



효소가수분해 도계부산물물의 급여가 육계의 생산성 및 혈액 생화학적 특성에 미치는 영향

곽민근¹ · 박혜성² · 김봉기³ · 박희복³ · 김지혁^{3*}

¹㈜에스씨아이 이사, ²공주대학교 산업과학대학 동물자원학과 대학원생,
³공주대학교 산업과학대학 동물자원학과 교수

Effects of Feeding Enzyme-Hydrolyzed Poultry By-Product Meal on Productivity and Blood Biochemical Characteristics in Broilers

Min-Geun Gwak¹, Hye-Sung Park², Bong-Ki Kim³, Hee-Bok Park³ and Ji-Hyuk Kim^{3*}

¹Managing Director, SCI, Inc., Hongseong 32211, Republic of Korea

²Graduate Student, Department of Animal Resources Science, Kongju National University, Yesan 32439, Republic of Korea

³Professor, Department of Animal Resources Science, Kongju National University, Yesan 32439, Republic of Korea

ABSTRACT The purpose of this study was to investigate whether enzyme-hydrolyzed poultry by-product meal (EHPBM) is more effective as a protein source than poultry by-product meal (PBM) and soybean meal (SBM) for broiler chickens. A group of 300 one-day-old broiler chicks was randomly allocated to three treatments with five replicates (20 birds/replicate) for five weeks. The treatments consisted of basal diets containing 1) SBM, 2) PBM, and 3) EHPBM. The EHPBM-fed group (1,853 g±125.60) showed the highest final body weight ($P<0.05$) when compared to the PBM-fed group (1,723 g±76.81) and SBM-fed group (1,545 g±62.31). The feed conversion ratio of the EHPBM treatment group (1.740±0.104) was significantly higher ($P<0.05$) than those of the SBM (1.653±0.056) and PBM groups (1.674±0.072). It can be speculated that the increased feed intake in the EHPBM group led to higher body weight gain and FCR. There was no significant effect of treatments on internal organ weight except for the bursa of Fabricius. Blood biochemical characteristic analysis showed that aspartate aminotransferase and alkaline phosphatase levels were higher in the EHPBM and PBM groups ($P<0.05$), probably due to the strained liver caused by the rapid growth of birds. In conclusion, EHPBM may partly replace conventional dietary protein sources such as soybean meal or poultry by-product meal and can be used to improve the productivity of broilers.

(Keywords: enzyme-hydrolyzed, poultry by-product meal, growth performance, blood characteristics, broiler)

서 론

육계의 생산성 향상을 위해 양질 단백질의 충분한 공급은 필수적인 요건이다. 육계 사육 시 사료 내 단백질 함량을 증가시킬수록 증체량이 증가하여 생산성이 향상된다는 것은 잘 알려져 있다(Parsons and Baker, 1982). 단백질에 대한 많은 연구를 통해 아미노산의 함량과 구성비의 중요성까지 강조되었고, 현재 배합사료 생산에 적용되고 있다(Kim, 2015). 보다 효율적이고 이상적인 단백질원을 찾기 위한 노력이 계속되면서 전통적인 원료 외에 다양한 대체 원료를 발굴하여

활용하려는 연구도 진행되고 있다. 일레로 육계 사료 내 대두박을 갈색거저리(*Tenebrio molitor*) 애벌레로 대체한 실험과 등에등에(Black soldier fly)로 대체한 실험에서 생산성 향상에 가시적인 효과가 있었으며, 대두박을 대체 가능하다는 연구결과가 보고된 바 있다(Bovera et al., 2016; Cullere et al., 2016).

