

SAPIENTIA ERDÉLYI MAGYAR TUDOMÁNYEGYETEM
MAROSVÁSÁRHELYI KAR

***A Rhizophagus irregularis mikorrhiza
gombák hatása a bíbor kasvirág (*Echinacea
purpurea* (L.) Moench) fotoszintetikus
pigmentjeire és hatóanyagaira***

TDK Dolgozat

Szerző:
Ilonka Zsolt

Konzulensek:
Dr. Domokos Erzsébet, egyetemi docens
Dr. Albert Csilla, egyetemi docens
Iakab Martin, doktorandusz

**Csíkszereda
2025**

TARTALOMJEGYZÉK

1.	BEVEZETÉS	1
2.	CÉLKITŰZÉS.....	2
3.	IRODALMI ÁTTEKINTÉS	3
3.1.	A BÍBOR KASVIRÁG (<i>ECHINACEA PURPUREA</i> (L.) MOENCH) LEÍRÁSA	3
3.1.1.	RENDSZERTANI BESOROLÁSA	3
3.1.2.	MORFOLÓGIÁJA.....	3
3.1.3.	ELŐFORDULÁSA, KÖRNYEZETÉVEL SZEMBENI IGÉNYEI.....	4
3.1.4.	TERMESZTÉSTECHNOLÓGIÁJA	4
3.1.5.	HATÓANYAGAI	5
3.1.5.1.	FOTOSZINTETIKUS PIGMENTEK	5
3.1.5.2.	FENOLSZÁRMAZÉKOK	7
3.1.6.	FELHASZNÁLÁSA	9
3.2.	A <i>RHIZOPHAGUS IRREGULARIS</i> MIKORRHIZA GOMBA.....	9
3.2.1.	RENDSZERTANI BESOROLÁS	9
3.2.2.	MORFOLÓGIÁJA.....	9
3.2.3.	NÖVÉNYPARTNEREI.....	10
3.3.	A <i>RHIZOPHAGUS IRREGULARIS</i> ÉS AZ <i>ECHINACEA PURPUREA</i> (L.) MOENCH KAPCSOLATA	11
4.	ANYAGOK ÉS MÓDSZEREK.....	12
4.1.	NÖVÉNYI ANYAGOK.....	12
4.2.	A NÖVÉNYEK BEOLTÁSA ÉS AKKLIMATIZÁLÁSA	12
4.3.	A TERMESZTÉSI KÖRÜLMÉNYEK.....	13
4.3.1.	A FÓLIASÁTRAS NÖVÉNYEK KÖRÜLMÉNYEI	13
4.3.2.	A SZABADFÖLDI NÖVÉNYEK KÖRÜLMÉNYEI.....	14
4.4.	A FOTOSZINTETIKUS PIGMENTEK VIZSGÁLATA	15
4.5.	A FENOLSZÁRMAZÉKOK VIZSGÁLATA.....	16

4.5.1.	MINTÁK BEGYŰJTÉSE, SZÁRÍTÁSA, TÁROLÁSA.....	16
4.5.2.	MÉRÉSEK	16
4.6.	A GYÖKEREK KOLONIZÁLTSÁGI FOKÁNAK VIZSGÁLATA.....	18
4.7.	AZ ADATOK STATISZTIKAI KIÉRTÉKELÉSE	18
5.	EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK	19
5.1.	A TALAJANALÍZISEK EREDMÉNYEI	19
5.2.	A FOTOSZINTETIKUS PIGMENTEK ANALÍZISEINEK EREDMÉNYEI.....	20
5.3.	A FENOLSZÁRMAZÉKOK ANALÍZISEINEK EREDMÉNYEI.....	27
5.4.	A MIKORRHIZÁLTSÁGI FOK VIZSGÁLATÁNAK EREDMÉNYEI.....	37
6.	ÖSSZEFOGLALÁS.....	40
7.	IRODALOMJEGYZÉK.....	41
8.	KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS.....	47

1. BEVEZETÉS

Dolgozatom témája a *Rhizophagus irregularis* arbuszkuláris mikorrhiza gomba kapcsolata a bíbor kasvirággal (*Echinacea purpurea* (L.) Moench) és ezen kapcsolat hatása a növény fotoszintetikus pigment- és hatóanyag termelésére. A növényeket négy különböző termesztőközeg felhasználásával neveltük fóliasátorban, illetve egy szabadföldi talajtípuson, két év leforgása alatt. A második vegetációs periódusban vizsgáltuk a friss levelek klorofill-a, klorofill-b és karotenoid tartalmát, a szárított levelek és gyökerek fenolszármazék tartalmát, valamint a gyökerek gomba általi kolonizáltságának mértékét.

A bíbor kasvirág (*E. purpurea*) egy lágyszárú évelő növényfaj az őszirózsafélék (Asteraceae) családjából. Észak-Amerikából származik, ahol a nedvesebb klímájú dombvidékeken terjedt el sikeresen. Már az amerikai őslakosok is használták, mint gyógynövényt, főként felső légúti megbetegedések és gyulladások kezelésére (Kindscher, 2016), de aktív hatóanyagainak köszönhető gyógyhatását több tanulmány is igazolta (Li és mtsai., 2020; Vieira és mtsai., 2023; Dosoky és mtsai., 2023).

A növények környezetében élő mikroorganizmusok és közösségeik hatása a növények fejlődésére, beltartalmára és környezeti tényezőkkel szembeni rezisztenciájára egyre kutatottabb témakör. A patogén mikroorganizmusokon kívül számos faj mutualista vagy szimbiotikus kapcsolatban él a növényekkel és befolyásolják azok anyagcseréjét (Vandenkoornhuyse és mtsai., 2015).

Ezen kapcsolatrendszerekben kiemelt figyelmet érdemelnek a mikorrhizagombák, amelyek, a növényi gyökerek felszívófelületének megnövelése mellett micéliumhálózatukkal összekötik a többi mikroorganizmust a növényekkel. A mikroorganizmusok pedig különböző funkciókkal (nitrogén-fixáció, fitohormon- és antibiotikum termelés, stb.) hozzájárulnak a növény fejlődéséhez és a talaj termékenységéhez (Giovannini és mtsai., 2020).

Fontosnak találom ezt a kutatást, mert a növény-talaj-mikroorganizmus kapcsolatok egyike fő érdeklődési köreimnek. Ezen kapcsolatok ismerete révén egy teljesebb képet kaphatunk a talajok termékenységéről, jobban megközelíthetjük a termesztett növények genetikai potenciálját, profitábilisabb és alacsonyabb ökológiai nyomást gyakorló növénytermesztést folytathatunk.

2. CÉLKITŰZÉS

Ezen dolgozat célja a *Rhizophagus irregularis* mikorrhiza gombák bíbor kasvirág (*Echinacea purpurea* (L.) Moench) fotoszintetikus pigment- (a-klorofill, b-klorofill, karotenoidok) és fenolszármazék termelésére gyakorolt hatásának vizsgálata a növények második éves leveleiben és gyökereiben. A kísérletet három különböző, Maros megyében elterjedt talajtípuson, valamint steril tőzegen végeztük termesztőedényekben, fóliasátor alatt, továbbá szabadföldi termesztésben, hogy megfigyeljük a mikorrhizagombák jelenléte, illetve hiányuk közti különbséget ezen eltérő körülmények között.

A kutatásunk során a következő hipotéziseket teszteltük:

1. A *Rhizophagus irregularis* mikorrhiza gombák hatással vannak a bíbor kasvirág (*E. purpurea*) fotoszintetikus pigmentjeinek koncentrációjára és ezáltal a növények fejlődésére.
2. A *Rhizophagus irregularis* mikorrhiza gombák hatással vannak a bíbor kasvirág (*E. purpurea*) fenolszármazékjainak koncentrációjára.
3. A bíbor kasvirágok (*E. purpurea*), a *Rhizophagus irregularis* mikorrhiza gombák általi kolonizáltsági foka, illetve a gombák kifejtett hatásának mértéke eltérő lesz a különböző talajtípusok függvényében.

3. IRODALMI ÁTTEKINTÉS

3.1. A BÍBOR KASVIRÁG (*ECHINACEA PURPUREA* (L.) MOENCH) LEÍRÁSA

3.1.1. RENDSZERTANI BESOROLÁSA

Az *Echinacea* a fészkesvirágúak (Asterales) rendjén belül a fészkesvirágzatúak (Asteraceae) családjába és azon belül a csövesvirágúak (Asteroideae) alcsaládjába tartozó növénynemzetség. A nemzetségen belül kilenc faj található, melyek közül két fajnak két-két változata ismert. Ezen kilenc fajból háromnak van nagyobb gyógyászati jelentősége: a keskeny levelű kasvirágnak (*Echinacea angustifolia* DC.), a halvány kasvirágnak (*Echinacea pallida* (Nutt.) Nutt.) és az ezen dolgozat témáját képező bíbor kasvirágnak (*Echinacea purpurea* (L.) Moench) (Praszna, 2000; Kindscher, 2016).

3.1.2. MORFOLÓGIÁJA

A bíbor kasvirág (*E. purpurea*) hemikriptofita, évelő lágyszárú növény, C3-as fotoszintetikus útvonallal és átmeneti fotoperiodizmussal. Rövid, ortotróp gyöktörzzsel és világosbarna, vékony, rostszerű járulékos gyökérral rendelkezik. Ortotróp, felső részén elágazó lágyszára hengeres, világoszöldes-barnás, antociános foltokkal és serteszőrökkel borított, de az alsó része kopasz. Észak-Amerikában 50-120 cm (eFloras, 2008) illetve 60-180 cm (Kindscher és mtsai., 2016) magasnak írták le, míg Magyarországon 80-150 cm (Praszna, 2000) és Romániában 80-140 cm-nek (Muntean és mtsai., 2016). Tőlevelei akár 17-25 cm-es nyéllel is rendelkezhetnek és 5-30 x 1-12 cm-es levéllemezzel, míg a szárleveleinek mérete és nyelének hossza a magassággal csökken, legfelső levelei pedig ülők. A levéllemez szélesen lándzsás vagy kihegyezett tojásdad, mindkét oldala serteszőrös, 3-5 ere a levél lekerekített vagy szíves vállától a csúcsáig húzódik. Egyik legjellegzetesebb faji bélyege a ritkán fűrészes-fogas levélél. Fészkesvirágzata a szár és az elágazások végén álló magányos, 1,4-4,5 x 2-4 cm-es kúp, amelyet 0,8-1,7 x 0,1-0,8 cm-es murvalevelek öveznek. Nyelves virágai lehetnek rózsaszínek, lilásak vagy sötétlilák, ritkán fehérek, 3-8 x 0,7-1,9 cm-esek, enyhén lefele görbülők. Csöves virágai 4,5-5,7 mm-esek. Virágzása elhúzódhat késő tavasz-nyár elejétől kora őszig. Termése szürkés- vagy barnásfehér, 3-5 mm-es, négy élű, csúcsán fogas kaszattermés, melynek ezermagtömege 3,85 g (Praszna, 2000; eFloras, 2008; Kindscher és mtsai., 2016; Muntean és mtsai., 2016).

3.1.3. ELŐFORDULÁSA, KÖRNYEZETÉVEL SZEMBENI IGÉNYEI

Észak-Amerikából származik, ahol a nedvesebb klímájú sziklás- illetve dombvidékeket, nyílt ligeteket, bozótosokat kedveli, de megtalálható egyes prériken és alacsonyabb fekvésű, részben árnyékolt területeken is. Nemzetsége többi fajához képest kevésbé elterjedt a természetben, viszont könnyebb termesztetősége végett világszerte elterjedt úgy kereskedelmi célú ültetvényekben, mint dísznövényként házikertekben és zöldfelületeken (eFloras, 2008; Kindscher, 2016).

Bernát és mtsai. (2000) fény- és melegkedvelő növénynek írják le, továbbá Magyarország éghajlati viszonyai mellett jó fagyűrő képességűnek. Bár teljes fényben jobban fejlődik, szélesebb levelei a gyengébb fényviszonyok jobb kihasználásához alkalmazkodtak viszont nagyobb evapotranspirációt eredményeznek. Ebből, illetve a sekélyebben elhelyezkedő járulékos gyökérzetéből adódóan vízigénye is nagyobb, az említett szerzők termesztését csak öntözés lehetősége mellett ajánlják. Talajának optimális kémhatása 6-7 pH.

3.1.4. TERMESZTÉSTECHNOLÓGIÁJA

A sikeres vetés vagy ültetés érdekében fontos a jó minőségű, üledett, rögmentes terület időbeni előkészítése, így előveteményként legalkalmasabbak a korán lekerülő kapás növények, esetleg a kalászos gabonák. A termesztési cél függvényében a bíbor kasvirág (*E. purpurea*) 2-4 évig foglalja el a területet. Tápanyagigényes növény lévén, a talaj tápanyagkészletére kiterő talajvizsgálat függvényében indokolt lehet akár a 30 t/ha-os szerves trágyázás. Szaporítási módként a szakirodalom a magvetést és a palántanevelést részesíti előnyben, a tőosztásos szaporítás bár lehetséges, nem gazdaságos. Direktvetéssel történő szaporítás esetén (tavaszi vetéssel) gondoskodni kell a magok a sztratifikálásáról (elősegíteni azok nyugalmi állapotának megszűnését, például a telet szimuláló hidegkezeléssel) csírázási arány javítása érdekében. Őszi vetés esetében a csírázás szempontjából előnyösebb a felszínre vetés és hengerezés, mivel a fény segíti a csírázást (körülbelül 5 nap), míg a magokat takarva ez elhúzódhat akár 2-4 hétig is. Optimális a 45-60 cm-es sortáv és 30-60 cm-es tőtáv. A palántanevelés sejttálcákban történik a májusi, vagy szeptember-októberi kiültetésig, a fentebb említett sor- és tőtáv mellett. Fontos az ültetést követő beiszapoló öntözés a gyökerek sikeres megfogánása érdekében. Bár az *Echinacea* nemzetség fajai jó ellenálló képességgel rendelkeznek a rovarkártevőkkel és patogén mikroorganizmusokkal szemben, termesztésbe vonva ezen képességük csökken. A nemzetség fajai közül a bíbor kasvirág (*E. purpurea*) a legérzékenyebb a kabócák által terjesztett őszirózsa sárgulást okozó fitoplazmára

(Aster yellows phytoplasma, AYP), de a lisztharmatot (*Erysiphe cichoracearum*) is említi a szakirodalom, mint ritkán előforduló potenciális károsító, illetve szalma mulcs alkalmazása esetén a kikelő gabonákon megjelenő levéltetvek (*Aphis* spp.) is áterjedhetnek rá. Növényvédelmében inkább a patogének vektorainak megcélzása javasolt, lehetőleg biológiai természetben engedélyezett módszerrel. Kiemelten fontos a terület gyommentesen tartása, különösen *herba* drog előállítása esetén, mivel a betakarított termés minőségi mutatóit, hatóanyagösszetételét jelentősen rontja a gyomszennyezettség. A gyökerek betakarítása a második évtől, ősszel optimális, a nyugalmi időszak beálltakor, azok alacsonyabb nedvesség- és magasabb hatóanyagtartalma miatt. A kézi szerszámmal történő, vagy gépi betakarítást követően merev sertéjű kefével, vagy áztatás nélküli, gyors mosással tisztíthatóak. Szárításuk feldarabolva, árnyékban és jó szellőzés mellett javallott. Műszárítóban pattanva törésig, maximum 40-50 °C-on száríthatóak. *Herba* drog előállítás céljából a növények hajtása már (alacsonyabb hozammal) az első évtől is betakarítható. Az erre ajánlott időpont a virágzási időszak csúcsa, nyár közepe. A gépi betakarítás kaszálvarakodóval történik. Innen a friss hajtások direkt feldolgozásra kerülhetnek, vagy szárításra, a gyökerekéhez hasonló módon, vékony rétegben kiterítve. A *herba* értékes részei a levelek és virágok, ez utóbbiak legalább félbe vágása indokolt az újranedvesedés elkerülése érdekében. Várható hozama a második évtől 3-5 t *herba*- és 1,5-2,5 t gyökérdrog hektáronként (Prasna, 2000; Kindscher és mtsai., 2014).

3.1.5. HATÓANYAGAI

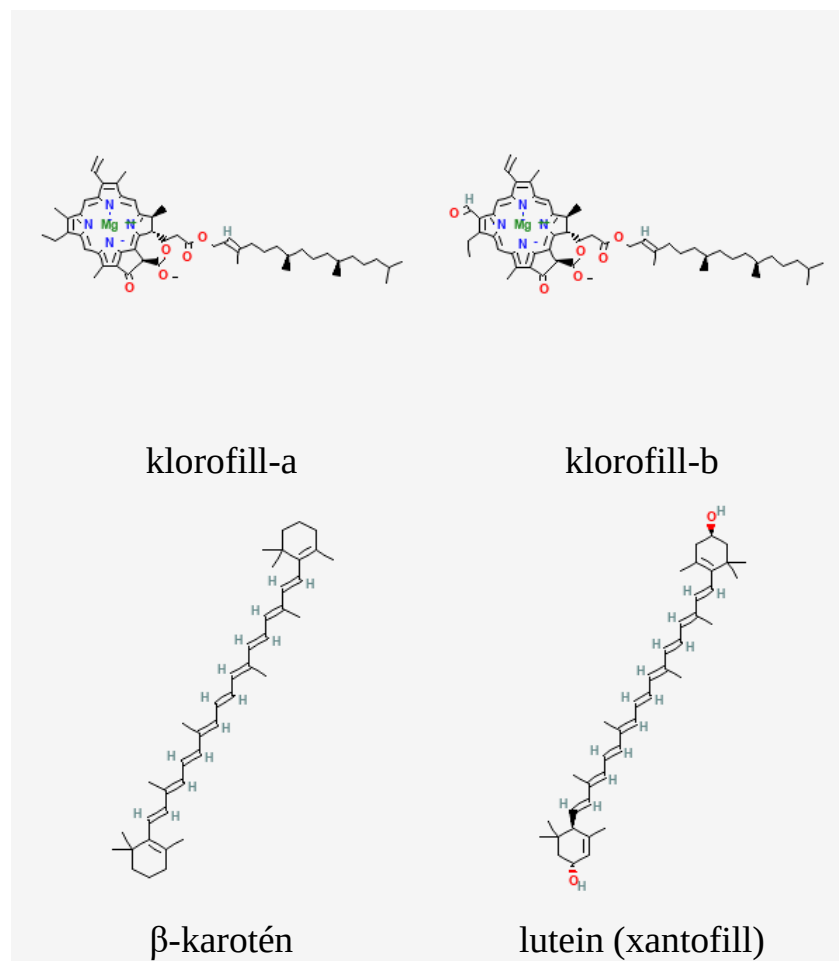
A bíbor kasvirág (*Echinacea purpurea* (L.) Moench) számos jelentős hatóanyagcsoport képviselőit tartalmazza, melyek közül kiemelendők a fenolszármazékok csoportjába tartozó kávésavszármazékok, az alkilamidok, poliszacharidok és illóolajok (Prasna, 2000). Ezek mellett másokat is kiemel a szakirodalom, mint a glikoproteinek, flavonoidok, filloxantobilinek, β -fellendrén, acetaldehyd, dimetil-szulfid, zsírsavak, aldehidek stb. (Burlou-Nagy és mtsai., 2022).

A következőkben a kutatásban vizsgált fotoszintetikus pigmentekre és kávésavszármazékokra térek ki.

