



Próteinríkt mjöl úr kjúklingafjöðrum í fiskeldisfóður

Ragnheiður Sveinþórsdóttir

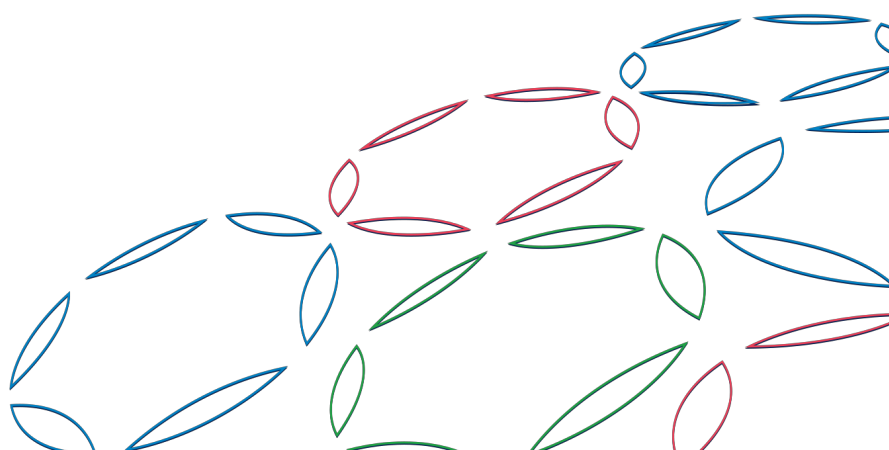
Margrét Geirsdóttir

Jón Árnason

Skýrsla Matís 7-19

Maí 2019

ISSN 1670-7192



Report summary

Titill / Title	Próteinríkt mjöl úr kjúklingafjöðrum í fiskeldisfóður		
Höfundar / Authors	Ragnheiður Sveinþórsdóttir, Margrét Geirsdóttir, Jón Árnason		
Skýrsla / Report no.	07-19	Útgáfudagur / Date:	31.05.2019
Verknr. / Project no.	62505		
Styrktaraðilar /Funding:	AVS Rannsóknasjóður í sjávarútvegi og Framleiðnisjóður Landbúnaðarins		
Ágrip á íslensku:	Til að nýta kjúklingafjaðrir í fjaðurmjöl eru próteinin rofin til að auka meltanleika mjölsins með hliðsjón af þörfum eldisdýra. Í þessu verkefni var unnið að þróun fjaðurmjöls með vatnsrofi. Efnainnihald fjaðurmjölsins var skoðað auk amínósýrusamsetningar og mjöl úr íslenskum kjúklingafjöðrum skoðað í samanburði við aðrar tilraunir þar sem fjaðurmjöl hefur verið greint. Fjaðurmjöl hefur 80% próteininnihald og er meltanleiki þess sambærilegur og því sem þekktist í fiskmjöli. Fjaðurmjöl hefur lengi verið notað í fóður í Norður og Suður Ameríku og hefur nú á seinustu árum verið að riðja sér til rúms sem ódýr próteingjafi fyrir eldisdýr í Evrópu.		
Lykilorð á íslensku:	Kjúklingafjaðrir, vinnsla, vatnsrof, prótein, keratín, amínósýrur		
Summary in English:	In order to utilize chicken feathers as feather meal nutritious for animal cultivation, proteins are degraded to make the feather meal digestible for farming animals. In this project feather meal from chicken feathers was hydrolysed to increase the digestibility. The chemical content of the feather meal was examined as well as amino acids composition. The Icelandic feather meal was also compared to results of researches conducted elsewhere on feather meal. Feather meal has an 80% protein content and its digestibility is comparable to fish meal. Feather meal has been used for a long time in feed in North and South America and has in recent years been pushing itself as a cheap protein source for farming animals in Europe.		
English keywords:			

Efnisyfirlit

Inngangur	2
Staða þekkingar	4
Eðlis- og efnaeiginleikar kjúklingafjaðra	4
Keratín	4
Amínósýrur	5
Vatnsrof kjúklingafjaðra	7
Tækjabúnaður	7
Aðrar aðferðir við vatnsrof kjúklingafjaðra	10
Nýting fjaðurmjöls	11
Framkvæmd	11
Tilraunir	11
Efnagreiningar	13
Niðurstöður og umræður	14
Vatnsrof próteins í kjúklingafjöðrum	14
Tilraunir	14
Efnamælingar	17
Amínósýrur	17
Nýting fjaðurmjöls	18
Lokaorð	20
Heimildir	21
Mynd 1. Láréttur þrýstisjóðari fyrir fjaðrir	8
Mynd 2. Lóðréttur þrýstisjóðari fyrir fjaðrir	9
Mynd 3. Ferskar fjaðrir	12
Mynd 4. Fjaðrir eftir þrýstisuðu	13
Mynd 5. Blautar ómeðhöndlaðar kjúklingafjaðrir	15
Mynd 6. Þurrkaðar fjaðrir	15
Mynd 7. Þrýstisoðnar og þurrkaðar fjaðrir	16
Mynd 8. Fjaðurmjöl úr þrýstisoðnum fjöðrum	16
Tafla 1. Amínósýrusamsetning kjúklingafjaðra	6
Tafla 3. Efnasamsetning þurrkaðar fjaðra	17
Tafla 5. TCA leysanleg prótein	17
Tafla 5. Amínósýrusamsetning kjúklingafjaðra	17
Tafla 6. Meltanleiki mjöls	19
Tafla 7. Samanburður á amínósýrum í síldarmjöli og fjaðurmjöli	19

Inngangur

Alifuglaræktun á Íslandi hefur tíðkast frá landnámi og er í dag þó nokkuð stór iðnaður. Förgun úrgangs er stórt vandamál, sem fylgir alifuglaræktun á heimsvísu. Á Íslandi hafa komið til afsetningaleiðir fyrir úrgang alifuglavinnslu fyrir utan förgun fjaðra sem þó má gera ráð fyrir að séu um 2000 tonn á ári (munnleg heimild, Sigurður Árni Geirsson).

Förgun kjúklingafjaðra án rétttrar stjórnunar, og meðferðar, leiðir til áhrifa í landslagi auk staðbundinna truflana vegna lyktar, flugna og nagdýra nálægt alifuglabúum auk mengunar vatnsbóla og niðurbrots jarðvegs (Gerber, Opio, Steinfeld, 2007). Fjöldurum er t.d. fargað með því að nota þær í landfyllingu, þær urðaðar eða brenndar. Þessar aðferðir hafa neikvæð áhrif; eins og mikinn rekstrarkostnað og orkunotkun sem leiðir til óæskilegra áhrifa á náttúruauðlindirnar okkar auk umhverfisáhrifa sem almenningur verður sífellt meðvitaðri um. Margar aðferðir verið þróaðar til að meðhöndla fjaðrir í þeim tilgangi að vernda umhverfið og nýta kosti fjaðranna, t.d. vegna prótein- amínósýruinnihalds þeirra sem hægt er að nýta í verðmætar afurðir.

