

A vágóhídról származó baromfi toll fizikai és kémiai kezelése

Mézes Lili

Debreceni Egyetem Agrár- és Gazdálkodástudományok Centruma,
Mezőgazdaság-, Élelmiszertudományi és Környezetgazdálkodási
Kar, Víz- és Környezetgazdálkodási Tanszék, Debrecen
mezes@gissserver1.date.hu

ÖSSZEFOGLALÁS

A baromfi feldolgozóipar egyik legnagyobb mennyiségben keletkező mellékterméke a nedves, mintegy 50-70% víztartalmú toll, melynek felhasználása konfekcionált termék előállításra illetve díszítési célokra nem alkalmas. Ez több millió tonnát jelent évente világszerte (Williams et al., 1991; Hegedűs et al., 1998). A tollban található keratin fehérje nehezen feltárható, így további hasznosítása előtt fizikai, kémiai és/vagy biológiai előkezelést szükséges alkalmazni, melynek a hasznosítás módjához kell igazodnia. A biogáz előállítást, mint lehetséges hasznosítási módot vettük alapul az általunk alkalmazott kezeléseknél.

Az IFA (Tulln) Környezetbiotechnológiai laboratóriumában a tollat aprítottuk, majd az előzetes kutatások során leghatékonyabbnak ítélt 1:2-es arányban desztillált vízzel, vagy 1%-os NaOH-oldattal elegyítettük, majd mikrohullámú hőkezelést (70, 130, 160 °C) alkalmaztunk 1 óra időtartamig. Az eredeti mintában a száraz-, szervesanyag-tartalmat, míg a pH-t, szén-, nitrogén-tartalmat a végtermékben is vizsgáltuk. A kapott korrelációs koefficiensek (R) és a hozzájuk tartozó szignifikancia-érték (Sig.) alapján megállapítottam, hogy az aprítás a C-, N-tartalmat és a pH-t nem befolyásolta egyik adalékanyag esetében sem. A hőmérséklet mindhárom vizsgált tényezőt befolyásolta. Desztillált víz alkalmazása mellett a hőmérséklet erős összefüggést mutatott a N-tartalommal és a pH-val, valamint gyenge-közepes összefüggést a szén-tartalommal. NaOH-os kezelés mellett a hőmérséklet erős összefüggést adott a C- és N-tartalommal, valamint közepes összefüggést a pH-val.

Kutatásunk célja az volt, hogy meghatározzuk azt a módszert, mellyel hatékonyabban kezelhetjük a vágóhídról származó baromfi tollat biogáz célú további hasznosításához.

Kulcsszavak: baromfi toll, mikrohullámú hőkezelés, NaOH-os kezelés

SUMMARY

The 15-20% of the by-products of meat – and poultry industry – that unsuitable for human consumption – contains keratin. The slaughter technology of poultry produces large amount of poultry feather with 50-70% moisture content. This means more million tons annually worldwide (Williams et al., 1991; Hegedűs et al., 1998). The keratin content of feather can be difficultly digested, so physical, chemical and/or biological pretreatment is needed in practice, which has to be set according to the utilization method. Our applied treatments were based on biogas production, which is a possible utilization method.

In the IFA (TULLN) Environmental Biotechnology Institute the feather was homogenized, and – according to the previous examinations – the most effective 1:2 feather-distilled water ratio or 1% NaOH-solution was used, and then treated with microwave (70, 130, 160 °C) during 1 hour time period. DM% and oDM% content was analyzed in the original samples, and the pH, Carbon-, Nitrogen-content in the output, too. Based on the

received correlation coefficients (R) and related significance values (Sig.) I concluded, that the C-, N-content and the pH values weren't influenced by any of the additives. The temperature affected all three tested factors. The temperature showed a strong coherency with the N-content and the pH value when distilled water was used and weak-medium coherency with the Carbon-content. With NaOH-solution treatment the temperature gave strong coherency with the C- and N-content, as well as medium coherency with the pH. Our objective was to determine the method with effectively the pre-treating of poultry feather for biogas production or composting and to prepare of the treated samples for N and C analyzing. Our next aims will be the elaboration of the technological parameters of heat pre-treatment and microbial digestion of poultry feather for biogas production.

Keywords: poultry feather, microwave heat treatment, treatment of NaOH-solution

BEVEZETÉS

A baromfi feldolgozóipar egyik legnagyobb mennyiségben keletkező mellékterméke a nedves, mintegy 50-70% víztartalmú toll, melynek felhasználása konfekcionált termék előállításra illetve díszítési célokra nem alkalmas. A brojlercsirke vágási termékei közül az emberi fogyasztásra alkalmas hányad 60-70%. A vágási melléktermékeinek arányai 100 kg-ból: 4 kg vér, 9-10 kg fej, láb, nyak 7-9 kg toll, 7 kg nem ehető belsőség. A magas víztartalmú toll elhelyezése nehéz, pedig több millió tonnát tesz ki évente világszerte (Williams et al., 1991; Hegedűs et al., 1998; Országos Hulladékgazdálkodási Terv, 2007).

