

Baromfi toll feltárhatóságának vizsgálata biogáz célú hasznosításhoz

Mézes Lili¹ – Bíró Tibor¹ – Tamás János¹ –
Petis Mihály²

¹Debreceni Egyetem Agrártudományi Centrum,
Mezőgazdaságtudományi Kar,

Környezetgazdálkodási Tanszék, Debrecen

²BátorTrade Kft., Nyírbátor

mezes@gissserver1.date.hu

ÖSSZEFOGLALÁS

A kutatás az elsősorban vágóhidakon nagy mennyiségekben keletkező baromfitoll mikroorganizmussal végzett biológiai feltárásnak és az abból történő biogáznyerés technológiai paramétereinek kidolgozását célozta. A tollfehérjét a *Bacillus licheniformis* nevű keratinbontó baktérium segítségével tártuk fel. Vizsgálataink a baromfitoll biodegradációját befolyásoló paraméterek optimalizálására irányultak. A kísérletekben az optimális pH, hőmérséklet, tollméret, és bacillus:toll arány értékek meghatározását végeztük el, valamint a vizsgált paraméterek közötti összefüggéseket vizsgáltuk. A különböző kísérleti beállítások során a degradálódó anyag hígításának extinkcióját határoztuk meg, mellyel nyomon követhető volt a biodegradáció dinamikája. A kísérletek eredményeképp megállapítható, hogy a kezelés nélküli elegyben a hidrolízis mértéke jóval kisebb volt, mint a baktériummal kezeltékben. A legjobb feltáródás az 1:3-as toll:víz arány esetén következett be. A legsikeresebb tollbontási intenzitás az 1%-os mikrobaarányánál volt megfigyelhető.

Kulcsszavak: *Bacillus licheniformis*, baromfi toll, keratin

SUMMARY

The aim of this research was the elaboration of the technological parameters of biological digestion and biogas production from poultry feather produced in large quantities by slaughterhouses. Feather protein was digested by *Bacillus licheniformis*, keratin desintegrator bacteria. Investigations focused on the optimalization of parameters influencing poultry feather biodegradation. The optimal range of pH, temperature, feather size and bacillus:feather ratio were determined in the experiments as well as the analysis of relationship between the examined parameters. In order to be able to track the dynamics of the biodegradation, we determined the extinction level of the liquid phase of the biodegraded material in the different experimental treatments. The results showed that the rate of hydrolysis was significantly higher in the treatments with bacteria than in the treatments without it. The most extensive digestion were observed in case of 1:3 feather:water ratio. The highest intensity of feather digestion were detected in the treatment with 1% microbe ratio.

Keywords: *Bacillus licheniformis*, poultry feather, keratin

BEVEZETÉS

A baromfitoll termelés-specifikus technológiai hulladék, másodlagos biomassza, melynek elhelyezése nehézségekbe ütközik. Az állategészségügyi jogszabályok változása miatt a tollliszt felhasználhatósága jelentősen korlátozódott, így

biztonságos hasznosítása főként komposztálással és biogáz előállításal történhet. A keratin tartalmú baromfitoll biogáz célú újrahasznosításával magas technológiai szintet képviselő alkalmazott kutatásra és kísérleti fejlesztésre nyílik lehetőség, amely kielégíti az Európai Unió mezőgazdasági- és élelmiszeripari eredetű anyagok kezelésével kapcsolatos műszaki szabályozási követelményeit.

