



**SOPRONI
EGYETEM**

ERDŐMÉRNÖKI
KAR

KÖRNYEZET- ÉS TERMÉSZETVÉDELMI INTÉZET

Tudományos Diákköri (TDK) dolgozat

**Antioxidáns polifenolok összehasonlító elemzése agroerdészeti rendszerben
termelt mezei sóska (*Rumex acetosa* L.), lándzsás útifű (*Plantago lanceolata*
L.) és kis télizöld (*Vinca minor* L.) fajokban**

Készítette: Benke Dénes

Témavezetők: Dr. Hofmann Tamás, egyetemi docens

Visiné Dr. Rajczi Eszter, egyetemi docens

Sopron

2024

Szerzői nyilatkozat

Alulírott Benke Dénes (neptun kód: HAGV1I) jelen nyilatkozat aláírásával kijelentem, hogy a *Antioxidáns polifenolok összehasonlító elemzése agroerdészeti rendszerben termelt mezei sóska (Rumex acetosa L.), lándzsás útifű (Plantago lanceolata L.) és kis télizöld (Vinca minor L.) fajokban* című

TDK házi dolgozat

(a továbbiakban: dolgozat) **önálló munkám**, a dolgozat készítése során betartottam a szerzői jogról szóló 1999. évi LXXVI. tv. szabályait, valamint az egyetem által előírt, a dolgozat készítésére vonatkozó szabályokat, különösen a hivatkozások és idézések tekintetében¹.

Kijelentem továbbá, hogy a dolgozat készítése során az önálló munka kitétel tekintetében a konzulenszt illetve a feladatot kiadó oktatót **nem tévesztettem meg**.

Jelen nyilatkozat aláírásával tudomásul veszem, hogy amennyiben bizonyítható, hogy a dolgozatot **nem magam készítettem**, vagy a dolgozattal kapcsolatban szerzői jogsértés ténye merül fel, a Soproni Egyetem **megtagadja a dolgozat befogadását és ellenem fegyelmi eljárást indíthat**.

A dolgozat befogadásának megtagadása és a fegyelmi eljárás indítása nem érinti a szerzői jogsértés miatti egyéb (polgári jogi, szabálysértési jogi, büntetőjogi) jogkövetkezményeket.

Kijelentem, hogy a kinyomtatott dolgozat és az optikai adathordozón leadott valamint diploma repozitóriumba feltöltött elektronikus dokumentumok egymással teljesen megegyeznek.

Kijelentem, hogy a dolgozatot más szakon – más felsőoktatási intézményre vonatkozóan is – nem nyújtottam be.

Sopron, 2024.11.04.



hallgató

¹ 1999. évi LXXVI. tv. 34. § (1) A mű részletét - az átvevő mű jellege és célja által indokolt terjedelemben és az eredetihez híven - a forrás, valamint az ott megjelölt szerző megnevezésével bárki idézheti.

36. § (1) Nyilvánosan tartott előadások és más hasonló művek részletei, valamint politikai beszédek tájékoztatás céljára - a cél által indokolt terjedelemben - szabadon felhasználhatók. Ilyen felhasználás esetén a forrást - a szerző nevével együtt - fel kell tüntetni, hacsak ez lehetetlennek nem bizonyul.

Tartalomjegyzék

1. A kutatás előzményei.....	2
2. Bevezetés.....	2
2.1. Antioxidánsok.....	3
2.2. Agrárerdészeti rendszerek	4
3. Célkitűzés	5
4. Anyag és módszer	5
4.1. A vizsgált terület bemutatása.....	5
4.2. A vizsgált növények bemutatása	7
4.2.1. Mezei sóska (<i>Rumex acetosa</i> L.)	7
4.2.2. Lándzsás útifű (<i>Plantago lanceolata</i> L.)	7
4.2.3. Kis télizöld (<i>Vinca minor</i> L.).....	7
4.3. Mintavétel és extrakció.....	8
4.4. Mérési módszerek.....	9
4.4.1. TPC módszer	9
4.4.2. DPPH módszer	10
4.4.3. FRAP módszer.....	11
4.4.3. Folyadékkromatográfiás vizsgálatok	12
4.4.3.1. Szerves savak mennyiségi meghatározása	13
4.4.3.2. Polifenolok profilozása	13
4.5. Statisztikai kiértékelés	14
5. Eredmények és kiértékelésük	15
5.1. Antioxidáns kapacitás meghatározás.....	15
5.2. Szerves savak mennyiségi meghatározása	16
5.3. Polifenolok profilozása.....	19
6. Következtetések	25
7. Köszönetnyilvánítás.....	27
8. Irodalomjegyzék	28
9. Összefoglalás	32
10. Summary	33
11. Mellékletek	34

1. A kutatás előzményei

A különböző gyógynövények és azok hatásai már évezredek óta ismertek, így azokat széles körűen használják a gyógyászatban (Pan et al., 2014). Ezt bizonyítja az is, hogy a világon felhasznált gyógyászati készítmények mintegy negyede növényi eredetű (van Wyk és Wink, 2006). Napjainkban az emberek legalább 80%-a használ valamilyen gyógynövény alapú gyógyszert vagy táplálék kiegészítőt (Ekor, 2014). Az elmúlt évtizedekben megnövekedett kereslet az ilyen típusú termékek iránt Európában is megfigyelhető, amit az is igazol, hogy az európai gyógynövény piac éves bevétele 2021-ben közel 70 milliárd USD volt (URL 1).

A növények anatómiai felépítése és életműködései nem mindig azonosak, a külső körülmények hatására jelentősen megváltozhatnak. Számos kutatás bebizonyította, hogy az eltérő időjárási paraméterek mellett a növények szövettani felépítése és élettani működése változhat. Ebből adódóan az általuk kiválasztott metabolitok mennyisége és minősége is változhat (Abreu és Mazzafera, 2005; Zubay et al., 2021). Az azonos rendszertani kategóriákba (családok, rendek stb.) tartozó gyógynövényekről és azok beltartalmi értékeik összehasonlításáról számos publikáció és tanulmány született, azonban az agrárerdészeti rendszerekben termesztett gyógynövények hatóanyagtartalmának vizsgálatáról – különös tekintettel az antioxidánsokra – hiányosak az ismereteink.

Jelen dolgozat témáját tekintve egyedülálló, mivel agroerdészeti rendszerben termesztett gyógynövények antioxidáns tartalmát, illetve polifenol profilját vizsgálja. Nem találtunk sem hazai, sem nemzetközi szinten olyan irodalmat, amely ilyen rendszerekben, de eltérő talajtakarásokkal termelt gyógynövények beltartalmi értékeit hasonlítja össze. Így nincsenek ismereteink arról sem, hogy a különböző talajtakarásoknak van-e valamilyen pozitív hatása az antioxidáns tartalomra, ezáltal a növényi kivonatok összetételére.

2. Bevezetés

A klímaváltozás erősödő hatásai egyre nagyobb kihívások elé állítják mind a mezőgazdálkodást (Aydinalp és Cresser, 2008; Sanchís és Bello, 2009), mind az erdőgazdálkodást (Gustavsson et al., 2017). Az éghajlatváltozáshoz való alkalmazkodás egyik fontos eleme lesz az újfajta termelési technológiák alkalmazása és gazdálkodási rendszerek bevezetése (Veisz, 2011). Ilyen alternatív megoldás lehet az agrárerdészeti rendszerek létesítése és az azokban való termelés megvalósítása. Az így létrehozott kultúrákban való növénytermesztés a szén-dioxid megkötés mellett számos pozitív hatással bír (Willmott et al., 2023). A hagyományos termények (gabonák, kapásnövények, zöldségek, stb.) mellett gyógynövények termesztésére is van

lehetőség az agrárerdészeti rendszerekben (Rigueiro-Rodríguez, 2008). Az ilyen módon megtermelt gyógynövények vagy önmagukban használhatóak fel, vagy különböző vegyületcsoportok is kivonhatóak belőlük további felhasználásra (Grigore et al., 2015; Bello et al., 2019; Koel et al., 2020). A gyógynövényekben az úgynevezett extraktanyagok széles skálája megtalálható (alkaloidok, terpenoidok, polipeptidek, polifenolok stb.) (WHO, 1999), amelyek közül számos kedvező élettani hatással és gyógyászati jelentőséggel is bír (Ong, 2004), emellett ezen vegyületek közül sok antioxidáns tulajdonsággal is rendelkezik (Chu, 2011; Thiviya et al., 2021).

2.1. Antioxidánsok

Antioxidánsnak nevezzük azokat a vegyületeket, amelyek az oxidálható anyaghoz képest alacsony koncentrációban vannak jelen és jelentősen lassítják vagy megakadályozzák annak oxidációját (Halliwell, 1990). Ezen vegyületek elsődleges fiziológiai szerepe a sejtalkotók védelme a szervezetben lejátszódó biokémiai reakciók következtében keletkezett szabad gyökök káros hatásaitól (Young és Woodside, 2001). Az antioxidáns hatású vegyületek fontos szerepet töltenek be mind az élelmiszeriparban, mind a gyógyászatban. Az élelmiszeriparban a tartósításra és az avasodás gátlására használják az antioxidánsokat, a gyógyászatban pedig a szabad gyökök semlegesítése miatt van nagy jelentőségük. Ma már számos kutatás igazolja, hogy bizonyos betegségek összefüggésbe hozhatók a szabadgyökös elváltozásokkal (Lugasi és Blázovics, 2001).

Az antioxidáns vegyületeket többféle szempont szerint is csoportosíthatjuk (Tálos-Nebahaj, 2017). Hegedűs és Stefanovitsné, (2012) szerkezetük alapján két nagy csoportba sorolja ezeket a vegyületeket: az *enzimatis csoportba* tartoznak az enzimek, amelyek a szervezetben zajló reakciók sebességét katalizálják, a *nem-enzimatis csoportba* a kisebb molekulájú vegyületek tartoznak, mint a vitaminok (A-, C-, E-, F- és K-vitamin), a triterpenoidok, a karotinoidok és polifenolok, valamint bizonyos nyomelemek is bírnak antioxidáns hatással (Valko et al., 2006). Ezen kívül számos más olyan vegyület ismert, amely antioxidáns hatással rendelkezik, ilyenek például bizonyos szénhidrátok és fehérjék (Önay-Ucar et al., 2014; Hu et al., 2016).

A polifenolok növényekben található biológiailag aktív antioxidáns hatású vegyületek, amelyek fő feladata a biotikus (kórokozók és károsítók) és az abiotikus (időjárás, mechanikai sérülések stb.) stresszhatások elleni kémiai védekezés (Mämmelä, 2002; Lu et al., 2019). A polifenolos vegyületek közös jellemzője, hogy alapjukat egy fenolváz képezi, amihez

különböző molekulacsoportok kapcsolódnak (Tálos-Nebehaj, 2017). A több mint 8000 féle polifenolnak többféle csoportosítása létezik, a főbb csoportok a fenolos savak, a flavonoidok, a stilbének, a fenolos alkoholok és a lignánok (Abbas et al., 2017; Watson, 2019). Az elmúlt évtizedekben számos tanulmány bizonyította, hogy a polifenolokban gazdag ételek fogyasztása az emberi szervezetre kedvező hatással van. Az ilyen ételek többek között csökkentik a szív- és érrendszeri betegségek, az elhízás vagy a cukorbetegség kialakulásának esélyét (Rasouli et al., 2017).

2.2. Agrárerdészeti rendszerek

Definíció szerint „az agrárerdészet azon földhasználatok gyűjtőneve, ahol egyazon földrészleten tervezetten természetnek fás szárú élő növényeket és mezőgazdasági terményeket és/vagy tartanak állatokat; akár térbeli, akár időbeli eltéréssel” (Lundgreen és Raintree, 1982).

A modern mezőgazdasági művelés ugyan terméshozamok növekedésével jár, de ez csak folyamatos beavatkozásokkal és a területek intenzív kezelésével (talajelőkészítés, műtrágyázás, növényvédelem, stb.) lehetséges, és a talaj degradációjával járt. Az agrárerdészeti rendszerek ezzel ellentétben a természetes erőforrások magasabb szintű kihasználását teszik lehetővé a fás komponensnek köszönhetően. Ez az úgynevezett öko-intenzifikáció (Mosquera-Losada et al., 2018). Az agrárerdészeti rendszerek egyik legnagyobb előnye emellett, hogy lehetőség nyílik minőségi faanyag termelésére a terület mezőgazdasági termelésből való kivonása nélkül (Vityi et al., 2019). Ezenkívül számos ökoszisztéma szolgáltatást is nyújtanak az ilyen rendszerek (de Jong et al., 2018; Willmott et al., 2023). Ezek közül az egyik legfontosabb a légköri szén-dioxid megkötése (Calfapitera et al., 2010). Az agrárerdészetek védik az ott termesztett mezőgazdasági növényeket a szélsőséges klímahatásoktól (Kaya et al., 2019), csökkentik a vízeróziót és a deflációt. Továbbá segítik a szerves anyagok visszajutását a talajba, valamint növelik a biodiverzitást (Torralba et al., 2016).

Annak ellenére, hogy a forró égövi országokban elterjedten alkalmazzák az agrárerdészeti rendszereket, a mérsékelt égövben – így Európában is – sokkal kevésbé jellemző az ilyen jellegű gazdálkodás. Az utóbbi években azonban Európában az agrárerdészet tudományága jelentős fejlődésen ment keresztül (Guti, 2023). Egyes kutatók úgy vélik, hogy az agrárerdészet olyan tudománnyá fog fejlődni a jövőben, mint az erdőgazdálkodás vagy a mezőgazdálkodás (Rigueiro-Rodríguez et al., 2008). Az Európai Unió területén hozzávetőlegesen 15,4 millió ha agrárerdészeti rendszer van, amely legnagyobb része valamilyen haszonállat tartásával

kombinálja a fatermesztést. Ezek jelentős része Spanyolország, Görögország, Franciaország, illetve Portugália területén található (den Herder et al., 2017).

Magyarországon az agrárerdészeti rendszerek közül hagyományosan a különböző erdősávok és a fás legelők voltak viszonylag elterjedtek, ám ezek száma ma visszaszorulóban van. A LUCAS (Land Use/Cover Area frame statistical Survey) adatbázis szerint Magyarország területén 38.100 ha területen gazdálkodnak agrárerdészeti rendszerekben (den Herder et al., 2017). A mezőgazdasági területek magas aránya miatt (az ország területének 55%-a) adottak a lehetőségek a modern agrárerdészeti rendszerek szélesebb körben való alkalmazására, ezzel is hozzájárulva az Európai Unió 2030-as Erdészeti Stratégiájában kitűzött célokhoz (Vityi et al., 2018; Caprile, 2022).

3. Célkitűzés

Jelen munkánk célja, hogy megvizsgáljuk a Bajti Nemesítő Telep agrárerdészeti rendszerében termesztett három gyógynövényfaj (mezei sóska (*Rumex acetosa* L.), lándzsás útifű (*Plantago lanceolata* L.) és kis télizöld (*Vinca minor* L.) antioxidáns tartalmát különböző talajtakarási módszerek mellett. Az antioxidáns tartalmat három módon mértük fel: TPC, FRAP és DPPH módszerrel. A legmagasabb antioxidáns kapacitással rendelkező minták polifenol profilozását nagy hatékonyságú folyadékkromatográfia / többlepcsős tömegspektrometriával (HPLC-MS/MS) végeztük el. A kutatás célja kideríteni, hogy a jövőbeli alkalmazás szempontjából melyik termesztési módszer a legelőnyösebb, illetve milyen polifenolos vegyületeket tartalmaznak az egyes növények extraktumai.

