

dc_634_12

MTA
Doktori Értekezés Tézisei

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

Hegedűs Attila

Budapesti Corvinus Egyetem
Kertészettudományi Kar
Genetika és Növénynevelés Tanszék

Budapest
2013

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 vegyünk 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 ételmisszerek 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 fajták számos értékmérő tulajdonságán javítani kell ahhoz, hogy árutermő ültetvényekben gazdaságosan termesztethők 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 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 vegyületsorok 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.

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.

3 ANYAG ÉS MÓDSZER

3.1 Növényanyag

A vizsgálatokhoz kilenc faj összesen 133 fajtáját használtuk fel. A génexpresszió vizsgálatához a kajszi- és meggy-gyümölcsöket két-két fajtáról öt különböző érési stádiumban szedtük le.

3.2 A fizikai-kémiai paraméterek meghatározása

A friss gyümölcsök méretét (magasság, varratra mérőlegesen 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 kajszi 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. A meggy gyümölcs-homogenizátum pH-ját HANNA pH212 digitális pH-mérővel (Woonsocket, USA) határoztuk meg.

A gyümölcsök színét jellemző CIELAB színkoordinátákat Konica Minolta CR-410 típusú (Tokió, Japán) színmérő készülék használatával határoztuk meg.

3.3 Extrakció

A gyümölcs-kivonatokat 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 gyümölcs-homogenizátumot 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). 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. Centrifugálást követően (Mikro 22 R; 8.000 g, 10 perc, 23 °C) a felülúszót új csövekbe pipettáztuk. 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 gyümölcs pép felülúszójának egy liter térfogatára számítva adtam meg, vagy a magozott, de héjától meg nem fosztott gyümölcs friss (100 g) illetve száraz (1 g) tömegére vonatkoztatva.

3.4 Összes antioxidáns kapacitás mérése FRAP-módszerrel

Az összes antioxidáns kapacitást, az ún. FRAP-értéket (*Ferric Reducing Antioxidant Power*) Benzie és Strain (1996, *Anal. Biochem.*, 239: 70–76) módszerével mértük ($\lambda=593$ nm). Az eredményeket mmol aszkorbinsav egyenérték/L ülepített gyümölcshomogenizátum, illetve mmol aszkorbinsav egyenérték/100 g friss illetve 1 g száraz tömeg mértékegységben adtuk meg.

3.5 Összes antioxidáns kapacitás meghatározása TEAC-módszerrel

Az összes antioxidáns kapacitást TEAC módszerrel (*Trolox Equivalent Antioxidant Capacity*) Miller és mts. (1993, *Clin. Sci.*, 84: 407–412) alapján is meghatároztuk. Az eredményeket mmol trolox egyenértékben fejeztük ki.

3.6 DPPH gyökfogó kapacitás

Az 1,1-difenil-2-pikrilhidrazil (DPPH) stabil szabadgyökkel szembeni semlegesítő hatást Blois (1958, *Nature*, 4617: 1198–1200) módszerével végeztük, a Hatano és mts. (1988, *Chem. Pharm. Bull.*, 36: 2090–2097) által javasolt módosítások figyelembevételével. 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.

3.7 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, *Clin. Chem.*, 45: 895–896). Az emittált fényt 390 és 620 nm között detektáltuk. 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: $RLU \% = RLU_{\text{minta}} * 100 / RLU_{\text{vak}}$.

3.8 Fotokemilumineszcenciás mérés Photochem készülékkel

A víz- (ACW) és zsírolldható (ACL) antioxidáns kapacitás meghatározása a Popov és Lewin (1994, *Free Radical Bio. Med.*, 17: 267–271 és 1996, *J. Biochem. Bioph. Meth.*, 31: 1–8) által leírt fotokemilumineszcencia elvén történt. Az eredményeket vízzoldható antioxidáns kapacitás esetében mmol aszkorbinsav/L, míg zsírolldható antioxidáns kapacitás esetében mmol trolox/L adtuk meg.

3.9 Az összes polifenol-tartalom (TPC) meghatározása

Az összes polifenol-tartalom mennyiségét ($\lambda=760$ nm) a Singleton és Rossi (1965, *Am. J. Enol. Viticult.*, 16: 144–158) által leírt módszer alapján, Folin-Cicolteu reagens használatával

határoztuk meg. Az eredményeket mg galluszsav egyenértékben fejeztük ki.

3.10 Az összes monomer antocianintartalom meghatározása

A mérést 200 mg mintából, Lee és mts. (2005, *J. AOAC Int.*, 88: 1269–1278) 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 egyenértékre számítottuk ki.

3.11 A C-vitamin-tartalom meghatározása

A C-vitamin mennyiségi meghatározása a BCE Alkalmazott Kémia Tanszéken kidolgozott módszer alapján történt (Engel és mts., 2010, *Acta Aliment. Hung.*, 39: 48–58). Az elválasztás és a mennyiségi meghatározás HPLC-DAD rendszerrel (Agilent, Santa Clara, USA) történt. Az eredményeket mg/100 g friss gyümölcs értékben fejeztük ki.

