



ÓBUDAI
ÁRPÁD
GIMNÁZIUM

Küldő intézmény neve: Óbudai Árpád Gimnázium

Cellulóz és lignocellulóz tartalmú hulladékok
talajbaktériumokkal történő komposztálásának vizsgálata

Készítő: Erdélyi Dorina

gimnáziumi tanuló

speciális matematika tagozat 9. b osztály

Felkészítő tanár: Tarlós Péter

Konzulens: Dr. Bódai Viktória



37. OTDK

Biológia Szekció

2024-2025

Tartalomjegyzék

Rövidítés jegyzék	3
1. Bevezető	3
1.1. Komposztálás.....	4
Komposztálás jelentősége	5
A cellulóz szerkezete	6
A hemicellulóz szerkezete	7
A lignin szerkezete	8
A lignocellulóz jellemzése	8
Komposztálást végző mikroorganizmusok.....	8
1.2. Vizsgált baktériumok jellemzése	9
<i>Bacillus circulans</i>	9
<i>Bacillus clausii</i>	10
<i>Bacillus halotolerans</i>	10
<i>Bacillus licheniformis</i>	10
<i>Bacillus megaterium</i>	11
<i>Bacillus polymyxa</i>	11
<i>Bacillus sonorensis</i>	11
<i>Bacillus subtilis</i>	12
<i>Bacillus cabrialesii</i>	12
<i>Paenibacillus glucanolyticus</i>	12
1.3. Komposzt érettségi vizsgálatok	13
1.4. Kereskedelembe kapható komposztálást segítő mikrobiológiai termékek	14
2. Céltküzés	16
3. Anyagok és módszerek.....	16
3.1. Vizsgált mikroorganizmusok és eredetük.....	16
3.2. Mikroorganizmusok fenntartása	17
3.3. Fermentáció.....	17
3.4. Higítási sor készítése, CFU meghatározása.....	18
3.5. Komposzt összeállítása	18
3.6. Komposzt beoltása	19

3.7.	Komposzt vizsgálata	19
3.8.	Zsázsa mag csírázásának vizsgálata	19
3.9.	Pak choi növény kísérlet	19
4.	Kísérletek és eredmények bemutatása	20
4.1.	Komposztálási kísérlet és eredményei	20
4.2.	Komposzt érettség, csírázásgátlás vizsgálat: Zsázsa mag csírázás vizsgálata	26
4.3.	Komposzt Pak choi nevelő közegeként történő hatékonyságának vizsgálata	27
5.	Összefoglalás	30
6.	További kísérlettervek	31
	Köszönetnyilvánítás	31
7.	Irodalom	32

Rövidítés jegyzék

CFU:	Colony Forming Unit, azaz telepképző egység, esetünkben darab baktérium/ml tápfolyadék
NU:	Nutrient táptalaj
PGPR:	Plant Growth Promoting Rhizobacteria, azaz növényi növekedést támogató talajbaktérium

1. Bevezető

Ma már mindenki számára természetes dolog a komposztálás. Ez sok más háztartáshoz hasonlóan a mi családukban is nagyon fontos. Próbálunk ügyelni rá, hogy minden növényi eredetű szerves hulladékot komposztáljunk, majd a talajra visszajuttatva minél szebb, egészségesebb növényeket termesszünk. Sajnos azt tapasztaltam, hogy vannak nehezebben bomló hulladékok, melyek lebontása lényegesen hosszabb időt vesz igénybe és ezek a hulladékok a komposzthalom átrostálása során jelentős mennyiségben visszamaradtak, ezért célom lett, hogy egy otthon is használható mikrobiális terméket fejlesszek ki. Bár a piacon kaphatóak ilyen készítmények, ezek többsége viszont csak a lebontási folyamatra magára fókuszál, és nem vizsgálja, hogy a veteményesbe visszajuttatott komposzt a növények növekedését is serkentő (PGPR) baktériumokat is tartalmazzon. Részt vehettem egy talajbaktérium készítményeket fejlesztő és gyártó cég kutató munkájában, ahol önálló kutatást végezhettem.

Kísérleteimet a Fermentia Kft. növényházában és a növényház melletti előkészítő laboratóriumban végezhettem. A cég egyik fő tevékenysége, hogy talajoltó baktériumkészítményeket gyártanak és fejlesztenek. Elsősorban mezőgazdasági felhasználás céljára gyártanak ilyen készítményeket, például a BactoFil termékcsaládot, melynek szárbontást támogató tagja a BactoCell talajoltó készítmény. Komposztálást segítő, kiskerti komposztálást támogató készítményük jelenleg még nincsen.

Saját kutatási feladatot kaptam, melyet úgy állítottak össze, hogy középiskolásként, kevesebb háttértudással is képes legyek önállóan végig vinni, és a kísérletek során a megfigyeléseimre építve gondolkodjak és kérdéseket tegyek fel. Ezen kérdéseknek köszönhető a kísérletek tovább gondolása és például a zsázsamag csírázási és a pak choi növénykísérletek elvégzése. A Witaria törzsgyűjteményéből (WCC¹) tizenkét PGPR baktériumot választottak ki kutatásaimhoz, melyeknek komposztbontási képességét vizsgáltam, majd az előállított komposztokat zsázsamag csírázásgátlási tesztben és pak choi növény növekedési tesztjeiben vizsgálhattam. Kísérleti eredményeimet felhasználva szeretnék komposztálást segítő, támogató mikrobiális készítményt fejleszteni.

A kísérletek előtt konzulenseimmel megbeszéltük a célokat és ajánlottak módszereket, de saját magam dönthettem el a kivitelezések módját. Természetesen mindig tudtam és kellett is kérdezni és rendszeresen beszámoltam arról is, amit a kísérletvégzés hónapjaiban észrevettem, tapasztaltam. A csoport támogatása ennek a dolgozatnak az összeállításánál is elengedhetetlen volt számomra.

1.1. Komposztálás

Az emberi tevékenységgel történő növényi biomassza átalakításának színtere a komposzt, ahol a szerves anyagok bontását mikroorganizmusok végzik. Ezek a mikroszervezetek a komposztálási folyamat során végig jelen vannak, de a közösség összetétele a lebontási folyamat során változik. A komposztálás időtartama eltérő, nagyban függ a komposzthalom méretétől, összetételétől, de befolyásolja az élővilága, a különböző organizmusok (pl: baktériumok, gombák, giliszták, rágcsálók stb.) jelenléte is.

Komposztálás során hő termelődik, köszönhetően a cukrok, fehérjék, keményítő lebomlásának. Ezen folyamatok erősen hőtermelő folyamatok. A jól működő komposztban 50°C körül gombák, sugárgombák, 65°C fölött spórás baktériumok végzik a bontást, 75°C fölött, amit kémiai folyamatok hoznak létre, megszűnik a mikrobiológiai aktivitás (ilyen magas

hőmérséklet kiskerti komposztálásnál nem jön létre) a komposzt összeesik. Ebben a fázisban a magas hőmérsékleten elpusztulnak a káros mikroszervezetek, magvak, gyommagvak, itt történik a komposzt higienizálása².

A komposzt hatékony lebontását ideális összetétele is segíti.³ A komposztban jelenlevő szénvegyületek energiaforrásként, és a szerves molekulák alapjaiként hasznosulnak, a nitrogén pedig alapvető molekulák építőköve, mint a nukleinsavak, fehérjék, koenzimek. A komposztban levő ideális C/N arányt körülbelül 25:1 és 35:1 között szokták meghatározni. A szén a mikroorganizmusok széndioxiddá oxidálják. A hatékony lebontáshoz körülbelül ennyi nitrogénre van szüksége a komposztálást végző mikrobiális közösségnek, ennél magasabb nitrogén arány esetén növekszik az ammónia koncentrációja, ami kellemetlen szagokat okoz. Az érési folyamat végére ez az arány 10-15:1-re alakul az eltávozó széndioxid miatt. Magas nitrogéntartalmú anyagok: a konyhai hulladékok, zöldség és gyümölcs maradványok, a fűnyesedék, friss zöld lombozat. Magas széntartalmú anyagok: fakéreg, faforgács, fűrészpor, avar, kartonpapír, stb. Általában úgy fogalmazzuk, hogy minél szárazabb, barnább az alapanyag, annál több benne a szén és kevesebb a nitrogén, zöldebb alapanyag pedig több nitrogént tartalmaz. Egyéb elemek, mint a foszfor, a kalcium vagy az esszenciális mikroelemek, mint a kálium, vas, bór, réz általában nem limitálóak, mert megfelelő mennyiségben jelen vannak a komposztot felépítő szerves anyagokban.¹³

Komposztálás jelentősége

A komposztálás a fenntarthatóság, a hulladék mennyiség csökkentése, a szervesanyagok körforgásos hasznosulása miatt is elengedhetetlen. A komposztálás során létrejött értékes humuszban a tápanyagok kötött formában vannak, melyeket a növények folyamatosan tudnak felvenni. Komposzt, komposzthumusz használatával javul a talajok szerkezete, a levegő számára átjárhatóbb, nedvességtartalmat visszatartó, értékes és tápanyaggazdag.^{2,4}

A 2024-től bevezetett kötelező biohulladék-szelektálási szabályozás miatt Magyarországon is egyre több helyen fognak komposztálni. Az új szabályozás értelmében minden háztartásnak és vállalkozásnak külön kell gyűjtenie a biohulladékot, amit központi komposztálóba visznek.⁵

A háztartásokban keletkező komposzt mennyisége jelentősen függ a háztartás méretétől, az étkezési szokásoktól, és attól, hogy mennyire tudatosan szelektálják a biohulladékot. Európai adatok alapján egy átlagos háztartás évente körülbelül 100-200 kg komposztálható biohulladékot termel.⁵ Magyarországon, az egy főre jutó éves élelmiszer-hulladék mennyisége körülbelül 68 kg, ami egy négyfős háztartás esetében évente körülbelül 272 kg biohulladékot

jelent. A komposztálás révén ezek a hulladékok hasznos szerves anyaggá alakíthatók, amelyeket a talaj tápanyagpótlására lehet felhasználni, így csökkentve a hulladéklerakók terhelését és a környezeti lábnyomot.⁶

Komposztból^{7, 8} többféle minőség létezik, ám minél jobb minőségű a komposzt, annál kevesebb is elegendő belőle. A szerkezeti komposzt rosszul sikerült, elsősorban szennyvíziszap, vagy magas zöldhulladék tartalmú komposztnak tekinthető. A tápanyag komposzt, alacsony mikrobiológiai paraméterekkel rendelkezik, de magas a tápanyag tartalma, szén és nitrogén tartalma kiemelkedő.

A komposztok közül a legjobb minőségű a humuszkomposzt, ennek az előállítása lenne a fő cél. A humuszkomposztnak alacsonyabb a tápanyag-, de magas a mikrobiológiai értéke, aminek az az oka, hogy a benne található sok mikroba fogyasztja a tápanyagokat. Az ilyen komposzttermék kijuttatásával fokozható a mikrobiális talajélet, ezáltal javítható a talajok szerkezete, csökken az eróziós hajlam, javul a vízmegkötő képesség is.

Az aerob humuszkomposzt előállításánál az irányított komposztálási folyamat elősegíti azon baktériumok és gombák gyors felszaporodását, melyeket a természet azért „tervezett meg”, hogy gyógyítsa a talajokat, megőrizze a szén természetes körforgását. A kész komposzt egy méregtelenedési folyamaton megy át, humusz keletkezik, mely hosszú évekig működik a talajban.⁸

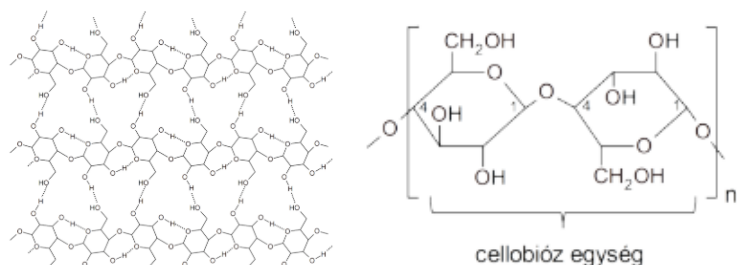
A cellulóz szerkezete

A cellulóz a bioszféra legnagyobb mennyiségben képződő poliszacharidja, a növények vázanyagának fő alkotója, melynek természetes bontását mikroorganizmusok végzik.^{9, 10} A cellulóz óriásmolekuláját több ezer β -glükóz monomer egység alkotja, a molekula lánc alakú és vízben gyakorlatilag oldhatatlan.

A cellulóz láncában β -1,4-glükozidos kötással kapcsolódnak a glükóz monomerek. Az elágazás nélküli lánc β -glükóz egységei változó térállásban, egymáshoz képest 180° -ban elfordulva kapcsolódnak össze. A lánc szerkezetének ismétlődő egysége a két glükóz maradékból álló cellobióz. Lebontása során a cellobióz ($C_{12}H_{22}O_{11}$) nevű diszacharid és β -glükóz keletkezik.

