

# **SZAKDOLGOZAT**

**Bouché Erik**  
**Természetvédelmi mérnöki BSc**

**Gödöllő**  
**2023**



**Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem**

**Szent István Campus**

**Természetvédelmi Mérnök BSc. Szak**

**Mikorrhiza gombák és fák kapcsolata természetvédelmi  
vonatkozásban**

**Belső konzulens:** Dr. Saláta Dénes  
Egyetemi docens

**Belső konzulens:** Dr. Mayer Zoltán  
Egyetemi adjunktus

**Külső konzulens:** Bucsei Csaba  
Ügyvezető, Erterv Bt.

**Készítette:** **Bouché Erik**  
B06KPK  
nappali tagozat

**Intézet/Tanszék:** **Vadgazdálkodási és  
Természetvédelmi Intézet**  
**Természetvédelmi és  
Tájközgazdálkodási Tanszék**

**Gödöllő  
2023**

# TARTALOMJEGYZÉK

1.	BEVEZETÉS ÉS CÉLKITŰZÉSEK .....	3
2.	SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS.....	4
2.1.	Vizsgálati terület jellemzői.....	4
2.1.1.	Természetföldrajzi bemutatás.....	4
2.1.2.	A kiválasztott erdő részletes tulajdonságai.....	6
2.2.	Mikorrhiza gombák .....	8
2.2.1.	Mikorrhiza gombák bemutatása .....	8
2.2.2.	Mikorrhiza gombák és fák kapcsolata.....	11
2.2.3.	Mikorrhiza gombák hazai állományai.....	13
2.2.4.	Mikorrhiza gombák szerepe a természetvédelemben.....	14
3.	A VIZSGÁLATOK MÓDSZEREI .....	17
3.1.	A kísérleti módszerek leírása.....	17
3.1.1.	Tenyésztési vizsgálat.....	17
3.1.2.	Dehidrogenáz enzim aktivitás .....	20
3.1.3.	Invertáz enzim aktivitás .....	24
3.1.4.	FDA hidrolízis aktivitás teszt.....	29
3.2.	Faegyedek mintavételezése.....	30
3.3.	A mikorrhiza gombákkal kapcsolatban álló, kiválasztott faegyedek jellemzői.....	31
4.	EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK.....	36
4.1.1.	Tenyésztéses (CFU) gomba és baktérium vizsgálat eredményei és összevetésük .....	36
4.1.2.	Dehidrogenáz enzim aktivitás mérési eredményei és összevetésük.....	39
4.1.3.	Invertáz enzim aktivitás mérési eredményei és összevetésük .....	40
4.1.4.	FDA mérési eredményei és összevetésük .....	41
5.	KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK .....	42
6.	ÖSSZEFOGLALÁS .....	43
7.	KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS.....	44
8.	IRODALOMJEGYZÉK .....	45
9.	NYILATKOZATOK .....	50

# 1. BEVEZETÉS ÉS CÉLKITŰZÉSEK

Napjainkban kiemelten fontossá válik a természetvédelem és azon belül is az erdővédelem. A társadalom egyre növekvő fogyasztói igényeket támaszt az erdőgazdálkodás fa alapú termékei felé és a 2019 óta megnövekedett otthoni munkavégzés következtében fokozódóan nagyobb szükség van a rekreációs terek létrehozására is. A 2019-es világjárvány miatt megváltozott az emberek költségezési szokása és az utazás helyett házhoz szállított termékrendeléseket és jelentős otthonfelújításokat végeznek. Világszinten a házhoz szállított termékek növekedésével megnőtt a papír alapú csomagolóanyag, illetve az otthonfelújítások miatt, mind épületszerkezeti, mind pedig lakberendezési okból a fa alapanyag iránti igény. Az ezt követő energiaválság pedig jelentősen emelte a gázfűtésű háztartások, vegyes tüzelésre való átállását és ebből következően a tűzifa rendelések számát is. A társadalom számára kulcsfontosságúvá vált a faanyag egyre növekvő felhasználása miatt a fenntartható erdőgazdálkodás és a rekreációs célokra kijelölt erdők védelme, a válság okozta stressz levezetésének és a járvány okozta megnövekedett kültéri foglalkozások ellátása érdekében. Így fontos feltérképezni, hogy mely területen, mely fafajok mikorrhiza és talaj-mikrobiális aktivitása magasabb és azokat, mint az erdő oszlopos tagjait megvédeni. Ezek a fák ugyanis jelentősen elősegítik az újulat gyors, nagy hozamú növekedését és emellett az erdő védelmét is.

Szakedolgozatom célja:

- Áttekinteni a Gödöllői Fácános erdőt, mint a mikorrhiza gombák, talajlakó mikroszervezetek és fák kapcsolatának kutatási helyszínét;
- Tudományos publikációk segítségével bemutatni, hogy a mikorrhiza gombák és a fák kapcsolata hogyan járul hozzá az erdővédelemhez mind faanyag-növekedés, mind pedig az erdő élő közösség védelme szempontjából;
- Kísérleti vizsgálatokkal felmérni, hogy a Gödöllői Fácános erdőben, faegyedek és fafajok szintjén változik-e a talaj mikrobiális aktivitása.

## 2. SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS

### 2.1. Vizsgálati terület jellemzői

#### 2.1.1. Természetföldrajzi bemutatás

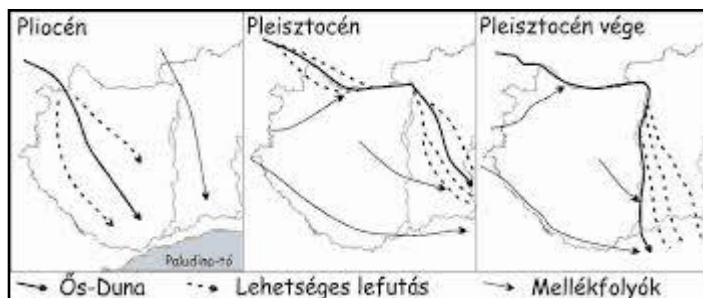
A Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem Szent István Campus területén kiválasztott Gödöllői Fácános parkerdő a Gödöllői-dombság részét képezi. A Gödöllői-dombság, mint kistáj (Csorba 2021) meghatározása szerint az Északnyugati-Kárpátok, mint nagytájhoz tartozik és összterülete 759 km<sup>2</sup>. Körülötte északról a Cserhát, keletről a Hatvani-sík és a Tápió-vidék, délkeletről a Gerje-Perje-sík, délről a Duna-Tisza közti homokvidék, délnyugatról a Pesti hordalékkúp-sík, nyugatról a Pesti síkság határolja (1. ábra).



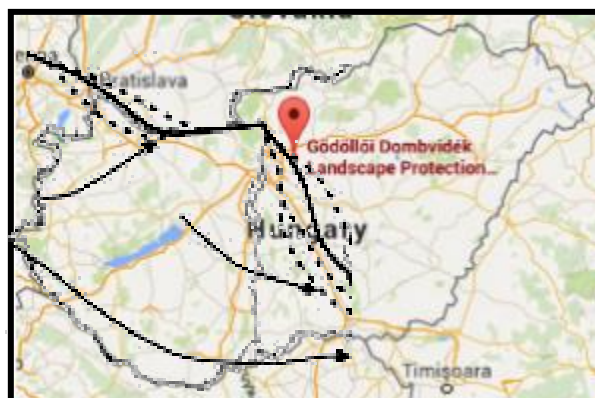
1. ábra: Gödöllő természetföldrajzi tájbeosztása  
Forrás: Http1

A tengerszint feletti magasság 130 és 344 méter közé tehető, mely Budapest felől DK-i irányba haladva fokozatosan csökken (Demény 2007). Területének nagy része löszből, agyagból és homokkőből épül fel, legmagasabb pontja a Margita (Http2). Jelenlegi felszíni formájának kialakulása a felső pliocénből származik, amikor az egész terület megsüllyedt és a Kárpátok ősfolyói, közülük leginkább a Duna, elkezdtek feltölteni folyami homokkal (Láng 1967). ÉNY-ről DK felé haladva sorrendben először homokkő és kavics rakódott le, majd homokos-agyag és végül folyóvízi üledék az Ős-Dunának és mellékfolyóinak köszönhetően. Ezt követően lösz és futóhomok került rá a pleisztocén idején, mely az előbbi Északnyugatról Délkelet felé tartó irányt követve egyre jobban növekszik. A lösz és futóhomok központi

része jelentősen kiemelkedik a környező sík vidékből és északi része erősen tagolt. Az egyes tagolt részei egymástól eltérő magasságokban jelennek meg (Demény 2007). A 2. ábrán látható az Ős-Duna folyási irányának változása (Cserkész 2014). A képen látható, hogy a pleisztocén idején, az Ős-Duna miként kanyarodik el és a 3. ábrára rávetítettem a medrének a vonalát, hogy hol folyhatott át a Gödöllői-dombság kialakulását elősegítve.



2. ábra: „Az Ős-Duna feltételezett lefutási irányai  
Forrás: Cserkész 2014



3. ábra: A Gödöllői-dombság kialakulása az Ős-Duna feltöltő munkájának következtében

Vízrajzát tekintve tíz patak ered a Gödöllői-dombság területén. Ebből négy a Duna vízgyűjtő területéhez tartozik, míg hat a Tiszáéhoz. Természetes eredetű tavak nincsenek, de a történelmi középkor óta az emberek több mesterséges tavat is kialakítottak (Htt3). Éghajlata átmeneti jellegű az alföldi és a hegyvidéki éghajlati típusok között (Demény 2007). Talajviszonyai az éghajlati viszonyokhoz hasonlóan átmeneti jellegűek. A homokkal ellátott, valamint magasabb fekvésű helyeken agyagbemosódásos barna erdőtalajok vannak. Ezek a talajok a Délkeleti irányba és a kiemelkedő dombhát Nyugati, valamint Keleti peremeinek irányába, barnaföldbe válnak, majd csernozjom barna erdőtalajjává és mészlepedékes csernozjommal alakulnak. A táj erodáltsága erős és az erdők mennyisége az előbb említett Délkeleti irányban a talajátmenetet követve csökken (Stefanovits 1956).

### 2.1.2. A kiválasztott erdő részletes tulajdonságai

A mikorrhiza gomba kísérletekhez a MATE Szent István Campusának területén elhelyezkedő Gödöllői Fácános Erdőt választottam. A 4. ábrán látható, hogy az erdőterület nem védett. Elsődleges rendeltetését tekintve főként parkerdő, teljes egészében része a Natura2000 hálózatnak. Tulajdonformáját tekintve az egész állami tulajdonban van. Tűzveszélyességi állapota szerint a kismértékben veszélyeztetettől egészen a nagymértékben veszélyeztetettig terjedően találhatóak erdőrészek a területén.



4. ábra: Gödöllői Fácános erdő a védettség megjelölésével  
(nem védett, de a Natura2000 hálózat része)

Forrás: Nemzeti Földügyi Központ Erdőtérkép <https://erdoterkep.nebih.gov.hu/>

A kutatás során – csatlakozva Bodolay Zsolt és Karádi Anett alapszakos természetvédelmi mérnök hallgatók dendroökológiai kutatásához – az itt felsorolt erdőrészekben végeztem mintavételezést: 102/B; 102/D; 102/E; 102/F; 103/D.

A következő oldalon található táblázatban (1. táblázat) foglaltam össze a kiválasztott erdőrészek részletes tulajdonságait.

1. táblázat: Gödöllői Fácános Erdő kiválasztott részleteinek részletes tulajdonságai

<b>102/B</b>		<b>102/D</b>	
terület:	2,5 ha	terület:	1,5 ha
rendeltetés:	parkerdő rendeltetés	rendeltetés:	parkerdő rendeltetés
elegyarány:	KTT 42% (M) [FF] GY 13% (M) [SZ] KH 8% (M) [SZ] KST 37% (M) [SZ]	elegyarány:	EF 70% (M) [FF] VT 10% (M) [SZ] A 20% (SG) [T]
cserjeborítás:	30-70%	cserjeborítás:	30-70%
eredet:	mag	eredet:	mag és gyökérsarj
kor:	2001-ben mind a négy fafaj 128 éves	kor:	2001-ben mind a három fafaj 25 éves
<b>102/E</b>		<b>102/F</b>	
terület:	6,3 ha	terület:	4,4 ha
rendeltetés:	parkerdő rendeltetés	rendeltetés:	parkerdő rendeltetés
elegyarány:	KST 51% (ST) [FF] MJ 10% (ST) [SZ] A 23% (SG) [CS] KTT 16% (ST) [SZ]	elegyarány:	csertölgy 100% (M)
cserjeborítás:	30-70%	cserjeborítás:	30-70%
eredet:	tuskó- és gyökérsarj	eredet:	mag eredetű állomány
kor:	2001-ben KST, KTT és MJ 128 éves, A 48 éves	kor:	2001-ben 78 éves állomány
<b>103/D</b>		<b>Jelmagyarázat</b>	
terület:	1,8 ha	<b>ST:</b>	<i>tuskósarj</i>
rendeltetés:	parkerdő rendeltetés	<b>SG:</b>	<i>gyökérsarj</i>
elegyarány:	vörös tölgy 80% (M) [FF] erdei fenyő 20% (M) [SZ]	<b>M:</b>	<i>mag</i>
cserjeborítás:	30-70%	<b>FF:</b>	<i>főfafaj</i>
eredet:	mag eredetű állomány	<b>SZ:</b>	<i>mellékfafaj szórt elegyben</i>
kor:	2001-ben 26 éves állomány	<b>CS:</b>	<i>mellékfafaj csoportos elegyben</i>
		<b>T:</b>	<i>mellékfafaj tömbös elegyben</i>



## **2.2. Mikorrhiza gombák**

### **2.2.1. Mikorrhiza gombák bemutatása**

A mikorrhiza elnevezést először 1885-ben írták le, amikor megfigyelték, hogy egyes fák gyökerein, különös gombabevonat képződik és ezek a gyökerek az oldalgökereikkel eltérnek a többi gyökérrésztől (Frank 1885). Ez a kölcsönösen előnyös kapcsolat egy tipikus szimbiózis, mely során a növények kész szénforrást szállítanak a gomba részére, amiért cserébe a gomba a megnövelt gyökér felületből adódóan megnöveli a növény tápanyag- és vízfelvételt.

A mikorrhiza gombákkal alkotott szimbiózisnak két fő típusát különítik el, az ekto- és az endomikorrhizáltságot. Az ektomikorrhizát létrehozó gombák hifái csak a gyökér felszínén és a kéregsejtjeinek intercelluláris járataiba hatolnak be, ahol egy úgynevezett Hartig-féle hálót alkotnak, ami tulajdonképpen egy, a gyökeret körbeölelő sűrű gombafonalakból álló sokfunkciós köpeny. Ez a típusú szimbiózis a növénycsaládok 10%-nál fordul elő, és köztük is leginkább a fás szárú növényeknél. Az endomikorrhizát képző gombák abban különböznek az ektomikorrhizáktól, hogy a hifák nem csak a növényi gyökérszövet kéregsejtjeinek sejtközi járataiba hatolnak be, hanem magukba a sejtekbe is. Ezzel szemben a plazmamembránt ugyanakkor nem törik át. A mikorrhiza típusok közül az arbuskuláris mikorrhiza a legősibb és a legelterjedtebb mikorrhiza-típus, mely a növényi sejtekben hurkokat, vagy hólyagszerű vezikulumokat és gazdagon, villásan elágazó arbuskulumokat hoz létre (Jakucs 2009). Az arbuskuláris mikorrhiza elnevezés helyett sokáig a vezikulo-arbuskuláris mikorrhiza elnevezést volt az elterjedt, mígnem a kutatások során kiderült, hogy arbuskulumot minden, vezikulumot viszont nem minden endomikorrhiza gomba fejleszt. Az endomikorrhizák között megkülönböztetnek speciális típusokat. Ilyen speciális típus például az orchid mikorrhiza, amely gombatípus elsősorban orchideafélékkel létesít szimbiózist, ezzel elősegítve az orchidea magok csírázását és a kicsírázott növények fejlődését. Érdekesség, hogy ez a kapcsolat szimbiózis helyett parazitikus jelleget is ölthet (Brundett et al. 1996).

Magyarországon a legutóbbi adatok szerint 163 növényfajt vizsgáltak meg mikorrhizáltság szempontjából. Nagy része státusz- és ektomikorrhiza gombaközösségek vizsgálataiból áll és a természetes élőhelyeken megtalálható növényfajokat tartalmazza. Ezen felül viszont a mikorrhiza-kapcsolat vizsgálható még különböző más aspektusokból és különböző szerveződési szinteken is (Kovács 2008).

