MEMBRÁN-

TECHNIKA

IPARI BIOTECHNOLÓGIA

XVI. évfolyam 2. szám

2025. április

TARTALOM

oldal

Désiné Vehovszky K., Trájer A.J.: Bazídiumos gombák bioaktív vegyületei és modern extrakciós módszereik: lehetőségek a membrántechnológiában..……..…..14

53. Műszaki Kémiai Napok ……..…….…...25

Nagy G., Hülberné Beyer É., Nemestóthy N.: Tejsav alapú komplex kutatás-fejlesztés…….…...27

Közelgő membrános konferenciák, kurzusok……..…..…..…....32

Bazídiumos gombák bioaktív vegyületei és modern extrakciós módszereik: lehetőségek a membrántechnológiában

Désiné Vehovszky Katalin, Trájer Attila János*

Fenntarthatósági Megoldások Kutatólaboratórium, Pannon Egyetem, Veszprém, Egyetem utca 10. 8200
*trajer.attila@mk.uni-pannon.hu

Bevezetés

A bazídiumos gombákból készült kivonatokat már évezredekkel ezelőtt használták a hagyományos kínai és keleti orvoslásban, elsősorban immunerősítő, gyulladáscsökkentő és daganatellenes hatásaik miatt. Az utóbbi évtizedekben a tudományos érdeklődés ismét ráirányult e különleges élőlényekre, mivel számos bioaktív vegyületet – például poliszacharidokat, triterpéneket, fenolos komponenseket, szterolokat és glikoproteineket – sikerült azonosítani bennük, melyek potenciális gyógyászati, kozmetikai, élelmiszeripari vagy biotechnológiai alkalmazással bírnak. [Lindequist et al., 2005; Wasser, 2014].

A bazídiumos gombák (Basidiomycota), mint például a *Ganoderma lucidum* (pecsétviaszgomba), *Lentinula edodes* (shiitake), *Grifola frondosa* (maitake) és *Trametes versicolor* (lepketapló), különösen gazdag forrásai ezeknek a bioaktív komponenseknek. A legfontosabb hatóanyagok közé tartoznak a β-glükán típusú poliszacharidok, amelyek immunmoduláló aktivitással rendelkeznek; továbbá a triterpének, amelyeknek antivirális és antitumorális hatása is dokumentált (Zaidman et al., 2005).

E bioaktív molekulák ipari előállítása azonban nem triviális feladat, mivel a gombák sejtfala erősen strukturált, kitinben és glükánban gazdag szerkezet, ami nehezíti a hatóanyagok felszabadítását. Ezért kulcsfontosságú az alkalmazott extrakciós módszerek optimalizálása – mind a kihozatal maximalizálása, mind a hatóanyagok bioaktivitásának megőrzése érdekében.

A hagyományos, például forróvizes vagy alkoholos kivonás mellett egyre nagyobb szerepet kapnak az innovatív, környezetbarát technológiák, mint az **enzimatikus bontás**, **ultrahangos extrakció**, **szuperkritikus szén-dioxidos extrakció**, valamint a **membránszűrésen** alapuló frakcionálási eljárások. Utóbbiak különösen ígéretesek, mivel lehetővé teszik a célzott molekulatömeg-frakciók elválasztását, hőérzékeny komponensek megőrzését, valamint a folyamat folytonossá tételét, ami ipari méretekben is megvalósítható (Cassano et al., 2007).

A **membrántechnológia** a bioaktív gombakivonatok előállításában multifunkcionális szerepet tölthet be: szűrésre, koncentrálásra, tisztításra és frakcionálásra egyaránt alkalmas. Ultrafiltrációs és nanofiltrációs rendszerekkel például szelektíven izolálhatók a poliszacharid frakciók más, kisebb molekulatömegű komponensektől, így növelve a készítmények hatékonyságát és standardizálhatóságát.

Jelen közlemény célja áttekinteni a legfontosabb gyógyászati jelentőségű bazídiumos gombafajokat (1. ábra), bemutatni a bennük található főbb bioaktív vegyületeket, azok élettani hatásait, valamint részletesen ismertetni a hagyományos és korszerű **extrakciós** módszereket,

különös tekintettel a membrántechnikai megoldásokra, amelyek az ipari gyártás során kulcsszerepet játszhatnak.



1. ábra: A gombakivonatok készítésében a leggyakrabban felhasznált fajok

Hatóanyag-extrakciós módszerek

Forróvizes módszer

A gombét szárítjuk, majd összeaprítjuk vagy megőröljük, mert a nagyobb felület jobb kioldódást biztosít. Ezután az eltávolítandó anyag függvényében 80-100 ºC-on 1-6 órán át főzzük. A kifőtt oldatot gézlapon vagy szűrőpapíron leszűrjük. Tárolása hűtőben vagy fagyasztva, illetve liofilizált állapotban, por formájában lehetséges. A gombákban található poliszacharidok hőstabilak és vízoldékonyak, ezért jól kivonhatók ezzel a módszerrel.

Alkoholos módszer

Szárítás és aprítás után a gombát 70%-os alkoholba (általában etilalkoholba) áztatják a kinyerendő anyagok függvényében változó időtartamra, ami 1 héttől akár több hétig is terjedhet. Majd a beáztatott gombát sötet helyen tartjuk és időnként a jobb kioldódás érdekében rázogatjuk. Az elkészült oldatot leszűrjük. Az alkoholos módszert triterpének, fenolos vegyületek, flavonoidok, szterolok kinyerésére használják, mert ezek vízben nem, de alkoholban kiválóan oldódnak.

A forróvizes és az alkoholos módszer együttes alkalmazásával mind a vízoldékony, mind az alkoholban oldódó vegyületek kinyerhetők ugyanabból a gombából. Elsőnek az alkoholos módszert alkalmazzuk, majd szűrés után a visszamaradt gombaaprítékon alkalmazzuk a forróvizes módszert is. Újabb szűrés után a vizes és az alkoholos frakciót összekeverjük.

Ultrahangos módszer

A megfelelő oldószerbe áztatott gombaport ultrahanghullámoknak vetjük alá. Ennek hatására a folyadékban mikrobuborékok keletkeznek, amelyek hirtelen kipukkadva nagy lokális nyomást és hőt idéznek elő, Ennek hatására roncsolódnak a gomba sejtfalak és a hatóanyagok könnyebben kioldódnak. A folyamat végén szűrés és feldolgozás szükséges.

Enzimatikus előkezelés

A gombák sejtfala nagyon ellenálló, ami a bennük található kitinnek, cellulóznak, fehérjéknek és béta-glükánoknak köszönhető. Az enzimatikus előkezelés során a gombaport pufferoldatba helyezzük, majd ehhez adjuk hozzá az enzimeket (kitináz, glükanáz, celluláz, proteáz), majd 2-6 óra inkubációs idő után bizonyos esetekben az enzimet hőkezeléssel inaktiváljuk. Ezután következhetnek a klasszikus vizes és/vagy alkoholos extrakciós eljárások – esetleg ultrahangos módszerrel kombinálva.

