhuzamos mérések szorzataként adódik. Ennek az ábrázolásnak a számtani átlagot és szórást feltüntető diagramokhoz képest nagy előnye, hogy láthatóvá válik az értékek eloszlása. A medián, vagyis a középső érték nem érzékeny a kiugró értékek okozta torzításra. A különböző fajtákhoz, genotípusokhoz tartozó, antioxidáns hatást jellemző értékek átlagolása szakmailag sem lenne helyes, hiszen a gyümölcs antioxidáns kapacitásának meghatározásában a genotípus a legjelentősebb tényező, így ezek számtani átlaga pszeudoértékeket hozna létre.



11. ábra. A csonthéjas gyümölcsök antioxidáns kapacitásának (A) és összes polifenoltartalmának (B) *boxplot* diagramja. A *box* közepén látható vonal a középső érték (*medián*). A *box* alsó része az első *kvartilis*, felső része a harmadik *kvartilis* értékét mutatja meg, a kilógó vonalak az adathalmaz terjedelmét. A körök és csillagok a szélsőértékeket mutatják. A Welch-teszt alapján a különböző betűvel jelölt fajok átlaga egymástól szignifikánsan ($P \leq 0,05$) különbözik.

dc_634_12

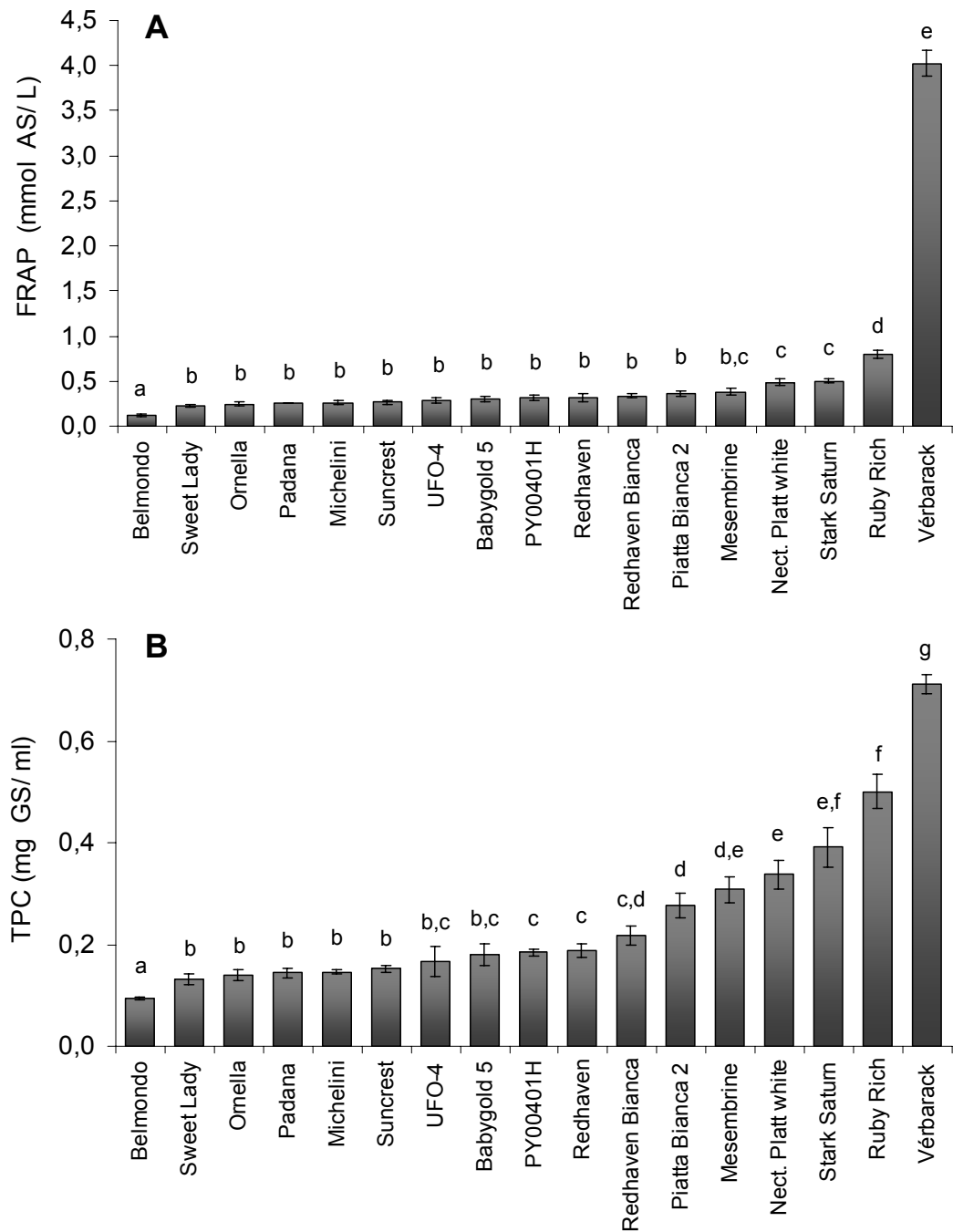
A szignifikanciavizsgálat alapján az antioxidáns kapacitás szempontjából a fajokat a cseresznyeszilva = őszibarack < kajszai < japánszilva = cseresznye < meggy < kökény sorrendbe állíthatjuk. Az összes polifenol-tartalom szerint is hasonló (cseresznyeszilva < őszibarack < kajszai < japánszilva = cseresznye < meggy < kökény) sorrendet kaptunk. A *boxplot* ábrázolás további előnye abban rejlik, hogy könnyen feltárhatók a kiugró értékek, vagyis azok a fajták, melyeknek antioxidáns kapacitása illetve polifenol-tartalma jelentősen (a *box* hosszával azonos interkvartilis terjedelem másfélszeresével vagy háromszorosával) haladja meg a harmadik kvartilis értékét (a *box* felső határát). Ezek kiemelkedő értékeknek tekinthetők.

Minden faj esetében találtunk kiemelkedő értékeket. A cseresznyeszilva esetében a PC4 genotípus, a japánszilva esetében a 'Super Giant' fajta, az őszibarack esetében a 'Vérbarack', a kajszai esetében a Preventa hibrid, a cseresznye esetében a feketecseresznye szelektált klón, a meggy esetében a 'Pipacs 1' és 'Fanal' fajták, illetve a VN-1 jelű szelektált klón, míg a kökénynél az S2 genotípus mutatott kiemelkedően nagy antioxidáns kapacitást és összes polifenol-tartalmat.

5.1.1 Az őszibarackfajták antioxidáns kapacitásának jellemzése

Az őszibarackfajták összes antioxidáns kapacitása a 'Belmondo' laposbarackban volt a legkisebb (0,12 mmol AS/L) és ugyanez a gyümölcs tartalmazta a legkevesebbet a polifenolos vegyületekből is (12. ábra). Az antioxidáns kapacitás viszonylag kicsi és kevésbé változékonny értékeket mutatott tekintet nélkül az egyéb pomológiai paraméterekre (fehér vagy sárga gyümölcshús, lapos vagy gömbölyű alak, molyhos vagy sima héj). Az összes polifenol-tartalom esetében ugyanez a tendencia mutatkozott. Jelentős mértékben kiemelkedő antioxidáns kapacitást és polifenol-tartalmat mértünk ugyanakkor a szeptember végén érő, vörös gyümölcshúsú 'Vérbarack' gyümölcseiben.

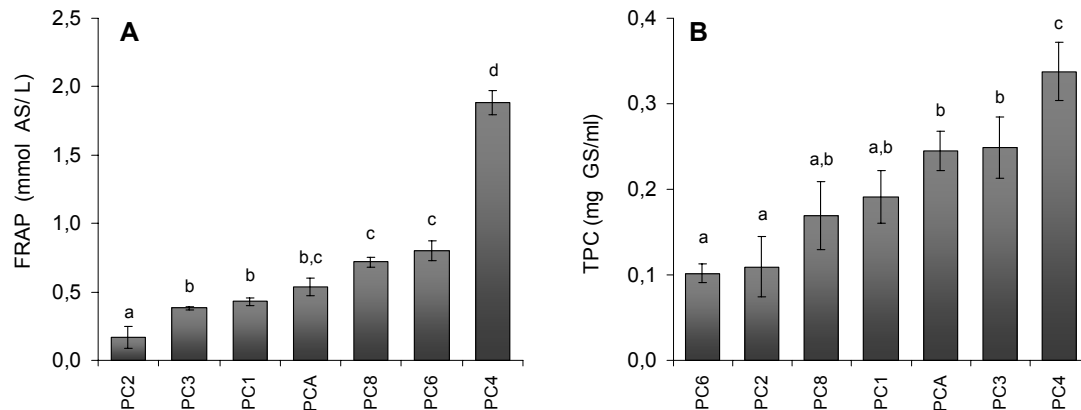
Az antioxidáns kapacitásban 33-szoros, a polifenol-tartalomban közel nyolcszoros különbség volt kimutatható a vizsgált fajták között. A két redox paraméter közötti korreláció ($r=0,747$) szignifikánsnak bizonyult ($P \leq 0,05$).



12. ábra. Az őszibarack genotípusok gyümölcsét jellemző vasredukáló antioxidáns kapacitás, FRAP (**A**) és összes polifenol-tartalom (**B**) összehasonlítása. Az oszlopok magassága a mérések átlagát, a vonalak a szórást mutatják ($n = 3$). Az eltérő betűk a Duncan-teszt alapján egymástól szignifikánsan ($P \leq 0,05$) különböző értékeket jelölnek.

5.1.2 A diploid szilvafajok és kökénygenotípusok antioxidáns kapacitása

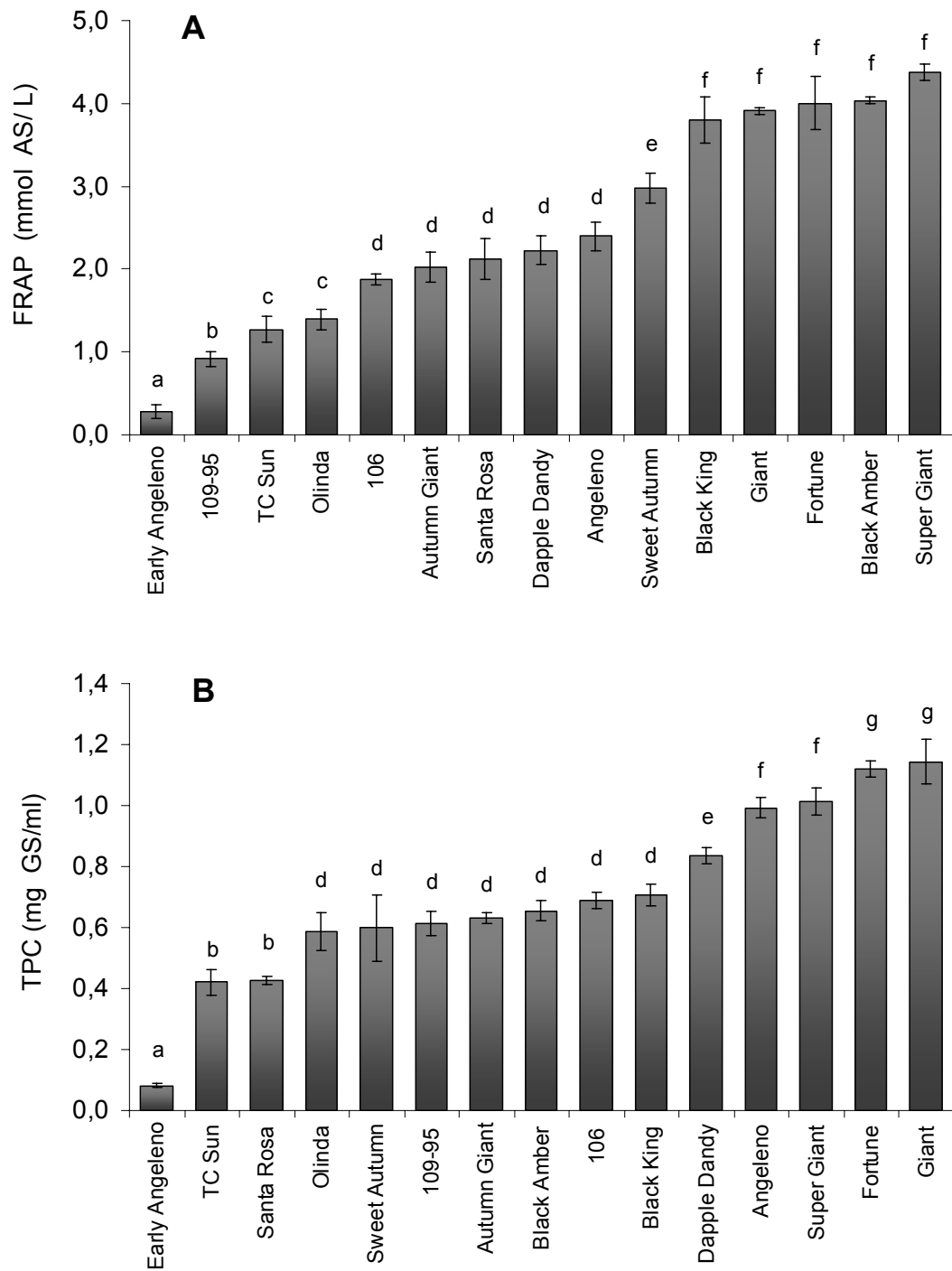
A cseresznyeszilva hét genotípusát vizsgáltuk, melyek közül hat sárga színű gyümölcsöt terem, míg az egyik (PC4) gyümölcse sötétbíbor színű. A vizsgált gyümölcsök antioxidáns kapacitásában közel 11-szeres különbség mutatkozott, a legnagyobb FRAP-értéket a sötétbíbor színű gyümölcs esetében mértük (13. ábra). Ez kétszer nagyobb érték volt, mint a legnagyobb antioxidáns kapacitású, sárga gyümölcsű fajta esetében.



13. ábra. A cseresznyeszilva genotípusok gyümölcsét jellemző vasredukáló antioxidáns kapacitás, FRAP (A) és összes polifenol-tartalom (B) összehasonlítása. Az oszlopok magassága a mérések átlagát, a vonalak a szórást mutatják ($n = 3$). Az eltérő betűk a Duncan-teszt alapján egymástól szignifikánsan ($P \leq 0,05$) különböző értékeket jelölnek.

Az összes polifenol-tartalom kevésbé bizonyult változékonynak, a genotípusok között alig több mint háromszoros különbség volt kimutatható. A legnagyobb polifenol-tartalom szintén a bíbor színű gyümölcsöt jellemezte. A két paraméter közti korrelációs együttható értéke $r=0,637$ volt, amely $P \leq 0,05$ szinten nem bizonyult szignifikánsnak.

A vizsgált 15 japánszilva FRAP-értéke 0,28 ('Early Angeleno') és 4,38 mmol AS/L ('Super Giant') között változott, ami közel 16-szoros eltérést jelent (14. ábra). Az összes polifenol-tartalom szélsőértékei 0,08 ('Early Angeleno') és 1,14 ('Giant') mg GS/ml voltak, ami 14-szeres különbség. A két paraméter közötti Pearson-féle korrelációs együttható $r=0,736$ volt, ami $P \leq 0,05$ szinten szignifikánsnak bizonyult.

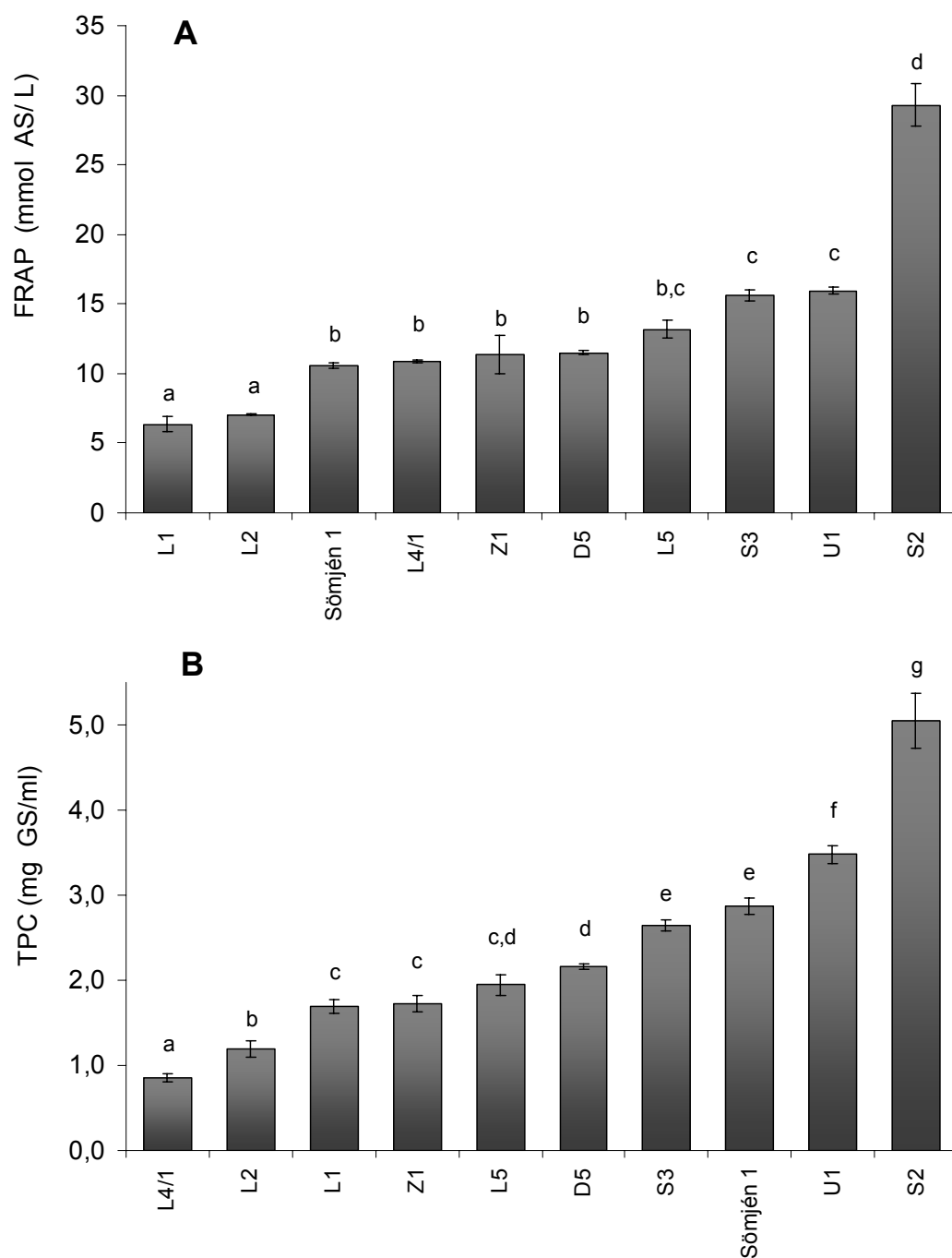


14. ábra. A japánszilva genotípusok gyümölcsét jellemző vasredukáló antioxidáns kapacitás, FRAP (**A**) és összes polifenol-tartalom (**B**) összehasonlítása. Az oszlopok magassága a mérések átlagát, a vonalak a szórást mutatják ($n = 3$). Az eltérő betűk a Duncan-teszt alapján egymástól szignifikánsan ($P \leq 0,05$) különböző értékeket jelölnek.

dc_634_12

Méréseinket kiterjesztettük az európai szilva két fajtájára is. A ‘Besztercei Bt. 2’ klón gyümölcsét $3,65 \pm 0,05$ mmol AS/L, a ‘Révfülöpi’ tájfajtát ennél is nagyobb, $4,06 \pm 0,16$ mmol AS/L antioxidáns kapacitás jellemezte. A ‘Besztercei’ klón összes polifenol-tartalma $0,68 \pm 0,02$ mg GS/ml volt, a ‘Révfülöpi’ tájfajtáé $0,65 \pm 0,01$ mg GS/ml. Ennek alapján a két vizsgált hexaploid fajta antioxidáns kapacitása egymástól alig eltérő értékeket adott, ami ugyanakkor meghaladta valamennyi cseresznyeszilva FRAP-értékét, és elérte a legnagyobb antioxidáns kapacitású japánszilvafajták szintjét. Összes polifenol-tartalmuk a közepes polifenol-tartalmú japánszilvákhoz volt hasonló.

A vizsgált kökény (L4/1, L5, S2, S3, D5, Sömjén 1 és U1) egyedek, a kökényszilva genotípus (Z1) és a *P. spinosa* $\times$ *P. domestica* hibridek (L1 és L2) antioxidáns kapacitása 6,36 (L1) és 29,29 (S2) mmol AS/L határértékek között változott, ami 4,6-szeres variabilitást jelent (15. ábra). A legkisebb FRAP-értékek a *P. spinosa* $\times$ *P. domestica* hibridek gyümölcsét jellemezték, amely érték csak kismértékben haladta meg az európai szilvákra jellemző szintet. A legnagyobb antioxidáns kapacitást a tiszta kökények gyümölcse mutatta: a kiemelkedő S2 genotípus összes polifenol-tartalom alapján is az élen végzett (5,05 mg GS/ml). A vizsgált genotípusok TPC értéke közel 6-szoros variabilitást mutatott.



15. ábra. A kökény, kökényszilva és európai szilva × kökény genotípusok gyümölcsét jellemző vasredukáló antioxidáns kapacitás, FRAP (**A**) és összes polifenol-tartalom (**B**) összehasonlítása. Az oszlopok magassága a mérések átlagát, a vonalak a szórást mutatják ($n=3$). Az eltérő betűk a Duncan-teszt alapján egymástól szignifikánsan ($P \leq 0,05$) különböző értékeket jelölnek.

5.1.3 A kajszi fajták antioxidáns kapacitásának jellemzése

A kajszi esetében vizsgálatainkat széles, számos szempont alapján jelentős variabilitást mutató mintakörön végeztük el. A genotípusok eredetük és gyümölcsminőséget meghatározó paramétereik alapján egyaránt nagy polimorfizmust mutattak (1. melléklet). A gyümölcserés június közepétől szeptember közepéig tartó intervallumot ölelt fel. A korai érésű csoportban észak-amerikai ('Aurora', 'Orange red' és 'Toyesi') és örmény eredetű ('Harmat', 'Korai zamatos', 'Salah' és T-8) genotípusok találhatók. A kései érésű csoport tagjai között számos európai (pl. 'Bergeron', 'Baneasa 4/11' és 'Pisana') illetve közép-ázsiai ('Kecs-psár' és 'Zard') genotípus volt azonosítható.

Az átlagos gyümölcstömeg 22,9 és 77,5 g értékek között változott. A legkisebb méretű gyümölcsök a 'Zard', a legnagyobbak a 'Mandulakajszi' fajtát jellemezték. A vizsgált gyümölcsparaméterek között nem mutatkozott jelentős mértékű összefüggés, kivéve az érésidő és oldható szárazanyag-tartalom között. E két paraméter között a Pearson-féle korrelációs együttható értéke 0,630 volt, ami $P \leq 0,05$ szinten szignifikánsnak bizonyult. A legkisebb oldható szárazanyag-tartalom a korai érésű fajták (pl. 'Szamarkandszkij rannij' és 'Harmat') gyümölcseire volt jellemző, míg a legnagyobb oldható szárazanyag-tartalmat a kései érésű, különösen a 'Kecs-psár' és 'Zard' fajták gyümölcseiben mértük.

A gyümölcsök titrálható savtartalma 0,91 % és 4,39 % között változott. A legkisebb és legnagyobb savtartalmú gyümölcsöt termő fajták között észak-amerikai és ázsiai eredetű fajták találhatók. Az oldható szárazanyag-tartalom és titrálható savtartalom aránya az 'Aurora' fajta gyümölcseiben volt legkisebb, míg az 'Orange red' és 'Salah' gyümölcseiben a legnagyobb. A régi magyar fajták SSC/TA aránya 8 körüli, vagy azt meghaladó értékeket mutatott.

A vizsgált 27 kajszi fajta összes antioxidáns kapacitás értékét (FRAP) és összes polifenol-tartalmát (TPC) a 16. ábra mutatja. Jelentős különbségek mutatkoztak mindkét paraméter értékében: a FRAP 2006-ban 0,47 és 10,35 mmol AS/L szélsőértékek között változott, míg 2007-ben 0,48 és 14,00 mmol AS/L között. A legkisebb antioxidáns kapacitást örmény, észak-amerikai és ázsiai eredetű genotípusok gyümölcseiben mértük, melyek többségét korai érésidő jellemzi. A korai érésű és kis antioxidáns kapacitású gyümölcsöt termő, 'Korai zamatos' és 'Harmat' nevű magyar fajták is bizonyítottan örmény pedigrével rendelkeznek (Halász és mts., 2005).

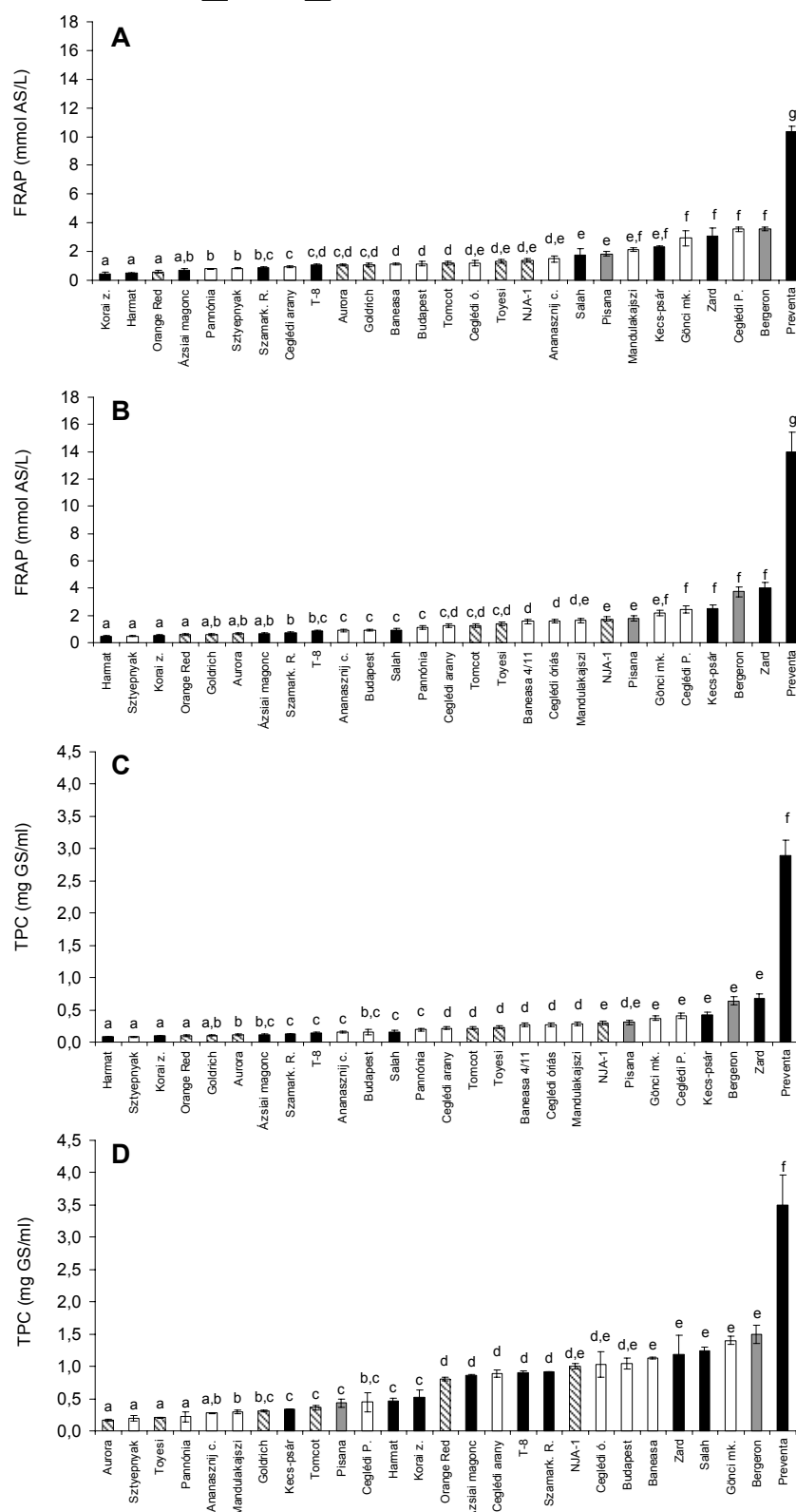
Az 1,0–3,0 mmol AS/L antioxidáns kapacitással rendelkező fajták túlnyomó többségét közepes érésidő jellemzi. Ezek genetikai háttere és eredete is igen különböző. Találhatók köztük közép-európai ('Ceglédi óriás', 'Mandulakajszi', 'Selena' stb.) és észak-

amerikai (pl. ‘Tomcot’, ‘Toyesi’ és ‘Goldrich’) fajták is. Nagyobb antioxidáns kapacitású ($>3,0$ mmol AS/L) gyümölcsöt termelt a ‘Ceglédi Piroska’, ‘Konzervnij Pozdnij’ és a ‘Bergeron’ fajta 2006-ban, míg 2007-ben a ‘Bergeron’ és a ‘Zard’. A Preventa nevű hibrid kiugró FRAP-értéket ($>10,0$ mmol AS/L) produkált mindkét évben (16. ábra).

Az összes polifenol-tartalom 2006-ban 0,082 és 2,892 mg GS/ml, míg 2007-ben 0,169 és 3,500 mg GS/ml értékek között változott. A legkisebb összes polifenol-tartalmat a korai érésű fajták gyümölcsében mértük, míg a Preventa kiemelkedő polifenol-tartalommal rendelkezett. Az érésidő és a FRAP-értékek mindkét évben szignifikáns ($P \leq 0,05$) pozitív korrelációt mutattak ($r=0,397$ és $r=0,476$), ha a kiugró antioxidáns kapacitású, július elején érő Preventa hibridet kizártuk az összefüggés-vizsgálatból.

Megvizsgáltuk népszerű, új kajszfajták egy csoportjának (15 fajta) antioxidáns kapacitását és összes polifenol-tartalmát, és a „hagyományos” fajtákból képzett, azonos tagszámú csoporttal hasonlítottuk össze azokat (17. ábra). Az előbbi csoportba a ‘Bergarouge’, ‘Flavorcot’, ‘Jumbocot’, ‘Latter Sabatini’, ‘Ninfa’, ‘Polumella’, ‘Perlecot’, ‘San Castrese’, ‘Sungiant’, ‘Tomcot’, ‘Toyesi’, ‘Toyiba’, ‘Toyuda’, ‘Vitulo’ és ‘Zebra’ fajtákat, az utóbbiba az ‘Aurora’, ‘Baneasa 4/11’, ‘Bergeron’, ‘Ceglédi arany’, ‘Ceglédi óriás’, ‘Gönci magyarkajsi’, ‘Harmat’, ‘Kecs-psár’, ‘Konzervnij pozdnij’, ‘Korai zamatos’, ‘Pisana’, Preventa, ‘Salah’, ‘Szamarkandszkij rannij’ és ‘Sztepnyak’ genotípusokat soroltuk be.

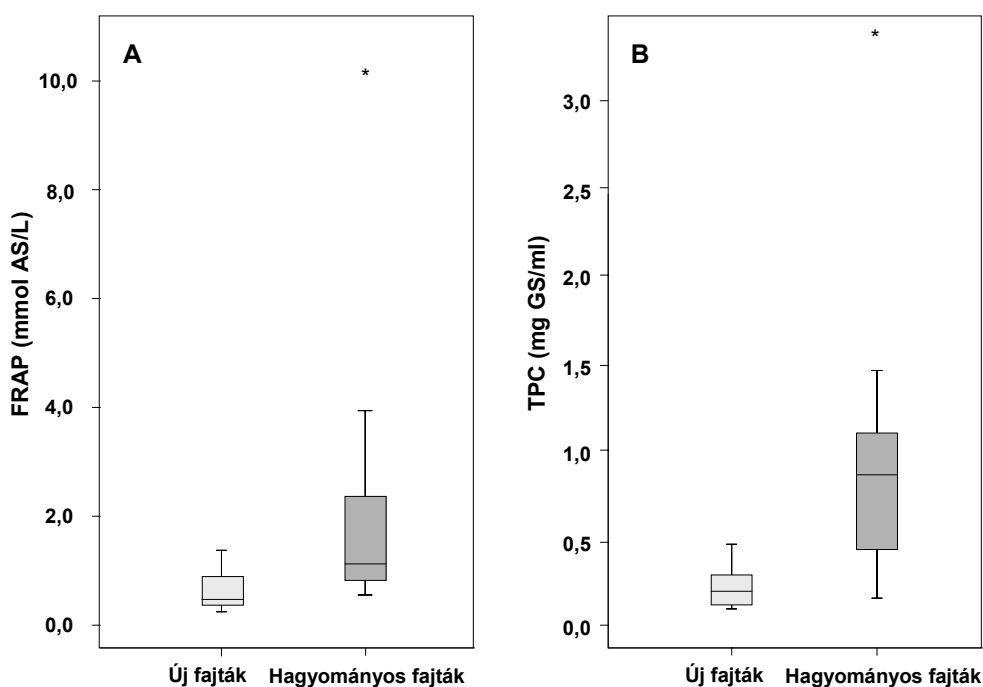
dc_634_12



16. ábra. Kajszifajták gyümölcsének antioxidáns kapacitása (FRAP, mmol AS/L) és összes polifenol-tartalma (TPC, mmol GS/L) a 2006-os és 2007-es évben. (A) FRAP, 2006, (B) FRAP, 2007, (C) TPC, 2006, (D) TPC, 2007. Fekete oszlop: ázsiai eredetű genotípusok, vonalkázott: észak-amerikai genotípusok, szürke: nyugat-európai genotípusok, fehér: kelet-európai genotípusok. Az eltérő betűk a Duncan-teszt alapján egymástól szignifikánsan ($P \leq 0,05$) különböző értékeket jelölnek.

dc_634_12

Mind a FRAP, mind a TPC értékek sokkal variábilisabbak voltak a „hagyományos” fajták csoportjában, mint az új fajták esetén. Az új fajták antioxidáns kapacitása 0,26 mmol AS/L (‘Toyuda’) és 1,39 mmol AS/L (‘Flavorcot’) változott, a hagyományos fajták csoportjára jellemző szélsőértékek 0,47 és 10,35 mmol AS/L voltak. A polifenol-tartalomban is hasonló különbség mutatkozott a csoportok között. A hagyományos fajták csoportjának medián értéke mindkét paraméter esetében felülmúlta az új fajtákra jellemző medián értéket. A FRAP-értékek eloszlása nem szimmetrikus, mert sokkal több fajta rendelkezik a mediántól nagyobb antioxidáns kapacitással, mint kisebb értékekkel.



17. ábra. Népszerű új áruajták és „hagyományos” kajszifajták/ -genotípusok gyümölcsét jellemző antioxidáns kapacitás (A) és összes polifenol-tartalom (B) boxplot diagramja. A box közepén látható vonal a középső érték (*medián*). A box alsó része az első *kvartilis*, felső része a harmadik *kvartilis* értékét mutatja meg, a kilógó vonalak az adathalmaz terjedelmét. A csillagok a szélsőértékeket jelölik (azok az értékek, melyek a doboz hosszának, vagyis az *interkvartilis* terjedelemből háromszorosánál nagyobb mértékben haladják meg a harmadik *kvartilis* értékét).

Érdekes, hogy a ‘Zebra’ gyümölcsét közel kétszer nagyobb antioxidáns kapacitás jellemezte, mint a ‘Goldrich’-ét, jóllehet előbbi fajta az utóbbi rügymutációjával jött létre. A Welch-teszt alapján a két fajtacsoport átlaga egymástól szignifikánsan ($P < 0,001$)

különbözött. Ennek alapján a perspektivikus új fajták antioxidáns hatás szempontjából elmaradnak a hagyományos fajtáktól, tájfajtáktól és szelektált genotípusoktól.

Az antioxidáns kapacitást befolyásoló tényezők azonosítása

Annak meghatározására, hogy az antioxidáns kapacitást és összes polifenol-tartalmat szignifikáns módon befolyásolja-e a genotípus, illetve az évjárat hatása, kéttényezős varianciaanalízist végeztünk. Az eredmény igazolta, hogy az antioxidáns kapacitás és összes polifenol-tartalom kialakítása szempontjából a genotípus meghatározó jelentőségű (4. táblázat). Ráadásul, az összes polifenol-tartalmat az évjárat is szignifikáns mértékben befolyásolta.

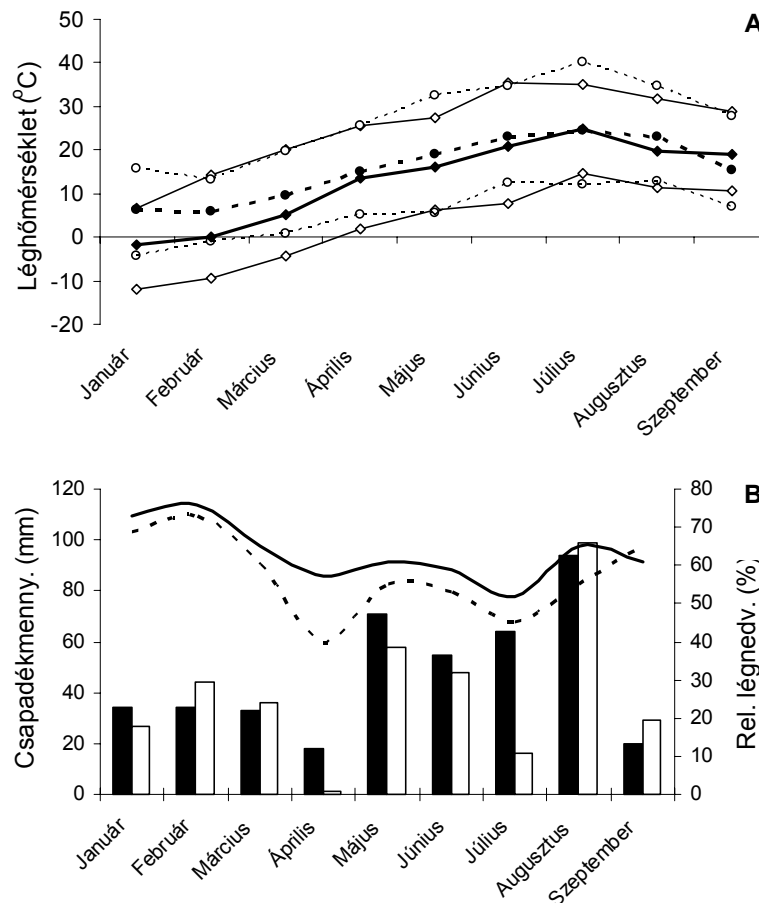
4. táblázat. A kajszi antioxidáns kapacitását és összes polifenol-tartalmát meghatározó tényezők (genotípus, évjárat) statisztikai értékelése 27 genotípus vizsgálatával két év során^a

Változó	<i>SQ</i>	<i>FG</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i> -	<i>P</i>
FRAP					
Genotípus	784,19	26	30,16	278,59	4,34*10 ⁻⁸⁷
Év	0,10	1	0,10	0,92	0,341
Genotípus × év	27,64	26	1,06	9,82	2,80*10 ⁻¹⁸
Összfenol-tartalom					
Genotípus	2473,99	26	95,15	284,39	1,45*10 ⁻⁸⁷
Év	12,84	1	12,84	38,39	1,08*10 ⁻⁸
Genotípus × év	88,50	26	3,40	10,17	8,17*10 ⁻¹⁹

^aAz értékeket kéttényezős varianciaanalízissel határoztuk meg; *SQ*: eltérésnégyzetek összege, *FG*: szadságfokok száma, *MQ*: közepes négyzetes eltérés, *P*: hibavalószínűség

Ennek magyarázata a 2006. és 2007. évi időjárási különbségekben rejlik, mert 2007-ben a szezon lényegesen melegebb és szárazabb volt (18. ábra). A 2007. év júliusában a maximális hőmérséklet elérte a 40,1 °C-ot is (18A. ábra), míg a csapadékmennyiség közel egynegyede volt a 2006. évinek (18B. ábra). Ennek megfelelően a relatív légnedvesség értéke is kisebb volt 2007-ben. Néhány genotípus (pl. ‘Orange red’, ‘Salah’, ‘Szamarkandszkij rannij’ és ázsiai magonc) gyümölcsének összes polifenol-tartalma sokkal nagyobb volt 2007-ben, mint 2006-ban. A ‘Kecs-psár’, ‘Toyesi’ és a magyar fajták

polifenol-tartalmának eltérése a két évben nem haladta meg a 20 %-ot. A Preventa hibrid kiemelkedő antioxidáns kapacitású gyümölcsének polifenol-tartalma mindössze 21 %-os különbséget mutatott a két évben.



18. ábra. A mintagyűjtés helyszínének (Szigetcsép, északi szélesség 47° 15' 06-13"; keleti hosszúság 18° 58' 05-15", t. sz. f.: 96 m) 2006. és 2007. évi időjárását jellemző adatok. **(A)** Maximum- (üres szimbólum), átlag- (fekete szimbólum) és minimum- (üres szimbólum) hőmérséklet 2006-ban (folytonos vonal) és 2007-ben (szaggatott vonal), **(B)** csapadékmennyiség 2006-ban (fekete oszlop) és 2007-ben (fehér oszlop) illetve relatív légnedvesség 2006-ban (folytonos vonal) és 2007-ben (szaggatott vonal).

Az antioxidáns hatást jellemző paraméterek közötti összefüggések

Széles körben elfogadott nézet, hogy a gyümölcsök antioxidáns kapacitásának jellemzéséhez legalább három különböző mérőmódszer eredményének összevetése szükséges. A méréseket ezért kiegészítettük négy további paraméter meghatározásával. Ezek közé tartozik a DPPH szabadgyökkel szembeni gyökfogó hatás, a teljes gyökfogó

kapacitás (hidroxilgyök és luminolgyök használatával), illetve a Photochem (Analytic Jena) készülékhez a gyártó által vízdoldható antioxidáns kapacitásnak (ACW) és zsíroldékony antioxidáns kapacitásnak nevezett értékek mérése. A két utóbbi módszer a szuperoxidgyökökkel és luminolgyökökkel szembeni gyökfogó hatást jellemzi. A méréseket csak a vizsgált mintapopuláció egy részén (15 genotípus) végeztük el. Ezek minden szempontból (származási hely, érésidő és fizikai-kémiai paraméterek) jelentős mértékű variabilitást képviseltek, ugyanakkor felölelték az antioxidáns kapacitás és összes polifenol-tartalom 27 fajta vizsgálatával kimutatott teljes intervallumát.

A legnagyobb szabadgyökfogó kapacitást (DPPH, TRSA, ACW és ACL) szintén a Preventa hibrid gyümölcsében mértük (5. táblázat). A legkisebb értékek esetében a négy módszer nem vezetett ehhez hasonlóan konzekvens eredményre. A DPPH módszer alapján a 'Harmat', a TRSA alapján a 'Salah', az ACW szerint a 'Baneasa 4/11', míg az ACL alapján az 'Aurora' és 'Harmat' fajták mutatták a legkevésbé kedvező értékeket.

A vizsgált fajták gyümölcsének C-vitamin-tartalma 3,04 és 16,17 mg/100 g friss tömeg között változott, ami megközelítőleg 5-szörös különbség. A legkevesebb C-vitamint a 'Goldrich', a legtöbbet a Preventa gyümölcse tartalmazta. A L^* színparaméter csökkenő értéke a kajszi gyümölcshúsának sötétedő színére utal, míg a H° csökkenő értéke a fehértől a narancssárga irányába történő árnyalatváltozásra. A C^* értéke a narancssárga gyümölcshúsú fajták esetében nagyobb, mint a halványabb színű gyümölcsök esetén. A vizsgált fajták közül a 'Harmat' rendelkezett a legnagyobb H° értékekkel (6. táblázat), míg a 'Konzervnij Pozdnij' és az 'Aurora' mutatta a legkisebb értékeket.

5. táblázat. Kajszfajták és -hibridek gyümölcsének 2,2'-difenil-1-pikrilhidrazil (DPPH) (gátlási %^a), összes gyökfogó kapacitás (TRSA) (RLU %), zsíroldható antioxidáns kapacitás (ACL) (nmol trolox/L), zsíroldható antioxidáns kapacitás (ACW) (nmol AS/L) és C-vitamin-tartalom (mg/100 g friss tömeg) értéke^b

	DPPH	TRSA	ACL	ACW	C-vitamin
Aurora	9,80±2,40 a	0,008±0,001 c	0,55±0,11 a	2858,8±110,7 c	7,09±0,67 c
Baneasa 4/11	26,63±1,99 b	0,033±0,017 b	0,84±0,10 b	1601,7±250,5 a	9,62±0,81 d
Bergeron	36,93±3,05 c	0,003±0,001 d	1,67±0,35 c	6415,0±288,4 e	11,39±0,75 e
Ceglédi arany	21,29±3,15 b	0,007±0,001 c	0,63±0,07 a	1728,3±210,3 a	5,75±0,53 b
Ceglédi óriás	29,11±1,84 b,c	0,006±0,002 c,d	1,01±0,31 b,c	3483,3±301,6 d	9,21±0,88 d
Ceglédi Piroska	31,19±2,93 c	0,013±0,003 b	1,41±0,22 c	5884,0±310,9 e	9,82±0,92 d
Goldrich	21,88±3,05 b	0,003±0,001 d	10,55±1,05 e	2825,6±124,5 c	3,04±0,81 a
Gönci magyarkajszi	27,62±2,60 b	0,005±0,001 c,d	16,78±1,25 f	2521,1±185,3 b	12,9±0,99 e
Harmat	6,43±1,74 a	0,659±0,081 a	0,55±0,10 a	2821,3±130,7 c	5,34±0,65 b
T-8	7,92±1,10 a	0,449±0,072 a	0,65±0,08 a	1833,8±242,8 a	4,63±0,79 a,b
Kecs-psár	26,44±2,00 b	0,008±0,001 c	1,12±0,26 c	2555,0±200,8 b	5,02±0,44 b
Konzervnij Pozdnij	45,35±2,53 d	0,002 ±0,001 d,e	4,08±0,44 d	7875,0±412,5 f	6,57±0,82 b,c
Korai zamatos	9,60±1,55 a	0,058±0,030 b	0,60±0,08 a	2217,5±290,2 a,b	7,17±0,71 c
Preventa	74,45 ±5,11 e	0,002 ±0,000 e	78,65 ±2,50 g	33587,5 ±980,8 g	16,17 ±1,05 f
Salah	25,35±1,85 b	0,732±0,085 a	0,87±0,11 b	2519,2±220,3 b	13,63±0,91 e

^a100 % DPPH-gyökfogó kapacitás $1,14 \cdot 10^{-4}$ mmol DPPH gyök semlegesítését jelenti.