Magyarországon régen toll-lisztet gyártottak belőle, melyet takarmányozási célra használtak fel. A módosított egészségügyi jogszabályok (1576/2007/EK rendeletre módosított 1774/2002/EK európai parlamenti és tanácsi rendelet) ezt már nem teszik lehetővé, tehát szükséges olyan innovatív fejlesztések, módszerek kidolgozása, melyek lehetővé teszik alternatív hasznosítását (biogáz előállítás, komposztálás, stb.).

A biogáz előállítás első szakasza a hidrolízis, itt történik, hogy a fakultatív anaerob baktériumok lebontják a makromolekuláris szerves anyagokat egyszerűbb vegyületekre, oligo-, monomerekre (Öllös, 1991; Bitton, 1994; Schulz és Eder, 2005; Kovács és Bagi, 2007). A nehezen bontható hulladékok kritikusan hatnak a hidrolízisre, romlik a bontás hatékonysága, mely miatt növekszik a hidraulikus tartózkodási idő. A baromfitoll magas fehérje-tartalma miatt kitűnő biogáz receptura-alapanyag lehetne, ugyanakkor nem adagolható

közvetlenül, előkezelés nélkül a biomassza-keverékekhez (Mézés et al., 2009). A tollban található úgynevezett kemény keratinfehérjék gyakorlatilag teljesen oldhatatlanok, szerkezetük fonalas, viszonylag sok cisztein oldalláncot tartalmaznak, amelyek a polipeptid-láncokat diszulfid-kötésekkel kapcsolják össze (Elődi, 1980; Cohlberg, 1993; Steinert, 1993; Onifade et al., 1998; Ichida et al., 2001). Ez az oka annak, hogy a tollhulladékok kezelése és ártalmatlanítása nehézségekbe ütközik. Fizikai, kémiai és/vagy biológiai feltárásuk szükséges, melyek során felbomlanak a keratin feltárhatóságát akadályozó cisztein-kötések (Hegedűs et al., 1998; Perei et al., 2004).

A tollkeratin vizes közegben duzzad, molekulaszervezete megnyúlik, és hő hatására denaturálódik, emészthetőségét csak nyomáson végzett hőkezeléssel lehet jelentősen javítani, ezt a toll előzetes homogenizálása nem fokozta számottevően (Hegedűs et al., 1998). Ezen állításokra alapozva végeztünk előzetes vizsgálatokat a Debreceni Egyetem Víz- és Környezetgazdálkodási Tanszékének laboratóriumában a baromfi toll feltárhatóságára vonatkozóan (Bíró et al., 2008; Mézés et al., 2009).

ANYAG ÉS MÓDSZER

A Bécsi Agrártudományi Egyetem (Universitát für Bodenkultur Wien) Környezetbiotechnológiai Intézetében (IFA, Tulln) folytattam 2009-ben a baromfitoll bontására vonatkozó kutatásokat. Az alkalmazott beállításokat az előzetes vizsgálati eredményeinkre (2006-2008) alapoztam, mely kísérleteket a Szegedi Tudományegyetem Biotechnológia Tanszékével és egy nyírbátori székhelyű baromfinevelő és -feldolgozó üzemmell együttműködve kezdtünk meg. Az üzemben évente 36000 db, 2-2,1 kg-os brojlercsirket vágnak le, tehát a keletkező toll mennyisége 9%-kal számolva kb. 7000 kg.

Az SzTE Biotechnológia Tanszékén nagy erejű kutatások folytak és jelenleg is folynak hidrogén-termelő baktériumok, illetve a számunkra jelentős keratin-bontó proteázt termelő baktérium (*Bacillus licheniformis* KK1) (Perei et al., 2004.; Bálint et al., 2005) kiszelektalására. A Debreceni Egyetemen folytatott előzetes vizsgálatoknál a baromfi toll degradációjának technológiai hátterét dolgoztuk ki (Bíró et al., 2008; Mézés et al., 2009), mellyel a feltárás hatékonyságának további növelése volt a cél.