Szuperkritikus szén-dioxidos extrakció

A szén-dioxid 31 Celsius fokos hőmérséklet és 74 bar nyomás fölött szuperkritikussá válik, ami azt jelenti, hogy egyszerre mutat a folyadékokhoz és a légnemű anyagokhoz hasonló viselkedést. Ebben az állapotában a szén-dioxid könnyen áthatol a sejtfalon, jól oldja a zsíroldékony anyagokat, majd a folyamat végén egyszerűen elpárolog, ezért szennyező anyag nem marad vissza. Előnyei közé tartozik tehát, hogy oldószermentes, környezetbarát, alacsony hőmérsékletet használ, nem károsítva ezzel a hőlabilis hatóanyagokat. Hátránya, hogy csak zsíroldékony hatóanyagok (szterolok, fenolos vegyületek) kivonására alkalmas. A vízoldékony vegyületek kinyerése érdekében egyéb módszerekkel kombinálható.

Membrántechnológia

A memrántechnológia a gomba-hatóanyagok kinyerését tekintve egy új módszer. Nem kifejezetten a hatóanyagok kinyerésére, hanem a vizes vagy alkoholos kivonatok utókezelésére, tisztítására és koncentrálására használják. A membránszűrés során egy féligáteresztő membránon keresztül történik a folyadék átáramlása – leggyakrabban nyomás hatására –, ezáltal a részecskék méretüktől függően a permeátumba (áteresztett anyag) vagy retentátumba

(visszamaradt anyag) kerülnek. A folyamat során keletkezett permeátumot, retentátumot vagy akár mindkettőt tovább használhatjuk.

A gyakrabban alkalmazott **membrántechnológiai eljárások a következők:**

1. **Ultraszűrés (UF)**:
   - Eltávolítja a nagyobb sejttörmeléket, fehérjéket, poliszacharid aggregátumokat.
   - Képes **koncentrálni a nagy molekulatömegű bioaktív anyagokat**, mint a β-glükánok (immunerősítő poliszacharidok).
2. **Nanoszűrés (NF)**:
   - Eltávolítja a kis molekulájú szennyezőket, oldott sókat.
   - Kiválóan alkalmazható a **kis molekulájú, de bioaktív vegyületek koncentrálására**, pl. triterpének vagy fenolos vegyületek esetén.
3. **Fordított ozmózis (RO)**:
   - Víz eltávolítására használható, ezzel tovább **koncentrálható** a kivonat, anélkül, hogy magas hőmérsékletre lenne szükség (ellentétben pl. a bepárlással).
   - Alkalmas a **végső tisztításra** is.

Előnyök a hagyományos módszerekkel szemben:

1. Hőmentes eljárás: A hőérzékeny vegyületek (pl. antioxidánsok) nem sérülnek.
2. Szelektív szűrés: Olyan hatóanyagok is kinyerhetők, amelyek más módszerekkel elvesznének.
3. Energiahatékony: Nem igényel magas hőmérsékletet vagy hosszú szárítási időt.
4. Moduláris felépítés: Könnyen illeszthető más extrakciós technológiákhoz.

Az 1. táblázat az egyes extrakciós metodikák előnyeit és hátrányait mutatja be:

1. táblázat: Az extrakciós technikák összefoglalása

Módszer	**Célvegyület(ek)**	**Előny**	**Hátrány**
Forróvizes	Poliszacharidok, vízoldékony fehérjék	Egyszerű, olcsó	Csak vízoldékony anyagok
Alkoholos	Triterpének, fenolok	Zsíroldékony vegyületek kinyerhetők	Vízoldékonyak nem nyerhetők ki
Ultrahangos	Zsír vagy vízoldékony vegyületek	A sejtfalak roncsolásával, előkezelésként hatékonyabbá teszi az első két módszert	
Enzimatikus előkezelés	Kitináz, celluláz, proteináz enzimekkel lebontja a sejtfalat	Az első két módszer használata előtt, könnyebb hozzáférés	
Szuperkritikus szén-dioxidos extrakció	Zsíroldékony vegyületek, fenolok, szterolok	Alacsony hőmérséklet, oldószermentes, környezetbarát	Vízoldékonyakra nem használható
Membrántechnológia	Tisztítás, frakcionálás koncentrálás	Oldószermentes, hőhatástól mentes	Pórusok eltömődése

A membrántechnológia különböző pórusméreteket használ az egyes anyagok elválasztására. Az előszűréssel (mikroszűrés) eltávolíthatók a nagyobb szennyeződések és sejttörmelékek. Ezután következik a membránfrakcionálás, ahol ultra- vagy nanoszűréssel elválasztják a különböző molekulaméretű részecskéket.

Módszer	**Pórusméret**	**Felhasználás**
Mikroszűrés	0,1-10 mikrométer	Sejttörmelék, nagyobb részecskék, szennyeződések eltávolítása
Ultraszűrés	1-100 nm	Poliszacharidok, fehérjék kivonása
Nanoszűrés	0,5-2 nm	Fenolos vegyületek kivonása
Fordított ozmózis	0,5 nm-nél kisebb	Víz elválasztása, koncentrálás

A **membrántechnológia használatának tehát az eddig alkalmazott módszerekkel szemben, vagy akár azokat kiegészítve is több előnye van.** Használata során nem roncsolódnak a hőérzékeny vegyületek, például a poliszacharidok. Nem használ oldószereket, ezáltal környezetbarát és nem áll fenn a kivonat szennyeződésének veszélye. Utóbbi elsősorban élelmiszeripari, illetve táplálékkiegészítőkhöz történő felhasználás esetén fontos. Segítségével specifikusan tudjuk elválasztani az egyes hatóanyagokat. Az elválasztás történhet molekulaméret alapján (nanofiltráció esetén a nagyobb molekulaméretű béta-glükánok a retentátumba kerülnek), töltés alapján (a negatív töltésű fenolsavakat a negatív töltésű membrán visszatartja), vízoldékonyság szerint (hidrofób, illetve hidrofil membránok alkalmazásával), valamint funkcionalizált membránok alkalmazásával, amelyek csak adott molekulákat kötnek meg (lektinek, ergothioneinek). A kivonatokban visszamaradt kis méretű peptidek, sók, cukrok negatívan befolyásolhatják a kivonat bioaktivitását, nehezítik a standardizációt, ezért optimális esetben ezek eltávolításra kerülnek. Erre kiváló módszer a membrántechnológia, mert a nanofiltráció során a fenti kismolekulájú anyagok eltávoznak, az aktív hatóanyagok a retentátumban maradnak. Ugyanezen kismolekulák eltávolítására használható még a reverz ozmózis módszere, amelynek a lényege az, hogy a normális ozmózissal szemben nem a hígabb oldatból áramlik az oldószer a sűrűbb oldat felé, hanem nyomás hatására fordított áramlás jön létre a semipermeabilis membránon keresztül. A fordított ozmózis módszere kiválóan alkalmas vizes oldatok további besűrítésére is.