단백질은 동물성과 식물성으로 분류되는데, 동물성 단백질은 식물성 단백질보다 가축의 생산성 향상에 효과적이다(Yun et al., 2005). 이는 동물성 단백질의 필수아미노산의 조성이 우수하고 식물성 단백질에서 부족하기 쉬운 라이신,

* To whom correspondence should be addressed : jihyuk@kongju.ac.kr

메티오닌 등이 풍부하며, 미지성장인자를 함유하고 있기 때문이다. Ojewola et al.(2005)은 어분, 어류부산물 및 식물성 단백질을 비교한 실험에서 식물성 단백질 처리구에 비하여 낮은 조단백질 함량에도 불구하고, 어분 및 어류부산물을 급여한 처리구가 생산성이 높았음을 확인하였다. 동물성 단백질 원료로 사용되는 어류, 육류 및 그 부산물들은 수분을 많이 함유하고 있어 빠르게 부패되고, 미생물에 의해 오염될 수 있어 대부분 원료를 냉동 수송 또는 단시간에 수송하여 고온 건조하는 방식으로 생산된다. 현재 일반적으로 사용되고 있는 어분, 육골분, 육분, 혈분, 우모분 및 도계부산물 등이 고온 건조되는 1차 가공품의 형태이다.

도계부산물은 도계 시 발생하는 부산물인 머리, 발, 내장, 혈액, 우모 및 발골뼈 등으로 가압과 열처리 과정을 통해 단백질, 에너지 및 광물질이 풍부한 가축사료로 이용될 수 있다(Boushy, 1985). 그간 여러 연구들을 통해 도계부산물의 일반성분, 아미노산 조성, 비타민 및 광물질 함량 등 영양적 가치가 조사되었고, 도계부산물 부위별 생산량과 생물학적 이용성에 대해서도 연구가 수행되어 우수한 동물성 단백질 원료로 확인되었다(Allen et al., 1989; Leeson and Summers, 1991; NRC, 1994; Lee, 1997a).

국내에서 도계부산물을 닭에게 급여한 연구는 많이 보고되지 않았는데, 육계 사료에 대한 건조 도계부산물의 사료 가치 평가(Na et al., 1994), 가압 열처리 도계부산물의 산란계 급여 연구(Lee, 1997b) 정도이다. 도계부산물은 뼈를 포함하는 모든 불가식부위를 제외한 정육율로 볼 때 닭 체중의 약 60% 정도가 발생하며(Lee, 1997a), 육계 사육의 대규모화, 도계장의 대형화 및 닭고기 수요의 증가로 인하여 그 발생량이 증가하고 있다. 이러한 도계부산물을 가공하여 이용률을 높이고, 보다 효과적인 원료로 부가가치를 상승시킨다면, 고급 원료로서의 측면뿐 아니라 부산물의 활용성 확대라는 환경적인 측면에서도 긍정적인 것으로 판단된다.

단백질의 이용률을 높이는 방법 중 하나는 가수분해 방식이다. 가수분해 방식에는 화학적 가수분해, 효소 가수분해 등 다양한 방식이 있다. 화학적 처리방식으로는 돈모(豚毛)를 알칼리 가수분해하여 수닭 종계에 급여한 실험에서 단백질 원료인 대두박의 10%를 대체 가능하다는 연구결과가 보고되었다(Oh et al., 2011). 효소 가수분해는 화학적 가수분해 방식과는 달리 맛과 향을 향상시켜 주며, 단백질의 용해도를 높여 흡수율 및 이용률을 향상시킨다(Lee et al., 1984). 효소 가수분해에 관한 연구는 새우 부산물, 연어, 양의 내장, 잉어, 우렁이 등 다양한 원료로 수행되었다(Sathivel et al.,

2005; Holanda et al., 2006; Bhaskar et al., 2007; Wasswa et al., 2007; Xia et al., 2007).

본 연구는 도계부산물의 흡수율과 이용률을 높이기 위해 효소로 가수분해 처리한 가수분해 도계부산물(Enzyme-hydrolyzed poultry by-product meal, EHPBM)을 단백질원으로 육계에 급여하고, 대두박(Soybean meal, SBM) 및 가수분해하지 않은 도계부산물(Poultry by-product meal, PBM)과 비교하여 생산성, 장기 발달 및 혈액 특성에 미치는 영향을 구명하기 위해 수행하였다.