3.1.5.1. FOTOSZINTETIKUS PIGMENTEK

A szárazföldi növényekben a fotoszintetikus pigmentek két nagy csoportja található meg, ezek a klorofillok és a karotenoidok. A klorofillok elsődleges szerepe a fényenergia elnyelésében és a primer produkcióban van, de fontos szerepet játszanak a növények változó fényspektrumú környezethez való alkalmazkodásában is. A szárazföldi növényekben az a- és b-klorofill (1. ábra)

fordul elő. Az a-klorofill jelen van a PS I és PS II reakciócentrumaiban és antennáiban egyaránt, míg a belőle, egy oxigenáz enzim segítségével képződő b-klorofill csak az antennákhoz kötődik. Az a:b klorofill aránya olyan környezeti tényezőktől függ, mint a fény intenzitása, a tápanyagok elérhetősége, hideg- illetve szárazságstressz, a növény, vagy a levél fejlettségi szintje. Az a-klorofill és b-klorofill aránya általában 3:1 a szárazföldi növényekben, magas a:b klorofill arány az intenzív fényhez jobban alkalmazkodott növényekre utal és hatékonyabb fotoszintetikus elektron-transzportra, míg az alacsonyabb arány az árnyékhoz való adaptációra. A karotenoidok (1. ábra) a fényelnyelés mellett szintén rendelkeznek más funkciókkal, mint például a lipid membránok stabilizálása, lipoprotein szerkezetek létrehozása, a fényrendszerek oxidáció elleni védelme, valamint enzimek által bontva fontos elsődleges és másodlagos anyagcseretermékek, illetve íz- és aromaanyagok prekursorai (Bhatlan és Lal, 2023; Fernández-Marín és mtsai., 2018; Simkin és mtsai., 2022).



1. ábra: A hajtásos növényekben levő gyakoribb klorofillok és karotenoidok - vegyi képletek (Forrás: PubChem)

Ezekből kifolyólag a fotoszintetikus pigmentek mennyiségi jelenléte, arányi eloszlása fontos és gyakran mért markerek a növények egészségi állapotának felmérésében. Fernández-Marín és munkatársai (2018) leírása szerint ezen fotoszintetikus pigmentek mennyisége és aránya a növényekben rendkívül dinamikus paraméter, különösen a fényintenzitás változásának és környezeti stresszfaktorok hatására. Több mint 800 növényfaj adatainak elemzése alapján, a klorofill a:b arány megnövekedik stressz hatására.

Agathokleous és munkatársai (2020) megállapítása szerint a magasabb klorofilltartalom az alacsony - főként oxidatív stressz formájában jelentkező - környezeti stresszhatás eredménye, míg a stresszesebb környezet a növényekben alacsonyabb klorofillszintet tesz lehetővé. A kis mértékű környezeti stresszhatás stimuláló hatással bír a növények klorofilltartalmára és ez által anyagcseréjükre és védekezőképességükre.

3.1.5.2. FENOLSZÁRMAZÉKOK

A fenolszármazékok csoportjába tartozó kávésav és származékai (2. ábra) kis koncentrációban is hatékony antioxidánsok, de gyulladáscsökkentő, antibakteriális, antivirális és antitumorális hatásukat is kimutatták. Biológiai aktivitásukat első sorban a reaktív oxigénszármazékokat semlegesítő képességüknek tulajdonítja a szakirodalom. Az antioxidáns hatás erősségében meghatározó szerepű a fenolos hidroxilcsoportok száma és elhelyezkedése, illetve a karbonsavat és az aromás gyűrűt összekötő rész milyensége. Az itt elhelyezkedő etilén, metilén vagy telítetlen láncok fejtik ki a legnagyobb aktivitást (Sydorik és mtsai., 2018).

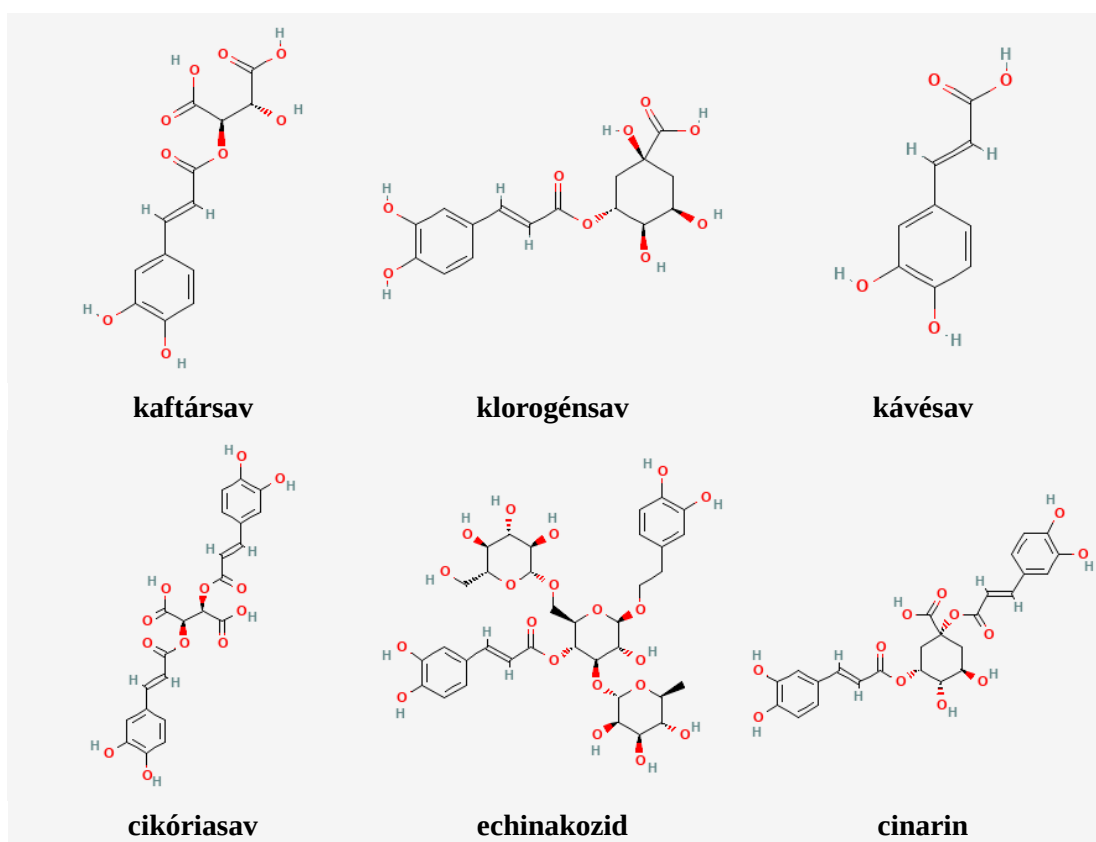
A **kávésav** ((E)-3-(3,4-dihidroxifenil)-2-propénsav) a fenilpropanoid útvonalon, leggyakrabban fenilalaninból (esetenként L-tirozinból) létrejövő köztes termék, a ligninszintézis prekursora, de sejtnövekedést szabályzó, a turgornyomás kialakulásában, fototropizmusban, vízfluxusban és a növényi növekedésben is van szerepe (Riaz és mtsai., 2019).

A **kaftársav** ((2R,3R)-2-[(E)-3-(3,4-dihidroxifenil)prop-2-enoil]oxi-3-hidroxibutándion-sav) a kávésav borkósavval való észterezéséből keletkezik, a **klorogénsav** ((1S,3R,4R,5R)-3-[[[(2E)-3-(3,4-Dihidroxifenil)prop-2-enoil]oxi}-1,4,5-trihidroxiciklohexán-1-carboxil-sav) pedig a kávésav kinasavas addíciójából. A **cikóriasav** ((2R,3R)-2,3-bisz[[[(E)-3-(3,4-dihidroxifenil)prop-2-enoil]oxi]butándion-sav), a bíbor kasvirágban legnagyobb mennyiségben előforduló és legjelentősebb kávésavszármazéka, mely kaftársavból és klorogénsavból keletkezik egy aciltranszferáz enzim segítségével (Xiang és mtsai., 2022). A szakirodalom gyulladáscsökkentő,

glükóz-lipid homeosztázist elősegítő, neuroprotektív, öregedésslassító, immunstimuláló és antivirális hatásáról is beszámol (Yang és mtsai., 2022).

Szintén a kávésavból származik az **echinakozid** (2-(3,4-Dihidroxifenil)etil α -L-rhamnopiranosil-(1 $\rightarrow$ 3)-[β -D-glükopiranozil-(1 $\rightarrow$ 6)]- β -D-glükopiranozid 4-[(2E)-3-(3,4-dihidroxifenil)prop-2-enoát]), amely gyulladáscsökkentő, antioxidáns, antioszteoporotikus hatással rendelkezik, és sejt- és állatkísérletek jelentős neuroprotektív hatását bizonyították (Liu és mtsai., 2018).

A **cinarin** ((1R,3R,4S,5R)-1,3-bisz[[(E)-3-(3,4-dihidroxifenil)prop-2-enoil]oxi]-4,5-dihidroxiciklohexán-1-karbonsav) két egység kávésav és egy kinasav karbonsavas észterezéséből keletkezik. Főként májvédő hatását emeli ki a szakirodalom, de jelentős antioxidáns hatással is bír a reaktív oxigénszármazékokkal való komplexképző, azokat semlegesítő hatása miatt (Ramos és mtsai., 2019).



2. ábra: a vizsgált kávésavszármazékok vegyi képletei (Forrás: PubChem)

Fodorpataki és Tompa (2022) szerint az elsődleges és másodlagos anyagcseretermékek előállításához azonos alapanyagokat használnak fel a növények. Ennek következménye, hogy a

stresszes körülmények között fejlődő növényeknek kisebb a fitomasszatermelése a védőanyagtermelés megnövekedett energia és alapanyagszükséglete miatt.

3.1.6. FELHASZNÁLÁSA

A bíbor kasvirágot általános immunerősítőként használják, mivel elősegíti a szervezet nem-specifikus védekezőképességét (Declerck és mtsai., 2021, Dosoky és mtsai., 2023), emellett felső légúti megbetegedések megelőzésére és kezelésére alkalmazzák különböző készítményeit antivirális és antibakteriális hatása végett (Sharma és mtsai., 2008; Kolev és mtsai., 2022). Gyulladáscsökkentő hatását is igazolták tanulmányok (Pires és mtsai., 2016; Ávila-Gálvez és mtsai., 2024).

Gyógyászati felhasználása mellett díszítő értékét előnybe helyezve dísz-változatokat is létrehoztak a növénytelenítés, valamint mézelő növény is. Jótékony hatását állati takarmánykiegészítőként is kifejti. Lim (2012) könyvében a baromfik hús-minőségének és eltarthatóságának javulásáról számol be, valamint más haszonállatfajokban is kifejti immunomoduláris szerepét. Egy kísérletben a HgCl_2 által hagymában (*Allium cepa* L.) okozott károsodás minden látható jelét orvosolták vizes kivonatával (Yalçın és mtsai., 2021).

3.2. A RHIZOPHAGUS IRREGULARIS MIKORRHIZA GOMBA

3.2.1. RENDSZERTANI BESOROLÁS

A *Rhizopagus irregularis* a Glomeromycota törzsbe, Glomerales rendbe, Glomeraceae családba és *Rhizopagus* nemzetségbe tartozó arbuszkuláris-vezikuláris mikorrhizafaj (Błaszowski és mtsai., 2008; Souza, 2015).

3.2.2. MORFOLÓGIÁJA

A *Rhizopagus irregularis* a gazdanövény gyökérkéreg-sejtjeiben, főleg a sejtközzti járatokban terjedő, "H" elágazódási típusú hifáiból "arum" típusú arbuszkulumokat képez, amelyek kis, ágas fácskára emlékeztetnek. Ezen arbuszkulumok jellemzője a hifákénál nagyobb fajlagos felület és ezek képviselik a fő cserefelületet a gomba és gazdanövénye között. A hifák és vezikulumok több hónapos, vagy akár több éves élettartamával szemben az arbuszkulumok rövid élettartamúak, néhány nap után összeesnek. Vezikulumai szintén az intraradikális hifából képződnek, a sejtközzti járatokban vagy a gyökérsejtben. Gömbölyded alak és - különösen az idősebb gyökerekben - vékony sejtfal jellemzi őket. Fő szerepük a tápanyagraktározásban van.

Nagy mennyiségben tartalmaznak lipideket és glikogént. Arbuszkulumi, vezikulumi és hifái tripán kék festéssel sötétkékre színeződnek. Spórái magányosan, csoportosan vagy lazán aggregálódva képződnek, 70-165 µm átmérőjűek és változatos, gömbölyded, tojásdad, de leggyakrabban szabálytalan, bütykös-kerekdedek. A spórák fala három különböző rétegből áll, amelyek a következőképpen jelennek meg a szakirodalomban:

L1 - a legkülső réteg, 0,5-1,5 µm vastag, a spóra érésével elbomlik;

L2 - a külső réteghez tapad, 1-4,9 µm vastag, a spóra érésével az L1-ével azonos ütemben bomlik. Érett spórán e két réteg teljesen hiányzik, vagy csak foltokban marad vissza;

L3 - permanens, lemezes szerkezetű réteg, színe halványsárga-sárgásbarna. 2-5,5 µm vastag, Melzer-féle reagensben sötét vöröses-barnára színeződik (Blaszkowski és mtsai., 2008; Souza, 2015).

3.2.3. NÖVÉNYPARTNEREI

Az arbuszkuláris mikorrhiza gombák rendkívül széles potenciális gazdanövény-palettával rendelkeznek. Kristóf (2013) állítása szerint mindenik szárazföldi növénycsoportban találhatóak olyan fajok, amelyek a megfelelő gombafajjal arbuszkuláris mikorrhiza kapcsolatot képesek létrehozni. Zheng és mtsai. (2018) tanulmányában az egyértelmű gazdanövény-specifititás hiánya mellett kiemelik, hogy a gombák által biztosított változatos funkcionális előny nagy mértékben függ a gazdanövénytől, az adott gombafaj genotípusától, valamint az aktuális környezeti feltételektől. A szerzők a szimbiózis hatékonyságát és a potenciális gazdanövények sorát részben a gomba által a gazdanövénybe kiválasztott effektor-proteineknek tulajdonítják. Ezek mellett megemlítendő, hogy számos tanulmány vizsgálta már a *Rhizophagus irregularis* mikorrhizaképző gombafaj kapcsolatát és ezen kapcsolat hatását különböző gazdanövényekre. Fontos élelmiszernövényekkel, mint a kukorica (*Zea mays* L.), különböző búzafajok (*Triticum* spp.) és ipari paradicsommal (*Lycopersicon esculentum* Mill.) (Ramírez-Flores és mtsai., 2019; Pellegrino és mtsai., 2020; Roussis és mtsai., 2022), ipari növényekkel mint a gyapot (*Gossypium hirsutum* L.) vagy a kender (*Cannabis sativa* L.) (Gao és mtsai., 2020; Sun és mtsai., 2022) de fásszárúakkal is, mint a csigolyafűz (*Salix purpurea* L.) vagy az akác (*Robinia pseudoacacia* L.), stb. is képes kapcsolatot létrehozni (Almeida-Rodríguez és mtsai., 2016; He és mtsai., 2017).

3.3. A *RHIZOPHAGUS IRREGULARIS* ÉS AZ *ECHINACEA PURPUREA* (L.) MOENCH KAPCSOLATA

A *Rhizophagus irregularis* mikorrhizagomba faj és a bíbor kasvirág (*Echinacea purpurea* (L.) Moench) kapcsolatát ezidáig kevés tanulmány vizsgálta.

Araim és mtsai. (2009) 13 hetes növényházi kísérletben a *R. irregularis*sal beoltott bíbor kasvirágokban a hajtás és gyökértömeg, valamint a gyökér fehérje és fenolszármazék tartalmában szignifikáns növekedést figyeltek meg a kontroll növényekhez képest.

Gualandi és mtsai. (2014) *Rhizophagus intraradices* és *Gigaspora margarita* arbuszkuláris mikorrhizagombával beoltott, 12 hetes növényházi bíbor kasvirágok paramétereit vizsgálták. Biomassza tekintetében, azonos foszfortrágyázás mellett 13-szoros növekedést mértek a kontroll növényekhez képest és 4-szeres növekedést a többlet foszfortrágyázást kapó kontrollhoz képest. A hatóanyagtartalom is szignifikáns növekedést mutatott a gombák jelenlétében.

Atterzadeh és mtsai. (2020) komplex kísérletükben különböző öntözési rezsim mellett vizsgálták a kasvirágok paramétereit különböző foszforellátási módok mellett: a növények teljes foszforigényének hármas szuperfoszfáttal való fedezése, beoltás csak a *R. irregularis* mikorrhizagombával vagy a *Pseudomonas fluorescens* baktériummal, illetve kezelés ezen két partnerrel külön, de a növény foszfor-igényének 50 %-os fedezése mellett. A foszfortrágyázás elősegítette a gomba gyökérkolonizációját, szignifikánsan növelte a hatóanyagtartalmat ebben a kombinációban és hozzájárult a bíbor kasvirágok szárazságtűréséhez.

Ezen kísérletek viszont üvegházi körülmények között zajlottak, sterilizált termesztőközegben, ezért fontosnak találtuk megvizsgálni a *R. irregularis* kolonizációs és kompetíciós képességét Maros megyében elterjedt talajtípusokon, a helyi mikroorganizmusközösségekkel szemben.

4. ANYAGOK ÉS MÓDSZEREK

4.1. NÖVÉNYI ANYAGOK

A kutatás alanyait képező bíbor kasvirág (*Echinacea purpurea* (L.) Moench) palánták a Sapientia Erdélyi Magyar Tudományegyetem Marosvásárhelyi Karának Laboratóriumában lettek előállítva (Iakab és mtsai., 2024). A növények magjai a marosvásárhelyi Emil Palade Orvosi, Gyógyszerészeti, Tudomány- és Technológiai Egyetem Botanikus Kertjéből származtak. A magok előkezelését egy korábbi, a kasvirágmagok csírázásának hatékonyságát vizsgáló diplomadolgozat alapján végeztük (Jánosi, 2023). Ezen kutatás szerint a legeredményesebbnek az egyszerű hidegkezelés bizonyult, így a magok 2022 február 16.-ától, 14 napon keresztül 4°C-on voltak tárolva, nedvesített steril tőzegbe helyezett szűrőpapírban, majd ezek 108 cellás sejttálcákba, steril tőzegbe kerültek elvetésre, a tőzeg felszínére, 2022 március 2.-án. Az így bevetett sejttálcák kontrollált laboratóriumi körülmények közé, 23°C-on kerültek elhelyezésre, az első héten 85-, majd az akklimatizációig 40%-os relatív páratartalom mellett. A palánták napi 16 óra megvilágítást kaptak, amit 8 óra sötét követett. A sejttálcák naponta 250 ml vízzel voltak beöntözve (Domokos és mtsai., 2020). A dolgozat eredményeit adó analízisekhez a második évben begyűjtött gyökér és levélminták lettek felhasználva.

