



SOPRONI
EGYETEM

ERDŐMÉRNÖKI
KAR



Az Erdőmérnöki Kar Tudományos Kiadványa

Szerkesztette: Czimber Kornél



Az Erdőmérnöki Kar Tudományos Kiadványa

Szerkesztette:
Czímber Kornél



SOPRONI EGYETEM KIADÓ

SOPRON, 2023

Az Erdőmérnöki Kar Tudományos Kiadványa

Felelős kiadó: **Prof. Dr. Fábián Attila**

a Soproni Egyetem rektora

A kiadványt szerkesztette:

Dr. Czimber Kornél

A kiadványban megjelent cikkeket lektorálták:

Dr. Bartha Dénes, Dr. Bazsó Tamás, Dr. Bidló András, Dr. Brolly Gábor,
Dr. Czimber Kornél, Dr. Czupy Imre, Dr. Csiszár Ágnes, Dr. Gribovszki Zoltán,
Dr. Herceg András, Dr. Hír János, Dr. Hofmann Tamás, Dr. Jánoska Ferenc,
Dr. Kalicz Péter, Kemenszky Péter, Dr. Korda Márton, Kóhalmy Tamás,
Dr. László Richárd, Dr. Major Tamás, Dr. Péterfalvi József,
Dr. Rétfalvi Tamás, Szakálosné Dr. Mátyás Katalin, Szalai Áron,
Dr. Tóth Viktória, Dr. Tuba Katalin, Varga Zoltán, Visiné Dr. Rajczi Eszter,
Dr. Winkler Dániel, Zagyvainé Dr. Kiss Katalin Anita

A kiadvány a Soproni Egyetem Erdőmérnöki Karának
tudományos publikációit tartalmazza.

Címlapon: Kőszegi-hegység, Kereszt-kút, fotót készítette: Dr. Czimber Kornél

Soproni Egyetem Kiadó

Sopron, 2023.

ISBN 978-963-334-496-5 (pdf)

<https://doi.org/10.35511/978-963-334-496-5>

Creative Commons licenc: BY-NC-SA 2.5

Az online verzió elérhetősége:

[https://emk.uni-sopron.hu/images/dekani_hivatal/Kiadvanyok/
KariPub2023.pdf](https://emk.uni-sopron.hu/images/dekani_hivatal/Kiadvanyok/KariPub2023.pdf)

Ajánlott hivatkozás:

Czimber K. (szerk.) (2023): Az Erdőmérnöki Kar
Tudományos Kiadványa 2023, Soproni Egyetem Kiadó, Sopron.

Tartalomjegyzék

Alnazeer A. M. Ahmed, Imre Czupy, Nagwa K. M. Salih: Indigenous Knowledge On Biomass Fuel Quality At Dry Lands Of Southern Darfur State, Sudan	6
Balázs Pál, Bidló András, Végh Péter, Horváth Adrienn: Erebe-szigetek Erdőrezervátum felszínborításának változása történeti térképek alapján	13
Balázs Pál, Horváth Adrienn, Végh Péter, Bidló András: Szabó-völgy Erdőrezervátum (Felsőszölnök) felszínborításának változása történeti térképek alapján	19
Balázs Pál, Horváth Adrienn, Végh Péter, Bidló András: Tóth-árok Erdőrezervátum (Fenyőfő) felszínborításának változása történeti térképek alapján	25
Bartha Dénes: A Magyarországon inváziós dendrotaxonok értékelése	31
Bidló András, Balázs Pál, Végh Péter, Horváth Adrienn: Egy Duna sziget talajának vizsgálata.....	36
Brolly Gábor: Távérzékeléssel előállított térbeli pontthalmazok átszámítása ETRS89 és HD72 vonatkozási rendszerek között.....	44
Brolly Gábor, Ferenczi Noémi, Mentés Mátyás: A Hidegvíz-völgyi hidro-meteorológiai mérőkert 3D modelljének elkészítése földi lézeres letapogatás adatai alapján.....	49
Czibula György: A hazai erdei turizmus keresleti és kínálati oldalának elemzése a Covid-19 járványhullámok idején megnövekedett igények tükrében, soproni és Balaton-felvidéki példákon keresztül	54
Czupy Imre: Precíziós erdészet – a jövő útja	62
Csiszár Ágnes: Adventív növényfajok a Soproni-hegység lékjeiben.....	67
Dominkó Emese, Rétfalvi Tamás: Agrárerdészeti rendszerekből származó méz minták pollenanalízise.....	74
Elekne Fodor Veronika, Kerese András, Polgár András: A cséri hulladéklerakó monitoring rendszerének vizsgálata.....	80
Elekne Fodor Veronika, Rauch Richard, Polgár András: Sárvár környezetállapotának vizsgálata.....	87
Fehér Kristóf, Horváth Tamás: A Nelder-kísérlet 2021. évi felvételezése, növekedésének értékelése.....	94
Fejes Richárd, Zagyvai Gergely: Inváziós fafajok felmérése a fertődi Lés-erdőben	100
Gribovszki Zoltán, Gribovszki Katalin: Utánpótlódás és a napi talajvízszintingadozás... 106	
Mohamed Hemida, Zeinab Hammad, Andrea Vityi: A Taungya rendszer hatása a szudáni száraz övezet gazdálkodóinak mezőgazdaságból származó jövedelmére.....	111
Hofmann Tamás, Albert Levente: Az összes polifenoltartalom magasság szerinti változása álgesztes és álgesztmentes bükkben (<i>fagus sylvatica</i> L.).....	116
Hofmann Tamás, Albert Levente, Visiné Rajczi Eszter: Erdészeti melléktermék mint antioxidáns forrás	120
Horváth Ida – Kessler Jenő: Ritka madárkarom lelet a Nógrád-megyei hasznosi vár-hegy közép-miocén lelőhelyről.....	127

