Korean Journal Of Agricultural Science

pISSN : 2466-2402
eISSN : 2466-2410

ANIMAL

Effect of peanut shell extract supplementation on the growth performance, carcass characteristics and meat quality of broilers

Narae Han[1], Byong Won Lee[2], Jung Min Heo[3], Samooel Jung[3], Mihyang Kim[1], Jin Young Lee[1], Yu-Yong Lee[1], Moon Seok Kang[1], Hyun-Joo Kim[1,*]

[1]Department of Central Area Crop Science, National Institute of Crop Science, Rural Development Administration, Suwon 16613, Korea

[2]Department of Southern Area Crop Science, National Institute of Crop Science, Rural Development Administration, Miryang 50424, Korea

[3]Division of Animal and Dairy Science, Chungnam National University, Daejeon 34134, Korea

*Corresponding author: tlrtod@korea.kr

Abstract

The present study investigated the effects of dietary supplementation of peanut shell extract on the growth performance and physiological properties of broiler chicks. Two diet energy levels (Positive and Negative) and four additives (0.0, 0.05, and 0.1% peanut shell extract and commercial antioxidant) were factorially arranged for eight treatments. The overall weight gain of the broilers was slightly improved at 0.05% for the antioxidant treatments regardless of the diet energy levels, but there was no statistical difference among the treatments ($p > 0.05$). The carcass characteristics of the broilers, such as cooking loss, crude protein content, antioxidant activity, and thiobarbituric acid reactive substances (TBARS) values, were improved by the feeding diets containing the 0.05% peanut shell extract. Furthermore, it was confirmed that the dietary supplementation of peanut shell extract did not have a negative effect on the immune responses of the broilers show by the lack of statistical differences in the liver and bursa Fabricious weight and cytokine level among the treatments. From the economic analysis, dietary supplementation of peanut shell extract significantly influenced the compensatory growth and food efficiency and, in turn, led to a decrease in the duration needed to reach 1.5 kg compared to the control. These results suggest the possibility that the peanut shell extract could be used as a functional feed additive by improving the growth performance and carcass characteristics with no detrimental effects on broilers.

Key words: by-products, dietary supplementation, economic analysis, natural plant extracts, physiological properties

Check for updates

OPEN ACCESS

Citation: Han N, Lee BW, Heo JM, Jung S, Kim M, Lee JY, Lee YY, Kang MS, Kim HJ. Effect of peanut shell extract supplementation on the growth performance, carcass characteristics and meat quality of broilers. Korean Journal of Agricultural Science 49:547-560. https://doi.org/10.7744/kjoas.20220050

Received: May 13, 2022

Revised: August 05, 2022

Accepted: August 08, 2022

Copyright: © 2022 Korean Journal of Agrcultural 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.

Introduction

오늘날 국민소득이 높아짐에 따라 삶의 질이 향상되면서, 축산물의 품질과 기능성 향상, 안전성 확보 및 위생적 생산에 대한 소비자 요구도가 높아지고 있다(Cho et al., 2019). 이에 따라 고품질 안전 축산물에 대한 수요를 충족시키기 위해 친환경 무항생제 축산물 인증 제도가 시행되고 있으며, 2011년 7월부터 배합사료 내 제조용 항생제의 사용이 전면 금지되었다(Kim, 2010; Kim et al., 2020a). 그러나 무항생제 사육은 생산성 감소, 가축의 질병 발생률 증가, 생산비용 증대, 농가소득 감소 및 소비자 부담 증가 등의 문제가 발생될 우려가 있다. 이러한 문제를 해결하고자 다양한 항생제 대체제와 기능성 사료첨가제의 탐색 및 개발이 꾸준히 이뤄지고 있으며, 이 중 식물추출물을 활용한 방안에 대한 연구가 지속적으로 증가하고 있다(Hernández et al., 2004; Kim et al., 2020a). 또한 우리나라에서 사용되는 배합사료는 대부분 수입되어 제조되고 있어 국제 곡물 가격 변동에 따라 배합사료의 가격 등락이 거듭되고 있다. 따라서 축산물의 생산비용 절감 및 경쟁력 제고를 위해 국내 부존자원을 활용하는 방안이 대두되고 있다(Kim, 2010).

땅콩(*Arachis hypogaea* L.)은 장미목 콩과에 속하는 초본 식물로 한국, 중국, 미국 및 아프리카 등 세계 각국에서 널리 재배되고 있는 작물이다(Bertioli et al., 2011). 땅콩은 유지 함량이 높아 식용 기름으로 주로 이용되었으며, 근래에는 각종 비타민, 미네랄, 식이섬유 및 페놀화합물과 같은 영양성분을 함유하고 있는 것으로 알려지면서 건강식품으로 주목받고 있다(Kim et al., 2016; Limmongkon et al., 2017). 땅콩 중량의 약 35 - 40%를 차지하고 있는 땅콩 겉껍질은 외부의 생물적·비생물적 스트레스로부터 열매를 보호하는 방어기능을 갖고 있어, 식물성 스테롤과 페놀성화합물 등의 다양한 2차대사산물(기능성물질)을 함유하고 있다(Kim et al., 2019). 선행 연구에 의하면 땅콩 겉껍질은 함유되어있는 페놀화합물, 사포닌 및 올리고당 등에 의해 항산화, 항염, 항암, 비만억제, 주름억제 및 면역력 개선 등 다양한 생리활성을 갖는 것으로 보고된 바 있다(Bodoria et al., 2022). 그러나 땅콩 겉껍질은 대부분 부산물로 폐기되고 있어 폐기 비용 절감 및 부가가치 창출을 위한 활용 방안에 대한 모색이 요구되고 있다.

축산 분야에서 기능성 보조사료 첨가제 및 항생제 대체제 개발을 목적으로 육계에 식물 추출물 첨가 사료의 적용에 관한 연구가 일부 수행되고 있지만(Kim, 2010; Jang et al., 2011; Kim et al., 2015), 땅콩의 부산물을 적용한 연구는 미비한 실정이다. 따라서 본 연구는 폐기되고 있는 땅콩 부산물인 겉껍질을 육계 보조사료로 활용하여 폐자원의 효율적인 활용방안을 마련하고자 하였다. 또한 기능성 보조사료로의 활용 가능성을 모색하기위한 기초자료를 확보하고자 첨가량이 다른 땅콩 겉껍질 추출물을 급여하여 육계 생산성, 도체 성상 및 육질에 대한 품질 특성과, 땅콩 겉껍질 추출물 유래 기능성 보조사료의 에너지 보상 기능에 대하여 조사하였다.

Materials and Methods

땅콩 겉껍질 추출물 제조

건조, 분쇄된 땅콩 겉껍질(신팔광 품종) 분말에 70% 에탄올(1 : 10, $w \cdot v^{-1}$)을 가하여 25°C에서 24시간 교반추출하고, 이 추출액을 감압 여과 후 동결건조 하여 분말형태의 추출물을 획득하였다.