Alkalmazható több, napjainkban erősen kutatott és felhasznált gyógyhatású gombafaj esetében:

- Téli fülőke (*Flammulina velutipes*) fehérjék, poliszacharidok
- Kései laskagomba (*Pleurotus ostreatus*) béta-glükán, toxikus ionok
- Shiitake (*Lentinula edodes*) poliszacharid (lentinán)
- Pecsétviaszgomba (*Ganoderama lucidum*) poliszacharidok, triterpének

Fenolos vegyületek esetén megfigyelhető az adszorpciós hajlam a PES membránok felületéhez, valamint a vegyületek egymással, illetve poliszacharidokkal való kapcsolódási hajlama. Ezek a szűrési folyamatot negatívan befolyásolhatják. A filtráció paramétereit

befolyásolják a membrán tulajdonságai (pórusméret, töltés, felületi topográfia), valamint a transzmembrán nyomás, a tangenciális áramlási sebesség és a hőmérséklet. [Alsobh et al., 2022]

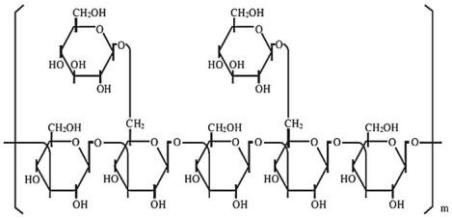
A nagyobb szelektivitás érdekében kromatográfiás módszerekkel lehet kombinálni. [Ahmed et al., 2024].

Noha a memrántechnológia a bioaktív anyagok kiválasztásában még több ponton fejlesztésre szorul (tisztasági korlátok, fouling, hőmérsékleti korlátok), az eddigi kutatások alapján ígéretes módszernek tűnik.

A fontosabb hatóanyagok, előfordulásuk és élettani hatásaik

Poliszacharidok

A poliszacharidok sok monoszacharid egységből álló szénhidrát molekulák, amelyeket glikozidos kötések kapcsolnak össze. A gombákból kivonható bioaktív poliszacharidok nagyrészt a béta-glükánok csoportjába tartonak, amelyek elágazó láncú poliszacharidok. Előfordulnak *Ganoderma* fajok, *Pleurotus ostreatus* és *Flammulina velutipes, Grifola frondosa* és *Trametes versicolor* fajokban.



Béta-glükán

- Immunmoduláns hatásukkal serkentik a makrofágok, NK sejtek működését, aktiválják a T-limfocitákat. Gyorsítják az antigének bemutatását és a jelátviteli kaszkádokat. Antibakteriális hatásukat tehát nem közvetlenül fejtik ki, hanem az immunrendszer gyorsabbá és hatékonyabbá tételén keresztül.
- Tumorellenes hatásukat szintén az immunrendszer modulálásán keresztül fejtik ki. In vitro kísérletekben azt találták, hogy a *Ganoderma* termőtestekből kivont poliszacharidok jelentős mértékben növelték az IL-1béta, TNF-alfa és IL-6 koncentrációt makrofág kultúrában a kontroll sejtkultúrához képest. Valamint a kivonattal kezelt leukémiás sejtvonalakban nagymértékben csökkent a proliferációs ráta és megnövekedett az apoptotikus sejtek aránya, valamint 40-45%-ban a leukémiás sejtek érett fehérvérsejtekké alakultak át. [Wang et al., 1997]
- Antioxidáns hatásukat többféle mechanizmussal is kifejthetik. Közvetlenül képesek semlegesíteni a szabadgyököket, fokozzák az antioxidáns enzimek szintetizálását, illetve a lipidperoxidáció gátlásával védik a sejthártyát. Az oxidatív folyamatok szerepet játszanak mind a neurodegeneratív betegségek, mind a rák, a szív-érrendszeri betegségek kialakulásában és az öregedési folyamatokban. A *shiitake* gombából kivont lentinán különösen erős atioxidáns tulajdonságokkal rendelkezik.
- Többféle mechanizmuson keresztül csökkentik a koleszterinszintet, optimalizálják a LDL-HDL arányt. Megkötik a bélben az epesavakat, ezért azok nem tudnak visszaszívódni, hanem kiürülnek és a szervezet új epesavak előállítására kenyszerül. A májban történő koleszterin metabolizmust közvetve, enzimaktiváláson keresztül befolyásolják.

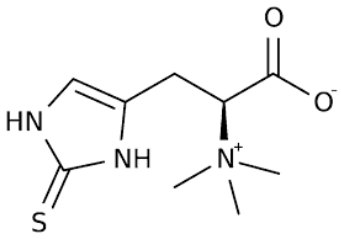
  Egereken végzett kísérletekkel igazolták, hogy a *Ganoderma* kivonat csökkentette a teljes szérum koleszterinszintet, az LDL szintet és a triglicerid szintet, több esetben

Szimvasztatinnál nagyobb mértékben. Hatására csökkent a bélből történő koleszterin felszívódása es fokozódott a széklettel való ürítése. [Meneses et al., 2016]

- Prebiotikus hatásuknál fogva segítik a bélben a hasznos baktériumok elterjedését (*Lactobacillus, Bifidobacterium* fajok). Bélvédő hatásaik közé tartozik még a bélben található immunsejtek támogatása, az áteresztő bél szindróma csökkentése, valamint a rövid szénláncú zsírsavak termelődésének elősegítése a nyálkahártya védelme érdekében. Egereken végzett kísérletek alapján a ***Ganoderma****ból* származó poliszacharidok bizonyítottan növelik a bélben a *Lactobacillusok* mennyiségét. [Meneses et al., 2016]

Ergotionein

Az ergothionein egy természetes, kéntartalmú aminosav származék, amit az ember nem, de bizonyos gomák képesek szintetizálni. Főként antioxidáns hatása miatt került a figyelem középpontjába. Kalapos gombák közül nagyobb mennyiségben található a *Pleurotus ostreatus, Agaricus bisphorus, Lentinula edodes* és *Boletus edulis* fajokban.