4. Anyag és módszer

4.1 A vizsgált terület bemutatása

A kutatáshoz a mintákat a Bajti Nemesítő Telep területén gyűjtöttük be. A telep a Soproni Egyetem és az Erdészeti Tudományos Intézet kezelése alatt áll, célja az erdészeti génmegőrzés és nemesítés. Ezen kívül nyár és fűz szaporítóanyag termelése is zajlik a területen. 2021-ben létrehoztak a telep területén egy agrárerdészeti rendszert is, amelyben köztestermesztésben különböző lágyszárú növényfajok termesztése történik (1. ábra). Az agrárerdészeti rendszer területe körülbelül 0,5 hektár, amely kerítéssel van körülvéve a vadkár kizárása céljából. A területen 17 sorban összesen 170 'I-214' fajtájú euroamerikai nyár (*Populus euramericana* (Dode) Guiner cv. 'I-214') van (Guti, 2023).

A fák között termesztett növények három különböző talajtakarás mellett kerültek elültetésre, ezek a geotextília, a mulcs és a méhlegelő. A geotextília és a mulcs egyaránt kedvezően hat a talaj vízgazdálkodására, és kiegyenlíti a nagyobb hőingadozásokat. Ezen kívül a gyomok kicsírázását is gátolja. A méhlegelő legnagyobb előnyei a talajba való tápanyag visszapótlás és a párásabb mikroklíma létrehozása. A méhlegelő nagyrészt pillangós- (*Fabales*), fészkes- (*Asterales*) és keresztesvirágú (*Brassicales*) lágyszárúakból áll. Mindhárom talajtakarás hátránya azonban, hogy esetleges bűvőhelyet biztosíthat a kártevőknek (EFOP-3.6.2-16-2017-00018).

A kontrol terület a fasorokon kívül, a napsugárzásnak közvetlenül kitett részen helyezkedik el (2. ábra), továbbá semmilyen talajtakarási módszer nincs alkalmazva az itt termesztett lágyszárú növények esetében.



1. ábra A bajti agroerdészeti rendszer (saját készítésű kép)



2. ábra A kontrol terület (saját készítésű kép)

4.2 A vizsgált növények bemutatása

4.2.1. Mezei sóska (*Rumex acetosa* L.)

A mezei sóska (3. ábra) a keserűfűfélék (*Polygonaceae*) családjába tartozó lágyszárú évelő növény. Európában általánosan elterjedt, de betelepítés útján eljutott Afrikába, Ázsiába és Észak-Amerikába is. Természetesen réteken, kaszálókon fordul elő, de sok helyen termesztik is (Simon és Csapody, 1991). A növény fogyasztása magas ásványi anyag- és vitamintartalma miatt igen egészséges, ezért a levelét, szárát és gyökerét egyaránt fogyasztják ételkészítésként (Bae et al., 2012). A mezei sóska ezen kívül többek között antibakteriális, gombaölő, gyulladáscsökkentő és lázcsillapító hatással is bír (Bello et al., 2019.).

4.2.2. Lándzsás útifű (*Plantago lanceolata* L.)

A lándzsás útifű (4. ábra) az útifűfélék családjába (*Plantaginaceae*) tartozó tölevélrózsás lágyszárú évelő növény. Az egész világon általánosan elterjedt generalista faj, amely egyaránt megtalálható réteken és legelőkön (Simon és Csapody 1991). A növény egyszerűen termesztendő, mivel mélyre hatoló, erős gyökérzetével, valamint mikorrhiza kapcsolatainak köszönhetően hatékonyan fel tudja venni a tápanyagokat és a vizet a gyenge termőképességű talajokból is (Pol et al., 2021). A lándzsás útifű számos biológiailag aktív anyagot tartalmaz, amely miatt használata széles körben elterjedt a hagyományos gyógyászatban (Stewart, 1996). A növény jól ismert köhögéscsillapító és hurutoldó hatásáról, ezenkívül alkalmas sebek, rovarcsípések furunkulusok és hasmenés kezelésére is (Tita et al., 2009; Grigore et al., 2015).

4.2.3. Kis télizöld (*Vinca minor* L.)

A kis télizöld (5. ábra) a meténgfélék (*Apocynaceae*) családjába tartozó áttelelő hajtású évelő növény. Kúszó habitusa miatt képes a talajfelszín beborítására, így talajtakaró növénynek kiváló. Természetesen az üde lombdombokban és szegélyeiken fordul elő, de dísnövényként is sok helyen ültetik. A kis télizöldben található egyik legfontosabb anyag a vinkamin nevű alkaloid, amely gyógyszeripari felhasználásra kerül (Ciorita et al., 2021). A Cavinton nevű agyérzsűkület gyógyszer hatóanyagát a vinkamin szerkezeti átalakításával állítják elő (Kárpáti et al., 2002). A növényben található egyéb hatóanyagoknak többek között antibakteriális, vércukorszint-csökkentő és vérnyomáscsökkentő hatása is van (Koel et al., 2020), továbbá a kis télizöldből készült gyógyszereket daganatos megbetegedések kezelésére is felhasználják antitumor hatásuk miatt (Zhang et al., 2017).



3. ábra Mezei sóska (*Rumex acetosa* L.)
(URL 2)



4. ábra Lándzsás útifű (*Plantago lanceolata* L.)
(URL 3)



5. ábra Kis télizöld (*Vinca minor* L.)
(URL 4)

4.3. Mintavétel és extrakció

A minták begyűjtése a Bajti Nemesítő Telep agrárerdészeti területén történt három alkalommal: 2022 október 10-én, 2023 május 5-én és 2023 július 13-án. A növényekből körülbelül 200 gramm leveles hajtást gyűjtöttünk az adott parcellából véletlenszerűen válogatva. A minták begyűjtés után liofilizálásra kerültek (Wave FD260 liofilizáló, Wave Trockensysteme GmbH, Bécs, Ausztria), majd vákuum csomagolva, hűtve tároltuk őket feldolgozásig.

Az extrakció előtt a mintákat kávédaráló segítségével aprítottuk fel. Az így előkészített mintákból 0,2 grammot mértünk ki 50 ml-es centrifugacsövekbe, amihez 40 ml metanol:víz 1:1 térfogatarányú elegyét adtuk. Ezután a mintákat ultrahangos fürdőbe helyeztük 3x10 percre (Elma Transsonic T570 ultrahangos fürdő, Elma Schmidbauer GmbH, Singen, Németország). A 10 perces extrakciós lépések között az ultrahangos fürdő vizét 26 °C-ra állítottuk vissza. A 10 perces időintervallumok leteltével a víz hőmérséklete körülbelül 30 °C volt.

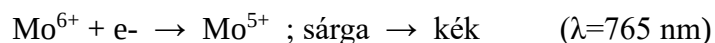
4.4. Mérési módszerek

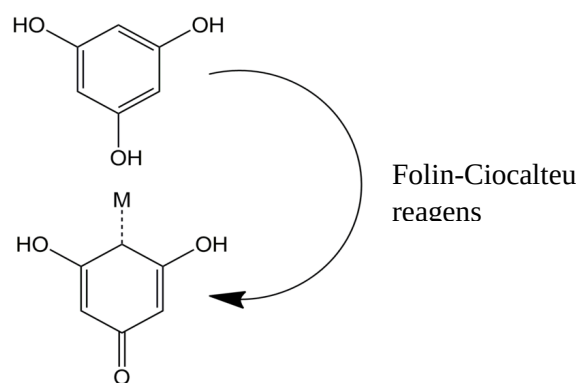
Az utóbbi évtizedekben az antioxidánsokkal kapcsolatos kutatások jelentős fejlődésnek indultak, így mára már több, mint 100 különböző analitikai módszer létezik az oldatok antioxidáns kapacitásának számszerűsítésére. Ezeket a módszereket két nagy csoportra lehet osztani (Frankel és Meyer, 2000): az egyik csoportba tartoznak az elektronátmenettel járó mérési módszerek, amelyek színváltozással járnak együtt; a másik csoportba pedig a hidrogénatom átvitelén alapuló módszerek vannak, melyek az oldat szabadgyök-semlegesítését jellemzik. A mérések során három módszert alkalmaztunk az antioxidáns tulajdonságok vizsgálatára. Ezek a FRAP (Ferric Reducing Antioxidant Power – vas(III)-ion redukálóképességen alapuló antioxidáns kapacitás) a TPC (Total Phenolic Content, Folin-Ciocalteu-redukáló kapacitás) és a DPPH (1,1-difenil-2-pikrilhidrazil gyök reakcióján alapuló antioxidáns kapacitás) módszerek voltak. Mivel mindegyik módszernek megvannak az előnyei, hátrányai és sajátos szelektivitása, ezért önmagában egyik módszer sem ad átfogó eredményt az adott mintáról, ezért ajánlott több különböző módszer használata (Hegedűs és Stefanovitsné, 2012).

A különböző antioxidáns kapacitás meghatározási módszerek hátrányainak egyik kézenfekvő – ám jelentősen idő és költségigényesebb – alternatívája a konkrét antioxidáns vegyületek azonosítása és mennyiségi meghatározása. Ehhez legtöbbször nagy-hatékonyságú folyadékkromatográfiás (HPLC) és azzal kombinált tandem tömegspektrometriás (MS/MS) detektálást alkalmaznak. Munkámban mindkét eljárást alkalmaztam.

4.4.1. TPC módszer

Az oldatok totálfenol meghatározását Folin-Ciocalteu módszerrel végeztük (6. ábra), amely redukáló képességen alapul (Balogh, 2010) és az oldat teljes polifenol tartalmát lehet vele vizsgálni. A mérés alapja, hogy a sárga Folin-Ciocalteu a minta antioxidáns tartalmának hatására redukálódik színváltozás kíséretében. Az így keletkező kék szín spektrofotométer segítségével ($\lambda=765$ nm-en) mérhető.





6. ábra A Folin-Ciocalteu módszer mérési elve (URL 5)

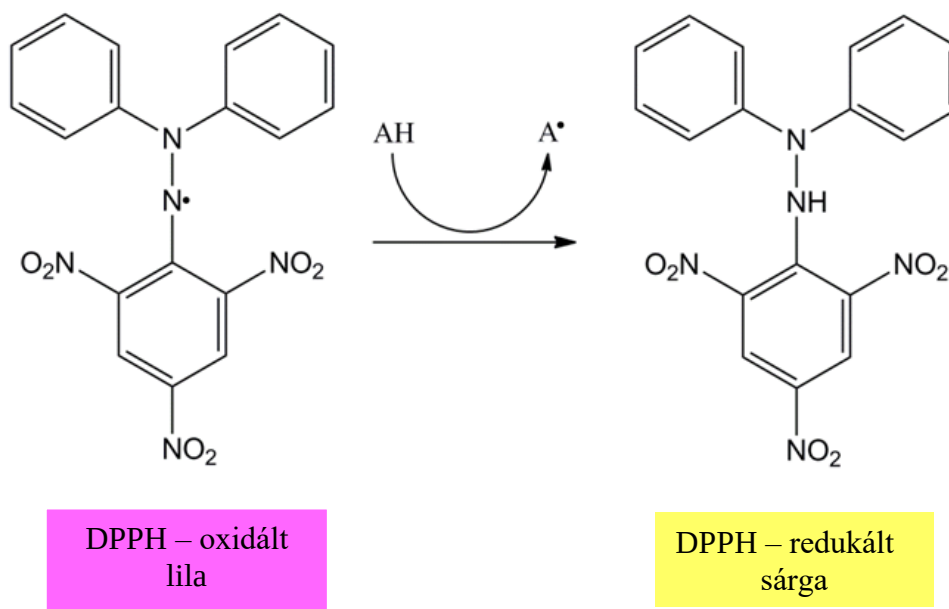
A módszer előnye, hogy olcsó és a könnyű reprodukálni (Huang et al., 2005). Hátránya viszont, hogy lúgos pH-n megy végbe a reakció, amely nem életszerű (Frankel és Meyer, 2000; Balogh, 2010); valamint az, hogy a módszer (nevével ellentétben) nem specifikus polifenolokra: számos, a növényekben előforduló vegyület megzavarhatja a mérést (cukrok, szerves savak, aromás aminok stb.) (Tálos-Nebehaj, 2017), valamint az aszkorbinsav és a réz(I)-ionok is megjelennek a mérés eredményében (Apak et al., 2007).

A mérés kivitelezése: 100 µl extraktumhoz 400 µl metanol:víz 1:1 térfogatarányú elegyét, majd pedig 2,5 ml Folin-Ciocalteu reagenst adtunk. Körülbelül 1 perc elteltével 2,0 ml 0,7 M Na₂CO₃-oldatot pipettáztunk a mintákhoz. Ezt követően 5 percig 50°C-os vízfürdőbe helyeztük az oldatokat, majd visszahűtöttük őket. A kék színű reakcióoldat abszorbanciáját 760 nm-en vizsgáltuk. Mindegyik mintán három párhuzamos mérést végeztünk el. Standard vegyületként galluszsavat használtunk, az eredményeket mg galluszsav egyenérték/g száraz növény mértékegységben adtuk meg (mg GE/g sz.a.).

4.4.2. DPPH-módszer

A módszer alapját az antioxidánsok DPPH gyök megkötő képessége képezi. Mivel Blois már 1958-ban leírta, így az egyik legkorábbi módszernek számít az antioxidáns-tartalom meghatározásban. A DPPH-módszer igen elterjedt, mivel a DPPH gyök stabil, nem bomlik, kevésbé agresszív és kapható kereskedelmi forgalomban (Hegedűs és Stefanovitsné, 2012). Az eljárás során létrehozott reakció során a gyök elveszti lila színét. A szín megváltozásának mértéke spektrofotometriával mérhető. A DPPH-módszer hátránya, hogy a felhasznált gyök stabil, amely jelentősen különbözik a sejtekben természetesen keletkezett gyökök jellemzőitől. (Huang et al., 2005), így nem kapunk információt arról, hogy az élő szervezetben keletkezett gyökökkel szemben milyen mértékben reaktívak (Tálos-Nebehaj, 2017). További hátrány, hogy

a reakcióhoz sötétre van szükség, mert a DPPH gyök fényre érzékeny, valamint a módszer pH és oxigénfüggő (Prior és Cao, 1999). Ezenkívül eltérés adódhat a molekulák szerkezetéből kifolyólag, ugyanis a kisebb molekulák nagyobb antioxidáns kapacitást fognak mutatni, mivel jobban hozzáférnek a reagens gyökhöz (Berker et al., 2007).



