

**DEBRECENI EGYETEM**  
**ÁLLATTENYÉSZTÉSI TUDOMÁNYOK DOKTORI ISKOLA**

*Doktori Iskola vezető:*

**Prof. Dr. Komlósi István**  
egyetemi tanár  
az MTA doktora

*Témavezetők:*

**Prof. Dr. Prokisch József Ph.D.**  
egyetemi tanár  
**Prof. Dr. Peles Ferenc Árpád Ph.D.**  
egyetemi tanár

**KÉSŐI LASKAGOMBA (*PLEUROTUS OSTREATUS* L.) ALAPÚ  
TAKARMÁNYKIEGÉSZÍTŐ TERMÉKEK FEJLESZTÉSE ÉS  
VIZSGÁLATA JAPÁN FÜRJ (*COTURNIX JAPONICA*)  
MODELLEKEN**

*Készítette:*  
**Seresné Törös Gréta**  
doktorjelölt

**Debrecen**  
**2026.**

**KÉSŐI LASKAGOMBA (*PLEUROTUS OSTREATUS* L.) ALAPÚ  
TAKARMÁNYKIEGÉSZÍTŐ TERMÉKEK FEJLESZTÉSE ÉS  
VIZSGÁLATA JAPÁN FÜRJ (*COTURNIX JAPONICA*)  
MODELLEKEN**

**Értekezés a doktori (Ph.D.) fokozat megszerzése érdekében  
az állattenyésztési tudományok tudományágban**

Írta: **SERESNÉ TÖRŐS GRÉTA**  
okleveles élelmiszerbiztonsági  
és -minőségi mérnök

Készült a Debreceni Egyetem Állattenyésztési Tudományok Doktori Iskola  
keretében

Témavezetők: Prof. Dr. Prokisch József Ph.D.  
Prof. Dr. Peles Ferenc Ph.D.

**Az értekezés bírálói:**

|  | név   | fokozat | aláírás |
|--|-------|---------|---------|
|  | ..... | .....   | .....   |
|  | ..... | .....   | .....   |

**A bírálóbizottság:**

|         | név   | fokozat | aláírás |
|---------|-------|---------|---------|
| elnök:  | ..... | .....   | .....   |
| tagok:  | ..... | .....   | .....   |
|         | ..... | .....   | .....   |
|         | ..... | .....   | .....   |
| titkár: | ..... | .....   | .....   |

Az értekezés védésének időpontja: 20.... ..

## TARTALOMJEGYZÉK

|                                                                                                              |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1. BEVEZETÉS .....                                                                                           | 8  |
| 2. CÉLKITŰZÉSEK .....                                                                                        | 11 |
| 3. SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS .....                                                                             | 12 |
| 3.1. A vizsgált takarmánykiegészítő alapanyag és funkcionális potenciálja .....                              | 12 |
| 3.1.1. A késői laskagomba ( <i>Pleurotus ostreatus</i> ) jelentősége .....                                   | 12 |
| 3.1.2. A <i>Pleurotus ostreatus</i> gombából származó bioaktív vegyületek és azok farmakológiai hatása ..... | 13 |
| 3.1.3. A $\beta$ -glükán, mint kiemelt bioaktív komponens.....                                               | 15 |
| 3.1.4. Prebiotikus hatás és a probiotikus baktériumok támogatása.....                                        | 16 |
| 3.1.5. Antimikrobiális hatásmechanizmusok.....                                                               | 20 |
| 3.1.6. Antioxidáns tulajdonságok és szerep az oxidatív stressz elleni küzdelemben .....                      | 23 |
| 3.2. Technológiai háttér és feldolgozási lehetőségek.....                                                    | 24 |
| 3.2.1. A Maillard-reakció szerepe bioaktív vegyületek képződésében.....                                      | 24 |
| 3.2.2. Képződhetnek szén-nanorészecskék alacsony hőmérsékleten?.....                                         | 29 |
| 3.2.3. Liofilizálás (fagyasztva szárítás), mint funkcionális tartósítási technológia                         | 30 |
| 3.3. Állategészségügyi és baromfiipari alkalmazási lehetőségek .....                                         | 32 |
| 3.3.1. Gyakori kórokozók és fertőzések a baromfiágazatban .....                                              | 32 |
| 3.3.2. Természetes antibiotikum-alternatívák a baromfitakarmányozásban.....                                  | 34 |
| 3.3.3. A <i>Pleurotus ostreatus</i> potenciális takarmánykiegészítőként történő alkalmazhatósága .....       | 36 |
| 4. ANYAG ÉS MÓDSZER .....                                                                                    | 40 |
| 4.1. Fagyasztva szárított <i>Pleurotus ostreatus</i> gombapor minták előállításának folyamata.....           | 40 |
| 4.2. A <i>P. ostreatus</i> gombapor bioaktív komponenseinek kémiai analízise .....                           | 43 |
| 4.2.1. A teljes, $\alpha$ és $\beta$ -glükántartalom mennyiségi meghatározása.....                           | 43 |

|                                                                                                                                |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 4.2.2. A teljes fenol, flavonoid tartalom, valamint a szabadgyökfogó képesség (DPPH) vizsgálata.....                           | 44 |
| 4.2.3. Szén-nanorészecskék méretének, molekulatömegének és koncentrációjának meghatározása a liofilizált gombaporban .....     | 45 |
| 4.3. A liofilizált gombaporok mikrobiológiai vizsgálata.....                                                                   | 46 |
| 4.3.1. A vizsgálatba bevont mikroorganizmus-törzsek.....                                                                       | 46 |
| 4.3.2. Mikrobiológiai vizsgálatok helye, menete.....                                                                           | 46 |
| 4.3.3. Kísérleti csoportok bemutatása.....                                                                                     | 47 |
| 4.3.4. Hígítási sorozat készítése, szélesztés, lemezöntés és inkubációs körülmények biztosítása.....                           | 48 |
| 4.4. Laskagomba ( <i>P. ostreatus</i> ) micélium kolonizációja.....                                                            | 49 |
| 4.4.1. Tápközegek sterilizálása és beoltása laskagomba micéliummal.....                                                        | 49 |
| 4.4.3. A nedvességtartalom és a $\beta$ -glükán tartalom változása .....                                                       | 51 |
| 4.5. Az előállított alapanyagok vizsgálata fürj modelleken.....                                                                | 52 |
| 4.5.1. Állatkísérletek bemutatása.....                                                                                         | 52 |
| 4.5.2. A kísérleti állatok bemutatása és állattartás .....                                                                     | 53 |
| 4.5.3. Takarmánykiegészítők és <i>E. coli</i> LPS injekció.....                                                                | 54 |
| 4.5.4. Mintavétel .....                                                                                                        | 57 |
| 4.6. Laboratóriumi mérések.....                                                                                                | 58 |
| 4.6.1. Növekedési teljesítmény és a lép valós súlya .....                                                                      | 58 |
| 4.6.2. Interleukin szintek.....                                                                                                | 58 |
| 4.6.3. Intesztinális morfológia.....                                                                                           | 59 |
| 4.6.4. Teljes antioxidáns kapacitás.....                                                                                       | 59 |
| 4.6.5. Statisztikai vizsgálat.....                                                                                             | 60 |
| 5. EREDMÉNYEK ÉS AZOK ÉRTÉKELÉSE .....                                                                                         | 61 |
| 5.1. A fagyasztva szárított <i>Pleurotus ostreatus</i> gombaporok karakterizálása és biológiai aktivitásának a vizsgálata..... | 61 |
| 5.1.1. Poliszacharid frakció (glükán tartalom).....                                                                            | 61 |

|                                                                                                                                        |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 5.1.2. A gomba alapú szén nanorészecskék karakterizálása.....                                                                          | 62  |
| 5.2. Antioxidáns vegyületek (TPC és TFC), valamint antioxidáns aktivitás (1,1-difenil-2-pikrilhidrazil-DPPH) vizsgálat eredményei..... | 67  |
| 5.3. A laskagombaporok tesztelése tejsavbaktériumokon .....                                                                            | 69  |
| 5.4. Kórokozó mikroorganizmusokkal szemben kifejtett gátló hatás.....                                                                  | 71  |
| 5.5. A <i>P. ostreatus</i> micélium $\beta$ -glükán tartalmának sikeres optimalizálása .....                                           | 74  |
| 5.6. Állatkísérleti eredmények .....                                                                                                   | 81  |
| 5.6.1. Testsúly, testsúlygyarapodás és heti testsúlygyarapodás eredményei .....                                                        | 81  |
| 5.6.2. Lép valós súlya.....                                                                                                            | 85  |
| 5.6.3. Immunválasz.....                                                                                                                | 87  |
| 5.6.4. Ileum morfológia.....                                                                                                           | 89  |
| 3.5. Teljes antioxidáns kapacitás a vérplazmában .....                                                                                 | 92  |
| 6. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK .....                                                                                                 | 94  |
| 7. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK .....                                                                                                      | 97  |
| 9. ÖSSZEFOGLALÁS .....                                                                                                                 | 100 |
| 10. SUMMARY .....                                                                                                                      | 102 |
| 11. SZAKIRODALOMJEGYZÉK .....                                                                                                          | 104 |
| KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS .....                                                                                                              | 132 |
| ÁBRÁK JEGYZÉKE.....                                                                                                                    | 136 |
| TÁBLÁZATOK JEGYZÉKE .....                                                                                                              | 138 |
| DOKTORI ÉRTEKEZÉS ALAPJÁUL SZOLGÁLÓ PUBLIKÁCIÓK.....                                                                                   | 139 |
| NYILATKOZAT .....                                                                                                                      | 147 |

## RÖVIDÍTÉSEK JEGYZÉSE

|                               |                                                                                                                                             |
|-------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>ALB</b>                    | Albumin (g/l)                                                                                                                               |
| <b>ALT</b>                    | Alanin-aminotranszferáz (U/l)                                                                                                               |
| <b>AMP</b>                    | Antimikrobiális peptidek                                                                                                                    |
| <b>AST</b>                    | Aszpartát-aminotranszferáz (U/l)                                                                                                            |
| <b>DPPH</b>                   | 1,1-difenil-2-pikrilhidrazil                                                                                                                |
| <b>GA</b>                     | Gomba alapanyagok                                                                                                                           |
| <b>GOPOD</b>                  | Glükózmeghatározó reagens                                                                                                                   |
| <b>GIT</b>                    | Gastrointesztinális traktus                                                                                                                 |
| <b>HMF</b>                    | 5-hidroxi-metil-furfurol                                                                                                                    |
| <b>HPLC</b>                   | Nagyhatékonyságú folyadékkromatográfia                                                                                                      |
| <b>IL-1<math>\beta</math></b> | Interleukin 1-béta                                                                                                                          |
| <b>IL-2</b>                   | Interleukin-2                                                                                                                               |
| <b>IL-4</b>                   | Interleukin-4                                                                                                                               |
| <b>LGA</b>                    | Laskagomba agar                                                                                                                             |
| <b>PC</b>                     | Pozitív kontroll-béta-glükán alapú takarmánykiegészítés                                                                                     |
| <b>PTFE</b>                   | Politetrafluoretilénből készült fecskendőszűrő                                                                                              |
| <b>NC</b>                     | Negatív kontroll-alap takarmány                                                                                                             |
| <b>LGP-FL</b>                 | Főtt folyadék halmazállapotú anyag–centrifugából távozó laskagombalé liofilizálva (főtt termőtestből kivonva)                               |
| <b>LGP-FSZ</b>                | Főtt, szilárd maradék–szűrőn maradt anyagból készített liofilizátum (alapanyag → termőtest redukált víztartalommal centrifugálást követően) |
| <b>LGP-TF</b>                 | Teljes, friss laskagombából előállított liofilizátum                                                                                        |
| <b>LPS</b>                    | <i>Escherichia coli</i> mikroorganizmus sejtfalából származó lipopoliszacharid                                                              |
| <b>MR</b>                     | Maillard-reakció                                                                                                                            |
| <b>MRP-k</b>                  | Maillard-reakció termékek                                                                                                                   |
| <b>MRS</b>                    | de Man, Rogosa, Sharpe tápleves                                                                                                             |
| <b>MRSA</b>                   | de Man, Rogosa, Sharpe agar                                                                                                                 |
| <b>PCA</b>                    | Plate Count Agar-mikrobaszám meghatározáshoz alkalmas szilárd táptalaj                                                                      |

|             |                              |
|-------------|------------------------------|
| <b>SCFA</b> | Rövid szénláncú zsírsavak    |
| <b>SMS</b>  | Letermett gombakomposzt      |
| <b>TAC</b>  | Teljes antioxidáns kapacitás |
| <b>TFC</b>  | Teljes flavonoid tartalom    |
| <b>TP</b>   | Teljes fehérje (g/l)         |
| <b>TPC</b>  | Teljes fenoltartalom         |

## 1. BEVEZETÉS

A gombákból származó gyógyhatású termékek hatásosságát egyre több tudományos kutatás támasztja alá. Fontosak a fertőző betegségek prevenciójában. Ezen felül az állattenyésztésben kiemelkedő jelentőségű természetes, nem antibiotikus növekedésserkentő készítményekként tartják nyilván, melyek hosszú távon segíthetnek a globális mortalitási ráták csökkentésében (LEPCZYŃSKI és mtsai, 2024).

A gyakran vizsgált termesztett, ehető gombafajok közül a *Pleurotus ostreatus* (késői laskagomba) kiemelkedik immunmoduláló hatása révén, hiszen széles spektrumú antimikrobiális, illetve prebiotikus aktivitásának köszönhetően pozitívan befolyásolja a bélflórát és az immunrendszert (SINGH – BHARDWAJ, 2023; TÖRŐS és mtsai, 2023).

Tartalmaz többek között  $\beta$ -glükánt és kitint, amelyek elsősorban szerkezeti stabilitást nyújtanak, ugyanakkor funkcionális előnyöket is biztosítanak (CHANG és mtsai, 2023; LOO és mtsai, 2020). A  $\beta$ -glükánok prebiotikus, antimikrobiális és antioxidáns hatásuk révén jelentősek, hiszen elősegítik a hasznos bélbaktériumok szaporodását (*Lactobacillus* spp.) és gátolják a káros mikroorganizmusok, mint például az *Escherichia coli* növekedését (ASSEMIE – ABAYA, 2022; MIHAI és mtsai, 2022).

A fenolos vegyületek, mint például a flavonoidok antioxidáns hatásuk révén elősegítik az oxidatív stressz elleni védekezést és támogatják a vastagbél metabolikus folyamatait (CERLETTI és mtsai, 2021; AYSER és mtsai, 2023; KILIÇ és mtsai, 2024). Az oxidatív stressz főként szabad gyökök hatására jön létre komoly problémát jelent a baromfiágazatban, hiszen károsítja az állatok egészségügyi állapotát és termelékenységét (GIANNENAS és mtsai., 2010, 2011). A baromfitartók egyre gyakrabban fordulnak a gombákból nyert természetes antioxidánsok felé, amelyek megfelelnek a fogyasztók maradványmentességre és biztonságra vonatkozó elvárásainak (AKYÜZ és mtsai, 2023; SOŁOWIEJ és mtsai, 2023).

A *P. ostreatus* bioaktív komponenseinek koncentrációja és biológiai aktivitása nagyban függ a feldolgozási módszerektől. Ahőkezelés, különösen a Maillard-reakciónak köszönhetően új, funkcionálisan aktív vegyületek, például melanoidinok és szén nanorészecskék képződnek (SUN és mtsai, 2019; SELLI és mtsai, 2021). A melanoidinok szintén antioxidáns, antimikrobiális és prebiotikus tulajdonságokkal rendelkeznek. A szén nanorészecskék fotolumineszcens és biokompatibilis tulajdonságaik révén a nanotechnológiai kutatások középpontjába kerültek.

Szerepük bioaktív hatóanyagok szállításában és sejtszintű bejuttatásában említésre méltó (LYSENKO és mtsai, 2024; TEJWAN és mtsai, 2022). Továbbá, a hőkezelés elősegíti a sejtfalak lebontását, így növelve a bioaktív vegyületek felszabadulását (SHAHIDI – YEO, 2016; IZHAM és mtsai, 2022).

A baromfi ágazatban a *P. ostreatus*-ból készült takarmánykiegészítők az utóbbi években ígéretes megoldásként kerültek előtérbe, mely annak köszönhető, hogy hatékonyan javítják a növekedési teljesítményt, erősítik az immunválaszt és csökkentik a fertőzések kialakulásának a kockázatát. Szerepük az antibiotikum-rezisztencia elleni küzdelemben elengedhetetlen (ABOU-ZEID és mtsai., 2019; ROMERO-ARENAS és mtsai, 2023; TÖRÖS és mtsai, 2024).

Számos tanulmány igazolja a laskagombapor hatékonyságát a növekedési teljesítmény javításában, az immunválasz erősítésében és a baromfi általános egészségügyi állapotának a fokozásában. A  $\beta$ -glükánok kiemelten fontos szerepet játszanak ebben a folyamatban, hiszen javítják a bélmikrobiom egyensúlyát és támogatják a természetes védekezőképességet (DANESHMAND és mtsai, 2011; HASSAN és mtsai, 2020; SOŁOWIEJ és mtsai, 2023; SUBERU és mtsai, 2024).

A hagyományos gyógyászat régóta alkalmazza a gombákat különféle betegségek kezelésére. Az utóbbi időben ez a tudás új dimenziót nyert a funkcionális, természetes eredetű takarmány-kiegészítők fejlesztésében, különösen az antibiotikumhasználat visszaszorítására irányuló törekvések keretében. Az antibiotikumok túlzott használata az állattartásban rezisztens baktériumtörzsek kialakulását idézte elő, ami komoly közegészségügyi kihívást jelent. Ennek következtében az alternatív megoldások, például a *Pleurotus ostreatus* alapú készítmények egyre jobban előtérbe kerültek (ABOU-ZEID és mtsai., 2019; TÖRÖS és mtsai., 2023).

A jelen kutatás célja a *P. ostreatus* gombából alacsony hőmérsékleten, hosszú időn keresztül történő hőkezelésen alapuló feldolgozási eljárás alkalmazásával előállított termékek bioaktív komponenseinek, köztük a  $\beta$ -glükánoknak, fenolos vegyületeknek, flavonoidoknak és szén nanorészecskéknek vizsgálata (Lsd.: 1. ábra). A kutatás középpontjában ezen összetevők japán fürjekre (*Coturnix japonica*) gyakorolt hatásának értékelése áll, különös tekintettel a tömeggyarapodásra, az immunrendszer válaszreakcióira, a bélrendszer morfológiai jellemzőire, az antioxidáns státuszra, valamint az általános egészségi állapotra (vérbiokémiai paraméterekre).



1. ábra: Grafikus absztrakt a vizsgálandó alapanyagunk jelentőségéről, a kutatás célkitűzéseiről, illetve a végső célról (forrás: saját szerkesztés)

Az eredményeink várhatóan hozzájárulnak olyan természetes, fenntartható és biztonságos takarmánykiegészítők kifejlesztéséhez, amelyek csökkenthetik az antibiotikum-használat szükségességét az állattenyésztésben, támogatva ezzel az egészséges állattartást és a fogyasztói elvárásoknak megfelelő, maradványmentes élelmiszerlánc kialakítását.

## 2. CÉLKITŰZÉSEK

Fontos, hogy a fejlesztett takarmánykiegészítő termékeink pontos hatóanyag tartalmával, illetve hatás-mechanizmusával is tisztában legyünk, mielőtt bevezetnénk őket a piacra. Elsősorban létrehozuk az alkalmas gyártástechnológiát, mely során vizsgáljuk a potenciális takarmánykiegészítő modellanyagok funkcionalitását. Ezt követően etikai engedéllyel rendelkező állatkísérletben értékeljük a laskagombaporok japán fűrj (*Cotornix japonica*) kísérleti állatokra gyakorolt hatását.

- A gomba termőtestek alacsony hőmérsékleten, kontrollált páratartalom mellett, hosszú időn keresztül történő hőközlése, majd azt követő szabályozott szárítása mellett biológiailag aktív vegyületekben gazdag takarmánykiegészítő termékeket hozunk létre (micélium és termőtest alapanyagból).
- Vizsgáljuk a laskagombaporok (termőtest- és gombalé-alapú) biológiai aktivitását (jótékony és káros mikroorganizmusok növekedését befolyásoló hatásának, illetve antioxidáns funkcionális tulajdonságok feltérképezése).
- Meghatározzuk a készítmények hatását a japán fűrj modellek bizonyos termelési paramétereire (élő súly, lép való súly, átlagos heti súlygyarapodás, testtömeggyarapodás, heti testsúly), majd összevetjük a kezelés nélküli és  $\beta$ -glükánnal kezelt csoportok eredményeivel.
- Teszteljük a takarmánykiegészítő modellanyagok (laskagombaporok) hatását a japán fűrjek immunológiai paramétereire, köztük az interleukin-1 $\beta$  (IL-1 $\beta$ ), interleukin-2 (IL-2) és interleukin-4 (IL-4) citokinek szintre.
- Ezenfelül a különböző kezelésekhez tartozó vérplazma mintákból meghatározzuk az összantioxidáns kapacitást, annak érdekében, hogy felmérjük a vér antioxidáns védelmi rendszerének hatékonyságát és a sejtszintű oxidatív stressz mértékét.
- Feltérképezzük a modellanyagok táplálóanyag-felszívódásra gyakorolt hatását. Ehhez mintákat gyűjtünk a csípőbélből, majd elemzést végzünk az intesztinális morfológiai kvantitatív jellemzők (bolyhok magassága, kripta mélység, illetve arányuk, nyálkahártya vastagság) tekintetében.

### 3. SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS

#### 3.1. A vizsgált takarmánykiegészítő alapanyag és funkcionális potenciálja

##### 3.1.1. A késői laskagomba (*Pleurotus ostreatus*) jelentősége

A *Pleurotus* gombák számos értékes tulajdonsággal bírnak, beleértve a biotechnológiai (EL-RAMADY és mtsai., 2022), miko-nanotechnológiai (ELSAKHAWY és mtsai., 2022), gyógyászati (EL-RAMADY és mtsai., 2022) és a humán táplálkozásban betöltött szerepüket (LLANAJ és mtsai., 2023). A *Pleurotus ostreatus* (*Pleurotus* spp. tagja) gombafaj kiemelkedő bioaktív vegyülettartalommal rendelkezik, többek között  $\beta$ -glükánokat, flavonoidokat, poliszacharidokat, triterpenoidokat, lektineket, peptideket, nukleotidokat és ergoszterint is tartalmaz, amelyek rákellenes, antioxidáns, vírusellenes, antihiperkoleszterinémiás, gyulladáscsökkentő és immunstimuláló hatással rendelkeznek (MELANOURI és mtsai., 2022; RAMAN és mtsai., 2021). Ezen vegyületek egy komplex mátrixban, szinergikusan fejtik ki jótékony hatásukat az emberi és állati szervezetben.

Táplálkozás-élettani szempontból a laskagomba alacsony kalória-, zsír- és nátriumtartalommal bír, ugyanakkor gazdag élelmi rostokban, fehérjében, vitaminokban (pl. B-vitaminok), valamint esszenciális mikroelemekben, mint például a réz, cink, mangán és szelén (EFFIONG és mtsai., 2024), tehát értékes funkcionális élelmiszer-alapanyagnak tekinthető.

A *P. ostreatus* gomba fontos szerepet tölt be a környezeti terhelések csökkentésében is: kiválóan alkalmazható a szerves szennyezőanyagok, például szulfonamidok és egyéb toxikus vegyületek mikoremediációval történő eltávolítására (EL-RAMADY és mtsai., 2022; GOLOVKO és mtsai., 2022). Mindemellett ligninolitikus enzimeket (lakkáz, mangán-peroxidáz, lignin-peroxidáz) termel, melyek az agrohulladékok biológiai lebontásában kulcsfontosságú szerepet játszanak. A lignin egy komplex, nehezen bontható polimer, amely fizikai és kémiai védelmet nyújt a cellulóz és hemicellulóz ellen, gátolva elérhetőségüket a mikroorganizmusok számára. A lignin eltávolítása után a sejtfal fellazul, így a cellulóz és hemicellulóz könnyebben hozzáférhetővé válik a különböző enzimek és mikrobák számára (GILL és mtsai., 2022; LI és mtsai., 2022).

Ezen gomba képes nehézfémek és egyéb ionok akkumulálására, illetve toxikus elemek kivonására is. Jelentős szerepe van a talaj és szennyvíz bioremediációjában (CALDERON-LOPEZ és mtsai., 2021). Összességében elmondható, hogy az értékes laskagomba (*P. ostreatus* L.) biomassza, takarmány-összetevők és funkcionális élelmiszerek előállításához is kiválóan hasznosítható (Lsd.: 2. ábra). Termesztése számos környezetvédelmi probléma megoldásához járulhat hozzá, elősegítve a fenntartható fejlődést és a növekvő népesség élelmiszerrel történő ellátását (EL-RAMADY és mtsai., 2022).



**2. ábra: A késői laskagomba (*P. ostreatus*) fényképe (A) egészségügyi hatásainak az összefoglalása (B) (forrás: saját fényképek (A) és szerkesztés ELSAKHAWY és mtsai. (2022) munkássága alapján (B))**

### 3.1.2. A *Pleurotus ostreatus* gombából származó bioaktív vegyületek és azok farmakológiai hatása

Az elmúlt években növekedett az érdeklődés a *P. ostreatus* gombákból kivonat és izolált vegyületek baktériumellenes (LESA és mtsai., 2022), gombaellenes (WAKTOLA – TEMESGEN, 2020), vírusellenes (EL-MARADNY és mtsai., 2021), illetve féregellenes (ADAK – KUMAR, 2022) hatása iránt.

Ezenfelül megfigyelték a probiotikus baktériumokkal szemben kifejtett növekedés serkentő hatásukat (VLASSOPOULOU és mtsai., 2022).

Az 1. táblázatban kifejezetten az antimikrobiális és prebiotikus aktivitásáért felelős bioaktív komponenseket foglaltam össze. A legújabb farmakológiai kutatások megerősítették, hogy a *P. ostreatus* gyógyászati jelentősége túlmutat az antimikrobiális hatáson: kimutatták például az ergotionein jelenlétét, amely erős antioxidáns és potenciálisan daganatellenes hatással bír (ZHANG és mtsai., 2022).

**1. táblázat: A késői laskagomba gyógyászati értéke az antimikrobiális és prebiotikus aktivitású vegyületekre fókuszálva**

| <b>Farmakológiai hatás</b>                                             | <b>Izolált bioaktív vegyületek</b>                                                                               | <b>Forrás</b>                                                                                         |
|------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Gombaellenes</b>                                                    | p-anizaldehid, kitin (kitozán), pleurostrin (~7000 Da molekulatömeg)                                             | (ABDELTWAB és mtsai., 2019; LANDI és mtsai., 2022; WAKTOLA – TEMESGEN, 2020)                          |
| <b>Antibakteriális</b>                                                 | Fenolos vegyületek, tanninok, flavonoidok, terpének, $\beta$ -D-glükán (pleuran), p-anizaldehid, kitin (kitozán) | (ABDELTWAB és mtsai., 2019; LESA és mtsai., 2022; SULIAMAN és mtsai., 2021; WAKTOLA – TEMESGEN, 2020) |
| <b>Antivirális (COVID-19)</b>                                          | Terpenoidok, lektinek, glikoproteinek, galaktomannánok, poliszacharidok                                          | (ARUNACHALAM és mtsai., 2022)                                                                         |
| <b>Antihelmintikus (gasztrointesztinális paraziták, lárva állapot)</b> | Másodlagos metabolitok: alkaloidok, flavonoidok, fenolos vegyületek, kinonok, peptidek, terpenoidok, zsírsavak   | (ADAK–KUMAR, 2022; RODRÍGUEZ-BARRERA és mtsai., 2021)                                                 |
| <b>Prebiotikus</b>                                                     | Poliszacharid frakciók, $\beta$ -D-glükán (pleuran), oldhatatlan $\beta$ -(1,3/1,6)-D-glükán, kitin              | (GUAN – FENG, 2022; VLASSOPOULOU és mtsai., 2022)                                                     |

A *P. ostreatus* gomba antimikrobiális hatása elsősorban a különböző fitokémiai komponensek, többek között szteroidok, flavonoidok, szaponinok, tanninok, fenolos vegyületek, glikozidok és terpenoidok jelenlétéhez köthető (SELLI és mtsai., 2021; OGIDI és mtsai., 2021).

### 3.1.3. A $\beta$ -glükán, mint kiemelt bioaktív komponens

A késői laskagombában a  $\beta$ -glükán bioaktív hatóanyag jelenléte a legszámottevőbb. A  $\beta$ -glükánok baktériumok, gombák és egyes algák sejtfalában is egyaránt megtalálható poliszacharidok (CERLETTI és mtsai., 2021). Mielőtt feltérképeznénk ezen vegyületet, érdemes tisztában lenni a szerkezeti felépítése mellett a jelenlévő bioaktív vegyületek stabilitásával, biológiai aktivitásával kapcsolatban.

Glükózmolekulákból épül fel, amelyeket lineáris vagy elágazó láncban  $\beta$ -glikozidos kötések kapcsolnak össze. A  $\beta$ -glikozidos kötések egyedi tulajdonságokat kölcsönöznek a  $\beta$ -glükánoknak, mint például gélképző képességet és az emberi szervezetben megtalálható enzimekkel szembeni ellenállóképességet. A  $\beta$ -glükánokat a glükózmolekulák közötti kötéstípus alapján osztályozzuk. A gombákban leggyakrabban előforduló  $\beta$ -glükán a  $\beta$ -1,3-glükán, amely lineáris glükózláncokat tartalmaz  $\beta$ -1,3-glikozidos kötéssel. Egyéb típusok közé tartozik a  $\beta$ -1,6-glükán, amely elágazó glükózláncokat tartalmaz  $\beta$ -1,6-glikozidos kötéssel, valamint a  $\beta$ -1,3/1,6-glükán, amely mind lineáris, mind elágazó szerkezeteket tartalmaz. A  $\beta$ -glükán képződése a micéliumban összetett bioszintetikus útvonalakat foglal magában (KAUR és mtsai., 2019; SETYAWAN és mtsai., 2024).

A micélium növekedése és fejlődése során a gomba sejtfalának szerkezeti elemeként  $\beta$ -glükánokat szintetizál. Ezen enzimatikus folyamat a poliszacharidok előállításához vezet a gombasejtekben. A  $\beta$ -glükán bioszintézise egy összetett és szigorúan szabályozott folyamat, mely különböző enzimek és anyagcsere-útvonalak összehangolt működését igényli. A  $\beta$ -glükánok a gombasejtfal egyik legfontosabb összetevői a kitin mellett, és kulcsszerepet játszanak a sejtfal integritásának fenntartásában, szerkezeti támogatásban és a környezettel való kölcsönhatásban (TEPARIC és mtsai., 2020; YU és mtsai., 2023).

A  $\beta$ -glükánok szintézise egy szigorúan szabályozott folyamat, amelyben specifikus enzimek vesznek részt. Kutatások azonosították a  $\beta$ -1,3-glükán szintázokat kódoló géneket több gombafajban, megerősítve a  $\beta$ -glükánok szabályozott szintézisét.

Ezek az enzimek katalizálják a  $\beta$ -glükánok képződését a glükóz-monomerek  $\beta$ -glikozidos kötéssel történő összekapcsolásával. A lineáris vagy elágazó szerkezet kialakulása, pedig a gombasejtekből található enzimatis apparátustól függ (VEVERKA és mtsai., 2014; PAPASPYRIDIS és mtsai., 2018).

A micéliumban található  $\beta$ -glükánok szerkezete változó. A leggyakoribb kötéstípusok a  $\beta$ -1,3 és  $\beta$ -1,6 kötések. A szakirodalom kiemeli a  $\beta$ -1,3-glükánok mikrofibrilláris szerkezetét, valamint jelentőségüket a sejtfal szerkezetében és ellenállóképességében. Ezenfelül az elágazó  $\beta$ -glükánok jelenléte és szerkezeti sokfélesége különböző gombafajokban is megfigyelhető (DALONSO és mtsai., 2015; KAUR és mtsai., 2019).

A  $\beta$ -glükán képződését a gomba micéliumban különböző tényezők (környezeti feltételek és genetikai háttér) befolyásolják. Kutatások szerint a lineáris  $\beta$ -1,3-glükánok szintézise ritka jelenség, amely specifikus körülmények között, például protoplasztok regenerációja során vagy bizonyos gombák oldható kivonataiban figyelhető meg, tehát a micéliumban a  $\beta$ -glükán képződése specifikus szabályozási mechanizmusoknak van alávetve. A  $\beta$ -glükán szintézisének szabályozása kulcsfontosságú a sejtfal stabilitásának fenntartása és a változó környezeti feltételekhez való alkalmazkodás szempontjából. Összegzésként, a  $\beta$ -glükánok képződése a micéliumban egy szabályozott szintézis, amely a gombasejtfal komplex struktúráinak kialakulásához vezet (PHILIPPINI és mtsai., 2019).

#### 3.1.4. Prebiotikus hatás és a probiotikus baktériumok támogatása

Számos tanulmányt publikáltak különböző termékpályák esetében a *P. ostreatus* prebiotikus tulajdonságának optimalizálásáról, mint például azt az olíva melléktermékei (KOUTROTSIOS és mtsai., 2019), a rizsbogyós rizs (SOODPAKDEE és mtsai., 2022) és az ömlesztett sajt esetében tették (SOŁOWIEJ és mtsai., 2023). A kutatások arra utalnak, hogy a gomba szignifikánsan fokozhatja a probiotikus baktériumok növekedését és aktivitását.

Az emberi étrendben jelenlévő prebiotikus szénhidrátok, mint például az inulin, laktulóz, frukto-oligoszacharidok (FOS), galakto-oligoszacharidok (GOS), transz-galaktooligoszacharidok (TOS) és  $\beta$ -glükánok jól ismertek a szakirodalomból, hiszen figyelemreméltó a szerepük van a bélmikrobiom összetétel, ennél fogva az emésztési folyamatok szabályozásában (COLLINS – REID, 2016; WHISNER – CASTILLO, 2018; NAIR és mtsai., 2024).

A nem emészthető élelmi rostok iránti érdeklődés növekszik, hiszen pozitív hatást gyakorolnak a bélrendszer egészségére, immunmoduláló tulajdonságuk van, csökkentik a patogén baktériumok invázióját, és kedvező metabolikus hatásokkal bírnak (REZENDE és mtsai., 2021).

A FANFARET (2021) alapján a prebiotikumoknak több alapvető kritériuma van. Először is rezisztensek a felső gasztronintesztinális traktusban, vagyis nem bomlanak le a gyomor és a vékonybél enzimeit által. Másodszor, fermentálhatók a vastagbélben lévő baktériumok, például a *Bifidobacterium* és a *Lactobacillus* által. Mindemellett szelektíven stimulálják a mikrobiomot: elősegítik a jótékony baktériumok növekedését, miközben visszaszorítják a kórokozókat. Ezen felül immunmoduláló hatásuk is van, csökkentik a gyulladást és támogatják a bél nyálkahártya integritását.

Számos kutatás rámutat arra, hogy a *P. ostreatus* termőtestéből, szubsztrátjából és micéliumából prebiotikus anyagok vonhatók ki, amelyek hatékonyan elősegítik a probiotikus baktériumok növekedését, valamint a bélmikrobiota kedvező irányú szabályozását. SAWANGWAN és mtsai. (2018) szerint a gomba termőteste erőteljesebben stimulálja például a *Lactobacillus acidophilus* és *Lactiplantibacillus plantarum* (korábbi neve *Lactobacillus plantarum*) növekedését, mint a kereskedelmi forgalomban kapható inulin vagy frukto-oligoszacharidok.

Ezen túlmenően a kitin és származékai szintén jelentős prebiotikus potenciált hordoznak: a bél mikroflóra számára energia- és szénforrást biztosítanak, elősegítve ezzel a probiotikus baktériumok emésztési és anyagcsere-folyamatait (GUAN – FENG, 2022; HUQ és mtsai., 2022; SCHIPHOF és mtsai., 2024).

A prebiotikumok olyan nem emészthető élelmiszer-összetevők, melyek szelektíven stimulálják a jótékony bélbaktériumok (pl. bifidobaktériumok, tejsavbaktériumok) növekedését és aktivitását. Leggyakrabban élelmi rostokból és oligoszacharidokból állnak, és számos tudományosan bizonyított egészségügyi előnnyel bírnak, ahogyan azt a 3. ábra címszavakban összefoglalta (MANZOOR és mtsai., 2022).



**3. ábra: A prebiotikumok bizonyított egészségügyi hatásai**

(forrás: Saját szerkesztés)

A jelenlegi tudományos ismeretek alapján tehát a gombák, mint a *P. ostreatus* poliszacharidjai ígéretes prebiotikumnak tekinthetők (FERNANDES és mtsai., 2023).

A probiotikumok fermentációja során a pH-érték csökken, mely környezet kedvezőtlen a kórokozók szaporodásához. A jótékony baktériumok B1-, B2-, B3-, B6-, B8-, B9- és B12 vitaminokat termelnek. Optimalizálják a vitaminok és ásványi anyagok felszívódását, valamint szerves savak és aminosavak képződését (GIBSON – FULLER, 2000). A rövid szénláncú zsírsavak hatással vannak a gasztrointesztinális hámsejtek integritására, az immunitásra, a glükóz homeosztázisra, a lipid anyagcserére, a testtömeg szabályozására és egyes ráktípusok kockázatának csökkentésére (REZENDE és mtsai., 2021).

A bélmikrobióta prebiotikumokkal történő manipulálása kiváló stratégia lehet a betegségek megelőzésére. A bélmikrobiom leggyakoribb törzsei a *Firmicutes* és a *Bacillotta* (STOJANOV és mtsai., 2020; KEREZOUDI és mtsai., 2021).

A köztük lévő arány jelentős szerepet játszik az elhízás, a súlyos bélműködési zavarok, illetve szisztémás sérülések kialakulásának a kockázatában (FANG és mtsai., 2022).

A bélmikrobiom és az agy (idegrendszer) közötti kommunikáció egy nagyon szoros és szigorú hálózat (DABROWSKI és mtsai., 2021; MANZOOR és mtsai., 2022), amely számos neurológiai rendellenességben játszik szerepet (HU és mtsai., 2022).

A pro- és prebiotikumok a gyomor-bélrendszer, az immunrendszer és a neurológiai rendszerek problémáinak kezelésére szolgálnak (MANZOOR és mtsai., 2022). A prebiotikumokkal támogatjuk az állatok növekedését, idegrendszerük normál működését. Háttérbe szorítjuk az antibiotikum-felhasználást, ezáltal az antibiotikum-rezisztencia kialakulásának kockázatát (SOLIS-CRUZ és mtsai., 2019).

A bakteriális fertőzésben szenvedő betegek antibiotikum-rezisztenciájának növekedése világszerte jelentős egészségügyi és gazdasági terheket von maga után (CARS és mtsai., 2021). Összefüggéseket találtak az antibiotikum-fogyasztá és a rezisztens törzsek kialakulása között a kórházakban. A prebiotikumok fogyasztása hatással van a jótékony baktériumok szaporodásának és aktivitásának szelektív elősegítésére a vastagbélben (PILMIS és mtsai., 2020).

A gombák poli- és oligoszacharidjai képesek megváltoztatni az immunrendszert, megelőzni a vastagbélrákot, csökkenteni a kórokozók invázióját, a bélbetegségek, a szív- és érrendszeri betegségek, a nem inzulinfüggő cukorbetegségek, a csontritkulás, illetve az elhízás kialakulásának a kockázatát (INYOD és mtsai., 2022). Mindemellett fokozzák az ásványi anyagok sűrűségét a csontban (FLOROWSKA és mtsai., 2022). Gomba polisacharidok (glikozidos kötésekkel összekapcsolt monoszacharidok hosszú láncai) és oligoszacharidok (3-10 monomerből álló szénhidrátok rövid lánc), mint a  $\beta$ -glükán, inulin (MOUMITA – DAS, 2022), kitin (BOUREGHDA és mtsai., 2021) az  $\alpha$ -glükán és a galaktomannánok (PERMANA és mtsai., 2022), továbbá a prebiotikumok növelik a rövid szénláncú zsírsavak termelését és támogatják néhány előnyös nemzetség jelentét (MARTINEZ-GOMEZ és mtsai., 2020; SHAHEEN és mtsai., 2022), mint például, laktobacillusokat és bifidobaktériumokat (FOTSCHKI és mtsai., 2022).

Azt érdemes megjegyezni, hogy a leggyakrabban előforduló rövid szénláncú zsírsavak (SCFA) közé az acetát, a propionát, a butirát (REZENDE és mtsai., 2021) és a laktát tartozik (MANZOOR és mtsai., 2022).

### 3.1.5. Antimikrobiális hatásmechanizmusok

BAWADEKJI és mtsai. (2017) A szárított laskagombatestek antimikrobiális aktivitását (baktériumellenes és gombaellenes hatás) vizsgálták. Steril kivonatokat készítettek, majd az alábbi mikroorganizmusok ellen vizsgálták a gátló hatást: *Enterococcus faecalis*; *Escherichia coli*; *Klebsiella pneumoniae*; *Pseudomonas aeruginosa*; *Staphylococcus aureus*; *Candida albicans*.

A 2. táblázatban megfigyelhető, hogy a laskagombának volt a legnagyobb a *C. albicans* ellen megfigyelt aktivitása valamennyi vizsgált gombafaj közül. Ezen felül gyógyászati jelentőségét tovább erősíti, hogy valamennyi vizsgált mikroorganizmus ellen gátló hatást mutatott. Azt érdemes megjegyezni, hogy az antibakteriális teszteknel kontrollként 15 µg tetraciklin (CAS: 60-54-8) alkalmaztak, ahol az oldószer steril desztillált víz volt. Az antifungális vizsgálatoknál, pedig 25 µg flukonazol (CAS: 86386-73-4) oldatot használtak. Ebben az esetben az oldószer Dimetil-szulfoxid volt. Tehát valamennyi esetben pozitív kontrollt vontak be a vizsgálatba, mely alapján jól látható, mennyire hatékony a laskagomba kivonata a jól ismert gyógyszeres antimikrobiális szerekkel összehasonlítva.

2. táblázat: A laskagomba különböző mikroorganizmusok ellen megfigyelt gátló hatása

| Vizsgált<br>organizmus | Módszer          | Gátlási zóna (mm)±S.D. |            |            |            |
|------------------------|------------------|------------------------|------------|------------|------------|
|                        |                  | 50 µl                  | 100 µl     | 150 µl     | 200 µl     |
| <i>C. albicans</i>     | agar diffúzió    | 20.66±1.24             | 23.66±1.24 | 31.66±1.24 | 33.33±1.24 |
| ATCC 10231             | pozitív kontroll | 41±0.54                |            |            |            |
| <i>Ps. aeruginosa</i>  | agar diffúzió    | 17.33±1.24             | 20±0.57    | 23±0.57    | 25.33±1.24 |
| ATCC 254992            | pozitív kontroll | 23.66±0.47             |            |            |            |
| <i>S. aureus</i>       | agar diffúzió    | 0                      | 7.3±0.47   | 9.33±0.47  | 11.66±0.47 |
| ATCC 254996            | pozitív kontroll | 30.66±0.47             |            |            |            |

(Forrás: BAWADEKJI és mtsai. (2017))

YOUNIS és munkatársai (2015) arra jutottak, hogy a legtöbb patogén gomba növekedését a *P. ostreatus* gomba termőtestéből származó vizes kivonat gátolta a legnagyobb mértékben. Összehasonlító vizsgálatokat végeztek az alkoholos és a vizes kivonatok kapcsán. A gombák közül érzékenység volt megfigyelhető az alábbi mikroorganizmusokkal szemben: *C. albicans*, *Cryptococcus humicola*, *Trychosporon cutaneum*. A legérzékenyebb tesztbaktériumok: *S. aureus*, *E. coli* voltak. Azt érdemes megjegyezni, hogy az antimikrobás komponensek közül a 3-(2-amino-fenil-tio)-3-hidroxi-propánsav nevű vegyületet tudták kromatográfiás módszerekkel azonosítani.

GASHAW és mtsai. (2020) különböző szubsztrátumon termesztett laskagombák antibakteriális aktivitásával foglalkoztak. Az eredmények alapján lényeges különbségek voltak a különböző szubsztráton növekedett egyazon gombafaj (*P. ostreatus*) antibakteriális hatása között. Az alábbi patogén mikroorganizmusok ellen vizsgálták: *E. coli*, *B. subtilis*, *E. faecalis*, *Ps. aeruginosa*, *S. typhi*. Az eredmények szerint a metanolos, etanolos és a vizes extraktumok is hatékonyak voltak az *E. coli* ellen, viszont a metanolos kivonat kiemelkedő volt mind közül.

CHOWDHURY és mtsai. (2015) 3 különböző gombafaj antimikrobás aktivitását vizsgálták. A 3. táblázatban megfigyelhető, hogy a siitake extraktum valamennyi vizsgált mikroorganizmus ellen magasabb aktivitást mutatott a késői laskagombához viszonyítva.

**3. táblázat: A laska és a siitake gomba antimikrobiális hatásának a megfigyelése standard gyógyszer hatóanyaggal szemben (mm±SD)**

|                       | <i>Pleurotus ostreatus</i> | <i>Lentinula edodes</i> | Standard gyógyszer |
|-----------------------|----------------------------|-------------------------|--------------------|
| <i>C. albicans</i>    | 13.5±0.2                   | 18±0.2                  | 25±0.3             |
| <i>Ps. aeruginosa</i> | 7±0.2                      | 12±0.2                  | 20±0.1             |
| <i>S. aureus</i>      | 13.5±0.1                   | 16±0.2                  | 25±0.2             |
| <i>E. coli</i>        | 14±0.2                     | 17±0.2                  | 24±0.1             |
| <i>B. subtilis</i>    | 11±0.1                     | 14±0.1                  | 24±0.1             |

(Forrás: CHOWDHURY és mtsai (2015))

A kitinről és származékairól kimutatták, hogy széles spektrumú antimikrobiális szerként használható a Gram-negatív és Gram-pozitív baktériumok ellen.

Azt érdemes viszont tudni, hogy a kitint érdemes kivonni a gombák sejtfalából, majd deacetilezési reakciókkal jobb oldhatósági és biokompatibilitási tulajdonságokkal rendelkező kitozánná módosítani (GUAN – FENG, 2022; HUQ és mtsai., 2022; MOHAN és mtsai., 2022).

Egyes kutatások megerősítették, hogy a 7000 Da molekulatömegű pleurosztrint, p-aniszaldehydet és tartalmazó bioaktív peptidek és a kitint (kitozán) hatékony gombaellenes szerek (Landi és mtsai., 2022). Ezen felül a *P. ostreatus* gombatest alapú készítmények jelentős antibakteriális hatást fejtenek ki a mikroorganizmusok széles skálája esetében, mint például a Gram-pozitív mikroorganizmusok ellen; *Bacillus cereus* (ABDELTWAB és mtsai., 2019), *B. pumilis* (SULIAMAN és mtsai., 2021), *B. subtilis* (WAKTOLA – TEMESGEN, 2020), *E. faecalis* (BAWADEKJI és mtsai., 2017), *M. luteus* (HAMAD és mtsai., 2022), *S. aureus* (SITARA és mtsai., 2023), illetve a Gram-negatív; *Enterobacter aerogenes*, *Klebsiella oxycota*, *Moraxella* sp., *S. pullorum*) (ADEOYO – OLUBORODE, 2020), *E. coli* (SITARA és mtsai., 2023), *K. pneumonia* (BAWADEKJI és mtsai., 2017), *Salmonella* sp., *Salmonella* Typhi (SULIAMAN és mtsai., 2021), *Vibrio* spp. (OGIDI és mtsai., 2021) mikroorganizmusokkal szemben is hatékony. A kártékony baktériumokra kifejtett toxicitásuk, viszont jóval alacsonyabb, mint amit az antibiotikumok esetében figyeltek meg (PANDA – LUYTEN, 2022). Az alkalmazott oldószer, pedig erősen befolyásolja a biológiai aktivitást (LESA és mtsai., 2022).

A *P. ostreatus* gomba, illetve származékai gátolják a kórokozó gombák micéliumának növekedését. A *P. ostreatus* gomba metanolos kivonata hatásosnak bizonyult a különböző *Candida* törzsek ellen, mint a *C. albicans*, *Candida glabrata*, *Candida krusei*, *Candida parapsilosis*, *Candida tropicalis* (SULIAMAN és mtsai., 2021), ezen felül az *Epidermophyton floccosum*, *Microsporum gypseum*, *Trichophyton rubrum* (GASHAW és mtsai., 2020) gombafajok ellen.

Ezzel szemben kevesebb tanulmány áll rendelkezésre a *P. ostreatus* gombából származó vizes kivonat vizsgálatával kapcsolatban, viszont a jelenlegi állások szerint négy faj ellen mondható hatékonynak: *C. albicans*, *Cr. humicola*, *T. cutaneum* (SHANMUGAVELU és mtsai. 2021), illetve *Penicillium* törzsek ellen bizonyultak hatékonynak (OGIDI és mtsai., 2021; SHANMUGAVELU – SEVUGAPERUMAL, 2021).