A mikorrhiza gombák vizsgálatával már az 1960-as években aktívan foglalkoztak. Fontos volt ugyanis mind az agrár, mind az erdészeti oldalon a növényvédelem mikorrhiza

gombákra gyakorolt hatásának felmérése. A kutatási eredmények egyrészt azt mutatják, hogy a csemeték súlyos gyökérkárokat szenvedhetnek, kifejezetten a rovarölő szerek nem megfelelő alkalmazása miatt. Másik részből pedig a *Boletus granulatus* és a *Boletus luteus* gombák különböző gyomirtókra adott reakcióinak laboratóriumi vizsgálatai során kiderült, azon felül, hogy tavasszal nagyobb a gombák dózistűrése, a három vizsgált szerből kettő esetében, bizonyos koncentráció határok között gombanövekedés lép fel (Kiss 1965). Szeretném kiemelni, hogy a mikorrhiza gombák kutatása nagy és rendkívül összetett tudományos terület, ugyanis a fákkal és más növényekkel létrehozott szimbiózisuk sok alaptényezőn múlik, és mint az előbbi példában, ahol míg két rovarölő szer külön használata esetén pusztulás, addig ezeknek a keveréke jelentős szaporodást indított el, még az egyes tényezők együttes jelenléte esetében is más és más kimenetek lehetnek. Ezért a szakdolgozatomban a témát a mikorrhiza gombák általános bemutatását követve a fák és a mikorrhiza gombák kapcsolatának természetvédelmi irányát fokozatosan leszűkíttem a Gödöllői Fácános erdő és annak fafajaival kapcsolatos kísérletsorozat bemutatására.

A mikorrhiza kutatási témák erdészeti vonalán elindulva kijelenthető, hogy a mikorrhizáltság, mint jelenség a mérsékelt égövön általánosan elterjedt (Berki 1999). A mikorrhiza gombák szimbiota kapcsolata által a fák számára könnyebb lesz a tápanyagfelvétel, a gombapartner eközben pedig szerves anyagokhoz, jelentős mértékű szénhidráthoz jut. Példa erre a tág C/N arányú humuszban élő mikorrhiza szimbiózis kapcsolatot létesítő gyökerek nehezen oldható foszfátokból foszfor vagy egyszerűen csak nitrogén felvételének képessége (Kovács 2017). Ugyancsak példa a növények só-, fém-, és szárazságtűrő képességére való pozitív hatás, amibe beletartozik a száraz időszakban történő vízfelvétel megsegítése a fák számára (Pozo et al. 2002). A száraz időszakban a mikorrhiza gombák száma csökkenhet, de továbbra is a szimbiózis kedvezően hat a fák fejlődésére (Kovács 2017). A mikorrhiza gombák aktivitását növeli, ha például a fák kevés nitrogénhez férnek hozzá és ezzel együtt viszonylagos foszforhiányban is szenvednek, mert ilyenkor a gyökérben szénhidrátfelesleg keletkezik, amit a gombák elfogyaszthatnak. Még olyankor is nőhet a mikorrhiza gombák aktivitása, amikor a semleges pH-val rendelkező talajok megváltoznak és elsavanyodnak. Ezért is előnytelen és egyenesen káros lehet a mikorrhiza képződésére a nagy adagú meszezés, a talaj pH-értékének emelkedése, illetve a talaj nitrogéntrágyázása és a fokozott mértékű foszfortrágyázás (Berki 1999). A tápanyag dúsulásával pedig a mikorrhizaközösségek lecsökkennek. Ezért javasolt a természetes erdődinamikát tükröző gazdálkodás folytatása, ahol nem dúsul fel túlzottan a tápanyag és a fafaj-összetételre az elegyesség a jellemző. Eközben pedig érdemes az idegenhonos fafajokból álló, nagy területekre kiterjedő,

síkvidéki erdősítés növekedésének visszafogása. Ide tartozik még a jelentős korhadásnak indult holtfa kímélete és a favágást követő tuskózás vagy esetleg az egész vágásterületen az utólagos teljes talaj-előkészítés lehetőség szerinti kerülése (Kunszegi et al. 2015, Kunszegi & Papp 2016).

A mikorrhiza, erősségeit és gyengeségeit ismerve, alkalmazható erdészeti tekintetben, ugyanis számos előnnyel jár. Ezek közé az előnyök közé tartozik a mikorrhizált csemeték eredésének 100%-os arányának megközelítése még a gyenge talajokon is. Illetve gyorsabb a fejlődésük és jelentősebb növekedést produkálnak, ugyanis a mikorrhiza, amennyiben a korábban leírt módon kevés a foszfor és a nitrogén, a gyökerekben felhalmozódott szénhidrátok elfogyasztását követve növeli telepeinek méretét és egyben javítani kezdi a nitrogén és a foszfor felvételét, miközben a kórokozókval szembeni védelemet is fokozzák. Így a kémiai talajjavítást és a gombaölő szerek alkalmazása szükségtelenné válik – az erdőgazdálkodók, előzetes számítások alapján akár évi 5-6 milliárd forint megtakarítást is elérhetnek (Jakucs 2003).

Az erdőgazdálkodói előnyökhöz tartozik a gasztronómiában előszeretettel használt, értékes szarvasgomba fajok vizsgálata és felhasználása. Megállapították, hogy egy bizonyos táptalaj (Pachlewski-féle tápközeg módosított változata) előnyösen alkalmazható a *Tuber excavatum* és a *Tuber brumale* tiszta micélium tenyészetének kialakítására. Ezek az előállított tiszta tenyészetek pedig könnyedén felhasználhatóak az elültetni kívánt facsemeték mikorrhizálására (Szeglet et al. 2002).

A mikorrhizálás másik módja a spóraszuszpenzió kijuttatása a csemetekertekben. A kutatók kísérleteik során számos alkalommal próbálták ki a mikorrhizálást úgy is, hogy a kocsánytalan tölgy csemetétet beáztatták a nyári szarvasgomba (*Tuber aestivum*) érett, lehetőleg túlrett termőtesteiből készített spóraszuszpenziójába. Olasz és francia tapasztalatokat is említenek, melyekkel javasolják a konténerben, szarvasgombával szimbiózisba hozott csemetékkel történő fapótlásokat, amennyiben szükség van rá az erdőben. Leírták, hogy a gombaszimbiózissal ellátott egyedek méretében, mind a gyökfő-átmérőben körülbelül kétszeres eltérést tudtak mérni. Kiemelik az átmikorrhizálódás jelenségét, mely a szarvasgomba konkurens gombáinak kiszorításával jár. Az értékes termőtestek aratásának ideje 10-12 év leforgását követően válik lehetővé (Szeglet & Mészáros 2009).

### 2.2.2. Mikorrhiza gombák és fák kapcsolata

A mikorrhiza gombák szimbiózisa rendkívül előnyös a különböző fafajok számára. A legtöbb fenyő és tölgy faj, valamint a bükk, a megfelelő mikorrhiza gomba hiányában 1-2 éves korában elpusztul. A gombák a tápanyag-felvétel mellett a tápanyagok visszatartását is segítik. Kísérletek bizonyítják, hogy a mikorrhizás gyökerek, más gyökerekkel ellentétben, lassabban és folyamatosan veszik fel a talajból a foszfort, míg a foszforátadást az adott fával szomszédos növények számára, erőteljesen csökkentik. Ugyancsak megfigyelték, hogy a farontó gombákra a mikorrhizák gátló hatással vannak (Danszky 1973). Ezt a gátló hatást a csemetekertekben is megfigyelték és Barna, egyik forrásközleményében (Barna 2000) Stenström és munkatársainak munkája (Stenström 1997) alapján levonta azt a következtetést, hogy az erdészeti csemetekertekben gondot okozó talajlakó kórokozókkal szembeni védekezés, ellenállás egyik legjobb eszköze lehet a mikorrhiza gombák felhasználása. Azonban azt is írja, hogy a gombák önmagukban nem elegendők, hiszen egyedül nem képesek a magoncok gyökereit megvédeni, ezért javasolt az integrált módszerek alkalmazása.

A mikorrhiza gomba csemetekerti alkalmazásával kapcsolatos kísérleteknél egy jó példa Szántó 1995 és 1997 között megjelent cikkeinek sorozata, amelyben a szerző erdei- és feketefenyő csemetéken végzett vizsgálatokról ír. A kísérletsorozat során hét gombafajjal oltott és kontroll csemetét ültetett ki az Erdészeti Tudományos Intézet Gödöllő-Máriabesnyőn elhelyezkedő csemetekertjébe. A vizsgálati eredmények azt bizonyítják, hogy a mikorrhizával oltott csemeték átlagos növekedése jelentősen felülmúlta a kontrollcsoport növekedését (Szántó 1995a). A tömegadatokat átnézve pedig azt találta, hogy átlagosan 50%-kal voltak nagyobbak a mikorrhizált csemeték a kontroll csoport egyedeinél (Szántó 1995b). A beltartalmi vizsgálatoknál pedig kiderült, hogy a gombákkal kezelt, kettő és három éves erdeifenyőknél a fotoszintézis nettó szervesanyag-termelés megkettőződött (Szántó 1996). A makro- és mikroelemek szempontjából is elmondható, hogy az oltás eredményeként sok elemnél az tapasztalható, hogy növekedésük kifejezetten szignifikáns (Szántó 1997). A hét különböző gombafajjal végzett kísérlet eredményei eltérőek voltak, de így is mindegyik szimbiózisban élő egyed jelentősen eltért a kontrollcsoporttól (Szántó 1995c).

Az erdőgazdálkodás szempontjából, mint fontos bevételi forrással, a kutatók a homoki szarvasgombával kapcsolatban is végeztek vizsgálatokat. Egyetlen biztos gazdanövényének, mely jelentős jövedelmet termelhet, a fehér akácot (*Robinia pseudoacacia*) tartják (Szegő et al. 2007). Illetve egyes irodalmi adatokat (Harley & Harley 1987), melyekben arról írnak, hogy az akácfa arbuskuláris mikorrhizát képez, kiegészítik azzal a megállapításukkal, hogy

az arbuszkulum mellett vezikulum is előfordult a vizsgálataik során. Eredményeiket végül azzal a megállapítással összegezték, hogy jelentős számú struktúrát fedeztek fel a vizsgált akácgyökerekben és azon gyökerek felszínén.

Ugyancsak erdőgazdálkodási bevételforrásokkal kapcsolatban egy publikációban (Barna 2007) azt írta a szerző, hogy megfigyelte a fehér akác, a fehér nyár és a feketefenyő fajok vizsgálata során, hogy az erdőtelepítések esetében a mikorrhizálás kifejezetten jó, hiszen a fatömeg-termelés növelésének hasznos eszközeként lehet használni a gombákat, a szegény tápanyagtartalmú és esetlegesen még egyben száraz termőhelyek talajainál is. Egy érdekes hármás kísérlet során, mikor *Rhizobium* baktériummal, ektomikorrhiza *Hebeloma mesophasem* és arbuszkuláris mikorrhiza *Glomus caledonium* gombafajokkal oltottak be fehér akácot (*Robinia pseudoacacia*), a kutatók újabb előnyöket fedeztek fel. A fehér akác (*Robinia pseudoacacia*) növekedését és nitrogénkötését figyelve rájöttek, hogy mind a *Rhizobium*-mal, mind pedig a kiválasztott két gombafajjal végzett oltás serkentette a magoncok növekedését és nitrogénkötését. Ezen felül mind a három oltásra felhasznált mikroba együttes alkalmazása sokkal erősebben elősegítette a növekedést, mint külön-külön való alkalmazásuk (Tian et al. 2003). Ez azért érdekes, mert vannak olyan esetek, mint ahogy azt már korábban leírtam, hogy kettő, eredendően önmagában pozitív hatású, szimbiózishoz szükséges alappillér közösen negatív hatást érhet el a gazdanövény szempontjából és a fenti kutatásban három olyan alappillért is találtak, amik nem hogy nem üt ki egymást, de még együttesen erősítik is a gazdanövény növekedését. A fehér akác (*Robinia pseudoacacia*) gyökér és levél relatív víztartalmának vizsgálata során kiderült, hogy a *Rhizophagus irregularis* fajjal történő mikorrhizáltság növelte azt. Illetve ugyan ezen kísérletek során, a biomassza és a klorofill mennyiségének akkumulációját és a fotokémiai hatékonyságot megmérve a kutatók rájöttek, hogy ezeket is növeli a mikorrhizáltság, ami azt jelenti, hogy jelentősen enyhíti az aszály jelentette stresszből fakadó hatásokat (He et al. 2017).

Egy hasonló kísérlet során a kutatók a *Rhizophagus intraradices*, a *Funneliformis mosseae* és az arbuszkuláris mikorrhizát képző gomba fajok bevonásával figyelték meg az aszálystressz káros hatásainak mérséklését. A gazdanövény levelének nedvességtartalmát, tápelem koncentrációt, fotoszintézist, klorofill koncentrációt és fraktál dimenziós jellegzetességeket befolyásoló hatását vizsgálták és rájöttek, hogy mindkét gombafaj képes volt védelmet biztosítani az akácfa magoncoknak az aszály stressz ellen (Yang et al. 2014). Az aszályal sokszor együtt járó sóstressz hatása enyhítésének vizsgálatára a kutatók *Glomus versiforme* és *Rhizophagus irregularis* arbuszkuláris mikorrhiza gombapartnerekkel végzett kísérletei pedig bebizonyították, hogy a szimbiózisuk növelte a biomassza, a sejtfal, a

széntartalom, a fűtőérték, a lignintartalom és a fotoszintézis mutatóit, amellet, hogy csökkentették a sóstresszt (Zhu et al. 2017). Tehát kijelenthető, hogy az arbuskuláris mikorrhiza fajok erdőgazdálkodásban való felhasználásában jelentős potenciál van, hiszen nem csak, hogy segítik a fafajok tömegnövelését, de még sok szempontból védelmezik is őket.

### **2.2.3. Mikorrhiza gombák hazai állományai**

A mikorrhiza-kutatásnak jelentős múltja van Magyarországon, ezért röviden úgy tudom bemutatni, hogy megadom azokat az összefoglaló kutatásokat és műveket, melyek elolvasásával rálátást lehet nyerni erre a szakterületre. A fontosabb művek közé tartozik Szántó 1990-es részletes írása (Szántó 1990), melyben a mikorrhizakutatás történetéről ad átfogó képet és hivatkozik Bokor 1943-as munkájára (Bokor 1943), mint a mikorrhiza szakterület hazai kutatásainak kiindulópontjára. Fontos még Rév 2003-as tanulmánya (Rév 2003), mely jól összefoglalja a mikorrhizakutatás hazai helyzetét és egyben még az ektomikorrhizákat is részletesen jellemzi. Kiemelkedőek még a magyarországi, kifejezetten természetes élőhelyekről származó növényeken végzett kísérletek és ezek eredményeinek összefoglaló cikkei, mint például Kovács 2008-as cikke (Kovács 2008), melyben a szerző a következő definíciót követi: „az abszorpció kettős szervei, melyek akkor jönnek létre, mikor szimbiotikus gombák kolonizálják a legtöbb szárazföldi növény és számos vízi és epifiton egészséges felszívó szerveit (gyökerek, rhizómák, talluszok)” (Trappe 1996).

A Magyarországon fellelhető hazai, vagy idegenhonos fafajokkal kapcsolatos adatoknál a fehér akác (*Robinia pseudoacacia*) esetében három (Kovács & Bagi 2001, Bratek et al. 1996), a fehér nyárnál (*Populus alba*) tíz (Kovács & Szigetvári 2002, Jakucs & Agerer 1999a, Jakucs-Agerer 1999b, Jakucs et al. 2001, Jakucs & Agerer 2001, Jakucs 2002, Jakucs et al. 2005a, Jakucs et al. 2005b, Kovács & Jakucs 2006), a szürke nyárnál (*Populus canescens*) megint három (Kovács & Bagi 2001), a rezgő nyárnál (*Populus tremula*) pedig kettő (Répás et al. 1998) felhasználhatósági szempontból kiemelkedő adat van. Az adatok bemutatása mellett a kutatók a mikorrhizáltsággal kapcsolatos adatfelhasználás problémáit is kifejtik. Szerintük ugyanis ezen a szakterületen sok szempontot figyelembe kell venni, mikor adatokat akar valaki a kutatásaihoz összehasonlításképpen felhasználni. Az adatfelhasználási módok közül elsősorban a mennyiségi jellemzésre, a gyökérpreparátumok elkészítési módjára és a metaanalízisek adatainak felhasználására hívják fel a figyelmet. Azért is fontosak ezek, mert Magyarországon a mikorrhiza kísérletek azon felül, hogy jelentős múltra tekintenek

vissza, rendkívül szerteágazóak, és egyben egyediek is lehetnek. Egy kísérleti projekt keretében kutatók például azzal kísérleteztek, hogy vitalizáló ektomikorrhizas facsemetéket állítottak elő biotechnológiai módszerekkel. Magyarország különböző területeiről gyűjtötték be a vitalizáló ektomikorrhizas gombákat, majd azokból, szövetleoltások elvégzése után és átoltás, illetve tisztítást követően, laboratóriumi körülmények között tisztatenyészeteket hoztak létre. A tisztatenyészetekből micélium és spóraalapú oltóanyagokat, valamint mikorrhizáló tápközeget hoztak létre, amelyeket nyár és fűzfa egyedek beoltására használtak fel (Vastagné 2012).

#### **2.2.4. Mikorrhiza gombák szerepe a természetvédelemben**

A mikorrhiza gombák természetvédelemmel kapcsolatos vizsgálatait több szempont alapján is érdemes megfigyelni. Az egyik a gazdanövények védelme új, esetleges veszélyes anyagok megjelenésekor, a másik a már kipusztított helyek regenerálása lehet. Kutatók például fémszennyezett területen nyárfákat telepítettek és megnézték, hogy vajon segíti-e a kiültetett fákat, ha mikorrhiza szimbiózisba hozzák őket. Az eredményeik azt mutatják, hogy előnyös és szükséges is a mikorrhizával való oltás a terhelt és tápanyagszegény területeken (Foulon et al. 2016).