Með því að nýta fjaðrir á hagkvæman hátt með endurvinnslu í verðmætar afurðir er til dæmis hægt að endurvinna fjaðrir í fóður. Fjaðrir innihalda mikið magn próteins, þ.e. keratín og einnig mikið magn amínósýra á borð við systeín, glýsín, argínín og fenýlalanín. Keratín er ekki meltanlegt á því formi sem finnst í fjöðrum en með rétttri meðhöndlun er hægt að brjóta keratínið nægilega niður, án þess að það verði seigt, en kemst á sama tíma í meltanlegt form. Mismunandi vinnsluaðferðir gefa af sér mismeltanlegar afurðir, næringargildi og amínósýrur (El Boushy, van der Poel, 2000). Hægt er að nota fjaðurmjöl í fóður fyrir svín, loðdýr, gæludýr og fiska, hins vegar mun fjaðurmjölið aldrei verða notað í fóður fyrir kjúklinga þar sem slíkt væri tengt kannibalisma (e. cannibalisma). Í fiskeldi byggist arðsemi að verulegu leiti á fóðurstærð. Fóðurfyrirtæki leita stöðugt eftir nýjum próteingjöfum sem henta vel í fóðurgerð fyrir fiskeldi og eru ódýrari en núverandi próteingjafar en draga að sama skapi ekki úr vexti eldisfiska, ein af ástæðunum er óstöðugt framboð á fiskimjöli og hátt verð þess.

Hægt er að nýta fjaðrir í áburð þar sem þær innihalda u.þ.b. 15% köfnunarefni og nýtað þ.a.l. vel sem áburður, þar sem æskileg er hæg losun köfnunarefnis út í andrúmsloftið, eins og t.d. í gróðurhúsum (Saber, *et al.* 2010).

Á Íslandi má ætla að um og yfir 2000 tonn af kjúklingafjöðrum sé urðaðar árlega en nauðsynlegt er að koma á nýtingu þessa hliðarhráefnis með tilliti til umhverfislegra sjónarmiða. Urðun úrgangs hefur í för með sér ýmsa mengunarhættu. Vegna niðurbrots úrgangsins getur hlotist mengunarhætta vegna sigvatns, hauggas og hitamyndunar. Sigvatn getur borist í grunnvatn og yfirborðsvatn, hauggas losnar í andrúmsloftið og urðun valdið gróðurskemmdum. Jarðvegur getur mengast og urðunarsvæðin orðið óhæf til landnotkunar í framtíðinni. Landsáætlun um meðhöndlun úrgangs gerir ráð fyrir að urðun á lífrænum úrgangi hafi minnkað niður í 35% af heildarmagni þann 1. júlí 2020. Með heildarmagni er í reglugerðinni átt við það magn lífbrjótanlegs úrgangs sem féll til og var urðað árið 1995. (Landsáætlun um meðhöndlun úrgangs 2013-2024, 2013)

Á heimsvísu hefur förgun á fjöðrum og öðrum hliðarafurðum alifuglavinnslu lengi verið stórt vandamál, þróun leiða til nýtingar hliðarafurða úr alifuglavinnslu á umhverfisvænan hátt hefur verið rannsökuð áratugum saman. Með tilkomu tækni til að breyta fjöðrum í meltanlegt prótein sem hægt er að nota í fóður og skerðir ekki vöxt eldisdýra hefur verið unnt að þróa tæki sem stuðla að nýtingu alls sem fellur til við vinnslu alifugla.

Í þessu verkefni var stefnan sett á niðurbrot próteina í kjúklingafjöðrum, þurrkun og mölun fjaðranna til að hægt væri að mæla næringargildi, amínósýrusamsetningu og meta meltanleika próteinmjöls, ætlað í fóður, úr íslenskum kjúklingafjöðrum. Einnig tók verkefnið á lausnum fyrir íslenska kjúklingaframleiðendur um afsetningaleið fyrir mest mengandi þátt kjúklingavinnslu á Íslandi í dag.

Staða þekkingar

Eðlis- og efnaeiginleikar kjúklingafjaðra

Kjúklingafjaðrir eru 10% af heildarþyngd kjúklinga og innihalda um það bil 91% prótein (keratín), 1% fituefni og 8% vatn (Thyagarajan *et al.* 2013). Samkvæmt rannsóknum Débora (2013), eru kjúklingafjaðrir holar innan, sívalingslaga byggðar úr kristöllum sem eru örsmáir. Þær eru sveigjanlegar og þéttleiki fjaðranna getur verið um 0,8 g / cm³. Að auki verka aminosýrur í keratíninu saman með vetnis- og dísúlfíð (-S-S-) samgildum bindiefnum sem gefa fjöðrunum viðnám og ógegndræpi í vatni, einnig eru þær óleysanlegar í lífrænum leysum. Lípíð, geta gefið keratíninu lága leysni í vatni og eru einangrandi. Kjúklingafjaðrir eru ódýrt hráefni sem fæst í töluverðu magni sem endurnýjanleg uppspretta próteintrefja á meðan kjúklingaframleiðsla er við líði (Reddy and Yang, 2007).

Keratín

Keratín er byggt upp sem óleysanlegt, margvafið (e.supercoiled) prótein sem er ónæmt og brotnar illa niður með algengum ensímum eins og pepsíni, trypsíni og papíni (Brandelli, 2008). Ástæðan er að keratín hefur þetta, stöðuga sameindauppbýggingu sem tengist með tvísúlfíð brúm eða vetnistengjum (Brandelli, 2008). Keratín samanstendur af langþéttum fjölpeptíðkeðjum með mólþunga sem er um það bil 10 kDa. (Schmidt and Barone, 2004; Coward-Kelly *et al.*, 2006). Til eru tveir hópar keratíns; α-keratín og β-keratín (Voet and Voet, 1995). α-keratín finnst helst í vefjum spendýra og þá í klóm, hornum, hári og nöglum. Þessi keratín eru þökkuð í α-helix stillingu í fjölpeptíði. Hins vegar er uppbygging β-keratíns með β-plötum, þessi keratín eru helstu hlutar af hami fugla, þ.e. fjaðrir og goggur. (Meyers, *et al.* 2008). β-keratín hefur meiri stífni miðað við α-keratín vegna hærra cystín innihalds (Voet and Voet, 1995; Saravanan, 2012).