재료 및 방법

1. 실험설계 및 사양관리

사양실험은 암수감별을 하지 않은 1일령 육계(Abor Acres) 300수를 이용하여 35일간 수행하였다. 실험설계는 사료 내 단백질원으로 각각 대두박(SBM), 도계부산물(PBM) 및 가수분해 도계부산물(EHPBM)을 함유하는 3개의 처리구를 두었고, 팬당 20수씩 5반복으로 배치하였다. 육계는 시험기간 동안 왕겨 깔짚의 평사(2 m × 1.5 m)에서 사육하였고 물과 사료는 자유급이하였으며, 점등은 24시간 유지하였다. 계사 내 온도 및 습도는 1주령에 32~33℃, RH 70±5%, 이후 주령이 증가함에 따라 2~3℃씩 낮추어 5주령에 22~23℃, RH 60%가 되도록 조절하였다.

실험사료는 NRC(1994) 사양표준을 참고하여 전기사료(1~21days, ME 3,030 kcal/kg, CP 22.3%)와 후기사료(22~35 days, ME 3,250 kcal/kg, CP 20.3%)를 가루사료의 성상으로 배합하여 급여하였다(Table 1). 본 연구는 대학의 동물실험 윤리위원회의 승인(2020-03)을 받아 시행하였다.

2. 가수분해 도계부산물

실험에 사용한 효소 가수분해 도계부산물(Enzyme-hydrolyzed poultry by-product meal)은 알칼리 효소 가수분해(Alkaline enzyme hydrolysis)하여 저분자화 시키고 spray-dry 하였다. 도계부산물은 국내에서 생산된 W사의 제품을 사용하였으며, 효소(Alkaline protease)는 활성 200,000 U/g의 J사 제품을 사용하였다. 가수분해는 Kurozawa et al.(2008)의 방법에 기초하여 가수분해도를 측정하였으며, 최적 반응온도 65℃, 효소량 0.2%, pH 10, 반응시간 7 hrs으로 설정하였다. 스프레이 드라이어는 210℃~235℃, Atomizer 8,700 rpm 조건 하에서 작동하였다. 대두박(SBM), 도계부산물(PBM), 가수분해 도계부산물(EHPBM)의 일반성분 및 아미노산 조성

Table 1. Formula and nutrient composition of experimental diets

	Starter (1~21d)			Grower (22~35d)		
	SBM	PBM	EHPBM	SBM	PBM	EHPBM
Ingredients (%)						
Corn	52.00	62.55	62.00	54.40	64.50	64.15
Soybean meal	32.00	0.00	0.00	30.24	0.00	0.00
Poultry by-product meal	0.00	22.00	0.00	0.00	20.70	0.00
Enzyme-hydrolyzed poultry by-product meal	0.00	0.00	22.90	0.00	0.00	21.00
Sesame seed meal	5.50	5.30	5.50	3.00	3.00	3.00
Rice bran	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
Tallow	3.40	2.90	3.10	6.26	5.70	5.90
Dicalcium phosphate	2.00	2.00	2.00	1.20	1.00	1.00
Limestone	0.80	0.80	0.80	1.00	1.00	1.00
Salt	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
Vitamin premix ¹	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
Mineral premix ²	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
L-Lysine HCl	0.30	0.60	0.00	0.00	0.25	0.15
DL-Methionine	0.20	0.15	0.10	0.20	0.15	0.10
Nutrient content						
ME (kcal/kg)	3,036	3,039	3,034	3,250	3,250	3,255
Crude protein (%)	22.38	22.38	22.38	20.35	20.35	20.36
Lysine (%)	1.51	1.53	1.53	1.39	1.37	1.35
Methionine (%)	0.55	0.53	0.54	0.56	0.54	0.54

SBM: soybean meal, PBM: poultry by-product meal, EHPBM: enzyme-hydrolyzed poultry by-product meal.

¹ Provided per kg of complete diet: vitamin A, 10,000 IU; vitamin D₃, 2,500IU; vitamin E, 20 IU; vitamin B₁, 1.5 mg; vitamin B₂, 5.0 mg; vitamin B₆, 0.15 mg; vitamin B₁₂ 15.0 mg; choline, 300 mg; pantothenate, 12 mg; nicotinic acid, 50 mg; biotin, 0.15 mg; folic acid, 1.5 mg.