Más kutatók hasonló vizsgálatot végeztek két nem szennyezett és egy nehéz fémmel szennyezett, viszont környezetileg eltérő karakterű speciálisan kiválasztott területen, ahova négy nyárfa klónt ültettek ki. Mindegyik fa rendelkezett ektomikorrhiza közösség struktúrával, melyet vizsgálni lehetett. A kísérletből kiderült, hogy a terület karakterisztikája, valamint a talaj mélysége határozta meg a gombaközösségek fejlődését, mialatt a fák genotípusa nem igazán játszott szerepet a terhelt körülmények közötti gomba és fa adaptációban (Karlinski et al. 2013).

A tápanyagszegény és esetleg extrémebb körülmények között, mint például a talaj sótartalmának növekedésekor, kutatók azt vizsgálták, hogy egyes sóérzékeny nyárfajok toleranciája növelhető-e, és közleményükben kifejtik, hogy a mikorrhizálás a tolerancia növelés érdekében kiemelkedően teljesíthet és ígéretes biotechnológiai eszköznek számít (Chen et al. 2014). Hasonlóan, Otgonsuren és munkatársai sóstressznek kitett fekete nyárfákat vizsgáltak, melyeket *Scleroderma* fajjal oltottak be. A dugványok gyökérlégzését és gyökérfelszíni enzimaktivitását megfigyelve rájöttek, hogy az ektomikorrhizával való szimbiózis növeli a sóstressz-toleranciát és hogy mérsékelt sótartalom mellett a szimbiózisba

hozott gazdanövények klorofilltartalma jelentősen magasabb volt, mint a kontrollcsoportba tartozó növényeinek (Otgonsuren et al. 2016).

A klímaváltozás problémájának egyre jobban előtérbe kerülése miatt a természetvédelem és egyben az ember védelme is egyre fontosabbá vált. Ezért az ilyen irányú mikorrhiza vizsgálatok finanszírozása is megnőtt az évek alatt. A klímaváltozás és mikorrhiza gomba kapcsolatot először fehér akác (*Robinia pseudoacacia*) mikorrhiza gomba szimbiózis és a megnövekedett szén-dioxid-szint közötti kapcsolatra voltak vizsgálatok (Thomas 1998). A kísérleteket *Glomus clarum*, *G. claroideum*, *G. intraradices* és *G. brasilianum* fajok és fehér akác (*Robinia pseudoacacia*) szimbiózisaival végezték. Bebizonyították, hogy az arbuskuláris mikorrhiza gombák jelentős szereppel bírnak a kiválasztott fafaj biomassza produkciójában és a tápanyagellátás során megemelkedett légköri szén-dioxid-szintben (Olesniewicz & Thomas 1998).

A klímaváltozással kapcsolatos megfigyeléseket elősegíti a talaj- és a klimatikus faktorok arbuskuláris mikorrhiza gombaközösségekre gyakorolt hatásának vizsgálata. A kutatók szerint összesen huszonhárom gombafajból tizenhárom relatív mennyiségét befolyásolta a hőmérséklet, a csapadék, az összes elérhető nitrogén és kálium. Kínában a kísérletekhez kiválasztott félszáraz ökoszisztémájú vizsgálati területen az arbuskuláris mikorrhiza fajok diverzek a jelenlévő fehér akác (*Robinia pseudoacacia*) állományokban és a *Funneliformis* nemzetség a leginkább fellelhető mind közül (He et al. 2016).

A klímaváltozáson belül a szén-dioxid szinttel kapcsolatos felméréseken tovább menve egyesek nyár ültetvényekben vizsgálták a talaj mikrobaközösségének funkcionális és strukturális diverzitását megemelt szén-dioxid és mesterségesen növelt nitrogén mennyiség mellett. A folyamat során nyilvánvalóvá vált, hogy a mikrobiális és egyben a mikorrhiza közösségre az egyes, egymástól eltérő tényezők különböző szinteken hatnak. Például a fák gyökérváladéka befolyásolta a mikrobák összességének funkcionális sajátosságait, mialatt a gombaszpecifikus összetételben nem állt be változás, viszont megállapították, hogy a szén és a nitrogén többlet mennyiségű jelenléte a mikrobák működésére és összetételére jelentős hatással bírt (Lagomarsino et al. 2007).

Természetvédelmi szempontból fontos figyelni az inváziós fajok terjedésére, ugyanis legtöbbször az emberi behurcolás hatására sok száz éves ökoszisztémák borulhatnak fel egy inváziós faj elterjedésekor. A fehér akácot (*Robinia pseudoacacia*), mint inváziós fajt kutatták többen is (Endresz & Kalapos 2013) és nagy figyelmet fordítottak arra, hogy a növény arbuskuláris mikorrhizáltságából fakadó előnye mennyire jelentős. Rájöttek, hogy eredeti élőhelyén magasabb volt, mint új megtelepedési helyein, beleértve az európai és az amerikai



kontinenseket (Callaway et al. 2011). Azonban más kutatók kijelentik, hogy Magyarországon jelentős arbuszkurális mikorrhizáltságot tapasztaltak az akác fafaj, alföldi vegyeslombú erdőkben található egyedeinél (Kovács & Bagi 2001). Az előbb említett kutatók végül megállapítják, hogy a talaj arbuszkuláris mikorrhiza gombaközössége jelentősen megváltozik az özönnövények terjedésével az özönfaj előnyére, azonban ez egy lassú, fokozatosan végbemenő folyamat. Ezért természetvédelmi szempontból figyelni kell a gombaközösség restaurációjára is, amikor az életközösség helyreállításán dolgozunk, inváziós fajok után vagy más eredetű leromlást követően. A mikorrhiza restauráció történhet az eredeti gombaközösséggel rendelkező feltalaj szétterítésével, vagy mesterséges beoltással.

### **3. A VIZSGÁLATOK MÓDSZEREI**

#### **3.1. A kísérleti módszerek leírása**

A Gödöllői Fácános erdőben a mikorrhiza gombák eltérő mennyiségeinek becsléséhez egy olyan kísérletsorozatra volt szükség, ami az egyetemi költségkeretbe és a rendelkezésre álló időbe is belefér. A mikorrhiza gombákkal szimbiózisban lévő fa gyökerek kiásásának, számlálásának és a mikorrhiza fajok DNS vizsgálattal való meghatározásának ideje több év és saját vagy valamilyen támogatásból megoldott, jelentős összegű anyagi javak felhasználásával jár. Ezért egy olyan kutatássorozati utat választottam, ami olcsóbb és fél év alatt elvégezhető volt. A mikorrhiza gombák jelentősen átalakítják a rizoszféra talajt és ezzel együtt a mikrobiológiai aktivitást is növelik a velük szimbiózisban élő fa körül (Mukerji 2006). A vizsgálatok során a mikrobiológiai aktivitást mértem főként, ugyanis, ha az egyik rizoszféra talajból vett mintában nagyobb a mikrobiológiai aktivitás, mint a másik rizoszféra talaj mintájában, akkor ott nagyobb a mikorrhiza állomány is.

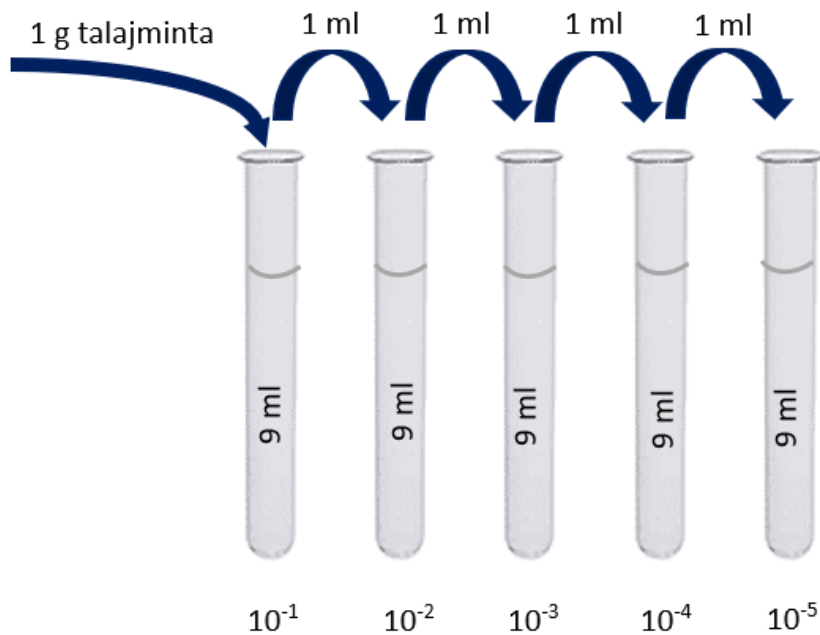
##### **3.1.1. Tenyésztési vizsgálat**

A kísérletsorozat elején szerettem volna biztosra menni, hogy egyáltalán van-e elegendő élő szervezet ahhoz, hogy érdemes-e a bonyolultabb kísérletekbe belekezdeni, ezért egy tenyésztési vizsgálatot választottam első lépésnek. A CFU (Colony-forming unit) szélesztési vizsgálatot választottam, mely során a rizoszféra talajok kitenyészhető gomba- és baktérium számát, a Petri-csészékben végzett felületi szélesztést követően telepszámlálós módszerrel határoztam meg. (Http4). A texasi A&M egyetem egyik honlapján (Http5) megtalálhatóak a nemzetközi kutatásban elfogadott általános baktérium és gombaszám adatok, melyek a baktériumok esetében 100,000,000 és 1,000,000,000 db közé tehetőek, a gombák esetében pedig 100,000 és 1,000,000 db közé tehetőek egy gramm talajmintában. A kísérletet követően az eredmények ezekhez az adatokhoz hasonlítottam, hogy elérik-e az alsó határt. Amennyiben az értékek nagy része eléri a gombák esetében a 100,000 db-ot, míg a baktériumok esetében a 100,000,000 db-ot akkor kimondható, hogy érdemes belekezdeni a további kísérletekbe. A további kísérletek az élő szervezetek mikrobiológiai aktivitását mérik. A baktérium- és gombatenyésztési vizsgálatot a MATE Genetika és Biotechnológia Intézet, Mikrobiológia és Alkalmazott Biotechnológia Tanszék, Mikrobiális Biotechnológia és Mikrobiomika Csoportjának laboratóriumában végeztem.

A kísérletben felhasznált eszközök és anyagok:

- Nutrient táptalaj (baktériumok tenyésztését szolgáló táptalaj)
- Martin táptalaj, melyben inhibitor és antibiotikum van  
(gombák tenyésztését szolgáló táptalaj)
- Petri-csésze (120 db)
- Szélesztőbot (1 db)
- Pipetta (2 db), steril pipettahegy (250 db)
- 15 ml-es kémcső (150 db)
- Bunsen-égő (1 db)
- Termosztát (1 db)
- Mérleg (1 db)
- Desztillált víz (1,5 l)
- Alkohol (95 %-os) (0,5 l)

A begyűjtött terepi, talajmintákat zárható műanyag zsákokban, hűtőben tároltam három napig, majd mérlegen mindegyikből kimértem 1 grammot. A 15 ml-es kémcsövekbe 9 ml fiziológiás sóoldatot töltöttem, homogenizáltam és belőlük decimális hígítási sort készítettem egészen  $10^{-5}$  hígítási fokig. A hígítási sor célja az, hogy az 1 grammos talajmintát standard körülmények között kihígítsam olyan szintre, hogy a Petri-csészére pipettázott 100  $\mu$ l szuszpenzióból, elhatárolható gomba, illetve baktérium sejtömegek, vagyis telepek fejlődjenek leszámolható mennyiségben. A számlálás során kapott eredményeket felszoroztam a hígítás mértékével, így kapva meg a reális baktérium, illetve gomba számot. Mintánként ezért 5 db kémcsövet számoztam meg  $10^{-1}$ ,  $10^{-2}$ ,  $10^{-3}$ ,  $10^{-4}$ ,  $10^{-5}$  értékekkel, melyek decimális hígítást jelentenek kémcsövenként. A hígítási sor készítése során a hígítási fokok között is cseréltem a pipettahegyet. A homogenizálást Vortex kémcsőrázó keverőgép segítségével végeztem. Az alábbi, saját készítésű képen (5. ábra) látható a hígítási folyamat.



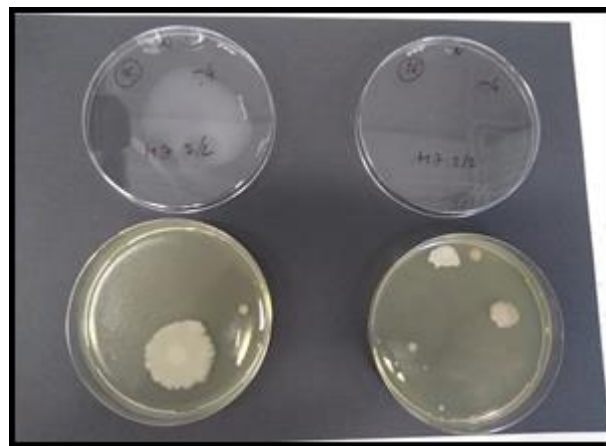
5. ábra: A hígítási sor lépései

A hígított minták elkészítése után a steril Petri-csészékbe 50 °C-os, felolvasztott Nutrient és Martin táptalajt tettem, Petri-csészénként 25 ml-nyi mennyiséget. Talajmintánként 4 db Petri-csészét készítettem elő, melyből 2 db Nutrient és 2 db Martin táptalajt tartalmazott. A táptalajok kihülése után a Petri-csészékbe a táptalajokra baktériumok esetében minden egyes,  $10^5$ -en hígított talajmintából 0,1 ml-t, míg gombák esetében minden egyes,  $10^3$ -on hígított talajmintából 0,1 ml-t külön tettem, steril pipettahegyekkel a táptalaj közepére. A gombasejtek sokkal nagyobbak, mint a baktériumok és kevesebb van belőlük ezért vettem mintát, a baktériumokkal ellentétben, a harmadik hígításból. A szélesztő bot segítségével szétterítettem a folyadékot a táptalaj teljes felületén, majd bezártam a Petri-csészét. A szélesztő botot, minden egyes új szélesztés előtt sterilizáltam, úgy, hogy 95%-os alkoholba mártottam, majd kivéve az alkoholos csészéből a Bunsen-égő segítségével meggyújtottam és megvártam, míg elalszik rajta a láng. A fertőzött táptalajjal rendelkező Petri-csészéket fordított helyzetben, fedelükkel lefelé betettem a 28 °C-os termosztátba, hogy inkubálni tudjam őket. Az inkubáció 4 napig zajlott. Az inkubációt követően a Petri-csészéket erős fényhez tartva, megszámláltam a telepeket. A kapott eredményeket visszaszoroztam a hígítási fokkal az eredeti 1 grammra történő számításához. Az összegyűjtött adatokat a szakdolgozatban az eredmények menüpont alatt mutatom be. A Petri-csészékről példa képek a 6. és 7. ábrákon láthatóak.



6. ábra: Gomba telepek

Fotó: Bouché Erik, Gödöllő, 2022



7. ábra: Baktérium telepek

Fotó: Bouché Erik, Gödöllő, 2022

### 3.1.2. Dehidrogenáz enzim aktivitás

A dehidrogenáz enzim aktivitás mérése arra jó, hogy információhoz jussunk az élő szervezetek, sejtek energiatermelésének mértékéről, aktivitásukról. A dehidrogenáz enzim a mikrobális lebontó szervezetek légzési láncának egy eleme. A légzési lánc tulajdonképpen egy membránhoz kötött elektrontranszfer láncon keresztül zajlik, ahol maga az oxigén a végső elektronakceptor. A folyamat közben ATP energia szintetizálódik, amit oxidatív foszforilációnak neveznek (Alef 1995). A redox folyamatok során a dehidrogenáz enzim elektront vándoroltat. Tulajdonképpen egy hidrogént választ le a szubsztrátról és aerob körülmények között, oxigénnel egyesítve vizet hoz létre. Az anaerob körülmények között viszont a hidrogén akceptor a dehidrogenáz enzim koenzimjévé válik (Varga 2004). A kísérlet

során, fafajokra nézve meg lehet határozni, a külön-külön megvizsgált faegyedek értékeinek eredményeiből, az adott erdőben, hogy van-e szignifikáns eltérés dehidrogenáz enzim aktivitás területén közöttük vagy nincs. Ez azért jó, mert ha nagy az eltérés a dehidrogenáz enzim aktivitásban akkor a mikrobiológiai aktivitásban is nagy az eltérés az egyes fafajok között. A dehidrogenáz enzim aktivitás mérése során a MSZ-08-1721/3-1986 számú magyar szabvány szerint dolgoztam. A mérés két fő részre osztott és spektrofotométer segítségével lehet az aktivitást lemérni abszorbancia formájában. Első körben egy kalibrációs sorozatot kell készíteni, melyhez a második körben, a talajmintákból mért adatokat kell viszonyítani. A kalibrációs egyenes felrajzolásával meg lehet állapítani egy x és y tengelyű koordináta rendszerben az egyenes egyenletét, amely képletet alkalmazva meghatározhatjuk a saját adatainkból a talajok aktivitását.