Amínósýrur

Amínósýrur eru byggingarefni próteina og afleiður þeirra. Prótein inniheldur um 20 gerðir amínósýra. Amínósýrur úr próteinum í fæðu eru byggingarefni nýmyndaðra próteina í líkamanum og tryggja mikilvæga lífeðlisfræðilega starfsemi. Nýmyndun á lífsnauðsynlegum próteinum stöðvast þegar skortur er á lífsnauðsynlegum amínósýrum eru í fæðunni. Við slíkar aðstæður geta eldisdýr að hluta nýtt eigin prótein til nýmyndunar. Líkaminn er ekki fær um að nýmynda lífsnauðsynlegar amínósýrur og því verður fóður eldisdýra að innihalda þær í nægjanlegu magni.

Amínósýrusamsetning kjúklingafjaðra er sýnd í töflu 1. Magn amínósýra í fjöðrum fer eftir tegund, fæðu og umhverfi (Hernández, *et al.* 2005). Fisher, *et al.* (1980) fundu út að metiónín, þreónín, ísólefsín og valín í fjöðrum breytist með aldri fuglanna, eftir því eldri sem fuglarnir verða minnkar metiónín en þreónín, ísólefsín og valín eykst. Fjaðrir hafa alla jafna hátt systein auk hás styrks af seríni, prólíni og súrum amínósýrum, hins vegar skortir á nokkrar lífsnauðsynlegar amínósýrur eins og metiónín, lýsín og histidín (Forgács, 2012).

Keratín samanstendur af vatnssæknum og vatnsfælum amínósýrum, en 41% eru vatnssækin (Chinta, Landage, Yadav. 2013). Kjúklingafjaðrir innihalda mest af amínósýrunni seríni. Serín samanstendur af -OH hópi sem hjálpar fjöðrunum að draga raka úr loftinu. Kjúklingafjaðrir samstanda af trefjum og kjarna en svipað rakainnihald er í báðum þessum hlutum, eða um 6% (Saravanan, 2012). Fjaðrirnar innihalda einnig mikið af systín sem hefur -SH hópa sem leiða til myndunar tvísúlfíðtengja. Hátt hlutfall systín gerir keratín fjaðranna stöðugt með því að byggja upp net nálægðra fjölpeptíða með tvísúlfíð krossbindingu (Saravanan, 2012).

Í töflu 1 sést að breytileiki er í amínósýru samsetningu fjaðurmjöls eftir heimildum. Samsetning íslensku kjúklingafjaðranna sem voru greindar er í þokkalegu samræmi við heimildirnar sem eru til samanburðar. Íslenska fjaðurmjölið hefur örlítið meira magn histidíns og lýsíns en erlendu heimildirnar sýna, það er jákvætt þar sem þetta eru þær amínósýrur sem þarf að bæta fjaðurmjöl með öðrum dýrapróteinum til að amínósýru samsetning fjaðurmjölsins jafnist á við fiskimjöl.

Tafla 1. Amínósýrusamsetning kjúklingafjaðra

		(Gupta et al., 2011)	(Saravanan, 2012)	(Forgacs, 2012)	Íslenskar kjúklingafjaðrir	
Lífsnauðsynlegar amínósýrur	Histidín	0,02	-	0,23	0,682	g/100g
	Ísólefsín	4,93	3,32	3,94	4,24	g/100g
	Lefsín	7,48	2,62	5,69	7,49	g/100g
	Lýsín	0,57	-	1,54	2,01	g/100g
	Metíónín	0,03	1,02	0,71	0,522	g/100g
	Fenýlalanín	4,11	0,86	3,46	4,42	g/100g
	Preónín	4,11	4,00	3,45	4,48	g/100g
	Trýptófan (heildar)	-	-	-	0,667	
	Valín	7,24	1,61	5,30	6,82	g/100g
Aðrar amínósýrur	Alanín	3,66	3,44	2,88	3,95	g/100g
	Argínín	6,57	4,30	6,76	6,29	g/100g
	Asparagín	-	4,00	-	-	g/100g
	Asparssýra	4,76	6,00	4,18	6,3	g/100g
	Systín	2,11	8,85	-	-	g/100g
	Systeín	-	-	6,58	-	g/100g
	Systín + Systeín				5,09	g/100g
	Hýdróxyprólín	-	-	-	< 0,05 (LOQ)	g/100g
	Glútamín	-	7,62	-	-	g/100g
	Glútamínsýra	9,18	-	8,22	9,97	g/100g
	Glýsín	7,57	-	5,18	7,39	g/100g
	Ornþín	-	-	-	0,357	g/100g
	Prólín	1,01	12,00	7,39	9,16	g/100g
	Serín	13,57	16,00	8,73	10,8	g/100g
	Týrósín	1,85	1,00	-	2,59	g/100g

Taflan sýnir amínósýrusamsetningu íslenskra kjúklingafjaðra í samanburði við erlendar rannsóknir á amínósýrum í fjaðurmjöli.

Vatnsrof kjúklingafjaðra

Aukaafurðir með hátt keratíninnihald (t.d. fjaðrir) eru næringarsnauðar í sinni upprunalegu mynd en með réttri meðhöndlun er hægt að gera próteinin meltanleg svo að þau verði hæf í dýrafóður (Morris, 1972). Það er þekkt erlendis að endurvinnna kjúklingafjaðrir í próteinmjöl með ýmsum aðferðum.

Vinnslu kjúklingafjaðra í próteinríkt mjöl með vatnsrofi er hægt að skipta upp í tvo hluta, annars vegar hitameðferð og hins vegar vélræna meðhöndlun. Hin vélræna meðhöndlun felur í sér þurrkun, söxun og mölun á fjöðrunum til að smækka stærð afurðarinnar, þ.e. breyta fjöðrunum í mjöl. Að minnka stærð fjaðranna fyrir hitameðhöndlun getur bætt vatnsrof próteinanna í fjöðrunum á síðari stigum (Nasir and Tinia, 2015) en getur þó vel komið til að lokinni hitameðhöndlun (El Boushy, van der Poel. 2000). Mölun að lokinni hitameðhöndlun er mun algengari vinnsluaðferð í dag. Hiti, þrýstingur og tími skipta öllu máli þegar próteinmjöl er unnið úr kjúklingafjöðrum. Notaðar eru ferskar fjaðrir og þær þvegnar áður en þær eru nýttar áfram. Fjaðrirnar eru soðnar undir þrýstingi upp á 2,7 - 4,1 bör í 30-60 mínútur. Eftir það eru fjaðrirnar þurrkaðar og malaðar til að hægt sé að nýta þær sem próteinmjöl í fóður. Ef fjaðrirnar eru soðnar undir hærri þrýstingi er hætt á að mjölið verði „seigt“ (El Boushy, van der Poel. 2000).