시험 동물 및 실험 설계

실험 동물로는 농가에서 일반적으로 사육하는 육계 품종(Broiler chicken; Ross 308)을 사용하였다(Yu et al., 2021). 육계(1일령) 384마리(8처리 × 6반복 × 8수)를 공시하여 35일간 사양실험을 실시하였다. 시험처리구는 Aviagent의 Ross308 권장 영양소요구량을 충족시킨 항산화제무첨가구(Positive control)와 에너지를 약 120 $kcal \cdot kg^{-1}$ 감소시

킨 항산화제무첨가구(Negative control)를 대조구로 하였으며, 시험 사료에 땅콩 겉껍질 추출물(0.05% 및 0.1%) 또는 기능성 항산화제를(Maxi-Gen Plus, Canadian Bio-Systems Inc., Calgary, Alberta, Canada) 첨가하여 시험 처리구를 두었다(Table 1). 실험 설계는 난괴법을 사용하여 공시된 전체 병아리에 개별 인식표를 부착 후 개별 체중을 기준으로 처리당 6개의 그룹으로 나뉘도록 구배치 프로그램을 이용해 8처리 6반복 반복 당 8수씩 구배치 하였다(Kim and Lindemann, 2007).

Table 1. Experimental design for dietary and additive treatment.

Treatment abbreviation	Dietary energy level	Additive
Positive control	Positive Energy sufficient, followed Ross308 specification	None
Positive 0.05%		0.05% peanut shell extract
Positive 0.1%		0.10% peanut shell extract
Positive antioxidant		Commercial antioxidant
Negative control	Negative Positive-4% metabolizable energy (120 kcal·kg^{-1} reduced energy)	None
Negative 0.05%		0.05% peanut shell extract
Negative 0.1%		0.10% peanut shell extract
Negative antioxidant		Commercial antioxidant

시험사료 및 사양관리

기초시험사료는 Aviagen사의 Ross308 지침(https://en.aviagen.com/brands/ross/products/ross-308) 및 한국가축사양표준 가금(NIAS, 2017)에 근거하여 전기(0 - 21일)와 후기(22 - 35일)로 구분하였으며, 배합비와 영양소 조성은 Table 2와 같이 하였다. 시험기간동안 계사 내 온도는 1일령 32℃로 시작하여 매주 2℃씩 낮췄으며, 습도는 40 - 50%가 되도록 유지시켰다. 시험기간동안 점등은 24시간 연속 점등하였고, 사료와 물은 무제한 급이 하였다.

Table 2. Diet composition and calculated nutritional values of the basal diets for broilers.

Item	Starter (0 - 21 days)		Finisher (22 - 35 days)	
	Positive	Negative	Positive	Negative
Ingredients (%)				
Corn	52.60	52.60	58.66	58.66
Soybean meal	36.00	36.00	31.35	31.35
Vegetable oil	2.00	2.00	-	-
Fish meal-M	2.00	2.00	3.50	3.50
Corn starch	3.00	-	3.00	-
Limestone	5.12	5.12	4.24	4.24
Mono-calcium P	1.50	1.50	1.50	1.50
Salt	0.30	0.30	0.30	0.30
Vit-Min Premix[z]	0.30	0.30	0.30	0.30
Methionine	0.18	0.18	0.15	0.15
Total	103.00	100.00	103.00	100.00
Chemical composition				
Metabolizable energy (kcal·kg^{-1})	3,049.00	2,930.00	3,199.00	3,080.00
Crude protein (%)	23.00	23.00	20.00	20.00
Lysine (%)	1.26	1.26	1.05	1.05
Methionine (%)	0.54	0.54	0.46	0.46

[z] Vitamin and mineral mixture provided the following nutrients per kg of diet: vitamin A, 24,000 IU; vitamin D3, 6,000 IU; vitamin E, 30 IU; vitamin K, 4 mg; thiamin, 4 mg; riboflavin, 12 mg; pyridoxine, 4 mg; folacine, 2 mg; biotin, 0.03 mg; vitamin B8, 0.06 mg; niacin, 90 mg; pantothenic acid, 30 mg; Fe, 80 mg ($FeSO_4·H_2O$); Zn, 80 mg ($ZnSO_4·H_2O$); Mn, 80 mg ($MnSO_4·H_2O$); Co, 0.5 mg ($CoSO_4·H_2O$); Cu, 10 mg ($CuSO_4·H_2O$); Se, 0.2 mg (Na_2SeO_3); I, 0.9 mg ($Ca(IO_3)·2H_2O$).

조사항목 및 분석방법

사양 성적

시험 실시 후 1주일 간격으로 체중을 측정하여 실험 사료 급여에 따른 증체량을 계산하였고, 사료 잔량을 수거하여 사료 섭취량을 계산하였다. 사료 요구율은 사료 섭취량을 증체량으로 나누어 각 단계별로 사료 요구율을 계산하였다.

도체특성 분석

35일령에 각 처리구 내 체중이 평균값에 가까운 개체를 각 펜당 1수씩 선발하여 경추탈골법으로 안락사 한 후, 간, 파브리시우스 낭, 가슴육 및 다리육을 채취하였다. 채취한 간과 파브리시우스 낭은 중량을 측정하였고, 가슴육과 다리육은 표면을 닦은 후 냉장하여 일반성분, 총페놀화합물함량 및 항산화활성을 분석하였다. 일반성분은 AOAC (2000) 방법에 준하여 수분, 조단백, 조지방 및 조회분 함량을 조사하였다. 총페놀화합물함량은 Dewanto 등 (2002)의 방법에 준하여 Folin-Ciocalteu reagent로 측정하였고, 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) 활성은 Kim 등 (2020b)의 방법에 따라 측정하였다.

닭고기 저장성

시험 종료 시 채취한 가슴육과 다리육을 진공 포장하여 4°C에서 7일 저장 후 닭고기 내 지방산패도(thiobarbituric acid reactive substances, TBARS) 및 육색을 측정하여 0일의 측정값과 비교하였다. 지방산패도는 Sinnhuber와 Yu (1997)의 방법에 따라 지방 과산화 시 형성되는 malondialdehyde (MDA) 함량을 TBARS 방법으로 측정하여 시료 1 kg 당 mg MDA 로 나타내었다. 육색은 색차계(CM-3500d, Minolta, Tokyo, Japan)를 이용하여 Hunter color system의 L* (명도), a* (적색도), b* (황색도) 값으로 측정하였다.

면역 지표 분석

처리에 따른 면역 지표 변화를 비교하기 위해 장기의 중량과 혈액 내 사이토카인 수준을 조사하였다. 면역 지표로 사용되는 장기로 시험 종료 시 채취한 간과 파브리시우스 낭의 중량을 측정하여 처리 간 차이를 비교하였다. 혈액 내 사이토카인 수준은 21일령과 35일령에 각 처리구 내 체중이 평균값에 가까운 개체를 각 펜당 1수씩 선발하여 익하정맥에서 혈액 5 mL을 채혈하여 측정하였다. 채혈한 혈액은 원심분리(1,500 rpm, 15분, 4°C)하여 혈청을 분리하였고, 분리한 혈청에서 면역 지표인 사이토카인 4종(IL-1β, IL-10, IFN-γ 및 TNF-α)을 분석하였다.

통계처리

처리 간 성장 능력의 통계 분석은 SPSS 22 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA) 프로그램의 general linear model (GLM)을 이용하여, battery cage를 통계 단위로 계산하였다. 도체 특성 분석은 개체를 통계 단위로 계산하였다. Block은 random factor로 계산하고, 각 처리 간 표준값을 Turkey's Test를 통해 다중검정 하였다. 저장성 평가 0과 7일간 차이는 independent *t*-test를 통해 비교하였다. 모든 통계분석의 유의성은 $p < 0.05$일때 유의하다고 판단하고, $0.05 < p < 0.1$일때 경향이 있다고 판단하였다. 처리에 따른 도체 특성을 비교하고자 주성분 분석, 정규화 히트맵 및 상관분석을 MetaboAnlyst 5.0 (https://www.mateboanalyst.ca) 프로그램을 이용하여 작성하였다(Pang et al., 2021).