A cellulóz bontását a természetben mikroorganizmusok végzik. Több különböző enzim munkájának köszönhetjük ennek a nagyon stabil cellulózváznak a lebontását. Mind bakteriális, mind a gomba eredetű cellulázokat ismerünk.

A lebontásban részt vesz a cellulózkötő domén, melynek feladata a poliszacharid szerkezetének fellazítása, a láncok hozzáférhetővé tétele és a katalitikus egységnek a cellulózhoz kötése. A katalitikus aktivitással rendelkező modul feladata pedig a glikozidos kötés hidrolízise. A cellulózkötő és bontó enzimek a sejtfelszíni celluloszómában enzimkomplexet alkotnak.^{13,15}



1. ábra Cellulóz intra- és intermolekuláris kötése és a cellobióz egység szerkezete^{9, 10}

Az endoglukonázok (1,4- β -D-glukán-glukanohidrolázok) a cellulóz polimer láncain belül véletlenszerűen bontják a kötéseket és hasítják a láncokat.

A cellobiózhidrolázok a felszabadult nem redukáló láncvégekről egy molekula víz belépésével cellobióz egységeket hasítanak le.

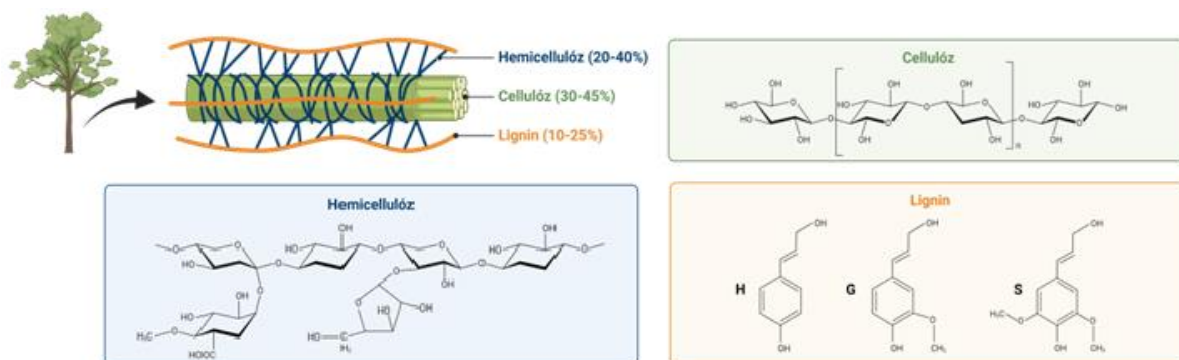
A cellobiáz (β -glükózidáz) katalizálja a cellobióz monomerekre bontását, a nem redukáló egységek végéről vízben jól oldódó glükóz egységeket vág le.

Az ipar is számos mikrobiális enzimet alkalmaz például *Bacillus sp.*-ből származó β -glükonázokat vagy *Trichoderma sp.* gombákból kinyert cellulózbontó enzimeket.

A hemicellulóz szerkezete

A hemicellulóz¹³ többféle poliszacharid molekula gyűjtőfogalma, a cellulózzal ellentétben legtöbbször különböző kötési típusokkal összekapcsolódó különböző monomer építőegységekből állnak. 2. ábra) Összetevők lehetnek a glükóz, az arabinóz, a mannóz, a galaktóz, a ramnóz, a xilóz vagy egyéb komponensek is. Ezek aránya, összetétele nagyban függ a hemicellulóz származásától (növényfaj).

A szerkezetüket tekintve a heterogén hemicellulózok több csoportra oszthatók: ide tartoznak a vegyes kötésű glükánok, a xiloglükánok, a xilánok, és a mannánok. A hemicellulóz fermentálható egységekre bontása fontos kutatási területe pl. a fa-és egyéb növényi anyagok lebontásán és hasznosításán (pl. bioetanol gyártás) alapuló ipari technológiák kidolgozásának. A hemicellulózok mikrobiális úton egyszerű cukrokká bonthatók, amelyek aztán jól hasznosíthatóak a sejt katabolikus anyagcseréjében. A hemicellulózt bontó szervezetek közé tartoznak pl. *Bacillus subtilis*, *Bacillus megaterium*, *Aspergillus niger*, *Aspergillus favus*, valamint a *Trichoderma* gomba nemzetségének tagjai.



2. ábra Lignocellulóz felépítése, cellulóz, hemicellulóz, lignin szerkezete ^{11, 12}(Biorender)

A lignin szerkezete

A lignin a sejtfaalak kitöltő anyaga a cellulóz, hemicellulóz és pektin molekulák között, különösen a faanyag szállító és támasztó sejtjeiben. A lignin kovalens kötéssel kapcsolódik a hemicellulózokhoz, így különböző növényi poliszacharidok összekötőjeként biztosítja a sejtfaalak szilárdságát, illetve a növény egészének a szerkezetét.^{13, 14}

A lignocellulóz jellemzése

A lignocellulóz a biomassza 25-30%-át adja, ezért nagyon jelentős megújuló alapanyag.^{13, 15} Bonyolult, komplex felépítésének, szerkezetének köszönhetően stabil növényi vázalkotó, nehezen megbontható. Bontását mikroorganizmusok végzik. A lignin nagy molekulahúlyú, oldhatatlan polimer, amelyet fenilpropán alegységek szabálytalan hálózata alakít ki. A fenilpropán alegységek vázat alkotva kovalens kötésekkel kapcsolódnak a hemicellulózhoz, és ebbe a mátrixba ágyazódnak bele a cellulóz szálak. A lignin felelős a növényi sejtfaalak rigiditásáért, fokozza a növény ellenálló képességét a mikrobiológiai behatásokkal szemben. A szerkezetét lignin, hemicellulóz és cellulóz alkotja, ennek megfelelően a lebontásában is az alkotók lebontását végző enzimek vesznek részt, azaz a cellulózbontó endo- és exoglükonázok és cellulóbiázok; a hemicellulózt bontani képes enzimek például: xilanázok, mannázok, glükuronidázok.

Komposztálást végző mikroorganizmusok

A komposzthalmok alapja általában növényi biomassza, amelynek meghatározó részét teszi ki a nehezebben bontható lignocellulóz molekulák.^{13, 13, 15} Ennek a növényi sejtfaalakotónak az összetétele és bontása ezért meghatározó a komposztok fizikai-kémiai és biológiai tulajdonságait tekintve.

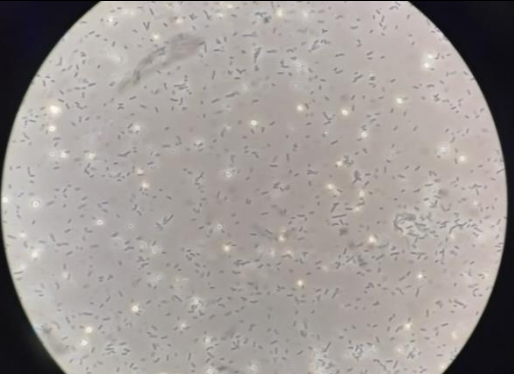
Az élővilágban a könnyebben, kevesebb energiaráfordítással bontható alapanyagok bontódnak először, ezt követik a nehezebben bomló molekulák. A komposztba kijuttatott

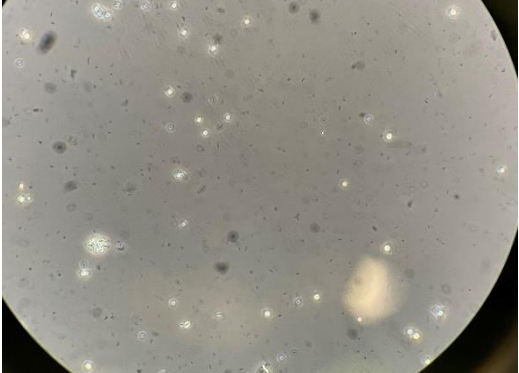
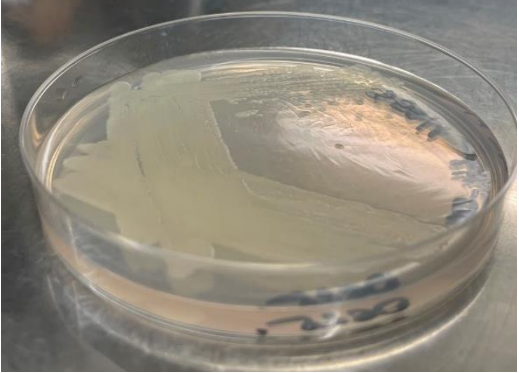
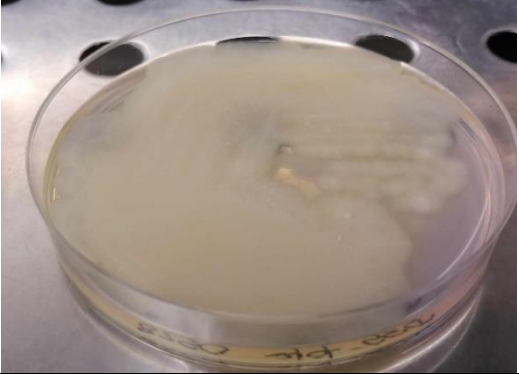
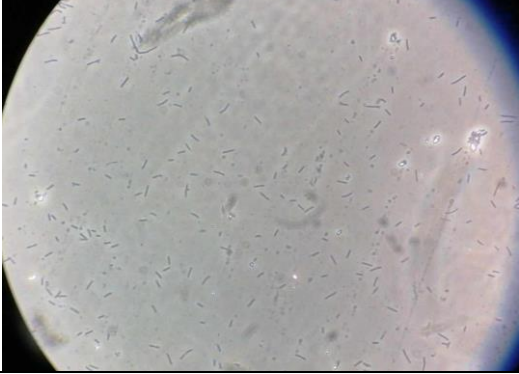
egyszerű cukrok, monoszacharidok, a diszacharidok, a keményítő és a lipidek lebontását számos mikroorganizmus el tudja bontani, így a komposztálás során ezek felhasználása történik meg először.¹³ Az összetettebb szerkezetű maradványokat, mint a lignocellulózt, a keratint vagy a bioplasztikokat csak néhány nemzetség bizonyos képviselői képesek bontani. Így ezen bontó szervezetek jelenléte a komposztban kulcsfontosságú és a komposztálás sikeressége múlik rajta. A jó minőségű komposztban ezen lebontó szervezetek a lebontás folyamán dúsulnak.

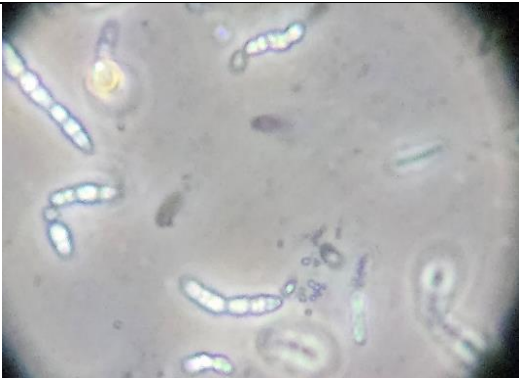
Ahogy nincs két egyforma komposzt, természetesen a mikrobiális összetételük is széles határok között változik. A hagyományos tenyésztési vizsgálatoknál például több mint 150 különböző, legalább faj szintű taxon megjelenéséről számoltak be¹⁶, míg tenyésztéstől független módszerekből kiindulva 2000 különböző filotípus jelenléte feltételezhető a teljes komposztálási folyamat során¹⁷. A tenyésztéssel dominánsnak mutakozó *Bacillus* nemzetség tagjai elhanyagolható számban voltak kimutathatóak molekuláris biológiai módszerekkel¹⁸.