Az IFA (Tulln) intézetében a toll-mintát eredeti formájában, illetve kétféle homogenizálási idő alkalmazása után (0, 40, 80 sec) az előzetes kutatások során leghatékonyabbnak ítélt 1:2-es arányban (10 g toll:20 g víz) desztillált vízzel elegyítettem, majd mikrohullámú hőkezelést (70, 130, 160 C) alkalmaztam 1 óra időtartamig (1. táblázat). A 160 C-ot az osztrák hatályos jogszabályok miatt vezettem be. A tollhoz később desztillált víz helyett 1%-os NaOH-oldatot adtam a hőkezelést megelőzően a nagyobb hatékonyság elérése érdekében.

1. táblázat

A vizsgálat során alkalmazott beállítások

Beállítások sorszáma(1)	Víz:Toll arány(2)	NaOH-oldat (1%): Toll arány(3)	Homogenizálás ideje (másodperc)(4)	Hőmérséklet (C)(5)
1.1.1.	2:1	0	0	70
1.1.2.	2:1	0	0	130
1.1.3.	2:1	0	0	160
1.2.1.	2:1	0	40	70
1.2.2.	2:1	0	40	130
1.2.3.	2:1	0	40	160
1.3.1.	2:1	0	80	70
1.3.2.	2:1	0	80	130
1.3.3.	2:1	0	80	160
2.1.1.	0	2:1	0	70
2.1.2.	0	2:1	0	130
2.1.3.	0	2:1	0	160
2.2.1.	0	2:1	40	70
2.2.2.	0	2:1	40	130
2.2.3.	0	2:1	40	160
2.3.1.	0	2:1	80	70
2.3.2.	0	2:1	80	130
2.3.3.	0	2:1	80	160

Table 1: Treatments of the experiments

Treatments(1), Water:Feather ratios(2), NaOH-Solution(1%): Feather ratios(3), Time of the Homogenization (sec)(4), Temperature(5)

A tollat 0, 40 és 80 másodpercig aprítottam Kenwood gyártmányú speciális rozsdamentes acélból készült 1 liter térfogatú aprítógéppel. A baromfitoll termikus kezelésénél UltraClave High Performance Microwave Reaktort (max. 200 bar, 280 C) használtam, mely az easyClave 5 programban megadott beállítások (hőmérséklet, időtartam, nyomás, 50 < lehetséges kombináció) szerint végzi el a 3,5 literes reaktortérben az adott anyag hőkezelését. A hagyományos hőkezeléssel ellentétben a mikrohullámú hőkezelés esetében az anyag egyenletesen, belülről melegszik, jelentéktelen a hővesztesség, mivel nem a környezet, hanem az anyag melegszik teljes térfogatában (László et al., 2005).

A szárazanyag-tartalom vizsgálata az eredeti és végtermék esetében 105 C-on (MSZ 318-3:1979) Heraeus gyártmányú szárítószekrényben tömegállandóságig történt. A szervesanyag-tartalmat 650 C-on (MSZ 318-3:1979) Heraeus gyártmányú kemencében határoztuk meg. Az eredeti és a kezelt elegy pH-ját WTW gyártmányú 340i típusú pH mérővel (pontosság: +/-0,005) végeztük.

A végtermék oldatfázisának előkészítését Beckman gyártmányú, GS-6 típusú centrifugával 2900 rpm-en 20 percig végeztem, majd a folyékony fázis kipipettazása után az oldatban is megismételtem. A kapott oldatot öt-, szükség esetén

tízszerezésre hígítottam. A 0, 40 és 80 másodpercig homogenizált 160 °C-on hőkezelt mintákat 0,45 µm-es filteren (Syringe Filter Nylon) szűrtem át, míg az 1%-os NaOH-oldattal elegyített, 0, 40 és 80 másodpercig homogenizált, 130 és 160 °C-on hőkezelt tollminták esetében 12 µm-es filtert (Sartorius) és víz-vákuumszivattyút alkalmaztam, majd GS-15 típusú centrifugával 12500 rpm-en 30 percig centrifugáltam a mintákat.

A szén-tartalom meghatározása kétféle módszerrel történt. Az eredeti tollmintát a vizsgálat előtt szárítottuk, homogenizáltuk, majd C-N-S analízátorral (Elementar) elemeztük.

A végtermékben az oldatba beoldódott szén mennyiségét az oldat előkészítése (lásd fent) után KOI (1000-10000 mg l⁻¹) vízanalitikai vonalkóddal ellátott küvetta-tesztek segítségével, hőkezelés után (15 perc, 150 °C) (HT 2005) Hach-Lange gyártmányú VIS spektrofotométerrel (DR 2800) határoztam meg.