Results and Discussion

사료내 땅콩 겉껍질 추출물 첨가 급여에 따른 사양성적 변화

땅콩 겉껍질 추출물의 사료 내 첨가 급여가 육계 증체량, 사료섭취량 및 사료요구율에 미치는 영향은 Table 3에 나타내었다. 육계 생장 전기인 0 - 21일령 동안의 증체량은 Positive와 Negative 모두 0.05% 첨가구와 antioxidant 처리구가 대조구에 비해 높게 나타났지만 통계적 유의성은 인증되지 않았다($p > 0.05$). 또한 사료섭취량과 사료요구율에서도 추출물 첨가 처리구간 유의적인 차이가 없었다($p > 0.05$). 육계 후기인 22 - 35일령 동안의 증체량, 사료섭취량 및 사료요구율에서도 통계적 유의성은 인정되지 않았다($p > 0.05$). 육계 사양 전 기간인 0 - 35일 동안의 증체량과 사료섭취량에서도 통계적 유의성은 인증되지 않았으며($p > 0.05$), 사료 요구율에서는 0.05% 첨가구가 대조구에 비해 개선되었다($p < 0.05$). 이러한 결과는 식물추출물을 급여한 선행연구의 결과와 유사하였다. Jo 등(2009)은 마늘 추출물을 농도별로 처리했을 때 증체율과 사료 섭취량에서 유의적인 영향이 없었다고 보고하였고, Jamroz 등(2005)은 capsaicin, cinnamaldehyde 및 carvacrol이 혼합된 추출물 0.01% 첨가하여 급여한 결과 증체량에는 차이가 없었으나 사료 효율이 향상되었다고 보고하였다. 기능성 사료 첨가제로 급여하는 식물 유래 추출물은 식물의 종류나 첨가량에 따라 효과에 차이를 나타낸다. 본 연구에서 땅콩 겉껍질 추출물 첨가 급여가 관행적으로 사용하는 항산화제 급여 사육에 비해 생산성 저하 없이 대체로 우수한 경향을 보여 기존 항산화제 대체제로 적용 가능함을 확인하였고, 식물추출물의 사료 내 첨가가 육계 생산성에 긍정적인 영향을 미친 것으로 사료된다.

Table 3. The effect of dietary supplementation of peanut shell extract on growth performance in broilers.

Item	Positive				Negative				SEM	p-value			
	Control	0.05%	0.1%	Antioxidant	Control	0.05%	0.1%	Antioxidant		Corrected	Diet	Additive	Interaction
Starter (0 - 21 d)													
Initial body weight (g)	36.07[z]	36.80	36.94	36.82	36.36	36.29	36.88	36.75	0.343	0.519	0.730	0.204	0.719
Weight gain ($g \cdot d^{-1}$)	31.80	31.83	31.44	32.11	30.27	32.07	31.36	32.13	0.840	0.794	0.574	0.552	0.712
Feed intake ($g \cdot d^{-1}$)	43.36	43.12	43.24	43.25	45.64	45.47	45.12	44.26	0.681	0.030	0.000	0.735	0.751
Feed conversion ratio	1.37	1.36	1.38	1.35	1.51	1.42	1.44	1.38	0.029	0.007	0.001	0.082	0.303
Finisher (22 - 35 d)													
Weight gain ($g \cdot d^{-1}$)	78.59	80.32	79.70	80.98	78.23	78.95	78.65	80.09	1.782	0.950	0.471	0.687	0.994
Feed intake ($g \cdot d^{-1}$)	106.93	106.64	105.46	104.23	117.05	110.22	116.76	118.60	2.298	0.003	0.000	0.645	0.338
Feed conversion ratio	1.36	1.33	1.32	1.29	1.49	1.40	1.49	1.48	0.028	0.000	0.000	0.121	0.146
Overall (0 - 35 d)													
Weight gain ($g \cdot d^{-1}$)	50.52	51.23	50.74	51.66	49.46	50.83	50.28	51.31	0.579	0.225	0.174	0.073	0.920
Feed intake ($g \cdot d^{-1}$)	68.79	68.53	68.13	67.64	74.20	71.37	73.78	74.00	1.191	0.000	0.000	0.632	0.484
Feed conversion ratio	1.36	1.34	1.34	1.31	1.50	1.40	1.47	1.44	0.019	0.000	0.000	0.011	0.236

SEM, standard error of means.
[z]All data is presented as the mean of six replicates.

사료내 땅콩 겉껍질 추출물 첨가 급여에 따른 도체특성 변화

땅콩 겉껍질 추출물 첨가 급여가 가슴육과 다리육의 일반성분 함량에 미치는 영향은 Table 4와 같다. 땅콩 추출물 첨가 처리구의 pH는 대조구와 항산화제 처리구에 비해 다소 높거나 비슷한 수준으로 조사되었다. 가열감량은 28.61 - 32.46% 범위로 조사되었으며, Negative 0.05%를 제외한 모든 땅콩 추출물 첨가 처리구는 항산화제 처리구 대비 가열감량이 개선됨을 확인하였다. 처리에 따른 가슴육과 다리육의 수분함량, 조단백질, 조지방 및 조회분 함량은 각각 74.45 - 74.34, 21.78 - 22.99, 2.31 - 2.56% 및 1.22 - 1.32% 범위로 선행연구의 육계 일반성분 함량과 비슷한

수준을 보였다(Lee et al., 2016). Negative 처리구의 경우 땅콩 겉껍질 추출물 첨가가 가슴육과 다리육의 일반성분 함량에 영향을 미치지 않은 반면, Positive 처리구는 추출물 첨가 처리에 따른 조단백질 함량에 유의적인 차이($p < 0.05$)를 보였다. 가슴육과 다리육의 조단백질 함량은 Positive 0.1% 처리구에서 가장 높았으며, Positive 0.05% 처리구도 대조구와 항산화제 처리구에 비해 유의적으로 높았다($p < 0.05$). Negative 처리구도 통계적으로 유의하지 않았으나 땅콩 겉껍질 추출물 첨가 처리구(0.05% 및 0.1%)의 조단백질 함량이 항산화제 처리구에 비해 높았다. 이를 통해 사료에 땅콩 겉껍질 추출물을 첨가하여 급여하면 가슴육과 다리육의 조단백질 함량에 개선효과가 있음을 확인하였다.

Table 4. The effect of dietary supplementation of peanut shell extract on proximate composition of breast and leg meat.

Item	Positive					Negative				
	Control	0.05%	0.1%	Antioxidant	SEM	Control	0.05%	0.1%	Antioxidant	SEM
Breast meat										
pH	6.01[z]ab	5.99ab	6.15a	5.96b	0.045	5.83b	6.00a	5.85ab	5.88ab	0.041
Cooking loss (%)	28.79	28.61	29.87	31.26	0.854	29.52	31.33	29.39	29.93	0.684
Moisture (%)	74.34	73.79	73.50	74.21	0.366	74.19	75.00	74.68	74.30	0.412
Crude protein (%)	22.43ab	22.79ab	22.99a	21.78b	0.371	22.14	22.02	22.56	22.66	0.435
Crude lipid (%)	2.32	2.56	2.37	2.55	0.233	2.26	2.06	2.22	2.25	0.286
Crude ash (%)	1.25	1.23	1.22	1.32	0.145	1.45	1.46	1.40	1.39	0.115
Leg meat										
pH	6.56ab	6.54ab	6.65a	6.45b	0.051	6.47	6.59	6.58	6.47	0.041
Cooking loss (%)	29.80ab	30.50ab	27.79b	32.46a	0.794	32.40	31.55	31.28	31.88	1.002
Moisture (%)	74.09ab	73.52ab	73.45b	74.32a	0.297	74.16	74.61	74.05	73.86	0.518
Crude protein (%)	22.35ab	22.71ab	22.97a	21.81b	0.331	22.13	21.90	22.37	22.52	0.389
Crude lipid (%)	2.31	2.55	2.37	2.56	0.235	2.26	2.05	2.21	2.24	0.278
Crude ash (%)	1.24	1.23	1.22	1.32	0.145	1.45	1.45	1.38	1.38	0.111

SEM, standard error of means.