A toll szaruból áll, mely tömegének közel 90%-a a keratin (Harrap és Woods, 1964; Cherry et al., 1975). A keratin nevű rostos fehérje előfordul a szőrzetben, a szarvakban, a körmökben és a tollzatban egyaránt (Nárai-Szabó, 2006). A baromfi teljes tömegének a toll kb. 10%-át képezi (El-Boushi és van der Poel, 2000). A keratin a természetben előforduló, nem emészthető fehérjék csoportjába tartozik (Ádám, 2001). A keratin szénből (50-55%), oxigénből (25-30%), hidrogénből (15-18%), nitrogénből (7-8%), kénből (0,5-2%) van, és nyomokban tartalmaz bórt, klórt, vasat is (Ádám, 2001). A keratinfehérje nagyrészt glicinből, alaninból, szerinből, cisztinből és valinből áll, de tartalmaz kisebb mennyiségben lizint, metionint és triptofánt is (Harrap és Woods, 1964; Cherry et al., 1975). A keratinfehérjék gyakorlatilag teljesen oldhatatlanok, szerkezetük fonalas, viszonylag sok cisztein oldalláncot tartalmaznak, amelyek a polipeptidláncokat diszulfid-kötésekkel kapcsolják össze. A nagyszámú diszulfid-híd miatt a keratin nehezen feltárható az olyan enzimek számára, mint a tripszin, pepszin és papain, így degradációjához speciális fehérjebontó (keratinbontó) mikroorganizmusokra van szükség (Elődi, 1980; Cohlberg, 1993; Steinert, 1993; Onifade et al., 1998). Ez az oka annak, hogy a nehezen bomló tollhulladékok kezelése és ártalmatlanítása nehézségekbe ütközik.

A cisztinhidak lebontódása (pl. lúg vagy hő hatására) a toll rugalmasságának elvesztését okozza. A fehérjemolekulák a tollban általában rendezett, kristályos szerkezetben, szárirányban, láncszerűen helyezkednek el. A fehérjemolekulák egy része kusza, rendezetlen, amorf, ezek közé tud beépülni és megkötődni a víz. E részek teszik a tollat nedvszívóvá (Ádám, 2001).

Bizonyos baktériumok, gombák speciális proteázok, a keratinázok segítségével képesek a keratin hidrolízisére. Ilyen tulajdonsággal rendelkeznek például a *Streptomyces* és *Bacillus* nemzetség bizonyos törzsei, fajai (Williams et al., 1990; Bressollier et al., 1999), illetve több szaprofita,

parazita gomba, (Dozie et al., 1994), *Actynomycetes* (Noval és Nickerson, 1959; Böckle et al., 1995), *Fervidobacterium pennavorans* (Friedrich és Antranikian, 1996). Néhány *Bacillus* faj (*B. polymyxa*, *B. licheniformis*, *B. brevis*, *B. subtilis*) antibiotikumot (polymyxin B, gramicidin, tyrocidin, edein, bacitracin) termel. Egyes fajaik ipari enzimermelletésben (lúgos proteáz a mosószeriparnak, a-amiláz stb.) jelentősek (Pesti, 2001). A *Bacillus licheniformis* ipari fermentáláshoz használják, nagy mennyiségű exoenzimot állít elő, mint a proteináz, amiláz, és antibiotikumot is termel (Kevei és Kucsera, 2002).

Biogáz célú hasznosításhoz a baromfitoll feltárhatóságát *Bacillus licheniformis* baktérium felhasználásával vizsgáltuk. A baromfitoll magas fehérjetartalma miatt kitűnő biogáz receptúra-alapanyag. Fermentációs feltárása elősegíti a nagy mennyiségben keletkező és nehezen lebomló toll környezetbarát hasznosítását. A toll ugyanakkor nem adagolható közvetlenül, előkezelés nélkül a biomassza-keverékekhez. A baromfitollnak olyan hőkezelésen és mikrobiális feltáráson kell keresztül mennie, melynek eredménye a keratin lebomlása. A nehezen feltáródó (és komposztálható) toll a kidolgozandó módszer segítségével nagy tömegben és gyorsan hasznosítható az energetikai célú biogáztermelésben, valamint a biomasszák optimális elemarányainak a beállításában.

A kutatás célkitűzése annak a maximálisan bevihető előfeldolgozott toll mennyiségének és időbeli ütemezésének a meghatározása volt, mely nem eredményezi a fermentációra toxikus gázok keletkezését, valamint más környezeti paraméter, így a pH káros eltolódását. Másik feladata a tollbontó mikroorganizmusok koncentrációjának optimalizálása, felszaporíthatóságának vizsgálata. A vizsgálatok olyan biomassza receptúra kidolgozását célozták meg, mely optimális C:N arányt és legnagyobb hasznos fajlagos gázkinyerést eredményez.