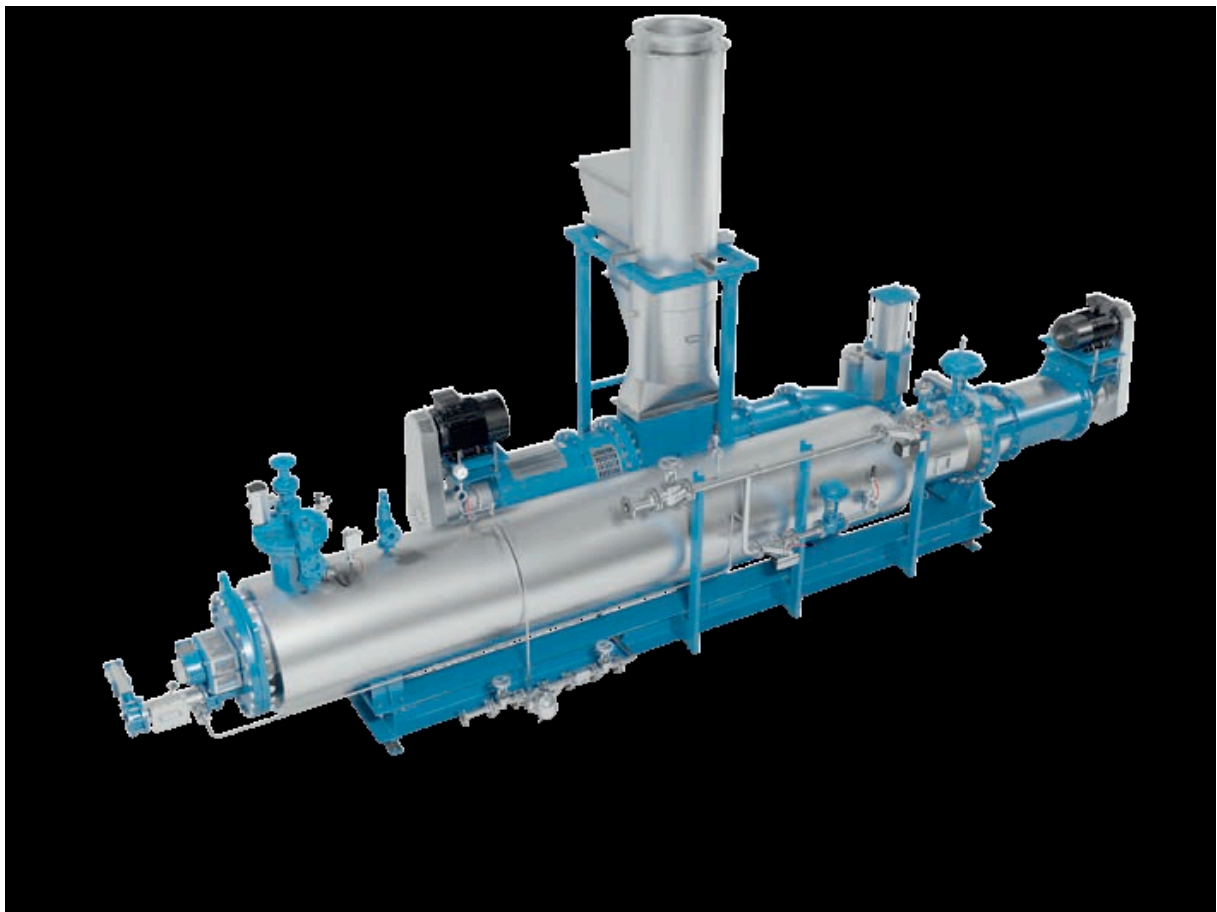
Hitameðhöndlun fjaðra, t.d. með þrýstisjóðara (autoclave), suðu undir þrýstingi og gufuhitun breytir uppbyggingu próteinanna í fjöðrunum með því að rjúfa tengin. Leysanleiki fjaðranna eykst og eykur með því árangur vatnsrofsins (Hii, *et al.* 2014).

Tækjabúnaður

Í Norður- og Suður-Ameríku hefur fjaðurmjöl verið notað í laxeldi árum saman og hefur sú notkun farið vaxandi þar seinustu ár. Með auknum rannsóknum hefur verið margsannað að hægt er að gera fjaðurmjöl meltanlegt og að notkun fjaðurmjöls í fiskeldi hafi ekki áhrif á bragðgæði afurðarinnar. Nú hefur vaxandi áhugi í Evrópu á notkun fjaðurmjöls sýnt sig; bæði með auknum rannsóknum í Evrópu og framleiðslu á tækjabúnaði sem hentar í þesskonar vinnslu. Með meltanlegu fjaðurmjöli í fóðurgerð fyrir fiskeldi er raunhæfur möguleiki á aukinni

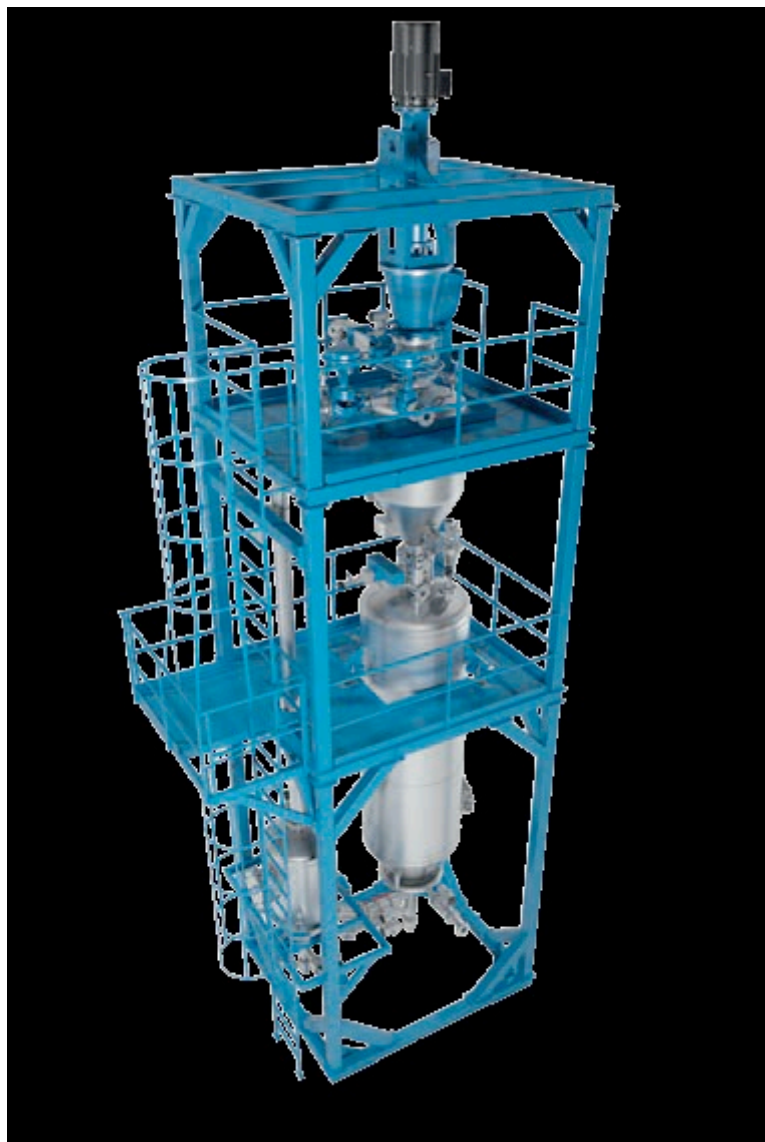
hagkvæmni í greininni án þess að missa niður vöxt og afköst þar sem fóðurkostnaður er 30-60% af breytilegum kostnaði í fiskeldi.