[z] All data is presented as the mean of six replicates.

a, b: Means in a row within same diet treatment with different letters are significantly different ($p < 0.05$).

땅콩 겉껍질 추출물을 사료에 첨가하여 급여하였을 때, 육계의 가슴육과 다리육의 총페놀함량 및 항산화력에 미치는 영향은 Table 5에 나타내었다. 가슴육과 다리육 모두 Positive와 Negative 0.05% 처리구에서 총페놀함량이 증가하였으나 통계적 유의성은 인증되지 않았다($p > 0.05$). DPPH 라디컬 소거능은 추출물 내 항산화 물질의 전자공여능을 측정하는 방법으로 항산화 활성을 검정하는 대표적인 실험방법이다(Moreno et al., 2000). Positive 0.1% 처리구의 가슴육의 DPPH 라디컬 소거능은 81.55%로 무처리구(79.72%) 및 관행 항산화제 처리구(79.70%)에 비해 항산화 활성이 높았다. 선행 연구에서 강황 추출물을 첨가 급여하면 추출물의 농도가 높을수록 혈액 내 총항산화력이 향상된다고 보고된 바 있다(Kim et al., 2020a). 항산화활성을 측정하는 방법에는 DPPH 라디컬 소거능 측정 외에도 2,2'-azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) (ABTS) 라디칼 소거능, 환원력 검정 및 metal chelating 등의 다양한 방법이 있으며, 측정 방법에 따라 그 활성에 차이를 보이기도 한다. 땅콩 겉껍질 추출물 첨가에 따른 항산화력을 보다 정확하게 검토하기 위해 추후 다른 측정법을 이용하여 활성을 검정하고, 가슴육과 다리육 뿐만 아니라 혈액의 항산화활성을 측정하는 연구가 필요하다고 판단된다.

Table 5. The effect of dietary supplementation of peanut shell extract on total phenolic compounds content and antioxidant activity of breast and leg meat.

Item	Positive					Negative				
	Control	0.05%	0.1%	Antioxidant	SEM	Control	0.05%	0.1%	Antioxidant	SEM
Breast meat										
TPC (mg GAE·kg^{-1})	1,311.76^{z}	1,352.24	1,378.53	1,271.62	28.838	1,273.14	1,212.76	1,303.86	1,269.14	48.114
DPPH (%)	79.72	80.42	81.55	79.70	0.967	79.87	76.65	77.29	79.85	1.083
Leg meat										
TPC (mg GAE·kg^{-1})	1,099.43	1,061.38	1,130.14	1,047.14	27.917	1,072.38	1,047.05	1,123.24	1,094.53	35.085
DPPH (%)	65.22a	60.46ab	54.52b	58.66ab	1.952	61.41	57.49	59.55	60.76	2.221

SEM, standard error of means; TPC, total polyphenol contents; DPPH, 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl; GAE, gallic acid equivalent.

^{z} All data is presented as the mean of six replicates.

a, b: Means in a row within same diet treatment with different letters are significantly different ($p < 0.05$).

땅콩 겉껍질 추출물의 사료 내 첨가 급여에 따른 육질의 저장성(육색 및 지방산패도)에 미치는 영향은 Table 6과 같다. 육색은 소비자의 선호도와 닭고기의 저장기간을 결정하는데 중요한 품질 인자 중 하나이다(Park et al., 2005). 도살 직후 Positive 처리구의 명도(Hunter L*)는 땅콩 겉껍질 추출물 첨가구가 대조구와 항산화제 처리구에 비해 낮았다. Negative 처리구의 가슴육을 제외하고 다른 모든 처리에서 땅콩 추출물 첨가구의 적색도(Hunter a*)는 대조구에 비해 높았다. 또한 황색도(Hunter b*)는 가슴육과 다리육 모두 땅콩 겉껍질 첨가구에서 대조구와 항생체 처리구에 비해 낮았다. 육색은 myoglobin 색소와 산소의 반응으로 나타나며, 이러한 변화는 산소의 유무 및 양, 조직의 효소 활성, 저장 온도, 미생물, pH 및 급여되는 사료 등에 영향을 받는 것으로 알려져 있다(Park et al., 2005; Kim, 2010). 식육은 저장기간이 길어질수록 근육 내 단백질이 분해되어 유리 아미노산과 비단백태질소 화합물 등의 부산물을 생성하고, 이에 따라 pH가 증가하면 식육 표면에 빛의 산란이 약해져 myoglobin 색소가 빛을 더 오래 흡수하기 때문에 육색이 어둡게 된다(Swatland, 2008). 따라서 선행 연구에 의하면 닭고기의 명도와 적색도는 pH와 각각 음과 양의 상관관계를 갖는다고 보고된 바 있다(Bendall and Swatland, 1988; Jang et al., 2011). 본 연구에서도 명도와 pH의 상관계수(r)는 0일과 7일에 각각 -0.746 ($p = 0.001$)와 -0.900 ($p = 0.000$)로 음의 상관관계를 보였으며, 적색도와 pH의 상관계수(r)는 0일과 7일에 각각 0.519 ($p = 0.039$)와 0.663 ($p = 0.005$)로 양의 상관관계를 보이며 선행연구와 일치하였다(Fig. 1). 일반적으로 높은 적색도와 낮은 황색도는 닭고기의 신선도와 소비자의 기호도에 영향을 미치는 요인으로, 본 연구에서 땅콩 겉껍질 추출물 첨가에 따른 높은 적색도와 낮은 황색도의 유지는 저장 중 닭고기의 품질(육색) 저하 억제에 긍정적인 영향을 미칠 것으로 사료된다.

일반적으로 식육은 저장 중 식육 내 지방산이 분해되면서 지방산패도가 증가하게 된다(Jang et al., 2010). 가슴육은 Positive 및 Negative 처리구 간 저장 중 지방산패도에 유의미한 차이가 없었으나, 다리육은 Positive 0.1%와 Positive 및 Negative 항산화제 처리구에서 지방산패도가 증가되었다($p < 0.05$). 이러한 결과는 땅콩 겉껍질 추출물 0.5% 첨가가 저장 중 일어나는 지방 산화를 억제하였음을 의미한다. 선행 연구에 의하면, 식육 내 포화지방산의 함량을 증가시키고 불포화지방산의 함량을 감소시키면 지방산화가 억제된다고 보고된 바 있다(Moon et al., 2006). 추후 사료 내 땅콩 겉껍질 추출물 첨가에 따른 육계의 지방산패도 억제 효과를 명확하게 구명하기 위해 지방산 함량 및 조성에 대한 연구가 필요할 것으로 판단된다. 항산화제 처리구에서 대조구에 비해 지방산패도가 증가하는 경향은 Jang 등(2010)의 연구 결과와 일치하였다. 지방산패도와 품질 인자 간 상관관계를 분석한 결과, 지방산패도는 총페놀함량($r_{0day} = -0.799$ 및 $r_{7day} = -0.786$)과 항산화활성($r_{0day} = -0.793$ 및 $r_{7day} = -0.849$)과는 높은 음의 상관관계를 pH($r_{0day} = -0.890$ 및 $r_{7day} = -0.859$)와는 양의 상관관계를 보였다($p < 0.001$) (Fig. 1). 따라서 땅콩 겉껍질 추출물의 첨가급이는 항산화제 첨가 급이에 비해 총페놀함량 및 항산화활성을 증가시키고 pH의 증가를 억제시켜 지방산패도를 감소시키는 효과를 보였을 것으로 사료된다.

