

SZAKDOLGOZAT

Vadas János

2024.



Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem

Budai Campus

Kertészettudományi Intézet

Kertészmérnök alapképzési szak

**ROVARLÁRVA TERMÉKEK HATÁSA
A CSIPERKE- ÉS LASKAGOMBA FEJLŐDÉSÉRE**

Belső konzulens: Dr. Geösel András
intézetigazgató,
tanszékvezető,
egyetemi docens

**Belső konzulens
intézete/tanszéke:** Kertészettudományi Intézet

Készítette: Vadas János

**Budapest
2024.**

Tartalomjegyzék

1. BEVEZETÉS	3
2. SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS.....	4
2.1. A gombatermesztésről általánosságban	4
2.1.1. A világ gombatermesztése.....	4
2.1.2. Hazai gombatermesztés helyzete	5
2.2. A gombatermesztésben felhasznált alapanyagok	6
2.2.1. Csiperkekomposzt	6
2.2.2. Laskagomba táptalaj.....	6
2.2.3. Dúsítóanyagok.....	7
2.3. A letermett gombaszubsztrátum hasznosítási lehetőségei	8
2.3.1. A gombatermesztésben való közvetlen újrahasznosítás.....	9
2.3.2. Biostimulátorként és talajjavítóként való felhasználás	9
2.3.3. Megújuló energiatermelés	10
2.3.4. Bioremediáció	10
2.3.5. Állati takarmányozás.....	11
2.4. A rovarfehérje	12
2.4.1. Felhasználási lehetőségek	13
2.4.2. Alkalmazott fajok.....	14
2.4.3. A rovarfehérje-használat jogi szabályozása	14
3. Célkitűzés.....	15
4. Alkalmazott módszerek	16
4.1. <i>In vitro</i> vizsgálat	16
4.2. Üzemi komposzttal végzett vizsgálat	18
5. Eredmények és értékelésük.....	19
5.1. <i>In vitro</i> vizsgálat	19
5.1.1. Csiperkegomba.....	19
5.1.2. Laskagomba	20
5.2. Üzemi komposzttal végzett vizsgálat	21
5.2.1. Csiperkegomba.....	21
5.2.2. Laskagomba	22
6. Következtetések és javaslatok.....	23
7. Összefoglalás	24
8. Köszönetnyilvánítás	26

9. Irodalomjegyzék	27
10. Ábrák és táblázatok jegyzéke.....	31
11. Nyilatkozatok.....	32
11.1. Hallgatói nyilatkozat.....	32
11.2. Konzulensi nyilatkozat	33

1. BEVEZETÉS

A világ népessége folyamatosan növekszik, várhatóan 2037-re meghaladja a 9 milliárd főt, a jelenlegi robbanásszerű növekedés tetőpontja pedig 2084-re várható majdnem 10,3 milliárd fővel (United Nations, 2024). Ennek a népességnek az élelmiszerrel való ellátása egyre nagyobb kihívás a mezőgazdaság számára. A globális felmelegedés okozta éghajlati változások, a száraz területek és időszakok növekedése, a talajok termőképességének romlása is egyre növekvő probléma világszinten, amire sürgősen megoldást kell találnunk. A gombatermesztés egy kiváló lehetőség ezen problémák mérséklésére, ugyanis mezőgazdasági hulladékokon állíthatunk elő jó minőségű, magas tápértékű és egészséges élelmiszert, mindezt kis területen és környezetbarát módon (Jayaraman et al., 2024).

Bár a gombatermesztés alapanyagai többnyire mezőgazdasági melléktermékek, a folyamat végén szintén nagy mennyiségben keletkezik letermelt gombakomposzt, amelyet jelenleg jórészt hulladékként deponálnak. Ez az anyag azonban jelentős szervesanyagtartalommal bír, aminek hasznosítására jelenleg is több mód létezik (Dedousi et al., 2024). Ezek közé tartozik a gombatermesztésben való újrahasznosítás, a talajjavító anyagként felhasználás, az energiatermelés, a bioremediáció és a takarmányozási célú alkalmazás (Leong et al., 2022).

Ez utóbbi egyik speciális módja, hogy rovarlárvák takarmányozására felhasználva értékes állati fehérjévé alakítjuk, amelyet további takarmányozásra, vagy akár emberi fogyasztásra szánunk (Koppányné Szabó – Jánosi, 2023; Li et al., 2021).

A világ gombatermesztését Kína uralja, 94%-os piaci részesedésével. Európában mindössze 2,8%-át termeljük meg a teljes mennyiségnek, Magyarország pedig még ennek is csak 2-3%-át állítja elő (FAOSTAT, 2024). Hazánk adottságai lehetővé teszik, hogy ezt az arányt jelentősen javítsuk, azonban többek közt a lassú technológiai átállás és kevés innováció következtében jelenleg egyre csak lemaradunk a piaci versenyben (FruitVeB, 2024).

Jelen kutatás célja az eddig leírt okokból kiindulva, hogy feltárja a letermelt gombakomposzt rovarokkal történő hasznosításának lehetséges módjait, egész pontosan a rovarok gombatermesztésben való alkalmazását. Ezzel az ágazatban legnagyobb mennyiségben keletkező melléktermék újrahasznosítására kíván egy olyan alternatívát adni, amely során a rovarok végtermékeit közvetlenül a termesztésbe visszaforgatva egy zárt anyagáramlási láncot alakít ki. Mindezt oly módon, hogy a rovaroktól származó fehérjét és ürüléket dúsítóanyagként, vagyis kis dózissal terméshozzávalóként alkalmazva kiváltja a hagyományos anyagokat, ezáltal csökkenti a termesztés költségeit. Ezek mellett a gombakomposztban lévő értékes szerves anyagot nagyrészt megtartja, így is hozzájárulva környezetünk védelméhez.

2. SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS

2.1. A gombatermesztésről általánosságban

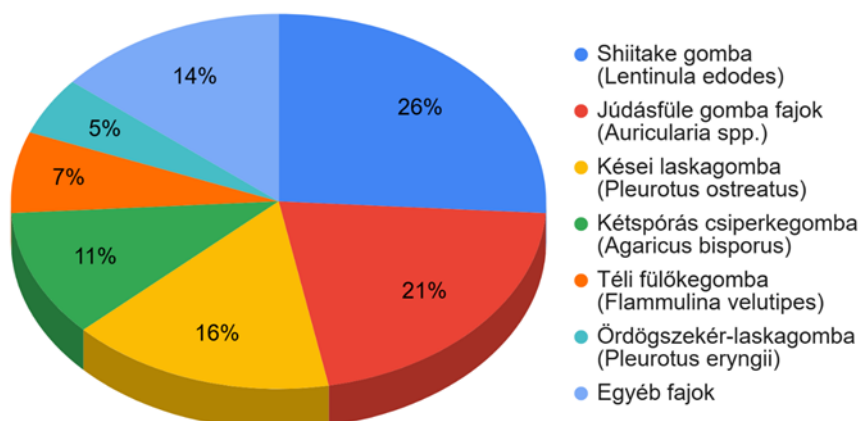
Az ehető nagygombák termesztéséről a legkorábbi feljegyzések a VII. századból származnak, egész pontosan a júdásfüle gomba (*Auricularia auricula*) termesztésbe vonásáról Kínában. A sokáig legjelentősebb termesztett gombafaj, a kétspórás csiperkegomba (*Agaricus bisporus*) az 1600-as évektől használatos a mezőgazdaságban. A mikológia tudományára jellemző azonban, hogy csak az utóbbi évszázadban indult igazán gyors fejlődésnek, amit mi sem mutat jobban, minthogy a kései laskagomba (*Pleurotus ostreatus*) 1900-as termesztésbe vonása óta 1997-ig további 31 faj termesztésével próbálkoztak sikeresen, szemben az addigi összesen nyolc fajjal. Ez a tendencia a technológiai fejlődésben is egyértelműen felfedezhető (Chang – Miles, 2004).

2.1.1. A világ gombatermesztése

A világ népessége 2024-ben meghaladta a 8,1 milliárd főt (Worldometer, 2024). Ennek a népességnek az élelmiszerrel való fenntartható ellátásához a mezőgazdaságban nagymértékű reformokra és innovációra van szükség (Fukase – Martin, 2020). Ennek egyik útja a gombatermesztés minőségi és mennyiségi fejlesztése, amellyel gyakorlatilag a mezőgazdasági hulladékok felhasználásával kiváló minőségű élelmiszert tudunk előállítani (Györfi, 2010).

A világon termesztett gomba mennyisége 1974-ben érte el először az 1.000.000 tonnát éves szinten és azóta gyakorlatilag minden évben folyamatosan növekszik. 2022-ben meghaladta a 48.000.000 tonnát, melynek piaci értéke több, mint 46.500.000 US\$ volt (FAOSTAT, 2024).

A fajok közül nagyobb mennyiségben 30-at termesztnek (Györfi, 2010), de ebből 5 faj teszi ki a termesztés nagyjából 85%-át. Az 1. ábra mutatja be a fajok százalékos megoszlását 2019-ben. A világon legnagyobb mennyiségben a shiitake gombát (*Lentinula edodes*) termesztették, amely a termesztés 26%-át adta. Az utóbbi bő évtizedben jelentős átrendeződés történt a gombatermesztésben. A korábban sokáig első helyen szereplő csiperkegomba már csak a negyedik helyen áll, 11%-os részesedéssel (Singh et al., 2021).

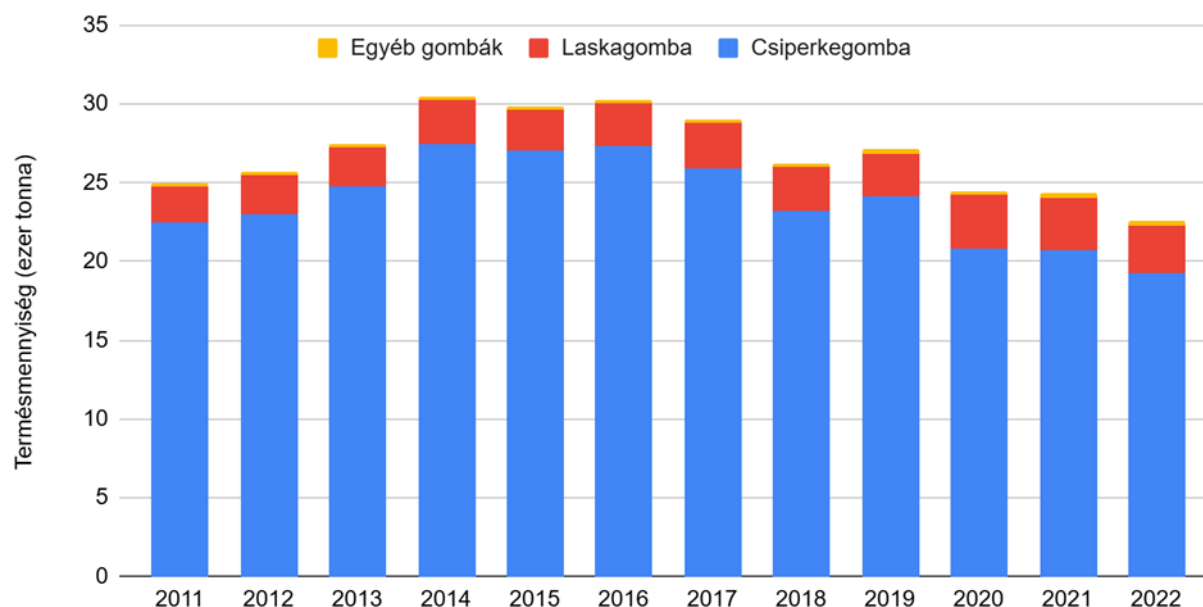


1. ábra: A fajok részaránya a világ gombatermesztésében
(Forrás: saját szerkesztés Singh és munkatársai (2021) alapján)

Legnagyobb mennyiségben Kínában állítanak elő gombát, amely 2010-ben még körülbelül 22.000.000 tonnát jelentett, 2022-ben már meghaladta a 45.000.000 tonnát. A világ minden más országát együtt véve 2010-ben mindössze 2.965.027 tonna, 2022-ben pedig már csak 2.907.171 tonna gomba termett. Ez azt jelenti, hogy ma a világ gombatermésének 94%-a Kínából származik, ahol a gombatermesztés rohamos ütemben bővül, minden más ország összesített termése viszont kis mértékben csökken. Kína után Japánban, az Egyesült Államokban, Indiában, Lengyelországban és Hollandiában állítják elő a legtöbb gombát. Magyarország világszinten a 17, az Európai Unióban a nyolcadik helyen állt 2022-ben. Az EU-ban az utóbbi évtizedben 1.000.000 – 1.200.000 tonna gombát termesztettek évente (FAOSTAT, 2024).

