

ANIMAL

Effects of alkali-treated dietary keratin on nutrient digestibility and egg production in Korean native chickens and commercial laying hens

Hyun Min Oh¹, Jung Min Heo¹, Hyung Suk Lee², Hyun Min Cho¹, Jun Seon Hong¹, Soo Kee Lee^{1*}

¹ Department of Animal Science and Biotechnology, Chungnam National University, Daejeon 34134, Korea

² Department of Companion Animal Science, Woosong College, Daejeon 34606, Korea

*Corresponding author: leesk@cun.ac.kr

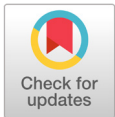
Abstract

Two experiments were conducted to investigate the effect of feeding a diet supplemented with swine hair protein (SHP) on the nutrient digestibility of Korean native chickens and their egg production as well as on egg quality. In experiment 1, twenty roosters of the Hanhyup-3 strain were assigned to an individual cage to give 10 replicates per treatment (i.e., 0 and 10% of SHP), and the nutrient digestibility in response to the SHP supplementation was measured. In experiment 2, fifty-four layers of the Hy-Line strain were assigned to an individual cage to give 27 replicates per treatment (i.e., 0 and 10% of SHP), and egg production and egg quality were measured. In experiment 1, no significant difference ($p > 0.05$) was found in the digestibility of crude protein, crude fat, nitrogen-free extract (NFE), and crude fiber in response to the diet supplemented with SHP. In experiment 2, although no significant difference ($p > 0.05$) was found with the dietary treatments, the 10% SHP supplemented diet decreased ($p < 0.05$) the feed intake of laying hens. However, the SHP supplemented diet did not affect ($p > 0.05$) the laying rate, egg weight and feed conversion ratio of those fed the diet. Eggshell thickness and yolk color decreased ($p < 0.05$); however, eggshell strength, eggshell color, albumen height and Haugh units increased ($p < 0.05$) by feeding layers a diet supplemented with SHP. In conclusion, the results suggest that 10% SHP supplemented in a poultry diet could be a useful protein source.

Keywords: egg production, egg quality, nutrient digestibility, swine hair protein

Introduction

가축 사료자원의 공급은 해를 거듭할수록 어려워지고 있으며, 특히 단백질 사료는 가격이 비싸며 이 문제에 대하여 큰 영향을 받고 있다. 그리하여 돈모, 뿔, 깃털 등의 케라틴 물질을 사료로 개발하기 위한 연구가 종종 진행되었지만 경제성 등 여러 요인으로 활발한 진척을 보이지는 못 하였으며, 이들 물질은 소각 등의 방법으로 폐기되어왔다(Kornegay and Thomas, 1973; Kornegay, 1978; Wang and Parsons, 1997; Mass et al., 1999). 그러나 최근에 대기, 토양, 수질 등 환경 오염



OPEN ACCESS

Citation: Oh HM, Heo JM, Lee HS, Cho HM, Hong JS, Lee SK. 2018. Effects of alkali-treated dietary keratin on nutrient digestibility and egg production in Korean native chickens and commercial laying hens. Korean Journal of Agricultural Science. <https://doi.org/10.7744/kjoas.20180046>

DOI: <https://doi.org/10.7744/kjoas.20180046>

Received: April 30, 2018

Revised: June 15, 2018

Accepted: July 26, 2018

Copyright: © 2018 Korean Journal of Agricultural Science



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

이 심각한 사회문제로 대두되면서 돈모, 우모 등 폐기성 유기질의 처리가 새로운 관심을 받게 되었다(Brandelli et al., 2015; Gachango et al., 2017).