Horváth Attila László: Keménylombos állományok harveszteres fakitermelésének időszükséglete.....	133
Horváth Tamás, Gál János: Szögszámláló mintavétel használata átmérőeloszlás becslésére erdőrezervátumokban.....	138
Jánoska Ferenc: Szent Imre herceg, a vadász, magyar és lengyel legendaköre.....	143
Janzsó Milán Gábor – Czimber Kornél – Végh Péter - Vágvölgyi Andrea_ Szelektív hulladékgyűjtési lehetőségek térbeli felmérése és elemzése a lakossági környezettudatosság fejlesztéséhez.....	150
Kalicz Péter, Csáki Péter, Zagyvainé Kiss Katalin Anita, Nevezi Csenge, Herceg András, Gribovszki Zoltán: A Hidegvíz-völgyi kutatási terület (Sopron) csapadékmérés feldolgozásának kérdései	156
Korda Márton: A nagytétényi Kakukk-hegy természetvédelmi célú botanikai felmérése	162
Kui Biborka Rozália: Természeti környezet fontossága a gyermekjog tükrében Magyarországon.....	170
Kulcsár Alexandra, Zagyvai Gergely_ Dolomitbányák spontán növényzetének elemzése szociális magatartás típusok segítségével a Vértes és a Gerecse térségében.....	178
Major Tamás, Szily Attila: Fakitermelési munkák kíméletességének értékelése a Mecsekerdő Zrt. területén.....	184
Budi Mulyana, Andrea Vityi, András Polgár: Energiafa vagy épületfa? Szimuláció a CO2FIX modellel	189
Péterfalvi József, Primusz Péter: Talajstabilizáció alapú pályaszerkezetek hatékony tervezése és építése	197
Porcsin Alexandra, Keserű Zsolt, Szakálosné Mátyás Katalin: Az akácméz termelésére ható időjárás tényezők	202
Rétfalvi-Szabó Piroska, Helena Hybská, Rétfalvi Tamás: A nyomelem adagolás hatásainak értékelése a metántermelésre és ökotoxikológiai tulajdonságokra a cukorrépa préselt szelet anaerob fermentációjában.....	208
Schmidt Dávid: Adatok Táplánszentkereszt (Vas megye) gombavilágához I.....	213
Jóna Zoltán, Schmidt Dávid: A méhbangó (<i>Ophrys apifera</i> Huds.) állománydinamikai vizsgálata a Pannonhalmi-dombságban.....	219
Szalai Áron, Király Géza: A Soproni-hegyvidék erdőállományának elemzése hiperspektrális felvétel alapján.....	223
Tuboly Krisztián István, Fera Gábor, Szépligeti Mátyás, Csiszár Ágnes: A fehér akác (<i>Robinia pseudoacacia</i> L.) injektálásos visszaszorításának vizsgálata a szőcei lápréttel határos erdőrészekben.....	232
Vágó Sára, Tari Tamás: Alsó állkapocs mérésen és pontozásán alapuló korbecslési módszerek alkalmazhatóságának vizsgálata gímszarvas (<i>Cervus ELAPHUS</i>) esetében	237
Vágvölgyi Andrea, Takács Krisztián: Cséri hulladéklerakó optikai válogatóművének bemutatása	245
Vágvölgyi Andrea, Szűcs Zsolt: Háztartási szerves hulladék házi komposztálási kísérletének bemutatása	252

Varga Rita, Horváth Tamás: Erdőpedagógia és kommunikáció megjelenése az erdész gyakorlatban	258
Visiné Rajczi Eszter, Martina Vršanská, Nikola Schlosserová, Stanislava Voběrková, Hofmann Tamás: Lucfenyő (<i>Picea Abies</i> (L.) H. Karst.) És Kanadai Hemlokfenyő (<i>Tsuga Canadensis</i> (L.) Carrière) Toboz Extraktumainak antioxidáns és Antibakteriális Hatása	264
Volford Anna, Andrési Dániel, Vadász Csaba, Tóth Viktória: A fekvő holtfa mennyiségi és minőségi meghatározása különböző kezelésű erdőterületeken a Kiskunságban	269
Winkler Dániel, Novák Eszter: Idegenhonos fafajú és természetserű erdők összehasonlító talajfaunisztikai vizsgálata a Soproni-hegységben.....	276

ERDÉSZETI MELLÉKTERMÉK MINT ANTIOXIDÁNS FORRÁS

Forestry byproducts as a source of antioxidants

Hofmann Tamás, Albert Levente, Visiné Rajczi Eszter
Soproni Egyetem, Erdőmérnöki Kar, Környezet- és Természetvédelmi Intézet
hofmann.tamas@uni-sopron.hu

Kivonat

Jelen munkánkban összehasonlítottuk a főbb fakitermelési melléktermékek antioxidáns tartalmát. Célunk azoknak a fafajoknak és melléktermékeknek az azonosítása, melyek magas antioxidáns tartalommal rendelkeznek, így egy jövőbeni hasznosítás során alkalmazhatók lehetnek Magyarországon.

Abstract

In this work, we compared the antioxidant content of the main logging byproducts. Our goal is to identify those wood species and byproducts that have a high antioxidant content, thus can be used in the future in Hungary.