4.2. A NÖVÉNYEK BEOLTÁSA ÉS AKKLIMATIZÁLÁSA

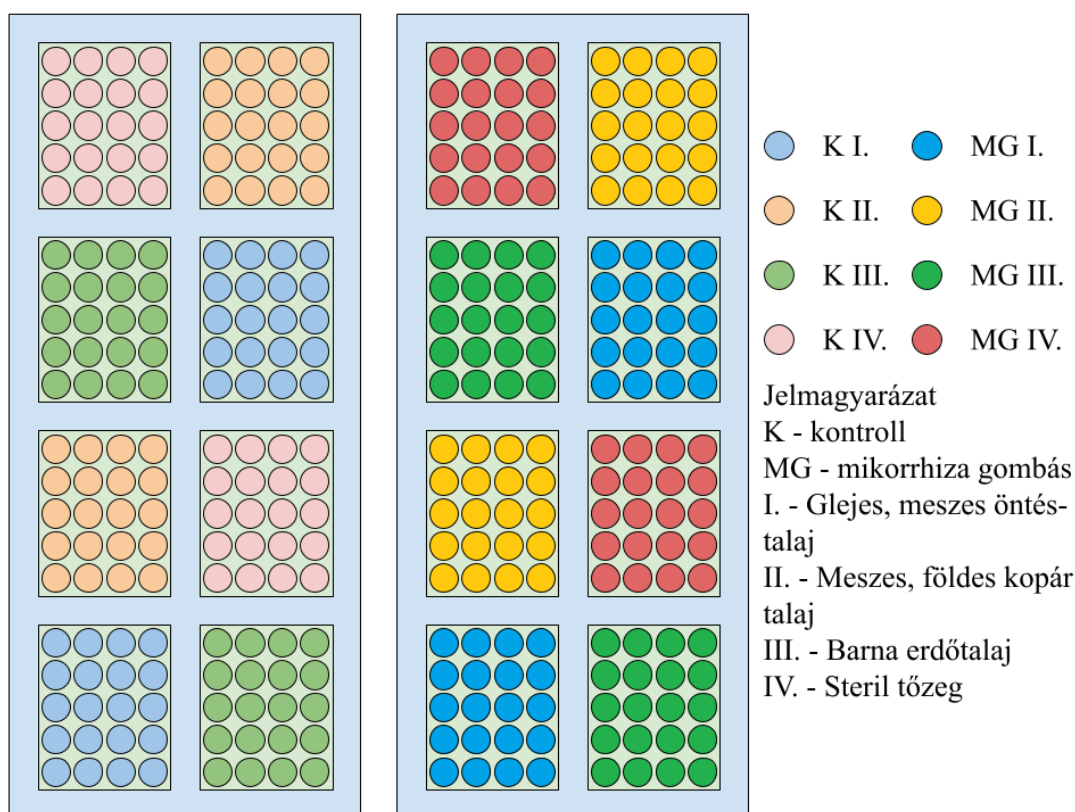
A palánták fele 2022 május 2.-án beoltásra került a *Rhizophagus irregularis* (Italpollina SPA, Olaszország) spóráival. Ezen magas koncentrációjú (1400 spóra/g), por formájú inokulumból 3 gramm került 1,5 L vízbe, négyszeres ismétlésben. Ebből az oldatból lett kijuttatva minden tálcába, amelyekben a beoltandó növényeket tartalmazó sejttálcák voltak. Az ezt követő két napban, az inokulum kimosódását elkerülendő, a növények nem voltak öntözve. A fóliasátorba 2022 május 4.-én kerültek a növények, hogy ott, 14 napon keresztül, árnyékolt, párasított körülmények között akklimatizálódjanak. Kiültetéskor minden beoltott növény kapott még 400 ml beöntözést a mikorrhizagombás inokulumból, a fentebb említett töménységben, továbbá a szabadföldi, gombával kezelt növények egy további 400 ml-es beöntözést augusztusban, szintén ebben a töménységben. A második vegetációs periódusban, 2023 áprilisának végén a gyökerek kolonizáltsági fokának fenntartása érdekében a gombával kezelt tömbök növényeit ismét beoltottuk.

4.3. A TERMESZTÉSI KÖRÜLMÉNYEK

A növények a Sapientia Erdélyi Magyar Tudományegyetem Marosvásárhelyi Karának tangazdaságában kerültek elhelyezésre, úgy a fóliasátras, mint a szabadföldi kísérlet tekintetében.

4.3.1. A FÓLIASÁTRAS NÖVÉNYEK KÖRÜLMÉNYEI

A fóliasátras kísérlethez a növények 2022 május 18.-án kerültek kiültetésre, 7.5 L-es edényekbe, a három féle, 2022 május 6.-án begyűjtött talajtípusba (Glejes, meszes öntéstalaj – Aluvisol gleic, calcaric – a Nyárad árterének üledékéből, Nyárádszentbenedekről; Meszes, földes kopár talaj – Regosol calcaric – egy meredek, déli kitettségű, szabálytalan lejtőről, Backamadarasról; Barna erdőtalaj – Perluvosol argic – a Sapientia Erdélyi Magyar Tudományegyetem Koronkai Kampuszának szomszédságában lévő gyertyános-tölgyesből), valamint steril tőzegbe (Turbă sterilă)(Szakács, 2008). A talajminták a felső 20 cm-es rétegből lettek begyűjtve. Ezen minták a Maros Megyei Pedológiai és Agrokémiai Hivatal talajvizsgáló laboratóriumában kerültek kielemezésre. A vizsgálat kitért a nitrogéntartalomra (Kjeldahl módszer), a szabadon elérhető foszfortartalomra (Egner Riehm Domingo módszer), a szabadon elérhető

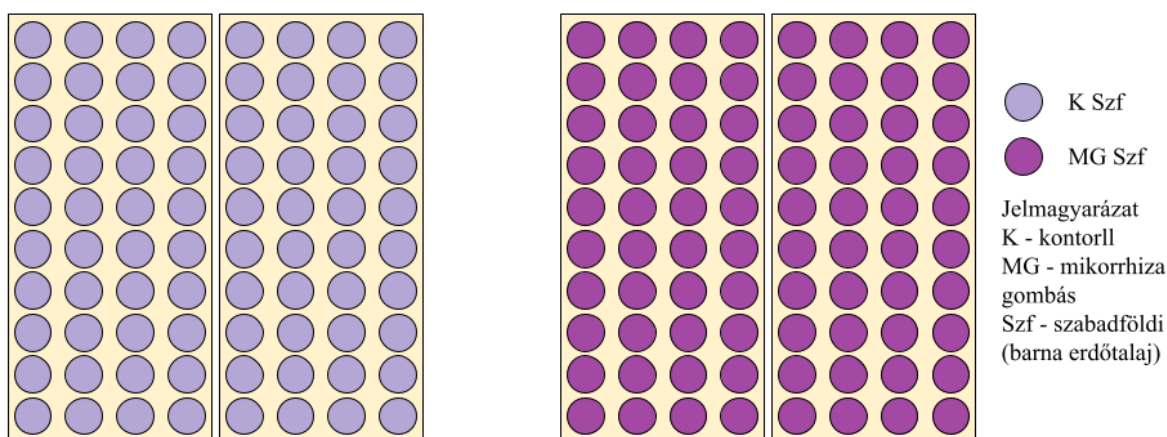


3. ábra: A növények elrendezése a fóliasátras kísérletben (saját ábra)

káliummennyiségre, a talaj kémhatására és humusztartalmára (Walkley Black módszer). A felhasznált steril tőzeg paraméterei a következők voltak: kémhatás 5,5-6 pH, elektromos vezetőképesség 1 mS/cm, sűrűsége 300 kg/m³, nitrogén 70 mg/L, P₂O₅ 140 mg/L, K₂O 240 mg/L, nedvességtartalma 40-60 %, szemcsemérete 0-20 mm (Danmuld tőzeg, Blondy Romania SRL., Marosvásárhely). Az átfertőződést elkerülendő, a kontroll növények külön fóliasátorba kerültek a beoltottaktól, talajtípusonként 20-20 növényt tartalmazó 2-2 tömbbe, így a kutatás ezen részében 320 növény vett részt, amelyeknek fele kezelve volt a mikorrhizagombával. Az egyes tömbök között 1 m távolságot hagytunk, míg a tömbökön belül az edények között 30 cm-t. A növények elrendezését az 3. ábra szemlélteti. A növények vízellátása csepegtető rendszerű öntözéssel volt biztosítva. Ezen öntözőrendszerhez egy precíziós tápoldatozó (Dosatron D9GL9; 1 m³/h; 0,2-2%) volt csatlakoztatva, amely a bíbor kasvirág tápanyagigényéhez volt igazítva. A kezdeti, május-júniusi időszakban növényenként napi 400 ml öntözővíz került kijuttatásra, amely adagot a melegebb, július-szeptemberi időszakra 800 ml-re emeltünk. A növények hetente egyszer Universol Blue vízzoldható műtrágyával (Blondy Romania SRL., Marosvásárhely) voltak ellátva eleinte 1,5 mS/cm EC-jű tápoldat formájában. Amikor a növények már nagyobb zöldtömeggel rendelkeztek, a tápoldat EC-je 2,5 mS/cm-re lett felemelve (Domokos és mtsai, 2020). A növényeket a fagykár elkerülése érdekében a téli időszakra 3 °C-on tároltuk, a fóliasátorba 2023 áprilisának közepén kerültek ki újra, a fenti modell alapján, ugyanazon termesztési körülmények közé. Mivel előzőleg tömbönként 6 növényt felszámoltunk az analízisek végett, így 14 került vissza minden tömbbe.

4.3.2. A SZABADFÖLDI NÖVÉNYEK KÖRÜLMÉNYEI

A szabadföldi kísérlet esetében a palánták a Sapientia Erdélyi Magyar Tudományegyetem Tankertjének barna erdőtalajába (Perluvosol stagnic, vertic) kerültek elültetésre (Szakács, 2008). A kutatás ezen részében, 2-2, 10x4-es tömb lett kialakítva. Az egyes tömbökön belül a növények 50x40 cm-es térállásban voltak elültetve, úgy, hogy a kezelt- és a kontrollnövények tömbjei között 5 m távolság volt hagyva. Ezen elrendezést a 4. ábra szemlélteti.



4. ábra: A szabadföldi növények elrendezése (saját ábra)

Kiültetés előtt a talajba 16:16:16-os arányú NPK műtrágya (Azomureş S.A., Románia) került bedolgozásra, 20 g/m² mennyiségben. Kéthetente Universol Blue vízdoldható műtrágyával (Blondy Romania SRL., Marosvásárhely) láttuk el a növényeket. A gyökérzetük kifejlődéséig, megerősödéséig 400 ml vizet kaptak naponta egyedenként, ez után az öntözésüket felfüggesztettük, vizet csak természetes csapadék formájában kaptak.

A szabadföldi növényeket késő ősszel talajjal takartuk a fagykár elkerülése érdekében. Kitakarásukra 2023 márciusának végén került sor. Termesztési körülményeik nem változtak. Az analízisekhez ezek közül 8-at használtunk fel tömbönként, így mindenikben maradt 32 növény.

4.4. A FOTOSZINTETIKUS PIGMENTEK VIZSGÁLATA

A fotoszintetikus pigmentek meghatározására a Sapientia Erdélyi Magyar Tudományegyetem Marosvásárhelyi Karának Laboratóriumában került sor, friss növényi anyagból. A kiválasztott növényekről a virágzati tengely alatti 2. levél került begyűjtésre, amelyből 0,5 g-nyit kevés kvarchomokkal, a klorofillok feofitinizálását okozó savakat semlegesítő magnézium-karbonát por kis mennyiségének a jelenlétében mozsárban eldörzsöltünk úgy, hogy kis adagokban összesen 25 ml 80%-os acetont adagoltunk hozzá oldószerként. Miután a növényi anyag szilárd törmelékei a mozsárban leülepedtek, a felülúszóból 10-10 ml-t centrifuga csövekbe töltöttünk, amiket 10 percig 6000 fpp-en centrifugáltunk. Ezek után a felülúszókból 3-3 ml-t üvegküvetákba töltöttünk fotometráls (fényelnyelés mérés) céljából. Az abszorbancia hullámhosszak (A) 480 nm-re, 646 nm-re és 663 nm-re állítottuk, a karotenoidoknak, a b-klorofilnak és az a-klorofilnak az acetonos kivonatokban mérhető fényelnyelési maximumának megfelelően a kék, illetve a vörös színtartományban. Referencia mintaként (az abszorbancia

lenullázására a mérések előtt) az oldószert, vagyis a 80%-os acetont használtuk. Az egyes mérések között a küvettákat acetonnal öblítettük ki és hagytuk szűrőpapíron megszáradni.

A fotoszintetikus pigmenttartalmak meghatározásához használt képletek:

$$\text{a-klorofill (mg g}^{-1}\text{)} = [(12,21 \cdot A_{663} - 2,81 \cdot A_{646}) \cdot V \cdot D] / 1000 \cdot d \cdot W;$$

$$\text{b-klorofill (mg g}^{-1}\text{)} = [(20,13 \cdot A_{646} - 5,03 \cdot A_{663}) \cdot V \cdot D] / 1000 \cdot d \cdot W;$$

$$\text{karotenoidok (mg g}^{-1}\text{)} = 5,01 \cdot A_{480} \cdot V / 1000 \cdot d \cdot W,$$

Ahol:

A – abszorbancia érték a megjelölt hullámhosszon

V – pigmentkivonat térfogata (25 ml)

D – hígítási együttható (1)

d – küvetta belső szélessége, a fénysugár által megtett út a pigmentkivonatban (1 cm)

W – pigmentkivonásra használt növényi anyag nyers tömege (0,5 g).

Ugyanezen módszerrel vizsgáltuk a pigmenteket a második évben is, a 2023 augusztus 1.-én begyűjtött, –20 °C-ra lefagyasztott növényi mintákból (Fodorpataki és mtsai., 2021).

4.5. A FENOLSZÁRMAZÉKOK VIZSGÁLATA

4.5.1. MINTÁK BEGYŰJTÉSE, SZÁRÍTÁSA, TÁROLÁSA

A növénymintákat betakarítás után két héten át szárítottuk, fénytől védett, árnyékos körülmények között, 25-30 °C-on. Ezt követően kimértük a vizsgálathoz szükséges levél- illetve gyökérmennyiségeket. Ezek az analízisig száraz, hűvös helyen, papírtasakokban voltak tárolva.

4.5.2. MÉRÉSEK

A fenolszármazékok vizsgálata a Sapientia Erdélyi Magyar Tudományegyetem Csíkszeredai Karának Laboratóriumában zajlott. A mérésekhez szükséges, HPLC-minőségű acetonitril és metanol, valamint az analitikai tisztaságú foszforsav a Sigma-Aldrich (Németország) cégtől származtak, ahogy a minták minőségi- és mennyiségi analíziséhez használt kaftársav-, cikóriasav-, kávésav-, klorogénsav-, cinarin és echinakoizid standardok is.

A szárított levélminták (12 minta/talajtípus/kezelés a fóliasátras és 16 minta/talajtípus/kezelés a szabadföldi kísérletből) aprítása és homogenizálása mozsarazással történt. A fenolszármazékok kivonásához 0,25 g-os mintákat használtunk, amit 4 ml 70 térfogatszázalékos metanolban 5 percig ultrahangos vízfürdőbe helyeztünk. Az így nyert kivonatokat 10 percen keresztül, 6000 fpp-n centrifugáltuk. A felülúszót egy sötét üvegedénybe

töltöttük, az ülepedett növényi anyaggal, azt újra feltöltve 4 ml metanollal megismételtük az eljárást, majd a két felülúszót összetöltve, az edényt kupakkal lezárva azt hűtőbe tettük a következő napi analízisre. A mintákat egy 45 µm-es szűrőn átszűrtük a további analízisre.

A mintákat egy diódasoros detektorral ellátott (DAD) Agilent Infinity 1260 HPLC géppel analizáltuk. Az alkalmazott HPLC körülmények a következők voltak:

- oszlop: Hypersil BDS C18 (150 x 4,6 mm belső átmérő x 5,0 µm);
- 35 °C hőmérséklet;
- oldószerrendszer A – foszforsav (0.1%), B – acetonitril;
- gradiens elúció – 10% B 0,1 perc, 10-22% B 13 perc, 22-40% B 1 perc;
- áramlási sebesség 1,5 ml/perc;
- injektálási térfogat 5 µl;
- detektálás 330 nm-en.

A mennyiségi meghatározást külső standard módszerrel végeztük, kalibrációs görbékkel (1, 2, 4, 8, 16 és 32 µg/ml a klorogénsav, kávésav, cinarin és echinakozid esetében, illetve 0,25, 0,5, 1, 2 és 4 mg/ml a kaftársav és cikóriasav esetében).

Kalibrációs görbék az egyes hatóanyagokhoz:

Kaftársav: $A = 4,13088 \cdot c + 395,20977$, korrelációs együttható, $R^2 = 0,9933$;

Klorogénsav: $A = 1,4415823 \cdot c + 0,2381015$, korrelációs együttható, $R^2 = 0,9939$;

Kávésav: $A = 9,85846 \cdot c + 1,74394$, korrelációs együttható, $R^2 = 0,99994$;

Cinarin: $A = 3,76147 \cdot c + 0,62076$, korrelációs együttható, $R^2 = 0,9992$;

Echinakozid: $A = 2,68101 \cdot c + 0,27048$, korrelációs együttható, $R^2 = 0,9998$;

Cikóriasav: $A = 6,40342 \cdot c + 357,2146$, korrelációs együttható, $R^2 = 0,9935$.

Ugyanezen módszer alapján a levelek fenolszármazék tartalmának analízisét a második vegetációs periódus végén újra elvégeztük. A szakirodalom ajánlása alapján, miszerint a bíbor kasvirág esetében a második vegetációs periódustól figyelhető meg jelentős gyökérhozam (Muntean és mtsai., 2016), a gyökérzet fenolszármazék tartalmának vizsgálatát is elvégeztük szárított gyökérmintákból. Ezen analízisre 2024 február 7.-én került sor. A gyökérmintákat metszőollóval előaprítottuk, majd egy Retsch ZM200 típusú laboratóriumi malommal aprítottuk tovább. Az analízishez mindenik mintából 0,25 grammnyit használtunk fel, a további folyamatok megegyeznek a száraz levélminták esetében alkalmazottakkal.

4.6. A GYÖKEREK KOLONIZÁLTSÁGI FOKÁNAK VIZSGÁLATA

A mikorrhizagombával való beoltás sikerességét vizsgálándó, minden, a beoltott növényeket tartalmazó, úgy fóliasátras, mint szabadföldi tömbből véletlenszerűen kiválasztottunk 3 növényt, és ezekről egyedenként 170 darab 1 cm-es gyökérmintát gyűjtöttünk be. A minták a begyűjtéstől az analízisig hűtőszekrényben voltak tárolva. Az analízis a minták tisztításával kezdődött, így mintánként 3 grammnyi gyökérdarabkát 40 ml 2,5%-os KOH oldatba helyeztünk 30 percre, 90 °C-os vízfürdőbe. Az így megtisztított gyökérfragmentumokat többször áttisztítottuk desztillált vízzel, majd derítés céljából 30 percre át állni hagytuk 30 ml 3%-os H₂O₂ és 30 ml 20%-os NH₄OH elegyében. A minták savasítása céljából azokat a következő napig 50 ml 1%-os HCl-ben tároltuk. A festéshez először 400 ml oldatot állítottunk elő 200 ml glicerolból, 180 ml desztillált vízből és 20 ml 1%-os HCl-ből. Ezen oldatból kimértünk 100 ml-t, ehhez pedig 0.05 g Trypan Blue (Sigma Aldrich, Románia) festékanyagot kevertünk. A gyökérfragmentumok ezen festett oldatban 45 percre át 90 °C-os vízfürdőben voltak tartva. Ezt követően a mintákat a maradék 300 ml glicerolban, hűtőszekrényben tároltuk a végső vizsgálatig. Festés után 150 gyökérfragmentum/talajtípus/kezelés lett megvizsgálva fénymikroszkóp (Ceti Topic-T, Belgium) segítségével. A tárgylemezre egy fedőlemez nagyságú, 2x2 cm-es keretet rajzoltunk és ezt 3 párhuzamos vonallal részekre osztottuk és ezen vonalak mentén vizsgáltuk a sejteket. A gombákat (arbuszkulumokat, vezikulumokat vagy hifákat) tartalmazó gyökérsejtek kékre színeződését tapasztaltuk. A képek Canon EOS 250D (Canon Inc., Japán) géppel készültek, 20-as objektívvel, 10-szeres nagyításon (Koske és Gemma, 1989; Domokos és mtsai, 2020).