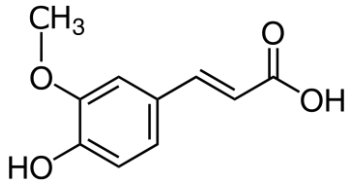


Ergothionein

- Az antioxidáns hatás többféle mechanizmussal valósul meg. Prooxidáns fémionokhoz kötődik, ezáltal megakadályozza a hidroxilgyökök keletkezését. Direkt módon hatástalanítja a káros szabadgyököket, ezta mitokondriumokon belül is képes megtenni. Direkt módon akadályozza a lipidperoxidációt, a fehérjék és a DNS oxidatív károsodását. UV sugárzás hatására a sejtekben kialakult sejtkárosodás az oxidatív elváltozásokon keresztül valósul meg. Ergothionein kezelésnek kitett fibroblasztokban jelentősen csökkent a TNF es a Mmetalloproteináz 1 szintje, a sejtek magasabb vitalitását figyelték meg. Az ergothionein képes elnyelni az UV tartományba eső fényt, ezáltal csökkentheti a bőr öregedését. [Cheah, és Halliwell, 2012]
- A gyulladáscsökkentő hatás a gyulladásos génexpresszió gátlásán és a gyulladásos citokinek (TNF1-alfa, IL1, IL6, COX) termelődésének csökkentésén alapul. Csökkennti az érfalakban megjelenő gyulladásos molekulák mennyiségét, ezáltal védi az endotheliumot. Idegrendszeri, bél, illetve ízületi gyulladásos és autoimmun folyamatokban is potenciálisan hasznosítható.

Fenolvegyületek

A fenolvegyületek egy vagy több aromás gyűrűt és hidroxilcsoportot tartalmazó szerves vegyületek. Nagyobb mennyiségben előfordulnak a *Ganoderma lucidum, Pleurotus ostreatus, Lentinula edodes, Grifola frondosa* és a *Hericium erinaceus* fajokban.



Ferulsav

- Antioxidáns aktivitásukat az ergothioneinhez hasonlóan közvetlenül szabadgyök semlegesítésen és a lipidperoxidáció gátlásán keresztül fejtik ki.
- Gyulladásos mediátorok (IL1,6, TNF-alfa), illetve enzimek szintjének csökkentésén keresztül fejtik ki antiinflammatorikus hatásukat.

- A baktériumok, gombák, és vírusok szaporodását gátolják. Akadályozzák bizonyos vírusok sejthez kötődését, sejtbe kerülését és a replikálódást is, valamint a vírusfehérjék gátlását idézik elő. Baktériumok esetében károsítják a sejtfalat és a sejtmembránt, valamint a bakteriális enzimeket és precipitálják a bakteriális fehérjéket. *Flammulina* és *Hypsizigus* fajokkal végzett vizsgálatok alapján azt találták, hogy a vizes kivonatok sokkal erősebb antibakteriális hatást eredményeztek az alkoholos kivonatoknál, valamint, hogy az adott oldatok fenolvegyület-koncentrációja egyenes arányban állt az antibakteriális hatással. [Shah et al., 2018]

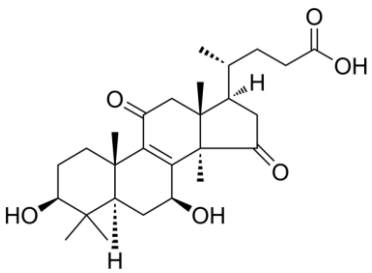
Lektinek

A lektinek fehérje típusú vegyületek, amelyek a sejtfelszíni szénhidrátokhoz specifikusan kötődnek, ezáltal részt vesznek a sejtek közötti kommunikáció és a sejtfelismerés mechanizmuásában. Leggyakrabban A*garicus bisphorus, Ganoderma, Lentinula edodes, Pleurotus ostreatus* és *Flammulina velutipes* fajokból állítják elő.

- Tumorsejtek apoptózisát szelektíven indukálják, mivel a sejtfelszíni szénhidrátok alapján képesek elkülöníteni a dagantos sejteket a normál sejtektől. Gátolják a tumorsejtek által indukált angiogenezist, illetve a tumorsejtek osztódását is megakadályozzák. Segítik az immunrendszer tumorellenes védekezését a citokintermelés fokozásán, valamint a T és NK sejtek aktiválásán keresztül. Lektineket speciális szénhidrát felismerő tulajdonságaik miatt target molekulaként is használnak liposzómák vagy nanorészecskék tumorhoz szállítására.
- A lektinek a bektériumok sejtfalán található poliszacharidokhoz kötődve megakadályozzák a sejthez való kötődést, illetve fokozzák a bakteriális membrán permeabilitását, ezzel sejthalált előidézve. Vírusok esetében szintén akadályozzák a sejthez kötődést és a penetrációt, egyes esetekben interferálnak a vírus nukleinsav képzésével. Gyulladáscsökkentő hatásukat az anti-inflammatorikus citokinek termelődésének fokozásán és a pro-inflammatorikus citokinek gátlásán keresztül fejtik ki. Fontos emellett még a makrofágok es a T sejtek modulálása es az oxidatív útvonalak gátlása.

Triterpének

A **triterpének** 30 szénatomos természetes szerves vegyületek, amelyek hat izoprén egységből épülnek fel. A gombákban általában sav formájában fordulnak elő. Előállításukra a leggyakrabban haszált fajok a *Ganoderma lucidum* és a *Flammulina Velutipes*.



Lucidénsav

- Tumorsejteken belül aktiválják a mitokondriális apoptotikus útvonalat, gátolják a dagantsejtek osztódását, valamint csökkentik a VEGF szintjét, akadályozva ezzel a neoplasmaticus angiogenezist. A tumorsejtek migrációs és inváziós képességét csökkentve gátolják a metasztázisok kialakulását.
- Különböző jelátviteli utak és enzimatikus génexpressziók befolyásolása révén mind az akut, mind a krónikus gyulladást csökkentik.

- Oxidatív folyamatokkal szemben a szabadgyökök közvetlen megkötésén, a lipidperoxidáció gátlásán és az endogén antioxidáns rendszer serkentésén keresztül védik a sejteket.
- A hepatoprotektív hatás a lipidperoxidáció gátlásán, antioxidáns enzimek termelődésének fokozásán és a gyulladásos citokinek és enzimek csökkentésén keresztül valósul meg. Hatására csökken a vérben a májkárosodást jelző markerek (ASAT ALAT) szintje.

A bazídiumos gombákból nyert vegyületek felhasználási területei

Élelmiszerekben

A poliszacharid típusú vegyületeket funkcionális élelmiszerekben használják fel, az tápanyag funkción túl prebiotikus, illetve immunrendszert támogató hatást adva az adott terméknek. Ezek általában müzlik, tejtermékek, gabonafélékből készült termékek. A fenolos vegyületek antioxidáns hatásuk révén meghosszabbítják az élelmiszerek eltarthatóságát. Bizonyos peptidek és enzimek antimikrobiális és antimycotikus hatásukon keresztül egyfajta tartósítószerként használhatók. Még nem teljesen kihasznált terület, az új termékek bevezetése az EU-ban engedélyköteles.