2.1.2. Hazai gombatermesztés helyzete

Magyarországon 2011. és 2022. között 22.600 és 30.500 tonna között változott a gombatermés mennyisége (2. ábra). 2022 volt ebben a 12 évben a leggyengébb, és sajnos tartósan csökkenő tendencia figyelhető meg 2016 óta. (FruitVeB, 2020; FruitVeB, 2024).



2. ábra: A Magyarországon termesztett gomba mennyiségének alakulása 2011-2022. között
(Forrás: Saját szerkesztés FruitVeB (2020, 2024) adatok alapján)

A fajokat tekintve a csiperkegomba 85-90%-os részesedésével uralja a termesztést. A másik jelentős részt a laskagomba fajok teszik ki 9-14% között ingadozva. Minden más faj együttesen 0,7-1,3% körüli részesedéssel rendelkezik a termesztés megoszlásában (FruitVeB, 2024).

A KSH (2020) adatai alapján hazánkban az egy főre jutó éves gombafogyasztás jelenleg 1,0 kg körül van, a Gombafórum (2022) szerint azonban ez eléri az 1,5 kg-ot, ami még így is jócskán elmarad a 3 kg-os Európai Unió átlagához képest. Ennek köszönhetően a magyar gomba jelentős része, nagyjából 30-35 %-a exportra kerül, mert a termelőknek túl kicsi a belföldi piac (FruitVeB, 2024).

2.2. A gombatermesztésben felhasznált alapanyagok

A ma termesztett gombafajok közül mindegyik az élelmiszeripar, a mezőgazdaság vagy a faipar által termelt melléktermékeken gazdaságosan termesztethető. A gombák számára szükséges két fő tápelem a szén és a nitrogén, amelyek felvételére különböző módon specializálódtak. A termesztésbe vont fajok rendelkeznek cellulózbontó enzimrendszerrel, amelynek köszönhetően a növényvilágban legnagyobb mennyiségben termelődő anyagot hasznosítani tudják szénigényük kielégítésére. A nitrogént szerves és szervetlen formában is képesek felvenni, azonban természetes élőhelyükön túlnyomó részt a szervetlen formákat részesítik előnyben a szerves formák hiánya miatt. Az üzemi termesztésben ezeket az anyagokat mesterséges módon, termesztőközegek használatával biztosítjuk a gomba számára (Györfi, 2010).

A következőkben a vizsgálatom szempontjából fontos két gombafaj, a csiperke- és a laskagomba termesztőközegeinek összetételét, valamint azok útját mutatom be az előállítástól a megsemmisítésig.

2.2.1. Csiperkekomposzt

A csiperkegomba másodlagos lebontó, azaz csak az előzetesen fermentált vagy komposztált anyagokon termesztendő sikeresen. Ebből kifolyólag a faj termesztésbe vonása óta a lótrágya volt az alapanyaga a komposztnak, ugyanis ez nagy mennyiségben rendelkezésre állt, és megtalálható volt benne a cellulózt tartalmazó szalma, valamint a nitrogént szolgáltató anyagok is. Mindezt egy komposztálási folyamat után a gomba könnyen fel tudta venni (Szili, 2008).

Napjainkban azonban már a világ minden részén valamilyen gabonaféle szalmája a komposzt legnagyobb arányú alkotója. Ez a helyi adottságok függvényében lehet például búza-, kukorica- vagy rizsszalma is. Ehhez adunk hozzá ló- illetve csirketrágyát, szintén a helyi lehetőségeknek megfelelően (Szili, 2008). Ezen felül nagy mennyiségű vízre is szükség van a szalma átnedvesítéséhez, valamint némi gipsz adagolásával állítjuk be a kívánt kémhatást, illetve a komposzt szerkezetét és pufferképességét is javítjuk vele. A becsírázott, átszövetett komposzt tetejére betároláskor 4,5-5 cm vastagságban takaróföldet terítünk, amely legtöbbször 80-90% tőzeg és 10-20% mészkőpor vagy cukorgyári mésziszap keverékéből áll. Ennek feladata a komposzt nedvesen tartása, öntözhetőségének biztosítása, valamint a termőtest képzés indukálása (Györfi, 2010).

2.2.2. Laskagomba táptalaj

A laskagomba elsődleges lebontó, vagyis képes a cellulóz mellett a hemicellulózt és a lignint is bontani enzimrendszere segítségével. Ennek megfelelően a természetben a már legyengült, vagy holt fákon telepszik meg, és amíg a tápanyag kitart, éveken keresztül él ugyanazon a faanyagon. Az intenzív termesztésben gyakorlatilag bármilyen olyan anyag használható, amelynek szén:nitrogén aránya 100:1 körüli. Ennek megfelelően sok mezőgazdaságból vagy

iparból származó növényi hulladék alkalmas a laskagomba termesztésre. Magyarországon leginkább búzaszalmát használunk laskagomba táptalaj előállításra (Győrfi, 2010).

2.2.3. Dúsítóanyagok

Az eddig említett anyagokon felül mindkét faj esetében alkalmaznunk dúsító anyagokat, amelyeket a komposzthoz, illetve táptalajhoz keverve termésnövekedést érünk el. Az erre alkalmas anyagok tárháza rendkívül széles. Hagyományosan búza-, zab-, rizskorpát vagy kukoricadarát használnak, de szőlő- vagy sörtörkölyt is alkalmaznak (Stamets, 1993). Sikerrel használtak laskagomba fajok termesztéséhez olívaolaj sajtolása után visszamaradt törkölyt 50%-os koncentráció alatt (Ruiz-Rodriguez et al., 2010). Szójamaghéjat vizsgáltak búza- és rizsszalma alapú, sterilizált és hőkezelés nélküli táptalajon is, ahol mindkét alapanyag esetében nagyobb termésmennyiséget értek el. Hőkezelés nélkül a micélium gyorsabban növekedett az átszövetés alatt, és a termőre fordítás után is gyorsabban jelentek meg a primordiumok, azonban némileg kisebb, és hosszabb tönkű termőtestek képződtek, mint a sterilizált táptalajon (Yang et al., 2013). Lóretekfa (*Moringa oleifera*) levél őrleményét ördögsekér laskagombával (*Pleurotus eryngii*) vizsgálva pamuthulladék táptalajon mennyiségi és minőségi javulást is tapasztaltak. A 6%-os koncentráció bizonyult a legoptimálisabbak, ahol lényegesen nagyobb biológiai aktivitást és termésmennyiséget figyeltek meg. Mindemellett a beltartalmi értékek is lényegesen jobbra váltak: többek közt a C- és D-vitamin, ásványi anyag, fenoloid valamint antioxidáns tartalma is magasabb lett a leszedett termőtesteknek (Sardar et al., 2022). Kínai és pakisztáni kutatók a huminsav hatását vizsgálták szintén hulladék pamuton termesztett laskagomba fajokon. Eredményeik szerint a huminsav oldatba áztatott pamuton nagyobb termőtestek képződtek, magasabb ásványi anyag és cukortartalommal, és minden fázis (átszövés, tűfejképzés, termőtest képzés) korábban következett be, mint a kezeletlen táptalajon (Zahid et al., 2020). Nem ismeretlen az állati eredetű anyagok használata sem: húsliszt, halliszt, toll-liszt és csontliszt is szerepel a dúsítóanyagok listáján. Ma már a csiperketermesztésben leginkább csak szójalisztet használunk termésnövelésre (Győrfi, 2010).

Tulajdonképpen minden dúsításra használt anyag lényege, hogy a gomba számára közvetlenül felvehető tápanyag kerüljön a termesztőközegbe, így indukálva a fejlődést (Ouden, 2016). Valójában nem is a termőtestek átlagtömege, hanem a számuk nő meg. Ez a csiperkegomba esetében akár 10 kg/m² termésnövekedést is jelenthet, de a laskánál is értek már el 25%-os többletet a keményítőgyártás melléktermékeként keletkező kukoricavízzel (Győrfi, 2010). Fontos, hogy a dúsítóanyag nitrogéntartalma alacsony legyen, ellenkező esetben elvesztjük a termesztőközeg szelektivitását, teret nyitva más gombák és baktériumok elszaporodásának. Ugyanakkor a magasabb nitrogéntartalom egy bizonyos (2,4-2,7%) szintig magasabb termésmennyiséget eredményez, tehát a megfelelő higiéniai szabályok betartása mellett

értelmes ilyen anyagok használata. Ez általában vonatkozik a dúsítás bármely formájára, de ez esetben különösen érvényes. Amennyiben nem tudjuk biztosítani a fertőzésektől való védelmet, úgy inkább tegyünk le az adalékok használatáról, mert a termésbiztonság drasztikus romlását okozhatják (Stamets, 1993).

A szubsztrátumhoz három időpontban adhatjuk hozzá a dúsítóanyagokat: a hőkezelés előtt, a becsírázáskor vagy a kész, III. fázisú komposzthoz szállítás előtt vagy betárolás közben (csak a csiperkegomba esetében). Az első változat lényege, hogy az alapanyagokkal együtt biztosan szelektív lesz az adalékanyag is, viszont jelentős mennyiségű tápanyag lebomlik a magas hőmérséklet hatására, így a gomba számára már nem lesz elérhető. A második és harmadik esetben ezt kiküszöböljük, azonban a korábban említett szelektivitás elvesztését idézzük elő és ezzel a fertőzésveszélyt növeljük, így itt a higiénia megkerülhetetlen (Stamets, 1993; Szili, 2008).

Az adalékanyagot mindig nagyon egyenletesen kell belekevernünk a termesztőközegbe, mert ha egy helyre véletlenül több kerül a kelleténél, akkor a micélium növekedésekor keletkező hő hirtelen olyan mennyiségben keletkezhet, hogy képes elpusztítani azt. Ezt a legkönnyebben a keletkező ammónia szagáról illetve az itt gyakran megjelenő gypjas tintagombáról (*Coprinus comatus*) ismerjük fel (Ouden, 2016). Ugyanerre a folyamatra vezethető vissza, hogy a téli és nyári időszakban más dúsítóanyagokat és más koncentrációban használunk. Télen több és magasabb nitrogéntartalmú adalék használatával jelentősen csökkenthető a fűtési költségünk, mert a komposzt képes magától bemelegedni. Nyáron ez hátránnyá válik, mert nitrogénszegény és alacsonyabb mennyiségű dúsító használatával is képes túlmelegedni a szubsztrátum, vagyis a felszíni termesztőházak mellett már a pincékben is szükséges légkondicionáló berendezés üzemeltetése. Mindkét esetben fokozottan figyelniünk kell a komposzt hőmérsékletére (Szili, 2008).