Table 6. The effect of dietary supplementation of peanut shell extract on breast and leg meat storability (color and lipid oxidation value) in broilers.

Item	Day	Positive					Negative				
		Control	0.05%	0.1%	Antioxidant	SEM	Control	0.05%	0.1%	Antioxidant	SEM
Breast meat											
Hunter L*[y]	0	55.35[z]a	54.05ab	51.98b	55.47ab	0.798	56.20	54.81	57.18	56.21	0.719
	7	55.22	55.33	53.59	55.66	0.690	56.34a	54.19b	57.48a	56.47a	0.561
Hunter a*	0	5.80	6.81	6.66	7.09	0.446	6.38	6.10	5.76	6.44	0.349
	7	6.08	6.3	5.76	6.13	0.340	6.70a	5.75bc	4.98c	5.97ab	0.228
Hunter b*	0	18.75	18.01	17.48	18.75	0.558	19.26a	17.92ab	17.38b	17.92ab	0.470
	7	16.79ab*	15.30b*	15.40ab*	16.98a*	0.440	17.67*	17.20	16.36	16.65	0.476
TBARS (mg·MDA·kg^{-1})	0	0.20	0.20	0.20	0.20	0.010	0.18	0.20	0.20	0.19	0.011
	7	0.21	0.22	0.23	0.21	0.010	0.19	0.21	0.22	0.22	0.013
Leg meat											
Hunter L*	0	54.35ab	51.64b	51.54b	55.41a	0.745	52.73	52.65	53.01	53.96	0.799
	7	53.07	52.85	52.55	54.69	0.762	52.05	52.40	52.83	52.78	0.820
Hunter a*	0	6.26b	7.95a	7.80a	6.13b	0.373	6.75	7.27	6.67	6.54	0.441
	7	7.01	6.75*	6.40*	6.29	0.347	8.03*	6.91	7.08	7.14	0.345
Hunter b*	0	13.12	12.08	12.24	13.20	1.014	13.75	12.85	11.53	13.44	1.074
	7	11.61	11.92	11.23	11.44	0.823	12.59	13.78	13.34	13.83	0.445
TBARS (mg·MDA·kg^{-1})	0	0.25	0.25	0.22	0.22	0.016	0.22	0.23	0.23	0.22	0.008
	7	0.27	0.31	0.28*	0.30*	0.023	0.26	0.25	0.29	0.34*	0.030

SEM, standard error of means.

[y] Color measurement was displayed in the Hunter L* (darkness—lightness), a* (greenness—redness), and b* (blueness—yellowness).

[z] All data is presented as the mean of six replicates.

* Indicates significant difference between 0 and 7 days of the same index at $p < 0.05$.

a, b: Means in a row within same diet treatment with different letters are significantly different ($p < 0.05$).

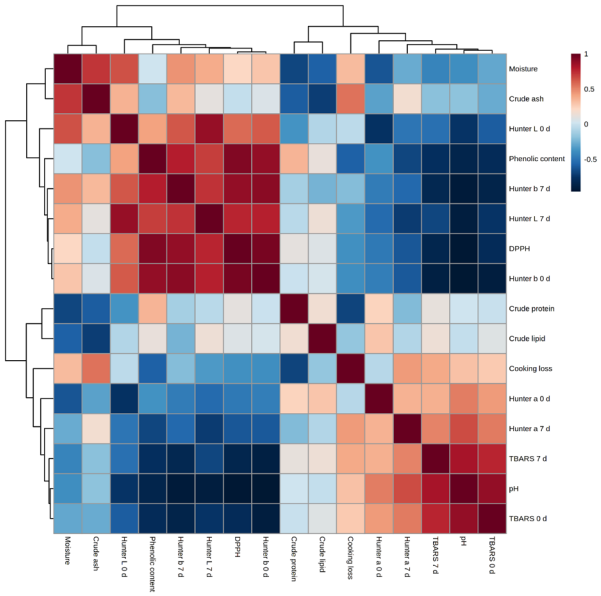

Fig. 1. Pearson's correlation coefficient (r) matrix from broilers characteristics and meat quality according to dietary supplementation of peanut shell extract. The analysis was performed using MetaboAnalyst 5.0 program with a distance measurement of Pearson's correlation coefficient test. Blue (-1) to red (1) colors indicate negative and positive correlations between individual parameters, respectively. TBARS, thiobarbituric acid reactive substances; DPPH, 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl.

땅콩 겉껍질 첨가물 첨가 처리구에 따른 육계의 도체특성 변화를 비교하기 위해 주성분 분석과 정규화 히트맵 분석을 수행한 결과는 Fig. 2와 같다. 주성분 분석 결과 PC1과 PC2는 각각 75.7%와 8.3%로 설명되었으며, longing plot의 품질 인자들 간 분포에 의해 scores plot이 크게 3개로 그룹화가 되었다(Fig. 2A). 땅콩 겉껍질 추출물 0.05% 첨가 처리에 따른 도체 특성은 대조구와 비교해 품질저하 없이 대체로 유사한 경향으로 그룹화가 됨을 확인하였다. 이러한 경향은 히트맵 결과에서도 확인 할 수 있었다(Fig. 2B). 히트맵 결과 처리 간 크게 두 그룹으로 군집화가 되었는데, 땅콩 겉껍질 추출물 0.05% 첨가 처리구는 대조구와 땅콩 겉껍질 추출물 0.1% 첨가물은 항산화제 처리구와 각각 연관성이 높게 조사되었다. 땅콩 겉껍질 추출물 0.05% 첨가구는 대조구와 함께 상대적으로 높은 총페놀 함량과 항산화활성을 보였고, 기존 항산화제 급이 사육과 비교하여 유사한 수준의 조단백질 함량과 적색도를 보였다. 또한 지질산패도는 추출물 0.05% 첨가구가 항산화제 처리구에 비해 낮게 유지됨을 확인하였다. 따라서 사료내 땅콩 겉껍질 추출물 0.05% 첨가는 육계의 도체특성에 긍정적인 영향을 미쳐 기능성 보조사료로 활용이 가능할 것으로 사료된다.