7. ábra A DPPH módszer mérési elve (Tálos-Nebehaj, 2017)

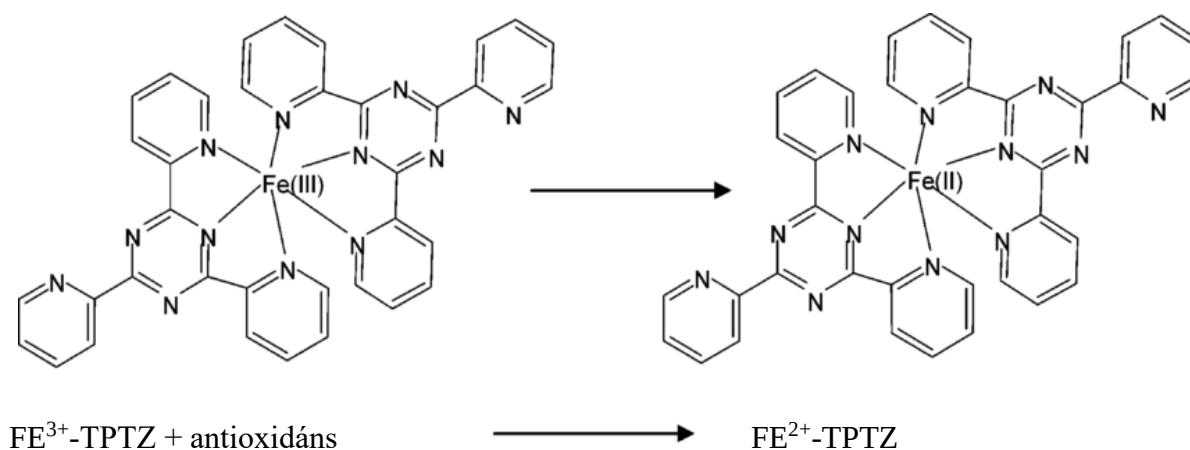
A mérés kivitelezése: 100 µl extraktumhoz 100 ml metanol:víz 1:1 térfogatarányú elegyét és 2,8 ml DPPH oldatot (80 mM) adtunk, majd 30 percen keresztül letakarva, sötét helyen tároltuk. Mindegyik mintán három párhuzamos mérést végeztünk el. Az antioxidáns kapacitás számszerűsítéshez trolox standardot használtunk, az eredményeket mg trolox egyenérték/g növényi szárazanyag mértékegységben adtuk meg (mg TE/g sz.a.).

4.4.3. FRAP-módszer

A FRAP-módszert Benzie és Strain dolgozta ki 1996-ban (Benzie és Strain, 1996). A mérési technika azon alapszik, hogy a Fe^{3+} ionokat az oldatban lévő antioxidánsok Fe^{2+} ionokká redukálják. A 2,4,6-tripiridil-s-triazin (TPTZ) komplexképző az oldatban tartja az így keletkezett Fe^{2+} ionokat, és így az oldat kék színűvé válik. A színintenzitás $\lambda=593$ nanométeren detektálható spektrofotometriás úton (Benzie és Strain, 1996; Huang et al., 2005). A méréshez szükséges reakcióidő 5 perc. A módszer előnyei közé tartozik az reakció gyorsasága, egyszerűsége és reprodukálhatósága, valamint az, hogy nem szükséges hozzá speciális

laboratóriumi felszerelés. Ezzel szemben hátránya, hogy a meghatározás a természetes (közel semleges) pH helyett, savas környezetben zajlik (pH=3.6) ami nem életszerű. Továbbá a módszer nem alkalmas karotinodiok és tiol típusú vegyületek mérésére, mivel erre a módszer nem érzékeny. Ezenkívül bizonyos komponensek nem lépnek reakcióba a rendelkezésre álló idő alatt (Apak et al., 2007; Balogh, 2010). Mivel a módszer teljes mértékben elektronátmeneten alapul, más eljárásokkal kombinálva a különböző antioxidánsok reakciói elkülöníthetők lehetnek (Tálos-Nebehaj, 2017).

Mérés kivitelezése: A mérés során standard alapján 50 µl extraktumhoz 1,5 ml FRAP-reagenst adtunk. A reakcióidőt 5 percben állapítottuk meg, a spektrofotometriás mérést 593 nm-en végeztük. Mindegyik mintán három párhuzamos mérést végeztünk el. Az antioxidáns kapacitás számszerűsítéséhez aszkorbinsavat használtunk standardnak, az eredményeket mg aszkorbinsav egyenérték/g növényi szárazanyag mértékegységben adtuk meg (mg AE/g sz.a.).



8. ábra A FRAP-módszer mérési elve (URL 6)

4.4.3. Folyadékkromatográfias vizsgálatok

A nagy-hatékonyságú folyadékkromatográfia (High Performance Liquid Chromatography) manapság a hatóanyagtartalom vizsgálatok általánosan elterjedt legpontosabb módszere (Varma et al., 2021). A HPLC módszer egy elválasztás-technikai módszer, amely a mozgófázisba került minta alkotóit választja el. A szétválasztás oly módon történik, hogy a minta különböző alkotói eltérő fizikai és kémiai tulajdonságaikból adódóan eltérő idő alatt haladnak át az állófázison. A mozgófázisban lévő eltérő szerkezetű komponensek az állófázissal különböző kölcsönhatásokba kerülnek, így azon különböző időt töltenek. Emiatt a minta egyes vegyületei az állófázison való áthaladás során elválasztódnak egymástól, így

azonosíthatóvá válnak (Tálos-Nebehaj, 2017). A módszer előnye, hogy a kis méretű szerves molekuláktól a nagy méretű polimerekig vegyületek széles spektruma azonosítható. A módszer a pontossága miatt manapság a minőségbiztosítás egyik fontos eleme többek között a gyógyszeriparban. A módszer hátrányai közé tartozik annak bonyolultsága, időigényessége, valamint az álló és a mozgófázis helyes megválasztásának nehézsége (Dong, 2013; Bhardwaj et al., 2015).

Vizsgálataimban kétféle eljárást is alkalmaztam: elvégeztem a szerves savak elválasztását és mennyiségi meghatározását, valamint a polifenolos vegyületek profilozását. Mind a szerves savak mind a polifenolok jelentős mennyiségben vannak jelen a vizsgált növényekben és egyaránt hozzájárulnak az antioxidáns kapacitáshoz. Az elválasztáshoz egy Shimadzu LC-20 (Shimadzu Corporation, Kyoto, Japán) folyadékkromatográfot használtam. A detektálás egy diódasoros detektorral (Shimadzu SPD 20M) és egy AB Sciex 3200 QTRAP® LC/MS/MS hármass kvadrupól/lineáris ioncsapda típusú tömegspektrométerrel történt (Sciex, Framingham, USA).

4.4.3.1 Szerves savak mennyiségi meghatározása

A szerves savakat (oxálsav, citromsav, borkősav és borostyánkősav) egy Bio-Rad Aminex HPX-87H oszlopon (Bio-Rad Laboratories Inc., Hercules, USA) 60 °C hőmérsékleten 0,6 ml/perc áramlású 0,005 M H₂SO₄ mozgófázissal választottuk el. Az injektált térfogat 20 µl volt. A detektálás és mennyiségi kiértékelés 205-210 nm hullámhosszon történt. Mintánként három párhuzamos mérést végeztünk. Savtartalmakat tömegszázalékban adtuk meg, a bemért száraz növényi mintára viszonyítva.

4.4.3.2. Polifenolok profilozása

A kivonatok elválasztásához egy Phenomenex, Synergy Fusion C18, 2,6 µm, 150 mm x 4,6 mm oszlopot használtunk Phenomenex SecurityGuard ULTRA LC előtétoszloppal. A elválasztást 40°C-on végeztük el A (víz + 0,1% hangyasav) és B (acetonitril + 0,1% hangyasav) gradiens alkalmazásával (3% B (0-4 min), 6% B (10 min), 20% B (34 min), 57% B (73 min), 100% B (90-98 min), 3% B (99-106 min) 1,2 ml/min áramlási sebesség mellett. Detektálás: 250-380 nm hullámhossztartományon történt. A polifenolok profilozása és minőségi azonosítása tömegspektrometriásan történt. Ionforrás paraméterek: negatív elektroporlasztásos ionizáció (ESI), porlasztófeszültség: -4500 V, ionforrás hőmérséklet: 500 °C, függőnygáz (N₂) nyomás: 40 psi, porlasztógáz (N₂) nyomás: 30 psi, szárítógáz (N₂) nyomás: 30 psi. Polifenolok azonosítása: IDA (Information Dependent Analysis) kiértékelés segítségével a 80-1300 *m/z*

tartományon. Tömegspektrumok kiértékelése és a vegyületek azonosítása: RIKEN tandem tömegspektrometriás adatbázis (Sawada et al., 2012) és Chemspider adatbázis segítségével történt (9. ábra).



9. ábra A polifenolok profilozásához használt folyadékkromatográf és tömegspektrométer

4.5. Statisztikai kiértékelés

Az eredmények összehasonlításához a Statistica 8 nevű szoftvert (StatSoft Inc., Tulsa, USA) használtuk. A számolási módszer Tukey HSD, $p < 0,04$, a varianciák homogenitását a Bartlett-próbával ellenőriztük.

5. Eredmények és kiértékelésük

5.1. Antioxidáns kapacitás meghatározása

Mivel a korábbi kutatásunkban a szezonális változások tekintetében azt állapítottuk meg, hogy az egy vegetációs időszakban gyűjtött minták közül a tavaszi minták rendelkeznek a legnagyobb antioxidáns kapacitással, ezért a 2024-es évben a tavaszi minták vizsgálatát tűztük ki célul (Benke, 2023; Benke et al., 2024; Visiné Rajczi et al., 2024).

Meghatároztuk a **mezei sóska** extraktumok totálfenol, FRAP és DPPH antioxidáns kapacitás értékeit. Az eredményeket és a statisztikai kiértékelést a 1. Táblázatban foglaltuk össze.

1. Táblázat A 2024. tavaszi mezei sóska minták TPC (mg GE/g szá.), FRAP (mg AE/g szá.) és DPPH (mg TE/g szá.) antioxidáns kapacitás értékei (átlag $\pm$ szórás) különböző talajtakarások esetében. ko: kontrol, geo: geoszövet, méh: méhlegelő. A kontrol értékek félkövér betűtípussal, az ettől szignifikánsan magasabb értékek szürke háttérrel kerültek jelölésre. A különböző kategóriákba (a-b, a-c, a-b) sorolt minták átlagértékei szignifikánsan eltérnek $p < 0,04$ szinten.

	TPC	FRAP	DPPH
ko.	29,3 $\pm$ 0,4^a	18,0 $\pm$ 0,6^a	33,8 $\pm$ 0,1^a
geo.	31,4 $\pm$ 1,1 ^a	20,5 $\pm$ 0,4 ^b	36,2 $\pm$ 1,8 ^a
mulcs	50,9 $\pm$ 0,8 ^b	29,5 $\pm$ 1,3 ^c	44,7 $\pm$ 2,1 ^b
méh.	29,4 $\pm$ 0,6 ^a	18,8 $\pm$ 0,3 ^{ab}	36,2 $\pm$ 2,0 ^a

A mezei sóska tekintetében mindhárom módszerrel a „mulcs” minták esetében mértük a legnagyobb antioxidáns kapacitást. Az eredmények összhangban vannak az előző években mért eredményeinkkel, melyekben szintén a tavaszi „mulcs” mintákban mértük a legnagyobb antioxidáns kapacitást (Benke, 2023; Benke et al., 2024; Visiné Rajczi et al., 2024).

A 2. Táblázat a **lándzsás útifű** extraktumok totálfenol, FRAP és DPPH antioxidáns kapacitás eredményeit, valamint a statisztikai kiértékelést.

2. Táblázat A 2024. tavaszi lándzsás útifű minták TPC (mg GE/g szá.), FRAP (mg AE/g szá.) és DPPH (mg TE/g szá.) antioxidáns kapacitás értékei (átlag $\pm$ szórás) különböző talajtakarások esetében. ko: kontrol, geo: geoszövet, méh: méhlegelő. A kontrol értékek félkövér betűtípussal, az ettől szignifikánsan magasabb értékek szürke háttérrel kerültek jelölésre. A különböző kategóriákba (a-d, a-d, a-c) sorolt minták átlagértékei szignifikánsan eltérnek $p < 0,04$ szinten.

	TPC	FRAP	DPPH
ko.	77,8 $\pm$ 0,9^d	56,8 $\pm$ 1,0^d	198,9 $\pm$ 1,7^c
geo.	71,5 $\pm$ 0,8 ^c	53,0 $\pm$ 0,9 ^c	171,8 $\pm$ 4,7 ^b
mulcs	57,8 $\pm$ 1,2 ^b	46,6 $\pm$ 1,5 ^b	155,2 $\pm$ 4,8 ^a
méh.	52,4 $\pm$ 1,1 ^a	43,3 $\pm$ 0,7 ^a	150,1 $\pm$ 4,2 ^a

A lándzsás útifű vizsgálati eredményi alapján kijelenthető, hogy egyik talajtakarási módszerrel sem érhető el magasabb antioxidáns tartalom a „kontrol” mintákhoz képest. Ezek az

eredmények szintén igazodnak a korábbi kutatásink eredményeihez, ahol szintén a „kontrol” mintáknál mértük a legmagasabb értékeket mindhárom antioxidáns kapacitás mérési módszer esetében (Benke, 2023; Benke et al., 2024; Visiné Rajczi et al., 2024).

Meghatároztuk a **kis télizöld** extraktumok totálfenol, FRAP és DPPH antioxidáns kapacitás értékeit. Az eredményeket és a statisztikai kiértékelést a 3. Táblázatban foglaltuk össze.

3. Táblázat A 2024. tavaszi kis télizöld minták TPC (mg GE/g szá.), FRAP (mg AE/g szá.) és DPPH (mg TE/g szá.) antioxidáns kapacitás értékei (átlag $\pm$ szórás) különböző talajtakarások esetében. ko: kontrol, geo: geoszövet, méh: méhlegelő. A kontrol értékek félkövér betűtípussal, az ettől szignifikánsan magasabb értékek szürke háttérrel kerültek jelölésre. A különböző kategóriákba (a-c, a-b, a-b) sorolt minták átlagértékei szignifikánsan eltérnek $p < 0,04$ szinten.

	TPC	FRAP	DPPH
ko.	31,0 $\pm$ 0,6^c	21,6 $\pm$ 0,4^b	55,8 $\pm$ 3,9^b
geo.	28,4 $\pm$ 1,1 ^{ab}	18,5 $\pm$ 0,3 ^a	50,1 $\pm$ 0,6 ^{ab}
mulcs	29,6 $\pm$ 0,6 ^{bc}	20,1 $\pm$ 0,6 ^b	50,1 $\pm$ 1,4 ^{ab}
méh.	27,6 $\pm$ 0,2 ^a	17,5 $\pm$ 0,9 ^a	44,5 $\pm$ 2,2 ^a

A kis télizöld tekintetében megállapítható, hogy egyik talajtakarási módszerrel sem érhető el magasabb antioxidáns kapacitás, a kontrolhoz képest, egyik mérési módszer szerint sem. Ezek az eredmények is összhangban vannak az előző években mért adatainkkal, melyekben szintén a „kontrol” minták esetében mértük a legmagasabb értékeket (Benke, 2023; Benke et al., 2024; Visiné Rajczi et al., 2024).