3.12 DNS-izolálás

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

3.13 RNS-izolálás

Az RNS-kivonáshoz a forró bórsavas extrakciót alkalmaztuk (Wan és Wilkins, 1994, *Anal. Biochem.*, 223: 7–12). Az RNS DN-áz (Fermentas Life Sciences, Burlington, Kanada) emésztését a gyártó utasításai szerint hajtottuk végre. Az RNS- és cDNS-szuszpenzió mennyiségi és minőségi ellenőrzését Nano Drop ND-1000 (NanoDrop Technologies, Wilmington, USA) spektrofotométerrel végeztük.

3.14 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.

3.15 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* (glicerinaldehyd-3-P-dehidrogenáz). A *PAL* génre a korábban cseresznyére tervezett primerpárt használtuk (Sonneveld és mts., 2003, *Theor. Appl. Genet.*, 107: 1059–1070).

A PCR-hez 50 ng DNS-t vagy cDNS-t használtunk 25 µl végtérfigatban. 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.

3.16 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 festékekkel mutattuk ki, 1-kb+ DNS-markert (Promega, Madison, USA) és GeneRuler Low Range DNS-markert (Fermentas) használtunk.

3.17 A PCR-termékek tisztítása, klónozása és szekvenálása

A megfelelő méretű PCR-termékek agarózgélből történő izolálását QIAquick Gel Extraction Kit (Qiagen) segítségével végeztük. A klónozáshoz a pGEM-T Easy Vector Systemet (Promega) használtuk. A klónozott fragmentumokat JM109 kompetens sejtekbe transzformáltuk.

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.

3.18 Valós idejű PCR

3.18.1 A qPCR primerek tervezése

Valós idejű qPCR kísérleteink során az *RP-II* (*RNS-polimeráz II*) referenciagént használtuk. Az optimális tapadási hőmérsékletet gradiens PCR segítségével határoztuk meg. A célgénnek többségét saját tervezésű primerpárokkal vizsgáltuk. A célgénnek expressziós vizsgálatához használt, specifikus primereket egy bizonyos qPCR protokollhoz, „assay”-hez terveztük. Az assay során minden qPCR paraméter (hőmérséklet, időtartam) azonos volt.

3.18.2 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 végtérfogatú 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.

3.18.3 Az adatok kiértékelése

A valós idejű PCR-adatokat a Rotor-Gene 6000 Series Software 1.7 segítségével rögzítettük. Az adatok kiértékeléséhez a „*Comparative Quantitation Analysis*” funkciót választottuk, mely a PCR-görbék TOP („*Take Off Point*”) értékéhez meghatározza a PCR-hatékonyságot (E) is.

3.18.4 Adatok illesztése („*data pooling*”)

Minden lehetséges laboratóriumi műveletet, pl. RNS-izolálás, cDNS-szintézis stb. azonos körülmények között végeztünk el. Kiszámítottuk a legnagyobb és legkisebb expressziót mutató minták esetén az E^{TOP} hatványértéket. Ezeket a TOP és E értékeket betápláltuk a REST 2009 („*Relative Expression Software Tool*”) V2.0.13) programba, mely az egyes mintasorozatok relatív expressziós értékeit ezekhez viszonyítva állapította meg.

3.19 Statisztikai értékelés

A gyümölcsfajok antioxidáns kapacitásának és összes polifenol-tartalmának összehasonlításához Welch-próbát használtunk.

A fajták antioxidáns paramétereinek összehasonlítására – a normalitás és szóráshomogenitás vizsgálatát követően – egytényezős varianciaanalízist (ANOVA) végeztünk. A középérték-összehasonlító tesztek közül a Duncan-féle analízist végeztük el. A csoporton belüli varianciák egyezőségét a Levene-teszttel ellenőriztük. A genotípus illetve évjárat befolyásoló hatását a kajszi- és meggyfajták antioxidáns kapacitására és összes polifenoltartalmára kéttényezős varianciaanalízissel vizsgáltuk.

A szignifikáns különbségeket $P \leq 0,05$ szinten határoztuk meg. 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 relatív szórás 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.

3.20 Bioinformatikai elemzés

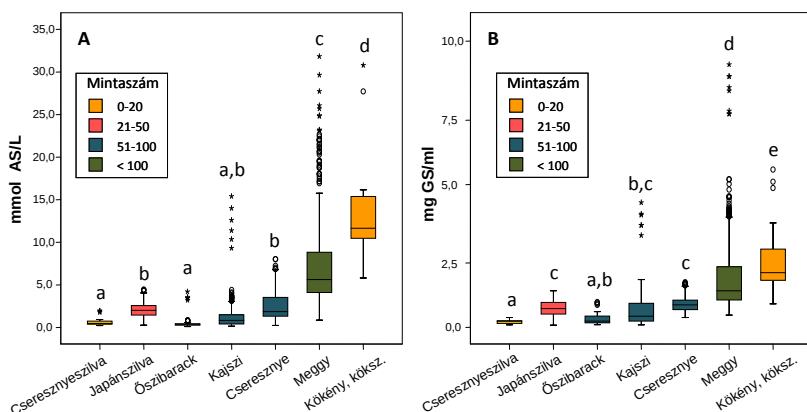
Az NCBI és EST adatbázisokból letöltött nukleotid- és aminosav-szekvenciákat a BioEdit v.7.0.9.0 programmal illesztettük. A primereket az IDT Oligo Analyzer szoftver (www.idtdna.com) használatával ellenőriztük.