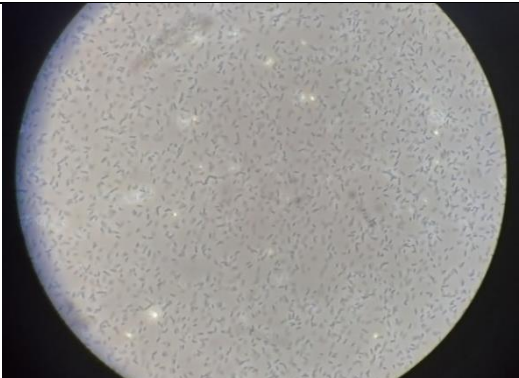
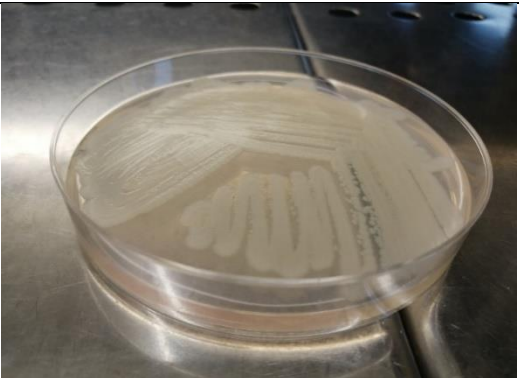
1.2. Vizsgált baktériumok jellemzése

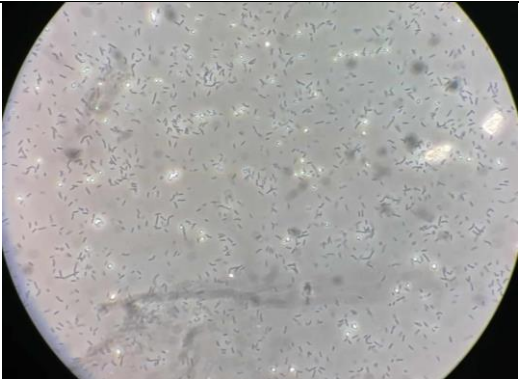
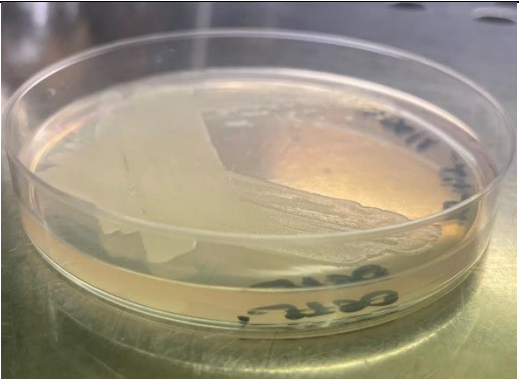
Kísérleteimhez a *Bacillus* és *Paenibacillus* izolátumokat kaptam. Ezen nemzetségek tagjai Gram pozitív, endospórát képező prokarióta szervezetek. Az endospórák átmeneti túlélési életforma, melyek biztosítják a baktériumok kedvezőtlen körülmények között történő túlélését, olyan módon, hogy a spórák kitartó képletek, rendkívül ellenállóak, jól tolerálják a magas hőmérsékletet, a nyomást, az UV- és gamma-sugárzást, a vízhiányt, de akár az oldószereket, fertőtlenítőszereket is. Az izolátumok jellemzését a DSMZ Bacdiver¹⁹ felületéről vettem és saját mikroszkópos, petri csészés képekkel illusztráltam.

<u><i>Bacillus circulans</i></u>	Szinonim elnevezése: <i>Niallia circulans</i>
Gram+, fakultatív anaerob mozgékony, spóráképző, pálcá, Kockázati csoport (Risk):1, cellobióz +; D-mannóz +; D-xilóz +;	Számos kereskedelembe kapható talajbaktérium készítményben megtalálható. (pl: Bactofil B10 készítményben ²⁰)
	

<u><i>Bacillus clausii</i></u>	Szinonim elnevezése: <i>Alkalihalobacillus clausii</i> ²¹
Gram+, mozgékony, spóráképző, pálca, Kockázati csoport (Risk):1, cellobióz +; D-mannóz +; D-xilóz +; nitrátot nitritté tudja alakítani, erősen lúgos proteázokat is termel ²²	A bél normál flórájához tartozó baktérium a bélflóra helyreállítására használnak például a Normaflore készítményekben. ²³
	
<u><i>Bacillus halotolerans</i></u>	Szinonim elnevezése: <i>Brevibacterium halotolerans</i> ²⁴
Gram+, aerob, mozgékony, spóráképző, pálca alakú talajbaktérium, halofil Kockázati csoport (Risk):1, cellobióz -; D-mannóz +; D-xilóz -;	
	
<u><i>Bacillus licheniformis</i></u>	
Gram+, fakultatív anaerob mozgékony, spóráképző, pálca, Kockázati csoport (Risk):1, D-xilóz -;	Számos komposztálást, szármaradvány bontást támogató mikrobiális termék alapbaktériuma domináns faj ²⁵ , például BiogeN ²⁶ szárbontó készítményé.
	

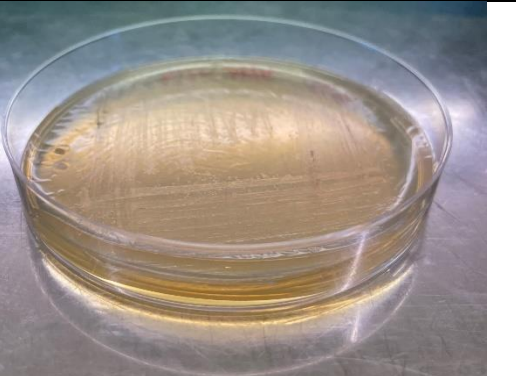
<u><i>Bacillus megaterium</i></u>	Szinonim elnevezése: <i>Priestia megaterium</i> , <i>Priestia aryabhattai</i>
Gram+, mozgékony, spóráképző, pálca, Kockázati csoport (Risk):1, cellobióz +; D-mannóz +; D-xilóz +;	Számos kereskedelemben kapható talajbaktérium készítményben megtalálható. pl: Bactofil A10 és Bactofil B10 készítményekben. Hiba! A könyvjelző nem létezik.
	

<u><i>Bacillus polymyxa</i></u>	Szinonim elnevezése: <i>Paenibacillus polymyxa</i> ,
Gram+, fakultatív anaerob mozgékony, spóráképző, pálca, Kockázati csoport (Risk):1, cellobióz +; D-mannóz +; D-xilóz +;	Számos kereskedelemben kapható talajbaktérium készítményben megtalálható. pl: Bactofil B10 készítményben Hiba! A könyvjelző nem létezik.
	

<u><i>Bacillus sonorensis</i></u>	Pektináz termelése miatt ipari törzsként alkalmazzák.
Gram+, fakultatív anaerob mozgékony, spóráképző, pálca, Kockázati csoport (Risk):1, cellobióz +; D-mannóz +; D-xilóz	
	

<u><i>Bacillus subtilis</i></u>	
Gram+, obligát anaerob, mozgékony, spóráképző, pálcá, Kockázati csoport (Risk):1, cellobióz +;D-xilóz -	Számos kereskedelemben kapható talajbaktérium készítményben megtalálható. pl: Bactofil B10 készítményben is ^{Hiba! A könyvjelző nem létezik.}
	

<u><i>Bacillus cabrialesii</i></u>	
Gram+, fakultatív anaerob, mozgékony, spóráképző, pálcá, termofil, Kockázati csoport (Risk):1, cellobióz +; D-mannóz -; D-xilóz +;	
	

<u><i>Paenibacillus glucanolyticus</i></u>	Szinonim elnevezése: <i>Bacillus glucanolyticus</i>
Gram+, aerob mozgékony, spóráképző, pálcá, Kockázati csoport (Risk):1,	Komposztálásnál mintákból is izolálták ^{27, 28} PGPR hatása ismert. ²⁹
	

1.3. Komposzt érettségi vizsgálatok

A jó minőségű, felhasználásra kész komposzt nem tartalmazhat kórokozókat vagy növényekre káros anyagokat. Ha a komposzt fitotoxikus anyagokat tartalmaz, ha túl friss vagy még bomlási folyamatok játszódnak le benne, nem alkalmas kijuttatásra, felhasználásra.^{30, 31}

A komposzt érettséget fizikai, fizikai-kémiai és biológiai módszerekkel is vizsgálhatjuk. Ma már készen kaphatóak házilag is használható komposztvizsgáló készletek, például a Deveron által gyártott Solvita tesztcsomag, mellyel szinte minden kérdéses fizikai és fizikai-kémiai paramétert mérhetünk.³² Jelen esetben nekem sajnos csak a biológiai vizsgálatra volt lehetőségem, így most ezt ismertetem részletesebben.

A kerti zsázsa (*Lepidium sativum*) az egyik legrövidebb tenyészidejű zöldségnövény. A vetés után már 12-14 nappal fogyasztható. A kerti zsázsa érzékeny teszt növény, melynek növekedése gátolt, amennyiben toxikus anyaggal érintkezik. A mustár mellett a komposztálás jószágának egyik elterjedt teszt növénye, melyet úgynevezett zsázstesztben^{33, 34} használnak. A komposzt fitotoxicitása nyílt és zárt zsázsa teszttel vizsgálható. A nyílt zsázsa-teszt durva indikátorként szolgál, a zárt zsázsa-teszt a komposzt alacsony toxicitását jelzi, mivel a növények mérgező vegyületekből származó gázokkal is érintkeznek. Célszerű mindkét vizsgálatot elvégezni, mivel a nyílt zsázsa teszt nem mindig jelzi, hogy a komposzt kompatibilis a növényvel.

A nyílt teszt nagyon egyszerű, egy cserepet megtöltenek komposztal, ebbe vetik a magokat, majd nedvesen tartják a komposztföldet. Pár nap múlva megvizsgálják a kelést, egyenletesen kelt-e ki, egészségesek-e a növénykéek vagy sárgul-e a levelük. A zárt teszt^{35, 36, 37} során a kísérleti elrendezést a környezettől elszigetelik, komposzt kivonattal kezelik a magokat így az esetlegesen jelenlévő és toxikus illékony vegyületek hatását is vizsgálják.

(A kettő módszer ötvözéséből született az általam alkalmazott fél nyitott vagy fél zárt rendszer, mely során műanyag petri csészékbe vetettem a kerti zsázsa magokat és a petri csésze tetejével zártam le, ugyanakkor nem ragasztottam le Parafilmmel a csésze szélét így minimális légcsere történt, de az illékony vegyületek hatását is láthattam.)

A komposzt keletkezése közben a felvehető szerves anyag, makró- és mikroelem tartalma valamint a mikrobiológiai értéke kezelésenként változhat, ugyanakkor a komposzt kijuttatása után jelentős hatást gyakorol a növények fejlődésére. Ennek megfelelően olyan mikroorganizmusokkal érdemes a komposztálás folyamatát támogatni, melyek a komposzt

felhasználás során a növények növekedést is serkenthetik, a növények fejlődését támogatják. Ezen hatások vizsgálatára jó tesztnövény a környezeti paraméterekre érzékeny pak choi (*Brassica rapa subsp. chinensis*), magyar nevén kínai káposzta vagy bordáskel^{38, 39}.



3. ábra zsázsa és pak choi növények⁴⁰

A pak choi rövid tenyészidejű 35-40 napos korban már fogyasztják levelét, de virágzata is ehető. Kiemelkedően gazdag beltartalmi összetevőkkel rendelkezik, mely miatt igényli a jó minőségű, magas szervesanyagtartalmú és jó mikro és makroelem ellátottságú talajt, a leveleken hamar észrevehetőek a hiánytünetek és betegségek nyomai. A vizsgálat során a növény fejlődésének nyomon követését, esetleges levélszínben, mintázatban jelentkező változások feljegyzését kell elvégezni a kontroll: egészséges növényekhez képest.

1.4. Kereskedelemben kapható komposztálást segítő mikrobiológiai termékek

A NEBIH oldalán találtam meg a *Vegyes hulladékokkal, illetve komposztálással kapcsolatos nyilvántartásokat*, amik vegyes hulladék lebomlását, illetve szagtalanítását elősegítő vegyi anyag vagy mikroorganizmus, továbbá a komposztálás gyorsítására vagy hatékonyságának növelésére szolgáló mikrobiológiai preparátumok és enzimkeverékek bejelentett adatairól⁴¹. Ebben a listában jelenleg 90 terméket soroltak fel, de csak töredékük felhasználási területében szerepel a kommunális komposztok és egy esetben sem szerepel a háztartási komposztok komposztálásának segítése. Ezen termékek közül válogattam ki azokat, melyeket szerintem a leírásuk alapján kiskertekben, otthon is érdemes lehet felhasználni. Sajnos az összetételükre vonatkozó hivatalos leírásokat csak néhány esetben sikerült megtalálnom, mivel ezen kiadott engedélyokiratok nincsenek elérhető nyilvántartásban, így csak akkor ismertek, ha a gyártó vagy forgalmazó feltünteti őket a termékeken vagy a saját honlapján, katalógusában.