5.2 Szerves savak mennyiségi meghatározása

A szerves savak közül a szakirodalmak alapján már leírt és bizonyított vegyületeket (oxálsav, citromsav, borkósav, borostyánkősav) mennyiségét mértük a mintákban. Ezek a vegyületek nem tartoznak a dolgozat témakijelölésében megadott „polifenolok” közé azonban ezek a szerves savak is antioxidáns tulajdonságokkal rendelkeznek, így hozzájárulnak kivonatok antioxidáns kapacitásához (Kayashima és Katayama, 2002; Ye et al., 2011; Singh et al., 2022; Jantwal et al., 2022). Ezért mennyiségi meghatározásukat fontosnak tartottuk, ezért végeztük el ezen vegyületek mennyiségi elemzését. A szerves savak meghatározása során kapott és kitékelt kromatogramokat a melléklet tartalmazza (Mellékletek – 13-16. ábrák).

4. Táblázat A 2024. tavaszi mezei sóska minták oxálsav, citromsav, borkősav és borostyánkősav tartalma m/m% (átlag ± szórás) száraz növényi anyagra vonatkoztatva különböző talajtakarások esetében. ko: kontrol, geo: geoszövet, méh: méh. A kontrol értékek félkövér betűtípussal, az ettől szignifikánsan magasabb értékek szürke háttérrel kerültek jelölésre. A különböző kategóriákba (a-b, a-c, a-b, a-b) sorolt minták átlagértékei szignifikánsan eltérnek $p < 0,04$ szinten.

	Oxálsav	Citromsav	Borkősav	Borostyánkősav
kon.	3,67 ± 0,08^a	0,614 ± 0,020^a	3,04 ± 0,16^a	0,909 ± 0,083^{ab}
geo.	3,89 ± 0,11 ^a	0,462 ± 0,038 ^c	3,30 ± 0,09 ^{ab}	0,911 ± 0,016 ^{ab}
mulcs	6,23 ± 0,12 ^b	0,327 ± 0,023 ^b	3,61 ± 0,21 ^b	1,015 ± 0,020 ^b
méh.	3,66 ± 0,13 ^a	0,567 ± 0,567 ^a	2,97 ± 0,12 ^a	0,850 ± 0,014 ^a

A szerves sav tartalmak vizsgálata során a **mezei sóska** esetében a „mulcs” mintákban találtuk a legmagasabb oxálsav, borkősav és borostyánkősav mennyiséget. Ezek a mérési eredmények összhangban vannak az antioxidáns kapacitás méréseink eredményeivel (ld. 1. Táblázat), ahol a szintén a „mulcs” mintáknál mértük a legmagasabb értékeket. A citromsav tartalom mérésekor egyik talajtakarási módszer esetében sem mértünk a kontrolhoz képest szignifikánsabb magasabb értéket. Az általunk mért oxálsav értékek a szakirodalmi adatokkal összehasonlítható nagyságrendű. Azonban megjegyzendő, hogy a legtöbb kutatás az oxálsav tartalmat nedves tömegre vonatkoztatva vizsgálja (Tuazon-Nartea és Savage, 2013; Seiner et al., 2020).

5. Táblázat A 2024. tavaszi lándzsás útifű minták oxálsav, citromsav, borkősav és borostyánkősav tartalma m/m% (átlag ± szórás) száraz növényi anyagra vonatkoztatva különböző talajtakarások esetében. ko: kontrol, geo: geoszövet, méh: méh. A kontrol értékek félkövér betűtípussal, az ettől szignifikánsan magasabb értékek szürke háttérrel kerültek jelölésre. A különböző kategóriákba (a-d, a-b) sorolt minták átlagértékei szignifikánsan eltérnek $p < 0,04$ szinten.

	Oxálsav	Citromsav	Borkősav	Borostyánkősav
kon.	-	0,590 ± 0,015^c	-	1,04 ± 0,058^a
geo.	-	0,514 ± 0,014 ^b	-	1,054 ± 0,068 ^a
mulcs	-	0,713 ± 0,021 ^d	-	1,055 ± 0,052 ^a
méh.	-	0,374 ± 0,013 ^a	-	1,244 ± 0,014 ^b

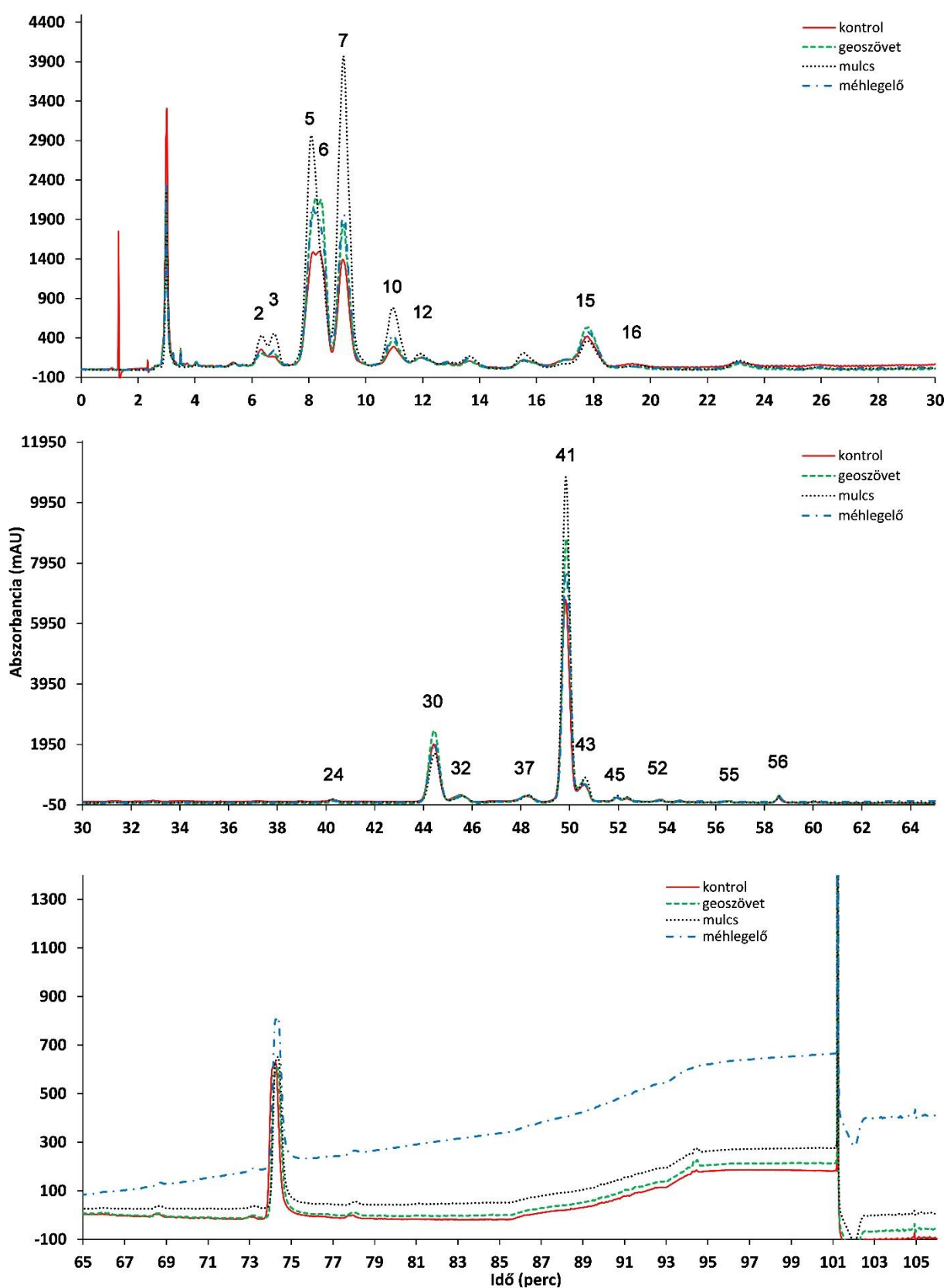
A **lándzsás útifű** esetében a „mulcs” mintákban mértük a legmagasabb citromsav tartalmat, és „méhlegelő” mintákban volt a legmagasabb a borostyánkősav tartalom. Oxálsavat, illetve borkősavat nem találtunk ennél a növényenél egyik minta esetében sem, habár más kutatások ki tudtak mutatni oxálsavat (Guil-Guerrero, 2001; Mondal et al., 2021). Utóbbi kutatás citromsav és borkősav jelenlétét is vizsgálta, de egyiket sem találta meg a növényben. Pankoke és Müller (2013) a növény vizsgálata során borostyánkősavat detektáltak a lándzsás útifűben. A kutatás azt is megállapította, hogy a visszavágás hatására megnő a növényben a borostyánkősav mennyisége.

6. Táblázat A 2024. tavaszi kis télizöld minták oxálsav, citromsav, borkősav és borostyánkősav tartalma m/m% (átlag $\pm$ szórás) száraz növényi anyagra vonatkoztatva különböző talajtakarások esetében. ko: kontrol, geo: geoszövet, méh: méh. A kontrol értékek félkövér betűtípussal, az ettől szignifikánsan magasabb értékek szürke háttérrel kerültek jelölésre. A különböző kategóriákba (a-c) sorolt minták átlagértékei szignifikánsan eltérnek $p < 0,04$ szinten.

	Oxálsav	Citromsav	Borkősav	Borostyánkősav
kon.	-	0,052 $\pm$ 0,003^a	-	-
geo.	-	0,095 $\pm$ 0,002 ^b	-	-
mulcs	-	0,157 $\pm$ 0,004 ^c	-	-
méh.	-	0,182 $\pm$ 0,003 ^d	-	-

A **kis télizöldben** egyedül citromsavat sikerült azonosítani, amelyből a legnagyobb mennyiség a „méhlegelő” mintákban volt megtalálható. Chen et al. (2017) kutatásaik során a növény extraktumaiból oxálsavat, borkősavat és borostyánkősavat is ki tudott mutatni. Megjegyzendő ugyanakkor, hogy a kis télizöldben található szerves savakkal foglalkozó irodalmak száma igen alacsony.

5.3. Polifenolok profilozása



10. ábra. A mezei sóska extraktumainak kromatogramja UV (250-380 nm)
piros: kontrol, fekete:geoszövet, zöld: mulcs, kék: méhlegelő. Vegyületek számozását lásd a
7. táblázatban

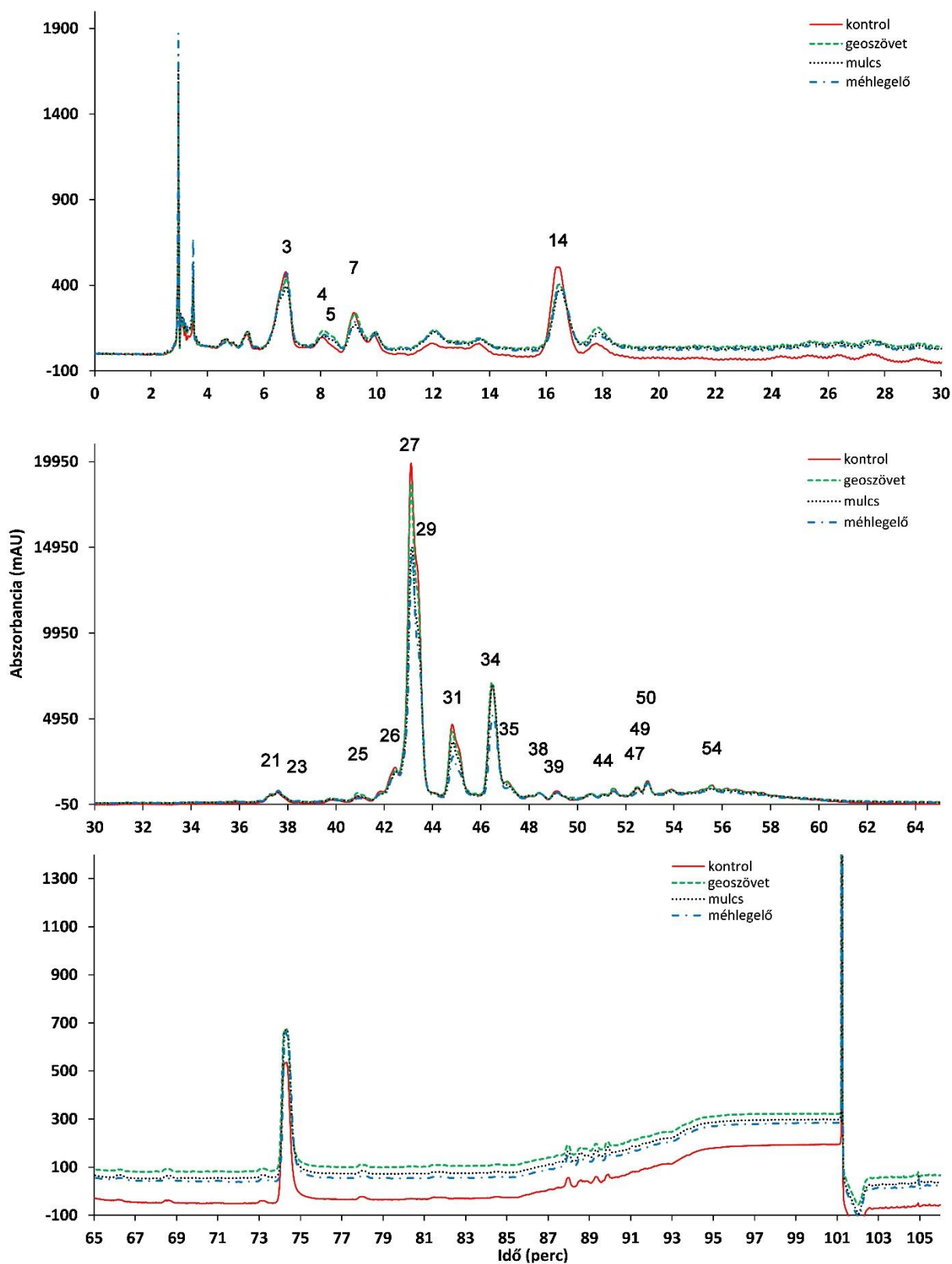
A kromatográfiás elválasztással kapott kromatogramok csúcsaihoz tartozó tömegspektrumok kiértékelése során összesen 60 vegyületet azonosítottunk.

A **mezei sóska** esetében 19 féle vegyületet sikerült azonosítani. A mérés során a mintákban kávéssavat és rutint sikerült detektálni, illetve nagy számban fordultak elő a kvercetin-, ferulasav-, kávéssav-származékok, klorogénsav izomerek és *p*-kumaroilkinasav izomerek. Feduraev et al. (2022) a mezei sóska HPLC-s vizsgálata során szintén kimutattak a növény extraktumaiból rutint, kvercetin származékokat és kávéssavat. Ugyanez a kutatás standard vegyületek segítségével a kromatográfiás elválasztás során klorogénsavat is azonosított a mezei sóska kivonatokból. Li et al. (2022) megállapította, hogy a kvercetin származékok egyéb *Rumex* fajokban is gyakran előforduló vegyületek. Ugyanakkor Kandemir és társai (2023) kutatásuk során juhsóska (*Rumex acetosella*) vizsgálata során kvercetint és klorogénsavat nem tudtak kimutatni a növényből.