A teljes nitrogén-tartalom meghatározása az eredeti és a kezelt toll:víz elegy esetében is Kjeldahl-módszerrel történt, a szárított tollmintánál homogenizálás után, míg a végtermék hígfázisában a fent leírt előkezelési eljárást követően. Üvegcsőbe egy darab Kjeltab CT tablettát helyeztünk, majd belemértük a mintát Sartorius Talent, 0,001 bit felbontású analitikai mérleggel, hozzáadtunk 20 ml kénsavat (98%), majd Gerhardt gyártmányú Kjeldatherm KB 40S típusú roncsoló-blokkal 4,5 h-t hőkezeltük, mely 15M NaOH-ot használt. A TR vezérlőegységgel felszerelt roncsolón digitálisan állítható a roncsolási hőmérséklet, és 430 °C-ig 1% pontossággal dolgozik. A kezelt mintákból Kjeldahl-készülékkel (Gerhardt) határoztuk meg a teljes nitrogén-tartalmat.

Lineáris regresszió-analízissel vizsgáltuk az oldat teljes nitrogéntartalmának (N g l⁻¹), széntartalmának (C g l⁻¹) és pH-jának összefüggését az aprítási idővel (t sec.) és a hőmérséklettel (T °C) a desztillált vizes és a NaOH-os kezelésekből 5%-os szignifikancia szintekkel.

EREDMÉNYEK

A tollfehérjét, az ún. keratint több elem alkotja, a legfontosabb a szén, az oxigén, a nitrogén és kén (Ádám, 2001). Ezen paraméterek közül az eredeti baromfi tollban tömegállandóságra való szárítás és megfelelő homogenizálás után a szén- és a nitrogén-tartalmat analizáltuk (2. táblázat).

A kísérlet beállítása előtt mind a tollmintákban, mind a toll:desztillált víz elegyekben megmértük a száraz- és szervesanyag-tartalmat. Az eredeti baromfi tollban azért, hogy megtudjuk, a vágóhídról mekkora nedvesség-tartalommal kerül ki a toll:deszt.víz elegyekben a későbbi számítások érdekében. A vágóhídról a baromfi toll átlagosan 67,72%-os nedvesség-tartalommal került ki, míg az 1:2-es toll:deszt.víz elegy átlagosan 10,97%-os szárazanyag-tartalommal rendelkezett. A toll szervesanyag-tartalmának átlaga szárazanyag-tartalomra vonatkoztatva 66,2% volt. Az eredeti és

végtermék esetében vizsgáltuk az oldat kémhatását (1. ábra). A kezdeti átlagos pH desztillált víz esetében 7,2 volt, ami az előkezelés után minimálisan csökkent. 1%-os NaOH-oldat alkalmazásakor a kezdeti átlagos 7,8-as pH érték egy értékkel nőtt.

2. táblázat

Az eredeti baromfi tollban mért minőségi paraméterek

Paraméterek(1)	Szén-tartalom (%) (2)	Nitrogén-tartalom (%) (3)	C/N arány(4)
1.	50,59	14,31	3,54
2.	53,66	14,605	3,67
3.	50,58	14,81	3,42
4.	-	12,63	-
Átlag(5)	51,61	14,09	3,66
Szórás(6)	±1,78	±0,995	±0,13

Table 2: Quality parameters in the poultry feather

Parameters(1), Carbon-content (%) (2), Total-N-content (%) (3), C/N ratios(4), Mean(5), Deviation(6)

A végtermék oldat-fázisának kémiai oxigén-igényét vízanalitikai gyorstesztel, ill. fotométerrel határoztuk meg. Megállapítható, hogy a tollból az oldatba oldódott szén mennyisége (g KOI l⁻¹) desztillált víz, 0 mp aprítás alkalmazása esetén a 70 °C-on hőkezelt mintákhoz képest 130 °C-on kétszeresére, 160 °C-on kb. ötszörösére növekedett (2. ábra).

A maximális értéket az 1%-os NaOH-oldattal beállított 160 °C-on hőkezelt, nem aprított baromfi tollnál tapasztaltuk. A hőkezelés hatására tehát szignifikánsan nőtt az oldat szén-tartalma, míg a homogenizálás nem befolyásolta szignifikánsan.

A 3. ábra a végtermék oldatfázisába beoldódott nitrogén-mennyiségét szemlélteti.

Megállapítható, hogy a hőkezelés mértéke jelentősen befolyásolta az oldatba beoldódott nitrogén mennyiségét. Desztillált víz használata esetén a 70 °C-os, aprítás nélküli mintához képest 130 °C-on 1,5-szeres, 160 °C-nál 3,5-szeres, míg 1%-os NaOH-oldatnál 130 °C-os hőkezelést követően 4-szeres, 160 °C-osnál 5-szörös N-mennyiség növekedést eredményezett. A homogenizálás hatására ez az érték kis mértékben, fordított arányosban változott. Az oldatfázis N-tartalma aprítás nélküli, 160 °C-on hőkezelt, 1%-os NaOH-oldattal elegyített tollminta esetén volt maximális.