ANYAG ÉS MÓDSZER

Bacillus licheniformis jellemzése, tenyésztése

A *Bacillus licheniformis* Gram pozitív, aerob, endospórás, pálcika formájú, leginkább a sokat vizsgált *Bacillus subtilis*-hez hasonló baktérium. Peptid antibiotikumot termel. A pH-igénye 6,5-8, hőmérséklet-igénye 30-50 °C közötti tartományban van. Tárolhatósága +4 °C-on folyékony táptalajon 1 hét, agar lemezen 1 év. Alkalmazott tenyésztési idő 2 nap. A baktérium toleráns a környezeti, biogén feltételekkel szemben. A hosszabb távú felhasználás biztosítása érdekében $1,6 \cdot 10^9$ db/cm³ sejtszámú tenyészetből kivett 800 µl oltóanyagot 200 µl glicerinnel

hozzáadásával folyékony nitrogénben lefagyasztottunk, majd -80 °C-on tároltuk. A *Bacillus licheniformis* szaporítása folyékony élesztőkivonatot tartalmazó alaptáptalajon, 42 °C-on történt. 0,5 literes mérőpohárba kimértük az előre elkészített táptalajokat. A kimért táptalajt egy erlenmeyer-lombikba desztillált víz fokozatos adagolása mellett csomómentesre elkevertünk, 0,5 l-re feltöltöttük, majd sterilizáltuk. Az így kapott oldatot automata pipetta segítségével beoltottuk 1,5-ös extinkciójú, $1,6 \cdot 10^9$ db/cm³ sejtszámú *Bacillus licheniformis* kultúrából vett oltóanyaggal. A sejtszám 1,5 nap után érte el maximumát, majd csökkenő tendenciát mutatott. A tápoldathoz élesztőkivonatot használtunk fel. Üzemi körülmények közötti alkalmazásra azonban húskivonatot javasolt, hiszen az ÁTEV Zrt. a biogázüzem számára kedvező áron rendelkezésre bocsátja a kellő mennyiségű húskivonatot, amit 100 °C-os hőmérséklet felett szűkítanak zárt tartályban, mellyel egyúttal a sterilizálás is megoldott.

A kísérletsorozat beállítási paraméterei

A kísérletsorozat során 8 kísérlet beállítása történt meg 2006.09.01.-10.15. között a Debreceni Egyetem Víz- és Környezetgazdálkodási Tanszékének laboratóriumában. Első lépésben a tollat hőkezeltük 70, 100 és 140 °C-on főzőberendezésben, majd a toll:víz arányt állítottuk be, mely során 1:1-es, 1:2-es és 1:3-as toll:víz arányokat vizsgáltunk. Az 1:1 toll:víz arányú kezelések (1 kg toll:1 liter víz) mechanikus keverésre alkalmatlannak bizonyultak, tehát üzemi körülmények között való alkalmazásuk nem javasolt. Az 1:2 aránynál 0,67 kg tollat 1,33 l vízzel, az 1:3 aránypárnál 0,5 kg tollat 1,5 l vízzel elegyítettünk. Az optimálisnak bizonyuló 42 °C-os bontási hőmérsékletet termosztát segítségével, a 6,5-8 közötti pH-t 5-5 ml foszfát-puffer hozzáadásával biztosítottuk az oldatban. A toll:*Bacillus licheniformis* arányt (%) az adott aránypárban lévő toll tömegének 1, 3 és 5%-ával megegyező térfogatú *Bacillus licheniformis* kultúrából vett oltóanyaggal állítottuk be. Az első kísérlet során oltás előtt meghatároztuk a baktériumkultúra sejtszámát Bürker kamrában, illetve az extinkciót fotométerrel 605 nm-es tartományban. A további kísérleteknél a kapott kalibrációs görbe alapján turbidimetriás módszerrel határoztuk meg az extinkciókhoz tartozó sejtszámokat (1. ábra). Az összes lehetséges kombináció kipróbálásra került a kísérletsorozatban, egy kísérlet alkalmával 4 kezelést és egy kontrollmintát állítottunk be. A kontrollmintában csak a toll:víz arány beállítására került sor. A legjobb extinkció értékeket (5-12 között) és homogenitást mutató kombinációkat megismételtük.