² Provided per kg of diet: Fe, 60 mg; Cu, 10 mg; Zn, 80 mg; Mn, 110 mg; Iodine, 0.48 mg; Se, 0.40 mg.

은 Table 2에 나타내었다.

3. 분석 항목 및 방법

1) 도계부산물물의 가수분해도

가수분해도의 측정은 SDS-PAGE(sodium dodecyl sulfate polyacrylamide gel electrophoresis)와 MALDI- TOF (matrix-assisted laser desorption ionization - time of flight mass spectrometry) 분석을 이용하여 확인하였다. SDS-

PAGE는 도계부산물물과 가수분해 도계부산물 구성 분자의 크기 비교를 위하여 다음과 같은 방법으로 수행하였다. 시료들을 증류수로 희석을 하여 45분간 shaking하고, 10,000 rpm에서 5분간 원심분리하였다. Loading buffer 1 mL와 2-mercaptomethanol 0.2 mL을 넣고 혼합한 후, 원심분리한 시료 100 µL를 tube에 담아 loading buffer 100 µL와 혼합하였다. Thermobath를 100℃로 설정 후 샘플을 1분간 넣어 단백질들을 변성시키고, 샘플을 SDS-PAGE frame(resolving gel, 10%)의 각 레일에 5 µL씩 주입하여 전기영동을 걸어 확인하

Table 2. Chemical and amino acid composition of SBM, PBM and EHPBM (%)

	SBM	PBM	EHPBM
Dry matter	88.00	92.30	95.00
Crude protein	47.80	65.19	65.00
Crude fat	3.00	4.05	4.10
Crude ash	7.10	10.15	11.05
ME (kcal/kg)	2,460	2,140	2,180
Amino acids			
Alanine	2.06	4.12	4.47
Arginine	3.35	4.61	4.25
Aspartic acid	5.41	5.46	5.67
Cysteine	0.80	0.82	0.91
Glutamic acid	8.50	9.49	7.79
Glycine	1.98	5.47	5.67
Histidine	1.32	1.92	1.41
Isoleucine	2.65	2.15	2.32
Leucine	3.72	4.64	4.60
Lysine	2.72	3.91	8.63
Methionine	0.64	1.45	1.41
Phenylalanine	2.56	2.44	2.54
Proline	2.53	3.70	4.19
Serine	2.51	3.14	2.76
Threonine	1.70	2.66	2.72
Tryptophan	0.62	0.94	0.50
Tyrosine	1.64	2.15	1.94
Valine	2.38	2.83	2.82

SBM: soybean meal, PBM: poultry by-product meal, EHPBM: enzyme-hydrolyzed poultry by-product meal.

였다.

MALDI-TOF 분석을 통한 분자량 측정은 가수분해 도계 부산물 50 mg을 초정제수 1 mL에 넣어 약 5분간 vortex를 시킨 후 24시간 정치시켜 insoluble material이 충분히 가라앉게 기다리고, 위에 남은 상등액만을 옮겨 DW(0.3% TFA)로 2배 희석했다. 희석한 액 40 μ L를 ZipTip C18을 이용하여 desalting을 수행하고, ZipTip C18에서 용출된 용액은 Speed Vac을 통하여 건조한 후 20 μ L의 DW(0.3% TFA)로 재용해 후 측정을 시도하였다.

2) 생산성, 장기 발달 및 혈청 생화학 분석

실험 개시 후 체중은 1주일 단위로 측정하여 증체량을 구하였다. 1일령과 35일령은 개체별 측정을 하였으며, 7일령, 14일령, 21일령, 28일령은 각 팬별 일괄 측정하여 평균을 산출하였다. 사료섭취량은 매주 총 사료 급여량에서 사료 잔량을 공제하여 구하였으며, 사료요구율은 사료섭취량을 증체량으로 나누어 계산하였다.