WAKTOLA – TEMESGEN (2020) a laskagombák hexán-diklór-metános kivonatának hatását vizsgálta, majd az eredmények szerint megfigyelte a kivonat gátló hatását az *Asp. niger*, a *F. oxysporum* és a gombák micéliumának a növekedése ellen.

Egy másik tanulmányban a bioaktív vegyületek etil-acetátos extrakcióját követően a *C. albicans* gomba micéliuma ellen megfigyelt gátló hatását bizonyították (ADEOYO – OLUBORODE, 2020).

Fontos információ, hogy a különböző oldószerekkel extrahált *P. ostreatus* gomba gombaellenes hatását általában a p-anisaldehyd, kitin (kitozán) és pleurostrin bioaktív vegyületekhez köthető (ABDELTWAB és mtsai., 2019; WAKTOLA – TEMESGEN, 2020; LANDI és mtsai., 2022).

### 3.1.6. Antioxidáns tulajdonságok és szerep az oxidatív stressz elleni küzdelemben

ARBAAYAH – KALSOM (2013) különböző laskagombafajok – köztük *Pleurotus pulmonarius*, *P. ostreatus*, *P. djamor* var. *djamor* és *P. djamor* var. *roseus* – antioxidáns tulajdonságait vizsgálták. A vizsgálatok során etanolos kivonatokból meghatározták az összes flavonoidtartalmat (TFC), a teljes fenoltartalmat (TPC), valamint a DPPH-radikál megkötő képességet, amely az antioxidáns hatás egyik kulcsmérőszáma.

Az eredmények alapján minden vizsgált gombafaj jelentős antioxidáns aktivitást mutatott, azonban a *P. ostreatus* különösen kiemelkedő volt magas TPC- és TFC-értékei miatt, ezáltal hatékony védelmet nyújtott az oxidatív stressz káros hatásaival szemben.

Az antioxidáns aktivitás hátterében főként a polifenolos vegyületek – mint a kvercetin, ferulsav, galluszsav és flavonoidok állnak, amelyek képesek semlegesíteni a reaktív oxigénformákat, ezzel csökkentve a sejtkárosodás, a gyulladásos folyamatok és a sejtszintű öregedés kockázatát.

Ezen sokoldalú antioxidáns mechanizmusok alapján a *P. ostreatus* termőteste és micéliuma értékes funkcionális komponensnek tekinthető, amely jól alkalmazható funkcionális élelmiszerek, étrendkiegészítők és állati takarmányadalékok fejlesztésére. Antioxidáns kapacitása révén hozzájárulhat:

- a sejtek oxidatív károsodásának megelőzéséhez,
- az immunrendszer szabályozásához,
- a gyulladásos betegségek kockázatának csökkentéséhez,
- valamint a szervezet általános fiziológiai állapotának fenntartásához.

Az oxidatív stressz közismerten központi szerepet játszik számos krónikus, nem fertőző betegség kialakulásában, mint például a kardiovaszkuláris öregedéssel és betegségekkel (IZZO és mtsai., 2021), különböző neurodegeneratív kórképekkel (Alzheimer-kór, Parkinson-kór) (HOULDSWORTH, 2023), valamint bizonyos daganatok fejlődésében, áttétképződésben (LI és mtsai., 2024).

Azt érdemes megjegyezni, hogy a *P. ostreatus* antioxidáns tulajdonságai nem csupán preventív, hanem komplementer terápiás potenciállal is bírnak, mégpedig számos oxidatív stresszel összefüggő kóros elváltozás esetében is. A gomba különféle bioaktív összetevői tehát nemcsak táplálkozás-élettani szempontból értékesek, hanem klinikai szinten is ígéretes hatóanyagként szolgálhatnak a jövőben.

### 3.2. Technológiai háttér és feldolgozási lehetőségek

#### 3.2.1. A Maillard-reakció szerepe bioaktív vegyületek képződésében

A Maillard-reakció (MR) egy nem enzimátikus barnulási folyamat, amely az élelmiszer-feldolgozás és -tárolás egyik legmeghatározóbb kémiai eseménye. Lényegét először Louis Camille Maillard francia orvos és vegyész írta le 1912-ben (MURATA, 2021).

Ezen reakció spontán módon megy végbe, amikor redukáló szénhidrátok lépnek kölcsönhatásba aminosavakkal vagy fehérjékkel. A folyamat során intermediér vegyületek, például polikarbonilok keletkeznek, amelyek további reakciók révén számos új vegyület kialakulásához vezetnek (LI és mtsai., 2025).

A MR egy összetett kémiai folyamat, amelyet Hodge három fő szakaszra osztott: kezdeti, köztes és végső fázisra (4. táblázat). A keletkező Maillard-reakciós termékek (MRP) számos élelmiszer tulajdonságát befolyásolják, többek között színét, ízét és antioxidáns aktivitását, ugyanakkor bizonyos esetekben káros vegyületek is képződhetnek (TÖRŐS és mtsai., 2023). Figyelemre méltó, hogy az emberi táplálkozás során naponta jelentős mennyiségű MRP jut a szervezetünkbe (NOOSHKAM et al., 2019b).

4. táblázat: A különböző szakaszokban lezajló kémiai folyamatok és a keletkező vegyületek

| Szakaszok      | Kémiai reakciók                                                                                            | Termékek                                           | Szín               |
|----------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|--------------------|
| <b>Kezdeti</b> | Kezdeti glikoziláció<br>(ribóz-glicin kondenzáció)                                                         | ARPs: Amadori termékek<br>(az AGE-k intermedierje) | Áttetsző           |
|                | Glikáció<br>(alfa-oxoaldehidekből<br>képződik)                                                             | Fejlett glikációs<br>végtermékek<br>(AGE-k))       | Áttetsző           |
| <b>Köztes</b>  | Cukrok, illetve aminosavak<br>lebontása                                                                    | karbonil vegyületek                                | Áttetsző/<br>Sárga |
|                | Heyn átrendeződési termékek<br>(ketóz cukrokból)                                                           |                                                    |                    |
| <b>Végső</b>   | Aldolok kondenzációja,<br>aldehid-amin kondenzációja,<br>heterociklusos<br>nitrogénvegyületek<br>képződése | Melanoidinek                                       | Barna              |

(forrás: saját szerkesztés, TÖRŐS és mtsai., 2023)

Az „Amadori átrendeződési termékeknek” az élelmiszertudományban és technológiában van jelentősége, például az ízfokozásra alkalmas mononátrium-glutamát (E621) alternatívájaként is alkalmazzák (CUI és mtsai., 2021). Egy másik tanulmány szerint az MR során redukzív ketonok, aldehidek, heterociklusos vegyületek képződhetnek, melyek színezékként és ízanyagként hasznosíthatók leginkább az élelmiszeriparban (LIU és mtsai., 2020).

Az aromavegyületek keletkezése az MR-hez kötődhet, hiszen a különböző szakaszokban lévő termékek prekursoroként működhetnek, és kölcsönhatásba léphetnek az élelmiszerek más bomlási összetevőivel, illetve a hőközlés hatásaként hosszú szénláncú heterociklusos vegyületet is termelhetnek (SHAHIDI – HOSSAIN, 2022).

Az MR során antioxidáns termékek képződhetnek, így antioxidáns aktivitás ezen átalakítási reakció lezajlása során javítható (NOOSHKAM és mtsai., 2019).

A legfontosabb MRP-k a NεFructoselizin (FL) (kezdeti szakasz) és a melanoidin (késői szakasz), amelyek jótékony farmakológiai hatásokról ismertek, mint például antioxidáns, antimikrobiális, prebiotikus és vérnyomáscsökkentő (NOOSHKAM és mtsai., 2019; NASIRPOUR – SAEIDY, 2021).

A köztes szakaszban képződő 5-hidroxi-metil-furfurol-t (HMF) széles körben alkalmazzák élelmiszerek minőségi indikátorként (RADA-MENDOZA és mtsai., 2022), továbbá közvetett előnyük van az érzékszervi tulajdonságok javításában (MARTINS és mtsai., 2022).

A Maillard-reakció termékek kiváló táplálkozási és gyógyászati tulajdonságokkal rendelkeznek (antioxidáns, antimikrobiális, prebiotikus, vérnyomáscsökkentő), ahol a leggyakrabban említett jelentőségük az antioxidáns potenciáljukban rejlik (NOOSHKAM és mtsai., 2019; BOLCHINI és mtsai., 2025).

Az utóbbi időben az MRP-k prebiotikus aktivitása az élelmiszeripar fontos eszközévé vált, hiszen fontos szerepük van a bélben lévő mikrobiom összetételének javításában, illetve kiegyensúlyozásában, mely jelentősen hozzájárul a gazdaszervezet egészségügyi állapotához (NAITO, 2024). Ezen vegyületek szerepet játszanak a bélrendszer egészségében (immunmoduláció), a kórokozók elszaporodásának, illetve a keletkező káros anyagcseretermékek visszaszorításában (SONG és mtsai., 2022), oly módon, hogy elősegítik a probiotikus baktériumok, mint például a *Levilactobacillus brevis*, *Lactocaseibacillus casei* és néhány más *Lactobacillus* spp. (KUKUMINATO és mtsai., 2021). Továbbá a *Bifidobacterium* és a *Faecalibacterium* spp. növekedését (PÉREZ-BURILLO és mtsai., 2020).

Az antibiotikumrezisztencia egyre veszélyesebb egészségügyi problémákat okoz világszerte (PILMIS és mtsai., 2020). A MRP-k szerepet játszhatnak a patogén invázió elleni küzdelemben, hiszen számos élelmiszer romlást okozó mikroorganizmus (baktériumok és gombák) ellen bizonyultak hatékonynak, mint például az *Aspergillus niger*, a *Candida albicans* (NOOSHKAM és mtsai., 2019), *Brevibacillus brevis*, *Listeria monocytogenes*, *Salmonella* Typhi (KUKUMINATO és mtsai., 2021), *Clostridium perfringers* (KIM et al., 2021), *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Ps. aeruginosa* (HABINSHUTI és mtsai., 2019; NOOSHKAM és mtsai., 2019).

A nagy molekulatömegű barna makromolekulák, polimerek (melanoidinek), nitrogén-, illetve szénforrást jelentenek a probiotikumok emésztéséhez, tehát olyan prebiotikumnak mondhatóak, melyeket a kommenzális baktériumok szelektíven hasznosítanak, és előnyös változásokat idéznek elő a bél mikrobiótában. A melanoidinek szerkezete élelmiszerként eltérő lehet. Az antimikrobiális és prebiotikus tulajdonságok, pedig javíthatóak a megfelelő reakció körülmények optimalizálásával, illetve az egyes aminosavak és cukrok optimális szelektálásával (NOOSHKAM és mtsai., 2019; PÉREZ-BURILLO és mtsai., 2020).

A melanoidinek erősebb antimikrobiális hatást mutatnak a Gram-pozitív baktériumokkal szemben a Gram-negatív baktériumokkal szemben. Ennek oka a két baktériumtípus sejtfalának szerkezeti különbsége. A gram-pozitív baktériumok vastag peptidoglikánréteggel rendelkeznek, amely viszonylag könnyebben hozzáférhető a melanoidinek számára. Ezzel szemben a Gram-negatív baktériumok külső membránnal rendelkeznek, amely lipopoliszacharidokat tartalmaz, fizikai akadályokat állítva a behatolása ellen (KUKUMINATO és mtsai., 2021; NOOSHKAM és mtsai., 2019).

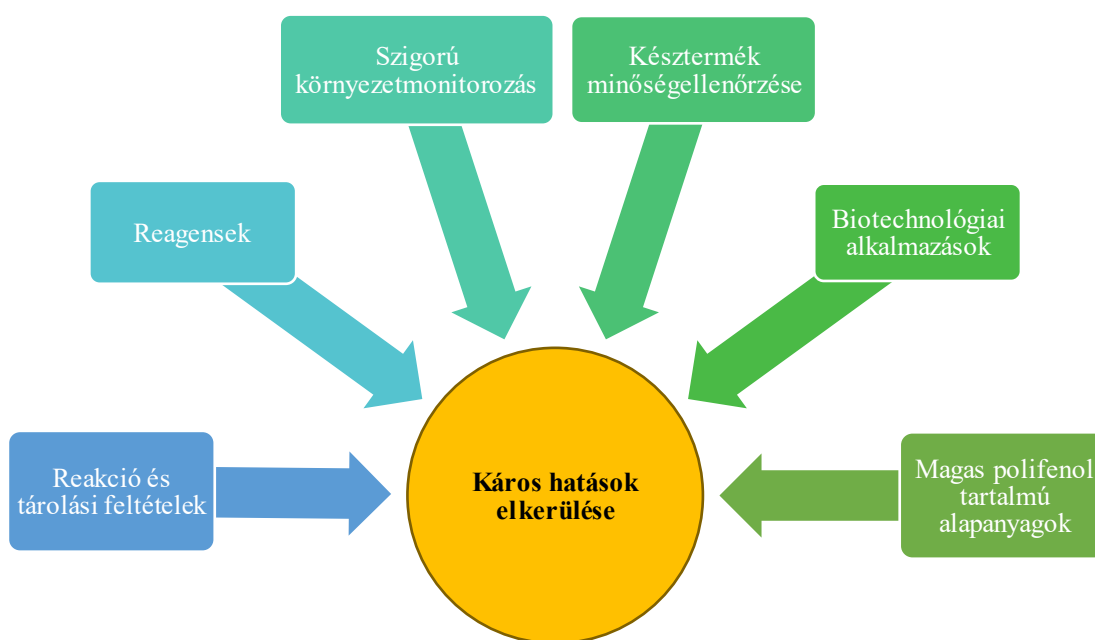
Ezenfelül kutatók a melanoidinek és az antioxidáns kapacitás közötti szoros összefüggésekre bukkantak. A melanoidinek különféle fenolos vegyületeket (fitokemikáliákat) tartalmazhatnak, melyek fokozhatják a fenolos vegyületek felszívódását (TSUJI – KOYANAGI, 2025; ZHU és mtsai., 2025).

Az MRP-k reaktív oxigénmegkötők, redukálószeres és fémkelátképző szerek, ennél fogva antioxidánsként működhetnek (FOTSCHKI és mtsai., 2022b). A melanoidin antimikrobiális tulajdonsága elsősorban fémkelátképző tulajdonságainak, antioxidáns kapacitásának, magas felületi aktivitásának, illetve katabolikus enzimek gátló hatásának köszönhető (SHAHIDI – HOSSAIN, 2022).

Fontos megemlíteni, hogy a MR számos előnyös hatása mellett bizonyos esetekben káros következményekkel is járhat. Egyik fő hátránya az élelmiszerek tápértékének a romlása, mint például a fehérjék emészthetőségének csökkenése, a lizin degradációja, valamint a mutagén és mérgező anyagok képződése. Ezen felül olyan negatív egészségügyi hatásokkal járhatnak, mint az Alzheimer-kór, szívbetegség, elhízás és a cukorbetegség (NOOSHKAM és mtsai., 2019; GAHRUIE és mtsai., 2021). A „Food and Drug Administration” (2021) arra figyelmeztet, hogy jelentős mennyiségű potenciálisan káros vegyi anyag keletkezhet a Maillard-reakció lezajlása mellett (LIN és mtsai., 2025).

Az 5-hidroxi-metil-furfurol vegyületnek (HMF) negatív és pozitív egészségügyi hatásai is lehetnek (D'CUNHA és mtsai., 2022). Egyes közelmúltbeli tanulmányok kimutatták a HMF fogyasztásának toxikus hatásait és az állati és az emberi egészség szempontjából a dózisfelvétel fontosságára helyezték a hangsúlyt. Felhívták a figyelmet a stratégia kialakításának a fontosságára, illetve az egészségügyi kockázatértékelés, módszerfejlesztések szükségességére. A szakirodalom szerint HMF-nek számos negatív egészségügyi hatása lehet, mint például mutagén, hepatotoxikus, nefrotoxikus, daganatos átalakulások indukálója, allergiás és sejtszintű glutationszint-csökkentő hatás (LEE és mtsai., 2019).

Amennyiben az MR-t nem szabályozzuk megfelelően, előrehaladott glikozilációs végtermékek (AGE-k) képződhetnek, amelyek gyulladásos reakciókat, inzulinrezisztenciát és érkárosodást válthatnak ki, növelhetik az oxidatív stressz szintjét és az aktív karbonil stresszt (JIA és mtsai., 2023), továbbá szerepet játszhatnak néhány neurokognitív és mentális zavar kialakulásában (D'CUNHA és mtsai., 2022). A fő szabályozási pontok a 4. ábrán tekinthetők meg.



4. ábra: Hőközlési folyamat optimalizálása a káros hatások elkerülése mellett  
(Forrás: saját szerkesztés munkásságunk TÖRŐS és mtsai., 2023 alapján)

### 3.2.2. Képződhetnek szén-nanorészecskék alacsony hőmérsékleten?

A szén-nanorészecskék előállításának egyik ígéretes, környezetbarát módszere a Maillard-reakció (MR), amely nem-enzimatisz uton zajlik le megfelelő hőmérséklet, redukáló cukrok és aminosavak jelenlétében. Érdeklenség, hogy ezen reakció alacsonyabb hőmérsékleten is aktiválható, például sous vide technológiával, amely hosszú idejű, kíméletes hőkezelést alkalmaz, mindeközben elősegíti a reakció termodinamikai és kinetikai feltételeinek teljesülését (ROLDÁN és mtsai., 2015; DHUNGEL és mtsai., 2018).

A *P. ostreatus*, mint természetes, fenntartható nyersanyag, különösen alkalmas erre a célra, hiszen cukor-, illetve aminosav-profilja széles körű (EFFIONG és mtsai., 2024).

A nanotechnológia, mint interdiszciplináris tudományterület, lehetővé teszi nanoméretű (<10 nm) újszerű anyagszerkezetek, köztük szén-nanorészecskék előállítását, amelyek fotolumineszcensek, vízzoldhatók, biokompatibilisek és stabilak, így ideális hordozók bioaktív molekulák célzott szállításához (ZHAO és mtsai., 2022; AHMED és mtsai., 2024). Az ilyen nanoanyagok számos területen alkalmazhatók, többek között a biogógyászat, élelmiszerbiztonság és agráripár területén, különösen fertőző betegségek és daganatos megbetegedések ellen (DEZFULI és mtsai., 2024; MALHAN és mtsai., 2024; PRAJAPATI és mtsai., 2024).

A *P. ostreatus*-ból származó szén nanorészecskék előállítása során nemcsak melanoidinok képződnek, hanem nanoméretű, szén- és nitrogéntartalmú struktúrák, amelyek fokozhatják más bioaktív komponensek hatékonyságát azáltal, hogy elősegítik azok célzott sejtszintű bejuttatását, például bakteriális sejtekbe, ezáltal gátolva a patogén mikroorganizmusok szaporodását (TEJWAN és mtsai., 2022; LYSENKO és mtsai., 2024).

Ezen új irányzat, az úgynevezett „miko-nanotechnológia” – amely a mikológia és nanotechnológia határterületét képviseli, ehető vagy gyógyhatású gombák biomasszáját használja fel nanorészecskék bioszintézisére. A megközelítés nemcsak gazdaságos és környezetbarát, hanem elősegíti a mezőgazdasági és élelmiszeripari melléktermékek újrahasznosítását, ezáltal hozzájárul a biológiai hulladék csökkentéséhez (ACAY és mtsai., 2020; TIJANI és mtsai., 2024).

A gombákban található bioaktív poliszacharidok, például  $\beta$ -glükánok (nagy fajlagos felületek és biológiai kompatibilitásuk) tovább fokozzák a képződő nanorészecskék funkcionalitását. Ezen kombinált rendszerek elősegíthetik antioxidáns, antimikrobiális és daganatellenes hatású funkcionális élelmiszerek, illetve állati takarmánykiegészítők fejlesztését (AGUNLOYE – OBOH, 2022; GUTIÉRREZ-FERNÁNDEZ és mtsai., 2024).

Továbbá a gombaalapú organikus szén nanorészecskék előállítása során alkalmazott vegyszermentes bioszintézis jelentősen növelheti az emészthetőségét, biológiai hasznosulását és biztonságosságát, szemben a szintetikus nanorészecskékkel, mely különösen fontos az állategészségügy, humán táplálkozás és orvostudomány terén (ZHOU – MCCLEMENTS, 2022).

A mikonanotechnológia a jövőben ígéretes lehetőségeket kínálhat a multifunkcionális, környezetbarát gyógyászati, biotechnológiai és élelmiszeripari termékek fejlesztésére.

### 3.2.3. Liofilizálás (fagyasztva szárítás), mint funkcionális tartósítási technológia

Az utóbbi időben különböző technikákat alkalmaztak a gombák vízáktivitásának csökkentésére, mint például a liofilizálás, a szárítószekrényben történő szárítás (SHAMS és mtsai., 2022) és a mikrohullámú sütés (LIN és mtsai., 2019).

A liofilizálás, más néven fagyasztvasszáritás, egy olyan vízelvonási eljárás, amely során a mintát lefagyasztják, majd a környezeti nyomást lecsökkentve a jég közvetlenül gőzzé alakul (tulajdonképpen szublimál) (ASSEGEHEGN és mtsai., 2019).

Ezen módszer lehetővé teszi a bioaktív vegyületekben gazdag és értékes beltartalmi értékekkel rendelkező gombák hosszú időintervallumon keresztül történő megőrzését. Kutatások szerint a liofilizálás hatékonyan megőrzi a *P. ostreatus* gomba bioaktív összetevőit, például a polifenolokat (GARCIA és mtsai., 2020) és az ergotioneint (TANG és mtsai., 2022). Továbbá jelentős antioxidáns aktivitást mutatnak (VILLALOBOS-PEZOS és mtsai., 2024).

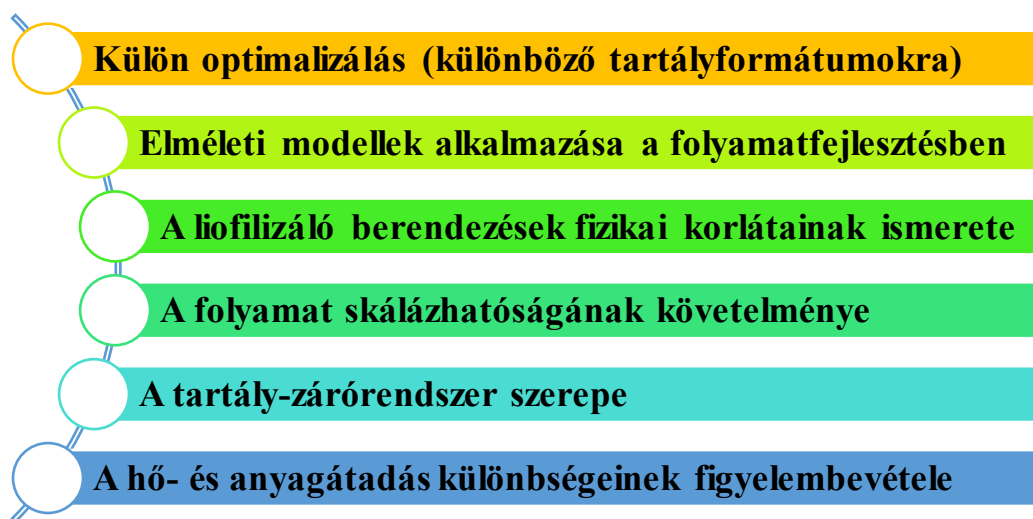
A *P. ostreatus* micéliumából és termőtestéből (gombatestéből) származó fagyasztva szárított kivonatok erőteljesebb antioxidáns hatással rendelkeznek és hatékonyabban képesek megakadályozni az oxidatív stressz által okozott károsodásokat, mint a friss vagy más módon szárított gombákból származó kivonatok.

Mind a polifenolok, mind az ergotionin tartalma megőrizhetők (PISKOV és mtsai., 2020; VILLALOBOS-PEZOS és mtsai., 2024).

A liofilizálás (fagyasztva-szárítás) egy rendkívül energiaigényes és költséges eljárás, amely jelentős kihívást jelent az iparban. A szakirodalom több lehetséges megoldást is javasol. Az egyik ilyen ígéretes irány a hibrid szárítástechnológia, ahol a liofilizálást megelőzően előszárítási lépéseket alkalmaznak, például mikrohullámú-vákuum-szárítást, így jelentős mértékben csökkentjük az energiafogyasztást és a feldolgozási időt (BAZYMA – KUTOVOY, 2005).

Másik megoldás, hogy a liofilizálást csak speciális célokra alkalmazzuk, elsősorban magas hozzáadott értékű bioaktív kivonatok előállítására. Ezen esetben a termékminőség, a hatóanyag és a funkcionális tulajdonságok megőrzése a legfontosabb (BHATTA és mtsai., 2020). Ilyen termékek lehetnek például gyógyszerészeti alkalmazásra szánt gombakivonatok, nutraceutikumok, vagy olyan gomba-hatóanyagok, amelyek érzékenyek a hőközlésre.

PATEL – PIKAL (2011) munkássága alapján elmondható, hogy az energiaigényes és költséges liofilizálás ipari alkalmazhatóságának korlátai valós problémát jelentenek, viszont a jövőben a folyamat fejlesztésének és skálázásának a szempontjait figyelembe véve megoldást találhatunk (5. ábra).



5. ábra: Fagyasztva szárítási technológia optimalizálása

(forrás: saját szerkesztés PATEL – PIKAL, 2011 munkássága alapján).

### 3.3. Állategészségügyi és baromfiipari alkalmazási lehetőségek

#### 3.3.1. Gyakori kórokozók és fertőzések a baromfiágazatban

A baromfiiparban leggyakrabban előforduló fertőzések három fő csoportra oszthatók (baktériumok, gombák és vírusok), miképpen azt a 6. ábra is szemlélteti. Az Egyesült Államok (2013-2021) jelentése szerint számos betegség volt összefüggésben olyan patogén baktériumokkal, mint például az *Escherichia coli* (PANYAKO és mtsai., 2022), illetve a *Staphylococcus aureus* (SILVA és mtsai., 2023).

Ezen felül gombás fertőzések is gyakran előfordultak, mégpedig elsősorban a *Candida albicans*-al összefüggésbe hozható megbetegedések (DOMÁN és mtsai., 2023).

Azt érdemes megjegyezni, hogy a másodlagos gombás felülfertőzések esetében (*Candida* és *Aspergillus* spp.) gyakran baromfi állatokkal összefüggésbe hozható vírusos bőrfertőzéseknek következményei. Az említett fertőzéseknek köszönhetően az érintett állatok legyengülnek, végül, pedig elhalálózhatnak (SILVA és mtsai., 2023).

Az Egyesült Államokban értékesített antibiotikumok (klortetraciklin, oxitetraciklint és virginiamicin) mintegy 80%-át állatgyógyászati célokra használják fel (VENTOLA, 2015). Az elmúlt 70 évben az antibiotikumokat széleskörben alkalmazták az állattenyésztésben. Először az Egyesült Államokban és Nyugat-Európában, majd az ázsiai, latin-amerikai és kelet-európai feltörekvő régiókban is (PARKHI és mtsai., 2023).

A következő ábra (Lsd.: 6. ábra) szemlélteti, hogy miként tud részt venni hosszú távon a késői laskagombával történő baromfi takarmánykiegészítés a patogén invázió elleni küzdelemben. Az ábrán látható koncepció alátámasztja a gombaalapú takarmánykiegészítők állategészségügyi, mikrobiológiai és élelmiszerlánc-biztonsági vonatkozásait vizsgálatainak a szükségességét.



6. ábra: A késői laskagomba patogén invázió elleni küzdelemhez történő hozzájárulása (Forrás: saját szerkesztés GALARNEAU és mtsai., illetve 2020; MALLIORIS és mtsai., 2023 munkássága alapján)

A bakteriális fertőzések gyakori előfordulása összefüggésbe hozható az antibiotikum-rezisztens patogén baktériumok állati eredetű élelmiszer-alapanyagban történő jelenlétével. Ez jelentős kockázatot jelent, hiszen a rezisztens baktériumok az élelmiszeren keresztül emberre is áterjedhetnek, ami komoly fenyegetést jelenthet a globális élelmiszerbiztonságra (FAROOQ és mtsai., 2022), illetve gazdaságra (GALARNEAU és mtsai., 2020).

Világszerte évente több mint 700 000 ember hal meg antibiotikum-rezisztens baktériumtörzsek által okozott fertőzések következtében. Egyes előrejelzések szerint ez a szám 2050-re elérheti az évi 10 milliót is (FAROOQ és mtsai., 2022). Ennél fogva egyre sürgetőbbé vált, hogy alternatívákat találjunk az állattenyésztésben alkalmazott antibiotikumok helyettesítésére, amelyek biztosíthatják az állatok egészségét és a fenntartható élelmiszertermelést, miközben csökkentik a rezisztens baktériumok terjedését és transzfert az emberre.

Ezen alternatívák között szerepelhetnek a prebiotikumok, probiotikumok, szimbiotikumok, enzimek, organikus savak és a fitokémiai anyagok, amelyek antibakteriális tulajdonságokkal is rendelkeznek (KUMAR és mtsai., 2023; LI és mtsai., 2023; TABASHSUM és mtsai., 2023).

Az *Escherichia coli* lipopoliszacharid (LPS) kihívás teszt alapvető szerepet játszik a baromfi egészségi állapotának és immunválaszáinak felmérésében. Az LPS a Gram-negatív baktériumok sejtfalának külső rétegét alkotó endotoxin, amely kulcsfontosságú a gazdaszervezet immunrendszerének aktiválásában (KOGA és mtsai., 1985; MORALES-LOPEZ – BRUFAU, 2013). Az LPS kifejezett gyulladásos válaszokat indukál, hiszen képes a makrofágok és egyéb immunsejtek aktiválására, amelyek citokineket, például tumor nekrosis faktor- $\alpha$  (TNF- $\alpha$ ) és interleukinek (IL-1, IL-6) szekretálnak. Ezáltal a szervezet a baktériumokkal való kölcsönhatás során gyors immunválaszt fejleszt ki. Az *E. coli* LPS terheléses teszt alkalmazásával lehetőségünk nyílik az újabb fejlesztésű táplálékkiegészítők és gyógyszerek hatékonyságának tesztelésére, mely célja az állatok immunválaszáinak erősítése, a gyulladásos reakciók csökkentése és az antibiotikumok alkalmazásának minimalizálása (VOLMAN és mtsai., 2010; MONGUIÓ-TORTAJADA és mtsai., 2018; PERROS és mtsai., 2020).

### 3.3.2. Természetes antibiotikum-alternatívák a baromfitakarmányozásban

A hagyományos antibiotikumokkal kapcsolatos problémák miatt sürgős szükség van fenntartható megoldásokra. Ezen alternatívák közé tartozhatnak az emészthetetlen rostok (prebiotikumok), jótékony szervezetek (probiotikumok) (LI és mtsai., 2023), a probiotikumok és prebiotikumok kombinációja (szimbiotikumok) (TABASHSUM és mtsai., 2023), enzimek (BAPTISTA és mtsai., 2023), szerves savak (KUMAR és mtsai., 2023) és antimikrobiális tulajdonságokkal rendelkező fitokémikáliák (WICKRAMASINGHE és mtsai., 2023).

Fejlett és fejlődő gazdaságokban az antibiotikumokat növekedés serkentésére, a fertőzések megelőzésére (FAROOQ és mtsai., 2022), a megbetegedések és halálozások számának a csökkentésére, valamint a takarmányhasznosítás javítására hasznosítják (SATTAR és mtsai., 2023). Az antimikrobiális szerek alkalmazása az állattenyésztésben hozzájárul az állatok általános jóllétének javításához, amely magasabb hozamot és jobb minőségű végterméket eredményez (VENTOLA, 2015). A jövőben csökkenteni kell az antibiotikumoktól való függőséget (HABIBA és mtsai., 2023; SRIVASTAVA és mtsai., 2024).

Az intesztinális mikrobiom kulcsszerepet játszik a betegségekkel szembeni védelemben. A bél mikrobiom hatása a gazdaszervezet immunválaszára, beleértve mind a veleszületett, mind a szerzett immunitást jelentős (BELDOWSKA és mtsai., 2023).

A baromfik emésztőrendszerében (GIT: gasztrointesztinális traktus) található mikrobiom, amely gombákból, baktériumokból, protozoonokból és vírusokból áll, szimbiotikus kapcsolatban áll a gazdaszervezettel, és alapvető szerepet tölt be az állatok általános egészségének és jóllétének fenntartásában, különösen az immunválasz szabályozásában, valamint a tápanyagok emésztésében és felszívódásában.

A jövőben az emésztőrendszer természetét és működését tovább kell vizsgálni, illetve innovatív stratégiákat szükséges kidolgozni az állatok egészségének és termelékenységének javítására (AMER és mtsai., 2023).

A prebiotikumok, probiotikumok és szimbiotikumok alkalmazása, mint alternatív természetes antibiotikumok, segíthet az egészséges bélflóra fenntartásában, erősítheti a bél nyálkahártyájának védelmét, javíthatja az immunválaszt és csökkentheti a patogén mikroorganizmusok elszaporodását, elősegítve a fertőzésekkel szembeni természetes védelmet (KHOMAYEZI – ADEWOLE, 2022; NAIR és mtsai., 2024).

Összefoglalva, ezen alternatív stratégiák nemcsak a baromfi egészségére gyakorolnak kedvező hatást, hanem hozzájárulnak a fenntarthatóság növeléséhez is, csökkentve a mezőgazdaság környezeti terhelését és javítva az élelmiszerbiztonságot. A megfelelően alkalmazott természetes antibiotikumok segíthetik az állattenyésztés fejlődését, mindeközben minimalizálhatják az antibiotikumok használatát, azáltal, hogy elősegítik az állatok természetes védekezőképességének erősítését.

### 3.3.3. A *Pleurotus ostreatus* potenciális takarmánykiegészítőként történő alkalmazhatósága

A *P. ostreatus* gombatest gazdag tápanyagokban és biológiailag aktív vegyületekben, melyek elősegítik az állatok egészségügyi állapotának a megőrzését és javítását. A gombaipari melléktermékek jelentős mennyiségű  $\beta$ -glükánt tartalmaznak (AHMED és mtsai., 2023), amelyek immunmoduláló hatásuk révén elősegíthetik a baromfi állatok betegségekkel szembeni ellenálló képességét (GALARNEAU és mtsai., 2020; TÖRŐS és mtsai., 2023).

A *P. ostreatus* poliszacharidjai, mint a  $\beta$ -glükánok és egyéb prebiotikumok, elősegítik a jótékony bélbaktériumok növekedését, miközben az ergotionin gyulladáscsökkentőként hat (IZHAM és mtsai., 2022). Az antioxidáns komponensek védelmet nyújtanak az oxidatív stressz ellen, amely hozzájárulhat a bélgyulladás és egyéb emésztőrendszeri rendellenességek kialakulásához (CHANGQING és mtsai., 2022; SEIDAVI és mtsai., 2022).

A gombák prebiotikumként hatnak, befolyásolják a rövid szénláncú zsírsavak (SCFA-k) így az ecetsav, propionsav, vajsav, valeriánsav, izobutirát és izovaleriánsav (emésztethetetlen szénhidrátok és fehérjék baktériumok általi fermentációjának végtermékei az emésztőrendszerben).

A *P. ostreatus* bioaktív komponensei, mint a kitin,  $\beta$ -glükán, inulin,  $\alpha$ -glükán és galaktomannánok, hozzájárulhatnak az SCFA-k szintjének növeléséhez (MIZUNO – MINATO, 2024). Az oligoszacharidok szerepe kulcsfontosságú a vakbél működésének megértésében, valamint a tápanyagok hasznosulásának és felszívódásának optimalizálásában (MORGAN, 2023).

Az élelmi rostok alapvető szerepet töltenek be a bél fiziológiai állapotának a fenntartásában és az állatok táplálkozásában. A bél mikrobiom kedvező összetételének kialakításában számos tényező játszik szerepet, mint például a pH-egyensúly, a tápanyagok hozzáférhetősége, a mikrobiális versengés, valamint a kedvező anyagszertermékek, így az SCFA-k termelése. Ugyanakkor a  $\beta$ -glükán magas koncentrációja fokozott bélviszkózitást eredményezhet, ami gátolhatja a tápanyagok emésztését és felszívódását, valamint kedvezőtlen környezetet teremthet egyes kórokozók elszaporodásához (BEDFORD és mtsai., 2024).

A gombák továbbá gazdag forrásai különböző antimikrobiális komponenseknek, például fenolos vegyületeknek (fenolsavak, flavonoidok) (ZHAO és mtsai., 2024) és antimikrobiális peptideknek (AMP-k) (MURATI és mtsai., 2023). Ezek az anyagok szintén támogatják a baromfi egészségét, segítik a bél mikrobiom egyensúlyának fenntartását és csökkentik a kórokozó mikroorganizmusok számát (EBEID és mtsai., 2022).

Az AMP-k kutatása még kezdeti fázisban van, de több AMP-et már izoláltak ehető gombafajokból, például a *P. eryngii* és *P. ostreatus* fajokból. Az AMP feltételezett hatásmechanizmusai közé tartoznak a célzott génexpresszió szabályozása, valamint a bakteriális sejthártya integritásának károsítása, amely intracelluláris komponensek kiszivárgását és baktériumok pusztulását eredményezi (WANG – NG, 2004; GANGWAR és mtsai., 2024).

A fenolos vegyületek antibakteriális hatása részben az extracelluláris pH csökkentésén alapul, amit például a galluszsav és a klorogénsav esetében dokumentáltak. Hatásuk nemcsak kémiai szerkezetüktől, hanem attól is függ, hogy a célmolekulákkal hol és milyen módon lépnek kölcsönhatásba. Ezek a vegyületek membránaktív tulajdonságokkal rendelkeznek, amelyek a sejtes komponensek, például nukleinsavak, fehérjék, illetve kálium- és foszfátionok kiszivárgását idézhetik elő (MANDAL és mtsai., 2017; LOBIUC és mtsai., 2023). Azt érdemes megjegyezni, hogy egyes *Firmicutes* törzshöz tartozó baktériumfajok, például *Agathobacter rectalis* és *Clostridium spiroforme*, különösen érzékenyek mind a szabad, mind az immobilizált fenolos vegyületekre (RUIZ-RICO és mtsai., 2023).

Számos friss kutatás foglalkozott a szárított laskagomba (*P. ostreatus*) termőtest-frakciójának baromfiállatokra gyakorolt hatásaival, amelyek közül több vizsgálatot különböző baromfimodelleken is elvégeztek. Miképpen azt az 5. táblázatban összefoglaltuk a laskagombából származó porokat, beleértve a termőtestet, a szártörmelékét és a letermett gombakomposztot (SMS). Ezek az anyagok kedvezően befolyásolhatják brojlercsirkék, japán fürjek, növendék libák és tojótyúkok takarmányozását. Az alkalmazott dózis viszont széles skálán mozog. A jelen kutatások szerint a pozitív hatás eléréséhez a 0,5 és 2% közötti koncentráció tűnik optimálisnak.

A *P. ostreatus* és egyéb gombafajok melléktermékeinek, mint például a gombakomposztnak, a takarmányozási célú újrahasznosítása, pedig a jövőben hozzájárulhat a gombaipari hulladékok mennyiségének csökkentéséhez, miközben támogatja a fenntartható állattartást és javítja az állati eredetű termékek minőségét.

5. táblázat: Laskagomba alapú takarmánykiegészítő igazolt hatása baromfi modelleken

| Alkalmazott dózis<br><i>P. ostreatus</i> (%) | Modell állat                               | Fő eredmények                                                                                                                                                              | Forrás                       |
|----------------------------------------------|--------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|
| 0,5-2                                        | Japán fürj<br>( <i>Coturnix japonica</i> ) | A 0,5-2%, 2%-os <i>P. ostreatus</i> por hozzáadása pozitív hatással volt a kriptá mélységére és a papillák magasságára a különböző bél szakaszokban.                       | (ASADI és mtsai., 2022)      |
| 1-2                                          | Broiler csirkék<br>(ROSS 308)              | Pozitívan befolyásolták a bélmorfológiát (nagyobb volt a relatív hossza a jejunumnak).                                                                                     | (DANESHMAND és mtsai., 2011) |
| 1,5                                          | Broiler csirkék<br>(ROSS 308)              | Magas élősúly és nagyobb termelékenység.                                                                                                                                   | (DEVNATH, 2021)              |
| 1-2                                          | Broiler csirkék<br>(ROSS 308)              | Figyelemre méltó javulás a villus hosszában, kriptá mélységben (jejunum).                                                                                                  | (FARD és mtsai., 2014)       |
| 0,5-1-2                                      | Broiler csirkék<br>(ROSS 308)              | A hús hozamjellemzői és a vérplazmában koncentrációk nem különböztek jelentősen, kivéve a kreatinin és a húgysav értékeit.                                                 | (TOGHYANI és mtsai., 2012)   |
| 5, 10 és 15                                  | Hízó libák                                 | A 5%-os letermett gombakomposzt beépítése az étrendbe pozitívan befolyásolta az érzékszervi jellemzőket, különös tekintettel a hús ízére és az általános elfogadhatóságra. | (CHANG és mtsai., 2016)      |

Folyt. 5. táblázat

| Alkalmazott dózis<br><i>P. ostreatus</i> (%)                     | Modell állat                  | Fő eredmények                                                                                                                                                                                | Forrás                     |
|------------------------------------------------------------------|-------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|
| 1- 2                                                             | Broiler csirkék<br>(ROSS 308) | 1%-os laskagomba hulladék beépítése pozitívan befolyásolta a baromfi teljesítményét, az immunválaszt a betegségek elleni vakcinákra, valamint csökkentette a hús lipid-oxidációs avasodását. | (HASSAN és mtsai., 2020)   |
| A búzakorpa 25, 50, 75 és 100%-os helyettesítése                 | Broiler csirkék<br>(ROSS 308) | Az étrendi kezelés nem mutatott jelentős hatást ( $P>0,05$ ) a mell, comb, szárny, hát, nyak, szárnyak és váll területeken.                                                                  | (FOLUKE és mtsai., 2014)   |
| 0, 5, 10 és 15 ml/liter vízben, valamint 0, 500, 750 és 1000 ppm | Kakasok                       | A vízben 15 ml/liter és a takarmányban 750 ppm alkalmazása javította a növekedési teljesítményt és a vérprofil a termelés során.                                                             | (SOGUNLE, 2019)            |
| 0,3, 0,6, 0,9 és 1,2%                                            | Hy-line tojótyúkok            | A 0,6%-os gomba por alkalmazása eredményezte a legnagyobb tojás súlyt és az IOFC-t (jövedelem a takarmányköltség felett).                                                                    | (NATSIR – WICAKSONO, 2020) |

## 4. ANYAG ÉS MÓDSZER

### 4.1. Fagyasztva szárított *Pleurotus ostreatus* gombapor minták előállításának folyamata

A gombapорок előállításához friss laskagombát használtunk, amelyet a PENNY Market Kft.-től (Piactér márka, Magyarország) vásároltunk. Miután alaposan megmostuk és kézzel negyedekre vágtuk a gombákat, a nyers mintákat (kontroll mintákat) rozsdamentes acél tálcára helyeztük, majd -20 °C-on 4 órán keresztül fagyasztottuk.

A 6. táblázatban foglaltuk össze a vizsgálatba bevont minták előállítási folyamatának a fontosabb lépéseit. Az egyszerűbb átláthatóság érdekében, pedig a minta azonosítókat is megadtuk a táblázatban. A friss gomba mintákat 90 °C-os főzés alá vetettük. Annak érdekében, hogy minimalizáljuk a folyadékvesztést, zárt rendszerű nyomástartó edénybe helyeztük őket. A főzést szárítószekrényben végeztük el (Venti-Line, VWR International Hungary Kft.). Mintegy 4 órán keresztül főztük a mintákat (kuktában + szárítószekrényben). A folyamat végén a nyomástartó edényt kivettük a szárítószekrényből, majd a főtt gombát 1200 fordulat/perc sebességgel 10 percen keresztül 1 kg-os kapacitású Hajdu C28.4B típusú centrifugával centrifugáltuk. A berendezést tejipari szűrőpapírral (100 µm) béleltük ki. A szűrt folyadék a kimeneti csövön keresztül edénybe került. A főzési eljárást 3 ismétlésben végeztük, ahol az átlagos lényérés, mintegy  $57,19 \pm 0,03\%$ -ot tett ki a teljes mintából (főzést követően). Az átlagos főzési veszteség (gőzkibocsátásnak és a centrifugálás során történő elpárolgásnak) mintegy  $30,83 \pm 2,81\%$  volt, mely három ismétlésben és három különböző időpontban elvégzett főzés átlag eredménye.

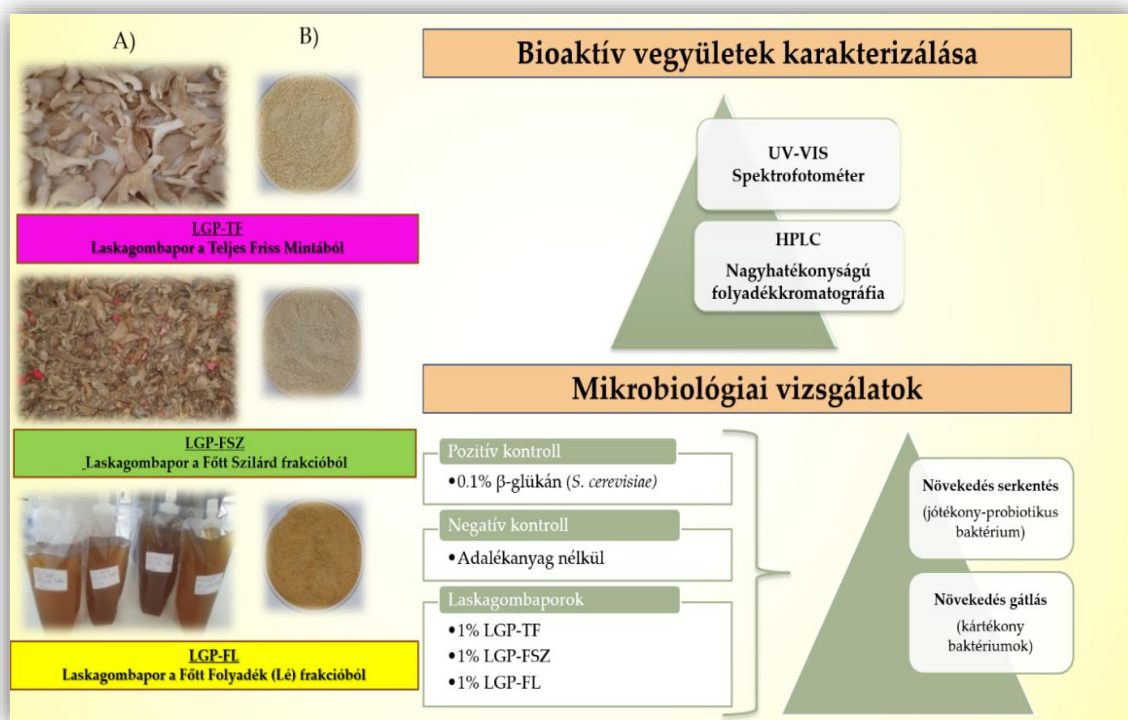
Hosszú időn keresztül eltartható gombapороk (potenciális takarmánykiegészítő termékek) hoztunk létre az alábbiak szerint:

- (1) A sűrű gombalé folyadékot is gombapor előállítására használtuk, viszont kezdeti viszkozus állaga megnehezítette a fagyasztva szárítást. Ezen kihívás kiküszöbölésére gélképző anyagot, 2% (m/v) agar-agar-t (VWR International Hungary Kft.) adtunk hozzá. A gombalevet 100 °C-ra hevítettük, 5 percen keresztül kezeltük, majd rozsdamentes acél tálcára öntöttük, ahol kivártuk a gélképződést. Ezt követően a stabilizált minta készen állt fagyasztva szárításra.
- (2) A főtt és stabilizált folyadékot (szűrlet), a főtt és centrifugált termőtestet (szűrőn maradt anyag), valamint a nyers gombamintákat (teljes termőtest-főzés nélkül), - 20 °C-on 4 órán keresztül előfagyasztottuk, majd fagyasztva szárítottunk

(Bionanoferm Kft.). A fagyasztva szárítási folyamat 24 órán keresztül zajlott 40 °C-on.

- (3) A kapott mintákat finom porrá őröltük (100 mikron szemcseátmérő). A vizsgálatokig a fagyasztva szárított laskagombaporokat légmentesen záródó edényekben, fénytől védett helyen, 25 °C alatti hőmérsékleten tartottuk.

A 7. ábrán a laskagombaminták láthatók a fagyasztva szárítás előtt (A), illetve a folyamat befejezését követően (B). A gyártást követően a fő aktív poliszacharid frakciókat, a teljes glükánt, az  $\alpha$ - és  $\beta$ -glükán tartalmat, valamint az antioxidáns vegyületeket, nevezetesen a flavonoidokat, polifenolokat, illetve a szabadgyökfogó képességet (DPPH) UV-VIS-spektrofotométerrel vizsgáltuk. A szén nanorészecskék és azok molekulatömegeit, valamint fluoreszcencia intenzitásait nagy teljesítményű folyadékkromatográfiával (HPLC), illetve fluoreszcens detektorral (méretkizárásos módszer) határoztuk meg. Ezenfelül mikrobiológiai vizsgálatokat végeztünk a laskagombaporok mikroorganizmusokra kifejtett hatásának a vizsgálatára.