A kísérletben felhasznált eszközök és anyagok:

- Spektrofotométer
- Mérőlombik (1 db)
- Alkohol, etanol
- Petri-csészék (mintánként 3 db ajánlott, de csak 2 db-ot használtam)
- 50 ml-es Falcon csövek 2 X (mintánként 3 db ajánlott, de csak 2 db-ot használtam)
- Pipetta (2db), steril pipettahegyek
- Mintánként 50 ml steril desztillált víz
- Konyhai lábas vízfürdőhöz (+forrásban lévő csapvíz)
- MN 619 G ¼ szűrőpapír (mintánként 3 db ajánlott, de csak 2 db-ot használtam)
- Üveg tölcsér (mintánként 3 db ajánlott, de csak 2 db-ot használtam)
- TTC (trifenil tetrazolium klorid) oldat (mintánként 3 cm<sup>3</sup> 3%-os TTC oldat ajánlott, de csak 2 cm<sup>3</sup>-t használtam, mert mintánként három mérés helyett csak kettőt végeztem)
- TPF (trifenil-formazán) a kalibrációs egyenes felállításához a következő mennyiségekben:

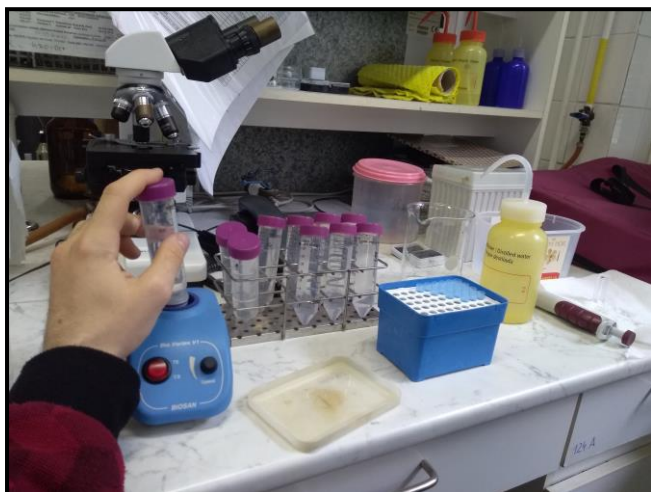
0,00025 mg/cm <sup>3</sup> ;	0,0005 mg/cm <sup>3</sup> ;	0,001 mg/cm <sup>3</sup> ;
0,002 mg/cm <sup>3</sup> ;	0,0035 mg/cm <sup>3</sup> ;	0,005 mg/cm <sup>3</sup> ;
0,01 mg/cm <sup>3</sup> ;	0,02 mg/cm <sup>3</sup> ;	0,03 mg/cm <sup>3</sup> ;
0,04 mg/cm <sup>3</sup> ;	0,05 mg/cm <sup>3</sup>	

A kalibrációs egyenes felvételéhez a TPF-t, az előbbi felsorolásánál megadott koncentrációkban használtam és megmértem az abszorbanciáját. Az abszorbancia a vizsgált folyadékon történő fényáteresztés mértéke (Htp6). A mérés közben a hígított oldatokból pipettával vettem 1 ml-t melyet az abszorbancia méréshez a spektrofotométerbe tettem, egy üveg kűvetta segítségével. A spektrofotométerrel végzett mérést 485 nm hullámhosszon végeztem. Microsoft Excel és az egyenes egyenlete segítségével felállítottam a koordináta-rendszert, melynek x és y tengelyei alkalmazkodnak a TPF-ből mért kalibrációs egyeneshez. Az y tengelyhez koncentrációs értékek tartoznak. A mérés során a korábbi felsorolásban említett TTC oldatot a dehidrogenáz enzim trifenil formazánná alakítja át. Az enzim aktivitás növekedésével a trifenil formazán koncentráció is nő, ezért a trifenil formazán koncentráció mértékével megállapítható az enzim aktivitás mértéke. A spektrofotométeres mérés során a trifenil formazán koncentrációját nézzük, mely az oldaton áthaladó fénysugár segítségével számított abszorbancia értékek, koordináta rendszerben hozzárendelt koncentráció adatokból származnak. A különböző abszorbancia mérések azért lehetségesek, mert a trifenil formazán koncentráció változásával az oldat színe is megváltozik. Az abszorbancia értékek megszerzéséhez szükséges mérést a következő lépéseket követve végeztem el:

- A hűtőben tárolt talajmintákból egy-egy nagyobb adagot kivettem tálcára, majd csipesz segítségével eltávolítottam a növényi maradványokat.
- A megtisztított talajkupacokból kimértem mintánként kétszer 10-10 grammot Petri-csészékbe. A minták egyik Petri-csészéje a belső kontrollt, míg a másik a belső ismétlésre szolgál. Az útmutató két belső ismétlést és egy kontrollt ajánl, de a két mérés is elfogadott. Az idő rövidege miatt így a kétméréses lehetőséget választottam.
- Ezek után minden Petri-csészében lévő 10 gramm talajmintához hozzáadtam 0,1 gramm  $\text{CaCO}_3$ -t és jól összekevertem.
- A belső kontroll mintát szárítószekrénybe helyeztem és  $180\text{ }^\circ\text{C}$ -on 3 órán keresztül sterilizáltam.
- Az összes mintát külön-külön Falcon csövekbe raktam és mindegyikhez adtam  $1\text{ cm}^3$  TTC oldatot +  $2,5\text{ cm}^3$  steril desztillált vizet. Alaposan összekevertem őket a vortex rázógéppel segítségével.
- Behelyeztem a mintákat az inkubátorba 24 órára  $37\text{ }^\circ\text{C}$ -os állandó hőmérsékletre.

- 96% -os alkohollal előnedvesíttem az MN 619 G ¼ szűrőpapírokat és az üvegtölcsérekbe tettem őket. Az üvegtölcsérek alá tiszta 50 cm<sup>3</sup>-s Falcon csöveket raktam.
- Az inkubátorból kivett mintákat 20 cm<sup>3</sup> alkohollal összekeverve leszűrtem a szűrőpapírokon keresztül.
- A csőben ragadt maradékokat az útmutató előírását betartva további 5 cm<sup>3</sup> alkohollal öblítettem ki a szűrőpapírokra.
- Az új Falcon csövekbe leszűrődő folyadékokat 11,25 cm<sup>3</sup>-re állítottam etanol segítségével.
- Az abszorbancia mérést a következő módon végeztem el: Először 1 cm<sup>3</sup> alkoholt pipettával kimértem a spektrofotométer küvettájába és mint vaknak nevezett oldatot, mérést végeztem rajta, hogy a spektrofotométert beállíthassam. A beállítást követően egymás után lemértem, ugyancsak 1-1 cm<sup>3</sup> oldat, küvettába való betöltésével az összes talajmintát. A méréseket 485 nm hullámhosszon végeztem.

Az alábbi képeken jól látható a Vortex keverőgép használatának módja és a spektrofotométer mérő része, ahova behelyezem a mérni kívánt folyadékot az üveg küvetta segítségével (8-9. ábra).



8. ábra: Vortex keverőgép használata  
Fotó: Bouché Erik, Gödöllő, 2022

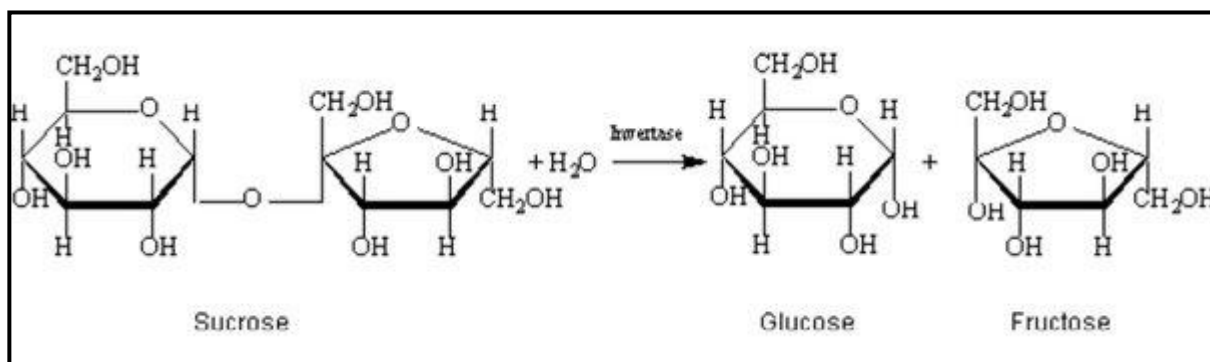


9. ábra: Spektrofotométer  
Fotó: Bouché Erik 2022



### 3.1.3. Invertáz enzim aktivitás

Az invertáz enzim olyan enzim, amely katalizálja a szacharóz hidrolízisét, más néven lebontását fruktózra és glükózra (Myrbäck 1960). A cukorbontás mértéke a szacharáz-aktivitás, mely a talajokban zajló biológiai és biokémiai folyamatok jellemzésére alkalmas paraméter (Anton 1985). A mérés során a diszacharidokból bontott, visszamaradt monoszacharid glükóz (10. ábra) koncentrációjának mértékét mérjük, ugyanis sok cukor bontásának mértéke nagy biológiai és biokémiai folyamatok lezajlását jelenti. A baktériumok növekedését, anyagcseréjét, összességében mikrobiológiai aktivitásának nagyságát a biokémiai folyamatok vizsgálatával és kiértékelésével lehet felmérni (Tim 2016). Az invertáz enzim mérését a MATE Genetika és Biotechnológia Intézet, Mikrobiológia és Alkalmazott Biotechnológia Tanszék, Mikrobiális Biotechnológia és Mikrobiomika Csoportjának laboratóriumában, Mikanová (Mikanová 2001) módszerét alkalmazva végeztem el.



10. ábra: A diszacharid cukor (Sucrose), monoszacharid glükózzá és fruktózzá bontása  
Forrás: Http7

A kísérletben felhasznált eszközök és anyagok:

- 100 ml-es lombik (mintánként 3 db ajánlott, de csak 2 db-ot használtam)
- Csipesz (1 db)
- Falcon csövek 2X (mintánként 3 db ajánlott, de csak 2 db-ot használtam)
- Steril desztillált víz (mintánként 50 ml)
- Konyhai lábas vízfürdőhöz (+forrásban lévő csapvíz)
- MN 619 G ¼ szűrőpapír (mintánként 3 db ajánlott, de csak 2 db-ot használtam)
- Üveg tölcsér (mintánként 3 db ajánlott, de csak 2 db-ot használtam)
- Dinitroszalicilsav indikátor oldat (saját készítés, recept alapján)
- Foszfát puffer (pH 4,9) (saját készítés recept alapján)

Első lépésként a foszfát puffert készítettem el az alábbi recept szerint:

9,078 g  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  1000  $\text{cm}^3$

11,876 g  $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$  1000  $\text{cm}^3$

994 ml  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  oldat + 6 ml  $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$  oldat  $\rightarrow$  (Ez a pH 4,9 beállítása).

A következő lépésben a dinitroszalicilsav (dinitro-benzoésav) –indikátor oldatot készítettem el, melynek két fő lépése van. Először kiválasztottam a receptben feltüntetett két előkészítési típus közül a másodikat, ami: 500 ml indikátorhoz, 2,5 gramm dinitroszalicilsavat, 100 ml 2N NaOH-t és 150 g K-Na-tartarát-ot használ fel. Utána elkészítettem az indikátor oldatot a következő módon:

- 2,5 gramm dinitroszalicilsavat 250 ml-es főzőpohárba mértem és 90 °C-os vízfürdőbe tettem.
- Cseppenként adtam hozzá 100 ml 2N-os NaOH-t.
- A dinitroszalicilsav teljes oldódása után 150 gramm K-Na-tartarátot adtam a meleg oldathoz és addig kevertem, amíg a hozzáadott anyagok fel nem oldódtak.
- Az oldat teljesen áttetszővé válásakor átmostam az 500 ml-es mérőlombikba és a 22 °C-ra való lehűlés után (recept szerint 20-25 °C között jó a hőmérséklet) jelre töltöttem desztillált vízzel a lombikot. Az indikátor sárga színű és hűtőben tároltam a mérésig.

A mérési eredmények kiértékeléséhez szükségem volt egy kalibrációs egyenesre. A kalibrációs egyenes létrehozásához, az útmutatót követve 1 gramm tömegállandóságig szárított glükózt feloldottam egy 100 ml-es lombikban desztillált vízzel. Az így elkészült 10 milligramm / milliliter törzsoldatból az alábbi táblázatban (2. táblázat) látható hígításokat csináltam:

2. táblázat: Glükóz kalibrációs egyenes felvételéhez szükséges hígítások

Sorszám	Kiindulási oldat	Végtérfogat	Kapott hígítás
1.	0,5 ml Törzsoldat	50 ml	0,1 mg/cm <sup>3</sup>
2.	1,0 ml Törzsoldat	50 ml	0,2 mg/cm <sup>3</sup>
3.	1,5 ml Törzsoldat	50 ml	0,3 mg/cm <sup>3</sup>
4.	2,0 ml Törzsoldat	50 ml	0,4 mg/cm <sup>3</sup>
5.	2,5 ml Törzsoldat	50 ml	0,5 mg/cm <sup>3</sup>
6.	3,0 ml Törzsoldat	50 ml	0,6 mg/cm <sup>3</sup>
7.	3,5 ml Törzsoldat	50 ml	0,7 mg/cm <sup>3</sup>
8.	4,0 ml Törzsoldat	50 ml	0,8 mg/cm <sup>3</sup>
9.	4,5 ml Törzsoldat	50 ml	0,9 mg/cm <sup>3</sup>
10.	5,0 ml Törzsoldat	50 ml	1,0 mg/cm <sup>3</sup>

A kalibrációs egyenes felvételéhez a fenti táblázatban (2. táblázat) megadott koncentrációkat használtam és mind a tíz hígított oldatból pipettával vettem 1 ml-t, melyet a spektrofotométer üveg küvettájába pipettáztam. A spektrofotométer mérési hullámhosszát 508 nm-re állítottam és az üveg küvettát behelyezve megmértem a minták abszorbanciáját. Az abszorbancia a vizsgált folyadékon áthaladó fény mértékét jelenti (Http6). Microsoft Excel és az egyenes egyenlete segítségével elkészítettem a koordinátarendszert, melynek x és y tengelyeit a glükóz kalibrációs egyenes alapján állítottam fel. Az x tengelyhez rendelt abszorbancia értékek segítségével meg tudtam határozni az invertáz enzim aktivitás mértékét az egyenes egyenlettel történő számolást követően. A gyűjtött talajmintákon, az invertáz enzim méréseket a következő lépésekben végeztem el:

- Tálcákra kiöntöttem minden, eddig hűtőben tárolt talajmintából 1-1 kisebb kupacot.
- Csipesz segítségével eltávolítottam a növényi maradványokat, gyökereket.
- Minden egyes kupacból kétszer 15 gramm mintát mértem ki. Az útmutató három mintavételt ajánl (2 belső ismétlés + 1 belső kontroll) de a kísérlet két

mintavétellel is (1 belső ismétlés + 1 belső kontroll), a megfelelő eredmények megszerzéséhez teljes mértékben megfelelő.

- 100 ml-es lombikokba raktam a mintákat (Egy talajmintához 2 lombik 15-15 gramm mintát tartalmazva tartozik.).
- A kontroll mintákhoz hozzáadtam 15 ml desztillált vizet és még 5 ml (pH 4,9), korábban elkészített foszfát puffert.
- A belső ismétlésekhez előkészített mintákhoz hozzáadtam 15 ml 8 %-os szacharóz oldatot és még 5 ml (pH 4,9), korábban elkészített foszfát puffert.
- Az összes mintát inkubáltam 4 órán át, folyamatos 37 °C-os hőmérsékleten.
- Az inkubációt követően rögtön MN 619 G  $\frac{1}{4}$  szűrőpapíron keresztül, üvegtölcsérek segítségével, leszűrtem az összes mintát Falcon csövekbe. (11. ábra)
- A szűrletekből, pipetta segítségével kimértem 1 ml folyadékot újabb Falcon csövekbe és mindegyikhez hozzáadtam 2 ml, korábban elkészített dinitroszalicilsav indikátort.
- Készítettem egy vak nevű oldatot, hogy a spektrofotométert be tudjam vele állítani a mérésekhez. A vak oldat 2 ml steril desztillált vízből és 4 ml dinitroszalicilsav indikátorból állt.
- A Falcon csöveket lezártam és 7 percen át, az előre a konyhai lábasban felforralt, folyamatos forrásban lévő csapvízben állni hagytam.
- Folyó csapvíz alatt lehűtöttem a mintákat, majd felbontottam őket.
- Mind az összes belső ismétlésre és kontrollra szánt mintákhoz 7-7 ml steril desztillált vizet adtam, így elérve a 10 ml össztérfogatot Falcon csövenként.
- A vak nevű oldathoz 14 ml steril desztillált vizet adtam, így elérve a 20 ml össztérfogatot.
- A mintákat a korábban 508 nm hullámhosszra beállított spektrofotométer segítségével megmértem és a kontroll minták értékével átlagoltam a belső ismétlés mintákat.