4.7. AZ ADATOK STATISZTIKAI KIÉRTÉKELÉSE

A mérési eredményeink a Microsoft Excel adatkezelő programba vezettük be, statisztikai kielemezésükre pedig a Past (Paleontological Statistics Software) 4.03-as verzióját használtuk. Mivel a mért értéksorok csoportonként normál- (a-klorofill, össz-klorofill, a:b klorofill arány), illetve nem normál (b-klorofill, karotenoidok, össz-klorofill/karotenoidok és a fenolszármazékok) eloszlást is mutattak, így az adatelemzésnél az előbbieket értelmezéséhez One-way ANOVA teszttel dolgoztunk, a szignifikáns különbségek kimutatására pedig Tukey-féle páros tesztet alkalmaztunk. Az utóbbiak esetében, ahol az adatok nem normál eloszlást mutattak, Kruskal-Wallis teszttel értelmeztük a méréseinket, a szignifikáns különbségek pedig Mann-Whitney-féle páros teszttel kerültek kimutatásra (Hammer és mtsai., 2001).

5. EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK

5.1. A TALAJANALÍZISEK EREDMÉNYEI

A talajminták analízisének eredményeit a Maros Megyei Pedológiai és Agrokémiai Hivatal talajvizsgáló laboratóriuma biztosította.

A második vegetációs periódusban a kontroll és kezelt növények talajainak paramétereit összegzi a 1. táblázat. Ezen eredmények szerint a gombával kezelt növények talajaiban alacsonyabb volt a tápanyagok szintje, ami arra enged következtetni, hogy a gomba és a velük asszociáló nitrogénkötő baktériumok megnövelték a növények tápanyagokhoz való hozzáférését, illetve tápanyagfelhasználását.

1. táblázat: A második vegetációs periódus kontroll és kezelt növényeinek talajanalízis eredményei

	Talajanalízis eredményei 2. évben	pH	Humusz (%)	Össz-N (%)	Elérhető P (ppm)	Elérhető K (ppm)
	K I.	7,52	2,91	0,151	24	296
	MG I.	7,65	2,63	0,119	20	232
	K II.	7,63	2,78	0,138	26	228
	MG II.	7,60	2,46	0,104	23	218
	K III.	4,62	2,76	0,142	25	240
	MG III.	4,71	2,30	0,109	19	208
	K Szf.	5,28	2,47	0,118	29	276
	MG Szf.	5,37	2,43	0,107	20	282

Magyarázat: K – kontroll; MG – mikorrhizával kezelt;

 I. glejes, meszes öntéstalaj;  II. meszes, földes, kopár talaj;  III. barna erdőtalaj;

 Szf. szabadföldi barna erdőtalaj;

A Iakab és munkatársai (2024) által begyűjtött eredeti talajtípusok analízisének eredményeit az 2. táblázat összegzi. Az alkalmazott tápoldatok megnövelték a talajok N, P és K tartalmát.

2. táblázat: A begyűjtött talajtípusok talajanalízisének eredményei (Iakab és mtsai., 2024 nyomán)

Talajanalízis eredményei 1. évben	pH	Humusz (%)	Össz-N (%)	Elérhető P (ppm)	Elérhető K (ppm)
Glejes, meszes öntéstalaj	8,02	2,69	0,111	15	166
Meszes, földes, kopár talaj	8,09	2,51	0,103	6	102
Barna erdőtalaj	4,52	2,38	0,096	25	206
Szabadföldi barna erdőtalaj	6,47	2,64	0,11	58	354

5.2. A FOTOSZINTETIKUS PIGMENTEK ANALÍZISEINEK EREDMÉNYEI

Az 3. táblázat a második vegetációs periódusban mért fotoszintetikus pigmentek paramétereit szemlélteti és hasonlítja össze. Ebben az évben nem mutatkozott szignifikáns különbség talajtípuson belül a kontroll és kezelt növények között egyik paraméterben sem. Ezen eredmények arra engednek következtetni, hogy a gomba jelenléte a második évben nem okozott stresszhatást a növények számára egyik szubsztrátumon sem.

3. táblázat: A 2. évben mért fotoszintetikus pigmentek mennyiségének és arányainak összehasonlítása kontroll és kezelt növények között, különböző talajtípusokon (eltérő betűkódnál $p < 0,05$)

Pigmentek a 2. évben	a-klorofill (mg/g)	b-klorofill (mg/g)	karotenoidok (mg/g)	össz- klorofill (mg/g)	a:b klorofill arány	össz klorofill:össz karotenoid arány
 K I.	1,655 ab	0,450 abc	0,510 abc	2,105 ab	3,747 abcd	4,100 abc
 MG I.	1,492 ab	0,407 abc	0,469 abc	1,899 ab	3,684 bcd	4,031 abc
 K II.	1,749 ab	0,490 ab	0,542 ab	2,238 ab	3,578 d	4,144 abc
 MG II.	1,660 ab	0,451 ab	0,487 abc	2,111 ab	3,722 abcd	4,350 a
 K III.	1,985 a	0,542 ab	0,582 ab	2,527 a	3,763 abcd	4,323 a
 MG III.	1,933 a	0,539 a	0,580 a	2,472 a	3,607 cd	4,279 ab
 K IV.	1,659 ab	0,434 abc	0,493 abc	2,094 ab	3,881 abc	4,265 ab
 MG IV.	1,636 ab	0,431 abc	0,497 b	2,067 ab	3,833 abcd	4,159 abc
 K Szf.	1,450 ab	0,371 bc	0,468 abc	1,821 ab	3,956 ab	3,810 bc
 MG Szf.	1,248 b	0,310 c	0,418 c	1,559 b	4,066 a	3,697 c

Magyarázat: K – kontroll; MG – mikorrhizával kezelt;

 I. glejes, meszes öntéstalaj;  II. meszes, földes, kopár talaj;  III. barna erdőtalaj;

 IV. steril tőzeg;  Szf. szabadföldi barna erdőtalaj;

Összehasonlításképpen a 4. táblázat szemlélteti az első vegetációs periódusban, Iakab és munkatársai (2024) által mért fotoszintetikus pigment paraméterek statisztikai összehasonlítását a kontroll és a kezelt növények között, talajtípusonként. Amint a táblázatból kiderül, az első évben a mikorrhizák jelenléte szignifikánsan emelte a beoltott növények a-klorofill, b-klorofill, karotenoid és össz-klorofill tartalmát glejes, meszes öntéstalajon, illetve a b-klorofill és karotenoid tartalmát steril tőzegen. Ebből levonható az, hogy a mikorrhizagombák jelenlétét glejes, meszes öntéstalajon, illetve steril tőzegen enyhe környezeti stresszhatásként észlelték a növények, amely pozitív hatással volt a megnevezett pigmentjeik termelésére.

4. táblázat: Az 1. évben mért fotoszintetikus pigmentek mennyiségének és arányainak összehasonlítása a kontroll és kezelt növények között, különböző talajtípusokon (eltérő betűkódnál $p < 0,05$; barna színnel jelöltük a gomba pozitív hatását; Iakab és mtsai., 2024 nyomán)

Pigmentek az 1. évben	a-klorofill (mg/g)	b-klorofill (mg/g)	karotenoidok (mg/g)	össz-klorofill (mg/g)	a:b klorofill arány	össz klorofill:össz karotenoid arány
 K I.	1,006 c	0,335 e	0,325 d	1,341 b	3,070 a	4,123 a
 MG I.	1,449 ab	0,673 ab	0,506 abc	2,122 a	2,406 a	4,325 a
 K II.	1,248 abc	0,512 abcde	0,403 abcd	1,761 ab	2,644 a	4,468 a
 MG II.	1,469 ab	0,578 ab	0,499 ab	2,047 a	2,639 a	4,106 a
 K III.	1,180 bc	0,376 de	0,390 cd	1,556 ab	3,239 a	3,998 a
 MG III.	1,420 ab	0,496 abcd	0,466 abc	1,916 ab	2,921 a	4,139 a
 K IV.	1,297 abc	0,456 bcde	0,413 bcd	1,752 ab	3,016 a	4,277 a
 MG IV.	1,513 a	0,646 a	0,538 a	2,160 a	2,480 a	4,008 a
 K Szf.	1,388 ab	0,556 abc	0,477 abc	1,944 ab	2,607 a	4,162 a
 MG Szf.	1,244 abc	0,415 cde	0,418 bcd	1,659 ab	3,013 a	4,019 a

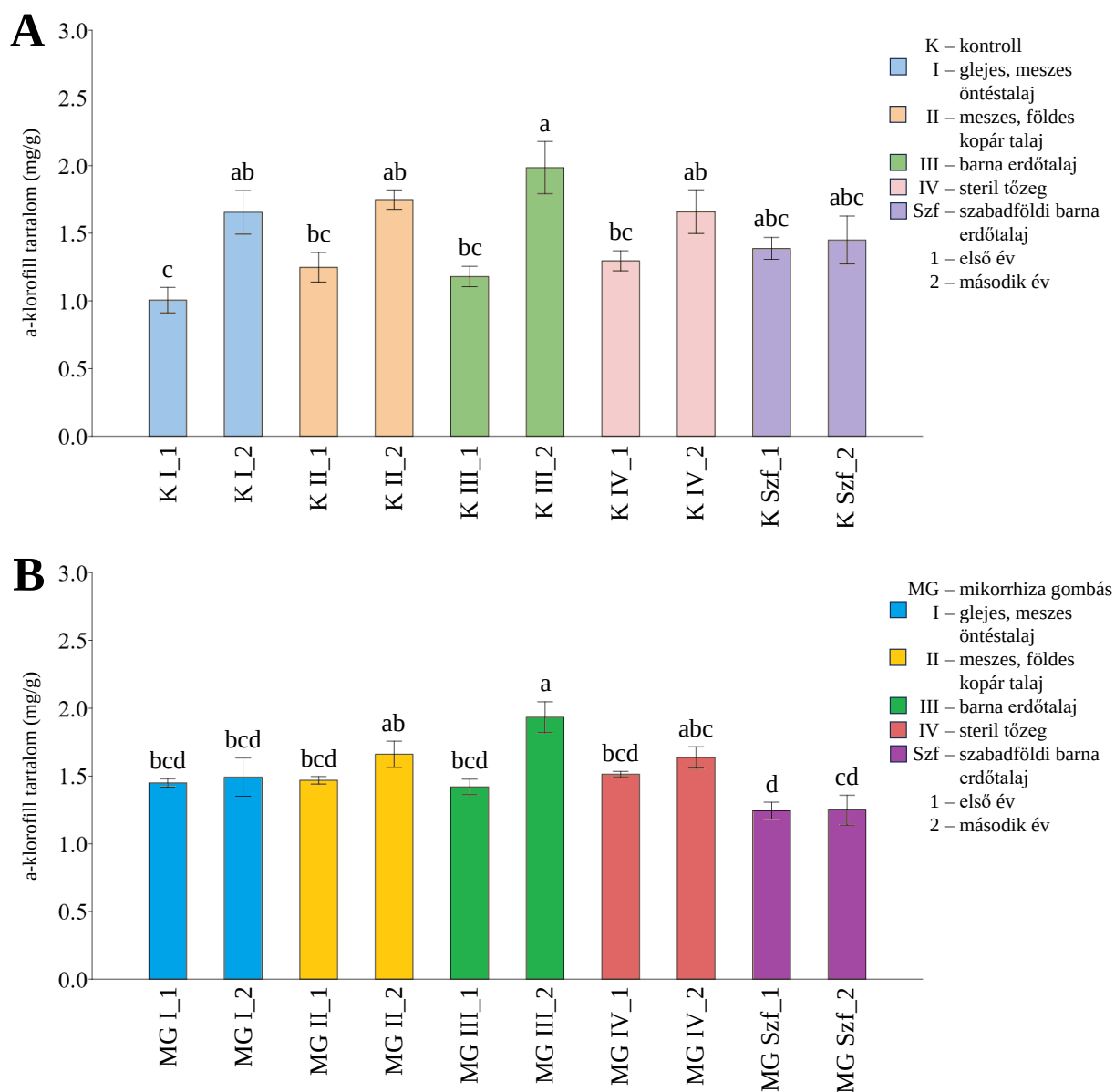
Magyarázat: K – kontroll; MG – mikorrhizával kezelt;

 I. glejes, meszes öntéstalaj;  II. meszes, földes, kopár talaj;  III. barna erdőtalaj;

 IV. steril tőzeg;  Szf. szabadföldi barna erdőtalaj;

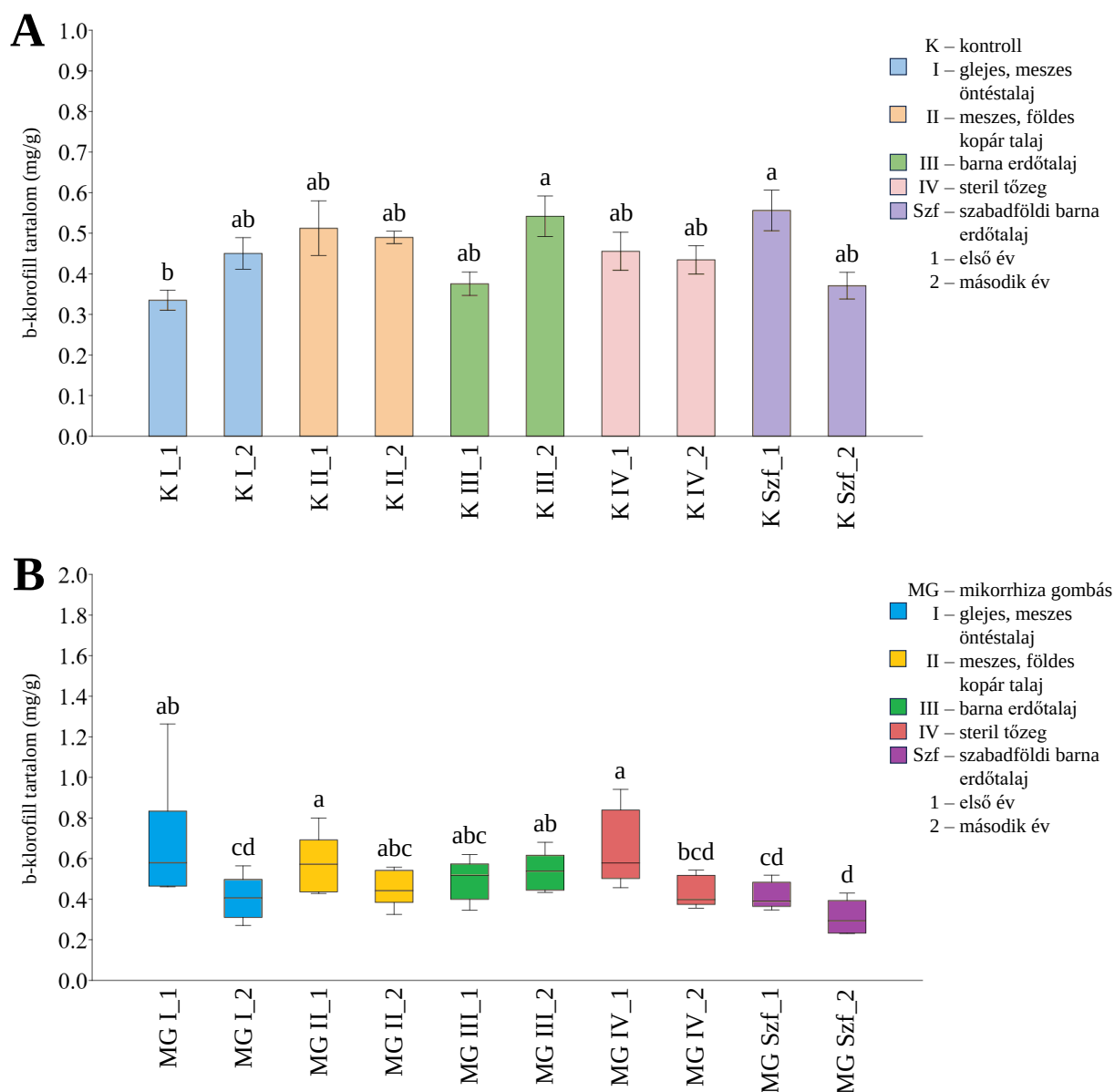
A két vegetációs periódusban mért fotoszintetikus pigment tartalmak és arányok összehasonlításánál saját, második éves eredményeimet Iakab és munkatársai (2024) első éves eredményeivel hasonlítottam össze.

Az 5. ábra szemlélteti az **a-klorofill** mennyiségbeli különbségeit az első és második vegetációs periódus között, kontroll valamint mikorrhizált növényekben. A kontroll növények esetében szignifikáns különbség glejes meszes öntéstalajon és barna erdőtalajon mutatkozott, a kezelt növényeken pedig barna erdőtalajon. Mindhárom esetben a második évben mértük a magasabb mennyiséget.



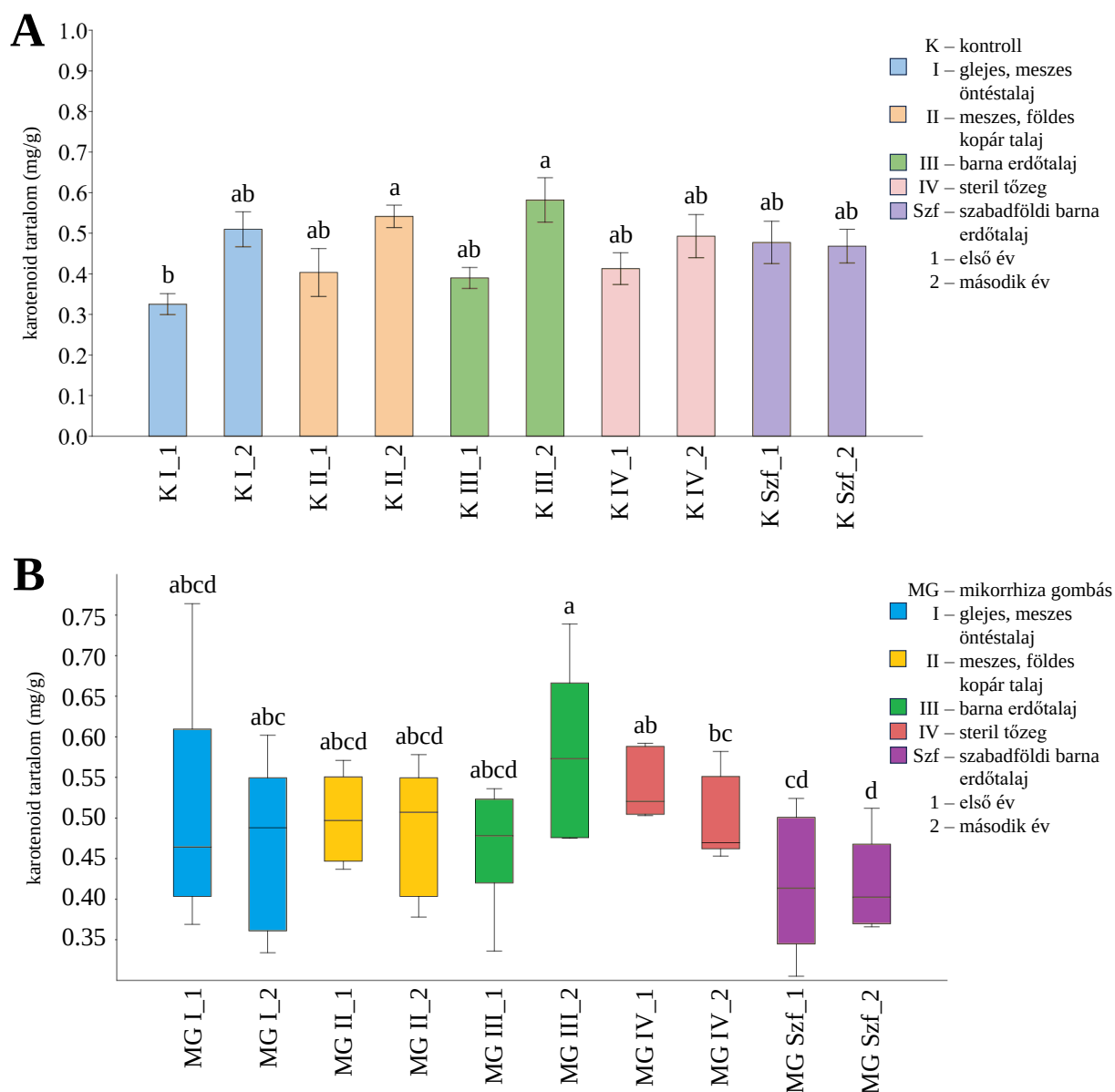
5. ábra: Az a-klorofill tartalom (mg/g) összehasonlítása 1. és 2. évben; A - kontroll; B - kezelt; (eltérő betűkódnál $p < 0,05$)

A 6. ábra a **b-klorofill** mennyiségbeli különbségeit szemlélteti az első és második vegetációs periódus között, kontroll illetve kezelt növényekben. Ebben az esetben csak a kezelt növényekben mutatkozott különbség, glejes meszes öntéstalajon illetve steril tőzegen volt szignifikánsan magasabb a mért paraméter értéke az első évben.