7. ábra: A gomba alapanyagok és porok szemléltetése (GA, A: bal oszlop) és a késztermékek (forrás: saját szerkesztés)

6. táblázat: A különböző technológiák alkalmazásával előállított gombapорок rövidítései és a gyártás rövid leírás

| Kiindulási anyag                                      | Főzési folyamat                | Gyártási lépés centrifugálást megelőzően |              | Kiindulási minta előfagyasztáshoz, majd liofilizáláshoz                                                                        | Rövidítés |
|-------------------------------------------------------|--------------------------------|------------------------------------------|--------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <i>Pleurotus ostreatus</i><br>(tisztított, szeletelt) | főzés nélkül                   | -                                        |              | - teljes, friss <i>P. ostreatus</i> gomba                                                                                      | LGP-TF    |
|                                                       | (90 °C, 4 óra)                 | Centrifugálás<br>(1200 rpm,<br>10 perc)  | -            | - főtt, szilárd maradék<br>maradék–szűrőn maradt<br>anyag<br>(termőtest redukált<br>víztartalommal centrifugálást<br>követően) | LGP-FSZ   |
|                                                       | vákuumfőző,<br>szárítószekrény |                                          | Stabilizálás | - főtt lé–centrifugából távozó<br>gombalé                                                                                      | LGP-FL    |
|                                                       |                                |                                          | 2% agar-agar | (főtt termőtestből kivonva)                                                                                                    |           |

Valamennyi minta fagyasztva szárított (40 °C, 24 óra), illetve finom porrá őrölt. A továbbiakban az alábbi rövidítéseket használjuk: LGP-TF, Laskagombapor a Teljes Friss Mintából; LGP-FSZ, Laskagombapor a Főtt Szilárd frakcióból; LGP-FL, Laskagombapor a Főtt Lé frakcióból

## 4.2. A *P. ostreatus* gombapor bioaktív komponenseinek kémiai analízise

### 4.2.1. A teljes, $\alpha$ és $\beta$ -glükántartalom mennyiségi meghatározása

Az  $\alpha$ ,  $\beta$ -glükán, valamint a teljes glükántartalmat a Megazyme (Bray, Írország) által fejlesztett, kereskedelmi forgalomban kapható élesztő alapú  $\beta$ -Glükán Tesztkészlet (K-YBGL 02/21) segítségével, UV-VIS spektrofotometriás (Perkin Elmer, Lambda, San Jose, CA, USA) módszerrel határoztuk meg. Ez egy olyan specifikus mérési módszer, amivel meghatározható az (1-3)(1-6)- $\beta$ -glükán tartalom, gomba- és micéliumtermékekből, élesztőből és gombakészítményekből (MCCLEARY – DRAGA, 2016). A teljes glükánt poliszacharidok exo-1,3- $\beta$ -glükánázzal és  $\beta$ -glükózidázzal történő hidrolizálásával, míg az  $\alpha$ -glükánt amiloglukozidáz plusz invertázzal történő hidrolízissel adtuk meg.

A mérés során egy 20 mL-es üvegbe 90 mg őrölt laskagombapor mintát mértünk, majd 2 mL jéghideg 12 M kénsavat adtunk hozzá. Alapos vortexelést követően jeges vízfürdőben tartottuk a mintákat (2 órán keresztül).

Folyamatosan vortexeltük annak érdekében, hogy elősegítsük a  $\beta$ -glükán kénsavas hidrolízisét. 4 mL vizet adtunk valamennyi üvegbe, majd lezártuk és 10 másodpercen keresztül vortexeltük. 6 mL vizet adtunk hozzá, lezártuk, és további 10 másodpercig vortexeltük. Ezt követően 100 °C-on, 2 órán keresztül inkubáltuk. A csövek tartalmát egy 100 ml-es mérőlombikba öntöttük, majd 200 mM nátrium-acetát puffer segítségével átmostuk. A mérőlombikba pipettáztunk 6 ml mennyiségű 8,0 M NaOH-oldatot, majd jelig töltöttük 200 mM nátrium-acetát pufferrel (pH 4,5). Összekevertük a csövek tartalmát, majd steril fecskendőszűrő (0,45  $\mu$ m hidrofil PTFE, Labex Ltd.) segítségével átszűrtük. A mintákat reagensekkel kezeltük, majd az abszorbanciát 510 nm-en mértük. A szabad D-glükóz mérése hasonló lépéseket követ, de előzetesen a mintákat NaOH és enzimek kezelésnek vetjük alá. Ennek eredményeképpen pontosabb adatokat kapunk a minta glükán összetételéről és D-glükóz tartalmáról.

Az össz- és  $\alpha$ -glükán tartalom meghatározása során keletkezett glükóz mennyiségét glükózmeghatározó reagens (GOPOD) hozzáadását követően adtuk meg, majd az abszorbanciát 510 nm-en mértük le. A teljes glükánból kivontuk az  $\alpha$ -glükánt, melyből megkaptuk a  $\beta$ -glükán tartalmat. Az eredményeket w/w%-ban adjuk meg.

#### 4.2.2. A teljes fenol, flavonoid tartalom, valamint a szabadgyökfogó képesség (DPPH) vizsgálata

Az antioxidáns vegyületeket és a szabadgyökfogó képességet három ismétlésben mértük UV-VIS spektrofotométer segítségével.

A teljes polifenoltartalmat (TPC) 765 nm-en mértük Srivastava és mtsai. (2024) módszerét alkalmazva. A vizsgálat során 0,1 g gombamintát 10 mL 80%-os metanollal homogenizáltuk. A kapott oldatot 0,45 µm-es hidrofób PTFE szűrőn (Labex Ltd., New Delhi, India) szűrtük, majd hozzáadtunk 2,5 mL 0,2 N Folin-Ciocalteu reagenst. A mintákat szobahőmérsékleten 5 percen keresztül inkubáltuk, majd 2,0 mL 7,5%-os (m/v) nátrium-karbonát ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) oldatot adtunk hozzá. A kapott oldatokat homogenizáltuk és 30 percen keresztül fénytől védett helyen inkubáltuk. A TPC mérés esetében 80%-os metanolos oldat volt a kontroll. A kalibrálási görbe készítéséhez galluszsav (VWR International Hungary Ltd.) oldatot használtunk, ismert koncentrációjú oldatokat alkalmazva (0-100 µg/mL). Az eredményeket galluszsav ekvivalensben fejeztük ki, milligramm/g száraz anyagra vonatkozóan (mg GAE/g) (SRIVASTAVA és mtsai, 2024).

WICKRAMASINGHE és mtsai. (2023) munkássága alapján vizsgáltuk a teljes flavonoid tartalmat (TFC) 510 nm-en. A kísérletek során 0,25 g gombaport 1,25 mL desztillált vízben feloldottunk, majd 6 percen keresztül inkubáltuk. Az oldathoz 75 µL 5%-os (m/v) nátrium-nitrit ( $\text{NaNO}_2$ ) oldatot adtunk, majd 150 µL 10%-os (m/v) alumínium-klorid hexahidrátot ( $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ). További 5 perc inkubációt követően 0,5 mL 1 M nátrium-hidroxid ( $\text{NaOH}$ ) oldatot adtunk az oldathoz, majd 2,5 mL-es térfogatra desztillált víz segítségével jelre töltöttük és alaposan homogenizáltuk. A TFC mérés kontrollmintája desztillált víz volt. A kalibrációs görbét ismert koncentrációjú katechin (VWR International Hungary Ltd.) oldatok (20–100 µg/mL) mérésével készítettük. A flavonoid tartalmat ezen kalibrációs görbe alapján számoltuk ki, majd katechin egyenértékben, milligramm/g szárazanyagra vonatkoztatva (mg CE/g) fejeztük ki.

A 2,2-difenil-1-pikrilhidrazil (DPPH) stabil szabadgyök-semlegesítő képességet AHMAD és mtsai. (2014) módszere alapján vizsgáltuk 517 nm-en. A vizsgálati mintákat és a DPPH oldatot (VWR International Hungary Ltd.) etanolban oldottuk. A vizsgálatok során 1,25 mg pontosan kimért DPPH port feloldottunk 20 mL etanolban (4×koncentráció). A kűvetta 1,0 mL mintát és 2,0 mL DPPH oldatot tartalmazott.

A kapott oldatokat sötét helyen, szobahőmérsékleten, 30 percen keresztül inkubáltuk. A DPPH elszíneződésének mértéke (abszorbancia értékek) megmutatta a szabadgyök-fogó képességet, amelyet SC%-ban (száraz anyagra vonatkoztatva) fejeztünk ki.

#### 4.2.3. Szén-nanorészecskék méretének, molekulatömegének és koncentrációjának meghatározása a liofilizált gombaporban

A szén nanorészecskék vizsgálatát nagyhatékonyságú folyadékkromatográfiás (HPLC) mérésekkel végeztük NGUYEN és mtsai. (2024) munkássága alapján. A kutatók vizsgálták a lehetséges képződésüket bizonyos hőkezelt élelmiszeripari termékekben, olyan hő indukált reakciók során, mit például a Maillard-reakció. A gomba alapú szén nanorészecskék képződését vizsgáltuk valamennyi késztermékben (LGP-TF, LGP-FSZ, LGP-FL).

A HPLC-mérések közé (beállítások Lsd.: *melléklet 1.*) tartozott a méretelválasztó kromatográfiás eljárás (SEC: Size Exclusion Chromatography), melyet a minta komponenseinek méret- és molekulatömeg-eloszlásának vizsgálatára alkalmaztunk.

Az elválasztás alapja, hogy a kisebb molekulák lassabban haladnak át a kromatográfiás oszlop töltetén, míg a nagyobb molekulák gyorsabban eluálódnak.

Az elválasztott komponensek detektálását UV/VIS detektorral végeztük, majd az eredményeket kalibrációs görbék alapján értékeltük. A szeparációkat Agilent AdvanceBio SEC oszlopon (300 Å; 4.6 × 300 mm × 2.7 µm) végeztük, izokratikus elúciós rendszert használva (elúciós oldószer (mobil fázis) összetétele állandó marad a teljes futás során). A vízzel oldható bioaktív vegyületeket feloldottuk desztillált vízben (100× hígítás mellett), majd 0,45 µm-es hidrofób PTFE szűrőn (Labex Ltd.) átszűrtük őket.

A műszeres vizsgálatoknál a fluoreszcens detektort (Shimadzu RF-20A, Kyoto, Japán) a HPLC (ECOM, ECS05, Chrastany, Csehország) a HPLC berendezéshez csatlakoztattuk. A mobil fázis (acetonitril és víz keveréke 20–80%-os arányban) 0,7 mL/perc áramlási sebességgel futott. Összesen 5 µL mintát injektáltunk a rendszerbe. 370 nm-es (excitációs) és 460 nm-es (emissziós) hullámhosszokat alkalmazva a laskagombaporok vizsgálatára. A rendszert két különböző peptid standard segítségével kalibráltuk, annak érdekében, hogy meghatározzuk a molekulatömeget.

Az első volt, a Bio-Rad gélfiltrációs szabvány (Bio-Rad, Hercules, CA, USA), melynek molekulatömeg-tartománya 1350 és 670,000 Da között mozgott. Ezen standard tartalmazta a tiroglobulint,  $\gamma$ -globulint, ovalbumint, myoglobint és B12-vitamint.

A második szabvány, a Merck-től származott (Rahway, NJ, USA) és az alábbi peptideket tartalmazta specifikus molekulatömegekkel: Gly-Tyr (238,2 Da), Val-Tyr-Val (379,5 Da), metionin enkephalin (573,7 Da), leucin enkephalin (555,6 Da) és angiotenzin II (1046,2 Da). Ezen szabványok tették lehetővé a szén nanorészecskék molekulatömegének pontos kalibrálását és azonosítását a mintákban (NGUYEN és mtsai., 2024).

Ezen felül kalibrációs sort készítettünk NGUYEN és mtsai. (2024) által előállított standard felhasználásával (glicin és dextróz alapú tiszta standard). A kalibrációs sor alkalmazásával megtudtuk adni a laskagombaporokban található szén nanorészecskék koncentrációját. A kalibrációs sorozatot 4 pontból állítottuk össze, ahol a tiszta szén nanorészecskéket desztillált vízben oldottuk fel (10, 100, 1000 és 10000 mg/kg). Az adatok kiértékelését Agilent OpenLab CDS szoftverrel végeztük (Lsd.: *melléklet 2.*).

#### 4.3. A liofilizált gombaporok mikrobiológiai vizsgálata

##### 4.3.1. A vizsgálatba bevont mikroorganizmus-törzsek

A vizsgálat során probiotikus tejsavbaktériumokat: *Lactiplantibacillus plantarum* (B.023391) és *Lactocaseibacillus casei* (B.01526) törzseket alkalmaztunk annak érdekében, hogy értékelni tudjuk a gombaporok hatását jótékony mikroorganizmusokra. Emellett Gram-negatív (*Escherichia coli*, B.02357) és Gram-pozitív (*Staphylococcus epidermidis*, B.02055) baktériumtörzseket is bevontunk az esetleges antimikrobiális tulajdonságok vizsgálatára. A mikroorganizmus-törzseket a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem Referencia Gyűjteményéből szereztük be. A baktériumokat - 80 °C-on, dehidratált formában tároltuk, majd a kísérletek megkezdése előtt rehidratáltuk őket, hogy életképes kultúrákat nyerjünk.

##### 4.3.2. Mikrobiológiai vizsgálatok helye, menete

A mikrobiológiai vizsgálatokat a Debreceni Egyetem Mezőgazdaság-, Élelmiszertudományi és Környezetgazdálkodási Karának (MÉK) Mikrobiológiai Laboratóriumában végeztük, a standard élelmiszer-mikrobiológiai protokolloknak megfelelően.

A kísérletek során lemezöntés és szélesztés (spread plate) mikrobiológiai módszereket alkalmaztunk, melyek lehetővé tették a különböző mikroorganizmusok tenyésztését, izolálását és számszerűsítését. A vizsgálatok célja, tehát a laskagombaporok probiotikus baktériumtörzsekre és kártékony mikroorganizmusok növekedésére kifejtett hatásának értékelése volt.

Az újr hidratált baktériumkolóniákat először steril folyékony táplevesbe oltottuk be. A *Laktobacillus* törzsek tenyésztéséhez de Man, Rogosa és Sharpe táplevest használtunk, amely optimális tápanyag-összetételt biztosít a tejsavbaktériumok szaporodásához. A probiotikus kultúrák (*L. plantarum*, *L. casei*) izolálásához és szelektív kimutatásához de Man, Rogosa és Sharpe-agart, illetve táptalaj-kiegészítőt alkalmaztunk. Az enterobaktériumok, valamint az aerob mezofil mikroorganizmusok számlálásához, pedig Plate Count Agar-t (PCA) használtunk, amely lehetővé tette többek között az *E. coli* és a *S. epidermidis* kimutatását és számszerűsítését. Valamennyi táptalaj és alapanyag a BioLab Zrt.-től (Budapest, Magyarország) származott.

A baktériumkolóniákat steril sejtkaparóval gyűjtöttük be a megfelelő szilárd táptalaj felszínéről. Ezt követően 10 mL steril MRS-táplevesben szuszpendáltuk a sejteket. A homogén sejtsuszpenzió biztosítása érdekében, pedig valamennyi mintát 1 percre vortexeltünk (Vortex-Genie 2, Scientific Industries, USA). A folyékony táplevesben lévő kultúrákat ezt követően 37 °C-on, aerob körülmények között, 18–24 órán át inkubáltuk (Mettler, Németország). A megfelelő sejtszám biztosítása érdekében a tenyészeteket az inkubációt követően optikai denzitás (OD600) alapján ellenőriztük.

#### 4.3.3. Kísérleti csoportok bemutatása

Mikrobiológiai kísérleteket öt kezelési csoporttal végeztünk annak érdekében, hogy értékeljük a laskagombaporok funkcionális tulajdonságait; 3 különböző laskagombapor-mintát és 2 kontrollcsoportot (pozitív és negatív) vizsgáltunk. Az alkalmazott laskagombaporok és a pozitív kontroll minta koncentrációit állatkísérletekkel kapcsolatos szakirodalmi adatoknak megfelelően határoztuk meg (TÖRŐS és mtsai., 2024), és az alábbi rövidítésekkel ábrázoltuk:

- **NK** → Nincs hozzáadott tápanyag-kiegészítés (kezelés nélküli csoport).
- **0,1% PK** → 0,1% (w/v) kereskedelmi forgalomban kapható  $\beta$ -glükán, amelyet *Saccharomyces cerevisiae*-ből (Medinvest Hungary Ltd., Kecskemét, Magyarország) extraháltuk → pozitív kontroll.

- **1% LGP-TF** → 1% (w/v) laskagombapor a teljes friss mintából.
- **1% LGP-FSZ** → 1% (w/v) laskagombapor a főtt szilárd frakcióból.
- **1% LGP-FL** → 1% (w/v) laskagombapor a főtt lé frakcióból.

#### 4.3.4. Hígítási sorozat készítése, szélesztés, lemezöntés és inkubációs körülmények biztosítása

1 cm<sup>3</sup> steril MRS tápvelesben lévő tiszta baktériumkultúrát (OD=8) adtunk 9 cm<sup>3</sup> steril MRS tápoldathoz (10 cm<sup>3</sup>-es végső térfogat), melybe már előzőleg ki lett mérve (további oldószerek nélkül) a fent említett mennyiségű tápanyag-kiegészítések. A kémcsöveket vortex (60 s) segítségével homogenizáltuk, majd 37 °C-on 6 órán keresztül inkubáltuk.

A baktériumszám meghatározásához steril peptonvizes hígítási sorozatot készítettünk. Ehhez 1,0 g peptont és 8,5 g nátrium-kloridot oldottunk fel 1000 mL desztillált vízben. 1 cm<sup>3</sup> baktériumszuszpenziót adagoltunk 9 cm<sup>3</sup> steril peptonvízhez, majd alaposan homogenizáltuk vortex készülékkel. A hígításokat 10<sup>-8</sup>-ig végeztük el.

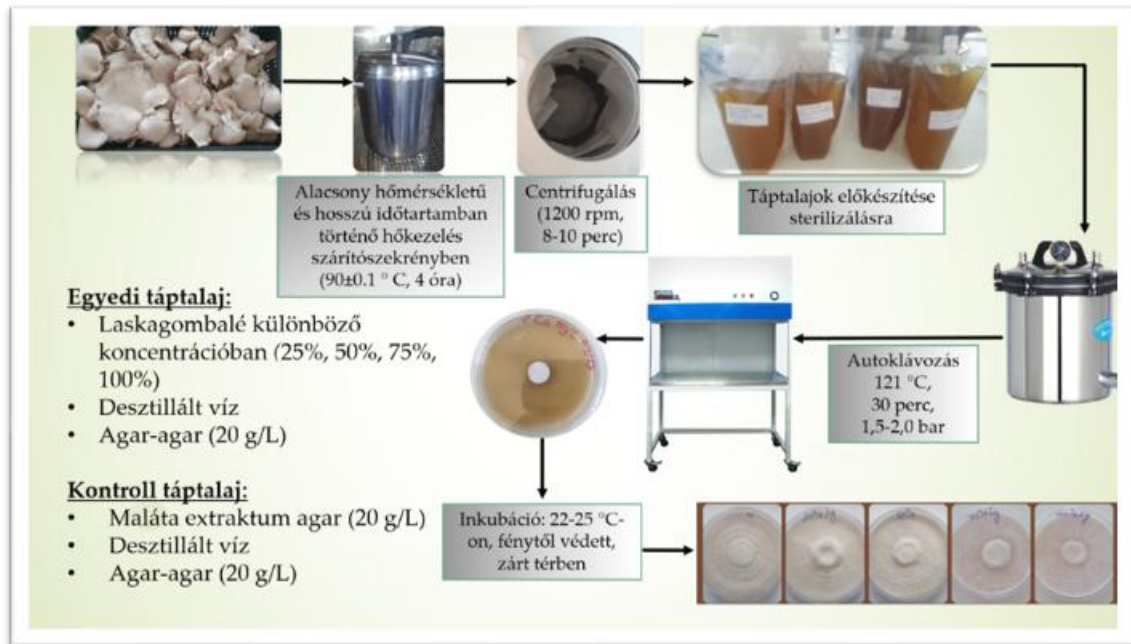
A *L. plantarum*, *L. casei* és *S. epidermidis* esetében szélesztéses módszert alkalmaztunk. Ehhez 0,1 cm<sup>3</sup>-t pipettáztunk a 10<sup>-6</sup>, 10<sup>-7</sup> és 10<sup>-8</sup> hígításokból a megszilárdult táptalaj felszínére, három ismételtsben. Az *E. coli* esetében lemezöntéses módszert alkalmaztunk: 1 cm<sup>3</sup>-t pipettáztunk a fenti hígításokból steril Petri-csészékbe (szintén 3 ismételtsben), majd a megfelelő táptalajt öntöttük a csészékbe (Lsd.: 4.3.2). A vizsgálandó mintát a frissen öntött táptalajjal kör-körös mozdulatokkal elegyítettük.

Az agar lemezeket 37 °C-on, 48 ± 2 órán keresztül inkubáltuk. Az inkubációt követően a kolóniákat megszámloltuk. Az eredményeket TKE/g-egységben fejeztük ki. A könnyebb értelmezhetőség érdekében, pedig 10-es alapú logaritmikus skálán alkalmaztuk.

#### 4.4. Laskagomba (*P. ostreatus*) micélium kolonizációja

##### 4.4.1. Tápközegek sterilizálása és beoltása laskagomba micéliummal

Különböző koncentrációjú (0%, 25%, 50%, 75%, 100%) szilárd tápközegeket állítottunk elő laskagombalé, desztillált víz és agar-agar felhasználásával. Kontroll táptalajként maláta alapú szilárd táptalajt alkalmaztunk. A vizsgálati koncepció megfigyelhető a 8. ábrán.



8. ábra: A kísérleti koncepció bemutatása a gombalé előállításától a micélium kolonizációig (forrás: saját szerkesztés)

A 7. táblázatban látható összetétel szerint készítettük el a táptalajokat, melyeket autoklávozással sterilizáltuk 121 °C-on 30 percen keresztül, 1-1,5 bar nyomás mellett. A felolvasztott tápközegeket aseptikus körülmények mellett, steril Petri-csészékbe (átmérő=80 mm) öntöttük (7-7 Petri csésze minta típusonként), majd vízszintes helyzetben hagytuk megszilárdulni.

Steril, rozsdamentes acél dugóhúzóval készítettünk 19 mm-es átmérőjű kör alakú korongokat a tiszta kultúrát tartalmazó táptalajokból, majd leoltottuk őket az üres csészék (vizsgálandó táptalajok) közepére. Azt követően fénytől védett helyen, szobahőmérsékleten (20-25 °C) inkubáltuk őket (6 napon keresztül).

7. táblázat: A különböző táptalajok összetétele

| Táptalaj összetétel  | MEA  | LGA-25 | LGA-50 | LGA-75 | LGA-100 |
|----------------------|------|--------|--------|--------|---------|
| Maláta extraktum (g) | 20   | 0      | 0      | 0      | 0       |
| Gombalé (ml)         | 0    | 250    | 500    | 750    | 1000    |
| Desztillált víz (ml) | 1000 | 750    | 500    | 250    | 0       |
| Agar-agar (g)        | 20   | 20     | 20     | 20     | 20      |

4.4.2. A micélium napi növekedésének, sűrűségének és nedves tömegének nyomon követése

A vizsgálati periódus során minden nap értékeltük a **napi növekedés ütemét**, a korong alakú lemez átmérőjét (napi megfigyelések mm-ben kifejezve). A micélium **sűrűségét** a 8. táblázatban (rgheem és SHANMUGASUNDARAM, 2018) bemutatott leírás alapján szemrevételezéssel értékeltük és kategorizáltuk. Ezen kategorizálási módszer lehetővé tette a micélium fejlődésének egyszerű, viszont átfogó elemzését. Amint a micélium teljesen kolonizálta a különböző táptalajokat, sejtkaparó segítségével óvatosan leválasztottuk. A táptalajról eltávolított micélium nedves tömegét analitikai mérlegen mértük le.

8. táblázat: A micélium sűrűsége

| A micélium sűrűség foka | A micélium sűrűség leírása      |
|-------------------------|---------------------------------|
| 1+                      | Nagyon csekély micélium sűrűség |
| 2+                      | Gyenge micélium sűrűség         |
| 3+                      | Mérsékelt micélium sűrűség      |
| 4+                      | Bőséges micélium sűrűség        |
| 5+                      | Nagyon bőséges micélium sűrűség |

A **növekedési rátát**, pedig a következő egyenlet segítségével számítottuk ki:  
 Növekedési ráta = kolónia átmérő az utolsó napon (mm) / eltelt napok száma

#### 4.4.3. A nedvességtartalom és a $\beta$ -glükán tartalom változása

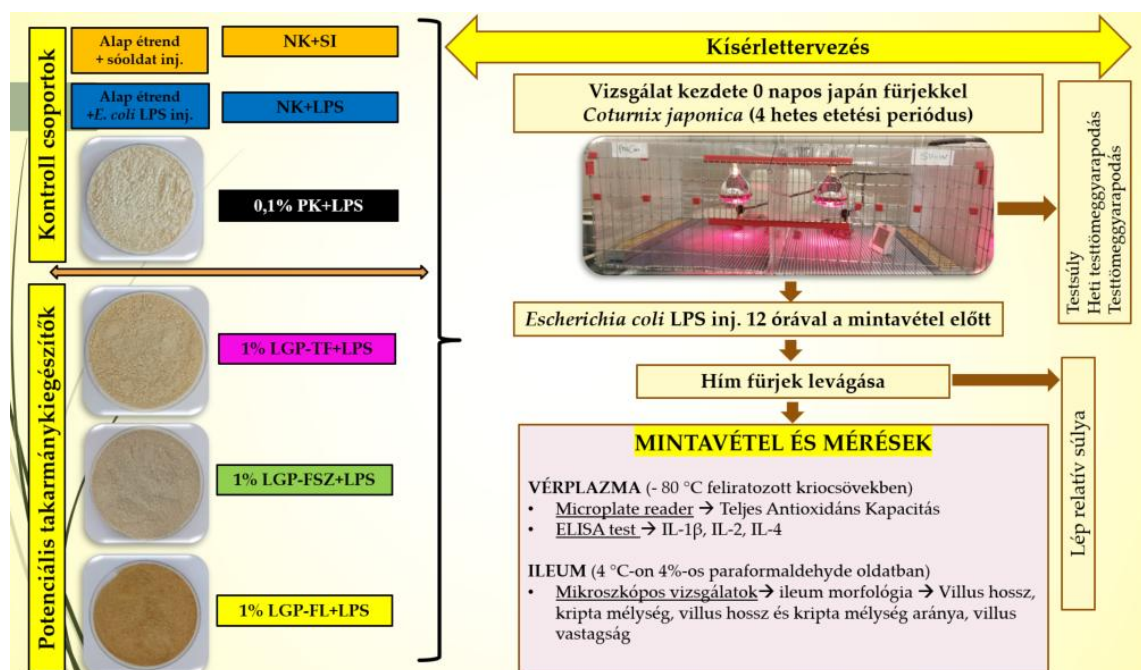
A *P. ostreatus* micélium nedvességtartalmát szárítószekrényben (Venti-Line, VWR International Hungary Ltd., Debrecen, Magyarország) történő tömegállandóságig történő szárítással (105 °C) határoztuk meg. A micéliumot Petri-csészékbe helyeztük, majd szárítószekrénybe helyeztük. Félóránként rendszeres ellenőrzéseket és méréseket végeztünk a túlmelegedés elkerülése érdekében, amíg a teljes száradás be nem következett. Ez biztosította, hogy a micélium könnyen elválasztható legyen a szilárd közegtől, és a végső tömeg pontosan meghatározható legyen. A glükántartalmat korábban említett módszer szerint (Lsd.: 4.2.1) határoztuk meg valamennyi száraz gomba micéliumban.

#### 4.5. Az előállított alapanyagok vizsgálata fürj modelleken

Korábban már bemutattuk a potenciális takarmánykiegészítő termékeink gyártástechnológiai leírását, igazoltuk bioaktív vegyületek (poliszacharidok, antioxidánsok) és szénanorészecskék jelenlétét a különböző frakciókban. Mindemellett a biológiai aktivitást is vizsgáltuk (Lsd.: 4.1. és 5.1.).

##### 4.5.1. Állatkísérletek bemutatása

A 9. ábra a baromfivizsgálat kísérleti beállítását szemlélteti, részletezve a hat különböző csoportot, magában foglalva egy pozitív és két negatív kontrollcsoportot, a vizsgálatba bevont állatok korát, a mintavételnél alkalmazott nemet, valamint a kísérletek típusát (vizsgált paramétereket).



9. ábra: A baromfikísérletek (4 hetes etetési periódus) sematikus összefoglalása, a tervezés, illetve a bevont csoportok (forrás: saját szerkesztés).

#### 4.5.2. A kísérleti állatok bemutatása és állattartás

Tanulmányunk során hím japán fürjeket (*Coturnix japonica*) alkalmaztunk, hiszen kis mérete, gyors növekedése, magas szaporodási rátája és betegségellenálló képességének köszönhetően jelentős szerepet játszik a baromfiiparban. Genetikai egyszerűsége, könnyű kezelhetősége és a szabályozott környezethez való alkalmazkodóképessége miatt elterjedten alkalmazzák modellállatként a tudományos kutatásokban (NAIN és mtsai., 2011; PUROHIT és mtsai., 2016).

A Budai Fürjfarm (Magyarország) biztosította a kísérlethez szükséges japán fürjtojásokat. A tojásokat szabályozott körülmények között keltettük a Debreceni Egyetem (Magyarország) Állattudományi, Biotechnológiai és Természetvédelmi Intézetének Állatházában, ahol az állatkísérletek is zajlottak. A Debreceni Egyetem Állatkísérleti Etikai Bizottsága engedélyezte a vizsgálatot (engedélyszám: 5/2021/DEMAB).

A takarmányozási kísérletet egynapos csibékkel kezdtük és négy héten (28 nap, 4 hét) keresztül zajlott. Véletlenszerűen 10-10 fürjet választottunk ki 12 ketrecbe. 3 hetes (21 napos) korban a madarakat tollazatuk színezete alapján az ivarmeghatározást elvégeztük. A hímek melle egyenletes vörösesbarna, fekete foltok nélkül, míg a nőtények melltollai foltosak. Azt érdemes megjegyezni, hogy a hím nemek megerősítésére a fejlett kloákamirigy és a habváladék jelenlétét is megfigyeltük (LANSFORD – CHENG, 2024) Az ivarmeghatározást követően a hím fürjeket a lábgyűrűk segítségével azonosítottuk, majd *E. coli* LPS-injekcióra és mintavételre kiválasztottuk. A különböző csoportokat különböző színekkel jelöltük és valamennyi mintához egyedi azonosítószámot rendeltünk. Az eredményeket bemutató grafikonoknál a gombok esetében ugyanazon színkódolást használtuk, mint ahogyan azt korábban a gomba alapanyagok karakterizálásánál tettük.

A madarakat ketrecekben (38,85 cm<sup>2</sup>/madár) kontrollált körülmények között tartottuk (kezdetben 35 ± 3 °C hőmérsékleten (az első hétig), majd hetente 3 °C-kal csökkentve), 60–75% relatív páratartalom mellett. Az etetési periódusban (0–3 hét) a csibék kezdetben napi 23–24 óra fényt kaptak, fokozatosan csökkentve 30–40 luxra az etetés és az egyenletes növekedés elősegítése érdekében, míg a nevelő időszakban (3 hét után) 16–18 óra fénynek voltak kitéve (10–15 lux fényerősség).

Az egyenletes növekedés támogatása és a stressz csökkentése érdekében a csibéknél további UVB-lámpákat is használtunk.

#### 4.5.3. Takarmánykiegészítők és *E. coli* LPS injekció

Különböző liofilizált laskagombapor-készítményeket teszteltünk 1%-os koncentrációban (csoportok leírása a 9. táblázatban). Ezenkívül a pozitív kontrollcsoport *Saccharomyces cerevisiae*-ből származó 1,3/1,6  $\beta$ -glükánt tartalmazó kiegészítőt kapott 0,1%-os arányban és 80 tömeg%-os  $\beta$ -glükántartalommal (Medinvest Hungary).

9. táblázat: Vizsgálati csoportok és leírásuk

| Rövidítés               | Csoport leírása                                                                                                                                                 | Injekció típusa                                     |
|-------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| <b>NK+SI</b>            | Az alapétrend + sóoldat-injekció „placebo-kontrollként” megjelölve.                                                                                             | Sóoldat injekció<br>12 órával a<br>mintavétel előtt |
| <b>NK+LPS</b>           | Az alapétrend + LPS-injekció „negatív kontrollként” van megjelölve.                                                                                             | LPS injekció 12<br>órával a<br>mintavétel előtt     |
| <b>PK+LPS</b>           | 0,1% kereskedelmi forgalomban kapható <i>Saccharomyces cerevisiae</i> $\beta$ -glükán, 80 tömeg% $\beta$ -glükántartalommal, „pozitív kontrollként” megjelölve. | LPS injekció 12<br>órával a<br>mintavétel előtt     |
| <b>LGP-<br/>TF+LPS</b>  | 1% liofilizált laskagombapor a teljes friss termőtestből, „laskagomba alapú kiegészítőként” megjelölve.                                                         | LPS injekció 12<br>órával a<br>mintavétel előtt     |
| <b>LGP-<br/>FSZ+LPS</b> | 1%-os liofilizált laskagombapor főtt (90 °C, 4 óra) szilárd maradékból, „laskagomba alapú táplálékkiegészítőként” megjelölve.                                   | LPS injekció 12<br>órával a<br>mintavétel előtt     |
| <b>OMP-<br/>FL+LPS</b>  | 1% liofilizált laskagombapor a főtt (90 °C, 4 óra) folyadékból, „laskagomba alapú táplálékkiegészítőként” megjelölve.                                           | LPS injekció 12<br>órával a<br>mintavétel előtt     |

Rövidítések: NK, negatív kontroll; SI, sóoldat-injekció; LPS, lipopoliszacharidok; PK, pozitív kontroll; LGP, laskagombapor; TF, teljes friss; FSZ, főtt szilárd; FL, főtt lé.

Az alapétrendet kukorica-szója-búza alapon állítottuk össze az NRC (1994) szerint, melyet a 10. táblázatban foglaltam össze:

*10. táblázat: Az alap- és kísérleti takarmányok összetétele (% etetett tápérték), amelyet az NRC (1994) ajánlásainak való megfelelés vagy azok túllépése érdekében állítottuk össze.*

| <b>Takarmány<br/>összetevők (%)</b>             | <b>NK<br/>+SI</b> | <b>NK<br/>+LPS</b> | <b>PK<br/>+LPS</b> | <b>LGP-TF<br/>+LPS</b> | <b>LGP-FSZ<br/>+LPS</b> | <b>LGP-FL<br/>+LPS</b> |
|-------------------------------------------------|-------------------|--------------------|--------------------|------------------------|-------------------------|------------------------|
| Kukorica                                        | 21,99             | 21,99              | 21,75              | 20,09                  | 20,09                   | 20,09                  |
| Búza                                            | 30,00             | 30,00              | 30,00              | 30,00                  | 30,00                   | 30,00                  |
| Szójababliszt<br>(46% CP)                       | 36,25             | 36,25              | 36,29              | 36,58                  | 36,58                   | 36,58                  |
| Halliszt                                        | 5,00              | 5,00               | 5,00               | 5,00                   | 5,00                    | 5,00                   |
| Napraforgóolaj                                  | 4,43              | 4,43               | 4,50               | 5,01                   | 5,01                    | 5,01                   |
| Mészke                                          | 1,01              | 1,01               | 1,01               | 1,00                   | 1,00                    | 1,00                   |
| MCP                                             | 0,37              | 0,37               | 0,37               | 0,37                   | 0,37                    | 0,37                   |
| Só                                              | 0,24              | 0,24               | 0,24               | 0,24                   | 0,24                    | 0,24                   |
| L-Met                                           | 0,10              | 0,10               | 0,10               | 0,10                   | 0,10                    | 0,10                   |
| L-Thr                                           | 0,11              | 0,11               | 0,11               | 0,11                   | 0,11                    | 0,11                   |
| $\beta$ -glükán                                 | -                 | -                  | 0,125              | -                      | -                       | -                      |
| LGP-TF                                          | -                 | -                  | -                  | 1,00                   | -                       | -                      |
| LGP-FSZ                                         | -                 | -                  | -                  | -                      | 1,00                    | -                      |
| LGP-FL                                          | -                 | -                  | -                  | -                      | -                       | 1,00                   |
| Vitamin és ásványi<br>anyag premix <sup>a</sup> | 0,50              | 0,50               | 0,50               | 0,50                   | 0,50                    | 0,50                   |
| <b>Összesen</b>                                 | <b>100</b>        | <b>100</b>         | <b>100</b>         | <b>100</b>             | <b>100</b>              | <b>100</b>             |

**11. táblázat: Tápanyagtartalom (kiszámítva az NRC, 1994-es ajánlásainak megfelelően vagy azt meghaladóan)**

| <b>Tápanyagok</b>                     | <b>NK<br/>+SI</b> | <b>NK<br/>+LPS</b> | <b>PK<br/>+LPS</b> | <b>LGP-TF<br/>+LPS</b> | <b>LGP-FSZ<br/>+LPS</b> | <b>LGP-FL<br/>+LPS</b> |
|---------------------------------------|-------------------|--------------------|--------------------|------------------------|-------------------------|------------------------|
| Metabolizálható<br>energia<br>(MJ/kg) | 12,13             | 12,13              | 12,13              | 12,13                  | 12,13                   | 12,13                  |
| Nyersfehérje (%)                      | 24,00             | 24,00              | 24,00              | 24,00                  | 24,00                   | 24,00                  |
| Lizin (%)                             | 1,37              | 1,37               | 1,37               | 1,37                   | 1,37                    | 1,37                   |
| Metionin (%)                          | 0,50              | 0,50               | 0,50               | 0,50                   | 0,50                    | 0,50                   |
| Treonin (%)                           | 1,02              | 1,02               | 1,02               | 1,02                   | 1,02                    | 1,02                   |
| Triptofán (%)                         | 0,30              | 0,30               | 0,30               | 0,30                   | 0,30                    | 0,30                   |
| Leucin (%)                            | 1,86              | 1,86               | 1,86               | 1,86                   | 1,86                    | 1,86                   |
| Izoleucin (%)                         | 1,04              | 1,04               | 1,04               | 1,04                   | 1,04                    | 1,04                   |
| Arginin (%)                           | 1,60              | 1,60               | 1,60               | 1,60                   | 1,60                    | 1,60                   |
| Leu/Ile Arány                         | 1,80              | 1,80               | 1,80               | 1,80                   | 1,80                    | 1,80                   |
| Kalcium (%)                           | 0,80              | 0,80               | 0,80               | 0,80                   | 0,80                    | 0,80                   |
| Foszfor (%)                           | 0,59              | 0,59               | 0,59               | 0,59                   | 0,59                    | 0,59                   |
| Nem-fitát Foszfor<br>(%)              | 0,30              | 0,30               | 0,30               | 0,30                   | 0,30                    | 0,30                   |
| Nátrium (%)                           | 0,15              | 0,15               | 0,15               | 0,15                   | 0,15                    | 0,15                   |

(a) 1 kg előkeverék tartalma: 1 000 000 NE A-vitamin, 200 000 NE D3-vitamin, 4900 mg/kg E-vitamin, 200 mg K3-vitamin, 150 mg B1-vitamin, 500 mg B2-vitamin, 1200 mg Ca-d-pantotenát, 400 mg B6-vitamin, 2 mg B12-vitamin, 11 mg biotin, 2502 mg niacin, 60 mg folsav, 300 000 mg kolin-klorid, 13 200 mg Zn, 1920 mg Cu, 9612 mg Fe, 13 200 mg Mn, 180 mg I, 42 mg Se, 12 mg Co.

Az immunválasz indukálása érdekében a hím fürjeket 12 órával a mintavétel előtt külön ketrecekbe helyeztük, és intraperitoneális úton *E. coli* lipopoliszacharidot (LPS) kaptak 1,5 mg/testtömeg kg dózisban. Az LPS-t steril izotóniás sóoldatban oldottuk fel 1,5 mg/ml végkoncentráció eléréséig. Az injekció térfogatát az egyes állatok testtömegéhez igazítottuk. Az LPS-ek lipidekből és poliszacharidokból álló nagy molekulák, amelyek bakteriális toxinként hatnak.

Egy O-antigénből, egy külső magból és egy belső magból állnak, kovalensen kapcsolódnak és a Gram-negatív baktériumok külső membránjában vannak jelen.

Az LPS-injekciót széles körben alkalmazzák akut immunválasz kiváltására, ami az immunsejtek aktiválódásához és az immunszervek, például a lép funkcionális stimulációjához vezethet (SHEN és mtsai., 2010).

A steril sóoldat injekciót kapó „placebo csoport” (NC+SI) annak érdekében került bevonásra, hogy vizsgáljuk a tűszúrás, illetve az LPS-injekció hatását.

#### 4.5.4. Mintavétel

Négy hét (28 nap) elteltével az egyes kísérleti csoportokból származó hím madarakat a korábban leírt módon azonosítottuk. A hím madarakat humánus úton nyaki diszlokációval levágtuk. Nyomonkövethetőségi rendszerünk biztosította a pontos súlygyarapodás nyomon követését és a precíz méréseket a vizsgálat során. A hím *C. japonica* egyedek levágását megelőzően feljegyeztük a végső élősúlyt, majd a boncolást követően megmértük a lép súlyát is.

A mintavétel alatt vérplazma- és ileummintákat gyűjtöttünk és megfelelő körülmények között tároltuk a vizsgálatok erejéig:

**1.) Morfológiai vizsgálat** → közvetlen módon 1 cm-es ileum-szegmenseket gyűjtöttünk. Ezen mintákat 4%-os paraformaldehid oldatban (Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA) tartósítottuk, majd szobahőmérsékleten tároltuk.

**2.) Immunválasz és teljes antioxidáns kapacitás meghatározása** → A vérmintákat etilén-diamin-tetraecetsav (EDTA) csövekbe gyűjtöttük, majd  $3000 \times g$ -vel 10 percig centrifugáltuk. Az elválasztás után a plazmát jelölt kriocsövekbe helyeztük, és  $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ -on ultrafagyasztós hűtőszekrényben tároltuk (VWR International Hungary Kft.). A lefagyasztott plazmamintákat később laboratóriumi elemzésekhez használtuk fel. Az elválasztott plazmát jelölt kriocsövekbe helyeztük, és  $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ -on ultrafagyasztós hűtőszekrényben tároltuk (VWR International Hungary Kft.).

## 4.6. Laboratóriumi mérések

### 4.6.1. Növekedési teljesítmény és a lép valós súlya

A kísérlet kezdetén, a 0. napon, a csibék súlyát megmértük, még a madárgyűrűzést megelőzően, hogy minimalizáljuk a kezeléssel járó stresszt a kikelés utáni időszakban. A madarakat ezt követően véletlenszerűen helyeztük a ketrecekbe, annak érdekében, hogy biztosítsák a csoportok közötti homogén kezdeti testtömeget. Az első héttől kezdve a testtömeg-adatokat rögzítettük.

A testtömeget hetente rögzítettük és a heti testtömeget, testtömeg-gyarapodást, valamint a teljes kísérleti időszakra vonatkozó testtömeg-gyarapodást minden kezelési csoportban lévő összes hím csibe alapján kiszámították. A testtömeget digitális mérleggel mértük,  $\pm 0,01$  g pontossággal. A 0. napon a csibéket csoportként, lábgyűrűk nélkül és egyedi azonosító nélkül mértük. Ezt követően a kísérlet 7. napján (1. hét), 14. napján (2. hét), 21. napján (3. hét) és 28. napján (4. hét) hetente mértük az egyedi testtömeget valamennyi hím csibénél.

A 4 hetes etetési periódus során a növekedési dinamika értékeléséhez kiszámítottuk a heti testtömeg-gyarapodást. Valamennyi madár esetében a heti testtömeg-gyarapodást az adott hét végén mért testtömeg és az előző hét végén rögzített testtömeg különbségeként határoztuk meg a következő képlet szerint: *Heti testtömeggyarapodás* =  $Hét_i - Hét_{i-1}$

A teljes kísérleti időszakra vonatkozó testtömeg-gyarapodást a 28. napi testtömeg és a 0. napi testtömeg különbségeként számítottuk ki.

A lép súlyát vágást követően rögtön megmértük ( $\pm 0,01$  g pontossággal). A lép relatív súlyát az egyes madarak végső testsúlyának elosztásával számítottuk ki. Az egyenlet, Subaru és munkatársai (2024) által leírtak szerint: *Lép valós súlya* =  $(Lép\ súly\ (g) / Élő\ súly\ (g)) \times 100$ .

### 4.6.2. Interleukin szintek

Az interleukin (IL-1 $\beta$ , IL-2, IL-4) szintjét a plazmamintákban ELISA módszerrel (n = 6 kezelésként) a gyártó utasításai szerint (ECH0040, ECH0041, ECH0044, Wuhan Fine Biotech Co., Ltd., Wuhan, Kína) határoztuk meg. Az abszorbanciát Synergy HTX Multi-Mode mikroplate-leolvasóval (BioTek Instruments Inc., Winooski, USA) mértük,

450 nm hullámhosszon. Az interleukin-koncentrációkat a kapott standard görbe lineáris regressziójából származó egyenlettel számítottuk ki.

Az interleukin (IL-1 $\beta$ , IL-2, IL-4) vizsgálatok érzékenysége 1,875 pg/ml, 1,875 pg/ml és 9,375 pg/ml volt. A tesztelt interleukin-szintek (IL-1 $\beta$ , IL-2, IL-4) intraassay-együtthatói, pedig (CV) <10% voltak.

#### 4.6.3. Intesztinális morfológia

A bél morfológiájának értékeléséhez az ileum mintákat (n = 6 kezelésenként) 10%-os semleges pufferolt formalinban fixáltuk, gradiens etanolban dehidratáltuk, xilolban tisztítottuk, és paraffinba ágyaztuk. Rotációs mikrotómmal sorozatmetszeteket (5  $\mu$ m) készítettünk, és hematoxin-eozinnal (H&E) festettük FISCHER és mtsai. (2008) standard hisztológiai eljárása szerint.

A festett ileum metszeteket mikroszkóp (DP71, Olympus, Japán) alatt vizsgáltuk, amelyet fénymikroszkóphoz (BX61, Olympus, Japán) csatlakoztattunk egy 20 $\times$ -os objektív segítségével. A morfológiai paraméterek kvantitatív elemzéséhez az Olympus CellSens Entry szoftvert használtuk, MUNYAKA és munkatársai (2012) által leírt protokollt követve. A módszer lehetővé tette a vizsgált különböző béljellemzők pontos mérését és értékelését.

A villus magasságát (villus hossz) a kripta-villus átmenettől a villus csúcsáig, a hossz tengely mentén mértük. A kriptamélységet a kripta aljától a kripta-villus átmenetig mértük. A villus szélességet (vagy villusvastagságot) a villus felezőpontjánál, a hossz tengelyre merőlegesen határoztuk meg. A villus magasság és kriptamélység arányát a két érték hányadosaként számítottuk ki. A mérésekhez kizárólag a megfelelő orientációjú, ép villus-kripta egységeket használtuk fel.

#### 4.6.4. Teljes antioxidáns kapacitás

A nem hemolizált vérplazma mintákat a gyártó utasításai szerint (Abnova Corp., Taoyuan, Tajvan) elvégeztük a teljes antioxidáns kapacitás (TAC) vizsgálatát. A vérplazma (n = 6 kezelésenként) és a standard minták abszorbanciaértékeit 570 nm-en, duplikátumban mértük Synergy HT Multi-Mode Microplate Reader (BioTek Instruments Inc., Winooski, USA) segítségével. Az eredményeket mikromoláris Trolox-ekvivalensben fejeztük ki.

#### 4.6.5. Statisztikai vizsgálat

A táblázatokban és ábrákban valamennyi eredmény átlag  $\pm$  SEM formában került bemutatásra. Az adatok rendszerezését és a grafikus szerkesztést Microsoft Office Excel (16.0 verzió) programmal végeztük. A statisztikai vizsgálatokat IBM SPSS Statistics 29.0 verzióval (IBM Corp., Armonk, NY, USA) végeztük. A szignifikáns különbségeket a táblázatokban és ábrákban eltérő betűk jelzik.

A statisztikai tesztek az adateloszlás szerint választottuk ki. A normális eloszlású adatokhoz (pl. mikrobiológiai vizsgálatok, szén-nanorészecske-tartalom, testtömeg és ileum morfológiai paraméterei, beleértve a villus hosszát, a kripta mélységét, szélességét és a kapcsolódó arányokat) egyutas varianciaanalízist (ANOVA) alkalmaztunk. A nem normál eloszlású változókhoz (pl.  $\beta$ -glükán, DPPH, TPC, TFC, micélium növekedés és biomassa mennyiség, relatív léptömeg, testtömeg-gyarapodás, heti súlygyarapodás, interleukin-koncentrációk (IL-1 $\beta$ , IL-2, IL-4) és teljes antioxidáns kapacitás) pedig Kruskal–Wallis nemparametrikus tesztet alkalmaztunk, majd Dunn többszörös összehasonlító post hoc tesztet is végeztünk Bonferroni-korrekcióval.