^bAz eltérő betűk egymástól szignifikánsan ($P \leq 0,05$) különböző értékeket jelölnek.

A félkövér szedés a legkedvezőbb, a dőlt karakterek a legkevésbé kedvező értékeket mutatják.

6. táblázat. Kajszi fajták és -hibridek gyümölcshússzínét jellemző CIELAB színparaméterek^a

	<i>H°</i>	<i>L*</i>	króma
Aurora	63,53±1,49 c	60,15±1,77 c	68,48±4,55 c
Baneasa 4/11	66,43±1,62 b	67,86±2,49 a,b	59,45±3,00 b
Bergeron	66,48±1,77 b,c	63,62±2,43 b	65,99±5,70 c
Ceglédi arany	64,83±1,78 b	67,01±3,34 a,b	61,50±3,27 b
Ceglédi óriás	67,29±3,37 b	67,25±2,76 a,b	62,35±3,53 b,c
Ceglédi Piroska	66,25±2,23 c	66,03±3,13 b	62,96±2,20 b,c
Goldrich	65,35±1,81 b	66,11±1,55 b	62,76±2,16 b,c
Gönci magyarkajsi	64,78±1,69 b,c	62,92±3,11 b,c	64,05±3,06 c
Harmat	84,63±3,94 a	72,43±2,50 a	51,66±6,29 a
T-8	73,41±3,85 a,b	61,82±1,48 c	61,99±4,57 b
Konzervnij Pozdnij	62,63±1,91 c	60,98±2,57 c	59,85±3,20 b
Korai zamatos	63,88±1,08 c	62,46±1,85 b,c	67,46±3,07 c
Preventa	66,99±1,79 b	62,79±2,08 b,c	64,27±3,04 c
Salah	70,00±2,50 b	65,75±2,41 b	60,13±2,14 b

^aAz eltérő betűk egymástól szignifikánsan ($P \leq 0,05$) különböző értékeket jelölnek.

A félkövér szedés a legnagyobb, a dőlt karakterek a legkisebb értékeket mutatják.

Az antioxidáns és szabadgyökfogó kapacitást jellemző paraméterek (FRAP, DPPH, TRSA, ACW és ACL), valamint bizonyos antioxidáns hatással rendelkező vegyületek/vegyületcsoportok (C-vitamin és összes polifenol-tartalom) és színparaméterek (H° , L^* és C^*) közötti kapcsolat feltárása érdekében korrelációs vizsgálatot végeztünk (7. táblázat). A FRAP és ACW paraméterek között mutattuk ki a legszorosabb összefüggést ($r=0,952$). A FRAP eredmények közel hasonló mértékű, szignifikáns összefüggést mutattak a DPPH gyökfogó kapacitással és a Photochem ACL paraméterrel. A FRAP és az összfenol-tartalom között is jelentős mértékű korrelációt mutattunk ki, míg a FRAP és C-vitamin-tartalom között ettől gyengébb, de még szignifikáns összefüggés volt látható. Néhány fajta esetében meghatároztuk a 100 g friss gyümölcsre számított vasredukáló képességet. Mivel ezt az értéket aszkorbinsav-egyenértékben fejezzük ki, lehetőség volt összevetni a 100 g friss tömegre vonatkoztatott aszkorbinsav-mennyiségekkel. Ezek alapján a C-vitamin-tartalom a FRAP-értékek 33,6 %-át képviselte a 'Korai zamatos' fajta esetében, míg a Preventa esetében mindössze 3,3 %-ot.

Valamennyi paraméter szignifikáns ($P \leq 0,05$) korrelációt mutatott egymással, mely alól csak a TRSA bizonyult kivételnek (7. táblázat). A TRSA azonban szignifikáns

összefüggést adott a H° és C^* színparaméterekkel, és csak ezekkel. Ráadásul a színparaméterek egyike sem adott szignifikáns korrelációt a TRSA-n kívül egyetlen más redox paraméterrel.

7. táblázat. A kajszi antioxidáns kapacitását jellemző értékek és színparaméterek közötti összefüggés vizsgálata (Pearson-féle korrelációs együtthatók)

	DPPH	TRSA	ACL	ACW	TPC	C-vit.	H°	L^*	króma
FRAP	0,929*	-0,279	0,894*	0,952*	0,837*	0,683*	-0,110	-0,313	0,186
DPPH	—	-0,388	0,783*	0,853*	0,820*	0,671*	-0,223	-0,221	0,131
TRSA	—	—	-0,214	-0,215	-0,102	-0,043	0,602*	0,385	-0,611*
ACL	—	—	—	0,947*	0,865*	0,578*	0,101	-0,208	0,159
ACW	—	—	—	—	0,850*	0,578*	0,051	-0,229	0,144
TPC	—	—	—	—	—	0,779*	0,095	-0,155	0,104
C-vit.	—	—	—	—	—	—	-0,262	-0,149	0,216
H°	—	—	—	—	—	—	—	0,632*	-0,707*
L^*	—	—	—	—	—	—	—	—	-0,762*

*Az összefüggés ($P \leq 0,05$) szignifikáns.

Az antioxidáns kapacitás változása a gyümölcsérés folyamán

Vizsgálataink következő lépése annak jellemzése volt, hogy a ‘Gönci magyarkajszi’ és Preventa érett gyümölcsének antioxidáns kapacitásában kimutatott jelentős mértékű különbség mikor alakul ki az érés során. Ennek érdekében a két genotípus különböző érési állapotú gyümölcseit vizsgáltuk meg (8. táblázat). Az érési állapot jellemzésére a méretet, az oldható szárazanyag-tartalmat és a színparamétereket használtuk. A ‘Gönci magyarkajszi’ gyümölcsének magassága 35 mm-ről 48 mm-re, a varrattal párhuzamosan mért (D_{vp}) átmérője 32 mm-ről 49 mm-re, a varratra merőlegesen mért átmérő (D_{vm}) 28 mm-ről 46 mm-re, a gyümölcs átlagtömege 17 g-ról 63 g-ra nőtt az érés során. A ‘Preventa’ gyümölcsének magassága 41 mm-ről 51 mm-re, szélességei 30 mm-ről 39 mm-re (D_{vp}), valamint 25 mm-ről 41 mm-re (D_{vm}), tömege 16 g-ról 44 g-ra növekedett. Mindkét kajszi genotípus közel azonos oldható szárazanyag-tartalmat mutatott az első érési fázisban, később általában a ‘Preventa’ rendelkezett nagyobb értékekkel, de a különbség a két genotípus között nem volt jelentős. Az L^* az érés során növekszik, a H° csökken mind a gyümölcshéj, mind a gyümölcshús esetében.

dc_634_12

8. táblázat. A ‘Gönci magyarkajszi’ és Preventa méretének, oldható szárazanyag-tartalmának és színparamétereinek változása az érés folyamán (é.f. = érési fázis)

		1. é.f.	2. é.f.	3. é.f.	4. é.f.	5. é.f.
‘Gönci magyarkajszi’	magasság (mm)	34,9±1,8	40,7±2,5	44,4±2,4	46,4±2,2	47,6±2,8
	D_{vp} (mm)	31,7±1,6	38,2±2,6	40,5±2,0	44,2±2,6	49,1±3,0
	D_{vm} (mm)	27,7±1,5	33,8±2,8	43,0±1,8	46,6±2,3	46,3±2,9
	tömeg (g)	17,2±2,5	29,8±6,0	43,8±5,6	54,7±8,1	62,8±9,8
	oldh. sz.a. (%)	6,2±0,4	6,7±0,6	9,7±1,0	13,8±1,1	13,0±1,3
	L^* héj	52,4±1,6	54,2±1,5	60,3±2,2	62,4±1,7	64,0±2,0
	H° héj	120,4±0,5	118,0±0,0	111,8±3,0	104,3±5,3	76,2±4,4
	L^* hús	56,5±1,9	53,5±2,4	58,8±2,0	61,2±2,3	60,7±2,4
	H° hús	118,6±0,6	118,2±0,0	113,9±2,0	103,8±6,6	70,8±2,1
Preventa	magasság (mm)	40,7±2,3	41,9±2,6	44,5±1,9	47,2±2,2	51,1±3,2
	D_{vp} (mm)	30,3±1,3	32,2±2,2	30,7±1,7	34,0±1,5	39,2±1,8
	D_{vm} (mm)	24,9±1,1	28,3±2,7	34,8±1,7	38,5±1,7	41,5±2,3
	tömeg (g)	15,9±1,8	19,8±4,6	23,9±3,2	30,6±3,8	43,7±6,1
	oldh. sz.a. (%)	6,2±0,3	8,8±0,7	10,1±0,6	13,3±0,5	14,0±1,4
	L^* héj	56,1±2,6	58,6±1,6	61,3±1,6	63,9±1,5	63,1±1,5
	H° héj	117,7±2,6	116,3±2,0	108,4±2,0	95,8±2,8	79,1±3,1
	L^* hús	51,1±3,6	57,3±2,0	61,4±2,3	62,2±1,7	60,1±1,3
	H° hús	112,1±4,7	115,1±3,0	98,3±3,7	85,2±3,0	73,7±2,2

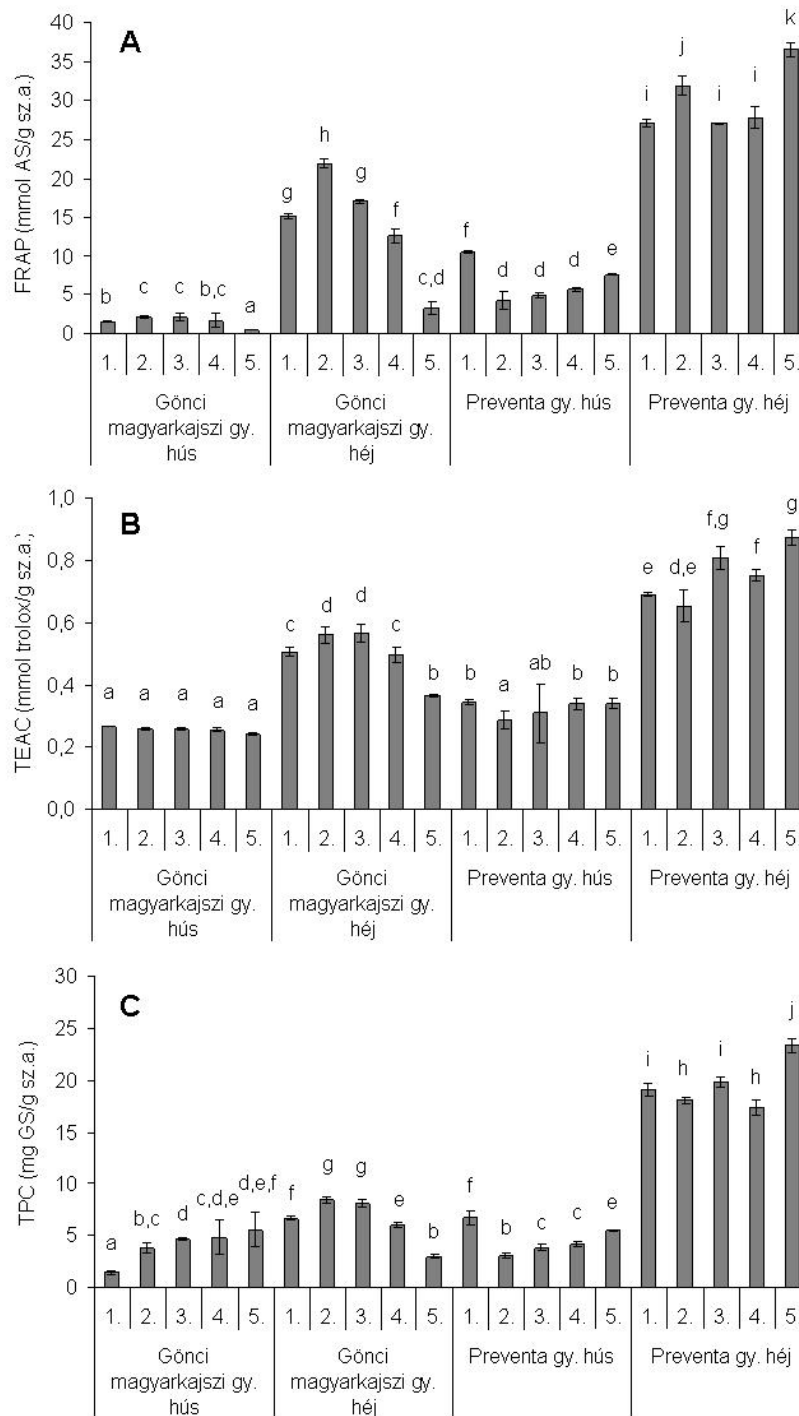
Meghatároztuk e két genotípus fejlődő gyümölcsseinek gyümölcshúsában és gyümölcshéjában mérhető FRAP, TEAC és TPC értékeket (10. ábra). Mindhárom paraméter esetén a gyümölcshús kisebb, a héj nagyobb értékekkel rendelkezett (az egyetlen kivétel a ‘Gönci magyarkajszi’ 5. érési állapotú gyümölcs TPC-értéke volt). A legnagyobb antioxidáns kapacitást és összes polifenol-tartalmat mindhárom módszerrel a Preventa gyümölcshéjában mutattuk ki. A Preventa gyümölcshúsának antioxidáns kapacitás értéke felülmúlta a ‘Gönci magyarkajszi’ gyümölcshúsának antioxidáns kapacitását (19A. ábra). Az érés folyamán a ‘Gönci magyarkajszi’ gyümölcshúsának TEAC értékei kismértékű, nem szignifikáns csökkenést (19B. ábra), FRAP értékei kismértékű növekedést, majd jelentős csökkenést (19A. ábra), összfenol-tartalma ugyanakkor folyamatos növekedést mutatott (19C. ábra). A ‘Gönci magyarkajszi’ gyümölcshéjának antioxidáns kapacitása és összfenol-tartalma az érés első felében nőtt, majd csökkent.

A Preventa gyümölcshúsa minden módszer esetében egy jelentősebb csökkenést követő lassú, folyamatos növekedést mutatott az érés során. A Preventa gyümölcshéja is növekvő tendenciát mutatott az érési folyamat egészét tekintve mindhárom redox paraméterre vonatkozóan, de az egyes érési fázisok között kisebb-nagyobb növekedések–visszaesések voltak megfigyelhetők.

Az antioxidáns paramétereket jellemző három mérőmódszer azonos tendenciákat mutatott a Preventa gyümölcshúsban, valamint a ‘Gönci magyarkajszi’ és Preventa gyümölcshéjban. Az antioxidáns kapacitás értékek és az összes polifenol-tartalom változása az érés folyamán a ‘Gönci magyarkajszi’ gyümölcshús vizsgálatakor kis mértékben különbözött egymástól. A fajták és az érési állapotok közti különbségek a TEAC módszerrel sokkal kisebbnek látszottak, mint a FRAP és TPC esetében.

A ‘Gönci magyarkajszi’ gyümölcshús TPC módszerrel mért értéke az éretlen gyümölcsben 1,42 mg GS/g sz.a.-ról az érés során 5,53-ra növekedett, a gyümölcshéjban 6,64 mg GS/g sz.a.-ról a következő érési fázisban 8,40-re nőtt, majd a teljesen érett állapotra 2,96-ra csökkent. A Preventa gyümölcshús éretlen állapotban nagyobb értéket, 6,72 mg GS/g sz.a.-ot mutatott, mely érték a következő érési állapotban kevesebb, mint a felére csökkent, majd az érés során fokozatosan 5,47-ig növekedett. A Preventa gyümölcshéjának összes polifenol-tartalma az érés során 19,1 mg GS/g sz.a.-ról 23,3 mg-ra nőtt, az egyes érési állapotok között kismértékű csökkenések és növekedések váltakoztak.

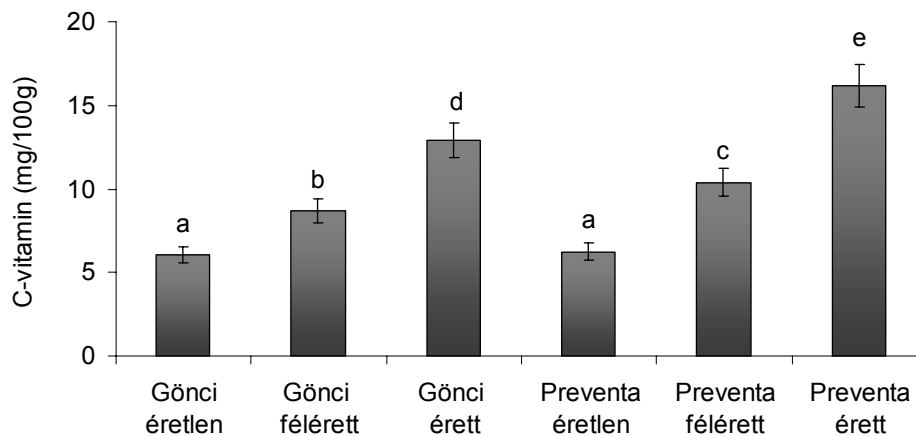
A két genotípus gyümölcseinek antioxidáns kapacitásában és összes polifenol-tartalmában megfigyelhető különbség már az első érési állapotban (kicsi, zöld gyümölcs) megmutatkozik. Az érés során az eltérés még szembetűnőbbé válik, mert a ‘Gönci magyarkajszi’ gyümölcseiben inkább csökkenés, míg a Preventa gyümölcseiben növekedés látható.



19. ábra. A ‘Gönci magyarkajszi’ és Preventa gyümölcshús és -héj antioxidáns kapacitásának és összes polifenol-tartalmának változása a gyümölcserés során. (A) FRAP (mmol AS/g sz.a.), (B) TEAC (mmol trolox/g sz.a.), (C) TPC (mg GS/g sz.a.) értékek változása különböző (1–5) érési állapotokban.

A kajszi gyümölcs C-vitamin-tartalma az érés során folyamatosan növekedett (20. ábra). Bár a Preventa érett állapotban közel 25 %-kal több C-vitamint tartalmazott, mint a

‘Gönci magyarkajszi’, az érési folyamat indulásakor mindkét genotípus azonos C-vitamin-tartalommal rendelkezett (kb. 6 mg/100 g). Az érés során a Preventa gyümölcsökben több aszkorbinsav halmozódott fel, mint a ‘Gönci magyarkajszi’-ében: a mennyiségi növekedés 40 %-a az érési folyamat első szakaszában következett be, míg a maradék 60 % az érés második felében akumulálódott mindkét genotípus esetében.



20. ábra. A ‘Gönci magyarkajszi’ és Preventa gyümölcs C-vitamin-tartalmának (mg AS/100 g friss tömeg) változása a gyümölcsérés során.

A polifenolos vegyületek bioszintézisében résztvevő kajszigének azonosítása és expressziós vizsgálata

Az NCBI GenBank és EST adatbázisokban található, homológ génszekvenciák felhasználásával primereket terveztünk a flavonoid-bioszintézis kulcsenzimeit kódoló gének PCR vizsgálatára (3. táblázat). A fragmentumokat klónoztuk, szekvenáltattuk. A szekvenciákat homológia-keresésnek vetettük alá az NCBI *blastn* keresőprogram segítségével. A klónok között minimális szekvencia-eltérést csak néhány gén esetében tapasztaltunk, ilyen esetekben a *blast* analízis során megtalált homológ szekvenciával jelentősebb mértékű egyezést mutató szekvenciát vizsgáltuk tovább. A parciális kajszi génszekvenciákat, a velük legnagyobb hasonlóságot mutató szekvenciák génbanki azonosító számát, valamint a *blastn* keresőprogram által számított *E*-értéket a 9. táblázat tartalmazza.

Az azonosított szekvenciákkal *blastx* keresést végeztünk az őszibarack genomsekvencián. A *PAL* szekvenciával a 2-es és 6-os kromoszómán; a *CHS* szekvenciával az 1-es és 8-as kromoszómán találtunk homológ régiókat. A többi vizsgált

génszekvencia (4CL, C4H, CHI, F3H, F3'H, F3'5'H, DFR, ANR, ANS és UFGT) esetében csak egyetlen homológ régiót találtunk az őszibarackgenomban.

9. táblázat. A kajszi flavonoid-bioszintézis kulcsenzimeinek parciális génszekvenciái, valamint a velük legnagyobb hasonlóságot mutató szekvenciák azonosító száma és a homológiaeresés szignifikanciaszintjét mutató *E*-érték

	Azonosított kajszi szekvenciák	<i>blastn</i> analízis eredménye
<i>PAL</i>	JQ622221 (982 bp, gDNS, 'C. arany')	EF031063 (<i>P. armeniaca</i>) <i>PAL</i> , <i>E</i> =0
	JQ622222 (982 bp, gDNS, 'Harcot')	EF031063 (<i>P. armeniaca</i>) <i>PAL</i> , <i>E</i> =0
<i>C4H</i>	JQ622235 (609 bp, mRNS, Preventa)	GU990522 (<i>P. avium</i>) <i>C4H</i> , <i>E</i> =0
<i>4CL</i>	JQ622236 (397 bp, mRNS, Preventa)	EF685345 (<i>E. japonica</i>) <i>4CL</i> , <i>E</i> =10 ⁻¹⁵⁸
<i>CHS</i>	JQ622223 (443 bp, mRNS, Preventa)	HM543568 (<i>P. persica</i>) <i>CHS</i> , <i>E</i> =0
	JQ622224 (503 bp, mRNS, 'Aurora')	HM543568 (<i>P. persica</i>) <i>CHS</i> , <i>E</i> =0
	JQ622225 (717 bp, mRNS 18/61 hibr.)	HM543568 (<i>P. persica</i>) <i>CHS</i> , <i>E</i> =0
<i>CHI</i>	JQ622226 (440 bp, mRNS, Preventa)	GU990525 (<i>P. avium</i>) <i>CHI</i> , <i>E</i> =0
<i>F3H</i>	JQ622228 (828 bp, mRNS, Preventa)	GU990526 (<i>P. avium</i>) <i>F3H</i> , <i>E</i> =0
<i>F3'H</i>	JQ622227 (844 bp, mRNS, Preventa)	GU990527 (<i>P. avium</i>) <i>F3'H</i> , <i>E</i> =0
<i>F3'5'H</i>	JQ622234 (334 bp, mRNS, Preventa)	GO511847 (<i>M. domestica</i>) <i>F3'5'H</i> , <i>E</i> =10 ⁻⁸⁵
<i>DFR</i>	JQ622229 (450 bp, mRNS, Preventa)	HM543571 (<i>P. persica</i>) <i>DFR</i> , <i>E</i> =0
<i>ANS</i>	JQ663361 (516 bp, mRNS, 'Aurora')	HM543572 (<i>P. persica</i>) <i>ANS</i> , <i>E</i> =0
	JQ663362 (810 bp, mRNS 18/61 hibr.)	HM543572 (<i>P. persica</i>) <i>ANS</i> , <i>E</i> =0
<i>ANR</i>	JQ622230 (804 bp, mRNS, Preventa)	JN035301 (<i>M. domestica</i>) <i>ANR</i> , <i>E</i> =0
<i>LAR</i>	JQ254906 (704 bp, mRNS, Preventa)	DQ139836 (<i>M. domestica</i>) <i>LAR</i> , <i>E</i> =0
	JQ254907 (391 bp, mRNS, 'Gönci mk.')	DQ139836 (<i>M. domestica</i>) <i>LAR</i> , <i>E</i> =0
<i>UFGT</i>	JQ622231 (975 bp, mRNS, Preventa)	FJ854494 (<i>Py. communis</i>) <i>GT</i> , <i>E</i> =10 ⁻¹⁶³
<i>GAPDH</i>	JQ622232 (530 bp, gDNS, 'Harcot')	AB266450 (<i>Py. pyrifolia</i>) <i>GAPDH</i> , <i>E</i> =10 ⁻⁵⁶

PAL: fenilalanin-ammónia-liáz, *C4H*: fahéjsav-4-hidroxiláz, *4CL*: 4-kumaroil-CoA-ligáz, *CHS*: kalkon-szintáz, *CHI*: kalkon-izomeráz, *F3H*: flavanon-3-hidroxiláz, *F3'H*: flavonoid-3'-hidroxiláz, *F3'5'H*: flavonoid-3'5'-hidroxiláz, *DFR*: dihidroflavonol-4-reduktáz, *ANS*: antocianidin-szintáz, *ANR*: antocianidin-reduktáz, *LAR*: leukoantocianidin-reduktáz, *UFGT*: UDP glükóz:flavonoid-3-*O*-glükoziltranszferáz, *GAPDH*: glicerinaldehid-3-P-dehidrogenáz, C. arany = Ceglédi arany.

A 'Gönci magyarkajszi' és Preventa gyümölcshúsban és -héjban valós idejű PCR-technikával mért relatív génexpressziós értékeket a 21. és 22. ábrák tartalmazzák. A *4CL*, *C3H*, *FLS*, *UFGT* valamint a *HCT*, *MYB* és *MYB10* (nem közölt adat) kandidáns gének relatív expressziós értékei messze elmaradtak a többi génre jellemző értékektől. Az *UFGT* gén expressziója ráadásul alig mutatott eltérést az érés során. Kijelenthető, hogy e gének funkciójának megerősítése további vizsgálatra szorul. Mindezt alátámasztja, hogy a gyümölcshéj vizsgálata során e gének expressziója szintén jelentősen elmaradt a többi vizsgált génre jellemző relatív expressziós értékektől.

A kajszigyümölcsök relatív génexpressziós értékei a legtöbb gén esetében csökkenő tendenciát mutattak az érés során mind gyümölcshúsban, mind gyümölcshéjban. A két

vizsgált genotípus között a legszembetűnőbb különbség, hogy az első érési állapotban, a Preventa gyümölcshéjában 3–11-szer nagyobb expressziót mutatott a vizsgált gének többsége (*PAL*, *C4H*, *CHS*, *F3H*, *F3'H*, *DFR*, *ANS*, *ANR* és *LAR*), mint a 'Gönci magyarkajszai' gyümölcshéjában. A Preventa gyümölcshúsában az első érési állapotban a vizsgált gének túlnyomó többsége (*PAL*, *C4H*, *CHS*, *CHI*, *F3H*, *F3'H*, *DFR*, *ANS*, *ANR* és *LAR* gének) 3–7-szer nagyobb expressziót mutatott, mint a 'Gönci magyarkajszai' gyümölcshúsban.

A második érési stádiumban a Preventa gyümölcshéjában a gének többségét (*C4H*, *F3H*, *F3'H* és *ANS*) még mindig nagyobb expresszió jellemezte, mint a 'Gönci magyarkajszai' gyümölcshéjában, és ez a későbbi érési fázisokban is általános volt. A teljesen érett gyümölcsökben a két genotípus között újra nagyobb mértékű különbség mutatkozott több gén esetében a Preventa javára. A második érési állapotban a gének többségének expressziója a 'Gönci magyarkajszai' gyümölcshúsában azonban nagyobb volt, mint a Preventa hibridnél. A Preventa a későbbi érési állapotokban csak bizonyos hidroxiláz (*F3'H* és *F3'5'H*) valamint az *ANS*, *ANR* és *LAR* gének esetében mutatott nagyobb expressziót a gyümölcshúsban, mint a 'Gönci magyarkajszai'. A 'Gönci magyarkajszai' esetén az első és második érési fázis között általában kisebb mértékű relatív transzkriptumbeli növekedés, majd a második érési fázistól az ötödik érési fázisig nagyobb mértékű, fokozatos csökkenés volt megfigyelhető. A Preventa gyümölcseiben szinte valamennyi gén expressziója jelentős csökkenést mutatott az első és második érési fázis között.

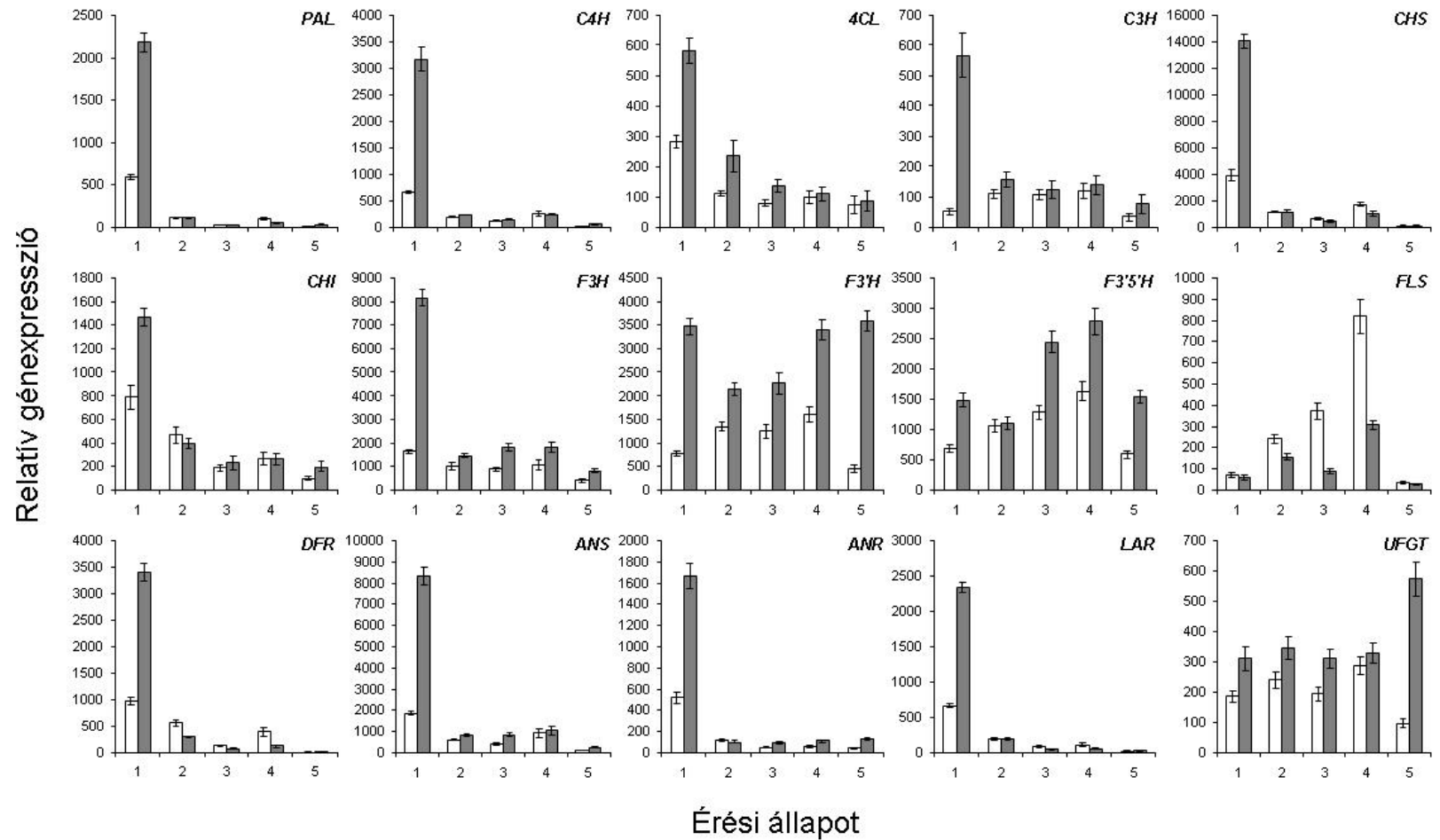
A gyümölcshús és -héj expressziós mintázata között különbség figyelhető meg. Az első érési állapotú 'Gönci magyarkajszai' gyümölcshéja egyes gének esetén (*PAL*, *CHS*, *CHI*, *F3H*, *DFR*, *ANS*, *ANR* és *LAR*) jelentősen felülmúlja a gyümölcshúsra jellemző expressziós értékeket, míg a többi gén esetében nincs, vagy csak kismértékű az eltérés. A következő érési állapotban ez a tendencia visszajára fordul: kevés kivételtől eltekintve (pl. *F3H*) a génexpresszió mértéke a gyümölcshúsban meghaladja a héjra jellemző értéket. A harmadik érési állapotban mutatkozik a legkisebb eltérés a héj és hús között, jelentősebb különbség a *C4H*, *CHS*, *F3H*, *F3'H*, *ANS* és *LAR* gének esetében mutatható ki: a héj expressziós értéke ezekben az esetekben meghaladja a gyümölcshúsra jellemző adatokat.

A negyedik érési állapotban a különbség még kifejezettebb lesz, és több gén esetében is kimutatható. A negyedik érési állapotban a gyümölcshéjban számos gén (*PAL*, *C4H*, *CHS*, *CHI*, *ANS* és a *hidroxilázok*) expressziója ismételtén növekszik szemben a gyümölcshússal, ahol kismértékű expresszióbeli növekedés is csak elvétve (*CHI*, *F3H* és

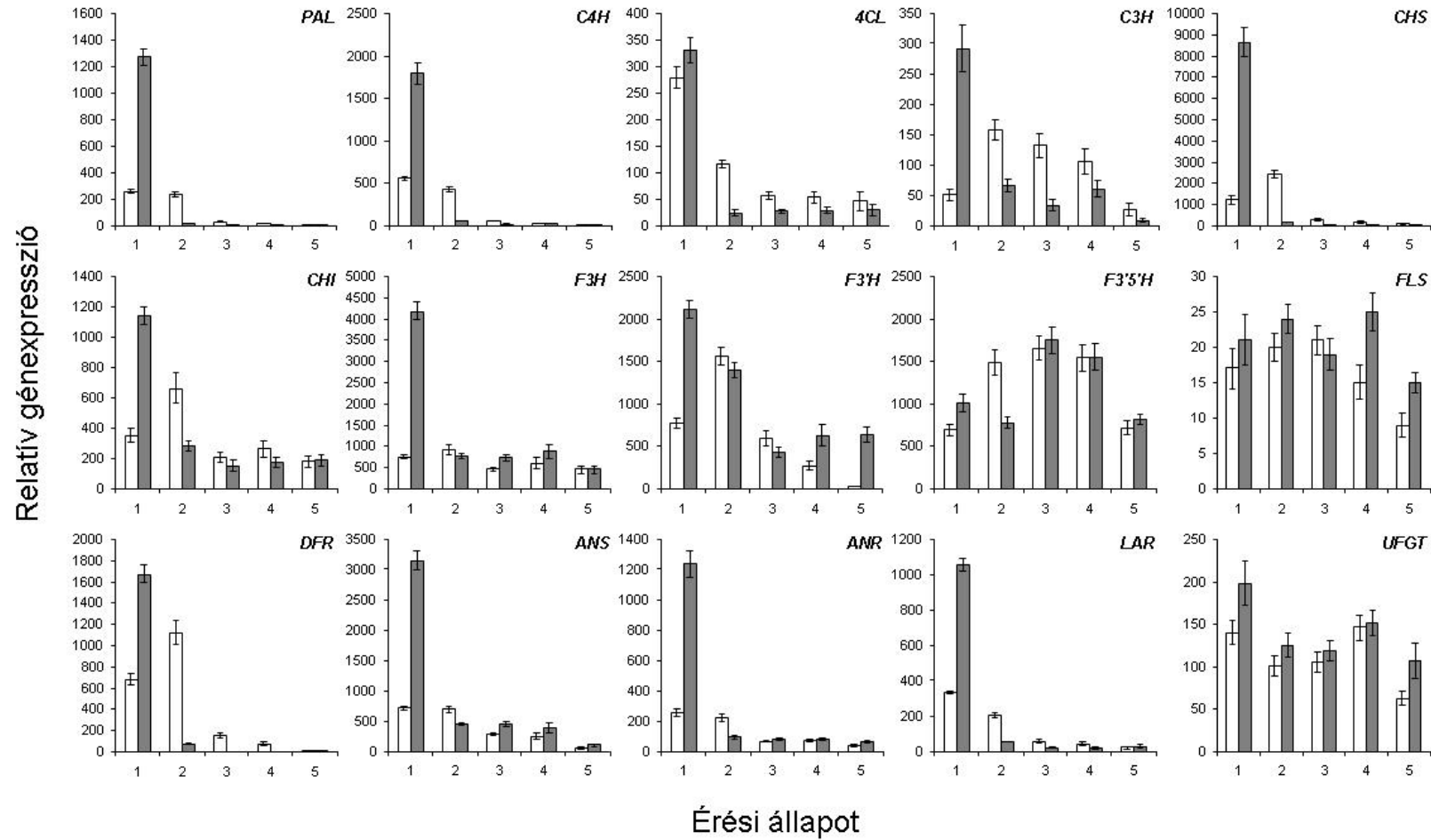
dc_634_12

ANR) fordult elő. Az ötödik érési állapotban jelentős csökkenés látható, különbség a gyümölcshéj és -hús génexpressziójában alig mutatható ki.

Az első érési állapotú Preventa gyümölcsök héjában hozzávetőleg kétszeres transzkriptum-mennyiség volt kimutatható a gyümölcshúshoz képest. A második, harmadik és negyedik érési fázisokban ez a különbség többszörösére növekszik: leggyakrabban négy-nyolcszoros értékek láthatók, de bizonyos gének esetében (pl. *CHS* és *DFR*) 40-szeres különbség is kimutatható volt. Az ötödik érési állapotban a különbség a legtöbb gén esetében ismét csökkent.



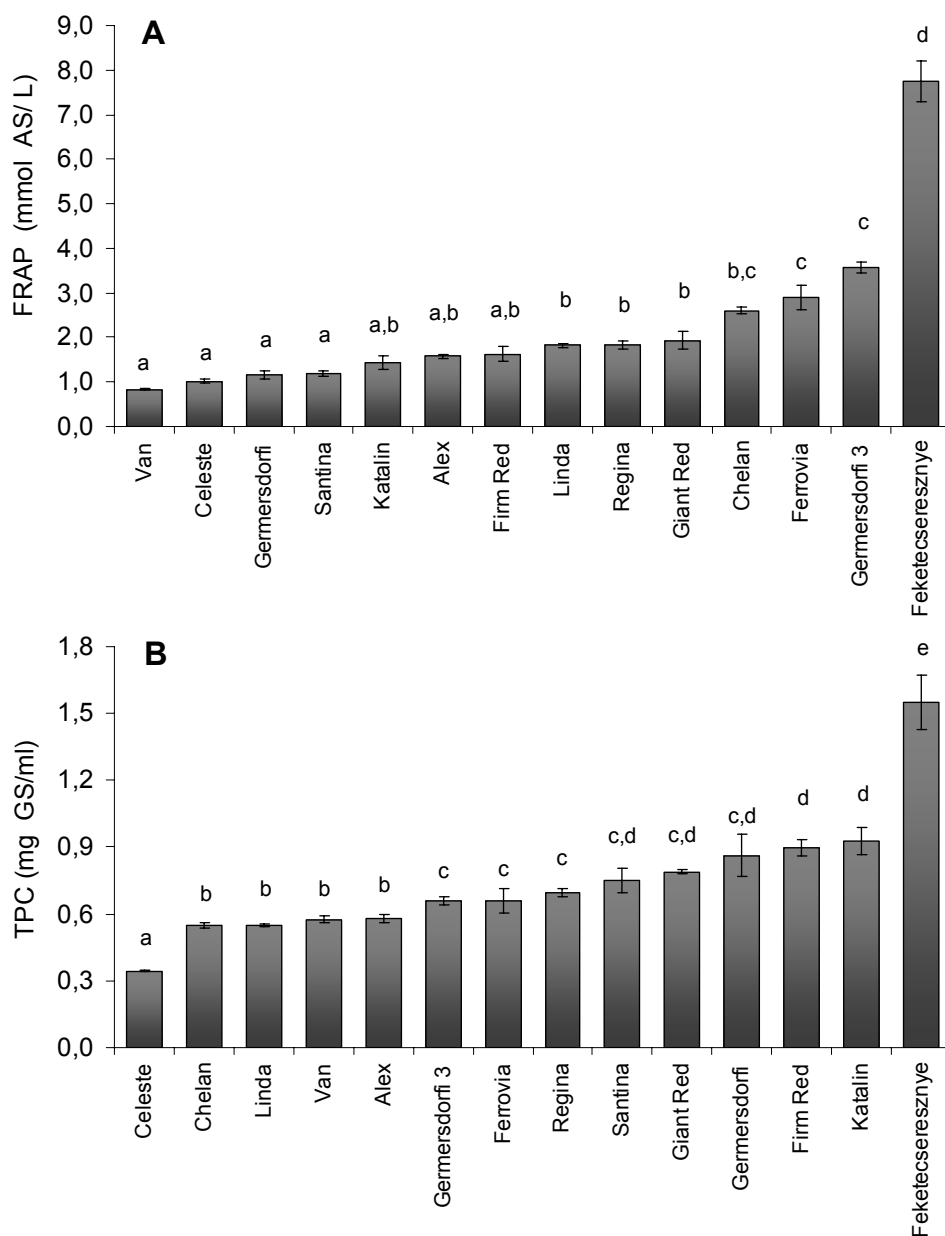
21. ábra. A 'Gönci magyarkajszai' (fehér oszlop) és Preventa (szürke oszlop) kajszai gyümölcshéjban mért relatív génexpressziói az érési fázisok (1–5) függvényében.



22. ábra. A 'Gönci magyarkajszai' (fehér oszlop) és Preventa (szürke oszlop) kajszai gyümölcsbűsban mért relatív génexpressziói az érési fázisok (1–5) függvényében.

5.1.4 A cseresznyefajták antioxidáns kapacitásának jellemzése

A cseresznye antioxidáns kapacitásának jellemzését először ismert árufajták, honosított, illetve kipróbálás alatt álló fajták és egy szelektált klón vizsgálatával kezdtük meg. A legkisebb FRAP-érték a 'Van' fajta gyümölcsét jellemezte (23. ábra).



23. ábra. Cseresznyefajták gyümölcsét jellemző vasredukáló antioxidáns kapacitás, FRAP (A) és összes polifenol-tartalom (B) összehasonlítása. Az oszlopok magassága a mérések átlagát, a vonalak a szórást mutatják ($n=3$). Az eltérő betűk a Duncan-teszt alapján egymástól szignifikánsan ($P \leq 0,05$) különböző értékeket jelölnek.

Az antioxidáns kapacitás szempontjából az áruajták között viszonylag korlátozott mértékű variabilitást mutattunk ki: a legnagyobb FRAP-értékeket a ‘Germersdorfi 3’ és a ‘Ferrovia’ ajták gyümölcse mutatta. Kiemelkedőnek bizonyult azonban a Feketecseresznye szelektált klón gyümölcse, melynek FRAP-értéke (7,75 mmol AS/L) több mint kétszer nagyobb volt a ‘Germersdorfi 3’ áruajta értékénél. A polifenol-tartalom szempontjából szintén a Feketecseresznye klón emelkedett ki (23. ábra). Az áruajták közül a ‘Germersdorfi 1’, ‘Firm red’ és ‘Katalin’ gyümölcse tartalmazta a legtöbb polifenolt. A Feketecseresznye nélkül alig 4-szeres volt a különbség a ajták FRAP-értéke között. A két paraméter szoros ($r=0,736$) korrelációt mutatott.

Eredményeink alapján az áruajták antioxidáns paramétereiben kismértékű variabilitás mutatható ki, ugyanakkor a tájszelekció tartogathat lehetőséget értékes genotípusok kiemelése révén. A BCE Genetika és Növénynevelés Tanszék szigetcsépi génbankjában azonosítottunk 12 régi ukrán cseresznyefajtát, továbbá egy hibridet és egy ismert ajtát (‘Van’). Ez utóbbi ajtát kontrollként használtuk, hiszen ugyanolyan korú példányai voltak megtalálhatók a génbanki ültetvényben, mint a többi vizsgált ajtaé.

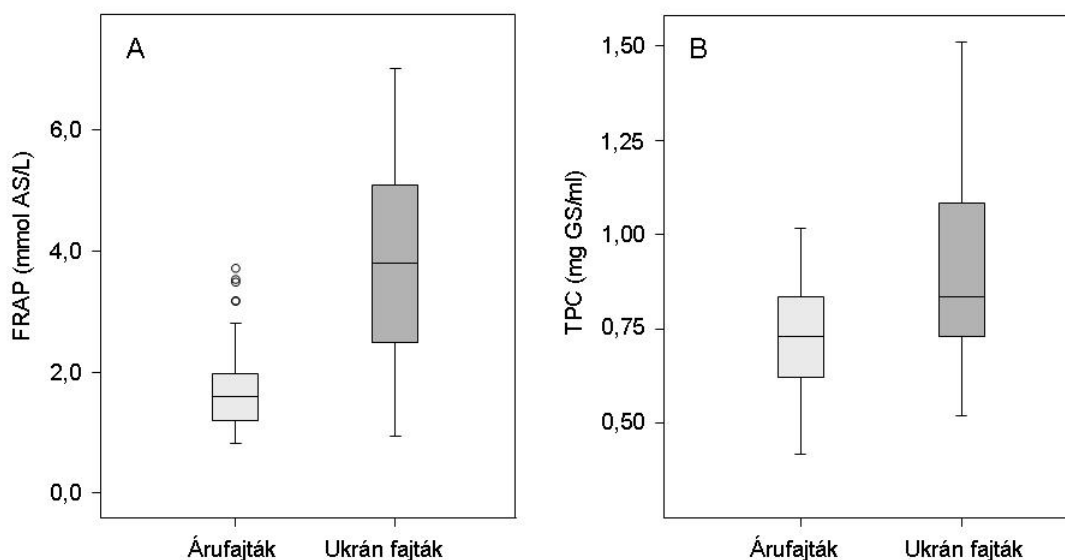
Az ukrán cseresznyefajták gyümölcstömege 5,1 g (‘Podbelszkaja’) és 8,5 g (‘Krupnoplodnaja’) között változott (1. melléklet). A gyümölcshús/kömag aránya 13,6 (2115 hibrid) és 19,2 (‘Melitopolszkaja krapcsataja’) szélsőértékek között mozgott. A legnagyobb oldható szárazanyag-tartalmat (18,0 %) a kontrollként használt kanadai ‘Van’ ajtában mértük, de a ‘Kutuzovka’, ‘Transzportabelnaja’, ‘Truzsenyica sztyepi’, ‘Bujnajszkaja’, ‘Perszpektivnaja’ és ‘Kodrinszkaja’ ukrán ajták oldható szárazanyag-tartalma alig maradt el ettől az értéktől. A legkisebb oldható szárazanyag-tartalmat a ‘Melitopolszkaja krapcsataja’ gyümölcseben mértük. A fenti adatok az ukrán cseresznyefajtákra jellemző, nagymértékű genetikai variabilitásról tesznek tanúbizonyságot a gyümölcsminőséget meghatározó paraméterek tekintetében.