Étrendkiegészítőkben

A *Ganoderma* és *Shiitake* fajokból kivon poliszacharidokat kapszulák és italporok formájában immunmoduláns hatásuk miatt használják. A szintén *Ganodermából* kivont triterpéneket májvédő, gyulladáscsökkentő és tumorellenes hatásuk miatt koncentrált kivonatok formájában állítják elő. Az ergothionein sejtvédő és öregedést lassító hatása miatt alkalmazzák akár kapszula formájában (általános hatás), akár krém formájában, a bőr öregedését lassítandó. Sok készítményt általános közérzetjavítóként hoznak forgalomba. Ritkán mellékhatások (allergiás reakciók, emésztési zavarok) előfordulhatnak, illetve hagyományos gyógyszerekkel interakció léphet fel.

Állati takarmányokban (immunmoduláns és antimikrobiális hatás)

Általánosságban felhasználhatók a bélflóra javításán keresztül a jobb takarmány-hasznosulásra, gyorsabb súlynövekedés elérésére. Az immunrendszer támogatásán és az antimikrobiális hatáson keresztül a kórokozók elleni védekezésre, valamint az oxidatív stressz csökkentésére.

Kutatás (daganatellenes és metabolikus hatás)

Mivel az eddigi adatok a gombakivonatok alkalmazásában számtalan további lehetőséget sejtetnek, több egyetemen, kutatóintézetben folynak nagyszabású kutatások. Legígéretesebb terület a *Ganoderma* rákellenes hatásának vizsgálata, de antimikrobiális, antivirális, neuroprotektív, öregedés lassító, metabolikus szindrómát javító és bélflóra regeneráló hatásaik is további kutatások tárgyát képezik.

Összefoglalás

A gombákból kivonható poliszacharidok, főként béta-glükánok, immunmoduláns, tumorellenes, antioxidáns, koleszterinszint-csökkentő és prebiotikus hatással rendelkeznek. Előfordulnak többek között a *Ganoderma, Pleurotus ostreatus, Flammulina velutipes* és *Trametes versicolor* fajokban. Aktiválják az immunsejteket, fokozzák a gyulladásos citokinek termelését, csökkentik a tumorsejtek osztódását és segítik az érett immunsejtté való differenciálódást. Csökkentik a koleszterinszintet és támogatják a bél mikrobiomját. Az ergothionein egy kéntartalmú antioxidáns aminosav-származék, amely többek között a *Pleurotus, Agaricus, Lentinula* és *Boletus* fajokban fordul elő. Hatékonyan semlegesíti a szabadgyököket, gátolja az oxidatív stresszt és gyulladáscsökkentő hatású, védelmet nyújt az UV-sugárzás és gyulladásos betegségek ellen.

A fenolvegyületek antioxidáns, gyulladáscsökkentő és antimikrobiális tulajdonságúak. Gátolják a gyulladásos mediátorok képződését, a patogének szaporodását, valamint egyes vírusok sejthez kötődését és replikációját. A kivonatok fenolvegyület-tartalma és antibakteriális hatása között pozitív korrelációt figyeltek meg. A lektinek sejtfelszíni szénhidrátokhoz kötődő fehérjék, amelyek szelektíven indukálják a tumorsejtek apoptózisát, gátolják az angiogenezist, támogatják az immunválaszt, és felhasználhatók célzott gyógyszerszállításra. Emellett antimikrobiális és antivirális hatással is rendelkeznek.

Köszönetnyilvánítás

A tanulmány a Magyar Tudományos Akadémia Bolyai János Kutatási Ösztöndíja támogatásával készült a BO/00896/24/5 pályázati számra való hivatkozással.

Irodalomjegyzék

Ahmed, T., Juhász, A., Bose, U., Terefe, N. S., & Colgrave, M. L. (2024). Research trends in production, separation, and identification of bioactive peptides from fungi–A critical review. Journal of Functional Foods, 119, 106343.

Alsobh, A., Zin, M. M., Vatai, G., & Bánvölgyi, S. (2022). The application of membrane technology in the concentration and purification of plant extracts: a review. Periodica Polytechnica Chemical Engineering, 66(3), 394-408.

Cassano, A., Conidi, C., & Drioli, E. (2011). Clarification and concentration of pomegranate juice (Punica granatum L.) using membrane processes. Journal of Food Engineering, 107(3-4), 366-373.

Cheah, I. K., & Halliwell, B. (2012). Ergothioneine; antioxidant potential, physiological function and role in disease. Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Molecular Basis of Disease, 1822(5), 784-793.

Lindequist, U., Niedermeyer, T. H., & Jülich, W. D. (2005). The pharmacological potential of mushrooms. Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine, 2(3), 285-299.

Meneses, M. E., Martínez-Carrera, D., Torres, N., Sánchez-Tapia, M., Aguilar-López, M., Morales, P., et al. (2016). Hypocholesterolemic properties and prebiotic effects of Mexican *Ganoderma lucidum* in C57BL/6 mice. PloS one, 11(7), e0159631.

Shah, S. R., Ukaegbu, C. I., Hamid, H. A., & Alara, O. R. (2018). Evaluation of antioxidant and antibacterial activities of the stems of *Flammulina velutipes* and *Hypsizygus tessellatus* (white and brown var.) extracted with different solvents. Journal of Food Measurement and Characterization, 12, 1947-1961.

Wang, S. Y., Hsu, M. L., Hsu, H. C., Lee, S. S., Shiao, M. S., & Ho, C. K. (1997). The anti-tumor effect of *Ganoderma lucidum* is mediated by cytokines released from activated macrophages and T lymphocytes. International journal of cancer, 70(6), 699-705.

Wasser, S. (2014). Medicinal mushroom science: Current perspectives, advances, evidences, and challenges. Biomedical journal, 37(6).

Zaidman, B. Z., Yassin, M., Mahajna, J., & Wasser, S. P. (2005). Medicinal mushroom modulators of molecular targets as cancer therapeutics. Applied Microbiology and Biotechnology, 67, 453-468.

MŰSZAKI KÉMIAI NAPOK 2025

Beszámoló

A Pannon Egyetem Mérnöki Kara **53. alkalommal** rendezte meg 2025. április 15-16. (kedd-szerda) napokon tudományos konferenciáját a veszprémi campus B épületének II. emeleti Konferenciaközpontjában. Az első nap délelőtti megnyitón Németh Sándor dékán, Abonyi János rektor és Kovács Áron önkormányzati képviselő köszöntötte a megjelenteket, majd Karaffa Levente professzor (Debreceni Egyetem) tartott előadást „A bioreaktor korróziójának hatása az *Aspergillus niger* citromsav fermentációra” címmel (képünkön).



Karaffa Levente

Ezt követően Feczkó Tivadar tudományos főmunkatárs (HUN-REN Természettudományi Kutatóközpont, AKI) a fázisváltó hőtároló anyagokról beszélt.