A baromfi tollból az oldatba beoldódott nitrogén mennyisége aprítás alkalmazása nélkül, vegyszerhasználat és 160 °C-os hőkezelés esetében érte el a maximális értéket. Desztillált víz esetében ez 40 mp-es homogenizálás és 160 °C alkalmazása mellett volt realizálható.

A végtermék átlagos C/N arányai desztillált víz esetén 6,9:1, NaOH-oldat alkalmazásánál 11,4:1 voltak. Az összefüggés-vizsgálatok során adalékanyagokként lineáris regresszió-analízissel vizsgáltuk az aprítás és a hőmérséklet eredménybefolyásoló hatását (3. táblázat).

A kapott korrelációs koefficiensek (R) és a hozzájuk tartozó szignifikancia-érték (Sig.) alapján megállapítottam, hogy az aprítás egyik adalékanyag esetében sem, míg a hőmérséklet mindhárom vizsgált tényezőt befolyásolta.

A biogáz-előállítás alapanyagainak fontosabb kritériumai: 50%<nedvesség-tartalom (Petis, 2004; Bai, 2007), 25%<szervesanyag-tartalom, 10-45:1 C/N arány (Karpenstein-Machen, 2005), semleges körüli pH [6,5-8,5 (Bánhegyi, 1993; Bagi, 2007), 7-7,6 (Kaltwasser, 1983)].

1. ábra: Az eredeti toll:víz elegy és a végtermék oldatfázisának kémhatása

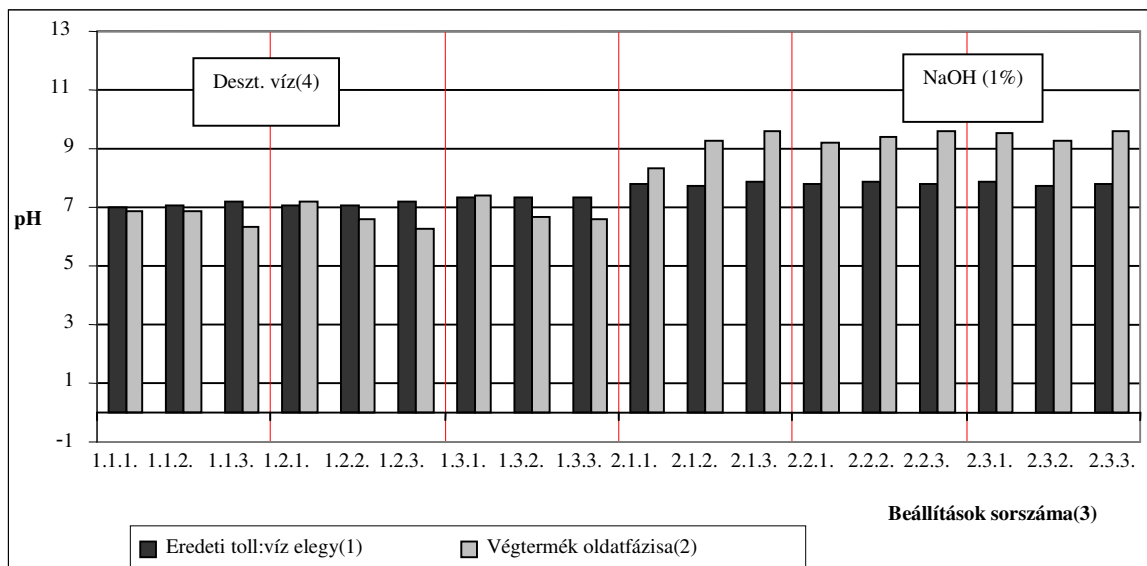


Figure 1: pH in the feather:water mixture and in the liquid-phase of the end-product
Feather:water mixture(1), The liquid-phase of the end-product(2), Treatments(3), Distilled water(4)