A homológia keresés során az NCBI *blastn* programot használtuk. Az azonosított kajszi és meggy szekvenciákat kereső szekvenciaként használva *blastx* keresést (BLOSUM62 paraméterrel) hajtottunk végre az őszibarackgenomon a Phytozome v9.0 szoftver használatával.

4 EREDMÉNYEK

4.1 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.



1. ábra. A csonthéjas gyümölcsök antioxidáns kapacitásának (A) és összes polifenol-tartalmának (B) boxplot diagramja. A box közepén látható vonal a középítő 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.

A szignifikanciavizsgálat alapján az antioxidáns kapacitás szempontjából a fajokat a cseresznyeszilva = őszibarack < kajszi < japánszilva = cseresznye < meggy < kökény sorrendbe állíthatjuk (1. ábra). Az összes polifenol-tartalom szerint is hasonló (cseresznyeszilva < őszibarack < kajszi < japánszilva = cseresznye < meggy < kökény) sorrendet kaptunk.

A fajon belüli, intraspecifikus variabilitás mértéke szintén jelentősen eltért az egyes fajok esetében: kökény (4,6x) < cseresznye (9x) < cseresznyeszilva (11x) < meggy (15x) < japánszilva (16x) < kajszi (22x) < őszibarack (33x). Az összes polifenol-tartalom esetében: cseresznyeszilva (3x) < cseresznye (4,5x) < kökény (6x) < őszibarack (8x) < meggy (9x) < japánszilva (14x) < kajszi (35x). A variabilitás jelentős mértékben a kiugró értéket mutató genotípusoknak köszönhető.

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 kajszi 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.

Eredetüket tekintve csak elvétve találunk köztük keresztezéses nemesítési programból származó fajtákat (pl. néhány ukrán cseresznye), bár ezek pedigrijében 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 pedigrijében különböző fajok részvétele is feltételezhető. 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 szembetűnő mindez az őszibarack esetében, ahol a hatást a faj öntermékenyülő fenotípusa is felerősíti (Hegedűs és mts., 2006, *J. Am. Soc. Hortic. Sci.*, 131: 738–743; Scorza és mts., 1985, *J. Am. Soc. Hortic. Sci.*, 110: 547–552), 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.

4.2 Az antioxidáns paramétereket befolyásoló tényezők

A kéttényezős varianciaanalízis kimutatta, hogy a kajszi és meggy antioxidáns kapacitásának kialakításában a genotípus meghatározó jelentőségű. A meleg és száraz időjárás 2007-ben nagyobb polifenol-tartalmat idézett elő több kajszifajta gyümölcsében. 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 nagyobb májusi és júniusi maximum hőmérséklet és a napsütéses órák száma több fajta esetében ('Pándy 279', 'Kántorjánosi', 'Újfehértói fürtös', VN-1 stb.) fokozottabb antioxidáns kapacitással és összes polifenol-tartalommal társult.

A Preventa és 'Gönci magyarkajszi' gyümölcsének érése során az aszkorbinsav-felhalmozódás dinamikája nagyon hasonló volt, ami arra utal, hogy a folyamat kevésbé függ a genotípustól és a környezeti hatásoktól, inkább az érés fiziológiai következményeként alakul ki.

Ígazoltuk, hogy a Preventa és a 'Gönci magyarkajszi' gyümölcshéját nagyobb antioxidáns kapacitás jellemzi, mint a gyümölcshúst. A gyümölcsök érése során az antioxidáns kapacitás a 'Gönci magyarkajszi' esetén általában csökkenő, míg a Preventa esetén növekvő tendenciát mutatott.

4.3 Az antioxidáns kapacitást kialakító fő vegyületcsoportok azonosítása

Kimutattuk, hogy a C-vitamin- és az antocianintartalom kisebb mértékben befolyásolja az antioxidáns kapacitást, mint az összes polifenol-tartalom. Ugyanakkor a színtelen polifenoloknak óriási jelentőségük van bizonyos gyümölcsök (pl. ‘Pipacs 1’, ‘Preventa’ és ‘Melitoploszkaja krapcsataja’) esetében.

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

A kajszi gyümölcsökből (‘Gönci magyarkajszi’, 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 kajszi *F3’5’H* és *LAR* kandidáns gének esetében általunk meghatározott szekvenciák a *Prunus* nemzetségen belül az első megismert szekvenciák. A *PAL* gént 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.