Termék név	Reg.szám	Bejelentő	Felhasználási terület
BioeGO	KEF-23213-2/2014	BioeGO Kft.	biológiailag lebomló szerves hulladékok irányított komposztálása
BpSL-I	KEF-3108-2/2017	Biopsol Kft.	biológiailag lebontható hulladék komposztálással történő hasznosításánál a folyamat gyorsítását vagy a hatékonyságának növelését elősegítő mikrobiológiai készítmény
EnviFerment	38980-5/2018/KORTAP	Környezetminőség Kft.	települési, ipari, mezőgazdasági szilárd és folyékony hulladékok kezelésére, szagtalanítására, lebontására, komposztálására, szolgáló mikrobiológiai készítmény
„EM*1”	38981-5/2018/KORTAP	Környezetminőség Kft.	települési, ipari, mezőgazdasági szilárd és folyékony hulladékok kezelésére, szagtalanítására, lebontására, komposztálására szolgáló mikrobiológiai készítmény
FlavoRemed	11639-2/2023/KTEF	Bay Zoltán Nonprofit Kft.	Vegyes hulladékok kezelésére, lebontására, komposztálásának gyorsítására szolgáló mikrobiológiai készítmény
FlavoRemed	15706-2/2023/KTEF	Bay Zoltán Nonprofit Kft.	Vegyes hulladékok kezelésére, lebontására, komposztálásának gyorsítására szolgáló mikrobiológiai készítmény
GeoForca	OTH 5120-2/2009	GEOSAN Környezetvéd. Kft.	a komposztálási folyamat intenzifikálására és a szaghatás csökkentésére szolgáló készítmény
Greenman Compost	KEF-6208-5/2015	Greenman Kft	komposztálás menetét szabályozó mikrobiológiai koncentrátum
Greenman Starter	12658-2/2020/KTEF	Greenman Kft	Vegyes, szerves hulladék lebomlásának, komposztálásának gyorsítására és hatékonyságának növelésére, valamint szagtalanításra alkalmas mikrobiológiai készítmény
Mikrokomp-Geocell	62272-4//2022/KTEF	GEOSAN Környezetvédelmi Kft.	Kommunális szerves hulladékok, zöldhulladékok kezelését szolgáló, szerves anyagok biológiai lebomlását, a komposztálási folyamat intenzitását elősegítő mikrobiológiai készítmény
Phylazonit CB	KEF-4302-2/2014	Phylazonit Kft.	települési szilárd hulladék, települési szennyvíziszapok, biológiailag lebomló hulladékok irányított komposztálása

1. táblázat NÉBIH vegyes hulladékkal és komposztálással kapcsolatos nyilvántartásából a komposztálást segítő mikrobiológiai készítmények listája⁴¹

A táblázatban felsorolt termékek közül összetételre vonatkozó leírást csak GeoCell esetében találtam, azt is a NEBIH termésnövelők adatbázisában⁴². A GeoCell összetétele⁴³: *Pseudomonas fluorescens* GSO 104, *Cellvibrio vulgaris* GSO I 01; „Felhasználási javaslata: tarló- és szármagmaradványok lebontásának gyorsítására 15 l/ha mennyiségben, legalább 10-40-szeres vízmennyiség felhasználásával a talajra permetezve, majd közvetlenül a kijuttatás után bedolgozva, - komposztálási folyamat felgyorsítására 15 l/tonna (10-15 l/m³) mennyiségben, legalább 20-30 l/tonna vízmennyiséggel a komposztra kipermetezve, majd szükség szerint beforgatva.” A többi készítménynél nem találtam ilyen leírást csak általános, a mikrobákra vonatkozóan konkrétumokat nem tartalmazó leírásokat. pl: „A BioeGO⁴⁴ elsősorban szárbontó, mely *Trichoderma* gombákból és nitrogénkötő mikroorganizmusokból áll.” „Az EM1 különböző mikroorganizmus csoportokat tartalmaz, amelyek egy mikrobiológiai közösséget

alkotnak.⁴⁵” „Az EnviFerment ⁴⁶ használatra kész az eredeti EM1 felszaporításával készített mikrobiológiai készítmény”, „A Greenman Compost⁴⁷ koncentráltan tartalmaz, jótékony hatású, élő, Greenman mikroorganizmusokat, amelyek természetes erejének igénybevételével különféle szerves hulladékokat anaerob módon, a hagyományostól eltérően, annál gyorsabban és hatékonyabban komposztálhatunk. Összetétel: Folyékony, élő, koncentrált multimikrobiális készítmény, melynek összetevői természetes eredetűek.” Az interneten találtam a Greenman cégnek egy konyhai mini komposztáló és hozzá adható Greenman starter kultúráját⁴⁸ is. Sajnos pontos összetételt ennél a terméknel sem találtam. Összetétel: „természetes segédanyag, amely jótékony hatású, természetes mikroorganizmusok által fermentált gabonakorpából áll” „inaktív formában tartalmazza azokat a jótékony hatású probiotikus mikroorganizmusokat, amelyek a hulladék nedvesség tartalmával érintkezve aktiválódnak és így kezdik el lebontani azokat”.

2. Célkitűzés

Környezetünk védelméhez és fennmaradásunkhoz elengedhetetlen a tudatos és környezetszemléletű gondolkozás. Nagyon fontosnak érzem, hogy én is tegyek valamit, ezért a komposztálás, komposztálhatóság témakörében végeztem vizsgálataimat. A közvetlen környezetemben előforduló nehezebben bontható elsősorban növényi hulladékok baktériumokkal történő komposztálhatóságát vizsgálatam. Célom volt, hogy a keletkezett komposzt a növények számára értékes tápanyagokon kívül PGPR baktériumokat is tartalmazzon, ezáltal minél értékesebb biológiailag aktív tápanyaghumuszként hasznosulhasson. Hosszú távú célként bízom abban, hogy eredményeim felhasználásával ismert összetételű a komposztálás hatékonyságát segítő mikrobiális készítményt fejlesztenek, mely a háztartásokban, otthonainkban alkalmazva hatékonyan bontja el a keletkező hulladékokat és a komposztált végtermék a növények számára PGPR hatásokkal rendelkező mikroorganizmusokban dús tápanyagként felhasználható.

3. Anyagok és módszerek

3.1. Vizsgált mikroorganizmusok és eredetük

Komposztálási kísérleteimhez a Fermentia kft. által már vizsgált tíz különböző törzs összesen 12 izolátumát kaptam meg, melyeket petri csészés tenyészetben bocsájtottak a rendelkezésemre. Az izolátumokat a laboratóriumban végzett enzim aktivitás (celluláz, endoglükonáz és xilanáz) mérések eredményei alapján választották ki számomra. Az előzetes

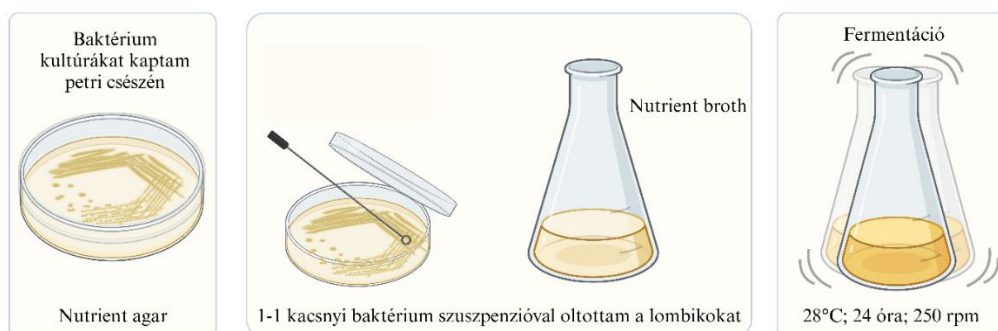
vizsgálatok alapján a rendelkezésemre bocsájtott baktériumok mindegyike képes nitrogénmenetes tápagon növekedni, így a légköri nitrogént kötni. Az izolátumok a WCC¹ törzsgyűjteményből származnak, 16S rRNS alapú beazonosítását a Eurofins BIOMI Kft végezte. A rendelkezésemre bocsájtott törzsek biztonságos, Gres1/Risk1 besorolásúak. A kapott izolátumok és használt kódjaik a következők voltak: *Bacillus cabrialesii*(WCC-B5); *Bacillus subtilis*(WCC-B6); *Bacillus circulans*(WCC-B9 és WCC-B18); *Paenibacillus glucanolyticus*(WCC-B25 és WCC-B37); *Bacillus halotolerans*(WCC-B35); *Bacillus polymyxa*(WCC-B48); *Bacillus megaterium*(WCC-B53); *Bacillus clausii* (WCC-B54); *Bacillus licheniformis* (WCC-B56); *Bacillus sonorensis*(WCC-B57).

3.2. Mikroorganizmusok fenntartása

A baktériumokat a labor munkatársai tartják fenn, -80°C-on glicerinkultúrában, illetve liofilizált állapotban. A kísérletekhez az izolátumokat petri csészén, Nutrient tápagon (VWR 470108-996) kaptam meg, melyekből egyből fermentációt indítottam. A kísérleteim során a mikroorganizmusok további fenntartására nem volt szükség.

3.3. Fermentáció

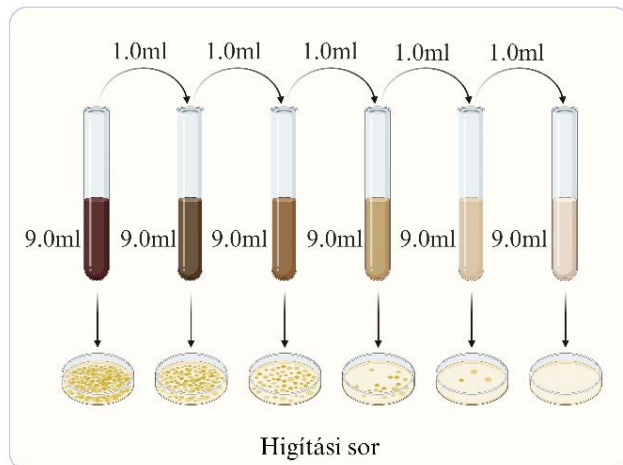
500 ml-es Erlenmeyer lombikokba 100 ml nutrient broth táplevest (glükóz 5,0g; Meat Extract 1.0g; Peptone 5,0g; Yeast Extract 2,0g; NaCl 5,0g; 1000 ml desztillált vízben, pH 6,8; 25°C-on) készítettem, a lombikok tetejét papírvattával és nártónpapírral zártam, majd sterilizálás céljából autoklávba helyeztem. 121°C-on, 1,1 bar nyomáson 15 percig steriliztem. Ezt követően a lombikokat lamináris boxban hagytam kihűlni, majd a laboratórium munkatársaitól kapott nutrient petri csészés tenyészetből 1-1 kacsnyi mennyiséggel beoltottam. A lombikokat, rázószekrénybe tettem, 28°C-on, 250 rpm-en, 24 óráig növesztettem (4.ábra). Ezt követően a tenyészetek sterilitását mikroszkóp alatt vizsgáltuk. A komposztkezelési kísérletekhez megfelelő hígítások elkészültéig a mintákat a hűtőszekrényben tároltuk.



4. ábra Baktérium tenyészet előállítása (az ábra BIOENDERben készült)

3.4. Hígítási sor készítése, CFU meghatározása

A baktériumok nutrient lombikos tenyészeiből hígítási sorokat készítettem az alábbiak szerint: 1 ml fermentlevet 9ml steril vizet tartalmazó kémcsőbe pipettáztam, majd vortexszel felkevertem, ebből a mintából 1 ml-t vittem a következő 9 ml sterilvizet tartalmazó kémcsőbe. Ezt folytattam- míg a kívánt hígítást el nem értem. (5. ábra)



A hígításokból/kémcsövekből 1-1 ml-nyi mennyiséget nutrient tápagart tartalmazó petri csészékre szárítottam. A petri csészéket 28°C termosztátba helyeztük 2 napra, majd megszámoltam a kinőtt telepek számát a CFU-t (colony forming unit) azaz telepképző egységet. Ezek alapján hígítottam ki a felhasználáskor a mintáimat.

5. ábra Hígítási sor készítése, az ábra BIORENDERben készült

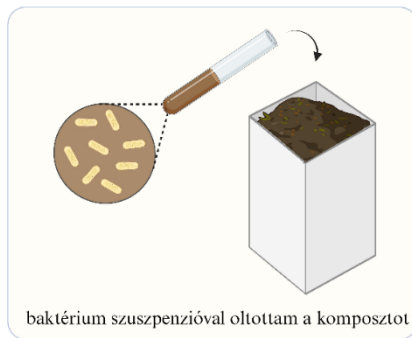
3.5. Komposzt összeállítása

A komposztálási kísérlethez a környezetemben kerestem könnyebben és nehezebben bontható alapanyagokat. A komposzt kísérlethez kiürült tejes dobozokat gyűjtöttem, melyeket alaposan elmosogattam, a tetejüket levágtam, az aljukat pedig kilyukasztottam.

Az összeállítás előtt az alapanyagok felét és a felhasználandó földet külön-külön üveg főzőpoharakba tettem, alufóliával leterítettem és autoklávban steriliztem 121°C 1,1 bar nyomás 1 óra hosszat. Összeállításkor sterilizett és nem sterilizett alapanyagú mintákat készítettem. A sterilizett mintákat lamináris boxban hagytam teljesen kiszáradni.

A komposzt-kísérlethez a tejesdobozokba a rétegezést a következőképen végeztem: legalulra 15 g aprított ágat/ fadarabot ezután, 5g faforgács almot, 2 hosszabb szál szalmaszálát, 15g vágott zöld fű és levél keverékét, 70 g földet, fél tojás összetört héját, 2g darabolt kender almot, 2g póló fonalat egyben, 0,5g tépett vattát, 3,5g darabolt keménypapírt. Ezután előről kezdtem a rétegezést ugyanabban a mennyiségben mint az elején és amikor újra eljutottam a földig akkor lettem kész egy adag összeállított komposzttal (7.ábra).

3.6. Komposzt beoltása



A 3.4 fejezetnek megfelelően meghatározott CFU, azaz telepképző egységek alapján a baktérium fermentleves mintáimat hígítottam a végső 10^6 db sejt/ minta koncentrációig. (Számolás: Ha a felhasználási dózis 1liter termék (CFU: min. 10^9) hektáronként, akkor 10^{-4} ml termék/tejesdoboz lenne, azaz 10^6 db sejt/ tejesdoboz.)