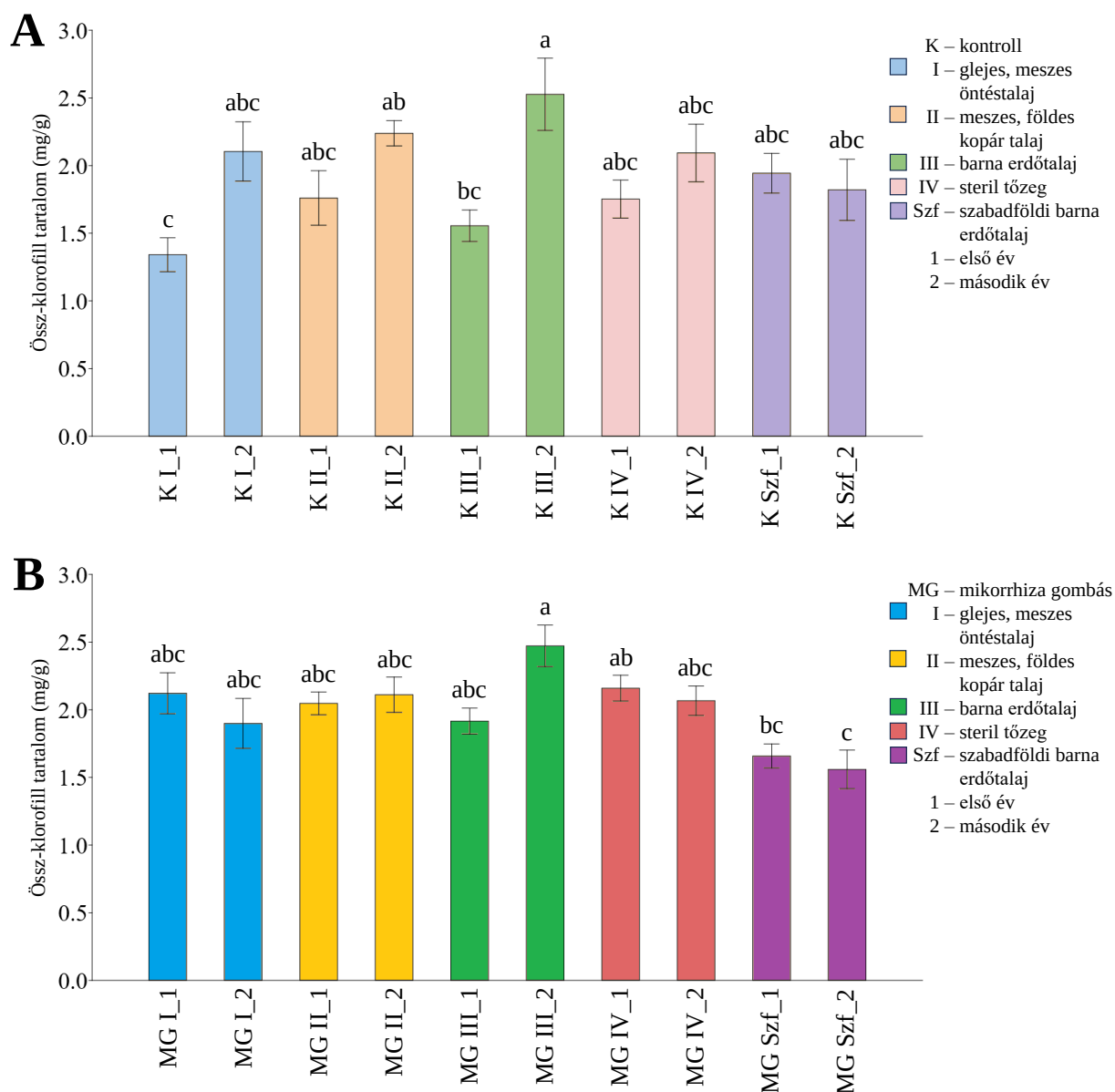
6. ábra: A b-klorofil tartalom (mg/g) összehasonlítása 1. és 2. évben; A - kontroll; B – kezelt; (eltérő betűkódnál $p < 0,05$)

A **karotenoidok** mennyiségbeli különbségeit az első és második vegetációs periódus között a 7. ábra szemlélteti. Úgy a kontroll, mint a kezelt növények esetében elmondható, hogy a két évet összevetve egyik talajtípuson sem mutatkozott szignifikáns különbség a karotenoid tartalomban.



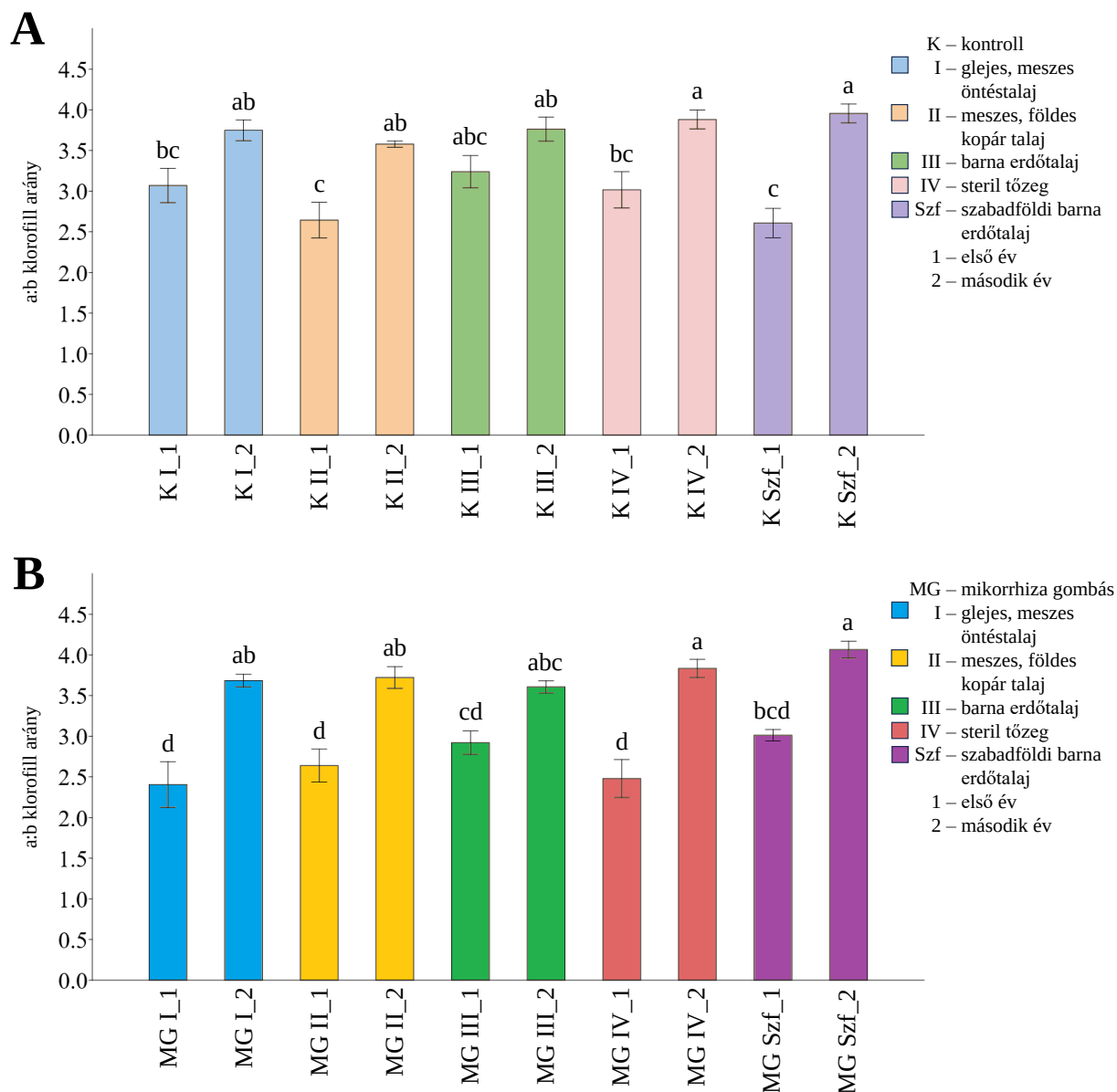
7. ábra: A karotenoid tartalom (mg/g) összehasonlítása 1. és 2. évben; A - kontroll; B - kezelt; (eltérő betűkódnál $p < 0,05$)

Az **össz-klorofill** tartalom alakulását a két vegetációs periódus között a 8. ábra szemlélteti. Barna erdőtalajon a második éves kontroll növényekben szignifikánsan magasabb volt ez a paraméter.



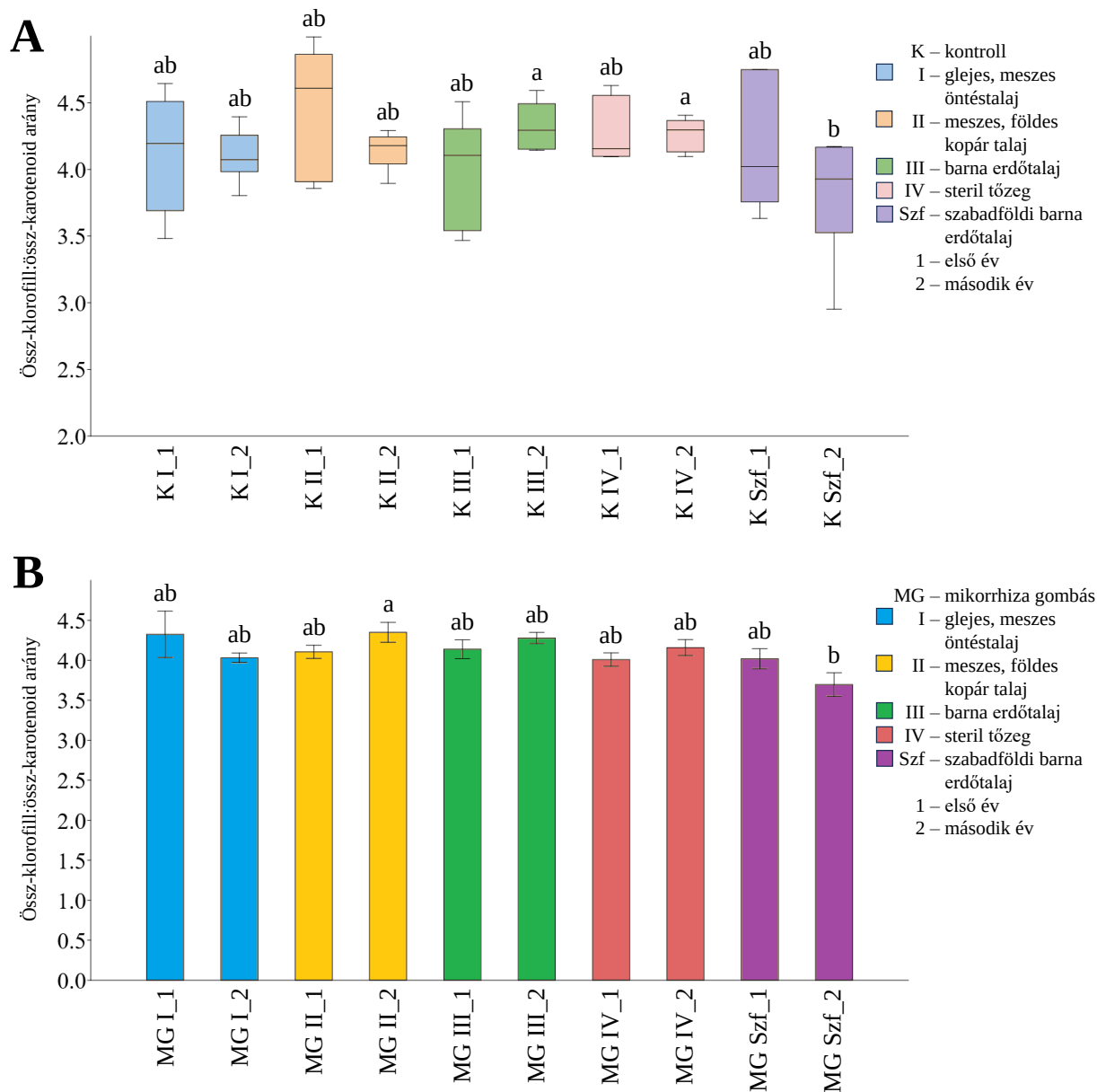
8. ábra: Az össz-klorofill tartalom (mg/g) összehasonlítása 1. és 2. évben; A - kontroll; B - kezelt; (eltérő betűkódnál $p < 0,05$)

Az **a:b klorofill arányok** változását a két év között a 9. ábra szemlélteti. Kontroll növények esetében a meszes, földes, kopár talajon, steril tőzegen és szabadföldi barna erdőtalajon, a beoltott növények esetében pedig glejes, meszes öntéstalajon, meszes, földes, kopár talajon, steril tőzegen és szabadföldi barna erdőtalajon, mindenik esetben a második évben volt szignifikánsan nagyobb ez az arány.



9. ábra: Az a:b klorofill arány összehasonlítása 1. és 2. évben; A - kontroll; B - kezelt; (eltérő betűkódnál $p < 0,05$)

Az **össz-klorofill:össz-karotenoid arányok** első és második év közötti különbségét a 10. ábra szemlélteti. Egyik esetben sem volt szignifikáns különbség a két vegetációs periódus között.



10. ábra: Az össz-klorofill:össz-karotenoid arány összehasonlítása 1. és 2. évben; A - kontroll; B - kezelt; (eltérő betűkódnak $p < 0,05$)

5.3. A FENOLSZÁRMAZÉKOK ANALÍZISEINEK EREDMÉNYEI

Az 5. táblázat a második éves kontroll és kezelt kasvirágok szárított gyökerének fenolszármazék tartalmát hasonlítja össze, talajtípusonként. A **kaftársav** mennyisége szignifikánsan magasabb volt a gombával kezelt, steril tőzegen nevelkedett növényeknek. A **kávéssav** mennyisége glejes, meszes öntéstalajon a kontroll növények gyökerében volt szignifikánsan magasabb, míg steril tőzegen a kezelt növények teljesítettek jobban. Glejes, meszes öntéstalajon a kontroll növényekben szignifikánsan több **echinakozid** volt mérhető. A **cinarin**

menyisége a kezelt növényekben volt szignifikánsan magasabb barna erdőtalajon és szabadföldi barna erdőtalajon. Általánosan elmondható, hogy a második éves kasvirág gyökerek fenolszármazék tartalma a mikorrhizált, szabadföldi barna erdőtalajon volt a legmagasabb.

5. táblázat: A 2. évben, száraz gyökérből mért fenolszármazékok mennyiségének összehasonlítása kontroll és kezelt növények között, különböző talajtípusokon (eltérő betűkódnál $p < 0,05$; barna színnel jelöltük a gomba pozitív hatását, illetve szürkével a negatív hatást)

	Fenolszármazékok száraz gyökérből (2. év)	kaftársav (mg/g)	klorogénsav (mg/g)	kávésav (mg/g)	cikóriasav (mg/g)	echinakozid (mg/g)	cinarin (mg/g)
 K I.		29,739 bc	0,000 a	0,727 bcd	185,968 de	4,198 bcd	0,635 b
 MG I.		30,290 b	0,000 a	0,214 e	204,276 cd	2,119 e	0,911 ab
 K II.		18,951 cd	0,000 a	0,623 cde	165,203 ef	3,059 de	0,439 bc
 MG II.		28,268 bc	0,000 a	0,818 bcd	191,301 de	3,408 de	0,822 b
 K III.		11,794 d	0,000 a	0,565 d	151,428 def	2,919 de	0,000 c
 MG III.		10,776 d	0,000 a	0,514 de	139,308 f	3,982 cde	0,565 b
 K IV.		11,701 d	0,000 a	0,503 de	231,538 bcde	3,814 cde	0,943 ab
 MG IV.		33,573 bc	0,000 a	1,082 ab	283,652 ab	7,017 abc	0,488 b
 K Szf.		50,753 a	0,000 a	1,263 abc	250,391 abc	6,496 ab	0,924 b
 MG Szf.		54,069 a	0,000 a	1,498 a	303,290 a	10,768 a	1,968 a

Magyarázat: K – kontroll; MG – mikorrhizával kezelt;

 I. glejes, meszes öntéstalaj;  II. meszes, földes, kopár talaj;  III. barna erdőtalaj;

 IV. steril tőzeg;  Szf. szabadföldi barna erdőtalaj;

Glejes, meszes öntéstalajon a kezelt növények gyökerének kávésavtartalma 3,39-szer és az echinakozidtartalma 1,98-szor kevesebb volt a kontrollhoz képest. **Barna erdőtalajon** a cinarin jelen volt a kezelt növényekben (0,565 mg/g gyökér) de a kontroll növényekből hiányzott. **Steril tőzegen** a mikorrhizás kezelés hatására 2,86-szor több kaftársav és 2,15-ször több kávésav volt mérhető a növények gyökerében. **Szabadföldi barna erdőtalajon** a kezelt növények gyökere 2,12-szer több cinarint tartalmazott.

A 6. táblázat a második vegetációs periódusban, kontroll és kezelt növények száraz leveléből mért fenolszármazékok mennyiségét hasonlítja össze, talajtípusonként. A második évben a mikorrhizált növényekben volt kimutatható szignifikánsan magasabb fenolszármazék tartalom, a glejes, meszes öntéstalaj növényeinek cinarin tartalmát leszámítva, amely esetben a kontroll növények jobban teljesítettek. Steril tőzegen a kontrollhoz képest szignifikánsan több **kaftársav** volt a kezelt növényekben. A **klorogénsav** és a **kávésav** tartalmat minden talajtípuson

szignifikánsan megemelte a mikorrhizás kezelés. A **cikóriasav** mennyisége meszes, földes, kopár talajon szignifikánsan magasabb volt kezelt növényekben. Az **echinakozid** hatóánya szignifikánsan nagyobb mennyiségben volt jelen a mikorrhizált növényekben meszes, földes, kopár talajon, barna erdőtalajon, steril tőzegen illetve szabadföldi barna erdőtalajon. A **cinarin** mennyisége a glejes, meszes öntéstalaj, meszes, földes, kopár talaj és a steril tőzeg növényein volt szignifikánsan nagyobb. Általánosan elmondható, hogy a legnagyobb fenolszármazék tartalma a második évben a mikorrhizával beoltott, szabadföldi barna erdőtalajon nevelkedett kasvirágok szárított levelének volt.