4.5 A flavonoid-bioszintézis kandidáns gének expressziós változása

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.

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 magyarkajszi’-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 magyarkajszi’-hoz képest. Ezek a jelentősen nagyobb expressziós értékek feltehetően összefüggésben állnak a Preventa nagyobb antioxidáns kapacitásával.

A meggy – a kajszival ellentétben – általában a negyedik, ötödik érési fázisban rendelkezett a legnagyobb transzkriptum-mennyiséggel a legtöbb vizsgált gén esetében. 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.

A *MYB10* transzkripció faktor expressziójában szembetűnő különbség, hogy a VN-1 gyümölcshéj valamennyi érési fázisban többszörös *MYB10* expressziót mutat, mint a ‘Pipacs 1’ gyümölcshéja.

4.6 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. Átlagosan tizenegyszer nagyobb relatív katechintartalom volt mérhető a Preventa gyümölcshúsában, mint a ‘Gönci magyarkajszi’-ében. A katechinnél kimutatták, hogy ha gyümölcsfogyasztás révén kerül az emberi szervezetbe, hatékonyan véd a felső emésztőszervi daganatok kialakulásával szemben. Mindezek alapján a Preventa gyümölcsének egészségre gyakorolt hatása részletesebb vizsgálatokat érdemel.

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

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. Az ‘Újfehértói fürtös’ fogyasztása csak kismértékű, nem szignifikáns csökkenést okozott az LDL-koleszterin mennyiségében, 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.

Tekintettel arra, hogy az ateroszklerózis kialakulásának meghatározó kockázati tényezője az LDL-koleszterin megemelkedett mennyisége, 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, így a vizsgálatokat széles körben tovább kell folytatni.

A 'Pipacs 1' gyümölcsében kimutatott, jelentős mennyiségben akkumulálódó genisztein-glikokonjugátumok további izgalmas lehetőségeket vetnek fel számos betegség esetében. 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.

5 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 fekete cseresznye 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' gyümölcsbőrének nagyobb antioxidáns kapacitása jellemző, mint a gyümölcsbőr mezokarpiumáé. A gyümölcsbőr érése során az antioxidáns kapacitás a 'Gönci magyarkajszis' esetén általában csökken, 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 kajszi és meggy putatív flavonoid-bioszintézis génjeinek expressziója az érés során eltérő tendencia mentén változik: a kajszi 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.

**AZ MTMT ADATBÁZIS LEZÁRÁSÁT KÖVETŐ IDŐSZAK
EREDMÉNYEIVEL AKTUALIZÁLT ÉRTÉKMÉRŐK**

Kumulatív impaktfaktor: **42,520**

Független hivatkozások száma: **485**

Hirsch-index: **12**

AZ ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉBEN PUBLIKÁLT KÖNYVEK

1. Hegedűs, A., Stefanovitsné Bányai, É., szerk. (2012): Természetes antioxidáns-forrásunk: a gyümölcs. Debreceni Egyetem, AGTC Kutatási és Fejlesztési Intézet, Debrecen. ISBN 978-615-5183-26-3.

**AZ ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉBEN, IMPAKTDAKTOROS
FOLYÓIRATOKBAN PUBLIKÁLT KÖZLEMÉNYEK**

1. Stefanovits-Bányai, É., Szentmihályi, K., Hegedűs, A., Koczka, N., Váli, L. Taba, G., Blázovics, A. (2006): Metal ion and antioxidant alterations in leaves between different sexes of *Ginkgo biloba* L. Life Sci., 78(10): 1049–1056. **IF 2,389**
2. Hegedűs, A., Balogh, E., Engel, R., Sipos, B.Z., Papp, J., Blázovics, A., Stefanovits-Bányai, É. (2008): Comparative nutrient element and antioxidant characterization of berry fruit species and cultivars grown in Hungary. HortScience, 43(6): 1711–1715. **IF 0,914**
3. 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(2): 395–402. **IF 1,223**
4. Balogh, E., Hegedűs, A., Stefanovits-Bányai, É. (2010): Application of and correlation among antioxidant and antiradical assays for characterizing antioxidant capacity of berries. Sci. Hortic.-Amsterdam, 125: 332–336. **IF 1,045**