11. ábra: Szűrlet készítés MN 619 G  $\frac{1}{4}$  szűrőpapírok segítségével.  
Fotó: Bouché Erik, Gödöllő, 2022

### 3.1.4. FDA hidrolízis aktivitás teszt

Az FDA a fluoreszcein-diacetát rövidítése. Az FDA-t számos enzim képes hidrolizálni. Ez egy gyors és egyszerű, viszont érzékeny módszer, amellyel a természetes élőhelyeken a mikrobiális össz-aktivitást lehet nyomon követni a szerves anyag-körforgalom mérésével. Ennek az az oka, hogy az energia több mint 90%-a a mikrobiális lebontókon keresztül halad át. A vizsgálat azon alapszik, hogy a mikrobiológiai aktivitás következtében fluoreszcein termelődik, amit spektrofotométerrel mérni lehet (Schnürer 1982). Az FDA eredetileg nem fluoreszkáló és a sejtmembránon könnyen áthaladó anyag. A sejt észterei viszont lehasítják az acetátot és így visszamarad a fluoreszcein, mely már fluoreszkál és nehezen tud átjutni a sejtmembránon. A folyamat során a fluoreszcein felhalmozódik az élő sejtekben, amik világítanak (Schnürer 1982). A hidrolizált FDA mennyiségét pedig az előbb említett spektrofotométer segítségével, abszorbancia mérés keretében meg lehet állapítani, úgy, hogy az invertáz és dehidrogenáz enzim mérésénél használt koordinátarendszer modelljével a fluoreszcein koncentrációját kiszámolom. A koncentráció mértéke adja meg az össz-mikrobiológiai aktivitást.

Az elvégzett kísérlet lépéseinek rövid leírása:

- 2 mg/ml-es koncentrációjú FDA törzsoldatot készítettem acetonnal.
- A mintákhoz 10 µg/ml FDA-t és 60mM-os nátrium-foszfát puffert adtam, amivel a pH-t 7,6-ra állítottam be.
- A mintákat 24 °C-on inkubáltam 2 órán át.
- Az inkubálás után a mintákat 10 percen át 3000/perc fordulatszámon centrifugáltam.
- Az centrifugálást követően MN 619 G ¼ szűrőpapírral leszűrtem az összes mintát Falcon csövekbe.
- 490 nm-es hullámhosszon megmértem a spektrofotométer segítségével a minták abszorbanciáját.

### 3.2. Faegyedek mintavételezése

A mintavételezést a Gödöllői Fácános erdőben 2022 augusztusában végeztem. A 2022 év nyara rendkívül meleg volt. Olyannyira, hogy a felmérések szerint 121 éve nem volt ilyen meleg nyár Magyarországon (Http8). A nagy meleg mellett pedig a 2022-es évben, Európai viszonylatban az elmúlt 500 év legszárazabb nyara volt (Http9). Gödöllőn az augusztusban lehullott csapadékmennyiség 466 mm volt (Http10). Magyarországon az éves csapadék átlag 1991-től 2020-ig nézve 500 és 800 mm közé esik (Http11). A szakdolgozatban bemutatott kísérletek ezért is érdekesek, mert az eredmények az egyik legextrémebb körülményben fennmaradt mikrobiológiai állomány aktivitását mutatják meg és mint minimum értéket lehet esetleg alapul venni. Más szóval ezek az értékek megmutatják, hogy a Gödöllői Fácános erdő leges-legálább mekkora mikrobiológiai aktivitással, az az mikorrhiza állománnyal rendelkezik. A vizsgálatok során Bodolay Zsolt és Karádi Anett dendroökológiai szakdolgozati kutatásához csatlakoztam, az általuk vizsgált faegyedekkel dolgoztam. A mintákat így minden egyes, általuk kijelölt fa két ellentétes oldaláról vettem. Azért vettem két mintát, mert fontos, hogy az eredmények megfelelően reprezentálják a valóságot. 15 fa mellől gyűjtöttem 2-2 mintát, a következő fafajokat vizsgálva:

- csertölgy (*Quercus cerris*) (2 db fa mellől)
- erdeifenyő (*Pinus sylvestris*) (3 db fa mellől)
- fehér akác (*Robinia pseudoacacia*) (2 db fa mellől)
- kocsánytalan tölgy (*Quercus petraea*) (2 db fa mellől)
- mezei juhar (*Acer campestre*) (3 db fa mellől)
- vörös tölgy (*Quercus rubra*) (3 db fa mellől)

A mintavételezés Pürkhauer talajmintavevővel történt és a mintákat még aznap műanyag zárható tasakokban a hűtőszekrénybe raktam.

### 3.3. A mikorrhiza gombákkal kapcsolatban álló, kiválasztott faegyedek jellemzői

A vizsgálatokhoz kiválasztott fák, Bodolay Zsolttól és Karádi Anettől megkapott főbb adatait táblázatokba rendeztem. Ezek az adatok azért fontosak, mert a kísérletek megismételhetőségét segítik elő, akár ugyan azoknál a fáknál egy sok évvel későbbi összehasonlításhoz, vagy más erdőkben végzendő kísérletekhez, hasonló tulajdonságú egyedek kiválasztásánál. A táblázatok fafajonként vannak egymás mellé rendezve, a könnyebb olvashatóság érdekében. További segítségnek itt felsorolom a különböző kiválasztott faegyedeket és az erdőrészteket, amikben megtalálhatóak:

KTT1: 102/B                      KTT2-3: 102/E                      MJ1-3: 102/E                      A1-3: 102/D  
 EF1-3: 102/D                      CS1: 102/E                      CS2-3: 102/F                      VT1-3: 103/D

#### Csertölgy (*Quercus cerris*) táblázatok (3. táblázat) (4. táblázat):

3. táblázat: Csertölgy fa adatok

Minta azonosítója:	GÖD – FAC – CS2	
Koordináták:	47.592843	19.372679
Mintavétel ideje:	2022.07.06.	
Mintavétel helye:	Gödöllői Fácános erdő	
Mintázott fa faja:	csertölgy	
Mellmagassági kerület:	146 cm	
Magasság:	20,2 m	
Mintavétel tájolása:	jelölve	
Egészségi állapot (1-5):	5	
Környezetének leírása:	domináns	
Megjegyzés a mintavétellel kapcsolatban:		

4. táblázat: Csertölgy fa adatok

Minta azonosítója:	GÖD – FAC – CS3	
Koordináták:	47.592606	19.372496
Mintavétel ideje:	2022.07.06	
Mintavétel helye:	Gödöllői Fácános erdő	
Mintázott fa faja:	csertölgy	
Mellmagassági kerület:	169 cm	
Magasság:	20,2 m	
Mintavétel tájolása:	jelölve	
Egészségi állapot (1-5):	5	
Környezetének leírása:	domináns	
Megjegyzés a mintavétellel kapcsolatban:		



**Erdeifenyő (*Pinus sylvestris*) táblázatok (5. táblázat) (6. táblázat) (7. táblázat):**

5. táblázat: Erdeifenyő adatok

Minta azonosítója:	GÖD – FAC – EF1	
Koordináták:	47.591949	19.375602
Mintavétel ideje:	2022.07.06	
Mintavétel helye:	Gödöllői Fácános erdő	
Mintázott fa faja:	erdeifenyő	
Mellmagassági kerület:	100 cm	
Magasság:	12 m	
Mintavétel tájolása:		
Egészségi állapot (1-5):	3 / 4 (alsó ágak hiányoznak)	
Környezetének leírása:	domináns	
Megjegyzés a mintavétellel kapcsolatban:		

6. táblázat: Erdeifenyő adatok

Minta azonosítója:	GÖD – FAC – EF2	
Koordináták:	47.591905	19.375361
Mintavétel ideje:	2022.07.06	
Mintavétel helye:	Gödöllői Fácános erdő	
Mintázott fa faja:	erdeifenyő	
Mellmagassági kerület:	100 cm	
Magasság:	17,6 m	
Mintavétel tájolása:		
Egészségi állapot (1-5):	4	
Környezetének leírása:	domináns	
Megjegyzés a mintavétellel kapcsolatban:		

7. táblázat: Erdeifenyő adatok

Minta azonosítója:	GÖD – FAC – EF3	
Koordináták:	47.591872	19.375537
Mintavétel ideje:	2022.07.06	
Mintavétel helye:	Gödöllői Fácános erdő	
Mintázott fa faja:	erdeifenyő	
Mellmagassági kerület:	92 cm	
Magasság:	16,8 m	
Mintavétel tájolása:		
Egészségi állapot (1-5):	4 (ágak hiányoznak)	
Környezetének leírása:	domináns	
Megjegyzés a mintavétellel kapcsolatban:		

**Fehér akác (*Robinia pseudoacacia*) táblázatok (8. táblázat) (9. táblázat):**

8. táblázat: Fehér akácfa adatok

Minta azonosítója:	GÖD – FAC – A1	
Koordináták:	47.591895	19.375501
Mintavétel ideje:	2022.07.06	
Mintavétel helye:	Gödöllői Fácános erdő	
Mintázott fa faja:	akác	
Mellmagassági kerület:	90 cm	
Magasság:	13,4 m	
Mintavétel tájolása:		
Egészségi állapot (1-5):	4 (néhány száraz ág)	
Környezetének leírása:	domináns	
Megjegyzés a mintavétellel kapcsolatban:		

9. táblázat: Fehér akácfa adatok

Minta azonosítója:	GÖD – FAC – A2	
Koordináták:	47.591836	19.375317
Mintavétel ideje:	2022.07.06	
Mintavétel helye:	Gödöllői Fácános erdő	
Mintázott fa faja:	akác	
Mellmagassági kerület:	100 cm	
Magasság:	13,2 m	
Mintavétel tájolása:		
Egészségi állapot (1-5):	3 / 4 (néhány száraz ág + borostyán)	
Környezetének leírása:	domináns	
Megjegyzés a mintavétellel kapcsolatban:		

**Kocsánytalan tölgy (*Quercus petraea*) táblázatok (10. táblázat) (11. táblázat):**

10. táblázat: Fehér akácfa adatok

Minta azonosítója:	GÖD – FAC – KTT2	
Koordináták:	47.591615	19.373381
Mintavétel ideje:	2022.07.06	
Mintavétel helye:	Gödöllői Fácános erdő	
Mintázott fa faja:	kocsánytalan tölgy	
Mellmagassági kerület:	160 cm	
Magasság:	15,6 m	
Mintavétel tájolása:	jelölve	
Egészségi állapot (1-5):	4 / 5 (borostyán)	
Környezetének leírása:	szociális helyzete: domináns Tősarj eredet, alacsony elágazás	
Megjegyzés a mintavétellel kapcsolatban:		

11. táblázat: Fehér akácfa adatok

Minta azonosítója:	GÖD – FAC – KTT3	
Koordináták:	47.591536	19.374105
Mintavétel ideje:	2022.07.06	
Mintavétel helye:	Gödöllői Fácános erdő	
Mintázott fa faja:	Kocsánytalan tölgy	
Mellmagassági kerület:	260 cm	
Magasság:	15,6 m	
Mintavétel tájolása:	jelölve	
Egészségi állapot (1-5):	5	
Környezetének leírása:	domináns	
Megjegyzés a mintavétellel kapcsolatban:		

**Mezei juhar (*Acer campestre*) táblázatok** (12. táblázat) (13. táblázat) (14. táblázat):

12. táblázat: Mezei juhar adatok

Minta azonosítója:	GOD – FAC – MJ1	
Koordináták:	47.592262	19.374361
Mintavétel ideje:	2022.07.06	
Mintavétel helye:	Gödöllői Fácános erdő	
Mintázott fa faja:	mezei juhar	
Mellmagassági kerület:	55 cm	
Magasság:	7,2 m	
Mintavétel tájolása:	jelölve	
Egészségi állapot (1-5):	5	
Környezetének leírása:	alászorult	
Megjegyzés a mintavétellel kapcsolatban:		

13. táblázat: Mezei juhar adatok

Minta azonosítója:	GOD – FAC – MJ2	
Koordináták:	47.592203	19.374261
Mintavétel ideje:	2022.07.06	
Mintavétel helye:	Gödöllői Fácános erdő	
Mintázott fa faja:	mezei juhar	
Mellmagassági kerület:	126 cm	
Magasság:	14,8 m	
Mintavétel tájolása:	jelölve	
Egészségi állapot (1-5):	4	
Környezetének leírása:	domináns	
Megjegyzés a mintavétellel kapcsolatban:	minta beszorult, eltört belül, nem jött ki az egész	

14. táblázat: Mezei juhar adatok

Minta azonosítója:	GOD – FAC – MJ3	
Koordináták:	47.592415	19.374094
Mintavétel ideje:	2022.07.06	
Mintavétel helye:	Gödöllői Fácános	
Mintázott fa faja:	mezei juhar	
Mellmagassági kerület:	132 cm	
Magasság:	14,2 m	
Mintavétel tájolása:	jelölve	
Egészségi állapot (1-5):	3 (bélkorhadt)	
Környezetének leírása:	domináns, de erősen verseng a körülöttük levőkkel dominancia nem teljesen tisztázott	
Megjegyzés a mintavétellel kapcsolatban:		

**Vörös tölgy (*Quercus rubra*) táblázatok (15. táblázat) (16. táblázat) (17. táblázat):**

15. táblázat: Vörös tölgy adatok

Minta azonosítója:	GÖD – FAC – VT1	
Koordináták:	47.591581	19.372312
Mintavétel ideje:	2022.07.06	
Mintavétel helye:	Gödöllői Fácános erdő	
Mintázott fa faja:	vörös tölgy	
Mellmagassági terület:	107 cm	
Magasság:	19,8 m	
Mintavétel tájolása:	jelölve	
Egészségi állapot (1-5):	5	
Környezetének leírása:	szociális helyzete: domináns	
Megjegyzés a mintavétellel kapcsolatban:		

16. táblázat: Vörös tölgy adatok

Minta azonosítója:	GÖD – FAC – VT2	
Koordináták:	47.591514	19.372582
Mintavétel ideje:	2022.07.06	
Mintavétel helye:	Gödöllői Fácános erdő	
Mintázott fa faja:	vörös tölgy	
Mellmagassági terület:	105 cm	
Magasság:	18,5 m	
Mintavétel tájolása:	jelölve	
Egészségi állapot (1-5):	4 / 5 (borostyán)	
Környezetének leírása:	szociális helyzete: domináns	
Megjegyzés a mintavétellel kapcsolatban:		

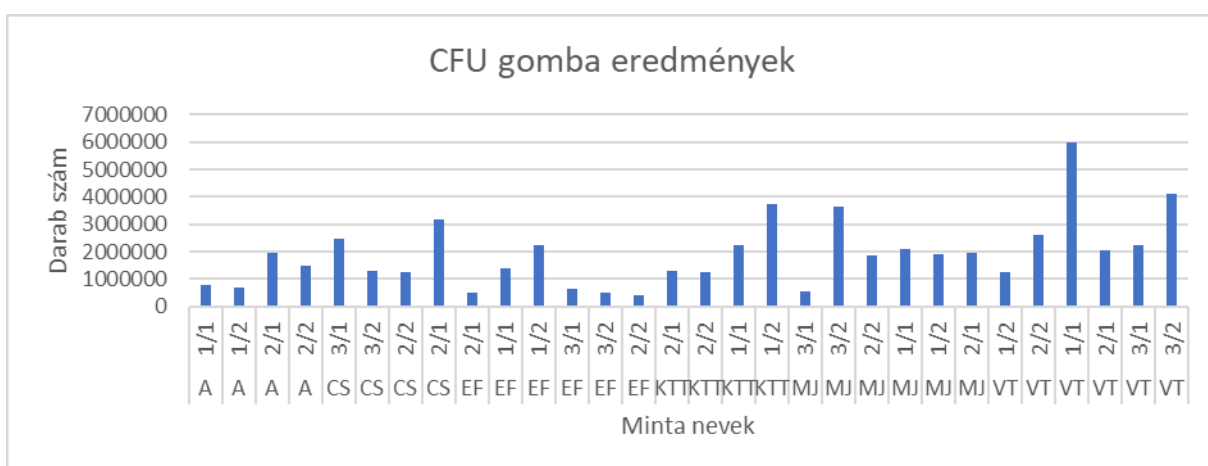
17. táblázat: Vörös tölgy adatok

Minta azonosítója:	GÖD – FAC – VT3	
Koordináták:	47.591083	19.372558
Mintavétel ideje:	2022.07.06	
Mintavétel helye:	Gödöllői Fácános erdő	
Mintázott fa faja:	vörös tölgy	
Mellmagassági terület:	123 cm	
Magasság:	17 m	
Mintavétel tájolása:	jelölve	
Egészségi állapot (1-5):	4 / 5 (borostyán)	
Környezetének leírása:	szociális helyzete: domináns eredendően alászorult egyed Lékben alakult tovább	
Megjegyzés a mintavétellel kapcsolatban:		

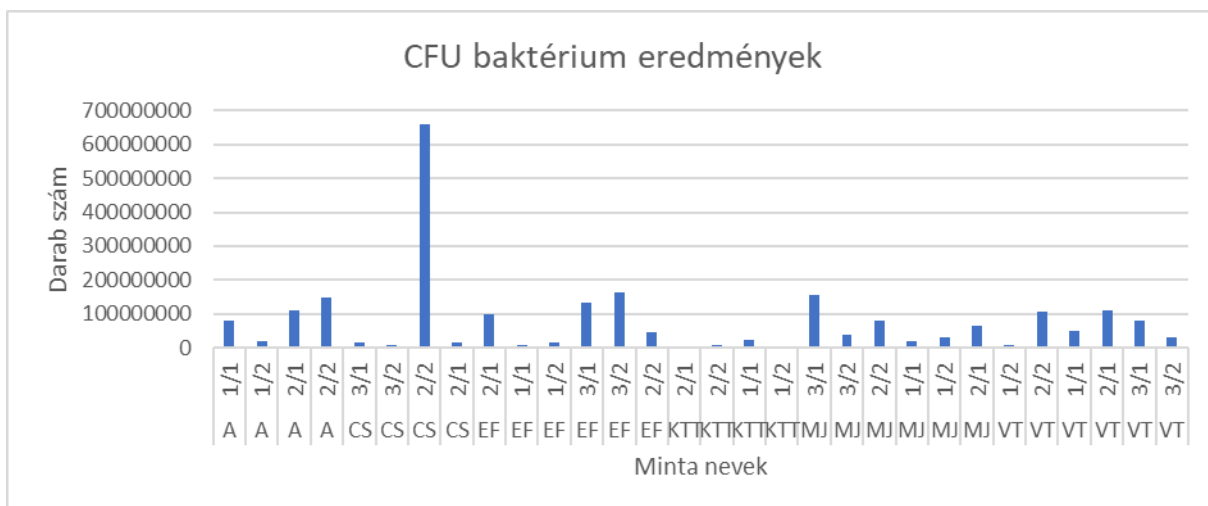
## 4. EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK

### 4.1.1. Tenyésztéses (CFU) gomba és baktérium vizsgálat eredményei és összevetésük

Az alábbi két diagramon (12-13. ábra) látható, hogy a minták nagy része átlépi a gomba esetében a 100.000 db és baktérium esetében a 100.000.000 db nemzetközi minimum számát 1 gramm talajmintára nézve (Http5). Így a további, mikorrhiza állomány vizsgálatához szükséges mikrobiológiai aktivitás felméréséhez kiválasztott kísérleteket elvégeztem (invertáz enzim aktivitás, dehidrogenáz enzim aktivitás és fluoreszcein-diacetát enzimaktivitás).