6. ábra Komposzt beoltása (az ábra BIORENDERben készült)

3.7. Komposzt vizsgálata

A komposztálás folyamata során a komposzt mintákat feltártam. Ilyenkor frissen letekert alufólia lapokra öntöttem ki a tejesdobozok tartalmát, a komposztba betett felismerhető darabos alapanyagokat külön csoportosítottam, azonos módon elrendeztem, majd fényképeztem. A keletkezett föld szerű komposztot tapintásra, szagra, állagra vizsgáltam. A komposztdobozba megfelelően rétegezve visszatettem a mintákat és visszamértem a minták tömegét, feljegyezve az esetleges veszteségeket is. A 19 héten az utolsó feltáráskor a teljesdoboz tartalmát fém szűrőn keresztül átszítáltam és a kiértékelést a korábbiaknak megfelelően végeztem. A szitált komposztot további kísérletekben használtam fel.

3.8. Zsázsa mag csírázásának vizsgálata

A szitált, komposzt mintákból 15 g-nyi mennyiségeket 3 db párhuzamos műanyag petri csészébe mértem ki. Ez a mennyiség szépen elteríthető volt a csészék alján. Ennek a rétegnek a tetejére 20 db kerti zsázsa (*Lepidium sativum*) magot vetettem. A csésze tetejét visszatettem és szobahőmérsékletű laboratóriumban az ablak előtti asztalra helyeztem. Kontrollként nedvesített szűrőpapírt szabtam a petricsészébe és erre vetettem 20 magot. Kelés után megszámloltam a kikelt magokat, valamint a 7., 10. és 14. napon vizsgáltam a növényeket. (kelésszám, egészséges-e, sárgulás, egyéb észrevétel). Eredményeimet fényképekkel is dokumentáltam.

3.9. Pak choi növény kísérlet

A szitált, komposzt mintákat félbevágott, alul kilyukasztott tejesdobozokba töltöttem. Kontrollként sima komposztos vásárolt földet használtam (K1). A kontroll mintát sterilizett és nem sterilizett formában is összeállítottam. Másik kontrollnak a komposztált kontrollokat (K2) használtam fel. A tejesdobozokat azonos mennyiségben töltöttem meg a szitált

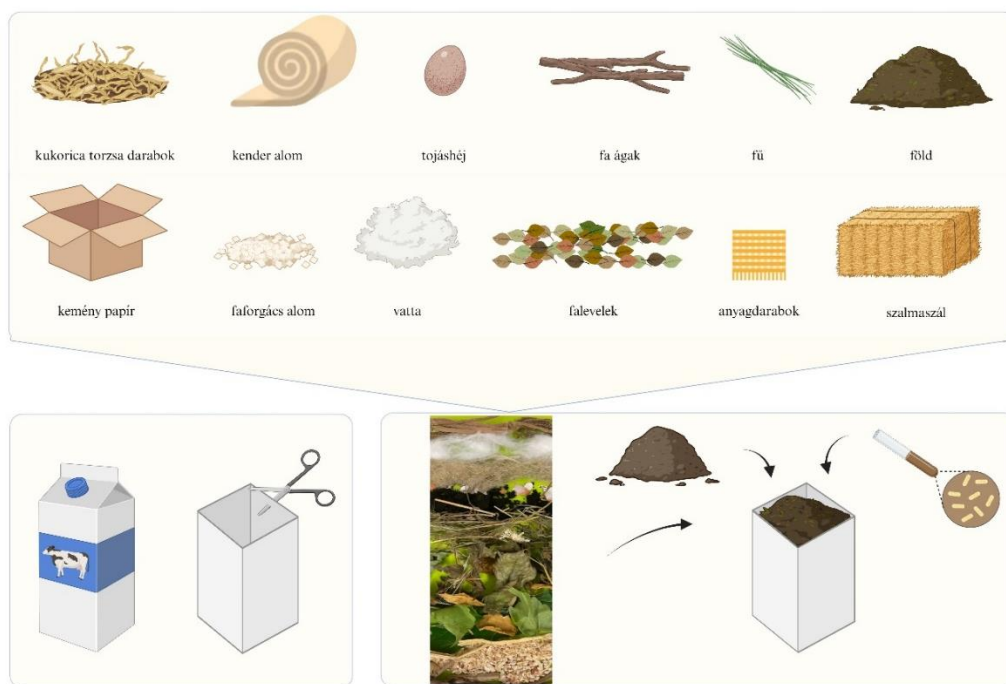
komposztokkal. Minden komposztálással előállított mintába 5-5 db pak choi magot vetettem, a talajt azonos 50 ml-nyi sterilizált desztillált vízzel nedvesítettem (a nedvesítési próbánál itt még nem folyt ki víz a doboz alján), majd a kísérlet folyamán mindig azonos vízmennyiségekkel locsolva nedvesen tartottam és 60 napon keresztül növesztettem. Rendszeresen fotódokumentációval követtem a növények növekedését. Észrevételeimet folyamatosan dokumentáltam.

4. Kísérletek és eredmények bemutatása

A Fermentia Kft. laboratóriumából kapott tizenkét baktérium izolátum komposztbontási képességét vizsgáltam általam gyűjtött elsősorban növényi minták komposztálása során. Megfigyeltem a komposztálás folyamatát, az egyes alapanyagok bontási hatékonyságát. Láthattam a steril és a nem sterilizált alapanyagok komposztálása közötti különbségeket, valamint a keletkezett komposztok érettségét *Lepidium sativum*, azaz kerti zsázsa csírázási tesztben. A keletkezett humuszkomposztok biológiai értékét a környezetükre különösen érzékeny Pak choi (*Brassica rapa subsp. chinensis*) növények növesztési tesztjében vizsgáltam.

4.1. Komposztálási kísérlet és eredményei

A kezelhetőség és az összehasonlíthatóság miatt alaposan elmosogatott, tejes Tetra Pack dobozokat gyűjtöttem, majd a tetejüket levágtam, az aljukat pedig kilyukasztottam. Kísérleteimhez könnyebben (fűszál, papír) és nehezebben bontható (kenderalom, szalmaszál) hulladékokat gyűjtöttem, majd ezeket meghatározott mennyiségben és rétegrendben a tejesdobozokba rétegeztem, ezzel azonos összetételű komposzt mintákat állítottam össze. (7. ábra). A minták egyik felénél steriliztem az alapanyagokat, míg a minták másik felét ilyen módon nem kezeltem, ezzel a hulladékokon és a talajban természetesen előforduló mikroorganizmusok jelentőségét is vizsgálhattam a kísérletek során. Több tesztet is összeállítottam, melyeket a kísérletek elején arra használtam, hogy megmérjem, mennyi folyadékkal kell nedvesíteni a tejesdobozos mintákat, úgy hogy a több részletben, apránként adagolt víz még éppen ne jelenjen meg, ne folyék ki a doboz alján. Ez a mennyiség 50 ml-nek adódott. A megfelelően hígított baktériumkultúrákat steril vízzel 50 ml-re egészítettem ki, majd három részletben, a megfelelő rétegzett komposztdobozokba a mintákra pipettáztam, ami teljes egészében fel tudta szívni a baktérium kezelőanyagot, a dobozok alján levő lyukon az nem folyt ki. Ezt követően a dobozok kiindulási súlyát felírtam, ehhez az értékhez állítottam be nedvesítéskor- locsoláskor a mintákat.



7. ábra Komposzt összeállítása (az ábra BIORENDERben készült)

Az összeállított mintáimat külön helyiségben szobahőmérsékleten tároltam, rendszeresen ellenőriztem őket, hogy elég nedvesek-e, fotódokumentáltam a látottakat, illetve időnként feltártam a komposzt bontás állapotát.

A nem sterilizett komposztálási mintákban a kísérlet elindulása után pár nappal apróbb növények keltek ki valószínűleg a komposzt felső rétegét képező talajból. Ezeket a „gazokat” kihúztam.



8. ábra Muslincák megjelenése és sárga lap használata

A komposztálás 2. és 3. hete között apró fekete muslincaszerű bogarak jelentek meg, akik ellen sárga lapokkal védekeztem. A Humusz szövetség honlapján és a Herman Ottó Intézet által kiadott ismeretterjesztő anyagban található komposztálási javaslat szerint ^{3, 8, 49} ez „meleg időben fordulhat ez

elő, amikor sok a gyümölcs a komposztban” megoldásként javasolja: „levegőztessünk és a friss hulladékot forgassuk bele a komposzt közepébe. Szórjunk rá vékonyan földet.” A komposzt mintáimat állandó 20-21°C közötti hőmérsékleten tároltam, rothadó, magas cukortartalmú hulladékot nem tettem bele, a komposzt feltárása után a visszarétegzésnél nagyon figyeltem, hogy a tetejére is több földet tegyek vissza, de sajnos ez sem oldotta meg a muslincák

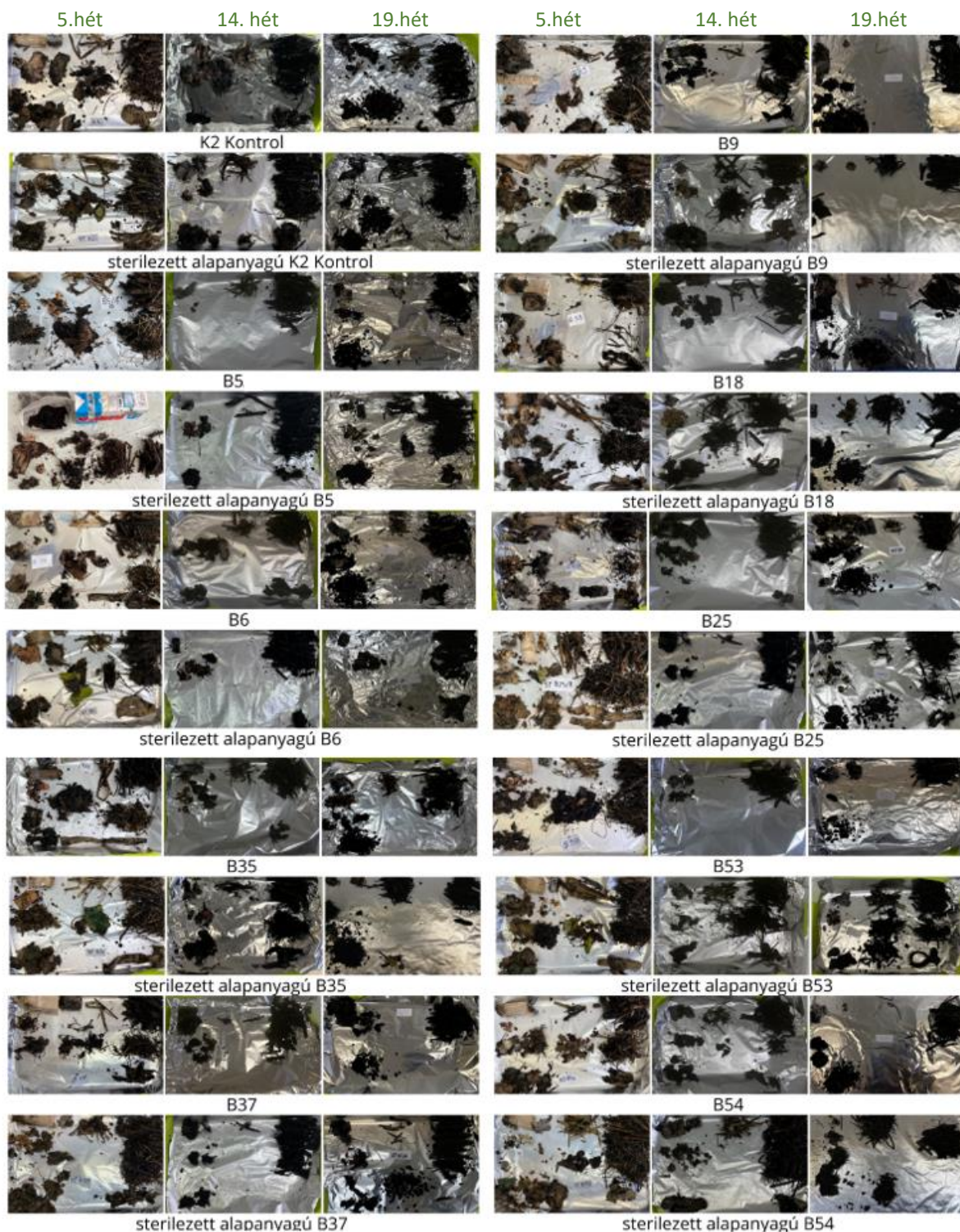
kérdését. Vegyszert a mikroorganizmusok miatt nem akartam használni. A muslincák jelenléte és mozgása révén különböző mikroorganizmusokat juttathattak az edényekbe, így a kísérlet elején sterilizált alapanyagokat tartalmazó mintákba is. Ez az eredeti célkitűzésbe belefért, ugyanis a sterilizált edényeket nem zártuk el a környezettől, hagytuk, hogy levegővel, légmozgással, vagy akár rovarok, bogarak közvetítésével természetes úton is beoltásra kerülhessenek. A muslincák ezt a folyamatot valószínűleg intenzívebbé tették.