Az ukrán cseresznyefajták és a Magyarországon termesztett néhány jelentősebb áruajta gyümölcseinek antioxidáns kapacitását és összes polifenol-tartalmát egymással összevetve jelentős különbséget tapasztaltunk (24. ábra). A ajták száma mindkét csoportban azonos, $n = 13$ volt. A *boxplot* diagramon az *interkvartilis* terjedelem (a *box* hossza) nagyobb volt az ukrán ajták csoportjánál, mint az áruajtákénál mind a FRAP, mind a TPC adatok esetén, ami azt mutatja, hogy az ukrán ajták variabilitása nagyobb mértékű.

Az antioxidáns kapacitás mediánja az ukrán ajták csoportjában nagyobb volt (3,80 mmol AS/L), mint az áruajták csoportjában (1,68 mmol AS/L). Az adatok eloszlása viszonylag szimmetrikus mindkét csoporton belül, de az áruajták között négy kiugró érték

is található. Ezek a ‘Germersdorfi 3’ és a ‘Ferrovia’ fajtákhoz tartozó adatok, melyek a harmadik *kvartilis* értékétől (a *box* felső határa) számítva az *interkvartilis* terjedelem másfélszeresénél nagyobbak, de annak háromszorosánál kisebbek.

Az összes polifenol-tartalom mediánja szintén nagyobb volt az ukrán fajták csoportjában (0,83 mmol AS/L), mint az árufajták csoportjában (0,73 mmol AS/L). Az adatok eloszlása az árufajták csoportjában szimmetrikus volt, az ukrán fajták csoportját azonban pozitív ferdeség jellemezte, vagyis a középső értéktől felfelé sokkal nagyobb mértékben eltérő értékek láthatók, mint lefelé. Ilyen eloszlású sokaságban a számtani átlag nagyobb, mint a *medián* értéke. A Welch-teszt alapján mind a FRAP, mind a TPC átlagértéke szignifikánsan nagyobb volt ($P < 0,001$) az ukrán fajták csoportjában, mint az árufajtáknál.

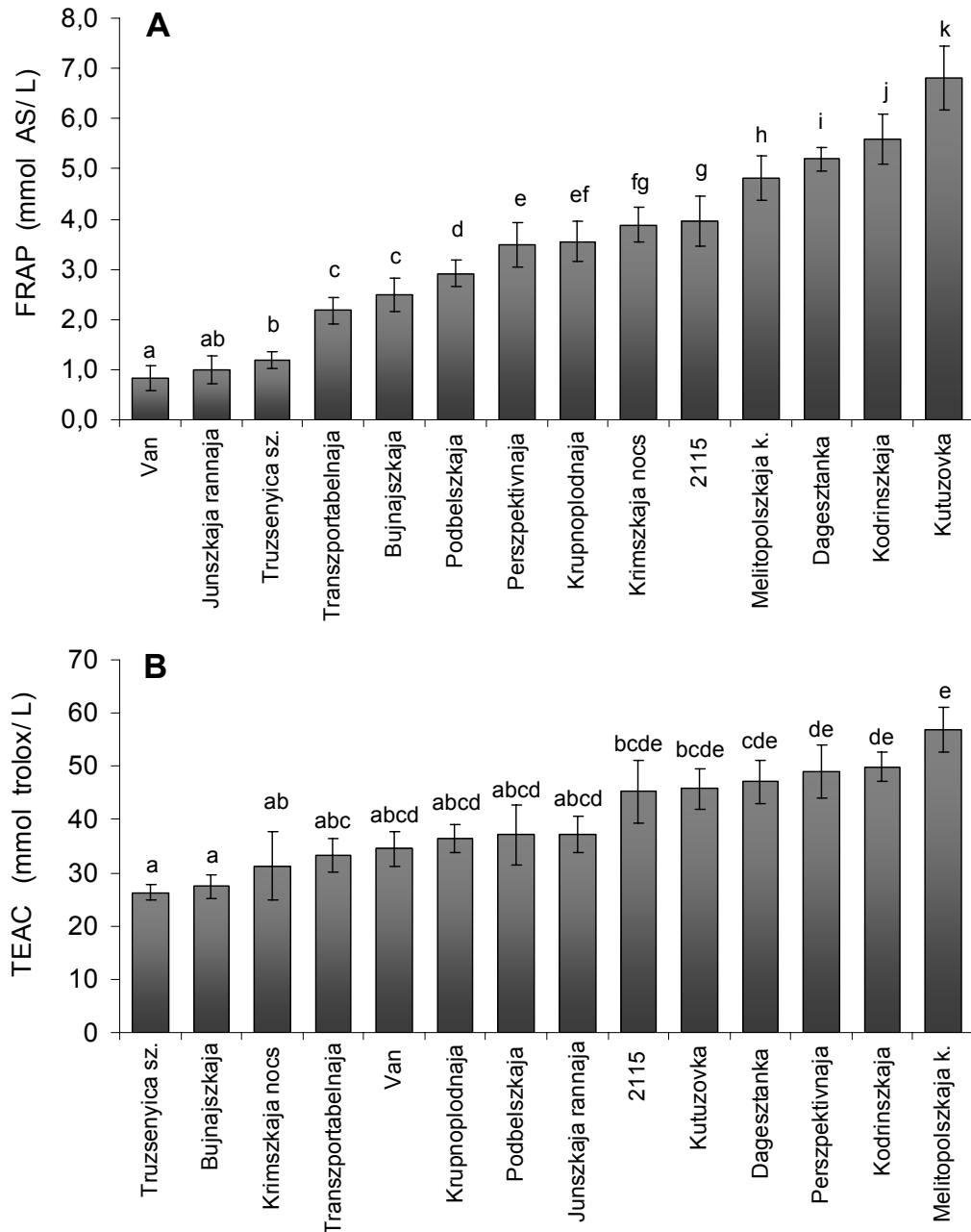


24. ábra. Népszerű árufajták és régi ukrán cseresznyefajták gyümölcsét jellemző antioxidáns kapacitás (A) és összes polifenol-tartalom (B) *boxplot* diagramja. A *box* közepén látható vonal a középső érték (*medián*). A *box* alsó határa az első *kvartilis*, felső határa a harmadik *kvartilis* értékét mutatja meg, a kinyúló vonalak az adathalmaz terjedelmét. A körök a szélsőértékeket mutatják (azok az értékek, melyek a doboz hosszának, vagyis az *interkvartilis* terjedelemnek másfélszeresénél nagyobb mértékben haladják meg a harmadik *kvartilis* értékét).

Az ukrán cseresznyefajták antioxidáns kapacitása a 0,83 mmol AS/L értéktől (‘Junszkaja rannaja’) 6,80 mmol AS/L értékig (‘Kutuzovka’) terjedő intervallumot ölelte fel (25A. ábra). A ‘Kodrinszkaja’, ‘Dagesztanka’ és ‘Melitopolszkaja krapcsataja’ fajták gyümölcsét szintén nagy antioxidáns kapacitás jellemezte ($>4,5$ mmol AS/L FRAP-értékek). Az ABTS gyökfogó kapacitás (TEAC-érték) a ‘Truzsenyica sztyepi’ fajta

dc_634_12

gyümölcsében volt a legkisebb (26,3 mmol trolox/L), míg a ‘Melitopolszkaja krapcsataja’ gyümölcsében volt a legnagyobb (57,0 mmol trolox/L).

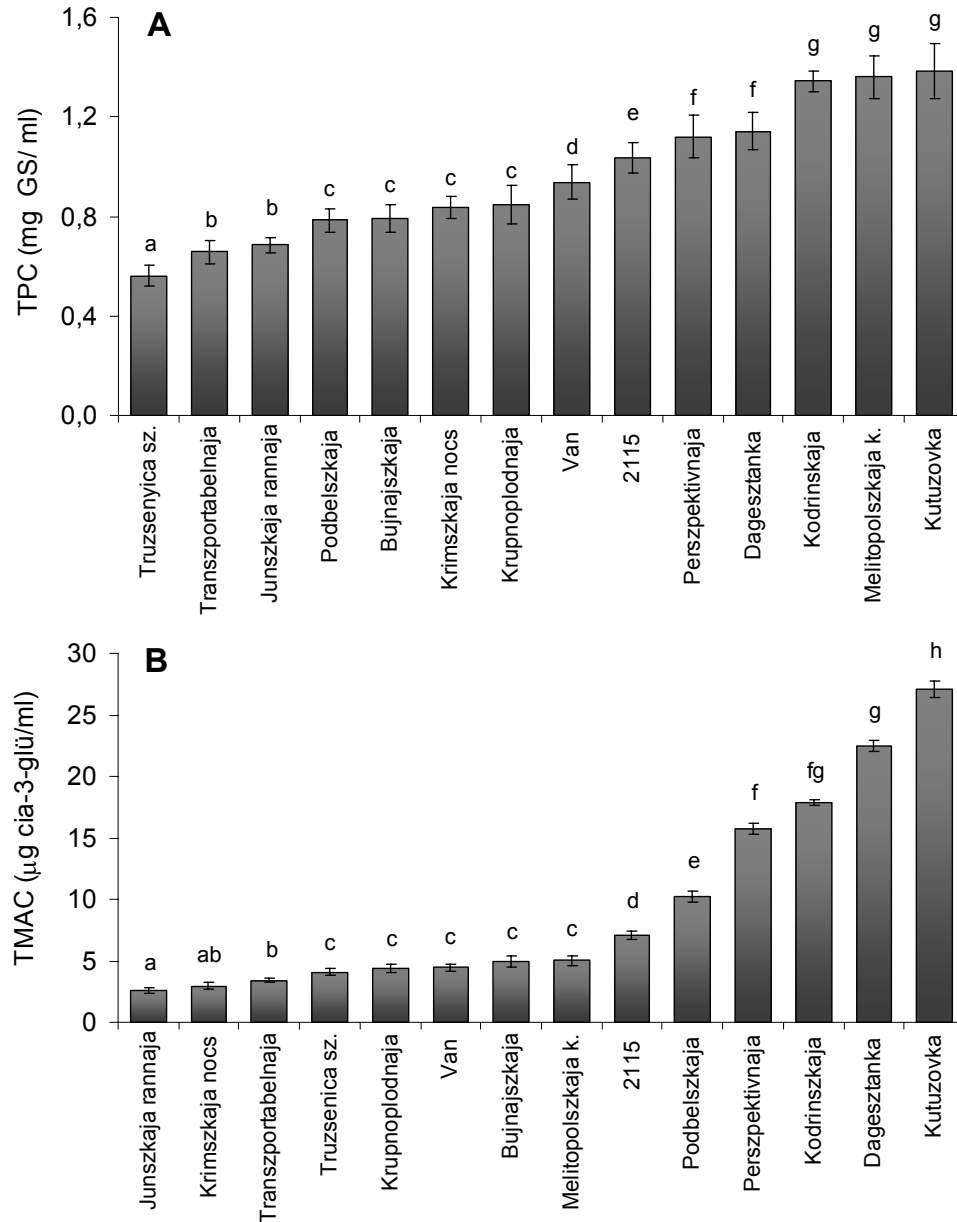


25. ábra. Az ukrán cseresznyefajták gyümölcsét jellemző antioxidáns kapacitás összehasonlítása: (A) vasredukáló antioxidáns kapacitás (FRAP) és (B) gyökfogó kapacitás (TEAC). Az oszlopok magassága a mérések átlagát, a vonalak a szórást mutatják ($n = 3$). Az eltérő betűk a Duncan-teszt alapján egymástól szignifikánsan ($P \leq 0,05$) különböző értékeket jelölnek.

A ‘Kodrinszkaja’, ‘Dagesztanka’, ‘Kutuzovka’ és ‘Perszpektivnaja’ az ABTS gyökfogó kapacitás szempontjából is kiemelkedőnek bizonyultak (25B. ábra). A FRAP vizsgálathoz képest kevesebb statisztikailag szignifikánsan eltérő csoportot mutattunk ki ezzel a vizsgálati módszerrel. A szélsőértékek közötti különbség sokkal kisebb volt az ABTS gyökfogó kapacitás esetében (közel kétszeres), mint a FRAP vizsgálatnál (nyolcszorosnál is nagyobb). A FRAP és TEAC értékek Pearson-féle korrelációs együtthatója $r=0,692$ volt, ami $P \leq 0,05$ értéken szignifikáns összefüggésre utal.

A polifenolos vegyületek mennyisége a ‘Truzsenyica sztyepi’ ukrán fajta gyümölcsében volt a legkisebb (0,56 mg GS/ml) és a ‘Kutuzovka’ fajta gyümölcsében volt a legnagyobb (1,38 mg GS/ml). Ez közel két és félszeres különbséget jelent (26A. ábra). Az antocianintartalom a ‘Junszkaja rannaja’ fajta gyümölcsében volt a legkevesebb (2,6 mg cianidin-3-glükózid/L), míg a leggazdagabb antocianinforrást a ‘Kutuzovka’ gyümölcse kínálja (27,1 mg/L) (26B. ábra).

Az antioxidáns kapacitás szorosabb korrelációt mutatott az összes polifenoltartalommal, mint az antocianintartalommal mind a FRAP ($r_{\text{FRAP/TPC}} = 0,842$ és $r_{\text{FRAP/TMAC}} = 0,761$), mind a TEAC ($r_{\text{TEAC/TPC}} = 0,877$ és $r_{\text{TEAC/TMAC}} = 0,554$) esetében. Ennek oka jelentős részben a nagy polifenol-tartalmú, ugyanakkor antocianinban szegény gyümölcsöt termő ‘Melitopolszkaja krapcsataja’ fajta volt.



26. ábra. Az ukrán cseresznyefajták gyümölcsét jellemző összes polifenol- és antocianintartalom összehasonlítása: **(A)** összes polifenol-tartalom (TPC) és **(B)** összes antocianintartalom (TMAC). Az oszlopok magassága a mérések átlagát, a vonalak a szórást mutatják ($n = 3$). Az eltérő betűk a Duncan-teszt alapján egymástól szignifikánsan ($P \leq 0,05$) különböző értékeket jelölnek.

5.1.5 A meggyfajták antioxidáns kapacitásának jellemzése

A meggy vizsgált fajtái, tájfajtái jelentős mértékű genetikai variabilitást képviselnek. Átlagos gyümölcstömegük 3,40 g-tól ('Oblacsinszka') 7,17 g-ig ('Pándy 279') terjedt (1. melléklet). Az oldható szárazanyag-tartalom a 'Debreceni bőtermő' gyümölcsében volt a legkisebb (14,4 %) és a 'Pipacs 1' gyümölcsében a legnagyobb (23,1 %) (10. táblázat). A

dc_634_12

szénhidrátok közül a gyümölcsökben csak glükózt és fruktózt sikerült kimutatni, melyek közül a glükóz a teljes monoszacharid-frakció 60 %-át képviselte. A VN-7 gyümölcse tartalmazta a legkevesebb glükózt (6,06 g/100 g magozott gyümölcs), míg a VN-1 gyümölcse a legtöbbet (9,08 g/100 g). A nagyobb glükóztartalomhoz általában nagyobb fruktóztartalom társult, a kétféle monocharid mennyisége szignifikáns korrelációt mutatott (11. táblázat). Fruktózból szintén a VN-7 gyümölcse tartalmazta a legkevesebbet (3,54 g/100 g) és a VN-1 a legtöbbet (4,91 g/100 g). Az oldható szárazanyag-tartalom a gyümölcsökben nagyobb mennyiségben jelenlévő glükózzal szorosabb korrelációt mutatott ($r = 0,583$), mint a fruktóztartalommal ($r = 0,522$).

A vizsgált fajták gyümölcsének titrálható savtartalma az 1,15 %-tól ('Pándy 279') 1,78 %-ig ('Pipacs 1') terjedő tartományban mozgott (10. táblázat), míg a pH ezzel ellentétesen változott: a legnagyobb pH a 'Pándy 279' gyümölcsét, a legkisebb a 'Pipacs 1'-ét jellemezte. A titrálható savtartalom és pH a várakozásoknak megfelelően szoros, szignifikáns korrelációt mutatott ($r = -0,88$). A 'Pándy 279' meggyfajta gyümölcse rendelkezett a legnagyobb SSC/TA aránnyal (15,8), a 'Debreceni bőtermő' a legkisebbel (9,6). Az 'Érdi bőtermő', a 'Pipacs 1' és VN-1 közepes SSC/TA arányt mutatott.

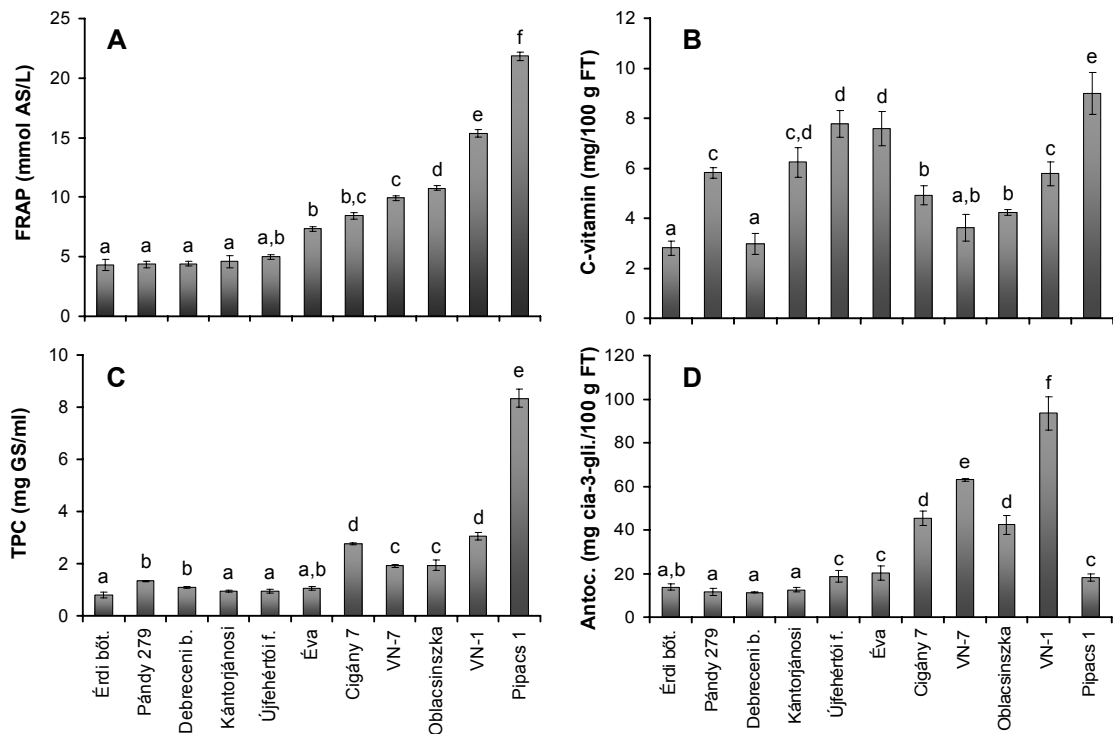
10. táblázat. A meggyfajták és szelektált klónok gyümölcsére jellemző oldható szárazanyag-tartalom (SSC), titrálható savtartalom (TA), SSC/TA arány, pH illetve glükóz- és fruktóztartalom (átlag $\pm$ szórás)

Genotípus	SSC (%)	Savtartalom (% almasav)	SSC/TA	pH	Glükóztart. (g/100 g)	Fruktóztart. (g/100 g)
Cigány 7	20,4 $\pm$ 1,0 d	1,60 $\pm$ 0,09 c	12,7	3,38 $\pm$ 0,02 b	7,81 $\pm$ 0,16 c	4,49 $\pm$ 0,05 c
Debreceni bőtermő	14,4 $\pm$ 0,6 a	1,50 $\pm$ 0,13 b	9,6	3,45 $\pm$ 0,01 c	7,26 $\pm$ 0,51 b	3,99 $\pm$ 0,25 a,b
Érdi bőtermő	16,6 $\pm$ 1,0 a	1,25 $\pm$ 0,14 a	13,2	3,55 $\pm$ 0,01 e	6,28 $\pm$ 0,27 a	3,72 $\pm$ 0,18 a
Éva	17,2 $\pm$ 2,1 b	1,50 $\pm$ 0,12 b	11,5	3,45 $\pm$ 0,01 c	8,62 $\pm$ 0,21 d	4,89 $\pm$ 0,15 d
Kántorjánosi 3	18,5 $\pm$ 1,6 c	1,55 $\pm$ 0,15 b	11,9	3,33 $\pm$ 0,02 b	7,33 $\pm$ 0,16 b	3,73 $\pm$ 0,11 a
Oblacsinszka	16,5 $\pm$ 1,0 a	1,65 $\pm$ 0,05 b	10,0	3,26 $\pm$ 0,02 d	6,72 $\pm$ 0,06 b	3,84 $\pm$ 0,04 a,b
Pándy 279	18,2 $\pm$ 1,7 c	1,15 $\pm$ 0,22 a	15,8	3,65$\pm$0,07 f	8,45 $\pm$ 0,14 d	4,77 $\pm$ 0,07 d
Pipacs 1	23,1$\pm$1,0 d	1,78$\pm$0,08 d	13,0	3,23 $\pm$ 0,04 a	8,56 $\pm$ 0,21 d	4,21 $\pm$ 0,08 b
Újfehértói fürtös	17,0 $\pm$ 0,4 b	1,50 $\pm$ 0,13 b	11,3	3,40 $\pm$ 0,03 b	7,32 $\pm$ 0,56 b	4,02 $\pm$ 0,34 a,b
VN-1	19,8 $\pm$ 0,5 c,d	1,45 $\pm$ 0,12 c,d	13,6	3,57 $\pm$ 0,03 e	9,08$\pm$0,21 e	4,91$\pm$0,25 d
VN-7	16,8 $\pm$ 1,0 a,b	1,57 $\pm$ 0,04 c,d	10,7	3,50 $\pm$ 0,01 d	6,06 $\pm$ 0,37 a	3,54 $\pm$ 0,22 a

Az egy oszlopban szereplő eltérő betűk a Duncan-teszt alapján egymástól szignifikánsan ($P \leq 0,05$) különböző értékeket jelölnek.

A félkövér szedés a legnagyobb, a dőlt karakterek a legkisebb értékeket mutatják.

A vizsgált fajták gyümölcsének antioxidáns kapacitása (FRAP-értéke) 4,31 mmol AS/L (‘Érdi bőtermő’) és 21,85 mmol AS/L (‘Pipacs 1’) között változott, vagyis több mint ötszörös különbség volt kimutatható a két fajta között (27A. ábra). Az ‘Újfehértói fürtös’ gyümölcsének 5,01 mmol AS/L értékével a legkisebb antioxidáns kapacitású fajták közé sorolódott, míg a ‘Pipacs 1’ fajtán kívül a sötét színű, festőlevű gyümölcsök bizonyultak a leggazdagabb antioxidáns-forrásnak (VN klónok és ‘Oblacsinszka’).



27. ábra. A vizsgált meggy-genotípusok gyümölcsének összes antioxidáns kapacitása (A), C-vitamin-tartalma (B), összes polifenol-tartalma (C) és összes antocianintartalma (D). Az oszlopok magassága az átlagot, a vonalak a szórást mutatják ($n = 3$). Az eltérő betűk a Duncan-teszt alapján egymástól szignifikánsan ($P \leq 0,05$) különböző értékeket jelölnek.

Az ‘Érdi bőtermő’ gyümölcse tartalmazta a legkevesebb aszkorbinsav- (27B. ábra) és összpolicenol-mennyiséget (27C. ábra), míg ezeknek a vegyületeknek is a ‘Pipacs 1’ gyümölcse volt a leggazdagabb forrása. A gyümölcsök antocianintartalma a ‘Debreceni bőtermő’ 11,31 mg cianidin-3-glükózid/100 g és a VN-1 klón gyümölcsére jellemző 93,48 mg/100 g értékek között helyezkedett el. A sötétbordó-fekete héj- és hússzínű, ún. *morello* típusú fajták (‘Cigány 7’, ‘Oblacsinszka’ és VN klónok) mindegyike jelentős mennyiségű antocianint tartalmazott (27D. ábra). A nagy antocianintartalmú fajták egyben a nagy antioxidáns kapacitású fajták közé sorolódtak. A ‘Cigány 7’, ‘Oblacsinszka’ és VN

klónok FRAP-értéke 2–3-szor nagyobb volt, mint az ‘Újfehértói fürtös’ fajta gyümölcséé, de nem érte el a ‘Pipacs 1’ gyümölcs antioxidáns kapacitását. A ‘Cigány 7’ fajtán kívül megvizsgáltuk két másik cigánymeggy klón (‘Cigány 59’ és ‘Cigány C404’) antioxidáns paramétereit, melyek alig tértek el egymástól ($CV < 15\%$). A későbbiek során (2011-ben) találtunk egy nagy antocianintartalmú, régi fajtát, a ‘Fanal’-t, melynek FRAP-értéke (24,00 mmol AS/L) még a ‘Pipacs 1’ az évi FRAP-értékét (21,72 mmol AS/L) is meghaladta kis mértékben.

Az antioxidáns kapacitás az összes polifenol-tartalommal szoros korrelációt mutatott, ugyanakkor az antioxidáns kapacitás és az antocianintartalom, illetve az antioxidáns kapacitás és a C-vitamin-tartalom között nem volt szignifikáns összefüggés (11. táblázat).

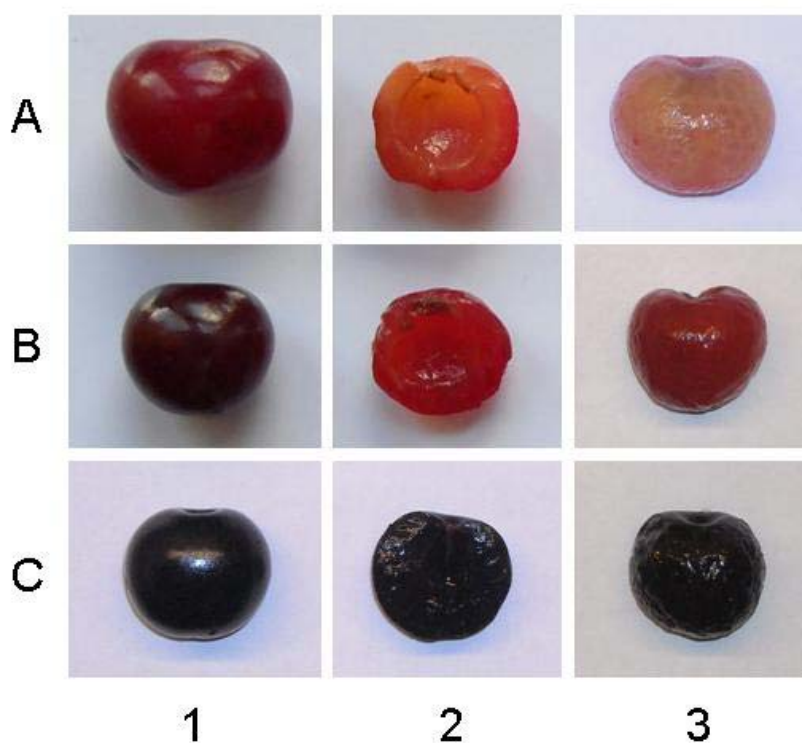
11. táblázat. Az antioxidáns paraméterek és monoszacharid-tartalom közötti kapcsolatot jellemző Pearson-féle korrelációs együtthatók (r) értéke

	TPC	TMAC	C-vitamin	Glükóz	Fruktóz
FRAP	0,918*	0,460	0,438	0,409	0,196
TPC		0,146	0,505	0,411	-0,298
TMAC			-0,158	0,127	0,211
C-vitamin				0,666*	0,440
Glükóz					0,906*

*Az összefüggés ($P \leq 0.05$) szignifikáns.

Ez az eredmény elsősorban a ‘Pipacs 1’ fajtának köszönhető, melynek gyümölcsét igen kis antocianintartalma ellenére is a legnagyobb antioxidáns kapacitás jellemezte (28. ábra). A ‘Pipacs 1’ fajtán kívül más magyar *amarella* típusú meggyek antioxidáns kapacitását is jellemeztük, de mind a Pipacs 2 (FRAP: 6,21 mmol AS/L és TPC: 2,05 mg GS/ml), és főként a ‘Korai pipacs’ (FRAP: 1,53 mmol AS/L és TPC: 0,48 mg GS/ml) messze elmaradt a ‘Pipacs 1’ értékeitől.

Az antioxidáns hatást jellemző paraméterek intraspecifikus variabilitásának mértéke a C-vitamin-tartalom esetében volt a legkisebb (közel háromszoros). Az összes polifenol-tartalom variabilitása valamennyi, azonos évjáratban vizsgált fajtát figyelembe véve (kb. 9-szeres) közel azonos volt az antocianintartalomra jellemző (8,3-szeres) változékonysággal. Az antioxidáns kapacitás értékében kb. 15-szörös maximális eltérés volt kimutatható a fajták között.



28. ábra. A ‘Pipacs 1’ (A), ‘Újfehértói fürtös’ (B) és a VN-1 szelektált klón (C) intakt gyümölcse (1), a felezett gyümölcs a magüreggel (2) és a hámozott gyümölcs (3).

A FRAP és TPC vizsgálatokat az említett 11 meggyfajta és a ‘Petri’ fajta esetében négy, egymást követő évjáratban (2008–2011) megismételtük. A kéttényezős varianciaanalízis alapján látható, hogy mind a genotípus, mind az évjárat, ahogyan e két tényező interakciója is szignifikáns hatást gyakorolt az antioxidáns kapacitásra és összes polifenol-tartalomra (12. táblázat).

Az adatokat fajtánként áttekintve kiderült, hogy az egyes évjáratokban az antioxidáns kapacitás a VN-1 esetében mutatta a legnagyobb mértékű variációt ($CV = 33,2\%$), míg a legkisebbet a ‘Pipacs 1’ esetén ($CV = 4,9\%$). A ‘Pándy 279’ és ‘Újfehértói fürtös’ fajták CV -értéke 10% körül volt. Az összes polifenol-tartalom esetében a legnagyobb eltérés a VN-1 ($CV = 42,1\%$) és a ‘Kántorjánosi’ ($CV = 48,0\%$) genotípusoknál jelentkezett az egyes évjáratok között, míg a legkisebb újra a ‘Pipacs 1’ ($CV = 6,8\%$) fajta esetében volt.

A januári csapadékmennyiség szignifikánsan fordított arányban állt a ‘Kántorjánosi 3’, ‘Pándy 279’ és ‘Újfehértói fürtös’ antioxidáns kapacitásának értékével, de a ‘Debreceni bőtermő’ és ‘Petri’ esetében is szoros korreláció látszott (az egyes évjáratok csapadékmennyisége között 16 mm volt a legnagyobb eltérés). A februári csapadékmennyiséggel szintén szoros, de nem szignifikáns összefüggést adtak ugyanezek a

fajták (36 mm maximális eltérés volt az évjáratok között). A többi fajtánál hasonló összefüggés nem mutatkozott. A májusi csapadékmennyiség a ‘Pipacs 1’ és VN-1 FRAP-értékével volt szignifikáns kapcsolatban, míg a ‘Pándy 279’ esetén szoros, de nem szignifikáns kapcsolat mutatkozott (eltérés: 130 mm). Májusban a napsütéses órák száma a ‘Pándy 279’ fajtánál szignifikáns, a ‘Pipacs 1’, ‘Újfehértói fürtös’, VN-1, ‘Kántorjánosi’, ‘Debreceni bőtermő’ esetében szoros összefüggést mutatott, ami a legtöbb esetben, tompított mértékben a polifenol-tartalomra is megfigyelhető volt. A júniusi napsütéses órák száma elsősorban a polifenol-tartalomra gyakorolt hatást, különösen a ‘Kántorjánosi’, ‘Petri’ és ‘Debreceni bőtermő’ esetében.

12. táblázat. A meggy antioxidáns kapacitását és összes polifenol-tartalmát meghatározó tényezők (genotípus, évjárat) statisztikai értékelése 11 genotípus vizsgálatával négy év során^a

Változó	<i>SQ</i>	<i>FG</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i> -érték	<i>P</i>
FRAP					
Genotípus	5499,34	10	549,93	1050,46	$5,12 \cdot 10^{-165}$
Év	43,77	3	14,59	27,87	$4,58 \cdot 10^{-15}$
Genotípus $\times$ év	666,14	30	549,93	42,42	$3,84 \cdot 10^{-70}$
Összfenol-tartalom					
Genotípus	6711,16	10	671,12	770,45	$5,75 \cdot 10^{-136}$
Év	219,02	3	73,01	83,81	$2,48 \cdot 10^{-33}$
Genotípus $\times$ év	903,69	30	30,12	34,58	$1,99 \cdot 10^{-57}$

^aAz értékeket kéttényezős varianciaanalízissel határoztuk meg; *SQ*: eltérésnégyzetek összege, *FG*: szadságfokok száma, *MQ*: közepes négyzetes eltérés, *P*: hibavalószínűség

A meggy polifenolos vegyületeinek bioszintézisében résztvevő kandidáns gének azonosítása és expressziós vizsgálata

Tekintettel arra, hogy a ‘Pipacs 1’ nagy antioxidáns kapacitása stabil, genetikailag meghatározott tulajdonságnak mutatkozott, az NCBI GenBank és EST adatbázisokban található, homológ génszekvenciák felhasználásával primereket terveztünk a meggy flavonoid-bioszintézis kulcsenzimeit kódoló gének PCR-vizsgálatára (3. táblázat). A fragmentumokat klónoztuk, szekvenáltattuk. A szekvenciákat homológia-keresésnek vetettük alá az NCBI *blastn* keresőprogram segítségével. Az azonosított parciális génszekvenciákat, a velük legnagyobb hasonlóságot mutató szekvenciák génbanki

azonosító számát, valamint a *blastn* keresőprogram által számított *E*-értéket a 13. táblázat tartalmazza.

13. táblázat. A meggy flavonoid-bioszintézis kulcsenzimeinek parciális génszekvenciái, valamint a velük legnagyobb hasonlóságot mutató szekvenciák azonosító száma és a homológia-keresés szignifikanciaszintjét mutató *E*-érték

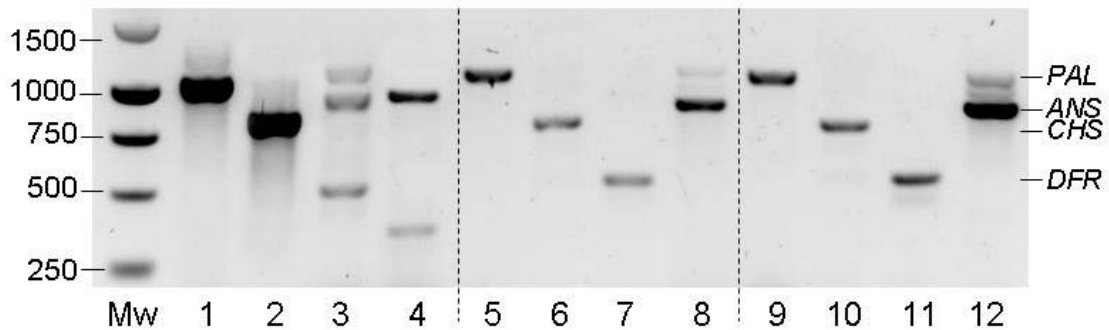
	Meghatározott szekvenciák	<i>blastn</i> analízis eredménye
<i>C4H</i>	JQ622242 (638 bp, mRNS, 'Pipacs 1')	GU990522 (<i>P. avium</i>) <i>C4H</i> , <i>E</i> =0
<i>4CL</i>	JQ622243 (397 bp, mRNS, 'Pipacs 1')	EF685345 (<i>E. japonica</i>) <i>4CL</i> , <i>E</i> =10 ⁻¹⁶⁰
<i>CHI</i>	JQ622244 (441 bp, mRNS, 'Pipacs 1')	GU990525 (<i>P. avium</i>) <i>CHI</i> , <i>E</i> =0
<i>F3H</i>	JQ622245 (832 bp, mRNS, 'Pipacs 1')	GU990526 (<i>P. avium</i>) <i>F3H</i> , <i>E</i> =0
<i>F3'5'H</i>	JQ622246 (335 bp, mRNS, 'Pipacs 1')	GO511847 (<i>M. domestica</i>) <i>F3'5'H</i> EST, <i>E</i> =10 ⁻⁷⁷
<i>ANR</i>	JQ622247 (804 bp, mRNS, 'Pipacs 1')	JN035301 (<i>M. domestica</i>) <i>ANR</i> , <i>E</i> =0
<i>LAR</i>	JQ622248 (352 bp, mRNS, 'Pipacs 1')	DQ250190 (<i>Py. communis</i>) <i>LAR</i> , <i>E</i> =0 DQ139836 (<i>M. domestica</i>) <i>LAR</i> , <i>E</i> =0
<i>UFGT</i>	JQ622249 (371 bp, mRNS, 'Pipacs 1')	DQ289587 (<i>F. ananassa</i>) <i>GT</i> , <i>E</i> =10 ⁻³⁶
<i>MYB</i>	JQ622251 (571 bp, mRNS, VN-1)	HM122625 (<i>M. domestica</i>) <i>MYB</i> , <i>E</i> =10 ⁻¹⁴¹

C4H: fahéjsav-4-hidroxiláz, *4CL*: 4-kumaroil-CoA-ligáz, *CHI*: kalkon-izomeráz, *F3H*: flavanon-3-hidroxiláz, *F3'5'H*: flavonoid-3'5'-hidroxiláz, *ANR*: antocianidin-reduktáz, *LAR*: leukoantocianidin-reduktáz, *UFGT*: UDP glükóz:flavonoid-3-*O*-glükoziltranszferáz, *MYB*: MYB transzkripció faktor.

Az azonosított szekvenciákkal *blastx* keresést végeztünk az őszibarack genom-szekvencián. Valamennyi génszekvencia esetében csak egyetlen homológ régiót találtunk az őszibarackgenomban.

A cseresznyeszekvencia alapján tervezett, *PAL* génre specifikus primerekkel végzett RT-PCR a várt méretű fragmentumot (kb. 1050 bp) adta. A kajszi szekvenciák alapján tervezett *CHS* (760 bp), *DFR* (500 bp) és *ANS* (880 bp) primerek is megfelelő amplifikációt adtak éretlen és érett 'Pipacs 1' gyümölcsök, illetve gyümölcshéj és gyümölcshús esetén egyaránt (29. ábra).

Az RT-PCR-analízis igazolta, hogy a cseresznyében és más csonthéjas gyümölcsökben azonosított flavonoid-bioszintézis génekkel homológ gének expressziója bekövetkezik a meggy gyümölcsében is. A gyümölcsök antioxidáns kapacitásában és polifenol-tartalmában a fajták között kimutatott különbségek feltárásához azonban az expresszió mértékének jellemzése is szükséges. Ehhez real-time qPCR-analízist végeztünk a 'Pipacs 1' antocianinban szegény és a VN-1 nagy antocianintartalmú gyümölcsök felhasználásával.



29. ábra. Az antocianin-bioszintézis gének (*PAL*: 1, 5, 9; *CHS*: 2, 6, 10; *DFR*: 3, 7, 11; *ANS*: 4, 8, 12) expressziója az *amarella* típusú ‘Pipacs 1’ gyümölcs érése során. A génspecifikus primerekkel végzett RT-PCR analízist éretlen (1–4) gyümölcsök, az érett gyümölcshús (5–8) és az érett gyümölcshéj (9–12) vizsgálatára használtuk.

A gyümölcserés során bekövetkező génexpressziós változások nyomon követéséhez különböző érettségi állapotú gyümölcsöket vizsgáltunk (10. ábra, 14. táblázat). A gyümölcsök fejlődését a méretek és a tömeg alapján, a gyümölcshús oldható szárazanyag-tartalma, illetve a gyümölcshéj L^* és a^* értékei alapján jellemeztük. A VN-1 növekedése viszonylag egyenletes, a ‘Pipacs 1’ növekedése azonban az érés utolsó szakaszában volt a legintenzívebb. Az oldható szárazanyag-tartalom gyarapodása a ‘Pipacs 1’-ben gyorsabban történt. A VN-1 gyümölcshéj L^* csökkenése meghaladja a ‘Pipacs 1’-ét. A VN-1 gyümölcshéj a^* értéke hamarabb (már a 2. é.f.-ban) növekedni kezd, mint a ‘Pipacs 1’-é, de az 5. é.f.-ban a világospiros színű ‘Pipacs 1’ a^* értéke (23,9) jelentősen meghaladja a fekete színű VN-1 gyümölcshéjára jellemző 4,2 átlagértéket (14. táblázat).

A gyümölcshús mintasorozaton elvégzett qPCR-kísérletekkel alig kimutatható expressziót detektáltunk, különösen a VN-1 gyümölcseiben. A gyümölcshéjban hét gén esetében (*FLS*, *ANR*, *LAR* és *UFGT*, valamint a be nem mutatott *4CL*, *HCT* és *C3H*) szintén kicsi, az érés során gyakorlatilag változatlan értékeket kaptunk, ami alapján feltételezhető, hogy az azonosított géneknek nincs meghatározó szerepe a meggy gyümölcsének flavonoid-bioszintézisében. A többi gén esetében, a gyümölcshéjban a kajszi érése során megfigyelt tendenciához képest, a meggy érésekor a relatív transzkriptummennyiség nem mutatott csökkenést (30. ábra).

A vizsgált fajták gyümölcsének érése során a legtöbb gén expressziója a negyedik–ötödik érési fázisig folyamatosan növekedett. A VN-1 esetében a *PAL*, *C4H*, *CHS*, *F3H*, *F3'H*, *F3'5'H*, *ANS*, *MYB* és *MYB10* gének expressziója a negyedik érési állapotig nőtt, majd azt követően, az ötödik érési fázisra csökkent. A ‘Pipacs 1’ gyümölcshéjban a legtöbb vizsgált gén (*PAL*, *C4H*, *F3H*, *F3'H*, *DFR* és *ANS*) expressziója

a legutolsó érési állapotig növekedett. A *CHS* és *CHI* expressziója nem mutatott érdemi változást az érés során.

14. táblázat. A VN-1 és ‘Pipacs 1’ gyümölcsméretének, oldható szárazanyag-tartalmának és a gyümölcshéj színparamétereinek változása az érés folyamán (é.f. = érési fázis)

		1. é.f.	2. é.f.	3. é.f.	4. é.f.	5. é.f.
VN-1	magasság (mm)	15,1±0,9	15,4±0,6	16,5±0,4	15,9±0,8	16,9±0,6
	D_{vp} (mm)	14,3±1,0	15,1±0,8	16,2±0,3	15,9±0,6	16,9±0,7
	D_{vm} (mm)	15,2±1,8	16,9±0,4	18,7±0,7	18,6±0,8	19,8±0,8
	tömeg (g)	2,2±0,2	2,8±0,3	3,2±0,3	3,2±0,4	4,1±0,4
	old. sz.a. (%)	7,9±0,1	8,3±0,4	9,4±0,5	10,4±1,1	22,1±1,6
	L^* héj	73,9±1,7	56,0±3,5	35,5±4,3	35,2±3,2	27,8±0,6
	a^* héj	-10,3±3,3	28,9±5,4	34,5±6,0	29,1±5,2	4,2±1,2
‘Pipacs 1’	magasság (mm)	13,3±0,2	13,2±0,6	13,3±0,6	17,0±0,8	18,3±0,8
	D_{vp} (mm)	12,6±0,4	12,4±0,6	12,9±0,7	17,5±0,9	19,1±1,1
	D_{vm} (mm)	11,9±0,5	11,6±0,6	12,1±0,8	19,4±1,2	21,6±1,2
	tömeg (g)	1,0±1,5	1,1±0,1	1,3±0,2	3,8±0,6	5,6±0,8
	old. sz.a. (%)	14,8±0,4	18,5±0,9	20,9±1,1	18,9±0,7	18,6±0,9
	L^* héj	65,2±5,6	65,9±2,3	39,2±4,7	24,9±3,4	31,4±1,4
	a^* héj	-19,6±3,1	-19,9±0,7	18,1±4,4	25,3±3,6	23,9±3,5

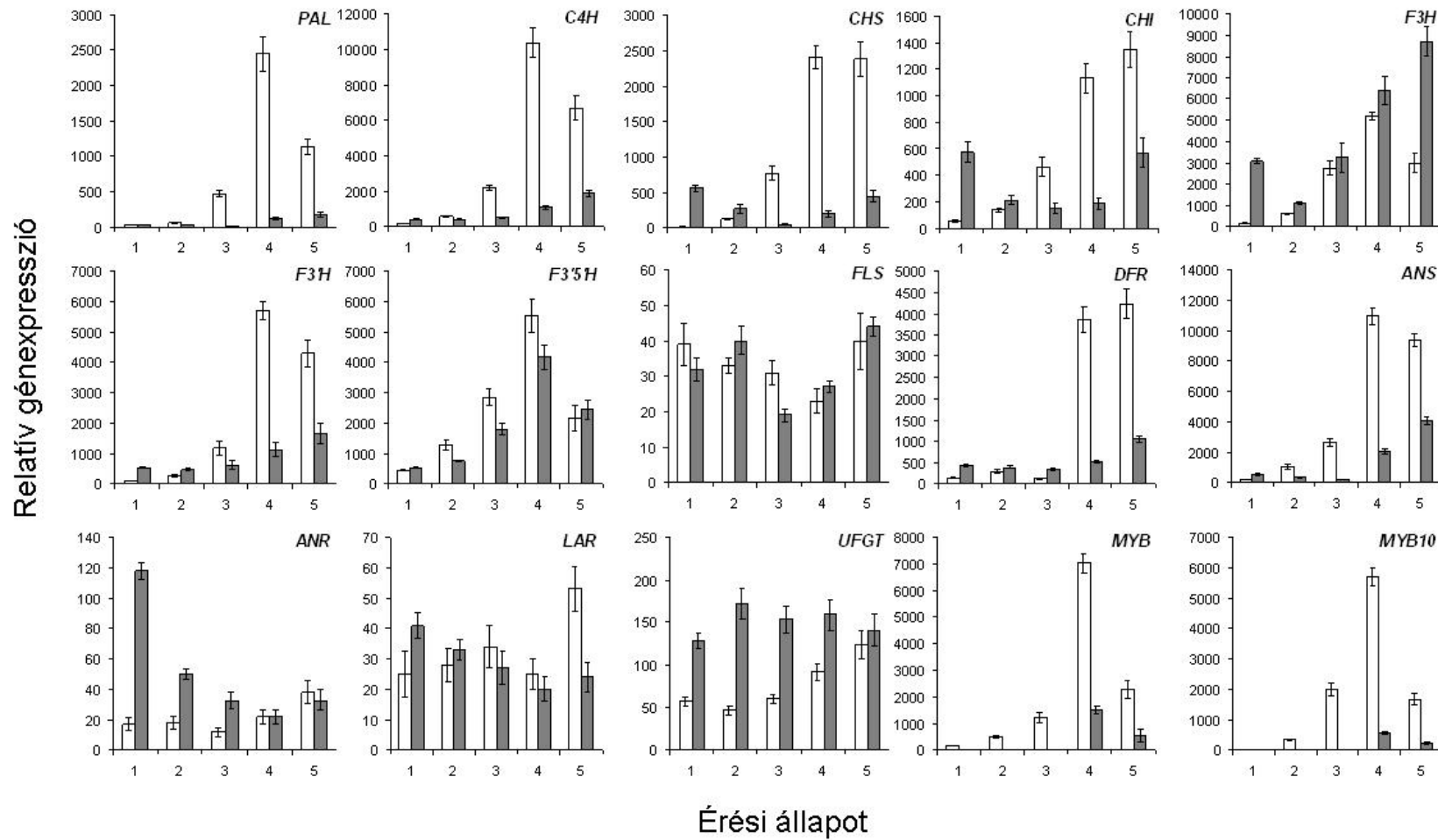
A jelentős, és az érés során változó mértékű expressziót mutató 11 gén mindegyike az első érési állapotban a ‘Pipacs 1’ gyümölcshéjban mutatott erősebb expressziót. A harmadik–negyedik érési fázistól ez az arány megfordult a VN-1 javára. Érett állapotban a *F3H* és *F3’5’H* kivételével minden gént a VN-1 gyümölcshéjban jellemzett nagyobb mértékű expresszió. A különbség mértéke a kétszerestől (*CHI*, *F3’H* és *ANS*) a közel hétszeresig (*PAL* és *MYB10*) terjedt. Érdekes a *MYB10* transzkriptum mennyisége a VN-1 gyümölcshéjban, ami a 3. érési fázisban például 133-szoros mennyiséget mutat a ‘Pipacs 1’-hez képest. Mindezek alapján a *MYB* és *MYB10* transzkripció faktorok szerepe valószínűsíthető a fenti gének transzkripció szintű szabályozásában.