6. táblázat: A 2. évben, száraz levélből mért fenolszármazékok mennyiségének összehasonlítása kontroll és kezelt növények között, különböző talajtípusokon (eltérő betűkódnál $p < 0,05$; barna színnel jelöltük a gomba pozitív hatását, illetve szürkével a negatív hatást)

	Fenolszármazékok száraz levélből (2. év)	kaftársav (mg/g)	klorogénsav (mg/g)	kávésav (mg/g)	cikóriasav (mg/g)	echinakozid (mg/g)	cinarin (mg/g)
 K I.		41,507 bc	0,463 d	0,071 c	162,028 c	0,968 d	2,579 ac
 MG I.		29,958 cde	3,529 b	1,098 b	138,449 cd	1,118 cd	0,894 ef
 K II.		37,932 cde	0,000 e	0,036 c	107,111 d	0,000 e	0,000 h
 MG II.		35,654 cd	2,903 b	1,427 ab	139,896 c	1,649 bcd	0,589 f
 K III.		22,429 e	0,123 de	0,069 c	116,610 cd	0,000 e	1,416 cdefg
 MG III.		28,265 de	2,852 b	1,358 ab	174,814 bcd	2,719 a	0,590 f
 K IV.		39,028 c	0,387 de	0,012 c	231,878 b	0,142 e	0,375 gh
 MG IV.		54,998 b	3,396 b	1,331 ab	220,038 b	1,810 abc	1,123 e
 K Szf.		90,374 a	1,178 c	0,021 c	277,781 a	0,188 e	3,051 ab
 MG Szf.		88,273 a	6,910 a	1,716 a	323,332 a	2,723 ab	1,553 bd

Magyarázat: K – kontroll; MG – mikorrhizával kezelt;

 I. glejes, meszes öntéstalaj;  II. meszes, földes, kopár talaj;  III. barna erdőtalaj;

 IV. steril tőzeg;  Szf. szabadföldi barna erdőtalaj;

Glejes, meszes öntéstalajon a gombával kezelt növények levelében 7,62-szer több klorogénsav és 15,46-szor több kávésav volt a kontrollhoz képest, viszont 2,88-szor kevesebb cinarin. **Meszes, földes, kopár talajon** a kezelt növények, 39,64-szer több kávésav, 1,3-szor több cikóriasav. Ezen talajon a kontroll növényekből hiányzott, viszont a kezeltékben jelen volt a klorogénsav (2,903 mg/g levél), az echinakozid (1,649 mg/g levél) és a cinarin (0,589 mg/g levél). **Barna erdőtalajon** a kezelt növények esetében a klorogénsavból 23,18-szor, a kávésavból 19,68-szor mértünk többet a kontrollhoz képest, míg az echinakozid a kontroll növényekből teljesen

hiányzott, a kezeltekben viszont jelen volt (2,719 mg/g levél). **Steril tőzegen** a kaftársav mennyisége 1,40-szer, a klorogénsavé 8,77-szer, a kávésavé 110,91-szer, az echinakozidé 12,74-szer, a cinariné pedig 2,99-szer volt nagyobb a kezelt növényekben. **Szabadszíri barna erdőtalajon** a klorogénsav mennyisége 5,86-szor, a kávésavé 81,71-szer és az echinakozidé 14,48-szor volt nagyobb a kezelés hatására.

A második évvel való összehasonlításképpen a 7. táblázat az első vegetációs periódusban, Iakab és munkatársai (2024) által, kontroll és kezelt növények száraz leveléből mért fenolszármazékok mennyiségét hasonlítja össze, talajtípusonként. **Kaftársavból**, **klorogénsavból** és **cikóriasavból** szignifikánsan több volt a kontroll növényekben, a kezeltekhez képest steril tőzegen és szabadszíri barna erdőtalajon. **Kávésavból** glejes, meszes öntéstalajon, steril tőzegen és szabadszíri barna erdőtalajon volt szignifikánsan több a kezelt növényekhez képest, míg **echinakozidból** a steril tőzegen nevelkedett kontroll növények termeltek szignifikánsan többet. Általánosan elmondható, hogy a legmagasabb fenolszármazék tartalma első évben a steril tőzegen nevelkedett kontroll növényeknek volt.

7. táblázat: Az 1. évben, kontroll és kezelt növények száraz leveléből mért fenolszármazékok mennyiségének összehasonlítása, különböző talajtípusokon (eltérő betűkódnál $p < 0,05$; szürke színnel jelöltük a gomba negatív hatását; Iakab és mtsai., 2024 nyomán)

	Fenolszármazékok száraz leveléből (1. év)	kaftársav (mg/g)	klorogénsav (mg/g)	kávésav (mg/g)	cikóriasav (mg/g)	echinakozid (mg/g)	cinarin (mg/g)
 K I.		6,650 b	0,033 bc	0,077 a	24,629 b	0,231 c	0,004 ab
 MG I.		5,084 bc	0,029 c	0,031 bc	19,115 bc	0,204 c	0,141 a
 K II.		4,137 cd	0,031 bc	0,027 bc	16,049 cd	0,208 c	0,000 b
 MG II.		5,619 bc	0,011 c	0,007 c	19,084 bc	0,241 c	0,044 ab
 K III.		5,341 bc	0,030 bc	0,030 bc	26,509 b	0,267 c	0,000 b
 MG III.		4,440 c	0,023 c	0,037 bc	23,000 bc	0,215 c	0,000 b
 K IV.		10,034 a	0,178 a	0,165 ab	45,754 a	0,713 a	0,000 b
 MG IV.		5,999 bc	0,029 c	0,015 c	23,690 bc	0,271 c	0,000 b
 K Szf.		5,891 bc	0,068 b	0,174 a	20,630 bc	0,437 b	0,086 ab
 MG Szf.		2,843 d	0,023 c	0,009 c	11,574 d	0,275 bc	0,000 b

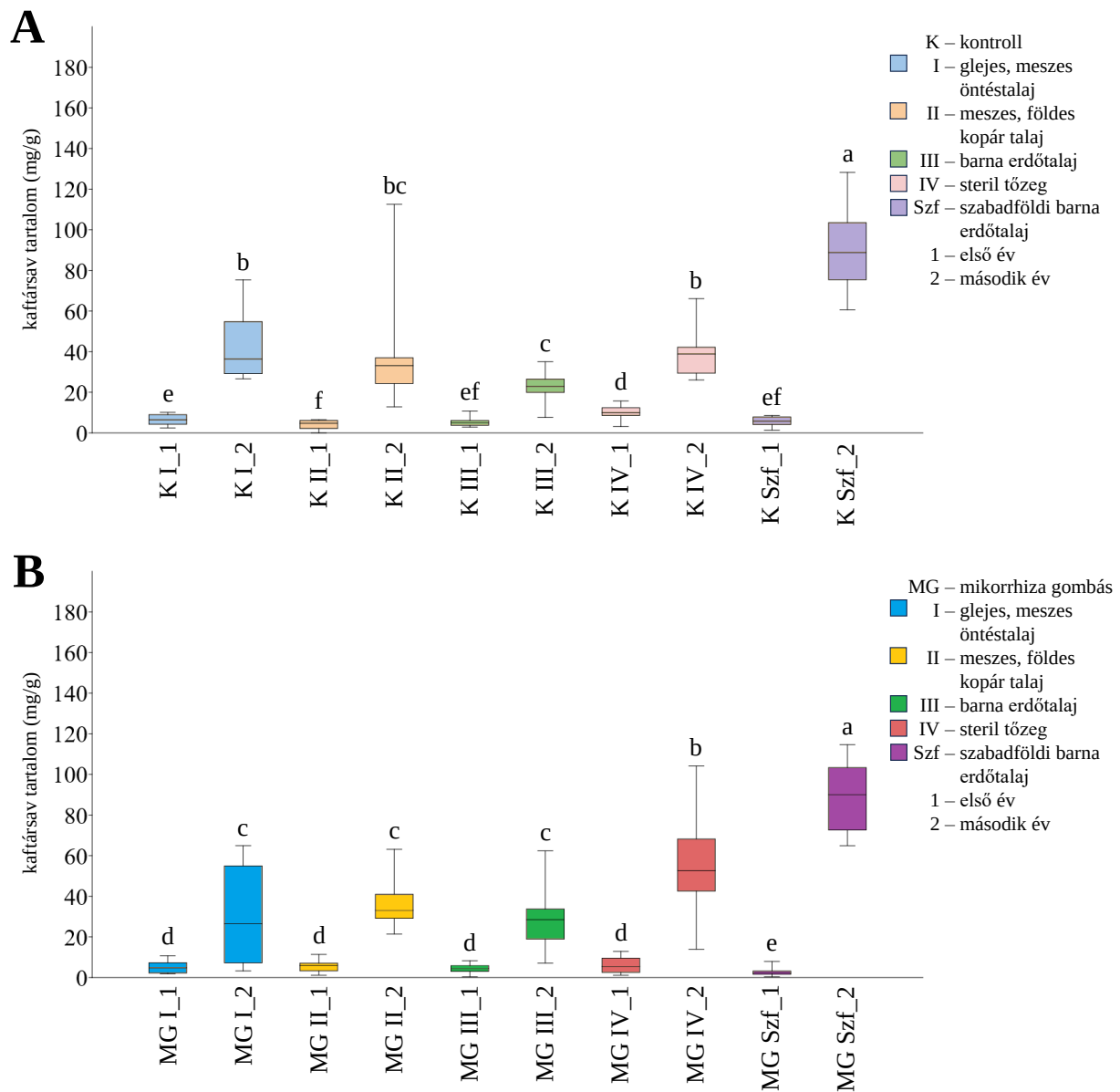
Magyarázat: K – kontroll; MG – mikorrhizával kezelt;

 I. glejes, meszes öntéstalaj;  II. meszes, földes, kopár talaj;  III. barna erdőtalaj;

 IV. steril tőzeg;  Szf. szabadszíri barna erdőtalaj;

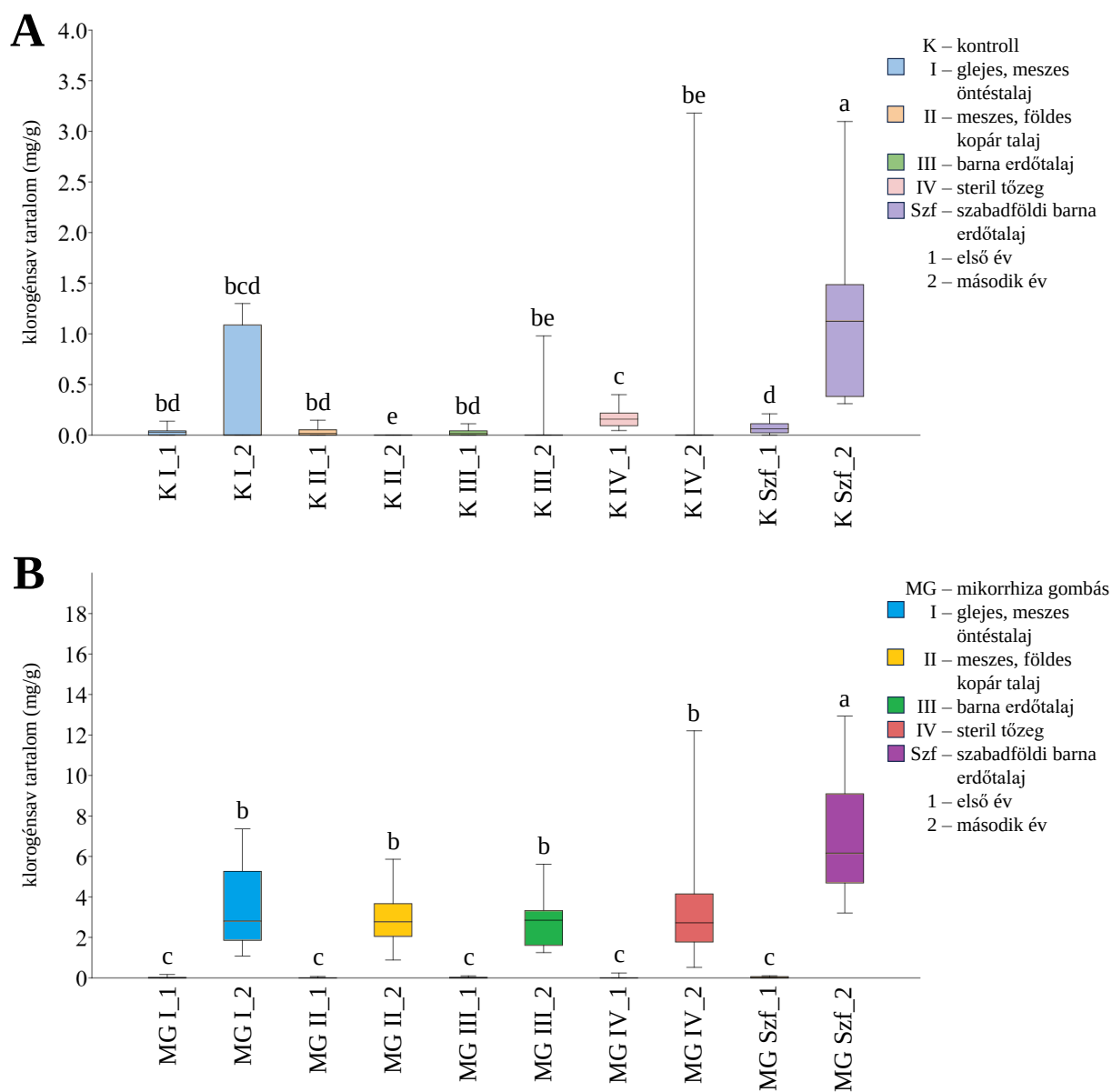
A két vegetációs periódusban mért levél fenolszármazék tartalmak összehasonlításánál saját, második éves eredményeimet Iakab és munkatársai (2024) első éves eredményeivel hasonlítottam össze.

A **kaftársav** tartalom alakulását száraz levélben a 11. ábra szemlélteti. Ez mindenik talajtípuson szignifikánsan növekedett az első évhez képest, és szignifikánsan magasabb volt a szabadföldi barna erdőtalajon mind a kontroll, mind a kezelt növények esetében.



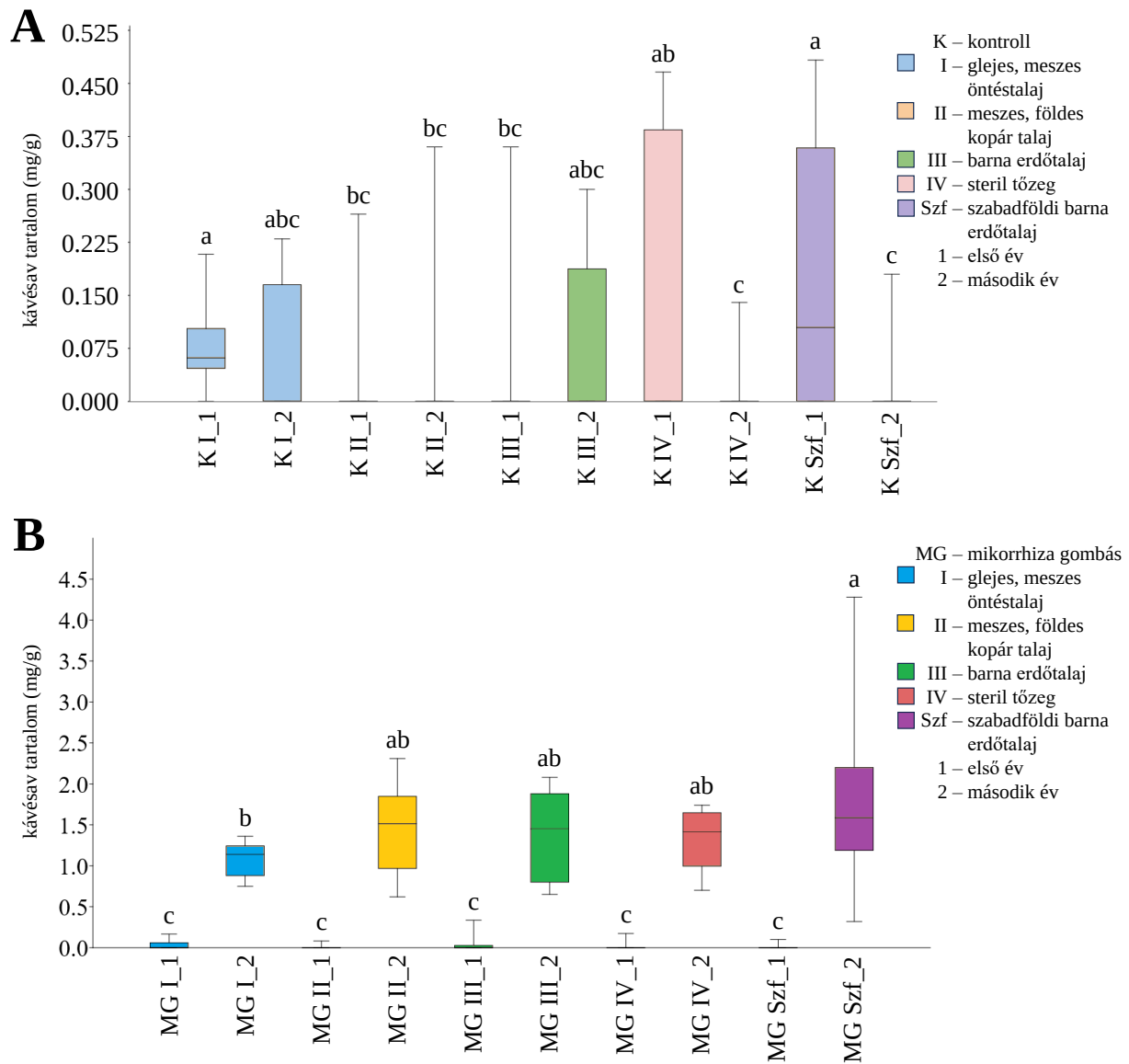
11. ábra: A kaftársav tartalom (mg/g levél) összehasonlítása 1. és 2. évben; A - kontroll; B - kezelt; (eltérő betűkódnál $p < 0,05$)

A 12. ábra a **klorogénsav** tartalom alakulását szemlélteti, száraz levélből kimutatva. Ez a mennyiség szignifikáns különbséget mutatott a két év között, kontroll növények esetében meszes, földes, kopár talajon, steril tőzegen és szabadföldi barna erdőtalajon, a beoltott növények esetében pedig mindegyik talajtípuson növekedett a mennyisége az első évhez képest. A legmagasabb érték a kontroll és kezelt növények esetében is a szabadföldi barna erdőtalajon volt, a két éves növényekben.