Kísérleti beállítások

Toll: víz arány(1)	Toll: bacillus arány(2)		Hőkezelés, °C(3)								
			70 °C			100 °C			140 °C		
	1%	3%	5%	1%	3%	5%	1%	3%	5%		
1:1					A	A					
1:2	E, G	E	F	D	B	B	C	C, F	G		
1:3	D, E, G, H, I	D, E	F	D	A	A	C, F	C	G		

Table 1: Start of experiment

feather:water ratio(1), feather:microbe ratio(2), pretreatment(3)

Extinkció (fényáteresztő képesség) mérése

A fényáteresztő képesség mérése Filterphotometer PF-10-es típusú fotométerrel történt. A fényforrást egy wolfram pontlámpa biztosítja, a detektor pedig egy szilícium fotoelem. A fényáteresztő képességet 0,01 E/h-2,5 E/h tartományban képes mérni, 0,01 E/h alatt nem mérhető a zavarosság, 2,5 E/h felett pedig a vizsgálandó folyadék, oldat hígítása szükséges.

A kísérleti beállításokat a mintavétel előtt homogenizáltuk, majd a folyadék fázisukból automata pipetta segítségével kivettünk 5-5 ml-t, amit a kísérleti beállítások számával jelölt küvettkébe helyeztünk. Sorban behelyeztük a kísérleti mintákat tartalmazó küvettkéket, és megmértük a folyadékok fényáteresztő képességét. Ha az extinkció meghaladta a 2,5 E/h-t, akkor a mintát kétszeresére, szükség esetén háromszorosára hígítottuk.

Baktérium sejtszámolása Bürker kamra segítségével

A Bürker kamra négyzet rácscsokorral jelölt térfogatmérő eszköz. A nagy négyzet mérete 1/5×1/5 mm, a téglalap mérete 1/20×1/5 mm, a kis négyzet mérete 1/20×1/20 mm. A Bürker kamra magassága 1/10 mm. Egy speciális tárgylemezről és egy vékonyabb fedőlemezből áll. A fedőlemez tárgylemezre helyezése, majd a fémkarokkal való rászorítása után pontosan 0,1 mm vastag rés marad a tárgylemez és a fedőlemez között. A vizsgálandó anyagot ebbe a résbe helyezük be a fedőlemez felhelyezése után úgy, hogy a vastag lemezbe vésett H-alakú mélyedés szárai között található négyzetnél a fedőlemez széléhez cseppentjük. Mivel tudjuk a rés vastagságát és az üveglemezen lévő beosztások távolságát (1,00 mm, 0,20 mm, 0,05 mm), a beosztások és a fedőlemez által határolt bármelyek téglalast térfogatát, így meg tudjuk adni a térfogategységben található sejtek számát. A sejteket tartalmazó oldatot úgy kell hígítani, hogy a 0,1 m³ térfogatában lehetőleg néhány 10 sejt legyen. A sejtszámlálást kétszeri ismétléssel végeztük vizsgálatonként 15 db kis (0,05*0,05*0,1) négyzetben, majd a kapott értéket (sejtszám) megszoroztuk 1000-rel és a hígítás mértékével, majd osztottuk a kis négyzet térfogatával (0,00025). A kapott érték a db/cm³-ben megadható sejtszám.

Turbidimetriás sejtszám-meghatározás, kalibrálás folyamata

Turbidimetriás sejtszám-meghatározás során az átoltás után az új baktérium tenyészetből 2 napon keresztül óránként mintát vettünk. A mintáknak megmértük az extinkcióját, majd Bürker kamra segítségével meghatároztuk a tenyészet aktuális sejtszámát db/ml-ben. Ezután az extinkció értékekhez tartozó sejtszámokból elkészítettük a kalibrációs görbét (1. ábra). A kalibrációs görbe segítségével a továbbiakban a tenyészetek extinkciójából tudunk következtetni a sejtszámra. A kísérleti beállítások beoltásához 1,5 körüli extinkciójú, 1,6*10⁹ db/cm³ sejtszámú baktérium tenyészetet használtunk.