2.3. A letermelt gombaszubsztrátum hasznosítási lehetőségei

A gombaipar számára Európában a legfontosabb alapanyag a búzaszalma és a víz, továbbá a csiperkekomposzthoz kell csirke- és lótrágya, gipsz és takaróföld is (Ouden, 2016). Az iparág lendületes fejlődésével párhuzamosan az általa termelt hulladék mennyisége is gyors ütemben emelkedik, az előrejelzések szerint 2026-ra csak a kontinensen 104 millió tonnát fog kitenni éves szinten. Ez legnagyobb részt a laska- és a csiperkegomba fajok termesztése után hátramaradt termesztőközeget ill. komposztot jelenti. Jelenleg a gomba letermesztése után sokszor egyszerűen csak lerakják (deponálják). Ezek az anyagok nagy mennyiségű értékes szerves anyagot tartalmaznak, amit teljes mértékben újra lehet hasznosítani (Dedousi et al., 2024). Ennek Leong és munkatársai (2022) szerint öt fő irányba lehetséges, amelyeket alább mutatok be részletesebben.

2.3.1. A gombatermesztésben való közvetlen újrahasznosítás

Első lehetőség, ha a letermett gombakomposzt (a továbbiakban LGK) a felhasználjuk az új termesztőközeg alapanyagaként. Ezt közvetlen módon, utókomposztálás nélkül is megtehetjük. Görög kutatók átfogó kísérletet végeztek a témában kétspórás csiperkegomba, kései laskagomba és ördögszekér laskagomba felhasználásával. Fő alapanyagaik voltak: letermett különböző gombatáptalajok, új- és letermett csiperkekomposzt, letermett laskakomposzt, termesztéskor keletkező szedési hulladék (levágott tönkvég, hibás, sérült termőtestek), búzaszalma, árpa- és zabszalma, bükkfaforgács, rizshéj, kávézacc. Ezeket a legkülönbözőbb kombinációban és koncentrációban egymáshoz keverték, majd a megfelelő tápanyagtartalom beállításához bizonyos esetekben búzakupát és szójalisztet adagoltak hozzájuk. Az eredményeket tekintve a bükkfaforgácsot és a rizshéjat kivéve mindegyik közegen megfelelő termésmennyiség volt betakarítható mindhárom fajra vonatkozóan. A legnagyobb biológiai hatásfokot a letermett laskagomba alapanyag tartalmú közegek mutatták mindkét laskagomba faj esetében. A laskagomba fajok ezeken a közegen hozták a legjobb minőségű termőtesteket is (Dedousi et al., 2024). Egy másik kutatás LGK és kaucsukfa (*Hevea brasiliensis*) forgácsának keverékéből, búzakupával dúsított termesztőközeget állított elő különböző keverési arányokban. A kései laskagomba számára legjobbnak az 50-50%-os koncentrációjú bizonyult, amely a tisztán forgács alapú szubsztrátumnál is nagyobb termésmennyiséget produkált (Ahmad Zakil et al., 2022). Kétspórás csiperkével Ahlawat és Kaur (2019) is végzett vizsgálatot, amely szerint a 20% LGK-tal kiegészített hagyományos csiperkekomposztról 6%-al nagyobb tömegű össztermés volt betakarítható, mint a tisztán használt új táptalajról. Amennyiben a kitárolás után utókomposztáljuk a LGK-ot megfelelő baktériumtrágya hozzáadása mellett, úgy két év elteltével a takaró föld részleges kiváltására alkalmas anyagot kapunk. Ezt 50%-os arányban használva mind költségcsökkentést, mind a véges tözegkészletek csökkentett felhasználását el tudjuk érni (Győrfi, 2010).

2.3.2. Biostimulátorként és talajjavítóként való felhasználás

Második lehetőség, hogy a LGK-t közvetlenül vagy utókomposztálás után talajjavítóként, szerves trágya pótlásaként vagy talajélet serkentő anyagként kijuttatjuk a mezőgazdasági termőterületekre. Ez a jelenlegi helyzetben egyre fontosabbá válik, amikor a műtrágyák ára folyamatosan emelkedik, a talajok kimerülőben vannak az intenzív használat következtében, és a szerves trágya egyre nehezebben szerezhető be (Leong et al., 2022). Ezen felül az állati trágyával egyenértékű, sőt bizonyos esetekben magasabb termésátlagnövekedést produkál. Szamócatermesztésben vizsgálva a 10 t/ha mennyiségben kijuttatott LGK nagyobb termésátlagot biztosított, mint a 40 t állati trágya hektáronként (Özgüven, 1998).

2.3.3. Megújuló energiatermelés

Napjainkban a lignocellulózt tartalmazó alapanyagokból leggyakrabban égetéssel állítanak elő energiát, ami sajnos környezetszennyező és rossz hatásfokú (Jasiūnas et al., 2017). A bioüzemanyagok terjedésével egyre nagyobb figyelmet kap a LGK is, mint nagy mennyiségben keletkező, energiát tartalmazó melléktermék. Ez úgynevezett második generációs bioüzemanyagnak számít, mert zárt körforgásban, hulladékból állítunk elő energiát. Alkalmazásának előnyei közé tartozik, hogy a gomba által előemésztett anyagokat sokkal könnyebben tudják tovább bontani a fermentációt végző mikroorganizmusok (Pérez-Chávez et al., 2019).

Alkalmazhatóságának sokoldalúságát mutatja, hogy sikerrel állítottak már elő belőle pirolízisolajat, bioetanolt, biohidrogént, szilárd bioüzemanyagot és biogázt is. A bioetanol előállítás során figyelték meg, hogy a friss gombakomposztból mindössze 2,7 g, a LGK-ból 5,2 g etanolt tudtak kinyerni literenként. Ez azt jelenti, hogy 93%-kal hatékonyabb a LGK használata. A hidrogén fűtőértéke 145 MJ/kg, ami jóval magasabb még a fosszilis üzemanyagoknál is. Az előkezelt LGK több, mint kétszer annyi hidrogént tudtak előállítani, mint az általában használt anyagokból (papíriszap, delignifikált farost) (Leong et al., 2022). Napjainkban a hidrogénhajtású járművek használata az egyik lehetőség a zöld közlekedésre. Az ehhez szükséges hidrogén nagy részét azonban földgázból állítják elő, vagyis fosszilis energiát alakítanak át (Manoharan et al., 2019). Ennek lehet alternatívája a LGK-ból előállított, megújuló biohidrogén.

A biogáz termelésben kardinális kérdés az alapanyag optimális szén-nitrogén aránya, melynek optimuma 21:30. A LGK ennek nem felel meg, ezért 100%-ban alkalmazva csak kisebb mennyiségű (50-150 L/kg) metánt állíthatunk elő. Az szén arányának növelésére istállótrágyát, papírhulladékot, búzaszalmát és egyéb magas széntartalmú szerves anyagot adnak hozzá, amellyel már megfelelő hatékonysággal keletkezik biogáz a fermentált anyagban (Leong et al., 2022).

Hazai gombatermesztő üzemben is találhatunk példát biogáz előállítására. A Kecskeméten található Pilze-Nagy Kft. LGK-ból állít elő biogázt, majd abból villamos energiát (Gombafórum, 2010).

2.3.4. Bioremediáció

A farontó gombák a faanyag bontásához különböző lignotikus enzimeket választanak ki, mint például lakkáz, lignin-peroxidáz és mangán-peroxidáz. Ezek az extracelluláris enzimek képesek bontani a ligninéhez hasonló szerkezetű szerves szennyező molekulákat is. Ennek köszönhetően a LGK felhasználható fenolok, klórfenolok, poliklórozott bifenilek, policiklusos aromás szénhidrogének, dioxinok, oldószerek, növényvédőszer és sok más veszélyes anyag

ártalmatlanítására. Emellett a gombák képesek megkötni is a szennyező anyagokat, és elraktározni saját sejtjeikben. Ez a tulajdonságuk a vadon termő gombák esetében egy veszélyforrás lehet, ugyanis egy esetleg szennyezett területről gyűjtött termőtest is akumulálja a mérgeket. Azonban a LGK alkalmazása megoldást jelent a talajban vagy vízben jelen lévő xenobiotikus vegyületek lebontására vagy kivonására, amelyet a benne található micélium mellett a változatos mikroba populáció is segít. Előnye, hogy nem igényel speciális berendezéseket, felszereltséget, továbbá zárt létesítményekben és terepen is alkalmazható. A legfőbb nehézséget a szennyezett LGK további kezelése jelenti (Leong et al., 2022).

Sikerrel alkalmazták a LGK-ot nehézfémek (ólom, kadmium, réz, cink, nikkel, vas) által okozott szennyezések kezelésére. Számos kísérlet volt eredményes kőolajszármazékokkal szennyezett talaj detoxikálására (Leong et al., 2022). A növényvédő szerekkel szennyezett talajokon is előszeretettel alkalmazzák, mint fő lebontó és megkötő eszköz. Zang és munkatársai (2020) ördögsekér laskagomba letermett szubsztrátumát használták egy baktériummal kombinálva klórmuron-etil hatóanyagú gyomirtó szerrel szennyezett talaj tisztítására. A gomba enzimeivel serkentette a természetes szennyező anyag lebontó baktériumok növekedését amellet, hogy nem gyakorolt hosszú távon negatív hatást a talaj baktérium-közösségére.

2.3.5. Állati takarmányozás

Az ötödik lehetőség, hogy a LGK-ot a drága állati takarmányhoz keverve kiváltjuk annak egy részét, így csökkentve a költségeket. Fontos megjegyezni, hogy ez a csiperkekomposztra nem vonatkozik, ugyanis az állati trágya felhasználásával készül. A gomba szubsztrátum sok lignint, cellulózt, valamint hemicellulózt tartalmaz, azonban fehérjéből csak kevés található meg benne. A farontó gombák a termesztés során lebontják ezeket az anyagokat, és ebből építik fel saját testüket (Leong et al., 2022). Azonban a kezdeti összes tápanyag tartalomnak csak mindössze 15-25%-a veszik el a szubsztrátumból leszedett termőtestek formájában, illetve légzéssel. A maradék 75-85% visszamarad meg nem emésztett alapanyag és fehérjékben gazdag micélium formájában (Moon et al., 2012). Ennek köszönhetően megnő a komposzt fehérjetartalma, vagyis takarmányozási szempontból értékes anyaggá válik. Emellett bioaktív összetevőket (vitaminok, poliszacharidok, nyomelemek) és az emésztésre jótékony hatású enzimeket is tartalmaz (Leong et al., 2022).

Sikerrel alkalmazták már a LGK-ot broiler csirke, házi lúd, juh, sertés és szarvasmarha takarmányozására. A kísérletek során azt tapasztalták, hogy a kontroll egyedekhez képest szignifikáns különbség nélkül növekedtek, illetve tejelték a vizsgált állatok. A tejelő szarvasmarhák esetében a bendőben élő protozoák száma csökkent és az emésztés során

keletkező metán mennyisége is kevesebb volt. A takarmányba 3-5% között, a juhok esetében 15%-os koncentrációban keverték LGK-ot. (Leong et al., 2022).