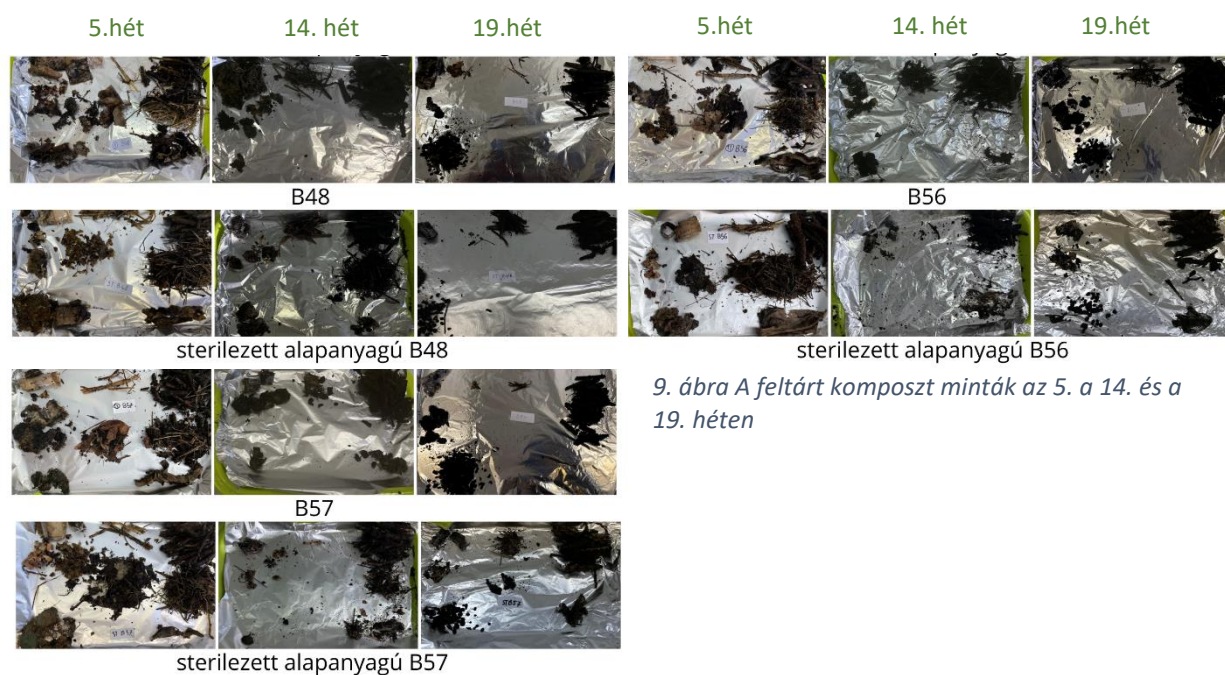
A komposztálási minták súlyvesztése nem volt egyforma, ezeket feljegyeztem, de a komposztálás hatékonysága és a súlyvesztés mennyisége között egyértelmű összefüggést nem találtam.

A mintákat a komposztálási kísérlet 5., 10., 14., 17. és 19. hetében tártam fel. A 9. ábra a feltárt mintákat szemlélteti az 5., 14. és 19. héten. A komposztot alufóliára öntöttem ki és alkohollal mosott gumikesztyűs kézzel kiválogattam a nagyobb bontatlan darabokat, míg a 91. napon minden mintát fém szűrőn keresztül alaposan kiszitáltam és ezután válogattam és rendeztem el őket a fényképezéshez. Ezért lehet, hogy a 19. héten esetenként több maradványt látunk, mint a 14. héten. A földet kupacoltam, a szitán fennmaradt nem lebontott alapanyagokat pedig rendeztem. A szitált földek és a visszamaradt nem elbontott hulladékok tömegét mértem, a bontás állapotát táblázatban rögzítettem, melyet fotódokumentáltam is. Ezt követően az alapanyagokat és a földet a megfelelő rétegrendbe visszatettem a tejesdobozokba, ha szükséges volt nedvesítettem is. A mintákban tapasztalható bontás és az összehasonlíthatóság miatt definiáltam egy jelzőszámot. A jelzőszám értéke 1, ha az adott alapanyag teljesen elbomlott („i”), 0,5, ha jelentős vagy részleges bontást állapítottam meg („fele”, „háló”, „szétesik”) és 0, ha alig, vagy egyáltalán nem bomlott el az alapanyag („n”). Ezzel a jelzőszámmal egyszerűsítettem a táblázatomat és igyekeztem kizárni a szubjektív megítélést (2. táblázat).

A sterilizált és a nem sterilizált minták között szinte minden beállításban jelentős különbségeket vettem észre. A sterilizált alapanyagokat tartalmazó mintákban a beoltott baktériumok dominálhattak, így feltételezhetően ők azok a szervezetek, akik részt vettek a bontásban, míg a nem sterilizált minták esetében a talajban és a bontandó alapanyagokon természetesen jelenlevő mikroorganizmusok is részt vehettek a bontásban, ezáltal egy komplex mikrobiális közösség végezhetette a bontást. Az egymásnak megfeleltethető minták esetében mindig a nem sterilizált mintákban volt hatékonyabb a bontás, ugyanakkor a sterilizált alapanyagú minták esetében is hatékony bontásokat tapasztaltam. A 19. hétre a

sterilezett alapanyagú kontroll edényekben is észrevehető bontások indultak be, melynek oka lehet, hogy a tejesdobozok nem voltak letakarva, elzárva, így a levegőből az állás során a muslincák közvetítésével, vagy a feltárások során is fertőződhetek lebontó szervezetekkel. Ezen a példán is az együttműködés jelentőségét tapasztaltam meg, diverzebb, többféle mikroorganizmus kell a gyorsabb és hatékonyabb bontáshoz.





A párhuzamos kontroll mintákban lassú, kevésbé hatékony volt a mikrobiális bontás, a komposztálás még nem játszódott le teljesen (2. táblázat). A könnyen bontható alapanyagok komposztálása megtörtént („i”), de a nehezebben bonthatóak szinte egészben visszamaradtak („n”). A pamut anyag bontása nem minden mintában történt meg teljesen. Voltak minták ahol az anyag hálós szerkezete is megmaradt („háló”). A szalmaszál sokszor visszamaradt, de megfogva szétesett („esik szét”).

A kísérlet végén a *Paenibacillus glucanolyticus*, a *Bacillus cabrialesii*, a *Bacillus sonorensis*, valamint a *Bacillus licheniformis* izolátumok a többi vizsgált baktériumhoz képest hatékonyabban bontották le a szerves hulladékot, fadarabokat, valamint a nehezebben bomló szalmaszálakat és kenderrostot is.



10. ábra Komposztálás után kapott szitált minták

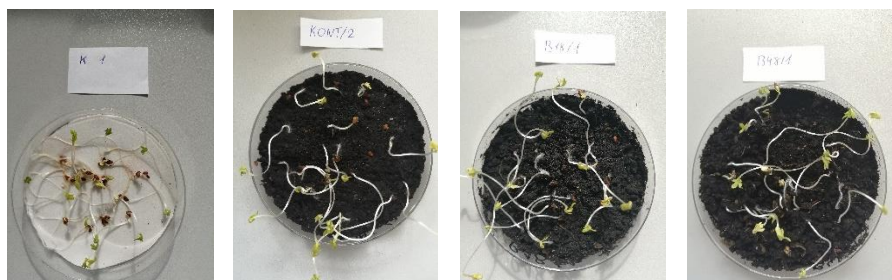
Esetenként nagyon szép fekete, érett komposztot kaptam, de voltak olyan minták is, melyekben apró maradványokat lehetett észrevenni (10. ábra).

	fa	kuk. szár dara	szalma	levél	fű	tojáshéj	kender	anyag	vatta	karton	mutató szám
KONTROLL	n	fele	n	i	fele	n	fele	fele	n	fele	3,5
KONTROLL ST	n	fele	n	i	fele	n	fele	fele	n	fele	3,5
<i>Bacillus cabrialesii</i>	kéreg	i	esik szét	i	i	fele	i	i	i	i	8
<i>Bacillus cabrialesii</i> ST	n	i	esik szét	i	i	n	i	háló	i	i	7
<i>Bacillus subtilis</i>	n	fele	i	i	i	n	fele	fele	i	fele	6
<i>Bacillus subtilis</i> ST	n	fele	esik szét	i	i	n	fele	háló	fele	fele	6
<i>Bacillus circulans</i>	kéreg	fele	esik szét	i	fele	n	fele	fele	i	fele	5,5
<i>Bacillus circulans</i> ST	kéreg	fele	esik szét	i	n	n	i	fele	fele	fele	5
<i>Bacillus circulans</i>	n	fele	esik szét	i	i	n	i	fele	fele	fele	5,5
<i>Bacillus circulans</i> St	n	fele	n	i	n	n	i	n	n	fele	4
<i>Paenibacillus glucanolyticus</i>	kéreg	fele	i	i	i	n	fele	i	fele	i	7
<i>P. glucanolyticus</i> ST	kéreg	fele	i	i	fele	n	i	háló	i	i	7
<i>Bacillus halotolerans</i>	n	fele	n	i	fele	n	i	i	fele	i	5,5
<i>Bacillus halotolerans</i>	n	fele	n	i	n	n	i	háló	i	fele	4
<i>Paenibacillus glucanolyticus</i>	kéreg	fele	i	i	i	n	i	i	i	i	8
<i>P. glucanolyticus</i> ST	n	fele	i	i	i	n	i	i	fele	fele	6,5
<i>Bacillus polymyxa</i>	n	fele	esik szét	i	fele	n	fele	n	i	i	5
<i>Bacillus polymyxa</i> ST	n	fele	esik szét	i	fele	n	fele	n	i	fele	4,5
<i>Bacillus megaterium</i>	n	fele	i	i	i	n	i	i	i	i	7,5
<i>Bacillus megaterium</i> ST	n	fele	n	i	fele	n	i	n	i	fele	4
<i>Bacillus clausii</i>	n	fele	n	i	fele	n	i	i	fele	fele	5
<i>Bacillus clausii</i> ST	n	i	n	i	fele	n	fele	n	n	fele	3,5
<i>Bacillus licheniformis</i>	kéreg	i	esik szét	i	i	fele	i	i	i	i	8
<i>Bacillus licheniformis</i> ST	n	fele	i	i	i	n	i	háló	i	i	7
<i>Bacillus sonorensis</i>	kéreg	i	i	i	i	fele	fele	i	fele	i	7,5
<i>Bacillus sonorensis</i> ST	kéreg	i	i	i	fele	n	fele	háló	i	i	7

2. táblázat Komposztálási kísérlet kiértékelése a 19.héten

4.2. Komposzt érettség, csírázásgátlás vizsgálat: Zsázsa mag csírázás vizsgálata

A Petri csészékben történő zsázsa mag csírázási tesztben a zsázsa magok jól csíráztak. A *Bacillus polymyxa* és a *Bacillus clausii* esetében némi csírázásgátlást tudtam megfigyelni. A két *Paenibacillus glucanolyticus* esetében minden csészében nagy kelésszámot figyeltem meg. A többi esetben negatív hatást nem tapasztaltam sem a növény színére, sem kinézetére vonatkozóan.