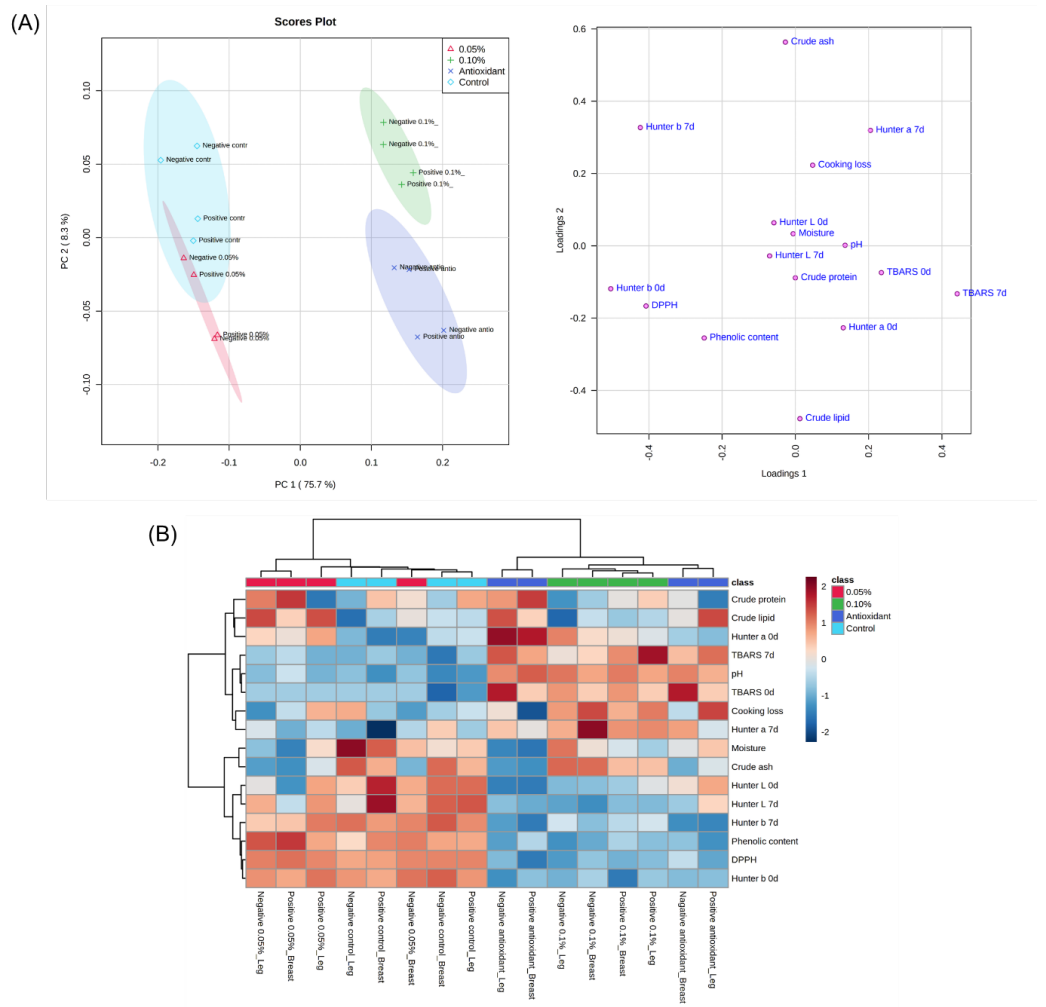

Fig. 2. Principal component analysis (PCA) and normalized heatmap of broilers characteristics and meat quality according to dietary supplementation of peanut shell extract. (A) PCA scores and loading plots were generated by using MetaboAnlyst 5.0 program. Confidence regions in PCA scores plot displayed at 95% with different colors. (B) Normalized response heatmap was evaluated using MetaboAnlyst 5.0 program with sample normalized by data scaling, Euclidean distance measurement, and the Ward clustering algorithm. The levels of individual parameters correspond to the color scales. A color gradient represented a low level (blue) to high level (red) of normalized value.

사료내 땅콩 겉껍질 추출물 첨가 급이에 따른 면역지표 변화

땅콩 겉껍질 추출물 첨가 급이에 따른 육계의 간과 파브리시우스 낭의 중량은 Table 7와 같다. 간과 파브리시우스 낭은 닭의 면역 지표로 사용되는 장기로 땅콩 겉껍질 추출물 처리에 따른 중량에 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다($p > 0.05$). 이는 식물 추출물의 첨가가 간과 파브리시우스 낭 조직에 부정적인 영향을 주지 않는다는 것을 의미한다. 본 연구에서는 간과 파브리시우스 낭의 중량만 측정하였는데, 추후 가슴살, 심장, 비장, 복강지방 등의 도체중을 측량하여 면역장기들에 미치는 영향을 전반적으로 검토할 필요가 있다고 사료된다.

땅콩 겉껍질 추출물의 사료 내 첨가 급이에 따른 혈액 내 IL-1β, IL-10, IFN-γ 및 TNF-α를 분석한 결과는 Table 7에 나타내었다. 혈액 내 사이토카인 수준은 21일령이 35일령 육계에 비해 높으나 모든 처리구에서 처리 간 통계적 유의성은 없었다($p > 0.05$). 21일령에서 Positive 및 Negative의 땅콩 겉껍질 추출물 첨가구는 대조구에 비해 상대적으로 높은 사이토카인 수준을 보였으나, 육계가 생장함에 따라 35일령에서는 추출물 첨가구가 대조구에 비해 낮은 경향을 보였다. IL-1β, IL-10, IFN-γ 및 TNF-α는 대표적인 염증성 사이토카인들로 선천성 면역의 일종인 급성기 단백질의 생성을 유도하여 면역반응을 조절하는 것으로 알려져 있다(Zhou et al., 2016). 따라서 추후에 식물 추출물 첨가 사료의 면역 지표 개선 효과를 검증하기 위해 선천성 면역과 관련된 다른 사이토카인이나 단백질 수준의 검토를 통한 면역조절물질의 기전 연구가 필요할 것으로 사료된다.

Table 7. The effect of dietary supplementation of peanut shell extract on organ weight and the level of cytokines in broiler blood.

Item	Positive				Negative				SEM	p-value			
	Control	0.05%	0.1%	Antioxidant	Control	0.05%	0.1%	Antioxidant		Corrected	Diet	Additive	Interaction
Organ weight													
Liver (g)	16.76[z]	16.22	16.82	16.95	16.75	16.12	16.16	16.10	0.615	0.926	0.361	0.824	0.877
Bursa of Fabricius (g)	3.21	3.06	2.93	3.48	2.93	2.65	3.17	3.08	0.217	0.293	0.169	0.293	0.399
Cytokine level													
Day 21 ($ng \cdot mL^{-1}$)													
IL-1β	3.26	3.84	3.39	2.87	3.40	3.63	3.34	2.54	1.680	1.000	0.924	0.942	0.999
IL-10	7.70	8.87	7.28	5.41	7.53	8.10	9.49	6.92	2.913	0.988	0.738	0.847	0.951
IFN-γ	1.41	1.89	2.10	1.35	1.17	1.20	1.24	0.95	0.899	0.987	0.394	0.936	0.986
TNF-α	12.73	11.72	11.60	8.74	8.79	9.34	9.54	7.08	2.006	0.521	0.085	0.441	0.945
Day 35 ($ng \cdot mL^{-1}$)													
IL-1β	0.35	0.34	0.38	0.29	0.66	0.66	0.42	0.27	0.290	0.954	0.417	0.847	0.907
IL-10	2.82	2.66	2.73	1.92	3.53	2.43	2.53	1.71	1.318	0.988	0.985	0.782	0.980
IFN-γ	0.83	1.07	1.16	0.83	0.67	0.47	0.62	0.41	0.411	0.881	0.144	0.935	0.953
TNF-α	9.07	8.33	8.03	8.02	6.69	6.97	5.26	4.42	2.389	0.867	0.143	0.881	0.973

SEM, standard error of means.

[z] All data is presented as the mean of six replicates.