5. 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(9): C722–C730. **IF 1,733**
6. Yildiz, H., Sengul, M., Celik, F., Hegedus, A., Ercisli, S., Tosun, M. (2010): Some phytochemical and antioxidant characteristics of wild and cultivated blackberry fruits (*Rubus caucasicus*). J. Food Agric. Environ., 8(3–4): 156–159. **IF 0,425**
7. Hegedűs, A., Pfeiffer, P., Papp, N., Abrankó, L., 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: 201–206. **IF 0,670**
8. Celik, F., Ercisli, S., Yilmaz, S.O., Hegedűs, A. (2011): Estimation of certain physical and chemical fruit characteristics of various cherry laurel (*Laurocerasus officinalis* Roem.) genotypes. HortScience, 46(6): 924–927. **IF 0,886**
9. Pfeiffer, P., Hegedűs, A. (2011): Review of the molecular genetics of flavonoid biosynthesis in fruits. Acta Aliment., 40(Suppl.): 150–163. **IF 0,379**
10. Ercisli, S., Gozlekci, S., Sengul, M., Hegedűs, A., Tepe, S. (2012): Some physicochemical characteristics, bioactive content and antioxidant capacity of loquat (*Eriobotrya japonica* (Thunb.) Lindl.) fruits from Turkey. Sci. Hortic.-Amsterdam, 148: 185–189. **IF 1,527**
11. Hegedűs, A., Taller, D., Papp, N., Szikriszt, B., Ercisli, S., Halász, J., Stefanovits-Bányai, É. (2013): Fruit antioxidant capacity and self-incompatibility genotype of Ukrainian sweet cherry (*Prunus avium* L.) cultivars highlight their breeding prospects. Euphytica, 191: 153–164. **IF 1,554**

**AZ ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉBEN, NEM IMPAKTDAKTOROS,
LEKTORÁLT FOLYÓIRATOKBAN PUBLIKÁLT KÖZLEMÉNYEK
IDEGEN NYELVEN**

1. Stefanovits-Bányai, É., Engel, R., Hermán, R., Blázovics, A., Hegedűs, A. (2005): Antioxidant characterization of apricot (*Prunus armeniaca* L.) cultivars and hybrids. *International Journal of Horticultural Science*, 11(4): 47–51.
2. Szenthe, A., Stefanovits-Bányai, É., Blázovics, A., Hegedűs, A., Engel, R., Sipos, B.Z., Sárdi, É., Papp, J. (2006): Influence of strawberry and raspberry consumption on the antioxidant status of human body. *International Journal of Horticultural Science*, 12(3): 109–113.
3. Papp, N., Szilvássy, B., Szabó, Z., Nyéki, J., Stefanovits-Bányai, É., Hegedűs, A. (2008): Antioxidant capacity, total phenolics and mineral element contents in fruits of Hungarian sour cherry cultivars. *International Journal of Horticultural Science*, 14(1–2): 59–64.
4. Tordai, E., Papp, N., Szilvássy, B., Pedryc, A., Stefanovits-Bányai, É. (2009): Factors affecting apricot fruit antioxidant capacity and mineral element content. *International Journal of Horticultural Science*, 15: 95–99.
5. Pfeiffer, P., Halász, J., György, Z., Pedryc, A., Hegedus, A. (2009): Optimization of RNA isolation from stone fruits at different ripening stages. *International Journal of Horticultural Science*, 15: 101–104.
6. Papp, N., Nyéki, J., Szabó, Z., Stefanovits-Bányai, É., Szabó, T., Hegedűs, A. (2010): Variabilità nella capacità antiossidante di alcune varietà dolci e acide coltivate in Ungheria. *Rivista di Frutticoltura e di Ortofloricoltura*, LXXII(5): 62–66.
7. Papp, N., Nyéki, J., Szabó, Z., Stefanovits-Bányai, É., Szabó, T., Hegedűs, A. (2010): Large variations in antioxidant capacity and contents of Hungarian sour and sweet cherry cultivars. *International Journal of Horticultural Science*, 16: 25–28.
8. Szikriszt, B., Papp, N., Halász, J., Nyéki, J., Szabó, Z., Stefanovits-Bányai, É., Hegedűs, A. (2011): Preliminary evaluation of breeding perspectives of Ukrainian sweet cherry cultivars: nutraceutical properties and self-incompatibility.

- International Journal of Horticultural Science, 17(1–2): 7–11.
9. Papp, N., Szőke, F., Szabó, Z., Nyéki, J., Stefanovits-Bányai, É., Hegedűs, A. (2011): Preliminary evaluation of selected *Prunus spinosa* and *P. insititia* genotypes for their nutraceutical properties. International Journal of Horticultural Science, 17(4–5): 19–22.
 10. Racz, G., Papp, N., Hegedűs, A., Szabó, Z., Nyéki, J., Szabó, T., Stefanovits-Bányai, É., Vatai, Gy. (2012): Concentration of ‘Oblachinska’ sour cherry juice using osmotic distillation. International Journal of Horticultural Science, 18(1): 31–34.