5주 실험 종료 후, 각 처리구당 25수씩 총 75수를 선발하여 익하정맥에서 채취한 혈액에서 혈청을 분리해 자동 혈액

분석기(AU480 Chemistry Analyzer, Beckman Coulter Inc., CA, USA)를 이용해 생화학 성분(total protein, albumin, globulin, total bilirubin, glucose, blood urea nitrogen, creatinine, aspartate aminotransferase, alanine aminotransferase, alkaline phosphatase)을 분석하였다. 채혈을 마친 닭들은 도계한 후, 근위, 간, 심장, 비장 및 F낭을 채취하여 무게를 측정하고, g/100 g BW로 환산하였다.

4. 통계처리

통계분석은 SAS(Ver. 17.0)을 이용하였으며, 결과는 평균 \pm 표준편차로 표시하였다. 조사항목별 평균 간의 차이는 다중검정법(Duncan's multiple range test)을 이용하여 5% 유의수준에서 통계적 차이를 분석하였다.

결과 및 고찰

1. 가수분해 도계부산물의 특성

SDS-PAGE 분석으로 가수분해 도계부산물(EHPBM)과 도계부산물(PBM)의 분자량을 비교하였다(Fig. 1). 도계부산물 구성 성분의 분자량은 큰 분자량 위주의 크기 별로 분산되어 있는 것에 반하여 가수분해 도계부산물 구성 성분의 분자량은 대부분 10 kDa(kilo dalton) 이하인 것으로 나타났다. 이는 도계부산물 구성 성분들이 가수분해 반응을 통해 저분자화 된 것으로 볼 수 있다. 이를 더 명확하게 판단하기 위해 실행한 가수분해 도계부산물의 MALDI-TOF 분석에서

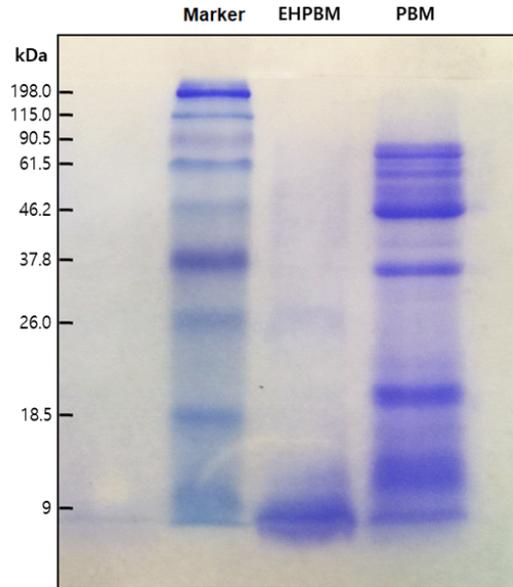


Fig. 1. SDS-PAGE of EHPBM (enzyme-hydrolyzed poultry by-product meal) and PBM (poultry by-product meal).

분자량의 크기가 9.7 kDa, 7.7 kDa, 4.6 kDa, 2.5 kDa 및 그 이하에서 피크를 나타냈다(Fig. 2). 이 결과들로 가수분해 도계부산물의 가수분해가 잘 이루어졌음이 확인되었다.

2. 증체량, 사료섭취량 및 사료요구율

1일령~35일령 육계의 처리구별 증체량, 사료섭취량 및 사료요구율은 Table 3에, 주령별 체중과 성장률은 Fig. 3에 나타내었다. 대두박(SBM), 도계부산물(PBM), 가수분해 도