사료내 땅콩 겉껍질 추출물 첨가 급이에 따른 경제성분석

땅콩 겉껍질 추출물 첨가 사료 급여에 따른 육계의 성장능력과 사료요구율을 Positive 대조구와 비교하여 사료비 절감효과를 검토하고, 농가 출하일령을 산출하여 절감된 사료비 기반 보조사료 급여에 따른 경제성 분석을 수행하였다(Fig. 3). 일당증체량은 Negative 0.05% 처리구(100.6%)가 Negative 대조구(97.9%)에 비해 높았으며, Positive control (100.0%)과 비슷한 수준으로 개선됨을 확인하였다. Positive 사료에 땅콩 겉껍질을 첨가한 사료는 Positive 대조구 대비 유사하거나 향상되는 경향을 보였다. 사료섭취량은 모든 첨가제 처리구에서 Positive보다 Negative에서 높았다. 사료요구율을 비교했을 때, Positive와 Negative 모두 땅콩 추출물을 첨가한 처리구가 대조구에 비해 개

선되었다. 특히 Negative 0.05% 처리구(103.0%)는 Negative 대조구(110.1%)에 비해 개선된 사료요구율을 보였으며, Negative 항산화제 첨가구(105.9%)에 비해 낮은 사료요구율을 보였다. 이를 통해 에너지를 감소시킨 Negative 사료에 땅콩 겉껍질 추출물 0.05%를 첨가하면 육계의 성장 보상 및 1.5 kg 도달일령(출하일령) 개선에 도움을 줄 수 있으며, 개선된 사료 섭취량과 1.5 kg 도달일령은 농가에 높은 경쟁력으로 적용할 수 있을 것으로 사료된다.

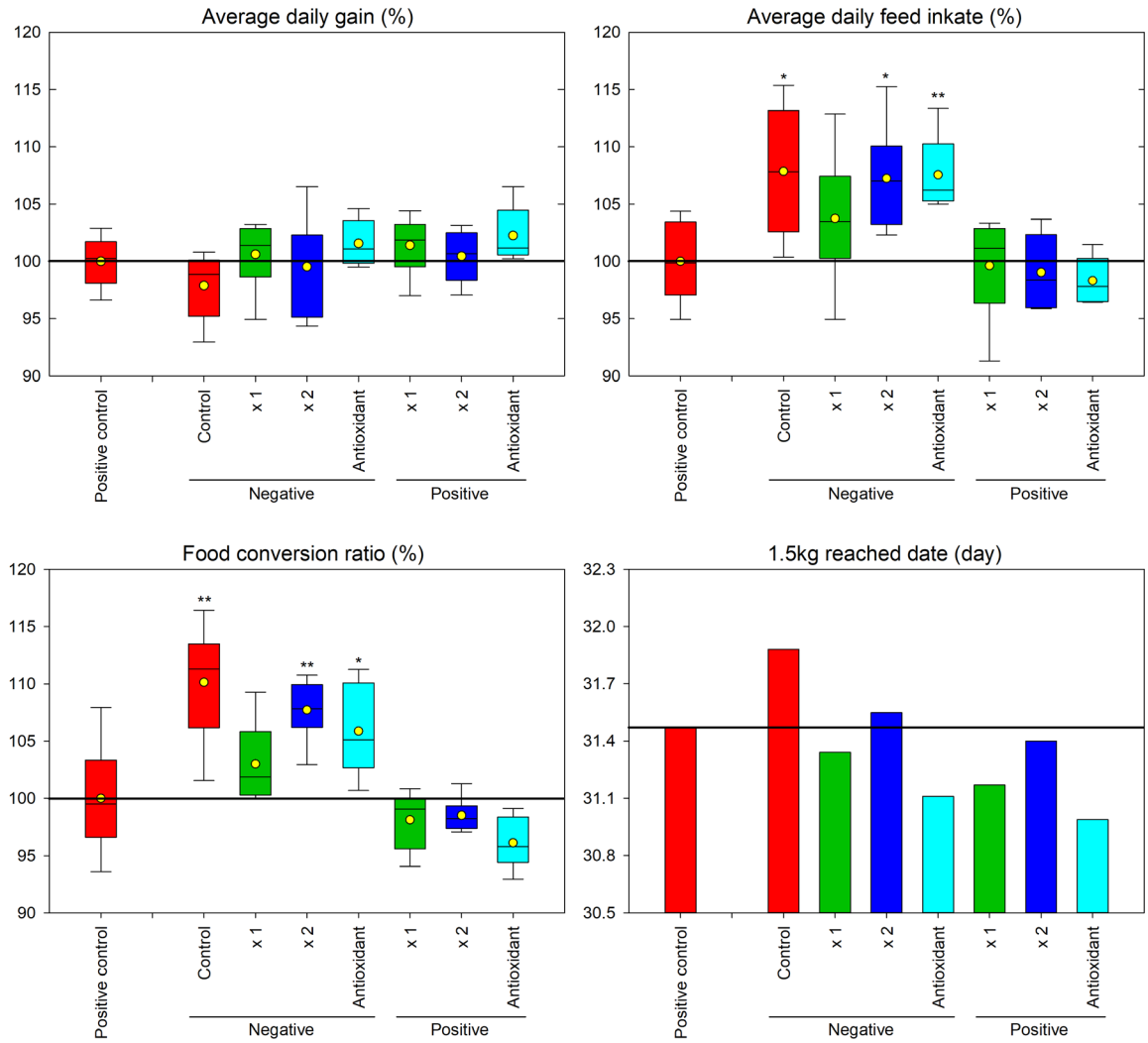

Fig. 3. Economic analysis of the effect of dietary supplementation of peanut shell extract on growth performance in broilers. Box plots indicate median (middle line), mean (circle with yellow in color) 25th and 75th (box), and 5th and 95th percentile (whiskers). * and ** indicate significant difference between each treatments and positive control with $p < 0.05$ and $p < 0.01$, respectively (independent t-test).

Conclusion

본 연구는 땅콩의 부산물로 폐기되는 겉껍질을 기능성 보조사료로 활용 가능성을 검토하고자 하였다. 에너지 수준을 감소시킨 사료에 땅콩 겉껍질 추출물 0.05% 첨가 급여(Negative 0.05% 처리구)는 Negative 대조군에 비해 35일령 체중이 47.86 g 개선되었다. 또한 Negative 0.05% 처리구는 가열감량, 조단백질 함량, 총페놀함량, 항산화력 및 지방산패도에 유의적인 개선효과를 보였다. 면역능력 지표(간과 파브리시우스 낭의 중량 및 사이토키닌 함량)는 처리구 간 차이가 없어, 땅콩 겉껍질 추출물 첨가한 사료 급여가 육계의 조직에 부정적 영향을 미치지 않음을 확인하였다. 경제성 분석 결과, 땅콩 겉껍질 추출물 첨가구는 대조구에 비해 사료 섭취량은 낮았지만 체중이 증가하여, 육계의 성장 보상 및 1.5 kg 도달 일령이 개선됨을 확인하였다. 종합적으로 Negative 사료에 땅콩 겉껍질 0.05% 첨가하여 급여할 경우 관행 사료에 비해 생산성 및 도체특성이 향상되었다. 이러한 결과는 땅콩 겉껍질 추출물의 보조사료 적용을 위한 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 판단되며, 추후 항산화제 대체제 활용 검토를 위한 추가연구가 필요할 것으로 사료된다.

Conflict of Interests

No potential conflict of interest relevant to this article was reported.

Acknowledgements

본 연구는 농촌진흥청 AGENDA 연구사업(과제번호: PJ01430301)의 지원에 의해 이루어진 것임.