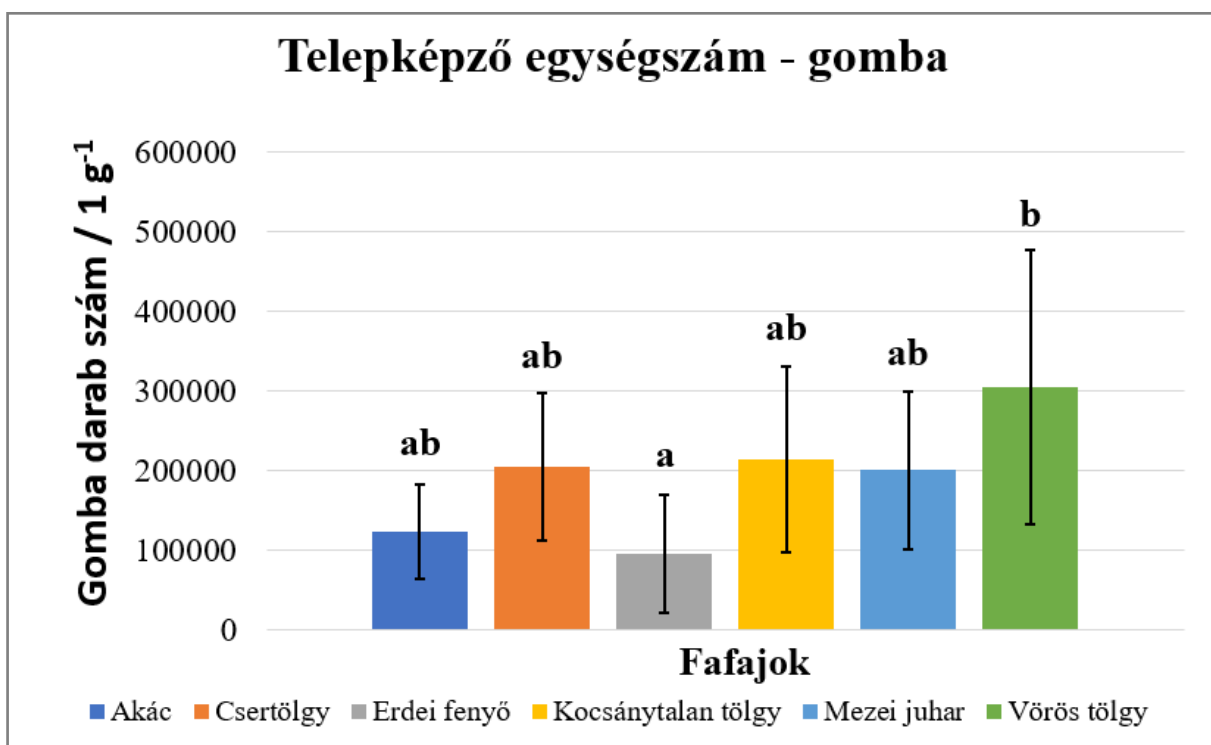


12. ábra: A tenyésztéses (CFU) gomba vizsgálat eredményei



13. ábra: A tenyésztéses (CFU) baktérium vizsgálat eredményei

A fajok közötti mikorrhiza állományok eltéréseinek felméréséhez az azonos fajhoz tartozó minták eredményeit átlagoltam, majd szórás számítást végeztem rajtuk. Az eltérések megfigyeléséhez egytényezős varianciaanalízissel számoltam, amivel 95%-os konfidencia intervallum mellett a szignifikancia viszonyokat határoztam meg. Az eltéréseket a, ab, b, ac, bc, c stb. betűkkel jelöltem, ahol az azonos betűk vagy betűket tartalmazó betűkombinációkkal jelölt fajok egymástól szignifikánsan nem térnek el. Példa: 1.faj(ab), 2.faj(a), 3.faj(b) esetében az első és második faj nem rendelkezik eltérő adatokkal, illetve az első és harmadik faj sem rendelkezik különösebben eltérő adatokkal, de a második és harmadik faj adatai már eltérést mutatnak egymástól. Az alábbi diagramokon (14. ábra) (15. ábra) a gomba és baktérium CFU vizsgálatok fajokra nézett szórása és betűkkel jelölt szignifikancia viszonyai láthatóak.

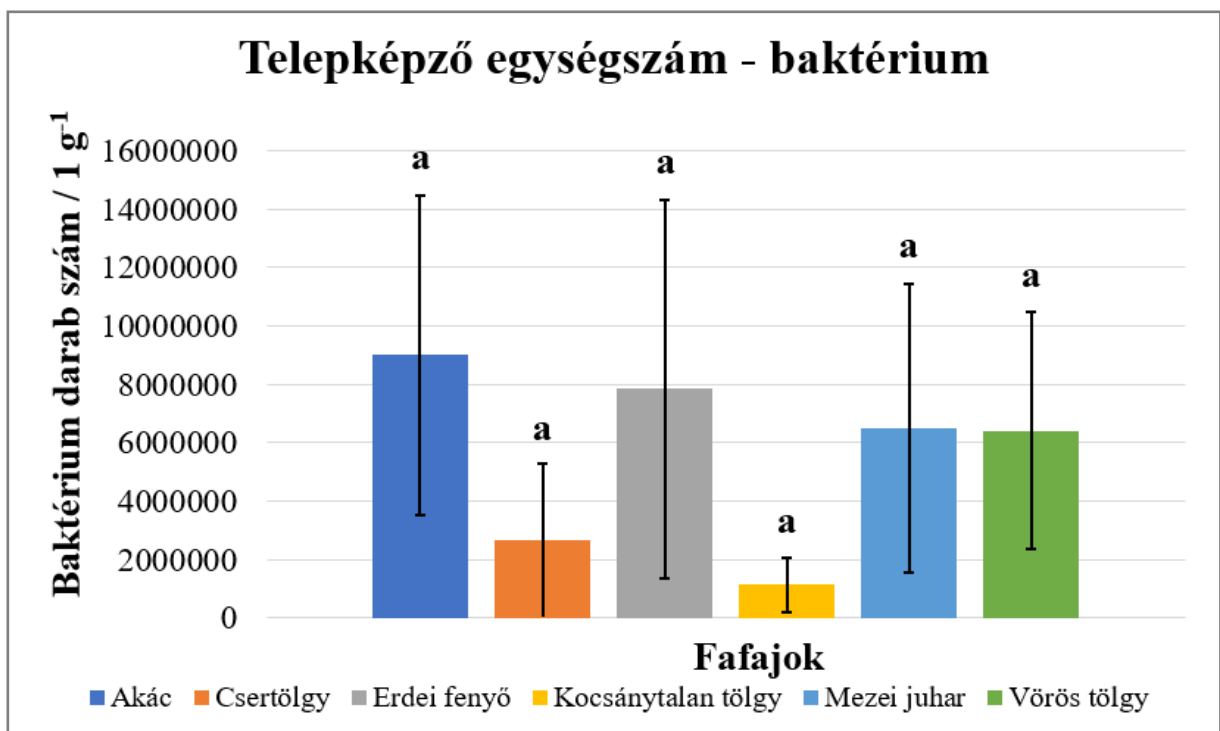


14. ábra: A gomba CFU tenyésztéses vizsgálat eredményeinek szórása

A diagramon látható, hogy az akác, a csertölgy, a kocsánytalan tölgy és a mezei juhar között nincs szignifikáns eltérés, ami azt jelenti, hogy a rizoma-talajmintáikban hasonló mennyiségű gomba van jelen. Az egyetlen eltérés az erdeifenyő és a vörös tölgy között van, ami azt jelenti, hogy a környezetükben megtalálható gomba szám mértéke egymástól eltérő. Az erdeifenyő és a vörös tölgy sem mutat szignifikáns eltérést a többi fajtól. Ebből az tudható meg, hogy az erdeifenyő és a vörös tölgy alkothatják a két végletet a gombaszám

mértéke szempontjából a vizsgált fajok esetében, ami jól is látható a diagramon (14. ábra). Ugyanis az erdeifenyő rendelkezik a legkisebb gombaszámmal, míg a vörös tölgy a legtöbbel.

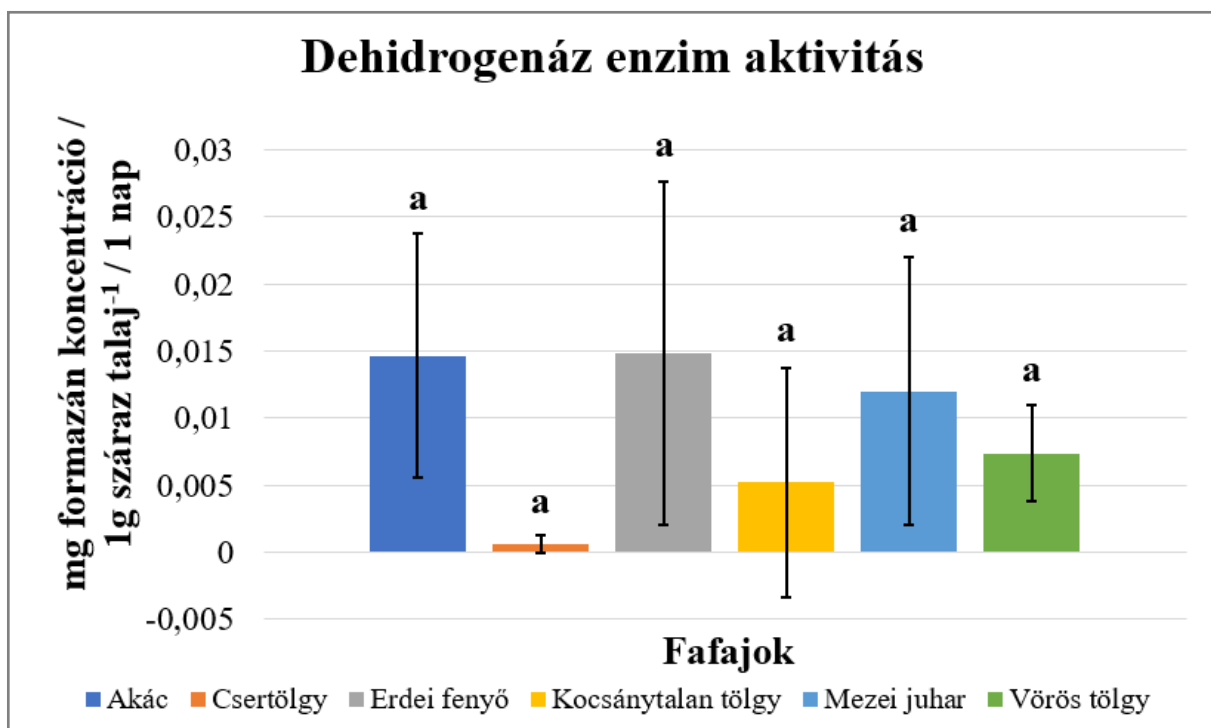
A gombákkal ellentétben, a baktériumok esetében, a diagramon (15. ábra) látható, hogy nincs szignifikáns eltérés az egyes fajok adatai között, hiszen mindegyik 'a' betűjelet kapott. Tehát a különböző fajok rizoma-talajából vett mintákban hasonló mértékű baktérium szám van.



15. ábra: A baktérium CFU tenyésztéses vizsgálat eredményeinek szórása

#### 4.1.2. Dehidrogenáz enzim aktivitás mérési eredményei és összevetésük

A dehidrogenáz enzim eredményeinek szórása az alábbi diagramon (16. ábra) láthatóak. A fajok közti mikorrhizza állományok eltéréseinek felméréséhez az azonos fajhoz tartozó minták eredményeit átlagoltam, majd szórásszámítást végeztem rajtuk. Az eltérések megfigyeléséhez egytényezős varianciaanalízissel számoltam, amivel 95%-os konfidencia intervallum mellett a szignifikancia viszonyokat határoztam meg. Az eltéréseket a, ab, b, ac, bc, c stb betűkkel jelöltem, ahol az azonos betűk vagy betűket tartalmazó betűkombinációkkal jelölt fajok egymástól szignifikánsan nem térnek el. Példa: 1.faj(ab), 2.faj(a), 3.faj(b) esetében az első és második faj nem rendelkezik eltérő adatokkal, illetve az első és harmadik faj sem rendelkezik különösebben eltérő adatokkal, de a második és harmadik faj adatai már eltérést mutatnak egymástól. Az alábbi diagramon (16. ábra) a dehidrogenáz enzim vizsgálatok fajokra nézett szórása és betűkkel jelölt szignifikancia viszonyai láthatóak.



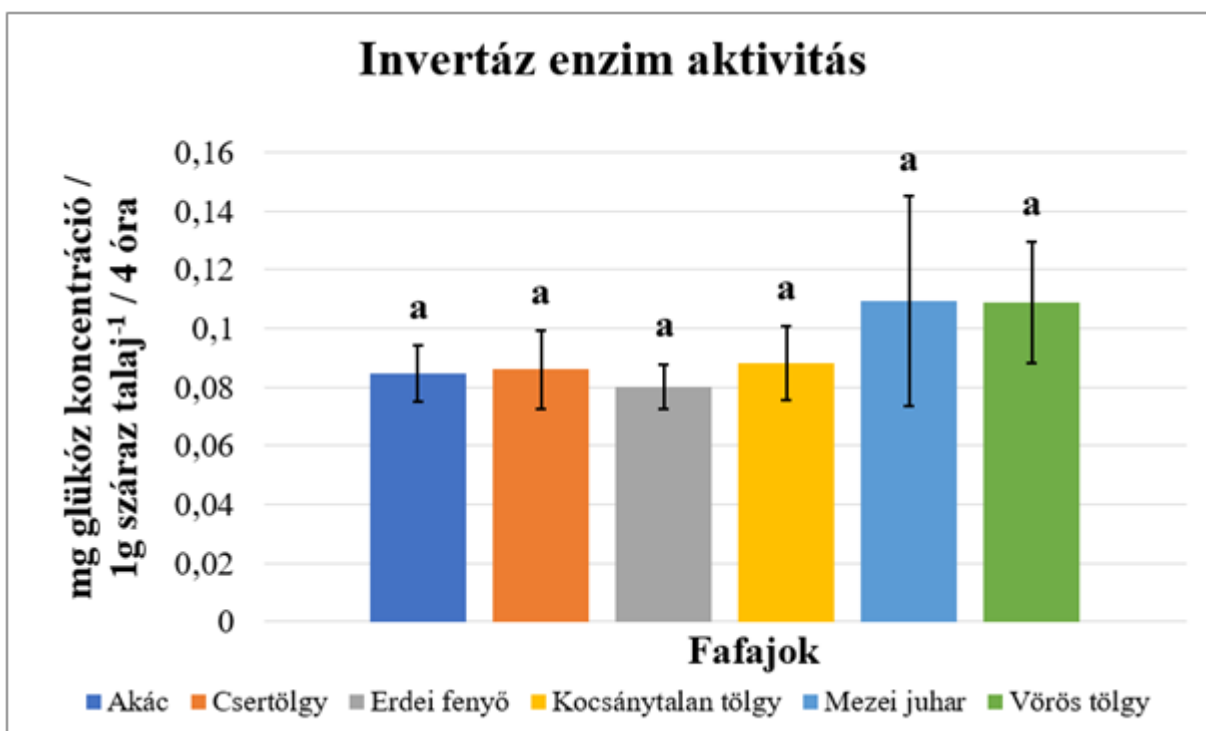
16. ábra: A dehidrogenáz enzim aktivitás vizsgálat eredményeinek szórása

A diagramon látható, hogy nincs szignifikáns eltérés az egyes fajok adatai között, mert mindegyik 'a' betűjelet kapott. A különböző fajok rizoszféra talajából vett mintákban így hasonló mértékű a biológiai aktivitás mértéke és ezzel együtt a mikorrhiza állomány nagysága is.