케라틴은 피부 세포의 가장 바깥쪽을 형성하는 모발·양모·깃털·뿔·박굽 등의 주성분을 이루고 동물체를 보호하는 역할을 하는 구조단백질이다. 조직 중의 펩티드 사슬은 다수의 S-S 결합으로 이루어지고 비수용성이며, 프로테아제의 작용을 받기 어렵다(Windholz et al., 1983; Wang, 2016). 이 물질은 양돈 및 가금 등 축산부산물로부터 다량 얻을 수 있으며 80% 이상의 단백질이 함유되어 있기 때문에 활용가치가 아주 높다고 할 수 있다(KorniHowicz-Kowalska and Bohacz, 2011). 우모 케라틴의 활용에 대한 보고로서 Baker et al. (1981)은 우모를 고압증기에 처리하여 이용성 증진을 도모하였으며, Brugos et al. (1974)은 우모 keratin의 아미노산 조성과 이용률을 조사한 바 있고, Dale (1992)은 feather meal의 진정 대사에너지(TME) 함량을 측정하였다. 돈모에 대한 연구로는 Lee (1979)는 돈모분을 고압증기로 처리하여 사용하였는데 브로일러 및 대추에 각각 6% 및 9% 정도 활용 가능하다고 보고하였다. Hertrampf et al. (2000)은 돈모의 가수분해시 arginine, threonine 등 아미노산의 손상이 일어난다고 하였으며, Gradisar et al. (2000), Gachango et al. (2017), Łaba et al. (2017)은 돈모를 사료로 사용하기 위하여 케라틴의 미생물 분해를 시도한 바 있다. 그리고 Gousterova et al. (2005)은 양털의 알칼리 가수분해를 시도하여 아미노산 조성에 있어 미생물 분해시와 유사한 결과를 얻은 바 있다. 돈모는 도축수로부터 추정하면 국내에서 연간 14,400 MT 정도 생산되지만 대부분이 많은 처리비용을 부담하면서 폐기되고 있는 실정이다(KAPE, 2017). 그리고 단순 분쇄, 고압 처리 등 물리적으로 처리된 형태에서는 소화율이 30% 정도 밖에 되지 않으며(Hertrampf et al., 2000; Gonzalo et al., 2016) 미생물 분해 방법(Gachango et al., 2017; Łaba et al., 2017)도 많은 시간과 고비용으로 개선할 점이 많은 바, 돈모의 처리에 있어 아직 실용적인 방법의 개발은 미진한 상태로 생각된다. 본 연구에서는 닭 사료에 대한 돈모 추출 단백질의 활용 방법을 알아보기 위하여 돈모를 가정소다로 분해한 다음 산으로 중화하여 생산한 단백질을 사료에 첨가하였으며, 실험 1에서는 수탉에 대한 영양소 대사율을 측정하고, 실험 2에서는 산란 능력 및 계란의 품질에 미치는 영향을 조사하여 그 결과를 보고하는 바이다.

Materials and Methods

실험 1. 돈모 단백질 급여가 수탉의 영양소 이용성에 미치는 영향

돈모 추출 단백질

돈모 추출 단백질은 돈모를 0.01 N의 NaOH 용액에 녹여 1시간 동안 가온(autoclaving)한 후 황산으로 중화한 것을 사용하였으며 아미노산의 조성은 Table 1과 같다.

Table 1. Amino acid contents of alkali treated swine hair used in the experiment.

Ingredients	Concentration (DM, %)
Amino acids	
Arginine	5.81
Histidine	1.31
Isoleucine	3.65
Leucine	6.20
Lysine	2.62
Methionine	0.08
Phenylalanine	3.96
Threonine	3.86
Valine	4.82
0.2% pepsin digestibility	79.09
DM, dry matter.	

공시 동물, 사료 및 관리

공시 동물은 한협 3호 수탉 종계(50주령, 평균체중 2.9 kg) 20수를 사용하였다. 동물은 대사 케이지(W × L × H; 350 × 430 × 460 mm³)에 1수씩 수용하였고, 실온은 23 - 25°C를 유지하였다. 사용된 사료의 배합비와 화학적 조성은 Table 2과 같다.