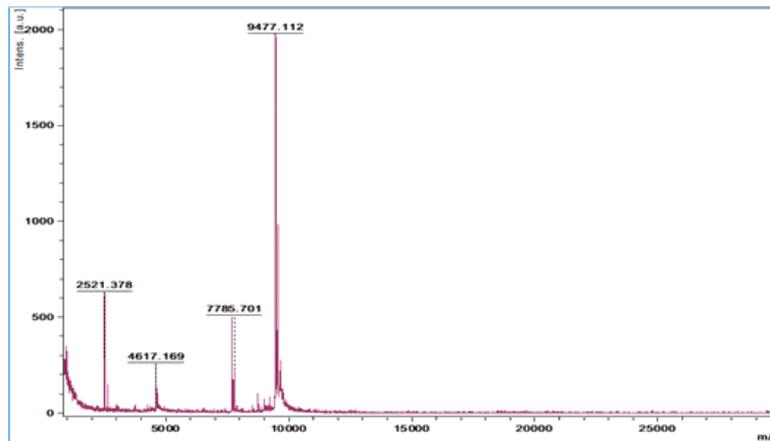


Fig. 2. MALDI-TOF of EHPBM(enzyme-hydrolyzed poultry by-product meal). Mode of operation:Linear/Reflector, Extraction mode:Delayed, Polarity:Positive, Acquisition control: Manual, Accelerating voltage: 25,000 V/20,000 V, Grid voltage:93%/90%, Guide wire 0:0.05%, Extraction delay time:575nsec, Acquisition mass range:Variable, Number of laser shots:800/spectrum, Laser intensity:2091~2781, Laser Rep Rate:20.0 Hz, Calibration type:Cal Mix2,3, Calibration matrix:Sinapinic acid/CHCA, Low mass gate:4000Da/20Da, Instrument name:Ultraflex III.

Table 3. Effect of SBM, PBM and EHPBM as a dietary protein source on body weight gain, feed intake and feed conversion ratio in broilers for 35 d

	SBM	PBM	EHPBM
Body weight gain (g/bird)	1,545±62.31 ^a	1,723±76.81 ^b	1,853±125.60 ^c
Feed intake (g/bird)	2,553±122 ^a	2,884±159 ^b	3,224±166 ^c
Feed conversion ratio	1.653±0.056 ^a	1.674±0.072 ^a	1.740±0.104 ^b

^{a-c} Values (Means±SD) with different superscript within the same column significantly differ ($P<0.05$).

SBM, soybean meal; PBM, poultry by-product meal; EHPBM, enzyme-hydrolyzed poultry by-product meal.