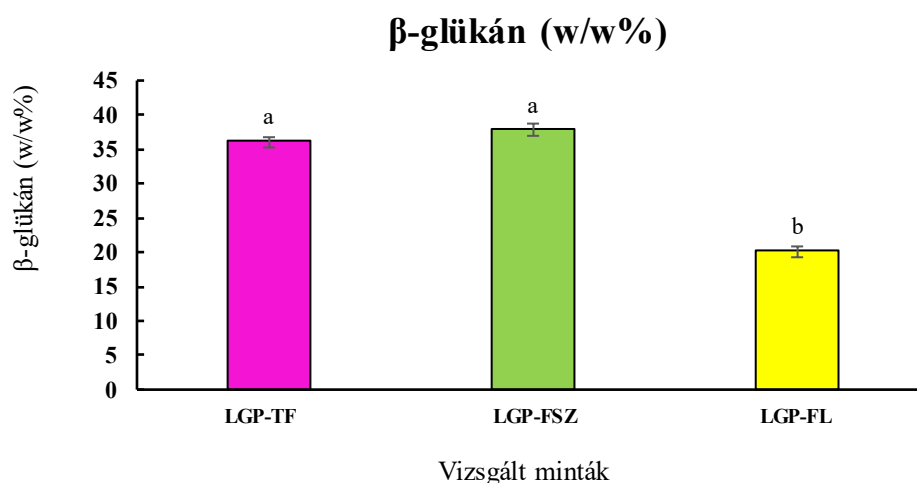
A statisztikai szignifikancia szintjét  $p < 0,05$ -re állítottuk be. A paraméteres elemzésekhez, ahol alkalmazható volt, a normalitás és a variancia homogenitásának feltételezéseit értékeltük. Az állatkísérleteknél egyetlen megfigyelést sem zártunk ki kiugró értéként, tehát valamennyi adatpontot megtartottunk, annak érdekében, hogy az állatok közötti biológiai variabilitást tükrözzük.

## 5. EREDMÉNYEK ÉS AZOK ÉRTÉKELÉSE

### 5.1. A fagyasztva szárított *Pleurotus ostreatus* gombaporok karakterizálása és biológiai aktivitásának vizsgálata

#### 5.1.1. Poliszacharid frakció (glükán tartalom)

A modelltermékeken (LGP-TF, LGP-FSZ és LGP-FL) végzett nem-parametrikus Kruskal-Wallis teszt szignifikáns különbségeket mutatott  $\beta$ -glükán (10. ábra) tartalomra az LGP-FSZ és az LGP-FL csoportok esetében ( $p < 0,05$ ), amelyet a 10. ábrán különböző betűkkel jelöltünk. Az eredmények térfogatszázalékban vannak kifejezve ( $n = 6$  minta). Az eredmények alapján egyértelműen látható, hogy az LGP-FL ( $20,27 \pm 0,58$  w/w%) jelentősen alacsonyabb  $\beta$ -glükán tartalommal rendelkezett, mint az LGP-FSZ ( $37,95 \pm 0,78$  w/w%), melyet szorosan követett az LGP-TF ( $36,25 \pm 0,50$  w/w%). A jelentős különbség rámutat arra, hogy az egyes LGP-csoportok között lényeges eltérések lehetnek a  $\beta$ -glükán tartalom szempontjából. Az értékek átlagként  $\pm$  SD formában vannak megadva.



10. ábra: A  $\beta$ -glükán mérési eredmények bemutatása  $\rightarrow$  A szignifikáns különbségeket ( $p < 0,05$ ) eltérő betűkkel jelöltük, ahol  $b < a$ . (Rövidítések: LGP-TF, Laskagombapor a Teljes Friss Mintából; LGP-FSZ, Laskagombapor a Főtt Szilárd frakcióból; LGP-FL, Laskagombapor a Főtt Lé frakcióból)

Eredményeink szerint az LGP-FSZ és az LGP-TF lehetnek a leghatékonyabb kiegészítők a  $\beta$ -glükán bevitel élettani előnyeinek maximalizálására, hiszen ezen készítmények lényegesen magasabb  $\beta$ -glükán- és teljes glükán-tartalommal rendelkeznek, ami előnyös lehet az immunmoduláció, antioxidáns kapacitás és prebiotikus hatások szempontjából.

A kapott eredményünk, pedig összhangban áll szakirodalmi adatokkal, melyek szerint a *P. ostreatus*, valamint más ehető gombák jelentős  $\beta$ -glükán-tartalommal rendelkeznek (~ 40 g/100 g szárazanyagtartalomra) (MCCLEARY – DRAGA, 2016; MIROŃCZUK-CHODAKOWSKA – WITKOWSKA, 2020).

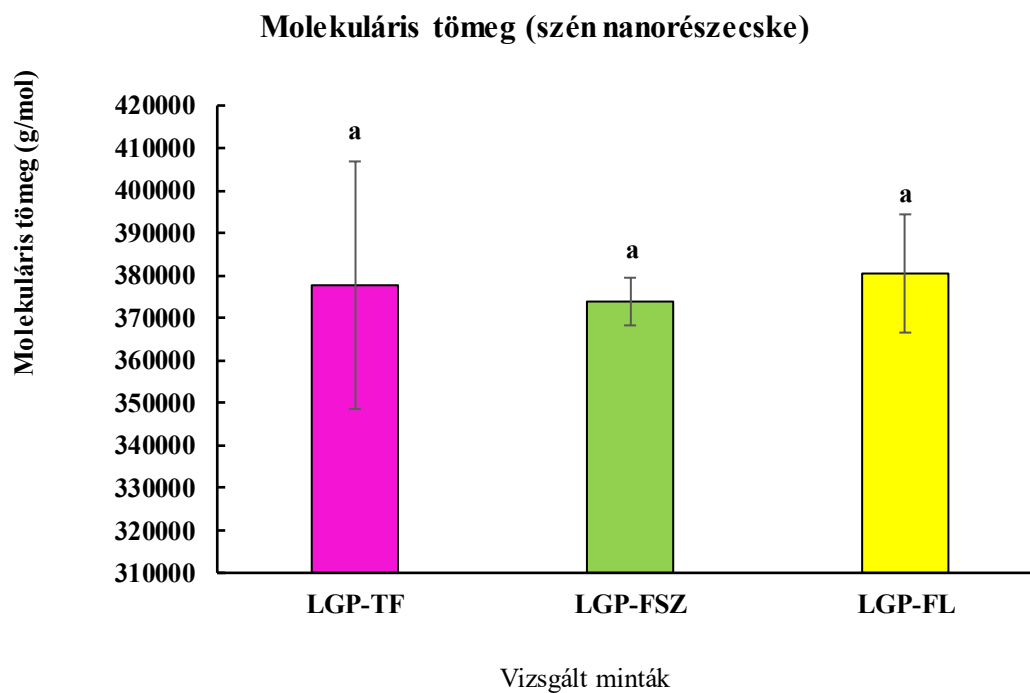
Fontos megjegyezni, hogy az LGP-FL minta nem közvetlenül összevethető a szilárd frakciókkal (LGP-TF, LGP-FSZ), mivel a hőkezelés során jelentős mennyiségű vízdoldható glükán és egyéb komponens oldódik át a folyadékfázisba. Eredményeink alapján a glükánfrakció mintegy 40–50%-a került a léfrakcióba, így az LGP-FL glükántartalma a vízdoldható hányadot reprezentálja.

#### 5.1.2. A gomba alapú szén nanorészecskék karakterizálása

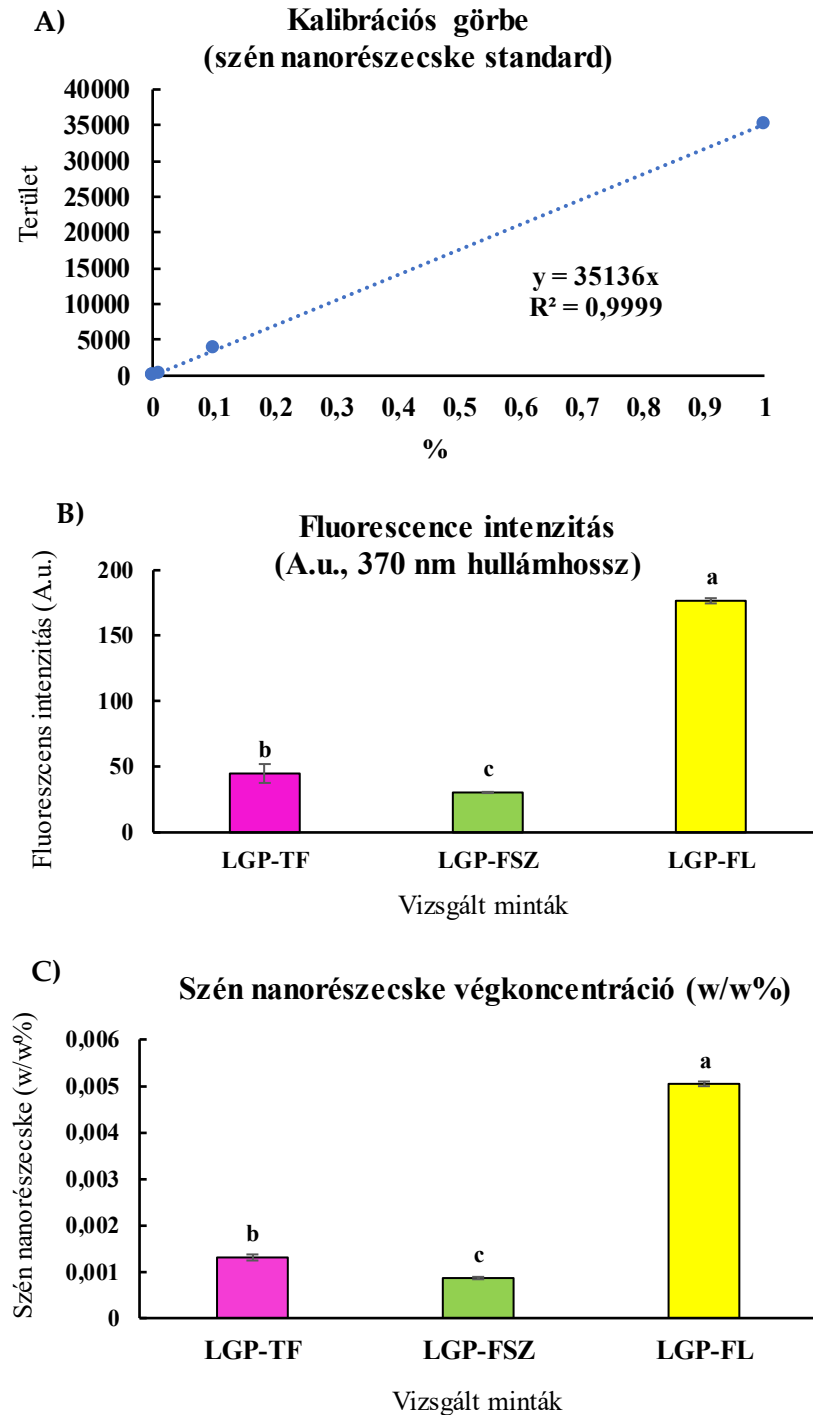
A 11. illetve a 12A, B, és C ábrákon a HPLC analízis eredményei figyelhetők meg. A szignifikáns különbségeket ( $p < 0,05$ ) különböző betűk (a, b és c) jelölik. Az ANOVA teszt eredményei alapján a szén nanorészecskék molekulatömege (g/mol) a különböző minták között hasonló értékeket mutatott (11. ábra). A legnagyobb molekulatömeget az LGP-FL minta érte el, ezt követte az LGP-TF ( $377,702 \pm 29,144$  g/mol), míg a legalacsonyabb értéket az LGP-FSZ mutatta ( $373,862 \pm 5,608$  g/mol).

Jelentős különbségeket tapasztaltunk a fluoreszcens intenzitás (A.u.) tekintetében (12B ábra). Valamennyi minta szignifikáns mértékben különbözött egymástól. A legalacsonyabb fluoreszcens intenzitást az LGP-FSZ mutatta ( $30,48 \pm 0,46$  A.u.), ezt követte az LGP-TF ( $44,96 \pm 7,20$  A.u.), míg a legmagasabb értéket az LGP-FL érte el ( $176,72 \pm 2,00$  A.u.). A magas fluoreszcens intenzitás különösen jól látható a 11B ábrán (UV-lámpa alatt).

A szén nanorészecskék koncentrációja és a fluoreszcens intenzitás között is szignifikáns különbségeket tapasztaltunk ( $p < 0,05$ ). Az LGP-FSZ minta mutatta a legkisebb szén nanorészecske-tartalmat ( $8,6 \pm 0,3$  mg/kg), ezt követte az LGP-TF ( $13,1 \pm 0,7$  mg/kg), míg a legmagasabb koncentrációt az LGP-FL mutatta ( $50,4 \pm 0,5$  mg/kg), ahogyan azt a 12C ábra jól mutatja.



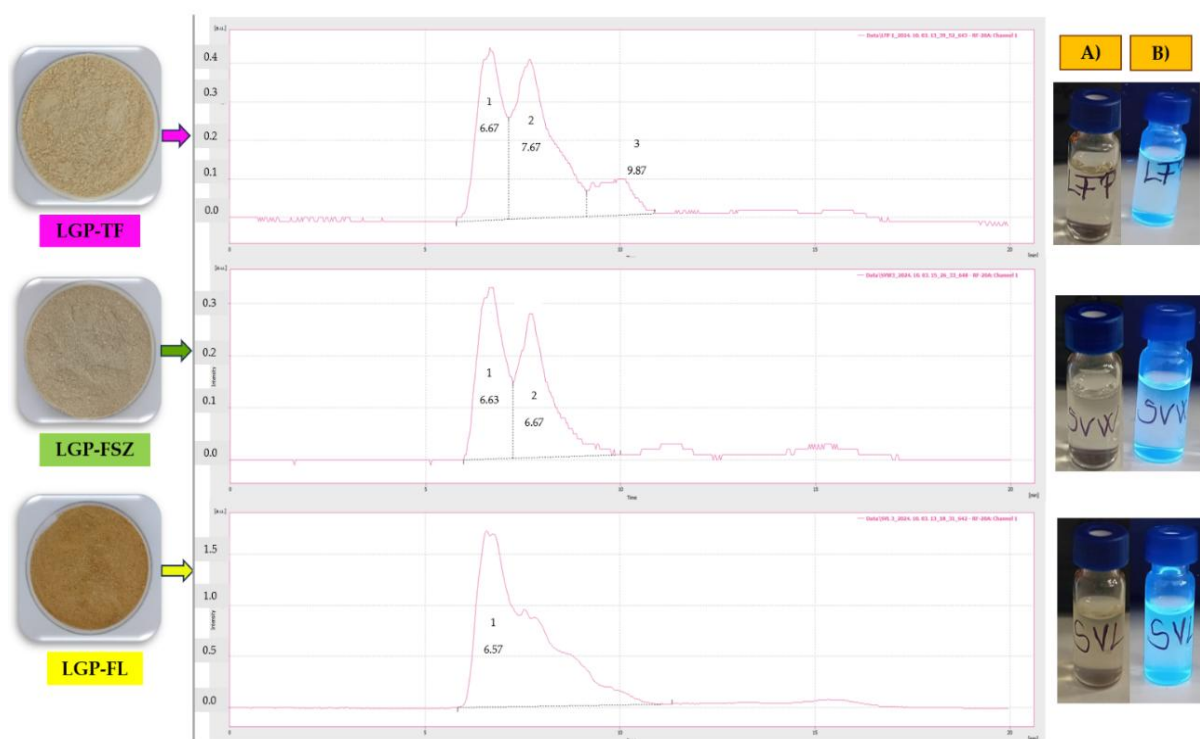
**11. ábra: Szén nanorészecskékhez tartozó vizsgálati eredmények: A laskagombaporok molekulatömegének (g/mol) összehasonlítása.** A minták szignifikáns mértékben nem különböztek ( $p < 0,05$ ), ezért azonos „a” betűvel jelöltük. (Rövidítések: LGP-TF, Laskagombapor a Teljes Friss Mintából; LGP-FSZ, Laskagombapor a Főtt Szilárd frakcióból; LGP-FL, Laskagombapor a Főtt Lé frakcióból)



**12. ábra: Szén nanorészecskékhez tartozó vizsgálati eredmények:** A) Kalibrációs görbe a gombákban megtalálható szén nanorészecskék mennyiségének a meghatározásához, B) fluoreszcencia intenzitása (A.u.) 370 nm-es hullámhosszon, C) Szén nanorészecske koncentráció (w/w%) (átlag  $\pm$  SD). A szignifikáns különbségeket ( $p < 0,05$ ) eltérő betűkkel jelöltük, ahol  $c < b < a$ ). (Rövidítések: LGP-TF, Laskagombapor a Teljes Friss Mintából; LGP-FSZ, Laskagombapor a Főtt Szilárd frakcióból; LGP-FL, Laskagombapor a Főtt Lé frakcióból).

Korábban több élelmiszerből és élelmiszeripari melléktermékből állítottak már elő szén nanorészecskéket (HUANG és mtsai, 2019; PARK és mtsai, 2014). Például egyes kutatók hidotermális kezeléssel állítottak elő szén nanorészecskéket gombából (VENKATESWARLU és mtsai., 2018). Azonban nincs bizonyíték arra, hogy szén nanorészecskéket kémiai eljárásokkal, például fagyasztva szárítással vagy alacsonyabb hőmérsékletű főzéssel (100 °C alatt) szintetizáltak volna. A technológiánk egyik újdonsága a hosszabb főzési folyamat alkalmazása. Hiszen a szén nanorészecskék vízdoldhatók, ennél fogva a szűrletből készített minta volt a legérdekesebb a számunkra, viszont valamennyi rendelkezésünkre álló mintát vizsgáltuk.

Az eredmények a 13. ábrán (HPLC kromatogrammok) is megfigyelhetők, ahol a HPLC méretkizárásos kromatogrammon a különböző LGP-minták vizsgálati adatai szerepelnek. Az A) rész a hígított és szűrt minták látható fény alatti képét, míg a B) rész az UV-lámpa hatása alatt készült fluoreszcens felvételeket mutatja.



**13. ábra. A HPLC méretkizárásos kromatogrammon a különböző LGP-mintákhoz tartozó eredmények figyelhetők meg.** (Rövidítések: LGP-TF, Laskagombapor a Teljes Friss Mintából; LGP-FSZ, Laskagombapor a Főtt Szilárd frakcióból; LGP-FL, Laskagombapor a Főtt Lé frakcióból)

A fluoreszcencia intenzitása és a szén nanorészecske mennyisége jelentős eltéréseket mutatott a vizsgált minták között. A fluoreszcencia ( $176,72 \pm 2,00$  A.u.) és a végkoncentráció (50 mg 1 kg gombaporban) a LGP-FL minta esetében volt a legmagasabb. Tehát eredményeink alátámasztják az LGP-FL potenciálját, mint nagy fluoreszcenciájú szén nanorészecske forrás.

Az LGP-FSZ esetében ( $30,48 \pm 0,46$  A.u., 0,86 mg szén nanorészecske 1 kg gombaporban) a szén nanorészecskék igen alacsony a folyadék elválasztást követően. Az LGP-TF ( $44,96 \pm 7,20$  A.u., 1,31 mg szén nanorészecske 1 kg gombaporban) adatai azt mutatták, hogy a fagyasztva szárítás támogatja a szén nanorészecskék képződését, viszont a végső koncentráció nagyon alacsony. Bár a főtt *P. ostreatus* gomba folyadékának kivonása értékes eszköznek bizonyult a szén nanorészecskék előállítására, viszont további vizsgálatok szükségesek más gombafajokkal, különböző termés hullámokból és eltérő szubsztrátumokon termesztett (élelmiszeripari, agráripari melléktermékek) mintákból.

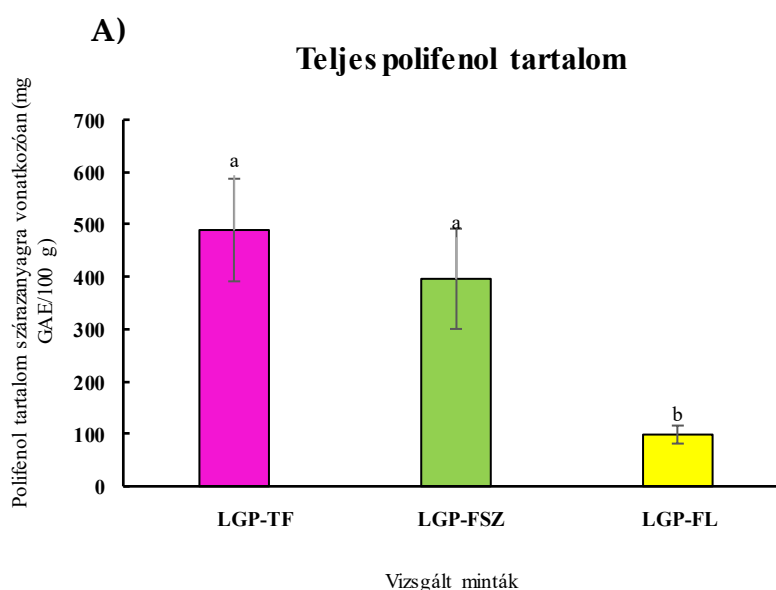
A molekulák méreteloszlásának, biztonságosságának és stabilitásának további vizsgálata mellett célszerű lenne konkrét számításokat is végezni a hosszú idejű hőkezelés és liofilizálás energia- és időigényére vonatkozóan, annak érdekében, hogy értékelni lehessen a folyamat gazdasági és ipari életképességét.

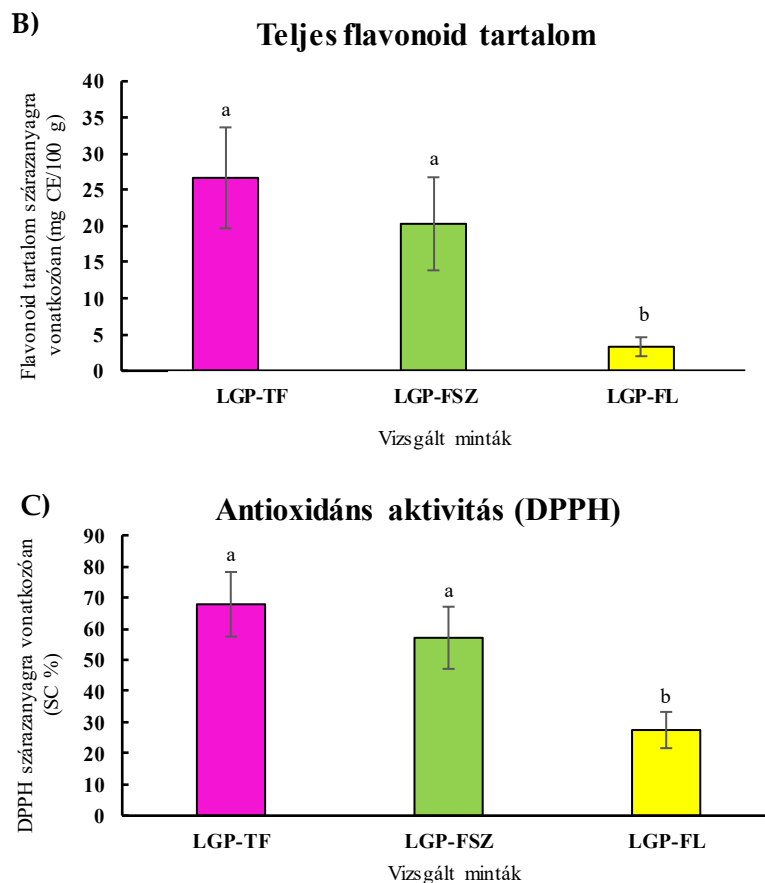
A szén nanorészecskék molekulatömege nem különbözött jelentősen a minták esetében, hiszen ugyanazon prekursorzt használtuk. Ezek szerint a molekulatömeg közel azonos maradhat a különböző technológiával előállított minták esetében. Ezt az elképzelést friss kutatások eredményei szintén alátámasztják (BANGER és mtsai, 2023; ZONG és mtsai, 2024).

## 5.2. Antioxidáns vegyületek (TPC és TFC), valamint antioxidáns aktivitás (1,1-difenil-2-pikrilhidrazil-DPPH) vizsgálat eredményei

A Kruskal-Wallis tesztet alkalmaztuk a különböző *P. ostreatus* gombaporok (LGP-TF, LGP-FSZ, LGP-FL) teljes polifenol (TPC), flavonoid (TFC) és az antioxidáns aktivitás (DPPH) paramétereinek a statisztikai vizsgálatára (Lsd.: 14A,B és C ábra). Az eredmények térfogat százalékban vannak kifejezve ( $n = 6$  minta). Az értékek átlag  $\pm$  SD formájában kerülnek bemutatásra. A szignifikáns különbségeket különböző betűkkel jelöltük (a, b). Az eredmények szerint jelentős különbségek mutatkoztak ( $p < 0,05$ ), ahol az LGP-FL csoport szignifikánsan eltért mind az LGP-FSZ, mind az LGP-TF csoportoktól. Az antioxidáns aktivitás (DPPH, SC%) tekintetében az LGP-FL ( $27,48 \pm 5,82$  SC%) szignifikánsan alacsonyabb aktivitást mutatott, mint az LGP-TF ( $67,85 \pm 10,36$  SC%) és az LGP-FSZ ( $57,09 \pm 9,98$  SC%).

Hasonló trend figyelhető meg a teljes polifenol-tartalom (TPC) tekintetében is. Az LGP-FL ( $98,86 \pm 17,23$  mg GAE/100 g) szignifikánsan alacsonyabb polifenol-tartalommal rendelkezett, mint az LGP-TF ( $489,42 \pm 97,95$  mg GAE/100 g) és az LGP-FSZ ( $396,23 \pm 95,68$  mg GAE/100 g). A flavonoid-tartalom (TFC) eredményei szintén jelentős különbségeket mutattak. Az LGP-FL ( $3,32 \pm 1,31$  mg CE/100 g) szignifikánsan alacsonyabb flavonoid tartalommal bírt, mint az LGP-TF ( $26,66 \pm 6,97$  mg CE/100 g) és az LGP-FSZ ( $20,31 \pm 6,43$  mg CE/100 g).





14. ábra: A) Teljes polifenol, B) flavonoid tartalom és C) antioxidáns aktivitás (DPPH). A szignifikáns különbségeket ( $p < 0,05$ ) eltérő betűkkel jelöltük, ahol  $b < a$ .

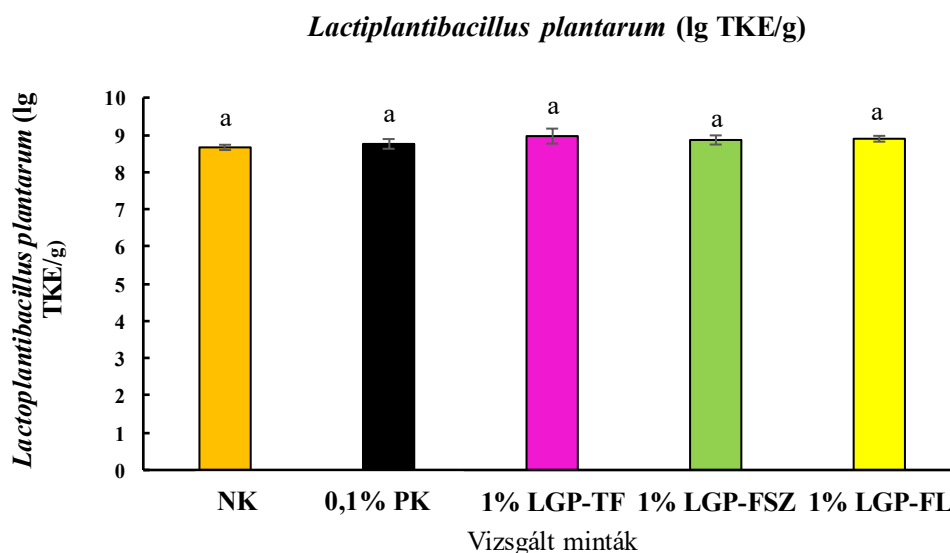
(Rövidítések: LGP-TF, Laskagombapor a Teljes Friss Mintából; LGP-FSZ, Laskagombapor a Főtt Szilárd frakcióból; LGP-FL, Laskagombapor a Főtt Lé frakcióból)

A kapott eredmények arra utalnak, hogy az eltérő (főtt) frakciók között lényeges különbségek mutatkoznak az antioxidáns profilban. A teljes friss mintából készült por (LGP-TF) rendelkezett a legmagasabb antioxidáns kapacitással, ami feltehetően a bioaktív vegyületek hő- és vízzoldhatósággal szembeni stabilitásának, valamint a minimális feldolgozási hatásoknak köszönhető. Ezzel szemben a főtt gombalé frakcióból (LGP-FL) készült por mutatta a legalacsonyabb értékeket, mely arra utal, hogy a főzési folyamat és az azt követő kezelések során jelentős mennyiségű antioxidáns vegyület bomolhatott le vagy veszíthetett aktivitásából.

### 5.3. A laskagombaporok tesztelése tejsavbaktériumokon

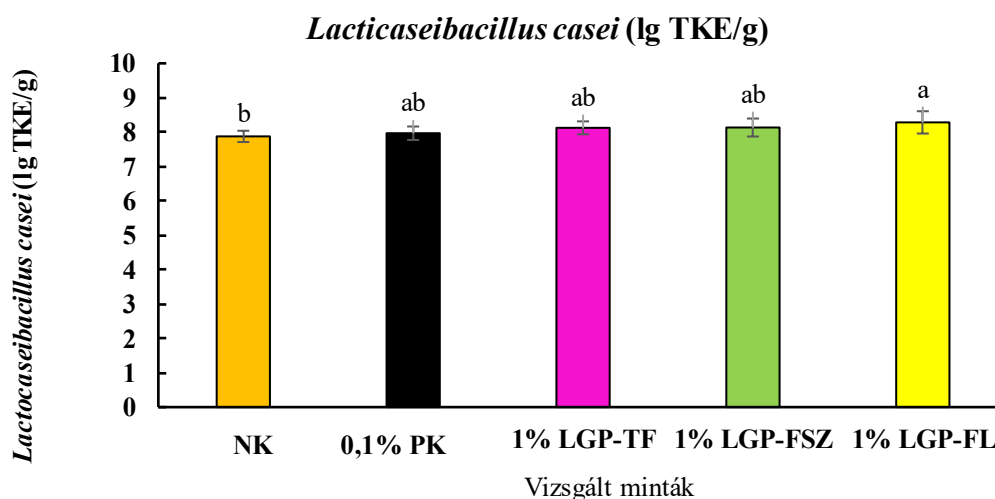
Az alábbi oszlopdiagram (15. és 16. ábra) szemlélteti a vizsgált probiotikumok (*L. plantarum*, 15. ábra és *L. casei* – 16. ábra) átlagos növekedésének a mértékét a különböző kezeléseket követően (lg TKE/g-ban kifejezve). Az eredmények alapján megállapítható, hogy az 1% LGP-FL kezelés elősegítette a *L. casei* növekedését. Az eredmények lg átlag  $\pm$  SD TKE/g-ban kerültek bemutatásra ( $n = 6$ ). A szignifikáns különbségek ( $p < 0,05$ ) különböző betűkkel (a, b) vannak jelölve.

Az ANOVA-teszt eredményei alapján nem figyeltünk meg szignifikáns különbségeket ( $p < 0,05$ ) a különböző kezeléseket között. A negatív kontroll (NK) a *L. plantarum* baktérium növekedésének átlagos értéke volt a legalacsonyabb ( $8,66 \pm 0,07$  lg TKE/g), melyet a 0,1%-os  $\beta$ -glükán (0,1% PK) követett  $8,76 \pm 0,13$  lg TKE/g értékkel. A főtt minták közül az 1% LGP-FSZ  $8,86 \pm 0,12$  lg TKE/g-os értéket mutatott, amely alacsonyabb volt, mint amit az 1% LGP-FL esetében mértünk ( $8,90 \pm 0,08$  lg TKE/g). Az 1% LGP-TF fejtette ki a legmagasabb szintű növekedés serkentő hatást a *L. plantarum* ( $8,97 \pm 0,20$  lg TKE/g) esetében, viszont a különböző kezeléseket között nem volt szignifikáns különbség ( $p > 0,05$ ) megfigyelhető.



**15. ábra. *L. plantarum* baktérium növekedésére kifejtett hatásának a tesztelése.** A minták szignifikáns mértékben nem különböztek ( $p < 0,05$ ), ezért azonos „a” betűvel jelöltük őket. (Rövidítések: NK: tápanyagkiegészítés nélkül; 0,1% PK  $\rightarrow$  0,1% (w/v)  $\beta$ -glükánt tartalmazó pozitív kontroll; 1 % LGP-TF  $\rightarrow$  1% (w/v) laskagombapor a teljes friss mintából; 1% LGP-FSZ  $\rightarrow$  1% (w/v) laskagombapor a főtt szilárd frakcióból; 1% LGP-FL  $\rightarrow$  1% (w/v) laskagombapor a főtt lé frakcióból).

A kontrollhoz viszonyítva a legalacsonyabb átlagos növekedést az *L. casei* esetében figyeltük meg, mégpedig a negatív kontroll esetében (NK) ( $7,88 \pm 0,16$  lg TKE/g). A legmagasabb átlagos növekedést az 1% LGP-FL kezelés eredményezte ( $8,23 \pm 0,32$  lg TKE/g), mely szignifikáns mértékben magasabb volt, mint a negatív kontroll ( $p < 0,05$ ). Ezt követte az 1% LGP-FSZ ( $8,13 \pm 0,26$  lg CFU/g) és az 1% LGP-TF ( $8,12 \pm 0,19$  lg TKE/g). A 0,1%-os  $\beta$ -glükán (pozitív kontroll, 0,1% PK) hozzáadásával az átlagérték, pedig enyhén magasabbak voltak ( $7,97 \pm 0,20$  lg TKE/g).



**16. ábra. *L. casei* baktérium növekedésére kifejtett hatásának a tesztelése.** A szignifikáns különbségeket ( $p < 0,05$ ) eltérő betűkkel jelöltük, ahol  $b < a$ . Az azonos betűvel jelölt csoportok (ab) között nincs szignifikáns különbség. (Rövidítések: NK: tápanyagkiegészítés nélkül; 0,1% PK  $\rightarrow$  0,1% (w/v)  $\beta$ -glükánt tartalmazó pozitív kontroll; 1 % LGP-TF  $\rightarrow$  1% (w/v) laskagombapor a teljes friss mintából; 1% LGP-FSZ  $\rightarrow$  1% (w/v) laskagombapor a főtt szilárd frakcióból; 1% LGP-FL  $\rightarrow$  1% (w/v) laskagombapor a főtt lé frakcióból).

A probiotikus baktériumok növekedésére kifejtett hatás vizsgálatának eredményei azt mutatják, hogy a különböző kiegészítők (LGP-TF, LGP-FSZ, LGP-FL) nem befolyásolták szignifikánsan az *L. plantarum* szaporodását a szilárd MRS-táptalajon. Bár az *L. casei* növekedésében látható különbségek voltak az LGP-FL és az NK-kezelések között az LGP-FL javára, a statisztikai elemzés más esetekben nem mutatott szignifikáns eltéréseket. Mindeközben az 1% LGP-FL, amely a legalacsonyabb bioaktív vegyülettartalommal rendelkezett, szignifikánsan elősegítette az *L. casei* növekedését.

Az LGP-FL jótékony hatással volt az *L. casei* növekedésére, mely annak tulajdonítható, hogy a vízdoldható vegyületek és a szén nanorészecskék könnyebben hozzáférhető energiaforrást biztosíthatnak a tejsavbaktériumok számára. Ezenfelül elmondható, hogy az eltérő előkészítési módok és frakciók különböző mértékben befolyásolják a probiotikus baktériumok életképességét és szaporodási dinamikáját.

Figyelemre méltó, hogy az LGP-FL, annak ellenére, hogy a mérések szerint a legalacsonyabb  $\beta$ -glükán- és polifenoltartalommal rendelkezett, alkalmas volt az *L. casei* növekedésének a serkentésére. Ez arra utal, hogy a prebiotikus hatás nem kizárólag a  $\beta$ -glükánok koncentrációjától függ, hanem a molekuláris szerkezet, az oldhatóság, valamint a kísérő vegyületek (pl. mannit, trehalóz, vízdoldható antioxidánsok) is kulcsszerepet játszhatnak.

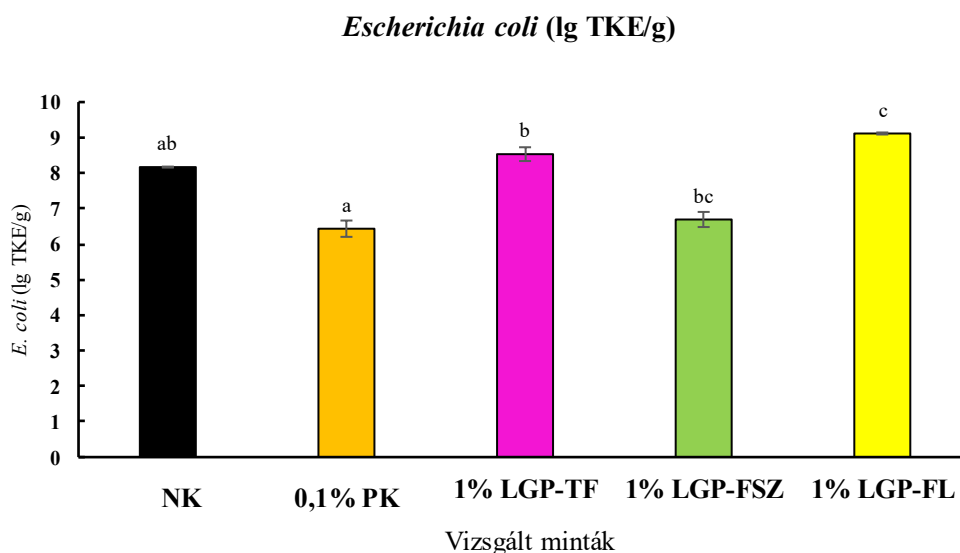
#### 5.4. Kórokozó mikroorganizmusokkal szemben kifejtett gátló hatás

A laskagombaporok in vitro antimikrobiális aktivitását biológiai potenciáljuk markereként értékeltük, mely átfogó képet nyújtott a termékek terápiás hatásáról in-vivo vizsgálata előtt. A nem-parametrikus Kruskal–Wallis-teszt szignifikáns különbségeket mutatott ki ( $p < 0,05$ ) az öt csoport között az *S. epidermidis* és *E. coli* baktériumokat vizsgálva. Az alábbi oszlopdiagramok szemléltetik a vizsgált baktériumok (*E. coli* (17. ábra) és *S. epidermidis* (18. ábra) átlagos növekedését (különböző kezelések mellett). Az ábrákon az eredmények lg átlag  $\pm$  SD TKE/g-ben kerültek bemutatásra ( $n = 6$ ). A szignifikáns különbségek ( $p < 0,05$ ) különböző betűkkel (a, b) vannak jelölve.

Ahogy a 17. ábra mutatja a negatív kontrollcsoport (NK) viszonyítva egyik csoport (NK) tartozó eredmény sem mutatott szignifikáns különbséget *E. coli* csíraszám tekintetében, beleértve a pozitív kontrollként alkalmazott 0,1% PK csoportot is ( $6,43 \pm 0,23$  log TKE/g,  $p > 0,05$ ).

Ugyanakkor a 0,1% PK minta szignifikánsan alacsonyabb *E. coli* csíraszámot eredményezett az 1% laskagombapor csoportokhoz viszonyítva: LGP-FL ( $9,12 \pm 0,03$  log TKE/g,  $p < 0,001$ ), LGP-TF ( $8,53 \pm 0,19$  log TKE/g,  $p < 0,01$ ), valamint LGP-FSZ ( $6,69 \pm 0,21$  log TKE/g,  $p < 0,05$ ). Ezek alapján a pozitív kontroll jelentősebb antibakteriális hatást mutatott, mint a laskagombapor alapú kezelések.

Bár a statisztikai elemzés nem támasztotta alá a 0,1% PK szignifikáns hatékonyságát, mégis ez a csoport produkálta a legalacsonyabb baktériumszámot, mely biológiai szempontból említésre méltó. További vizsgálatok során érdemes lenne a kiugró értékeket külön elemezni vagy robusztusabb statisztikai módszereket alkalmazni

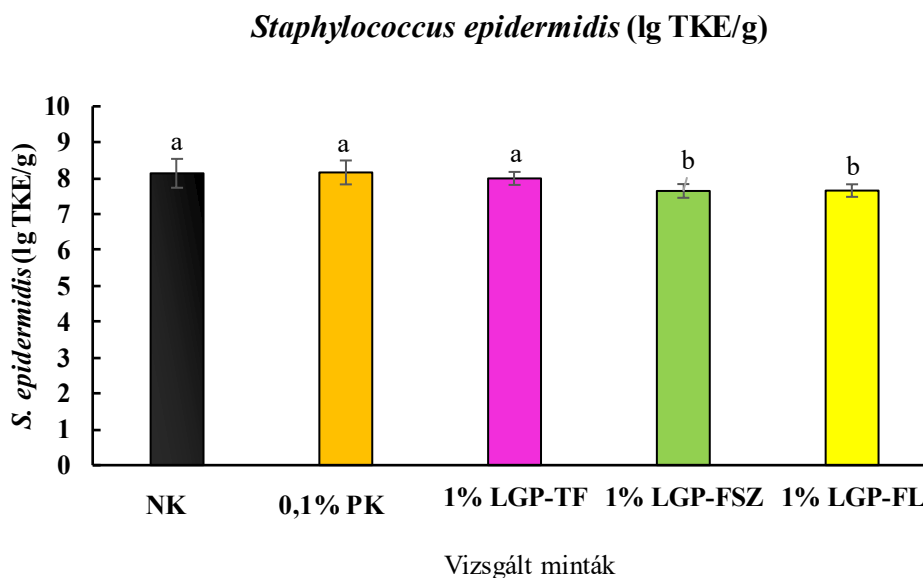


17. ábra: *E. coli* baktérium növekedésére kifejtett hatás tesztelése.

(Rövidítések: NK: tápanyagkiegészítés nélkül; 0,1% PK → 0,1% (w/v)  $\beta$ -glükánt tartalmazó pozitív kontroll; 1 % LGP-TF → 1% (w/v) laskagombapor a teljes friss mintából; 1% LGP-FSZ → 1% (w/v) laskagombapor a főtt szilárd frakcióból; 1% LGP-FL → 1% (w/v) laskagombapor a főtt lé frakcióból).

A 18. ábra szemlélteti, hogy a negatív kontrollhoz viszonyítva szignifikánsan alacsonyabb *S. epidermidis* baktériumszámot kaptunk az 1% LGP-FSZ ( $7,64 \pm 0,19$  log TKE/g) és az 1% LGP-FL ( $7,65 \pm 0,18$  log TKE/g) ( $p < 0,05$ ) vizsgálati modell esetében. Ezek a kezelések szignifikánsan hatékonyabbnak bizonyultak, mint az 1% LGP-TF ( $7,99 \pm 0,18$  log TKE/g), a negatív kontroll ( $8,13 \pm 0,40$  log TKE/g), valamint a pozitív kontroll (0,1% PK:  $8,16 \pm 0,33$  log TKE/g).

A főtt minták esetében az LGP-FSZ, majd az LGP-FL minta mutatta a legnagyobb gátló hatást. Azonban e két csoport között nem volt statisztikailag szignifikáns különbség ( $p > 0,05$ ).



**18. ábra. *S. epidermidis* növekedésére kifejtett hatás tesztelése.** A szignifikáns különbségeket ( $p < 0,05$ ) eltérő betűkkel jelöltük, ahol  $b < a$ . (Rövidítések: NK: tápanyagkiegészítés nélkül; 0,1% PK → 0,1% (w/v)  $\beta$ -glükánt tartalmazó pozitív kontroll; 1 % LGP-TF → 1% (w/v) laskagombapor a teljes friss mintából; 1% LGP-FSZ → 1% (w/v) laskagombapor a főtt szilárd frakcióból; 1% LGP-FL → 1% (w/v) laskagombapor a főtt lé frakcióból).

KEREZOUDI és mtsai. (2021), valamint ALVES és mtsai. (2012) arról számoltak be, hogy a *P. ostreatus* több Gram-pozitív baktérium növekedését képes gátolni a sejtfalak lebontása által. Ezen felül ZHAO és mtsai. (2022) bebizonyították, hogy a szén nanorészecskék kiváló alternatívát jelenthetnek az antibiotikumok helyett, hiszen széles spektrumú aktivitást mutatnak a bakteriális sejtekkel szemben.

Ugyanakkor a jelen kutatások nem találtak bizonyítékot arra, hogy a szén nanorészecskék lennének felelősek a laskagomba származékok antibakteriális hatásáért. Eredményeink azt sugallják, hogy az előfőzött LGP-FSZ és LGP-FL minták hasonló potenciállal rendelkeznek a Gram-pozitív baktériumok, különösen a *S. epidermidis* növekedésének gátlásában.

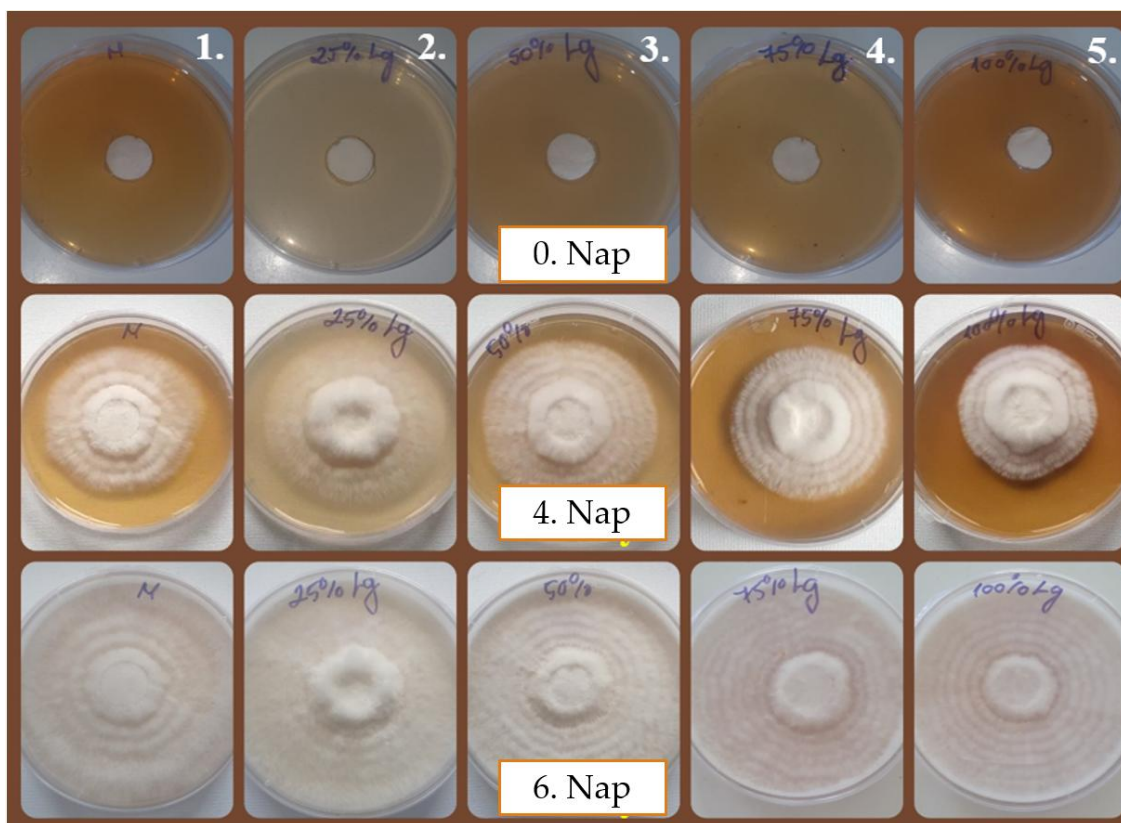
Annak ellenére, hogy az LGP-FL jelentősen alacsonyabb  $\beta$ -glükán, polifenol- és flavonoidtartalommal bír, valamint gyengébb antioxidáns aktivitást mutat, mint az LGP-TF és LGP-FSZ, az LGP-FL, ezen minta tartalmazta a legmagasabb szén nanorészecske mennyiséget.

Összességében a főtt minták (LGP-FL és LGP-FSZ) hatékonynak bizonyultak az *S. epidermidis* ellen. Ezen fokozott aktivitás annak tulajdonítható, hogy a hőkezelés feltárja a gombasejtfalakat, ezáltal felszabadítva bioaktív vegyületeket, például fenolokat, flavonoidokat és poliszacharidokat, amelyek jól ismertek antimikrobiális tulajdonságaikról (AHMED és mtsai, 2024).