Bevezetés

A szántóföldi mezőgazdálkodás (pelyva, levél, törköly stb.) és az erdőgazdálkodás (kéreg, levelek, tobozok stb.) melléktermékeinek hasznosítását nemcsak a szigorodó környezetvédelmi szempontok szorgalmazzák, hanem megköveteli a növekvő társadalmi felelősségvállalás is. Az erdőgazdálkodásban csak a kéregbiomasszából mintegy 300-400 millió m³ keletkezik, aminek csak kis részét hasznosítják (PÁSZTORY et al. 2020). Az elmúlt évtizedekben a bioaktív vegyületek extrakciós lehetőségeinek kutatása előtérbe került (ZAINAL-ABIDIN et al. 2017, WE et al. 2018, MOLINO et al. 2020). A Soproni Egyetem Környezet- és Természetvédelmi Intézetében (volt Kémia Intézet) több mint 10 éve kutatjuk és vizsgáljuk az erdészeti melléktermékek kémiai hasznosíthatóságának új lehetőségeit. Egyik ilyen hasznosítás az antioxidáns polifenolok kivonása. Vizsgálataink során a főbb Magyarországon előforduló fafajok kéreg, levél és toboz mintáit vizsgáltuk meg. Több módszerrel mértük az antioxidáns kapacitást és az összes polifenol tartalmat. A legjobb eredményeket mutató minták esetében elvégeztük a polifenolok profilozását (azonosítását) nagy-hatékonyságú folyadékkromatográfiával és tandem tömegspektrometriával (HPLC-PDA-ESI-MSⁿ), illetve mértük a kivonatok bioaktív hatását. Célunk olyan minták azonosítása melyek magas polifenol tartalommal rendelkeznek és az összetételük alapján hasznosíthatók, vagy jótékony élettani hatásokkal (antibakteriális, antivirális, rákellenes hatások) rendelkeznek.

Anyag és módszer

Mintavétel és feldolgozás

A vizsgálatainkhoz alkalmazott kéregminták a Tanulmányi Erdőgazdaság Zrt. Soproni Erdészetének területéről származtak. A levél és tobozmintákat a Soproni Egyetem Élő Növénygyűjteményében (Botanikus Kert) gyűjtöttük. A mintákat gyűjtés után szárítottuk és darálással aprítottuk. Kéregminták esetében a darált mintákat szitáltuk és a 0,2-0,63 mm szemcsefrakciót vizsgáltuk.

Extrakció és antioxidáns kapacitás meghatározás

Extrakció

Kéreg: A kéregmintákból 0,15 g-ot extraháltunk 15 ml metanol:víz 80:20 v/v% oldószerkeleggyel 20 perces ultrahangos extrakcióval (Elma Transsonic T570 ultrasonic bath,

Elma Schmidbauer GmbH, Singen, Németország) szobahőmérsékleten. Az extraktumokat 0,45 µm pórusátmérőjű fecskendőszűrőn szűrtük, és felhasználásig barna üvegekbe tároltuk -20 °C-on.

Levél: A levélmintákat (1 faegyed/faj, 20 db fény + 20 db árnyéklevél/faegyed) mikrohullámmal (700 W, 1 perc) kezeltük, daráltuk, majd extraháltuk (ultrahangos extrakció, 0,2 g levél + 20 ml 4:1 metanol:víz, 20 perc).

Toboz: 0,45 g őrölt mintát 45 ml aceton: víz 80:20 térfogatarányú elegyével homogenizáltuk 50 ml-es centrifugacsőben, majd ultrahanggal kezeltük 3x10 percig.

Antioxidáns kapacitás meghatározás

Totálfenol-tartalom meghatározás: A spektrofotometriás elvű Folin-Ciocalteâu-módszerrel a reakcióoldat abszorbanciáját 760 nm-en mértük, standardként kvercetin használtunk. Az eredményeket mg kvercetin/g szárazanyagban (mg Q/g sz.a.) adtuk meg (SINGLETON – ROSSI 1965).

DPPH-antioxidáns kapacitás meghatározás: A reakció a DPPH (1,1-difenil-2-pikrilhidrazil)-gyökkel ment végbe 30 perc alatt, a reakcióelegy abszorbanciáját 515 nm-en mértük. Az eredményeket IC₅₀-értékben, µg/ml-ben adtuk meg (SHARMA – BHAT 2009).

ABTS-antioxidáns kapacitás meghatározás: A reakció az ABTS (2,2'-azinodi-(3-etilbenzotiazolin)-6-szulfoninsav) oxidációján alapul. A reakció 734 nm-en követhető nyomon. Az eredményeket mg trolox ekvivalens/g szárazanyag (mg T/g sz.a.) egységben adtuk meg (STRATIL et al. 2007).

FRAP-antioxidáns kapacitás meghatározás: A vasredukáló-képességen alapuló módszerrel aszkorbinsav standardot használtunk, a spektrofotometriás mérésnél 593 nm volt a hullámhossz. Az eredményeket mg aszkorbinsav/g szárazanyag (mg AS/ g sz.a.) egységben adtuk meg (BENZIE – STRAIN 1996).

Kiválasztott minták polifenol készletének vizsgálata

Állófázis: Phenomenex Luna C18, 5 µm, 250 mm x 4,6 mm; 40°C. Mozgófázis: A (H₂O + 0.1% HCOOH), B (Acetonitril + 0.1% HCOOH). Gradiens elúció 1,2 ml/min áramlással: 3% B → 100% B (90 perc). Minta injektálás: 8 µl. UV-detektálás: 250-380 nm. Komponensek azonosítása: IDA elemzés MS/MS tömegspektrumok alapján (160–1300 m/z), -ESI ionizáció.