조사 항목 및 방법

영양소 이용률은 조단백질, 조지방, 가용무질소물, 조섬유의 대사율을 구하였으며, 각 성분의 분석은 AOAC (1995) 방법으로 수행하였다. 동물의 적응을 위하여 예비 기간 7일을 두었으며, 분석 시료는 3일간 전분 채취법으로 채취하여 70°C의 건조기에서 48시간 건조 후 분쇄하였다.

실험 설계 및 통계분석

실험설계는 한국가금사양표준(NIAS, 2012)에 의한 요구량과 공급 가능량을 설정한 예비시험의 결과에 따라 2처리(돈모 단백질 대체율 0 및 10%), 10반복, 반복당 1수로 실시하였으며, 얻어진 자료의 통계분석은 SPSS를 이용하여 general linear model procedure를 수행한 후, T-검정으로 5% 수준에서의 유의성을 검정하였다.

실험 2. 돈모 단백질 급여가 산란율 및 난질에 미치는 영향

공시 동물, 사료 및 관리

공시동물은 50주령의 실용 산란계 Hy-Line 54수(평균 체중 1.9 kg)를 사용하였다. 실험계는 산란케이지(W × L × H; 270 × 330 × 360 mm³)에 1수씩 수용하였고 실온은 25°C 전후가 되도록 하였으며 점등은 1일 17시간(04:00 - 21:00까지 점등) 실시하였다. 사료의 배합비와 화학적 조성은 Table 2에 나타난 바와 같으며 사료와 물은 자유롭게 섭취하도록 하였다. 돈모 추출 단백질은 실험1과 동일한 것을 사용하였다.

조사 항목 및 방법

산란율은 실험 기간 동안 매일 오전 11시에 수집한 총 산란수를 매일의 사육수 합계로 나누어 백분율로 표시하였다

Table 2. Formula for experimental diets (as-fed basis).

Ingredients (%)	Substitution levels of feed protein by SHP ^x (%)	
	0	10
Corn	74.9	79.6
Soybean meal	20.5	16.3
Swine hair protein	0	1.5
Salt	0.3	0.3
CaCl ₂	2.0	2.0
Vitamin-mineral premix ^y	0.2	0.2
DL methionine + L lysine mix ^z	0.1	0.1
Chemical composition		
ME (kcal/kg)	2,710.0	2,740.0
Crude protein (%)	15.2	15.2
Ca (%)	2.0	2.0
P (%)	0.6	0.6

ME, Metabolizable Energy.

^x Swine hair protein.

^y Vitamin-mineral premix provided followings per kg diet : Provided followings per kg of diet: Cu, 10mg; Fe, 80mg; Mn, 80mg; Zn, 80mg; I, 0.9mg; Se, 0.2mg; Co, 0.5mg. vit. A, 12,000IU; vit. D₃, 3,000IU; tocopherol 15mg; vit. K₃, 2mg; thiamin, 2.0mg; riboflavin, 6.0mg; pyridoxine, 2mg; vit. B₁₂, 0.03mg; folic acid, 1.0mg; biotin, 0.15mg; niacin, 45mg; D-Ca pantothenate, 15mg; antioxidant, 0.5mg.

^z DL methionine(50%) + L lysine(98%) mixture.

(hen-day 산란율). 난중은 처리구별로 수집된 계란의 총 중량을 산란수로 나누어 구하였다.

계란의 물리적 품질 분석은 실험 4주째부터 6주째까지 처리구별로 30개씩 60개를 수집하여 검사하였다. 조사 항목은 난황색, 난각색, 난백고, Haugh unit, 난각 무게 및 난중으로서 QCM+ System (Technical Services and Supplies, York, England)을 이용하여 측정하였으며, 난각강도는 난각강도계(Fujihara Co., Ltd., Saitama, Japan)를 사용하여 계란을 수평으로 고정된 후 압력을 가하여 파각되는 순간의 압력을 측정하였다. 난각두께는 Digital Micrometer (Mitutoyo, Japan)로 측정하였다.