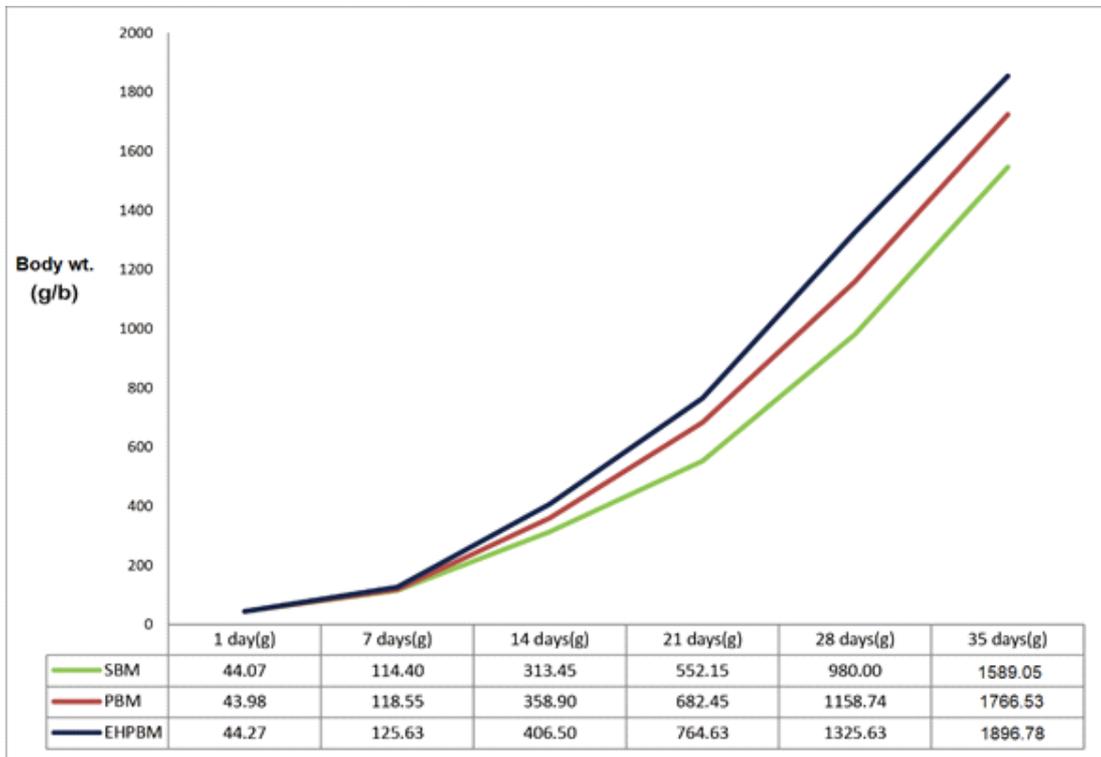


Fig. 3. Effect of various protein sources on body weight and growth of broiler for 35 days. SBM: soybean meal, PBM: poultry by-product meal, EHPBM: enzyme-hydrolyzed poultry by-product meal.

계부산물(EHPBM)을 각각 급여받은 육계들은 사료섭취량과 증체량에서 처리구간에 유의적인 차이를 보였다 ($P<0.05$). 35일간 증체량은 가수분해 도계부산물 처리구(1,853±125.60 g)에서 도계부산물 처리구(1,723±76.81 g)와 대두박 처리구(1,545±62.31 g)에서보다 높았다($P<0.05$). 동물성 단백질을 급여한 선행 연구들과 비교하여 보면, Bovera et al.(2016)이 대두박을 갈색거저리(*Tenebrio molitor*) 애벌레로 대체한 실험에서 30~60일령까지의 육계에 급여하였을 때 일당증체량이 약 5.7% 개선되었다는 결과와, Cullere et al.(2016)이 대두박을 동애등에(Black soldier fly)로 일부 대체한 실험에서 1~28일령까지의 육계에 급여하였을 때 일당

증체량이 약 1.8% 개선되었다는 결과와 유사하였다. 또한 Ojewola et al.(2005)이 수행한 실험에서 식물성 단백질 처리구보다 어분 및 어류부산물을 급여한 처리구의 일당증체량과 사료요구율이 개선된 결과, 그리고 대두박 및 채종박을 단백질원으로 급여한 대조구에 비해 어분을 주요 단백질원으로 급여한 처리구에서 사료섭취량 및 증체량이 높았던 Hossain et al.(2013)의 결과와도 유사하였다. Mahmood et al.(2017)은 도계부산물에 단백질 분해효소(exogenous protease)를 첨가 급여한 육계 사양실험에서 대조구에 비해 사료섭취량과 증체량이 유의적으로 증가하였다고 보고하였다. 이들 연구에서 나타난 생산성 향상은 동물성 단백질원의 우

수한 아미노산 조성 및 소화율에 기인하기도 하지만, 육계가 식물성 단백질보다 동물성 단백질 원료에 더 높은 기호성을 보이므로 인한 사료섭취량 증가도 영향을 미친 것으로 사료된다. Bhuiyan et al.(2012)은 동물성 단백질 사료와 식물성 단백질 사료를 선택 채식하도록 한 choice feeding 실험에서 육계들이 동물성 단백질 사료에 유의적으로 높은 선호도를 나타냈다고 보고하였으나, 명확한 이유를 제시하지는 못하였다.

사료요구율은 대두박과 도계부산물 처리구에서 각각 1.653 ± 0.056 , 1.674 ± 0.072 로 가수분해 도계부산물 처리구 (1.740 ± 0.104)보다 유의적으로 낮은 수치를 보였다($P < 0.05$). 그러나 실험 전기간 동안의 증체량 차이, 그리고 체중 증가에 따른 사료요구율 상승을 모두 고려하면 도계부산물 및 가수분해 도계부산물이 대두박에 비해 사료효율적 관점에서는 다소 떨어지나, 전체적인 생산성 측면에서는 긍정적인 결과를 나타냈다고 볼 수 있다.