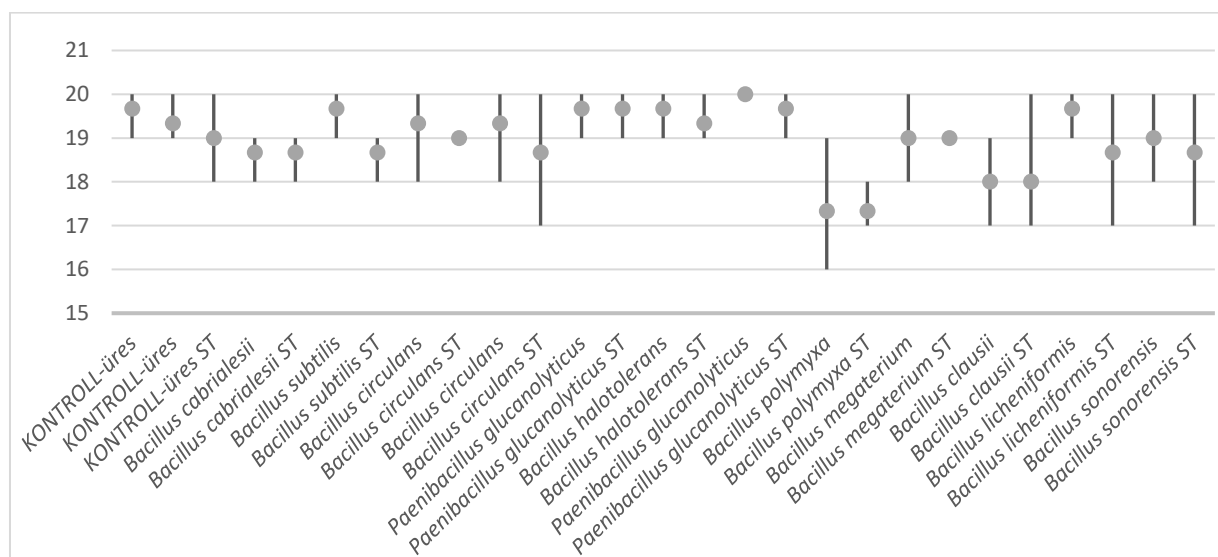
Kontroll 1

Kontroll 2

Bacillus circulans

Bacillus polymyxa

11. ábra Zsázsa mag csírázásgátlási teszt



1. diagram Zsázsa magok kelésszáma

kód	Izolátum neve	1	2	3	átlag	kód	Izolátum neve	1	2	3	átlag
K1	KONTROLL-üres	20	19	20	19,7	B35	<i>Bacillus halotolerans</i>	20	19	20	19,7
						B35 ST	<i>Bacillus halotolerans</i>	20	19	19	19,3
K2	KONTROLL-üres	19	20	19	19,3	B37	<i>Paenibacillus glucanolyticus</i>	20	20	20	20,0
K2 ST	KONTROLL-üres	19	20	18	19,0	B37 ST	<i>Paenibacillus glucanolyticus</i>	20	19	20	19,7
B5	<i>Bacillus cabrialesii</i>	19	19	18	18,7	B48	<i>Bacillus polymyxa</i>	17	16	19	17,3
B5 ST	<i>Bacillus cabrialesii</i>	19	18	19	18,7	B48 ST	<i>Bacillus polymyxa</i>	18	17	17	17,3
B6	<i>Bacillus subtilis</i>	20	19	20	19,7	B53	<i>Bacillus megaterium</i>	20	18	19	19,0
B6 ST	<i>Bacillus subtilis</i>	19	18	19	18,7	B53 ST	<i>Bacillus megaterium</i>	19	19	19	19,0
B9	<i>Bacillus circulans</i>	20	20	18	19,3	B54	<i>Bacillus clausii</i>	19	18	17	18,0
B9 ST	<i>Bacillus circulans</i>	19	19	19	19,0	B54 ST	<i>Bacillus clausii</i>	20	17	17	18,0
B18	<i>Bacillus circulans</i>	20	20	18	19,3	B56	<i>Bacillus licheniformis</i>	19	20	20	19,7
B18 ST	<i>Bacillus circulans</i>	17	20	19	18,7	B56 ST	<i>Bacillus licheniformis</i>	20	17	19	18,7
B25	<i>Paenibacillus glucanolyticus</i>	20	20	19	19,7	B57	<i>Bacillus sonorensis</i>	19	18	20	19,0
B25 ST	<i>Paenibacillus glucanolyticus</i>	20	19	20	19,7	B57 ST	<i>Bacillus sonorensis</i>	19	20	17	18,7

3. táblázat Zsázsa mag csírázásgátlási teszt, kelésszámok

4.3. Komposzt Pak choi növény növénynevelő közegeként történő hatékonyságának vizsgálata

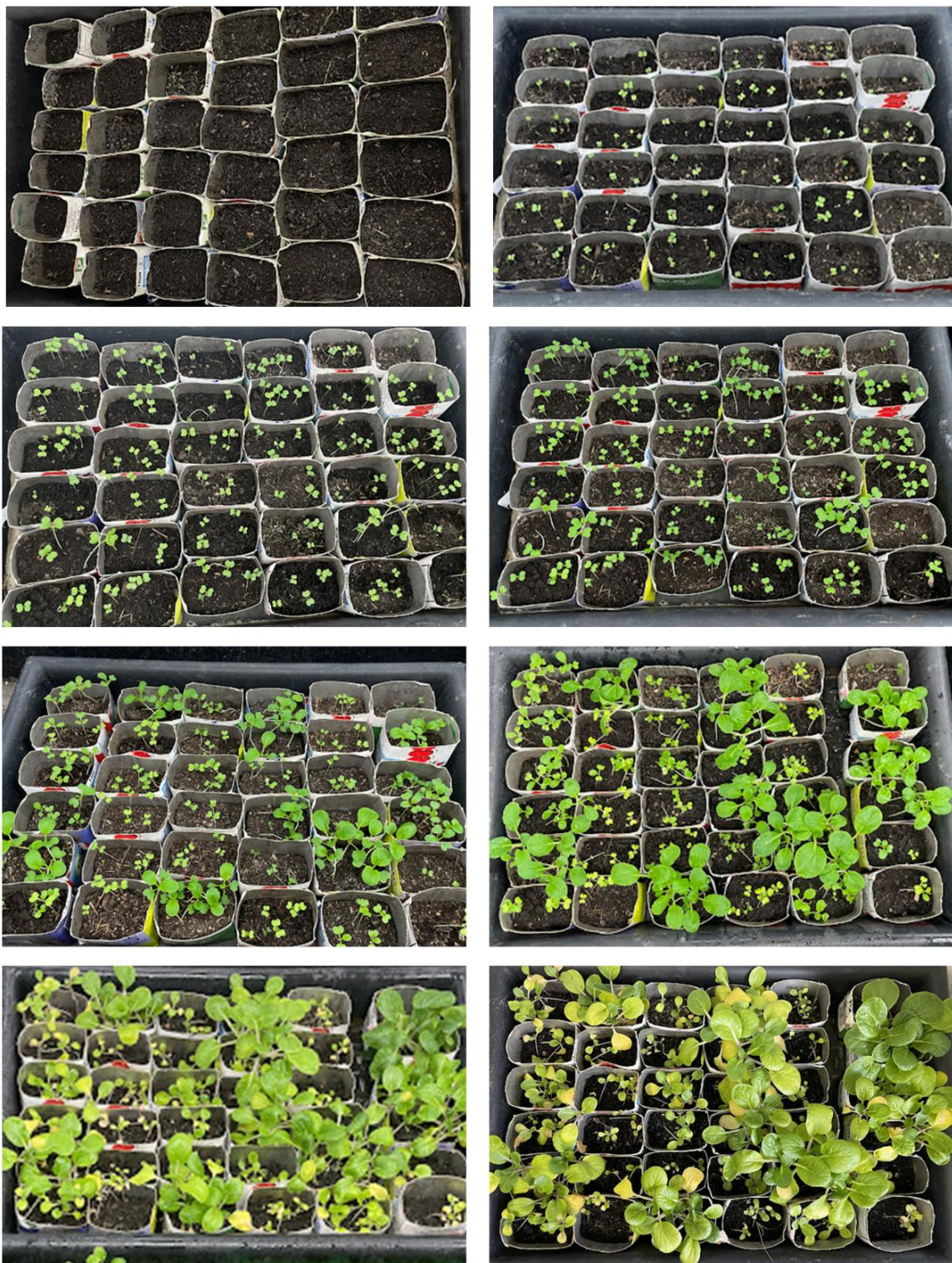
A pak choi rövid tenyészidejű, értékes beltartalmi összetevőkkel rendelkező zöldségnövény, mely igényli a jó minőségű, magas szervesanyag tartalmú és jó mikro- és makroelem ellátottságú talajt, a leveleken hamar észrevehetőek a hiánytünetek és betegségek nyomai. A kísérlethez szitált komposztmintákat használtam fel. Kontrollként sima komposztos vásárolt földet (K1) sterilizett és nem sterilizett formában, és a komposztált kontrollokat (K2) is felhasználtam. A komposztálás vizsgálatát 37., 65. és 91. napon dokumentált mintákkal mutatom be. Minden kísérleti beállításban kikelt az elvetett 5 db Pak choi mag. A K1 bolti földet tartalmazó kontroll mintában szépen fejlődtek a Pak choi növények. A sterilizett talajmintában kisebb méretű, alacsonyabb növényeket kaptunk, ennek oka lehet, hogy ezeknél a komposztálás során a lebontás is kevésbé volt hatékony. A K2 kontroll a szitált komposztföldet tartalmazta. Ebben a növények nem fejlődtek vagy elmaradottan fejlődtek, valószínűleg a komposzt éretlensége miatt, amit a szitálás után is tapasztaltam.

A növények alsó, idősebb levelein a kísérlet előrehaladásával sárgulást tapasztaltam, ami a 61. napon készült fényképeken is látszódik. (12. és 13. ábra)

A sárgulást okozhatta a növénykéreg öregedése, ami fokozódhatott, mivel a tejesdobozban nem volt elég helyük a fejlődésükhöz. A locsolást a kísérlet során mindig azonos mennyiségű vízzel végeztem és nem vettem figyelembe a növények növekedését, így esetlegesen az is probléma lehetett, hogy a nagyobb növényeknek több vízre lehetett szükségük. A sárgulást okozhatta tápanyaghiány is, a kísérlet során a palánták nem kaptak semmilyen műtrágyát, mikro- vagy makroelem pótlást. A nitrogénhiány következtében az idősebb levelek sárgulni kezdenek, így én valószínűsítem, hogy ez lehetett a jelenség oka. Legközelebb hasonló kísérlet tervezésekor érdemesnek tartanám a műtrágya (N, P, K) adagolást. Más hiánytüneteket a leveleken nem láttam.

A legszebben a *Bacillus cabrialesii* B5; *Paenibacillus glucanolyticus* B25 és B37; *Bacillus megaterium* B53; *Bacillus licheniformis* B56 és *Bacillus sonorensis* B57 minták esetében fejlődtek a növények. Általában a nem sterilizett mintákban fejlődtek jobban a növények, kivéve a *Bacillus sonorensis* B57 minta esetében. *Bacillus licheniformis* B56 esetében mind a sterilizett, mind a nem sterilizett alapanyagokon jól fejlődtek a növények.

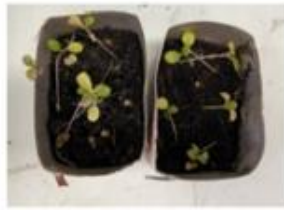
Visszamaradott fejlődést tapasztaltam a K2 kontroll minta; a *Bacillus subtilis* B6; a *Bacillus circulans* B9 és B18; a *Bacillus halotolerans* B35; a *Bacillus polymyxa* B48 és a *Bacillus clausii* B54 esetében. Náluk nincs jelentős eltérés a sterilizett és nem sterilizett minták esetében.



12. ábra Pak choi növény fejlődése, a tejesdobozokat véletlenszerűen rendeztem el, a kísérlet során nem változtattam a pozíciójukat (0.nap; 7.nap; 10.nap; 14.nap; 20.nap; 30.nap; 50.nap; 60.nap)



K2 Kontrol



K1 Kontrol (sima)



B5. *Bacillus tequilensis*



B18 *Bacillus circulans*



B6 *Bacillus subtilis*



B25. *Paenibacillus glucanolyticus*



B9 *Bacillus circulans*



B 35 *Bacillus halotolerans*



B48 *Bacillus polymyxa*



B37 *Paenibacillus glucanolyticus*



B53 *Bacillus megaterium*



B56 *Bacillus licheniformis*



B54 *Bacillus clausii*



B57 *Bacillus sonorensis*



13. ábra Pak choi növények fejlődése komposzt mintákon; sterilizett/nem sterilizett alapanyagokon, 61.nap

5. Összefoglalás

Ma már minannyiunk számára természetes dolog a komposztálás. Ez sok más háztartáshoz hasonlóan a mi családjunkban is nagyon fontos. Próbálunk ügyelni rá, hogy minden növényi eredetű szerves hulladékot komposztáljunk. Sajnos azt tapasztaltam, hogy vannak nehezebben bomló hulladékok, melyek lebontását elsősorban mikrobiológiai készítményekkel lehet támogatni. Részt vehettem egy talajbaktérium készítményeket fejlesztő és gyártó cég kutató munkájában, ahol önálló kutatást is végezhettem.

Kísérleti munkám során azt vizsgáltam, hogy a fermentációval előállított talajbaktériumok milyen hatékonysággal bontják le a környezetünkben található nehezebben bontható szerves hulladékot. Ehhez összeállítottam egy kísérleti „komposzt” keveréket, mely a következőkből állt: fa, tojáshéj, szalma, száraz levél, vatta, pamut anyag, kartonpapír, faforgács alom, kender alom és darált kukoricatorzsa. Minden dobozba ugyanakkora tömegben, ugyanolyan rétegrendbe tettem be az összetevőket. A beállítások mindegyikénél sterilizett és nem sterilizett összeállítást készítettem. Valamennyit megegyező sejtszámú baktériummal oltottam és a kísérlet teljes időtartama alatt azonos mennyiségű vízzel nedvesítettem. Az 5., 10., 14. és 17. héten feltártam a bontások állapotát, amit fotó dokumentációval is rögzítettem. A 19. héten az alaposan kiszitált talajjá érett komposzt felhasználásával növénykísérleteket végeztem.

A kerti zsázsa (*Lepidium sativum*) jó indikátor növény a komposzt érettség megállapítására. Petri csészékbe a komposztált talajra 20-20 db magot vetettem három párhuzamos beállításban és vizsgáltam a kelésszámokat (csírázásgátlás vizsgálat). A pak choi, magyarul fodroskel (*Brassica rapa subs. chinensis*) nagyon érzékeny növény a talajban levő tápanyagokra, ezért alkalmas tesztnövény a komposztálás során a baktériumok által feltárt hasznos szerves és szervetlen anyagok vizsgálatára. Minden komposztálással előállított talajmintába 5-5 db pak choi magot vetettem, majd 60 napon keresztül növesztettem, minden héten fotódokumentációval követtem a növekedésüket.