1. ábra: Bacillus licheniformis extinkció és sejtszám adatai

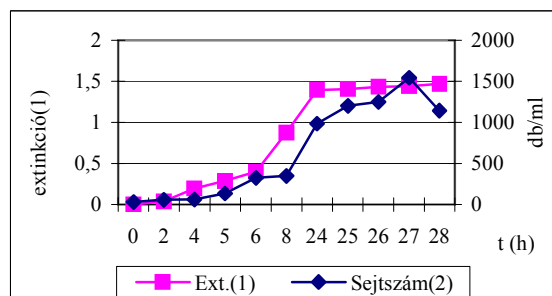


Figure 1: Quenching parameters and cell numbers of Bacillus licheniformis extinction(1), cell number(2)

A pH mérése

A pH mérése Sentron ISFET, félvezető-szenzoros pH-mérővel történt.

EREDMÉNYEK ÉRTÉKELÉSE
Bontási hőmérséklet adatainak elemzése

Az első kísérlet során a vízfürdőt 42 °C-ra állítottuk be, majd óránként ellenőriztük az oldatok hőmérsékletét. A 2. kísérletben kontrollmintát állítottunk be, melynek beállítási hőmérséklete közel azonos (35 és 37 °C) volt, majd a 2. nap folyamán jelentős (20 °C), majd a 3. naptól kis mértékű (17 °C) csökkenés volt megfigyelhető. A 3., 4., 5. és 6.

kísérletekben a kezelések és a kontrollminta hőmérsékleti értékei stabilnak bizonyultak.

A kísérletek pH adatainak elemzése, értékelése

A tápoldat pH-ja 7,0-7,2 volt, így a tápoldat pufferolást nem igényelt. A kísérletek beállítása során a meghatározott toll:víz arány beállítását követően 5-5 ml foszfát-puffer segítségével állítottuk be a kezelések pH-ját. Az első kezelések esetében a pH-érték 6,9-ről 7,6-ra emelkedett, majd a 3. nap 7,0-re esett vissza. Kompresszoros oxigénáramoltatást alkalmaztunk az első kísérlet során 3 óra időtartamig, mely alatt a főzőpoharakat légáteresztő fóliával fedtük le. Hatására a pH-értékek 6,9-ről hirtelen 7,6-ra emelkedtek. A hirtelen tapasztalt jelentős pH emelkedés miatt az oxigénellátást megszüntettük, és mechanikus keverésre térünk vissza. A második kísérletnél az eredeti 5-5 ml foszfát-puffert felül a 2. nap az 1., 3. és 4. kezelésekhez 5-5 ml foszfát-puffert adtunk, mert a pH visszaesett 7,3-7,6-ról 6,6-6,8-ra. A pH további csökkenését megakadályoztuk, a pH megfelelő intervallumon stabilizálódott. A beállított kontrollmintán megfigyelhető, hogy a baktériummal nem előkezelt oldatban a kezelés alatt nem ment 7,0 érték alá a pH, illetve 7,2-es átlagértéket vett fel. Ez alapján elmondható, hogy a *Bacillus licheniformissal* való előkezelés hatására csökken a kezelések pH-ja, gyakori az enyhén savas pH, míg a vízzel elegyített kontrollmintában a pH lúgos.

2. ábra: pH adatok változása az 5. kísérlet során

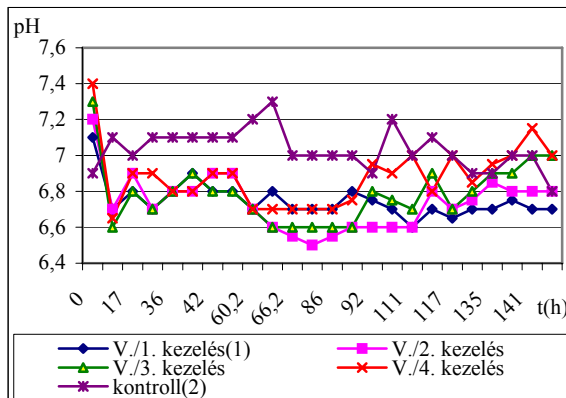


Figure 2: Changes of pH in the case of 5th experiment treatment(1), control(2)