Fontos megjegyeznünk, hogy a termesztőházból kitarolt LGK közvetlenül nem alkalmas takarmányozási célokra. Broiler csirke számára elegendő a termesztés végén rögtön 50°C-on egy napig szárítani, majd ezt követően porítani (Chuang et al., 2020). Kérődzők és sertés esetében azonban fermentáció szükséges (Leong et al., 2022; Song et al., 2007). Ez egyfelől javítja az emészthetőségét, emeli a nyersfehérje, szárazanyag és zsírtartalmát, másfelől csökkenti annak rosttartalmát. A fermentáció minden esetben egyedi folyamat, amit a LGK összetétele, tápanyagtartalma alapján, az adott állat és üzem igényeinek megfelelően végeznek. Ez meglehetősen nagy szaktudást igényel, és jelentősen megrálgítja az ilyen célú alkalmazást (Leong et al., 2022).

Ezen folyamatok elkerülésére nyújt alternatív megoldást, ha beiktatjuk a rendszerbe a rovarokat. Az Európai Unióban a takarmány alapanyagainak mintegy 70-át adja a szójabab. Ezt az arányt csökkenteni szeretnénk a szója-függőség csökkentése és a takarmány változatosságának növelése céljából. Erre ad kiváló lehetőséget a rovarfehérje, amit a LGK-on előállíthatunk (Leong et al., 2022).

Egy fekete katonalégy lárvákkal végzett kísérletben 80% LGK és 20% élelmiszer hulladékkal való takarmányozás során is hasonló növekedést tapasztaltak, mint a tisztán élelmiszer hulladékkal való etetésnél. A legoptimálisabb arány a 30-70%-nak bizonyult, amely még így is kétszer annyi, mint a juhok esetén alkalmazható maximális 15%. Nem tekinthetünk el attól sem, hogy itt a bonyolult fermentáció helyett mindössze szabad levegőn való szárítás után egy összezúzást és rostálást kellett végrehajtani a LGK-on (Li et al., 2021). Hasonló kísérlet folyt közönséges lisztbogár lárvájával is. Az alapvetően búza-, és rizskorpával etetett állomány takarmányát 60, illetve 40%-kal lehetett helyettesíteni LGK-al szignifikáns súlycsökkenés nélkül (Li et al., 2020).

Ezek alapján láthatjuk, hogy mekkora potenciállal rendelkezik a rovarok alkalmazása a gombatermesztés legnagyobb mennyiségben keletkező melléktermékének újrahasznosítására.

2.4. A rovarfehérje

Előrejelzések szerint 2050-re a Föld népessége több mint 9.000.000.000 főre fog duzzadni. Ennyi ember biztos ételmezésének fenntartásához meg kell kétszerezniünk jelenlegi élelmiszer termelésünket (Belluco et al., 2013). Ez a mezőgazdasági termőterületek egyre romló állapota mellett hosszú távon fenntartható módon nem képzelhető el a mai eszközeinkkel. A sok lehetséges megoldási forma között jelentős szerepet kapnak az ehető rovarok. Ezeket élelmiszer és takarmány célból való hasznosításra is intenzíven vizsgálják napjainkban (Koppányiné Szabó – Jánosi, 2023).

Innen Európából nézve úgy tűnhet, hogy a rovarok csak ínyencségek a távoli országokban is. Ezzel szemben becslések szerint nagyjából 2.000.000.000 ember étrendjében szerepel rendszeresen valamilyen rovar (Van Huis, 2016). Mindezek ellenére viszonylag kevés részletes ismeretünk van táplálkozási értékeikről, az emberi és állati szervezetre gyakorolt hosszútávú hatásaikról. Néhány faj tenyésztéstechnológiája jól kidolgozott és beltartalmi értéke megfelelően ismert, de bőven van még kutatható ismeret a témában (Koppányné Szabó – Jánosi, 2023).

2.4.1. Felhasználási lehetőségek

A rovarok alapvetően kitűnő tápanyagnak bizonyulnak: energia-, fehérje- és zsírtartalmuk megfelelő, sok mikrotápelem megtalálható bennük. Ilyen például a réz, vas, magnézium, mangán, foszfor, cink, szelén (Koppányné Szabó – Jánosi, 2023). Fajlagos energiatartalmuk a haszonállatokkal összevetve meglepően magas: amíg az értékes és drága takarmányon nevelt háziállatok energiatartalma 165-705 kcal 100 grammra vonatkoztatva, addig a szerves hulladékokkal takarmányozott rovarok 288-575 kcal/100 g energiatartalommal bírnak (Hancz, 2023). Emellett elengedhetetlen részei az ökoszisztémának is: nagyon fontos szerepük van a lebontó folyamatokban, elengedhetetlenek a beporzásban, és a tápláléklánc alján állva a fejlettebb fajok jelentős része tőlük függ. Ezt a kiemelkedő helyzetet a rendkívüli adaptációs képességeiknek köszönhetik: tápanyagfelhasználásuk hatékony, víz- és termőföldigényük alacsony. Ezen tulajdonságaik miatt tenyésztésük is lényegesen könnyebb és olcsóbb, mint a háziállatoké, így a szegényebb régiókban is megoldást jelenthetnek az élelmezési problémákra. A rovarok élelmiszeriként való fogyasztása vagy takarmányozási célú hasznosítása hozzájárul a változatos étrendhez, olcsóbbá teszi az élelmiszereket, emeli az élelmezésbiztonságot, kevesebb üvegház hatású gázt termel a jelenleg használt fehérjeelőállítási módszereinkhez képest, kisebb ökológiai lábnyoma és még sorolhatnánk. A sokakban felmerülő élelmiszerbiztonsági kockázatok az alkalmazott fajtól, a tenyésztés módjától vagy a gyűjtés környezetétől, a takarmánytól és a feldolgozás módszerétől nagyban függenek. Ezek megismerése – amely jelenleg is komoly feladat – elengedhetetlen a széles körben való alkalmazásukhoz (Koppányné Szabó – Jánosi, 2023).

Az általunk tenyésztett rovarok túlnyomó többsége mindenevő. Nehéz meghatározni a természetben élő egyedek étrendjét, ráadásul legtöbbször nem is jutnak hozzá az optimális összetételű táplálékhoz. Azonban ez számukra nem okoz hosszabb távon sem nagyobb problémát a fejlődésben, mindössze lelassul növekedési és szaporodási ütemük. Ezért alkalmasak az alacsony, vagy nem optimális tápanyagtartalmú takarmányok hasznosítására is. A megfelelő mesterséges táplálékuk kutatásakor arra jutottak, hogy jelentősen szénhidrát és

fehérje túlsúlyú takarmányt igényelnek, de kis mennyiségben szükségük van lipidekre és mikroelemekre is.

Tenyésztésük jelenlegi korlátai az alacsony technológiai szint, a megfelelő ismeretek hiánya, a munkaerőhiány, az aránylag kis volumen, valamint a nem megfelelő jogi szabályozás. A technológiai elemek meglehetősen fejletlen volta miatt könnyen és nagy mértékben lehet javítani az tenyésztési eszközökön és módszereken. A gépesítés és állandó eljárások használata nagyban javít a végtermék egyöntetűségén és minőségi stabilitásán, ami eddig probléma volt az értékesítéssel kapcsolatban (Hancz, 2023).

2.4.2. Alkalmazott fajok

Az ember számára ehető fajok száma meghaladja az 1900-at, a lényegesebb fajok hat rendbe tartoznak. Ezek a hozzájuk tartozó fajok számának csökkenő sorrendjében a következők: bogarak (*Coleoptera*), lepkék (*Lepidoptera*), hártyásszárnyúak (*Hymenoptera*), egyenesszárnyúak (*Orthoptera*), szipókás rovarok (*Hemiptera*) és termeszek (*Isoptera*) (Koppányné Szabó – Jánosi, 2023).

Nonaka (2009) tanulmánya Japánt, Dél-kelet-Ázsiát és Dél-Afrikát veszi górcső alá a rovarfogyasztás szempontjából. Japánban a szöcskéket, a selyemhernyó visszamaradó bábját és a darazsakat fogyasztják előszeretettel. A különböző hernyókat számuk jelentős csökkenése miatt gyakorlatilag a fiatalabb generációk már nem ismerik. Dél-kelet-Ázsiában a hangyatojást levesek, omlettek és saláták elkészítéséhez használják. A ganéjtúrók lárváját és bábját, valamint poloskafajokat is fogyasztanak. Dél-Afrikában a szöcskék, hernyók, ganéjtúrók, valamint a termeszek szerepelnek a rendszeresen fogyasztott rovarok listáján.

2.4.3. A rovarfehérje-használat jogi szabályozása

Az Európai Unióban 2015. óta a rovarok új élelmiszernek számítanak, azaz egyszerűbb, letisztultabb, hatékonyabb, átláthatóbb és központosított az élelmiszerként való használatukra az engedélyezési eljárás.

Az Egyesült Államokban a törvények értelmében az élelmezési célú rovarokat higiénikus körülmények között kell nevelni és mindennemű szennyező anyagtól mentes kell legyen a termék és a takarmány is. A lecsomagolt rovar szavatossági idejét, fajtát és felhasználási gyakorlatát (például allergének, szükséges hőkezelés) fel kell tüntetni (Koppányné Szabó – Jánosi, 2023).

3. Célkitűzés

Kutatásom egy a Tanszéken folyó hároméves pályázathoz kapcsolódik, amelyben a rovarlárvák gombatermesztésben történő hasznosítását vizsgálják. A projekt keretében a különböző gombatermesztési melléktermékeket, a letermett komposztot és a szedési hulladékot külön vizsgálják. Ezzel az ágazatban keletkező melléktermékek újrahasznosítására kívánnak egy olyan alternatívát adni, amely során a rovarok végtermékeit közvetlenül a termesztésbe visszaforgatva egy zárt anyagáramlási láncot alakítanak ki. Az eddigi eredmények alapján a fekete katonalégy és a lisztbogár lárvái mindkét anyagot elfogyasztják, utóbbi kicsit magasabb hatásfokkal. A hulladékok rovarral történő hasznosítása során két „termék” keletkezik: a rovarok fejlődés közbeni salakanyaga, illetve maga a rovar. Előzetes kémiai vizsgálataink és előkísérleteink alapján mindkét anyag hasznosíthatónak tűnik a gombatermesztés körforgásában, ezért jelen vizsgálat sorozat az alábbi kérdéseket kívánja megválaszolni:

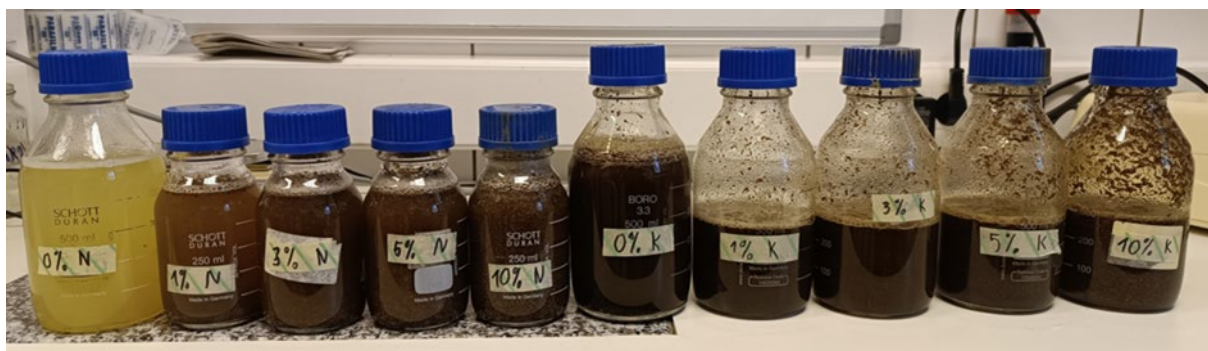
- Pozitív hatással van-e a csiperke-, és a laskagomba növekedésére a rovarfehérje és a rovarürülék gombakomposztban?
- Pozitív hatással van-e a csiperke-, és a laskagomba fejlődésére a rovarfehérje és a rovarürülék PDA táptalajon?
- Mely dózis alkalmazása esetén mutatkozik a növekedést leginkább indukáló hatás?
- A további kutatások mely irányba kell haladjanak?