Nýlega hafa fyrirtæki sem sérhæfa sig í tæknilausnum fyrir matvælaframleiðendur í Evrópu séð hag sinn í því að bjóða viðskiptavinum sínum upp á lausnir til framleiðslu á fjaðurmjöli. Bæði er hægt að fá lárétta og lóðrétta þrýstisjóðara fyrir fjaðrir sem hægt er að tengja beint við þurrkara og framleiða fjaðurmjöl úr þeim aukaafurðum sem síst eru nýttar (Mynd 1 og mynd 2).



Mynd 1. Láréttur þrýstisjóðari fyrir fjaðrir

(Haarslev Industries A/S. Product brochure Haarslev 3.0.)



Mynd 2. Lóðréttur þrýstisjóðari fyrir fjaðrir

(Haarslev Industries A/S. Product brochure Haarslev 3.0.)

Aðrar aðferðir við vatnsrof kjúklingafjaðra

Hægt að nota efnameðferð til að vinna kjúklingafjaðrir í próteinríkt mjöl. Þá er notuð sterk sýra eða basi til að kljúfa tvísúlfíðtengin og þar með draga úr óleysanlegu keratíni. Roð með sterkri sýru eða basa er ekki besta aðferðin til að framleiða fjaðurmjöl. Fræðilega þá ætti sterk sýra að ráðast á og brjóta öll peptíðtengi niður í stuttar keðjur peptíða og aínósýra, einn af kostum rofs með sýru fremur en basa er að sýran skemmir ekki sjónvirkni (e. optical activity) aínósýranna. Hins vegar skemmir roð með sýru aínósýrurnar trýptófan og að hluta til systín, serín og þreonín, einnig verða breytingar á asparagíni og glútamíni. (Wei, *et al.* 2012).

Í tilraunum þar sem roð keratíns var reynt með niðurbroti um $85,9 \pm 0,5\%$ próteina, var notað 0,6% KOH á 24 klst við 70°C. Framleiðslan var $326,9 \pm 45,4 \text{ mgL}^{-1}$ af fríum aínó sýrum, u.þ.b. 12,8% af þeim voru lífsnauðsynlegar aínósýrur (Stiborova, *et al.* 2016). Í tilraun Kim, W. K., Lorenz, E. S. and Patterson, P. H. (2002) varð $78,83 \pm 1,85\%$ niðurbrot með 50 mL af 1.0 M NaOH á 24 klst við 37 °C. Basi var áhrifamikill í rofi fjaðranna en hvarfefnið gat dregið úr gæðum próteinsins og þ.a.l. var fjaðurmjölið rýrara að gæðum. Með löngum vinnslutíma og háum styrk basa minnkaði meltanleiki mjölsins auk aínósýranna í mjölinu.

Oxandi efni eins og bróm, permanganat og vetnisoxíð hafa einnig verið notuð við að rjúfa tvísúlfíðtengin til að hægt væri að draga próteinin út en verkunin var mjög hæg (Forgacs, 2012). Hins vegar virkuðu afoxunarmiðlar eins og natríumsúlfíðlausn, kalíumsýaníð og tíklykólat mjög fljótt og brutu niður keratínið eingöngu með basískum viðbrögðum (Gupta, *et al.* 2011). Notað var natríumsúlfíð, kalíumsýaníð og þióglýkólsýra til að rjúfa kjúklingsfjaðrir við 30 °C og pH 10-13 í sex klukkustundir og fengust u.þ.b. 53%, 29,6% og 8,8% af heildarmagni leysanlegs próteins í sömu röð. Hins vegar geta þessi efni sem notuð voru, svo sem súlfítum, þíóli, 1,4-díþíothreitóli (DTT) eða peroxíð, verið skaðleg og oft eitruð svo erfitt er að meðhöndla þau.

Nýting fjaðurmjöls

Í tilraun sem gerð var á sjóbassa (*Sparus aurata*) þar sem fiskimjöli var skipt út í fóðri fyrir fjaðurmjöl kom í ljós að hægt var að skipta hágæða fiskimjöli (LT, 67% prótein) út fyrir 30% fjaðurmjöl í eldisfóðri án þess að það hefði áhrif á vöxt. Tilraunin sem um ræðir var gerð í þrítekningu, notað var fóður sem innihélt 50% fiskimjöl til grundvallar. (Reed Business Information. 2017).

Einnig hafa verið gerðar tilraunir á fóðrun regnbogasilungs (*Oncorhynchus mykiss*) með fjaðurmjöli, þar var einnig horft til amínósýruinnihalds fjaðurmjöls, þar var 17% fjaðurmjöli blandað með 16% mjöli úr öðrum aukaafurðum í alifuglarækt og amínósýrur í fóðrinu voru sambærilegar. Þessi mjölblanda kom mjög vel út og var næringarrík, hún hafði ekki áhrif á vöxt fiskanna eða næringarefnainntöku. Niðurstöðurnar sýna að fjaðurmjöl getur komið í stað fiskimjöls í fóðri fyrir regnbogasilung (Reed Business Information. 2017).

Framkvæmd

Framkvæmd verkefnisins fólst í að þróa próteinmjöl úr kjúklingafjöðrum og mæla efnainnihald þess ásamt amínósýrum og meta meltanleika mjölsins. Einnig að skoða hvaða nýtingarleiðir væru ákjósanlegar fyrir íslenska kjúklingaframleiðslu.

Tilraunir

Notaður var búnaður í eigu Matís og gerðar nokkrar tilraunir í þeirri viðleitni að ná markmiðum verkefnisins, þ.e. að búa til meltanlegt mjöl sem hæft væri í fóður fyrir eldisdýr.

Notaður var 110 ltr. suðupottur með þrýstingsmæli, sjóða átti fjaðrirnar við 2,7 bör í 60 mínútur og 4 bör í 30 mínútur (mynd 4).

Einnig var notaður Astell scientific þrýstisjóðari (e. autoclave), model number ASB 200, 278 ltr. og fjaðrirnar settar í 10 lítra járnlát með loki. Fjaðrirnar soðnar við 3 bör þrýsting í 60 mínútur.

Fjaðrirnar voru frostþurrkaðar í ALPHA 2-4 LSC plus, framleiðandi Christ, frostþurrkara áður en þær voru malaðar.