A laskagombaporok és a pozitív kontroll (0,1% PK) esetében nem volt szignifikáns gátló hatás megfigyelhető *E. coli* baktériumokkal szemben a negatív kontrollhoz (NK) viszonyítva. Ez arra utal, hogy a laskagombaporok hatékonysága korlátozott a Gram-negatív baktériumokkal szemben, mely valószínűleg az LPS (lipopoliszacharid) jelenlétének köszönhető (LIU és mtsai, 2024), mely korlátozza a laskagombaporok áthatolását és hatását. A Gram-negatív baktériumok elleni hatékonyság javítása érdekében érdemes lenne magasabb koncentrációkat (1,5–3%) és előkezelési technológiákat tesztelni a jövőbeni kísérletekben.

#### 5.5. A *P. ostreatus* micélium $\beta$ -glükán tartalmának sikeres optimalizálása

A 19. ábrán láthatóak a különböző táptalajokon termelt micéliumok (0., 4. és 6. nap). Szemrevételezés alapján az LGA-25 táptalajon termelt micélium hasonló sűrűséget mutatott, mint a MEA táptalajon megfigyelt micélium. Az LGA-25 táptalajon termelt micélium sűrűsége magas volt (4+), míg az LGA-50, LGA-75 és LGA-100 táptalajon termelt micélium sűrűsége ennél is magasabb (5+). Ezen eredmények arra utalnak, hogy a vizsgált gombalé alapú táptalajok valamennyi vizsgált koncentrációban alkalmasak sűrűség szempontjából *P. ostreatus* micélium tenyésztésére a MEA táptalajhoz viszonyítva. Továbbá elmondható, hogy a gombalé koncentrációjának emelése sűrűbb micéliumot eredményezett.



19. ábra: *P. ostreatus* micéliumok teljes átszövődést követően (0, 4 és 6 nap után)

(1. oszlop: MEA; 2. oszlop: LGA-25; 3. oszlop: LGA-50; 4. oszlop: LGA-75; 5. (2. oszlop: LGA-100). Rövidítések: MEA: Maláta extraktum agar; LGA:

Laskagomba agar; 25, 50, 75, 100: gombalé mennyisége %-ban (forrás: saját szerkesztés)

A 12. táblázatban látható eredmények szerint a hatodik napon a *P. ostreatus* micélium növekedése minden táptalajtípusban konzisztens volt, mintegy 15-ös növekedési rátát mutatva, tehát nem találtunk különbséget a vizsgált tápközegek között.

**12. táblázat: A napi növekedés üteme (mm-ben kifejezve) és a növekedési ráta bemutatása**

| Megfigyelés napja | MEA        | LGA-25     | LGA-50     | LGA-75     | LGA-100    |
|-------------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| 2                 | 37,57±0,06 | 42,32±0,04 | 43,97±0,03 | 47,66±0,02 | 45,33±0,03 |
| 3                 | 50,63±0,06 | 57,30±0,61 | 58,63±0,84 | 60,57±0,72 | 60,70±0,70 |
| 4                 | 72,68±0,33 | 76,07±0,15 | 74,13±0,28 | 73,43±0,47 | 87,40±0,20 |
| 5                 | 87,60±0,10 | 82,67±0,67 | 90,56±0,26 | 77,40±0,92 | 90,53±0,70 |
| 6                 | 100±0,0    | 100±0,0    | 100±0,0    | 100±0,0    | 100±0,0    |
| Növekedési ráta   | 15         | 15         | 15         | 15         | 15         |

A szignifikáns különbséget nem tapasztaltunk ( $p > 0,05$ ). (Rövidítések: MEA: maláta alapú táptalaj, LGA-25: 25% laskagombalé alapú táptalaj, LG-50: 50% laskagombalé alapú táptalaj, , LGA-75: 75% laskagombalé alapú táptalaj, LGA-100: 100% laskagombalé alapú táptalaj).

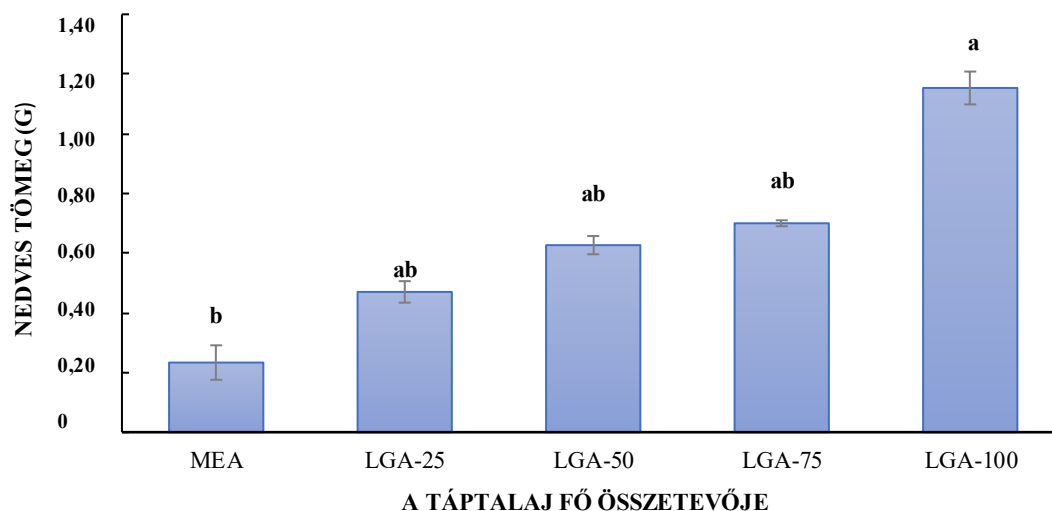
A különböző agartípusok között, köztük a MEA, az LGA-25, az LGA-50, az LGA-75 és az LGA-100 esetében, viszont jelentős különbségeket figyeltünk meg mind a biomassza-termelésben, mind a  $\beta$ -glükán tartalom tekintetében (Lsd.: 13. táblázat, illetve a 14. és 15. ábra).

13. táblázat: A termelt biomassza, nedvesség, illetve  $\beta$ -glükán tartalma

| Vizsgálati paraméterek   | MEA                | LGA-25            | LGA-50            | LGA-75             | LGA-100            |
|--------------------------|--------------------|-------------------|-------------------|--------------------|--------------------|
| Termelt biomassza        | 0,23 $\pm$ 0,14b   | 0,47 $\pm$ 0,48ab | 0,63 $\pm$ 0,66ab | 0,70 $\pm$ 0,70ab  | 1,15 $\pm$ 1,15a   |
| Nedvesség-tartalom       | 78,29 $\pm$ 1,49a  | 83,44 $\pm$ 1,46a | 84,12 $\pm$ 1,45a | 73,18 $\pm$ 1,98a  | 77,66 $\pm$ 1,28a  |
| $\beta$ -glükán tartalom | 11,04 $\pm$ 0,06ab | 8,15 $\pm$ 0,04b  | 11,78 $\pm$ 0,03a | 11,08 $\pm$ 0,01ab | 11,07 $\pm$ 0,06ab |

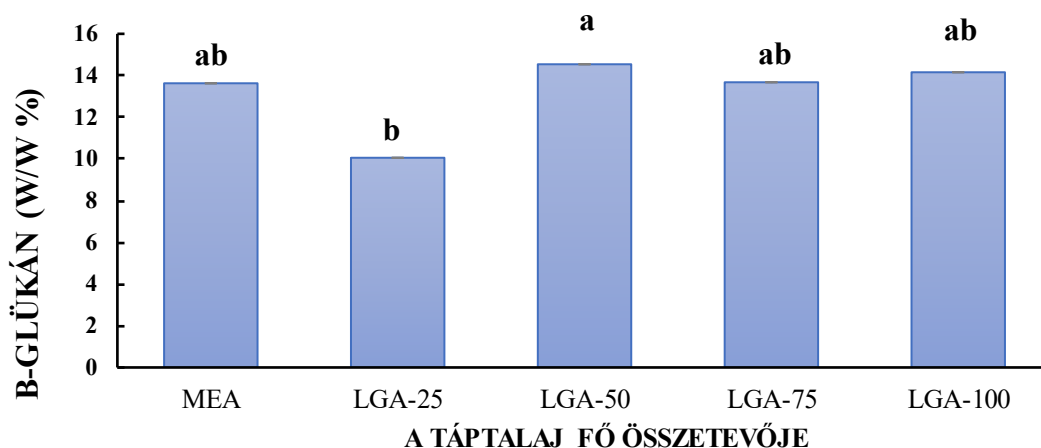
A szignifikáns különbségeket ( $p < 0,05$ ) eltérő betűkkel jelöltük, ahol  $b < a$ . Az azonos betűvel jelölt csoportok (ab) között nincs szignifikáns különbség. (Rövidítések: MEA: maláta alapú táptalaj, LGA-25: 25% laskagombalé alapú táptalaj, LG-50: 50% laskagombalé alapú táptalaj, , LGA-75: 75% laskagombalé alapú táptalaj, LGA-100: 100% laskagombalé alapú táptalaj).

A micélium biomassza 0,23 $\pm$ 0,14 g MEA és 1,15 $\pm$ 1,15 g LGA-100 között alakult, ami egyértelmű tendenciát mutat a biomassza növekedésére (LGA-100 agar), ahogyan az a 20. ábrán is jól látható.



20. ábra: A termelt biomassza mennyisége (g-ban kifejezve). A szignifikáns különbségeket ( $p < 0,05$ ) eltérő betűkkel jelöltük, ahol  $b < a$ . Az azonos betűvel jelölt csoportok (ab) között nincs szignifikáns különbség. (Rövidítések: MEA: maláta alapú táptalaj, LGA-25: 25% laskagombalé alapú táptalaj, LG-50: 50% laskagombalé alapú táptalaj, , LGA-75: 75% laskagombalé alapú táptalaj, LGA-100: 100% laskagombalé alapú táptalaj).

Hasonlóan változott a  $\beta$ -glükán tartalom (w/w%) is, mely a LGM-50 táptalajon ( $11,78 \pm 0,03$  w/w%) volt a legmagasabb, a LGM-25 táptalajon, pedig a legalacsonyabb ( $8,15 \pm 0,04$  w/w%), ahogyan az a 21. ábrán megfigyelhető.



21. ábra: A  $\beta$ -glükán tartalom térfogatszázalékban kifejezve.

A szignifikáns különbségeket ( $p < 0,05$ ) eltérő betűkkel jelöltük, ahol  $b < a$ . Az azonos betűvel jelölt csoportok (ab) között nincs szignifikáns különbség. (Rövidítések: MEA: maláta alapú táptalaj, LGA-25: 25% laskagombalé alapú táptalaj, LG-50: 50% laskagombalé alapú táptalaj, , LGA-75: 75% laskagombalé alapú táptalaj, LGA-100: 100% laskagombalé alapú táptalaj).

A mikroszkópos képen (22. ábra) a micélium finoman szőtt, sűrű hálózatként jelenik meg, amelyben a hifák vékony, áttetsző szálakként futnak és keresztezik egymást. Az elágazások sűrűsége dinamikus, egyes területeken lazábban, máshol szorosabban fonódnak össze. Az egyes hifákon láthatók a keresztirányú szeptumok és esetleges anasztomózisok (összekapcsolódások), amelyek hozzájárulhatnak a tápanyagok elosztásához.



22. ábra: A *P. ostreatus* micélium hálózat mikroszkópos felvétele (forrás: saját felvétel)

További vizsgálatokban tanulmányoztuk a *P. ostreatus* micélium kihozatalát és béta-glükán tartalmát egyedi táptalajon (saját laskagombalé). Érdekes módon a *P. ostreatus* micélium biotomassza nedvességtartalma az LGM-50 agaron volt a legmagasabb ( $84,12 \pm 1,45\%$ ), a legalacsonyabb, viszont az LGM-75 agaron ( $73,18 \pm 1,98\%$ ), ami potenciális korrelációt jelez az agar típusa és a micélium nedvességtartalma között. A *P. ostreatus* termőteste számos táplálkozási és bioaktív vegyületet tartalmaz, beleértve a  $\beta$ -glükánokat. EFFIONG és mtsai. (2024) arról számoltak be, hogy a *P. ostreatus* termőtestében a szénhidráttartalom jelentős volt ( $43,42 \pm 0,01\%$ ). Például a monoszacharidok közül a glükóz tartalmát találták a legmagasabbnak ( $55,09 \text{ g}/100 \text{ g}$ ) a *P. ostreatus*-ban, amely köztudott, hogy támogatja a gomba vegetatív fejlődését.

Ezen felül további cukrok, például fruktóz, galaktóz, eritroz, xilóz stb. is jelen vannak. Ami a *P. ostreatus* aminosavsükségletét illeti, számos olyan fontos aminosav van jelen a termőtestben, mint az alanin, aszparaginsav, szerin, aszparagin és prolin, melyek alapvetően szükségesek a gomba növekedéséhez. EL-SAYED és mtsai. (2013) beszámoltak arról, hogy a 200 ppm B-vitaminnal és aminosavval dúsított rizsszalma alapú komposzt elősegítette a laskagomba növekedését.

Esetünkben azt feltételezzük, hogy a laskagombalé (kivonat) tápközegében található vitaminok is elősegítik a micélium növekedését.

Az ehető gombák, közülük a *P. ostreatus* gomba, kiváló  $\beta$ -glükán forrásnak mondható. A  $\beta$ -glükánok megtalálhatóak a legtöbb gombák sejtfalában, immunstimuláns és immunszuppresszív aktivitásukról ismertek. A *P. ostreatus*-ban a  $\beta$ -glükánokat  $\beta$ -glükán szintázok szintetizálják, amelyek olyan sejtmembránokba ágyazott fehérjék, amelyek az UDP-glükózt lineáris  $\beta$ -1,3-glükánláncokká alakítják. Ezen láncok tovább bővülnek, hogy sejtfalat képezzenek, és egyesüljenek annak tartalmával. A véleményünk szerint a gombalé táptalajban jelenlévő sejtfalfehérjék felelősek lehetnek a  $\beta$ -glükán szintázok aktiválásáért, ami a  $\beta$ -glükánok fokozott szintéziséhez vezetnek. Ezen felül a laskagomba-kivonat tápközegében található fenolos vegyületek is elősegítik a  $\beta$ -glükán szintézisét (SCHIPMANN és mtsai., 2021; TIMM és mtsai., 2023). Úgy gondoljuk, hogy a *P. ostreatus* kivonat közegeiben jelenlévő különféle fenolos vegyületek, mint például a 4-hidroxibenzoésav, galluszsav, protokatekusav, p-hidroxibenzoésav és ferulinsav felelősek a  $\beta$ -glükán szintézisének kiváltásáért. Ezen túlmenően a szén és a nitrogén arány szintén létfontosságú szerepet játszik a  $\beta$ -glükán fokozott szintézisében (TIMM és mtsai., 2023). Mint korábban említettük, a *P. ostreatus* számos szénhidrátot tartalmaz, köztük monoszacharidokat, amelyek felelősek lehetnek a  $\beta$ -glükánok képződéséért.

Hiszen a micélium a gomba korai fejlődési stádiumát képviseli, anyagcsere-aktivitása és sejtfelszíni szerkezete jelentősen eltér a termőtestétől, ami a  $\beta$ -glükánok szintézisének és felhalmozódásának mérsékeltebb mértékét eredményezheti, összhangban korábbi megfigyelésekkel (BARROS és mtsai., 2016; MIROŃCZUK-CHODAKOWSKA – UJAWOWICZ, 2020; DREŹEK – MOŹEJKO-CIESIELSKA, 2025).

Összességében elmondható, hogy hat nap alatt valamennyi vizsgált táptalaj hasonló hatást fejtett ki a micéliumnövekedésre, konzisztens 15-ös növekedési rátát tartva a kontrollcsoporthoz viszonyítva. Az LGM-50, az LGM-75 és az LGM-100 magasabb micélium-sűrűséget mutatott, amelyet nagyon bőségesnek minősítettek (5+). Az eredmények azt sugallják, hogy a vizsgált kivonatközegek-készítmények valamennyi koncentrációban alkalmasak *P. ostreatus* micélium tenyésztésére, és a micélium sűrűsége tekintetében akár a malátakivonat alapú táptalajokat is felülmúlhatják. Az LGM-25 és LGM-50 táptalajon tenyésztett micéliumok  $\beta$ -glükán tartalmában szignifikáns különbséget találtunk ( $p < 0,05$ ), ami arra utal, hogy az LGM-25-ön termesztett micéliumok  $\beta$ -glükán tartalma szignifikánsan alacsonyabb.

Megállapítható, hogy a víz hozzáadása nélküli gombakivonat a leghatékonyabb táptalaj a micélium biomassa előállításához. Ezen felül szignifikáns különbséget találtunk a MEA-tól elkülönített biomassa és az LGM-100 agar táptalaj között.

Az eredmények alapján nyilvánvalóvá vált a számunkra, hogy a laskagomba-kivonatból származó szubsztrát hatékonyan elősegíti a micélium vegetatív növekedését. Ezen túlmenően a szubsztrát értékes erőforrásnak mondható bioaktív vegyületek szintéziséhez. A tanulmányunk rávilágított a laskagombák különféle lehetséges alkalmazási területeire. A jövőbeli kutatásoknak a különböző faktorok szélesebb spektrumát kell figyelembe venniük, beleértve a tápanyag-összetételt és a növekedési feltételeket, annak érdekében, hogy fokozzuk a micéliumok növekedését, illetve bioaktivitását. Ezen felül a különböző melléktermékekből származó gombakivonatokat értékelése szükséges, mint például a kereskedelmi szabványoknak nem megfelelő gombák. Ezen felül további fajok micéliumának vizsgálata mind kivonatában, mind a különböző gombákból előállított kivonatokban elengedhetetlen. A jövőben olyan innovatív gombamicélium táptalajokat szükséges kifejleszteni, amelyek a hagyományos táptalajokon való növekedés és kolonizáció szempontjából kihívást jelentenek. Összességében elmondható, hogy az előállított micéliumban jelenlévő bioaktív vegyületek kiváló alapot jelentenek élelmiszer- és takarmány-kiegészítő termékek fejlesztéséhez.

## 5.6. Állatkísérleti eredmények

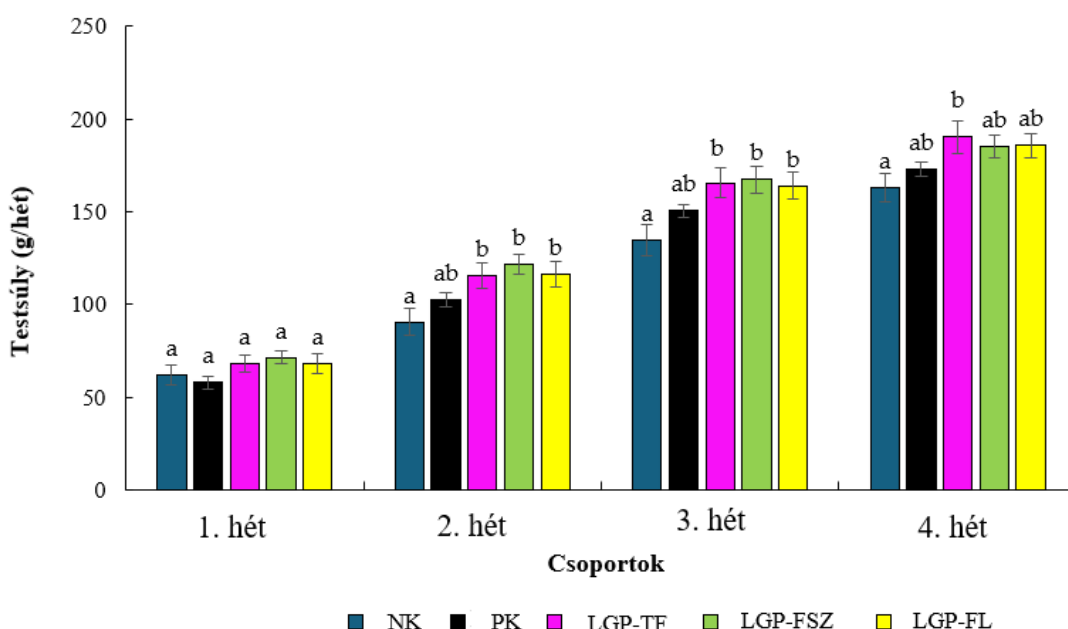
### 5.6.1. Testsúly, testsúlygyarapodás és heti testsúlygyarapodás eredményei

A 0. napos japán fürjfiókák átlagos testsúlya  $8,73 \pm 0,07$  g volt (tartomány: 7,2–9,8 g), mely összhangban van a fajra vonatkozó szakirodalmi adatokkal (ABOU-KASSEM és mtsai., 2024). A vizsgálatok során nem figyeltünk meg szignifikáns különbséget a testtömeg-adatokban ( $p > 0,05$ ).

A 23. ábra a *P. ostreatus* gombapor kiegészítés hatását szemlélteti a hím *C. japonica* testtömegére. Az 1. héten nem tapasztaltunk szignifikáns különbséget a csoportok között ( $p > 0,05$ ). A testtömeg-eredmények azonban szignifikáns mértékben különböztek a 2., 3. és a 4. héten ( $p < 0,05$ ).

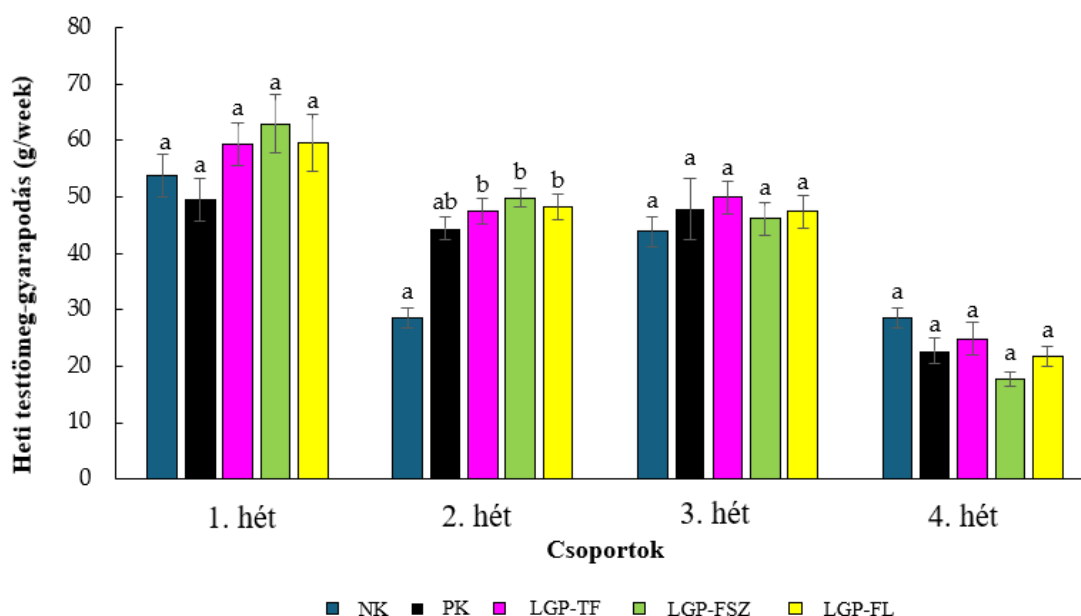
A 2. héten szignifikáns különbségek mutatkoztak a NK és valamennyi gombával kiegészített csoport között ( $p = 0,007$ ): LGP-TF ( $p = 0,049$ ), LGP-FSZ ( $p = 0,012$ ) és LGP-FL ( $p = 0,036$ ). Hasonló tendenciát figyeltünk meg a 3. héten, ahol az NK-csoport szignifikánsan alacsonyabb testtömeg-eredményt mutatott, mint amit a gomba alapú takarmánykiegészítők (LGP-TF:  $p = 0,001$ , LGP-FSZ:  $p < 0,001$  és LGP-FL:  $p < 0,001$ ).

Tehát a *P. ostreatus*-alapú takarmánykiegészítők egyértelmű növekedésre kifejtett pozitív hatást eredményeztek a 2. és 3. héten, összevetve a NK-csoporttal, míg a 4. héten csak az LGP-TF csoport eredményezett jelentősen magasabb testtömeget ( $p = 0,045$ ).



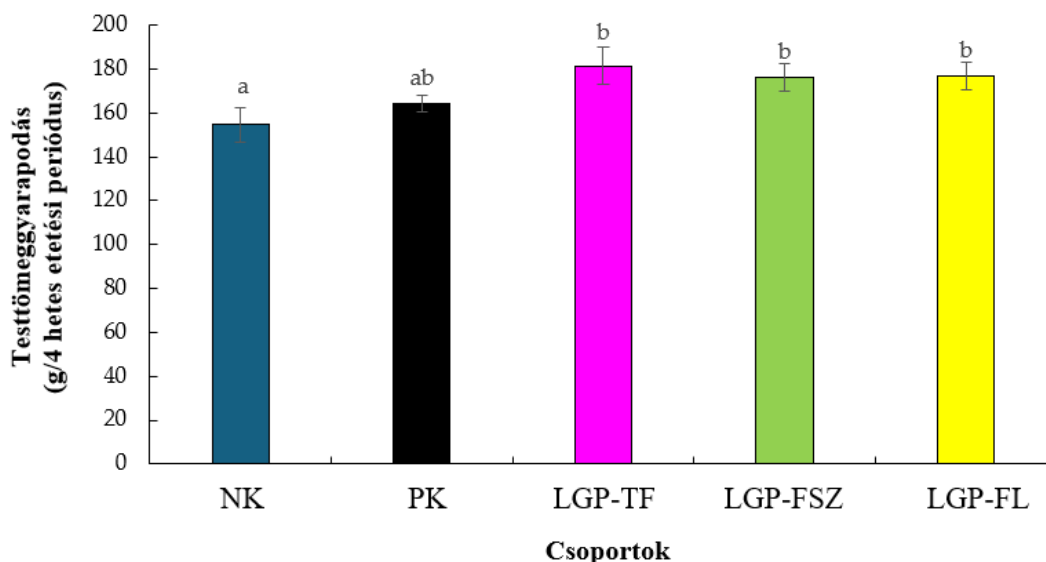
**23. ábra: A laskagomba alapú takarmánykiegészítők hatása a hím japán fürjek átlagos testsúlyára.** Az eredmények  $\bar{X} \pm \text{SEM}$  (a hím madarak testtömege g-ban/csoportonként;  $n = \text{minden hím}$ ). Az azonos betűvel rendelkező oszlopok nem különböznek ( $p > 0,05$ ), viszont ahol az adatok szignifikánsan különböztek, azokat eltérő betűvel jelöltük ( $p < 0,05$ ). Rövidítések: NK, negatív kontroll; SI, sóoldat-injekció; LPS, lipopoliszacharidok; PK, pozitív kontroll; LGP, laskagombapor; TF, teljes friss; FSZ, főtt szilárd; FL, főtt lé.

A heti testtömeggyarapodást vizsgálva az 1., 3. és 4. héten nem figyeltünk meg szignifikáns különbséget a csoportok között ( $p > 0,05$ ). A 2. héten viszont szignifikáns különbség mutatkozott ( $p = 0,010$ ), ahol a negatív kontroll-csoport (NK) szignifikáns mértékben alacsonyabb heti testsúlygyarapodást mutatott valamennyi laskagombával kiegészített csoporthoz viszonyítva: LGP-TF ( $p = 0,005$ ), LGP-FSZ ( $p = 0,002$ ) és LGP-FL ( $p = 0,007$ ), miképpen az a 24. ábrán is megfigyelhető.



**24. ábra: A laskagomba alapú takarmánykiegészítő termékek hatása a hím japán fürjek átlagos heti testtömeg-gyarapodására.** Az eredmények ÁTLAG  $\pm$  SEM (hím fürjek heti testtömeg-gyarapodása az 1., 2., 3. és 4. héten;  $n$  = minden hím). Az azonos betűvel rendelkező oszlopok nem különböznek ( $p > 0,05$ ), viszont ahol az adatok szignifikánsan különböztek, azokat eltérő betűvel jelöltük ( $p < 0,05$ ). Rövidítések: NK, negatív kontroll; SI, sóoldat-injekció; LPS, lipopoliszacharidok; PK, pozitív kontroll; LGP, laskagombapor; TF, teljes friss; FSZ, főtt szilárd; FL, főtt lé.

A vizsgálatok alatt szignifikáns mértékben ( $p < 0,05$ ) növekedett a laskagomba alapú takarmánykiegészítővel etetett csoportok testtömege a NK-hoz viszonyítva, mint az LGP-TF ( $p = 0,013$ ), az LGP-FSZ ( $p = 0,040$ ) és az LGP-FL csoport ( $p = 0,014$ ), ahogyan azt a 25. ábra szemlélteti.



**25. ábra: A laskagomba alapú takarmánykiegészítő termékek hatása a hím japán fürjek átlagos testtömeg-gyarapodására.** Az eredmények ÁTLAG  $\pm$  SEM (hím fürjek testtömeg-gyarapodása 4 hét (28 nap) alatt;  $n$  = valamennyi hím). Az azonos betűvel rendelkező oszlopok nem különböznek ( $p > 0,05$ ), viszont ahol az adatok szignifikánsan különböztek, azokat eltérő betűvel jelöltük ( $p < 0,05$ ). Rövidítések: NK, negatív kontroll; SI, sóoldat-injekció; LPS, lipopoliszacharidok; PK, pozitív kontroll; LGP, laskagombapor; TF, teljes friss; FSZ, főtt szilárd; FL, főtt lé.

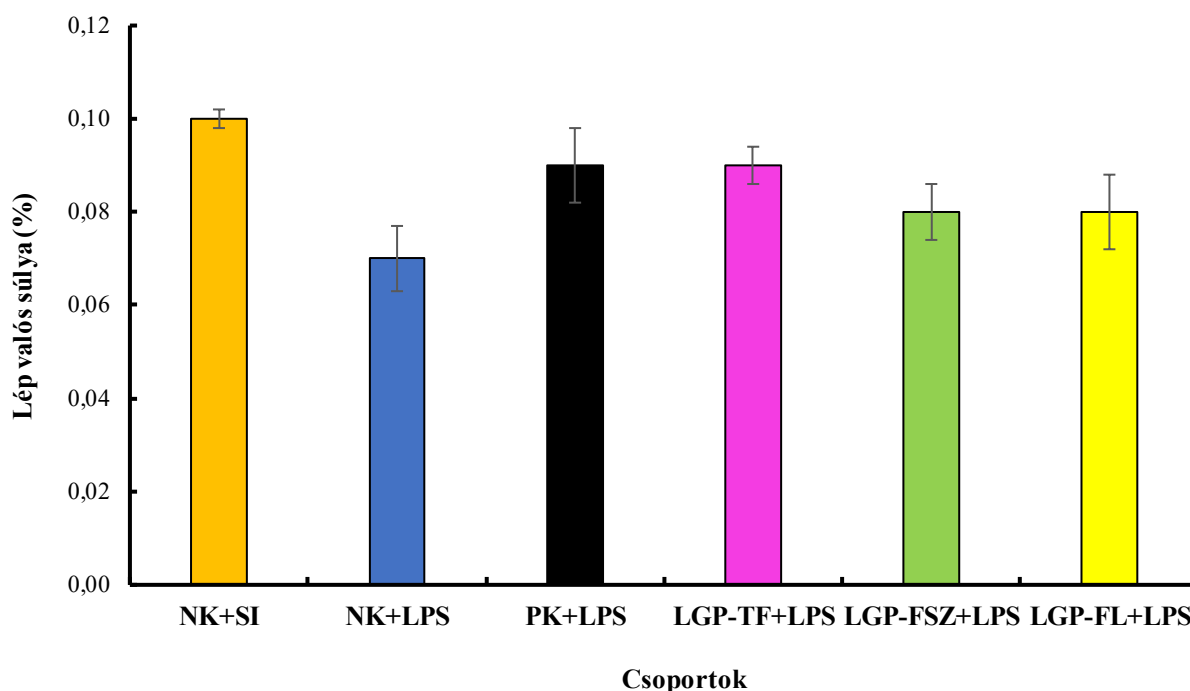
Számos tanulmány kimutatta, hogy a gombapor alapú takarmánykiegészítők, beleértve a *P. ostreatus* és *A. bisporus* alapú termékeket, pozitívan befolyásolják a baromfi növekedési teljesítményét, mint például a testsúlygyarapodást és a takarmányhasznosítást (VARGAS-SÁNCHEZ és mtsai., 2018; LIMA és mtsai., 2021; NASIR, 2024). A vizsgálati eredményeink azt mutatják, hogy a *P. ostreatus*-kiegészítés javította a hím japán fürjek egyes növekedési teljesítményparamétereit. A 0. napon és az első héten tapasztalt eredmények, pedig megerősítik a kísérleti csoportok kezdeti egységességét, ahol egyértelmű, hogy a korai növekedést nem befolyásolták a gombapороk.

A laskagomba alapú termékek növelték a testtömeget a negatív kontrollhoz viszonyítva (2. és 3. hét), mely növekedéstámogató hatásra utalhat. Bár ez az előny a 4. hétre csökkent, az LGP-TF csoportban megfigyelt tartós hatás azt jelzi, hogy a teljes termőtest-készítmény hosszabb távú előnyökkel járhat, mely valószínűleg a bioaktív vegyületek nagyobb visszatartásának vagy biohasznosulásának köszönhető. A laskagomba-kiegészítés javította a heti testtömeg-gyarapodást a 2. héten. A többi héten tapasztalt különbségek hiánya arra utal, hogy ez az előny elsősorban átmeneti volt és a korai fejlődés során volt a legnyilvánvalóbb.

A jótékony hatások elsősorban a  $\beta$ -glükán-tartalomnak tulajdoníthatók, mely támogatja az immunfunkciókat és elősegíti az egyedek növekedését (EZZAT és mtsai., 2024). A  $\beta$ -glükánok immunmodulátorként funkcionálnak, hiszen fokozzák mind a veleszületett, mind az adaptív immunválaszt, mindemellett javítják az általános egészségi állapotot és optimális növekedési teljesítményt érnek el (ASHRAF-KHAN és mtsai., 2017). A gomba alapú takarmánykiegészítők növekedési teljesítményt fokozó hatása összefüggést mutathat a bélmikrobiom biodiverzitásával, mely elengedhetetlen az optimális tápanyag-felszívódáshoz és az emésztés hatékonysághoz. Mindezek végső soron a baromfi súlygyarapodásához vezetnek (MAHFUZ és mtsai., 2019). A jövőben további vizsgálatok indokoltak a baromfiállatok bélrendszerének az egészségével kapcsolatban. Ezen belül érdemes lenne az immunbiomarkerekre és a tápanyagok emészthetőségére összpontosítani.

#### 5.6.2. Lép valós súlya

A 26. ábra a *P. ostreatus* alapú kiegészítés hatását szemlélteti a hím *C. japonica* egyedekhez tartozó lép valós súlyára. Az ANOVA-teszt nem mutatott ki statisztikailag szignifikáns különbséget a csoportok között ( $p = 0,364$ ). Ezen felül a post hoc Tukey-teszt nem mutatott ki szignifikáns páronkénti különbségeket. Azonban a viszonylag nagy hatásméret ( $\eta^2 \approx 0,15$ ) biológiailag releváns trendekre utal, különösen az NK+SI és az NK+LPS csoportok között. Meg kell említeni, hogy a legnagyobb numerikus különbség az NK+SI és az NK+LPS csoportok között volt megfigyelhető; ez a különbség azonban nem érte el a statisztikailag szignifikáns szintet.



**26. ábra: A laskagomba alapú takarmánykiegészítők és az *E. coli* LPS-injekció hatása a hím japán fürjekhez tartó lép valós súlyára.** Az eredmények ÁTLAG  $\pm$  SEM (hím fürjek lépének relatív súlya 4 hetes (28 napos) etetési időszak után;  $n = 6$ ). A csoportok nem különböznek ( $p > 0,05$ ). Rövidítések: NK, negatív kontroll; SI, sóoldat-injekció; LPS, lipopoliszacharidok; PK, pozitív kontroll; LGP, laskagombapor; TF, teljes friss; FSZ, főtt szilárd; FL, főtt lé.

A lép súlyának mérése, amelyet gyakran a lép relatív súlyának megadásához alkalmaznak, kulcsfontosságú mutató az immunitással és a funkcionális hatások értékelésére összpontosító vizsgálatokban (WLAŻŁAK és mtsai., 2023; CSERNUS és mtsai., 2020). A lép mérést azért vontuk be vizsgálatunkba, mert a lép kulcsszerepet játszik az immunrendszer szabályozásában, és értékes információkkal szolgál a madarak fiziológiai és immunológiai változásairól (SMITH – HUNT, 2004). Az immunitással kapcsolatos szervek súlyának csökkenése immunszuppresszióra utalhat, míg a növekedés jellemzően fokozott immunaktivitást tükröz (DANG és mtsai., 2022), míg a lép túlzott megnagyobbodása (lépnagyobbodás) inkább kóros állapotot, mintsem előnyös immunválaszt jelezhet. A lépnagyobbodás összefüggésben állhat szisztémás gyulladással, fertőzéssel, endotoxin-expozícióval vagy immunrendszeri túlstimulációval és fokozott immunsejt-proliferációval, mely pangásra vagy gyulladós sejtek beszűrődésére utalhat (CHEN és mtsai., 2025).

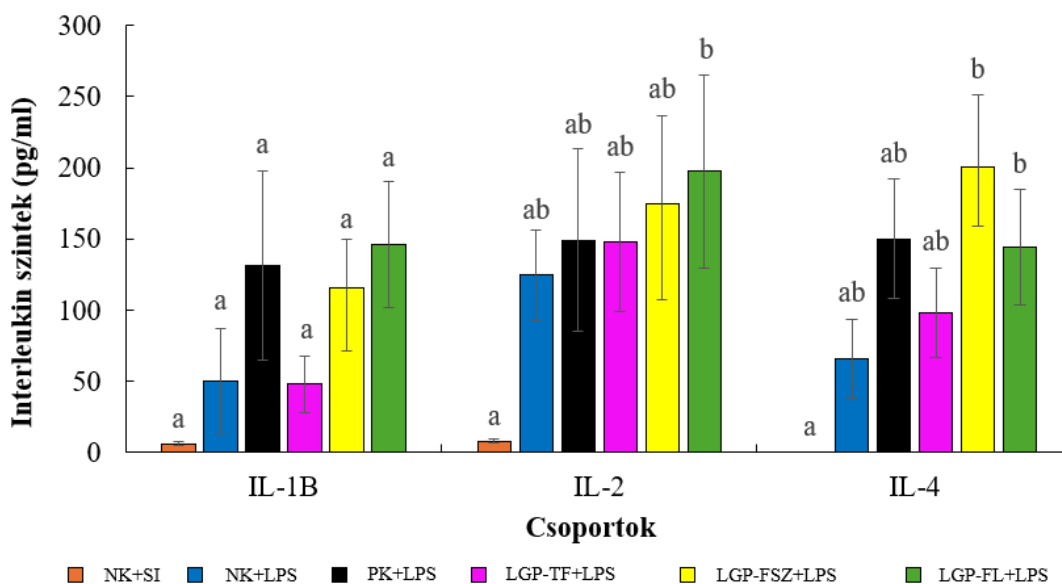
A mért lép-súly 0,06–0,13%-os tartománya nagyon közel áll a hasonló korú fürjek publikált normál tartományokhoz (ISMAYILZADA, 2020; DUNAJEVSKA és mtsai., 2023), tehát a kísérleti minták (laskagombapor alapú takarmánykiegészítők) nem indukáltak rendellenes lépnövekedést. Ezek szerint a *P. ostreatus*-alapú kiegészítés nem okozott kóros lépmegnagyobbodást vagy túlzott immunaktivációt. Bár numerikus különbségeket figyeltek meg bizonyos csoportok között, különösen az NK+SI és az NK+LPS között, a statisztikai szignifikancia azt jelenti, hogy a takarmánykiegészítők nem változtatták meg jelentősen a lép fejlődését. Mindazonáltal a statisztikai elemzésben megfigyelt viszonylag nagy hatásméret biológiailag releváns trendeket jelezhet, amelyek további vizsgálatokat indokolnak nagyobb mintanagyság alkalmazásával. Fontos megjegyezni, hogy bár az LPS-fertőzés befolyásolhatja a lép súlyát baromfinál, ezek a hatások gyakran függenek az expozíció dózistól és időtartamától, és a rövid távú fertőzések, mint a mi tanulmányunkban is, azok aktiválhatják az immunválaszokat anélkül, hogy mérhető változásokat okoznának a lép méretében.

#### 5.6.3. Immunválasz

A citokínanalízis eredményeit, beleértve az interleukin (IL-1 $\beta$ , IL-2 és IL-4) koncentrációkat, a 27. ábra mutatja be. Bár az LPS-adagolás leíró szinten jelentősen magasabb citokínkoncentrációkat eredményezett a placebo-kontrollhoz (NK+SI) képest, az LPS-sel kezelt csoportokon belüli jelentős egyéni variabilitás korlátozta a statisztikailag szignifikáns különbségek kimutatását a páros összehasonlításokban. Következésképpen a gombával kiegészített LPS-csoportok egyike sem különbözött szignifikánsan az LPS-sel kezelt kontrolltól (NK+LPS) az IL-1 $\beta$ , IL-2 vagy IL-4 koncentrációk tekintetében a többszörös tesztelésre való korrekció után.

Az IL-1 $\beta$  koncentrációt vizsgálva nem figyeltünk meg szignifikáns különbséget a kísérleti csoportok között ( $p = 0,057$ ). Ezzel szemben az IL-2 koncentrációi szignifikánsan különböztek ( $p = 0,029$ ), viszont csupán az NK+SI és az LPS+FL+LPS csoportok között volt szignifikáns különbség ( $p = 0,042$ ). Hasonlóképpen, az IL-4 szint esetében szignifikáns különbség volt ( $p = 0,001$ ). Azonban egyik kezelési csoport sem különbözött szignifikánsan az NK+LPS-csoporttól a többszörös összehasonlítás korrekciója után sem.

Bár az LGP+FSZ+LPS csoportban növekvő tendencia volt megfigyelhető az NK+LPS csoporthoz viszonyítva, a korrigálatlan összehasonlításokban, ez a különbség a többszörös tesztelés korrekciója után sem maradt szignifikáns. Továbbá a PK+LPS csoport nem különbözött szignifikánsan az NK+LPS csoporttól vagy bármely más



kezelési csoporttól.

**27. ábra: A laskagomba alapú takarmánykiegészítő termékek és az *E. coli* LPS-injekció hatása a hím japán fürjek plazma citokinszintjére (IL-1 $\beta$ , IL-2, IL-4).** Az eredmények ÁTLAG  $\pm$  SEM (pg/ml az IL-1 $\beta$ , IL-2 és IL-4 interleukin szintjére a vérplazmában, 4 hetes (28 napos) etetési időszak után; n = 6). Rövidítések: NK, negatív kontroll; SI, sóoldat-injekció; LPS, lipopoliszacharidok; PK, pozitív kontroll; LGP, laskagombapor; TF, teljes friss; FSZ, főtt szilárd; FL, főtt lé.

Az *E. coli* LPS-injekció és a gomba alapú takarmánykiegészítést követően megfigyelt citokinválaszok nagyjából összhangban voltak a korábbi, laskagomba (*P. ostreatus*) és más  $\beta$ -glükántartalmú étrendi források immunmoduláló tulajdonságait leíró tanulmányokkal. Korábbi publikációk rávilágítottak arra, hogy a gombából származó bioaktív vegyületek befolyásolhatják az immunjelátviteli útvonalakat és a citokinszabályozást.

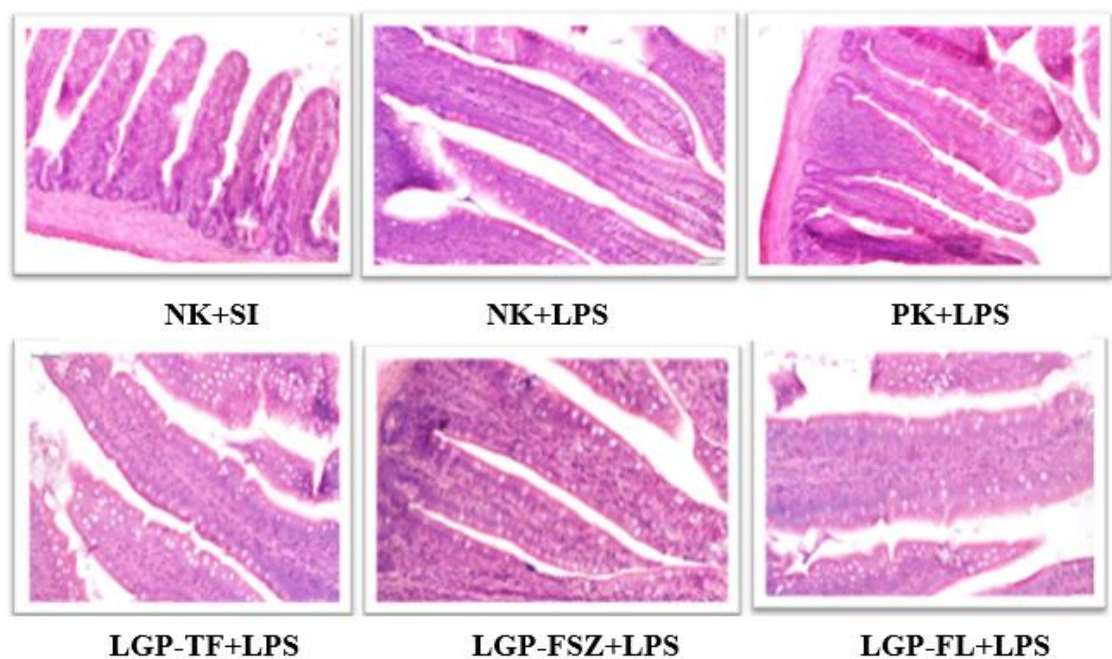
A vizsgálatunk során az IL-1 $\beta$ -koncentrációk esetében nem tapasztaltunk statisztikailag szignifikáns különbségeket. Tehát a gombakiegészítés nem módosította lényegesen az LPS által kiváltott gyulladások IL-1 $\beta$ -választ az alkalmazott kísérleti körülmények között, viszont a gombával kiegészített csoportokban megfigyelt emelkedett értékek biológiai válaszreakcióra utalhatnak, összhangban a korábbi kutatásokra, ahol arra jutottak, hogy a gombából származó  $\beta$ -glükánok stimulálhatják a gyulladások citokintermelést (COX – DALLLOUL, 2010; VETVICKA és mtsai., 2021; THOMAS és mtsai., 2022).

Az IL-2-koncentrációk változékonyságot mutattak a kezelések között, bár a statisztikailag szignifikáns páronkénti különbségek korlátozottak voltak. Míg korábbi tanulmányok a gomba-kiegészítést követően fokozott IL-2-termelésről és a kapcsolódó T-sejt-aktivációról számoltak be (BENSON és mtsai., 2019), addig a jelen eredmények azt mutatják, hogy a gombából származó termékek nem változtatták meg szignifikánsan az LPS által kiváltott IL-2-választ az LPS-sel kezelt negatív kontrollhoz viszonyítva.

A szakirodalom szerint a gomba alapú takarmánykiegészítők fokozhatják a Th2-típusú immunválaszokat és az IL-4-termelést, melyek kulcsfontosságúak az allergiás reakciók és a gyulladásos válaszok szabályozásában (JACOB – PESCATORE, 2017). A jelen vizsgálatunkban azonban egyik gombakiegészítést kapó csoport sem mutatott statisztikailag szignifikáns különbséget az IL-4-szintekben az LPS-sel kezelt kontrollcsoporthoz (NK+LPS) képest, ami arra utal, hogy a kezelések nem módosították jelentősen az LPS által kiváltott IL-4-választ az alkalmazott kísérleti körülmények mellett.

#### 5.6.4. Ileum morfológia

A bélbolyhok morfológiai paramétereit a következő kezelési csoportokban vizsgáltuk: NK+SI, NK+LPS, PK+LPS, LGP-TF+LPS, LGP-FSZ+LPS és LGP-FL+LPS. A 28. ábra az ileum minták mikroszkópos képeit szemlélteti 20-szoros nagyítás mellett.



**28. ábra: A laskagomba alapú takarmánykiegészítő és az *E. coli* LPS-injekció hatásának vizsgálata során készített mikroszkópikus felvételek (ileum morfológia).** Rövidítések: NK, negatív kontroll; SI, sóoldat-injekció; LPS, lipopoliszacharidok; PK, pozitív kontroll; LGP, laskagombapor; TF, teljes friss; FSZ, főtt szilárd; FL, főtt lé.

A 14. táblázat a villus morfológiai paramétereikhez (villus hossz, kripta mélység, villus szélesség és villus hossz és kripta mélység arány) tartozó eredményeket mutatja be, ahol nem figyeltünk meg szignifikáns különbséget a bélbolyhok hossza, mélysége, a bélbolyhok hosszának/kriptamélységének aránya, a teljes bélbolyhok mérete és a bélbolyhok szélessége között ( $p > 0,05$ ).