A ‘Pipacs 1’ gyümölcshúsában csupán a gének egy része (*C4H*, *CHS*, *CHI*, *F3H*, *F3’H*, *F3’5’H*, *DFR* és *ANS*) mutatott értékelhető expressziót. A ‘Pipacs 1’ gyümölcshúsában a *CHS*, *CHI* és *DFR* expressziója igen kismértékű volt, és az érés során csökkent. Az *ANS* mutatott ugyan némi növekedést a 4. érési fázisra, de az expresszió mértéke messze elmaradt a mindkét genotípus gyümölcshéjában jellemző értékektől. A

dc_634_12

hidroxiláz enzimek génjei közül az *F3H* és *F3'5'H* a negyedik érési állapotig növekvő expressziót mutatott, és az expresszió mértéke elérte a héj esetében mutatókozó expressziós szintet. A *F3'H* expressziója azonban messze elmaradt a gyümölcshéjtól.

A 'Pipacs 1' gyümölcshús és -héj génexpresszióit összehasonlítva megállapíthatjuk, hogy a szövetek transzkriptumtartalma a legtöbb gén esetében az első négy érési fázisban közel azonos, de a héj valamivel több transzkriptumot tartalmazott. Az ötödik érési fázisra a gyümölcshéjban olyan mértékű transzkriptum-mennyiségbeli növekedés volt megfigyelhető, hogy a különböző szövetek transzkriptumtartalmának különbsége átlagosan a 3–6-szorosára emelkedett. A *CHS* gén esetében 28-szoros, a *CHI* génre nézve 33-szoros különbség volt az expresszió mértékében a gyümölcshéj javára.



30. ábra. A VN-1 (fehér oszlop) és 'Pipacs 1' (szürke oszlop) meggy gyümölcshéjban mért relatív génexpressziói az érési fázisok (1–5) függvényében.

6 EREDMÉNYEK MEGVITATÁSA

6.1 Az antioxidáns kapacitás fajok közötti és fajon belüli variabilitása

A gyümölcsök antioxidáns kapacitásának fokozása hagyományos nemesítés útján csak akkor lehetséges, ha a szóba jöhető nemesítési alapanyagokat a tulajdonság szempontjából jelentős mértékű variabilitás jellemzi. Jóllehet általános vélekedés, hogy a mezőgazdaság modernizációjával párhuzamosan a kultúrnövények variabilitása csökken, mindezt a mai napig nem sikerült erős tudományos bizonyítékokkal igazolni (de Wouw és mts., 2010). A gyümölcsfák népszerű áruajtáinak sikere – akár a tájszelekció révén, akár modern nemesítési programokból származnak – elsősorban olyan tulajdonságoknak köszönhető, mint a nagy gyümölcsméret, tetszetős megjelenés, jó gyümölcsminőség, nagy termőképesség stb. Ebből a szempontból áruajtáink általában felülmúlják a történelmi fajták, esetleg vad fajok teljesítményét. Felmerül azonban a kérdés, hogy olyan tulajdonságok tekintetében, melyek csak az utóbbi néhány évben kerültek az érdeklődés homlokterébe, és így a termesztésbe vonás óta eltelt közel 10 ezer évben soha nem képezték a szelekció alapját, vajon milyen mértékű variabilitás jellemzi termesztett áruajtáinkat; illetve van-e különbség a tájfajták/vadon növő egyedek és a legsikeresebb áruajták között? Ilyen tulajdonság lehet a gyümölcsök antioxidáns kapacitásának mértéke, polifenolos vegyületeik mennyisége, melyet egyre nagyobb számú bizonyíték kapcsol a humán egészségvédő hatáshoz (Bazzano és mts., 2002; Béliveau és Gingras, 2007; Cassidy és mts., 2013; John és mts., 2002; Lampe, 1999; Liu, 2003; Nicklett és mts., 2012; Thompson és mts., 1999).

A gyümölcsök antioxidáns kapacitását általában a gyümölcspép ülepített felülülzójából határoztuk meg. Ennek oka egyrészt, hogy korábbi méréseink alapján ugyanezt az extrakciót alkalmaztuk bogyósgyümölcsök jellemzésére (Hegedűs és mts., 2008), így lehetőségünk nyílt a különböző gyümölcsök antioxidáns hatását jellemző paraméterek összevetésére. Ugyanakkor rendkívül rövid az az időszak, amíg a csonthéjas gyümölcsök egyes fajtái friss gyümölcsként fogyaszthatók, így a kiemelkedő genotípusok gyümölcse feltétlenül alkalmas kell legyen valamilyen feldolgozásra. A legegyszerűbb feldolgozás a gyümölcslé előállítás, aminek alapanyagát a gyümölcs présnedve képezi. Ráadásul néhány vizsgálat igazolta, hogy a gyümölcslevek általában kedvezőbb fiziológiai hatást gyakorolnak, mint más, ugyanazon gyümölcsből készült termék. A sűrítmenyből visszahígított szilvalé például megnövelte a patkányok vérplazmájának antioxidáns kapacitását, és 8–9 hét elteltével a szilvalevet fogyasztó egyedek rövidtávú memóriája

szignifikánsan jobb volt, mint a szilvalevet nem fogyasztó csoportban (Shukitt-Hale és mts., 2009), míg az aszalt szilva ebből a szempontból hatástalannak bizonyult. Az antioxidáns vegyületekben gazdag gyümölcs- (és zöldség-) levek fogyasztása könnyű, kényelmes megoldást jelenthet a fogyasztók számára. Ezek a termékek tudományos megalapozottsággal és megfelelő jogi szabályozás mellett segíthetnek az ajánlott és tényleges zöldség-/gyümölcsfogyasztás között húzóódó szakadék áthidalásában (Wootton-Beard és Ryan, 2011). Ráadásul, használatukkal a termények kínálta egészségi hatások a frissfogyasztás szezonján kívül is elérhetővé válhatnak.

Amennyiben a kiemelkedő antioxidáns kapacitású gyümölcsökből valamilyen feldolgozott terméket akarunk előállítani, természetesen azok egészségi hatásait egyedileg kell megvizsgálni és értékelni. Munkámmal egy ilyen esetleges termékfejlesztés első lépését, a nyersanyag kiválasztását kívántam szolgálni.

6.1.1 A fontosabb csonthéjas gyümölcsfajok összehasonlítása

A különböző csonthéjas gyümölcsfajok növekvő antioxidáns kapacitásuk szerint a következő sorba rendeződtek: cseresznyeszilva = őszibarack < kajszí < japánszilva = cseresznye < meggy < kökény. A fajon belüli, intraspecifikus variabilitás mértéke szintén jelentősen eltért az egyes fajok esetében: kökény (4,6x) < cseresznye (9x) < cseresznyeszilva (11x) < meggy (15x) < japánszilva (16x) < kajszí (22x) < őszibarack (33x). Az összes polifenol-tartalom esetében: cseresznyeszilva (3x) < cseresznye (4,5x) < kökény (6x) < őszibarack (8x) < meggy (9x) < japánszilva (14x) < kajszí (35x). A variabilitás jelentős mértékben a kiemelkedő értéket mutató genotípusoknak köszönhető.

6.1.2 Őszibarack

Az őszibarack genetikai variabilitása jelentősen elmarad a nemzetség többi fájára jellemző variabilitástól, amit biokémiai és molekuláris markerekkel is alátámasztottak (Arulsekara és mts., 1986; Martínez-Gómez és mts., 2003). Ennek oka egyrészt, hogy világszerte az amerikai nemesítési programokban előállított fajták (illetve ezek leszármazottjai) dominálnak a termesztésben, melyeket korlátozott számú, értékes genotípus felhasználásával állítottak elő (Faust és Timon, 1995; Scorza és mts., 1985), másrészt az őszibarack öntermékenyülő fenotípusa is hozzájárult a genetikai variabilitás beszűküléséhez (Hegedűs és mts., 2006).

Egy eddig széles körben kevésbé vizsgált fenotípusos jelleg, a gyümölcs antioxidáns kapacitásának vizsgálata is ezt a tendenciát támasztotta alá. Az egyéb tulajdonságaikban (gyümölcshalak, gyümölcshús színe, héj fejülete) eltérő fajták túlnyomó többségét rendkívül

kicsi, egymástól alig különböző antioxidáns kapacitás és polifenol-tartalom jellemezte. A sárga- és fehér gyümölcshúsú fajták között nem volt kimutatható különbség a FRAP és TPC értékekben, ami megegyezik más, korábbi eredményekkel (Tomás-Barberán és mts., 2001). Ennek oka, hogy ezek a gyümölcsök kizárólag karotinoidtartalmukban térnek el egymástól, ami egyik általunk mért, a vízzoldható antioxidáns vegyületek hatását jellemző paramétert sem befolyásolja.

Figyelembe véve az őszibarackra általában jellemző, korlátozott mértékű genetikai változékonyságot, érdekes ellentmondásnak tűnik, hogy az antioxidáns kapacitás intraspecifikus variabilitása itt volt a legnagyobb valamennyi csonthéjas gyümölcs közül. Ennek oka elsősorban az, hogy a többi csonthéjas gyümölcshöz képest az őszibarack általában kicsi FRAP-értékekkel rendelkezett, ugyanakkor találtunk egy fajtát ('Vérbarack'), amelyiknek antioxidáns kapacitása többszörösen felülmúlta a sorban utána következő 'Ruby Rich' fajta értékét. (A 'Vérbarack' nélkül az antioxidáns kapacitás variabilitása a hétszeres mértéket sem érte el.) Ez a kiemelkedő fajta a 'Vérbarack', amelyet ősi magyar fajtaként tartanak számon, bár Mohácsy (1954) szerint feltételezhetően francia eredetű. Rendkívül kései érésű, a szeptember végétől október közepéig húzódo időszakban szüretelhető. A vizsgált mintakör esetében az érésidő és antioxidáns kapacitás között nem volt szignifikáns korreláció ($r=0,487$). A 'Vérbarack' kiemelkedő antioxidáns kapacitása nyilvánvalóan a gyümölcshúsban nagy mennyiségben akkumulálódó antocianinmolekuláknak köszönhető. Amerikai kutatók a legkisebb antioxidáns kapacitású, sárga húsú genotípusok és a legnagyobb antioxidáns kapacitású, piros gyümölcshúsú vérbarack genotípusok között közel 30-szoros különbséget mutattak ki (Vizzotto és mts., 2007), ami nagyon hasonlít a vizsgálatunkban kimutatott variabilitáshoz.

Ennek alapján a 'Vérbarack' gyümölcse jó eséllyel lehet felhasználható a kedvező egészségi hatású gyümölcsválaszték bővítése érdekében. Mindez különösen jelentős egy olyan gyümölcsfaj esetében, melyet általánosan kis antioxidáns kapacitás jellemez. A 'Vérbarack' térhódításával itt egy új minőség jelenhet meg a termékskálán. A fajta előnytelen tulajdonsága, hogy gyümölcshéja sűrűn és szürkén molyhos, ugyanakkor Olaszországban már vérbélű nektarin fajtajelöltekről is számot adtak (Okie és mts., 2008). Ha ezek antioxidáns hatása hasonlóan bizonyul, a jövőben a nagy antocianintartalmú őszibarack és nektarin jelentős perspektívát kínálhat, és ezek további vizsgálata is érdekes eredményeket ígér.

6.1.3 Szilvafajok és kökény

A cseresznyeszilva szintén a legkisebb antioxidáns kapacitású és polifenol-tartalmú gyümölcsök közé sorolódott, míg a japánszilvafajták antioxidáns kapacitása és polifenol-tartalma széles skálán változott. A legkisebb értékeket a korai érésű genotípusokban mértük, ahogyan kajszi esetében is hasonló tendencia mutatkozott (Hegedűs és mts., 2010; Leccese és mts., 2008). Az érésidő és az antioxidáns kapacitás között azonban nem volt kimutatható korreláció, ami elsősorban annak tudható be, hogy a nagy antioxidáns kapacitású fajták között korábban ('Balck Amber') és később érő fajták ('Super Giant') egyaránt találhatók (1. melléklet). A viszonylag kései érésű genotípusok között ugyanakkor megtalálhatók a 'TC Sun' vagy a 109/95 hibrid, melyek sárga színű (antocianinban szegény) gyümölcsei viszonylag kis antioxidáns kapacitást mutatnak.

Az európai szilva két vizsgált fajtája meghaladta valamennyi cseresznyeszilva FRAP-értékét, és elérte a legnagyobb antioxidáns kapacitású japánszilvafajták szintjét. Összes polifenol-tartalmuk a közepes polifenol-tartalmú japánszilvákhoz volt hasonló. A kökény (10–30 mmol AS/L) és a kökényszilva (11 mmol AS/L) antioxidáns kapacitása és polifenol-tartalma jelentősen felülmúlta még az európai szilvák paramétereit is. Érdekes megfigyelni, hogy a legkisebb antioxidáns kapacitású L1 és L2 genotípusok a kökény és az európai szilva hibridjei.

Valamennyi részletesen vizsgált faj esetében találtunk az antioxidáns kapacitás és polifenol-tartalom szempontjából kiemelkedő fajtákat/genotípusokat. A cseresznyeszilvák közül a PC4 piros színű gyümölcse – feltehetően antocianintartalma miatt – több mint kétszer nagyobb antioxidáns kapacitást mutatott, mint a többi, sárga gyümölcsű genotípus. Ez így is viszonylag alacsony a többi fajhoz képest, ráadásul hazánkban e gyümölcs fogyasztása nem számottevő. Eredményeink inkább érdekességnek tekinthetők, bár bizonyos területeken termesztik vagy gyűjtik vadon növény állományokból (pl. Törökország), ahol rendkívüli pomológiai változékonyság jellemzi: a gyümölcs színe a sárgától a feketéig terjed (Ercisli, 2004). A gyümölcs antioxidáns kapacitása azonban ezeken a területeken is kisebbnek bizonyult, mint más szilvafajoké (Gündüz és Saracoglu, 2012). Az antioxidáns kapacitásban általunk kimutatott variabilitás (11-szeres) jelentősen felülmúlta a Wang és mts. (2012) által meghatározott értéket (4-szeres).

A japánszilva antioxidáns kapacitásában kimutatott (16-szoros) variabilitás meghaladja a más vizsgálatokban kimutatott max. 3–5-szörös mértéket (Gil és mts., 2002; Vizzotto és mts., 2007). Ugyanilyen különbség volt kimutatható a fenti közlemények és saját adataink között a gyümölcsök összes polifenol-tartalmában. Mindez arra utal, hogy a japánszilva antioxidáns kapacitásának variabilitása meghaladja a korábban kimutatott

mértéket. A legnagyobb antioxidáns kapacitású ‘Giant’, ‘Super Giant’, ‘Fortune’ és ‘Black Amber’ fajták gyümölcsűsége sárga színű, míg a piros gyümölcsűsége ‘Dapple Dandy’ csak közepes antioxidáns kapacitást mutatott. Érdekes módon, Vizzotto és mts. (2007) eredményeinkhez hasonlóan azt tapasztalták, hogy az őszibarackkal szemben a japánszilva esetében a piros gyümölcsűsége fajták gyümölcsűségének antioxidáns kapacitása nem haladja meg a sárga húsú fajtákét. A polifenol-tartalom alapján a ‘Dapple Dandy’ a vizsgált fajták közül az ötödik legnagyobb értéket mutatta, ami nyilvánvalóan jelentős mértékben antocianintartalmából adódik.

A szelektált kökénygenotípusok többségének és az egyetlen vizsgált *P. insititia* egyednek a FRAP-értékei a 10–15 mmol AS/L közötti tartományban mozogtak, ami a pirosribiszke antioxidáns kapacitását is felülmúló érték (Hegedűs és mts., 2008). Korábbi vizsgálatokban a vadon termő kökény a ‘Cigánymeggy’-hez hasonló, attól némileg kisebb antioxidáns kapacitást mutatott (Dragovic-Uzelac és mts., 2007b). Az általunk vizsgált, Szőke Ferenc magánemesítő által a Kárpát-medence területén szelektált genotípusok ettől nagyobb értékeket mutatnak. Külön kiemelendő az S2 genotípus, melynek gyümölcsét közel 30 mmol AS/L FRAP-érték és 5 mg/ml összes polifenol-tartalom jellemezte, ami az általunk vizsgált fajok valamennyi fajtája között kimagaslónak számít. Ezt a tartományt korábbi vizsgálatunkban csak a legkiválóbb feketeribiszke-fajták érték el (Hegedűs és mts., 2008).

6.1.4 Kajszi

A vizsgált kajszi-fajták eredetbeli diverzitásuknak (közép-ázsiai, észak-amerikai, nyugat-európai és kelet-európai genotípusok) megfelelően gyümölcstulajdonságaik is jelentős variabilitást mutattak. A ‘Zard’ fajta kis gyümölcstömege például hasonló volt a török zerdali néven ismert típusok gyümölcsméretéhez (Akin és mts., 2008). A régi magyar fajták gyümölcsmérete ennél szignifikánsan nagyobb, a Malatya régióban termesztett fajtákra átlagosan jellemző 38 g-ot (Akin és mts., 2008) is meghaladta. A ‘Magyarkajszi’, a ‘Mandulakajszi’ és a ‘Ceglédi óriás’ ma is termesztett, feltehetően török eredetű (Halász és mts., 2010) fajtáink a népi termesztés több évszázada során folyamatosan végzett szelekciós tevékenység eredményeként jöttek létre (Nyújtó és Surányi, 1981). A kiválogatás alapja ebben az időben nyilvánvalóan a megbízható termés, a jó íz és a nagy gyümölcsméret voltak.

A legkisebb oldható szárazanyag-tartalmat a korai érésű kajszi-fajták (‘Harmat’ és ‘Szamarkandszkij rannij’) gyümölcsében mértük. Ezek az értékek kissé meghaladták a mediterrán területeken termesztett, korai érésű genotípusok SSC-értékeit (Akin és mts.,

2008; Leccese és mts., 2008; Ruiz és mts., 2005a). A legnagyobb SSC-értékek a kései érésű ‘Kecs-psár’ és ‘Zard’ fajták gyümölcsét jellemezték. Ezek az értékek közel azonosak voltak a török kései fajták SSC-értékeivel, míg a spanyol és olasz fajták oldható szárazanyag-tartalmát felülmúlták (Akin és mts., 2008; Leccese és mts., 2008; Ruiz és mts., 2005a). Aszalványkészítésre éppúgy megfelelők lehetnek, mint keresztezési partnerként olyan nemesítési programokban, ahol a gyümölcs cukortartalmának és – összetételének módosítása a cél (Ledbetter és mts., 2006).

Az észak-amerikai és ázsiai fajták között találjuk a legnagyobb (pl. ‘Aurora’, ‘Tomcot’ és ‘Zard’) és a legkisebb savtartalmú gyümölcsöket termő genotípusokat (‘Orange red’ és ‘Salah’), ami arra utal, hogy ezekben a csoportokban ez a tulajdonság jelentős mértékű variabilitást mutat. A savtartalom szélsőértékei között közel 5-szörös különbség volt kimutatható, ami jelentősen meghaladja a mediterrán genotípusokra jellemző variabilitást (kb. 2,7-szeres) (Ruiz és mts., 2005a). Az európai (mediterrán) fajtakör korlátozottabb genetikai variabilitásán túlmenően a termőterületek klimatikus adottságai is hozzájárulhatnak ehhez a különbséghez. A ‘Pisana’ és az ‘Orange red’ fajták gyümölcsének savtartalma a BCE Genetika és Növénynevelés Tanszékének szigetcsépi ültetvényében nagyobbak bizonyult, mint az olaszországi Pisa és a franciaországi Avignon környékén termelt gyümölcsöké (Gurrieri és mts., 2001; Leccese és mts., 2008).

Az oldható szárazanyag-tartalom és titrálható savtartalom aránya az ‘Orange red’ és ‘Salah’ fajták esetén volt a legnagyobb. Ledbetter és mts. (2006) nagyobb SSC és kisebb TA értékeket mértek a közép-ázsiai fajták gyümölcsében, mint a kaliforniai fajtákéban. A nagyobb SSC/TA arány kedvezőbb fogyasztási minőségre utal, a vizsgált fajták az édes illetve savanyú íz dominanciája szempontjából számos fokozatot képviselnek, és jól használhatók különböző fogyasztói igények kielégítésére. A széles körben kiváló ízű gyümölcsként ismert régi magyar fajták SSC/TA értéke (8–9 körül) kiegyensúlyozott cukor/sav arányról tanúskodik. Érzékszervi vizsgálatokban ezek a fajták számos esetben a legjobb helyen végeztek (Milatovic és Djurovic, 2006).

A kajszfajták közül a gyümölcs antioxidáns kapacitása szempontjából kiemelkedett a Preventa nevű hibrid. A gyümölcs FRAP-értéke közel azonos volt a korábban vizsgált málnafajták közül kimagasló ‘Fertődi zamatos’ és a piros ribiszkék közül kiemelkedő ‘Jonkheer van Tets’ gyümölcsének FRAP-értékével, jelentősen meghaladva a szamóca- vagy almafajták paramétereit (Hegedűs és mts., 2008).

Az azonos körülmények között termesztett, vizsgált fajták/genotípusok gyümölcsének antioxidáns kapacitásában 22-szeres, összes polifenol-tartalmában 35-szörös különbséget mutattunk ki. Ez a változékonyság jelentősen felülmúlja az elsősorban

mediterrán fajták vizsgálatával kimutatott variabilitást (Leccese és mts., 2008; Ruiz és mts., 2005b). Meg kell azonban jegyezni, hogy a Preventa kizárásával a variabilitás mértéke 8–9-szeresre esik vissza. Drogoudi és mts. (2008) szintén nagy különbségeket mutattak ki görög és észak-amerikai fajták antioxidáns kapacitásában. A kelet-európai, észak-amerikai és elsősorban ázsiai genotípusokra jellemző nagy genetikai variabilitást molekuláris markerekkel is alátámasztottuk (Pedryc és mts., 2009). A perspektivikus új fajták antioxidáns kapacitása és polifenol-tartalma elmaradt a hagyományos fajtákétól, ami rámutat a nemesítés további lehetséges céljaira.

A vizsgált fajták gyümölcsének C-vitamin-tartalma sokkal szélesebb skálán változott (3–16 mg/g friss gyümölcs), mint a „világ kajszi-termesztésének fővárosaként” tekinthető malatyai régióban termett 11 török fajta esetében (5–11 mg/g) (Akin és mts., 2008). A kajszi átlagos C-vitamin-tartalma megegyezett a fehér és sárga húsú őszibarackok és szilvák C-vitamin-tartalmával (Gil és mts., 2002). Csak a Preventa aszkorbinsav-tartalma volt nagyobb ezúttal is. Ennek alapján a kajszi C-vitamin-forrásként sem jelentéktelen a csonthéjasok között.

A CIELAB színparaméterek közül a színezeti szög rendkívül szoros korrelációt mutatott ($r = -0,924$) a gyümölcshús összes karotinoid-tartalmával (Ruiz és mts., 2005a). Ennek alapján a korai érésű ‘Harmat’ karotinoid-tartalma volt a legkisebb, míg a szintén korai ‘Aurora’ fajtáé a legnagyobb. A H° paraméter variabilitásának mértéke megegyezett a fehér-narancssárga színskálát lefedő, spanyol namesítési alapanyagokra jellemző mértékkel (Ruiz és mts., 2005a). A kiemelkedő antioxidáns kapacitású Preventa gyümölcs 66,99 H° értéke átlagos karotinoid-tartalomra utal.

A nagyobb mértékű gyümölcsfogyasztás mérsékli a krónikus betegségek előfordulási gyakoriságát (Block és mts., 1992; Dauchet és Dallongeville, 2008; Liu, 2003). A közelmúltban elvégzett állatkísérletek alapján a kajszi rendszeres fogyasztása például segítette a kis dózisú röntgensugárzás hereszövetekre gyakorolt káros hatásának csökkentését, illetve a miokardiális iszkémia-reperfúzió során kialakuló károsodás mérséklését (Parlakpınar és mts., 2009; Ugras és mts., 2010). A hagyományos feldolgozási technológiák többsége a flavonoid-tartalom közel 50 %-os és a C-vitamin-tartalom 60 %-os veszteségét idézi elő (Kim és Padilla-Zakour, 2004), ami a Preventa gyümölcs használatával még mindig nagyobb antioxidáns kapacitású végterméket eredményezhet.

Az általunk vizsgált, nagy variabilitású mintakör alkalmas lehet speciális táplálkozási célok és fogyasztói igények kielégítésére. A bébiételek gyártásához kis savtartalmú gyümölcs szükséges. Ehhez az általunk vizsgált kajsziak közül a ‘Budapest’ fajta és az

NJA-1 jelű hibrid kínálhat megfelelő alapanyagot, melyek savszegény gyümölcsének antioxidáns kapacitása viszonylag nagy.

A kiugró antioxidáns kapacitású Preventa gyümölcse önmagában értékes lehet speciális táplálkozási célokra, de a hibrid nem ajánlható szélesebb körű termesztésre számos kedvezőtlen tulajdonsága miatt (pl. halvány gyümölcsszín, kis karotintartalom, kicsi SSC/TA arány, kiegyenlítetlen hozam, fogékony a kajszihimlővírussal szemben). Funkcionális nemesítési programokban azonban felhasználható lehet. A gyümölcs antioxidáns kapacitásának heritabilitása alapján számos faj esetében lehetségesnek értékelték e tulajdonság konvencionális nemesítéssel történő javítását (Cantín és mts., 2009; Connor és mts., 2002, 2005; Scalzo és mts., 2005a). Más értékes tulajdonságokat (pl. hússzilárdság, nagy karotintartalom, vírusrezisztencia, öntermékenyülés stb.) hordozó szülőnővényekkel (pl. ‘Orange red’, ‘Gönci magyarkajszi’, ‘Toyosi’, ‘Tomcot’ stb.) történő keresztezése javasolható.

6.1.5 Cseresznye

A vizsgált ukrán cseresznyefajták gyümölcsének antioxidáns és gyökfogó hatása, összes polifenol- és antocianintartalma nagyobb mértékű variabilitást mutatott, mint a vizsgált árufajtáké. Néhány genotípus kiemelkedő értékeket produkált. Az ukrán fajták FRAP-értékei között közel nyolcszoros eltérést mutattunk ki, ami jelentősen meghaladja a korábbi 2-3-szoros különbségekről szóló beszámolókat (Kelebek és Selli, 2011; Usenik és mts., 2008b). A vizsgálatunkban felhasznált 13 árufajta csoportjában valóban sokkal kisebb mértékű (kb. 4-szeres) változékonyság volt kimutatható. Az árufajták csoportjában a ‘Germersdorfi 3’ fajta produkált kiemelkedő értéket. Ez az árufajták csoportjában kiugró érték körülbelül az ukrán csoport medián értékével volt azonos.

Az antioxidáns kapacitást jellemző négy módszer eredményeinek együttes értelmezése alapján a legjelentősebb antioxidáns kapacitás a ‘Kutuzovka’, ‘Kodrinszkaja’, ‘Dagesztanka’, ‘Melitopolszkaja krapcsataja’ és ‘Perszpektivnaja’ fajták gyümölcsét jellemezte. Ezek a fajták perspektivikusan alkalmazhatók lehetnek egy funkcionális nemesítési programban. Ilyen megközelítést már számos bogyós és csonthéjas gyümölcsfaj esetében alkalmaznak nemzetközi viszonylatban (Capocasa és mts., 2008; Connor és mts., 2002; Díaz-Mula és mts., 2009).

E fajták többségét nagy antocianintartalom jellemzi mind a gyümölcshéjban, mind a gyümölcshúsban. Ennek alapján egy magyarországi tájszelekcióból származó feketecseresznye genotípust is megvizsgáltunk, és még a legjobb antioxidáns kapacitású ‘Kutuzovka’ gyümölcsét is meghaladó FRAP- és TPC-értékeket mértünk. Mindez arra

utal, hogy a magyarországi tájszelekcióból származó feketecseresznye fajták (pl. ‘Szomolyai fekete’), illetve az általunk vizsgált, vagy más szelektált klónok is perspektivikusnak bizonyulhatnak a jövőben. Ezek további vizsgálata jelentős célkitűzés.

A ‘Melitopolszkaja krapcsataja’ kis antocianintartalma ugyanakkor arra utal, hogy más cseresznye- és meggyfajtákhoz hasonlóan (Papp és mts., 2010; Piccolella és mts., 2008; Usenik és mts., 2008b) a gyümölcs nagy polifenol-tartalma és antioxidáns, különösen pedig gyökfogó hatása jelentős részben a színtelen polifenolos vegyületeknek köszönhető. Mindez azt is megmagyarázza, miért mutat az antioxidáns kapacitás sokkal szorosabb korrelációt az összes polifenol-tartalommal, mint az antocianintartalommal. A sötétbíbor színű cseresznyefajták antioxidáns kapacitásának kialakításában az antocianinoknak meghatározó szerepe van, míg a világos színű fajták esetében más polifenolos vegyületek hatása válik dominánssá.

Tekintettel arra, hogy a bemutatott ukrán cseresznyefajták a hazai termesztés számára nem ismertek, szükségesnek tartottam néhány fontos gyümölcsjellemző vizsgálatát is. A legtöbb ukrán fajta gyümölcstömege meghaladta a kontrollként használt ‘Van’ fajtáét. A ‘Van’ fajta gyümölcstömege a szigetcsépi ültetvényben hasonlóan (6,62 g) bizonyult, mint egy törökországi (Adana) ültetvényben (Vursavus és mts., 2006). Jóllehet a gyümölcstömeget az alanytól a terhelésig számos tényező befolyásolhatja (Goncalves és mts., 2004), a hasonló eredmények azt mutatják, hogy a különböző tanulmányok adatai – kellő körütekintéssel – összevethetők. A legnagyobb gyümölcsű fajták (‘Krupnoplodnaja’ és ‘Dagesztanka’) gyümölcstömege közel azonos volt a legfontosabb török fajta, a 0-900 Ziraat gyümölcstömegével (Vursavus és mts., 2006), ugyanakkor elmaradt a ‘Lapins’ (Usenik és mts., 2008b) vagy ‘Sunburst’ (Radicevic és mts., 2008) cseresznye paramétereitől. Mivel a korai érésű cseresznyefajtákat általánosan kis gyümölcsméret jellemzi, a viszonylag nagy gyümölcsű, június elején érő ‘Junszkaja rannaja’ fajta is perspektivikus nemesítési alapanyag lehet.

A ‘Melitopolszkaja krapcsataja’ fajta gyümölcseinél volt legnagyobb a gyümölcshús/kőmag aránya, ami csak kevéssel maradt el a ‘0-900 Ziraat’ fajtától (Vursavus és mts., 2006). A ‘Dagesztanka’, ‘Kodrinszkaja’ és ‘Perszpektivnaja’ fajták gyümölcseit szintén nagyobb gyümölcshús/kőmag arány jellemezte, mint a ‘Van’ fajtáét. Az érett cseresznye oldható száraanyag-tartalma 14–16 % között változott, fajtától függően (Kader, 1999). A ‘Melitopolszkaja krapcsataja’ fajta kivételével valamennyi fajta gyümölcseinél az SSC-érték ezen határértékek közé esett, vagy meghaladta azt (1. melléklet). A legnagyobb érték 18 % volt, ahogyan több kanadai fajta összehasonlításakor is ez bizonyult a maximális értéknek (Radicevic és mts., 2008).

Kimutatták, hogy a minimum 16 % SSC-értéket a fogyasztók többsége elfogadhatónak tartja (Crisosto és mts., 2003), ami tovább erősíti a legtöbb ukrán fajtában rejlő nemesítési lehetőségeket.

6.1.6 Meggy

A vizsgált meggyfajták között a legnagyobb gyümölcsméret a ‘Pándy 279’ fajtát jellemezte. A ‘Pándy’ meggy ismeretlen eredetű, régi magyar fajta, melynek kialakulásában nagy szerepe volt a népi szelekciónak (Szabó, 2008). A növényeket jól ismerő parasztemberek számára a gyümölcsméret, a gyümölcs íze alapvetően fontos tulajdonságok voltak. A ‘Pándy 279’ meghaladta a törökországi szelektált klónokra jellemző legnagyobb gyümölcsméretet (5,19 g) (Yarilgac és mts., 2005). Az ‘Oblacsinszka’ és a ‘Cigány 7’ fajták gyümölcsei ugyanakkor igen kisméretűek, ezekből elsősorban ivólé és lekvár készül. A nagyobb gyümölcsök friss fogyasztásra és feldolgozásra egyaránt alkalmasak. A meggyet a termesztő országok többségében kizárólag feldolgozásra értékesítik, melynek oka, hogy friss fogyasztásra megfelelő minőségű fajta nem áll rendelkezésre. Mindez azonban egyre jelentősebbé válik, mivel a meggy kedvező egészségi hatásainak megismerésével párhuzamosan több országban nő az igény a frissen (is) fogyasztható gyümölcs iránt.

A cseresznye esetében a nagyobb SSC/TA arány jobb organoleptikus tulajdonságú gyümölcsre utal (Crisosto és mts., 2003), a 16 %-nál nagyobb oldható szárazanyag-tartalom tekinthető minimálisan elérendő értéknek. A vizsgált meggyfajták közül a ‘Debreceni bőtermő’ fajtán kívül mindegyik elérte, vagy meghaladta ezt az értéket, ami arra utal, hogy a vizsgált fajták gyümölcse friss fogyasztásra is kiválóan megfelel. A meggyekben csak glükóz és fruktóz monoszacharidokat sikerült kimutatnunk, ami a cseresznyét leszámítva nem jellemző a többi csonthéjas gyümölcsre (Lee és mts., 1970; Usenik és mts., 2008b). A glükóz- és fruktóztartalom szoros korrelációja arra utal, hogy gyümölcsbeli jelenlétük közvetlenül a transzport szacharóz hidrolíziséből eredeztethető, ahogyan azt más gyümölcsök esetében is igazolták (Sturm és mts., 2003).

A meggy ízét a cseresznyéhez viszonyított nagyobb savtartalom is jelentősen befolyásolja (Crisosto és mts., 2003). A savtartalom a ‘Pándy 279’ gyümölcsében volt legkisebb, a ‘Pipacs 1’-ében a legnagyobb. A magyar meggyfajták gyümölcisének oldható szárazanyag-tartalma és titrálható savtartalma kisebb, a pH nagyobb volt, mint a horvát meggyfajták esetében (Pedisic és mts., 2007). A legnagyobb SSC/TA arány a ‘Pándy 279’ gyümölcsét jellemezte. Ahogy említettük, a fajta kialakulása során évszázadokon át szelekciót végeztek, melyben a nagy gyümölcsméret és édes íz kiemelkedő szempontok

voltak. A 11 és 14 közötti SSC/TA arány általában kiegyensúlyozott, harmonikus ízű gyümölcsöt jelent. Ez alól azonban kivétel a 13-as arányt mutató ‘Pipacs 1’, melynek savanykás, fanyar gyümölcsseit cukrászipari alapanyagként használták (Hegedűs és mts., 2012; Szabó, 1998). Leve szintelen, ami alapján kiválóan alkalmas volt tortameggyként.

Az ‘Újfehértói fürtös’ (szin. ‘Balaton’) fajta gyümölcsének nagy antioxidáns kapacitását több vizsgálat igazolta (Kirakosyan és mts., 2009; Wang és mts., 1997). A mi vizsgálatunkban az ‘Újfehértói fürtös’ a legkisebb antioxidáns kapacitású fajták közé sorolódott (kb. 5 mmol AS/L). A legnagyobb antioxidáns kapacitás a ‘Pipacs 1’ gyümölcsét jellemezte: a 22 mmol AS/L közel négyszerese volt az ‘Újfehértói fürtös’ értékének. Korábbi, azonos módszertani háttérrel elvégzett vizsgálataink alapján ez az érték többszörösen felülmúlja az alma, szamóca, málna és piros ribiszke átlagos antioxidáns kapacitását, és megközelíti a feketeribiszke-fajták gyümölcsére jellemző antioxidáns kapacitás értékek (24–33 mmol AS/L) alsó határát (Hegedűs és mts., 2008). A fajta ilyen mértékben kiemelkedő antioxidáns kapacitása meglepő volt, hiszen *amarella* típusú gyümölcs antocianinban szegény (28. ábra). Ehhez hasonlóan, a szintén világos gyümölcshúsú, sárga-piros tarka gyümölcsű, nem festőlevű ‘Ferrador’ cseresznyefajta antioxidáns kapacitása felülmúlta több antocianinban gazdag cseresznye antioxidáns kapacitását (Usenik és mts., 2008b).

Veres és mts. (2006) néhány magyar meggyfajta és bosnyák típusú szelektált klón antioxidáns kapacitását jellemezték fotokemilumineszcenciás módszerrel. A ‘Csengődi’ fajta és a B6 jelű klón antioxidáns kapacitása bizonyult legnagyobbak. A két tanulmány adatainak összevetéséhez meghatároztuk a ‘Csengődi’ gyümölcsének FRAP-értékét (9,11 mmol AS/L), ami a ‘Cigány 7’ FRAP-értékéhez (8,43 mmol AS/L) hasonlónak bizonyult. Ezek alapján a ‘Cigány 7’-nél nagyobb FRAP-értékű fajták (‘Oblacsinszka’, VN klónok és ‘Pipacs 1’) antioxidáns hatása feltehetően a Veres és mts. (2006) által értékelt, perspektivikus bosnyák klónoktól is kedvezőbb.

A gyümölcsök összes antocianintartalmában nyolcszoros eltérés mutatkozott a legkisebb ‘Debreceni bőtermő’ és a legnagyobb antocianintartalmú (VN-1) gyümölcsök között. Sass-Kiss és mts. (2005) hat általunk is vizsgált fajta antocianintartalmát határozták meg HPLC technikával. A két vizsgálat eredményei megegyeznek abban, hogy a ‘Debreceni bőtermő’, ‘Pándy 279’, ‘Kántorjánosi’ és ‘Érdi bőtermő’ antocianintartalma közel azonos volt, míg az ‘Újfehértói fürtös’-é, és különösen a ‘Cigány 7’-é jelentősen meghaladta ezt az értéket. A kétféle mérés technikával kapott eredmények alapján a fajták között hasonló sorrend alakult ki, ami alátámasztja a spektrofotometriás antocianinmeghatározás megbízhatóságát (Lee és mts., 2008). A vásárosnaményi szelektált

klónok (VN) kiemelkedő antocianintartalma gyakorlatilag fekete színű gyümölcshúst eredményez (28. ábra). A VN-1 klón antocianintartalma ötször nagyobb, mint az 'Újfehértói fürtös' fajtáé (27. ábra). Az antocianinok kedvező egészségi hatásai jól ismertek (Cassidy és mts., 2013; Kang és mts., 2003; Kim és mts., 2005; Seeram és mts., 2001b), így ez a szelektált klón perspektivikus lehet.

A VN-1 nagy cukortartalma és SSC/TA aránya kellemes ízre utal. A VN-7 klón antioxidáns kapacitása és antocianintartalma valamivel kisebb volt, míg cukortartalma jelentősen elmaradt a VN-1-től. Amennyiben ez az eltérés különböző évjáratokban stabilan kimutatható (ennek megállapításához további vizsgálatok szükségesek), a VN-7 gyümölcsét speciális táplálkozási igények kielégítésére használhatnánk (pl. cukorbetegség diétája során). A meggy glikémiás indexe (22) jelentősen elmarad a többi csonthéjas gyümölcshöz képest (39–57), amit feltehetően a meggy bioaktív vegyületei által kiváltott vércukor-csökkentő hatás és a rosttartalom magyaráz (McCune és mts., 2011). Mindez tovább erősíti annak esélyét, hogy a meggy (különösen a kis cukor- és nagy antocianintartalmú VN-7 klón) a cukorbetegség diétájának hasznos szupergyümölcsévé legyen.

6.1.7 Potenciális szupergyümölcsök azonosítása és genetikai háttere

Valamennyi vizsgált csonthéjas gyümölcsfaj esetében azonosítottunk olyan fajtát/genotípust, melynek antioxidáns kapacitása és összes polifenol-tartalma jelentősen felülmúlja a többi fajtára jellemző értékeket. Ezek közé tartozik a PC4 cseresznyeszilva, a 'Super Giant' japánszilvafajta, a vérbélű őszibarack, a Preventa kajszihibrid, egy szelektált feketecseresznye klón, néhány ukrán cseresznyefajta (pl. 'Kutuzovka', 'Kodrinszkaja', 'Melitopolszkaja krapcsataja'), a meggy esetében a 'Pipacs 1' és 'Fanal' fajták, illetve a VN-1 jelű szelektált klón, míg a kökénynél az S2 genotípus.

Eredetüket tekintve csak elvétve találunk köztük keresztezéses nemesítési programból származó fajtákat (pl. néhány ukrán cseresznye), bár ezek pedigriájában számos esetben ismeretlen, illetve ukrán eredetű tájfajták is szerepelnek, ami magyarázatul szolgálhat e fajták más országokból származó fajtáktól való eltérésére. A kiemelkedő antioxidáns kapacitású gyümölcsöt termő genotípusok leggyakrabban régóta ismert, tájszelekcióból származó fajták (pl. 'Vérbarack' és 'Pipacs 1'), vagy szelektált magoncok (PC4, VN-1, S2, feketecseresznye) között voltak megtalálhatók.

Bizonyos esetekben (pl. Preventa és 'Super Giant') a kiemelkedő genotípusok pedigriájában különböző fajok részvétele is feltételezhető. A 'Super Giant' japánszilva, melyek komplex hibrid eredete régóta ismert (Byrne, 1989). A Preventa néhány

fenotípusos tulajdonsága alapján feltételezhető, hogy pedigréjében megtalálható a *P. mandshurica*. Leccese és mts. (2012b) a *Prunus mandshurica* és *P. brigantiaca* fajhibridek gyümölcsében kiemelkedő antioxidáns kapacitást mutattak ki.

Mindezek alapján a korlátozott genetikai variabilitású növényanyag (alapító klónok, értékes magoncok) felhasználásával folytatott keresztezéses nemesítési folyamat során jelentős mértékben csökkenhetett mindazon tulajdonságok változékonysága, melynek fenntartására/megőrzésére nem irányult szelekciós nyomás. Különösen szembeűnő mindez az őszibarack esetében, ahol a hatást a faj öntermékenyűlő fenotípusa is felerősíti (Hegedűs és mts., 2006; Scorza és mts., 1985), ami a beltenyésztésre is lehetőséget adott a nemesítés során. A szupergyümölcsök előállítását célzó nemesítési programokban várhatóan jelentős szerepe lesz majd a tájszelekciónak, vagy a fajok közötti hibridizációnak.

6.2 Az antioxidáns paramétereket befolyásoló tényezők

Leccese és mts. (2008) szoros korrelációt tártak fel az érésidő és a gyümölcs antioxidáns (TEAC és TPC) paraméterei között kilenc olasz kajszifajta vizsgálatával. Ezek szerint a korai érésű gyümölcsök antioxidáns kapacitása jelentősen elmarad a később érő gyümölcsökétől. Ezt a tendenciát nagyobb mintakörön elvégzett vizsgálatunk is megerősítette.

A kéttényezős varianciaanalízis kimutatta, hogy a kajszii és meggy antioxidáns kapacitásának kialakításában a genotípus meghatározó jelentőségű. Ezt a tényt számos más gyümölcsfaj esetében is igazolták korábban (Drogoudi és mts., 2008, Hegedűs és mts., 2008, Papp és mts., 2010, Sass-Kiss és mts., 2005, Scalzo és mts., 2005a). A meleg és száraz időjárás 2007-ben nagyobb polifenol-tartalmat idézett elő több kajszifajta gyümölcsében. A kedvezőtlen körülményekre nagyobb mértékű változással reagáló fajták többsége Ázsia meleg és arid területeiről származik (pl. ‘Salah’, ‘Szamarkandszkij rannij’ vagy ázsiai magonc). A 2006. évi kis polifenol-tartalmuk ezek alapján az alacsonyabb hőmérsékletnek tulajdonítható. A magyar fajták polifenol-tartalma 20 %-nál is kisebb mértékű változást mutatott a két évjárat között, ami nem meglepő, hiszen ezek a fajták adaptálódtak leginkább a helyi környezeti körülményekhez. Rendkívül fontos, hogy a Preventa gyümölcsének nagy polifenol-tartalmában mindössze 21 % különbség volt a két év között, ami azt mutatja, hogy a gyümölcs kiemelkedő polifenol-tartalma stabil tulajdonság, az időjárási különbségek csak kis mértékben befolyásolják annak megnyilvánulását.