4. Alkalmazott módszerek

Kísérleteimet a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem Budai Campusán, a Zöldség- és Gombatermesztési Tanszék gombatermesztési laboratóriumában végeztem. Kutatásom során letermett gombakomposztal takarmányozott rovarlárvák ürülékének, valamint szárított és darált tetemeiknek (a továbbiakban fehérje) hatását vizsgáltam csiperke- és laskagomba növekedésére. A használt rovarfaj a fekete katonalégy (*Hermetia illucens*) volt, amely termékeit kétspórás csiperke (*Agaricus bisporus*) és kései laskagomba (*Pleurotus ostreatus*) táptalajába (*in vitro* vizsgálat), illetve szubsztrátumba (üzemi komposzttal végzett vizsgálat) kevertem. Mindkét kísérlet során 0, 1, 3, 5 és 10 tömeg%-ban alkalmaztam a vizsgált anyagokat, 4 ismételtsben.

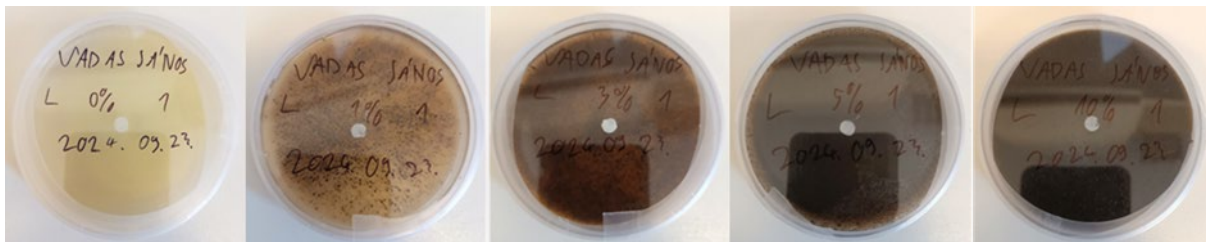
4.1. *In vitro* vizsgálat

A táptalajon végzett kísérlethez PDA-t (Potato Dextroze Agar) használtam, amelyhez csak ürülékot kevertem a fent említett koncentrációkban. A csiperkegomba táptalajához a micélium-növekedés serkentésére 5% szárított, darált, II. fázisú csiperkekomposztot adtam. Ennek megfelelően 250 ml desztillált vízhez 0, 2,5, 7,5, 12,5 és 25 g ürülékot, 9,75 g PDA-t és a csiperkegomba táptalajhoz 12,5 g komposztdarálékot kevertem (3. ábra).



3. ábra: A koncentrációknak megfelelő csiperkekomposzt, ürülék és fehérje kimérése (saját felvétel)

Az üvegeket ezt követően a növényélettani labor gőzsterilizálójában kezeltem 20 percig 121 °C-on 1 bar nyomáson. Az előzetesen felszaporított, micéliummal átszőtt, 6,5 mm átmérőjű korongokat 2024.09.23-án oltottam lamináris boxban a táptalajokra (4. ábra), majd a petri-csészéket parafilmmel lezárva inkubátorba helyeztem, ahol nagyjából 25 °C volt (5. ábra).

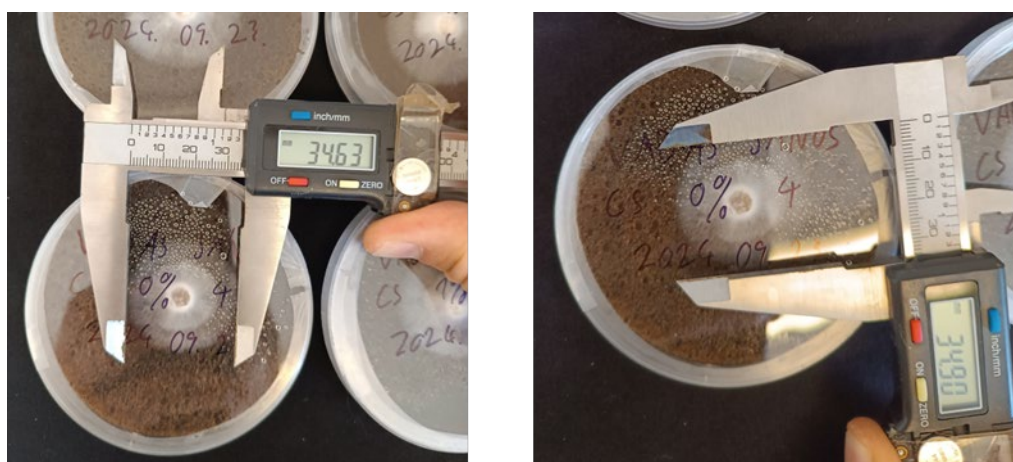


4. ábra: A laskagombával beoltott, lezárt petri-csészék növekvő koncentráció szerint (saját felvétel)



5. ábra: A petri-csészék lezárásához használt parafilm és az inkubátorban elhelyezett minták (saját felvétel)

A micéliumtelepek növekedését digitális tolómérővel vizsgáltam, egymásra két merőleges átlót mérve, majd azokat átlagolva. Ezt szintén fekete posztón és naponta végeztem, amíg a kontroll minták teljesen át nem szőtték a petri-csészét (6. ábra).



6. ábra: A telep átmérőjének mérési módja tolómérő használatával (saját felvétel)

4.2. Üzemi komposzttal végzett vizsgálat

A komposztüzemtől érkezett szubsztrátumok (II. fázisú laskakomposzt és III. fázisú csiperkekomposzt) 200 grammjához adtam hozzá a koncentrációknak megfelelően 0, 2, 6, 10 és 20 g ürülék, valamint fehérjét külön-külön (7. ábra).



7. ábra: A koncentrációknak megfelelő csiperkekomposzt, ürülék és fehérje kimérése *(saját felvétel)*

Kézzel történő alapos keverést követően 4-4 üveg petri-csészébe raktam, utána pedig inkubátorba helyeztem, ahol körülbelül 23 °C volt a hőmérséklet a kísérlet teljes ideje alatt (8. ábra).



8. ábra: A csiperkekomposzt összekeverése az adalékokkal, majd petri-csészébe helyezése *(saját felvétel)*

A III. fázisú csiperkekomposztot 2024.03.07-én, a II. fázisú laskagomba szubsztrátumot 03.12-én állítottam be.

A micélium növekedéséről 3-4 naponta készítettem fényképet mobiltelefonnal, fekete posztóra kirakva a petri-csészéket, ismétlésenként, növekvő koncentráció szerint.

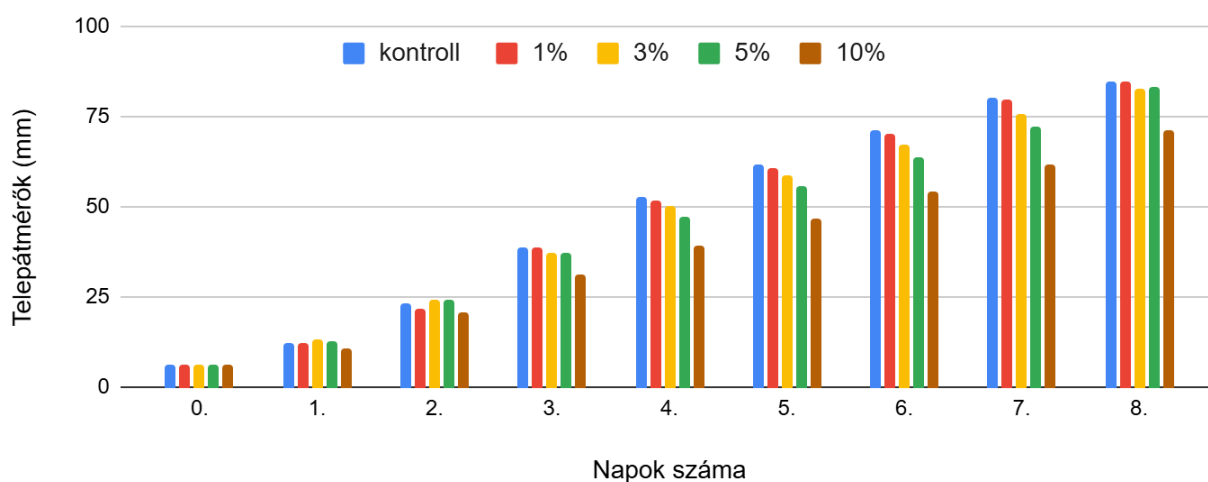
5. Eredmények és értékelésük

5.1. *In vitro* vizsgálat

A második, PDA táptalajon végzett kísérletet csak ürülékkel végeztem el, 7 értékelési napon keresztül. A petri-csészék lezárására használt parafilm el volt öregedve, ezért sajnos több petri-csészén is felrepedt, és a nyíláson keresztül bakteriális és gombás fertőzések jutottak be. Szerencsére ezek mértéke és időpontja nem volt negatív hatással a kísérlet eredményeire.

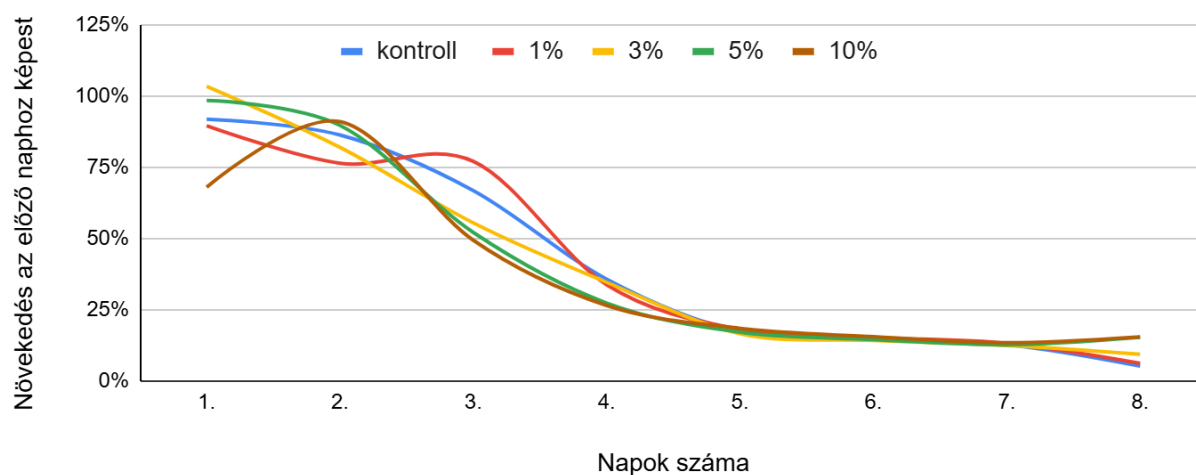
5.1.1. Csiperkegomba

A mért csiperkegomba telepátmérőket a 9. ábra tartalmazza. Jól láthatjuk, hogy a kontroll minta mérete a második naptól kezdve végig a legnagyobb volt, és a koncentrációval fordított arányú növekedés volt jellemző.