AZ ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉBEN, NEM IMPAKTDAKTOROS, LEKTORÁLT FOLYÓIRATOKBAN PUBLIKÁLT KÖZLEMÉNYEK MAGYAR NYELVEN

1. Stefanovits-Bányai, É., Schiffler, E., Stéger-Máté, M., Sipos, B.Z., Hegedűs, A. (2004): A feketebodza (*Sambucus nigra* L.) beltartalmi értékeinek és antioxidáns hatásának változása az érés folyamán. Olaj, szappan, kozmetika, 53(1): 33–36.
2. Stefanovits-Bányai, É., Markóth, H., Hegedűs, A., Bertényi-Divinyi, Zs., Monspart-Sényi, J. (2004): Különböző eredetű csipkebogyó minták beltartalmi értékeinek valamint elemösszetételének alakulása. Olaj, szappan, kozmetika, 53(4): 173–175.
3. Stefanovits-Bányai, É., Blázovics, A., Hegedűs, A., Engel, R., Sipos, B.Z., Szenthe, A., Sárdi, É., Papp, J. (2006): A szamóca- és a málnafogyasztás szerepe a szervezet antioxidáns státuszának kialakításában. Kertgazdaság, 38(1): 19–26.
4. Szilvássy, B., Papp, N., Szabó, Z., Nyéki, J., Stefanovits-Bányai, É., Hegedűs, A. (2008): Csonthéjas gyümölcsök mikroelem-tartalmának szerepe a táplálkozásban. Acta Agronomica Óváriensis, 50(1): 87–94.
5. Fekete B., Stefanovits-Bányai É., Papp N., Szilvássy B., Tóth M., Szabó T., Nemes A., Hegedűs A. (2010): Az alma feldolgozása során fellépő veszteségek összehasonlítása a nyers gyümölcs paramétereivel. Olaj, szappan, kozmetika, LIX(2): 71–73.

6. Kordás, T., Pfeiffer, P., Hegedűs, A. (2010): A csonthéjas gyümölcsök polifenolos vegyületeinek bioszintézisében szerepet játszó *anr* gén vizsgálata. Kertgazdaság, 42(3–4): 155–161.
7. Pfeiffer P., Hegedűs A. (2012): A gyümölcsök flavonoidbioszintézisének molekuláris genetikai vizsgálata (Review). Kertgazdaság, 44: 78–88.

AZ ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉBEN PUBLIKÁLT TELJES TERJEDELMŰ KONFERENCIAKÖZLEMÉNYEK IDEGEN NYELVEN

1. Szenthe, A., Sipos, B.Z., Papp, J., Hegedűs, A., Stefanovits-Bányai, É. (2006): Intake of mineral nutritive elements with consumption of different berry cultivars. Proceedings of the International Symposium on Trace Elements in the Food Chain, Budapest, May 25–27. 2006. (Eds.: Szilágyi, M., Szentmihályi, K.), p. 309–313.
2. Nagy, Á., Stefanovits-Bányai, É., Neményi, A., Hegedűs, A. (2008): Microelement content in fruits of fig genotypes grown in Hungary and in commercially available dried figs. Proc 8th Int. Symp. Metal Elements in Environment, Medicine and Biology, Timisoara, Roumania, 2008. p. 199–203. (Eds.: Silaghi-Dimitrescu, I., Gârban, Z., Drăgan, P.). ISBN 978-973-620-437-1.
3. Szilvassy, B., Papp, N., Szabó, Z., Nyéki, J., Tordai, E., Pedryc, A., Stefanovits-Bányai, É., Hegedűs, A. (2008): Nutrient element of stone fruit species and cultivars. Proc 8th Int. Symp. Metal Elements in Environment, Medicine and Biology, Timisoara, Roumania, 2008. p. 225–230. (Eds.: Silaghi-Dimitrescu, I., Gârban, Z., Drăgan, P.). ISBN 978-973-620-437-1.
4. Hegedűs, A., Tordai, E., Pedryc, A., Engel, R., Stefanovits-Bányai, É. (2010): Antioxidant characterization of apricot fruits: genotype affected variability and correlations among different antioxidant assays. Acta Hort., 862: 573–576.
5. 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.

**AZ ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉBEN PUBLIKÁLT TELJES TERJEDELMŰ
KONFERENCIAKÖZLEMÉNYEK MAGYAR NYELVEN**