14. táblázat: A laskagomba alapú takarmánykiegészítő termékek és az *E. coli* LPS-injekció hatása a hím japán fürjek bélmorfológiai paramétereire ( $\mu\text{m}$ )).

| Csoportok   | Villus<br>hossz | Kripta<br>mélység | Villus<br>hossz-<br>kripta<br>mélység<br>arány | Teljes<br>Villus | Villus<br>szélesség |       |
|-------------|-----------------|-------------------|------------------------------------------------|------------------|---------------------|-------|
| NK+SI       | 489,28          | $\pm 171,41$      | $\pm 2,89$                                     | $\pm 660,70$     | $\pm 153,70$        | $\pm$ |
|             | 56,66           | 12,23             | 0,21                                           | 66,45            | 9,44                |       |
| NK+LPS      | 452,6           | $\pm 151,77$      | $\pm 3,04$                                     | $\pm 603,93$     | $\pm 136,80$        | $\pm$ |
|             | 28,02           | 6,22              | 0,07                                           | 34,13            | 9,96                |       |
| PK+LPS      | 555,83          | $\pm 175,21$      | $\pm 3,33$                                     | $\pm 731,04$     | $\pm 149,87$        | $\pm$ |
|             | 34,38           | 11,28             | 0,27                                           | 38,01            | 6,91                |       |
| LGP-TF+LPS  | 492,74          | $\pm 151,63$      | $\pm 3,35$                                     | $\pm 644,36$     | $\pm 137,05$        | $\pm$ |
|             | 45,85           | 5,07              | 0,28                                           | 47,91            | 6,49                |       |
| LGP-FSZ+LPS | 530,58          | $\pm 173,38$      | $\pm 3,19$                                     | $\pm 703,96$     | $\pm 148,76$        | $\pm$ |
|             | 44,51           | 13,91             | 0,25                                           | 54,30            | 6,90                |       |
| LGP-FL+LPS  | 503,52          | $\pm 149,11$      | $\pm 3,47$                                     | $\pm 652,63$     | $\pm 134,69$        | $\pm$ |
|             | 46,00           | 5,68              | 0,29                                           | 48,44            | 6,58                |       |
| p-érték     | 0,679           | 0,161             | 0,650                                          | 0,546            | 0,347               |       |

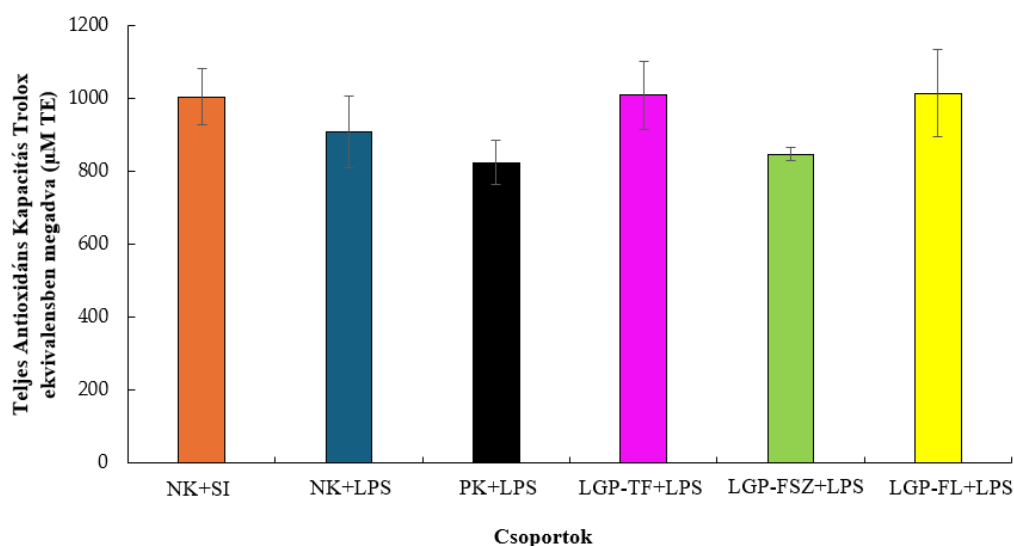
Az eredmények ÁTLAG  $\pm$  SEM ( $\mu\text{m}$ ) a villus morfológiai paramétereire (ileum hossza, mélysége, szélessége és arányai ( $\mu\text{m}$ -ben)) vonatkoznak, 4 hetes (28 napos) etetési időszak után mérve;  $n = 6$ ). A csoportok nem különböznek ( $p > 0,05$ ). Rövidítések: NK, negatív kontroll; SI, sóoldat-injekció; LPS, lipopoliszacharidok; PK, pozitív kontroll; LGP, laskagombapor; TF, teljes friss; FSZ, főtt szilárd; FL, főtt lé.

A bélbolyhok morfológiájának értékelése kiemelkedő fontosságú, különösen a középső szakaszban (jejunum) és a vékonybél utolsó szakaszában (ileum). Ezen szakaszok elősegítik a tápanyagok emésztését és felszívódását (QIU és mtsai., 2024), különös tekintettel a korábbi szakaszokban szintetizált vitaminokra és tápanyagokra. A bélbolyhok paramétereinek, például a hosszúságnak, a mélységnek, a hosszúság-mélység arálynak és a szélességnek a mérése különösen hasznos annak meghatározásában, hogy az alkalmazott takarmány hogyan befolyásolja a baromfi egészségét (BARSZCZ és mtsai., 2024). A hím japán fürjek bélmorfológiai paramétereikhez tartozó eredményeink fiziológiailag normálisnak tekinthetők (NAZIR, 2022).

Eredményeinkkel összhangban egy tanulmány arról számolt be, hogy az 1%-os laskagomba por alapú étrend nem befolyásolta szignifikánsan ( $p > 0,05$ ) az ileum paramétereit, beleértve az átlagos bélbolyhok magasságát és a kripta mélységét (FARD és mtsai., 2014). Ezenkívül kutatók dokumentálták a gombaporok nyirokszervekre kifejtett hatástalanságát (TOGHYANI és mtsai., 2012; BEDERSKA-ŁOJEWSKA és mtsai., 2017). MAHFUZ és munkatársai (2020) azonban arra jutottak, hogy a gombaporok mérsékelten javítják a bélrendszer morfológiáját. Megjegyezték azonban, hogy a jelentős változásokhoz gyakran magasabb kiegészítési szint (%) vagy kombinált prebiotikus készítmények szükségesek.

### 3.5. Teljes antioxidáns kapacitás a vérplazmában

A 29. ábra a gomba-kiegészítés teljes antioxidáns kapacitásra gyakorolt hatását mutatja be. Az eredmények Trolox-ekvivalensben ( $\mu\text{M TE}$ ) vannak kifejezve. A Kruskal–Wallis teszt szerint nem figyeltünk meg szignifikáns különbséget a kísérleti csoportok között ( $p = 0,281$ ).



**29. ábra: A laskagomba alapú takarmánykiegészítő termékek és az *E. coli* LPS-injekció hatása a hím japán fürjek teljes antioxidáns kapacitására (TAC).** Az eredmények ÁTLAG  $\pm$  SEM ( $\mu\text{M}$  Trolox-ekvivalensek a plazma teljes antioxidáns kapacitására vonatkozóan, 4 hetes (28 napos) etetési időszak után;  $n = 6$ ). A csoportok nem különböznek ( $p > 0,05$ ). Rövidítések: NK, negatív kontroll; SI, sóoldat-injekció; LPS, lipopoliszacharidok; PK, pozitív kontroll; LGP, laskagombapor; TF, teljes friss; FSZ, főtt szilárd; FL, főtt lé.

A baromfi vérplazmában mért teljes antioxidáns kapacitás (TAC) fontos információkat nyújt a szisztémás antioxidáns védekezésről és az oxidatív stressz ellensúlyozásának képességéről (HASSAN és mtsai., 2020). Jelen vizsgálatban a TAC-értékek nem különböztek szignifikánsan a kísérleti csoportok között, és a gomba alapú étrend-kiegészítés nem módosította szignifikánsan az antioxidáns kapacitást az LPS-sel kezelt kontrollhoz (NK+LPS) képest. Ezek az eredmények arra utalnak, hogy az alkalmazott kísérleti körülmények között az antioxidáns választ nem befolyásolta jelentősen a gombakiegészítés.

## 6. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK

Vizsgálataink új modellt kínálnak a bioaktív vegyületek antimikrobiális és prebiotikus funkcióinak mélyebb megértéséhez. Az eredmények azt mutatják, hogy a főtt *P. ostreatus* gombafrakciók (LGP-FSZ és LGP-FL) elősegíthetik a jótékony tejsavbaktériumok (pl. *L. casei*) növekedését, miközben gátolják egyes káros Gram-pozitív baktériumok (pl. *S. epidermidis*) szaporodását. Ezek alapján a vizsgált laskagomba-alapú készítmények potenciális alternatívát jelenthetnek az antibiotikumhasználat csökkentésében, hozzájárulva az antibiotikum-rezisztencia elleni küzdelemhez. Fontos azonban hangsúlyozni, hogy ezen megállapítások elsősorban in vitro antimikrobiális és prebiotikus vizsgálatokon alapulnak, és nem helyettesítik az antibiotikumok teljes körű kiváltását, hanem azok használatának csökkentését célzó, kiegészítő stratégia részeként értelmezhetők.

Tanulmányunk rávilágított a fagyaszttva szárított *P. ostreatus* gombaporok jelentős egészségügyi potenciáljára. A három különböző feldolgozási módszerrel (teljes friss gombából: LGP-TF; főtt szilárd maradékból: LGP-FSZ; főtt gombalé frakcióból: LGP-FL) előállított termékek különböző bioaktív jellemzőket mutattak. A mért paraméterek, köztük  $\beta$ -glükántartalom, összpolicifénol-, flavonoid- és antioxidáns aktivitás (DPPH) eredményei alapján az LGP-FSZ és az LGP-TF hatékonyabb forrásai lehetnek a bioaktív hatóanyagok bevitelének. Azzal LGP-FL különösen érdekes összetétellel rendelkezik a vízzoldható antioxidáns komponensek és szén nanorészecskék jelenléte miatt.

Bár az LGP-FL kevesebb  $\beta$ -glükánt, policifénolt és flavonoidot tartalmazott, kimutatható volt annak antimikrobiális hatása *S. epidermidis* ellen, valamint prebiotikus aktivitása *L. casei* esetén, 1 w/v% koncentrációban. Ez meglepő eredmény, amely mögött feltételezhetően szinergikus hatások vagy egyedi komponensek állnak. Ezzel szemben a bioaktív vegyületekben gazdagabb LGP-TF nem fejtett ki szignifikáns hatást egyik baktériumtörzs esetén sem, ami azt jelzi, hogy nem a mennyiségi, hanem a minőségi és biohasznosulási tényezők lehetnek döntőek.

A vizsgált gombafrakciók közül az LGP-FSZ szintén jelentős antibakteriális hatással bírt *S. epidermidis* ellen, amely részben a hőkezelés hatására felszabaduló fenolos vegyületek és poliszacharidok jelenlétére vezethető vissza. Ennek fényében úgy tűnik, hogy az előfőzés során keletkező gombaalapú melléktermékek újrahasznosítása nemcsak fenntartható megoldás, hanem élettanilag is értékes lehetőség.

Az immunmoduláció és a bélmikrobiom kedvező irányú befolyásolása azt jelzi, hogy ezek a gombafrakciók ígéretes funkcionális takarmány-kiegészítők lehetnek a baromfiágazatban, elősegítve az antibiotikum-mentes állattartást.

Nem egyértelmű azonban, hogy az antimikrobiális és prebiotikus aktivitás elsődlegesen a szén nanorészecskék jelenlétéhez köthető-e. Az LGP-FL mintában volt ugyan a legnagyobb mennyiségben jelen ilyen komponens, azonban a hasonló hatások az LGP-FSZ mintában is megfigyelhetők voltak. Ezért a pontos mechanizmus tisztázása, valamint a szén nanorészecskék biológiai hatásainak, stabilitásának és toxikológiai tulajdonságainak feltárása elengedhetetlen a jövőbeli kutatások során.

További kérdések, amelyekre érdemes választ keresni:

- Mutatnak-e a gombaalapú szén nanorészecskék közvetlen antimikrobiális aktivitást más patogén baktériumok vagy gombák ellen?
- Milyen hatást gyakorolnak ezek a nanorészecskék az antibiotikum-rezisztens törzsekre?
- Van-e agrár- vagy humán-egészségügyi alkalmazhatóságuk, például gombaellenes szerként?

A jelen tanulmány során előállított micéliumokat és kivonatokat táptalajon is vizsgáltuk, amelyből kiderült, hogy a *P. ostreatus* kivonatok kedvezően befolyásolták a micélium biomasszát és  $\beta$ -glükán szintézist. A gombalapú tápközegek, köztük az LGA-50 elősegítették a vegetatív növekedést, és akár felül is múlták a hagyományos malátakivonat alapú táptalajokat. Ez új lehetőségeket nyit bioaktív alapanyagok, például immunstimulánsok és antioxidánsok célzott előállítására és hasznosítására a takarmányozásban.

A  $\beta$ -glükánban gazdag, fagyasztva szárított *P. ostreatus* alapú takarmány-kiegészítés kedvezően befolyásolja a japán fürjek növekedési teljesítményét, különösen az intenzív növekedési szakaszban tapasztalható testtömeg- és testtömeg-gyarapodás növekedése révén. Az eredmények arra utalnak, hogy a laskagombából származó bioaktív vegyületek részben mérsékelhetik a gyulladás okozta növekedés-visszaesést. A gombakiegészítés nem idézett elő szignifikáns változást a vizsgált citokinprofilban (IL-1 $\beta$ , IL-2, IL-4), sem a lép relatív tömegében, a villus morfológiájában vagy az össz-antioxidáns kapacitásban. Ezek szerint nem vált ki túlzott immunaktivációt vagy kóros elváltozásokat az alkalmazott körülmények mellett.

Összességében elmondható, hogy a laskagomba-alapú készítmények alkalmas teljesítményfokozók lehetnek a baromfiiparban, ugyanakkor további vizsgálatok szükségesek a hatásmechanizmusok feltárásához, a feldolgozási eljárások optimalizálásához, valamint a hosszú távú és üzemi körülmények között történő hatások bizonyításához.

## 7. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

A fagyasztva szárított *Pleurotus ostreatus* gombaporok különböző frakcióinak (LGP-TF (1% (w/v) laskagombapor a teljes friss mintából), LGP-FSZ (1% (w/v) laskagombapor a főtt szilárd frakcióból), LGP-FL (1% (w/v) laskagombapor a főtt lé frakcióból)) karakterizálása és biológiai hatásainak vizsgálata során az alábbi új tudományos eredmények születtek:

1. Megállapítottam, hogy az 1% (w/v) laskagombapor a főtt lé frakcióból (LGP-FL)  $\beta$ -glükán tartalma ( $20,27 \pm 0,58$  w/w%) lényegesen alacsonyabb volt, mint az 1% (w/v) laskagombapor a főtt szilárd frakcióból (LGP-FSZ:  $37,95 \pm 0,78$  w/w%) és az 1% (w/v) laskagombapor a teljes friss mintából (LGP-TF:  $36,25 \pm 0,50$  w/w%) értékei, viszont a legígéretesebb gombaalapú szén nanorészecske-forrásnak ( $50,4 \pm 0,5$  mg/kg; fluoreszcencia:  $176,72 \pm 2,00$  A.u.) bizonyultak. Mikrobiológiai vizsgálatokban, pedig az 1% (w/v) laskagombapor a főtt lé frakcióból (LGP-FL) 1%-os koncentrációban elősegítette a *L. casei*, illetve gátolta a *S. epidermidis* növekedését.
2. A baromfi állatokon végzett kísérletek során a 2., 3. és a 4. héten viszont a mért testsúly értékek egyes laskagombapor alapú takarmánykiegészítők javára lényegesen magasabbak voltak, mint amit az alap takarmánnyal etetett csoport (NK: 2. hét: 90,7 g, 3. hét: 134,6 g, 4. hét: 163,1 g) esetében figyeltünk meg: 1% (w/v) laskagombapor a teljes friss mintából (LGP-TF: 2. hét: 115,5 g, 3. hét: 165,4 g, 4. hét: 190,2 g), 1% (w/v) laskagombapor a főtt szilárd frakcióból (LGP-FSZ: 2. hét: 121,4 g, 3. hét: 167,5 g), és az 1% (w/v) laskagombapor a főtt lé frakcióból (LGP-FL: 2. hét: 116,6 g, 3. hét: 164,0 g).
3. A japán fűj egyedek heti testtömeggyarapodását vizsgálva, a 2. héten szignifikáns különbség mutatkozott az alap takarmánnyal etetett csoportokkal (28,5 g/hét) szemben a laskagombapor alapú takarmánykiegészítők javára, mint például az 1% (w/v) laskagombapor a teljes friss mintából (LGP-TF: 47,5 g/hét), az 1% (w/v) laskagombapor a főtt szilárd frakcióból (LGP-FSZ: 49,8 g/hét) és az 1% (w/v) laskagombapor a főtt lé frakcióból (LGP-FL: 48,2 g/hét) esetében.

4. Összességében elmondható, hogy valamennyi laskagombapor, mint például az 1% (w/v) laskagombapor a teljes friss mintából (LGP-TF: 181,5 g/4 hetes etetési periódus, az 1% (w/v) laskagombapor a főtt szilárd frakcióból (LGP-FSZ: 176,4 g/4 hetes etetési periódus) és az 1% (w/v) laskagombapor a főtt lé frakcióból (LGP-FL: 177,0 g/4 hetes etetési periódus) elősegítette az állati modellek testtömeggyarapodását az alap takarménnyal etetett negatív kontrollhoz viszonyítva (NK: 154,6 g /4 hetes etetési periódus) viszonyítva.
5. Az LPS-injekciót követően a laskagombapor-kiegészítés hatására nem változott a lép relatív súlya, mérete egészséges volt, mondható (0,06–0,13%), továbbá a vérplazmában mért IL-1 $\beta$ , IL-2 és IL-4 értékek szintén nem különböztek jelentősen az LPS injekciót kapó alap takarmánnyal etetett csoporthoz viszonyítva (NC+LPS: IL-1 $\beta$ : 49,91  $\pm$  37,32 pg/ml, IL-2: 124,50  $\pm$  31,80 pg/ml, IL-4: 65,89  $\pm$  27,68 pg/ml).
6. A teljes antioxidáns kapacitás (TAC) tekintetében statisztikailag jelentős eltéréseket nem tapasztaltunk az LPS injekciót kapó alap takarmánnyal etetett csoporthoz viszonyítva (NC+LPS: 909  $\pm$  98  $\mu$ M TE) viszonyítva: 1% (w/v) laskagombapor a teljes friss mintából (LGP-TF: 1009  $\pm$  95  $\mu$ M TE), az 1% (w/v) laskagombapor a főtt szilárd frakcióból (LGP-FSZ: 847  $\pm$  17  $\mu$ M TE), és az 1% (w/v) laskagombapor a főtt lé frakcióból (LGP-FL: 1014  $\pm$  119  $\mu$ M TE).
7. Kidolgoztam egy laskagombából készült táptalajt (LGA), amely elősegítette a *P. ostreatus* micélium biomassza-termelését: az LGA-100 táptalajon mért érték (1,15  $\pm$  1,15 g) szignifikánsan meghaladta a hagyományos maláta alapú (MEA) táptalajon mért értéket (0,23  $\pm$  0,14 g).

## 8. GYAKORLATBAN ALKALMAZHATÓ EREDMÉNYEK

A kutatásaim során vizsgált, fagyasztva szárított *P. ostreatus* gombaporok (1% (w/v) laskagombapor a teljes friss mintából: LGP-TF; 1% (w/v) laskagombapor a főtt szilárd frakcióból: LGP-FSZ, 1% (w/v) laskagombapor a főtt lé frakcióból: LGP-FL) eltérő összetételük és biológiai aktivitásuk alapján több gyakorlati alkalmazási lehetőséget is sikerült azonosítanom:

1. Az 1% (w/v) laskagombapor a főtt szilárd frakcióból (LGP-FSZ) frakció hatékonynak bizonyult a  $\beta$ -glükán-tartalomban, viszont IL-1 $\beta$ , IL-2 és IL-4 szint kapcsán nem tudtuk igazolni pozitív hatását. A  $\beta$ -glükán tartalomnak köszönhetően a laskagombaporok különböző frakciókban történő alkalmazása a baromfiágazatban potenciálisan hozzájárulhat az immunválasz modulálásához, azonban ezen tény igazolásához további vizsgálatok indokoltak.
2. Eredményeim igazolták, hogy az 1% (w/v) laskagombapor a főtt lé frakcióból (LGP-FL) frakció szignifikáns fluoreszcenciaintenzitása és magas szénnanorészecske-tartalma miatt ígéretes alapot jelenthet további biotechnológiai kutatások és alkalmazások fejlesztéséhez.
3. Kísérleteimben az 1% (w/v) laskagombapor a teljes friss mintából (LGP-TF), 1% (w/v) laskagombapor a főtt szilárd frakcióból (LGP-FSZ) és az 1% (w/v) laskagombapor a főtt lé frakcióból (LGP-FL) laskagombapor alapú takarmánykiegészítők szignifikánsan növelték a japán fürjek testtömegét a 2–3. Héten, a heti testtömeggyarapodást a 2. héten, valamint a teljes (4 hetes) testtömeggyarapodást a NK negatív kontrollhoz viszonyítva. Az eredmények alapján a laskagombapor alapú takarmánykiegészítők potenciális természetes növekedésfokozóként alkalmazhatók a baromfitartásban, azonban a jövőben történő vizsgálatok során további baromfi-modellek, illetve a takarmányfelvétel mérésének bevonása is indokolt.
4. Kidolgoztam egy új laskagomba-alapú táptalajt (LGA-50, LGA-75, LGA-100), amely jelentősen növelte a micélium biomassza-hozamát a hagyományos MEA táptalajhoz képest, mindeközben megfelelő  $\beta$ -glükán szintet értünk el. Ezen módszer gazdaságos alternatívát kínálhat micélium előállítására. A kapott termék, pedig

## 9. ÖSSZEFOGLALÁS

A gazdasági haszonállatok egészségének megőrzésében kiemelt szerepet kapnak a természetes eredetű alternatívák, mint például a gomba alapú bioaktív vegyületek. A nem megfelelő antibiotikum-használat következtében egyre nagyobb kihívást jelent az antibakteriális szerekkel szemben rezisztens patogének elterjedése, ezért egyre több kutatás irányul olyan természetes megoldásokra, melyek támogatják az állatok immunválasztát.

A gombák számos immunmoduláló és prebiotikus tulajdonsággal rendelkező összetevőt tartalmaznak, például  $\beta$ -glükánokat, polifenolokat és antioxidánsokat. Kutatásunk célja a *P. ostreatus* (késői laskagomba) bioaktív vegyületeinek vizsgálata japán fürj modelleken, különös tekintettel azok immunmoduláló hatására, valamint az intesztinális morfológiára.

A baromfi kísérletet Japán fürjeken végeztük, ahol a negatív kontrollcsoport (kezelés nélküli csoport) mellett egy pozitív kontrollcsoportot is kialakítottunk, amelynél a bizonyítottan immunmoduláns hatású *S. cerevisiae* élesztőgombából származó  $\beta$ -glükánt 0,1%-ban alkalmaztuk takarmánykiegészítőként. A további kezelések a *P. ostreatus* gombából készített potenciális takarmánykiegészítőket tartalmazták, melyeket 1%-os koncentrációban adagoltuk. A kísérlet 4 héten keresztül tartott.

A laskagomba alapú takarmánykiegészítő modellanyagok immunmoduláló hatását különböző módon elemeztük. Vizsgáltuk a lép élősúlyhoz viszonyított arányát, illetve az interleukin (IL-1 $\beta$ , IL-2, IL-4) szintet (szendvics ELISA módszerrel). Mértük, hogy a gomba alapú készítmények miként befolyásolják a japán fürjek béltraktusának morfológiáját, ezáltal közvetve a tápanyag-felszívódást. A csípőbél hátsó szakaszából vett szövettani metszeteket hematoxin-eozin festés után mikroszkópos képalkotással elemeztük.

A PhD-értekezésem utal a *P. ostreatus* gombafajjal kapcsolatos további kutatások szükségességére. A vizsgált gombafaj jelentős táplálkozási és gyógyászati tulajdonságokkal rendelkezik, amelyek világszerte számos kutató érdeklődését felkeltették, és további vizsgálatokat ösztönöznek annak új alkalmazási lehetőségeinek feltárására, különös tekintettel a madárinfluenza elleni küzdelemben betöltött potenciális szerepére.

A laskagomba (*P. ostreatus*) beépítése a baromfitenyésztésbe számos előnnyel járhat, beleértve a termelékenység növelését, az immunrendszer működésének támogatását, az antioxidáns kapacitás fokozását és az általános egészségi állapot javítását. A laskagomba ígéretes takarmány-kiegészítőnek tekinthető tápláló összetétele, bioaktív vegyületei és bélrendszerre gyakorolt kedvező hatásai miatt, amelyek potenciálisan csökkenthetik az antibiotikum-használat szükségességét.

Tanulmányunk rámutat a  $\beta$ -glükánban gazdag, fagyasztva szárított *P. ostreatus* alapú étrend hatására 4 héten keresztül etetett hím japán fürjek (*C. japonica*) növekedési teljesítményére, immunfunkciója és általános egészségi állapotára.

A jövőbeni kutatásoknak érdemes lesz a *P. ostreatus* alapú étrendek nagyüzemi alkalmazását vizsgálni a kereskedelmi baromfitartásban, valamint optimalizálni a feldolgozási technikákat a  $\beta$ -glükán tartalom maximalizálása érdekében. Fontos továbbá feltérképezni a *P. ostreatus* bioaktív vegyületeinek szinergikus kölcsönhatásait más vadon és termesztett gombafajok hasonló összetevőivel, hogy növeljük ezek hasznosulási potenciálját.

Számos lényeges kérdés tisztázásra vár a laskagombából származó különféle bioaktív vegyületek teljes potenciáljának megértéséhez. A jövőbeni kutatásoknak kiemelt figyelmet kell fordítaniuk ezen mátrix összetételére és biohasznosulására, különösen a hőkezelések hatásainak vizsgálatára, különös tekintettel az alacsony hőmérsékletű, hosszú idejű főzési módszerekre. Emellett ígéretes kutatási irány lehet a szén nanorészecskék szerepének vizsgálata ezeknek a bioaktív vegyületeknek a hasznosulásának fokozásában. Továbbá ki kell terjedniük a gombák és melléktermékeik teljes potenciáljának feltárására a baromfitenyésztésben, valamint különböző bioaktív vegyületek, például  $\beta$ -glükánok, kitin, ergoszterol és polifenolok kivonására és fejlett technológiai módszerek alkalmazására, hogy javítsák ezek funkcionális tulajdonságait az élelmiszeripari, állattenyésztési és gyógyszerészeti alkalmazásokban.

Ezeknek a kiegészítőknek a baromfitakarmányba való beépítése csökkentheti az antibiotikumok használatát, ami fokozhatja azok antimikrobiális és prebiotikus tulajdonságait. A sikeres alkalmazás érdekében elengedhetetlen a folyamatos monitorozás, a kutatási eredmények adaptálása és az empirikus adatok felhasználása, különös tekintettel a szilárd fázisú fermentáció fontosságára a baromfitenyésztésben.

## 10. SUMMARY

Natural alternatives, such as mushroom-derived bioactive compounds, play a key role in maintaining the health of farm animals. Due to the inappropriate use of antibiotics, the spread of antibacterial-resistant pathogens has become an increasing challenge. As a result, more and more research is focusing on natural solutions that can support animals' immune responses.

Mushrooms contain numerous components with immunomodulatory and prebiotic properties, including  $\beta$ -glucans, polyphenols, and antioxidants. Our research aimed to investigate the bioactive compounds of *P. ostreatus* (oyster mushroom) in Japanese quail models, with particular emphasis on their immunomodulatory effects and intestinal morphology.

The poultry experiment was conducted on Japanese quail, where, in addition to the negative control group (untreated), a positive control group was established that received 0.1%  $\beta$ -glucan derived from *S. cerevisiae* yeast, an agent with proven immunomodulatory effects as a feed additive. Further treatments included potential feed supplements prepared from *P. ostreatus* administered at a 1% concentration. The experiment lasted for 4 weeks.

We assessed the immunomodulatory effects of oyster mushroom-based feed additives in several ways. We examined the spleen-to-body weight ratio and interleukin (IL-1 $\beta$ , IL-2, IL-4) levels using a sandwich ELISA method. We also measured how mushroom-based preparations influenced the morphology of the quails' intestines, thereby indirectly affecting nutrient absorption. Histological sections were taken from the posterior ileum, stained with hematoxylin-eosin, and analyzed through microscopic imaging.

My PhD thesis highlights the need for further research on *P. ostreatus* mushroom. This species possesses significant nutritional and medicinal properties, which have attracted global research interest and encouraged further investigations into its novel applications, particularly its potential role in combating avian influenza.

Incorporating oyster mushrooms (*P. ostreatus*) into poultry farming can be offered numerous benefits, including improved productivity, enhanced immune function, increased antioxidant capacity, and overall better health. Due to its nutritious composition, bioactive compounds, and beneficial effects on the gastrointestinal system, oyster mushroom represents a promising feed additive that could potentially reduce the need for antibiotic use.

Our study highlights the effects of a  $\beta$ -glucan-rich freeze-dried *P. ostreatus*-based diet on the growth performance, immune function, and general health of male Japanese quail (*C. japonica*) fed for 4 weeks.

Future research should explore the large-scale application of *P. ostreatus*-based diets in commercial poultry production and optimize processing techniques to maximize  $\beta$ -glucan content. It is also essential to map the synergistic interactions of *P. ostreatus* bioactive compounds with similar components from wild and cultivated mushroom species to enhance their potential for utilization.

Several key questions remain regarding the full potential of bioactive compounds derived from oyster mushrooms. Future studies should focus on the composition and bioavailability of this matrix, particularly the effects of heat treatments, with special emphasis on low-temperature, long-duration cooking methods. Another promising research direction is to investigate the role of carbon nanoparticles in enhancing the bioavailability of these bioactive compounds. Moreover, research should extend to exploring the full potential of mushrooms and their by-products in poultry farming, as well as extracting and applying advanced technological methods to improve the functional properties of various bioactive compounds such as  $\beta$ -glucans, chitin, ergosterol, and polyphenols in food, animal husbandry, and pharmaceutical applications.

Incorporating these supplements into poultry feed could reduce antibiotic use, thereby enhancing their antimicrobial and prebiotic properties. For a successful application, continuous monitoring, adaptation of research findings, and the use of empirical data are essential, particularly regarding the importance of solid-state fermentation in poultry production.

## 11. SZAKIRODALOMJEGYZÉK

1. ABDELTWAB, W. M. – ABDELALIEH, Y. F. – METRY, W. A. – ELDEGHEDY, M. (2019). Antimicrobial effect of chitosan and nano-chitosan against some pathogens and spoilage microorganisms. *Journal of Advanced Laboratory Research in Biology*, 10(1), 8–15. E-ISSN: 0976-7614
2. ABOU-KASSEM, D. E. – EL-SAYIAD, G. A. – EL-SAMAHY, R. A. – ABD EL-HACK, M. E. – TAHA, A. E. – KAMAL, M. – ALFASSAM, H. E. – RUDAYNI, H. A. – ALLAM, A. A. – MOUSTAFA, M. et al. (2024). Impacts of storage period and egg weight on hatching and growth performance of growing Japanese quails. *Poultry Science*, 103, 103772. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2024.103772>
3. ABOU-ZEID, A. – EL-DAMARAWY, S. – Mariey, Y. – KAYED, A. (2019). Effect of Using Yeast (*Saccharomyces cerevisiae*) and Mushroom (*Pleurotus ostreatus*) as Natural Feed Additives on Productive and Immune Response of Broiler Chicks. *Journal of Animal and Poultry Production*, 10(5), 149–155. <https://doi.org/10.21608/jappmu.2019.43015>
4. ACAY, H. – YILDIRIM, A. – ERDEM GÜZEL, E. – KAYA, N. – BARAN, M. F. (2020). Evaluation and characterization of *Pleurotus eryngii* extract-loaded chitosan nanoparticles as antimicrobial agents against some human pathogens. *Preparative Biochemistry & Biotechnology*, 50(9), 897–906. <https://doi.org/10.1080/10826068.2020.1765376>
5. ADAK, M. – KUMAR, P. (2022). Herbal anthelmintic agents: A narrative review. *Journal of Traditional Chinese Medicine*, 42(4), 641. <https://doi.org/10.19852/j.cnki.jtcm.2022.04.007>
6. ADEOYO, O. R. – OLUBORODE, O. O. (2020). Antimicrobial properties of some Nigerian edible mushrooms. *J Phytopharmacol*, 9(2), 110–114. <https://doi.org/10.31254/phyto.2020.9206>
7. AHMAD, N. – MAHMOOD, F. – KHALIL, S. A. – ZAMIR, R. – FAZAL, H. – ABBASI, B. H. (2014). Antioxidant activity via DPPH, gram-positive and gram-negative antimicrobial potential in edible mushrooms. *Toxicology and Industrial Health*, 30(9), 826–834. <https://doi.org/10.1177/0748233712463775>
8. AHMED, A. F. – MAHMOUD, G. A.-E. – HEFZY, M. – LIU, Z. – MA, C. (2023). Overview on the edible mushrooms in Egypt. *Journal of Future Foods*, 3(1), 8–15. <https://doi.org/10.1016/j.jfutfo.2022.09.002>

9. AHMED, K. J. A. J. – BORNARE, Dr. D. – JAISWAL, Dr. S. (2024). Review on extraction of melanoidins from coffee waste and value addition in food. *Journal of Current Research in Food Science*, 5(1), 157–161.  
<https://doi.org/10.22271/foodsci.2024.v5.i1c.140>
10. AHMED, T. – SUZAUDDULA, M. – AKTER, K. – HOSSEN, M. – ISLAM, M. N. (2024). Green Technology for Fungal Protein Extraction—A Review. *Separations*, 11(6), 186. <https://doi.org/10.3390/separations11060186>
11. AKYÜZ, M. – İNCLİ, Ş. – KIRBAĞ, S. (2023). Evaluation of Antimicrobial, Antioxidant, Cytotoxic and DNA Protective Effects of Oyster Mushroom: *Pleurotus pulmonarius* (Fr.) Quel. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 48(6), 7273–7283.  
<https://doi.org/10.1007/s13369-022-07418-9>
12. AL SATTAR, A. – CHISTY, N. N. – IRIN, N. – UDDIN, M. H. – HASIB, F. Y. – HOQUE, M. A. (2023). Knowledge and practice of antimicrobial usage and resistance among poultry farmers: A systematic review, meta-analysis, and meta-regression. *Veterinary Research Communications*, 1–20. <https://doi.org/10.1007/s11259-023-10082-5>
13. ALVES, M. – FERREIRA, I. – DIAS, J. – TEIXEIRA, V. – MARTINS, A. és PINTADO, M. (2012). A Review on Antimicrobial Activity of Mushroom (Basidiomycetes) Extracts and Isolated Compounds. *Planta Medica*, 78(16), 1707–1718.  
<https://doi.org/10.1055/s-0032-1315370>
14. AMER, M. M. – AMER, A. M. és EL-BAYOUMI, K. M. (2023). Chicken Gastrointestinal Microbiota, Composition, Function, and Importance. *Egyptian Journal of Veterinary Sciences*, 54(3), 403–420.  
<https://doi.org/10.21608/EJVS.2023.188397.1431>
15. ARBAAYAH, H. H. – UMI, K. Y. (2013). Antioxidant properties in the oyster mushrooms (*Pleurotus* spp.) and split gill mushroom (*Schizophyllum commune*) ethanolic extracts. *Mycosphere*, 4(4), 661–673.  
<https://doi.org/10.5943/mycosphere/4/4/2>
16. ARUNACHALAM, K. – SASIDHARAN, S. P. – YANG, X. (2022). A concise review of the antiviral and immunomodulatory properties of mushrooms that may combat COVID-19. *Food Chemistry Advances*, <https://doi.org/10.1016/j.focha.2022.100023>
17. ASADI, D. A. – AGHDAM, S. H. – SHADDEL, T. A. – MAHERI, S. N. – GHIASI, G. J. (2022). Effect of Feeding Edible Mushrooms Powder on Intestinal Microbiology and Morphology of Male Japanese Quails (*Coturnix coturnix japonica*).

18. ASHRAF KHAN, A. – GANI, A. – MASOODI, F. A. – MUSHTAQ, U. – SILOTRY NAIK, A. (2017). Structural, rheological, antioxidant, and functional properties of  $\beta$ -glucan extracted from edible mushrooms *Agaricus bisporus*, *Pleurotus ostreatus* and *Coprinus attrimentarius*. *Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre*, 11, 67–74. <https://doi.org/10.1016/j.bcdf.2017.07.006>
19. ASSEGEHEGN, G. – BRITO-DE LA FUENTE, E., FRANCO, J. M. – GALLEGOS, C. (2019). The Importance of Understanding the Freezing Step and Its Impact on Freeze-Drying Process Performance. *Journal of Pharmaceutical Sciences*, 108(4), 1378–1395. <https://doi.org/10.1016/j.xphs.2018.11.039>
20. ASSEMIE, A. – ABAYA, G. (2022). The Effect of Edible Mushroom on Health and Their Biochemistry. *International Journal of Microbiology*, 2022, 1–7. <https://doi.org/10.1155/2022/8744788>
21. AYSER, M. – TONNY, W. – HERNANDEZ, I. S. – KURIAKOSE, R. – SMITH, J. D. – WALLAERT, S. J. – KARIM, A. – ROBERTSON, M. L. – BALAN, V. (2023). Fractionating Chitin-Glucan Complex and Coproducts from *Pleurotus ostreatus* Mushrooms. *Waste and Biomass Valorization*. <https://doi.org/10.1007/s12649-023-02364-5>
22. BANGER, A. – GAUTAM, S. – JADOUN, S. – JANGID, N. K. – SRIVASTAVA, A. – PULIDINDI, I. N. – DWIVEDI, J. – SRIVASTAVA, M. (2023). Synthetic Methods and Applications of Carbon Nanodots. *Catalysts*, 13(5), 858. <https://doi.org/10.3390/catal13050858>
23. BAPTISTA, F. – ALMEIDA, M. – PAIÉ-RIBEIRO, J. – BARROS, A. N. – RODRIGUES, M. (2023). Unlocking the Potential of Spent Mushroom Substrate (SMS) for Enhanced Agricultural Sustainability: From Environmental Benefits to Poultry Nutrition. *Life*, 13(10), <https://doi.org/10.3390/life13101948>
24. BARSZCZ, M. – TUŚNIO, A. – TACIAK, M. (2024). Poultry nutrition. *Physical Sciences Reviews*, 9(2), 611–650. <https://doi.org/10.1515/psr-2021-0122>
25. BARROS, A.A.B. – BELL, V. – FERRÃO, J.G.E. (2016). Mushroom biomass: Some clinical implications of  $\beta$ -glucans and enzymes. *Journal of Food and Nutrition Sciences*. <https://dx.doi.org/10.12944/CRNFSJ.4.Special-Issue-October.06>
26. BAWADEKJI, A. – MRIDHA, M. A. U. – AL ALI, M. – JAMITH BASHA, W. J. (2017). Antimicrobial activities of oyster mushroom *Pleurotus ostreatus* (Jacq. Ex. Fr.) Kummer. *J. Appl. Environ. Biol. Sci*, 7(10), 227–231. ISSN: 2090-4274

27. BEDERSKA-LOJEWSKA, D. – ŚWIĄTKIEWICZ, S. – MUSZYŃSKA, B. (2017). The use of Basidiomycota mushrooms in poultry nutrition—A review. *Animal Feed Science and Technology*, 230, 59–69.  
<https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2017.06.001>
28. BEDFORD, M. R. – SVIHUS, B. – COWIESON, A. J. (2024). Dietary fibre effects and the interplay with exogenous carbohydrases in poultry nutrition. *Animal Nutrition*, 16, 231–240. <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2023.09.007>
29. BELDOWSKA, A. – BARSZCZ, M. – DUNISLAWSKA, A. (2023). State of the art in research on the gut-liver and gut-brain axis in poultry. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 14(1), 37. <https://doi.org/10.1186/s40104-023-00853-0>
30. BENSON, K. F. – STAMETS, P. – DAVIS, R. – NALLY, R., TAYLOR, A. – SLATER, S. – JENSEN, G. S. (2019). The mycelium of the *Trametes versicolor* (Turkey tail) mushroom and its fermented substrate each show potent and complementary immune-activating properties in vitro. *BMC Complementary and Alternative Medicine*, 19(1), 342. <https://doi.org/10.1186/s12906-019-2681-7>
31. BHATTA, S. – STEVANOVIC JANEZIC, T. – RATTI, C. (2020). Freeze-Drying of Plant-Based Foods. *Foods*, 9(1), 87. <https://doi.org/10.3390/foods9010087>
32. BOLCHINI, S. – MOROZOVA, K. – FERRENTINO, G. – SCAMPICCHIO, M. (2025). Assessing antioxidant properties of Maillard reaction products: Methods and potential applications as food preservatives. *European Food Research and Technology*. <https://doi.org/10.1007/s00217-025-04770-6>
33. BOUREGHDA, Y. – SATHA, H. – BENDEBANE, F. (2021). Chitin–Glucan Complex from *Pleurotus ostreatus* Mushroom: Physicochemical Characterization and Comparison of Extraction Methods. *Waste and Biomass Valorization*, 12(11), 6139–6153. <https://doi.org/10.1007/s12649-021-01449-3>
34. CALDERON-LOPEZ, J. C. – THEPANONDH, S. – SACHDEV, H. – PALENCIA AVELAR, A. M. – DEL CARMEN LEON, M. C. (2021). Sustainability and Economic Feasibility through the Production of Oyster Mushroom (*Pleurotus ostreatus* (Jacq.) P. Kumm.) Derived from the Waste of Coffee Industry: A Case Study in the Western Area of San Salvador, El Salvador. *Polish Journal of Environmental Studies*. <https://doi.org/10.15244/pjoes/135700>
35. CARS, O. – CHANDY, S. J. – MPUNDU, M. – PERALTA, A. Q. – ZORZET, A. – SO, A. D. (2021). Resetting the agenda for antibiotic resistance through a health

- systems perspective. *The Lancet Global Health*, 9(7), e1022–e1027.  
[https://doi.org/10.1016/S2214-109X\(21\)00163-7](https://doi.org/10.1016/S2214-109X(21)00163-7)
36. CERLETTI, C. – ESPOSITO, S. – IACOVIELLO, L. (2021). Edible Mushrooms and Beta-Glucans: Impact on Human Health. *Nutrients*, 13(7), 2195.  
<https://doi.org/10.3390/nu13072195>
37. CSERNUS, B. – BIRÓ, S. – BABINSZKY, L. – KOMLÓSI, I. – JÁVOR, A. – STÜNDL, L. – REMENYIK, J. – BAI, P. – OLÁH, J. – PESTI-ASBÓTH, G. et al. (2020). Effect of carotenoids, oligosaccharides and anthocyanins on growth performance, immunological parameters and intestinal morphology in broiler chickens challenged with *Escherichia coli* lipopolysaccharide. *Animals*, 10, 347.  
<https://doi.org/10.3390/ani10020347>
38. CHANG, R. – CHEN, L. – QAMAR, M. – WEN, Y. – LI, L. – ZHANG, J. – LI, X. – ASSADPOUR, E. – ESATBEYOGLU, T. – KHARAZMI, M. S. – LI, Y. – JAFARI, S. M. (2023). The bioavailability, metabolism and microbial modulation of curcumin-loaded nanodelivery systems. *Advances in Colloid and Interface Science*, 318, 102933.  
<https://doi.org/10.1016/j.cis.2023.102933>
39. CHANG, S.-C. – LIN, M.-J. – CHAO, Y.-P. – CHIANG, C.-J. – JEA, Y.-S. – LEE, T.-T. (2016). Effects of spent mushroom compost meal on growth performance and meat characteristics of grower geese. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 45, 281–287.  
<https://doi.org/10.1590/S1806-92902016000600001>
40. CHANGQING, T. – XINGYUE, Z. – FEI, Z. – QIANCHENG, Z. – WEI, L. (2022). Anti-tumor, immunomodulatory, hepatoprotective and antioxidant activity of oysters polysaccharides. *Научные труды Дальрыбвтуза*, 59(1), 6–21.
41. CHEN, M. – WANG, Z. – HE, Y. – JIA, Y. – WU, L. – ZHAO, R. (2025). Corticosterone reprograms splenic responses to avian pathogenic *Escherichia coli* infection in broiler chickens. *Poultry Science*, 104, 106030.  
<https://doi.org/10.1016/j.psj.2025>
42. COLLINS, S. – REID, G. (2016). Distant Site Effects of Ingested Prebiotics. *Nutrients*, 8(9), 523. <https://doi.org/10.3390/nu8090523>
43. COX, C. M. – DALLOUL, R. A. (2010). Beta-Glucans as Immunomodulators in Poultry: Use and Potential Applications. *Avian Biology Research*, 3(4), 171–178.  
<https://doi.org/10.3184/175815511X12919999481888>

44. CUI, Z. – YAN, H. – MANOLI, T. – MO, H. – BI, J. – ZHANG, H. (2021). Advantages and Challenges of Sous Vide Cooking Food Science and Technology Research, 27(1), 25–34. <https://doi.org/10.3136/fstr.27.25>
45. DABROWSKI, W. – SIWICKA-GIEROBA, D. – KOTFIS, K., ZAID, S., TERPILOWSKA, S. – ROBBA, C. – SIWICKI, A. K. (2021). The Brain-gut Axis-where are we now and how can we Modulate these Connections? Current Neuropharmacology, 19(8), 1164–1177. <https://doi.org/10.2174/1570159X18666201119155535>
46. DALONSO, N. – GOLDMAN, G. H. – GERN, R. M. M. (2015).  $\beta$ -(1→3),(1→6)-Glucans: Medicinal activities, characterization, biosynthesis and new horizons. Applied Microbiology and Biotechnology, 99(19), 7893–7906. <https://doi.org/10.1007/s00253-015-6849-x>
47. DANESHMAND, A. – SADEGHI, G. H. – KARIMI, A. –VAZIRY, A. (2011). Effect of oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*) with and without probiotic on growth performance and some blood parameters of male broilers. Animal feed science and technology, 170(1–2), 91–96. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2011.08.008>
48. DANG, D. X. – CHO, S. – WANG, H. – SEOK, W. J. – HA, J. H. – KIM, I. H. (2022). Quercetin extracted from Sophora japonica flower improves growth performance, nutrient digestibility, cecal microbiota, organ indexes, and breast quality in broiler chicks. Animal Bioscience, 35(4), 577–586. <https://doi.org/10.5713/ab.21.0331>
49. D’CUNHA, N. M. – SERGI, D. – LANE, M. M. – NAUMOVSKI, N. – GAMAGE, E. – RAJENDRAN, A. – KOUVARI, M. – GAUCI, S. – DISSANAYKA, T. – MARX, W. – TRAVICA, N. (2022). The Effects of Dietary Advanced Glycation End-Products on Neurocognitive and Mental Disorders. Nutrients, 14(12), 2421. <https://doi.org/10.3390/nu14122421>
50. DEVNATH, R. (2021). The productivity and meat quality of broiler chicken fed mushroom supplemented diet [PhD Thesis]. Chattogram Veterinary and Animal Sciences University Chattogram-4225, Bangladesh.
51. DEZFULI, A. A. Z. – ABU-ELGHAIT, M. – SALEM, S. S. (2024). Recent Insights into Nanotechnology in Colorectal Cancer. Applied Biochemistry and Biotechnology, 196(7), 4457–4471. <https://doi.org/10.1007/s12010-023-04696-3>
52. DHUNGEL, P. – HRYNETS, Y. – BETTI, M. (2018). Sous-Vide Nonenzymatic Browning of Glucosamine at Different Temperatures. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 66(17), 4521–4530. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.8b01265>