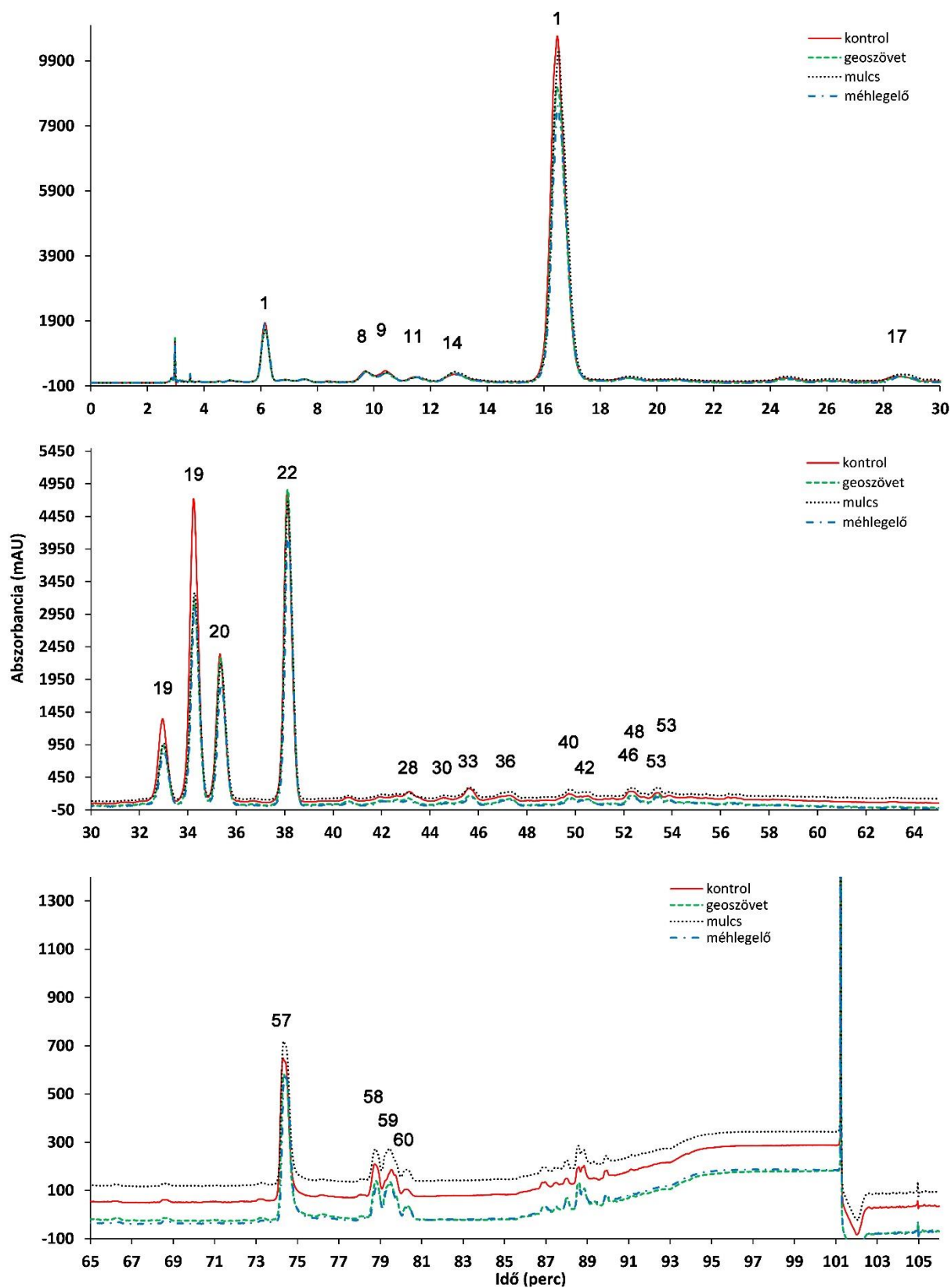
A kromatogramok csúcsait összehasonlítva – amelyek arányosak a mintákban található vegyületek mennyiségével – elmondható, hogy a mezei sóska esetében a legnagyobb mennyiségben előforduló vegyületek a *p*-kumaroilkinasav izomerek (**5**, **7**), a **30** és **41** számú kvercetin-származék voltak.

A kromatográfiás elválasztás így kapott mérési eredményei összhangban vannak az antioxidáns kapacitás méréseink eredményeivel. A kromatogramon kiugróan magas csúcsok annál a talajtakarási módszernél jelentkeztek, ahol az antioxidáns tartalom is magasabb volt a többi mintánál. Vizsgálataink során kávéssavból (**2**), a **3** számú klorogénsav izomerből, *p*-kumaroilkinasav izomerekből (**5,7**), a **10** számú ismeretlen vegyületből, illetve a **41** számú kvercetin-származékból a „mulcs” mintákban mértük a legmagasabb mennyiséget. A profilozás során mintánként egy mérés történt, így statisztikai kiértékelést a csúcsterületekre nem végeztünk, ennek ellenére a „mulcs” mintáknál a csúcsterületek szembetűnő emelkedése a kontrol mintához képest feltételezhetően szignifikáns különbséget jelez, melyet az antioxidáns kapacitási értékekben (ld. 1. Táblázat) kimutatott szignifikáns különbségek igazolnak. Ez is alátámasztja azt, hogy a kutatás korábbi részében miért a „mulcs” mintákban mértük az egyik legmagasabb antioxidáns kapacitást.

Több kutatás is igazolta, hogy a növények antioxidáns kapacitása és a bennük található fenolos komponensek mennyisége között pozitív korreláció áll fenn (Nazaruk et al., 2008; Wijngaard et al., 2009), ezt az összefüggést *Rumex* fajok esetében Wegiera és munkatársai is bizonyították (2010).



11. ábra. A lándzsás útifű extraktumainak kromatogramja UV (250-380 nm)
 piros: kontrol, fekete: geoszövet, zöld: mulcs, kék: méhlegelő. Vegyületek számozását lásd a
 7. táblázatban



12. ábra. A kis télizöld extraktumainak kromatogramja UV (250-380 nm)
 piros: kontrol, fekete: geoszövet, zöld: mulcs, kék: méhlegelő. Vegyületek számozását lásd a
 7. táblázatban

A **lándzsás útifű** vizsgálata során 21 féle vegyületet tudtunk azonosítani. A kromatográfiás eljárás során kávéssavat és számos kávéssav származékot találtunk. Ezenkívül a mintákban jelen voltak klorogénsav izomerek, galluszsav származékok, *p*-kumaroilkinasav izomerek és ferulasav származékok. A lándzsás útifűben több kutatás során is kimutattak kávéssavat, klorogénsavat, galluszsavat és ferulasavat (Beara et al, 2012; Nichita et al, 2016; Bahadori et al, 2020).

A legnagyobb mennyiségben a **27**, a **29** és a **31** számú kávéssav származék, illetve a **34** számú ismeretlen vegyület volt jelen az extraktumokban.

A lándzsás útifű esetében a kromatográfiás elválasztás során egyik talajtakarási módszer esetében sem tapasztalható, hogy valamelyik polifenolos vegyületből számottevően magasabb mennyiség lenne jelen, mint a többi mintában. Habár az antioxidáns kapacitás meghatározás során mindhárom módszer esetében a „kontrol” minták rendelkeztek a legmagasabb értékekkel, a kromatogram más tendenciát mutat. Ennek magyarázata az lehet, hogy a különböző antioxidáns hatású polifenolok – ugyanazon módszerrel mérve is – eltérő antioxidáns kapacitást mutatnak (Galato et al., 2001). Továbbá egy több polifenolos komponensből álló extraktum antioxidáns kapacitása nem egyenesen arányos az összetevők külön-külön megmért antioxidáns kapacitásának összegével a különböző szinergista és antagonistá hatások miatt (Jacobo-Velazquez és Cisneros-Zevallos, 2009).

A **kis télizöld** esetében 25 vegyületet sikerült azonosítani. A növény extraktumaiban számos *p*-kumársav-, ferulasav-, kinasav- és kvercetin származék és klorogénsav izomer volt található. Ciorita és társai (2021) a növény vizsgálatok jelentős mennyiségű klorogénsavat azonosítottak méréseik során. Továbbá kávéssavat és kisebb mennyiségben rutint és kvercetint is találtak a vizsgált extraktumokban. Sezer és társai (2018) a kis télizöld vizsgálata során szintén detektált klorogénsavat, kvercetint és kávéssavat. A kis télizöldben található polifenolos vegyületekkel foglalkozó irodalom viszonylag kis számú, mivel a publikációk főleg a növény fő hatóanyagával, a vinkamin névű alkaloiddal és egyéb alkaloid vegyületekkel foglalkoznak (Dimitrescu et al., 2021).

A legnagyobb mennyiségben az **1** számú dihiroxibenzoésav származék volt jelen a mintákban. Ezenkívül még a **19** számú kvercetin származékot és a **20** és **22** számú kempferol származékokat találtuk meg nagy mennyiségben.

A kis télizöld extraktumok kromatogramjairól elmondható, hogy igazodik az antioxidáns tartalom vizsgálatokkor kapott eredményekhez – habár a talajtakarások közt szignifikáns eltérést csak a FRAP módszer esetébe kaptunk ott is. A „kontrol” és a „mulcs”

minták görbéi némileg magasabb értékeket vesznek fel, számottevő különbség egyetlen esetben áll fenn. Az egyetlen kiugró csúcs a **19** számú kvercetin származékhoz tartozik, amelyből a „kontrol” mintában volt a legmagasabb mennyiség.

7. Táblázat A mezei sóska (S), lándzsás útifű (Ú) és a kis télizöld (T) polifenoljainak folyadékkromatográfiás/tömegspektrometriás azonosítása. M-H: anyaiion, MS/MS: főbb fragmensek.

Csúcs	t _r (perc)	Vegyület neve	S	Ú	T	[M-H] ⁻ m/z	MS/MS m/z
1	6.15	dihiroxibenzoészav-O-hexozid származék			x	653	337, 315, 235, 153, 109
2	6.33	kávéészav	x			179	135
3	6.8	klorogészav izomer	x	x		353	191, 179, 161, 135
4	8.09	galluszészav-O-hexozid származék		x		375	213, 169, 151, 125, 107, 95
5	8.2	p-kumaroilkinaszav izomer	x	x		337	191, 173, 163, 155, 119, 111
6	8.36	kávéészav-O-hexozid	x			341	179, 135
7	9.19	p-kumaroilkinaszav izomer	x	x		337	191, 173, 163, 155, 119, 111
8	9.7	p-kumársészav-O-hexozid származék			x	325	205, 187, 163, 145, 119
9	10.4	galluszészav-O-hexozid származék			x	375	213, 169, 151, 125
10	10.98	ismeretlen	x			447	429, 339, 315, 239, 168, 151, 125
11	11.5	ismeretlen			x	411	389, 231, 209, 187, 161, 139, 121
12	11.89	ismeretlen	x			367	235, 293, 134
13	13.15	klorogészav izomer			x	353	191, 179, 161, 135
14	16.48	klorogészav izomer		x	x	353	191, 179, 161, 135
15	17.77	ismeretlen	x			355	295, 217, 193, 175, 160, 134
16	19.64	(+)-katechin	x			289	245, 203, 125, 123, 109
17	28.4	ismeretlen			x	377	331
18	33.1	kvercetin-O-hexozid-deoxihexozid-hexozid			x	771	609, 462, 301, 300, 271, 255, 179
19	34.4	kvercetin-O-hexozid-deoxihexozid-hexozid			x	771	609, 462, 301, 300, 271, 255, 179
20	35.33	kempferol-O-hexozid-deoxihexozid-hexozid			x	775	635, 593, 447, 327, 285, 284, 255, 227
21	37.4	kávéészav-O-hexozid származék		x		639	529, 459, 325, 233, 203, 179, 161, 135
22	38.1	kempferol-O-hexozid-deoxihexozid-hexozid			x	775	635, 593, 447, 327, 285, 284, 255, 227
23	38.6	kávéészav-O-dihexozid származék		x		785	623, 477, 461, 179, 161, 135
24	40.26	kvercetin-O-acetil-hexozid származék	x			813	753, 651, 591, 463, 301, 300, 271, 215
25	40.98	kávéészav-O-hexozid származék		x		639	529, 459, 325, 233, 203, 179, 161, 135
26	42.45	kávéészav-származék		x		835	637, 483, 461, 351, 285, 193, 179, 161
27	43.11	kávéészav-O-hexozid származék		x		623	461, 315, 297, 179, 161, 135
28	43.14	ismeretlen			x	513	339, 295, 251
29	43.4	kávéészav-O-hexozid származék		x		623	461, 315, 297, 179, 161, 135
30	44.42	kvercetin-származék	x		x	609	343, 301, 300, 271, 255, 179
31	44.8	kávéészav-O-hexozid származék		x		651	489, 325, 203, 179, 161, 135
32	45.53	kvercetin-O-hexozid	x			463	343, 301, 300, 272, 257, 215, 191
33	45.61	kvercetin-származék			x	609	343, 301, 300, 271, 255, 179
34	46.48	ismeretlen		x		637	461, 357, 327, 285, 297, 175, 113
35	47.1	kávéészav-O-hexozid-ramnoزيد származék		x		769	607, 461, 315, 179, 161, 135
36	47.3	kempferol-O-rutinoزيد			x	593	447, 429, 285, 284, 255, 227
37	48.28	kvercetin-O-pentoزيد	x			433	301, 300, 272, 257, 216
38	48.42	ferulasészav-O-glükuronid származék		x		989	813, 527, 461, 285, 193, 175, 149, 134
39	49.1	kávéészav-O-dihexozid származék		x		653	491, 476, 445, 283, 179, 161, 135
40	49.73	kempferol-O-rutinoزيد			x	593	447, 429, 285, 284, 255, 227
41	49.84	kvercetin-O-ramnoزيد-O-acetil-ramnoزيد	x			651	591, 505, 445, 301, 300, 271, 179
42	50.52	kávéészav-O-hexozid származék			x	537	375, 331, 313, 179, 161, 135
43	50.57	kvercetin-O-ramnoزيد-O-acetil-ramnoزيد	x			651	591, 505, 445, 301, 300, 271, 179
44	51.5	kávéészav-O-dihexozid-glükuronid származék		x		1111	917, 755, 737, 593, 315, 179, 161, 135
45	51.93	kempferol-O-acetil-hexozid származék	x			653	593, 575, 411, 285, 284, 255, 227
46	52.26	kumársészav-O-hexozid-ramnoزيد származék			x	521	357, 315, 297, 195, 163, 145, 119
47	52.5	kávéészav-O-ramnoزيد származék		x		1139	975, 783, 619, 355, 193, 179, 161, 135
48	52.55	kinaszav származék			x	705	487, 439, 332, 191, 173, 127, 111, 109

49	52.6	ferulasav- <i>O</i> -glükuronid származék	x	475	337, 299, 284, 175, 149, 134, 113
50	52.9	ismeretlen- <i>O</i> -glükuronid származék	x	461	399, 285, 217, 199, 151
51	53.54	<i>p</i> -kumársav- <i>O</i> -hexozid-ramnozid származék	x	521	357, 315, 297, 195, 163, 145, 119
52	53.71	ferulasav- <i>O</i> -dihexozid- <i>O</i> -glükuronid	x	693	517, 337, 193, 175, 160, 148, 134
53	53.91	kinasav származék	x	705	487, 439, 332, 191, 173, 127, 111, 109
54	55.56	kávésav- <i>O</i> -hexozid származék	x	1153	913, 755, 593, 575, 315, 179, 161, 135
55	56.5	ferulasav- <i>O</i> -dihexozid származék	x	735	559, 337, 265, 193, 175, 160, 148, 134
56	58.58	rutin	x	609	301, 300, 271, 255, 179
57	74.3	<i>p</i> -kumársav- <i>O</i> -ramnozid származék	x	617	453, 407, 163, 145, 119
58	78.73	<i>p</i> -kumársav- <i>O</i> -ramnozid származék	x	617	453, 407, 163, 145, 119
59	79.54	ferulasav származék	x	647	603, 453, 407, 193, 178, 149, 134
60	80.45	ferulasav származék	x	647	603, 453, 407, 193, 178, 149, 134

6. Következtetések

Jelen munkában vizsgáltuk a Bajti Nemesítő Telep agrárerdészeti rendszerében termesztett három gyógynövényfaj tavasszal gyűjtött mintáit. Ezen fajok a mezei sóska, a lándzsás útifű és a kis télizöld antioxidáns tartalmát különböző talajtakarási módszerek mellett. Továbbá elvégeztük a növények polifenol profilozását nagy hatékonyságú folyadékkromatográfiával/tandem tömegspektrometriával (HPLC-MS/MS).