A kedd délutáni szekcióelőadások a folyamatmérnöki és a biomérnöki tématerületek köré szerveződtek, továbbá egy HU-RIZONT szekció is zajlott. A Biomérnöki Szekció – ami egyben az MTA Biomérnöki Munkabizottságának ülése is volt – levezető elnök tisztét Németh Áron docens (BME) vállalta idén, immáron sokadik

alkalommal. Ebben a szekcióban két műegyetemi, egy MATE-ről érkezett és három helyi, Pannon Egyetemi előadás hangzott el. A tématerületek igen sokfélék voltak: gamma-dekalakton termeléstől a tejsav fermentáción át a membrán gradosztat reaktorig és a bioelektrokémiai rendszerekig.

Szerda délelőtt zajlott az Anyagtudományi szekció (és az MTA Anyagtudományi és Szilikátkémiai MB ülése), a VEAB Kőolaj és Gázipari MB előadói napja, valamint a Bio-nanotechnológiai szekció. Délután került sor a Műveletek és a Környezetmérnöki szekció előadásaira, továbbá ekkor rendeztük a Szeparációs/Membrános eljárások szekciót is. Ez utóbbiban is igen színes volt a felhozatal: az elektro-biofinomítóktól a klór-alkáli elektrolízisen át a fordított ozmózisos membrán modulokig és többrétegű polielektrolit nanoszűrőkig.

Az idei konferenciára picivel többen regisztráltak, mint tavaly, de így is be lehetett sűríteni két napba a programokat. A kedd esti fogadás a szokásos kellemes hangulatban telt, s összességében szakmailag – a résztvevők nagy részének visszajelzései alapján – sikeresnek ítélhetjük a rendezvényt.

Tejsav alapú komplex kutatás-fejlesztés

Nagy Gábor[1], Hülberné Beyer Éva[2], Nemestóthy Nándor[2]

[1] KALL INGREDIENTS KFT.
5211 Tiszapüspöki Fehértó Part1.
[2] Pannon Egyetem, Mérnöki Kar, BKV-KFK,
Biomérnöki, Membrántechnológiai és Energetikai Kutatócsoport
8200 Veszprém, Egyetem utca 10.

A Pannon Egyetem és a KALL Ingredients Kft. együttműködésében megvalósult kutatás a tejsav kukoricafeldolgozásban betöltött szerepének komplex vizsgálatára irányult. A projekt célja az volt, hogy feltárja a tejsav előnyös hatásait és minimalizálja a károsakat, ezáltal új termékeket és eljárásokat fejlesszen ki. A kutatás három fő területre összpontosított: az alkohol fermentációban a tejsav keletkezés visszaszorítási lehetőségeinek vizsgálatára, fermentációs célú gabonaszirup előállítására, valamint a tejsav közvetlen előállíthatóságának vizsgálatára rendelkezésre álló, belső anyagáramok felhasználásával. A kutatás során a Pannon Egyetem biotechnológiai és vegyészmérnöki szakértelmével járult hozzá a KALL Ingredients üzemi méretű vizsgálataihoz. A projekt eredményeként mérnöki dokumentációs csomag készült, amely egy későbbi beruházás alapját képezheti. A kutatás hozzájárult a hazai mezőgazdasági termékek magasabb hozzáadott értékű hasznosításához és az élelmiszerellátás biztonságának növeléséhez.

A tejsav gátló hatása az etanol-fermentációra

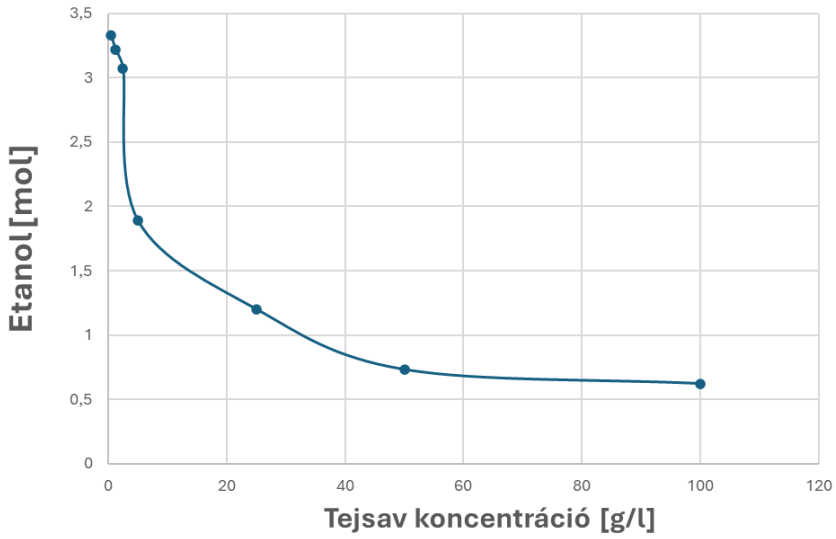
A bioetanol-gyártás egyik kritikus pontja az alapanyagok, jellemzően a kukoricában lévő poliszacharidok lebontása. Bár a száraz őrléses eljárás gazdaságilag elterjedtebb, a nedves technológiák precízebb komponens-szétválasztást tesznek lehetővé. A kutatás a nedves eljárás során keletkező, tápanyagokban gazdag, de a fermentációt gátló, kén-dioxidot is tartalmazó kukorica áztatólevére (CSL) fókuszált.

A kénessavas áztatás savas közeget teremt, amely kedvez a tejsavbaktériumok elszaporodásának. Az általuk termelt tejsav ugyan segíti a magszerkezet fellazítását, ami előnyös, ugyanakkor a fermentációs közegben felhalmozódva gátolja az élesztősejtek működését, csökkentve az alkoholtermelés hatékonyságát.

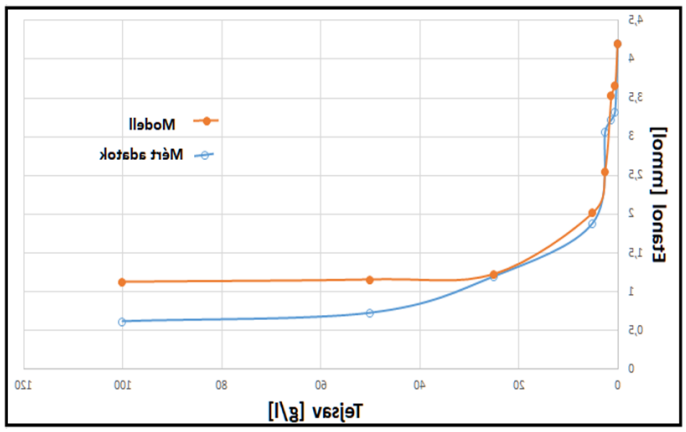
A kísérletek egyértelműen igazolták ezt a negatív korrelációt. Ahogy az **1. ábrán** látható, a tejsav koncentrációjának növekedésével (vízszintes tengely) az etanolhozam (függőleges tengely) szignifikánsan csökken.