Eredmények

A héjkéreg DPPH, FRAP, ABTS antioxidáns kapacitás és totálfenol mérési eredményeit az 1. Táblázat tartalmazza, míg a háncs szövetek eredményei a 2. Táblázatban szerepelnek.

A héjkéreg minták adatait vizsgálva megállapítható, hogy a legjobb DPPH antioxidáns kapacitást (legalacsonyabb IC₅₀ érték) a szelídgesztenye és a kocsánytalan tölgy, míg a legkisebb értékeket a fekete nyár esetén mértük. Érdekes, hogy a legmagasabb totálfenol tartalommal rendelkező vadcseresznye (70,0 ± 2,43 mg Q/g sz.a.) csak mérsékelt DPPH IC₅₀ értéket (12,0 ± 0,32 µg/ml) mutat, míg a fehér akác héjkéreg mintáiban alacsony totálfenol tartalom (29,4 ± 3,13 mg Q/g sz.a.) mellett meglehetősen magas DPPH antioxidáns kapacitás mérhető (5,1 ± 0,46 µg/ml).

A legmagasabb FRAP antioxidáns kapacitással a szelídgesztenye és a vörösfenyő extraktumok rendelkeznek, a kocsánytalan tölgy mérsékelt aktivitást mutat, míg a legalacsonyabb aktivitással a fekete nyár, a fehér akác és az erdeifenyő rendelkezik.

Ha összehasonlítjuk a DPPH és a FRAP antioxidáns kapacitás értékeket, kissé eltérő sorrendet tapasztalunk, aminek az oka a két vizsgálati módszer eltérő reakciómechanizmusa és szelektivitása. A legnagyobb ABTS kapacitást a vörösfenyő és a szelídgesztenye minták, míg a legalacsonyabb értékeket az erdeifenyő és a gyertyán kivonatok mutatták.

A hánacs szövetek kivonataiban a vadcserezsnye, a kocsánytalan tölgy és a szelídgesztenye produkálta a legjobb DPPH aktivitást, míg a fehér akác és a fekete nyár a legrosszabban teljesítő fajnak bizonyultak (2. Táblázat). Az ABTS módszerrel vizsgált hánacs szövetek közül a vadcserezsnye kiugróan magas antioxidáns kapacitást mutat ($533,3 \pm 11,2$ mg T/g sz.a.), ami majdnem duplája a szelídgesztenye értékének ($264,7 \pm 13,9$ mg T/g sz.a.)

A legalacsonyabb totálfenol tartalmakat az erdefenyő, a közönséges gyertyán, a fekete nyár és a nyír esetében mértük (HOFMANN et al. 2015, TÁLOS-NEBEHAJ et al. 2019).

1. Táblázat: A héjkéregből készült extraktumok antioxidáns kapacitásai.

Fafaj	Héjkéreg			
	DPPH (IC ₅₀ , µg/ml) p < 0,02	FRAP (mg AS/ g sz.a.) p < 0,05	ABTS (mg T/g sz.a.) p < 0,01	Totálfenol (mg Q/g sz.a.) p < 0,02
Közönséges gyertyán	6,2±0,26 ^{cd}	30,1± 1,01 ^d	86,1± 0,81 ^{ab}	25,2± 0,63 ^{ab}
Fehér akác	5,1±0,46 ^c	19,5± 0,86 ^b	103,3± 5,85 ^b	29,4± 3,13 ^b
Bükk	11,1±0,90 ^e	36,4±0,67 ^e	146,6±2,48 ^c	42,7±3,00 ^{bc}
Kocsánytalan tölgy	4,0±0,10 ^b	29,3± 0,76 ^d	86,5± 9,19 ^{ab}	71,6± 1,20 ^d
Vadcserezsnye	12,0± 0,32 ^{ef}	35,9± 0,89 ^e	207,± 7,71 ^d	70,0± 2,43 ^d
Szelídgesztenye	2,8±0,11 ^a	82,8± 0,71 ^g	320,1± 5,73 ^e	89,0± 3,90 ^e
Fekete nyár	30,2± 2,89 ^g	18,3± 0,62 ^b	154,7± 10,75 ^c	52,8± 2,83 ^c
Fehér nyár	6,9±0,60 ^d	38,1± 1,38 ^e	153,9± 2,53 ^c	49,2± 1,35 ^c
Közönséges nyír	12,8±0,06 ^f	23,4± 0,30 ^c	205,2± 17,13 ^d	57,3± 6,21 ^c
Vörösfenyő	5,8±0,16 ^{cd}	51,4± 2,06 ^f	371,5± 18,53 ^f	121,0± 4,11 ^f
Erdefenyő	11,20± 0,61 ^e	10,9± 0,62 ^a	61,7± 4,37 ^a	16,4± 3,32 ^a

Az eredmények feltüntetése átlagérték ± szórás formában történt. Adott oszlopon belül a felső indexben lévő kisbetűk szignifikáns különbséget jeleznek. A félkövérrel kiemelt értékek a legjobb antioxidáns kapacitás értékeket mutatják.