2. ábra: A kezeléseket után az oldatfázisban mért kémiai oxigénigény

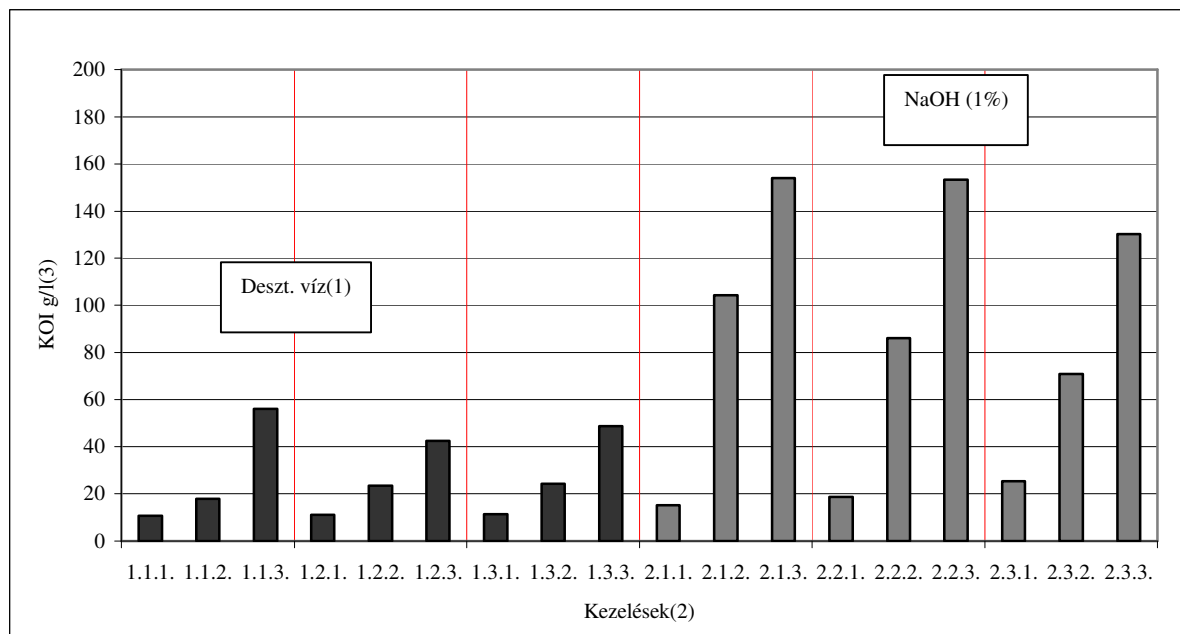


Figure 2: COD in the liquid-phase of the end-product
Distilled water(1), Treatments(2), COD, Chemical oxygen demand(3)

3. ábra: A kezelések után az oldatfázisban mért teljes nitrogén mennyisége

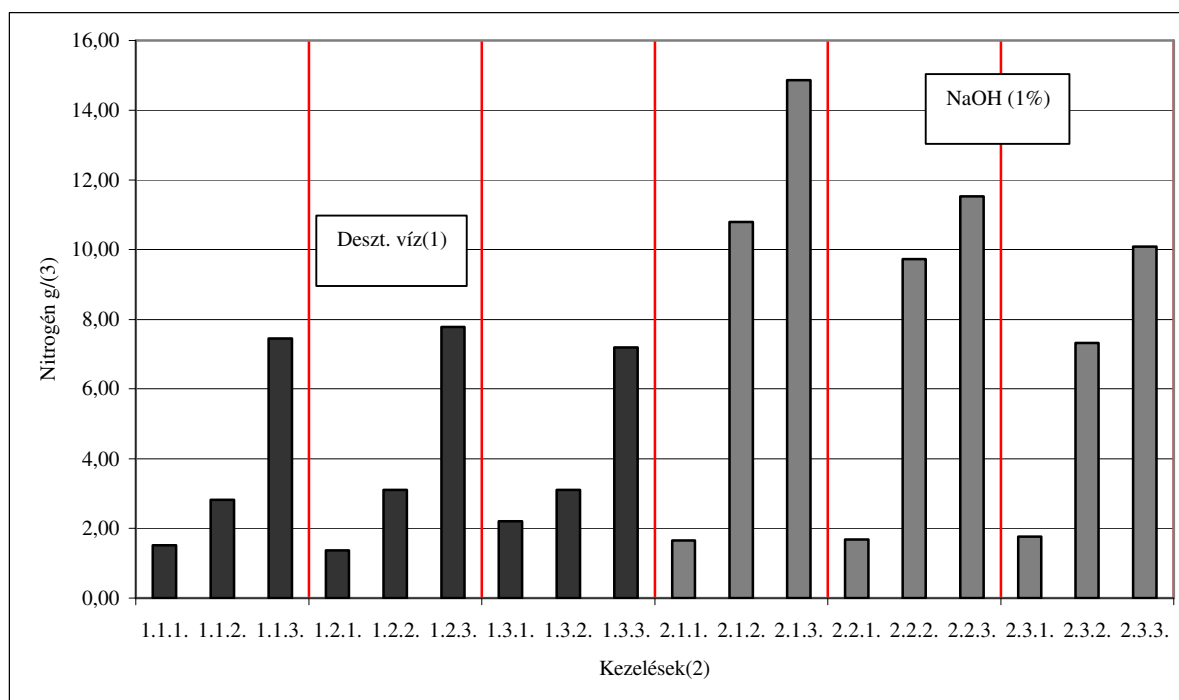


Figure 3: Total Nitrogen-content in the liquid-phase of the end-product
Distilled water(1), Treatments(2), Nitrogen(3)