Még kifejezettebben jelentkezett mindez a ‘Pipacs 1’ meggyfajta esetében, melynek FRAP- és TPC-értékei rendkívül kis eltérést mutattak a vizsgált négy év során. A

legnagyobb mértékű varabilitást a VN-1 és ‘Kántorjánosi’ genotípusok mutatták, melyben a tél eleji és a májusi szárazság mellett nagyobb antioxidáns kapacitás és polifenol-tartalom mutatkozott. A májusi és júniusi maximum hőmérséklet és a napsütéses órák száma több fajta esetében (‘Pándy 279’, ‘Kántorjánosi’, ‘Újfehértói fürtös’, VN-1 stb.) nagyobb antioxidáns kapacitással és összes polifenol-tartalommal társult. Eredményeink csonthéjas gyümölcsök esetében is igazolják, hogy a növényi szövetek polifenol-tartalma (és antioxidáns kapacitása) a környezeti stressztényezők hatására fokozódik (Moretti és mts., 2010; Rivero és mts., 2001).

A Preventa és ‘Gönci magyarkajszai’ gyümölcsének érése során az aszkorbinsav-felhalmozódás dinamikája nagyon hasonló volt a ‘Tilton’ fajta esetében látott tendenciához (Lee és Kader, 2000), ami arra utal, hogy a folyamat a genotípustól és környezeti hatásoktól független, és inkább az érés fiziológiai következményeként alakul ki. A növényi sejtek ugyanis képesek a sejtfal lebomlásával keletkező uronsavakból aszkorbinsavat szintetizálni (Agius és mts., 2003; Cruz-Rus és mts., 2012). A sejtfalak lebomlása intenzív velejárója a gyümölcsérés folyamatának (Davey és mts., 2000), ami magyarázatot ad a gyümölcsben megjelenő C-vitamin eredetére, és arra hívja fel a figyelmet, milyen jelentős molekuláris átalakulások zajlanak le a gyümölcsérés folyamán.

A legújabb nézet szerint az állítások ökológiai szempontból is alátámaszthatók, amit az „antioxidáns jutalom” elmélete fejez ki (Schaefer és mts., 2008). A gyümölcsök az azokat elfogyasztó állatok számára energiát (szénhidrátokat) és bizonyos tápanyagokat (pl. ásványi elemek) biztosítanak „cserébe” magvaik elterjesztéséért, szétszórásáért. A gyümölcsök azonban sok ezer antioxidáns vegyületet is tartalmaznak, melyek feltehetően szintén hasznosak a gyümölcsöt elfogyasztó állatoknak. Legalább is erre utal az a tény, hogy a legtöbb gyümölcs antioxidáns értéke érett állapotban éri el maximumát, akkor, amikor a gyümölcs színe zöldről sárgára vagy pirosra változik. Ennek a színváltozásnak az a jelentősége, hogy vizuális szignálként szolgál a gyümölcssevő állatok számára, megmutatja, hol találják az erdők, bokrok zöld lombosátrában a gyümölcsöket. Az érett gyümölcs nagy antioxidáns értéke részben ezektől a színes vegyületektől (pl. karotinoidok vagy antocianinok) származik, hiszen ezek maguk is antioxidánsok. Ugyanakkor érdekes módon az érés során olyan antioxidáns vegyületek felhalmozódása is fokozódik (pl. a szintelen karotinoidok, flavonoidok vagy a C-vitamin), amelyeknek legvalószínűbb szerepe az lehet, hogy a gyümölcs a gyümölcssevő, és ezáltal a magokat elterjesztő állatok számára a mozgáshoz szükséges energián túl más, kedvező hatású vegyületeket is biztosítson. Ez az „antioxidáns jutalom” a viszonzás a gyümölcstermő növények következő generációja érdekében végzett munkáért.

6.3 Az antioxidáns kapacitást kialakító fő vegyületcsoportok azonosítása

Eredményeink az antioxidáns kapacitás és összes polifenol-tartalom között szoros korrelációt tártak fel. Az egyes gyümölcsfajok sorrendje a korreláció szorosságának megfelelően a következőképpen alakult: cseresznyeszilva ($r = 0,637$), japánszilva ($r = 0,736$), őszibarack ($r = 0,747$), cseresznye ($r = 0,813$), kajszi ($r = 0,837$), kökény ($r = 0,917$) és meggy ($r = 0,918$).

A nagy antocianintartalmú meggyek antioxidáns kapacitása is kiemelkedő volt, ami arra utal, hogy a cianidin-glikozidok jelentős mértékben hozzájárulnak a *morello* típusú meggyek antioxidáns kapacitásához, ahogyan azt korábban is feltételezték (Kirakosyan és mts., 2009). Cseresznye esetében is hasonló tendenciát mutattunk ki. A vérbélű őszibarack antioxidáns kapacitása jelentősen meghaladta a sárga és fehér húsú fajtákat, míg a vörös húsú japánszilva antioxidáns kapacitása nem különbözött szignifikánsan a sárga húsú gyümölcsökétől.

A teljes meggy mintakörön elvégzett, az antioxidáns vegyületcsoportok és az összes antioxidáns hatás közötti korreláció-analízis igazolta, hogy a C-vitamin- és az antocianintartalom kisebb mértékben befolyásolja az antioxidáns kapacitást, mint az összes polifenol-tartalom. Igazoltuk ugyanakkor, hogy a szintelen polifenoloknak is óriási jelentősége van bizonyos gyümölcsök esetében. Számos szintelen polifenolos vegyületet azonosítottak a meggy gyümölcséből, köztük flavonoidokat és fenolsavakat (Piccolella és mts., 2008), amelyek jelentős mértékben hozzájárulhatnak a meggy, különösen a kis antocianintartalmú, ún. *amarella* típusú fajták antioxidáns kapacitásához (pl. 'Pipacs 1'). E vegyületek többsége jellegzetesen kesernyész, fanyar ízű (Drewnowski és Gomez-Carneros, 2000), ami magyarázatul szolgál a 'Pipacs 1' gyümölcsének keserű-savanyú ízére. Folyamatban lévő vizsgálataink előzetes eredményei alapján a 'Pipacs 1' gyümölcsében a többi fajtához képest jelentősen nagyobb mennyiségben találhatók meg bizonyos fenolsavak és – érdekes meglepetésként – a genisztein izoflavonoid is (Abrankó és mts., 2011; Rak és mts., 2009).

Legújabb vizsgálatainkban 11 meggyfajta flavonoid és fenolsavas komponenseit folyadékkromatográfiás módszerrel választottuk szét, és egy ABTS-HPLC-DAD kapcsolt rendszer segítségével külön-külön vizsgáltuk ezek szabadgyökfogó képességét (Papp és mts., 2012). A kapcsolt analitikai eljárás lényege, hogy a mintában levő és folyadékkromatográfiával szétválasztott antioxidáns hatású vegyületek az ABTS^{•+} szabad gyökökkel reakcióba lépnek. Ennek következtében az ABTS^{•+} gyökök mennyisége csökken, amit 734 nm-en nyomon követve, a kromatogramban negatív csúcsokként

detektálunk. A vizsgált meggyfajtákban 15 antioxidáns kapacitással rendelkező komponenst találtunk, melyekből eddig 11-et azonosítottunk. Ezek közé tartozott két klorogénsav izomer és két különböző procianidin, továbbá a glikozidos formában jelenlévő, különböző flavonoidok (pl. kvercetin, kempferol, ramnetin) és antocianinok.

A FRAP és a Photochem ACW paraméterek szoros korrelációja a kajszi vizsgálata során meglepő volt, hiszen a két mérés kémiai háttere merőben eltérő: a FRAP a Fe^{3+} -ionok redukálásának (elektronátadás) hatékonyságát, míg az ACW a szuperoxid- és luminolgyökökkel szemben kifejtett gyökfogó hatást, a hidrogénátvitel hatékonyságát jellemzi (Benzie és Strain, 1996; Popov és Lewin, 1994). Munkánk az első olyan vizsgálat, amely a Photochem paramétereket más redox paraméterekkel vetette össze csonthéjas gyümölcsök antioxidáns kapacitásának jellemzése érdekében.

A FRAP eredmények szintén szoros összefüggést mutattak a DPPH-gyökfogó képességgel és a Photochem zsírolható antioxidáns kapacitással (ACL). A FRAP és DPPH az összes polifenol-tartalommal is szoros korrelációt adott, amit számos más gyümölcs esetén is leírtak (Cevallos-Casals és mts., 2006; Hegedűs és mts., 2008; Jacobo-Velázquez és Cisneros-Zevallos, 2009). Ez két tényezőre is visszavezethető lehet: egyfelől a FRAP és TPC módszerek háttérében álló hasonló kémiai háttérre (Huang és mts., 2005), másfelől arra a tényre, hogy a gyümölcsök legfőbb antioxidáns hatású vegyületsorozatát a polifenolok képezik (Chun és mts., 2003; Drogoudi és mts., 2008; Haminiuk és mts., 2012).

A FRAP és DPPH paraméterek a C-vitamin-tartalommal kevésbé szoros, de szignifikáns korrelációt mutattak, ami a polifenolok jelentősebb mértékű hozzájárulására utal az antioxidáns kapacitás kialakítása terén. Számos bogyósgyümölcs, nektarin-, őszibarack- és szilvafajták esetében nem mutatkozott szignifikáns korreláció a FRAP és a C-vitamin-tartalom között (Gil és mts., 2002; Kalt és mts., 1999). Guo és mts. (2003) a kajszi antioxidáns kapacitásának 18 %-át tulajdonították a C-vitaminnak. Eredményeink alapján ez az arány 3,3 % (Preventa) és 34 % ('Korai zamatos') között változott a vizsgált fajták körében. Mindez ismét ráirányítja a figyelmet a polifenol-tartalom jelentőségére, hiszen a Preventa a legnagyobb, míg a 'Korai zamatos' kis polifenol-tartalmú gyümölcs (16. ábra).

A TRSA volt az egyetlen olyan paraméter, mely nem mutatott korrelációt a többi antioxidáns kapacitást jellemző adattal, ugyanakkor szoros összefüggést adott a H° és C^* színparaméterekkel. Ezek alapján feltételezhető, hogy a TRSA módszer valamennyire érzékeny a kajszi karotinoid vegyületei által kifejtett antioxidáns kapacitásra. Mindezt alátámasztja a TRSA és a többi, vízdoldható antioxidáns kapacitást jellemző paraméter

független kapcsolata. Érdekes megfigyelni, hogy a H° (vagyis közvetett módon a karotinoidtartalom) és a Photochem ACL értékek között nem volt kimutatható összefüggés, holott a gyártó az ACL értéket „zsírolható antioxidáns kapacitás”-ként jelölte meg. A módszer során végzett metanolos extrakció feltehetően nem képes a karotinoid vegyületek kioldására, míg a gyümölcs számos más antioxidáns vegyülete (pl. az aszkorbinsav és a polifenolok egy része) egyaránt oldódik vízben és metanolban. A kétféle Photochem mérési mód eredményei így nem képviselnek számottevő különbséget. Ehhez hasonló következtetésre jutottak DiNardo és mts. (2004) is. Az eljárás során ráadásul csak a megfelelő hígítás esetén detektálható a jel. Az általunk vizsgált kajszi-fajták antioxidáns kapacitása között olyan mértékű különbségek voltak, hogy a megfelelő hígítási arányt minden fajta esetében egyedileg kellett beállítani, ami a módszert rendkívül idő- és költségigényessé teszi.

6.4 A *Prunus* fajok gyümölcsének flavonoid-bioszintézisében feltehetően szerepet játszó gének azonosítása

A gyümölcsök flavonoid-bioszintézise napjainkban intenzíven kutatott tudományterület. A vizsgálat első lépése a folyamat kulcsenzimeit kódoló gének azonosítása, parciális DNS-szekvenciájuk meghatározása volt.

Tsuda és mts. (2004), valamint Dardick és mts. (2010) az őszibarack gyümölcs flavonoid-bioszintézisében szerepet játszó számos enzim (PAL, C4H, 4CL, C3H, CHS, CHI, F3H, DFR, ANR és UFGT) parciális génszekvenciáját határozták meg. Takos és mts. (2006) az almagyümölcs flavonoid-bioszintézis útvonalának kulcsenzimeit kódoló géneket (*PAL*, *CHS*, *CHI*, *F3H*, *DFR*, *ANR*, *FLS*, *LAR*, *F3'H* és *UFGT*) azonosították. A körte flavonoid-bioszintézisében szerepet játszó géneket (*PAL*, *CHI*, *F3H*, *FLS*, *DFR*, *LAR*, *ANS*, *ANR* és *UFGT*) Fischer és mts. (2007) vizsgálták. A szamóca (*Fragaria chiloensis*) *PAL*, *C4H*, *4CL*, *CHS*, *CHI*, *F3H*, *DFR*, *ANS*, *ANR*, *LAR*, *FLS* és *UFGT* géneket Saud és mts. (2009), illetve Salvatierra és mts. (2010) azonosították. Az áfonya (*Vaccinium myrtillus*) gyümölcs és levél flavonoid-bioszintézisét (a *PAL*, *CHS*, *F3H*, *DFR* és *ANS* géneket) Jaakola és mts. (2002, 2004) vizsgálták. A hagyományos- és vérnarancs antocianin-bioszintézisét irányító géneket (*PAL*, *CHS*, *F3H*, *DFR*, *ANS*, *UFGT*) Licciardello és mts. (2008) azonosították. Számos más növényfaj esetében is (pl. *Arabidopsis* és *Rhododendron*) folynak hasonló vizsgálatok (Nakatsuka és mts., 2008).

A kajszi-gyümölcsökből ('Gönci magyarkajsi', Preventa, 'Ceglédi arany', 'Harcot', 'Aurora' és 18/61-es hibrid) a flavonoid-bioszintézis alábbi kandidáns génjeinek parciális szekvenciáját határoztuk meg: *PAL*, *C4H*, *4CL*, *CHS*, *CHI*, *F3H*, *F3'H*, *F3'5'H*, *DFR*,

ANS, *ANR*, *LAR* és *UFGT*. A meggy gyümölcs (VN-1 és ‘Pipacs 1’) esetében a *C4H*, *4CL*, *CHI*, *F3H*, *F3'5'H*, *ANR*, *LAR* és *UFGT* gének részleges szekvenciáját adtuk meg. Ezenkívül parciális *GAPDH* (kajszi) és *MYB* (meggy) génszekvenciákat is leírtunk.

A szekvenciákat homológia-keresésnek vetettük alá az NCBI *blastn* keresőprogram segítségével. A homológia-keresés során a szekvenciák nagyfokú hasonlóságot mutattak más fajok megfelelő génszekvenciájával. Az $E = 0$ vagy nullához közeli értékek alapján feltételezhető, hogy a meghatározott szekvenciák valóban a vizsgálni kívánt enzimet kódoló gén szakaszát képezik. A kajsziiban azonosított *PAL* és a *CHS* génszekvenciák homológjai feltehetően több példányban fordulnak elő az őszibarackgenomban, és így feltehetően a kajsziigenomban is. Mindkét génről igazolták más gyümölcsfajok esetében, hogy multigén család tagjai (Fischer és mts., 2007; Kumar és Ellis, 2001). Ezek a gének a meggyben, annak poliploid eredete miatt, még több példányban fordulhatnak elő. A szekvenciák többsége az őszibarackgenom egy-egy régiójával mutatott csak homológiát. Ennek oka lehet, hogy a vizsgált szakaszok jelentősebb mértékű szekvenciaeltérést mutatnak más paralóg kópiáktól, vagy valóban egy példányban vannak jelen. Néhányat ezek közül (pl. *F3H*, *LAR* és *ANS*) egy-két példányban mutattak ki a körtegenomban (Fisher és mts., 2007). Figyelembe véve, hogy a 17 kromoszómás haploid *Maloideae* genom a legtöbb kromoszómarégiót két példányban tartalmazza – autopoliploid eredetét Velasco és mts. (2010) bizonyították –, a 8 kromoszómás *Prunoideae* genomon belül bizonyos gének egyszeres kópiaszáma sem lenne meglepő. A kérdésre az őszibarackgenom részletes annotációja és az annotált genom körültekintő elemzése adhat megbízható választ a jövőben.

A kajszi *F3'5'H* és *LAR* kandidáns gének esetében általunk meghatározott szekvenciák a *Prunus* nemzetségen belül az első megismert szekvenciák. A *PAL* gént (Pina és Errea, 2008) kivéve valamennyi vizsgált génről munkánk adta a kajszi faj esetében az első szekvenciaismeretet. A meggy *4CL*, *F3'5'H*, *LAR* és *MYB* génszekvenciák a *Prunus* nemzetségen belül első ízben váltak ismertté, a többi szekvencia pedig a faj esetében számít újdonságnak. Génexpressziós vizsgálatunk alapján a kajszi *4CL*, *C3H*, *FLS* és *UFGT* gének és a meggy *4CL*, *FLS*, *ANR*, *LAR* és *UFGT* gének funkciója kétséges. Valamennyi itt azonosított gén funkcionális tesztelése fontos feladat biológiai szerepük minden kétséget kizáró megismeréséhez.

6.5 A flavonoid-bioszintézis kandidáns gének expressziós változása

Az érés korai szakaszában nagyobb ütemű növekedés figyelhető meg; a ‘Gönci magyarkajszi’ és Preventa gyümölcseinek növekedése némileg eltérőnek bizonyult. A

kajszi gyümölcs oldható szárazanyag-tartalma folyamatosan növekedett az érés során, ami egyezik az irodalomban leírt tendenciával (Gómez és Ledbetter, 1997). A kajszi gyümölcse az érés során zöld → sárga → narancssárga színátmenetet mutat. Az érés során a klorofill lebomlik, és a karotinoidok akkumulációja következik be, aminek eredményeként alakul ki a kajszi jellemző sárga gyümölcsszín (Katayama és mts., 1971; Marty és mts., 2005). Mindkét genotípus gyümölcsének különböző szöveteiben az érés során a színtelítettség (C^*) értékek növekvő, míg a színezeti szög (H^0) csökkenő tendenciát mutattak. Ezen eredmények korrelálnak Ruiz és mts. (2005a), Akin és mts. (2008) valamint Hegedűs és mts. (2011) korábbi eredményeivel.

A ‘Gönci magyarkajszi’ és Preventa gyümölcsök relatív génexpresszióinak vizsgálatakor megállapíthatjuk, hogy a Preventa gyümölcshús és -héj az első érési fázisban rendelkezett a legnagyobb transzkriptum-mennyiséggel az összes vizsgált gén esetében. A ‘Gönci magyarkajszi’-nál ez a tendencia nem ennyire egyértelmű, hiszen az exokarpiumban és a mezokarpiumban a relatív transzkriptum-mennyiségek az első és a második érési állapotban tetőztek. Ezek a relatív expressziós értékek azonban tökéletesen korrelálnak az összes polifenol-tartalom változásával: a Preventa gyümölcshúsában a TPC nagymértékű csökkenést mutatott az első két érési fázis között, míg a ‘Gönci magyarkajszi’ gyümölcshúsának polifenol-tartalma növekedett (19. ábra).

A gyümölcshús polifenol-tartalma a későbbi érési állapotokban kismértékű, folyamatos növekedést mutatott, míg a legtöbb vizsgált gént változatlan, vagy enyhén csökkenő expresszió jellemezte. Ennek magyarázata lehet, hogy az érés későbbi fázisaiban egyre kevesebb polifenolos vegyület használandó a mag körül fejlődő csonthéj kialakulására. A fenilpropanoid anyagcsereút köztitermékei egyaránt szerepet játszanak az endotél réteg lignifikációjában és a flavonoid-bioszintézisben. A két folyamat szabályozása között fennálló összefüggéseket őszibarack esetében igazolták (Dardick és mts., 2010).

Az őszibarackgenomban két-két, a kajszi *PAL* és *CHS* génekkel homológ régió volt kimutatható. Ennek megfelelően elképzelhető, hogy expressziós vizsgálatunk csak az egyik gén kifejeződését detektálta, és az érés későbbi szakaszában egy másik gén aktivitása válik meghatározóvá. Ehhez hasonló jelenséget írtak le Kumar és Ellis (2001) málnagyümölcs esetén, ahol a *RiPAL1* és *RiPAL2* gének által kódolt enzimek aminosav-szekvenciája között 88 %-os azonosság volt, de a *RiPAL1* expressziója a gyümölcserés korai szakaszában, a *RiPAL2*-é az érés későbbi szakaszában volt jelentős.

Hasonló expressziós változást mutattak ki Dardick és mts. (2010) a sárga húsú őszibarack flavonoid-bioszintézisének vizsgálata során. A *4CL*, *DFR* és *ANS* gének folyamatosan csökkenő, míg a *PAL*, *C4H*, *CHS*, *CHI* és *F3H* gének egy kis emelkedést

követően csökkenő expressziót mutattak az érés során. Több gyümölcsfaj esetében és több flavonoid-bioszintézis génre vonatkozóan írtak le az érés során csökkenő génexpressziót: például körte esetében a *PAL* (Steyn és mts., 2004); zöld héjszínű alma esetében a *CHS*, *CHI*, *F3H*, *DFR*, *FLS*, *LAR*, *ANR* és *UFGT* (Tako és mts., 2006) génekre.

Jelentős különbség a két genotípus között, hogy a Preventa gyümölcshúsa, de különösen gyümölcshéja többszörös transzkriptum-tartalommal rendelkezik számos gén (*PAL*, *C4H*, *CHS*, *CHI*, *F3H*, *F3'H*, *DFR*, *ANS*, *ANR* és *LAR*) esetében a gyümölcserés korai szakaszában a 'Gönci magyarkajsi'-hoz képest. A Preventa gyümölcseinek hús- és héjszövetében a *PAL* és *CHS* enzimeket – a fenilpropanoid- és flavonoid-bioszintézis első enzimeit – kódoló kandidáns gének szintén többszörös relatív expressziós értékekkel rendelkeztek a 'Gönci magyarkajsi'-hoz képest. Ezek a jelentősen nagyobb expressziós értékek feltehetően összefüggésben állnak a Preventa nagyobb antioxidáns kapacitásával. A Preventa gyümölcshúsa nagyobb *C4H* génexpressziót és flavonoidtartalmat (Pfeiffer, 2012) mutatott, mint a 'Gönci magyarkajsi' gyümölcshúsa. Ehhez hasonló tendenciáról számoltak be Saud és mts. (2009) szamóca esetében.

A Preventa többszörös antioxidáns kapacitás értékeket mutat, mint a 'Gönci magyarkajsi' (Hegedűs és mts., 2010). A különböző polifenolos vegyületek azonosítását követően feltételezhetjük, hogy a Preventa gyümölcshúsában a 'Gönci magyarkajsi'-hoz képest sokkal nagyobb arányban akkumulálódó katechin is felelőssé tehető a két gyümölcs antioxidáns kapacitásában megmutatkozó különbségért (Pfeiffer, 2012). A katechin a flavan-3-olok csoportjába tartozik. A katechin bioszintéziséhez az alábbi enzimek szükségesek: *PAL*, *C4H*, *CHS*, *CHI*, *F3H*, *DFR* és *LAR*. Ezen enzimeket kódoló gének expresszióját figyelembe véve a két különböző genotípus gyümölcshúsában megállapíthatjuk, hogy a Preventa gyakorlatilag valamennyi génre nézve átlagosan négyszeres relatív transzkriptumtartalommal rendelkezett az első érési állapotban.

A katechintartalom a Preventa gyümölcshéjban és -húsban az 1. és 2. érési fázis között növekedett, majd a teljes érettség eléréséig kismértékben csökkent (gyümölcshús), vagy változatlan maradt (gyümölcshéj). A 'Gönci magyarkajsi' gyümölcshúsa alig tartalmazott katechint, a gyümölcshéj katechintartalma viszont a 3. érési fázistól kezdődően jelentősen csökkent (Pfeiffer, 2012). Ennek alapján elképzelhető, hogy a 'Gönci magyarkajsi' gyümölcsében a katechin kondenzált tanninok (vagy más vegyületek) keletkezésére használdik fel. A piros héjú 'Cripps Red' almafajta gyümölcsében is a nagyobb mértékű *ANR* és *LAR* génexpresszió bizonyult felelősnek a kondenzált tanninok felhalmozódásáért (Tako és mts., 2006).

A 'Gönci magyarkajsi' mezokarpiuma átlagosan két-, háromszoros mennyiségben tartalmaz epikatechint a Preventához képest. Mivel a katechin és epikatechin is a flavan-3-olok csoportjába tartoznak, a termelődésükhöz szükséges enzimek nagy része azonos, de a LAR helyett az ANS és ANR enzimek vesznek részt a folyamatban. A két genotípus közül a Preventa rendelkezik nagyobb *PAL*, *C4H*, *CHS*, *CHI*, *F3H*, *DFR*, *ANS* és *ANR* relatív transzkriptum-mennyiséggel. Ezért a 'Gönci magyarkajsi' gyümölcsének nagyobb epikatechin-tartalma feltételezhetően annak köszönhető, hogy a Preventa esetében elsősorban az epikatechinből keletkeznek kondenzált tanninok. Természetesen a flavan-3-olok továbbalakulása, lebomlása, vagy a szerepet játszó gének poszt-transzkripcionális szabályozása is választ adhat a két genotípus között látható különbségre. Az antocianinfelhalmozódás idején a CT-szintézis génjeinek transzkriptuma kisebb mennyiségben van jelen (Tako és mts., 2006), mint más flavonoid-bioszintézis gének transzkriptuma. Ennek alapján, az almahéjhoz hasonlóan a CT-bioszintézis és az antocianin-bioszintézis a kajszihéjban is eltérő szabályozás alatt állhat.

Ugyanakkor az is elképzelhető, hogy az azonosított *UFGT* génhomológ Preventa gyümölcszójában nem az ANS enzim által termelt 3-OH antocianidinek glikozilációját katalizáló enzimet termel, így azok az ANR által a flavan-3-olok irányába alakulnak tovább. Az *UFGT* enzimnek más gyümölcsök esetében is meghatározó szerepe van az antocianin-akkumulációban. Az *UFGT* végzi az antocianidinek glikozilációját az antocianinek (színes és stabil molekulák) termelése során. A fehér bogyójú szőlőfajták héjában az *UFGT* enzim nem volt kimutatható, és más gének expressziója is kisebb mértékű volt a vörös héjszínű fajtákkal összehasonlítva (Boss és mts., 1996b). Hasonló megfigyeléseket tettek Yamazaki és mts. (2002) petúnia vizsgálatokor.

Mindkét kajszi genotípusban a vizsgált korábbi érési fázisokban a gyümölcsök flavonoidtartalma a későbbi érési állapotú gyümölcsökhöz képest kifejezetten kicsi volt (Pfeiffer, 2012). Ez összefüggésbe hozható a nagy korai transzkriptum-tartalommal, amikor is a gyümölcsben a flavonoid komponensek szintéziséhez szükséges enzimek termelődnek. Az mRNS molekulák rövid életidejű (Singer és Penman, 1973), a termelődött flavonoid komponensek viszont stabilabb molekulák. A gyümölcsök korai érési fázisában a nagy transzkriptum-tartalom eredményeképpen a flavonoid-bioszintézis kulcsenzimeit szintetizálódnak. A szintetizálódott enzimek termelik a flavonoid komponenseket, melyek nagy szerepet játszanak az antioxidáns kapacitás kialakításában. A legtöbb azonosított gén relatív expressziója, valamint a gyümölcs antioxidáns kapacitása, összes-polifenol-tartalma és egyes flavonoid komponenseinek mennyisége között egyértelmű összefüggés mutatkozott.

A meggy gyümölcsök génexpressziós vizsgálata igazolta, hogy a *PAL*, *CHS*, *DFR* és *ANS* gének a ‘Pipacs 1’ piros pigmentektől mentes gyümölcshúsában is expresszálódnak, szemben a színmutáns áfonya fehér gyümölcsével, ahol csak *PAL* és *DFR* gének expresszióját lehetett kimutatni (Jaakola és mts., 2002). Ugyanakkor az expresszió mértékének jellemzéséhez kvantitatív RT-PCR-analízisre volt szükség. Az antocianintartalom csökkenése a struktúrgének és/vagy szabályozó gének expressziójának gátlásából is származhat. A fehér szőlő kialakulásának hátterében például az UDP-glükóz:flavonoid 3-O-glükoziltranszferáz expressziójának gátlása áll (Yakushiji és mts., 2006). Amennyiben az antocianin-bioszintézis valamelyik szakasza gátolt, a végtermék hiányában a folyamat szabályozása sérülhet, ami más polifenolos vegyületek felhalmozódásához vezethet a ‘Pipacs 1’ gyümölcshúsban, ahogyan azt korábban mutáns *Arabidopsis* vonalakon igazolták (Pelletier és mts., 1999). Ehhez hasonló *feedback*-szabályozás a kajszi karotin-bioszintézise során is feltételezhető (Marty és mts., 2005).

A ‘Pipacs 1’ gyümölcshéjában, a 3. é.f.-ban a zöld fedőszín mellett antocianin pigmentáltság jelent meg, míg a gyümölcshús – a klorofilltartalom miatt – zöld színű volt. A VN-1 esetben szintén a gyümölcshéj vált először sárgává, majd pirossá, de a folyamat már az első érési állapotot követően megkezdődött. Az a^* növekedése a VN-1 gyümölcshéj esetén az érés során hamarabb következett be, ami arra utalt, hogy a VN-1 gyümölcshéj pirosodása intenzívebb és a korai érési fázisokban nagyobb mértékű volt. A VN-1 és ‘Pipacs 1’ meggyfajták gyümölcshéjára jellemző színparaméterek változása hasonló volt a Serrano és mts. (2005) által cseresznyére leírt tendenciához.

A vizsgálatok során felhasznált, két különböző genotípus gyümölcse eltérő érésmenetet mutatott. Míg a VN-1 gyümölcsök tömege az érés során átlagosan 1,93 g-mal, a ‘Pipacs 1’ tömege átlagosan 4,59 g-mal nőtt. A közel két és félszeres eltérés hatására az érett ‘Pipacs 1’ gyümölcstömege 36 %-kal meghaladta a VN-1 gyümölcsök átlagtömegét. A ‘Pipacs 1’ a 3. → 4. és 4. → 5. érési állapot között mutatta a legnagyobb mértékű tömeggyarapodást. Gao és mts. (2003) a ‘Montmorency’ meggyfajta érése során szintén a késői érési fázisokban mutatták ki a legintenzívebb növekedést. Érdekes egybeesés, hogy ugyanilyen növekedési ütem jellemezte a ‘Pipacs 1’ fajtát, amit a ‘Montmorency’ alakkörébe tartozó, ahhoz gyümölcstulajdonságaiban nagy hasonlóságot mutató fajtaként tartanak számon (Faluba, 1982).

A VN-1 és ‘Pipacs 1’ gyümölcsök oldható szárazanyag-tartalma az érés során eltérő tendencia mentén növekedett. A VN-1 gyümölcsök oldható szárazanyag-tartalma a negyedik érési fázist követően jelentősen megnőtt, míg a ‘Pipacs 1’ a harmadik érési

fázisig növekvő, majd csökkenő tendenciát mutatott. A teljesen érett VN-1 és ‘Pipacs 1’ gyümölcsök hasonló – 22,05 % és 18,58 % – oldható szárazanyag-tartalmat mutattak.

A meggy – a kajsziival ellentétben – általában a negyedik, ötödik érési fázisban rendelkezett a legnagyobb transzkriptum-mennyiséggel a legtöbb vizsgált gén esetében. Az érés során az antocianinos színeződéssel párhuzamosan emelkedő mértékű expressziót mutattak ki piros héjú őszibarackfajták (‘Akatsuki’ és ‘Flavortop’) *CHS*, *CHI*, *F3H*, *DFR*, *ANS* és *UFGT* (Tsuda és mts., 2004), piros héjú almák *CHS*, *CHI*, *F3H*, *DFR*, *FLS*, *LAR*, *ANR* és *UFGT* (Tako és mts., 2006), kékszőlő *F3H*, *F3'H*, *F3'5'H*, *FLS*, *DFR*, *ANS* és *UFGT* (Castellari és mts., 2007a,b), áfonya *PAL*, *CHS*, *F3H*, *DFR* és *ANS* (Jaakola és mts., 2002) és a *Fragaria* × *ananassa* piros színű gyümölcseinek *PAL*, *C4H*, *4CL*, *CHS*, *CHI*, *F3H*, *DFR*, *ANS* génjei esetén (Saud és mts., 2009). A VN-1 gyümölcshéj nagyobb antocianinos pigmentátságot és közel tízszeres *C4H* transzkriptum-mennyiséget mutatott a negyedik érési fázisban, mint a ‘Pipacs 1’ gyümölcshéj, ami szintén megegyezik a *F.* × *ananassa*-ban kimutatott tendenciákkal.

A ‘Pipacs 1’ gyümölcsében nagyobb antioxidáns kapacitás értékeket és C-vitamin-tartalmat, a VN-1 gyümölcsében nagyobb antocianintartalmat mutattunk ki. A VN-1 gyümölcshéj nagy antocianintartalma és génexpressziói jól korrelálnak egymással, míg a ‘Pipacs 1’ gyümölcs kis antocianintartalmához a feltételezett antocianin-bioszintézis gének kisebb mértékű expressziója társult. A ‘Pipacs 1’ gyümölcshéj kisebb *PAL*, *C4H*, *CHS*, *CHI*, *DFR*, *F3'H* és *ANS* transzkriptum-tartalommal rendelkezett, mint a VN-1. Őszibarack esetében az antocianin kialakulását meghatározó géneknek a *CHS* és *DFR* bizonyultak, mert a piros héjú gyümölcshöz képest a fehér színű fajták héjában nem volt kimutatható *CHS* és *DFR* expresszió (Tsuda és mts., 2004). Az antocianin pigmenteket nem tartalmazó, vagyis fehér gyümölcsű származéka (*Fragaria chiloensis*) számos (*PAL*, *C4H*, *CHS*, *CHI*, *F3H*, *ANS* és *UFGT*) génre nézve kisebb expressziót mutatott, mint a piros gyümölcsű *F.* × *ananassa* (Saud és mts., 2009). A hagyományos és vérnarancs közötti különbség kialakításában szintén szerepe lehet a *PAL*, *CHS*, *DFR* és *ANS* géneknek (Licciardello és mts., 2008).

A MYB transzkripció faktorok antocianin-bioszintézist szabályozó szerepét több gyümölcsfaj esetében igazolták (Azuma és mts., 2007; Cultrone és mts., 2010; Espley és mts., 2007). Egyes MYB transzkripció faktorok a flavonoid-bioszintézist szövetspecifikusan képesek serkenteni vagy gátolni különböző növényi szövetekben. A *MYB10* transzkripció faktor expressziójában szembetűnő különbség, hogy a VN-1 gyümölcshéj valamennyi érési fázisban többszörös *MYB10* expressziót mutat, mint a ‘Pipacs 1’ gyümölcshéja. Ezzel együtt nagyobb a fent említett gének (*PAL*, *C4H*, *CHS*,

CHI, *DFR*, *F3'H* és *ANS*) expressziója is. Ezzel megegyező tendenciát írtak le Lin-Wang és mts. (2010): két különböző antocianin pigmentáltságot mutató cseresznye eltérő *CHS*, *ANS* és *MYB10* expressziót mutatott. A festőlevű 'Stella' gyümölcse az érés során többszörös *CHS*, *ANS* és *MYB10* transzkriptum-mennyiséget mutatott, mint a sárga gyümölcsű 'Rainier' fajtáé. A kísérletben nem vizsgálták külön a héj és a gyümölcshús *MYB10* expresszióját. Alma esetében a *MYB10* a gyümölcshéj antocianin-bioszintézisét szabályozta (Espley és mts., 2007).

A 'Pipacs 1' héj viszont nagyobb *F3H* expresszióval rendelkezett, mint a VN-1, ami alapján feltételezhető, hogy míg a VN-1 gyümölcsében a flavonoid-bioszintézis az antocianinok képződése irányába van eltolva, a 'Pipacs 1' gyümölcsében szintelen flavonoidok keletkeznek, melyek hozzájárulnak a gyümölcs antioxidáns kapacitásának kialakításához. A Budapesti Corvinus Egyetem Alkalmazott Kémia Tanszékén a 'Pipacs 1' gyümölcsében jelentős genisztein-tartalmat mértek (Abrankó és mts., 2011), ezért a közeljövőben érdekes kutatási terület lehet az izoflavonoidok bioszintézisének vizsgálata ebben a meggyfajtában.

6.6 A potenciális szupergyümölcsök várható fiziológiai hatásainak áttekintése és előzetes tesztelése állatkísérletekben

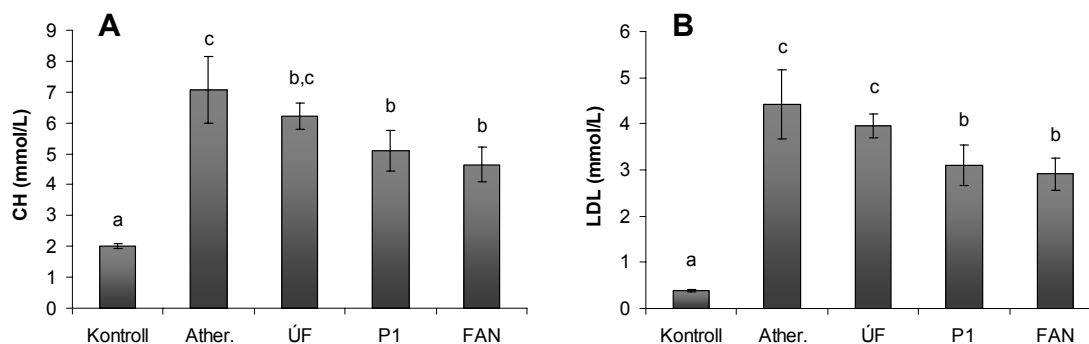
Munkánk következő lépése a Preventa gyümölcs nagy antioxidáns kapacitásaért felelős polifenolos vegyületek azonosítása. A BCE Alkalmazott Kémia Tanszékkel kezdeményezett együttműködés első eredményeként a klorogénsav és a katechin látszik a két meghatározó vegyületcsoportnak (Nagy és mts., 2009). Átlagosan tizenegyszer nagyobb relatív katechintartalom volt mérhető a Preventa gyümölcshúsában, mint a 'Gönci magyarkajsi'-ében. A katechintről kimutatták, hogy ha gyümölcsfogyasztás révén kerül az emberi szervezetbe, hatékonyan véd a felső emésztőszervi daganatok kialakulásával szemben (Arts és mts., 2002). Mindezek alapján a Preventa gyümölcsének egészségre gyakorolt hatása részletesebb vizsgálatokat érdemel.

Jóllehet a zsírolható antioxidáns kapacitás a kajsi antioxidáns kapacitásának csak elhanyagolható részét (kb. 2,5 %) adja (Wu és mts., 2004), a karotintartalomban kimutatott jelentős mértékű variabilitás is kiaknázható lehetőségeket tartogathat. A dohányosok számára nem ajánlott a nagymértékű β -karotin-bevitel, mely kedvezőtlen fiziológiai hatást gyakorolhat (Halliwell, 2000). a kísérletek csak az izolált formában (táplálékkiegészítőként) bevitt és nem a növényi táplálékkal elfogyasztott β -karotin káros hatását igazolták, a Preventa kis karotinoidtartalmú, de nagy vízoldható antioxidáns kapacitást és összes polifenol-tartalmat kínáló gyümölcse dohányosok számára is ajánlható

lehet. A nagy karotinoidtartalmú gyümölcsök esetében, mint pl. az ‘Aurora’ és a ‘Konzervnij Pozdnij’ ugyanakkor esetleges amyloidképződést gátló hatásuk lehet perspektivikus (Katayama és mts., 2011). Ennek igazolásához azonban további analitikai és fiziológiai vizsgálatok szükségesek.

A kiemelkedő antioxidáns kapacitású és polifenol-tartalmú ‘Pipacs 1’ és ‘Fanal’ meggy *in vivo* fiziológiai hatásának vizsgálatát a Semmelweis Egyetem Farmakognózia Tanszékkal és az Állattenyésztési és Takarmányozási Kutatóintézettel együttműködésben kezdtük meg. Első kísérleteinkben a hiperlipidémiával (alimentáris eredetű zsírmáj) szembeni hatást teszteltük.

Kísérleteinkhez hím Wistar patkányokat használtunk, melyeket négy csoportba osztottunk, csoportonként 5–5 állattal. A kísérleti körülmények között előállított zsírmáját a hagyományos táp 1 % koleszterinnel, 11 % napraforgóolajjal és 0,3 % kólsavval történő kiegészítéssel érték el. A meggy hatásának vizsgálatához a zsírdús táp mellé liofilizált, porrá őrölt meggyet (0,75 g/nap) adtunk. A zsírdús táp hatására a kontrollhoz képest 3,5-szer nagyobb ($P < 0.0001$) koleszterinmennyiséget mértünk a hiperlipidémiás állatok vérplazmájában (31. ábra). A meggyfogyasztás fajtánként igen eltérő következménnyel járt: az ‘Újfehértói fürtös’ nem okozott szignifikáns csökkenést, míg a ‘Pipacs 1’ és ‘Fanal’ fajták hatására már 10 napos kezelést követően több mint 30 %-kal mérséklődött a vérplazma összes koleszterinszintje.



31. ábra. A meggy hiperlipidémia ellen védő hatása. A vérplazma (A) összes koleszterin (CH) és (B) LDL koleszterin szintje. Kontrollcsoport: fiatal hím Wistar patkányok normál tápon; Atherogén csoport: zsírdús tápon (1 % koleszterin, 11 % napraforgóolaj, 0,3 % kólsav) nevelt patkányok. A harmadik csoport (ÚF) esetén a zsírdús tápot ‘Újfehértói fürtös’, a negyedik csoport (P1) esetén ‘Pipacs 1’, az ötödik csoportban (FAN) ‘Fanal’ meggyfajták liofilizált gyümölcsével (0,75 g/nap) egészítettük ki. A kezelés 10 napig tartott.

A zsírdús táp hatására az LDL-koleszterin mennyisége is nőtt a kísérleti állatok vérplazmájában. Az ‘Újfehértói fürtös’ fogyasztása csak kismértékű, nem szignifikáns

csökkenéssel járt, míg a ‘Pipacs 1’ és ‘Fanal’ gyümölcse ismét közel 30 %-os mértékű csökkenést idézett elő. A májszövet hisztológiai vizsgálata szintén igazolta a két fajta gyümölcsének kedvező hatását.

Seymour és mts. (2008, 2009) is beszámoltak a meggy zsírcsökkentő hatásáról egy hosszabb időtartamú kísérletben. Eredményeink újdonsága abban rejlik, hogy bizonyítják, a különböző antioxidáns kapacitású és polifenol-tartalmú meggyek fiziológiai hatása is eltérő. Érdekes további vizsgálatokra ad alapot az a tény, hogy a nagy antocianintartalmú ‘Fanal’ és az antocianinban szegény, de más polifenolokban gazdag ‘Pipacs 1’ kedvező hatása gyakorlatilag azonos mértékűnek bizonyult vizsgálatunkban.

Tekintettel arra, hogy az ateroszklerózis kialakulásának meghatározó kockázati tényezője az LDL-koleszterin megemelkedett mennyisége (Glass és Witztum, 2001), a vizsgálatainkban kiválasztott fajtáknak, mint valódi „szupergyümölcsöknek”, komoly szerepük lehet egy egészségtámogató étrend kialakításakor. A lehetőségek tárházát tovább bővíti, hogy a polifenolok számos más betegséggel szemben (pl. bizonyos daganatok, szív- és érrendszeri betegségek) is védelmet nyújthatnak (Cassidy és mts., 2013; Chen és Kong, 2005; Martin és mts., 2013), így a vizsgálatokat széles körben tovább kell folytatni.

Érdekes, hogy Johann Kraft 1792-ben, Bécsben kiadott pomológiai művében található egy *Allerheiligen, oder Martini Weichsel* (18. tabló) nevű meggyfajta, mely megjelenése és a fajtaleírás alapján a ‘Pipacs 1’ gyümölcséhez hasonló, halványpiros színű gyümölcsöt termhetett. A fajtanevet adó tulajdonsága, vagyis hogy „mindent gyógyító”-nak keresztelték egészen érdekes, feltehetően soha nem bizonyítható kapcsolatot sugallhat a nagy polifenol-tartalmú ‘Pipacs 1’ fajtával (Hegedűs és mts., 2012).

A ‘Pipacs 1’ fajta története az 1980-as évek elején kezdődött, ekkor találta Kovács Sándor a Kecel vidéki termőtájban. A ‘Pipacs 2’ a ‘Pipacs 1’ előtt érik néhány nappal (Faluba, 1982), antioxidáns kapacitása azonban jelentősen elmarad attól. Gyümölcseik leve szintelen. Ezért kedvelték Belgiumban a ‘Pipacs 1’ gyümölcsét, ahol a tortákat szinte kizárólag ebből készítették, mivel a gyümölcs leve nem okozott elszíneződést a süteményen. A szelektált klónok közül valószínűleg azért az 1-es jelű futott be nagyobb karriert, mert íze sokkal fanyarabb, kesernyésebb, mint a 2-es jelűé. Így a cukrozást követően kellemesebb aromával rendelkezett. Kiváló koktél is készíthető belőle (emlékezzünk, a „mindent gyógyító” meggy másik neve Martini meggy!). Sajnos azonban a világgazdaság más irányba fordult: olcsóbb a festőlevű chilei meggy, és még a szintelenítő eljárás sem drágítja meg jelentősen, melyet követően a gyümölcs kékre, zöldre, sárgára vagy éppen pirosra (!) festhető. Így a magyar pipacsmeggyek exportpiaca összeomlott, idehaza pedig bámulatatos gyorsasággal tűntek el az ültetvények. Vizsgálataink

kezdetekor mindössze két fáról tudtuk biztosan, hogy a ‘Pipacs 1’ fajtára jellemző kivételes beltartalmi értékű gyümölcsöket terem.