9. ábra: A csiperkegomba telepátmérői ürülékkel tartalmazó táptalajon (saját adatok)

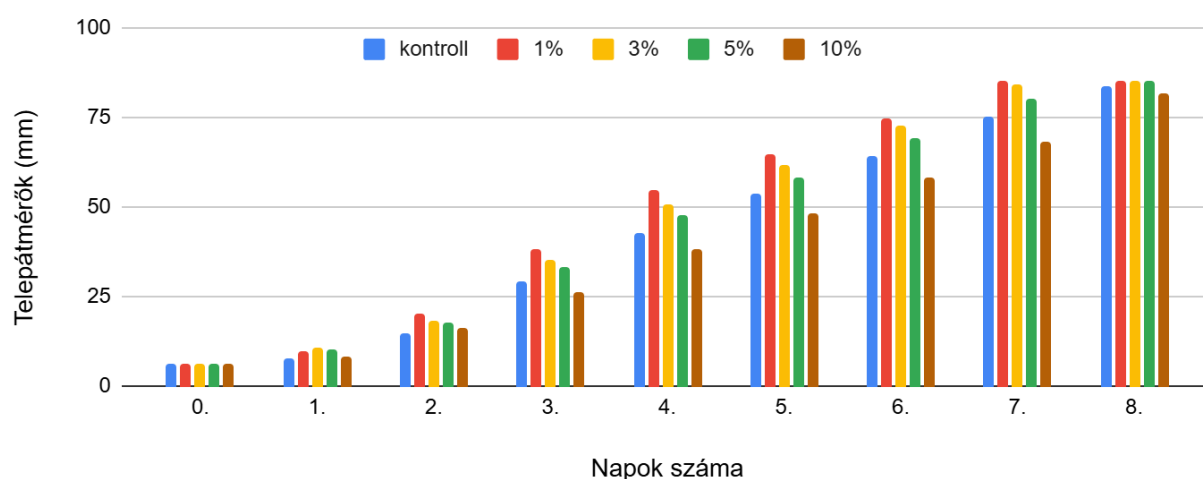
A minták növekedési sebességét a 10. ábra szemlélteti. Kezdetben intenzív, majd fokozatosan egyre visszafogottabb volt az átszövődés. Az első négy napban megfigyelhető különbségek az ötödik naptól kezdve gyakorlatilag teljesen eltűntek.



10. ábra: A csiperkegomba növekedési sebessége ürülékkel kezelt táptalajon (saját adatok)

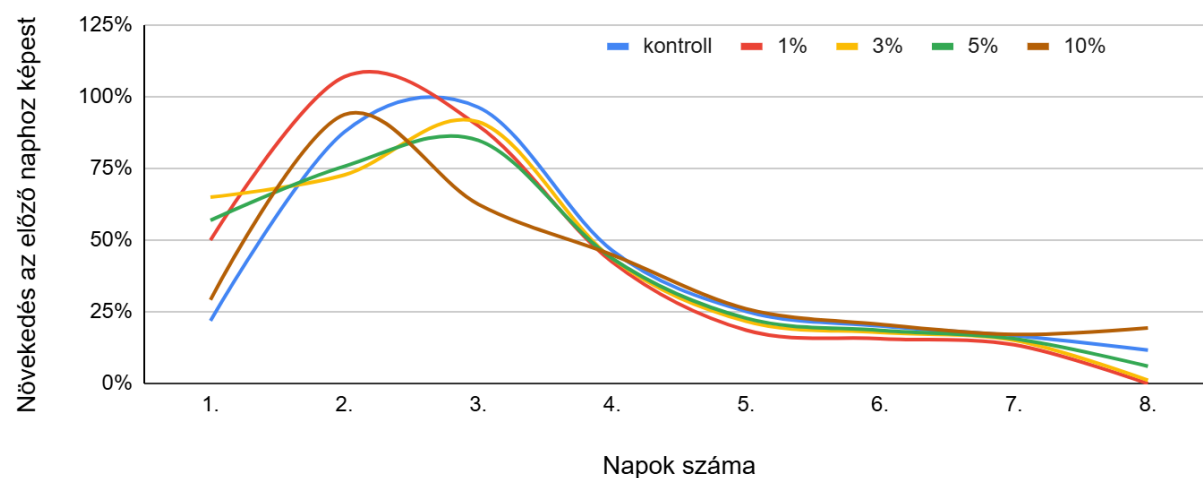
5.1.2. Laskagomba

A laskagomba telepátmérőit a 11. ábra mutatja be. Ez esetben a második naptól kezdve az 1%-os koncentrációjú minta bizonyult a legnagyobbknak, utána következett a 3 és az 5%-os, majd a kontroll. Leggyengébben a 10%-os növekedett. Az 1%-os minta átlagosan 26%-kal volt nagyobb, mint a kontroll. Tóth (2022) hasonló eredményre jutott, bár neki még a 10%-os koncentrációjú minta is jelentősen gyorsabban növekedett, mint a kontroll. Ennek oka az lehet, hogy jóval kevesebb, mindössze 1,6% PDA-t használt, szemben az általam alkalmazott 3,9%-kal, ami következtében nála az adalékolt minták relatív tápanyagtartalma nagyobb volt.



11. ábra: A laskagomba telepátmérői ürülékes táptalajon (saját adatok)

A 12. ábra láthatjuk a növekedés sebességét. Érdekes volt a második-harmadik napon megfigyelhető csúcs, amelyet itt is folyamatosan csökkenő tendencia követett. Lényegi különbséget szintén nem figyelhetünk meg a különböző koncentrációk között.



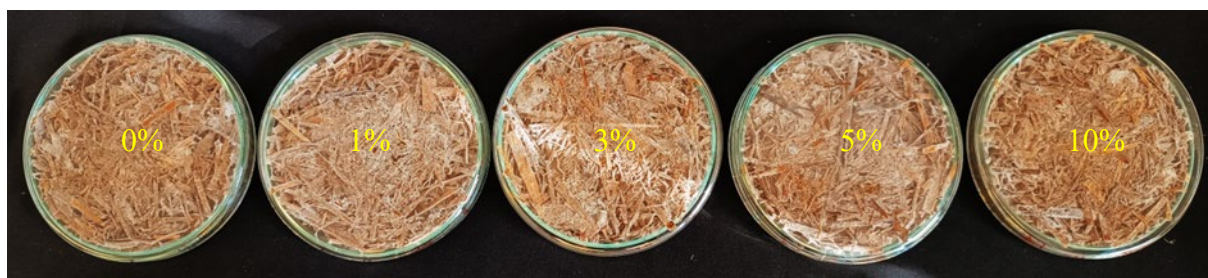
12. ábra: A laskagomba telepek növekedési sebessége ürülékkel kevert táptalajon (saját adatok)

5.2. Üzemi komposzttal végzett vizsgálat

Mivel ebben a kísérletben az átszövődés mértékét számmal jellemezhető módon mérni nem lehetett, ezért az értékelést bonitálással végeztem. Fényképeket is készítettem, de sajnos ezeken nem minden esetben látható eléggé az, amit ott szemrevételezés alapján rögzítettem.

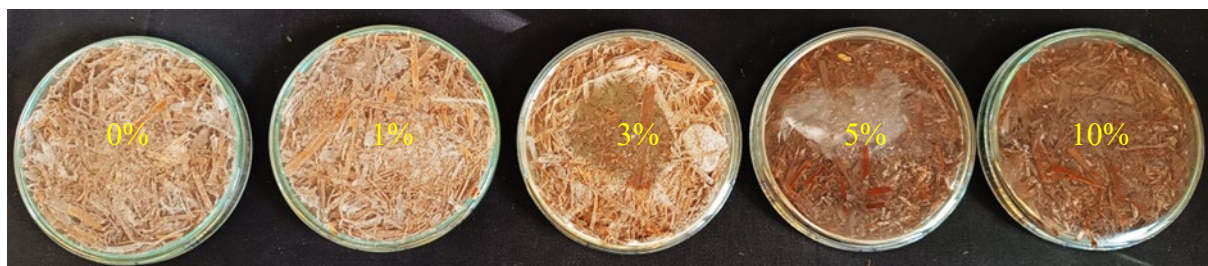
5.2.1. Csiperkegomba

A vizsgálat 18 napig tartott, amely során az ürüléket tartalmazó komposztokon gyakorlatilag megegyező mértékben növekedett a micélium. Az 1 és 3%-os koncentrációjú minták egyes napokon jobbnak bizonyultak a kontrollnál, de csak alig észrevehető mértékben (13. ábra).



13. ábra: Az ürüléket tartalmazó csiperkekomposztok növekvő koncentrációjának megfelelően (saját felvétel)

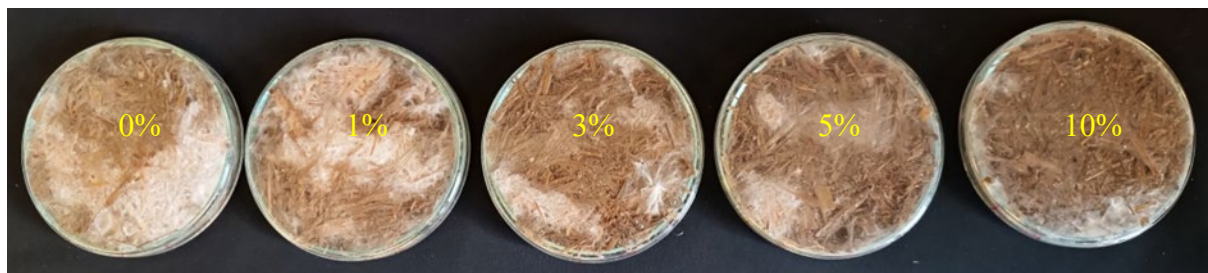
A fehérjével adalékolt petri-csészék esetében az 1%-os minta a kontrollal megegyező volt, illetve két esetben mutatott minimális pozitív eltérést is, de alig látható mértékben. Azonban 3%-tól a koncentrációval fordított arányú növekedést figyeltem meg, a 10%-os mintában már semmilyen növekedés nem volt megfigyelhető. A négy darab 3%-os petri-csészéből kettőben zöldpenész fertőzés lépett föl (14. ábra).



14. ábra: A fehérjével kevert csiperkekomposztok növekvő koncentrációban
A 3%-os minta közepén jól látható a zöldpenész folt
(saját felvétel)

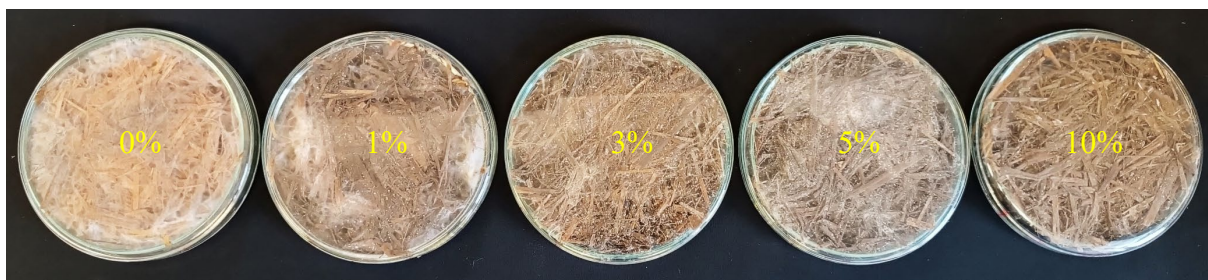
5.2.2. Laskagomba

A növekedést 13 napig figyeltem, mely során az ürülékes szubsztrátumban a növekvő koncentrációval csökkent az átszövöttség mértéke. Az 1%-os minta ez esetben is nagyon hasonló volt a kontrollhoz, de jobbnak nem mutatkozott. A koncentráció emelésével a micélium növekedése egyre koncentráltabbá vált, a megszokott pókháló szerű képletek helyett vastag, „inas” foltok alakultak ki (15. ábra).