3. táblázat

A homogénizálás és a hőmérséklet hatása a toll-bontás hatékonyságára

Homogénizálás(1)	Desztillált víz(2)				Hőmérséklet (°C)(3)	Desztillált víz(2)			
	R	R ²	F	Sig.		R	R ²	F	Sig.
N	0,0003	1*10 ⁻⁷	1*10 ⁻⁶ n	0,999	0,855	0,73	43,328 *	0	
	0,063	0,004	0,088 n	0,77	0,449	0,201	5,549 *	0,028	
	0,183	0,033	0,692 n	0,415	0,865	0,748	59,41 *	0	
C	1% NaOH				1% NaOH				
	R	R ²	F	Sig.	R	R ²	F	Sig.	
	0,238	0,057	0,964 n	0,341	0,949	0,902	146,475 *	0	
pH	0,151	0,023	0,374 n	0,549	0,946	0,895	136,148 *	0	
	0,388	0,151	2,843 n	0,111	0,67	0,449	13,02 *	0,002	

n=nem szignifikáns(4), *=P<0,05

Table 3: Determination of the efficiency of the homogenization and effects of the temperature as made as feather-treatments
Homogenization(1), Distilled water(2), Temperature(3), Not significant(4)

KÖVETKEZTETÉSEK

A baromfi toll feltárhatóságának mértékét többféle módszer alkalmazásával követtük nyomon. A vágóhídról a baromfi toll átlagosan 67,72%-os nedvességtartalommal került ki, míg az 1:2-es toll:deszt. vízzel beállított elegy átlagosan 10,97%-os szárazanyag-tartalommal rendelkezett. A száraz toll szervesanyag-tartalmának átlaga 66,2% volt. Ezen paraméterek lehetővé teszik a kezelt toll biogáz célú hasznosítását. A kezelt toll:víz elegy szűkítheti a többi alapanyag C/N arányát (deszt. víz esetén: ~7:1). Az eredeti toll pH értéke semleges, mely az előkezelés hatására, desztillált víz esetében

minimálisan csökkent, míg az 1%-os NaOH-oldat alkalmazásakor a kezdeti enyhén lúgos elegy kémhatása átlagosan egy értékkel nőtt (7,8 ->9,3). A tollból az oldatba oldódott szén mennyisége (g KOI l⁻¹) az 1%-os NaOH-oldattal beállított 160 °C hőkezelt, nem aprított baromfi tollnál volt maximális. Lúgos kémhatása és erős bázikus tulajdonsága miatt mégsem javasolható biogáz-előállítás alapanyagként, mert kedvezőtlenül befolyásolhatja a mikroorganizmusok élettevékenységét. A deszt. vízzel beállított kezelések közül a 160 °C-on hőkezelt baromfi toll feltáródása mind N-, mind C-tartalom tekintetében szignifikáns különbségeket mutatott. A kapott korrelációs koefficiensek (R) és a hozzájuk

tartozó szignifikancia-érték (Sig.) alapján megállapítottam, hogy a desztillált víz alkalmazása mellett a hőmérséklet erős összefüggést mutatott a N-tartalommal (R=0,920), közepes összefüggést a pH-val (R=0,670), és gyenge-közepes összefüggést a szén-tartalommal (R=0,449). NaOH-os kezelés mellett a hőmérséklet erős összefüggést adott a C- és N-tartalommal (R=0,95), valamint közepes összefüggést a pH-val.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Köszönetet mondok a Bécsi Agráregyetem, Környezetbiotechnológiai Intézet, Biogáz Projektsoport munkatársainak (IFA, Tulln), hogy lehetővé tették számomra kutatásom elvégzését, és

segítséget nyújtottak munkámban. A kutatás az MTA-FVM F fiatal Agrárkutatók Motivációs Ösztöndíj Program támogatásával valósult meg. Köszönetet szeretnék még mondani konzulenseimnek, dr. Bíró Tibornak (Károly Róbert Főiskola, Környezettudományi Intézet), prof. dr. Tamás Jánosnak (DE, AMTC MTK, Víz- és Környezetgazdálkodási Tanszék) és a tanszék munkatársainak, Víg Róbertnek, illetve prof. dr. Kovács L. Kornélnak és dr. Bagi Zoltánnak (SzTE TTIK, Biotechnológiai Tanszék) a kutatásban és az eredmények elemzése során nyújtott segítségükért. Az előzetes kutatások a Baross Gábor (2-2005-0047) és az Asbóth Oszkár Programok (OMFB 00873/2006) segítségével valósultak meg.