실험 설계 및 통계분석

실험설계는 한국가금사양표준(NIAS, 2012)에 의한 요구량과 공급 가능량을 설정한 예비시험의 결과에 따라 2처리(돈모 단백질 대체율 0 및 10%)를 두고, 27반복, 반복당 1수로 실시하였으며, 얻어진 자료의 통계분석은 SPSS를 이용하여 general linear model procedure를 수행한 후, T-검정으로 5% 수준에서의 유의성을 검정하였다.

Results and Discussion

실험 1. 돈모 단백질 급여가 산란율 및 난질에 미치는 영향

영양소 이용률

영양소 이용률은 Table 3에 나타난 바와 같다. 사료 단백질의 10%를 돈모 단백질로 대체하였을 때의 영양소 대사율은 조단백질, 조지방, 가용무질소물 및 조섬유, 모든 조사 항목이 돈모 단백질 첨가가 낮은 경향을 나타내었으나 유의한 수준은 아니었다. 단백질의 대사율은 돈모 단백질 첨가가 76.9%로서 실험 조건은 다르지만, Oh et al. (2011)의 수탉 실험에서 나타난 돈모 아미노산 대사율 72.7% 보다는 높은 수준이었다. 또한 본 시험의 성적은 Lee et al. (1988)의 성적-육수수(90.98%), 대두박(88.78%), 밀(90.32%)-보다는 낮은 수준이었으며, 우모분의 71.97%와는 대등한 수준이었다.

케라틴 단백질은 rat에서 백혈구수, 혈중 글루타치온 등의 변화 없이 casein 단백질의 50%까지 대체할 수 있으며 단백질 소화율을 94%에서 86%까지 저하시키지만 시스테인 섭취량과 간의 타우린 수치를 증가시킨다. 케라틴 단백질 섭취는 맹장 중량을 증가시키며 지방 소화율을 저하시켜 체지방 비율을 낮추며 헤모글로빈 수를 증가시킨다. 케라틴의 cysteic acid는 간과 혈액의 글루타치온 수준을 정상적으로 유지시키는 작용을 한다. 결과적으로 케라틴 단백질의 섭취는 단백질 소화율을 저하시키지만 위에 열거한 유익한 부가 기능이 있다고 보고되었다(Wolber et al., 2016). 또한 케라틴 단백질에 함유되어있는 다량의 시스테인은 동물체내 글루타치온 합성에 율속인자(律速因子, rate-limiting factor)로 작용한다(Atmaca, 2004).

또한 케라틴 단백질의 급여 수준은 본 실험에서는 사료 단백질의 10%를 대체하였지만 Summers and Leeson (1978)은 반정제한(semi-purified) 형태로 브로일러 사료에 6%, 육성계에 9% 급여할 수 있다고 하였다.

Table 3. Effects of dietary protein of swine hair on the physical qualities of eggs.

Items	Digestibility (%)	
	Substitution levels of feed protein by swine hair protein (%)	
	0	10
Crude protein	77.5 ± 0.64 ²	76.9 ± 0.71
Crude fat	78.7 ± 0.55	77.9 ± 0.69
NFEy	81.4 ± 0.33	80.5 ± 0.30
Crude fiber	77.6 ± 0.47	76.9 ± 0.37

NFE, Nitrogen Free Extract.

²Mean ± SE.