1. Stéger-Máté, M., Stefanovits-Bányai, É., Ivanics, J., Hegedűs, A., Sipos, B.Z. (2004): Kőkény (*Prunus spinosa* L.) genotípusok ásványi anyagainak vizsgálata. Proceedings of the 11th Symposium on Analytical and Environmental Problems, Szeged, 27 Sept. 2004., p. 198–202. (Ed.: Galbács, Z.) ISBN 963-217-147-0.
2. Stefanovits-Bányai, É., Hegedűs, A., Stéger-Máté, M., Ivanics, J., Tóth, I., Sipos, B.Z. (2004): Különböző som (*Cornus mas* L.) genotípusok ásványi elemösszetételének összehasonlítása. Proceedings of the 11th Symposium on Analytical and Environmental Problems, Szeged, 27 Sept. 2004., p. 232–236. (Ed.: Galbács, Z.) ISBN 963-217-147-0.
3. Stefanovits-Bányai, É., Hegedűs, A., Blázovics, A., Sárdi, É., Sipos, B.Z., Szente, A., Engel, R., Papp, J. (2005): A bogyósgyümölcsök szerepe táplálkozásunkban az ásványi elemek visszapótlásában. Proceedings of the 12th Symposium on Analytical and Environmental Problems, Szeged, 26 Sept. 2005., pp. 400–404. (Ed.: Galbács, Z.)
4. Szamosi, Cs., Engel, R., Hegedűs, A., Némethy-Uzoni, H., Tordai, E., Sárdi, É., Stefanovits-Bányai, É. (2006): A dinnyefélék táplálkozási jelentősége a téli időszakban. VII. Nemzetközi Élelmiszertudományi Konferencia, 2006. április 20., Szeged, (CD-ROM) 6 oldal
5. Engel, R., Hegedűs, A., Némethy-Uzoni, H., Somogyi, N., Stefanovits-Bányai, É. (2006): Konyhatechnológiák antioxidáns-kapacitásra gyakorolt hatása. Proceedings of the 13th Symposium on Analytical and Environmental Problems, Szeged, 2006. pp. 191–194. (Ed.: Galbács, Z.) ISBN 963-06-1205-4.
6. Balogh, E., Boldoczki, D., Hegedűs, A., Papp, J., Sipos, B., Stefanovits-Bányai, É. (2008): Az érzékszervi vizsgálatok szerepe az egészségtudatos táplálkozásban. Fiatal Műszakiak Tudományos Ülésszaka XIII., 2008. március 14–15., Kolozsvár. Műszaki Tudományos Füzetek (Szerk.: Bitay, E.), Erdélyi Múzeum-Egyesület, Kolozsvár. pp. 21–24.
7. Nagy, Á., Hegedűs, A., Engel, R., Tillyné Mándy, A., Szabó, K.,

- Stefanovits-Bányai, É. (2008): A fügekaktusz termésének antioxidáns kapacitása. *Fiatalkor Műszaki Tudományos Ülésszaka XIII.*, 2008. március 14–15., Kolozsvár. *Műszaki Tudományos Füzetek* (Szerk.: Bitay, E.), Erdélyi Múzeum-Egyesület, Kolozsvár. pp. 171–174.
8. Balogh, E., Hegedűs, A., Blázovics, A., Czabai, G., Papp, J., Stefanovits-Bányai, É. (2008): Analitikai problémák a totál antioxidáns kapacitás meghatározásakor. *Proceedings of the 15th Symposium on Analytical and Environmental Problems*, Szeged, 22 Sept. 2008., pp. 110–113. (Ed.: Galbács, Z.), ISBN 978-963-482-903-4.
 9. Nagy, Á., Stefanovits-Bányai, É., Neményi, A., Hegedűs, A. (2008): Új növényfajok termesztésbe vonási lehetősége a globális felmelegedés hatására. *Proceedings of the 15th Symposium on Analytical and Environmental Problems*, Szeged, 22 Sept. 2008., pp. 122–125. (Ed.: Galbács, Z.), ISBN 978-963-482-903-4.
 10. Hegedűs A., Pfeiffer P., Pedryc A., György Zs., Halász J. (2009): A kajszi gyümölcs flavonoid-bioszintézisében szerepet játszó gének azonosítása. Hagyomány és haladás a növénynevelésben (A XV. Növénynevelési Tudományos Napok proceedings-kötete), Veisz O. (szerk.), MTA Agrártudományok Osztályának Növénynevelési bizottsága, Budapest, 2009. március 17. ISBN 978-963-508-575-0, pp. 189–193.
 11. Pfeiffer P., Hermán R., Pedryc A., Hegedűs A. (2009): RNS-kivonás optimalizálása különböző érettségű kajszi, őszibarack és meggy gyümölcsökből. Hagyomány és haladás a növénynevelésben (A XV. Növénynevelési Tudományos Napok proceedings-kötete), Veisz O. (szerk.), MTA Agrártudományok Osztályának Növénynevelési bizottsága, Budapest, 2009. március 17. ISBN 978-963-508-575-0, pp. 392–396.
 12. Tordai E., Hermán R., Pedryc A., Stefanovits-Bányai É., Hegedűs A. (2009): A kajszi gyümölcs antioxidáns kapacitását befolyásoló tényezők. Hagyomány és haladás a növénynevelésben (A XV. Növénynevelési Tudományos Napok proceedings-kötete), Veisz O. (szerk.), MTA Agrártudományok Osztályának Növénynevelési bizottsága, Budapest, 2009. március 17. ISBN 978-963-508-575-0, pp. 502–

506.