A mezei sóska esetében megállapítottuk, hogy – mindhárom mérési módszer esetében – a „mulcs” talajtakarással termesztett növények rendelkeznek a legnagyobb antioxidáns kapacitással, melyek szignifikánsan magasabbak a többi talajtakarásban termelt- és a kontrol mintákhoz képest. A lándzsás útifű esetében a legmagasabb FRAP, TPC és DPPH értékeket is a „kontrol” mintákban mértük. A kis télizöld esetében szintén megállapítható, hogy egyik talajtakarási módszer sem befolyásolta szignifikánsan az antioxidáns tartalmat. Az így megállapított antioxidáns kapacitások mindhárom növény esetében hasonlóak a korábbi mérési eredményeinkhez.

A szerves sav tartalmak vizsgálata során a mezei sóska esetében a „mulcs” mintákban találtuk a legmagasabb oxálsav, borkősav és borostyánkősav mennyiséget. Ezek a mérési eredmények összhangban vannak az antioxidáns kapacitás méréseink eredményeivel, ahol a szintén a „mulcs” mintáknál mértük a legmagasabb értékeket. Megállapítottuk, hogy egyik talajtakarási módszerrel termesztett minta citromsav tartalma sem haladta meg a kontrol értékeket. A lándzsás útifű esetében a „mulcs” mintákban mértük a legmagasabb citromsav tartalmat, és „méhlegelő” mintákban volt a legmagasabb a borostyánkősav tartalom. Oxálsavat, illetve borkősavat nem tudtunk a növényből kimutatni. A kis télizöldben egyedül citromsavat sikerült azonosítani, amelyből a legnagyobb mennyiség a „méhlegelő” mintákban volt megtalálható.

A kromatográfiás elválasztás során a mezei sóska esetében 19féle vegyületet sikerült azonosítani. A mintákban a legnagyobb mennyiségben két *p*-kumaroilkinasav izomer és két kevercetinszármazék volt jelen. Ezenkívül kávéssavat, rutint, illetve nagy számú kevercetint, ferulasav, kávéssav-származékot, klorogénsav izomert és *p*-kumaroilkinasav izomert sikerült detektálni. A kromatográfiás vizsgálat során „mulcs” minták esetében 5 vegyületnél is kimagaslóan nagy értéket mértünk – ez az eredmény összhangban van a növény antioxidáns kapacitásának vizsgálatakor kapott eredményekkel. A lándzsás útifűben 21 polifenolt azonosítottunk és jellemeztük a szerkezetét. A kivonatokból klorogénsav izomereket, galluszsav származékokat, *p*-kumaroilkinasav izomereket és ferulasav származékokat tudtunk kimutatni. A legnagyobb mennyiségben az egyik kávéssav származék (m/z 623) volt megtalálható mintákban. Habár az antioxidáns kapacitás meghatározás során mindhárom módszer esetében a „kontrol” minták rendelkeztek a legmagasabb értékekkel a kromatográfiás elválasztás során egyik talajtakarási módszer esetében sem tapasztalható, hogy valamelyik polifenolos vegyületből számottevően magasabb mennyiség lenne jelen, mint a többi mintában. A kis télizöld esetében 25féle vegyületet tudtunk azonosítani. A növény extraktumaiban a legnagyobb mennyiségben egy dihiroxibenzoésav származék, egy kevercetinszármazék és két kempferol származék volt jelen. Továbbá számos *p*-kumársav-, ferulasav-, kinasav- és kevercetinszármazék és klorogénsav izomer kimutatható volt a vizsgálat során.

A mérési eredményeink alapján megállapítható, hogy a különböző talajtakarások hatása a növények antioxidáns kapacitására és polifenol tartalmára erősen fajfüggő. A kapott adatok alátámasztják azt a megállapítást, hogy az antioxidáns tartalom meghatározására és összehasonlítására több különböző módszer alkalmazása javasolt különböző fajú növények eltérő kémiai összetétele miatt. Az eredményeim hozzájárulnak az agrárerdészeti rendszerekben termelt gyógynövények kémiai összetételének kutatásához, illetve az adatok alapul szolgálhatnak a további fajokon végzett kísérletek tervezéséhez.

7. Köszönetnyilvánítás

Szeretnék köszönetet mondani Dr. Hofmann Tamásnak és Visiné Dr. Rajczi Eszternek a kutatáshoz és a dolgozat megírásához nyújtott segítségért. Köszönöm a közös munka során kapott hasznos tanácsokat és az általuk átadott tudást. Továbbá köszönöm a Környezet- és Természetvédelmi Intézetnek, hogy a kutatást lehetővé tette, és az ahhoz a szükséges eszközöket biztosította.

A kutatás megvalósítását a következő projektek támogatták: EFOP-3.6.2-16-2017-00018 „Termeljünk együtt a természettel – Az agrárerdészet, mint új kitörési lehetőség”, REFOREST - Agroforestry at the forefront of farming sustainability in multifunctional landscapes in Europe, 101060635 (<https://agroreforest.eu/>), AGROSUS (Agroecological strategies for sustainable weed management in key European crops), 101084084 (<https://agrosus.eu/>).

A dolgozat a Kulturális és Innovációs Minisztérium Nemzeti Kutatási Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatásával, az EKÖP-24-2-I-SOE-22 kódszámú Egyetemi Kutatói Ösztöndíj Program segítségével; a Nemzeti Felsőoktatási Ösztöndíj, illetve a Soproni Egyetemért Alapítvány Tudományos Diákköri (TDK) és Művészeti Diákköri (MDK) felkészülési ösztöndíjának támogatásával valósult meg.

8. Irodalomjegyzék

- Abbas, M., Saeed, F., Anjum, F. M., Afzaal, M., Tufail, T., Bashir, M. S., ... & Suleria, H. A. R., 2017: Natural polyphenols: An overview. *International Journal of Food Properties*. 20. (8). 1689-1699.
- Anna Caprile, 2022: New EU forest strategy for 2030. European Parliamentary Research Service. PE 698.936.
- Apak, R., Güçlü, K., Demirata, B., Özyürek, M., Çelik, S.E., Bektaşoğlu, B., Berker, K.I. and Özyurt, D., 2007: Comparative evaluation of various total antioxidant capacity assays applied to phenolic compounds with the CUPRAC assay. *Molecules*. 12. (7). 1496-1547.
- Aydinalp, C. és Cresser, M.S., 2008: The effects of global climate change on agriculture. *American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences*. 3. (5). 672-676.
- Bae, J.Y., Lee, Y.S., Han, S.Y., Jeong, E.J., Lee, M.K., Kong, J.Y., Lee, D.H., Cho, K.J., Lee, H.S., Ahn, M.J., 2012: A Comparison between Water and Ethanol Extracts of *Rumex acetosa* for Protective Effects on Gastric Ulcers in Mice. *Biomolecules and Therapeutics*. 20. (4). 425-430.
- Bahadori, M.B., Sarikurkcu, C., Kocak, M.S., Calapoglu, M., Uren, M.C., Ceylan, O., 2020: *Plantago lanceolata* as a source of health-beneficial phytochemicals: Phenolics profile and antioxidant capacity. *Food Bioscience*. 34. 100536.
- Balogh, E., 2010: Antioxidáns kapacitás meghatározása és ennek kialakításában szerepet játszó vegyületek vizsgálata bogys gyümölcsökben. Doktori (PhD) értekezés. Budapesti Corvinus Egyetem, Budapest.
- Beara, I.N., Lesjak, M.M., Orcic, D.Z., Simin, N.D., Cetojevic-Simin, D.D., Bozin, B.N., Mimica-Dukic, N.M., 2012: Comparative analysis of phenolic profile, antioxidant, anti-inflammatory and cytotoxic activity of two closely-related Plantain species: *Plantago altissima* L. and *Plantago lanceolata* L. *Food Science and Technology*. 47. (1). 64-70.
- Bello, O.M., Fasinu, P.S., Bello, O.E., Ogbesejana, A.B., Adetunji, C.O., Dada, A.O., Ibitoye, O.S., Aloko, S., Oguntoye, O.S., 2019: Wild vegetable *Rumex acetosa* Linn.: Its ethnobotany, pharmacology and phytochemistry. *South African Journal of Botany*. 125. 149-160.
- Benke, D., Hofmann T., Visiné Rajczi, E., 2023: Agrárerdészeti rendszerekben termelt gyógynövények antioxidáns tartalmának vizsgálata. Tudományos Diákköri dolgozat. Soproni Egyetem, Sopron.
- Benke D., Visiné Rajczi, E., Hofmann T., 2024: Antioxidant capacity of medical plants produced in agroforestry system. *Acta Facultatis Forestalis Zvolen.* – közlésre benyújtva 2024.05.20.
- Benzie, I.F.F., Strain, J.J., 1996: The Ferric Reducing Ability of Plasma (FRAP) as a Measure of “Antioxidant Power”: The FRAP Assay. *Analytical Biochemistry*. 239. 70-76.
- Berker, K.I., Güçlü, K., Tor, I., Apak, R., 2007: Comparative evaluation of Fe(III) reducing power-based antioxidant capacity assays in the presence of phenanthroline, batho-phenanthroline, tripyridyltriazine (FRAP), and ferricyanide reagents. *Talanta*. 72. 1157-1165.
- Bhardwaj, S.K., Dwivedia, K. and Agarwala, D.D., 2015: A review: HPLC method development and validation. *International Journal of Analytical and Bioanalytical Chemistry*. 5. (4). 76-81.
- Blois, M.S., 1958: Antioxidant Determinations by the Use of a Stable Free Radical. *Nature*. 181. 1199-1200.
- Calfapietra, C., Gielen, B., Karnosky B., Ceulemans, B., Mugnozza, G.S., 2010: Response and potential of agroforestry crops under global change. *Environmental Pollution*. 158. 1095-1104.
- Chu, W.L., 2011: Potential applications of antioxidant compounds derived from algae. *Current Topics in Nutraceutical Research*. 9. (3). 83-98.
- Ciorita, A., Zagrean-Tuza, C., Mot, A.C., Carpa, R., Parvu, M., 2021: The Phytochemical Analysis of *Vinca* L. Species Leaf Extracts Is Correlated with the Antioxidant, Antibacterial, and Antitumor Effects. *Molecules*. 26. (10). 3040.
- de Abreu, I.N., Mazzafera, P., 2005: Effect of water and temperature stress on the content of active constituents of *Hypericum brasiliense* Choisy. *Plant Physiology and Biochemistry*. 43. 241-248.
- de Jong, W., Pokorny, B., Katila, P., Galloway, G., Pacheco, P., 2018: Community Forestry and the Sustainable Development Goals: A Two Way Street. *Forest*. 9. 331.
- den Herder, M., Moreno, G., Mosquera-Losada R.M., Palma, J.H.N., Sidiropoulou, A., Frejanes J.J.S., Crous-Duran, J., Paulo J.A., Tomé, M., Pantera A., Papanastasis V.P., Mantzanas, K., Pachana, P., Papadopoulos, A., Plieninger, T., Burgess, P.J., 2017: Current extent and stratification of agroforestry in the European Union. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 241. 121-132.
- Dimitrescu A.M., Stanciu, G., Sirbu, R., Busuricu, F., 2021: Spectrophotometric Studies of Indolic Compounds from *Vinca Minor* L. *European Journal of Natural Sciences and Medicine*. 4. (1). 88-98.