Authors Information

Narae Han, https://orcid.org/0000-0001-6613-4789
Byong Won Lee, https://orcid.org/0000-0001-9193-3938
Jung Min Heo, Division of Animal and Dairy Science, Chungnam National University, Professor
Samooel Jung, Division of Animal and Dairy Science, Chungnam National University, Professor
Mihyang Kim, https://orcid.org/0000-0003-1299-4092
Jin Young Lee, https://orcid.org/0000-0002-7275-2899
Yu-Young Lee, https://orcid.org/0000-0002-7728-561x
Moon Seok Kang, https://orcid.org/0000-0002-7122-6600
Hyun-Joo Kim, https://orcid.org/0000-0002-4393-815x

References

AOAC (Association of Official Analytical Communities). 2000. Official methods of analysis. 17th ed. Method 911.43. AOAC, Washington, D.C., USA.
Bendall JR, Swatland HJ. 1988. A review of the relationship of pH with physical aspects of pork quality. Meat Science 24:85-126.

Bertioli DJ, Seijo G, FreitasFO, Valls JFM, Leal-Bertioli SCM, Moretzsohn MG. 2011. An overview of peanut and its wild relatives: Characterization and utilization. Plant Genetic Resources 9:134-149.

Bodoria R, Cittadini MC, Velez A, Rossi Y, Montenegro M, Martínez N, Maestri D. 2022. An overview on extraction, composition, bioactivity and food applications of peanut phenolics. Food Chemistry 381:132250.

Cho HM, Son HC, Wickramasuriya SS, Macelline SP, Hong JS, Kim YB, Cho SH, Heo JM, Yi YJ. 2019. Growth performance of crossed breed Korean domestic chickens for twelve weeks after hatching. Korean Journal of Agricultural Science 46:591-599. [In Korean]

Dewanto V, Wu X, Liu RH. 2002. Processed sweet corn has higher antioxidant activity. Journal of Agricultural Food Chemistry 50:4059-4964.

Hernández F, Madrid J, García V, Orengo J, Megías MD. 2004. Influence of two plant extracts on broilers performance, digestibility, and digestive organ size. Poultry Science 83:169-174.

Jamroz D, Wiliczkiewicz A, Wertelecki T, Orda J, Skorupiñska J. 2005. Use of active substances of plant extract origin in chicken diets based on maize and locally grown cereals. British Poultry Science 46:485-493.

Jang A, Ham JS, Kim DW, Seol KH, Oh MH, Shae HS, Kim SH, Kim DH. 2011. Dietary supplementation of resveratrol and methoxylated resveratrol affects on chicken thigh meat quality. Korean Journal of Poultry Science 38:315-322. [in Korean]

Jang A, Park JE, Kim SH, Chae HS, Ham JS, Oh MH, Kim HW, Seol KH, Cho SH, Kim DH. 2010. Effect of dietary supplementation of quercetin on oxidative stability of chicken thigh. Korean Journal of Poultry Science 37:405-413. [in Korean]

Jo JK, Yoon SY, Kim JS, Kim YW, Yun K, Kwon IK, Chae BJ. 2009. Effect of garlic extract supplementation of growth performance, nutrient digestibility, carcass characteristics and meat composition in broilers. Korean Journal of Poultry Science 34:287-292. [in Korean]

Kim BG, Lindemann MD. 2007. A new spreadsheet method for experimental animal allotment. Journal of Animal Science 85:112.

Kim DW, Hong EC, Ji SY, Lee WS, Bang HT, Kang HK, Kim HS, Kim SH. 2015. Effects of dietary resveratrol on growth performance, blood biochemical parameter, immunoglobulin, and blood antioxidant activity in broiler chicks. Korean Journal of Poultry Science 42:147-156. [in Korean]

Kim DW, Nho WG, Kim SH. 2020a. Efficacy of dietary supplementation of turmeric extract containing curcumin in broiler chicks. Resources Science Research 2:28-38. [in Korean]

Kim HJ, Woo KS, Lee JY, Choe ME, Lee H, Lee YY, Lee BW, Kim M, Kang MS. 2020b. Physicochemical properties, functional components, and physiological activities of sorghum cultivars. Journal of the Korean Society of Food Science and Nutrition 49:1349-1356. [in Korean]

Kim MH, Kim SH, Cho HS, Park BH. 2016. Quality characteristics of Cheonggukjang added with peanut (*Arachis hypogaea* L.) powder. Korean Journal of Food Preservation 23:488-494. [in Korean]

Kim MY, Kim HJ, Kim MH, Lee JY, Lee YY, Lee BK, Lee BW. 2019. Changes in physiological activities of peanut and defatted peanut extracts according to cultivars. Journal of the Korean Society of Food Science and Nutrition 48:847-855. [in Korean]

Kim YJ. 2010. Effects of dietary supplementation of garlic by-products on total phenol contents, DPPH radical scavenging activity, and physicochemical properties of chicken meat. Korean Journal for Food Science of Animal Resources 30:860-866. [in Korean]

Lee JY, Lee JH, Lee MH, Song YH, Lee JI, Ohh SJ. 2016. Effect of stocking density and dietary protein level on performance, meat quality and serum corticosterone of slow-growing Korean meat-type chicken (Hanhyup 3). Korean Journal of Poultry Science 43:219-228. [in Korean]

Limmongkon A, Janhom P, Amthong A, Kawpanuk M, Noppran P, Poohasduan J, Somboon T, Saijenn S, Surangkul D, Srijummool M, et al. 2017. Antioxidant activity, total phenolic, and resveratrol content in five cultivars of peanut sprouts. Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine 7:332-338.

Moon SS, Shin CW, Joo ST, Park GB. 2006. Effects of dietary conjugated linoleic acid levels and periods on meat quality in breast and thigh muscles of broiler. Journal of Animal Science and Technology 48:107-114.

Moreno MIN, Isla IM, Sampietro AR, Vattuone MA. 2000. Comparison of the free radical-savenging activity of propolis from several regions of Argentina. Journal of Ethnopharmacology 71:109-114.

NIAS (National Institute of Animal Science). 2017. Korean feeding standard for poultry. RDA NIAS, Wanju, Korea. [In Korean]

Pang Z, Cong J, Zhou G, de Lima Morais DA, Chang L, Barrette M, Gauthier C, Jacques PÉ, Li S, Xia J. 2021. MetaboAnlyst 5.0: Narrowing the gap between raw spectra and functional insights. Nucleic Acid Research 49:388-396.

Park M, Han D, ShinY, Won C, Yeon S, Jung T, Kim J, Lee H, Kim Y, Kim E, et al. 2005. Effects of *Saururus chnesis B*. and *Carthamus tinctorius L*. on physico-chemical properties of broiler chicks. Journal of Veterinary Clinics 22:125-129.

Sinnhuber RO, Yu TC. 1977. The 2-thiobarbituric acid reaction, an objective measure of the oxidative deterioration occurring in fats and oils. Journal of Japanese Society Fisheries Science 26:259-267.

Swatland HJ. 2008. How pH causes paleness or darkness in chicken breast meat. Meat Science 80:396-400.

Yu M, Cho HM, Hong JS, Kim YB, Nawarathne SR, Heo JM, Yi YJ. 2021. Comparison of growth performance of Korean native chickens, broiler chickens and white semi broilers during 40 days after hatching. Korean Journal of Agricultural Science 48:133-140. [In Korean]

Zhou Z, Xu MJ, Gao B. 2016. Hepatocytes: A key cell type for innate immunity. Cellular & Molecular Immunology 13:301-315.