2. Táblázat: A hánacsból készült extraktumok antioxidáns kapacitásai.

Fafaj	Hánacs			
	DPPH (IC ₅₀ , µg/ml) p < 0,05	FRAP (mg AS/ g sz.a.) p < 0,03	ABTS (mg T/g sz.a.) p < 0,05	Totálfenol (mg Q/g sz.a.) p < 0,02
Közönséges gyertyán	6,2±0,26 ^b	30,1±1,01 ^b	86,1±0,81 ^a	25,2±0,63 ^b
Bükk	11,1±0,90 ^f	36,4±0,67 ^b	146,6±2,48 ^b	42,7±3,00 ^d
Fehér akác	13,3±1,88 ^f	13,6±0,12 ^a	63,7±2,72 ^a	9,9±0,05 ^a
Kocsánytalan tölgy	4,6±0,13 ^a	44,5±0,12 ^c	138,4± 7,91 ^b	46,2±1,39 ^d
Vadcserezsnye	4,7±0,05 ^a	80,1±3,98 ^f	533,3± 11,20 ^g	139,0± 4,00 ^h
Szelídgesztenye	4,8±0,17 ^a	70,9±3,47 ^e	264,7± 13,91 ^d	61,4±1,73 ^e
Fekete nyár	44,0±2,41 ^g	17,6±0,27 ^a	94,7±4,48 ^a	36,3±0,51 ^c
Fehér nyár	8,8±0,27 ^e	34,6±0,40 ^b	143,2± 4,31 ^b	44,1±1,71 ^d
Közönséges nyír	6,6±0,22 ^{bc}	32,9 ±2,23 ^b	300,4± 10,53 ^e	76,6±0,54 ^f
Vörösfenyő	6,7±0,04 ^c	62,3 ±3,58 ^d	345,6± 9,28 ^f	106,9± 0,70 ^g
Erdefenyő	7,2±0,09 ^d	42,4±2,66 ^c	219,0± 13,98 ^c	76,2±3,15 ^f

Az eredmények feltüntetése átlagérték \pm szórás formában történt. Adott oszlopon belül a felső indexben lévő kisbetűk szignifikáns különbséget jeleznek. A félkövérrel kiemelt értékek a legjobb antioxidáns kapacitás értékeket mutatják.

A *levélmintákat* július hónap során gyűjtöttük és hasonlítottuk össze, mivel az antioxidáns tartalom a vegetációs időszak során jelentősen változhat. A 3. táblázat eredményei alapján szintén igazolható, hogy az egyes antioxidáns kapacitás meghatározására alkalmazott módszerek eltérő „sorrendeket” eredményeztek, ami a módszerek eltérő szelektivitásával, reakciómechanizmusával magyarázható. Összességében a közönséges gyertyán levelei mutatták a legjobb értékeket (TÁLOS-NEBEHAJ et al. 2017). A csertölgy levelek antioxidáns kapacitása is igen magas, annak ellenére, hogy az összes polifenol tartalomra kapott érték átlagosnak mondható ($65,9 \pm 1,54$ mg Q/g sz.a.). A korai juhar leveleinek DPPH értéke is figyelemre méltó ($7,32 \pm 0,44$ μ g/ml).

A kéreg mintákkal összevetve megállapítható, hogy a levelek valamivel alacsonyabb antioxidáns tartalommal rendelkeznek.

3. Táblázat: Júliusi levélminták antioxidáns kapacitásának vizsgálata.

Fafaj	Július			
	DPPH (IC ₅₀ , μ g/ml) p < 0,05	FRAP (mg AS/ g sz.a.) p < 0,03	ABTS (mg T/g sz.a.) p < 0,05	Totálfenol (mg Q/g sz.a.) p < 0,02
Bükk	$13,4 \pm 0,63^{cd}$	$36,4 \pm 0,53^b$	$132 \pm 11,6^{bc}$	$48,1 \pm 1,28^{bc}$
Közönséges gyertyán	$5,51 \pm 0,85^a$	$84,0 \pm 2,67^h$	$281 \pm 4,57^f$	$106,0 \pm 5,57^h$
Szelídgesztenye	$10,5 \pm 2,16^{bc}$	$62,8 \pm 2,57^f$	$199 \pm 5,00^e$	$62,5 \pm 1,59^{de}$
Akác	$10,2 \pm 0,70^{bc}$	$40,6 \pm 2,63^{bcd}$	$112 \pm 1,84^a$	$43,2 \pm 0,21^{ab}$
Korai juhar	$7,32 \pm 0,44^{ab}$	$50,1 \pm 1,82^e$	$187 \pm 2,96^e$	$80,2 \pm 1,47^g$
Molyhos tölgy	$8,06 \pm 0,38^{ab}$	$67,0 \pm 2,12^{fg}$	$143 \pm 2,47^{cd}$	$63,8 \pm 3,31^e$
Csertölgy	$7,21 \pm 0,47^{ab}$	$69,2 \pm 2,28^g$	$190 \pm 4,05^e$	$65,9 \pm 1,54^{ef}$
Kocsányos tölgy	$10,4 \pm 0,59^{bc}$	$43,1 \pm 2,93^{cd}$	$126 \pm 1,05^b$	$48,3 \pm 4,82^{bc}$
Kocsánytalan tölgy	$7,73 \pm 0,67^{ab}$	$64,2 \pm 2,52^{fg}$	$155 \pm 3,18^d$	$59,2 \pm 4,06^{de}$
Nyár	$26,6 \pm 1,58^e$	$38,6 \pm 1,27^{bc}$	$126 \pm 1,48^b$	$73,7 \pm 3,05^{fg}$
Erdeifenyő	$38,7 \pm 2,19^f$	$20,0 \pm 0,33^a$	$141 \pm 3,23^c$	$37,5 \pm 3,9^a$
Feketefenyő	$14,8 \pm 0,47^d$	$45,7 \pm 1,80^{de}$	$134 \pm 2,06^{bc}$	$53,8 \pm 1,56^{cd}$

Az eredmények feltüntetése átlagérték \pm szórás formában történt. Adott oszlopon belül a felső indexben lévő kisbetűk szignifikáns különbséget jeleznek. A félkövérrel kiemelt értékek a legjobb antioxidáns kapacitás értékeket mutatják.