12. ábra: A klorogénsav tartalom (mg/g levél) összehasonlítása 1. és 2. évben; A - kontroll; B - kezelt; (eltérő betűkódnál $p < 0,05$)

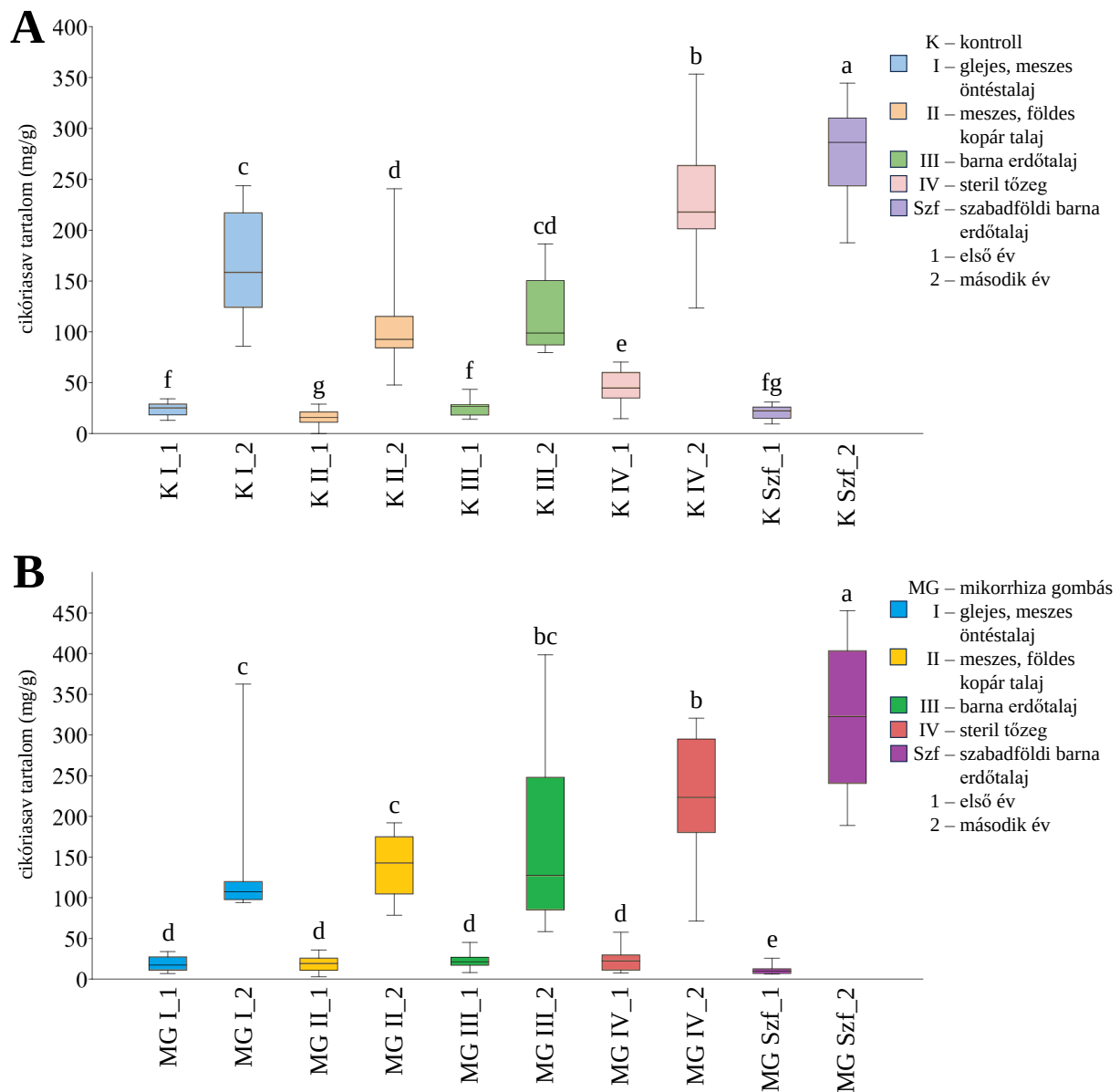
A 13. ábra a száraz levélben mért **kávéssav** tartalom alakulását mutatja be. Kontroll növényekben ezen paraméter értéke szignifikánsan magasabb volt az első évben steril tőzegen és szabadföldi barna erdőtalajon. A beoltott növények esetében szignifikánsan magasabb értékeket mértünk a második évben, mindegyik talajtípuson.



13. ábra: A kávéssav tartalom (mg/g levél) összehasonlítása 1. és 2. évben; A - kontroll; B - kezelt; (eltérő betűkódnál $p < 0,05$)

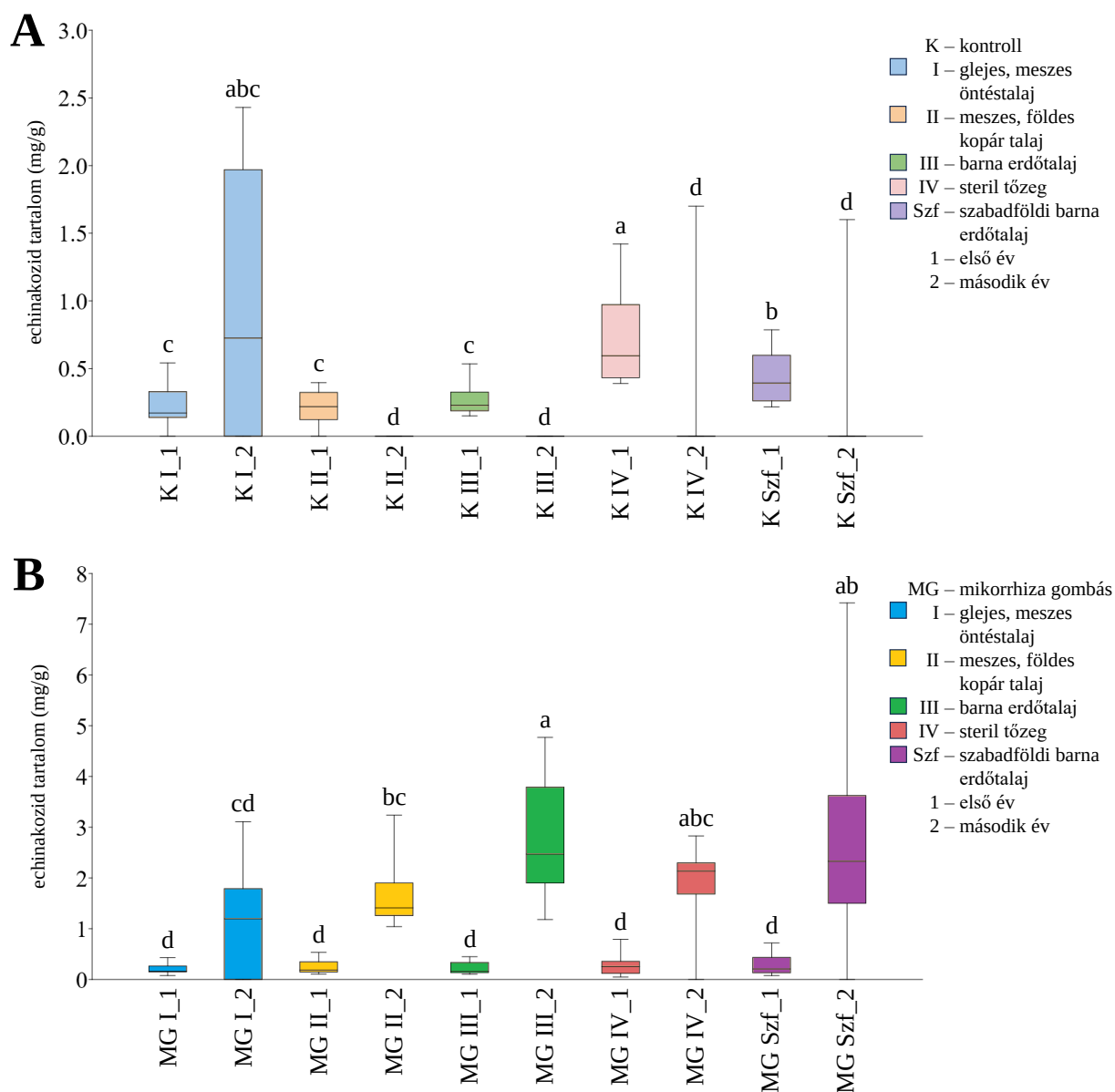
A 14. ábra a száraz levélből kimutatott **cikóriásav** tartalom alakulását ábrázolja. Úgy a kontroll mint a kezelt növények esetében a második évben szignifikánsan magasabb volt ennek a

hatóanyagnak a szintje minden talajtípuson és a második évben szignifikánsan magasabb volt a szabadföldi barna erdőtalajon a többi talajtípushoz képest.



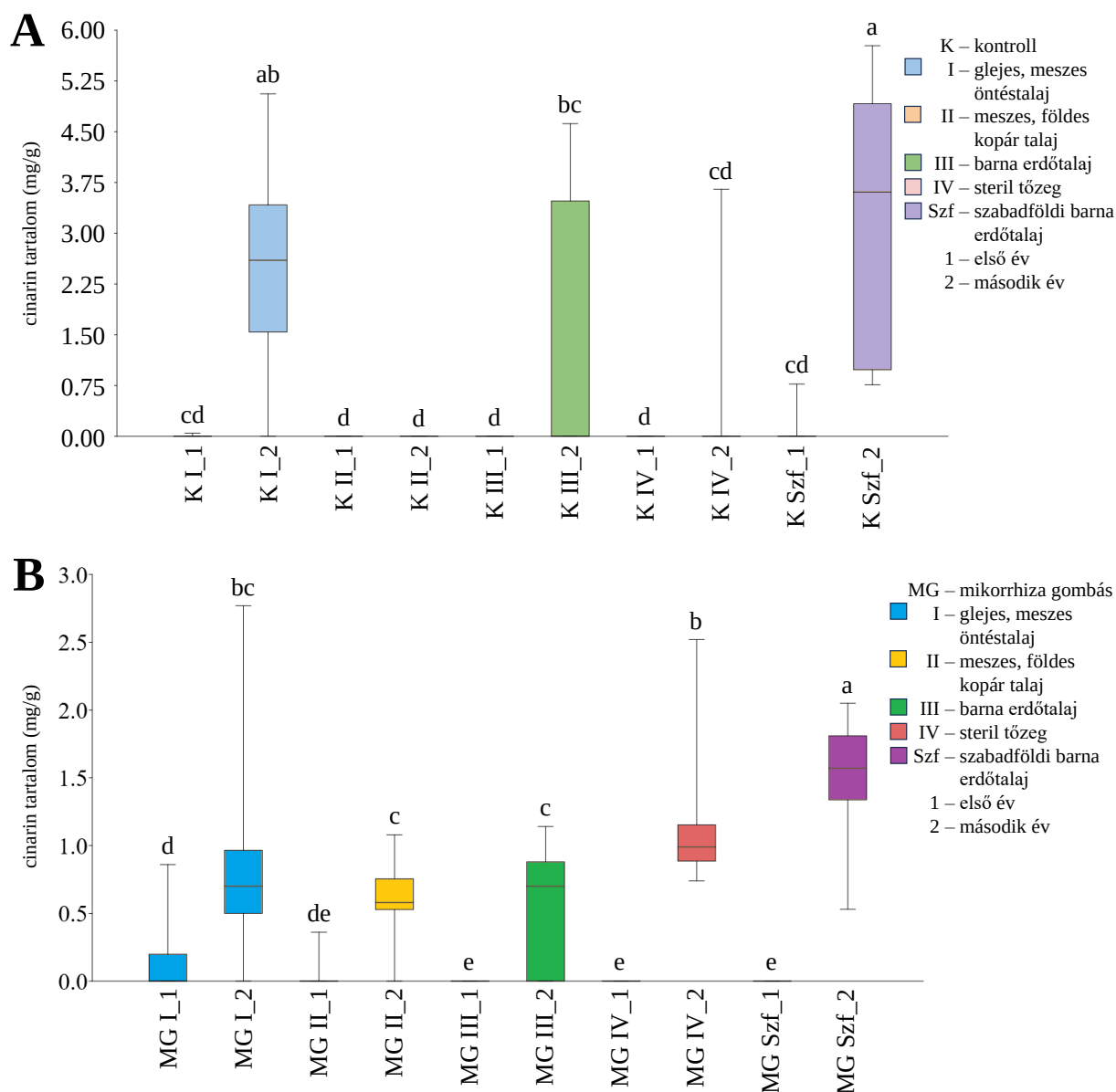
14. ábra: A cikóriasav tartalom (mg/g levél) összehasonlítása 1. és 2. évben; A - kontroll; B - kezelt; (eltérő betűkódnál $p < 0,05$)

A száraz levelekben mért **echinakozid** tartalom alakulását a 15. ábra szemlélteti. Kontroll növények esetében ez a hatóanyag szignifikánsan nagyobb mennyiségben volt jelen az első évben meszes, földes, kopár talajon, barna erdőtalajon, steril tőzegen és szabadföldi barna erdőtalajon. A beoltott növényekben ezen hatóanyag szintje a második évben volt szignifikánsan magasabb meszes, földes, kopár talajon, barna erdőtalajon, steril tőzegen és szabadföldi barna erdőtalajon.



15. ábra: Az echinakozid tartalom (mg/g levél) összehasonlítása 1. és 2. évben; A - kontroll; B - kezelt; (eltérő betűkódnál $p < 0,05$)

A száraz levelekből kimutatott **cinarin** tartalom alakulását a 16. ábra mutatja be. A kontroll növényekben a második évben szignifikánsan több cinarint mértünk glejes, meszes öntéstalajon, barna erdőtalajon és szabadföldi barna erdőtalajon az első évhez képest. A mikorrhizált növények cinarintartalma minden talajtípuson szignifikánsan magasabb volt a második évben.



16. ábra: A cinarin tartalom (mg/g levél) összehasonlítása 1. és 2. évben; A - kontroll; B - kezelt; (eltérő betűkódnál $p < 0,05$)

A fenolszármazék-méréseink eredményeit összehasonlítottuk a szakirodalomban fellelhető néhány cikkével az adataink jelentőségének jobb értelmezhetősége végett. A saját, illetve Iakab és munkatársai (2024) adatai közül a legtöbb fenolszármazékot eredményező talajtípusok lettek feltüntetve. Ezen összehasonlítást a 8. táblázat vázolja.

Muntean és munkatársai (2016) egy eltérő kivonási módszerrel a második éves bíbor kasvirágok leveleiből és gyökereiből azonos mennyiségű (175 mg/g) kávésavban kifejezett össz-kávésav származékot mutattak ki.

A bemutatott eredmények mellett mérve voltak többek között biotermék paraméterek is. Az első évben a gomba jelenléte negatívan hatott a növények bioterméktermelésére (Iakab és mtsai., 2024), a második évben viszont nem volt szignifikáns különbség a kontroll és a kezelt növények biotermékja között. Ebből arra következtetünk, hogy a Fodorpatoki és Tompa (2022) által leírt hatás, miszerint a megnövekedett hatóanyagtermelés csökkentett bioterméktermeléssel jár együtt, a *Rhizophagus irregularis* mikorrhizagombák jelenlétében mérséklődik vagy elmarad a második éves bíbor kasvirágok esetében, a vizsgált szubsztrátumokon.

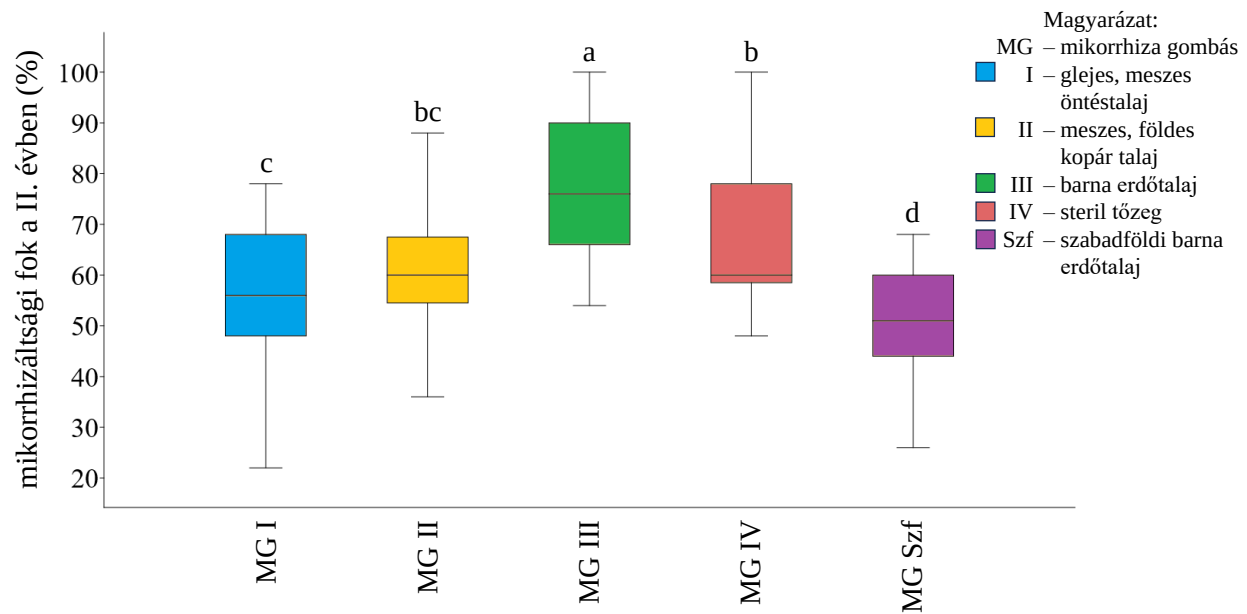
8. táblázat: A mért fenolszármazék mennyiségek összehasonlítása a szakirodalom adataival (K - kezelést nem kapó; MG - *Rhizophagus irregularis* mikorrhizagombával beoltott; Szf – szabadföldi barna erdőtalaj; IV – steril tőzeg; Kaf. - kaftársav; Klo. - klorogénsav; Káv. - kávéssav; Cik. - cikóriassav; Ech. - echinakozid; Cin. - cinarin)

Forrás	Kezelés	Minta	Kaf. (mg/g)	Klo. (mg/g)	Káv. (mg/g)	Cik. (mg/g)	Ech. (mg/g)	Cin. (mg/g)
Saját eredmények 2. éves növényekből	K Szf	levél	90,374	1,178	0,021	277,781	0,188	3,051
	MG Szf		88,273	6,910	1,716	323,332	2,723	1,553
	K Szf	gyökér	50,753	-	1,263	250,391	6,496	0,924
	MG Szf		54,069	-	1,498	303,290	10,768	1,968
Iakab és mtsai., 2024	K IV	levél	10,034	0,178	0,165	45,754	0,713	-
	MG IV		5,999	0,029	0,015	23,690	0,271	-
Araim és mtsai., 2009	K	hajtás	11,3	0,3	1,0	20,2	0,5	0,2
	MG		9,3	0,2	0,7	21,3	0,4	0,3
	K	gyökér	2,9	0,16	0,6	11,3	-	0,13
	MG		4,9	0,42	0,7	16,6	-	0,17
Thomsen és mtsai., 2018	K	gyökér	0,081	0,047	-	2,33	-	-

5.4. A MIKORRHIZÁLTSAGI FOK VIZSGÁLATÁNAK EREDMÉNYEI

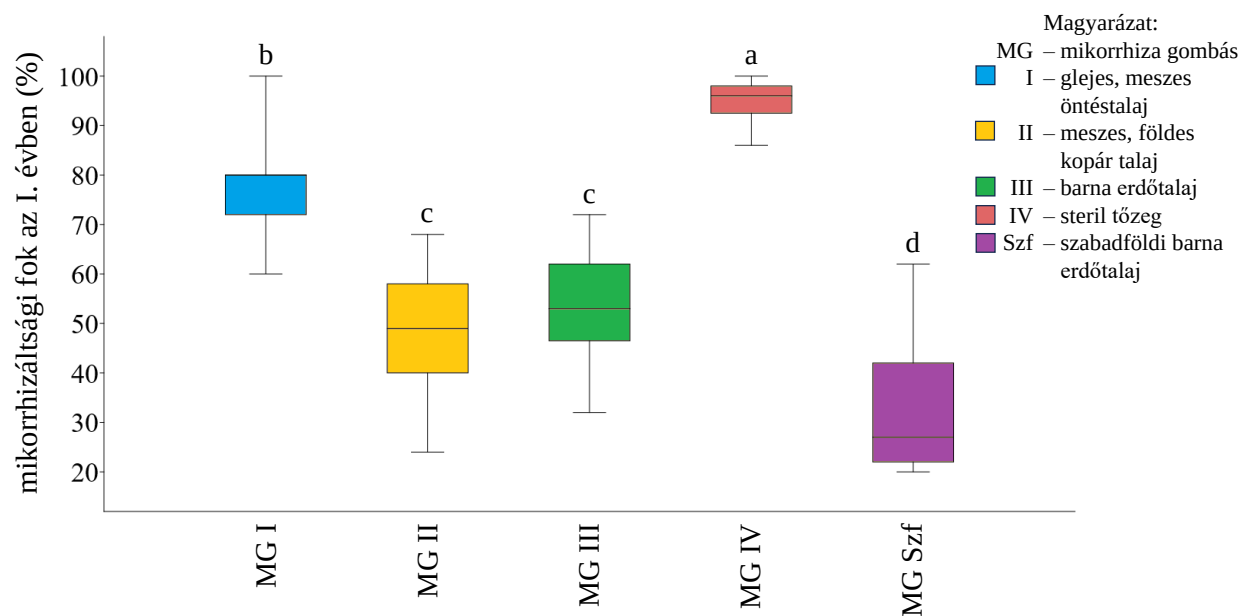
A 17. ábra bemutatja a kezelt kasvirágok mikorrhiza gombák általi kolonizáltságának mértékét. Ezen kolonizáció a legnagyobb mértékű barna erdőtalajon volt (77,78 %), amelyet a steril

tőzeg (64,67 %), a meszes, földes, kopár talaj (61,06 %), a glejes, meszes öntéstalaj (55,33 %) és végül a szabadföldi barna erdőtalaj (49,94 %) követett.