그리고 본 연구의 결과 돈모 단백질 첨가구의 영양소 대사율이 전반적으로 낮은 수준을 보인 것은 첨가 수준이 증가할 경우 부정적 결과의 예견을 암시할 수도 있다고 사료된다. 본 시험에서 사용한 돈모 단백질은 정제 공정을 거치지 아니한 것으로 다량 사용에는 다소의 제한이 있을 것으로 생각된다. 알칼리 가수분해 후 산으로 중화를 하게 되면 2차 물질의 생성이 있게 되며 이것을 제거하여야 고품질의 단백질을 얻을 수 있다. NaOH 처리 물질에 대한 H₂SO₄의 중화 공정에서 NaSO₄가 생성되며 이것의 제거에는 BaCl을 사용하여 BaSO₄를 침전시켜 NaCl을 분리한 후 제염 공정을 수행하여야 된다. 이 과정은 많은 비용의 증가를 수반하게 되므로 경제성을 검토하여야 할 것이다. 그러나 처리 공정에서 발생하는 부가물의 제거를 생략하고 저수준으로 이용하는 것이 가능한 것인지 추가 보완 연구가 필요하다고 하겠으며, 10% 대체 수준에서 대조구와 유의한 차이가 없는 성적을 얻은 것은 긍정적 결과로 생각된다.

실험 2. 돈모 단백질 급여가 사료섭취량, 산란능력 및 난질에 미치는 영향

사료섭취량, 산란능력 및 난질

돈모 단백질의 급여가 사료섭취량, 산란율, 난중 및 난사비에 미치는 영향은 Table 4에 수록하였다. 사료섭취량은 대조구에 비하여 돈모 단백질 급여구가 4.7%의 감소를 가져왔지만 유의한 수준은 아니었으며 산란율(hen-day egg production rate)은 돈모 단백질 급여구가 1.7% 증가하였지만 유의성은 인정되지 않았다. 난중과 난사비(total feed intake/total egg weight)에 있어서도 유의한 차이는 없었다.

돈모 단백질의 급여가 난질에 미치는 영향은 Table 5에 나타난 바와 같다. 난각 강도, 난백고, haugh unit에 있어 돈모 단백질 첨가구가 대조구에 비하여 산술적 증가를 보였지만 유의한 수준은 아니었다. 그리고 난각의 두께는 대조구가 다소 높은 수치였지만 유의한 결과는 아니었다. 이처럼 유의한 변화를 관찰할 수 없는 것은 제한적 수준에서는 돈모 단백질이 유용한 자원임을 말해준다고 하겠다.

그러나 돈모 단백질의 이용성을 증대시키기 위해서는 처리 비용이 낮으면서도 생산물의 품질이 높아야 한다. 케라틴

Table 4. Effects of dietary protein of swine hair on the performance of layers.

Items	Substitution levels of feed protein by swine hair protein (%)	
	0	10
Feed intake (g/bird/day)	119.00 ± 1.25 ^x	113.40 ± 1.37
Laying rate ^y (%)	89.50 ± 0.98	90.20 ± 1.01
Egg weight (g/egg)	66.48 ± 0.90	66.84 ± 0.95
Feed conversion ^z	2.40 ± 0.01	2.30 ± 0.01

^x Mean ± SE.

^y Hen-day egg production rate.

^z Total feed intake/total egg weight.

Table 5. Effects of dietary protein of swine hair on the physical qualities of eggs.

Items	Substitution levels of feed protein by swine hair protein (%)	
	0	10
Eggshell thickness (um)	0.351 ± 0.002 ^z	0.343 ± 0.003
Eggshell strength (kg/cm ²)	2.680 ± 0.050	2.960 ± 0.090
Eggshell color (%)	35.920 ± 0.330	36.120 ± 0.350
Albumen height (mm)	8.450 ± 0.090	8.740 ± 0.270
Haugh units	88.560 ± 0.570	89.810 ± 0.420
Yolk color (Roche)	7.450 ± 0.060	7.180 ± 0.050

^z Mean ± SE.