15. ábra: Az ürüléssel kevert laskagomba szubsztrátum minták növekvő koncentráció szerint *(saját felvétel)*

A fehérjével kevert minták a csiperkéhez hasonlóan a koncentráció emelésével egyre kisebb növekedést mutattak. Ez esetben is a 10%-os dózis már teljesen gátolta a növekedést (16. ábra).



16. ábra: A fehérjével adalékolt laskagomba szubsztrátumok emelkedő koncentrációban *(saját felvétel)*

6. Következtetések és javaslatok

A kísérlet tapasztalatai alapján elmondható, hogy az ürülék PDA táptalajba keverve a csiperkegomba növekedését hátráltatja. A laskagombára azonban pozitív hatást gyakorol, 1, 3 és 5%-os koncentrációban alkalmazva gyorsabban növekszik a micélium, mint a kontroll táptalajon. A 10%-os koncentráció már itt is negatívan hat a gombatelepekre.

Ezek után csiperkegomba esetében PDA táptalajon nem javaslom 1%-ban és afelett az ürülék dúsítóanyagként való használatát, azonban érdemes lehet megvizsgálni a 0 és 1% közötti koncentrációkban való alkalmazást. A laskagomba dúsítására az ürülék megfelelő, 1%-ban adalékolva átlagosan 26%-kal nagyobb telepméretet érhetünk el, mint a PDA táptalajt önmagában alkalmazva. Továbbá érdemes megvizsgálni részletesebben 0 és 3% közötti koncentrációkban az ürülék laskagombára gyakorolt hatását.

Az eredmények alapján megállapítható, hogy gombakomposztba adagolva az ürülék sem és a fehérje sem gyakorol pozitív hatást a micélium fejlődésére. Míg az ürülék a csiperkegomba esetében gyakorlatilag nem változtatja meg az átszövődés ütemét, addig a laskagombára már növekedést lassító hatással bír. A fehérje mindkét faj micéliumának növekedését egyértelműen negatívan befolyásolja, a 10%-os koncentráció már teljesen letálisnak bizonyul a gombák számára.

Ezek alapján nem javaslom a fehérje dúsítóanyagként való alkalmazását csiperke- és laskakomposztban. Valószínűleg a darált, szárított rovarok viszonylag magas zsírtartalma gátolhatta a növekedést. Érdemes tisztázni, hogy ezek a zsírok felelősek-e a hatásért. Az ürüléket laskagomba esetében szintén nem javaslom dúsításra, mert negatívan hat az átszövődésre. Érdemes lenne azt tovább vizsgálni, hogy nem a kész komposztba, hanem a csiperkekomposzt gyártásának az elején, a csirke- és lótrágya helyettesítésére hogyan használható az anyag. Erre vonatkozóan már vannak biztató eredmények (Geösel, szem. közl).

7. Összefoglalás

A Föld népessége robbanásszerűen növekszik, így az emberiség élelmiszerrel való ellátása egyre nagyobb feladat a mezőgazdaság számára. Az előállított táplálék mennyiségét újabb termőterületek művelésbe vonásával már csak csekély mértékben tudjuk növelni, ezért a termesztés intenzitásának javítása mellett új utakat is kell keresnünk. A gombatermesztés egy lehetséges megoldás arra, hogy kis területen, alacsony víz- és energiafelhasználással nagy mennyiségű, egészséges élelmiszert állítsunk elő. Ehhez leginkább mezőgazdasági melléktermékeket használunk alapanyagként, mint például búzaszalma, ló- és csirketrágya, amelyből a gomba termesztéséhez használt komposztot készítjük. A termesztési ciklus végén a gomba micéliumával átszőtt, letermett komposztot sokszor csak hulladékként lerakják, elfelejtve, hogy az jelentős szervesanyagtartalommal bír. Ennek az értéknek a kinyerésére, átalakítására létezik több módszer is, mint például a gombatermesztésben való újrahasznosítás, a talajjavító anyagként való felhasználás, a megújuló energiatermelés, a bioremediáció vagy a takarmányozásra való alkalmazás. Ez utóbbi hasznosítási módnak jelent meg nemrég egy újszerű változata: a rovarok takarmányozása. Az egyébként nem mindenhol újkeletű rovarfogasztás, illetve a takarmányozásban fehérjeforrásként való alkalmazásuk nagyszerű lehetőség a vízfogyasztás, és az üvegházhatású gázok kibocsájtásának mérséklésére.

Kutatásomban a letermett gombakomposzt hasznosításának ezen módját alapul véve, a rovarok termékeinek gombatermesztésbe való visszaforgatásának lehetőségeit vizsgáltam. A hazánkban két legjelentősebb faj, a kétspórás csiperkegomba (*Agaricus bisporus*) és a kései laskagomba (*Pleurotus ostreatus*) micéliumának növekedését vizsgáltam szárított, darált rovarürülék, valamint rovartetemek (fehérje) adalékolása mellett. Két kísérletet végeztem: az elsőt PDA táptalajjal, a másodikat petri-csészébe rakott, becsírázott gombakomposztal. Mindkét esetben 0, 1, 3, 5 és 10%-os koncentrációban használtam az adalékokat. A fehérjét csak gombakomposztal végzett kísérletemben használtam. Az első kísérletben tolómérő segítségével a petri csésze közepéről kiindulva körkörösén növekvő gombatelepek átmérőjét rögzítettem, a második esetben bonitálással vizsgáltam a minták között mutatkozó különbségeket.

Vizsgálatom során az ürülékkel adalékolta PDA táptalajokon a csiperkegomba esetében nem tapasztaltam növekedésre pozitív hatást, azonban javasolom az 1%-os koncentráció alatti részletesebb vizsgálat elvégzését. Az általam vizsgált legkisebb, 1%-os és annál nagyobb koncentrációkban a rovarürülék csiperke táptalajának dúsításra nem alkalmas. A laskagomba esetében az 1, 3 és 5%-os mintákon nagyobb telepátmérőket mértem, mint a kontrollokon. Az 1%-os minta növekedett a leggyorsabban, átlagosan 26%-kal volt nagyobb, mint a kontroll.

Ezek alapján javaslom az ürüléket 1%-os koncentrációban laskagomba táptalajának dúsítására. Továbbá a 0 és 1 % közötti tartományban érdemes elvégezni egy részletesebb kísérletet. Az adalékolt gombakomposztokban nem tapasztaltam számottevő pozitív hatást sem az ürülék, sem a fehérje esetében. Ezzel szemben az ürülékkel kevert csiperkekomposztot kivéve mindhárom esetben hátráltatta a micélium növekedését az adalékanyag. Ezek alapján kijelenthető, hogy sem az ürülék, sem a fehérje nem alkalmas csiperke- vagy laskakomposzt dúsítóanyagának. Az ürülékkel érdemes lehet további vizsgálatokat végezni, melyek során a komposztgyártás elején, a csirke- és lótrágya helyett kerül alkalmazásra.

8. Köszönetnyilvánítás

A kutatómunka a GINOP+ 2.1.1-21-2022-00183 kódszámon futó „*A gombatermesztési hulladék rovarlárvákkal történő újrahasznosításának kutatás-fejlesztése*” című projekt keretében valósult meg.

Szeretném megköszönni konzulensemnek, Dr. Geösel András intézet- és tanszékvezető úrnak, hogy sok feladata mellett is vállalta a kutatásom vezetését, és egyéb nagyszerű lehetőségeket is biztosított a szakmai elmélyülésre, gyakorlati tapasztalatszerzésre. Továbbá köszönöm Dr. Szabó Annának, hogy a specializáció keretében és azon kívül is mindig rendelkezésemre állt kérdéseim megválaszolásában és a labormunka során felmerült problémáim megoldásában.

A Zöldség- és Gombatermesztési Tanszék laboráns munkatársának, Maryam Mozafariannak szeretném megköszönni, hogy megtanította a laborban végzett munka alapjait, valamint köszönettel tartozom Takács Eszter Intézeti mérnöknek, aki szintén mindig segítséget nyújtott a laboratóriumban.

Külön köszönet illeti a Növényélettani Tanszék munkatársait, akik rendelkezésemre bocsájtották autoklávjukat a táptalajok sterilizálásához.

Köszönöm minden Tanszéki és Egyetemi munkatársnak, akik bármilyen módon hozzájárult ahhoz, hogy ez a kutatás és a dolgozat létrejöjjön!

Végül pedig köszönöm családomnak, hogy támogatták a munkámat, és türelmes szeretettel segítettek átlendülni a kialakult mélypontokon.

9. Irodalomjegyzék

1. Ahlawat, O.P., Kaur, H. (2019): *Re-use of Agaricus bisporus Spent Compost for Commercial Scale Compost Making of the Succeeding Crop of A. bisporus*. Int.J.Curr.Microbiol.App.Sci 8 (11), 177–186. DOI: 10.20546/ijcmas.2019.811.022
2. Ahmad Zakil, F., Mohd Isa, R., Mohd Sueb, M.S., Isha, R. (2022): *Growth performance and mineral analysis of Pleurotus ostreatus (oyster mushroom) cultivated on spent mushroom medium mixed with rubber tree sawdust*. Materials Today: Proceedings 57, 1329–1337. DOI: 10.1016/j.matpr.2022.01.112
3. Belluco, S., Losasso, C., Maggioletti, M., Alonzi, C.C., Paoletti, M.G., Ricci, A. (2013): *Edible Insects in a Food Safety and Nutritional Perspective: A Critical Review*. Comp Rev Food Sci Food Safe 12 (3), 296–313. DOI: 10.1111/1541-4337.12014
4. Chang, S., Miles, P.G. (2004): *Mushrooms*. 2. Edition. New York: CRC Press.
5. Chuang, W.Y., Liu, C.L., Tsai, C.F., Lin, W.C., Chang, S.C., Shih, H.D., Shy, Y.M., Lee, T.-T. (2020): *Evaluation of Waste Mushroom Compost as a Feed Supplement and Its Effects on the Fat Metabolism and Antioxidant Capacity of Broilers*. Animals 10 (3), 445. DOI: 10.3390/ani10030445
6. Dedousi, M., Melanouri, E.-M., Karayannis, D., Kaminarides, E.-I., Diamantopoulou, P. (2024): *Utilization of spent substrates and waste products of mushroom cultivation to produce new crops of Pleurotus ostreatus, Pleurotus eryngii and Agaricus bisporus*. Carbon Resources Conversion 7 (2), 100196. DOI: 10.1016/j.crcon.2023.08.001
7. FAOSTAT honlapja. Letöltés dátuma: 2024.04.05. forrás: <https://www.fao.org/home/en/>
8. FruitVeB Magyar Zöldség-Gyümölcs Szakmaközi Szervezet (2024): *FruitVeB Bulletin - zöldség gyümölcs ágazati jelentés*.
9. FruitVeB Magyar Zöldség-Gyümölcs Szakmaközi Szervezet és Terméktanács honlapja. Letöltés dátuma: 2024.04.05. forrás: <https://fruitveb.hu/fruitveb-bulletin-2019-zoldseg-gyumolcs-termesmennyisegek-alakulasa-2011-2019/>
10. Fukase, E., Martin, W. (2020): *Economic growth, convergence, and world food demand and supply*. World Development 132, 104954. DOI: 10.1016/j.worlddev.2020.104954
11. Györfi, J. (Ed.) (2010): *Gombabiológia, gombatermesztés*. Budapest: Mezőgazda Kiadó.
12. Hancz, C. (2023): *Az ehető rovarok szerepe a vízi állatok fenntartható és környezetbarát takarmányozásában*. Acta Agraria Kaposváriensis 27 (1), 29–50. DOI: 10.31914/aak.5005
13. Jasiūnas, L., Pedersen, T.H., Toor, S.S., Rosendahl, L.A. (2017): *Biocrude production via supercritical hydrothermal co-liquefaction of spent mushroom compost and aspen wood sawdust*. Renewable Energy 111, 392–398. DOI: 10.1016/j.renene.2017.04.019