Kísérleteim eredményeként megállapítottam, hogy a komposztálás során a baktériumok a kontrollhoz képest sokkal hatékonyabb bontást végeztek. A sterilizett beállításokban lassabbak voltak a bontások, mint a párhuzamos, de nem sterilizett alapanyagokon, amit az alapanyagokon természetesen jelenlevő és a bontásban is részt vevő mikroorganizmusoknak tudhatunk be. A baktériumok leggyorsabban a faleveleket és a papírt bontották el. A

Paenibacillus glucanolyticus, a *Bacillus sonorensis*, valamint a *Bacillus licheniformis* izolátumok a többi vizsgált baktériumhoz képest sokkal hatékonyabban bontották le a fadarabokat, valamint a legnehezebben bomló szalmaszálakat is. A zsáksakísérletben jelentős csírázásgátlást nem tudtam kimutatni. A Pak choi kísérletnél egyes baktériumokkal a kontrollhoz képest gyorsabb növekedést, erősebb, egészségesebb növényeket regisztráltam, ugyanakkor voltak olyan beállítások melyek jelentősen elmaradtak a kontrollhoz képest. Az eredmények alapján az általam vizsgált talajbaktériumok között van olyan, amely akár egy jövőbeli komposztbontó készítményben is felhasználhatóvá válhat.

Szeretném, ha a mind több háztartásban elterjedne a komposztálás. Kísérleteim során magam is tapasztaltam, hogy a baktériumok jelentősen segítik, gyorsítják a lebontás folyamatát. Örülnék, ha eredményeimet felhasználná egy komposztálást segítő mikrobiális termék kifejlesztése során, amellyel növények nevelésére is felhasználható tápanyagdús földet lehet előállítani, ezzel is támogatni a Föld ökológiai egyensúlyát.

6. További kísérlettervek

Nagyon élveztem a kutatómunkát, ha lehetőségem lesz rá a jövőben is szeretnék kísérletezni, például kommunális hulladékokkal: nejlon zacskó, tejes doboz, műanyag csomagolóanyagok mikrobiális bonthatóságát szívesen vizsgálnám.

Köszönetnyilvánítás

Ezúton szeretném megköszönni a Fermentia Kft. munkatársainak, hogy befogadtak a laboratóriumba, terelgettek és segítették a munkámat. Külön köszönet Dr. Bódai Viktóriának a folyamatos támogatást, a kísérleti terv összeállításától az OTDK pályamunka beadásáig. Köszönöm Gimnáziumomnak és Tarlós Péternek a biológia tanáromnak támogatását.



7. Irodalom

1. Witaria Microbial Culture Collection <https://witaria.weebly.com/>
2. <https://zoldhulladekelszallitas.hu/komposztalas-folyamata-es-feltetelei/>
3. Silye Zoltán: *Komposztáljunk!* Gaja Környezetvédő Egyesület, Székesfehérvár,
4. <https://www.agroinform.hu/hazikert/gyorsitsd-be-a-komposzt-ereset-hasznos-trukkok-amik-biztosan-bevalnak-51834-001>
5. ChatGPT: <https://profitline.hu/kotelezo-minden-magyar-haztartasnal-a-komposztalas-2024-januar-1-tol-reszletek-456501>
6. ChatGPT: <https://www.penzcentrum.hu/gazdasag/20231128/elkepeszto-kilatasok-ujra-bekoszont-az-olcso-elet-2024-ben-magyarorszagon-1144080>
7. Béres András, Csiffáry Nóra, Gadácsi Réka, Laczkó Bendegúz, Márton Zsuzsanna: *A komposzt is érték: Helyben végzett komposztálás elmélete és gyakorlata*; Herman Ottó Intézet, Budapest **2017**,
https://www.hermanottointezet.hu/sites/default/files/a_komposzt_is_ertek.pdf
8. BioControll Hungaria, *Talajjavítás, Tápanyagutánpótlás, Komposztálással a talaj regenerálható*, <https://www.biokontroll.hu/komposztalassal-a-talaj-regeneralhato/>
9. Borsodi Andrea, Felföldi Tamás, Jáger Katalin, Makk Judit, Márialigeti Károly, Romsics Csaba, Tóth Erika, Bánfi Renáta, Pohner Zsuzsanna, Vajna Balázs: *Bevezetés a prokarióták világába* **2013**, <https://ttk.elte.hu/dstore/document/854/book.pdf>
10. *Okostankönyv, Kémia 10.osztály részére*, **2012**,
https://nat2012.nkp.hu/tankonyv/kemia_10_a/lecke_05_002
11. Brethauer, S., Shahab, R. L., & Studer, M. H.. *Impacts of biofilms on the conversion of cellulose*. Applied microbiology and biotechnology, (**2020**)104(12), 5201–5212.
<https://doi.org/10.1007/s00253-020-10595-y>
12. Hu, M., Chen, J., Yu, Y., & Liu, Y.. *Peroxyacetic Acid Pretreatment: A Potentially Promising Strategy towards Lignocellulose Biorefinery*. Molecules, (**2022**)27(19), 6359. MDPI AG.
Retrieved from <http://dx.doi.org/10.3390/molecules27196359>
13. Tóth Ákos: *Lignocellulóz bontó mikrobák izolálása és enzimeik biotechnológiai alkalmazása* PhD értekezés, Szent István egyetem, **2016**, https://real-phd.mtak.hu/1307/1/Toth_Akos_ertekezés_DOI.pdf

14. <https://hu.wikipedia.org/wiki/Lignin>
15. Megyeri Gábor: *Lignocellulóz hidrolízise és továbbhasznosítása ionos folyadékban*, PhD értekezés, **2019** Pannon egyetem, https://konyvtar.uni-pannon.hu/doktori/2019/Megyeri_Gabor_dissertation.pdf
16. Ryckeboer, J., Mergaert, J., Vaes, K., Klammer, S., De Clercq, D., Coosemans, J., Insam, H. & Swings, J. **2003**. *A survey of bacteria and fungi occurring during composting and self-heating processes*. Annals of Microbiology, 53, 349-410.
17. Partanen, P., Hultman, J., Paulin, L., Auvinen, P. & Romantschuk, M. **2010**. *Bacterial diversity at different stages of the composting process*. BMC Microbiol, 10, 94.
- 18 Takaku, H., Kodaira, S., Kimoto, A., Nashimoto, M. & Takagi, M. *Microbial communities in the garbage composting with rice hull as an amendment revealed by culture-dependent and -independent approaches*. J Biosci Bioeng, **2006**, 101, 42-50.
19. *BacDive*, Explore Bacterial Diversity, <https://bacdiv.dsmz.de/>
20. *BactoFil prospektus*; <https://agrobio.hu/hu/galeria/bakteriumtorzsek-a-bactofil-termekcsaladban>
21. https://en.wikipedia.org/wiki/Alkalihalobacillus_clausii
22. https://microbewiki.kenyon.edu/index.php/Bacillus_clausii
23. *Normaflore ismertető*;
https://www.normaflore.hu/?gclid=Cj0KCQjwu8uyBhC6ARIsAKwBGpTcPPGsgO6V2oShiuRCzJPsvKMRTuNbEG-qxdZVmz-kEXBIdArlQ44aAnjOEALw_wcB&gclidsrc=aw.ds
24. Ben-Gad, D., Gerchman, Y. *Reclassification of Brevibacterium halotolerans DSM8802 as Bacillus halotolerans comb. nov. Based on Microbial and Biochemical Characterization and Multiple Gene Sequence*. Curr Microbiol **74**, 1–5 **2017**
<https://doi.org/10.1007/s00284-016-1143-4>
25. SA Zalma , WM El-Sharoud: *Diverse thermophilic Bacillus species with multiple biotechnological activities are associated within the Egyptian soil and compost samples* Science Progress. **2021**; 104(4). DOI: 10.1177/00368504211055277
26. *Biogen katalógus*; <https://biokal.info/biogen-szarbonto-bakterium>

27. Grady EN, MacDonald J, Liu L, Richman A, Yuan ZC. *Current knowledge and perspectives of Paenibacillus: a review*. Microb Cell Fact. **2016**; 15(1):203. doi: 10.1186/s12934-016-0603
28. Menzel, T., Neubauer, P. & Junne, S. *Effect of bioaugmentation with Paenibacillus spp. and thin slurry recirculation on microbial hydrolysis of maize silage and bedding straw in a plug-flow reactor*. Biomass Conv. Bioref. **2023** doi: 10.1007/s13399-023-03958-8
29. K.P. Sangeeth, Suseela Bhai Varshini Srinivasan *Paenibacillus glucanolyticus*, a promising potassium solubilizing bacterium isolated from Piper nigrum L. rhizosphere **2012**
30. *A komposzt minőségének meghatározása a zsázsa tesztekkel*: Organic Farm knowledge <https://organic-farmknowledge.org/hu/tool/35343>
31. Jacques G. Fuchs and Leen Janmaat: *Handbook for Composting and Compost Use in Organic Horticulture; How growers can assess compost quality?*
32. *Solvita: a Maturity Test that differs from other Compost Tests*
<https://deveron.com/compost-analysis/>
33. *Házról, házra; Zsázsa teszt*; <https://hazrolhazra.hu/zsazsa-teszt/>
34. Fekete-Kertész Ildikó, Feigl Viktória, Molnár Mónika: *Lepidium sativum gyökér- és szárnövekedés gátlási teszt* **2013**, Környezetvédelmi információ,
<https://www.enfo.hu/etanfolyam/12809>
35. Nikolaos D. Charisiou, Panagiota P. Konstantakou, Vagelis G. Papadakis: *Exploitation of olive tree prunings as raw material for the production of high quality compost*, Environmental Engineering and Management Journal, **2016**, Vol.15, No. 12, 2709-2717, DOI: 10.30638/eemj.2016.298
36. G.Ferrari, G.Barulli, R.Ferrari, D.Felici: *Analytical procedures for verification of compost quality and environmental acceptance*, ISWA Congress, Serbia, **2016**
37. L. Roca-Pérez, L. Marimón, C. Campillo, L. Ponce , R. Boluda: *Assessing compost phytotoxicity using compost eluates and a compost plate bioassay*, ISHS Acta Horticulturae **2013**: International Symposium on Growing Media, Composting and Substrate Analysis, DOI: 10.17660/ActaHortic.2013.1013.9
38. Charlie Suruban, Md. Abdul Kader, Zakaria M. Solaiman: *Influence of Various Composted Organic Amendments and Their Rates of Application on Nitrogen Mineralization and Soil*

- Productivity Using Chinese Cabbage (Brassica rapa. L. var. Chinensis) as an Indicator: Crop, Agriculture* **2022**, 12(2), 201; <https://doi.org/10.3390/agriculture12020201>
39. Kiew Vincent Wei Shuen and Mohd Effendi Wasli: *Growth Performance and Yield of Brassica rapa Var. Chinensis with Takakura and Conventional Compost, OnLine Journal of Biological Sciences* **2024**, 24 (3): 358.366, DOI: 10.3844/ojbsci.2024.358.366
40. Zsázsa mint mirozöld; Pak choi termesztése <https://www.mikrozoldkert.hu/Zsazsa-mikrozold-es-csira-mag-20g>; <https://www.agroinform.hu/hazikert/pak-choi-kaposzta-72885-001>
41. Vegyes hulladékokkal, illetve komposztálással kapcsolatos nyilvántartások <https://www.nnk.gov.hu/index.php/kozegeszsegugyi-foosztaly/telepules-egeszsegugyi-klimavaltozas-es-kornyezeti-egeszseghatas-elemzo-osztaly/hatosagi-nyilvantartasok/571-vegyes-hulladekokkal-illetve-komposztalassal-kapcsolatos-nyilvantartasok>
42. Engedélyezett terméshozzávalók nyilvántartása <https://portal.nebih.gov.hu/engedelyezett-termeshozzavalok>
43. GeoCell engedély okirat <https://attendsa.hu/wp-content/uploads/2023/05/GeoCell-engedely-20160129.pdf>
44. Bioego katalógus <https://bioego.hu/wp-content/uploads/2023/05/bioego-aop.pdf>
45. <http://xn--krnyezetminsg-mhb7pq2d.eu/products.php#authorised-anchor>
46. <http://xn--krnyezetminsg-mhb7pq2d.eu/products.php>
47. Greenman termék ismertető https://farm24.hu/GREENMAN-COMPOST-komposztalast-elosegitoeszitmen?gad_source=1&gclid=Cj0KCQjw0_WyBhDMARIsAL1Vz8s8Kf5IHkARm2Rcf9XGq6DZaIWRAVTwQXcYYZzvN03l377vdByBvZoaAtyWEALw_wcB
48. Greenman Konyhai Mini Komposztáló És Greenman Starter <https://greenman.hu/product/greenman-mini-konyhai-komposztalo>
49. Mátyás Mónika: *Komposztálás Felsőörsön* **2009** Csalán Környezet- és Természetvédő Egyesület <https://humusz.hu/sites/default/files/Dokumentumok/komposztalas/>