A további kísérletekben a pH a beállításkor lúgos (7,4) volt, majd a 2. naptól enyhén savas (6,5-6,6) pH értékeket vett fel (2. ábra). A pH értéket foszfát-puffer hozzáadásával 6,6-7,2 közötti értéktartományon belül stabilizáltuk, vagy a rendszer önmagától adott pH tartományon belüli értékeket vett fel. A kontrollminta esetében minden kísérletnél megfigyelhető a semleges, enyhén lúgos tartomány a kísérlet egész időtartama alatt. A pH eltolódás tehát a baktériumszám fokozott növekedésére, a szélsőséges

levegőztetésre, túlzott tollmennyiségre vezethető vissza. A fokozott baktériumszám a pH csökkenését, míg a túlzott levegőztetés a pH hirtelen megemelkedését okozza, és csökkenti a bomlás, illetve fermentáció hatékonyságát. Üzemi körülmények között ajánlott mechanikus keverés mellett minimális kompresszoros oxigénellátást is biztosítani a zárt technológia miatt, de a levegőbevezetést csak a tartály felső részében, folyadékszint felett célszerű végezni.

A pH stabilizálása maximálisan 5-15 ml foszfát-puffer hozzáadásával megoldható. A legkevesebb foszfát-puffer felhasználást tehát állandó 42 °C-os hőmérséklet, közepes levegőztetés, egyenletes pH (6,5-7,5 között) és a baktériumszám egyenletes növekedése mellett lehetett megfigyelni.

Extinkció adatok elemzése, értékelése

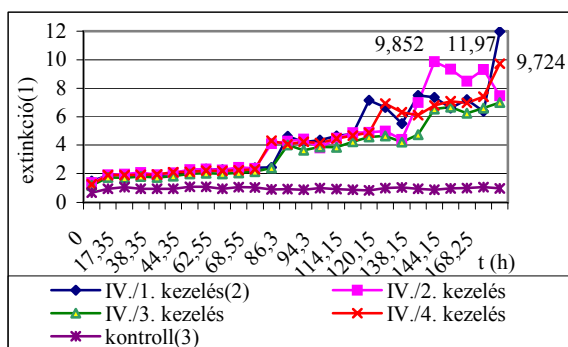
Az extinkció mérésére a baktériumszám közvetett meghatározása és a kezelések zavarosságának vizsgálata miatt volt szükség. A zavarosság foka megmutatja a toll bomlásának mértékét. A baktérium sejtszámának növekedésével nő a baktériumtenyészet extinkciója. A kezelések extinkciója nagyobb mértékben növekszik, mint a kísérlettel azonos napon beállított baktériumtenyészeté, hiszen a toll bomlása közben keletkező egyéb anyagok (peptidek, aminosavak, keratin) növelik a zavarosság mértékét. A kísérleti beállításokat a mintavétel előtt homogenizáltuk, majd a folyadékfázisból automata pipetta segítségével kivettünk 5-5 ml-t a kísérleti beállítások számával jelölt küvettkába.

Az 1. kísérletnél a 100 °C-on előkezelt, 5%-os bacilus:víz, 1:2-es toll:víz arányú kezelés bizonyult a legsikeresebbnek, már az első napon meghaladta 4-es extinkció értéket, ami azt bizonyítja, hogy a baktériumos kezelésben beindult a baktérium szaporodása, illetve a tollbontás. A 2. kísérlet során az első három kezelés extinkció értékei 3 alatt voltak, míg a negyedik 140 °C-os, 1%-os toll:bacilus, 1:2-es toll:víz arányú kezelés maximális (4) extinkció értéket vett fel.