은 시스테인 디설파이드 결합이 bridge를 형성하여 분해가 어렵다(Onifade et al., 1998). Disulfide bridge는 아주 강한 헬릭스 모양을 만들어 단단한 섬유성 매트릭스를 만든다. α -케라틴은 α -나선형으로 감겨진 단일 단백질 가닥(규칙적인 사슬 내 H-결합)으로 이루어져 있으며, 추가로 감겨져있을 수 있는 superhelical rope로 꼬여 있으며, β -케라틴은 베타-주름진 시트가 함께 뒤틀린 후, disulfide bridge에 의해 안정화된다. 이 강도는 시스테인 디설파이드 케라틴의 함량에 따라 달라지게 된다(Gousterova et al., 2005; Gonzalo et al., 2016)

케라틴의 화학적 처리는 처리 공정이 다단계이고 비용이 많이 들 뿐만 아니라 처리 과정에서 원하지 않은 결과 즉, 아미노산의 손상은 큰 단점이다. 알칼리 가수분해 처리에서 threonine, arginine, leucine 등은 손상이 심하며 histidine, isoleucine, lysine valine 등은 비교적 적다고 알려져 있다(Hertrampf et al., 2000). 케라틴 처리에서 아미노산의 파괴가 적은 방법으로는 *Bacillus cereus*, *Xanthomonas* sp. 등 미생물 분해를 들 수 있겠으나(Go et al., 2014; Gupta et al., 2015; Chorążyk et al., 2016; Gachango et al., 2017; Łaba et al., 2017), 화학 처리에 비하여 대용량 처리가 어렵고 속도가 느려 산업화에 지장이 있어 앞으로 더 많은 연구가 필요하다고 하겠다.

Conclusion

본 연구에서 수행된 실험에서 도출된 결과는 1) 사료 단백질의 10%를 돈모 단단백질 대체하였을 때의 영양소 대사율은 처리구간에 유의한 차이가 없었고, 2) 사료섭취량은 대조구에 비하여 돈모 단백질 급여구가 4.7% 정도의 감소를 가져왔지만 유의한 수준은 아니었다. 이처럼 유의한 변화를 관찰할 수 없는 것은 돈모 단백질이 10% 수준의 대체율에서는 가용 자원임을 시사한다고 하겠다.

Acknowledgements

본 연구는 충남대학교 학술연구 지원 사업의 연구비 지원에 의하여 수행되었다.

References

- AOAC (Association of Official Analytical Chemists). 1995. Official method of analysis (16th ed.). AOAC, Washington. D.C., USA.
- Atmaca G. 2004. Antioxidant effects of sulfur-containing amino acid. *Yonsei Medical Journal* 45:776-788.
- Baker DH, Blitenthal RC, Boebel KP, Czarnecki GL, Southern LL, Willis GM. 1981. Protein-amino acid evaluation of steam-processed feather meal. *Poultry Science* 60:1865-1872.
- Brandelli A, Sala L, Kalil SJ. 2015. Microbial enzymes for bioconversion of poultry waste into added-value products. *Food Resources International* 73:3-12.
- Brugos A, Floyed JI, Stephenson EL. 1974. The amino acid content and availability of different samples of poultry by-products meal, and feather meal. *Poultry Science* 53:198-203.
- Chorążyk D, Pudło A, Trojan-Piegza J, Piegza M, Kancelista A, Kurzawa A, Żuk I, Kopeć W, Łaba W. 2016. Enzymatic degradation of pretreated pig bristles with crude keratinase of *Bacillus cereus* PCM 2849. *Waste and Biomass Valorization* 8:527-537.
- Dale N. 1992. True metabolizable energy of feather meal. *Journal of Applied Poultry Research* 1:331-334.
- Gachango FG, Ekmann KS, Frørup J, Pedersen SM. 2017. Use of pig by-products (bristles and hooves) as