14. Jayaraman, S., Yadav, B., Dalal, R.C., Naorem, A., Sinha, N.K., Srinivasa Rao, C., Dang, Y.P., Patra, A.K., Datta, S.P., Subba Rao, A. (2024): *Mushroom farming: A review Focusing on soil health, nutritional security and environmental sustainability*. Farming System 2 (3), 100098. DOI: 10.1016/j.farsys.2024.100098
15. Koppányne Szabó, E., Jánosi, A. (2023): *Ehető rovarok élelmiszeripari és takarmányozási célú felhasználásának lehetőségei*. Eviko 69 (2), 4410–4424. DOI: 10.52091/EVIK-2023/2-2-HUN
16. Központi Statisztikai Hivatal honlapja. Letöltés dátuma: 2024.10.13. forrás: https://www.ksh.hu/stadat_files/jov/hu/jov0051.html
17. Leong, Y.K., Ma, T.-W., Chang, J.-S., Yang, F.-C. (2022): *Recent advances and future directions on the valorization of spent mushroom substrate (SMS): A review*. Bioresource Technology 344, 126157. DOI: 10.1016/j.biortech.2021.126157
18. Li, T.-H., Che, P.-F., Zhang, C.-R., Zhang, B., Ali, A., Zang, L.-S. (2020): *Recycling of spent mushroom substrate: Utilization as feed material for the larvae of the yellow mealworm Tenebrio molitor (Coleoptera: Tenebrionidae)*. PLoS ONE 15 (8), e0237259. DOI: 10.1371/journal.pone.0237259
19. Li, T.H., Zhang, C.R., Che, P.F., Ma, Y., Zang, L.S. (2021): *Recycling of spent mushroom substrate and food waste: utilisation as feed materials for black soldier fly (Hermetia illucens (L.) Diptera: Stratiomyidae)*. JIFF 7 (4), 409–418. DOI: 10.3920/JIFF2020.0105
20. Manoharan, Y., Hosseini, S.E., Butler, B., Alzhahrani, H., Senior, B.T.F., Ashuri, T., Krohn, J. (2019): *Hydrogen Fuel Cell Vehicles; Current Status and Future Prospect*. Applied Sciences 9 (11), 2296. DOI: 10.3390/app9112296
21. Moon, Y.H., Shin, P.G., Cho, S.J. (2012): *Feeding Value of Spent Mushroom (Pleurotus eryngii) Substrate*. Journal of Mushroom 10 (4), 236–243. DOI: 10.14480/JM.2012.10.4.236
22. Nonaka, K. (2009): *Feasting on insects*. Entomological Research 39 (5), 304–312. DOI: 10.1111/j.1748-5967.2009.00240.x
23. Ouden, M. den (2016): *Mushroom signals: a practical guide to optimal mushroom growing*. Zutphen: Roodbont.
24. Özgüven, A.I. (1998): *The Opportunities of Using Mushroom Compost Waste in Strawberry Growing*. Turkish Journal of Agriculture and Forestry 22 (6), 601–608.
25. Pérez-Chávez, A.M., Mayer, L., Albertó, E. (2019): *Mushroom cultivation and biogas production: A sustainable reuse of organic resources*. Energy for Sustainable Development 50, 50–60. DOI: 10.1016/j.esd.2019.03.002

26. Ruiz-Rodriguez, A., Soler-Rivas, C., Polonia, I., Wichers, H.J. (2010): *Effect of olive mill waste (OMW) supplementation to Oyster mushrooms substrates on the cultivation parameters and fruiting bodies quality*. International Biodeterioration & Biodegradation 64 (7), 638–645. DOI: 10.1016/j.ibiod.2010.07.003
27. Sardar, H., Anjum, M.A., Hussain, S., Ali, S., Shaheen, M.R., Ahsan, M., Ejaz, S., Ahmad, K.S., Naz, S., Shafique, M. (2022): *Deciphering the role of moringa leaf powder as a supplement in the cotton waste substrate for the growth and nutrition of king oyster mushroom*. Scientia Horticulturae 293, 110694. DOI: 10.1016/j.scienta.2021.110694
28. Singh, M., Kamal, S., Sharma, V. (2021): *Status and trends in world mushroom production-III-World Production of Different Mushroom Species in 21st Century*. MR 29 (2), 75. DOI: 10.36036/MR.29.2.2020.113703
29. Song, Y.M., Lee, S.D., Chowdappa, R., Kim, H.Y., Jin, S.K., Kim, I.S. (2007): *Effects of fermented oyster mushroom (Pleurotus ostreatus) by-product supplementation on growth performance, blood parameters and meat quality in finishing Berkshire pigs*. Animal 1 (2), 301–307. DOI: 10.1017/S1751731107683785
30. Stamets, P. (1993): *GROWING GOURMET AND MEDICINAL MUSHROOMS*. Hong Kong: Ten Speed Press.
31. Szili, I. (2008): *Gombatermesztők könyve*. Budapest: Mezőgazda Kiadó.
32. Tóth, D. (2022): *Letermett gombakomposztal etetett rovarlárvák ürülékének hatása a termesztett gombák micélium növekedésére, és alkalmazása zöldség fajok palántanevelésében (TDK dolgozat)*. Budapest: Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem.
33. United Nations Population Data Portal honlapja. Letöltés dátuma: 2024.11.02. forrás: <https://population.un.org/dataportal>
34. Van Huis, A. (2016): *Edible insects are the future?*. Proc. Nutr. Soc. 75 (3), 294–305. DOI: 10.1017/S0029665116000069
35. Worldometer honlapja. Letöltés dátuma: 2024.04.05. forrás: <https://www.worldometers.info/world-population/>
36. Yang, W., Guo, F., Wan, Z. (2013): *Yield and size of oyster mushroom grown on rice/wheat straw basal substrate supplemented with cotton seed hull*. Saudi Journal of Biological Sciences 20 (4), 333–338. DOI: 10.1016/j.sjbs.2013.02.006
37. Zahid, A., Fozia, Ramzan, M., Bashir, M.A., Khatana, M.A., Akram, M.T., Nadeem, S., Qureshi, M.S., Iqbal, W., Umar, M., Walli, S., Tariq, R.M.S., Atta, S., Al Farraj, D.A., Yassin, M.T. (2020): *Effect of humic acid enriched cotton waste on growth, nutritional and chemical composition of oyster mushrooms (Pleurotus ostreatus and Lentinus sajor-caju)*. Journal of King Saud University - Science 32 (8), 3249–3257. DOI: 10.1016/j.jksus.2020.08.016

38. Zang, H., Liu, W., Cheng, Y., Wang, H., An, X., Sun, S., Wang, Y., Hou, N., Cui, C., Li, C. (2020): *Bioremediation of Historically Chlorimuron-Ethyl-Contaminated Soil by Co-Culture Chlorimuron-Ethyl-Degrading Bacteria Combined with the Spent Mushroom Substrate*. Microorganisms 8 (3), 369. DOI: 10.3390/microorganisms803036
1. Internet 1: Gombafórum – Mushroom Forum (2010): *Gomba is, áram is*. Gombafórum – Mushroom Forum honlapja. Letöltés dátuma: 2024.10.25. forrás: <https://www.gombaforum.hu/2010/gazdasag/gomba-is-aram-is/>
2. Internet 2: Gombafórum – Mushroom Forum (2022): *Gombafogyasztást népszerűsítő kampány indul*. Gombafórum – Mushroom Forum honlapja. Letöltés dátuma: 2024.10.25. forrás: <https://www.gombaforum.hu/2022/gazdasag/gomba-nepszerusito-kampany-indul>

10. Ábrák és táblázatok jegyzéke

1. ábra: A fajok részaránya a világ gombatermesztésében	4
2. ábra: A Magyarországon termesztett gomba mennyiségének alakulása 2011-2022. között ..	5
3. ábra: A koncentrációknak megfelelő csiperkekomposzt, ürülék és fehérje kimérése	16
4. ábra: A laskagombával beoltott, lezárt petri-csészék növekvő koncentráció szerint	17
5. ábra: A petri-csészék lezárásához használt parafilm és az inkubátorban elhelyezett minták	17
6. ábra: A telep átmérőjének mérési módja tolómérő használatával	17
7. ábra: A koncentrációknak megfelelő csiperkekomposzt, ürülék és fehérje kimérése	18
8. ábra: A csiperkekomposzt összekeverése az adalékokkal, majd petri-csészébe helyezése ..	18
9. ábra: A csiperkegomba telepátmérői ürüléket tartalmazó táptalajon	19
10. ábra: A csiperkegomba növekedési sebessége ürülékkel kezelt táptalajon	19
11. ábra: A laskagomba telepátmérői ürülékes táptalajon	20
12. ábra: A laskagomba telepek növekedési sebessége ürülékkel kevert táptalajon	20
13. ábra: Az ürüléket tartalmazó csiperkekomposztok növekvő koncentrációnak megfelelően	21
14. ábra: A fehérjével kevert csiperkekomposztok növekvő koncentrációban A 3%-os minta közepén jól látható a zöldpenész folt (<i>saját felvétel</i>)	21
15. ábra: Az ürülékkel kevert laskagomba szubsztrátum minták növekvő koncentráció szerint	22
16. ábra: A fehérjével adalékolt laskagomba szubsztrátumok emelkedő koncentrációban.....	22

11. Nyilatkozatok

11.1. Hallgatói nyilatkozat

NYILATKOZAT

a szakdolgozat nyilvános hozzáféréséről és eredetiségéről

A hallgató neve: Vadas János
A Hallgató Neptun kódja: UKAUBB
A dolgozat címe: Rovarlárva termékek hatása a csiperke- és laskagomba fejlődésére
A megjelenés éve: 2024.
A konzulens intézetének neve: Kertészettudományi Intézet
A konzulens tanszékének a neve: Zöldség- és Gombatermesztési tanszék

Kijelentem, hogy az általam benyújtott szakdolgozat egyéni, eredeti jellegű, saját szellemi alkotásom. Azon részeket, melyeket más szerzők munkájából vettem át, egyértelműen megjelöltem, és 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 szellemitulajdonkezelési szabályzatában megfogalmazottak érvényesek.

Tudomásul veszem, hogy dolgozatom elektronikus változata feltöltésre kerül a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem MATER Hallgatói Dolgozatok repozitóriumba. Tudomásul veszem, hogy a megvédett és

- nem titkosított dolgozat a védést követően
- titkosításra engedélyezett dolgozat a benyújtásától számított 5 év eltelte után

nyilvánosan elérhető és kereshető lesz az Egyetem MATER Hallgatói Dolgozatok repozitóriumban.

Kelt: Budapest, 2024.11.10.



Hallgató aláírása

11.2.Konzulensi nyilatkozat

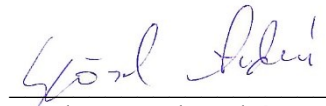
NYILATKOZAT

Vadas János (hallgató Neptun azonosítója: UKAUBB) konzulenseként nyilatkozom arról, hogy a szakdolgozatot áttekintettem, a hallgatót az irodalmi források korrekt kezelésének követelményeiről, jogi és etikai szabályairól tájékoztattam.

A szakdolgozatot a záróvizsgán történő védeésre javaslom / **nem javaslom**¹.

A dolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz: igen nem^{*2}

Kelt: Budapest, 2024.11.10.


dr. Geösel András
belső konzulens

¹ A megfelelő aláhúzendó.

² A megfelelő aláhúzendó.