A *tobozmintákra* kapott eredményeket a 4. Táblázat összegzi. Külön vizsgáltuk a tobozok összetételét a toboz érés különböző fenofázisaiban (zöld, érett, lehullott toboz). A legmagasabb polifenol tartalommal a kanadai- és nyugati hemlokfenyő, lucfenyő, kínai mamutfenyő, keleti- és nyugati tuja zöld tobozai rendelkeztek. Ezen fajok közül a lucfenyő, kanadai hemlokfenyő, nyugati tuja és a kínai mamutfenyő érett barna tobozaiban is jelentős a polifenol tartalom (HOFMANN et al. 2021). Az érés különböző fenofázisában gyűjtött tobozok összehasonlítása során megállapítottuk, hogy a legmagasabb polifenol tartalommal mindegyik faj esetében a zöld tobozok rendelkeznek, míg a legalacsonyabb értékekkel a lehullott barna tobozok (HOFMANN et al. 2020).

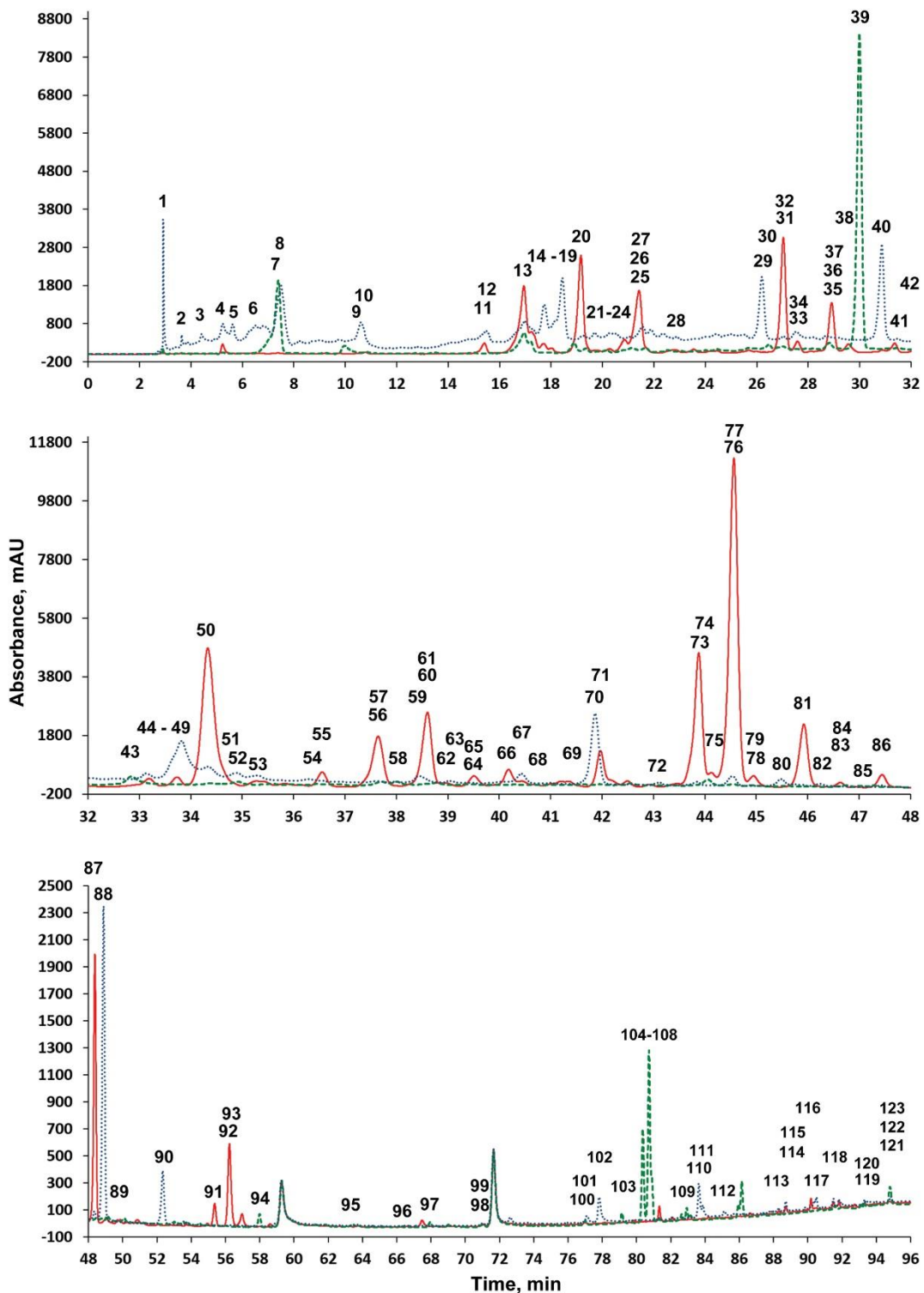
4. Táblázat. Tobozminták antioxidáns kapacitásának vizsgálata.