A 3. kísérletnél az extinkció az összes kezelés esetében kis mértékű (1,2 -> 2,5) növekedést mutatott az 5. napig, majd hirtelen jelentős emelkedés (2,5 -> 4,5-5) volt megfigyelhető. A III/1. kezelésnél a 6. napon a többi kezeléstől eltérő módon 4,9-ről 7-re nőtt az extinkció, tehát az 1%-os bacilus:toll és 1:3 toll:víz aránnyal beállított kezelés eredményesnek mondható.

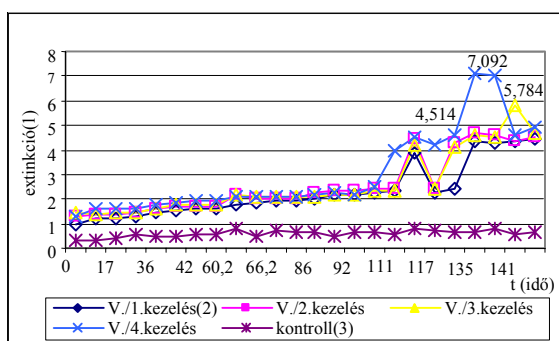
A 4. kísérlet (3. ábra) görbéinek lefutásából, illetve a kísérlet végén megfigyelhető magas (12) extinkció-értékekből is látható, hogy ez a kísérlet zárult a legsikeresebben. A kezelések értékei egészen a 6. napig hasonló értékeket vettek fel, majd a 7. naptól kis mértékű szórás volt megfigyelhető, de összességében az extinkció növekedést mutatott, tehát az 1:3 toll:víz és 1% bacilus:toll arányra (III/1. kezelés 1. ismételése), illetve 1:2 toll:víz és 3% bacilus:toll arányra beállított kezelések bizonyultak a legsikeresebbnek.

3. ábra: Extinkció értékek változása a 4. kísérlet során


 Figure 3: Changes of extinction parameters during the 4th experiment
 extinction(1), treatment(2), control(3)

Az 5. kísérlet során (4. ábra) az extinkció értékek a 4. kísérlethez hasonlóan a 6. naptól emelkedtek meg hirtelen (2 -> 4,6), ez azt bizonyítja, hogy a toll feltáródásához szükséges napok számát 7 napban érdemes minimalizálni.

4. ábra: Extinkció értékek változása az 5. kísérlet során


 Figure 4: Changes of extinction parameters during the 5th experiment
 extinction(1), treatment(2), control(3)

Az V./4. kezelés volt a legsikeresebb, amit 140 °C-on hőkezeltünk, és 1:2-es toll:víz, ill. 3%-os bacillus:víz arányra állítottunk be. A 6. kísérlet során szintén a 6. napon emelkedik meg jelentősen a kezelések extinkció értéke, tehát a kísérlet bizonyítja az előző megállapítást. A legsikeresebbnek a

70 °C-on hőkezelt, 1%-os bacillus:toll, 1:2 (IV./2. kezelés 1. ismétlése) és 1:3 toll:víz arányú kezelések (III./1. kezelés 2. ismétlése) bizonyultak. A kontrollminták extinkció értékei a kísérletsorozat teljes időtartama alatt kiegyenlítették voltak (0,5-1).

KÖVETKEZTETÉS

Az ideális toll:víz arány megállapításánál a keverhetőségi szempontokat és a toll feltáródásának mértékét vettük figyelembe. Az 1:1 toll:víz arányú kezelések mechanikus keverésre alkalmatlannak bizonyultak, tehát üzemi körülmények között való alkalmazásuk nem javasolt. Az 1:2-es és 1:3-as toll:víz arányú kezelések keverhetősége megfelelő volt laboratóriumi körülmények között. Alkalmazhatóságukat a beállítások extinkció értékeivel meghatározott feltáródás mértékétől tettük függővé.