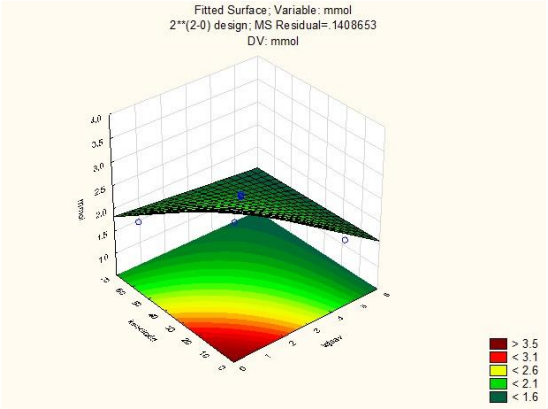
Ezt a gátló (inhibíciós) hatást egy kinetikai modellel is leírtuk (**2. ábra**), ahol a mért adatok (kék vonal) jól illeszkednek a számított modell görbéjére (narancs vonal). Ez a modell lehetővé teszi a folyamatok jobb előrejelzését és optimalizálását. A komplexebb, több változót is figyelembe vevő elemzésekhez 3D-s válaszfelületi modelleket is alkalmaztunk (**3. ábra**), amelyek a különböző tényezők együttes hatását vizualizálják.

Széchenyi Terv Plusz Építsük együtt Magyarországot!
Magyarország Kormánya
Az Európai Unió társfinanszírozásával



1. ábra: Etanol hozamok a tejsav koncentráció függvényében. A grafikon tisztán mutatja, hogy már kis mennyiségű tejsav is jelentősen csökkenti az elérhető alkoholhozamot.



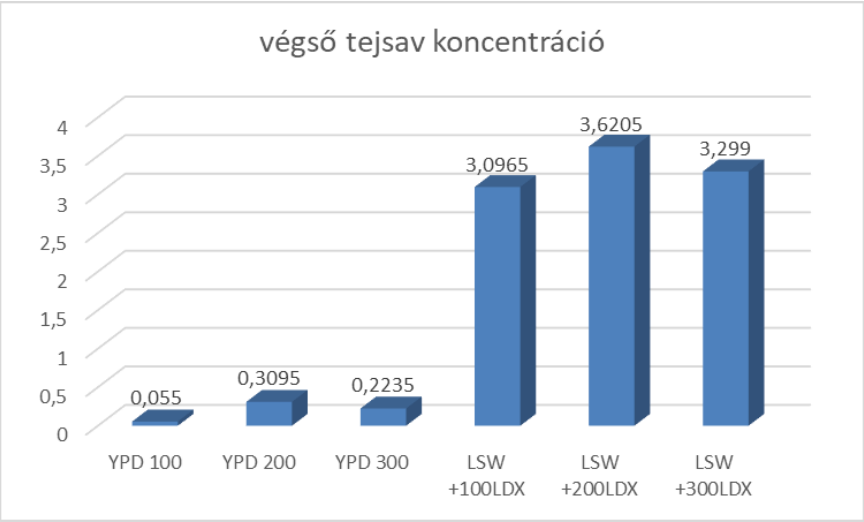


2. és 3. ábra: Bal oldalon az inhibíciós kinetikai modell látható tejsavra, amely megerősíti a gátló hatást. Jobb oldalon a folyamat 3D-s ábrázolása, amely a komplex összefüggések megértését segíti.

Speciális élesztőtörzs a tejsavtermelés szolgálatában?

A kutatás egyik iránya egy speciális élesztőtörzs, a LALLEMAND WildBrew Philly Sour™ alkalmazása volt, amely az alkoholos fermentáció mellett tejsav előállítására is képes. A hipotézis az volt, hogy ezzel egy kontrollált, egy lépésben zajló folyamat valósítható meg. A kísérleteket szintetikus táptalaj (YPD) mellett ipari alapanyagokon, áztatóvízen (LSW) és folyékony dextrózon (LDX) is elvégeztük. Az eredményeket a **4. ábra** szemlélteti.

Széchenyi Terv Plusz Építsük együtt Magyarországot!
Magyarország Kormánya
Az Európai Unió társfinanszírozásával



4. ábra: A WildBrew Philly Sour™ élesztő által termelt végső tejsav koncentrációk különböző táptalajokon. Bár az ipari alapanyagokat (LSW+LDX) tartalmazó mintákban magasabb volt a tejsavtermelés, a szintje elmaradt a várakozásoktól.

Az eredmények azt mutatták, hogy bár az élesztő képes volt hasznosítani az ipari szubsztrátokat, a tejsavtermelés meglepően alacsony maradt, a legtöbb esetben nem haladta meg a 3,6 g/L-t. Megállapítottuk, hogy a folyamatot az alacsony pH gátolja, míg a magasabb pH ugyan kedvez a tejsav képződésének, de ezzel párhuzamosan visszaszorítja az etanoltermelést. Egy 600 órás, stabilizált körülmények között végzett fermentoros kísérlet során az élesztő kiemelkedően magas, 98%-os etanolhozamot produkált, megerősítve, hogy ebben a rendszerben inkább kiváló alkoholtermelőként, mintsem hatékony tejsavforrásként viselkedik.

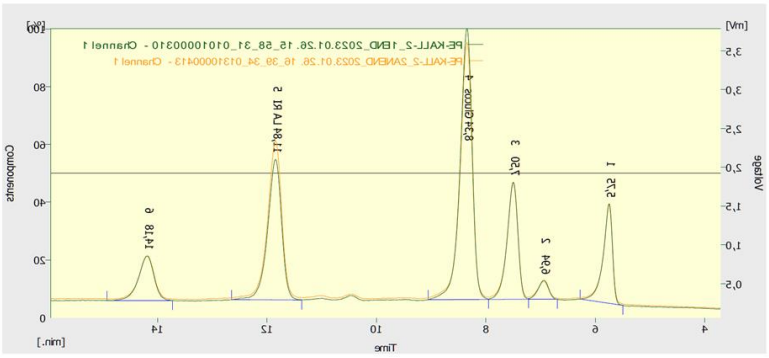
Potenciális tejsavtermelők nyomában – Baktériumizolálás a kukorica áztatólevéből

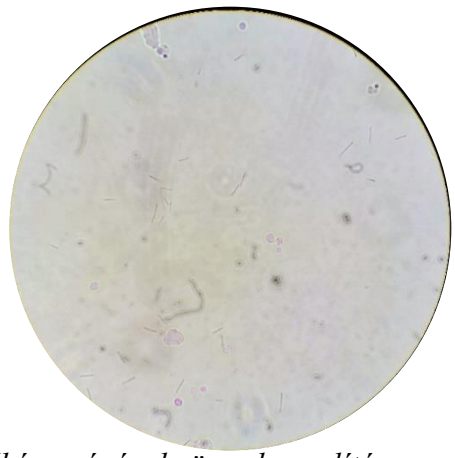
A projekt legígéretesebbnek bizonyuló iránya a kukorica áztatólevében (CSL) őshonos, de hatékony tejsavtermelő baktériumtörzsek felkutatása és izolálása volt, különös tekintettel a magasabb hőmérsékletet is elviselő (termotoleráns) mikroorganizmusokra.