#### 4.1.3. Invertáz enzim aktivitás mérési eredményei és összevetésük

Az invertáz enzim eredményeinek szórása az alábbi diagramon (17. ábra) láthatóak. A fajok közti mikorrhiza állományok eltéréseinek felméréséhez az azonos fajhoz tartozó minták eredményeit átlagoltam, majd szórásszámítást végeztem rajtuk. Az eltérések megfigyeléséhez egytényezős varianciaanalízissel számoltam, amivel 95%-os konfidencia intervallum mellett a szignifikancia viszonyokat határoztam meg. Az eltéréseket a, ab, b, ac, bc, c stb betűkkel jelöltem, ahol az azonos betűk vagy betűket tartalmazó betűkombinációkkal jelölt fajok egymástól szignifikánsan nem térnek el. Példa: 1.faj(ab), 2.faj(a), 3.faj(b) esetében az első és második faj nem rendelkezik eltérő adatokkal, illetve az első és harmadik faj sem rendelkezik különösebben eltérő adatokkal, de a második és harmadik faj adatai már eltérést mutatnak egymástól. Az alábbi diagramokon (17. ábra) a dehidrogenáz enzim vizsgálatok fajokra nézett szórása és betűkkel jelölt szignifikancia viszonyai láthatóak.

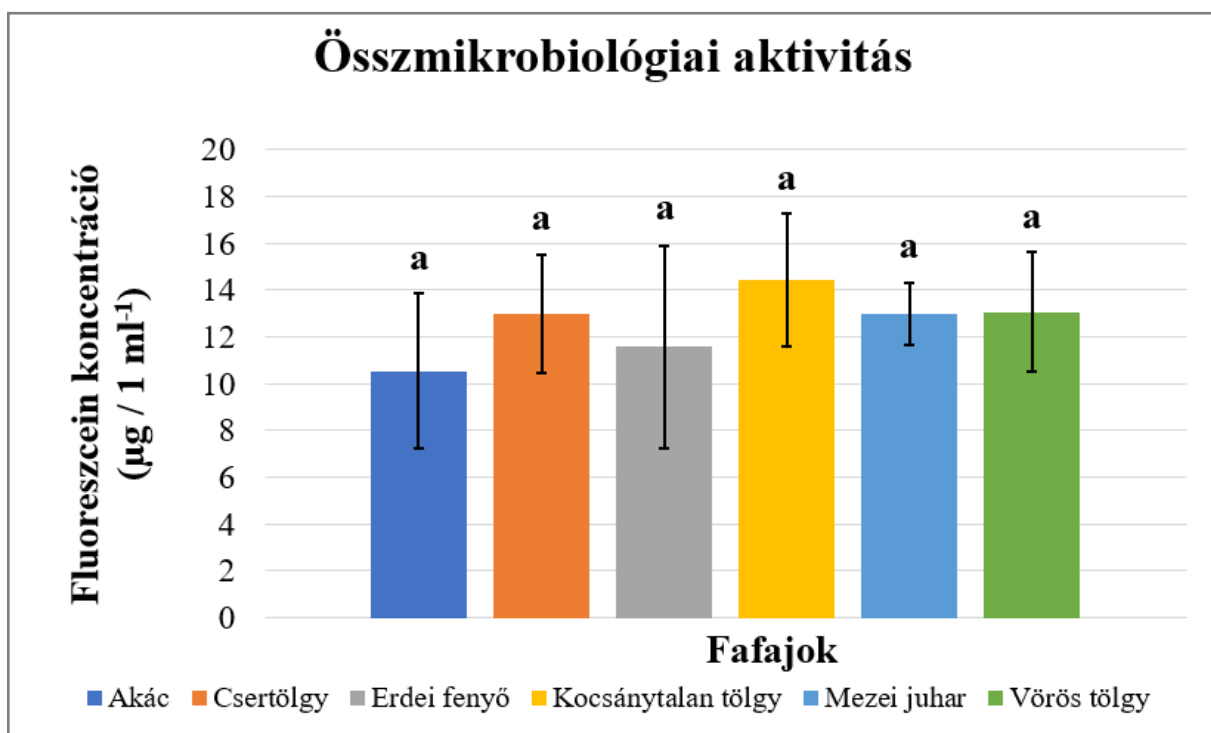


17. ábra: Az invertáz enzim aktivitás vizsgálat eredményeinek szórása

A diagramon látható, hogy nincs szignifikáns eltérés az egyes fajok adatai között, mert mindegyik 'a' betűjelet kapott. A különböző fajok rizoma-talajából vett mintákban így hasonló mértékű a biológiai aktivitás mértéke és ezzel együtt a mikorrhiza állomány nagysága is.

#### 4.1.4. FDA mérési eredményei és összevetésük

Az FDA eredményeinek szórása az alábbi diagramon (18. ábra) láthatóak. A fajok közötti mikorrhiza állományok eltéréseinek felméréséhez az azonos fajhoz tartozó minták eredményeit átlagoltam, majd szórásszámítást végeztem rajtuk. Az eltérések megfigyeléséhez egytényezős varianciaanalízissel számoltam, amivel 95%-os konfidencia intervallum mellett a szignifikancia viszonyokat határoztam meg. Az eltéréseket a, ab, b, ac, bc, c stb betűkkel jelöltem, ahol az azonos betűk vagy betűket tartalmazó betűkombinációkkal jelölt fajok egymástól szignifikánsan nem térnek el. Példa: 1.faj(ab), 2.faj(a), 3.faj(b) esetében az első és második faj nem rendelkezik eltérő adatokkal, illetve az első és harmadik faj sem rendelkezik különösebben eltérő adatokkal, de a második és harmadik faj adatai már eltérést mutatnak egymástól. Az alábbi diagramokon (18. ábra) a dehidrogenáz enzim vizsgálatok fajokra nézett szórása és betűkkel jelölt szignifikancia viszonyai láthatóak.



18. ábra: Az FDA vizsgálat eredményeinek szórása

A diagramon látható, hogy nincs szignifikáns eltérés az egyes fajok adatai között, mert mindegyik 'a' betűjelet kapott. A különböző fajok rizoszféra-talajából vett mintákban így hasonló mértékű a biológiai aktivitás mértéke és ezzel együtt a mikorrhiza állomány nagysága is.

## 5. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK

Az eredmények azt mutatják, hogy a CFU gombaszámnál van egy minimális eltérés azonban a több, mikrobiológiai aktivitás mérésére elvégzett kísérletnél összességében nincs szignifikáns eltérés a megvizsgált fajok között. Ez arra utal, hogy a kivételesen nagy szárazság ellenére sem borult fel az erdő ökoszisztémája, nem keletkeztek kiszáradási foltok az erdő vizsgált részein és a fák továbbra is hasonló nagyságrendű mikorrhiza közösséggel, valamint a rizoszféra hasonló talajmikrobiológiai aktivitással jellemezhető.

Ez természetvédelmi szempontból jelentős, hiszen az erdő, mint összefüggő élőszervezet erős és számos más faj számára biztonságot tud nyújtani, még az extrém körülmények ellenére is.

Ugyancsak jelentős, hogy az egyes erdőrészeket első vagy másodlagos rendeltetés szerint sok esetben parkerdő rendeltetéssel látták el. A 2019-es Covid19 világ járvány okozta rekreációs célú helyek iránti megnövekedett igény miatt, és a biológiai sokféleség, köztük az erős mikorrhiza állomány fennmaradása érdekében, javaslom ezt a parkerdő rendeltetést megtartani és a jövőben az örökerdő üzemmódra átállítani.

Kutatási szempontból érdemes lenne vizsgálni, hogy az olyan táj- és termőhelyidegen fajok, mint a fehér akác, a feketefenyő és a vörös tölgy hogyan viselkednek a különböző őshonos tölgyek, a gyertyán és a mezei juhar mellett. Javaslom tehát a fák növekedésének, állapotának, egymás melletti reakcióinak behatóbban végzendő vizsgálatát, akár növedékfűrés vagy más kísérleti módszerek segítségével is.

Továbbá javaslom a mikrobiom vizsgálatok folytatását, hogy még részletesebb képet lehessen kapni a különböző, egymás mellett élő fajokhoz kapcsolódó mikroszervezetekről. Illetve amennyiben a mikrobiom változtatásának szándéka fennáll, például felüloltás, akkor azt semmiképpen se tegyük, ameddig nem értünk hozzá teljes mértékben, és ha értünk is, akkor is csak különös óvatossággal szabad eljárni, hiszen ez egy rendkívül összetett rendszer.

## 6. ÖSSZEFOGLALÁS

Napjainkban az erdővédelem fontosabbá vált, mint eddig valaha, ugyanis a bolygó népességének növekedéséből adódóan egyre nagyobb a faanyag felhasználás, illetve a 2019-es Covid19 járvány miatt az embereknek nagy szüksége van a rekreációs helyekre. A régimódi erdőkezelések és ültetvénynevelések sok esetben kimerítik a talajt, elpusztítják a fákkal szimbiózisban élő mikorrhiza gombaközösségeket, ami miatt hosszútávon kevesebb lesz a fahozam és a természetes jellegű erdők is leromlanak. Ezért célszerű vagy az ültetéskor mikorrhiza gombákkal beoltani a fákat, hogy ellenállóbbak legyenek a betegségekkel, külső viszontagságokkal szemben és magasabb fahozammal szolgáljanak vagy olyan erdőkezelési módszereket választani, aminél favágás esetén a mikorrhiza állomány gyorsan tud regenerálódni, megtartva ezzel az erdőben fennálló természetes egyensúlyt. Az erdő egészségi állapotának felméréséhez és döntések meghozatalához érdemes megnézni, hogy milyen állapotban van a mikorrhiza állomány. Amennyiben erős a gombahálózat, akkor érdemes törekedni arra, hogy ez az állapot ne boruljon fel, mert ez azt jelenti, hogy az erdő sok élőlénynek tud otthont adni. Amennyiben gyenge, vagy például nagy eltérések vannak az inváziós növények miatt, akkor érdemes elgondolkodni azon, hogy hogyan lehet úgy alakítani az erdőt, hogy a gombahálózat megerősödjön és a biodiverzitás növekedni tudjon, amellet, hogy a társadalmi igényeket is ki tudjuk szolgálni.

A szakdolgozati kutatásom során négy kísérletet végeztem a Gödöllői Fácános erdőben, azzal a céllal, hogy felmérjem, milyen állapotban van az erdő egyes kiválasztott részleteinek, és kifejezetten fafajainak (csertölgy, kocsánytalan tölgy, mezei juhar, erdeifenyő, fehér akác, vörös tölgy) mikorrhiza állománya. A több éves mikorrhiza kutatási projektekhez mérten rendelkezésre álló kevés idő és az erőforrások hiánya miatt mikrobiológiai aktivitást mértem. A fafajok egymáshoz viszonyított mikrobiológiai aktivitása megmutatja a mikorrhiza gombáik egymáshoz viszonyított helyzetét.

Az eredmények azt mutatják, hogy a szélsőségesen száraz év hatása ellenére sincs szignifikáns eltérés a különböző fafajok mikorrhiza állománya között, tehát az erdő mikorrhiza közössége erős. Az állami tulajdonú, természetvédelmi oltalom alatt nem álló, de a Natura2000 hálózatnak részét képező erdő részleteinek elsődleges rendeltetése sok esetben parkerdő. A Covid19 járvány óta megnövekedett rekreációs célok iránti igény és az erdő erős mikorrhiza gomba állományára való tekintettel javaslom, hogy tartsák meg az eddigi elsődleges rendeltetéseket és a későbbiekben álljanak át örökerdő üzemmódra. A terület mikrobiomjában ne okozzanak változást, vagy azt különös óvatossággal tegyék.

## **7. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS**

Köszönettel tartozom mindazoknak, akik segítettek abban, hogy szakdolgozatom létrejöhessen. Hálásan köszönöm Dr. Saláta Dénes konzulensemnek, aki segített a mintavételezésben, adatgyűjtésben, irodalom áttekintésben és számos részlet kidolgozásában. Hálásan köszönöm Dr. Mayer Zoltán konzulensemnek, aki koordinálta a laborkísérleteket és segített a mikrobiológiai vizsgálatok megfelelő elvégzésében. Köszönettel tartozom Bucsai Csaba konzulensemnek, aki az erdő adatok begyűjtésében segített és Gódor Imréné laboránsnak, aki a kísérletek előkészítésével járult hozzá szakdolgozatomhoz. Köszönettel tartozom Bodolay Zsolt és Karádi Anett szaktársaimnak, amiért rendelkezésemre bocsátották az általuk vizsgált fák alapadatait.

## 8. IRODALOMJEGYZÉK

### Folyóirat cikkek

- Alef, K. (1995): Estimation of microbial activities. Dehydrogenase activity, In: Alef, K & Nannipieri, P. (Eds) *Methods in Applied Soil Microbiology and Biochemistry*, Academic Press London, UK, 228–231 p.
- Anton A. (1985): A talajenzimek szerepe a talaj anyagforgalmában. *Agrokémia és Talajtan*, 34, 475–485 p.
- Barna T. (2000): A mikorrhizák szerepe a csemetekerti növényvédelemben, a talajlakó kórokozókkal szemben. *Kutatói nap: tudományos eredmények a gyakorlatban 2000: 27-32 p.*
- Barna T. (2007): Experimental use of controlled mycorrhization in afforestations in Hungary. *Annals of the Faculty of Engineering Hunedoara – International Journal of Engineering* 5(1): 171-178 p.
- Berki I. (1999): Az erdők tápanyagellátása In Fülek (1999), 536-559 p.
- Bokor R. (1943): A mykorrhiza-kérdés erdőgazdasági vonatkozásai. *Erdészeti Lapok* 82(8-9)
- Bratek Z. – Jakucs E. – Bóka K. – Szedlay G. (1996): Mycorrhizae between black locust (*Robinia pseudoacacia*) and *Terfezia terfezioides*. *Mycorrhiza* 6: 271-274 p.
- Brundett M., Bougher N., Duell B., Malajczuk N. (1996): Working with Mycorrhizas in Forestry and Agriculture, ACIAR Monograph No.32, ACIAR Monograph Series, CSIRO Publishing, Australia, 374 p.
- Callaway, R.M. – Bedmar, E.J. – Reinhart, K.O. – Silvan, C.G. – Klironomos, J.N. (2011): Effects of soil biota from different ranges on *Robinia* invasion: acquiring mutualists and escaping pathogens. *Ecology* 92: 1027-1035 p.
- Chen, S. – Sun, J. – Hawighorst, P. – Polle, A. (2014): Salt tolerance in *Populus*: Significance of stress signaling networks, mycorrhization, and soil amendments for cellular and whole-plant nutrition. *Environmental and Experimental Botany* 107: 113-124 p.
- Demény K. (2007): a Gödöllői-dombság általános bemutatása. *Tájökológiai Lapok* 5 (2): 214 p.
- Endresz G. – Kalapos T. (2013): A talaj arbuszkuláris mikorrhiza gomba közösségének szerepe a növényi invázióban. *Természetvédelmi Közlemények* 19: 1-14 p.
- Foulon, J. – Zappellini, C. – Durand, A. – Valot, B. – Girardclos, O. – Chalot, M. – Blaudez, D. (2016): Environmental metabarcoding reveals contrasting microbial communities at two poplar phytomanagement sites. *Science of the Total Environment* 571: 1230-1240 p.
- Frank A.B. (1885): Über die auf Wurzelsymbiose beruhende Ernährung gewisser Bäume durch unterirdische Pilze, Dresden, Deutschland, 128–145 p.
- Harley, J.L. – Harley, E.L. (1987): A check-list of mycorrhiza in the British flora. *New Phytol.* 105: S1-S102.
- He, F. – Sheng, M. – Tang, M. (2017): Effects of *Rhizophagus irregularis* on photosynthesis and antioxidative enzymatic aystem in *Robinia pseudoacacia* L. under drought stress. *Frontiers in Planet Science* 8: 183 p.
- He, F. – Tang, M. – Zhong, S.L. – Yang, R. – Huang, L. – Zhang, H.Q. (2016): Effects of soil and climatic factors on arbuscular mycorrhizal fungi in rhizosphere soil under *Robinia pseudoacacia* in the Loess Plateau, China. *European Journal of Soil Science* 67(6): 847-856 p.