- alternative protein raw material in fish feed: A feasibility study. *Aquaculture* 479:265-272.
- Gonzalo M, Jespersen CM, Jensen K, Støier S, Meinert L. 2016. Pig bristles—an underestimated biomass resource. 62nd International Congress of Meat Science and Technology, Proc. Bangkok, Thailand.
- Go TH, Lee SM, Cho KS, Lee YR, Park SY, Jang EY, Jeong SY, Son HJ. 2014. Characteristics of bacteria-originated keratinase for feather waste treatment. *Journal of Environmental. Science International* 23:1095-1100.
- Gousterova A, Braikova D, Goshev I, Christov P, Tishinov K, Vasileva-Tonkova E, Haertlé T, Nedkov P. 2005. Degradation of keratin and collagen containing wastes by newly isolated thermoactinomycetes or by alkaline hydrolysis. *Letters in Applied Microbiology* 40:335-340.
- Gradisar H, Kern S, Friedrich J. 2000. Keratinase of *Doratomyces microsporus*. *Applied Microbiology and Biotechnology* 53:196-200.
- Gupta S, Nigam A, Singh R. 2015. Purification and characterization of a *Bacillus subtilis* keratinase and its prospective application in feed industry. *Acta Biologica Szegediensis* 59:197-204.
- Hertrampf JW, Piedad-Pascual F. 2000. Handbook on ingredients for aquaculture feeds. pp. 322-324. Kluwer Academic Publishers, Massachusetts, USA.
- KAPE (Korea institute for animal products quality evaluation). 2017. Livestock products marketing in Korea. p. 218. KAPE, Sejong, Korea.
- Kornegay ET. 1978. Protein digestibility of hydrolyzed hog hair meal for pigs. *Animal Feed Science and Technology* 3:323-328.
- Kornegay ET, Thomas HR. 1973. Evaluation of hydrolyzed hog hair meal as a protein source for swine. *Journal of Animal Science* 36:279-284.
- Korniłowicz-Kowalska T, Bohacz J. 2011. Biodegradation of keratin waste: Theory and practical aspects. *Waste Manage* 31:1689-1701.
- Łaba W, Chorażyk PA, Trojan-Piegza J, Piegza M, Kancelista A, Kurzawa A, Zuk I, Kopeć W. 2017. Enzymatic degradation of pretreated pig bristles with crude keratinase of *Bacillus cereus* PCM 2849. *Waste Biomass Valor* 8:527-537.
- Lee BK, Han IK, Ha JK, Lee YS. 1988. Studies on the measurement of amino acid availability in feedstuffs by forced feeding with rooster. *Korean Journal of Animal Nutrition and Feedstuffs* 12:18-27.
- Lee NH. 1979. Utilization of swine bristle as a protein resources in broiler and grower diet. *Poultry* 7:47-51. [in Korean]
- Mass A, Mass R, Klopfenstein TJ, Jordan DJ. 1999. Hog hair meal as a protein source for ruminants. p. 415. *Nebraska Beef Cattle Reports*.
- NIAS (National Institute of Animal Science). 2012. Korean feeding standard for poultry. NIAS, RDA, Wanju, Korea.
- Oh HM, Park NS, Jo CH, Kim SB, Lim JS, Lee BD, Lee SK. 2011. Effects of dietary protein of hog hair on the nutrients metabolism in poultry. *CNU Journal of Agricultural Science* 38:651-657.
- Onifade AA, Al-Sane NA, Al-Musallam AA, Al-Zarban S. 1998. Potentials for biotechnological applications of keratin-degrading microorganisms and their enzymes for nutritional improvement of feathers and other keratins as livestock feed resources. *Bioresources and Technology* 66:1-11.
- Summers JD, Leeson S. 1978. Utilization of processed pig hair in poultry diet. *Animal feed science and technology* 3:243-250.

- Wang B. 2016. Keratin: Structure, mechanical properties, occurrence in biological organisms, and efforts at bioinspiration. *Progress in Materials Science* 76:229-318.
- Wang X, Parsons CM. 1997. Effect of processing systems on protein quality of feather meals and hog hair meals. *Poultry Science* 76:491-496.
- Windholz M, Budavari S, Blumetti RF, Otterbein EO. 1983. *The MERCK index*. MERCK & CO. Inc., Rahway, New Jersey, USA.
- Wolber F, McGrath M, Jacson F, Wylie K, Broomfield A. 2016. Cystic acid in dietary keratin is metabolized to glutathione and liver taurine in a rat model of human digestion. *Nutrients* 8:104-110.