	TPC (mg GAE/g sz.a.)			FRAP (mg AAE/g sz.a.)			DPPH (IC ₅₀) (µg extraktanyag/ml)		
	Zöld	Érett	Lehullott	Zöld	Érett	Lehullott	Zöld	Érett	Lehullott
Atlaszcédrus	88,41 ± 1,68	14,96 ± 2,24	7,46 ± 0,26	62,08 ± 3,13 ^a	4,48 ± 0,11	3,37 ± 0,10	21,44 ± 2,94	88,82 ± 12,86	56,92 ± 15,87
Európai vörösfenyő	83,44 ± 4,27	25,98 ± 0,94	17,60 ± 2,15	55,96 ± 0,93	14,18 ± 0,83	4,09 ± 0,17	9,07 ± 1,39	12,53 ± 0,38	28,21 ± 6,84
Lucfenyő	105,58 ± 7,92 ^{ab}	64,64 ± 2,68	46,39 ± 3,54	72,02 ± 8,76 ^{ab}	50,19 ± 2,08	28,35 ± 3,37	10,75 ± 0,32	9,38 ± 1,14	8,57 ± 0,17 ^{ab}
Törpefenyő	95,76 ± 9,48 ^a	22,33 ± 3,31	15,96 ± 1,10	60,06 ± 2,77	9,34 ± 0,07	7,25 ± 0,19	7,87 ± 0,31 ^{abc}	27,83 ± 3,73	18,86 ± 0,14
Feketefenyő	89,22 ± 4,79	19,70 ± 3,36	7,08 ± 0,34	58,21 ± 2,34	9,55 ± 0,52	4,50 ± 0,17	15,33 ± 1,39	45,90 ± 2,69	62,32 ± 1,90
Erdeifenyő	46,30 ± 1,81	18,99 ± 1,44	13,19 ± 1,53	33,42 ± 3,12	9,41 ± 0,32	7,26 ± 0,14	72,40 ± 21,26	29,32 ± 1,10	22,88 ± 0,54
Himalájai fenyő	62,52 ± 5,09	17,76 ± 1,35	8,18 ± 0,97	38,84 ± 0,69	8,33 ± 0,56	3,85 ± 0,21	25,72 ± 3,50	54,76 ± 14,54	72,58 ± 7,23
Kanadai hemlokfenyő	157,25 ± 9,98 ^d	56,13 ± 4,07	10,57 ± 1,69	100,11 ± 0,40 ^f	46,57 ± 1,02	5,94 ± 0,25	7,83 ± 0,29 ^{abc}	11,37 ± 0,67	17,74 ± 1,01
Nyugati hemlokfenyő	89,16 ± 5,51	30,77 ± 2,22	10,01 ± 1,77	59,11 ± 1,73	31,03 ± 1,55	4,53 ± 0,09	11,16 ± 1,37	15,52 ± 0,84	40,44 ± 17,94
Oregoni hamisciprus	131,68 ± 4,35 ^c	20,61 ± 2,27	16,21 ± 2,11	89,42 ± 6,82 ^{ode}	9,18 ± 0,12	8,36 ± 0,13	7,23 ± 0,41 ^{bc}	22,46 ± 1,72	30,50 ± 6,72
Amerikai mocsárciprus	70,99 ± 4,49	52,20 ± 1,86	29,53 ± 3,96	57,34 ± 1,28	49,69 ± 5,07	42,42 ± 3,29	8,45 ± 0,74 ^{ab}	13,17 ± 2,13	13,42 ± 0,60
Nyugati tuja	93,71 ± 5,47 ^a	39,96 ± 2,59	31,38 ± 2,57	76,46 ± 3,44 ^{abc}	49,81 ± 0,11	18,54 ± 0,83	9,93 ± 0,62	9,21 ± 0,30	8,13 ± 0,55 ^{ab}
Kínai mamutfenyő	113,60 ± 4,81 ^b	91,25 ± 3,69 ^a	60,16 ± 8,23	129,16 ± 3,01 ^f	147,00 ± 6,83 ^e	61,43 ± 3,51	6,22 ± 0,42 ^c	4,42 ± 0,07 ^d	7,15 ± 0,87 ^{bc}
Keleti tuja	106,67 ± 2,76 ^{ab}	81,22 ± 5,30	68,88 ± 4,91	78,49 ± 1,55 ^{bcd}	93,12 ± 4,84 ^e	31,60 ± 2,02	9,56 ± 0,50	15,76 ± 0,45	17,27 ± 7,71
Japánciprus	131,74 ± 3,00 ^c	74,18 ± 2,09	57,41 ± 2,93	60,87 ± 5,21	41,04 ± 2,08	24,16 ± 0,86	10,13 ± 0,76	10,55 ± 1,40	17,51 ± 0,56
Kínai szürösfenyő	92,24 ± 1,57 ^a	36,36 ± 2,29	35,94 ± 1,33	67,99 ± 8,88 ^{ab}	37,20 ± 2,68	20,65 ± 1,44	9,03 ± 1,19 ^a	13,79 ± 0,46	11,14 ± 0,45

Az eredmények feltüntetése átlagérték ± szórás formában történt. Egy adott mérési módszeren belül a felső indexben lévő kisbetűk szignifikáns különbséget jeleznek a mért legjobb antioxidáns kapacitás értékeket esetében.