Az optimális bacillus:toll arány beállításánál azt akartuk meghatározni, hogy a tollat tömegének hány százalékával megegyező térfogatú baktérium mennyiséggel célszerű beoltani. A baktériumarány minimalizálására költségcsökkentési megoldásokból is törekedtünk, hiszen mind a baktérium, mind a szaporítására felhasznált tápoldat és a 7 körüli pH beállítására felhasznált foszfát-puffer költséges. Annak a minimális átoltási mennyiségnek a meghatározása volt a célunk, amely mellett még hatékony lesz a baktérium keratinbontása. Az alkalmazott 1, 3 és 5%-os bacillus:toll arányok közül az 1 és 3%-os alkalmazhatónak bizonyult. Megállapítottuk, hogy a baktérium felszaporodása a pH csökkenését eredményezi. Az 5%-os bacillus:toll aránynál a baktérium sejtszámának ugrásszerű növekedésének következtében a kezelés pH-ja jelentős csökkenést mutatott. A pH beállításához felhasznált foszfát-puffer mennyisége így megnőtt, ami költségtakarékosság szempontjából nem előnyös. Mivel az 1 és a 3%-os beállítások feltáródása között nem mutatkozott számottevő különbség, üzemi körülmények között való alkalmazásra a költség és anyagtakarékoság szempontjából kedvezőbb 1%-os bacillus:toll arányt javasoljuk.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A megvalósítás alatt álló nyertes Baross Gábor pályázat biztosította a kutatás technológiai és anyagi feltételeit.

IRODALOM

- Ádám I. (2001): A toll. A baromfitoll és feldolgozása. Scriptor Bt., Budapest
- Böckle, B.-Galunsky, B.-Muller, R. (1995): Characterization of a keratinolytic serine proteinase from *Streptomyces pactum* DSM 40530. Appl. Environ. Microbiol., 61:3705-3710.
- Bressollier, P.-Letourneau, F.-Urdaci, M.-Verneuil, B. (1999): Purification and characterization of a keratinolytic serine proteinase from *Streptomyces albidoflavus*. Appl. Environ. Microbiol., 65(6): 2570-2576.
- Cherry, J.P.-Young, C.T.-Shewfelt, A.L. (1975): Characterization of protein isolates from keratinous material of poultry feathers. J. Food Sci. 40, 331-335.
- Cohlberg, J.A. (1993): The structure of L-keratin. Trends Biochem. Sci. 18, 360-362.
- Dozie, I.N.S.-Okeke, C.N.-Unaeze, N.C. (1994): A thermostabil alkaline active keratinolytic proteinase from *Cryosporium keratinophilum*. Word J. Microbiol. Biotechnol., 10: 563-567.

- El-Boushi, A.R.Y.-van der Poel, F.B. (2000): Handbook of Poultry Feed from Waste. Processing and Use. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- Elődi P. (1980): Biokémia. Akadémia Kiadó. Budapest.
- Friedrich, A.B.-Antranikian, G. (1996): Keratin degradation by *Fervidobacterium pennavorans*, a novel thermophilic anaerobic species of the order *Thermotogales*. Appl. Environ. Microbiol. 62, 2875-2882.
- Harrap, B.S.-Woods, E.F. (1964): Soluble derivatives of feather keratin. Isolation, fractionation and amino acid composition. Biochem. J. 92, 8-18.
- Kevei F.-Kucsera J. (2002): Mikrobiológia I. JATE Press Kiadó. Szeged. 174-178.
- Nárai- Szabó G. (2006): Kémia. Akadémiai Kiadó. Budapest
- Noval, J.J.-Nickerson, W.J. (1959): Decomposition of native keratin by *Streptomyces fradiae*. J. Bacteriol., 77: 251-263.
- Onifade, A.A.-Al-Sane, N.A.-Al-Mussallam, A.A.-Al-Zarham, S. (1998): A review: Potentials for biotechnological applications of keratin-degrading microorganisms and their enzymes for nutritional improvement of feathers and other keratins as livestock feed resources. Biores. Technol. 66, 1-11.
- Pesti M. (szerk.) (2001): Általános mikrobiológia. Dialóg Campus Kiadó. Budapest-Pécs.
- Steinert, P.M. (1993): Structure, function, and dynamics of keratin intermediate filaments. J. Invest. Dermatol. 100, 729-734.
- Williams, C.M.-Richester, C.S.-Mackenzi, J.M.-Shih, J.C.H. (1990): Isolation, identification and characterization of a feather-degrading bacterium. Appl. Environ. Microbiol. 56, 1509-1515.