53. DOMÁN, M. – MAKRAI, L. – VÁSÁRHELYI, B. – BALKA, G. – BÁNYAI, K. (2023). Molecular epidemiology of *Candida albicans* infections revealed dominant genotypes in waterfowls diagnosed with esophageal mycosis. *Frontiers in Veterinary Science*, 10, 1215624. <https://doi.org/10.3389/fvets.2023.1215624>
54. DUNAIEVSKA, O. F. – HORALSKYI, L. P. – SOKULSKYI, I. M. – RADZIKHOVSKYI, M. L. – GUTYJ, B. V. (2023). Influence of protein-vitamin mineral supplements on the splenic morphometric parameters of quails. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*, 14, 242–247. <https://doi.org/10.15421/022336>
55. DREŽEK, J. – MOŽEJKO-CIESIELSKA, J. (2025). Production of  $\beta$ -glucans by *Pleurotus ostreatus*: Cultivation and genetic background. <https://doi.org/10.3390/ijms26199703>
56. EBEID, T. A. – TUMOVÁ, E. – AL-HOMIDAN, I. H. – KETTA, M. – CHODOVÁ, D. (2022). Recent advances in the role of feed restriction in poultry productivity: Part I-performance, gut development, microbiota and immune response. *World's Poultry Science Journal*, 78(4), 971–988. <https://doi.org/10.1080/00439339.2022.2097149>
57. EFFIONG, M. E. – UMEOKWOCHI, C. P. – AFOLABI, I. S. – CHINEDU, S. N. (2024). Assessing the nutritional quality of *Pleurotus ostreatus* (oyster mushroom). *Frontiers in Nutrition*, 10, 1279208. <https://doi.org/10.3389/fnut.2023.1279208>
58. EL-MARADNY, Y. A. – EL-FAKHARANY, E. M. – ABU-SERIE, M. M. – HASHISH, M. H. – SELIM, H. S. (2021). Lectins purified from medicinal and edible mushrooms: Insights into their antiviral activity against pathogenic viruses. *International journal of biological macromolecules*, 179, 239–258. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.03.015>
59. EL-RAMADY, H. – ABDALLA, N. – BADGAR, K. – LLANAJ, X. – TÖRÖS, G., HAJDÚ, P. – EID, Y. – PROKISCH, J. (2022). Edible Mushrooms for Sustainable and Healthy Human Food: Nutritional and Medicinal Attributes. *Sustainability*, 14(9), 4941. <https://doi.org/10.3390/su14094941>
60. EL-RAMADY, H. – ABDALLA, N. – FAWZY, Z. – BADGAR, K. – LLANAJ, X. – TÖRÖS, G. – HAJDÚ, P. – EID, Y. – PROKISCH, J. (2022). Green biotechnology of oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus* L.): A sustainable strategy for myco-remediation and bio-fermentation. *Sustainability*, 14(6), <https://doi.org/10.3390/su14063667>

61. ELSAKHAWY, T. – OMARA, A. E.-D. – ABOWALY, M. – EL-RAMADY, H. V BADGAR, K. – LLANAJ, X. – TÖRÖS, G. – HAJDÚ, P. – PROKISCH, J. (2022). Green Synthesis of Nanoparticles by Mushrooms: A Crucial Dimension for Sustainable Soil Management. *Sustainability*, 14(7), <https://doi.org/10.3390/su14074328>
62. EL-SAYED, H. – EL-GAMILY, E. – HASSANINE, N. – MOHAMMED, A. (2013). Studies on Nutrition of Mushroom: 1-Effect of Amino Acids and Vitamin B Complex on Growth and Productivity of Oyster Mushroom. *Journal of Plant Production*, 4(10), 1543–1554. <https://doi.org/10.21608/jpp.2013.74205>
63. EZZAT, W. – MAHROSE, K. M. – RIZK, A. M. – OUDA, M. M. M. – FATHEY, I. A. – OTHMAN, S. I. – ALLAM, A. A. – RUDAYNI, H. A. – ALMASMOUM, H. A. – TAHA, A. E. – FELEMBAN, S. G. – TELLEZ-ISAIAS, G. – ABD EL-HACK, M. E. (2024). Impact of  $\beta$ -glucan dietary supplementation on productive, reproductive performance and physiological response of laying hens under heat stress conditions. *Poultry Science*, 103(1), <https://doi.org/10.1016/j.psj.2023.103183>
64. FADL, S. E. – EL-GAMMAL, G. A. – SAKR, O. A. – SALAH, A. A. B. S. – ATIA, A. A. – PRINCE, A. M. – HEGAZY, A. M. (2020). Impact of dietary Mannan-oligosaccharide and  $\beta$ -Glucan supplementation on growth, histopathology, *E. coli* colonization, and hepatic transcripts of TNF- $\alpha$  and NF- $\kappa$ B of broiler challenged with *E. coli* O78. *BMC Veterinary Research*, 16(1), 204. <https://doi.org/10.1186/s12917-020-02423-2>
65. FANG, H. – AOKI, K. – TOKINOYA, K. – YONAMINE, M. – SUGASAWA, T. – KAWAKAMI, Y. – TAKEKOSHI, K. (2022). Effects of High-Fat Diet on the Gut Microbiota of Renalase Gene Knockout Mice. *Obesities*, 2(3), 303–316. <https://doi.org/10.3390/obesities2030025>
66. FARD, S. H. – TOGHYANI, M. – TABEIDIAN, S. A. (2014). Effect of oyster mushroom wastes on performance, immune responses and intestinal morphology of broiler chickens. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 3, 141–146. <https://doi.org/10.1007/s40093-014-0076-9>
67. FAROOQ, M. – SMOGLICA, C. – RUFFINI, F. – SOLDATI, L. – MARSILIO, F. – DI FRANCESCO, C. E. (2022). Antibiotic Resistance Genes Occurrence in Conventional and Antibiotic-Free Poultry Farming, Italy. *Animals*, 12(18), 2310. <https://doi.org/10.3390/ani12182310>
68. FERNANDES, A. – NAIR, A. – KULKARNI, N. – TODEWALE, N. – JOBBY, R. (2023). Exploring Mushroom Polysaccharides for the Development of Novel

- Prebiotics: A Review. *International Journal of Medicinal Mushrooms*, 25(2), 1–10.  
<https://doi.org/10.1615/IntJMedMushrooms.2022046837>
69. FISCHER, A. H. – JACOBSON, K. A. – ROSE, J. – ZELLER, R. (2008). Hematoxylin and Eosin Staining of Tissue and Cell Sections. *Cold Spring Harbor Protocols*, 2008(5), pdb.prot4986. <https://doi.org/10.1101/pdb.prot4986>
  70. FLOROWSKA, A. – HILAL, A. – FLOROWSKI, T. (2022). Prebiotics and synbiotics. In *Probiotics* (o. 19–37). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85170-1.00018-X>
  71. FOLUKE, A. – OLUTAYO, A. – OLUFEMI, A. (2014). Assessing spent mushroom substrate as a replacement to wheat bran in the diet of broilers. *American International Journal of Contemporary Research*, 4(4), 178–183.
  72. FOTSCHKI, B. – WICZKOWSKI, W. – SAWICKI, T. – SÓJKA, M. – MYSZCZYŃSKI, K. – OGNIK, K. – JUŚKIEWICZ, J. (2022b). Stimulation of the intestinal microbiota with prebiotics enhances hepatic levels of dietary polyphenolic compounds, lipid metabolism and antioxidant status in healthy rats. *Food Research International*, 160, 111754. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.111754>
  73. GAHRUIE, H. H. – ESKANDARI, M. H. – MOUSAVI KHANEGHAH, A. – GHIASI, F. (2021). *Physicochemical and Enzymatic Modification of Gums: Synthesis, Characterization and Application*. Springer International Publishing.  
<https://doi.org/10.1007/978-3-030-87996-9>
  74. GALARNEAU, K. D. – SINGER, R. S. – WILLS, R. W. (2020). A system dynamics model for disease management in poultry production. *Poultry science*, 99(11), 5547–5559. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2020.08.011>
  75. GANGWAR, R. – SALEM, M. M. – MAURYA, V. K. – BEKHIT, M. M. – SINGH, N. – AMARA, A. A. A. F. – SAHU, R. K. – IBRAHIM, M. A. (2024). Exploring time-killing and biofilm inhibition potential of bioactive proteins extracted from two varieties of *Pleurotus ostreatus*. *Frontiers in Microbiology*, 15, 1456358. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2024.1456358>
  76. GARCIA, I. M. – S. ROJAS, A. – MONTERO, D. – ARELLANO, M. (2020). Evaluation of Total Polyphenols and Antioxidant Capacity in Mushroom Extracts *Pleurotus ostreatus* and *Lentinula edodes*. *International Journal of Current Pharmaceutical Research*, 96–99. <https://doi.org/10.22159/ijcpr.2020v12i2.37499>

77. GASHAW, G. – FASSIL, A. – REDI, F. (2020). Evaluation of the Antibacterial Activity of *Pleurotus* spp. Cultivated on Different Agricultural Wastes in Chiro, Ethiopia. *International Journal of Microbiology*, 2020, 1–9. <https://doi.org/10.1155/2020/9312489>
78. GIBSON, G. R. – FULLER, R. (2000). Aspects of In Vitro and In Vivo Research Approaches Directed Toward Identifying Probiotics and Prebiotics for Human Use. *The Journal of Nutrition*, 130(2), 391S–395S. <https://doi.org/10.1093/jn/130.2.391s>
79. GOLOVKO, O. – KACZMAREK, M. – ASP, H. – BERGSTRAND, K.-J. – AHRENS, L. – HULTBERG, M. (2022). Uptake of perfluoroalkyl substances, pharmaceuticals, and parabens by oyster mushrooms (*Pleurotus ostreatus*) and exposure risk in human consumption. *Chemosphere*, 291, 132898. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.132898>
80. GUAN, Z. – FENG, Q. (2022). Chitosan and chitooligosaccharide: The promising non-plant-derived prebiotics with multiple biological activities. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(12), 6761. <https://doi.org/10.3390/ijms23126761>
81. GUTIÉRREZ-FERNÁNDEZ, L. – SAN ANDRÉS, M. P. – DÍEZ-PASCUAL, A. M. (2024). Nanomaterials As Sorbents in Solid-Phase Extraction for Bioactive Compounds. *Separation & Purification Reviews*, 1–21. <https://doi.org/10.1080/15422119.2024.2362401>
82. HABIBA, U. E. – KHAN, A. – MMBAGA, E. J. – GREEN, I. R. – ASADUZZAMAN, M. (2023). Use of antibiotics in poultry and poultry farmers-A cross-sectional survey in Pakistan. *Frontiers in Public Health*, 11, 1154668. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2023.1154668>
83. HABINSHUTI, I. – CHEN, X. – YU, J. – MUKESHIMANA, O. – DUHORANIMANA, E. – KARANGWA, E. – MUHOZA, B. – ZHANG, M. – XIA, S. – ZHANG, X. (2019). Antimicrobial, antioxidant and sensory properties of Maillard reaction products (MRPs) derived from sunflower, soybean and corn meal hydrolysates. *LWT*, 101, 694–702. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.11.083>
84. HAMAD, D. – EL-SAYED, H. – AHMED, W. – SONBOL, H. – RAMADAN, M. A. H. (2022). GC-MS Analysis of Potentially Volatile Compounds of *Pleurotus ostreatus* Polar Extract: In vitro Antimicrobial, Cytotoxic, Immunomodulatory, and Antioxidant Activities. *Frontiers in Microbiology*, 13, 396. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.834525>
85. HASSAN, R. A. – SHAFI, M. E. – ATTIA, K. M. – ASSAR, M. H. (2020). Influence of oyster mushroom waste on growth performance, immunity and intestinal

morphology compared with antibiotics in broiler chickens. *Frontiers in Veterinary Science*, 7, 333. <https://doi.org/10.3389/fvets.2020.00333>

86. HOULDSWORTH, A. (2023). Role of oxidative stress in neurodegenerative disorders: A review of reactive oxygen species and prevention by antioxidants. *Brain Communications*, 6(1), fcad356. <https://doi.org/10.1093/braincomms/fcad356>

87. HU, Y. – XU, J. – SHENG, Y. – LIU, J. – LI, H. – GUO, M. – XU, W. – LUO, Y. – HUANG, K. – HE, X. (2022). *Pleurotus ostreatus* ameliorates obesity by modulating the gut microbiota in obese mice induced by high-fat diet. *Nutrients*, 14(9), 1868. <https://doi.org/10.3390/nu14091868>

88. HUANG, C.-C. – HUNG, Y.-S. – WENG, Y.-M. – CHEN, W. – LAI, Y.-S. (2019). Sustainable development of carbon nanodots technology: Natural products as a carbon source and applications to food safety. *Trends in Food Science & Technology*, 86, 144–152. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.02.016>

89. HUQ, T. – KHAN, A. – BROWN, D. – DHAYAGUDE, N. – HE, Z. – NI, Y. (2022). Sources, production and commercial applications of fungal chitosan: A review. *Journal of Bioresources and Bioproducts*, 7(2), 85–98. <https://doi.org/10.1016/j.jobab.2022.01.002>

90. INYOD, T. – AYIMBILA, F. – PAYAPANON, A. – KEAWSOMPONG, S. (2022). Antioxidant activities and prebiotic properties of the tropical mushroom *Macrocybe crassa*. *Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre*, 27, 100298. <https://doi.org/10.1016/j.bcdf.2021.100298>

91. ISMAYILZADA, S. (2020). Morphometric parameters and the dynamics of development of quail (*Coturnix coturnix*) spleen. *Egyptian Journal of Veterinary Sciences*, 51, 55–59. <https://doi.org/10.21608/ejvs.2019.16861.1096>

92. IZHAM, I. – AVIN, F. – RASEETHA, S. (2022). Systematic review: Heat treatments on phenolic content, antioxidant activity, and sensory quality of Malaysian mushroom: Oyster (*Pleurotus* spp.) and Black Jelly (*Auricularia* spp.). *Front. Sustain. Food Syst.* 6:882939. doi: 10.3389/fsufs.2022.882939

93. IZZO, C. – VITILLO, P. – DI PIETRO, P. – VISCO, V. – STRIANESE, A. – VIRTUOSO, N. – CICCARELLI, M. – GALASSO, G. – CARRIZZO, A. – VECCHIONE, C. (2021). The Role of Oxidative Stress in Cardiovascular Aging and Cardiovascular Diseases. *Life*, 11(1), 60. <https://doi.org/10.3390/life11010060>

94. JACOB, J. – PESCATORE, A. (2017). Glucans and the Poultry Immune System. *American Journal of Immunology*, 13(1), 45–49.

<https://doi.org/10.3844/ajisp.2017.45.49>

95. JIA, W. – GUO, A. – ZHANG, R. – SHI, L. (2023). Mechanism of natural antioxidants regulating advanced glycosylation end products of Maillard reaction. *Food Chemistry*, 404, 134541. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.134541>
96. KAUR GILL, M. – KOCHER, G. S. – SINGH PANESAR, A. (2022). Evaluation of fungal consortium lignozyme for biodelignification of agricultural residues. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, 16(6), 1772–1780. <https://doi.org/10.1002/bbb.2424>
97. KAUR, R. – SHARMA, M. – JI, D., XU, M. – AGYEI, D. (2019). Structural Features, Modification, and Functionalities of Beta-Glucan. *Fibers*, 8(1), 1. <https://doi.org/10.3390/fib8010001>
98. KEREZOUDI, E. N. – MITSOU, E. K. – GIOTI, K. – TERZI, E. – AVGOUSTI, I. – PANAGIOTOU, A. – KOUTROTSIOS, G. – ZERVAKIS, G. I. – MOUNTZOURIS, K. C. – TENTA, R. – KYRIACOU, A. (2021). Fermentation of *Pleurotus ostreatus* and *Ganoderma lucidum* mushrooms and their extracts by the gut microbiota of healthy and osteopenic women: Potential prebiotic effect and impact of mushroom fermentation products on human osteoblasts. *Food & Function*, 12(4), 1529–1546. <https://doi.org/10.1039/D0FO02581J>
99. KHOMAYEZI, R. – ADEWOLE, D. (2022). Probiotics, prebiotics, and synbiotics: An overview of their delivery routes and effects on growth and health of broiler chickens. *World's Poultry Science Journal*, 78(1), 57–81. <https://doi.org/10.1080/00439339.2022.1988804>
100. KILIÇ, C. – GÜRGEN, A. – YILDIZ, S. – CAN, Z. – DEĞİRMENCI, A. (2024). Total phenolics, tannin contents, antioxidant properties, protein, and sensory analysis of *Pleurotus ostreatus*, *Pleurotus citrinopileatus*, and *Pleurotus djamor* cultivated on different sawdusts. *Maderas-Cienc Tecnol*, 26. <https://doi.org/10.22320/s0718221x/2024.20>
101. KOGA, T. – NISHIHARA, T. – FUJIWARA, T. – NISIZAWA, T. – OKAHASHI, N. – NOGUCHI, T. – HAMADA, S. (1985). Biochemical and immunobiological properties of lipopolysaccharide (LPS) from *Bacteroides gingivalis* and comparison with LPS from *Escherichia coli*. *Infection and Immunity*, 47(3), 638–647. <https://doi.org/10.1128/iai.47.3.638-647.1985>
102. KOUTROTSIOS, G. – PATSOU, M. – MITSOU, E. K. – BEKIARIS, G. – KOTSOU, M. – TARANTILIS, P. A. – PLE TSA, V. – KYRIACOU, A. – ZERVAKIS, G. I. (2019). Valorization of Olive By-Products as Substrates for the Cultivation of

- Ganoderma lucidum* and *Pleurotus ostreatus* Mushrooms with Enhanced Functional and Prebiotic Properties. *Catalysts*, 9(6), 537. <https://doi.org/10.3390/catal9060537>
103. KUKUMINATO, S. – KOYAMA, K. – KOSEKI, S. (2021). Antibacterial Properties of Melanoidins Produced from Various Combinations of Maillard Reaction against Pathogenic Bacteria. *Microbiology Spectrum*, 9(3), e01142-21. <https://doi.org/10.1128/spectrum.01142-21>
  104. KUMAR, K. – KUMAR, S. – KUMAR, V. – PRAKASH, V. – SINGH, S. – SINGH, B. – ROUT, S. (2023). Performance of Broiler Chickens Supplemented with Dried Mushroom in Their Diet. *International Journal of Environment and Climate Change*, 13(9), 356–364. <https://doi.org/10.9734/ijecc/2023/v13i92240>
  105. LA BAZYMA – VA KUTOVOY. (2005). Vacuum drying and hybrid technologies. *Stewart Postharvest Review*, 1(4), 1–4. <https://doi.org/10.2212/spr.2005.4.7>
  106. LANDI, N. – CLEMENTE, A. – PEDONE, P. V. – RAGUCCI, S. – DI MARO, A. (2022). An Updated Review of Bioactive Peptides from Mushrooms in a Well-Defined Molecular Weight Range. *Toxins*, 14(2), 84. <https://doi.org/10.3390/toxins14020084>
  107. LANSFORD, R. – CHENG, K. M. (2024). The Japanese quail. In: GOLLEDGE, H. – RICHARDSON, C. (szerk.): *The UFAW Handbook on the Care and Management of Laboratory and Other Research Animals*. Wiley, 762–786. ISBN: 978-1-119-55524-7
  108. LEE, C.-H. – CHEN, K.-T. – LIN, J.-A. – CHEN, Y.-T. – CHEN, Y.-A. – WU, J.-T. – HSIEH, C.-W. (2019). Recent advances in processing technology to reduce 5-hydroxymethylfurfural in foods. *Trends in Food Science & Technology*, 93, 271–280. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.09.021>
  109. LEPCZYŃSKI, A. – HEROSIMCZYK, A. – BUCLAW, M. – ADASZYŃSKA-SKWIRZYŃSKA, M. (2024). Antibiotics in avian care and husbandry-status and alternative antimicrobials. *Physical Sciences Reviews*, 9(2), 701–753. <https://doi.org/10.1515/psr-2021-0123>
  110. LESA, K. N. – KHANDAKER, M. U. – MOHAMMAD RASHED IQBAL, F. – SHARMA, R., ISLAM, F. – MITRA, S. – EMRAN, T. B. (2022). Nutritional value, medicinal importance, and health-promoting effects of dietary mushroom (*Pleurotus ostreatus*). *Journal of Food Quality*, 2022. <https://doi.org/10.1155/2022/2454180>
  111. LI, G., WANG, Y. – YU, D. – ZHU, P. – ZHAO, G. – LIU, C. – ZHAO, H. (2022). Ligninolytic characteristics of *Pleurotus ostreatus* cultivated in cotton stalk media. *Frontiers in Microbiology*, 13, 1035040.

<https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.1035040>

112. LI, K. – DENG, Z. – LEI, C. – DING, X. – LI, J. – WANG, C. (2024). The Role of Oxidative Stress in Tumorigenesis and Progression. *Cells*, 13(5), 441. <https://doi.org/10.3390/cells13050441>

113. LI, S. – WANG, C. – DAI, Y. – DAI, J. – WANG, W. (2025). Novel technologies, effects and applications of modified plant proteins by Maillard reaction and strategies for regulation: A review. *Food Research International*, 204, 115959. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2025.115959>

114. LI, Z. – ZHANG, B. – ZHU, W. – LIN, Y. – LINLIN, J. – ZHU, F. – GUO, Y. (2023). In vitro screening of non-antibiotic alternative growth promoter combinations in broilers. *bioRxiv*, 2023–03. <https://doi.org/10.1101/2023.03.23.534037>

115. LIMA, G. A. – BARBOSA, B. F. S. – ARAUJO, R. G. A. C. – POLIDORO, B. R. – POLYCARPO, G. V. – ZIED, D. C. – BILLER, J. D. – VENTURA, G. – MODESTO, I. M. – MADEIRA, A. M. B. N. – CRUZ-POLYCARPO, V. C. (2021). *Agaricus subrufescens* and *Pleurotus ostreatus* mushrooms as alternative additives to antibiotics in diets for broilers challenged with *Eimeria* spp. *British Poultry Science*, 62(2), 251–260. <https://doi.org/10.1080/00071668.2020.1837344>

116. LIMA, M. B. – SAKOMURA, N. K. – SILVA, E. P. – LEME, B. B. – MALHEIROS, E. B. – PERUZZI, N. J. – FERNANDES, J. B. K. (2020). Arginine requirements for maintenance and egg production for broiler breeder hens. *Animal Feed Science and Technology*, 264, 114466. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2020.114466>

117. LIN, X. – XU, J.-L. – SUN, D.-W. (2019). Investigation of moisture content uniformity of microwave-vacuum dried mushroom (*Agaricus bisporus*) by NIR hyperspectral imaging. *LWT*, 109, 108–117. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.03.034>

118. LIN, Y. – HE, L. – XU, Q. – GU, H. – SUN, P. (2025). Effects of Different Drying Methods on the Quality and Maillard Reaction Products of *Angelica sinensis*. *SSRN*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.5081839>

119. LIU, M. – CHENG, J.-H. – ZHAO, H. – YU, C. – WU, J. (2024). Targeting the outer membrane of gram-negative foodborne pathogens for food safety: Compositions, functions, and disruption strategies. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 1–14. <https://doi.org/10.1080/10408398.2024.2397462>

120. LIU, M. – MA, H. – LIANG, Y. – SUN, L. – LI, J. – DANG, W. – LI, L. – ZHENG, X. – LV, Q. – ZHANG, X. (2022). Effect of multiple freezing/thawing cycles on the physicochemical properties and structural characteristics of starch from wheat

- flours with different gluten strength. *International Journal of Biological Macromolecules*, 194, 619–625. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.11.105>
121. LIU, X. – XIA, B. – HU, L. – NI, Z. – THAKUR, K. – WEI, Z. (2020). Maillard conjugates and their potential in food and nutritional industries: A review. *Food Frontiers*, 1(4), 382–397. <https://doi.org/10.1002/fft2.43>
  122. LLANAJ, X. – TÖRÖS, G. – HAJDÚ, P. – ABDALLA, N. – EL-RAMADY, H. – KISS, A. – SOLBERG, S. Ø. – PROKISCH, J. (2023). Biotechnological Applications of Mushrooms under the Water-Energy-Food Nexus: Crucial Aspects and Prospects from Farm to Pharmacy. *Foods*, 12(14), Article 14. <https://doi.org/10.3390/foods12142671>
  123. LOBIUC, A. – PAVĂL, N.-E. – MANGALAGIU, I. I. – GHEORGHITĂ, R. – TELIBAN, G.-C. – AMĂRIUCĂI-MANTU, D. – STOLERU, V. (2023). Future antimicrobials: Natural and functionalized phenolics. *Molecules*, 28(3), <https://doi.org/10.3390/molecules28031114>
  124. LOO, Y. T. – HOWELL, K. – CHAN, M. – ZHANG, P. – NG, K. (2020). Modulation of the human gut microbiota by phenolics and phenolic fiber-rich foods. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 19(4), 1268–1298. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12563>
  125. LYSENKO, V. – KUZNIETSOVA, H. – DZIUBENKO, N. – BYELINSKA, I. – ZADERKO, A. – LYSENKO, T. – SKRYSHEVSKY, V. (2024). Application of Carbon Dots as Antibacterial Agents: A Mini Review. *BioNanoScience*, 14(2), 1819–1831. <https://doi.org/10.1007/s12668-024-01415-y>
  126. MAHFUZ, S. – HE, T. – LIU, S. – WU, D. – LONG, S. – PIAO, X. (2019). Dietary inclusion of mushroom (*Flammulina velutipes*) stem waste on growth performance, antibody response, immune status, and serum cholesterol in broiler chickens. *Animals*, 9(9), 692. <https://doi.org/10.3390/ani9090692>
  127. MAHFUZ, S. U. – LONG, S. F. – PIAO, X. S. (2020). Role of medicinal mushroom on growth performance and physiological responses in broiler chicken. *World's Poultry Science Journal*, 76(1), 74–90. <https://doi.org/10.1080/00439339.2020.1729670>
  128. MALHAN, A. – GULERIA, M. – DAS, U. – SINGH, S. – PRAJAPATI, B. G. – MOHITE, P. – BHATTACHARYA, S. – CHIDRAWAR, V. R. – PURI, A. – DATTA, D. (2024). Navigating the future of cancer management through carbon nanodots: A review. *Nano-Structures & Nano-Objects*, 39, 101217. <https://doi.org/10.1016/j.nanoso.2024.101217>

129. MALLIORIS, P. – TEUNIS, G. – LAGERWEIJ, G. – JOOSTEN, P. – DEWULF, J. – WAGENAAR, J. A. – STEGEMAN, A. – MUGHINI-GRAS, L. (2023) Biosecurity and antimicrobial use in broiler farms across nine European countries: Toward identifying farm-specific options for reducing antimicrobial usage. *Epidemiology and Infection*, 151, e13. <https://doi.org/10.1017/S0950268822001960>
130. MANDAL, S. M. – DIAS, R. O. – FRANCO, O. L. (2017). Phenolic Compounds in Antimicrobial Therapy. *Journal of Medicinal Food*, 20(10), 1031–1038. <https://doi.org/10.1089/jmf.2017.0017>
131. MANZOOR, S. – WANI, S. M. – AHMAD MIR, S. – RIZWAN, D. (2022). Role of probiotics and prebiotics in mitigation of different diseases. *Nutrition*, 96, 111602. <https://doi.org/10.1016/j.nut.2022.111602>
132. MARTINEZ-GOMEZ, A. – CABALLERO, I. – BLANCO, C. A. (2020). Phenols and Melanoidins as Natural Antioxidants in Beer. Structure, Reactivity and Antioxidant Activity. *Biomolecules*, 10(3), 400. <https://doi.org/10.3390/biom10030400>
133. MARTINS, F. C. O. L. – ALCANTARA, G. M. R. N. – SILVA, A. F. S. – MELCHERT, W. R. – ROCHA, F. R. P. (2022). The role of 5-hydroxymethylfurfural in food and recent advances in analytical methods. *Food Chemistry*, 395, 133539. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.133539>
134. MCCLEARY, B. V. – DRAGA, A. (2016). Measurement of  $\beta$ -Glucan in Mushrooms and Mycelial Products. *Journal of AOAC INTERNATIONAL*, 99(2), 364–373. <https://doi.org/10.5740/jaoacint.15-0289>
135. MELANOURI, E.-M. – DEDOUSI, M. – DIAMANTOPOULOU, P. (2022). Cultivating *Pleurotus ostreatus* and *Pleurotus eryngii* mushroom strains on agro-industrial residues in solid-state fermentation. Part I: Screening for growth, endoglucanase, laccase and biomass production in the colonization phase. *Carbon Resources Conversion*, 5(1), 61–70. <https://doi.org/10.1016/j.crcon.2021.12.004>
136. MIROŃCZUK-CHODAKOWSKA, I. – WITKOWSKA, A. M. (2020). Evaluation of Polish Wild Mushrooms as Beta-Glucan Sources. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(19), 7299. <https://doi.org/10.3390/ijerph17197299>
137. MIHAI, R. A. – MELO HERAS, E. J. – FLORESCU, L. I. – CATANA, R. D. (2022). The Edible Gray Oyster Fungi *Pleurotus ostreatus* (Jacq. Ex Fr.) P. Kumm a Potent Waste Consumer, a Biofriendly Species with Antioxidant Activity Depending on the Growth Substrate. *Journal of Fungi*, 8(3), 274. <https://doi.org/10.3390/jof8030274>

138. MIZUNO, M. – MINATO, K. (2024). Anti-inflammatory and immunomodulatory properties of polysaccharides in mushrooms. *Current Opinion in Biotechnology*, 86, 103076. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2024.103076>
139. MOHAN, K. – GANESAN, A. R. – EZHILARASI, P. N. – KONDAMAREDDY, K. K. – RAJAN, D. K. – SATHISHKUMAR, P. – RAJARAJESWARAN, J. – CONTERNO, L. (2022). Green and eco-friendly approaches for the extraction of chitin and chitosan: A review. *Carbohydrate Polymers*, 287, 119349. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2022.119349>
140. MONGUIÓ-TORTAJADA, M. – FRANQUESA, M. – SARRIAS, M.-R. – BORRÀS, F. E. (2018). Low doses of LPS exacerbate the inflammatory response and trigger death on TLR3-primed human monocytes. *Cell Death & Disease*, 9(5), 499. <https://doi.org/10.1038/s41419-018-0520-2>
141. MORALES-LOPEZ, R. – BRUFAU, J. (2013). Immune-modulatory effects of dietary *Saccharomyces cerevisiae* cell wall in broiler chickens inoculated with *Escherichia coli* lipopolysaccharide. *British Poultry Science*, 54(2), 247–251. <https://doi.org/10.1080/00071668.2013.782386>
142. MORGAN, N. K. (2023). Advances in prebiotics for poultry: Role of the caeca and oligosaccharides. *Animal Production Science*. 63(18) 1911-1925 <https://doi.org/10.1071/AN23011>
143. MOUMITA, S. – DAS, B. (2022). Assessment of the prebiotic potential and bioactive components of common edible mushrooms in India and formulation of synbiotic microcapsules. *LWT*, 156, 113050. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.113050>
144. MUNYAKA, P. M. – ECHEVERRY, H. – YITBAREK, A. – CAMELO-JAIMES, G. – SHARIF, S. – GUENTER, W. – HOUSE, J. D. – RODRIGUEZ-LECOMPTÉ, J. C. (2012). Local and systemic innate immunity in broiler chickens supplemented with yeast-derived carbohydrates. *Poultry Science*, 91(9), 2164–2172. <https://doi.org/10.3382/ps.2012-02306>
145. MURATA, M. (2021). Browning and pigmentation in food through the Maillard reaction. *Glycoconjugate Journal*, 38(3), 283–292. <https://doi.org/10.1007/s10719-020-09943-x>
146. MURATI, E. – MURATI, A. – KARADELEV, M. (2023). Exploring the potency of wild mushrooms: a compressive review of antifungal activity in the republic of north macedonia. *Journal of Agriculture and Sustainable Rural Development*, 1(1–2), 80–85. ISSN 2955-2257

147. NAIN, S. – BOUR, A. – CHALMERS, C. – SMITS, J. E. G. (2011). Immunotoxicity and disease resistance in Japanese quail (*Coturnix coturnix japonica*) exposed to malathion. *Ecotoxicology*, 20(4), 892–900. <https://doi.org/10.1007/s10646-011-0657-6>
148. NAIR, R. – PAUL, P. – MAHAJAN, S. – MAJI, I. – GUPTA, U. – AALHATE, M. – SINGH, S. K. – SINGH, P. K. (2024). Correction to: Emerging Era of “Biotics”: Prebiotics, Probiotics, and Synbiotics. In K. Dua (Szerk.), *Synbiotics in Human Health: Biology to Drug Delivery* (o. C1–C1). Springer Nature Singapore. [https://doi.org/10.1007/978-981-99-5575-6\\_36](https://doi.org/10.1007/978-981-99-5575-6_36)
149. NAITO, Y. (2024). Preferences and Antiaging: Coffee and Antiaging. In H. Yamada – N. Yuji (Szerk.), *Anti-Aging Medicine* (o. 507–510). Springer Nature Singapore. [https://doi.org/10.1007/978-981-97-8514-8\\_123](https://doi.org/10.1007/978-981-97-8514-8_123)
150. NASIR, J. A. (2024). Enhancing Growth Performance, Immunity, and Gut Morphology in Quails through Oyster Mushroom Stem Waste Supplementation. *Pakistan Journal of Zoology*. <https://doi.org/10.17582/journal.pjz/20231115021054>
151. NASIRPOUR, A. – SAEIDY, S. (2021). Maillard Modification. *Physicochemical and Enzymatic Modification of Gums: Synthesis, Characterization and Application*, 77.
152. NATSIR, M. H. – WICAKSONO, M. I. T. (2020). The Effect of White Oyster Mushroom (*Pleurotus ostreatus*) Flour Addition in Feed on the Performance of Laying Hens. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 478(1), <https://doi.org/10.1088/1755-1315/478/1/012085>
153. NAZIR, J. (2022). Different dietary levels of lysine have beneficial effects on intestinal morphology in Japanese quail (*Coturnix coturnix japonica*). *Pakistan Veterinary Journal*, 42(4), 475–480. <https://doi.org/10.29261/pakvetj/2022.028>
154. NGUYEN, D. H. H. – MUTHU, A. – EL-RAMADY, H. – DARÓCZI, L., NAGY, L. – KÉKI, S. – BÉNI, Á. – CSARNOVICS, I. – PROKISCH, J. (2024). Optimization of extraction conditions to synthesize green carbon nanodots using the Maillard reaction. *Materials Advances*, 5(8), 3499–3505. <https://doi.org/10.1039/D4MA00037D>
155. NOOSHKAM, M. – FALAH, F. – ZAREIE, Z. – TABATABAEI YAZDI, F. – SHAHIDI, F. – MORTAZAVI, S. A. (2019). Antioxidant potential and antimicrobial activity of chitosan–inulin conjugates obtained through the Maillard reaction. *Food Science and Biotechnology*, 28(6), 1861–1869. <https://doi.org/10.1007/s10068-019-00635-3>

156. OGIDI, O. I. – OGUOMA, L. M. O. – ADIGWE, P. C. – ANTHONY, B. B. (2021). Phytochemical Properties and In-vitro Antimicrobial Potency of Wild Edible Mushrooms (*Pleurotus ostreatus*) obtained from Yenagoa, Nigeri. The Journal of Phytopharmacology, 10(3), 180–184. <https://doi.org/10.31254/phyto.2021.10306>
157. PANDA, S. K. <https://doi.org/> LUYTEN, W. (2022). Medicinal mushrooms: Clinical perspective and challenges. Drug Discovery Today, 27(2), 636–651. <https://doi.org/10.1016/j.drudis.2021.11.017>
158. PANYAKO, P. M. – LICHOTI, J. K. – OMMEH, S. C. (2022). Antimicrobial drug resistance in poultry pathogens: Challenges and opportunities. Journal of Agriculture, Science and Technology, 21(1), 62–82. <https://doi.org/10.4314/jagst.v21i1.7>
159. PAPASPYRIDIS, L.-M. – ZERVA, A. – TOPAKAS, E. (2018). Biocatalytic Synthesis of Fungal  $\beta$ -Glucans. Catalysts, 8(7), 274. <https://doi.org/10.3390/catal8070274>
160. PARK, S. Y. – LEE, H. U. – PARK, E. S. – LEE, S. C. – LEE, J.-W. – JEONG, S. W. – KIM, C. H. – LEE, Y.-C. – HUH, Y. S. – LEE, J. (2014). Photoluminescent Green Carbon Nanodots from Food-Waste-Derived Sources: Large-Scale Synthesis, Properties, and Biomedical Applications. ACS Applied Materials & Interfaces, 6(5), 3365–3370. <https://doi.org/10.1021/am500159p>
161. PARKHI, C. M. – LIVERPOOL-TASIE, L. S. O. – REARDON, T. (2023). Do smaller chicken farms use more antibiotics? Evidence of antibiotic diffusion from Nigeria. Agribusiness, 39(1), 242–262. <https://doi.org/10.1002/agr.21770>
162. PATEL, S. M. – PIKAL, M. J. (2011). Emerging Freeze-Drying Process Development and Scale-up Issues. AAPS PharmSciTech, 12(1), 372–378. <https://doi.org/10.1208/s12249-011-9599-9>
163. PÉREZ-BURILLO, S. – RAJAKARUNA, S. – PASTORIZA, S. – PALIY, O. – ÁNGEL RUFÍAN-HENARES, J. (2020). Bioactivity of food melanoidins is mediated by gut microbiota. Food Chemistry, 316, 126309. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126309>
164. PERMANA, S. – WIBOWO, N. R. K. – ADANI, S. F. – AYULANDA, M. – ENDHARTI, A. T. (2022). The insight of in silico and in vitro evaluation of oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*) against colorectal cancer targeting timp-1. Journal of Southwest Jiaotong University, 57(3), 186–199. <https://doi.org/10.35741/issn.0258-2724.57.3.16>

165. PERROS, A. J. – FLOWER, R. L. – DEAN, M. M. (2020). Inverse relationship between LPS concentration and monocyte and DC inflammatory response. *The Journal of Immunology*, 204(1\_Supplement), 149.13-149.13.  
<https://doi.org/10.4049/jimmunol.204.Supp.149.13>
166. PHILIPPINI, R. R. – MARTINIANO, S. E. – DOS SANTOS, J. C. – DA SILVA, S. S. – CHANDEL, A. K. (2019). Fermentative Production of Beta-Glucan: Properties and Potential Applications. *Bioprocessing for Biomolecules Production* (1. kiad., o. 303–320). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781119434436.ch15>
167. PILMIS, B. – LE MONNIER, A. – ZAHAR, J.-R. (2020). Gut Microbiota, Antibiotic Therapy and Antimicrobial Resistance: A Narrative Review. *Microorganisms*, 8(2), 269. <https://doi.org/10.3390/microorganisms8020269>
168. PISKOV, S. – TIMCHENKO, L. – GRIMM, W.-D. – RZHEPAKOVSKY, I. – AVANESYAN, S. – SIZONENKO, M. – KURCHENKO, V. (2020). Effects of Various Drying Methods on Some Physico-Chemical Properties and the Antioxidant Profile and ACE Inhibition Activity of Oyster Mushrooms (*Pleurotus ostreatus*). *Foods*, 9(2), 160. <https://doi.org/10.3390/foods9020160>
169. PRAJAPATI, B. G. – PANDEY, V. – SHARMA, S. – PATEL, S. – SHAH, D. P. – KAPOOR, D. U. (2024). Carbon Nanodots: An Illuminating Paradigm in Production, Characterization, and Oncological Targeting Methodologies—A Review. *BioNanoScience*. <https://doi.org/10.1007/s12668-024-01567-x>
170. PUROHIT, A. S. – REED, C. – MOHAN, A. (2016). Development and evaluation of quail breakfast sausage. *LWT - Food Science and Technology*, 69, 447–453. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.01.058>
171. QIU, Q. – ZHAN, Z. – ZHOU, Y. – ZHANG, W. – GU, L. – WANG, Q. – HE, J. – LIANG, Y. – ZHOU, W. – LI, Y. (2024). Effects of Yeast Culture on Laying Performance, Antioxidant Properties, Intestinal Morphology, and Intestinal Flora of Laying Hens. *Antioxidants*, 13(7), 779. <https://doi.org/10.3390/antiox13070779>
172. RADA-MENDOZA, M. – VILLAMIEL, M. – RAMÍREZ, A. – USURIAGA, Y. – MONTILLA, A. (2022). Quality indicators in lactose hydrolyzed milks and soy beverages from Colombia. *Journal of Food Science and Technology*, 59(2), 646–654. <https://doi.org/10.1007/s13197-021-05055-y>
173. RAMAN, J. – JANG, K.-Y. – OH, Y.-L. – OH, M. – IM, J.-H. – LAKSHMANAN, H. – SABARATNAM, V. (2021). Cultivation and Nutritional Value of Prominent *Pleurotus* spp.: An Overview. *Mycobiology*, 49(1), 1–14.

<https://doi.org/10.1080/12298093.2020.1835142>

174. REZENDE, E. S. V. – LIMA, G. C. – NAVES, M. M. V. (2021). Dietary fibers as beneficial microbiota modulators: A proposed classification by prebiotic categories. *Nutrition*, 89, 111217. <https://doi.org/10.1016/j.nut.2021.111217>
175. RODRÍGUEZ-BARRERA, T. M. – TÉLLEZ-TÉLLEZ, M. – SÁNCHEZ, J. E. – CASTAÑEDA-RAMIREZ, G. S. – ACOSTA-URDAPILLETA, M. – BAUTISTA-GARFIAS, C. R. – AGUILAR-MARCELINO, L. (2021). Edible mushrooms of the genus *Pleurotus* as biocontrol agents of parasites of importance for livestock. *Scientia fungorum*, 52. <https://doi.org/10.33885/sf.2021.52.1375>
176. ROLDÁN, M. – RUIZ, J. – DEL PULGAR, J. S. – PÉREZ-PALACIOS, T. – ANTEQUERA, T. (2015). Volatile compound profile of sous-vide cooked lamb loins at different temperature–time combinations. *Meat Science*, 100, 52–57. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2014.09.010>
177. ROMERO-ARENAS, O. – MARTÍNEZ CARRERA, M. – LANDETA-CORTÉS, G. – RODRÍGUEZ-HERNÁNDEZ, V. – VILLA-RUANO, N. – RIVERA, A. (2023). Pilot Study of Diet Supplemented with Sold-Out Substrate of *Pleurotus ostreatus* in the Feeding of Backyard Broilers. *Applied Sciences*, 13(13), 7428. <https://doi.org/10.3390/app13137428>
178. RUIZ-RICO, M. – RENWICK, S. – VANCUREN, S. J. – ROBINSON, A. V. – GIANETTO-HILL, C. – ALLEN-VERCOE, E. – BARAT, J. M. (2023). Impact of food preservatives based on immobilized phenolic compounds on an in vitro model of human gut microbiota. *Food Chemistry*, 403, 134363. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.134363>
179. SAWANGWAN, T. – WANSANIT, W. – PATTANI, L. – NOYSANG, C. (2018). Study of prebiotic properties from edible mushroom extraction. *Agriculture and Natural Resources*, 52(6), 519–524. <https://doi.org/10.1016/j.anres.2018.11.020>
180. SCHIPHOF, K. – KAWAUCHI, M. – TSUJI, K. – YOSHIMI, A. – TANAKA, C. – NAKAZAWA, T. – HONDA, Y. (2024). Functional analysis of basidiomycete specific chitin synthase genes in the agaricomycete fungus *Pleurotus ostreatus*. *Fungal Genetics and Biology*, 172, 103893. <https://doi.org/10.1016/j.fgb.2024.103893>
181. SCHIPMANN, D. B. D. – TIMM, T. G. – COSTA, T. M. – TAVARES, L. B. B. (2021). Remediation of brewery wastewater and reuse for  $\beta$ -glucans production by basidiomycete fungi. *Revista de Estudos Ambientais*, 22(2), 32. <https://doi.org/10.7867/1983-1501.2020v22n2p32-42>

182. SEIDAVI, A. – TAVAKOLI, M. – ASROOSH, F. – SCANES, C. G. – ABD EL-HACK, M. E. – NAIEL, M. A. – TAHA, A. E. – ALEYA, L. – EL-TARABILY, K. A. – SWELUM, A. A. (2022). Antioxidant and antimicrobial activities of phytonutrients as antibiotic substitutes in poultry feed. *Environmental Science and Pollution Research*, 1–26. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-17401-w>
183. SELLI, S. – GUCLU, G. – SEVINDIK, O. – KELEBEK, H. (2021). Variations in the key aroma and phenolic compounds of champignon (*Agaricus bisporus*) and oyster (*Pleurotus ostreatus*) mushrooms after two cooking treatments as elucidated by GC–MS–O and LC-DAD-ESI-MS/MS. *Food Chemistry*, 354, <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129576>
184. SETYAWAN, R. H. – ARDIANSYAH, A. – SOLIHAT, N. N. – ELFIRTA, R. R. – SASKIAWAN, I. – NINGRUM, R. S. – WIDHYASTUTI, N. – KASIRAH, K. – SAKSONO, B. – SONDARI, D. – MELANIE, H. – NURHADI, B. – ERMAWAR, R. A. (2024). Chemical structure characterization of edible mushroom-extracted beta-glucan and its bioactivity. *Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre*, 31, 100411. <https://doi.org/10.1016/j.bcdf.2024.100411>
185. SHAHEEN, S. – SHORBAGI, M. – LORENZO, J. M. – FARAG, M. A. (2022). Dissecting dietary melanoidins: Formation mechanisms, gut interactions and functional properties. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 62(32), 8954–8971. <https://doi.org/10.1080/10408398.2021.1937509>
186. SHAHIDI, F. – HOSSAIN, A. (2022). Role of Lipids in Food Flavor Generation. *Molecules*, 27(15), 5014. <https://doi.org/10.3390/molecules27155014>
187. SHAHIDI, F. – YEO, J. (2016). Insoluble-Bound Phenolics in Food. *Molecules*, 21(9), 1216. <https://doi.org/10.3390/molecules21091216>
188. SHAMS, R. – SINGH, J. – DASH, K. K. – DAR, A. H. (2022). Comparative study of freeze drying and cabinet drying of button mushroom. *Applied Food Research*, 2(1), 100084. <https://doi.org/10.1016/j.afres.2022.100084>
189. SHANMUGAVELU, M. – SEVUGAPERUMAL, G. (2021). Screening and Potential Uses of Contaminated Spent Mushroom (*Pleurotus* spp.). In *Emerging Contaminants*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.93863>
190. SHEN, Y. B. – PIAO, X. S. – KIM, S. W. – WANG, L. – LIU, P. (2010). The effects of berberine on the magnitude of the acute inflammatory response induced by *Escherichia coli* lipopolysaccharide in broiler chickens. *Poultry Science*, 89(1), 13–19. <https://doi.org/10.3382/ps.2009-00243>

191. SILVA, V. – ARAÚJO, S. – MONTEIRO, A. – EIRA, J. – PEREIRA, J. E. – MALTEZ, L. – IGREJAS, G. – LEMSADDEK, T. S. – POETA, P. (2023). Staphylococcus aureus and MRSA in Livestock: Antimicrobial Resistance and Genetic Lineages. *Microorganisms*, 11(1), 124.  
<https://doi.org/10.3390/microorganisms11010124>
193. SINGH, R. P. – BHARDWAJ, A. (2023).  $\beta$ -glucans: A potential source for maintaining gut microbiota and the immune system. *Frontiers in Nutrition*, 10,  
<https://doi.org/10.3389/fnut.2023.1143682>
194. SITARA, U. – BALOCH, P. A. – PATHAN, A. U. K. – BHUTTO, M. A. – ALI, Q. M. – ALI, A. – IQBAL, M. (2023). In vitro studies to determine antibacterial and antifungal properties of three *Pleurotus* species (Oyster mushroom). *Pakistan Journal of Botany*, 55(1). [https://doi.org/10.30848/PJB2023-1\(14\)](https://doi.org/10.30848/PJB2023-1(14))
195. SŁAWIŃSKA, A. – SIWEK, M. – ŻYLIŃSKA, J. – BARDOWSKI, J. – BRZEZIŃSKA, J. – GULEWICZ, K. A. – NOWAK, M. – URBANOWSKI, M. – PŁOWIEC, A. – BEDNARCZYK, M. (2014). Influence of Synbiotics Delivered in ovo on Immune Organs Development and Structure. *Folia Biologica*, 62(3), 277–285.  
[https://doi.org/10.3409/fb62\\_3.277](https://doi.org/10.3409/fb62_3.277)
196. SMITH, K. G. – HUNT, J. L. (2004). On the use of spleen mass as a measure of avian immune system strength. *Oecologia*, 138(1), 28–31.  
<https://doi.org/10.1007/s00442-003-1409-y>
197. SOGUNLE, O. M. (2019). Growth performance and blood profile of cockerel chickens on administration of oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*) in water and feed. *Arch. Zootec.* 68 (261): 24-30. <https://doi.org/10.21071/az.v68i261.3935>
198. SOLIS-CRUZ, B. – HERNANDEZ-PATLAN, D. – HARGIS, B. M. – TELLEZ, G. (2019). Use of prebiotics as an alternative to antibiotic growth promoters in the poultry industry. In *Prebiotics and Probiotics: Potential Benefits in Nutrition and Health*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.89053>
199. SOŁOWIEJ, B. G., NASTAJ, M., WARACZEWSKI, R., SZAFRAŃSKA, J. O., MUSZYŃSKI, S., RADZKI, W., & MLEKO, S. (2023). Effect of polysaccharide fraction from oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*) on physicochemical and antioxidative properties of acid casein model processed cheese. *International Dairy Journal*, 137, 105516. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2022.105516>
200. SONG, X. – CUI, W. – MENG, F. – XIA, Q. – LI, X. – HOU, M. – JIA, L. – ZHANG, J. (2022). Glucopyranose from *Pleurotus geesteranus* prevent alcoholic liver