A hőtűrő baktérium felfedezése

A szelekcióhoz 40°C-os inkubációs hőmérsékletet alkalmaztunk, amely a hőtűrő törzseknek kedvez. A folyamat során három morfológiailag eltérő izolátumot különítettünk el, melyek közül a PE-KALL-2 jelű bizonyult a legproduktívabbnak. Ez a törzs anaerob (oxigénmentes) körülmények között kiemelkedő, 12,9 g/L tejsavat termelt, 94%-os szubsztrát-konverziós hatékonysággal. A **6. ábrán** látható fáziskontraszt mikroszkópos felvétel vékony, nem mozgó pálca alakú baktériumokat mutat.

Széchenyi Terv Plusz Építsük együtt Magyarországot!
Magyarország Kormánya
Az Európai Unió társfinanszírozásával



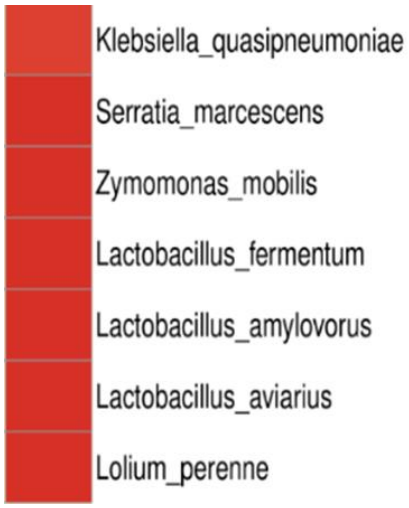


5. és 6. ábra: Bal oldalon a PE-KALL-2 izolátum termelőképességének összehasonlítása oxigénmentes (anaerob) és oxigénes (aerob) környezetben. Jobb oldalon az izolátum mikroszkópos képe (1000x nagyítás).

Metagenomikai meglepetés és új irányok

A kutatás egy pontján metagenomikai analízist végeztünk, hogy feltárjuk a CSL teljes mikrobiális közösségének összetételét. Az eredmény (lásd a **hőtérképet**) meglepetést hozott.

1. táblázat: A kukorica áztatólevének mikrobiális összetétele. A metagenomikai vizsgálat többek között különböző Lactobacillus fajok (L. fermentum, L. amylovorus, L. aviarius) jelenlétét mutatta ki.



Míg az eredeti mintában több *Lactobacillus* faj volt jelen, a 40°C-on izolált, leghatékonyabb PE-KALL-2 törzset a genetikai vizsgálatok egyértelműen *Bacillus coagulans*-ként azonosították. Ez rávilágított, hogy a magasabb inkubációs hőmérséklet szelektív nyomást gyakorolt a mikrobiótára, és a hőtűrő *Bacillus* törzsnek kedvezett.

E felismerés birtokában alacsonyabb, 28°C-os hőmérsékleten is megkíséreltük a *Lactobacillus* törzsek célzott izolálását. Ez öt új izolátumot eredményezett, melyek közül három ígéretesnek bizonyult a tejsavtermelés szempontjából (**7. ábra**). Itt azonban új technológiai kihívás jelentkezett: a pH stabilizálására használt kalcium-karbonát hatására a keletkező kalcium-laktát kicsapódott, ami gátolta a fermentációt.

Széchenyi Terv Plusz Építsük együtt Magyarországot!
MAGYARORSZÁG KORMÁNYA
Az Európai Unió társfinanszírozásával



7. ábra: Mezofil izolátumok fermentációs tesztjei. Az 1. és 3. reaktorban jól látható a kicsapódott szilárd anyag (kalcium-laktát), amely a folyamat optimalizálása során megoldandó problémát jelent.

Összegzés és konklúzió

A KALL Ingredients Kft. és a Pannon Egyetem közös kutatása sikeresen feltárta a tejsav komplex szerepét a kukorica-feldolgozásban. Egyértelműsítettük annak gátló hatását az etanol fermentációra, és ami a legfontosabb: sikeresen izoláltunk és azonosítottunk egy ipari szempontból is rendkívül ígéretes, magas hatékonyságú, termotoleráns *Bacillus coagulans* törzset. A projekt eredményeként egy komplett mérnöki dokumentációcsomag állt össze, amely megalapozhat egy jövőbeli, a tejsav ipari méretű előállítását célzó beruházást. Ez a kutatás-fejlesztési munka nem csupán tudományos szempontból értékes, de közvetlenül hozzájárul a hazai mezőgazdasági termékek magasabb hozzáadott értékű hasznosításához és Magyarország élelmiszer-ellátásának biztonságához.

Köszönetnyilvánítás

A kutatás a GINOP PLUSZ-2.1.1-21, 00233 Tejsav alapú komplex kutatás-fejlesztés a KALL Ingredients Kft. gyáregységében projekt keretében, a Széchenyi Terv Plusz program finanszírozásával valósult meg.

Széchenyi Terv Plusz Építsük együtt Magyarországot!
Magyarország Kormánya
Az Európai Unió társfinanszírozásával

KÖZELGŐ KONFERENCIÁK, KURZUSOK

15th International Conference on Membrane and Separation Processes & 10th Membrane Conference of Visegrad Countries, MEMSEP & PERMEA 2025
2025. június 24-26., Silesian Voivodeship, Lengyelország
https://www.polsl.pl/rie4/mempep_permea_2025/

14th World Filtration Congress
2025. június 30 – július 4, Bordeaux, Franciaország
https://wfc14.com/

40th EMS Membrane Summer School
2025. július 6-11., Twente University, Enschede, Hollandia
https://www.utwente.nl/en/tnw/fif/events/2025/7/7229/40th-ems-membrane-summerschool

MEMBRÁNTECHNIKA ÉS IPARI BIOTECHNOLÓGIA

A MKE Membrántechnikai Szakosztályának kiadványa ISSN 2061-6392

Felelős szerkesztő:
Bélafiné Dr. Bakó Katalin, Pannon Egyetem, Biomérnöki, Membrántechnológiai és Energetikai Kutatócsoport, 8200 Veszprém, Egyetem u. 10.
E-mail: belafine.bako.katalin@mk.uni-pannon.hu
A szerkesztőbizottság tagjai:
a MKE Membrántechnikai Szakosztály vezetősége: Dr. Nemestóthy Nándor, Békássyné Dr. Molnár Erika, Dr. Mizsey Péter, Dr. Hodúr Cecília, Dr. Vatai Gyula, Dr. Cséfalvay Edit, valamint Dr. Gubicza László (lektor)
Megjelenik: negyedévente, 300 példányban
Előfizetési díja: évi 1 500 Ft
Megrendelhető: MKE Membrántechnikai Szakosztály, 1015 Budapest, Hattyú u. 16.