Az eredmények alapján megállapítható, hogy a kéreg, levél és tobozminták közül a kéregben található általánosságban a legnagyobb mennyiségben antioxidáns polifenol. Az 1. és 2. Táblázatok adatai alapján a három legmagasabb antioxidáns tartalommal rendelkező minta a vadcsereesznye, szelídgesztenye és a vörösfenyő kéreg voltak. A három minta polifenol készletének vizsgálatával azonosíthatók a potenciálisan fitoaktív anyagok, melyek jótékony élettani hatásokkal rendelkezhetnek és megalapozhatják ezen kéregkivonatok jövőbeli alkalmazhatóságát is. Nagy hatékonyságú folyadékkromatográfiás/tandem tömegspektrometriás eljárással elválasztottuk és azonosítottuk a három faj kéreg polifenoljait. A kéreg kivonatok kromatogramja az 1. ábrán látható. Összesen 123 polifenolos vegyületet azonosítottunk név szerint, illetve jellemeztünk tömegspektrum alapján. Az azonosított vegyületeket AGARWAL et al. (2021) cikke foglalja össze.

A kéregkivonatok polifenolos összetételére vonatkozó kromatográfiás / tömegspektrometriás eredmények hozzájárulnak az azonosítatlan vegyületek szerkezetének meghatározásához és az extrakt anyagok szerepének tisztázásához a kéregkivonatok bioaktivitásának meghatározásában.



1. ábra: A vadcsereznye (piros), vörösfenyő (zöld) és a szelídgesztenye (kék) teljes kéregminta kivonatok HPLC-PDA (250–380 nm) kromatogramja (AGARWAL et al. 2021).

Következtetések

Vizsgálatainkban megállapítottuk, hogy a fakéreg, falevél és a toboz is értékes antioxidáns forrás. Az antioxidáns tartalom a fafajtól, szövettípustól és a fenofázistól (érettség) jelentősen függ. A polifenolos vegyületek vizsgálatával lehetőség nyílik a potenciálisan bioaktív (antibakteriális, gombaellenes, rákellenes) anyagok azonosítására.

Irodalomjegyzék

- AGARWAL C. – HOFMANN T. – VRSANSKA M. – SCHLOSSEROVA N. – VISI-RAJCZI E. – VOBĚRKOVÁ S. – PÁSZTORY Z. (2021): In vitro antioxidant and antibacterial activities with polyphenolic profiling of wild cherry, the European larch and sweet chestnut tree bark. *Eu. Food Res. Techn.* 247, 2355–2370.
- BENZI 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.
- HOFMANN T. – ALBERT L. – NÉMETH L. – VRŠANSKÁ M. – SCHLOSSEROVÁ N. – VOBĚRKOVÁ S. – VISI-RAJCZI E. (2021): Antioxidant and antibacterial properties of Norway Spruce (*Picea abies* H. Karst.) and Eastern Hemlock (*Tsuga canadensis* (L.) Carrière) cone extracts. *Forests* 12, 1189.
- HOFMANN T. – NEBEHAJ E. – STEFANOVITS-BÁNYAI E. – ALBERT L. (2015): Antioxidant capacity and total phenol content of beech (*Fagus sylvatica* L.) bark extracts. *Ind. Crop. Prod.* 77, 375–381.
- HOFMANN T. – VISI-RAJCZI E. – ALBERT L. (2020): Antioxidant properties assessment of the cones of conifers through the combined evaluation of multiple antioxidant assays. *Ind. Crop. Prod.* 145, 111935.
- Molino A. – Mehariya S. – Di Sanzo G. – Larocca V. – Martino M. – Leone G. P. – Marino T. – Chianese S. – Balducchi R. – Musmarra D. (2020): Recent developments in supercritical fluid extraction of bioactive compounds from microalgae: Role of key parameters, technological achievements and challenges. *J. CO2 Util.* 36, 196–209.
- PÁSZTORY Z. – MOHÁCSI-RONYECZ I. – GORBACHEVA G. – BÖRCSÖK Z. (2016): The utilization of tree bark. *Bioresources* 11, 7859–7888.
- SHARMA O. P. – BHAT T. K. (2009): DPPH antioxidant assay revisited. *Food Chem.* 113, 1202–1205.
- SINGLETON V. L. – ROSSI J. A. (1965): Colorimetry of total phenolics with phosphomolibdic-phosphotungstic acid reagents. *Am. J. Enology Vitic.* 161, 144–158.
- STRATI P. – KLEJDUS, B. – KUBAN V. (2007): Determination of phenolic compounds and their antioxidant activity in fruits and cereals. - *Talanta* 71, 1741-1751.
- TÁLOS-NEBEHAJ E. – ALBERT L. – VISI-RAJCZI E. – HOFMANN T. (2019): Combined multiassay evaluation of antioxidant properties of tree bark. *Acta. Silv. Lign. Hung.* 15 (2), 86–97.
- TÁLOS-NEBEHAJ E. – HOFMANN T. – ALBERT L. (2017): Seasonal changes of natural antioxidant content in the leaves of Hungarian forest tree species. *Ind. Crop. Prod.* 98, 53–59.
- WE C. – ZHANG J. – ZHANG H. – DZAH C. S. – ZANDIL M. – DUAN Y. – MA H. – LUO X. (2018): Advances in ultrasound assisted extraction of bioactive compounds from cash crops—A review. *Ultrason Sonochem* 48, 538–549.
- ZAINAL-ABIDIN M. H. – HAYYAN M. – HAYYAN A. – JAYAKUMAR N. S. (2017): New horizons in the extraction of bioactive compounds using deep eutectic solvents: A review. *Anal. Chim. Acta* 979, 1–23.