A ‘Pipacs 1’ gyümölcsében kimutatott, jelentős mennyiségben akkumulálódó genisztein-glikokonjugátumok további izgalmas lehetőségeket vetnek fel. A legnagyobb mennyiségben jelenlévő genisztein-7-O- β -glükózid (triviális nevén: genisztin) 0,5–5,8 mg/kg frisstömeg koncentrációban volt kimutatható (Abrankó és mts., 2011). E komponens mellett további négy genisztein-vegyületet találtunk, melyek koncentrációja kisebb a genisztinhez képest. A genisztein képes a humán ösztrogén receptorokhoz kötődni, és ösztrogénszerű hatást indukálni, ami segíthet a csonttritkulás, az idegrendszeri károsodás, illetve a szív- és érrendszeri betegségek megelőzésében (Martin és mts., 2013; Taylor és mts., 2009). Ugyanakkor ösztrogén antagonistaként funkcionálhat más szövetekben, és védőhatású lehet a mell- és méhnyakrák daganatok kialakulásával szemben. Mindez magyarázatot kínálhat arra a régóta ismert tényre is, hogy a prosztaták előfordulási gyakorisága 25 %-kal, a mellrák gyakorisága 10 %-kal kisebb azokban az ázsiai országokban, ahol az izoflavonoidokban gazdag szója fogyasztása általános (Dave és mts., 2005).

A védőhatás feltehetően a *Wnt* szignalizációs út gátlásával és az ennek következtében fokozódó apoptózissal, illetve az ösztrogén-bioszintézisben részt vevő enzimek gátlásával magyarázható (Shufelt és mts., 2012). A közelmúltban igazolták, hogy a genisztein különböző daganatos sejtekben gátolja bizonyos mikro-RNS-ek (pl. miR-221, miR-222, miR-27a stb.) expresszióját. E mikro-RNS-ek mennyisége viszont közvetlenül hat számos, a karcinogenezisben meghatározó szerepet játszó gén kifejeződésére, melynek eredményeként a genisztein jelenlétében leáll a sejtciklus, gátlódik a sejtosztódás, megtorpan a tumorsejtek növekedése (Karius és mts., 2012).

Ennek alapján a ‘Pipacs 1’ meggyfajta gyümölcsével és az ebből készülő funkcionális élelmiszerekkel egy olyan lehetőség nyílna meg, mely által megvalósítható lenne a nagyobb mennyiségű geniszteinbevitel, minőségében újszerű módon.

7 KIEMELT ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

1. Valamennyi vizsgált csonthéjas gyümölcsfaj esetében azonosítottunk olyan fajtát/genotípust, melynek antioxidáns kapacitása és összes polifenol-tartalma jelentősen felülmúlja a többi fajtára/genotípusra jellemző értékeket. Ezek közé tartozik a PC4 cseresznyeszilva, a 'Super Giant' japánszilvafajta, a vérbélű őszibarack, a Preventa kajszihibrid, egy szelektált feketecseresznye klón, néhány ukrán cseresznyefajta (pl. 'Kutuzovka', 'Kodrinszkaja', 'Melitopolszkaja krapcsataja'), a meggy esetében a 'Pipacs 1' és 'Fanal' fajták, illetve a VN-1 jelű szelektált klón, míg a kökénynél az S2 genotípus.
2. Igazoltuk, hogy mind a 'Pipacs 1' meggyfajta, mind a Preventa kajszihibrid kiemelkedő antioxidáns kapacitása döntő mértékben a polifenolos vegyületeknek köszönhető.
3. Kajszis és meggy esetében tisztáztuk, hogy a genotípus mellett az évjáratnak (hőmérséklet, csapadékmennyiség, napsütéses órák száma) is szignifikáns befolyásoló hatása van, de az évjáratok közötti változékonyság mértéke is genotípusfüggő.
4. A Preventa és a 'Pipacs 1' kiemelkedő antioxidáns hatása stabil tulajdonság, az időjárási különbségek csak kis mértékben befolyásolják.
5. Igazoltuk, hogy az antocianintartalmú gyümölcsök antioxidáns kapacitásához az antocianinok mennyisége jelentősen hozzájárul, ugyanakkor a szintelen polifenoloknak is nagy jelentősége van bizonyos fajták esetében (pl. 'Pipacs 1' és 'Melitopolszkaja krapcsataja').
6. Bebizonyítottuk, hogy a Preventa és a 'Gönci magyarkajszis' gyümölcshéját nagyobb antioxidáns kapacitás jellemzi, mint a gyümölcsök mezokarpiumát. A gyümölcsök érése során az antioxidáns kapacitás a 'Gönci magyarkajszis' esetén általában csökkenő, míg a Preventa esetén növekvő tendenciát mutatott.
7. Meghatároztuk 19 kajszis és 10 meggy gén részleges DNS-szekvenciáját, mely gének szerepe a gyümölcs flavonoid-bioszintézisében valószínűsíthető.
8. Igazoltuk, hogy a kajszis és meggy putatív flavonoid-bioszintézis génjeinek expressziója az érés során eltérő tendencia mentén változik: a kajszis esetében az éretlen (kisméretű, zöld) gyümölcsben a legnagyobb, a meggy esetében a teljes érettség eléréséig növekszik.

9. Kimutattuk, hogy a Preventa gyümölcs kiemelkedő antioxidáns kapacitásának kialakításához számos gén (*PAL*, *C4H*, *CHS*, *CHI*, *F3H*, *F3'H*, *DFR*, *ANS*, *ANR* és *LAR*) hozzájárul, melyek a legkorábbi érési állapotban jelentősen nagyobb expressziót mutatnak, mint a 'Gönci magyarkajszi' esetében. A MYB és MYB10 transzkripciós faktorok szerepe valószínűsíthető a meggy antocianin-bioszintézisének transzkripció szintű szabályozásában.
10. Előzetes vizsgálati eredményeink alapján a 'Pipacs 1' és a 'Fanal' meggyfajták gyümölcse jó eséllyel lesz felhasználható bizonyos betegségek (pl. hiperlipidémia) kezelése során. Kedvező hatásuk felülmúlta az 'Újfehértói fürtös' gyümölcs fogyasztásából származó védőhatást.
11. A korlátozott genetikai variabilitású növényanyag felhasználásával folytatott keresztezéses nemesítés a kedvelt csonthéjas fajok esetében jelentősen korlátozta a gyümölcs antioxidáns hatásában megnyilvánuló genetikai variabilitást, melynek fenntartására/megőrzésére nem irányult szelekciós nyomás. A szupergyümölcsök nemesítését ennek megfelelően elsősorban a tájszelekcióból származó klónok és a közeli rokon fajok donor genotípusként történő használatára ajánlott alapozni.

Munkánk legfőbb értéke, hogy jelentős genetikai variabilitást tártunk fel a legtöbb csonthéjas gyümölcsfaj esetében a gyümölcs antioxidáns tulajdonságát jellemző paraméterekben. Ennek alapján egyszerre nyílhat lehetőség a régi, eltűnőfélben lévő fajták megmentésére, az új fajták nemesítésének támogatására, és mindezek újszerű gazdasági hasznosítására.

8 FELHASZNÁLT IRODALOM

- 1) Abrankó L., Nagy Á., Hegedűs A. (2011): Genistein izoflavon: egy ismeretlen ismerős a meggyben (*Prunus cerasus* L.). In: Adányiné Kisbocskói N., Wölfling J. (szerk.): MKE I. Nemzeti Konferencia. p 50. Magyar Kémikusok Egyesülete, Sopron.
- 2) Agius, F., Gonzalez-Lamothe, R., Caballero, J.L., Munoz-Blanco, J., Botella, M.A., Valpuesta, V. (2003): Engineering increased vitamin C levels in plants by overexpression of a D-galacturonic acid reductase. *Nat. Biotech.*, 21: 177–181.
- 3) Aharoni, A., De Vos, C.H.R., Wein, M., Sun, Z., Greco, R., Kroon, A., Mol, J.N.M., O'Connell, A.P. (2001): The strawberry FaMYB1 transcription factor suppresses anthocyanin and flavonol accumulation in transgenic tobacco. *Plant J.*, 28: 319–332.
- 4) Ahkang, S., Jang, Y.J., Park, H. (1998): *In vivo* dual effects of vitamin C on paraquat-induced lung damage: dependence on released metals from the damaged tissue. *Free Radical Res.*, 28: 93–107.
- 5) Akin, E.B., Karabulut, I., Topcu, A. (2008): Some compositional properties of main Malatya apricot (*Prunus armeniaca* L.) varieties. *Food Chem.*, 107: 939–948.
- 6) Alcaraz, M.J., Ferrandiz, M.L. (1987): Modification of arachidonic metabolism by flavonoids. *J. Ethnopharmacol.*, 21: 209–229.
- 7) Alothman, M., Bhat, R., Karim, A.A. (2009): UV radiation-induced changes of antioxidant capacity of fresh-cut tropical fruits. *Innov. Food Sci. Emerg.*, 10: 512–516.
- 8) Altschul, S.F., Gish, W., Miller, W., Myers, E.W., Lipman, D.J. (1990): Basic local alignment search tool. *J. Mol. Biol.*, 215: 403–410.
- 9) Analytic Jena (2008): Photochem application notes. 2008. január 30., Analytic Jena, Jéna, Németország: <http://www.analytik-jena.de/en/analytical-instrumentation/products/antioxidants.html>.
- 10) Andreotti, C., Ravaglia, D., Ragaini, A., Costa, G. (2008): Phenolic compounds in peach (*Prunus persica*) cultivars at harvest and during fruit maturation. *Ann. Appl. Biol.*, 153: 11–23.
- 11) Andrikopoulos, N.K., Kaliora, A.C., Assimopoulou, A.N., Papageorgiou, V.P. (2002): Inhibitory activity of minor polyphenolic and nonpolyphenolic constituents of olive oil against *in vitro* low-density lipoprotein oxidation. *J. Med. Food*, 5: 1–7.
- 12) Apak, R., Güclü, K., Demirata, B., Özyürek, M., Celik, S., Bektasoglu, B., Berker, K., Özyurt, D. (2007): Comparative evaluation of various total antioxidant capacity assays applied to phenolic compounds with the CUPRAC assay. *Molecules*, 12: 1496–1547.
- 13) Apostol J. (2003): Cseresznye- és meggynevelés, a fontosabb fajták leírása. In: Hrotkó K. (szerk.): Cseresznye és meggy. Mezőgazda, Budapest.
- 14) Arts, I.C.W., Jacobs, D.R., Gross, M., Harnack, L.J., Folsom, A.R. (2002): Dietary catechins and cancer incidence among postmenopausal women: the Iowa Women's Health Study (United States). *Cancer Cause. Control*, 13: 373–382.
- 15) Arulsekhar, S., Parfitt, D.E., Kester, D.E. (1986): Comparison of isozyme variability in peach and almond cultivars. *J. Hered.*, 77: 272–274.
- 16) Awad, M.A., de Jager, A., van Westing, L.M. (2000): Flavonoid and chlorogenic acid levels in apple fruit: characterisation of variation. *Sci. Hortic.-Amsterdam*, 83: 249–263.
- 17) Azuma, A., Kobayashi, S., Yakushiji, H., Yamada, M., Mitani, N., Sato, A. (2007): VvmybA1 genotype determines grape skin color. *Vitis*, 46: 154–155.
- 18) Balogh E. (2011): Antioxidáns kapacitás meghatározása és ennek kialakításában szerepet játszó vegyületek vizsgálata bogyósgyümölcsök esetében (PhD értekezés). Budapesti Corvinus Egyetem, Budapest.
- 19) Bazzano, L.A., He, J., Ogden, L.G., Loria, C.M., Vupputuri, S., Myers, L., Whelton, P.K. (2002): Fruit and vegetable intake and risk of cardiovascular disease in US adults: the first National Health and Nutrition Examination Survey Epidemiologic Follow-up Study. *Am. J. Clin. Nutr.*, 76: 93–99.
- 20) Békefi, Z. (2008): Cherries. In: Nyéki, J., Soltész, M., Szabó, Z. (szerk.): Morphology, biology and fertility of flowers in temperate zone fruits. Akadémiai Kiadó, Budapest.

- 21) Béliveau, R., Gingras, D. (2007): Role of nutrition in preventing cancer. *Can. Fam. Physician*, 53: 1905–1911.
- 22) Benzie, I.F.F., Strain, J.J. (1996): The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of "antioxidant power": The FRAP assay. *Anal. Biochem.*, 239: 70–76.
- 23) Blanchflower, D., Oswald, A., Stewart-Brown, S. (2013): Is psychological well-being linked to the consumption of fruit and vegetables? *Soc. Indic. Res.*: in press.
- 24) Blanck, H.M., Gillespie, C., Kimmons, J.E., Seymour, J.D., Serdula, M.K. (2008): Trends in fruit and vegetable consumption among U.S. men and women, 1994–2005. *Prev. Chronic Dis.*, 5: A35.
- 25) Blando, F., Gerardi, C., Nicoletti, I. (2004): Sour cherry (*Prunus cerasus* L.) anthocyanins as ingredients for functional foods. *J. Biomed. Biotechnol.*, 2004: 253–258.
- 26) Blázovics, A., Kovács, A., Lugasi, A., Hagymási, K., Bíró, L., Fehér, J. (1999): Antioxidant defense in erythrocytes and plasma of patients with active and quiescent Crohn disease and ulcerative colitis: a chemiluminescent study. *Clin. Chem.*, 45: 895–896.
- 27) Block, G., Patterson, B., Subar, A. (1992): Fruit, vegetables, and cancer prevention: A review of the epidemiological evidence. *Nutr. Cancer*, 18: 1–29.
- 28) Blois, M.S. (1958): Antioxidant determination by the use of a stable free radical. *Nature*, 4617: 1198–1200.
- 29) Bogs, J., Downey, M.O., Harvey, J.S., Ashton, A.R., Tanner, G.J., Robinson, S.P. (2005): Proanthocyanidin synthesis and expression of genes encoding leucoanthocyanidin reductase and anthocyanidin reductase in developing grape berries and grapevine leaves. *Plant Physiol.*, 139: 652–663.
- 30) Bogs, J., Ebadi, A., McDavid, D., Robinson, S.P. (2006): Identification of the flavonoid hydroxylases from grapevine and their regulation during fruit development. *Plant Physiol.*, 140: 279–291.
- 31) Bogs, J., Jaffe, F.W., Takos, A.M., Walker, A.R., Robinson, S.P. (2007): The grapevine transcription factor VvMYBPA1 regulates proanthocyanidin synthesis during fruit development. *Plant Physiol.*, 143: 1347–1361.
- 32) Bohm, B.A. (1999): Introduction to flavonoids. Harwood, Amsterdam.
- 33) Bonerz, D., Würth, K., Dietrich, H., Will, F. (2007): Analytical characterization and the impact of ageing on anthocyanin composition and degradation in juices from five sour cherry cultivars. *Eur. Food Res. Technol.*, 224: 355–364.
- 34) Boss, P.K., Davies, C., Robinson, S.P. (1996a): Analysis of the expression of anthocyanin pathway genes in developing *Vitis vinifera* L. cv Shiraz grape berries and the implications for pathway regulation. *Plant Physiol.*, 111: 1059–1066.
- 35) Boss, P.K., Davies, C., Robinson, S.P. (1996b): Expression of anthocyanin biosynthesis pathway genes in red and white grapes. *Plant Mol. Biol.*, 32: 565–569.
- 36) Bouayed, J., Rammal, H., Dicko, A., Younos, C., Soulimani, R. (2007): Chlorogenic acid, a polyphenol from *Prunus domestica* (Mirabelle), with coupled anxiolytic and antioxidant effects. *J. Neurol. Sci.*, 262: 77–84.
- 37) Braidot, E., Zancani, M., Petrucci, E., Peresson, C., Bertolini, A., Patui, S., Macrì, F., Vianello, A. (2008): Transport and accumulation of flavonoids in grapevine (*Vitis vinifera* L.). *Plant Signal. Behav.*, 3: 626–632.
- 38) Brandi, F., Bar, E., Mourgues, F., Horvath, G., Turcsi, E., Giuliano, G., Liverani, A., Tartarini, S., Lewinsohn, E., Rosati, C. (2011): Study of 'Redhaven' peach and its white-fleshed mutant suggests a key role of CCD4 carotenoid dioxygenase in carotenoid and norisoprenoid volatile metabolism. *BMC Plant Biol.*, 11: 24.
- 39) Burkhardt, S., Tan, D.X., Manchester, L.C., Hardeland, R., Reiter, R.J. (2001): Detection and quantification of the antioxidant melatonin in Montmorency and Balaton tart cherries (*Prunus cerasus*). *J. Agr. Food Chem.*, 49: 4898–4902.
- 40) Butelli, E., Licciardello, C., Zhang, Y., Liu, J., Mackay, S., Bailey, P., Reforgiato-Recupero, G., Martin, C. (2012): Retrotransposons control fruit-specific, cold-dependent accumulation of anthocyanins in blood oranges. *Plant Cell*, 24: 1242–1255.
- 41) Byrne, D.H. (1989): Inbreeding, coancestry, and founding clones of Japanese-type plums of California and the southeastern United States. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 114: 669–705.

- 42) Cameron, E., Pauling, L. (1976): Supplemental ascorbate in the supportive treatment of cancer: prolongation of survival times in terminal human cancer. P. Natl. Acad. Sci. USA, 73: 3685–3689.
- 43) Cantin, C.M., Moreno, M.A., Gogorcena, Y. (2009): Evaluation of the antioxidant capacity, phenolic compounds, and vitamin C content of different peach and nectarine [*Prunus persica* (L.) Batsch] breeding progenies. J. Agr. Food Chem., 57: 4586–4592.
- 44) Capocasa, F., Diamanti, J., Mezzetti, B., Tulipani, S., Battino, M. (2008): Breeding strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch) to increase fruit nutritional quality. BioFactors, 34: 67–72.
- 45) Carbonaro, M., Mattera, M., Nicoli, S., Bergamo, P., Cappelloni, M. (2002): Modulation of antioxidant compounds in organic vs conventional fruit (peach, *Prunus persica* L., and pear, *Pyrus communis* L.). J. Agr. Food Chem., 50: 5458–5462.
- 46) Carlisle, R. (2004): Scientific American inventions and discoveries. Wiley, Hoboken, USA.
- 47) Cassidy, A., Mukamal, K.J., Liu, L., Franz, M., Eliassen, A.H., Rimm, E.B. (2013): High anthocyanin intake is associated with a reduced risk of myocardial infarction in young and middle-aged women. Circulation, 127: 188–196.
- 48) Castellarin, S.D., Matthews, M.A., Di Gaspero, G., Gambetta, G.A. (2007b): Water deficits accelerate ripening and induce changes in gene expression regulating flavonoid biosynthesis in grape berries. Planta, 227: 101–112.
- 49) Castellarin, S.D., Pfeiffer, A., Sivilotti, P., Degan, M., Peterlunger, E., Di Gaspero, G. (2007a): Transcriptional regulation of anthocyanin biosynthesis in ripening fruits of grapevine under seasonal water deficit. Plant Cell Environ., 30: 1381–1399.
- 50) Cevallos-Casals, B.A., Byrne, D., Okie, W.R., Cisneros-Zevallos, L. (2006): Selecting new peach and plum genotypes rich in phenolic compounds and enhanced functional properties. Food Chem., 96: 273–280.
- 51) Cha, J., Roomi, M.W., Ivanov, V., Kalinovsky, T., Niedzwiecki, A., Rath, M. (2013): Ascorbate supplementation inhibits growth and metastasis of B16FO melanoma and 4T1 breast cancer cells in vitamin C-deficient mice. Int. J. Oncol., 42: 55–64.
- 52) Challem, J.J., Taylor, E.W. (1998): Retroviruses, ascorbate, and mutations, in the evolution of *Homo sapiens*. Free Radical Bio. Med., 25: 130–132.
- 53) Chan, J.K., Bruce, V.M., McDonald, B.E. (1991): Dietary alpha-linolenic acid is as effective as oleic acid and linoleic acid in lowering blood cholesterol in normolipidemic men. Am. J. Clin. Nutr., 53: 1230–1234.
- 54) Chaovanalikit, A., Wrolstad, R.E. (2004a): Total anthocyanins and total phenolics of fresh and processed cherries and their antioxidant properties. J. Food Sci., 69: FCT67–FCT72.
- 55) Chaovanalikit, A., Wrolstad, R.E. (2004b): Anthocyanin and polyphenolic composition of fresh and processed cherries. J. Food Sci., 69: FCT73–FCT83.
- 56) Chapman, M.S. (2012): Vitamin A: history, current uses, and controversies. Semin. Cutan. Med. Surg., 31: 11–16.
- 57) Chen, C., Kong, A.-N.T. (2005): Dietary cancer-chemopreventive compounds: from signaling and gene expression to pharmacological effects. Trends Pharmacol. Sci., 26: 318–326.
- 58) Chen, K., Suh, J., Carr, A.C., Morrow, J.D., Zeind, J., Frei, B. (2000): Vitamin C suppresses oxidative lipid damage *in vivo*, even in the presence of iron overload. Am. J. Physiol.-Endoc. M., 279: E1406–E1412.
- 59) Chun, O.K., Kim, D.-O., Moon, H.Y., Kang, H.G., Lee, C.Y. (2003): Contribution of individual polyphenolics to total antioxidant capacity of plums. J. Agr. Food Chem., 51: 7240–7245.
- 60) Connolly, D.A.J., McHugh, M.P., Padilla-Zakour, O.I., Carlson, L., Sayers, S.P. (2006): Efficacy of a tart cherry juice blend in preventing the symptoms of muscle damage. Brit. J. Sport. Med., 40: 679–683.
- 61) Connor, A.M., Luby, J.J., Tong, C.B.S., Finn, C.E., Hancock, J.F. (2002): Genotypic and environmental variation in antioxidant activity, total phenolic content, and anthocyanin content among blueberry cultivars. J. Am. Soc. Hort. Sci., 127: 89–97.

- 62) Connor, A.M., Stephens, M.J., Hall, H.K., Alspach, P.A. (2005): Variation and heritabilities of antioxidant activity and total phenolic content estimated from a red raspberry factorial experiment. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.*, 130: 403–411.
- 63) Cornelli, U. (2009): Antioxidant use in nutraceuticals. *Clin. Dermatol.*, 27: 175–194.
- 64) Crisosto, C.H., Crisosto, G.M., Metheney, P. (2003): Consumer acceptance of 'Brooks' and 'Bing' cherries is mainly dependent on fruit SSC and visual skin color. *Postharvest Biol. Tec.*, 28: 159–167.
- 65) Cruz-Rus, E., Amaya, I., Valpuesta, V. (2012): The challenge of increasing vitamin C content in plant foods. *Biotechnol. J.*, 7: 1110–1121.
- 66) Cultrone, A., Cotroneo, P., Reforgiato Recupero, G. (2009): Cloning and molecular characterization of R2R3-MYB and bHLH-MYC transcription factors from *Citrus sinensis*. *Tree Genet. Genomes*, 6: 101–112.
- 67) Dalla Valle, A., Mignani, I., Spinardi, A., Galvano, F., Ciappellano, S. (2007): The antioxidant profile of three different peaches cultivars (*Prunus persica*) and their short-term effect on antioxidant status in human. *Eur. Food Res. Technol.*, 225: 167–172.
- 68) Dalmady Z. (1914): Védekezés a betegségek ellen. In: Alexander B., Lenhossék M. (szerk.): Az ember testi és lelki élete, egyéni és faji sajátosságai. Athenaeum, Budapest.
- 69) Dam, H., Granados, H. (1945): Peroxidation of body fat in vitamin E deficiency. *Acta Physiol. Scand.*, 10: 162–171.
- 70) Dardick, C., Callahan, A., Chiozzotto, R., Schaffer, R., Piagnani, M.C., Scorza, R. (2010): Stone formation in peach fruit exhibits spatial coordination of the lignin and flavonoid pathways and similarity to *Arabidopsis* dehiscence. *BMC Biol.*, 8: 13.
- 71) Dauchet, L., Dallongeville, J. (2008): Fruit and vegetables and cardiovascular disease: epidemiological evidence from the non-Western world. *Brit. J. Nutr.*, 99: 219–220.
- 72) Dave, B., Eason, R.R., Till, S.R., Geng, Y., Velarde, M.C., Badger, T.M., Simmen, R.C.M. (2005): The soy isoflavone genistein promotes apoptosis in mammary epithelial cells by inducing the tumor suppressor PTEN. *Carcinogenesis*, 26: 1793–1803.
- 73) Davey, M.W., Montagu, M.V., Inzé, D., Sanmartin, M., Kanellis, A., Smirnoff, N., Benzie, I.J., Strain, J.J., Favell, D., Fletcher, J. (2000): Plant L-ascorbic acid: chemistry, function, metabolism, bioavailability and effects of processing. *J. Sci. Food Agr.*, 80: 825–860.
- 74) Davies, K.M. (1993): A cDNA clone for flavanone 3-hydroxylase from *Malus*. *Plant Physiol.*, 103: 291.
- 75) Day, A.J., Gee, J.M., DuPont, M.S., Johnson, I.T., Williamson, G. (2003): Absorption of quercetin-3-glucoside and quercetin-4'-glucoside in the rat small intestine: the role of lactase phlorizin hydrolase and the sodium-dependent glucose transporter. *Biochem. Pharmacol.*, 65: 1199–1206.
- 76) DellaPenna, D., Pogson, B.J. (2006): Vitamin synthesis in plants: tocopherols and carotenoids. *Annu. Rev. Plant Biol.*, 57: 711–738.
- 77) Deng, X.-S., Tuo, J., Poulsen, H.E., Loft, S. (1998): Prevention of oxidative DNA damage in rats by brussels sprouts. *Free Radical Res.*, 28: 323–333.
- 78) Díaz-Mula, H.M., Zapata, P.J., Guillén, F., Castillo, S., Martínez-Romero, D., Valero, D., Serrano, M. (2008): Changes in physicochemical and nutritive parameters and bioactive compounds during development and on-tree ripening of eight plum cultivars: a comparative study. *J. Sci. Food Agr.*, 88: 2499–2507.
- 79) Díaz-Mula, H.M., Zapata, P.J., Guillén, F., Martínez-Romero, D., Castillo, S., Serrano, M., Valero, D. (2009): Changes in hydrophilic and lipophilic antioxidant activity and related bioactive compounds during postharvest storage of yellow and purple plum cultivars. *Postharvest Biol. Tec.*, 51: 354–363.
- 80) DiNardo, J.C., Lewis, J.A., Neudecker, B.A., Maibach, H.I. (2004): Antioxidants compared in a new protocol to measure protective capacity against oxidative stress-part II. *J. Am. Acad. Dermatol.*, 50: P30–P30.
- 81) Dirlwanger, E., Claverie, J., Iezzoni, A.F., Wunsch, A. (2009): Sweet and sour cherries: linkage maps, QTL detection and marker assisted selection. In: Foltá, K.M., Gardiner, S.E. (eds.): *Genetics and genomics of Rosaceae*. Pp. 291–313. Springer, New York.
- 82) Dixon, R.A., Paiva, N.L. (1995): Stress-induced phenylpropanoid metabolism. *Plant Cell*, 7: 1085–1097.

- 83) Dondini, L., Pierantoni, L., Ancarani, V., D' Angelo, M., Cho, K.H., Shin, I.S., Musacchi, S., Kang, S.J., Sansavini, S. (2008): The inheritance of the red colour character in European pear (*Pyrus communis*) and its map position in the mutated cultivar 'Max Red Bartlett'. *Plant Breeding*, 127: 524–526.
- 84) Dragovic-Uzelac, V., Levaj, B., Bursac, D., Pedisic, S., Radojcic, I., Bisko, A. (2007b): Total phenolics and antioxidant capacity assays of selected fruits. *Agric. Consp. Sci.*, 4: 279–284.
- 85) Dragovic-Uzelac, V., Levaj, B., Mrkic, V., Bursac, D., Boras, M. (2007a): The content of polyphenols and carotenoids in three apricot cultivars depending on stage of maturity and geographical region. *Food Chem*, 102: 966–975.
- 86) Drewnowski, A., Gomez-Carneros, C. (2000): Bitter taste, phytonutrients, and the consumer: a review. *Am. J. Clin. Nutr.*, 72: 1424–1435.
- 87) Drogoudi, P.D., Vemmos, S., Pantelidis, G., Petri, E., Tzoutzoukou, C., Karayiannis, I. (2008): Physical characters and antioxidant, sugar, and mineral nutrient contents in fruit from 29 apricot (*Prunus armeniaca* L.) cultivars and hybrids. *J. Agr. Food Chem.*, 56: 10754–10760.
- 88) Eberhardt, M.V., Lee, C.Y., Liu, R.H. (2000): Nutrition: antioxidant activity of fresh apples. *Nature*, 405: 903–904.
- 89) Egea, I., Sanchez-Bel, P., Romojaro, F., Pretel, M. (2010): Six edible wild fruits as potential antioxidant additives or nutritional supplements. *Plant Foods Hum. Nutr.*, 65: 121–129.
- 90) El Ghaouth, A., Wilson, C.L., Callahan, A.M. (2003): Induction of chitinase, β -1,3-glucanase, and phenylalanine ammonia lyase in peach fruit by UV-C treatment. *Phytopathol.*, 93: 349–355.
- 91) Engel, R., Abrankó, L., Stefanovits-Bányai, É., Fodor, P. (2010): Simultaneous determination of water soluble vitamins in fortified food products. *Acta Aliment. Hung.*, 39: 48–58.
- 92) Entz, F. (1882): A gyümölcséletrendi fontossága. *Gyümölcsészeti és Konyhakertészeti Füzetek*, 3: 264–267.
- 93) Ercisli, S. (2004): A short review of the fruit germplasm resources of Turkey. *Genet. Resour. Crop Ev.*, 51: 419–435.
- 94) Ercisli, S., Akbulut, M., Ozdemir, O., Sengul, M., Orhan, E. (2008): Phenolic and antioxidant diversity among persimmon (*Diospyrus kaki* L.) genotypes in Turkey. *Int. J. Food Sci. Nutr.*, 59: 477–482.
- 95) Ercisli, S., Gozlekci, S., Sengul, M., Hegedüs, A., Tepe, S. (2012a): Some physicochemical characteristics, bioactive content and antioxidant capacity of loquat (*Eriobotrya japonica* (Thunb.) Lindl.) fruits from Turkey. *Sci. Hortic.-Amsterdam*, 148: 185–189.
- 96) Ercisli, S., Tosun, M., Karlidag, H., Dzubur, A., Hadziabulic, S., Aliman, Y. (2012b): Color and antioxidant characteristics of some fresh fig (*Ficus carica* L.) genotypes from Northeastern Turkey. *Plant Foods Hum. Nutr.*, 67: 271–276.
- 97) Erkan, M., Wang, S.Y., Wang, C.Y. (2008): Effect of UV treatment on antioxidant capacity, antioxidant enzyme activity and decay in strawberry fruit. *Postharvest Biol. Tec.*, 48: 163–171.
- 98) Erlejman, A.G., Jagers, G., Fraga, C.G., Oteiza, P.I. (2008): TNF α -induced NF- κ B activation and cell oxidant production are modulated by hexameric procyanidins in Caco-2 cells. *Arch. Biochem. Biophys.*, 476: 186–195.
- 99) Eryomine, G.V. (1991): New data on origin of *Prunus domestica* L. *Acta Hort. (ISHS)*, 283: 27–29.
- 100) Espley, R.V., Brendolise, C., Chagne, D., Kutty-Amma, S., Green, S., Volz, R., Putterill, J., Schouten, H.J., Gardiner, S.E., Hellens, R.P., Allan, A.C. (2009): Multiple repeats of a promoter segment causes transcription factor autoregulation in red apples. *Plant Cell*, 21: 168–183.
- 101) Espley, R.V., Hellens, R.P., Putterill, J., Stevenson, D.E., Kutty-Amma, S., Allan, A.C. (2007): Red colouration in apple fruit is due to the activity of the MYB transcription factor, MdMYB10. *Plant J.*, 49: 414–427.
- 102) Faluba Z. (1982): A fajtahasználat és várható alakulása. In: Pór J., Faluba Z. (szerk.): Cseresznye és meggy. *Mezőgazdasági Kiadó*, Budapest.

- 103) Faostat (2011): Crops data. 2013. január 20, Food and Agriculture Organization of the United Nations: <<http://faostat.fao.org/site/567/default.aspx>>.
- 104) Faust, M., Surányi, D. (1999): Origin and dissemination of plums. In: Hort. Rev. Pp. 179–231. John Wiley & Sons, Inc.
- 105) Faust, M., Surányi, D., Nyujtó, F. (1998): Origin and dissemination of apricot. In: Hort. Rev. Pp. 225–266. John Wiley & Sons, Inc.
- 106) Faust, M., Timon, B. (1995): Origin and dissemination of peach. In: Hort. Rev. Pp. 331–379. John Wiley & Sons, Inc.
- 107) Ferretti, G., Bacchetti, T., Belleggia, A., Neri, D. (2010): Cherry antioxidants: from farm to table. *Molecules*, 15: 6993–7005.
- 108) Firmin, J.L., Wilson, K.E., Rossen, L., Johnston, A.W.B. (1986): Flavonoid activation of nodulation genes in *Rhizobium* reversed by other compounds present in plants. *Nature*, 324: 90–92.
- 109) Fischer, T., Gosch, C., Pfeiffer, J., Halbwirth, H., Halle, C., Stich, K., Forkmann, G. (2007): Flavonoid genes of pear (*Pyrus communis*). *Trees*, 21: 521–529.
- 110) Fischer, T., Halbwirth, H., Meisel, B., Stich, K., Forkmann, G. (2003): Molecular cloning, substrate specificity of the functionally expressed dihydroflavonol 4-reductases from *Malus domestica* and *Pyrus communis* cultivars and the consequences for flavonoid metabolism. *Arch. Biochem. Biophys.*, 412: 223–230.
- 111) Forester, S.C., Waterhouse, A.L. (2010): Gut metabolites of anthocyanins, gallic acid, 3-O-methylgallic acid, and 2,4,6-trihydroxybenzaldehyde, inhibit cell proliferation of Caco-2 cells. *J. Agr. Food Chem.*, 58: 5320–5327.
- 112) Földművelésügyi Magyar Királyi Ministerium (1896): A földművelésügyi Magyar Királyi Ministernek, 1894. és 1895. évi működéséről a törvényhozás elé terjesztett jelentése. Földművelésügyi Magyar Királyi Ministerium, Budapest.
- 113) Fraga, C.G., Oteiza, P.I., Litterio, M.C., Galleano, M. (2012): Phytochemicals as antioxidants: chemistry and health effects. *Acta Hort. (ISHS)*, 939: 63–67.
- 114) Frankel, E.N., Meyer, A.S. (2000): The problems of using one-dimensional methods to evaluate multifunctional food and biological antioxidants. *J. Sci. Food Agr.*, 80: 1925–1941.
- 115) Frei, B., Higdon, J.V. (2003): Antioxidant activity of tea polyphenols *in vivo*: evidence from animal studies. *J. Nutr.*, 133: 3275S–3284S.
- 116) Frei, B., Stocker, R., Ames, B.N. (1988): Antioxidant defenses and lipid peroxidation in human blood plasma. *P. Natl. Acad. Sci. USA*, 85: 9748–9752.
- 117) G. Tóth M. (1997a): Cseresznye. In: G. Tóth M. (szerk.): Gyümölcsészet. Primon Vállalkozásélénkítő Alapítvány, Nyíregyháza.
- 118) G. Tóth M. (1997b): Meggy. In: G. Tóth M. (szerk.): Gyümölcsészet. Primon Vállalkozásélénkítő Alapítvány, Nyíregyháza.
- 119) Galli, R.L., Shukitt-Hale, B., Youdim, K.A., Joseph, J.A. (2002): Fruit polyphenolics and brain aging. *Ann. N. Y. Acad. Sci.*, 959: 128–132.
- 120) Gao, Z., Maurousset, L., Lemoine, R., Yoo, S.-D., van Nocker, S., Loescher, W. (2003): Cloning, expression, and characterization of sorbitol transporters from developing sour cherry fruit and leaf sink tissues. *Plant Physiol.*, 131: 1566–1575.
- 121) Garcia-Alonso, M., de Pascual-Teresa, S., Santos-Buelga, C., Rivas-Gonzalo, J.C. (2004): Evaluation of the antioxidant properties of fruits. *Food Chem.*, 84: 13–18.
- 122) Garcia-Lafuente, A., Guillamon, E., Villares, A., Rostagno, M.A., Martinez, J.A. (2009): Flavonoids as anti-inflammatory agents: implications in cancer and cardiovascular disease. *Inflamm. Res.*, 58: 537–552.
- 123) Gil, M.I., Tomas-Barberan, F.A., Hess-Pierce, B., Kader, A.A. (2002): Antioxidant capacities, phenolic compounds, carotenoids, and vitamin C contents of nectarine, peach, and plum cultivars from California. *J. Agr. Food Chem.*, 50: 4976–4982.
- 124) Glass, C.K., Witztum, J.L. (2001): Atherosclerosis: the road ahead. *Cell* 104: 503–516.
- 125) Gómez, E., Ledbetter, C.A. (1997): Development of volatile compounds during fruit maturation: characterization of apricot and plum×apricot hybrids. *J. Sci. Food Agr.*, 74: 541–546.

- 126) Goncalves, B., Landbo, A.-K., Let, M., Silva, A.P., Rosa, E., Meyer, A.S. (2004): Storage affects the phenolic profiles and antioxidant activities of cherries (*Prunus avium* L.) on human low-density lipoproteins. *J. Sci. Food Agr.*, 84: 1013–1020.
- 127) Gonthier, M.-P., Verny, M.-A., Besson, C., Remesy, C., Scalbert, A. (2003): Chlorogenic acid bioavailability largely depends on its metabolism by the gut microflora in rats. *J. Nutr.*, 133: 1853–1859.
- 128) Goodstein, D.M., Shu, S., Howson, R., Neupane, R., Hayes, R.D., Fazo, J., Mitros, T., Dirks, W., Hellsten, U., Putnam, N., Rokhsar, D.S. (2013): Phytozome: a comparative platform for green plant genomics. *Nucleic Acids Res.*: in press.
- 129) Griesser, M., Hoffmann, T., Bellido, M.L., Rosati, C., Fink, B., Kurtzer, R., Aharoni, A., Munoz-Blanco, J., Schwab, W. (2008): Redirection of flavonoid biosynthesis through the down-regulation of an anthocyanidin glucosyltransferase in ripening strawberry fruit. *Plant Physiol.*, 146: 1528–1539.
- 130) Guo, C., Yang, J., Wei, J., Li, Y., Xu, J., Jiang, Y. (2003): Antioxidant activities of peel, pulp and seed fractions of common fruits as determined by FRAP assay. *Nutr. Res.*, 23: 1719–1726.
- 131) Gurrieri, F., Audergon, J.M., Albagnac, G., Reich, M. (2001): Soluble sugars and carboxylic acids in ripe apricot fruit as parameters for distinguishing different cultivars. *Euphytica*, 117: 183–189.
- 132) Gündüz, K., Saracoglu, O. (2012): Variation in total phenolic content and antioxidant activity of *Prunus cerasifera* Ehrh. selections from Mediterranean region of Turkey. *Sci. Hortic.-Amsterdam*, 134: 88–92.
- 133) Halász, J., Hegedűs, A., Hermán, R., Stefanovits-Bányai, É., Pedryc, A. (2005): New self-incompatibility alleles in apricot (*Prunus armeniaca* L.) revealed by stylar ribonuclease assay and S-PCR analysis. *Euphytica*, 145: 57–66.
- 134) Halász, J., Pedryc, A., Ercisli, S., Yilmaz, K.U., Hegedűs, A. (2010): S-genotyping supports the genetic relationships between Turkish and Hungarian apricot germplasm. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.*, 135: 410–417.
- 135) Halász, J., Pedryc, A., Hegedűs, A. (2007): Origin and dissemination of the pollen-part mutated *S_C* haplotype which confers self-compatibility in apricot (*Prunus armeniaca*). *New Phytol.*, 176: 792–803.
- 136) Hall, T.A. (1999): BioEdit: a user-friendly biological sequence alignment editor and analysis program for Windows 95/98/NT. *Nucl. Acids Symp. Ser.*, 41: 95–98.
- 137) Halliwell, B. (2000): The antioxidant paradox. *Lancet*, 355: 1179–1180.
- 138) Halliwell, B., Gutteridge, J.M.C. (1992): Biologically relevant metal ion-dependent hydroxyl radical generation: An update. *FEBS Lett.*, 307: 108–112.
- 139) Haminiuk, C.W.I., Maciel, G.M., Plata-Oviedo, M.S.V., Peralta, R.M. (2012): Phenolic compounds in fruits – an overview. *Int. J. Food Sci. Tech.*, 47: 2023–2044.
- 140) Hampton, M.B., Orrenius, S. (1998): Redox regulation of apoptotic cell death. *BioFactors*, 8: 1–5.
- 141) Hanneken, A., Lin, F.-F., Johnson, J., Maher, P. (2006): Flavonoids protect human retinal pigment epithelial cells from oxidative-stress-induced death. *Invest. Ophth. Vis. Sci.*, 47: 3164–3177.
- 142) Hannum, S.M. (2004): Potential impact of strawberries on human health: a review of the science. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.*, 44: 1–17.
- 143) Harborne, J. (1997): Phytochemistry of fruits and vegetables: An ecological overview. In: Thomas-Barberan, F. (ed.): *Phytochemistry of fruits and vegetables*. Pp. 353–367. Oxford University Press, New York.
- 144) Hatano, T., Kagawa, H., Yasuhara, T., Okuda, T. (1988): Two new flavonoids and other constituents in licorice root: their relative astringency and radical scavenging effects. *Chem. Pharm. Bull.*, 36: 2090–2097.
- 145) Hauck, N.R., Yamane, H., Tao, R., Iezzoni, A.F. (2006): Accumulation of nonfunctional *S*-haplotypes results in the breakdown of gametophytic self-incompatibility in tetraploid *Prunus*. *Genetics*, 172: 1191–1198.
- 146) Havasy M. (1939): A Kőrösi meggy és köztes növényeinek termesztése. *Nagykőrösi Híradó, Nagykőrös*.

- 147) Hegedűs, A. (2006): Self-(in)compatibility in sour cherry (*Prunus cerasus* L.). A minireview. Int. J. Hortic. Sci., 12: 117–120.
- 148) Hegedűs, A., Balogh, E., Engel, R., Sipos, B.Z., Papp, J., Blázovics, A., Stefanovits-Bányai, E. (2008): Comparative nutrient element and antioxidant characterization of berry fruit species and cultivars grown in Hungary. HortSci., 43: 1711–1715.
- 149) Hegedűs, A., Engel, R., Abrankó, L., Balogh, E., Blázovics, A., Hermán, R., Halász, J., Ercisli, S., Pedryc, A., Stefanovits-Bányai, É. (2010): Antioxidant and antiradical capacities in apricot (*Prunus armeniaca* L.) fruits: Variations from genotypes, years, and analytical methods. J. Food Sci., 75: C722–C730.
- 150) Hegedűs, A., Halász, J. (2006): Self-incompatibility in plums (*Prunus salicina* Lindl., *Prunus cerasifera* Ehrh. and *Prunus domestica* L.). A minireview. Int. J. Hortic. Sci., 12: 137–140.
- 151) Hegedűs A., Papp N., Szabó Z., Pfeiffer P., Stefanovits-Bányai É. (2012): A gyümölcsök antioxidáns kapacitásának jellemzése. In: Hegedűs A., Stefanovits-Bányai É. (szerk.): Természetes antioxidáns-forrásunk: a gyümölcs. Debreceni Egyetem, AGTC, Kertészettudományi Intézet, Debrecen.
- 152) Hegedűs, A., Pfeiffer, P., Papp, N., Abrankó, L., Blázovics, A., Pedryc, A., Stefanovits-Bányai, É. (2011): Accumulation of antioxidants in apricot fruit through ripening: characterization of a genotype with enhanced functional properties. Biol. Res., 44: 339–344.
- 153) Hegedűs A., Stefanovitsné Bányai É. (2012): Természetes antioxidáns-forrásunk: a gyümölcs. Debreceni Egyetem, AGTC Kutatási és Fejlesztési Intézet, Debrecen.
- 154) Hegedűs, A., Szabó, Z., Nyéki, J., Halász, J., Pedryc, A. (2006): Molecular analysis of *S*-haplotypes in peach, a self-compatible *Prunus* species. J. Am. Soc. Hortic. Sci., 131: 738–743.
- 155) Hevesi, M., Blázovics, A., Kállay, E., Végh, A., Stéger-Máté, M., Ficzek, G., Tóth, M. (2012): Biological activity of sour cherry fruit on the bacterial flora of human saliva *in vitro*. Food Technol. Biotechnol., 50: 117–122.
- 156) Hillis, W.E., Swain, T. (1959): Phenolic constituents of *Prunus domestica*. III. – Identification of the major constituents in the tissues of victoria plum. J. Sci. Food Agr., 10: 533–537.
- 157) Hollman, P.C.H., van Trijp, J.M.P., Buysman, M.N.C.P., v.d. Gaag, M.S., Mengelers, M.J.B., de Vries, J.H.M., Katan, M.B. (1997): Relative bioavailability of the antioxidant flavonoid quercetin from various foods in man. FEBS Lett., 418: 152–156.
- 158) Holt, R.R., Lazarus, S.A., Sullards, M.C., Zhu, Q.Y., Schramm, D.D., Hammerstone, J.F., Fraga, C.G., Schmitz, H.H., Keen, C.L. (2002): Procyanidin dimer B2 [epicatechin-(4-8)-epicatechin] in human plasma after the consumption of a flavanol-rich cocoa. Am. J. Clin. Nutr., 76: 798–804.
- 159) Horn J. (1936): Szilva termesztése. Növényvédelem és Kertészet, Budapest.
- 160) Horn J. (1937): Ószibarack termesztése. Növényvédelem és Kertészet, Budapest.
- 161) Horn J. (1939): Kajszi, cseresznye és meggy termesztése. Növényvédelem és Kertészet, Budapest.
- 162) Howard, L.R., Clark, J.R., Brownmiller, C. (2003): Antioxidant capacity and phenolic content in blueberries as affected by genotype and growing season. J. Sci. Food Agr., 83: 1238–1247.
- 163) Huang, D.J., Ou, B.X., Prior, R.L. (2005): The chemistry behind antioxidant capacity assays. J. Agr. Food Chem., 53: 1841–1856.
- 164) Isik, E., Sahin, S., Demir, C. (2013): Development of a new chromium reducing antioxidant capacity (CHROMAC) assay for plants and fruits. Talanta: in press.
- 165) Jaakola, L., Maatta, K., Pirttilä, A.M., Torronen, R., Karenlampi, S., Hohtola, A. (2002): Expression of genes involved in anthocyanin biosynthesis in relation to anthocyanin, proanthocyanidin, and flavonol levels during bilberry fruit development. Plant Physiol., 130: 729–739.
- 166) Jaakola, L., Maatta-Riihinen, K., Karenlampi, S., Hohtola, A. (2004): Activation of flavonoid biosynthesis by solar radiation in bilberry (*Vaccinium myrtillus* L.) leaves. Planta, 218: 721–728.