- diseases by regulating Nrf2/HO-1-TLR4/NF- $\kappa$ B signalling pathways and gut microbiota. *Food & Function*, 13(5), 2441–2455. <https://doi.org/10.1039/D1FO03486C>
201. SOODPAKDEE, K. – NACHA, J. – RATTANACHART, N. – OWATWORAKIT, A. – CHAMYUANG, S. (2022). Fermentation With *Pleurotus ostreatus* Enhances the Prebiotic Properties of Germinated Riceberry Rice. *Frontiers in Nutrition*, 9, <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.839145>
  202. SRIVASTAVA, M. – KUMARI, M. – KARN, S. K. – BHAMBRI, A. – MAHALE, V. G. – MAHALE, S. (2024). Submerged cultivation and phytochemical analysis of medicinal mushrooms (*Trametes* sp.). *Frontiers in Fungal Biology*, 5, <https://doi.org/10.3389/ffunb.2024.1414349>
  203. STOJANOV, S. – BERLEC, A. – ŠTRUKELJ, B. (2020). The Influence of Probiotics on the Firmicutes/Bacteroidetes Ratio in the Treatment of Obesity and Inflammatory Bowel disease. *Microorganisms*, 8(11), 1715. <https://doi.org/10.3390/microorganisms8111715>
  204. SUBERU, S. A. – ISIKHUEMHEN, O. S. – OGUNDARE, T. E. – EKUNSEITAN, D. A. – FASINA, Y. O. (2024). Benefits of Mushroom-Based Supplements on Growth Performance, Immunocompetence, and Meat Quality in Poultry. *Animals*, 14(11), 1517. <https://doi.org/10.3390/ani14111517>
  205. SULIAMAN, S. Q. – AL-ABBASI, S. H. – MAHMOOD, Y. H. – AL-AZZAWI, H. A. (2021). Antimicrobial activity of four selected wild mushrooms in iraq. *Biochem. Cell. Arch*, 21, 4533–4537. DocID: <https://connectjournals.com/03896.2021.21.4533>
  206. SUN, Y. – LV, F. – TIAN, J. – YE, X. Q. – CHEN, J. – SUN, P. (2019). Domestic cooking methods affect nutrient, phytochemical, and flavor content in mushroom soup. *Food Science & Nutrition*, 7(6), 1969–1975. <https://doi.org/10.1002/fsn3.996>
  207. TABASHSUM, Z. – SCRIBA, A. – BISWAS, D. (2023). Alternative approaches to therapeutics and sub-therapeutics for sustainable poultry production. *Poultry Science*, <https://doi.org/10.1016/j.psj.2023.102750>
  208. TANG, B. – LAI, P. – WENG, M. – , L. – LI, Y. (2022). Optimization of submerged fermentation conditions for biosynthesis of ergothioneine and enrichment of selenium from *Pleurotus eryngii* 528. *Food Science and Technology*, 42. <https://doi.org/10.1590/fst.40022>
  209. TEJWAN, N. – KUNDU, M. – GHOSH, N. – CHATTERJEE, S. – SHARMA, A. – ABHISHEK SINGH, TH. – DAS, J. – SIL, P. C. (2022). Synthesis of green carbon dots as bioimaging agent and drug delivery system for enhanced antioxidant and

- antibacterial efficacy. *Inorganic Chemistry Communications*, 139, 109317. <https://doi.org/10.1016/j.inoche.2022.109317>
210. TEPARIĆ, R. – LOZANČIĆ, M. – MRŠA, V. (2020). Evolutionary Overview of Molecular Interactions and Enzymatic Activities in the Yeast Cell Walls. *International Journal of Molecular Sciences*, 21(23), 8996. <https://doi.org/10.3390/ijms21238996>
211. THOMAS, A. S. S. – ARIVU, S. – SHANMUGAM, V. – GUNDUPALLI, M. P. – AMORNRAKSA, S. (2022). Paddy straw: An economical substrate for oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*) cultivation. *E3S Web of Conferences*, 355, <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202235502019>
212. TIJANI, N. A. – HOKELLO, J. – AWOJOBI, K. O. – MARNADU, R. – SHKIR, M. – AHMAD, Z. – AFOLABI, A. O. – ADEWINBI, S. A. – ADEBAYO, I. A. (2024). Recent advances in Mushroom-mediated nanoparticles: A critical review of mushroom biology, nanoparticles synthesis, types, characteristics and applications. *Journal of Drug Delivery Science and Technology*, 96, 105695. <https://doi.org/10.1016/j.jddst.2024.105695>
213. TIMM, T. G. – COSTA, T. M. – ALBERTON, M. D. – HELM, C. V. – TAVARES, L. B. B. (2023). Mushroom  $\beta$ -glucans: Application and innovation for food industry and immunotherapy. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 1–15. <https://doi.org/10.1007/s00253-023-12656-4>
214. TOGHYANI, M. – TOHIDI, M. – GHEISARI, A. – TABEIDIAN, A. – TOGHYANI, M. (2012). Evaluation of Oyster Mushroom (*Pleurotus ostreatus*) as a Biological Growth Promoter on Performance, Humoral Immunity, and Blood Characteristics of Broiler Chicks. *The Journal of Poultry Science*, 49(3), 183. <https://doi.org/10.2141/jpsa.011068>
215. TÖRÖS, G. – EL-RAMADY, H. – PROKISCH, J. – VELASCO, F. – LLANAJ, X. – NGUYEN, D. H. – PELES, F. (2023). Modulation of the Gut Microbiota with Prebiotics and Antimicrobial Agents from *Pleurotus ostreatus* Mushroom. *Foods*, 12(10), 2010. <https://doi.org/10.3390/foods12102010>
216. TÖRÖS, G. – EL-RAMADY, H. – BÉNI, Á. – PELES, F. – GULYÁS, G. – CZEGLÉDI, L. – RAI, M. – PROKISCH, J. (2024). *Pleurotus ostreatus* Mushroom: A Promising Feed Supplement in Poultry Farming. *Agriculture*, 14(5), 663. <https://doi.org/10.3390/agriculture14050663>

217. TÖRÖS, G. – PELES, F. – ELRAMADY, H. – PROKISCH, J. (2023). To What Extent Can Maillard Reaction Products Influence the Probiotic and Harmful Bacteria? *Egyptian Journal of Soil Science*, 63(2), 0–0.  
<https://doi.org/10.21608/ejss.2023.189687.1569>
218. TSUJI, A., & KOYANAGI, T. (2025). Significant contribution of amino acids to antioxidant capacity of Japanese rice wine (SAKE). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 105(1), 227–234. <https://doi.org/10.1002/jsfa.13821>
219. VARGAS-SÁNCHEZ, R. D. – TORRESCANO-URRUTIA, G. R. – IBARRA-ARIAS, F. J. – PORTILLO-LOERA, J. J. – RÍOS-RINCÓN, F. G. – SÁNCHEZ-ESCALANTE, A. (2018). Effect of dietary supplementation with *Pleurotus ostreatus* on growth performance and meat quality of Japanese quail. *Livestock Science*, 207, 117–125. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2017.11.015>
220. VENKATESWARLU, S. – VISWANATH, B. – REDDY, A. S. – YOON, M. (2018). Fungus-derived photoluminescent carbon nanodots for ultrasensitive detection of Hg<sup>2+</sup> ions and photoinduced bactericidal activity. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 258, 172–183. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2017.11.044>
221. VENTOLA, C. L. (2015). The antibiotic resistance crisis: Part 1: causes and threats. *Pharmacy and therapeutics*, 40(4), 277. PMID: 25859123; PMCID: PMC4378521.
222. VETVICKA, V. – TEPLYAKOVA, T. V. – SHINTYAPINA, A. B., – KOROLENKO, T. A. (2021). Effects of Medicinal Fungi-Derived  $\beta$ -Glucan on Tumor Progression. *Journal of Fungi*, 7(4), 250. <https://doi.org/10.3390/jof7040250>
223. VEVERKA, M. – DUBAJ, T. – GALLOVIČ, J. – JORÍK, V. – VEVERKOVÁ, E. – MIČUŠÍK, M. – ŠIMON, P. (2014). Beta-glucan complexes with selected nutraceuticals: Synthesis, characterization, and stability. *Journal of Functional Foods*, 8, 309–318. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2014.03.032>
224. VILLALOBOS-PEZOS, M. – MUÑOZ-FARIÑA, O. – AH-HEN, K. S. – GARRIDO-FIGUEROA, M. F. – GARCÍA-FIGUEROA, O. – GONZÁLEZ-ESPARZA, A. – GONZÁLEZ-PÉREZ DE MEDINA, L. – BASTÍAS-MONTES, J. M. (2024). Optimization of Phenolic Content Extraction and Effects of Drying Treatments on Physicochemical Characteristics and Antioxidant Properties of Edible Mushroom *Pleurotus ostreatus* (Jacq.) P. Kumm (Oyster Mushroom). *Antioxidants*, 13(12), 1581. <https://doi.org/10.3390/antiox13121581>

225. VLASSOPOULOU, M. – PASCHALIDIS, N. – SAVVIDES, A. L. – SAXAMI, G. – MITSOU, E. K. – KEREZOUDI, E. N. – KOUTROTSIOS, G. – ZERVAKIS, G. I. – GEORGIADIS, P. – KYRIACOU, A. (2022). Immunomodulating activity of *Pleurotus eryngii* mushrooms following their in vitro fermentation by human fecal microbiota. *Journal of Fungi*, 8(4), 329. <https://doi.org/10.3390/jof8040329>
226. VOLMAN, J. J. – MENSINK, R. P. – VAN GRIENSVEN, L. J. L. D. – PLAT, J. (2010). Effects of  $\alpha$ -glucans from *Agaricus bisporus* on ex vivo cytokine production by LPS and PHA-stimulated PBMCs; a placebo-controlled study in slightly hypercholesterolemic subjects. *European Journal of Clinical Nutrition*, 64(7), 720–726. <https://doi.org/10.1038/ejcn.2010.32>
227. WAKTOLA, G. – TEMESGEN, T. (2020). Pharmacological activities of Oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*). *Novel Research in Microbiology Journal*, 4(2), 688–695. <https://doi.org/10.21608/nrmj.2020.84017>
228. WANG, H. – NG, T. B. (2004). Eryngin, a novel antifungal peptide from fruiting bodies of the edible mushroom *Pleurotus eryngii*. *Peptides*, 25(1), 1–5. <https://doi.org/10.1016/j.peptides.2003.11.014>
229. WANG, J. – AZZAM, M. M. – XIONG, T. – WANG, Y. – YE, J. – FAN, Q. – XU, D. – DING, F. – CHENG, Z. – ALABDULLATIF, A. A. – ALHOTAN, R. – JIANG, S. (2024). Effects of *Ganoderma Lucidum* supplementation on the growth performance, biochemical blood parameters, antioxidant and immunity status, and meat quality in slow-growing broilers. *Journal of Applied Poultry Research*, 33(4), 100491. <https://doi.org/10.1016/j.japr.2024.100491>
230. WHISNER, C. M. – CASTILLO, L. F. (2018). Prebiotics, Bone and Mineral Metabolism. *Calcified Tissue International*, 102(4), 443–479. <https://doi.org/10.1007/s00223-017-0339-3>
231. WICKRAMASINGHE, M. A. – NADEESHANI, H. – SEWWANDI, S. M. – RATHNAYAKE, I. – KANANKE, T. C. – LIYANAGE, R. (2023). Comparison of nutritional composition, bioactivities, and FTIR-ATR microstructural properties of commercially grown four mushroom species in Sri Lanka: *Agaricus bisporus*, *Pleurotus ostreatus*, *Calocybe* sp. (MK-white), and *Ganoderma lucidum*. *Food Production, Processing and Nutrition*, 5(1), 43. <https://doi.org/10.1186/s43014-023-00158-9>
232. WLAŻŁAK, S. – PIETRZAK, E. – BIESEK, J. – DUNISLAWSKA, A. (2023). Modulation of the immune system of chickens a key factor in maintaining poultry production—A review. *Poultry Science*, 102(8), 102785.

<https://doi.org/10.1016/j.psj.2023.102785>

233. YOUNIS, A. M. – WU, F.-S. – EL SHIKH, H. H. (2015). Antimicrobial Activity of Extracts of the Oyster Culinary Medicinal Mushroom *Pleurotus ostreatus* (Higher Basidiomycetes) and Identification of a New Antimicrobial Compound. *International Journal of Medicinal Mushrooms*, 17(6), 579–590.

<https://doi.org/10.1615/IntJMedMushrooms.v17.i6.80>

234. YU, L. – GAO, Y. – YE, Z. – DUAN, H. – ZHAO, J. – ZHANG, H. – NARBAD, A. – TIAN, F. – ZHAI, Q. – CHEN, W. (2023). Interaction of beta-glucans with gut microbiota: Dietary origins, structures, degradation, metabolism, and beneficial function. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 1–26.

<https://doi.org/10.1080/10408398.2023.2217727>

235. ZHANG, S. – LIN, L. E. I. – YUN, Z. – YE, F. – ZHAO, G. (2022). Roles of mushroom polysaccharides in chronic disease management. *Journal of Integrative Agriculture*, 21(7), 1839–1866. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(21\)63871-6](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(21)63871-6)

236. ZHAO, Q. – LIU, X. – CUI, L. – MA, C. (2024). Extraction and bioactivities of the chemical composition from *Pleurotus ostreatus*: A review. *Journal of Future Foods*, 4(2), 111–118. <https://doi.org/10.1016/j.jfutfo.2023.06.001>

237. ZHAO, W.-B. – WANG, R.-T. – LIU, K.-K. – DU, M.-R. – WANG, Y. – WANG, Y.-Q. – ZHOU, R. – LIANG, Y.-C. – MA, R.-N. – SUI, L.-Z. – LOU, Q. – HOU, L. – SHAN, C.-X. (2022). Near-infrared carbon nanodots for effective identification and inactivation of Gram-positive bacteria. *Nano Research*, 15(3), 1699–1708. <https://doi.org/10.1007/s12274-021-3818-9>

238. ZHOU, H. – MCCLEMENTS, D. J. (2022). Recent Advances in the Gastrointestinal Fate of Organic and Inorganic Nanoparticles in Foods. *Nanomaterials*, 12(7), 1099. <https://doi.org/10.3390/nano12071099>

239. ZHU, W. – WANG, W. – LIU, Y. – BU, Y. – LI, J. – LI, X. (2025). Chemical, structural and antioxidant properties of melanoidins in fish sauce. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 105(2), 1277–1287. <https://doi.org/10.1002/jsfa.13917>

240. ZONG, Q. – CHEN, H. – ZHAO, Y. – WANG, J. – WU, J. (2024). Bioactive carbon dots for tissue engineering applications. *Smart Materials in Medicine*, 5(1), 1–14. <https://doi.org/10.1016/j.smaim.2023.06.006>

241. MAHADEVAN, K. – SHANMUGASUNDARAM, K. (2018). Comparative effect of different culture media on mycelial growth performance of *Pleurotus sapidus*. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 7(4), 874–878.

## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Hálás köszönettel tartozom témavezetőmnek, Prof. Dr. Prokisch József egyetemi tanárnak, aki az elmúlt évek során folyamatos szakmai iránymutatásával, inspirációjával és támogatásával segítette munkámat. Köszönet illeti társtémavezetőmet, Prof. Dr. Peles Ferenc egyetemi tanárt a mikrobiológiai vizsgálatokban nyújtott szakmai tanácsokért, az értekezésem, a cikkeim alapos átnézéséért. Köszönöm a türelmét, az alapos véleményezést, a folyamatos értékelést és az építő jellegű kritikákat, melyek hozzájárultak szakmai fejlődésemhez és kutatásom sikeréhez. Köszönöm a témavezetőimnek, hogy segítették a munkámat és hogy mindig időt szakítottak a kérdéseimre.

Köszönet illeti a DE-MÉK-, ÉTI Mikrobiológiai csoportját. Köszönöm Prof. Dr. Karaffa Erzsébetnek a segítséget és hogy a mikrobiológiai laborban dolgozhattam, illetve köszönöm valamennyi dolgozónak a támogatást, vizsgálatokban nyújtott szakmai segítséget.

Köszönöm a Prof. Dr. Prokisch József laboratóriumában dolgozó vendégkutatóknak, köztük Prof. Dr. Hassan Elramady-nak és Prof. Dr. Mahendra Rainak, hogy szakmai támogatásukkal, értékes tanácsaikkal és inspiráló meglátásaikkal hozzájárultak a kutatásom megvalósításához. Köszönet illeti valamennyi publikációs tevékenységemben résztvevő kutatót.

Köszönetemet szeretném kifejezni a Debreceni Egyetem Állattenyésztési Tudományok Doktori Iskolának, külön kiemelve vezetőjét, Prof. Dr. Komlósi Istvánt. Hálás vagyok Prof. Dr. Czeglédi Leventének, az Állattenyésztési Tanszék vezetőjének, az Állattenyésztési Kísérleti Telepen végzett állatkísérletek során nyújtott szakmai támogatásáért, az iránymutatásért. Szeretném kiemelni, hogy hatalmas köszönettel tartozom Dr. Tóthné Gulyás Gabriellának, aki a laboratóriumi munkák és publikációk készítése során folyamatos segítséget nyújtott, mindig időt szakított a kérdéseimre és szakmai útmutatásával hozzájárult a kutatásom sikeréhez. Köszönöm, hogy mindig meghallgatott és építő jellegű visszajelzéseket adott.

Hálás köszönet az Állattenyésztési Kísérleti Telep munkatársainak és PhD-hallgatóinak az állatok gondozásában és a kísérletek kivitelezésében nyújtott segítségükért, valamint a DE-ÁOK Anatómiai-, Szövet- és Fejlődéstani Intézet munkatársainak a szövettani metszetek festését.

Köszönet illeti továbbá az Állattenyésztési Tanszék kollégáit az állatkísérletek során tanúsított együttműködésükért és támogatásukért.

Köszönettel tartozom a dolgozamat bíráló bizottság tagjainak. Köszönöm, hogy hozzájárultak dolgozatom színvonalához.

Végezetül szeretném kifejezni legmélyebb hálámat férjemnek, családomnak és barátaimnak, akik végig támogattak, türelmükkel és szeretetükkel segítették ezt a hosszú és kihívásokkal teli utat. Nélkülük ez a munka nem valósulhatott volna meg.

Az értekezés elkészítését a 2020-1.1.2-PIACI-KFI-2020-00100 számú projekt támogatta.

## MELLÉKLETEK

### *1. melléklet: Az alkalmazott HPLC-beállítások és körülmények leírása*

| Paraméter               | Leírás                                                                                 |
|-------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|
| Mozgófázis              | Acetonitril:Víz (20:80, v/v),<br>pufferezetlen                                         |
| Áramlási sebesség       | 0,7 mL/perc                                                                            |
| Injektált térfogat      | 5 µL                                                                                   |
| Gerjesztési hullámhossz | 370 nm                                                                                 |
| Emissziós hullámhossz   | 460 nm                                                                                 |
| Letapogatási sebesség   | Közepes (600 nm/perc)                                                                  |
| Integrációs idő         | 1 másodperc                                                                            |
| Emissziós letapogatás   | Nem történt (rögzített<br>gerjesztés/emisszió)                                         |
| Oszlophőmérséklet       | 30 °C                                                                                  |
| Detektor hőmérséklete   | Szobahőmérséklet (~25 °C)                                                              |
| Mintapreparálás         | 100-szoros hígítás desztillált vízben,<br>0,45 µm hidrofób PTFE szűrőn (Labex<br>Kft.) |
| Mozgófázis pH-ja        | ~6,0 (pufferezetlen)                                                                   |
| Ionszilárdság           | Alacsony (nem került hozzáadásra só<br>vagy puffer)                                    |

## 2. melléklet: Kalibrálás és szén-nanorészecskék meghatározása

| Paraméter                      | Leírás                                                                                                                     |
|--------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Kalibrálás célja</b>        | A szén nanorészecskék molekulatömegének azonosítása és mennyiségi meghatározása                                            |
| <b>Standard keverék 1</b>      | Bio-Rad gélfiltrációs standard (molekulatömeg-tartomány: 1350–670 000 Da)                                                  |
| <b>Összetevők (Standard 1)</b> | Tireoglobulin, $\gamma$ -globulin, ovalbumin, mioglobin, B12-vitamin                                                       |
| <b>Standard keverék 2</b>      | Merck peptid standardok                                                                                                    |
| <b>Összetevők (Standard 2)</b> | Gly-Tyr (238,2 Da), Val-Tyr-Val (379,5 Da), Met-enkefalin (573,7 Da), Leu-enkefalin (555,6 Da), Angiotenzin II (1046,2 Da) |
| <b>CND referencia standard</b> | Glicinből és dextrózból szintetizálva (NGUYEN és mtsai, 2024)                                                              |
| <b>Kalibrációs sorozat</b>     | 4 pontos sorozat koncentrációkkal: 10, 100, 1000 és 10 000 g/mL                                                            |
| <b>Kalibráció oldószere</b>    | Desztillált víz                                                                                                            |
| <b>Kimenet</b>                 | Kalibrációs görbe a CND-k mennyiségi meghatározásához gombamintákban (OMP)                                                 |

## ÁBRÁK JEGYZÉKE

1. *ábra:* Grafikus absztrakt a vizsgálandó alapanyagunk jelentőségéről, a kutatás célkitűzéseiről, illetve a végső célról
2. *ábra:* A Késői laskagomba (*P. ostreatus*) fényképe (A) egészségügyi hatásainak az összefoglalása (B)
3. *ábra:* A prebiotikumok bizonyított egészségügyi hatásai
4. *ábra:* Hőközlési folyamat optimalizálása a káros hatások elkerülése mellett
5. *ábra:* A késői laskagomba patogén invázió elleni küzdelemhez történő hozzájárulása
6. *ábra:* A gomba alapanyagok és porok szemléltetése (GA, A: bal oszlop) és a késztermékek
7. *ábra:* A kísérleti koncepció bemutatása a gombale előállítástól a micélium kolonizációig
8. *ábra:* A baromfikísérletek (4 hetes etetési periódus) sematikus összefoglalása, a tervezés, illetve a bevont csoportok
9. *ábra:* A  $\beta$ -glükán mérési eredmények bemutatása
10. *ábra:* Szén nanorészecskékhez tartozó vizsgálati eredmények: Az OMP-k molekulatömegének (g/mol) összehasonlítása
11. *ábra:* Szén nanorészecskékhez tartozó vizsgálati eredmények: A) Kalibrációs görbe a gombákban megtalálható szén nanorészecskék mennyiségének a meghatározásához, B) fluoreszcencia intenzitása (A.u.) 370 nm-es hullámhosszon, C) Szén nanorészecske koncentráció (w/w%) (átlag  $\pm$  SD) (átlag  $\pm$  SD)
12. *ábra:* A HPLC méretkizárásos kromatogrammon a különböző LGP-mintákhoz tartozó eredmények figyelhetők meg.
13. *ábra:* A) Teljes polifenol, B) flavonoid tartalom és C) antioxidáns aktivitás (DPPH)
14. *ábra:* *L. plantarum* baktérium növekedésére kifejtett hatásának a tesztelése
15. *ábra:* *L. casei* baktérium növekedésére kifejtett hatás tesztelése
16. *ábra:* *E. coli* baktérium növekedésére kifejtett hatás tesztelése
17. *ábra:* *S. epidermidis* növekedésére kifejtett hatás tesztelése

18. *ábra*: *P. ostreatus* micéliumok teljes átszövődést követően (0, 4 és 6 nap után)
19. *ábra*: A termelt biomassa mennyisége (g-ban kifejezve)
20. *ábra*: A  $\beta$ -glükán tartalom térfogatszázalékban kifejezve
21. *ábra*: A *P. ostreatus* micélium hálózat mikroszkópos felvétele
22. *ábra*: A laskagomba alapú takarmánykiegészítők hatása a hím japán fürjek átlagos testsúlyára
23. *ábra*: A laskagomba alapú takarmánykiegészítő termékek hatása a hím japán fürjek átlagos heti testtömeg-gyarapodására
24. *ábra*: A laskagomba alapú takarmánykiegészítő termékek hatása a hím japán fürjek átlagos testtömeg-gyarapodására
25. *ábra*: A laskagomba alapú takarmánykiegészítők és az *E. coli* LPS-injekció hatása a hím japán fürjekhez tartó lép valós súlyára
26. *ábra*: A laskagomba alapú takarmánykiegészítő termékek és az *E. coli* LPS-injekció hatása a hím japán fürjek plazma citokinszintjére (IL-1 $\beta$ , IL-2, IL-4)
27. *ábra*: A laskagomba alapú takarmánykiegészítő és az *E. coli* LPS-injekció hatásának vizsgálata során készített mikroszkópikus felvételek (ileum morfológia).
28. *ábra*: A laskagomba alapú takarmánykiegészítő termékek és az *E. coli* LPS-injekció hatása a hím japán fürjek teljes antioxidáns kapacitására (TAC)

## TÁBLÁZATOK JEGYZÉKE

1. *táblázat:* A késői laskagomba gyógyászati értéke az antimikrobiális és prebiotikus aktivitású vegyületekre fókuszálva
2. *táblázat:* A laskagomba különböző mikroorganizmusok ellen megfigyelt gátló hatása
3. *táblázat:* A laska és a siitake gomba antimikrobiális hatásának a megfigyelése standard gyógyszer hatóanyaggal szemben (mm±SD)
4. *táblázat:* A különböző szakaszokban lezajló kémiai folyamatok és a keletkező vegyületek
5. *táblázat:* Laskagomba alapú takarmánykiegészítő igazolt hatása baromfi modelleken
6. *táblázat:* A különböző technológiák alkalmazásával előállított gombaporok rövidítései és a gyártás rövid leírás
7. *táblázat:* A különböző táptalajok összetétele
8. *táblázat:* A micélium sűrűsége
9. *táblázat:* Vizsgálati csoportok és leírásuk
10. *táblázat:* Az alap- és kísérleti takarmányok összetétele (% etetett tápérték), amelyet az NRC (1994) ajánlásainak való megfelelés vagy azok túllépése érdekében állítottuk össze.
11. *táblázat:* Tápanyagtartalom (kiszámítva az NRC, 1994-es ajánlásainak megfelelően vagy azt meghaladóan)
12. *táblázat:* A napi növekedés üteme (mm-ben kifejezve) és a növekedési ráta bemutatása
13. *táblázat:* A termelt biomassza, nedvesség, illetve β-glükán tartalma
14. *táblázat:* A laskagomba alapú takarmánykiegészítő termékek és az *E. coli* LPS-injekció hatása a hím japán fürjek bélmorfológiai paramétereire (μm)).

# DOKTORI ÉRTEKEZÉS ALAPJÁUL SZOLGÁLÓ PUBLIKÁCIÓK



**DEBRECENI  
EGYETEM**

**DEBRECENI EGYETEM  
EGYETEMI ÉS NEMZETI KÖNYVTÁR**

H-4002 Debrecen, Egyetem tér 1, Pf.: 400

Tel.: 52/410-443, e-mail: publikaciok@lib.unideb.hu

Nyilvántartási szám: DEENK/508/2025.PL  
Tárgy: PhD Publikációs Lista

Jelölt: Seresné Törös Gréta

Doktori Iskola: Állattenyésztési Tudományok Doktori Iskola

MTMT azonosító: 10082881

## A PhD értekezés alapjául szolgáló közlemények

### Magyar nyelvű könyvrészletek (1)

1. **Seresné Törös, G.**, Prokisch, J., Peles, F.: Hőkezelési eljárások hatása a gomba minőségére.  
In: Minőségvizsgálattól az élelmiszerbiztonságig. Szerk.: Máthé Endre, Sipos Péter, Szepesi Judit, Debreceni Egyetem Mezőgazdasági-, Élelmiszertudományi és Környezetgazdálkodási Kar, Debrecen, 241-247, 2023. ISBN: 9789634905257

### Idégen nyelvű tudományos közlemények hazai folyóiratban (1)

2. **Seresné Törös, G.**, Prokisch, J., Peles, F., Nagy, R., Nagy, J., Béni, Á.: The effect of sous-vide cooking on the antioxidant properties of oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus* L.).  
*Acta agrar. Debr.* 2024 (1), 177-184, 2024. ISSN: 2416-1640.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.34101/ACTAAGRAR/1/13483>

### Idégen nyelvű tudományos közlemények külföldi folyóiratban (10)

3. **Seresné Törös, G.**, Béni, Á., Peles, F., Gulyás, G., Prokisch, J.: Comparative Analysis of Freeze-Dried *Pleurotus ostreatus* Mushroom Powders on Probiotic and Harmful Bacteria and Its Bioactive Compounds.  
*J. Fungi.* 11 (1), 1-16, 2025. EISSN: 2309-608X.  
DOI: <https://doi.org/10.3390/jof11010001>  
IF: 4 (2024)
4. Nguyen, H. H. D., El-Ramady, H., **Seresné Törös, G.**, Muthu, A., Elsakhawy, T., Abdalla, N., Alibrahem, W., Kharrat Helu, N., Prokisch, J.: Food-Derived Carbon Dots: Formation, Detection, and Impact on Gut Microbiota.  
*Foods.* 14 (17), 1-21, 2025. EISSN: 2304-8158.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/foods14172980>  
IF: 5.1 (2024)
5. **Seresné Törös, G.**, Prokisch, J.: Maillard Reaction-Derived Carbon Nanodots: Food-Origin Nanomaterials with Emerging Functional and Biomedical Potential.  
*Pharmaceutics.* 17 (8), 1-20, 2025. EISSN: 1999-4923.  
DOI: <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics17081050>  
IF: 5.5 (2024)





6. **Seresné Törös, G.**, Béni, Á., Peles, F., Rai, M., El-Ramady, H., Prokisch, J.: Enhancing Biomass and beta-Glucan Yield from Oyster Mushroom *Pleurotus ostreatus* (Agaricomycetes) Mycelia through Extract Valorization.  
*Int J Med Mushrooms*. 26 (9), 77-87, 2024. ISSN: 1521-9437.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1615/IntJMedMushrooms.2024054590>  
IF: 1.4
7. **Seresné Törös, G.**, El-Ramady, H., Béni, Á., Peles, F., Gulyás, G., Czeglédi, L., Rai, M., Prokisch, J.: *Pleurotus ostreatus* Mushroom: A Promising Feed Supplement in Poultry Farming.  
*Agriculture-Basel*. 14 (5), 1-19, 2024. EISSN: 2077-0472.  
DOI: <http://dx.doi.org/https://doi.org/10.3390/agriculture14050663>  
IF: 3.6
8. Nguyen, H. H. D., El-Ramady, H., Llanaj, X., **Seresné Törös, G.**, Hajdú, P., Prokisch, J.: Chemical Composition and Health Attributes of Agri-Foods: A Scientific Overview on Black Foods.  
*Sustainability*. 15 (4), 1-32, 2023. ISSN: 2071-1050.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/su15043852>  
IF: 3.3
9. **Seresné Törös, G.**, El-Ramady, H., Prokisch, J., Velasco, F., Llanaj, X., Nguyen, H. H. D., Peles, F.: Modulation of the Gut Microbiota with Prebiotics and Antimicrobial Agents from *Pleurotus ostreatus* Mushroom.  
*Foods*. 12 (10), 1-23, 2023. EISSN: 2304-8158.  
DOI: <http://dx.doi.org/https://doi.org/10.3390/foods12102010>  
IF: 4.7
10. **Seresné Törös, G.**, Peles, F., El-Ramady, H., Prokisch, J.: To What Extent Can Maillard Reaction Products Influence the Probiotic and Harmful Bacteria?  
*Egypt. J. Soil Sci.* 63 (2), 177-185, 2023. EISSN: 2357-0369.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.21608/EJSS.2023.189687.1569>  
IF: 1.9
11. **Seresné Törös, G.**, El-Ramady, H., Prokisch, J.: Edible Mushroom of *Pleurotus* spp.: A Case Study of Oyster Mushroom (*Pleurotus ostreatus* L.).  
*Env. Biodiv. Soil Security*. 6, 51-59, 2022. ISSN: 2536-9415.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.21608/JENVBS.2022.117554.1161>
12. El-Ramady, H., Abdalla, N., Badgar, K., Llanaj, X., **Seresné Törös, G.**, Hajdú, P., Eid, Y., Prokisch, J.: Edible Mushrooms for Sustainable and Healthy Human Food: nutritional and Medicinal Attributes.  
*Sustainability*. 14 (9), 1-30, 2022. ISSN: 2071-1050.  
DOI: <http://dx.doi.org/https://doi.org/10.3390/su14094941>  
IF: 3.9





Magyar nyelvű absztrakt kiadványok (4)

13. Sipos, P., **Seresné Törös, G.**, Hajdú, P., Prokisch, J.: Élelmiszertechnológiai fejlesztések a Debreceni Egyetem MÉK-en.  
In: XX. Tiszántúli Agrártudományi Napok : Absztraktkötet / (szerk.) Veres Szilvia, Stündl László, Debreceni Egyetem Mezőgazdaság-, Élelmiszertudományi és Környezetgazdálkodási Kar, Debrecen, 82, 2024. ISBN: 9789634906568
14. **Seresné Törös, G.**, Peles, F., Béni, Á., Prokisch, J.: Egyedi táptalaj fejlesztése pleurotus ostreatus micélium biomassza előállításához.  
In: Növény és környezet: a debreceni tartamkísérletek 40 éve. Szerk.: Kakuszi-Széles Adrienn, Debreceni Egyetem MÉK Fölhasznosítási, Műszaki és Precíziós Technológiai Intézet, Debrecen, 68, 2023. ISBN: 9789634905400
15. **Seresné Törös, G.**, Peles, F., Prokisch, J.: Különböző gombaporok összeférje- és rosttartalmának a vizsgálata.  
In: I. Magyar Agrártudományi Doktoranduszok Szimpóziuma.. Szerk.: Hajdú Péter, Doktoranduszok Országos Szövetsége, Debrecen, 98, 2023. ISBN: 9786156457189
16. **Seresné Törös, G.**, Peles, F., Prokisch, J.: The effect of different temperatures on the liquid extraction from Pleurotus ostreatus (Jacq.:Fr.) Kumm. mushroom.  
In: 20th Wellmann International Scientific Conference : Book of Abstracts. Eds.: Ingrid Gyalai; Szilárd Czóbel, University of Szeged Faculty of Agriculture, Hódmezővásárhely, 73, 2023. ISBN: 9789633069240

Idegen nyelvű absztrakt kiadványok (5)

17. **Seresné Törös, G.**, Béni, Á., Peles, F., Gulyás, G., Prokisch, J.: Green synthesis of carbon nanodots from Pleurotus Ostreatus L. mushroom using gentle cooking and freeze-drying methods.  
In: International Multidisciplinary Scientific Research Congress: Abstract book / (eds.) Nazan Yalcin Erbik, Esengül Salbiho Glu, Ebuzer Arslan et. al, Sivas Cumhuriyet University, Sivas, Törökország, 550-551, 2025. ISBN: 9798896951070
18. **Seresné Törös, G.**, Béni, Á., Nagy, J., Nagy, R., Peles, F., Prokisch, J.: Impact of sous-vide cooking on the antioxidant properties and  $\beta$ -glucan content of oyster (Pleurotus ostreatus L.) mushroom.  
In: ISPEC 14th International conference on agriculture, animal science & rural development: Proceedings book (Abstracts & Full Texts) / eds Banu Yücel, Seyithan Seydosoglu, IKSAD Publishing House, Golbasi, 54-55, 2024. ISBN: 9786257720991
19. Hajdú, P., **Seresné Törös, G.**, Llanaj, X., Prokisch, J.: Change in the active substance content of shiitake mushroom (Lentinula edodes) as affected by sous vide technology.  
In: 5. International Food, Agriculture and Veterinary Sciences Congress : Proceedings book (volume-2). Eds.: Tarkan Şahin, Mükremin Ölmez, IKSAD Publications, Ankara, 48-49, 2023. ISBN: 9786253670030





20. **Seresné Törös, G.**, Prokisch, J., Peles, F.: Optimization of unique media production for enhanced bioactivity of *pleurotus ostreatus* mycelia.  
In: ISPEC 12th international conference on agriculture, animal science & rural development: Conference proceedings book / eds Özlem Önal Aşci, Mehmet Fikret Balta, Seyithan Seydoşoğlu, Ordu University, Ordu, 276, 2023. ISBN: 9786257720939
21. **Seresné Törös, G.**, Peles, F., Hajdú, P., Prokisch, J.: The examination of the total protein and fiber content of different mushroom powders.  
In: 5. International Food, Agriculture and Veterinary Sciences Congress : Proceedings book (volume-2). Eds.: Tarkan Şahin, Mükremin Ölmez, IKSAD Publications, Ankara, 27-28, 2023. ISBN: 9786253670030

### **További közlemények**

#### Idegen nyelvű tudományos közlemények hazai folyóiratban (1)

22. Petróczi, F. M., Kojo Woode, B., **Seresné Törös, G.**, Nagy, N. S., Béni, B., Peles, F.:  
Microbiological status of bulk tank milk and different flavored gomolya cheeses produced by a milk producing and processing plant.  
*Agrártud. Közl.* 75, 73-78, 2018. ISSN: 1587-1282.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.34101/actaagrar/75/1649>

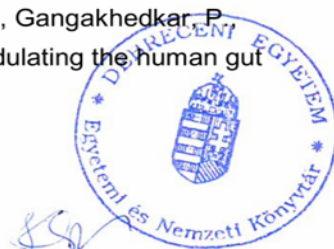
#### Idegen nyelvű tudományos közlemények külföldi folyóiratban (18)

23. Semsey, D., Nguyen, H. H. D., **Seresné Törös, G.**, Papp, V. A., Péntes, J., Vida, T., Béni, Á., Rai, M., Prokisch, J.: Analysis of fluorescent carbon nanodots synthesized from spices through thermal processes treatment.  
*Nanomaterials.* 15 (8), 1-16, 2025. ISSN: 2079-4991.  
DOI: <https://doi.org/10.3390/nano15080625>  
IF: 4.3 (2024)
24. Ferroudj, A., Muthu, A., Sári, D., **Seresné Törös, G.**, Béni, Á., Czeglédi, L., Knop, R., El-Ramady, H., Prokisch, J.: Comparative Study of Red and Grey Selenium Nanoparticles on Organ-Specific Selenium Deposition and Growth Performance in Japanese Quails.  
*Nanomaterials.* 15 (11), 1-14, 2025. ISSN: 2079-4991.  
DOI: <https://doi.org/10.3390/nano15110801>  
IF: 4.3 (2024)





25. Alibrahem, W., Kharrat Helu, N., **Seresné Törös, G.**, Oláh, C., Prokisch, J.: Exploring the Analgesic Potential of L-Lysine: Molecular Mechanisms, Preclinical Evidence, and Implications for Pharmaceutical Pain Therapy.  
*Pharmaceutics*. 17 (5), 1-17, 2025. EISSN: 1999-4923.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/pharmaceutics17050666>  
IF: 5.5 (2024)
26. Gangakhedkar, P., Deshpande, H. W., **Seresné Törös, G.**, El-Ramady, H., Elsakhawy, T., Abdalla, N., Shaikh, A. M., Kovács, B., Mane, R., Prokisch, J.: Fermentation of Fruits and Vegetables: Bridging Traditional Wisdom and Modern Science for Food Preservation and Nutritional Value Improvements.  
*Foods*. 14 (13), 1-31, 2025. EISSN: 2304-8158.  
DOI: <http://dx.doi.org/https://doi.org/10.3390/foods14132155>  
IF: 5.1 (2024)
27. Muthu, A., Nguyen, H. H. D., Neji, C., **Seresné Törös, G.**, Ferroudj, A., Atieh, R., Prokisch, J., El-Ramady, H., Béni, Á.: Nanomaterials for Smart and Sustainable Food Packaging: Nano-Sensing Mechanisms, and Regulatory Perspectives.  
*Foods*. 14 (15), 2-29, 2025. EISSN: 2304-8158.  
DOI: <https://doi.org/10.3390/foods14152657>  
IF: 5.1 (2024)
28. **Seresné Törös, G.**, Béni, Á., Balláné Kovács, A., Semsey, S., Ferroudj, A., Prokisch, J.: Production of Myco-Nanomaterial Products from *Pleurotus ostreatus* (Agaricomycetes) Mushroom via Pyrolysis.  
*Pharmaceutics*. 17 (5), 1-19, 2025. EISSN: 1999-4923.  
DOI: <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics17050591>  
IF: 5.5 (2024)
29. Prokisch, J., **Seresné Törös, G.**, Nguyen, H. H. D., Muthu, A., Labidi, S., Sheta, M., El-Ramady, H.: Sustainable Approach of Carbon Nanodots: Agro-Applications for Soil Health.  
*Egypt. J. Soil Sci.* 65 (1), 639-657, 2025. ISSN: 0302-6701.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.21608/ejss.2025.353791.1969>  
IF: 3.4 (2024)
30. **Seresné Törös, G.**, Gulyás, G., El-Ramady, H., Alibrahem, W., Muthu, A., Gangakhedkar, P., Atieh, R., Prokisch, J.: Sustainable nanotechnology strategies for modulating the human gut microbiota.  
26 (12), 1-26, 2025. ISSN: 1661-6596.  
DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms26125433>  
IF: 4.9 (2024)





31. Semsey, D., Nguyen, H. H. D., **Seresné Törös, G.**, Muthu, A., Labidi, S., El-Ramady, H., Béni, Á., Rai, M., Prokisch, J.: Analysis of Fluorescent Carbon Nanodot Formation during Pretzel Production.  
*Nanomaterials*. 14 (13), 1-11, 2024. ISSN: 2079-4991.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/nano14131142>  
IF: 4.3
32. Rai, M., Avinash, P. I., **Seresné Törös, G.**, Prokisch, J.: Assessing the efficacy of carbon nanodots derived from curcumin on infectious diseases.  
*Expert Rev. Anti-Infect. Ther.* 22 (12), 1-15, 2024. ISSN: 1478-7210.  
DOI: <https://doi.org/10.1080/14787210.2024.2409401>  
IF: 3.8
33. Prokisch, J., **Seresné Törös, G.**, Nguyen, H. H. D., Neji, C., Ferroudj, A., Sári, D., Muthu, A., Brevik, E. C., El-Ramady, H.: Nano-Food Farming: Toward Sustainable Applications of Proteins, Mushrooms, Nano-Nutrients, and Nanofibers.  
*Agron. J.* 14, 1-30, 2024. ISSN: 0002-1962.  
DOI: <http://dx.doi.org/https://doi.org/10.3390/agronomy14030606>  
IF: 2
34. Llanaj, X., **Seresné Törös, G.**, Hajdú, P., Abdalla, N., El-Ramady, H., Kiss, A., Solberg, S. Ø., Prokisch, J.: Biotechnological applications of mushrooms under the water-energy-food nexus: crucial aspects and prospects from farm to pharmacy.  
*Foods*. 12 (14), 1-26, 2023. EISSN: 2304-8158.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/foods12142671>  
IF: 4.7
35. Llanaj, X., **Seresné Törös, G.**, Hajdú, P., El-Ramady, H., Peles, F., Prokisch, J.: Mushroom Cultivation Systems: Exploring Antimicrobial and Prebiotic Benefits.  
*EBSS*. 7, 101-120, 2023. ISSN: 2536-9415.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.21608/JENVBS.2023.207745.1216>
36. El-Ramady, H., **Seresné Törös, G.**, Badgar, K., Llanaj, X., Hajdú, P., Elmahrouk, M., Abdalla, N., Prokisch, J.: A Comparative Photographic Review on Higher Plants and Macro-Fungi: a Soil Restoration for Sustainable Production of Food and Energy.  
*Sustainability*. 14 (12), 1-34, 2022. ISSN: 2071-1050.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/su14127104>  
IF: 3.9
37. El-Ramady, H., Abdalla, N., Fawzy, Z., Badgar, K., Llanaj, X., **Seresné Törös, G.**, Hajdú, P., Eid, Y., Prokisch, J.: Green Biotechnology of Oyster Mushroom (*Pleurotus ostreatus* L.): a Sustainable Strategy for Myco-Remediation and Bio-Fermentation.  
*Sustainability*. 14 (6), 1-21, 2022. ISSN: 2071-1050.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/su14063667>  
IF: 3.9





38. Elsakhawy, T., Omara, A. E. D., Abowaly, M., El-Ramady, H., Badgar, K., Llanaj, X., **Seresné Törös, G.**, Hajdú, P., Prokisch, J.: Green Synthesis of Nanoparticles by Mushrooms: A Crucial Dimension for Sustainable Soil Management. *Sustainability*. 14 (7), 1-27, 2022. ISSN: 2071-1050.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/su14074328>  
IF: 3.9
39. El-Ramady, H., Brevik, E. C., Fawzy, Z., Elsakhawy, T., Omara, A. E. D., Amer, M. M., Faizy, S. E. D. A., Abowaly, M., Elhenawy, A. S., Kiss, A., **Seresné Törös, G.**, Prokisch, J., Ling, W.: Nano-restoration for sustaining soil fertility: A pictorial and diagrammatic review article. *Plants-Basel*. 11 (18), 1-33, 2022. EISSN: 2223-7747.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/plants11182392>  
IF: 4.5
40. El-Ramady, H., Hajdú, P., **Seresné Törös, G.**, Badgar, K., Llanaj, X., Kiss, A., Abdalla, N., Omara, A. E. D., Elsakhawy, T., Elbasiouny, H., Elbehiry, F., Amer, M. M., Elmahrouk, M., Prokisch, J.: Plant Nutrition for Human Health: A Pictorial Review on Plant Bioactive Compounds for Sustainable Agriculture. *Sustainability*. 14 (14), 1-43, 2022. ISSN: 2071-1050.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/su14148329>  
IF: 3.9
- Idegen nyelvű absztrakt kiadványok (6)
41. **Seresné Törös, G.**, Béni, Á., Balláné Kovács, A., Semsey, D., Prokisch, J.: Production of Myco-Nanomaterial Products from *Pleurotus ostreatus* (Agaricomycetes) Mushroom. In: 22nd Wellmann International Scientific Conference : Book of abstracts. Eds.: Ingrid Melinda Gyalai, Szilárd Czóbel, University of Szeged Faculty of Agriculture, Hódmezővásárhely, 58, 2025. ISBN: 9789636880446
42. Petróczki, F. M., Woode, B. K., **Seresné Törös, G.**, Nagy, N. S., Kardos, G., Béni, B., Peles, F.: Characterization of *Staphylococcus aureus* strains isolated from cheeses in Hungary. In: Scientific researches in food production, University of Debrecen - Proceedings of abstracts. Eds.: University of Debrecen, University of Debrecen, Debrecen, 26, 2018.
43. Petróczki, F. M., Woode, B. K., **Seresné Törös, G.**, Nagy, N. S., Béni, B., Peles, F.: Microbiological status of gomolya cheeses produced by small-scale dairies. In: Abstract Book : FSD 2018 3rd Food Structure & Design Conference. Eds.: University of Debrecen, University of Debrecen, Debrecen, 36-37, 2018.
44. Petróczki, F. M., Woode, B. K., **Seresné Törös, G.**, Nagy, N. S.: Microbiological examination of bulk milk and gomolya cheeses produced by a milk producing and processing plant. In: Scientific Conference of PhD. Students of FAFR and FBFS SUA in Nitra - Proceedings of abstracts / org. by Assoc. Prof. Ing. Janette Musilová, Ing. Monika Tóthová, Mgr. Dominik Hollý, Slovak University of Agriculture, Nitra, 53, 2017.





45. Woode, B. K., Petróczki, F. M., **Seresné Törős, G.**, Nagy, N. S., Béri, B., Peles, F.:  
Microbiological quality of bulk tank raw milk in Hajdú-Bihar County, Hungary.  
In: Scientific researches in food production, FBFS, SUA in Nitra - Proceeding of abstracts /  
org. by Slovak University of Agriculture in Nitra, Slovak University of Agriculture, Nitra, 42-43,  
2017.
46. Petróczki, F. M., Woode, B. K., **Seresné Törős, G.**, Nagy, N. S., Béri, B., Peles, F.:  
Microbiological status of smoked parenica cheeses produced in industrial and in small-scale  
conditions.  
In: Scientific researches in food production, FBFS, SUA in Nitra - Proceeding of abstracts,  
Slovak University of Agriculture, Nitra, 36-37, 2017.

**A közlő folyóiratok összesített impakt faktora: 106,4**

**A közlő folyóiratok összesített impakt faktora (az értekezés alapjául szolgáló közleményekre):  
33,4**

A DEENK a Jelölt által a Tudóstérbe feltöltött adatok bibliográfiai és tudománymetriai ellenőrzését a tudományos adatbázisok és a Journal Citation Reports Impact Factor lista alapján elvégezte.

Debrecen, 2025.09.03.



## NYILATKOZAT

Ezen értekezést a Debreceni Egyetem Állattenyésztési Tudományok Doktori Iskola keretében készítettem, a Debreceni Egyetem doktori (Ph.D.) fokozatának elnyerése céljából.

Debrecen, 2026. ....

.....

A jelölt aláírása

**Seresné Törös Gréta**

## NYILATKOZAT

Tanúsítom, hogy **Seresné Törös Gréta** doktorjelölt 2022/2026 között a fent megnevezett Doktori Iskola keretében irányításommal végezte munkáját. Az értekezésben foglalt eredményekhez a jelölt önálló alkotó tevékenységével meghatározóan hozzájárult, az értekezés a jelölt önálló munkája. Az értekezés elfogadását javaslom.

Debrecen, 2026. ....

.....

A témavezető aláírása

**Prof. Dr. Prokisch József**

.....

A társ-témavezető aláírása

**Prof. Dr. Peles Ferenc Árpád**