17. ábra: A növények mikorrhizáltsági foka (%) talajtípusonként a második vegetációs periódusban (eltérő betűkódoknál $p < 0,05$)

Összehasonlítás képpen, a Iakab és munkatársai (2024) által végzett kísérletben, az első éves kasvirágok mikorrhizák általi kolonizáltsági fokát a 18. ábra szemlélteti. Az első vegetációs periódusban a kolonizáció steril tőzegen (95,33 %) volt a legeredményesebb, amelyet a glejes, meszes öntéstalaj (77,67 %), a barna erdőtalaj (53,33 %), a meszes, földes, kopár talaj (48,89 %) és végül a szabadföldi barna erdőtalaj (31,67 %) követett.



18. ábra: A növények mikorrhizáltsági foka (%) talajtípusonként, az első vegetációs periódusban (eltérő betűkódnál $p < 0,05$; Iakab és mtsai., 2024 nyomán)

6. ÖSSZEFOGLALÁS

Kutatásunk eredményeként elmondható, hogy a második vegetációs periódusra a *Rhizophagus irregularis* mikorrhiza gombával kezelt bíbor kasvirágok (*Echinacea purpurea* (L.) Moench) fotoszintetikus pigmentjei a legnagyobb mennyiségben barna erdőtalajon voltak jelen. Feltehetően, az ezen környezeti viszonyok között fellépő enyhe stresszhatás volt a legkedvezőbb a fotoszintetikus pigmentek termelődéséhez.

Továbbá a különböző levél-fenolszármazék tartalmak szignifikánsan megnövekedtek a kontrollhoz képest minden talajtípuson, illetve a szabadföldi barna erdőtalajon nevelkedett, gombával kezelt kasvirágok mind gyökér, mind pedig levél-fenolszármazék tartalma volt a legmagasabb, eltekintve a levelek cinarintartalmától, amely esetben a kontroll növények termelték a szignifikáns többletet.

Következtetésképpen elmondható, hogy a *R. irreguláris* mikorrhizagomba alkalmazása a bíbor kasvirág hatóanyagtartalmának növelésére a legalkalmasabb barna erdőtalajon, szabadföldi körülmények között, használata pedig javasolható.

Javasolnám ezen kutatás folytatását a talajban található más mikroorganizmusok és közösségeik vizsgálatára kiterjesztve.

7. IRODALOMJEGYZÉK

1. Agathokleous, E., Feng, Z., & Peñuelas, J. (2020). Chlorophyll hormesis: Are chlorophylls major components of stress biology in higher plants? *Science of The Total Environment*, 726, 138637. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138637>
2. Almeida-Rodríguez, A. M., Gómez, M. P., Loubert-Hudon, A., Joly, S., & Labrecque, M. (2016). Symbiotic association between *Salix purpurea* L. and *Rhizophagus irregularis*: Modulation of plant responses under copper stress. *Tree Physiology*, 36(4), 407–420. <https://doi.org/10.1093/treephys/tpv119>
3. Araim, G., Saleem, A., Arnason, J. T., & Charest, C. (2009). Root Colonization by an Arbuscular Mycorrhizal (AM) Fungus Increases Growth and Secondary Metabolism of Purple Coneflower, *Echinacea purpurea* (L.) Moench. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57(6), 2255–2258. <https://doi.org/10.1021/jf803173x>
4. Attarzadeh, M., Balouchi, H., Rajaie, M., Dehnavi, M. M., & Salehi, A. (2020). Improving growth and phenolic compounds of *Echinacea purpurea* root by integrating biological and chemical resources of phosphorus under water deficit stress. *Industrial Crops and Products*, 154, 112763. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112763>
5. Ávila-Gálvez, M. Á., Giménez-Bastida, J. A., Karadeniz, B., Romero-Reyes, S., Espín, J. C., Pelvan, E., & González-Sarriás, A. (2024). Polyphenolic Characterization and Anti-Inflammatory Effect of In Vitro Digested Extracts of *Echinacea purpurea* L. Plant Parts in an Inflammatory Model of Human Colon Cells. *International Journal of Molecular Sciences*, 25(3), 1744. <https://doi.org/10.3390/ijms25031744>
6. Bhatla, S. C., & Lal, M. (2018). *Plant Physiology, Development and Metabolism*. Springer Singapore. <https://doi.org/10.1007/978-981-13-2023-1>
7. Błaszowski, J., Czerniawska, B., Wubet, T., Schäfer, T., Buscot, F., & Renker, C. (2008). *Glomus irregulare*, a new arbuscular mycorrhizal fungus in the Glomeromycota. *MYCOTAXON*, 106, 247–267.
8. Burlou-Nagy, C., Bănică, F., Jurca, T., Vicaș, L. G., Marian, E., Muresan, M. E., Bácskay, I., Kiss, R., Fehér, P., & Pallag, A. (2022). *Echinacea purpurea* (L.) Moench: Biological and Pharmacological Properties. A Review. *Plants*, 11(9), 1244. <https://doi.org/10.3390/plants11091244>

9. Declerck, K., Novo, C. P., Grielens, L., Van Camp, G., Suter, A., & Vanden Berghe, W. (2021). *Echinacea purpurea* (L.) Moench treatment of monocytes promotes tonic interferon signaling, increased innate immunity gene expression and DNA repeat hypermethylated silencing of endogenous retroviral sequences. *BMC Complementary Medicine and Therapies*, 21(1), 141. <https://doi.org/10.1186/s12906-021-03310-5>
10. Domokos, E., Bíró-Janka, B., Bálint, J., Molnár, K., Fazakas, C., Jakab-Farkas, L., Domokos, J., Albert, C., Mara, G., & Balog, A. (2020). Arbuscular Mycorrhizal Fungus *Rhizophagus irregularis* Influences *Artemisia annua* Plant Parameters and Artemisinin Content under Different Soil Types and Cultivation Methods. *Microorganisms*, 8(6), 899. <https://doi.org/10.3390/microorganisms8060899>
11. Dosoky, N. S., Kirpotina, L. N., Schepetkin, I. A., Khlebnikov, A. I., Lisonbee, B. L., Black, J. L., Woolf, H., Thurgood, T. L., Graf, B. L., Satyal, P., & Quinn, M. T. (2023). Volatile Composition, Antimicrobial Activity, and In Vitro Innate Immunomodulatory Activity of *Echinacea purpurea* (L.) Moench Essential Oils. *Molecules*, 28(21), 7330. <https://doi.org/10.3390/molecules28217330>
12. Fernández-Marín, B., García-Plazaola, J. I., Hernández, A., & Esteban, R. (2018). Plant Photosynthetic Pigments: Methods and Tricks for Correct Quantification and Identification. In A. M. Sánchez-Moreiras & M. J. Reigosa (Eds.), *Advances in Plant Ecophysiology Techniques* (pp. 29–50). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-93233-0_3
13. Fodorpataki, L., Molnár, K., Bernát, T., & Bartha, C. (2021). Exogenous S-Methylmethionine Alleviates Salinity Stress by Modulation of Physiological Processes in Canola (*Brassica napus*). *International Journal of Agriculture and Biology*, 25(01), 11–19. <https://doi.org/10.17957/IJAB/15.1632>
14. Fodorpataki L., & Tompa B. (2022). A növények élettana II. Tápanyag-gazdálkodás, anyagcsere. *Kriterion*.
15. Gao, X., Guo, H., Zhang, Q., Guo, H., Zhang, L., Zhang, C., Gou, Z., Liu, Y., Wei, J., Chen, A., Chu, Z., & Zeng, F. (2020). Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) enhanced the growth, yield, fiber quality and phosphorus regulation in upland cotton (*Gossypium hirsutum* L.). *Scientific Reports*, 10(1), 2084. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-59180-3>
16. Giovannini, L., Palla, M., Agnolucci, M., Avio, L., Sbrana, C., Turrini, A., & Giovannetti, M. (2020). Arbuscular Mycorrhizal Fungi and Associated Microbiota as Plant Biostimulants:

- Research Strategies for the Selection of the Best Performing Inocula. *Agronomy*, 10(1), 106. <https://doi.org/10.3390/agronomy10010106>
17. Gualandi, R. J., Augé, R. M., Kopsell, D. A., Ownley, B. H., Chen, F., Toler, H. D., Dee, M. M., & Gwinn, K. D. (2014). Fungal mutualists enhance growth and phytochemical content in *Echinacea purpurea*. *Symbiosis*, 63(3), 111–121. <https://doi.org/10.1007/s13199-014-0293-z>
 18. Hammer, O., Harper, D. A. T., & Ryan, P. D. (2001). PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis.
 19. He, F., Sheng, M., & Tang, M. (2017). Effects of *Rhizophagus irregularis* on Photosynthesis and Antioxidative Enzymatic System in *Robinia pseudoacacia* L. under Drought Stress. *Frontiers in Plant Science*, 8. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00183>
 20. Iakab, M., Domokos, E., Fazakas, C., Biró-Janka, B., Fodorpataki, L., Albert, C., Orbán, C., & Dulf, F. V. (2024). Changes induced by vesicular-arbuscular fungus *Rhizophagus irregularis* in aerial parts of *Echinacea purpurea*. *Scientia Horticulturae*, 328, 112922. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2024.112922>
 21. Jánosi K. (2023). Az *Echinacea purpurea* magvak csírázókéességének és a palánták fejlődésének értékelése tűzegen, különböző fizikai és kémiai tényezők hatása alatt. Sapiencia Erdélyi Magyar Tudományegyetem, Marosvásárhelyi Kar.
 22. Kindscher, K. (Ed.). (2016). *Echinacea: Herbal medicine with a wild history*. Springer.
 23. Kolev, E., Mircheva, L., Edwards, M. R., Johnston, S. L., Kalinov, K., Stange, R., Gancitano, G., Berghe, W. V., & Kreft, S. (2022). *Echinacea Purpurea* For the Long-Term Prevention of Viral Respiratory Tract Infections During Covid-19 Pandemic: A Randomized, Open, Controlled, Exploratory Clinical Study. *Frontiers in Pharmacology*, 13, 856410. <https://doi.org/10.3389/fphar.2022.856410>
 24. Koske, R. E., & Gemma, J. N. (1989). A modified procedure for staining roots to detect VA mycorrhizas. *Mycological Research*, 92(4), 486–488. [https://doi.org/10.1016/S0953-7562\(89\)80195-9](https://doi.org/10.1016/S0953-7562(89)80195-9)
 25. Kristóf, Z., Vági, P., Preininger, É., Kovács, M. G., Bóka, K., & Böddi, B. (2013). Gombanövény kölcsönhatások. In Z. Kristóf (Ed.), *Növények és Gombák szerveződése* (pp. 102–104). Eötvös Lóránd Tudományegyetem.
 26. Li, Q., Yang, F., Hou, R., Huang, T., & Hao, Z. (2020). Post-screening characterization of an acidic polysaccharide from *Echinacea purpurea* with potent anti-inflammatory properties in vivo. *Food & Function*, 11(9), 7576–7583. <https://doi.org/10.1039/D0FO01367F>

27. Lim, T. K. (2012). *Echinacea purpurea*. In *Edible medicinal and non-medicinal plants*. Vol. 7: Flowers (Vol. 7, pp. 340–365). Springer.
28. Liu, J., Yang, L., Dong, Y., Zhang, B., & Ma, X. (2018). Echinacoside, an Inestimable Natural Product in Treatment of Neurological and other Disorders. *Molecules*, 23(5), 1213. <https://doi.org/10.3390/molecules23051213>
29. Muntean, L. S. (Ed.). (2007). *Specii de Echinacea (Echinacea pallida Nutt. Şi Echinacea purpurea [L.] Moench.)*. In *Tratat de plante medicinale cultivate şi spontane* (pp. 609–622). Risoprint.
30. Pellegrino, E., Piazza, G., Arduini, I., & Ercoli, L. (2020). Field Inoculation of Bread Wheat with *Rhizophagus irregularis* under Organic Farming: Variability in Growth Response and Nutritional Uptake of Eleven Old Genotypes and A Modern Variety. *Agronomy*, 10(3), 333. <https://doi.org/10.3390/agronomy10030333>
31. Pires, C., Martins, N., Carvalho, A. M., Barros, L., & Ferreira, I. C. F. R. (2016). Phytopharmacologic preparations as predictors of plant bioactivity: A particular approach to *Echinacea purpurea* (L.) Moench antioxidant properties. *Nutrition*, 32(7–8), 834–839. <https://doi.org/10.1016/j.nut.2016.01.005>
32. Praszna, L. (2000). *Echinacea spp. - Kasvirág fajok*. In J. Bernáth (Ed.), *Gyógy- és aromanövények* (3., pp. 296–299). Mezőgazda Kiadó.
33. Ramírez-Flores, M. R., Bello-Bello, E., Rellán-Álvarez, R., Sawers, R. J. H., & Olalde-Portugal, V. (2019). Inoculation with the mycorrhizal fungus *Rhizophagus irregularis* modulates the relationship between root growth and nutrient content in maize (*Zea mays* ssp. *Mays* L.). *Plant Direct*, 3(12), e00192. <https://doi.org/10.1002/pld3.192>
34. Ramos, P. A. B., Ferro, A. M., Oliveira, M. M., Gonçalves, S., Freire, C. S. R., Silvestre, A. J. D., & Duarte, M. F. (2019). Biosynthesis and bioactivity of *Cynara cardunculus* L. guaianolides and hydroxycinnamic acids: A genomic, biochemical and health-promoting perspective. *Phytochemistry Reviews*, 18(2), 495–526. <https://doi.org/10.1007/s11101-019-09604-4>
35. Riaz, U., Kharal, M. A., Murtaza, G., Zaman, Q. U., Javaid, S., Malik, H. A., Aziz, H., & Abbas, Z. (2018). Prospective Roles and Mechanisms of Caffeic Acid in Counter Plant Stress: A Mini Review. *Pakistan Journal of Agricultural Research*, 32(1). <https://doi.org/10.17582/journal.pjar/2019/32.1.8.19>

36. Roussis, I., Beslemes, D., Kosma, C., Triantafyllidis, V., Zotos, A., Tigka, E., Mavroeidis, A., Karydogianni, S., Kouneli, V., Travlos, I., & Kakabouki, I. (2022). The Influence of Arbuscular Mycorrhizal Fungus *Rhizophagus irregularis* on the Growth and Quality of Processing Tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) Seedlings. *Sustainability*, 14(15), 9001. <https://doi.org/10.3390/su14159001>
37. Sharma, M., Vohra, S., Arnason, J. T., & Hudson, J. B. (2008). Echinacea. Extracts Contain Significant and Selective Activities Against Human Pathogenic Bacteria. *Pharmaceutical Biology*, 46(1–2), 111–116. <https://doi.org/10.1080/13880200701734919>
38. Sidoryk, K., Jaromin, A., Filipczak, N., Cmoch, P., & Cybulski, M. (2018). Synthesis and Antioxidant Activity of Caffeic Acid Derivatives. *Molecules*, 23(9), 2199. <https://doi.org/10.3390/molecules23092199>
39. Simkin, A. J., Kapoor, L., Doss, C. G. P., Hofmann, T. A., Lawson, T., & Ramamoorthy, S. (2022). The role of photosynthesis related pigments in light harvesting, photoprotection and enhancement of photosynthetic yield in planta. *Photosynthesis Research*, 152(1), 23–42. <https://doi.org/10.1007/s11120-021-00892-6>
40. Souza, T. (2015). AMF's Main Structures. In *Handbook of arbuscular mycorrhizal fungi* (pp. 43–63). Springer.
41. Sun, S., Feng, Y., Huang, G., Zhao, X., & Song, F. (2022). *Rhizophagus irregularis* enhances tolerance to cadmium stress by altering host plant hemp (*Cannabis sativa* L.) photosynthetic properties. *Environmental Pollution*, 314, 120309. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.120309>
42. Szakács, S. (2008). Talajtan.
43. Thomsen, M. O., Christensen, L. P., & Grevsen, K. (2018). Harvest Strategies for Optimization of the Content of Bioactive Alkamides and Caffeic Acid Derivatives in Aerial Parts and in Roots of *Echinacea purpurea*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 66(44), 11630–11639. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.8b03420>
44. Vandenkoornhuyse, P., Quaiser, A., Duhamel, M., Le Van, A., & Dufresne, A. (2015). The importance of the microbiome of the plant holobiont. *New Phytologist*, 206(4), 1196–1206. <https://doi.org/10.1111/nph.13312>
45. Vieira, S. F., Gonçalves, S. M., Gonçalves, V. M. F., Llaguno, C. P., Macías, F., Tiritan, M. E., Cunha, C., Carvalho, A., Reis, R. L., Ferreira, H., & Neves, N. M. (2023). Echinacea

- purpurea Fractions Represent Promising Plant-Based Anti-Inflammatory Formulations. *Antioxidants*, 12(2), 425. <https://doi.org/10.3390/antiox12020425>
46. Xiang, Y., Zhang, Y., & Fu, R. (2022). Chicoric acid biosynthesis during seed germination provides purple coneflower with better allelochemical. *Industrial Crops and Products*, 177, 114572. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2022.114572>
 47. Yalçın, E., Macar, O., Kalefetoğlu Macar, T., Çavuşoğlu, D., & Çavuşoğlu, K. (2021). Multi-protective role of *Echinacea purpurea* L. water extract in *Allium cepa* L. against mercury(II) chloride. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(44), 62868–62876. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-15097-6>
 48. Yang, M., Wu, C., Zhang, T., Shi, L., Li, J., Liang, H., Lv, X., Jing, F., Qin, L., Zhao, T., Wang, C., Liu, G., Feng, S., & Li, F. (2022). Chicoric Acid: Natural Occurrence, Chemical Synthesis, Biosynthesis, and Their Bioactive Effects. *Frontiers in Chemistry*, 10, 888673. <https://doi.org/10.3389/fchem.2022.888673>
 49. Zeng, T., Holmer, R., Hontelez, J., Te Lintel-Hekkert, B., Marufu, L., De Zeeuw, T., Wu, F., Schijlen, E., Bisseling, T., & Limpens, E. (2018). Host- and stage-dependent secretome of the arbuscular mycorrhizal fungus *Rhizophagus irregularis*. *The Plant Journal*, 94(3), 411–425. <https://doi.org/10.1111/tpj.13908>
 50. ***eFloras (2008). Published on the Internet (2024.02.12.). http://www.efloras.org/florataxon.aspx?flora_id=1&taxon_id=220004561 Missouri Botanical Garden, St. Louis, MO & Harvard University Herbaria, Cambridge, MA

8. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Köszönetemet és hálámat szeretném kifejezni témavezetőimnek, **dr. Domokos Erzsébetnek** és **dr. Albert Csillának**, valamint **drd. Iakab Martin** labortechnikusnak a felém tanúsított önzetlen támogatásukért, végtelen türelmükért és példamutató, professzionális hozzáállásukért.

Szeretném megköszönni tanárainknak, **dr. Fodorpataki Lászlónak**, **dr. Fazakas Csabának** és **dr. Biró-Janka Bélának** a kutatásom elvégzéséhez nyújtott nélkülözhetetlen szakmai segítségüket.

Köszönöm tanáromnak, Dr. Molnár Katalinnak, Lunka Tekla Amália és Csáki Ildikó labortechnikusoknak, valamint, Peti Katalinnak, Sebestyén Dániel-Istvánnak, Vásárhelyi Panka-Boglárkának és minden kedves diáktársamnak és egyetemi személyzeti tagnak, akik segítettek a növények gondozásában és a laboratóriumi analízisek elvégzésében.