Gerðar voru tilraunir til að mala fjaðrirnar, bæði nýjar ómeðhöndlaðar fjaðrir og þrýstisoðnar fjaðrir. Notuð var SPEX 6700 Sample Prep Freezer Mill sem frystir hráefnið með fljótandi nítrógeni og malar það með segulmögnum höggbúnaði. Einnig voru fjaðrirnar malaðar með einfaldri steinamyllu þar sem hægt er að stjórna hve smáar agnir mjölsins verða.



Mynd 3. Ferskar fjaðrir



Mynd 4. Fjaðrir eftir þrýstisúðu

Efnagreiningar

Efnamælingar voru framkvæmdar á fjaðurmjölinu. Próteininnihald fjaðurmjölsins var mælt skv. aðferð (AE 3) ISO 5983-2 (2005); vatnsinnihald var ákvarðað skv. ISO 6496:1999; fita var mæld með (Soxhlet) (AE 1) AOCS Ba 3-38 (2017) og magn ösku var mælt skv. (AE 5) ISO 5984 (2002).

Trichloroacetic acid (TCA) leysanlegt prótein var mælt skv. Kjeldahl method (Ironsides and Love (1958); Love *et al.* (1974)).

Mælt var magn amínósýra í meðhöndluðu fjaðurmjöli; þar sem trýptófan var mælt með EU 152/2009, LC-FLD en systein + systín og metiónín etiónínnetiónínvar mælt skv. EU 152/2009 (F), ISO 13903:2005, IC-UV. Aðrar amínósýrur voru mældar skv. EU 152/2009 (F), ISO 13903:2005, AMSUR, IC-UV.

Niðurstöður og umræður

Vatnsrof próteins í kjúklíngafjöðrum

Tilraunir

Suða undir þrýstingi var reynd í vinnslurými Matís. Ekki náðist að halda þrýstingi nógu lengi til að ná vatnsrofi fram í hráefninu.

Í þrýstisjóðara náðist að halda þrýstingi í 3 bör í klukkustund á hráefninu sem var í stóru járníláti með loki. Mæliniðurstöður fyrir TCA hefðu átt að sýna aukningu á TCA til marks um niðurbrot próteina, en munurinn fyrir og eftir þrýstisuðu var einungis 0,1% sem gefur til kynna að ekki hafi orðið niðurbrot á próteinum.

Fjaðrirnar voru frostþurrkaðar, bæði ómeðhöndlaðar fjaðrir og fjaðrir sem höfðu farið í gegnum þrýstisuðu. Eftir frostþurrkun voru meðhöndluðu fjaðrirnar stökkar viðkomu.

Ómeðhöndlaðar og meðhöndlaðar fjaðrir voru muldar (e.fine granulated). Bæði var prófuð frostmylla og steinamylla. Erfitt var að mylja ómeðhöndlaðar fjaðrir og tók það langan tíma til að fínt mjöl yrði afurð hráefnisins. Meðhöndlaðar fjaðrir molnuðu auðveldlega í fínt duft sem notað var í efna-, amínósýru- og TCA mælingar.

Á myndum 5 til 8 má sjá ferlið hvernig fjaðrirnar breyttust við meðhöndlun. Á mynd 5 eru kjúklíngafjaðrir sem koma beint úr vinnslunni, þær voru þvegnar áður en hluti af þeim var eingöngu þurrkaður fyrir mölun og annar hluti þeirra var soðinn í þrýstisjóðara fyrir þurrkun og mölun.

Á mynd 6 sést hvernig ómeðhöndlaðar fjaðrir eru þéttar og með sívalningslagan kjarna. Erfitt reynist að mala ómeðhöndlaðar fjaðrir vegna innri byggingar þeirra. Á mynd 7 eru fjaðrir sem hafa verið soðnar undir þrýstingi í þrýstisjóðara, þær fjaðrir eru dekkri að lit, með afgerandi lykt sem minnir á kjúklíngakraft, eru stökkar og auðvelt er að mala þær niður í fínt duft. Mynd 8 sýnir fjaðrirnar eftir mölun þar sem þær eru orðnar að fínu dufti eftir þrýstisuðu, þurrkun og mölun.



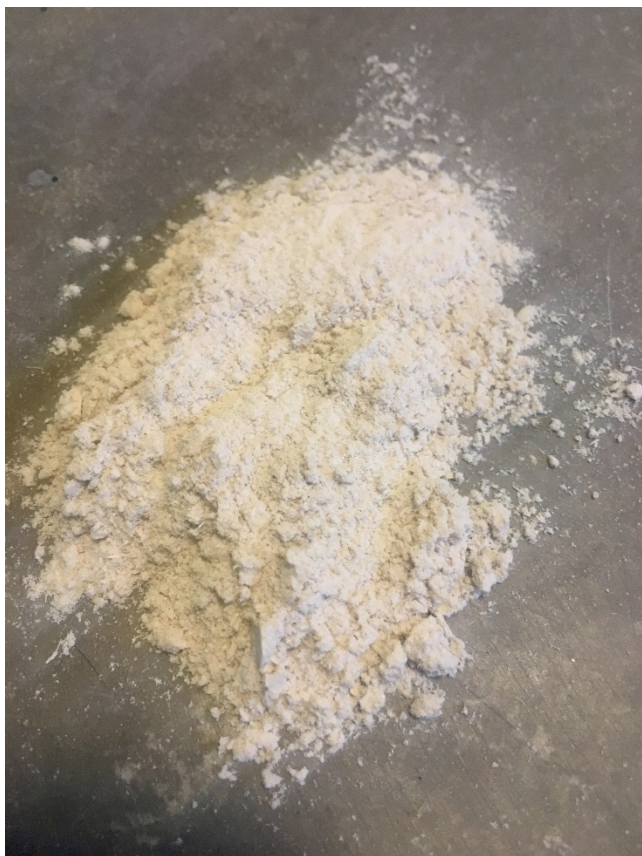
Mynd 5. Blautar ómeðhöndlaðar kjúklingafjaðrir



Mynd 6. Þurrkaðar fjaðrir



Mynd 7. Þrýstisoðnar og þurrkaðar fjaðrir



Mynd 8. Fjaðurmjöl úr þrýstisoðnum fjöðrum

Efnamælingar

Tafla 2. Efnasamsetning þurrkaðar fjaðra

	Þurrkaðar fjaðrir	Þrýstisoðnar fjaðrir
Vatn	5,0%	6,1%
Prótein	96,1%	90,6%
Fita	3,7%	2,8%
Aska	0,6%	1,1%

Skv. efnamælingum hafa íslenskar kjúklingafjaðrir yfir 90% próteininnihald og um 3% fitu (Tafla 3). Mjöl úr íslenskum kjúklingafjöðrum er þ.a.l. mjög próteinríkt en koma þarf próteinunum á meltanlegt form áður en fjaðurmjöl er nýtt í eldisfóður.