- 167) Jacob, R.A., Burri, B.J. (1996): Oxidative damage and defense. *Am. J. Clin. Nutr.*, 63: 985S–990S.
- 168) Jacob, R.A., Spinozzi, G.M., Simon, V.A., Kelley, D.S., Prior, R.L., Hess-Pierce, B., Kader, A.A. (2003): Consumption of cherries lowers plasma urate in healthy women. *J. Nutr.*, 133: 1826–1829.
- 169) Jacobo-Velázquez, D.A., Cisneros-Zevallos, L. (2009): Correlations of antioxidant activity against phenolic content revisited: a new approach in data analysis for food and medicinal plants. *J. Food Sci.*, 74: R107–R113.
- 170) Jiménez, A., Martínez-Tomé, M., Egea, I., Romojaro, F., Murcia, M. (2008): Effect of industrial processing and storage on antioxidant activity of apricot (*Prunus armeniaca* v. bulida). *Eur. Food Res. Technol.*, 227: 125–134.
- 171) John, J.H., Ziebland, S., Yudkin, P., Roe, L.S., Neil, H.A.W. (2002): Effects of fruit and vegetable consumption on plasma antioxidant concentrations and blood pressure: a randomised controlled trial. *Lancet*, 359: 1969–1974.
- 172) Jókai M. (1896): *Kertészgazdászati jegyzetek* (reprint, 1975). Mezőgazdasági Könyvkiadó, Budapest.
- 173) Ju, Z., Liu, C., Yuan, Y. (1995): Activities of chalcone synthase and UDPGal: flavonoid-3-O-glycosyltransferase in relation to anthocyanin synthesis in apple. *Sci. Hortic.-Amsterdam*, 63: 175–185.
- 174) Kader, A. (1999): Fruit maturity, ripening, and quality relationships. *Acta Hort. (ISHS)*, 485: 203–208.
- 175) Kalt, W. (2005): Effects of production and processing factors on major fruit and vegetable antioxidants. *J. Food Sci.*, 70: R11–R19.
- 176) Kalt, W., Blumberg, J.B., McDonald, J.E., Vinqvist-Tymchuk, M.R., Fillmore, S.A.E., Graf, B.A., O'Leary, J.M., Milbury, P.E. (2008): Identification of anthocyanins in the liver, eye, and brain of blueberry-fed pigs. *J. Agr. Food Chem.*, 56: 705–712.
- 177) Kalt, W., Forney, C.F., Martin, A., Prior, R.L. (1999): Antioxidant capacity, vitamin C, phenolics, and anthocyanins after fresh storage of small fruits. *J. Agr. Food Chem.*, 47: 4638–4644.
- 178) Kang, S.-Y., Seeram, N.P., Nair, M.G., Bourquin, L.D. (2003): Tart cherry anthocyanins inhibit tumor development in ApcMin mice and reduce proliferation of human colon cancer cells. *Cancer Lett.*, 194: 13–19.
- 179) Karakaya, S., El, S.N., Tas, A.A. (2001): Antioxidant activity of some foods containing phenolic compounds. *Int. J. Food Sci. Nutr.*, 52: 501–508.
- 180) Karius, T., Schnekenburger, M., Dicato, M., Diederich, M. (2012): MicroRNAs in cancer management and their modulation by dietary agents. *Biochem. Pharmacol.*, 83: 1591–1601.
- 181) Katayama, T., Nakayama, T.O.M., Lee, T.H., Chichester, C.O. (1971): Carotenoid transformations in ripening apricots and peaches. *J. Food Sci.*, 36: 804–806.
- 182) Katayama, S., Ogawa, H., Nakamura, S. (2011): Apricot carotenoids possess potent anti-amyloidogenic activity *in vitro*. *J. Agr. Food Chem.*, 59: 12691–12696.
- 183) Kelebek, H., Selli, S. (2011): Evaluation of chemical constituents and antioxidant activity of sweet cherry (*Prunus avium* L.) cultivars. *Int. J. Food Sci. Tech.*, 46: 2530–2537.
- 184) Khoo, G.M., Clausen, M.R., Pedersen, B.H., Larsen, E. (2011): Bioactivity and total phenolic content of 34 sour cherry cultivars. *J. Food Comp. Anal.*, 24: 772–776.
- 185) Kim, D.-O., Heo, H.J., Kim, Y.J., Yang, H.S., Lee, C.Y. (2005): Sweet and sour cherry phenolics and their protective effects on neuronal cells. *J. Agr. Food Chem.*, 53: 9921–9927.
- 186) Kim, D.O., Padilla-Zakour, O.I. (2004): Jam processing effect on phenolics and antioxidant capacity in anthocyanin-rich fruits: cherry, plum, and raspberry. *J. Food Sci.*, 69: S395–S400.
- 187) Kim, J.-E., Son, J.E., Jung, S.K., Kang, N.J., Lee, C.Y., Lee, K.W., Lee, H.J. (2010): Cocoa polyphenols suppress TNF- α -induced vascular endothelial growth factor expression by inhibiting phosphoinositide 3-kinase (PI3K) and mitogen-activated protein kinase kinase-1 (MEK1) activities in mouse epidermal cells. *Brit. J. Nutr.*, 104: 957–964.

- 188) Kim, S.-H., Lee, J.-R., Hong, S.-T., Yoo, Y.-K., An, G., Kim, S.-R. (2003): Molecular cloning and analysis of anthocyanin biosynthesis genes preferentially expressed in apple skin. *Plant Sci.*, 165: 403–413.
- 189) Kirakosyan, A., Seymour, E.M., Llanes, D.E.U., Kaufman, P.B., Bolling, S.F. (2009): Chemical profile and antioxidant capacities of tart cherry products. *Food Chem.*, 115: 20–25.
- 190) Kirakosyan, A., Seymour, E.M., Noon, K.R., Urcuyo Llanes, D.E., Kaufman, P.B., Warber, S.L., Bolling, S.F. (2010): Interactions of antioxidants isolated from tart cherry (*Prunus cerasus*) fruits. *Food Chem.*, 122: 78–83.
- 191) Kobayashi, S., Goto-Yamamoto, N., Hirochika, H. (2004): Retrotransposon-induced mutations in grape skin color. *Science*, 304: 982.
- 192) Kobayashi, S., Ishimaru, M., Ding, C.K., Yakushiji, H., Goto, N. (2001): Comparison of *UDP-glucose:flavonoid 3-O-glucosyltransferase (UGT)* gene sequences between white grapes (*Vitis vinifera*) and their sports with red skin. *Plant Sci.*, 160: 543–550.
- 193) Koes, R., Verweij, W., Quattrocchio, F. (2005): Flavonoids: a colorful model for the regulation and evolution of biochemical pathways. *Trends Plant Sci.*, 10: 236–242.
- 194) Kondo, S., Tsuda, K., Muto, N., Ueda, J.-e. (2002): Antioxidative activity of apple skin or flesh extracts associated with fruit development on selected apple cultivars. *Sci. Hort.*-Amsterdam, 96: 177–185.
- 195) Kraft, J. (1792): *Abhandlung von den Obstbaumen* (reprint, 2009). Pytheas Kiadó, Budapest.
- 196) Kranl, K., Schlesier, K., Bitsch, R., Hermann, H., Rohe, M., Böhm, V. (2005): Comparing antioxidative food additives and secondary plant products – use of different assays. *Food Chem.*, 93: 171–175.
- 197) Kreuzaler, F., Ragg, H., Fautz, E., Kuhn, D.N., Hahlbrock, K. (1983): UV-induction of chalcone synthase mRNA in cell suspension cultures of *Petroselinum hortense*. *P. Natl. Acad. Sci. USA*, 80: 2591–2593.
- 198) Kreuzaler, F., Ragg, H., Heller, W., Tesch, R., Witt, I., Dietrich, H., Hahlbrock, K. (1979): Flavanone synthase from *Petroselinum hortense*. *Eur. J. Biochem.*, 99: 89–96.
- 199) Kristl, J., Slekovec, M., Tojnko, S., Unuk, T. (2011): Extractable antioxidants and non-extractable phenolics in the total antioxidant activity of selected plum cultivars (*Prunus domestica* L.): evolution during on-tree ripening. *Food Chem.*, 125: 29–34.
- 200) KSH (2011): A fontosabb gyümölcsfélék termesztése és felhasználása (2009–). 2013. február 20., Központi Statisztikai Hivatal, Budapest: http://www.ksh.hu/docs/hun/xstadat/xstadat_eves/i_omn006a.html.
- 201) Kumar, A., Ellis, B.E. (2001): The phenylalanine ammonia-lyase gene family in raspberry. Structure, expression, and evolution. *Plant Physiol.*, 127: 230–239.
- 202) Lachapelle, M.Y., Drouin, G. (2011): Inactivation dates of the human and guinea pig vitamin C genes. *Genetica*, 139: 199–207.
- 203) Lairon, D., Arnault, N., Bertrais, S., Planells, R., Clero, E., Hercberg, S., Boutron-Ruault, M.-C. (2005): Dietary fiber intake and risk factors for cardiovascular disease in French adults. *Am. J. Clin. Nutr.*, 82: 1185–1194.
- 204) Lampe, J.W. (1999): Health effects of vegetables and fruit: assessing mechanisms of action in human experimental studies. *Am. J. Clin. Nutr.*, 70: 475s–490s.
- 205) Lea, M.A., Ibeh, C., desBordes, C., Vizzotto, M., Cisneros-Zevallos, L., Byrne, D.H., Okie, W.R., Moyer, M.P. (2008): Inhibition of growth and Induction of differentiation of colon cancer cells by peach and plum phenolic compounds. *Anticancer Res.*, 28: 2067–2076.
- 206) Leccese, A., Bartolini, S., Viti, R. (2008): Total antioxidant capacity and phenolics content in fresh apricots. *Acta Aliment. Hung.*, 37: 65–76.
- 207) Leccese, A., Bartolini, S., Viti, R. (2012a): Genotype, harvest season, and cold storage influence on fruit quality and antioxidant properties of apricot. *Int. J. Food Prop.*, 15: 864–879.
- 208) Leccese, A., Bartolini, S., Viti, R. (2012b): From genotype to apricot fruit quality: the antioxidant properties contribution. *Plant Foods Hum. Nutr.*, 67: 317–325.
- 209) Ledbetter, C., Peterson, S., Jenner, J. (2006): Modification of sugar profiles in California adapted apricots (*Prunus armeniaca* L.) through breeding with Central Asian germplasm. *Euphytica*, 148: 251–259.

- 210) Lee, C.Y., Shallenberger, R.S., Vittum, M.T. (1970): Free sugars in fruits and vegetables. New York's Food and Life Sciences Bulletin, 1: 1–12.
- 211) Lee, J., Durst, W.R., Wrolstad, E.R. (2005): Determination of total monomeric anthocyanin pigment content of fruit juices, beverages, natural colorants, and wines by the pH differential method: collaborative study. J. AOAC Int., 88: 1269–1278.
- 212) Lee, J., Rennaker, C., Wrolstad, R.E. (2008): Correlation of two anthocyanin quantification methods: HPLC and spectrophotometric methods. Food Chem., 110: 782–786.
- 213) Lee, S.K., Kader, A.A. (2000): Preharvest and postharvest factors influencing vitamin C content of horticultural crops. Postharvest Biol. Tec., 20: 207–220.
- 214) Li, H., Flachowsky, H., Fischer, T., Hanke, M.-V., Forkmann, G., Treutter, D., Schwab, W., Hoffmann, T., Szankowski, I. (2007): Maize Lc transcription factor enhances biosynthesis of anthocyanins, distinct proanthocyanidins and phenylpropanoids in apple (*Malus domestica* Borkh.). Planta, 226: 1243–1254.
- 215) Licciardello, C., Russo, M., Vale', G., Recupero, R. (2008): Identification of differentially expressed genes in the flesh of blood and common oranges. Tree Genet. Genomes, 4: 315–331.
- 216) Liggins, J., Bluck, L.J.C., Runswick, S., Atkinson, C., Coward, W.A., Bingham, S.A. (2000): Daidzein and genistein content of fruits and nuts. J. Nutr. Biochem., 11: 326–331.
- 217) Lin-Wang, K., Bolitho, K., Grafton, K., Kortstee, A., Karunairetnam, S., McGhie, T., Espley, R., Hellens, R., Allan, A. (2010): An R2R3 MYB transcription factor associated with regulation of the anthocyanin biosynthetic pathway in *Rosaceae*. BMC Plant Biol., 10: 50.
- 218) Lippay J. (1666): Gyümölcsöskert. In: Pisoni kert (reprint 2002). Pytheas, Budapest.
- 219) Liu, C.Q., Chen, X.S., Wang, J.Z., Chen, X.L., Wang, H.B., Tian, C.P., Wu, C.J. (2008): Studies on genetic diversity of phenotypic traits in wild Myrobalan plum (*Prunus cerasifera* Ehrh.). Acta Hort. Sin., 35: 1261–1268.
- 220) Liu, R.H. (2003): Health benefits of fruit and vegetables are from additive and synergistic combinations of phytochemicals. Am. J. Clin. Nutr., 78: 517S–520S.
- 221) Lombardi-Boccia, G., Lucarini, M., Lanzi, S., Aguzzi, A., Cappelloni, M. (2004): Nutrients and antioxidant molecules in yellow plums (*Prunus domestica* L.) from conventional and organic productions: a comparative study. J. Agr. Food Chem., 52: 90–94.
- 222) Lugasi A. (2000): Élelmiszer eredetű flavonoidok potenciális egészségvédő hatása. Orvosi Hetilap, 141: 1751–1760.
- 223) Lugasi A., Blázovics A. (2001): Az egészséges táplálkozás tudományos alapjai. Fodor József Országos Közegészségügyi Központ, Budapest.
- 224) MacLean, D.D., Murr, D.P., DeEll, J.R., Mackay, A.B., Kupferman, E.M. (2007): Inhibition of PAL, CHS, and ERS1 in 'Red d'Anjou' pear (*Pyrus communis* L.) by 1-MCP. Postharvest Biol. Tec., 45: 46–55.
- 225) Mády R., Szalay L. (2003): Kajszi-fajták. In: Péntes B., Szalay L. (szerk.): Kajszi. Mezőgazda Kiadó, Budapest.
- 226) Maguire, L.S., O'Sullivan, S.M., Galvin, K., O'Connor, T.P., O'Brien, N.M. (2004): Fatty acid profile, tocopherol, squalene and phytosterol content of walnuts, almonds, peanuts, hazelnuts and the macadamia nut. Int. J. Food Sci. Nutr., 55: 171–178.
- 227) Malafa, M.P., Fokum, F.D., Smith, L., Louis, A. (2002): Inhibition of angiogenesis and promotion of melanoma dormancy by vitamin E succinate. Ann. Surg. Oncol., 9: 1023–1032.
- 228) Manach, C., Scalbert, A., Morand, C., Remesy, C., Jimenez, L. (2004): Polyphenols: food sources and bioavailability. Am. J. Clin. Nutr., 79: 727–747.
- 229) Manzoor, M., Anwar, F., Mahmood, Z., Rashid, U., Ashraf, M. (2012): Variation in minerals, phenolics and antioxidant activity of peel and pulp of different varieties of peach (*Prunus persica* L.) fruit from Pakistan. Molecules, 17: 6491–6506.
- 230) Martin, C., Zhang, Y., Tonelli, C., Petroni, K. (2013): Plants, diet, and health. Annu. Rev. Plant Biol., 64: in press.
- 231) Martinez-Gomez, P., Arulsekhar, S., Potter, D., Gradziel, T.M. (2003): An extended interspecific gene pool available to peach and almond breeding as characterized using simple sequence repeat (SSR) markers. Euphytica, 131: 313–322.

- 232) Marty, I., Bureau, S., Sarkissian, G., Gouble, B., Audergon, J.M., Albagnac, G. (2005): Ethylene regulation of carotenoid accumulation and carotenogenic gene expression in colour-contrasted apricot varieties (*Prunus armeniaca*). J. Exp. Bot., 56: 1877–1886.
- 233) McCune, L.M., Kubota, C., Stendell-Hollis, N.R., Thomson, C.A. (2011): Cherries and health: a review. Crit. Rev. Food Sci. Nutr., 51: 1–12.
- 234) McCurdy, R.D., McGrath, J.J., Mackay-Sim, A. (2008): Validation of the comparative quantification method of real-time PCR analysis and a cautionary tale of housekeeping gene selection. Gene Ther. Mol. Biol., 12: 15–24.
- 235) McMartin, S.E., Jacka, F.N., Colman, I. (2013): The association between fruit and vegetable consumption and mental health disorders: evidence from five waves of a national survey of Canadians. Prev. Med.: in press.
- 236) Meydan, S.N., Beharka, A.A. (1998): Recent developments in vitamin E and immune response. Nutr. Rev., 56: S49–S58.
- 237) Meyer, B., Mann, N., Lewis, J., Milligan, G., Sinclair, A., Howe, P.C. (2003): Dietary intakes and food sources of omega-6 and omega-3 polyunsaturated fatty acids. Lipids, 38: 391–398.
- 238) Milatovic, D., Djurovic, D. (2006): Evaluation of apricot cultivars in Belgrade area. In: Necas, T. (ed.): International Conference of Perspectives in European Fruit Growing. Pp. 68–70, Lednice.
- 239) Miller, N.J., Rice-Evans, C., Davies, M.J., Gopinathan, V., Milner, A. (1993): A novel method for measuring antioxidant capacity and its application to monitoring the antioxidant status in premature neonates. Clin. Sci., 84: 407–412.
- 240) Milner, J.A., Romagnolo, D.F., Ross, A.C. (2010): Vitamin A. In: Milner, J.A., Romagnolo, D.F. (eds.): Bioactive compounds and cancer. Pp. 335–356. Humana Press, New York.
- 241) Moertel, C.G., Fleming, T.R., Creagan, E.T., Rubin, J., O'Connell, M.J., Ames, M.M. (1985): High-dose vitamin C versus placebo in the treatment of patients with advanced cancer who have had no prior chemotherapy. New Eng. J. Med., 312: 137–141.
- 242) Mohácsy M. (1954): Őszibaracktermesztés. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.
- 243) Mol, J., Grotewold, E., Koes, R. (1998): How genes paint flowers and seeds. Trends Plant Sci., 3: 212–217.
- 244) Moran, J.P., Cohen, L., Greene, J.M., Xu, G., Feldman, E.B., Hames, C.G., Feldman, D.S. (1993): Plasma ascorbic acid concentrations relate inversely to blood pressure in human subjects. Am. J. Clin. Nutr., 57: 213–217.
- 245) Moretti, C.L., Mattos, L.M., Calbo, A.G., Sargent, S.A. (2010): Climate changes and potential impacts on postharvest quality of fruit and vegetable crops: a review. Food Res. Int., 43: 1824–1832.
- 246) Moriguchi, T., Kita, M., Tomono, Y., Endo-Inagaki, T., Omura, M. (2001): Gene expression in flavonoid biosynthesis: Correlation with flavonoid accumulation in developing citrus fruit. Physiol. Plantarum, 111: 66–74.
- 247) Moyer, R.A., Hummer, K.E., Finn, C.E., Frei, B., Wrolstad, R.E. (2002): Anthocyanins, phenolics, and antioxidant capacity in diverse small fruits: *Vaccinium*, *Rubus*, and *Ribes*. J. Agr. Food Chem., 50: 519–525.
- 248) Munzuroglu, O., Karatas, F., Geckil, H. (2003): The vitamin and selenium contents of apricot fruit of different varieties cultivated in different geographical regions. Food Chem., 83: 205–212.
- 249) Nagy, A., Rak, G.P., Szilvássy, B., Hegedűs, A., Abrankó, L. (2009): Characterization of compounds providing the total antioxidant capacity in apricot (*Prunus armeniaca* L.) cultivars and hybrids grown in Hungary. The 4th International Conference on Polyphenols and Health, Harrogate, United Kingdom, P268, p. 316.
- 250) Nakatsuka, A., Mizuta, D., Kii, Y., Miyajima, I., Kobayashi, N. (2008): Isolation and expression analysis of flavonoid biosynthesis genes in evergreen azalea. Sci. Hortic.-Amsterdam, 118: 314–320.
- 251) NÉBIH (2012): Nemzeti fajtajegyzék. Nemzeti Élelmiszerlánc Biztonsági Hivatal, Budapest.
- 252) Nicklett, E.J., Semba, R.D., Xue, Q.-L., Tian, J., Sun, K., Cappola, A.R., Simonsick, E.M., Ferrucci, L., Fried, L.P. (2012): Fruit and vegetable intake, physical activity, and mortality in older community-dwelling women. J. Am. Geriatr. Soc., 60: 862–868.

- 253) Noratto, G., Porter, W., Byrne, D., Cisneros-Zevallos, L. (2009): Identifying peach and plum polyphenols with chemopreventive potential against estrogen-independent breast cancer cells. *J. Agr. Food Chem.*, 57: 5219–5226.
- 254) Növényfajtaminősítő Tanács Titkársága (1961): Államilag minősített növényfajták jegyzéke. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.
- 255) Nurmi, T., Mursu, J., Heinonen, M., Nurmi, A., Hiltunen, R., Voutilainen, S. (2009): Metabolism of berry anthocyanins to phenolic acids in humans. *J. Agr. Food Chem.*, 57: 2274–2281.
- 256) Nyujtó F., Surányi D. (1981): A kajszibarack kultúrtörténete. In: Nyujtó F., Surányi D. (szerk.): Kajszibarack. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.
- 257) Offen, W., Martinez-Fleites, C., Yang, M., Kiat-Lim, E., Davis, B.G., Tarling, C.A., Ford, C.M., Bowles, D.J., Davies, G.J. (2006): Structure of a flavonoid glucosyltransferase reveals the basis for plant natural product modification. *EMBO J.*, 25: 1396–1405.
- 258) Okie, W.R., Bacon, T., Bassi, D. (2008): Fresh market cultivar development. In: Layne, D.R., Bassi, D. (eds.): The peach: botany, production and uses. Pp. 139–174. CAB International, Oxfordshire.
- 259) Olsson, M.E., Gustavsson, K.-E., Andersson, S., Nilsson, A., Duan, R.-D. (2004): Inhibition of cancer cell proliferation *in vitro* by fruit and berry extracts and correlations with antioxidant levels. *J. Agr. Food Chem.*, 52: 7264–7271.
- 260) Ou, B., Bosak, K.N., Brickner, P.R., Iezzoni, D.G., Seymour, E.M. (2012): Processed tart cherry products—comparative phytochemical content, *in vitro* antioxidant capacity and *in vitro* anti-inflammatory activity. *J. Food Sci.*, 77: H105–H112.
- 261) Ozgen, M., Reese, R.N., Tulio, A.Z., Scheerens, J.C., Miller, A.R. (2006): Modified 2,2'-azino-bis-3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid (ABTS) method to measure antioxidant capacity of selected small fruits and comparison to ferric reducing antioxidant power (FRAP) and 2,2'-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) methods. *J. Agr. Food Chem.*, 54: 1151–1157.
- 262) Padayatty, S.J., Katz, A., Wang, Y., Eck, P., Kwon, O., Lee, J.-H., Chen, S., Corpe, C., Dutta, A., Dutta, S.K., Levine, M. (2003): Vitamin C as an antioxidant: evaluation of its role in disease prevention. *J. Am. Coll. Nutr.*, 22: 18–35.
- 263) Padayatty, S.J., Riordan, H.D., Hewitt, S.M., Katz, A., Hoffer, L.J., Levine, M. (2006): Intravenously administered vitamin C as cancer therapy: three cases. *Can. Med. Assoc. J.*, 174: 937–942.
- 264) Papp N., Stefanovits-Bányai É., Hegedűs A., Kleiner D., Blázovics A., Szabó Z., Altarejos, J., Salido, S. (2012): Magyar meggyfajták bioaktív komponenseinek meghatározása ABTS-HPLC-DAD kapcsolt technikával. In: A Magyar Szabadgyök-kutató Társaság Munkaértekezletének összefoglalói. p 3. Magyar Szabadgyök-kutató Társaság, Budapest.
- 265) Papp, N., Szilvássy, B., Abrankó, L., Szabó, T., Pfeiffer, P., Szabó, Z., Nyéki, J., Ercisli, S., Stefanovits-Bányai, É., Hegedűs, A. (2010): Main quality attributes and antioxidants in Hungarian sour cherries: identification of genotypes with enhanced functional properties. *Int. J. Food Sci. Tech.*, 45: 395–402.
- 266) Parlakpınar, H., Olmez, E., Acet, A., Ozturk, F., Tasdemir, S., Ates, B., Gul, M., Otlu, A. (2009): Beneficial effects of apricot-feeding on myocardial ischemia-reperfusion injury in rats. *Food Chem. Toxicol.*, 47: 802–808.
- 267) Pauling, L. (1971): Vitamin C and the common cold. *Can. Med. Assoc. J.*, 105: 448–450.
- 268) Pedisic, S., Levaj, B., Dragovic-Uzelac, V., Kos, K. (2007): Physicochemical composition, phenolic content and antioxidant activity of sour cherry cv. Marasca during ripening. *Agric. Conspec. Sci.*, 72: 295–300.
- 269) Pedryc, A., Ruthner, S., Hermán, R., Krska, B., Hegedűs, A., Halász, J. (2009): Genetic diversity of apricot revealed by a set of SSR markers from linkage group G1. *Sci. Hortic.-Amsterdam*, 121: 19–26.
- 270) Pelletier, M.K., Burbulis, I.E., Winkel-Shirley, B. (1999): Disruption of specific flavonoid genes enhances the accumulation of flavonoid enzymes and end-products in *Arabidopsis* seedlings. *Plant Mol. Biol.*, 40: 45–54.
- 271) Pfaffl, M.W. (2001): A new mathematical model for relative quantification in real-time RT-PCR. *Nucleic Acids Res.*, 29: e45.

- 272) Pfaffl, M.W., Horgan, G.W., Dempfle, L. (2002): Relative expression software tool (REST[®]) for group-wise comparison and statistical analysis of relative expression results in real-time PCR. *Nucleic Acids Res.*, 30: e36.
- 273) Pfeiffer, J., Kühnel, C., Brandt, J., Duy, D., Punyasiri, P.A.N., Forkmann, G., Fischer, T.C. (2006): Biosynthesis of flavan 3-ols by leucoanthocyanidin 4-reductases and anthocyanidin reductases in leaves of grape (*Vitis vinifera* L.), apple (*Malus × domestica* Borkh.) and other crops. *Plant Physiol. Biochem.*, 44: 323–334.
- 274) Pfeiffer P. (2012): A kajszi és meggy gyümölcsök flavonoid-bioszintézisének jellemzése (PhD értekezés). Budapesti Corvinus Egyetem, Budapest.
- 275) Pfeiffer, P., Hegedűs, A. (2011): Review of the molecular genetics of flavonoid biosynthesis in fruits. *Acta Aliment. Hung.*, 40S: 150–163.
- 276) Pfeiffer, P., Pedryc, A., Papp, N., Abrankó, L., Stefanovits-Bányai, É., Hegedűs, A. (2012): Molecular genetics of the flavonoid biosynthesis in two apricot genotypes. *Acta Hort. (ISHS)*, 966: 107–111.
- 277) Piccolella, S., Fiorentino, A., Pacifico, S., D'Abrosca, B., Uzzo, P., Monaco, P. (2008): Antioxidant properties of sour cherries (*Prunus cerasus* L.): role of colorless phytochemicals from the methanolic extract of ripe fruits. *J. Agr. Food Chem.*, 56: 1928–1935.
- 278) Pina, A., Errea, P. (2008): Differential induction of phenylalanine ammonia-lyase gene expression in response to in vitro callus unions of *Prunus* spp. *J. Plant Physiol.*, 165: 705–714.
- 279) Podmore, I.D., Griffiths, H.R., Herbert, K.E., Mistry, N., Mistry, P., Lunec, J. (1998): Vitamin C exhibits pro-oxidant properties. *Nature*, 392: 559–559.
- 280) Popov, I.N., Lewin, G. (1994): Photochemiluminescent detection of antiradical activity: II. Testing of nonenzymic water-soluble antioxidants. *Free Radical Bio. Med.*, 17: 267–271.
- 281) Popov, I.N., Lewin, G. (1996): Photochemiluminescent detection of antiradical activity; IV: testing of lipid-soluble antioxidants. *J. Biochem. Bioph. Meth.*, 31: 1–8.
- 282) Priemé, H., Loft, S., Nyssönen, K., Salonen, J.T., Poulsen, H.E. (1997): No effect of supplementation with vitamin E, ascorbic acid, or coenzyme Q10 on oxidative DNA damage estimated by 8-oxo-7,8-dihydro-2'-deoxyguanosine excretion in smokers. *Am. J. Clin. Nutr.*, 65: 503–507.
- 283) Radicevic, S., Cerovic, R., Mitrovic, O., Glisic, I. (2008): Pomological characteristics and biochemical fruit composition of some Canadian sweet cherry cultivars. *Acta Hort. (ISHS)*, 795: 283–286.
- 284) Rafat Husain, S., Cillard, J., Cillard, P. (1987): Hydroxyl radical scavenging activity of flavonoids. *Phytochemistry*, 26: 2489–2491.
- 285) Rak, G.P., Szilvássy, B., Balogh, E., Stefanovits-Bányai, É., Fodor, P., Hegedűs, A., Abrankó, L. (2009): Identifying the sources of the outstanding antioxidant properties of a special Hungarian sour cherry. In: *The 4th International Conference on Polyphenols and Health*. p. 334, Harrogate.
- 286) Ramirez-Sanchez, I., Maya, L., Ceballos, G., Villarreal, F. (2010): (–)-Epicatechin activation of endothelial cell endothelial nitric oxide synthase, nitric oxide, and related signaling pathways. *Hypertension*, 55: 1398–1405.
- 287) Rando, R.R. (1990): The chemistry of vitamin A and vision. *Angew. Chem. Int. Edit.*, 29: 461–480.
- 288) Rapaics R. (1940): A magyar gyümölcs. Királyi Magyar Természettudományi Társulat, Budapest.
- 289) Reaven, P.D., Khouw, A., Beltz, W.F., Parthasarathy, S., Witztum, J.L. (1993): Effect of dietary antioxidant combinations in humans. Protection of LDL by vitamin E but not by beta-carotene. *Arterioscl. Throm. Vas.*, 13: 590–600.
- 290) Rivero, R.M., Ruiz, J.M., García, P.C., López-Lefebvre, L.R., Sánchez, E., Romero, L. (2001): Resistance to cold and heat stress: accumulation of phenolic compounds in tomato and watermelon plants. *Plant Sci.*, 160: 315–321.
- 291) Robak, J., Gryglewski, R.J. (1988): Flavonoids are scavengers of superoxide anions. *Biochem. Pharmacol.*, 37: 837–841.
- 292) Roche, H.M. (1999): Unsaturated fatty acids. *P. Nutr. Soc.*, 58: 397–401.

- 293) Ross, J.A., Kasum, C.M. (2002): Dietary flavonoids: bioavailability, metabolic effects, and safety. *Annu. Rev. Nutr.*, 22: 19–34.
- 294) Rowe, P.M. (1996): Beta-carotene takes a collective beating. *Lancet*, 347: 249.
- 295) Ruiz, D., Egea, J., Gil, M.I., Tomas-Barberan, F.A. (2005b): Characterization and quantitation of phenolic compounds in new apricot (*Prunus armeniaca* L.) varieties. *J. Agr. Food Chem.*, 53: 9544–9552.
- 296) Ruiz, D., Egea, J., Tomas-Barberan, F.A., Gil, M.I. (2005a): Carotenoids from new apricot (*Prunus armeniaca* L.) varieties and their relationship with flesh and skin color. *J. Agr. Food Chem.*, 53: 6368–6374.
- 297) Ruiz-García, Y., Gómez-Plaza, E. (2013): Elicitors: a tool for improving fruit phenolic content. *Agriculture*, 3: 33–52.
- 298) Rupasinghe, H.P.V., Jayasankar, S., Lay, W. (2006): Variation in total phenolics and antioxidant capacity among European plum genotypes. *Sci. Hortic.-Amsterdam*, 108: 243–246.
- 299) Rusznyák, S., Szentgyörgyi, A. (1936): Vitamin P: flavonols as vitamins. *Nature*, 138: 27.
- 300) Salvatierra, A., Pimentel, P., Moya-Leon, M.A., Caligari, P.D.S., Herrera, R. (2010): Comparison of transcriptional profiles of flavonoid genes and anthocyanin contents during fruit development of two botanical forms of *Fragaria chiloensis* ssp. *chiloensis*. *Phytochemistry*, 71: 1839–1847.
- 301) Sancho, R.A.S., Pastore, G.M. (2012): Evaluation of the effects of anthocyanins in type 2 diabetes. *Food Res. Int.*, 46: 378–386.
- 302) Saric, A., Sobocanec, S., Balog, T., Kusic, B., Sverko, V., Dragovic-Uzelac, V., Levaj, B., Cosic, Z., Macak Safranko, Z., Marotti, T. (2009): Improved antioxidant and anti-inflammatory potential in mice consuming sour cherry juice (*Prunus cerasus* cv. Maraska). *Plant Foods Hum. Nutr.*, 64: 231–237.
- 303) Sass-Kiss, A., Kiss, J., Milotay, P., Kerek, M.M., Toth-Markus, M. (2005): Differences in anthocyanin and carotenoid content of fruits and vegetables. *Food Res. Int.*, 38: 1023–1029.
- 304) Saud, G., Carbone, F., Perrotta, G., Figueroa, C.R., Moya, M., Herrera, R., Retamales, J., Carrasco, B., Cheel, J., Schmeda-Hirschmann, G., Caligari, P.D.S. (2009): Transcript profiling suggests transcriptional repression of the flavonoid pathway in the white-fruited Chilean strawberry, *Fragaria chiloensis* (L.) Mill. *Genet. Resour. Crop Ev.*, 56: 895–903.
- 305) Scalzo, J., Battino, M., Costantini, E., Mezzetti, B. (2005b): Breeding and biotechnology for improving berry nutritional quality. *BioFactors*, 23: 213–220.
- 306) Scalzo, J., Politi, A., Pellegrini, N., Mezzetti, B., Battino, M. (2005a): Plant genotype affects total antioxidant capacity and phenolic contents in fruit. *Nutrition*, 21: 207–213.
- 307) Schaefer, H.M., McGraw, K., Catoni, C. (2008): Birds use fruit colour as honest signal of dietary antioxidant rewards. *Funct. Ecol.*, 22: 303–310.
- 308) Schijlen, E.G.W.M., Ric de Vos, C.H., van Tunen, A.J., Bovy, A.G. (2004): Modification of flavonoid biosynthesis in crop plants. *Phytochemistry*, 65: 2631–2648.
- 309) Scorza, R., Mehlenbacher, S.A., Lightner, S.W. (1985): Inbreeding and coancestry of freestone peach cultivars of the eastern United States and implications for peach germplasm improvement. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.*, 110: 547–552.
- 310) Sebastia, N., Montoro, A., Mañes, J., Soriano, J.M. (2012): A preliminary study of presence of resveratrol in skins and pulps of European and Japanese plum cultivars. *J. Sci. Food Agr.*, 92: 3091–3094.
- 311) Seeram, N.P., Bourquin, L.D., Nair, M.G. (2001a): Degradation products of cyanidin glycosides from tart cherries and their bioactivities. *J. Agr. Food Chem.*, 49: 4924–4929.
- 312) Seeram, N.P., Momin, R.A., Nair, M.G., Bourquin, L.D. (2001b): Cyclooxygenase inhibitory and antioxidant cyanidin glycosides in cherries and berries. *Phytomedicine*, 8: 362–369.
- 313) Seigler, D.S. (1998): *Plant secondary metabolism*. Kluwer, Norwell.
- 314) Serdula, M.K., Gillespie, C., Kettel-Khan, L., Farris, R., Seymour, J., Denny, C. (2004): Trends in fruit and vegetable consumption among adults in the United States:

- behavioral risk factor surveillance system, 1994–2000. *Am. J. Public Health*, 94: 1014–1018.
- 315) Serrano, M., Guillen, F., Martinez-Romero, D., Castillo, S., Valero, D. (2005): Chemical constituents and antioxidant activity of sweet cherry at different ripening stages. *J. Agr. Food Chem.*, 53: 2741–2745.
 - 316) Seymour, E.M., Lewis, S.K., Urcuyo-Llanes, D.E., Tanone, I.I., Kirakosyan, A., Kaufman, P.B., Bolling, S.F. (2009): Regular tart cherry intake alters abdominal adiposity, adipose gene transcription, and inflammation in obesity-prone rats fed a high fat diet. *J. Med. Food*, 12: 935–942.
 - 317) Seymour, E.M., Singer, A.A., Kirakosyan, A., Urcuyo-Llanes, D.E., Kaufman, P.B., Bolling, S.F. (2008): Altered hyperlipidemia, hepatic steatosis, and hepatic peroxisome proliferator-activated receptors in rats with intake of tart cherry. *J. Med. Food*, 11: 252–259.
 - 318) Shahidi, F., Naczki, M. (2004): Phenolics in food and nutraceuticals. CRC Press, Boca Raton, London New York Washington, D.C.
 - 319) Shi, J., Maguer, M.L. (2000): Lycopene in tomatoes: chemical and physical properties affected by food processing. *Crit. Rev. Food Sci.*, 40: 1–42.
 - 320) Shufelt, C., Bairey Merz, C.N., Yang, Y., Kirschner, J., Polk, D., Stanczyk, F., Paul-Labrador, M., Braunstein, G.D. (2012): Red versus white wine as a nutritional aromatase inhibitor in premenopausal women: a pilot study *J. Womens Health*, 21: 281–284.
 - 321) Shukitt-Hale, B., Kalt, W., Carey, A.N., Vinqvist-Tymchuk, M., McDonald, J., Joseph, J.A. (2009): Plum juice, but not dried plum powder, is effective in mitigating cognitive deficits in aged rats. *Nutrition*, 25: 567–573.
 - 322) Shukla, A., Rasik, A.M., Patnaik, G.K. (1997): Depletion of reduced glutathione, ascorbic acid, vitamin E and antioxidant defence enzymes in a healing cutaneous wound. *Free Radical Res.*, 26: 93–101.
 - 323) Sies, H., Stahl, W. (1995): Vitamins E and C, beta-carotene, and other carotenoids as antioxidants. *Am. J. Clin. Nutr.*, 62: 1315S–1321S.
 - 324) Simopoulos, A.P. (1999): Essential fatty acids in health and chronic disease. *Am. J. Clin. Nutr.*, 70: 560s–569s.
 - 325) Singer, R.H., Penman, S. (1973): Messenger RNA in HeLa cells: kinetics of formation and decay. *J. Mol. Biol.*, 78: 321–334.
 - 326) Singleton, V.L., Rossi, J.A., Jr. (1965): Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *Am. J. Enol. Viticult.*, 16: 144–158.
 - 327) Skibsted, L.H. (2012): Carotenoids in antioxidant networks. colorants or radical scavengers. *J. Agr. Food Chem.*, 60: 2409–2417.
 - 328) Slimestad, R., Vangdal, E., Brede, C. (2009): Analysis of phenolic compounds in six Norwegian plum cultivars (*Prunus domestica* L.). *J. Agr. Food Chem.*, 57: 11370–11375.
 - 329) Solovchenko, A., Schmitz-Eiberger, M. (2003): Significance of skin flavonoids for UV-B-protection in apple fruits. *J. Exp. Bot.*, 54: 1977–1984.
 - 330) Sonneveld, T., Tobutt, K.R., Robbins, T.P. (2003): Allele-specific PCR detection of sweet cherry self-incompatibility (*S*) alleles *S*1 to *S*16 using consensus and allele-specific primers. *Theor. Appl. Genet.*, 107: 1059–1070.
 - 331) Spencer, C. (1996): *The Heretic's feast: a history of vegetarianism*. University Press of New England, Hanover.
 - 332) Stables, G., Goodman, L.S., Meyer, M.S., Disogra, L., Farrell, M., Miller, M., Reeve, L., Lemaire, R., Berendson, K., Lazarek, P., Nagy, A., Slagmoolen, M., Dudley, P., Aarum, A.O., Annerstedt-Heino, K. (2001): International 5 A Day Programs: A Smorgasbord. In: Stables, G., Heimendinger, J. (eds.): *5 A Day for Better Health Program*. Pp. 169–189. National Cancer Institute, Bethesda.
 - 333) Steffen, Y., Gruber, C., Schewe, T., Sies, H. (2008): Mono-O-methylated flavanols and other flavonoids as inhibitors of endothelial NADPH oxidase. *Arch. Biochem. Biophys.*, 469: 209–219.

- 334) Steyn, W.J., Holcroft, D.M., Wand, S.J.E., Jacobs, G. (2004): Regulation of pear color development in relation to activity of flavonoid enzymes. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.*, 129: 6–12.
- 335) Stratil, P., Klejdus, B., Kubán, V. (2007): Determination of phenolic compounds and their antioxidant activity in fruits and cereals. *Talanta*, 71: 1741–1751.
- 336) Sturm, K., Koron, D., Stampar, F. (2003): The composition of fruit of different strawberry varieties depending on maturity stage. *Food Chem.*, 83: 417–422.
- 337) Sváb J. (1981): Biometriai módszerek a kutatásban. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.
- 338) Szabó T. (2008): Az északkelet-magyarországi meggy tájfajta-szelekció eredményei és gazdasági jelentősége. Budapesti Corvinus Egyetem, Budapest.
- 339) Szabó Z., Balmer M., Fieszl C., Farkas E. (2011): Fajtahasználat. In: Nyéki J., Soltész M., Szabó Z. (szerk.): Intenzív cseresznyetermesztés. Debreceni Egyetem, AGTC Kutatási és Fejlesztési Intézet és Kecskeméti Főiskola, Kertészeti Főiskolai Kar, Debrecen.
- 340) Szabó Z., Timon B. (2000): Az őszibarack fajtái. In: Timon B. (szerk.): Őszibarack. Mezőgazda Kiadó, Budapest.
- 341) Szent-Györgyi A. (1988): Válogatott tanulmányok. Gondolat, Budapest.
- 342) Tabart, J., Kevers, C., Pincemail, J., Defraigne, J.-O., Dommes, J. (2009): Comparative antioxidant capacities of phenolic compounds measured by various tests. *Food Chem.*, 113: 1226–1233.
- 343) Takos, A.M., Ubi, B.E., Robinson, S.P., Walker, A.R. (2006): Condensed tannin biosynthesis genes are regulated separately from other flavonoid biosynthesis genes in apple fruit skin. *Plant Sci.*, 170: 487–499.
- 344) Tall, J.M., Seeram, N.P., Zhao, C., Nair, M.G., Meyer, R.A., Raja, S.N. (2004): Tart cherry anthocyanins suppress inflammation-induced pain behavior in rat. *Behav. Brain Res.*, 153: 181–188.
- 345) Tangl H. (1941): A táplálkozás. Királyi Magyar Természettudományi Társulat, Budapest.
- 346) Tappel, A.L. (1972): Vitamin E and free radical peroxidation of lipids. *Ann. N. Y. Acad. Sci.*, 203: 12–28.
- 347) Taylor, C.K., Levy, R.M., Elliott, J.C., Burnett, B.P. (2009): The effect of genistein aglycone on cancer and cancer risk: a review of *in vitro*, preclinical, and clinical studies. *Nutr. Rev.*, 67: 398–415.
- 348) Terao, J., Piskula, M., Yao, Q. (1994): Protective effect of epicatechin, epicatechin gallate, and quercetin on lipid peroxidation in phospholipid bilayers. *Arch. Biochem. Biophys.*, 308: 278–284.
- 349) Terry, P., Giovannucci, E., Michels, K.B., Bergkvist, L., Hansen, H., Holmberg, L., Wolk, A. (2001): Fruit, vegetables, dietary fiber, and risk of colorectal cancer. *J. Natl. Cancer I.*, 93: 525–533.
- 350) Theodoratou, E., Kyle, J., Cetnarskyj, R., Farrington, S.M., Tenesa, A., Barnettson, R., Porteous, M., Dunlop, M., Campbell, H. (2007): Dietary flavonoids and the risk of colorectal cancer. *Cancer Epidem. Biomar.*, 16: 684–693.
- 351) Thilakarathna, S.H., Rupasinghe, H.P.V. (2012): Anti-atherosclerotic effects of fruit bioactive compounds: a review of current scientific evidence. *Can. J. Plant Sci.*, 92: 407–419.
- 352) Thompson, H.J., Heimendinger, J., Haegle, A., Sedlacek, S.M., Gillette, C., O'Neill, C., Wolfe, P., Conry, C. (1999): Effect of increased vegetable and fruit consumption on markers of oxidative cellular damage. *Carcinogenesis*, 20: 2261–2266.
- 353) Tomás-Barberán, F.A., Gil, M.I., Cremin, P., Waterhouse, A.L., Hess-Pierce, B., Kader, A.A. (2001): HPLC-DAD-ESIMS analysis of phenolic compounds in nectarines, peaches, and plums. *J. Agr. Food Chem.*, 49: 4748–4760.
- 354) Tsuda, T., Yamaguchi, M., Honda, C., Moriguchi, T. (2004): Expression of anthocyanin biosynthesis genes in the skin of peach and nectarine fruit. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.*, 129: 857–862.
- 355) Ugras, M., Y., Kurus, M., Ates, B., Soylemez, H., Otlü, A., Yilmaz, I. (2010): *Prunus armeniaca* L. (apricot) protects rat testes from detrimental effects of low-dose x-rays. *Nutr. Res.*, 30: 200–208.
- 356) Unghváry József Faiskolája (1938): Árjegyzék 1938. őszre - 1939. tavaszra. Unghváry József, Cegléd.