13. Nagy, Á., Papp, N., Stefanovits-Bányai, É., Lugasi, A., Neményi, A., Hegedűs, A. (2009): Friss és aszalt fügek fogyasztásának esetleges táplálkozásélettani vonásai. Műszaki Tudományos Füzetek, Fiatal Műszakiak Tudományos Ülésszaka XIV, 2009. márc. 26-27., Erdélyi Múzeum –Egyesület Kiadványa, Kolozsvár, Románia pp. 131–134. ISBN: 978-973-8231-87-0.
14. Nagy, Á., Fogarassy, E.K., Stefanovits-Bányai, É., Hegedűs, A. (2009): Miként befolyásolja a kajszilé sűrítmények antioxidáns kapacitását a membrántechnika. Proceedings of the 16th International Symposium on Analytical and Environmental Problems, Szeged, Hungary, 29. Sept. 2009., pp. 452–455. (Ed.: Galbács, Z.), ISBN 978-963-482-975-1.
15. Hegedűs, A. (2009): „Gyümölcsöző” biokémiai és molekuláris biológiai kutatások. A Magyar Zoltán és OTKA Posztdoktori Ösztöndíjasok Találkozója, Eger, Magyarország, 2009. november 12–13., pp. 19–23.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Köszönöm **Stefanovitsné Dr. Bányai Éva** (BCE Alkalmazott Kémia Tanszék) kollégám kedvességét, folyamatos és fáradhatatlan biztatását, segítségét.

Kiemelt köszönet illeti doktorandusz hallgatóimat, így **Papp Nórá**t lelkiismeretes és szorgalmas munkájáért, a HPLC vizsgálatokért, a statisztikai analízisben nyújtott segítségével, továbbá **Dr. Pfeiffer Péter**t a flavonoid-bioszintézis útvonal molekuláris vizsgálatában való szorgalmas, problémamegoldó részvételéért. Köszönet továbbá **Dr. Szikriszt Bernadett**nek, **Dr. Balogh Emőké**nek, **Dr. Engel Ritá**nak és **Tordai Enikő**nek. Köszönöm BSc és MSc hallgatóimnak, **Gergely Anitá**nak, **Kapás Mariann**ak, **Szilvássy Blanká**nak és **Taller Dénes László**nak.

Külön köszönet **Dr. Nyéki József**nek és **Dr. Szabó Zoltánnak** sokéves barátságukért, sokirányú, önzetlen támogatásukért és szíves együttműködésükért.

A gyümölcsmintákért köszönettel tartozom **Dr. Gonda Istvánnak** (DE Gyümölcsstermesztési Tanszék), **Dr. Pedryc Andrzej**nek (BCE Genetika és Növénynemesítés Tanszék), **Schöffner Péter Jenő**nek (Morello Kft.), **Dr. Szabó Tibornak** (Újfehértói Gyümölcsstermesztési Kutató és Szaktanácsadó Kht.), **Szóke Ferenc** magánnemesítőnek. Köszönet továbbá az Alma 2000 Kft-nek, a Bold-Agro Kft-nek, a Balaton Fruit Kft-nek, a North-Cot Kft-nek és a Siófoki Gyümölcsstermesztési Zrt-nek. A Debreceni Egyetem Kutatási és Fejlesztési Intézet doktoranduszainak köszönöm a mintaszállításban nyújtott értékes segítséget.

Köszönet illeti kollégáimat a BCE Alkalmazott Kémia Tanszéken, elsősorban **Dr. Abrankó László** egyetemi docenst, **Nagy Ádám** PhD hallgatót, illetve **Dr. Fodor Péter**t, aki az itt bemutatott kísérletek idején az Alkalmazott Kémia Tanszék tanszékvezető egyetemi tanára volt.

Köszönöm az együttműködést **Dr. Blázovics Anna** tanszékvezető egyetemi tanárnak (Simmelweis Egyetem, Farmakognózia Tanszék),

Dr. Fébel Hedvignek, az Állattenyésztési és Takarmányozási Kutatóintézet főigazgató-helyettesének,

Dr. Lugasi Andreának (Országos Élelmezési- és Táplálkozástudományi Intézet) és

Dr. Szani Zsoltnak (Nemzeti Élelmiszerlánc-biztonsági Hivatal).

Köszönöm **Dr. Sezai Ercişlinek** (Atatürk Egyetem, Erzurum, Törökország) baráti együttműködését. Hálásan köszönöm **Dr. Craig Ledbetternek** (USDA, Fresno, Kalifornia), hogy a nyelvi lektorálás mellett értékes szakmai észrevételeivel is folyamatosan segítette és segíti munkámat.

Köszönöm a laboratóriumi munkák során nyújtott technikai segítségét **Kertész Katalinnak** (antioxidáns mérések) és **Bakonyvári Ildikónak** (ICP analízis).

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.

Köszönöm mindenkinek, aki a fajtamentő misszióban 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 Gyümölcstermő Növények) tanszékvezetőnek, az MTA-KÉB elnökének együttműködését és biztatását. Köszönöm korábbi (BCE Alkalmazott Kémia Tanszék) és jelenlegi (BCE Genetika és

Növénynemesítés Tanszék) munkahelyemen munkatársaim segítségét.

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. Köszönöm a Magyar Tudományos Akadémia Bolyai János Kutatói Ösztöndíj támogatását 2008–2011 között és a 2012. évtől kezdődően.

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

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