- Ekor M., 2014: The growing use of herbal medicines: issues relating to adverse reactions and challenges in monitoring safety. *Frontiers in pharmacology*. 4. 177.
- Feduraev, P., Skrypnik, L., Nebreeva, S., Dzhobodze, G., Vatagina, A., Kalinina, E., Pungin, A., Maslennikov, P., Riabova, A., Krol, O., Chupakhina, G., 2022: Variability of Phenolic Compound Accumulation and Antioxidant Activity in Wild Plants of Some Rumex Species (*Polygonaceae*). *Antioxidants*. 11. 311.
- Frankel, E.N., Meyer A.S., 2000: The problems of using one-dimensional methods to evaluate multifunctional food and biological antioxidants. *Science of Food and Agriculture*. 80. (13). 1925-1943.
- Galato, D., Ckless, K., Susin, M. F., Giacomelli, C., Ribeiro-do-Valle, R. M., & Spinelli, A., 2001: Antioxidant capacity of phenolic and related compounds: correlation among electrochemical, visible spectroscopy methods and structure–antioxidant activity. *Redox Report*. 6. (4. 243-250.
- Grigore, A., Bubueanu, C., Pirvu, L., Ionita, L., Toba, G., 2015: *Plantago lanceolata* L. Crops- Source of valuable raw material for various industrial applications. *Scientific Papers. Series A. Agronomy*. 58. 207-214.
- Guil-Guerrero, J. L., 2001: Nutritional composition of *Plantago* species (*P. major* L., *P. lanceolata* L., and *P. media* L.). *Ecology of food and nutrition*. 40. (5). 481-495.
- Gustavsson, L., Haus S., Lundblad, M., Lundström, M., Ortiz, C.A., Sathre, R., Truong, N.L., Wikberg, P.E., 2017: Climate change effects of forestry and substitution of carbon-intensive materials and fossil fuels. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 67. 612-624.
- Guti, E., 2023: Összehasonlító mikroklíma vizsgálatok a bajti csemetekert köztestermesztéses agrárerdészeti rendszerében. Diplomamunka. Soproni Egyetem, Sopron.
- Halliwell, B., 1990: How to characterize a biological antioxidant. *Free Radical Research Communications*. 9. (1). 1-32.
- Hegedűs A., és Stefanovitsné, B.E., 2012. Természetes antioxidáns-forrásunk: a gyümölcs. Debrecen: Debreceni Egyetem, AGTC, Kertészettudományi Intézet. pp. 162
- Hu, S., Yin, J., Nie, S., Wang, J., Phillips, G.O., Xie, M., Ciu, S.W., 2016: In vitro evaluation of the antioxidant activities of carbohydrates. *Bioactive Carbohydrates and Dietary*. 7. 19-27.
- Huang, D., Ou, B., Prior, R.L., 2005: The chemistry behind antioxidant capacity assays. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 23. (53). 1841.
- Irtegin Kandemir, S., Aktepe, N., Baran, A., Baran, M. F., Atalar, M. N., Keskin, C., ... & Khalilov, R., 2024: Determination of chemical composition and antioxidant, cytotoxic, antimicrobial, and enzyme inhibition activities of *Rumex acetosella* L. plant extract. *Chemical Papers*. 1-10.
- 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. *Journal of Food Science*. 74. (9). R107-R113.
- Jantwal, A., Durgapal, S., Upadhyay, J., Joshi, T., & Kumar, A., 2022: Tartaric acid. In *Antioxidants Effects in Health*. 485-492.
- Kárpáti, E., Bíró, K., Kukorelli, T., 2002: Investigation of vasoactive agents with indole skeletons at Richter Ltd. *Acta Pharmaceutica Hungarica*. 72. (1). 25-36
- Kaya, S., Regab, C., Morenoc, G., den Herder, M., Palmae, J.H.N., Borekg, R. , Durane, J.C., Freese, D., Giannitsopoulou, M., Gravesi, A., Jäger, M., Lamersdorf, N., Memedemin, D., Losadam, R.M., Panteran, A., Paracchini, M.L., Pariso P., Díaza, J.V.R., Roloc, V., Rosatiq, A., Sandorr, M., Smiths, J., Szerencsits, E., Vargat, A., Viaudu, V., Wawerg, R., Burgess, P.J., Herzoga, F., 2019: Agroforestry creates carbon sinks whilst enhancing the environment in agricultural landscapes in Europe. *Land Use Policy*. 83. 581-593
- Kayashima, T., & Katayama, T., 2002: Oxalic acid is available as a natural antioxidant in some systems. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-General Subjects*. 1573. (1). 1-3.
- Koel, M., Kuhtinskaja, M., Vaher, M., 2020: Extraction of bioactive compounds from *Catharanthus roseus* and *Vinca minor*. *Separation and Purification Technology*. 252.
- Kovács, K., Vityi, A., Szalay, D., 2019: Az agroerdészet szerepe az erdőfelújításban és a növekvő faanyagigény kielégítésében. *Jelenkori Társadalmi és Gazdasági Folyamatok*. 14. 2. 59-63.
- Láng, I., Bedő, Z., Balázs, E., Börner, A., Veisz, O. (szerk.), 2011: Climate Change: Challenges and Opportunities in Agriculture. *Agricultural Research Institute of the Hungarian Academy of Sciences*. Budapest.
- Li, J. J., Li, Y. X., Li, N., Zhu, H. T., Wang, D., & Zhang, Y. J., 2022: The genus *Rumex* (*Polygonaceae*): an ethnobotanical, phytochemical and pharmacological review. *Natural Products and Bioprospecting*. 12. (1). 21.

- Lu, Y., Du, Y., Qin, X., Wu, H., Huang, Y., Cheng, Y., & Wei, Y., 2019: Comprehensive evaluation of effective polyphenols in apple leaves and their combinatory antioxidant and neuroprotective activities. *Industrial Crops and Products*. 129. 242-252.
- Lugasi, A., Blázovics, A., 2001: Az egészséges táplálkozás tudományos alapjai. Fodor József Országos Közegészségügyi Központ, Budapest.
- Lundgren, B.O., Raintree, J.B., 1983: Sustained Agroforestry. Reprint for International Council for Research in Agroforestry.
- Mammela, P. (2002). Polyphenols of hardwood species. Monitoring of wood dust exposure. University of Kuopio, Kuopio.
- Mondal, R., Negi, A., & Mishra, M., 2021: Morphoanatomical, Histochemical Characterization & Preliminary Phytochemical Studies of *Plantago major* L. *IJRAR*. 8. (3). 823-860.
- Mosquera-Losada, M.R., Santiago-Freijanes, J.J., Rois-Díaz, M., Moreno, G., den Herder, M., Aldrey-Vázquez, J.A., Ferreira-DoMínguez, N., PanTerA, A., PisAnelli, A. and Rigueiro-Rodríguez, A., 2018. Agroforestry in Europe: A land management policy tool to combat climate change. *Land use policy*. 78. 603-613.
- Nazaruk, J., 2008: Antioxidant activity and total phenolic content in *Cirsium* five species from north-east region of Poland. *Fitoterapia*. 79. 3. 194-196.
- Nichita, C., Neagu, G., Cucu, A., Vulturescu, V., Bertesteanu S.V.G., 2016: Antioxidative properties of *Plantago lanceolata* L. extracts evaluated chemiluminescence method. *AgroLife Scientific Journal*. 5. (2). 95-102.
- Ong, E.S., 2004: Extraction methods and chemical standardization of botanicals and herbal preparations. *Journal of Chromatography B*. 812. (1-2). 23-33.
- Önay-Ucar, E., Arda, N., Pekmez, M., Yilmaz, A.M., Böke-Sarikahya, N., Kirmizigül, S., Yalcin, A.S., 2014: Comparison of antioxidant capacity, protein profile and carbohydrate content of whey protein fractions. *Food Chemistry*. 150. 34-40.
- Pan, S.Y., Litscher, G., Gao, S.H., Zhou, S.F., Yu, Z.L., Chen, H.Q., Zhang, S.F., Tang, M.K., Sun, J.N., Ko, K.M., 2014: Historical Perspective of Traditional Indigenous Medical Practices: The Current Renaissance and Conservation of Herbal Resources. *Evidence-based complementary and alternative medicine*. 525340.
- Pankoke, H., & Müller, C., 2013: Impact of defoliation on the regrowth capacity and the shoot metabolite profile of *Plantago lanceolata* L. *Plant physiology and biochemistry*. 71. 325-333.
- Pol, M., Schmidtke, K., Lewandowska, S., 2021: *Plantago lanceolata* – An overview of its agronomically and healing valuable features. *Open Agriculture*. 6. 479-488.
- Prior, R.L., Cao, G., 1999: In vivo total antioxidant capacity: comparison of different analytical methods. *Free Radical Biology and Medicine*. 27. (11-12). 1173-1181.
- Rasouli, H., Farzaei, M. H., & Khodarahmi, R., 2017: Polyphenols and their benefits: A review. *International Journal of Food Properties*. 20(sup2). 1700-1741.
- Rigueiro-Rodríguez, A. (szerk.), McAdam, J. (szerk.), Mosquera-Losada, M.R. (szerk.), 2008: Agroforestry in Europe: Current Status and Future Prospects. Springer, Dordrecht.
- Sanchisa, F.M., Bello, M.L.F., 2009: Climate change and its marginalizing effect on agriculture. *Ecological Economics*. 68. 896-904.
- Sawada, Y., Nakabayashi, R., Yamada, Y., Suzuki, M., Sato, M., Sakata, A., ... & Saito, K., 2012: RIKEN tandem mass spectral database (ReSpect) for phytochemicals: a plant-specific MS/MS-based data resource and database. *Phytochemistry*. 82. 38-45.
- Sezer, E.N.S., Uysal, T., 2018: Volatile and Phenolic Compositions of the Leaves of Two *Vinca* L. Species from Turkey. *Current Perspectives on Medicinal and Aromatic Plants*. 2. 103-110.
- Siener, R., Hönow, R., Seidler, A., Voss, S., & Hesse, A., 2006: Oxalate contents of species of the Polygonaceae, Amaranthaceae and Chenopodiaceae families. *Food Chemistry*. 98. (2). 220-224.
- Simon T., Csapody V., 1991: Kis növényhatározó rendszertani és ökológiai tájékoztatóval. Tankönyvkiadó, Budapest.
- Singh, S. K., Kaldete, R., Bisht, A., 2022: Citric acid, antioxidant effects in health. In *Antioxidants Effects in Health*. 309-322.
- Stewart, A.V., 1996: Plantain (*Plantago lanceolata*) – a potential pasture species. *Journal of New Zealand Grasslands*. 58. 77-86.
- Tálos-Nebehaj, E., 2017: Antioxidáns paraméterek vizsgálata a Magyarországon előforduló erdei fajok levél- és kéregszövetében. Doktori (PhD) értekezés. Soproni Egyetem, Sopron.

- Thiviya, P., Gamage, A., Piumali, D., Merah, O., Madhujith, T., 2021: Apiaceae as an Important Source of Antioxidants and Their Applications. *Cosmetics*. 8. (4). 111.
- Tita, I., Mogosanu, G.D., Tita, M., G., 2009: Ethnobotanical inventory of medicinal plants from the south-west of Romania. *Farmacia*. 57. (2). 141-156.
- Torralba, M., Fagerholm, N., Burgess, P.J., Moreno, G., Plieninger, T., 2016: Do European agroforestry systems enhance biodiversity and ecosystem services? A meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 230. 150-161.
- Tuazon-Nartea, J., & Savage, G. P., 2013: Investigation of oxalate levels in sorrel plant parts and sorrel-based products. *Food and Nutrition Sciences*. 4. (8). 838-843.
- Valko, M., Rhodes, C.J.B., Moncol, J., Izakovic, M.M. and Mazur, M., 2006: Free radicals, metals and antioxidants in oxidative stress-induced cancer. *Chemico-biological interactions*. 160. (1). 1-40.
- Van Wyk B.E. és Wink M., 2004: *Medicinal Plants of the World: An Illustrated Scientific Guide to Important Medicinal Plants and Their Uses*. Timber Press, Portland.
- Varma, M. M., Thulluru, A., Kumar, K. S., Kumar, G. S., & Pavani, K., 2021: Hplc Method Development and validation: A Review. *World Journal of Pharmaceutical Research*. 10. (11). 405-426.
- Visiné Rajczy, E., Benke, D., Hofmann T., 2024: Talajtakarás és árnyékolás hatása lágyszárúak antioxidáns kapacitására egy agrárerdészeti rendszerben. *Georgikon for Agriculture*. 28 (2). 185–190.
- Vityi, A., Kiss-Szigeti, N., Kovács K., 2018: Az agrárerdészet magyarországi helyzete. *Kutatások a 210 éves Erdőmérnöki Karon*. Soproni Egyetem, Erdőmérnöki Kar, Erdészeti-műszaki és Környezettechnikai Intézet, Sopron.
- Watson, R. R. (Ed.), 2018: *Polyphenols in plants: isolation, purification and extract preparation*. Academic Press.
- Wegiera, M., Grabarczyk, P., Baraniak, B., Smolarz, H.D., 2011: Antiradical properties of extracts from roots, leaves and fruits of six *Rumex* L. species. *Acta Biologica Cracoviensia Series Botanica*. 53. (1). 125-131.
- Wijngraard, H.H., Rößle, C., Brunton, N., 2009: A survey of Irish fruit and vegetable waste and by-products as a source of polyphenolic antioxidants. *Food Chemistry*. 116. (1). 202-207.
- Willmott, A., Willmott, M., Grass, I., Lusiana, B., Cotter, M., 2023: Harnessing the socio-ecological benefits of agroforestry diversification in social forestry with functional and phylogenetic tools. *Environmental Development*. 47. 100881.
- World Health Organization, 1999: *WHO monographs on selected medicinal plants*. World Health Organization, Geneva.
- Ye, K. Y., Yastreb, T. O., Miroshnichenko, N. N., 2011: Influence of salicylic and succinic acids on antioxidant enzymes activity, heat resistance and productivity of *Panicum miliaceum* L. *Journal of Stress Physiology & Biochemistry*, 7. (2). 154-163.
- Young, I.S., Woodside, J.V., 2001. Antioxidants in health and disease. *Journal of Clinical Pathology*. 54. 176-186.
- Zhang, Y., Yang, S.H., Guo, X.L., 2017: New insights into Vinca alkaloids resistance mechanism and circumvention in lung cancer. *Biomedicine and Pharmacotherapy*. 96. 659-666.
- Zubay, P., Ruttner, K., Ladányi, M., Deli, J., Németh, Z.É., 2021: In the shade – Screening of medicinal and aromatic plants for temperate zone agroforestry cultivation. *Industrial Crops & Products*. 170. 113764.
- Zubay, P., Ruttner, K., Ladányi, M., Deli, J., Németh, Z.É., 2021: In the shade – Screening of medicinal and aromatic plants for temperate zone agroforestry cultivation. *Industrial Crops & Products*. 170. 113764.
- EFOP-3.6.2-16-2017-00018: „Termeljünk együtt a természettel – Az agrárerdészet, mint új kitörési lehetőség” nevű projekt keretében létrehozott bajti agrárerdészeti rendszer átadójaára készült plakátok

Internetes hivatkozások:

- URL 1: <https://www.fortunebusinessinsights.com/herbal-medicine-market-106320>. Letöltve: 2023.10. 26.
- URL 2: <https://cdn.britannica.com/27/118327-050-14389167/Garden-sorrel.jpg> Letöltve: 2023.10.26.
- URL 3: <https://www.planetayurveda.com/library/ribwort-plantain-plantago-lanceolata/> Letöltve: 2023.10.26.
- URL 4: <https://www.thespruce.com/vinca-minor-vines-2132217> Letöltve: 2023.10.26.
- URL 5: https://www.researchgate.net/figure/Redox-reaction-between-polyphenols-and-Folin-Ciocalteu-reagent_fig2_357529163 Letöltve: 2023.10.23.
- URL 6: https://www.researchgate.net/figure/Scheme-3-Reaction-scheme-involved-in-FRAP-assay_fig2_339120803 Letöltve: 2023.10.23.