Tafla 3. TCA leysanleg prótein

Ómeðhöndlaðar kjúklingafjaðrir	0,1%
Meðhöndlaðar kjúklingafjaðrir	0,2%

Mæliniðurstöður TCA sýna að ekki varð vatnsrof í próteini fjaðranna við þrýstisúðu.

Amínósýrur

Í töflu 5 eru, til samanburðar, sýnd gildi amínósýra sem gefin eru upp í tveimur upplýsingaveitum, þ.e. NRC 2011 og AminoDat® 5.0 2016 gefið út af Evonik Nutrition.

Tafla 4. Amínósýrusamsetning kjúklingafjaðra

	Amino Dat	NRC 2011	Sýni ísl.fjaðrir
AA	% in ingr.	% in ingr.	% in ingr.
Lys	2,19	1,81	2,01

Met	0,54	0,5	0,522
Cys	3,74	3,84	5,09
M+C	4,28	4,34	5,612
Thr	3,74	3,85	4,48
Trp	0,64	0,55	0,667
Arg	5,5	5,8	6,29
Ile	3,8	4,15	4,24
Leu	6,9	6,94	7,49
Val	6,08	4,55	6,82
His	1,04	0,7	0,682
Phe	4,09	4,12	4,42
Tyr		2	2,59
Gly	6,2		7,39
Ser	8,49		10,8
Pro	8,02		9,16
Ala	4,03		3,95
Asp	5,75		6,3
Glu	8,62		9,97
Orn			0,357

Eins og sést í Töflu 2 er þónokkur breytileiki í amínósýru samsetningu fjaðurmjöls eftir heimildum. Í stórum dráttum má segja að samsetning sýnisins sem greint var er í þokkalegu samræmi við það sem finna má í heimildum um amínósýrusamsetningu fjaðurmjöls.

Nýting fjaðurmjöls

Samkvæmt heimildum hefur fjaðurmjöl sambærilegan meltanleika á við fiskimjöl (Tafla 6). Meltanleiki mjölsins var metinn með pepsín meltanleika aðferðinni (e.pepsin digestibility method). Notuð er 0,2% pepsín lausn til að mæla meltanleikann (Chandler, Neville. 2013).

Fjaðurmjöl er einnig ríkt af hrápróteini og amínósýrusamsetningin er nokkuð sambærileg miðað við það sem finnst í fiskimjöli (síldarmjöli), þar sem nokkrar mikilvægar amínósýrur finnast jafnvel í meiri mæli í fjaðurmjölinu. Fjaðurmjöl skortir þó metiónín, lýsín og histidín, en systeín getur að hluta til komið í stað metióníns. Hægt er að koma á jafnvægi fyrir lýsín og histidín með því að nota aðrar gerðir af unnum dýrapróteinum með fjaðurmjölinu (Tafla 7) (Chandler, Neville. 2013).

Tafla 5. Meltanleiki mjöls

Prótein	Hráprótein [%]	meltanleiki %
Fjaðurmjöl	80,4	60,3
Fiskimjöl	65,0	59,8
Kjöt- og beinamjöl	50,2	43,2
Sojamjöl	45,3	40,8
Repjumjöl	35,9	30,1
Sólblómamjöl	30,1	25,6

(Chandler, Neville. 2013)

Tafla 6. Samanburður á aminosýrum í síldarmjöli og fjaðurmjöli

Amínósýrur	síldarmjöl	fjaðurmjöl
Histidín	2,4	0,682
Ísólefsín	4,5	4,24
Lefsín	7,5	7,49
Lýsín	7,7	2,01
Metíónín	2,9	0,522
Fenýlalanín	3,9	4,42
Þreónín	4,3	4,48
Trýptófan (heildar)	1,2	0,667
Valín	5,4	6,82
Alanín	6,3	3,95
Argínín	5,8	6,29
Asparagín		-
Asparssýra	9,1	6,3
Systín	1	-
Systeín		-
Systín + Systeín		5,09
Hýdróxýprolín		< 0,05 (LOQ)
Glútamín		-
Glútamínsýra	12,8	9,97
Glýsín	6	7,39
Ornipín		0,357
Prólín	4,2	9,16
Serín	3,8	10,8
Týrósin	3,1	2,59

(Windsor, M. L., 2001)

Lokaorð

Þegar fjaðrir eru nýttar í eldisfóður þarf að búa til úr þeim próteinmjöl. Þá er mikilvægt að rjúfa próteinin sem fjaðrirnar innihalda til að gera þau meltanleg. Sú aðferð sem hefur rutt sér hvað mest til rúms er vatnsrof með suðu undir þrýstingi, þurrkun og mölun.

Hægt er að nota fjaðurmjöl í fóður fyrir svín, loðdýr, gæludýr og fiska. Kosturinn við að nýta fjaðurmjöl í fóður fyrir fiskeldi er að rannsóknir hafa sýnt að hægt er að skipta allt að 30% af fiskimjöli út fyrir fjaðurmjöl án þess að það hafi áhrif á vöxt eldisfisks. Ekki þarf að greiða fyrir innflutning á hráefninu, þá er það ódýrt og ekki þarf að veiða eða rækta frumhráefnið heldur er það vannýtt hliðarafurð í vinnslu á kjúklingi. Sem stendur er mikill uppgangur í fiskeldi hér á landi og hefur iðnaðurinn þörf fyrir próteinríkt fóður. Auk þess hefur nýting á kjúklingafjöðrum í eldisfóður jákvæð umhverfisleg áhrif þar sem hráefnið er í dag urðað með tilheyrandi sótsporum og kostnaði.

Fjaðurmjöl hefur um 80% próteininnihald og með vinnslu á fjöðrunum verður meltanleiki mjölsins um 60% sem er sambærilegt við fiskimjöl. Verulegur breytileiki getur hins vega verið á meltaleika fjaðramjöls á markaði, samkvæmt reynslu í Chile (Jón Árnason persónulegar upplýsingar). Amínósýrusamsetning fjaðurmjölsins er lík amínósýrusamsetningu fiskimjöls en þó þarf að bæta mjölið lítillega með tilliti til ákveðinna amínósýra.

Tækjaframleiðendur í Evrópu eru farnir að sjá hag sinn í að bjóða upp á tækjabúnað sem auðvelda fyrirtækjum að nýta sér nýjungar í afsetningaleiðum alifuglaframleiðslu m.t.t. verðmætasköpunar og umhverfislegra sjónarmiða.

AVS Rannsóknasjóður í sjávarútvegi og Framleiðnisjóður Landbúnaðarins fá þakkir fyrir stuðning við samþættingu innan lífhagkerfisins í anda stefnumótunar sem unnin hefur verið á vegum Atvinnuvega- og nýsköpunarráðuneytisins að undanfögnu, þar sem mikil áhersla er lögð á þekkingaryfirfærslu milli geira, sem og tækifæri sem fólgin eru í lífhagkerfinu. Verkefnið miðaði að nýtingu á ónýttri aukaafurð sem hingað til hefur verið fargað.