- 357) Usenik, V., Fabcic, J., Stampar, F. (2008b): Sugars, organic acids, phenolic composition and antioxidant activity of sweet cherry (*Prunus avium* L.). Food Chem., 107: 185–192.
- 358) Usenik, V., Kastelec, D., Veberic, R., Stampar, F. (2008a): Quality changes during ripening of plums (*Prunus domestica* L.). Food Chem., 111: 830–836.
- 359) Usenik, V., Stampar, F., Kastelec, D. (2013): Phytochemicals in fruits of two *Prunus domestica* L. plum cultivars during ripening. J. Sci. Food Agr., 93: 681–692.
- 360) Usenik, V., Stampar, F., Veberic, R. (2009): Anthocyanins and fruit colour in plums (*Prunus domestica* L.) during ripening. Food Chem., 114: 529–534.
- 361) Vaidyanathan, J.B., Walle, T. (2002): Glucuronidation and sulfation of the tea flavonoid (–)-epicatechin by the human and rat enzymes. Drug Metab. Dispos., 30: 897–903.
- 362) van de Wouw, M., Kik, C., van Hintum, T., van Treuren, R., Visser, B. (2010): Genetic erosion in crops: concept, research results and challenges. Plant Genet. Resour. Charact. Util., 8: 1–15.
- 363) van der Sluis, A.A., Dekker, M., de Jager, A., Jongen, W.M.F. (2001): Activity and concentration of polyphenolic antioxidants in apple: effect of cultivar, harvest year, and storage conditions. J. Agr. Food Chem., 49: 3606–3613.
- 364) Vaughan, D.A., Balázs, E., Heslop-Harrison, J.S. (2007): From crop domestication to super-domestication. Ann. Bot.-London, 100: 893–901.
- 365) Veberic, R., Stampar, F. (2005): Selected polyphenols in fruits of different cultivars of genus *Prunus*. Phyton, 45: 375–383.
- 366) Velasco, R., Zharkikh, A., Affourtit, J., Dhingra, A., Cestaro, A., Kalyanaraman, A., Fontana, P., Bhatnagar, S.K., Troggio, M., Pruss, D., Salvi, S., Pindo, M., Baldi, P., Castelletti, S., Cavaiuolo, M., Coppola, G., Costa, F., Cova, V., Dal Ri, A., Goremykin, V., Komjanc, M., Longhi, S., Magnago, P., Malacarne, G., Malnoy, M., Micheletti, D., Moretto, M., Perazzolli, M., Si-Ammour, A., Vezzulli, S., Zini, E., Eldredge, G., Fitzgerald, L.M., Gutin, N., Lanchbury, J., Macalma, T., Mitchell, J.T., Reid, J., Wardell, B., Kodira, C., Chen, Z., Desany, B., Niazi, F., Palmer, M., Koepke, T., Jiwan, D., Schaeffer, S., Krishnan, V., Wu, C., Chu, V.T., King, S.T., Vick, J., Tao, Q., Mraz, A., Stormo, A., Stormo, K., Bogden, R., Ederle, D., Stella, A., Vecchiatti, A., Kater, M.M., Masiero, S., Lasserre, P., Lespinasse, Y., Allan, A.C., Bus, V., Chagne, D., Crowhurst, R.N., Gleave, A.P., Lavezzo, E., Fawcett, J.A., Proost, S., Rouze, P., Sterck, L., Toppo, S., Lazzari, B., Hellens, R.P., Durel, C.-E., Gutin, A., Bumgarner, R.E., Gardiner, S.E., Skolnick, M., Egholm, M., Van de Peer, Y., Salamini, F., Viola, R. (2010): The genome of the domesticated apple (*Malus x domestica* Borkh.). Nat. Genet., 42: 833–839.
- 367) Veres, Z., Holb, I., Nyéki, J., Szabó, Z., Remenyik, J., Fári, G.M. (2006): High antioxidant and anthocyanin contents of sour cherry cultivars may benefit the human health: international and Hungarian achievements on phytochemicals. Int. J. Hortic. Sci., 12: 45–47.
- 368) Veres Z., Remenyik J., Nyéki J., Szabo Z., Popovics L., Holb I., Fári G.M. (2005): A meggy (*Prunus cerasus*) bioaktív anyagai (különös tekintettel az antioxidáns aktivitásra és antioxidáns sűrűségre). Agrártudományi Közlemények, 17: 83–87.
- 369) Vizzotto, M., Cisneros-Zevallos, L., Byrne, D.H., Ramming, D.W., Okie, W.R. (2007): Large variation found in the phytochemical and antioxidant activity of peach and plum germplasm. J. Am. Soc. Hortic. Sci., 132: 334–340.
- 370) Vogelsang, A., Shute, E.V. (1946): Effect of vitamin E in coronary heart disease. Nature, 157: 772–772.
- 371) Vom Endt, D.b., Kijne, J.W., Memelink, J. (2002): Transcription factors controlling plant secondary metabolism: what regulates the regulators? Phytochemistry, 61: 107–114.
- 372) Vuk M. (1924): Élelmiszereink megítélése és a vitaminok. Természettudományi Közlöny, LVI: 65–71.
- 373) Vursavus, K., Kelebek, H., Selli, S. (2006): A study on some chemical and physico-mechanic properties of three sweet cherry varieties (*Prunus avium* L.) in Turkey. J. Food Eng., 74: 568–575.
- 374) Walker, A.R., Lee, E., Bogs, J., McDavid, D.A.J., Thomas, M.R., Robinson, S.P. (2007): White grapes arose through the mutation of two similar and adjacent regulatory genes. Plant J., 49: 772–785.

- 375) Walle, T. (2004): Absorption and metabolism of flavonoids. *Free Radical Bio. Med.*, 36: 829–837.
- 376) Wan, C.Y., Wilkins, T.A. (1994): A modified hot borate method significantly enhances the yield of high-quality RNA from cotton (*Gossypium hirsutum* L.). *Anal. Biochem.*, 223: 7–12.
- 377) Wang, H., Nair, M.G., Iezzoni, A.F., Strasburg, G.M., Booren, A.M., Gray, J.I. (1997): Quantification and characterization of anthocyanins in Balaton tart cherries. *J. Agr. Food Chem.*, 45: 2556–2560.
- 378) Wang, H., Nair, M.G., Strasburg, G.M., Booren, A.M., Gray, J.I. (1999): Novel antioxidant compounds from tart cherries (*Prunus cerasus*). *J. Nat. Prod.*, 62: 86–88.
- 379) Wang, S.Y., Zheng, W. (2001): Effect of plant growth temperature on antioxidant capacity in strawberry. *J. Agr. Food Chem.*, 49: 4977–4982.
- 380) Wang, W., Goodman, M.T. (1999): Antioxidant property of dietary phenolic agents in a human LDL-oxidation ex vivo model: Interaction of protein binding activity. *Nutr. Res.*, 19: 191–202.
- 381) Wang, X., Quinn, P.J. (1999): Vitamin E and its function in membranes. *Prog. Lipid Res.*, 38: 309–336.
- 382) Wang, Y., Chen, X., Zhang, Y., Chen, X. (2012): Antioxidant activities and major anthocyanins of myrobalan plum (*Prunus cerasifera* Ehrh.). *J. Food Sci.*, 77: C388–C393.
- 383) WCRF/AICR (2007): Food, nutrition, physical activity, and the prevention of cancer: a global perspective. American Institute for Cancer Research, Washington.
- 384) Weber, P., Bendich, A., Schalch, W. (1996): Vitamin C and human health – a review of recent data relevant to human requirements. *Int. J. Vitam. Nutr. Res.*, 66: 19–30.
- 385) Whitehead, R.D., Re, D., Xiao, D., Ozakinci, G., Perrett, D.I. (2012): You are what you eat: within-subject increases in fruit and vegetable consumption confer beneficial skin-color changes. *PLoS ONE*, 7: e32988.
- 386) Widén, C., Ekholm, A., Piwowar-Zail, D., Rumpunen, K. (2012): Antioxidant activity of polyphenol rich fruits on human erythrocytes. *Acta Hort. (ISHS)*, 926: 669–674.
- 387) Wiersma, P.A., Wu, Z. (1998): Full length cDNA for phenylalanine ammonia-lyase cloned from ripe sweet cherry fruit (accession No. AF036948). (PGR98-184). *Plant Physiol.*, 118: 1102.
- 388) Winkel, B.S.J. (2006): The biosynthesis of flavonoids. In: Grotewold, E. (ed.): *The science of flavonoids*. Pp. 71–95. Springer, New York.
- 389) Winkel-Shirley, B. (2002): Biosynthesis of flavonoids and effects of stress. *Curr. Opin. Plant Biol.*, 5: 218–223.
- 390) Winter, H. (1956): Nutritional encephalomalacia of chickens. *Aust. Vet. J.*, 32: 269–272.
- 391) Wolfe, K.L., Liu, R.H. (2007): Cellular antioxidant activity (CAA) assay for assessing antioxidants, foods, and dietary supplements. *J. Agr. Food Chem.*, 55: 8896–8907.
- 392) Wootton-Beard, P.C., Ryan, L. (2011): Improving public health?: The role of antioxidant-rich fruit and vegetable beverages. *Food Res. Int.*, 44: 3135–3148.
- 393) Wu, J.-W., Hsieh, C.-L., Wang, H.-Y., Chen, H.-Y. (2009): Inhibitory effects of guava (*Psidium guajava* L.) leaf extracts and its active compounds on the glycation process of protein. *Food Chem.*, 113: 78–84.
- 394) Wu, X., Beecher, G.R., Holden, J.M., Haytowitz, D.B., Gebhardt, S.E., Prior, R.L. (2004): Lipophilic and hydrophilic antioxidant capacities of common foods in the United States. *J. Agr. Food Chem.*, 52: 4026–4037.
- 395) Yakushiji, H., Kobayashi, S., Goto-Yamamoto, N., Tae Jeong, S., Sueta, T., Mitani, N., Azuma, A. (2006): A skin color mutation of grapevine, from black-skinned Pinot noir to white-skinned Pinot blanc, is caused by deletion of the functional VvmybA1 allele. *Biosci. Biotechnol. Biochem.*, 70: 1506–1508.
- 396) Yamazaki, M., Yamagishi, E., Gong, Z., Fukuchi-Mizutani, M., Fukui, Y., Tanaka, Y., Kusumi, T., Yamaguchi, M., Saito, K. (2002): Two flavonoid glucosyltransferases from *Petunia hybrida*: molecular cloning, biochemical properties and developmentally regulated expression. *Plant Mol. Biol.*, 48: 401–411.

- 397) Yang, J., Meyers, K.J., van der Heide, J., Liu, R.H. (2004): Varietal differences in phenolic content and antioxidant and antiproliferative activities of onions. *J. Agr. Food Chem.*, 52: 6787–6793.
- 398) Yao, L.H., Jiang, Y.M., Shi, J., Tomás-Barberán, F.A., Datta, N., Singanusong, R., Chen, S.S. (2004): Flavonoids in food and their health benefits. *Plant Foods Hum. Nutr.*, 59: 113–122.
- 399) Yarılgac, T., Balta, M.F., Özrenk, K., Muradoğlu, F. (2005): Indigenous sour cherry (*Prunus cerasus* L.) germplasm of lake Van basin. *Asian J. Plant Sci.*, 4: 558–561.
- 400) Yeon, J.-Y., Kim, H.-S., Sung, M.-K. (2012): Diets rich in fruits and vegetables suppress blood biomarkers of metabolic stress in overweight women. *Prev. Med.*, 54, Supplement: S109–S115.
- 401) Zhang, Q., Chang, Z., Wang, Q. (2006): Ursane triterpenoids inhibit atherosclerosis and xanthoma in LDL receptor knockout mice. *Cardiovasc. Drug. Ther.*, 20: 349–357.

9 KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Hálásan köszönöm Stefanovitsné Dr. Bányai Éva (BCE Alkalmazott Kémia Tanszék) kollégám kedvességét, folyamatos és fáradhatatlan biztatását, segítségét. Éva legfőbb tanítása az, hogy nincs megoldhatatlan probléma. Külön köszönöm, hogy több mint 10 évvel ezelőtt munkatársává fogadott, és ezáltal a dolgozatban bemutatott munka (is) megvalósulhatott.

Kiemelt köszönet illeti doktorandusz hallgatóimat, akik lelkiismeretes, elkötelezett tudományos munkájukkal jelentős részt vállaltak az eredmények megszületésében. Így Papp Nórát (Debreceni Egyetem Kutatási és Fejlesztési Intézet illetve Budapesti Corvinus Egyetem Alkalmazott Kémia Tanszék) az antioxidáns kapacitást jellemző paraméterek vizsgálatában nyújtott lelkiismeretes és szorgalmas munkájáért, a HPLC vizsgálatokért, a statisztikai analízisben nyújtott segítségével, továbbá Dr. Pfeiffer Pétert (BCE Genetika és Növénynemesítés Tanszék) a flavonoid-bioszintézis útvonal molekuláris genetikai vizsgálatában való lelkes, szorgalmas, problémamegoldó részvételéért. Köszönet továbbá Dr. Szikriszt Bernadettnek, Dr. Balogh Emőkének, Dr. Engel Ritának és Tordai Enikőnek. Köszönöm BSc és MSc hallgatóimnak, Gergely Anitának, Kapás Mariannak, Szilvássy Blankának és Taller Dénes Lászlónak.

Külön köszönet Dr. Nyéki Józsefnek és Dr. Szabó Zoltánnak sokéves barátságukért, sokirányú, önzetlen támogatásukért és szíves együttműködésükért. Köszönöm, hogy segítségükkel és biztatásukkal ismereteinket és tapasztalatainkat igényes, színvonalas szakkönyvekben is közkinccsé tehattük.

Köszönettel tartozom Dr. Gonda Istvánnak (DE Gyümölcsstermesztési Tanszék) a japánszilva gyümölcsökért és baráti támogatásáért, Dr. Pedryc Andrzejnek (BCE Genetika és Növénynemesítés Tanszék) a kajszimintákért és a kajszival kapcsolatos vizsgálatok segítségével, továbbá Szőke Ferenc magánnemesítőnek a kökény és meggy gyümölcsökért, valamint ismereteinek mindenkor készséges megosztásáért. Köszönöm Dr. Szabó Tibornak (Újfehértói Gyümölcsstermesztési Kutató és Szaktanácsadó Kht.) a meggy mintákat és a sokéves baráti együttműködést, valamint Schöffner Péter Jenőnek (Morello Kft.) a 'Fanal' „szupermeggyet”. Köszönet az Alma 2000 Kft-nek (Nagykutas), a Siófoki Gyümölcsstermesztési Zrt-nek (Siófok), a North-Cot Kft-nek (Boldogkövőáralja) és a Balaton Fruit Kft-nek (Balatonvilágos) a gyümölcsökért. A Debreceni Egyetem Kutatási és Fejlesztési Intézet doktoranduszainak köszönöm a mintaszállításban nyújtott értékes segítséget.

A gyümölcsök antioxidáns hatású vegyületeinek (aszcorbinsav és polifenolok) azonosításáért és mennyiségi meghatározásáért köszönet illeti kollégáimat a BCE Alkalmazott Kémia Tanszéken, elsősorban Dr. Abrankó László egyetemi docent, Nagy Ádám PhD hallgatót, illetve Dr. Fodor Pétert, aki az itt bemutatott kísérletek idején az Alkalmazott Kémia Tanszék tanszékvezető egyetemi tanára volt. Köszönjük Dr. Blázovics Anna tanszékvezető egyetemi tanárnak (Simmelweis Egyetem, Farmakognózia Tanszék) a DPPH-gyökfogó kapacitás, a teljes gyökfogó kapacitás kemiluminometriás vizsgálata és az állatkísérletek során nyújtott segítségét. Köszönöm Dr. Fébel Hedvignek, az Állattenyésztési és Takarmányozási Kutatóintézet főigazgató-helyettesének az állatkísérletek kivitelezésében nyújtott értékes segítségét. Köszönöm Dr. Lugasi Andreának (Országos Élelmezési- és Táplálkozástudományi Intézet) a cukortartalom meghatározását és Dr. Szani Zsoltnak (Nemzeti Élelmiszerlánc-biztonsági Hivatal) sokféle segítségét, többek között a magyarországi gyümölcsfajta-használat múltjára és jelenére vonatkozó ismeretek készséges megosztását.

Köszönöm Dr. Sezai Ercişlinek (Atatürk Egyetem, Erzurum, Törökország) és munkatársainak sokéves baráti együttműködését a gyümölcsök antioxidáns kapacitásának jellemzését célzó kutatásokban. Együttműködésünket a szakterület elismert folyóirataiban megjelent, számos közösen jegyzett tudományos közlemény fémjelzi. Hálásan köszönöm Dr. Craig Ledbetternek (USDA, Fresno, Kalifornia), hogy a nyelvi lektorálás mellett értékes szakmai észrevételeivel és baráti tanácsaival is folyamatosan segítette és segíti munkámat. Köszönöm továbbá Dr. Dragan Milatovicnak, Dr. Ossama Kodadnak és Dr. Adnan Dogannak az együttműködést.

Köszönöm a BCE Alkalmazott Kémia Tanszék munkatársainak, Kertész Katalinnak (antioxidáns mérések) és Bakonyvári Ildikónak (ICP analízis) a laboratóriumi munkák során nyújtott technikai segítségét. Köszönöm a szakmai konzultációt és hasznos segítségét Ferencz Anitának (Magyar Zöldség-Gyümölcs Szakmaközi Szervezet és Terméktanács), Hermán Ritának (BCE Genetika és Növénynevelés Tanszék), Dr. Gutermuth Ádámnak (BCE Genetika és Növénynevelés Tanszék) és Rácz-Szabó Róbertnek (BCE Soroksári Kísérleti Üzem és Tangazdaság). Köszönöm Tóth Veronika barátságát. Köszönöm Sz.Koncz István régi barátságát és a korrektúrát.

Munkánk során számos esetben figyeltünk föl olyan mostoha sorsú gyümölcsfajtákra, melyek eltűnése jóvátehetetlen gazdasági és kultúrtörténeti értékvesztéssel járna. Eredményeink gyakorlati hasznának is tekinthető az az aktivitás, amit e fajták megmentése érdekében fejtettünk ki. Köszönöm mindenkinek, aki ebben a fajtamentő misszióban kizárólag lelkesedésből, meggyőződésből, ellenszolgáltatás nélkül

részt vett: Halász Vilmosnak, Rácz-Szabó Róbertnek, Dr. Gutermuth Ádámnak, Dr. Szani Zsoltnak, Sz.Koncz Istvánnak és a kemenesaljai kertbarátoknak. Köszönöm Dr. Palkovics László (BCE Tudományos Rektorhelyettes) támogatását. Köszönöm az Ambassador Club Budapest és Görcsöny Község megtisztelő figyelmét.

Nagyon köszönöm Dr. Tóth Magdolna (BCE Gyümölcsstermő Növények) tanszékvezetőnek, az MTA-KÉB elnökének együttműködését és biztatását. Köszönöm korábbi (BCE Alkalmazott Kémia Tanszék) és jelenlegi (BCE Genetika és Növénynevelés Tanszék) munkahelyemen munkatársaim segítségét. Végezetül köszönöm minden kollégának, akikkel az elmúlt években – remélhetőleg kölcsönösen – „gyümölcsöző” szakmai kapcsolatot sikerült kialakítanunk.

A hosszú évek óta folytatott vizsgálatokat az OTKA K84290, NKTH-OTKA K68921, OM-00270/2008, OM-00265/2008, Jedlik Ányos program NKFP06A2-BCETKA06, valamint a TÁMOP-4.2.1./B-09/1/KMR-2010-0005 pályázatok támogatták: köszönet a lehetőségért, hogy Magyarországon megvalósulhatott nemzetközi szintű gyümölcskutatás. Köszönöm a Magyar Tudományos Akadémia Bolyai János Kutatói Ösztöndíj támogatását 2008–2011 között és a 2012. évtől kezdődően. Külön köszönet az értekezésben bemutatott tudományos eredmények alapján számomra és kollégáim számára megítélt elismerésekért (nívódíj, kutatási kiválósági ösztöndíj, Bolyai-plakett stb.). Köszönet Wendell Berrynek, Robin Cooknak, Demjén Ferencnek, Nemes Nagy Ágnesnek az idézett gondolatokért, és néhai Bódi Lászlónak nem kizárólag a meggy-strófában idézett szavaiért.

Köszönettel tartozom néhai Dr. Horváth Gábornak és néhai Dr. Erdei Sárának, akiktől a tudományos kutatómunka alapjait, és a tudományos közlemények megírásának mikéntjét tanultam meg. Tanításuk a mai napig iránymutató.

Köszönöm édesanyám, családom támogatását. Külön köszönet feleségemnek, Dr. Halász Júliának a szakmai segítségért, a szeretetteljes családi háttérért, és ikergyermekeimnek, a hároméves Julikának és Donikának türelmükért, hogy számos délután eltűrték kényszerű kimaradásom a közös játékból.

*„A világ túl nagy már ahhoz, hogy megértenénk,
Kár lenne pusztulni hagyni, mit készen tett elénk;
Gyümölcs nedvének ízeit, folyók hűsítő cseppjeit.
Ez az, ami nem múlhat el,
Soha, soha nem múlhat el,
Míg ember él a földtekén.”*

(Demjén Ferenc: *Soha, soha nem múlhat el*, 1974)

MELLÉKLETEK

1. melléklet. A vizsgált fajok és fajták/genotípusok neve, jelölése, a genotípusok származása, a gyümölcs érésideje, a gyümölcsszín, a gyümölcstömeg (átlag $\pm$ szórás), a gyümölcs présnedvének oldható szárazanyag-tartalma (átlag $\pm$ szórás), a termőhely (mintagyűjtés helyszíne) és a vizsgálat éve

Faj- és fajtanév	Eredet	Érésidő	Szín	Átlagos gyümölcs-tömeg (g)	Oldható szárazanyag-tart. (%)	Termőhely	Vizsgálat éve
Cseresznye							
1) Alex	Van × Cherry Self Fertile 46	VI. k.	Sötétpiros	5,1±0,6	14,4±1,1	Nagykutas	2007
2) Bujnajszkaja	Ukrán fajta	VI. k.	Piros	6,3±0,7	17,4±1,0	Szigetcsép	2010
3) Celeste	Kanada, Van × New Star	VI. e.	Mahagónivörös	7,8±1,3	19,1±1,4	Nagykutas	2007
4) Chelan	Stella × Beaulieu	VI. e.	Mahagónivörös	5,6±1,0	18,5±1,8	Nagykutas	2007
5) Dagesztanka	Aprelka Csernaja × Drogana Zeltaja	VI. k.	Feketésbordó	8,3±1,0	16,0±2,4	Szigetcsép	2010
6) Ferrovia	Olaszország, tájszelekció	VI. k.	Borvörös	9,3±1,1	16,4±2,2	Nagykutas	2007
7) Firm red	Large Red × Garnet	VI. e.	Vöröses fekete	10,9±1,6	18,0±1,6	Siófok	2007
8) Germersdorfi	Németország, ismeretlen	VI. k.	Sötét bordópiros	7,7±0,5	12,9±0,4	Siófok	2007

Faj- és fajtanév	Eredet	Érésidő	Szín	Átlagos gyümölcs-tömeg (g)	Oldható szárazanyag-tart. (%)	Termőhely	Vizsgálat éve
9) Germersdorfi 3	Németország, szelektált klón	VI. 18-25.	Sötét bordópiros	7,8±0,7	15,8±1,3	Siófok	2007
10) Giant red	Large Red × Ruby	VI. eleje	Feketéspiros	5,4±0,8	15,5±1,1	Balatonvilágos	2007
11) Junszkaja rannaja	Ukrajna, –	VI. e.	Világospiros	6,8±1,2	16,7±0,8	Szigetcsép	2010
12) Katalin	Germersdorfi óriás × Podjebrád	VI. v.	Bordópiros	6,8±0,7	13,9±1,5	Nagykutas	2007
13) Kodrinszkaja	Ukrán fajta, ismeretlen	VI. k.	Sötétbordó	8,3±0,6	17,3±1,9	Szigetcsép	2010
14) Krimszkaja nocs	Bigarreau Goshe × Csernyi orel	VI. k.	Bordópiros	7,1±0,7	14,9±1,0	Szigetcsép	2010
15) Krupnoplodnaja	Napoleon bel. × (Valerij Cskalov + Elton + Zhab)	VI. v.	Sötét kárminpiros	8,5±0,9	14,8±1,2	Szigetcsép	2010
16) Kutuzovka	Bigarreau Goshe × Csernaja rannaja Naita	VI. k.	Feketésbordó	5,4±0,6	17,7±1,9	Szigetcsép	2010
17) Linda	Hedelfingeni óriás × Germersdorfi óriás	VI. k.	Sötét bordópiros	7,6±0,6	16,0±1,5	Siófok	2007

Faj- és fajtanév	Eredet	Érésidő	Szín	Átlagos gyümölcs-tömeg (g)	Oldható szárazanyag-tart. (%)	Termőhely	Vizsgálat éve
18) Melitopolszkaja krapcsataja	Frantszisz × Vilgelmina Kleidin	VI. k.	Piros	7,4±0,6	12,5±1,6	Szigetcsép	2010
19) Perszpektivnaja	Csernaja Daibera × (Krasznaja pozdnaja bjutnyera + Csernyi orel)	VI. k.	Sötétpiros	6,0±0,7	17,5±1,0	Szigetcsép	2010
20) Podbelszkaja	Ukrán fajta	VI. k.	Piros	5,1±0,7	14,9±1,4	Szigetcsép	2010
21) Regina	Német, Schneiders Spate Knorpelkirsche × Rube	VI. v.	Sötét bordópiros	12,9±0,7	17,4±1,2	Nagykutas	2007, 2010
22) Santana	Kanada, Stella × Summit	VI. k.	Világospiros	6,7±0,2	12,5±1,3	Nagykutas	2007
23) Transzportabelnaja	Frantszisz × Velgelmina Kleindinst	VI. k.	Világospiros	6,3±0,8	17,6±0,8	Szigetcsép	2010
24) Truzsenyica sztyepi	Ukrán fajta	VI. k.	Világospiros	7,5±0,6	17,5±0,9	Szigetcsép	2010
25) Van	Empress Eugenie × Ismeretlen	VI. k.	Sötét bordópiros	6.1 ±0.3	18,0±1,7	Siófok	2007
26) 2115	Ismeretlen	VI. k.	Piros	5,9±1,0	16,4±2,1	Szigetcsép	2010

Faj- és fajtanév	Eredet	Érésidő	Szín	Átlagos gyümölcs-tömeg (g)	Oldható szárazanyag-tart. (%)	Termőhely	Vizsgálat éve
Meggy							
27) Cigány 7	Tájszelekció	VI. 20–25.	Sötét bordópiros	3,7±0,6	20,4±1,0	Újfehértó	2008–2011
28) Cigány 59	Tájszelekció	VI. 25–28.	Sötét bordópiros	3,1±0,4	12,3±1,7	Újfehértó	2008
29) Cigány C404	Tájszelekció	VI. 20–25.	Sötét bordópiros	3,6±0,6	16,1±1,3	Újfehértó	2008
30) Csengődi	Tájszelekció	VI. 5–10.	Sötét bordópiros	6,5±0,4	19,5±1,6	Újfehértó	2008
31) Debreceni bőtermő	Tájszelekció	VII. e.	Sötétpiros	5,7±0,5	14,4±0,6	Újfehértó	2007–2011
32) Érdi bőtermő	Pándy × Nagy angol	VI. k.	Sötét kárminpiros	6,6±0,5	16,6±1,0	Újfehértó	2007–2011
33) Éva (T)	Tájszelekció, Fényeslitke	VII. e.	Sötétpiros	5,70±0,78	17,2±2,1	Újfehértó	2007–2011
34) Fanal	Latos meggy × Ismeretlen	VII. e.	Feketéspiros	6,7±0,9	18,7±0,3	Veszprém	2011
35) Kántorjánosi 3	Tájszelekció	VI. v.	Világos bordópiros	6,4±0,5	18,5±1,6	Újfehértó	2008–2011

Faj- és fajtanév	Eredet	Érésidő	Szín	Átlagos gyümölcs-tömeg (g)	Oldható szárazanyag-tart. (%)	Termőhely	Vizsgálat éve
36) Korai pipacs	Pándy × Császár	VI. közepe	Világospiros	4,7±0,4	17,3±0,9	Újfehértó	2007
37) Oblacsinszka	A volt Jugoszlávia területéről származik, Ismeretlen	VI. v.	Sötét bordópiros	3.4±0.5	16,5±1,0	Újfehértó	2008–2011
38) Pándy 279	Tájszelekció	VI. v.	Sötétpiros	7,2±0,7	18,2±1,7	Újfehértó	2008–2011
39) Petri (R)	Tájszelekció	VII. e.	Sötétpiros	6,4±0,7	16,2±1,9	Újfehértó	2007–2011
40) Pipacs 1	Tájszelekció, Kecel	VI. v.	Világospiros	6,5±1,0	23,1±1,0	Újfehértó	2007–2011
41) Újfehértói fürtös	Tájszelekció, Újfehértó	VII. e.	Bordópiros	5,5±0,5	17,0±0,4	Újfehértó	2007–2011
42) VN-1	Tájszelekció, Vásárosnamény	VI. k.	Fekete	4,47±0,3	19,8±0,5	Újfehértó	2008–2011
43) VN-4	Tájszelekció, Vásárosnamény	VII. e.	Fekete	6,0±0,6	20,2±0,9	Újfehértó	2008
44) VN-7	Tájszelekció, Vásárosnamény	VI. k.	Fekete	6,5±0,6	16,8±1,0	Újfehértó	2008–2011

Faj- és fajtanév	Eredet	Érésidő	Szín	Átlagos gyümölcs-tömeg (g)	Oldható szárazanyag-tart. (%)	Termőhely	Vizsgálat éve
Japánszilva							
45) Angeleno	Queen Ann × Ismeretlen, Garabedian	IX. v.-X. e.	Sötétibolya héj, világossárga hús	55,3±15,2	16,3±0,7	Nagykutas	2006, 2009
46) Autumn Giant	USA, Zaiger, Roysum × King David	X. e-k.	Sárga alapon sötét rózsaszín héj, sárga hús	79,5±10,7	14,8±0,7	Nagykutas	2006, 2009
47) Black Amber	USA, Friar × Queen Rosa	VIII. k.	Fekete héj, világossárga hús	79,3±6,0	11,0±1,3	Pallag	2006
48) Black King	–	IX. e.	Feketés-kék	49,7±10,4	–	Derecske	2006
49) Dapple Dandy	USA, Zaiger, (Laroda x Queen Ann) × plumcot	VIII. k.	Zöldessárga, piros héj, vörös hús	81,8±25,5	–	Balatonvilágos	2006
50) Early Angeleno	–	VII. k.	Sötétibolya héj, világossárga hús	86,1±15,0	9,30±1,7	Pallag	2006, 2009
51) Fortune	Laroda × B65-11	VIII. v.	Bíbor héj, sárga hús	67,9±9,1	13.1±1,3	Pallag	2006
52) Giant	–	IX. e.	Kékeslila héj, sárga hús	84,2±7,6	–	Derecske	2006

Faj- és fajtanév	Eredet	Érésidő	Szín	Átlagos gyümölcs-tömeg (g)	Oldható szárazanyag-tart. (%)	Termőhely	Vizsgálat éve
53) Olinda	–	VIII. v.	Sárga héj és hús	68,0±6,1	–	Siófok	2006
54) Santa Rosa	Ismeretlen	VII. v.	Bíbor héj, borostyán hús	79,0±10,9	13,8±1,4	Pallag	2006, 2009
55) Super Giant	–	IX. k.	Kékeslila héj, sárga hús	89,4±13,4	–	Derecske	2006
56) Sweet Autumn	–	VIII. k.	Kék héj, sárga hús	—	–	Derecske	2006
57) TC sun	Ismeretlen	IX. e.	Narancssárga héj, sárga hús	48,3±5,1	13,5±1,2	Derecske	2006
58) 109/95 hibrid	–	IX. e.	Piros héj, sárga hús	64,1±9,0	–	Balatonvilágos	2006
59) 106 hibrid	–	IX. e.	Sötétibolya	37,9±4,0	–	Balatonvilágos	2006

Faj- és fajtanév	Eredet	Érésidő	Szín	Átlagos gyümölcs- tömeg (g)	Oldható szárazanyag- tart. (%)	Termőhely	Vizsgálat éve
Cseresznyeszilva							
60) PC1	Ismeretlen eredetű magonc	VIII. e.	Sárga	8,9±1,2	–	BCE Arborétum	2006
61) PC2	Ismeretlen eredetű magonc	VII. v.	Sárga	10,7±0,5	–	BCE Arborétum	2006
62) PC3	Ismeretlen eredetű magonc	VIII. e.	Sárga	8,8±1,3	–	BCE Arborétum	2006
63) PC4	Ismeretlen eredetű magonc	VIII. e- k.	Sötétbíbor	9,4±1,4	–	BCE Arborétum	2006
64) PC6	Ismeretlen eredetű magonc	VIII. e.	Sárga	8,7±1,2	–	BCE Arborétum	2006
65) PC8	Ismeretlen eredetű magonc	VIII. e.	Sárga	6,7±0,9	–	BCE Arborétum	2006
66) PCA	Ismeretlen eredetű magonc	VI. v.	Sárga	8,1±0,8	–	BCE Arborétum	2006

Faj- és fajtanév	Eredet	Érésidő	Szín	Átlagos gyümölcs-tömeg (g)	Oldható szárazanyag-tart. (%)	Termőhely	Vizsgálat éve
Kökény és kökényszilva							
67) Sömjén 1	<i>P. spinosa</i> magonc	X. k.	Mélykék	1,1±0,2	–	Kemenessömjén	2006
68) L4/1	<i>P. spinosa</i> magonc	X. k.	Mélykék	8,5±0,3	11,4±0,6	Lövőpetri	2011
69) L1	<i>P. spinosa</i> × <i>P. domestica</i>	IX. e.	Mélykék	–	–	Lövőpetri	2011
70) L2	<i>P. spinosa</i> × <i>P. domestica</i>	IX. k.	Mélykék	4,0±0,7	14,8±2,1	Lövőpetri	2011
71) L5	<i>P. spinosa</i> magonc	IX. k.	Mélykék	5,5±1,0	17,5±0,4	Lövőpetri	2011
72) D5	<i>P. spinosa</i> magonc	X. k.	Mélykék	2,4±0,4	17,5±0,9	Lövőpetri	2011
73) S2	<i>P. spinosa</i> magonc	X. k.	Mélykék	2,5±0,3	22,0±1,5	Lövőpetri	2011
74) S3	<i>P. spinosa</i> magonc	X. k.	Mélykék	–	–	Lövőpetri	2011
75) U1	<i>P. spinosa</i> magonc	X. k-v.	Mélykék	1,7±0,2	24,1±2,5	Lövőpetri	2011
76) Z1	<i>P. insititia</i> magonc	IX. k.	Mélykék	6,1±0,3	21,4±1,9	Lövőpetri	2011

Faj- és fajtanév	Eredet	Érésidő	Szín	Átlagos gyümölcs-tömeg (g)	Oldható szárazanyag-tart. (%)	Termőhely	Vizsgálat éve
Európai szilva							
77) Besztercei Bt. 2	Ismeretlen	IX. e-k.	Sötétkék	18,1±0,9	19,5±1,9	Méntelek	2007
78) Révfülöpi szilva	Tájszelekció	IX. e-k.	Sötétkék	22,5±0,5	–	Méntelek	2007
Őszibarack							
79) Babygold 5	USA, P.I.35201 × (J.H. Hale × Goldfinch)	VIII. k.	Sárga húsú konzervipari fajta	118±10,8	11,9±0,6	Sóskút	2010
80) Belmondo	–	VIII. k.	Laposbarack	61,9±4,3	–	Magánkert (Bp.)	2009
81) Mesembrine	Franciaország, ismeretlen	VII. v.	Lapos nektarin, sárgahúsú	63,9±9,1	13,0±1,5	Boldogkőváralja	2009
82) Michelini	Olaszország, ismeretlen	IX. k.	Fehérhúsú ób.	141±11	12,1±0,8	Pallag	2009
83) Nect. Platt White	–	VII. v.	Fehérhúsú, lapos nektarin	64,2±11,1	17,5±1,5	Nagykutas	2009
84) Ornella	Franciaország	VIII. v.	Lapos nektarin, sárgahúsú	65,1±10,1	14,0±1,3	Boldogkőváralja	2009

Faj- és fajtanév	Eredet	Érésidő	Szín	Átlagos gyümölcs-tömeg (g)	Oldható szárazanyag-tart. (%)	Termőhely	Vizsgálat éve
85) Padana	Olaszország	IX. k.	Sárgahúsú ób.	150±12	–	Pallag	2009
86) Piatta Bianca 2	Olaszország	VIII. e.	Fehérhúsú laposbarack	91,0±15,0	14,9±2,3	Nagykutas	2009
87) PY00401H	–	VII. k.	Laposbarack	87,2±21,6	13,5±2,7	Nagykutas	2009
88) Redhaven	USA, Halehaven × Kalhaven	VIII. e.	Sárgahúsú ób.	77,3±7,4	14,3±1,0	Nagykutas	2009
89) Redhaven Bianca	Olaszország, rügymut.	VIII. e.	Fehérhúsú ób.	86,8±8,1	13,1±1,3	Nagykutas	2009
90) Ruby rich	–	VII. k.	Sárgahúsú ób.	110,3±6,1	8,2±1,1	Magánkert (Bp.)	2009
91) Stark Saturn	USA	VII. k.	Fehérhúsú laposbarack	77,3±7,4	14,3±1,0	Nagykutas	2009
92) Suncrest	USA, Padana × Gold Dust	VIII. k.	Sárgahúsú ób.	126±8	8,7±0,2	Pallag	2009
93) Sweet Lady	Olaszország	IX. k.	Sárgahúsú nektarin	144±8	–	Pallag	2009
94) UFO-4	USA, ismeretlen	–	Laposbarack	74,6±5,5	13,4±0,3	Boldogkövőralja	2009
95) Vérbarack	Magyarország, ismeretlen	IX. v.	Zöldes héj, vérvörös hús	122±14	11,9±0,2	Soroksár	2009

Faj- és fajtanév	Eredet	Érésidő	Szín	Átlagos gyümölcs-tömeg (g)	Oldható szárazanyag-tart. (%)	Termőhely	Vizsgálat éve
Kajszi							
96) Anansznij cjurpinszkij	Ukrajna	VII. k.	Krémszínű, piros	31,1±4,1	15,3±1,1	Szigetcsép	2006, 2007
97) Aurora	USA, RR17-62 × NJA-13	VI. k.	Zöldes narancssárga, élénkpiros	50,1±6,2	13,6±1,2	Szigetcsép	2006, 2007
98) Ázsiai magonc	Közép-Ázsia	VII. e.	Világos narancssárga, piros	58,7± 4,9	17,3±0,9	Szigetcsép	2006, 2007
99) Baneasa 4/11	Románia	VII. k.	Aranysárga, piros	55,8±5,7	14,1±1,0	Szigetcsép	2006, 2007
100) Bayoto (Flavor Cot)	USA	VII. e.	Sötét narancssárga, halványpiros	74,7±8,5	17,2±1,2	Balatonvilágos	2010
101) Bergarouge	Bergeron × Orange Red	VII. k.	Sötét narancssárga, sötétpiros	49,6±4,1	13,7±0,7	Balatonvilágos	2010
102) Bergeron	Franciaország, magonc	VII. v.	Narancssárga, élénkpiros	36,3±4,6	15,9±1,3	Szigetcsép	2006, 2007

Faj- és fajtanév	Eredet	Érésidő	Szín	Átlagos gyümölcs-	Oldható szárazanyag-	Termőhely	Vizsgálat éve
103) Budapest	Magyarország, Nancy × (Acme, Magyarkajsi, Kései rózsza)	VII. k.	Világos narancssz., piros fsz.	61,1±6,0	15,5±1,5	Szigetcsép	2006, 2007
104) Ceglédi arany	Magyarország, Rózsabarack C. 1668 × Ceglédi óriás	VII. k.	Aranysárga, kárminpiros	51,7±5,8	14,2± 1,1	Szigetcsép	2006, 2007
105) Ceglédi óriás	Magyarország, tájszelekció	VII. e.	Narancsszínű, élénkpiros fsz.	66,9±4,4	15,7±1,5	Szigetcsép	2006, 2007
106) Ceglédi Piroska	Magyarország	VII. e.	Fényes narancssárga, sötétpiros	49,6±5,1	14,6±1,2	Szigetcsép	2006, 2007
107) Goldrich (Jumbocot)	USA, Sunglo × Perfection	VII. e.	Fényes narancsszínű	70,4±7,0	14,7±1,6	Szigetcsép	2006, 2007
108) Gönci magyarkajsi	Magyarország, tájszelekció	VII. k.	Narancssárga, kárminpiros	60,2±6,1	16,1±1,4	Szigetcsép	2006, 2007

Faj- és fajtanév	Eredet	Érésidő	Szín	Átlagos gyümölcs- tömeg (g)	Oldható szárazanyag- tart. (%)	Termőhely	Vizsgálat éve
109) Harcot	Kanada, (Geneva × Narmata) × Morden 604 × NJA1	VII. k.	Sötét narancssárga	78,2±5,0	–	Boldogkőváralja	2010
110) Harmat	Magyarország (örmény), Salah szabad megporzása	VI. k.	Világos narancssárga	42,6±5,3	12,7±1,4	Szigetcsép	2006, 2007
111) Kecs-psár	Üzbegisztán, tájszelekció	VIII. v.	Narancssárga, lénkpiros	36,6±5,2	21,1±1,7	Szigetcsép	2006, 2007
112) Korai zamatos	Magyarország (örmény), Jubilar szabad megporzása	VI. v.	Narancssárga, halványpiros	44,3±4,4	15,2±1,6	Szigetcsép	2006, 2007
113) Latter Sabatini	Olaszország	–	–	47,8±3,8	–	Boldogkőváralja	2010
114) Mandulakajszi	Magyarország, magonc	VII. k.	Világos narancs, piros	77,5± 4,1	15,6±1,3	Szigetcsép	2006, 2007
115) Ninfa	Olaszország, Ouardi × Tyrinthos	VI. v.	–	–	11,4±1,1	Boldogkőváralja	2010

Faj- és fajtanév	Eredet	Érésidő	Szín	Átlagos gyümölcs- tömeg (g)	Oldható szárazanyag- tart. (%)	Termőhely	Vizsgálat éve
116) NJA-1	USA, Perfection × Phelps	VII. e-k.	Krémsárga, narancssárga	77,4±4,8	15,6±1,2	Szigetcsép	2006, 2007
117) Orange red	USA (Lasgerdi Mashhad × NJA-2)	VI. v.	Narancssárga, élénkpiros	51,7± 5,5	15,0±1,6	Szigetcsép	2006, 2007
118) Pannónia	Magyarország	VII. k.	Világos narancsszínű, rózsaszín	56,1±4,0	16,2±1,4	Szigetcsép	2006, 2007
119) Perlecot	USA	VI. v.	Fénylő narancss., piros	42,7±5,0	13,1±1,3	Boldogkőváralja	2010
120) Pisana	Olaszország, Prec. Toscana × Prec. Toscana	VII. k.	Narancssárga, enyhén piros	64,8±5,9	15,4±1,6	Szigetcsép	2006, 2007
121) Polumella	Olaszország	VII. e.	–	69,6±8,8	15,2±0,9	Nagykutas	2009
122) Preventa	Magyarország (Közép- Ázsia)	VII. e.	Narancssárga	51,8±6,8	13,9±1,5	Szigetcsép	2006, 2007
123) Salah	Örményország, ismeretlen	VI. v.- VII. e.	Világos narancssárga	43,4±6,1	15,8±1,1	Szigetcsép	2006, 2007

Faj- és fajtanév	Eredet	Érésidő	Szín	Átlagos gyümölcs-tömeg (g)	Oldható szárazanyag-tart. (%)	Termőhely	Vizsgálat éve
124) San Castrese	Olaszország	VII. e.	–	54,2±11,0	–	Nagykutas	2010
125) Szamarkandszkij rannij	Üzbegisztán	VII. k.	Narancssárga	33,4±3,2	12,4±1,4	Szigetcsép	2006, 2007
126) Sztjepnyak	Ukrajna	VII. e-k.	Krémsárga, narancsszín	36,2±3,0	17,2±1,4	Szigetcsép	2006, 2007
127) T-8	Magyarország, Salah szabad megporzása	VI. k.	Narancssárga	36,2±3,5	15,2±1,6	Szigetcsép	2006, 2007
128) Toyaco (Tomcot)	USA, Rival × PA 63-265	VII. e.	Narancssárga	40,2±5,2	16,9±1,8	Boldogkövőralja	2006, 2007, 2010
129) Toyesi (Goldstrike)	USA, Goldrich × (Earlil × Blenril)	VI. v.	Narancssárga, élénkpiros	71,0±6,1	12,8±1,3	Boldogkövőralja	2007
130) Toyiba (Goldbar)	USA, Goldrich × Blenril	VI. v.-VII. e.	Narancssárga, piros	49,7±7,8	11,5±1,0	Boldogkövőralja	2010
131) Toyuda (Sweet Cot)	USA, Goldrich leszármazottja	VI. k.	Narancssárga, halványpiros	56,0±5,1	14,6±0,8	Boldogkövőralja	2007

Faj- és fajtanév	Eredet	Érésidő	Szín	Átlagos gyümölcs-	Oldható szárazanyag-	Termőhely	Vizsgálat éve
132) Vitillo	Olaszország, magonc	VII. e.	—	100,0±15,2	17,1±2,7	Nagykutas	2009
133) Zard	Üzbegisztán, tájszelekció	VII. k.	Krémsárga	22,9±4,4	21,1±1,5	Szigetcsép	2006, 2007
134) Zebra (Priboto)	Francaiország, Goldrich rügymutációja	VII. k.	Fénylő narancssárga, piros	69,5±8,2	11,9±1,3	Balatonvilágos	2010
135) 18/61-es hibrid	Ismeretlen	VI. k.	Világos narancssárga, halványpiros	44,1±5,8	13,3±1,4	Szigetcsép	2011

^aA minták a Budapesti Corvinus Egyetem Genetika és Növénynevelés Tanszékének szigetcsépi kajszigénbankjából; a Debreceni Egyetem, Agrártudományi Centrum pallagi ültetvényéből, az Újfehértói Gyümölcsstermesztési Kutató és Szaktanácsadó Kht. génbankjából származnak, továbbá az Alma 2000 Kft nagykutas, a Balaton Fruit Kft. balatonvilágosi, a Bold Agro derecskei, a North-Cot Kft. boldogkővárjai és a Siófoki Gyümölcsstermesztési Zrt. siófoki árutermő ültetvényéből. A cseresznyeszilva gyümölcsöket a Budapesti Corvinus Egyetem Budai Arborétumában szedték. Mintákat kaptunk továbbá a Morello Kft. veszprém megyei ültetvényéből valamint egy ménteleki, lövőpetri és kemenessömjéni magánkertből.

— nincs adat

e: eleje, k: közepe, v: vége