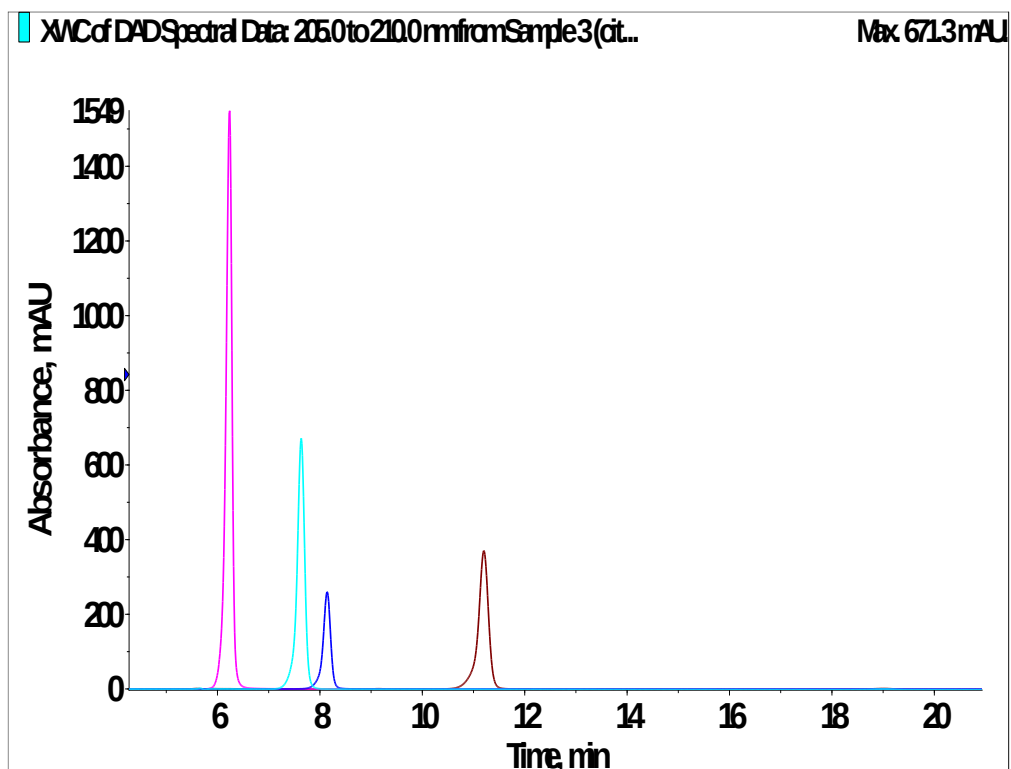
9. Összefoglalás

Jelen munkában a Bajti Nemesítő Telep agrárerdészeti rendszerében, különböző talajtakarási módszerekkel termesztett három gyógynövényfaj: a mezei sóska (*Rumex acetosa* L.), a lándzsás útifű (*Plantago lanceolata* L.) és a kis télizöld (*Vinca minor* L.) vizsgálatát végeztük antioxidáns kapacitás meghatározási módszerekkel, illetve kromatográfias eljárásokkal. Célunk volt kideríteni, hogy a jövőbeli alkalmazás szempontjából melyik termesztési módszer a legelőnyösebb, illetve milyen polifenolos vegyületeket tartalmaznak az egyes növények. Az antioxidáns kapacitást a TPC (Folin-Ciocalteu féle összes polifenol tartalom), FRAP (Ferric Reducing Antioxidant Power) és DPPH (1,1-difenil-2-pikrilhidrazil) módszerekkel vizsgáltuk. A kapott eredmények hasonlóak voltak a kutatásban korábban végzett mérések eredményeihez. A mezei sóska esetében mindhárom módszerrel a „mulcs” minták esetében mértük a legmagasabb antioxidáns kapacitást. A lándzsás útifűről elmondható, hogy egyik talajtakarási módszer sem járul hozzá szignifikánsan az antioxidáns tartalom növeléséhez. A kis télizöldnél szintén azt állapítottuk meg, hogy egyik talajtakarással termesztett minta sem rendelkezik magasabb értékekkel, mint a kontrol. A kromatográfias elválasztást nagy hatékonyságú folyadékkromatográfia/többlépcsős tömegspektrometriával (HPLC-MS/MS) végeztük el. A szerves sav tartalmak vizsgálata során a mezei sóska esetében a „mulcs” mintákban találtuk a legmagasabb oxálsav, borkósav és borostyánkősav mennyiséget. Ezen eredmények alátámasztják az antioxidáns tartalom méréseinkkor kapott eredményeinket. A növényben 19 féle polifenolos vegyületből a legnagyobb mennyiségben két *p*-kumaroilkinasav izomer és két kvercetin-származék volt jelen. A vizsgálat során „mulcs” minták esetében 5 vegyületnél is kimagaslóan nagy értéket mértünk – ez az eredmény szintén összhangban van a növény antioxidáns kapacitásának vizsgálatakor kapott eredményekkel. A lándzsás útifűben 21 féle vegyületet azonosítottunk, amelyekből az egyik kávéssav származék volt a legnagyobb mennyiségben megtalálható. A kromatográfias elválasztás során egyik talajtakarási módszer esetében sem tapasztalható, hogy valamelyik polifenolos vegyületből számottevően magasabb mennyiség lenne jelen, mint a többi mintában. A kis télizöld esetében 25 féle vegyületet tudtunk azonosítani. A növény extraktumaiban a legnagyobb mennyiségben egy dihiroxibenzoesav származék, egy kvercetin származék és két kempferol származék volt jelen. Az eredmények alapján megállapítható, hogy a talajtakarási módszerek hatása az antioxidáns kapacitásra és a polifenol tartalomra erősen fajfüggő. Az eredményeim hozzájárulnak az agrárerdészeti rendszerekben termelt gyógynövények kémiai összetételének kutatásához, illetve az adatok alapul szolgálhatnak a további fajokon végzett kísérletek tervezéséhez.

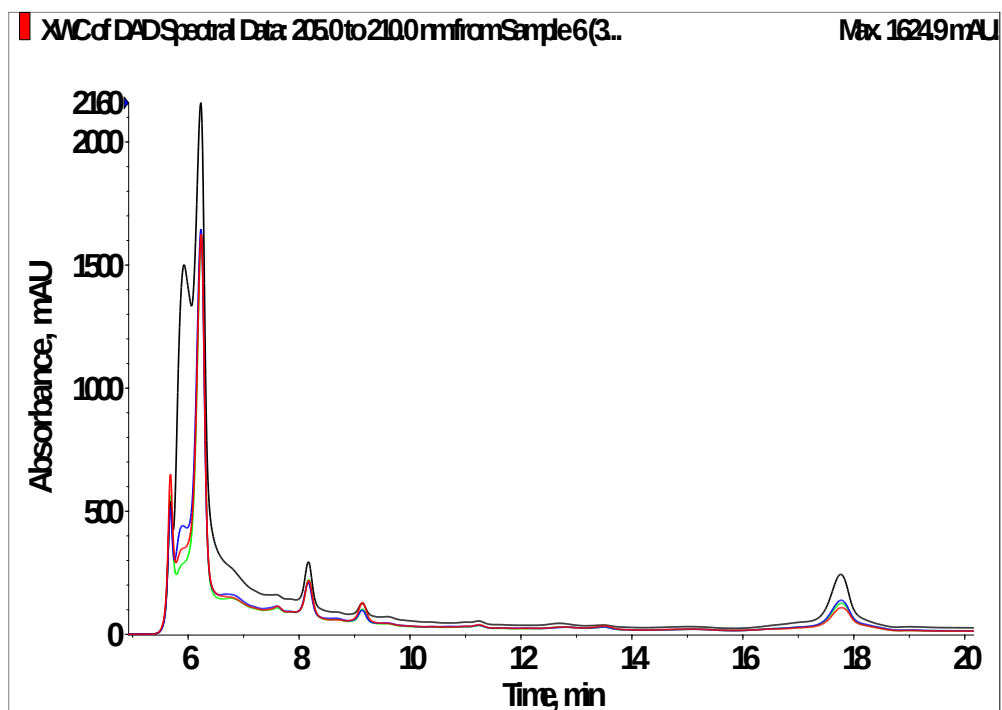
10. Summary

In this study, we investigated three medicinal species cultivated with different soil covering methods in the agroforestry system of the Bajti Breeding Plant: common sorrel (*Rumex acetosa* L.), ribwort plantain (*Plantago lanceolata* L.), and dwarf periwinkle (*Vinca minor* L.). We analyzed these plants using antioxidant capacity determination assays and chromatographic techniques. Our goal was to determine which cultivation method is the most advantageous for future applications and to identify the polyphenolic compounds in each plant's extracts. The antioxidant capacity was examined using the TPC (Folin-Ciocalteu's total polyphenol content), FRAP (Ferric Reducing Antioxidant Power) and DPPH (1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl) assays. The obtained results were similar to our previous studies. In case of common sorrel, we observed the highest antioxidant capacity in the "mulch" samples across all three methods. For ribwort plantain, none of the soil covering methods significantly contributed to an increase in antioxidant content. Similarly, in the case of dwarf periwinkle, we found that none of the samples cultivated with soil cover showed higher values than the ones from control area. The chromatographic separation was performed using high-performance liquid chromatography/multi-stage mass spectrometry (HPLC-MS/MS). During the examination of organic acid content, we found the highest amounts of oxalic acid, tartaric acid, and succinic acid in the "mulch" samples of common sorrel. These results support our findings regarding antioxidant content measurements. For this plant, two *p*-coumaroylquinic acid isomers and two quercetin derivatives were present in the largest amounts among the 19 identified compounds. In the "mulch" samples, five compounds displayed notably high levels, a result consistent with the antioxidant capacity measurements of the plant. In ribwort plantain, 21 compounds were identified, with a caffeic acid derivative being the most abundant compound in the samples. Chromatographic separation showed no significant increase in the levels of any polyphenolic compound under any soil covering method compared to the other samples. For dwarf periwinkle, we identified 25 compounds, with a dihydroxybenzoic acid derivative, a quercetin derivative, and two kaempferol derivatives being present in the highest amounts in the plant extracts. The results indicate that the effect of soil covering methods on antioxidant capacity and polyphenol content is highly species-dependent. My findings contribute to the research on the chemical composition of medicinal plants grown in agroforestry systems and provide a basis for designing further experiments on other species.

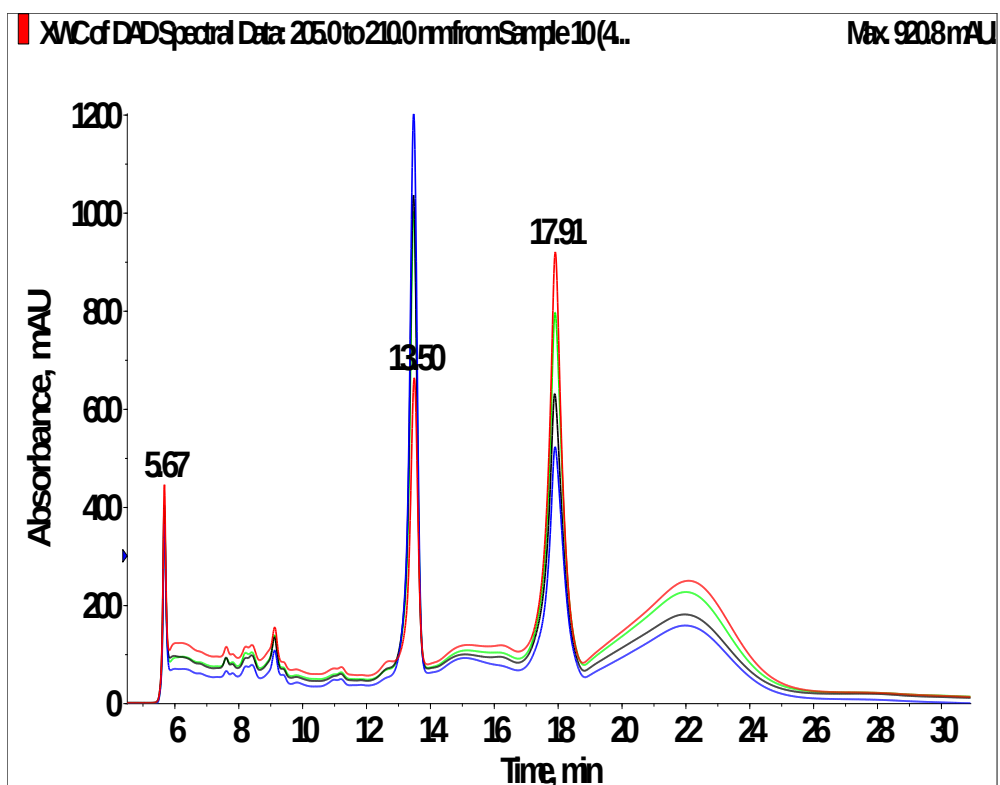
11. Mellékletek



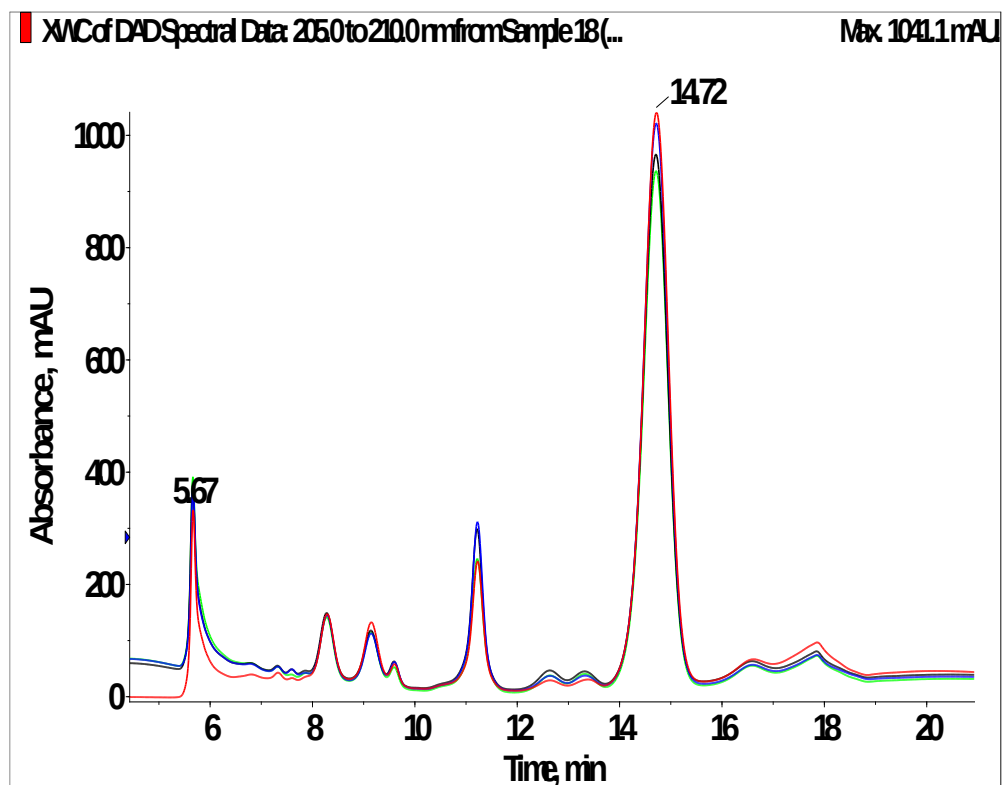
13. ábra Standard vegyületek kromatogramja. 6,23 perc: oxálsav, 7,64 perc: citromsav, 8,14 perc: borkősav, 11,20 perc: borostyánkősav



14. ábra A mezei sóska extraktumainak UV (250–380 nm) kromatogramja
piros: kontrol, zöld: geoszövet, fekete: mulcs, kék: méhlegelő



15. ábra A lándzsás útifű extraktumainak UV (250-380 nm) kromatogramja
piros: kontrol, zöld: geoszövet, fekete: mulcs, kék: méhlegelő



16. ábra A kis télizöld extraktumainak UV (250-380 nm) kromatogramja
piros: kontrol, zöld: geoszövet, fekete: mulcs, kék: méhlegelő