Heimildir

Brandelli, A. (2008). Bacterial keratinases: Useful enzymes for bioprocessing agro-industrial wastes and beyond. *Food Bioprocess Technology*. 1:105-116. DOI 10.1007/s11947-007-0025-y

Chandler, Neville J. (2013). Animal Feed Manufacturers Association. <https://en.engormix.com/dairy-cattle/articles/feather-meal-t33360.htm>. Sótt 21.feb.2019

Chinta, S.K., Landage, S.M., and Yadav, K. (2013). Application of chicken feathers in technical textiles. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology* 2(4): 1158-1165.

Débora, D.B., Rasiah, L., and Loilde, D.B. (2013). Characterisation of protein bio-fibre from chicken feathers in natural and carbonized forms. *British Journal of Engineering and Technology*, 1(7): 1-12.

El Boushy, A.R.Y., van der Poel, A.F.B. (2000). *Handbook of Poultry Feed from Waste, Processing and Use*. Springer-science+business media, pp. 92-126.

Fisher, M.R., Leesun, S., Morrison, W.D., and Summiers, J.D. (1980). Feather growth and feather composition of broiler chicken. *Canada Journal Animal Science*, 61:769-773.

Forgács, G. (2012). Biogas production from citrus wastes and chicken feather: Pretreatment and codigestion. University of Boras: School of Engineering.

Gerber P, OpioC, Steinfeld H. (2007). *Poultry production and the environment-a review*. FAO publishing.
Web.http://www.fao.org/ag/againfo/home/events/bangkok2007/docs/part2/2_2.pdf

Gupta, A., Perumal, R., Rosli, M.Y., and Nuruldiyanah, K. (2011). Extraction of keratin protein from chicken feather. *Engineering a better world*.

Haarslev Industries A/S. Product brochure Haarslev 3.0. Horizontal Hydrolyser. <https://www.haarslev.com/products/horizontal-hydrolyzer/> Sótt 5.3.2019.

Haarslev Industries A/S. Product brochure Haarslev 3.0. Vertical Hydrolyser. <https://www.haarslev.com/products/vertical-hydrolyzer/> Sótt 5.3.2019.

Hernández, A.L.M., Santos, C.V., Icaza-Herrera, M and Castaño, V. M. (2005). Microstructural characterisation of keratin fibres from chicken feathers. *International Journal of Environment and Pollution*, 23(2):162 – 178. DOI: 10.1504/IJEP.2005.006858

Hii, K., Baroutian, S., Parthasarathy, R., Gapes, D.J., and Eshtiaghi, N. (2014). A review of wet air oxidation and thermal hydrolysis technologies in sludge treatment. *Bioresources Technology*, 155:289-99. doi: 10.1016/j.biortech.2013.12.066.

Ironside, J.I.M., Love, R.M. (1958). Studies of proteindenaturation in frozen food. I. – Biological factors influencing the amount of soluble and insoluble protein present in the muscle of the North Sea cod. *Journal of Science of food and Agriculture*.

Kim, W. K., Lorenz, E. S. and Patterson, P. H. (2002). Effect of enzymatic and chemical treatments on feather solubility and digestibility. *Poultry Science*, 81:95–98.

Landsáætlun um meðhöndlun úrgangs 2013-2024. Úrgangsstjórnun til framtíðar (2013). Umhverfis- og auðlindaráðuneytið.

Love, R.M., Robertson, O., Smith, G.L., Witthle, K.J. (1974). The texture of cod muscle. *Journal of Texture studies*.

Meyers, M.D., Chen, P.Y., Lin, Y.M. and Seki, Y. (2008). Biological materials: Structure and mechanical properties. *Progress in Materials Science*, 53:1–206.

Mohammed AL-Bahri, Safa AL-Naimi, and Sundus, H.A. (2009). Study the effect of hydrolysis variables on the production of soya proteins hydrolysis. *Engineering Journal*.

Mokrejs, P., Svoboda, P., Hrnčíř, J., Janáková, D., and Vasek, V. (2010). Processing poultry feathers into keratin hydrolysate through alkaline-enzymatic hydrolysis. *Waste Management and Research*, 29, 260-267.

Mousavi, S., Salouti, M., Shapoury, R., and Heidari, Z. (2013). Optimization of keratinase production for feather degradation by *Bacillus subtilis*. *Journal of Microbiology*, 6(8): e7160, DOI: 10.5812/jjm.7160.

Nasir, I. and Tinia, M.G. (2015). Pretreatment of lignocellulosic biomass from animal manure as a means of enhancing biogas production. *Engineering in Life Sciences Journal*, 15(7):733-742.

Reddy, N. and Yang, Y.Q. (2007). Structure and properties of chicken feather barbs as natural protein fibers. *Journal of Polymers and the Environment*, 15: 81–87. doi: 10.1007/s10924-007-0054-7.

Reed Business Information, 2017. All about feed. <http://www.allaboutfeed.net/Feed-Additives/Articles/2015/11/Feather-meal-A-useful-addition-to-fish-feed-2711133W/> Sótt 7.febrúar 2017.

Saber, W.I.A., El-Metwally, M.M, and El-Hersh, M.S. (2010) Keratinase production and biodegradation of some keratinous waste by *Alternaria tenuissima* and *Aspergillus nidulans*. *Research Journal of Microbiology*, 5(1): 21-35.

Saravanan, K. (2012). Exploration of amino acid content and morphological structure in chicken feather fiber. *Journal of Textile and Apparel Technology Management*, 7(3):1-6.

Schmidt W.F., Barone J.R. (2004). New uses for chicken feathers keratin fiber. Poultry Waste Management Symposium Proceedings, pp. 99–101.

Stiborova, H., Branska, B., Vesela, T., Lovecka, P., Stranska, M., Hajslova, J., Jiru, M., Patakova, P., and Demnerova, K. (2016). Transformation of raw feather waste into digestible peptides and amino acids. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 91(6): 1629–1:637. DOI: 10.1002/jctb.4912.

Thyagarajan, D., Barathi, M., and Sakthivadivu, R. (2013). Scope of poultry waste utilization. *IOSR Journal of Agriculture and Veterinary Sciences*, 6(5):29-35.

Voet, D. and Voet, J. (1995). *Proteins: Three-dimensional structure*. Biochemistry. John Wiley and Sons. New York, pp. 132-134.

Wei, Z., Ruijin, Y., Yiqi, Z., and Li, W. (2012). Sustainable and practical utilization of feather keratin by an innovative physicochemical pretreatment: high density steam flash-explosion. *Green Chemistry*, 14, 3352–3360.

Windsor, M. L., (2001). *Fish meal*. Department of trade and industry, Torry research station.