IRODALOM

- Ádám I. (2001): A toll. A baromfitoll és feldolgozása, Scriptor Bt., Budapest
- Bagi Z. (2007): A fermentáció paramétereinek biotechnológiai alapjai. A biogáz gyártás gyakorlati és műszaki kérdései. II. Szakmai Nap. Magyar Biogáz Egyesület, Budapest
- Bai A. (szerk.) (2007): A biogáz. Száz magyar falu könyvesháza Kht., Budapest, 13-15., 140-143., 284.
- Bálint, B.-Bagi, Z.-Tóth, A.-Rákhely, G.-Perei, K.-Kovács, K. L. (2005): Utilization of keratin-containing biowaste to produce biohydrogen. *Applied Microbiology and Biotechnol.* 69. 4: 404-410.
- Bánhegyi I. (1993): (In: Szabó I. 1999.) Biológiai hulladékkezelés. Hulladékgazdálkodás (szerk.: Árvai J.) Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 390-423.
- Bíró T.-Mézés L.-Petis M.-Kovács L. K.-Bagi Z.-Hunyadi G. (2008): A baromfi toll, mint biogáz alapanyag. (Szerk.: Kiss T.-Somogyvári M.) Via Futuri 2007. A biomassza alapú energiatermelés. BOKOM Kft., Pécs, 156-163.
- Bitton, G. (1994): Anaerobic digestion of wastewater and sludge. *Wastewater Microbiology.* Wiley-liss. New York. 229-245.
- Cohlberg, J. A. (1993): The structure of L-keratin. *Trends Biochem. Sci.* 18. 360-362.
- Elődi P. (1980): Biokémia. Akadémia Kiadó, Budapest, 72-128., 543-621.
- Hegedűs M.-Schmidt J.-Rafai P. (1998): Állati eredetű melléktermékek hasznosítása. Mezőgazda Kiadó, Budapest, 15-29., 65-93.
- Ichida, J. M.-Krizova, L.-LeFevre, C. A.-Keener, H. M.-Elwell, D. L.-Burt Jr., E. H. (2001): Bacterial inoculum enhances keratin degradation and biofilm formation in poultry compost. *Journal of Microbiological Methods.* 47. 199-208.
- Kaltwasser B. J. (1983): Biogáz előállítás és hasznosítás. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 46-51.
- Karpenstein-Machen, M. (2005): Energiepflanzenbau für Biogasanlagenbetreiber. DLG-Verlag. Frankfurt am Main
- Kovács L. K.-Bagi Z. (2007): A biogáz keletkezése. [In: Bai A. (szerk.) A biogáz.] Száz magyar falu könyvesháza Kht., Budapest, 37-48.
- László Zs.-Simon E.-Hodúr C.-Fenyvessy J. (2005): A mikrohullámú technika alkalmazásának újabb lehetőségei az élelmiszer- és környezetiparban. *Agrártudományi Közlemények* 18., DE, Debrecen, 29-34.
- Mézés, L.-Bíró, T.-Hunyadi, G.-Tamás, J.-Petis, M. (2009): The poultry feather digestibility and utilisation for biogas production. Kuntz, A. (ed.). I. International Symposium on Animal Waste Management. Florianópolis, Santa Catarina State, Brazil. CD. 218-223.
- 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.
- Öllös G. (1991): Csatornázás-szennyvíztisztítás I-II. Aqua Kiadó, Budapest, 697-740.
- Perei K.-Bagi Z.-Bálint B.-Csanádi Gy.-Hofner P.-Horváth L.-Kardos Gy.-Magony M.-Rákhely G.-Román Gy.-Tóth A.-Zsíros Sz.-Kovács L. K. (2004): Mikrobák környezetvédelmi biotechnológiai hasznosításra. [In: Székács A. (szerk.): Biokémia.] A Magyar Biokémiai Egyesület tájékoztatója. 28. 3. 54-58.
- Petis M. (2004): Szerves hulladékok újrahasznosítása. Agrárágazat, Biomassza
- Schulz H.-Eder B. (2005): Biogázgyártás. Cser Kiadó, Budapest, 96-103.
- Steinert, P. M. (1993): Structure, function, and dynamics of keratin intermediate filaments. *J. Invest. Dermatol.* 100. 729-734.
- Williams, C. M.-Lee, C. G.-Garlich, J. D.-Shih, J. C. H. (1991): Evaluation of a bacterial feather fermentation product, featherlysate as a feed protein. *Poultry Sci.*, 70. 85-94.
- Országos Hulladékgazdálkodási Terv (2007): A célok elérését szolgáló országos intézkedések és programok III. Programok a nem-veszélyes hulladékok területén. (www.agraroldal.hu/orzagos-intezkedesek-es-programok_cikk.html)