- Jakucs E – Csiha I. (2002-2004): Ektomikorrhiza vizsgálatok alföldi tölgyesekben. – Erdészeti kutatások91: 40-46 p.
- Jakucs E. – Agerer, R. (1999a): *Scleroderma bovista* Fr. + *Populus alba* L. Descriptions of Ectomycorrhizae 4: 121-126 p.
- Jakucs E. – Agerer, R. (1999b): *Tomentella pilosa* (Burt.) Bourdot & Galzin + *Populus alba* L. Descriptions of Ectomycorrhizae 4: 121-126 p.
- Jakucs E. – Agerer, R. (2001): *Tomentella subtestacea* Bourdot & Galzin + *Populus alba* L. Descriptions of Ectomycorrhizae 5: 213-219 p.
- Jakucs E. – Kovács G.M. – Agerer, R. – Romsics Cs. – Erős-Honti Zs. (2005a): Morphological-anatomical characterization and molecular identification of *Tomentella stiposa* ectomycorrhizae and related anatomotypes. *Mycorrhiza* 15: 247-258 p.
- Jakucs E. – Kovács G.M. – Szedlay Gy. – Erős-Honti Zs. (2005b): Morphological and molecular diversity and abundance of tomentelloid ectomycorrhizae in broad-leaved forests of the Hungarian Plain. *Mycorrhiza* 15: 459-470 p.
- Jakucs E. – Majoros É. – Beenken L. (2001): *Lactarius controversus* Pers. + *Populus alba* L. Descriptions of Ectomycorrhizae 5: 55-59 p.
- Jakucs E. (2002): Ectomycorrhizae of *Populus alba* L. in South Hungary. *Phyton* 42: 199-210 p.
- Jakucs E. (2003): A mikorrhizák erdészeti alkalmazásának perspektívái és veszélyei. *Erdészeti Lapok* 138(5): 136-137 p.
- Jakucs E. (2009): A föld alatti gombavilág titkai, *Természet Világa* 140. évfolyam 9. szám [2009. szeptember], 413-415 p.
- Karliński, L. – Rudawska, M. – Leski, T. (2013): The influence of host genotype and soil conditions on ectomycorrhizal community of poplar clones. *European Journal of Soil Biology* 58: 51-58 p.
- Kiss L. (1965): Rovarölőszerek hatása mikorriza gombákra. *Az erdő* 14(4): 153-157 p.
- Kovács G.M. – Bagi I. (2001): Mycorrhizal status of a mixed deciduous forest from the Great Hungarian Plain with special emphasis on the potential mycorrhizal partners of *Terfezia terfezioides* (Matt.) TRAPPE. *Phyton* 41: 161-168 p.
- Kovács G.M. – Jakucs E. (2006): Morphological and molecular comparison of white truffle ectomycorrhizae. *Mycorrhiza* 16: 567-574 p.
- Kovács G.M. – Szigetvári Cs. (2002): Mycorrhizae and other root-associated fungal structures of the plants of a sandy grassland on the Great Hungarian Plain. *Phyton* 42: 211-223 p.
- Kovács M.G. – Bagi I. (2001): Mycorrhizal status of plants in a mixed deciduous forest from the Great Hungarian Plain with special emphasis on the potential mycorrhizal partners of *Terfezia terfezioides* (Matt.) Trappe (Pezizales) *Phyton*: 161-168 p.
- Kovács M.G. (2008): Magyarországi növények mikorrhizáltsági vizsgálatainak összefoglalása. Mit mondhatnak ezek az adatok? *Kitaibelia* 13(1): 62-73 p.
- Kutszegi G. – Papp V. (2016): Erdőgazdálkodási javaslatok a nagygombák funkcionális és faji sokféleségének megőrzésére In: Korda M. (szerk.): *Az erdőgazdálkodás hatása az erdők biológiai sokféleségére – Tanulmánygyűjtemény. Duna–Ipoly Nemzeti Park Igazgatóság, Budapest, 33-56 p.*

- Kutszegi G. – Siller I. – Dima B. – Takács K. – Merényi Zs. – Varga T. – Turcsányi G. – Bidló A. – Ódor P. (2015): Drivers of macrofungal species composition in temperate forests, West Hungary: functional groups compared. *Fungal Ecology* 17: 69–83 p.
- Lagomarsino, A. – Moscatelli, M.C. – Grego, S. – De Angelis, P. – Knapp, B.A. – Insam, H. (2007): Structural and functional diversity of soil microbes is affected by elevated [CO<sub>2</sub>] and N addition in a Poplar plantation. *Journal of Soils and Sediments* 7(6): 399-405 p.
- Mikanová, O., Kubát, J., Mikhailovskaya, N., Vörös, I., Bíró, B. (2001): Influence of heavy metal pollution on some soil-biological parameters in the alluvium of the Litavka river. *Rostlinna Vyroba*, 47: 117-122 p.
- Mukerji, K. G.; Manoharachary, C.; Singh, Jagjit (2006): Microbial Activity in the Rhizosphere Volume 7 || Bacterial Community Composition and Activity in Rhizosphere of Roots Colonized by Arbuscular Mycorrhizal Fungi. (Chapter 8): 139–154 p.
- Myrbäck K (1960): "Invertases". In Boyer PD, Lardy H, Myrbäck K (eds.). *The Enzymes*. Vol. 4 (2nd ed.). New York: Academic Press, US, 379–396 p.
- Olesniewicz K.S. – Thomas R.B. (1998): Effects of mycorrhizal colonization on biomass production and nitrogen fixation of black locust (*Robinia pseudoacacia*) seedlings grown under elevated atmospheric carbon dioxide. *The New Phytologist* 142(1): 133-140 p.
- Otgonsuren, B. – Rewald, B. – Godbold, D.L. – Göransson, H. (2016): Ectomycorrhizal inoculation of *Populus nigra* modifies the response of absorptive root respiration and root surface enzyme activity to salinity stress. *Flora: Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants* 224: 123-129 p.
- Pozo M.J., Cordier C., Dumas-Gaudot E. (2002): Localized versus systemic effect of arbuscular mycorrhizal fungi on defence responses to *Phytophthora* infection in tomato plants. *Journal of Experimental Botany*, 525-534. p
- Répás L. – Bratek Z. – Kovács G. – Balogh M. (1998): A növények mikorrhizáltságának vizsgálata az őrségi Fekete-tavon. *Botanikai Közlemények* 85: 89-93 p.
- Rév Sz. (2003): Az ektomikorrhizák jellemzése és a mikorrhizakutatás hazai irányzatai. *Mikológiai Közlemények* 42(1-2): 95-106 p.
- Schnürer, J. and Rosswall, T. (1982): Fluorescein Diacetate Hydrolysis as a Measure of Total Microbial Activity in Soil and Litter, *Applied and Environmental Microbiology*, Vol 43(6), 1256-1261 p.
- Stenström, E. – Damm, E. – Unestam, T. (1997): Le rôle des mycorrhizes dans la protection des arbres forestiers contre les agents pathogènes du sol. *Revue Forestière Française* 49(spec): 12-126 p.
- Szántó M. (1990): A hazai mikorrhizakutatás története. *Mikológiai Közlemények* 1-3: 89-102 p.
- Szántó M. (1995a): Mikorrhizált erdei- és feketefenyő (*Pinus sylvestris* L., *Pinus nigra* Arn.) cseméték összehasonlító vizsgálata 1. Növekedésvizsgálat, a magasság alakulása, hossznövekedés. *Mikológiai Közlemények* 34(1): 64-74 p.
- Szántó M. (1995b): Mikorrhizált erdei- és feketefenyő (*Pinus sylvestris* L., *Pinus nigra* Arn.) cseméték összehasonlító vizsgálata 2. A növények tömegviszonyai. *Mikológiai Közlemények* 34(2-3): 42-47 p.
- Szántó M. (1995c): Az erdei- és a feketefenyő (*Pinus sylvestris* L., *Pinus nigra* Arn.) mikorrhiza kapcsolatai, a mikorrhizált növények összehasonlító vizsgálata. Kandidátusi értekezés. *Erdészeti Lapok* 130(10): 306-307 p.
- Szántó M. (1996): Mikorrhizált erdei- és feketefenyő (*Pinus sylvestris* L., *Pinus nigra* Arn.) cseméték összehasonlító vizsgálata 3. A kémiai összetevők vizsgálata. *Mikológiai Közlemények* 35(1-2): 85-91 p.



- Szántó M. (1997): Mikorrhizált erdei- és feketefenyő (*Pinus sylvestris* L., *Pinus nigra* Arn.) csemetek összehasonlító vizsgálata 4. A vizsgált növények ásványianyag tartalma. Mikológiai Közlemények 36(1): 39-46 p.
- Szeglet P. – Dongó A. – Szabó I. (2002): Tiszta tenyészetek szerepe a mikorrhiza-gombák természetbe vonásában. Mikológiai Közlemények 41(2-3): 117-128 p.
- Szeglet P. – Mészáros Gy. (2009): Helyben mikorrhizált erdészeti csemetek - Kezdeti tapasztalatok a HM VERGA szentgáli területén. Erdészeti Lapok 144(12): 382-383 p.
- Szegő D. – Rudnóy Sz. – Zöld-Balogh Á. – Bratek Z. (2007): Homoki szarvasgombával beoltott akáccsemetek mikorrhizáinak és gyökéraszociált gombáinak morfológiai és molekuláris vizsgálata. Mikológiai Közlemények 46(2): 269-279 p.
- Tian, C. – He, X. – Zhong, Y. – Chen, J. (2003): Effect of inoculation with ecto- and arbuscular mycorrhizae and Rhizobium on the growth and nitrogen fixation by black locust, *Robinia pseudoacacia*. New Forests 25(2): 125-131 p.
- Trappe, J.M. (1996): What is a mycorrhiza? In: Azcon-Aguilar, C. – Barea, J.-M. (eds.): Mycorrhiza in integrated systems – from genes to plant development. Proceeding of Fourth European Symposium on Mycorrhiza. Commission of the European Union, Luxembourg, pp: 3–6 p.
- Vastagné Csorba M. – Villás G. – Bratek Z. – Viktor J. – Rácz L. – Csutorás Cs. (2012): Megújuló energiaforrások biotechnológiai kutatása: mikorrhizálási technológiák és új fajok bevonása hazai talajok adottságaihoz. Mikológiai közlemények 51(1): 161-163 p.
- Yang, Y. – Tang, M. – Sulpice, R. – Chen, H. – Tian S. – Ban Y. (2014): Arbuscular mycorrhizal fungi alter fractal dimension characteristics of *Robinia pseudoacacia* L. seedlings through regulating plant growth, leaf water status, photosynthesis, and nutrient concentration under drought stress. Journal of Plant Growth Regulation 33(3): 612-625 p.
- Zhu, X.Q. - Tang, M. - Zhang, H.Q. (2017): Arbuscular mycorrhizal fungi enhanced the growth, photosynthesis, and calorific value of black locust under salt stress. Photosynthetica 55(2): 378-385 p.

**Internetes források nem nevesített szerző esetén**

- Http1: <http://villo.hu/tanosveny/foldrajz.htm>
- Http2: <https://www.termeszettjaro.hu/hu/tour/gyalogtura/erdokertesrol-mariabesnyore-a-margitan-at/37066108/>
- Http3: <https://gdl.hu/2022/02/13/termeszettfoldrajzi-erdekessegeka-godolloi-dombsag-teruleten/>
- Http4: <https://www.omnibioticlife.com/what-are-colony-forming-units/>
- Http5: <http://organiclifestyles.tamu.edu/soil/microbeindex.html>
- Http6: <https://hu.warbletoncouncil.org/absorbancia-3745>
- Http7: <https://www.quora.com/What-are-the-products-of-hydrolysis-of-sucrose>
- Http8: <https://www.portfolio.hu/global/20220905/121-eve-nem-volt-ilyen-meleg-nyar-magyarorszagon-565125>
- Http9: <https://www.reuters.com/graphics/EUROPE-WEATHER/DROUGHT/jnvwenzyvw/>
- Http10: [https://www.metnet.hu/terkepek?map=prec\\_y&date=2022](https://www.metnet.hu/terkepek?map=prec_y&date=2022)
- Http11: [https://www.met.hu/eghajlat/magyarorszag\\_eghajlata/altalanos\\_eghajlati\\_jellemzes/csapadek/](https://www.met.hu/eghajlat/magyarorszag_eghajlata/altalanos_eghajlati_jellemzes/csapadek/)

### **Könyvek**

- Csorba P. 2021: Magyarország kistájai. Meridián Táj- és Környezetföldrajzi Alapítvány, Debrecen, 340 p.
- Danszky I. (szerk.) (1973): Erdőművelés. Irányelvek, eljárások, technológiák II. Erdőnevelés – erdővédelem. Mezőgazdasági Könyvkiadó Vállalat, Budapest, 420 p.
- Fülekgy Gy. (szerk.) (1999): Tápanyag-gazdálkodás. Mezőgazda Kiadó, Budapest, 723 p.
- Láng S. 1967: A Cserhát természeti földrajza. Akadémiai Kiadó, Budapest, 252 p.
- Stefanovits P. 1956: Magyarország talajai. Akadémiai Kiadó, Budapest. 431-132 p.
- Tim S. 2016: Pharmaceutical Microbiology. Essentials for Quality Assurance and Quality Control. Woodhead Publishing, UK, 109 p.

### **Doktori értekezések, diplomamunkák, szakdolgozatok**

- Cserkész-Nagy Á. (2014): Egy Tisza-völgyi pleisztocén folyó rekonstrukciója ultranagy felbontású szeizmikus szelvények alapján Morfometriai elemzések a paleoklíma becsléséhez. Doktori (PhD) értekezés, ELTE, Budapest, 20 p.
- Kovács M. G. (2017): Gyökérkolonizáló nem patogén gombák: változatosság, taxonómia és vizsgálati módszereik. MTA Doktori Értekezés ELTE TTK Biológiai Intézet, Növény szerkezettani Tanszék, Budapest, 140 p.
- Kovács M.G. (2008): Magyarországi növények mikorrhizáltsági vizsgálatának összefoglalása, Doktori értekezés, 62-73 p.
- Varga Cs. (2004): Biológiai aktivitás változása integrált almaültetvény talajában. Doktori (Phd) értekezés, Debreceni Egyetem, Debrecen, 21-25 p.

## 9. NYILATKOZAT

### a szakdolgozat nyilvános hozzáféréséről és eredetiségéről

A hallgató neve: \_\_\_\_\_ Bouché Erik \_\_\_\_\_  
A Hallgató Neptun kódja: \_\_\_\_\_ B06KPK \_\_\_\_\_  
A dolgozat címe: \_\_\_\_\_ Mikorrhiza gombák és fák kapcsolata természetvédelmi  
\_\_\_\_\_ vonatkozásban \_\_\_\_\_  
A megjelenés éve: \_\_\_\_\_ 2023 \_\_\_\_\_  
A konzulens tanszék neve: \_\_\_\_\_ Természetvédelmi és Tájgazdálkodási Tanszék \_\_\_\_\_

Kijelentem, hogy az általam benyújtott szakdolgozat egyéni, eredeti jellegű, saját szellemi alkotásom. Azon részeket, melyeket más szerzők munkájából vettem át, egyértelműen megjelöltem, s az irodalomjegyzékben szerepeltettem.

Ha a fenti nyilatkozattal valótlan állítottam, tudomásul veszem, hogy a Záróvizsga-bizottság a záróvizsgából kizár és a záróvizsgát csak új dolgozat készítése után tehetek.

A leadott dolgozat, mely PDF dokumentum, szerkesztését nem, megtekintését és nyomtatását engedélyezem.

Tudomásul veszem, hogy az általam készített dolgozatra, mint szellemi alkotás felhasználására, hasznosítására a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem mindenkori szellemitulajdon-kezelési szabályzatában megfogalmazottak érvényesek.

Tudomásul veszem, hogy dolgozatom elektronikus változata feltöltésre kerül a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem könyvtári repozitori rendszerébe.

Kelt: \_\_2023 év \_\_04 hó \_\_30 nap



Hallgató aláírása

## NYILATKOZAT

Alulírott Bouché Erik, a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, Szent István Campus, természetvédelmi mérnök alapszak nappali tagozat végzős hallgatója nyilatkozom, hogy a dolgozat saját munkám, melynek elkészítése során a felhasznált irodalmat korrekt módon, a jogi és etikai szabályok betartásával kezeltem. Hozzájárulok ahhoz, hogy Szakdolgozatom egyoldalas összefoglalója felkerüljön az Egyetem honlapjára és hogy a digitális verzióban (pdf formátumban) leadott dolgozatom elérhető legyen a témát vezető Tanszéken/Intézetben, illetve az Egyetem központi nyilvántartásában, a jogi és etikai szabályok teljes körű betartása mellett.

A dolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz:                   nem

Kelt: Gödöllő, 2023. év április hó 30. nap



Hallgató

## NYILATKOZAT

A dolgozat készítőjének konzulense nyilatkozom arról, hogy a Szakdolgozatot áttekintettem, a hallgatót az irodalmi források korrekt kezelésének követelményeiről, jogi és etikai szabályairól tájékoztattam.

A Szakdolgozatot záróvizsgán történő védésre javaslom.

A dolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz:                   nem

Kelt: Gödöllő, 2023. év május hó 3. nap



Belső konzulensek