이러한 결과는 동물성 단백질이 식물성 단백질보다 육계의 생산성 향상에 효과적임을 재차 확인한 것이며, 가수분해 반응으로 저분자화 된 단백질이 육계의 체내에서 보다 효율적으로 이용될 수 있음을 보여준 것이라 할 수 있을 것이다. 이는 가수분해 반응으로 사전 소화가 이루어져 소화과정 중에 소비되는 에너지가 절약된 점, 소장에서의 빠른 흡수로 원활한 아미노산 공급 및 저분자 펩타이드의 선택적 흡수 등 복합적인 원인에 의한 결과로 사료된다.

3. 소화기관 및 기타 장기

장기의 무게는 F낭을 제외하고 처리구간에 유의적인 차이를 보이지 않았다(Table 4). 이는 Ojewola et al.(2005)이 식물성 단백질 처리구와 동물성 단백질인 어분 및 어류부산물을 급여한 처리구를 비교한 연구에서 전위, 근위, 간 및

심장 무게 차이에 유의성이 없었던 결과와 유사하다. 면역기능과 관련이 있는 것으로 알려진 F낭 무게는 대두박 처리구(SBM)에서 가장 높았고, 도계부산물 처리구(PBM)에서 가장 낮게 나타났다($P < 0.05$). Ahmed et al.(2020)은 대두박과 채종박을 단백질원으로 급여한 육계 실험에서 대두박 급여구가 채종박 급여구에 비해 F낭 무게가 유의적으로 증가하였다고 보고하였다. 한편, Rabie et al.(2015)의 연구에서는 육계 사료 내 대두박의 20%를 채종박으로 대체하였을 때 F낭 크기가 32% 증가하였다고 보고하였다. 본 실험 결과에서도 처리구간에 유의차가 나타나진 하였으나, 단백질 공급원과 F낭 무게 차이의 정확한 상관관계를 파악하거나, 측정된 수치만으로 면역력에 영향을 미쳤는지 여부를 판단하기는 어렵다고 사료된다.

4. 혈액 생화학적 특성

시험 종료 시 채취한 혈액의 혈청 생화학적 특성은 Table 5에 나타내었다. 혈청 성분 중 총단백질(TP), 혈중요소질소(BUN), 알라닌아미노전달효소(ALT), 글로불린(GLO)은 처리구간에 유의적인 차이가 없었다. 알부민(ALB) 함량과 혈당량(GLU)은 대두박 처리구(SBM)에서 유의적으로 높게 나타났고, 총빌리루빈(T.Bil)은 도계부산물 처리구(PBM)에서 높게 나타났다($P < 0.05$). Choe et al.(2013)의 연구에서는 육계 사료 내 조단백질의 함량이 높아짐에 따라 혈청 총단백질과 알부민의 함량이 높아지고, 사료 내 에너지가 높아짐에 따라 총단백질과 혈당량이 높아지는 결과를 보였다. 본 실험의 혈액 분석으로 저분자 단백질의 이용률과 흡수율이 뛰어나 같은 조단백질 함량으로 급여하여도 높은 조단백질의 사료를 급여하였을 시 나타나는 혈액 특성이 확인되기를 기대하였으나 의미 있는 결과를 얻지는 못하였고, 후속 연구를 통해 재확인할 것으로 생각된다. 아스파르테

Table 4. Effect of SBM, PBM and EHPBM as a dietary protein source on relative organ weight in broilers (g/100g BW)

	SBM	PBM	EHPBM
Liver	2.32±0.15	2.38±0.17	2.42±0.25
Heart	0.62±0.03	0.59±0.02	0.66±0.03
Spleen	0.11±0.01	0.13±0.02	0.11±0.01
Bursa of fabricius	0.19±0.03 ^a	0.13±0.02 ^b	0.16±0.02 ^{ab}
Gizzard	1.49±0.15	1.45±0.07	1.47±0.11

^{a,b} Values (Means±SD) with different superscript within the same column significantly differ($P < 0.05$).

SBM, soybean meal; PBM, poultry by-product meal; EHPBM, enzyme-hydrolyzed poultry by-product meal.

Table 5. Effect of SBM, PBM and EHPBM as a dietary protein source on blood characteristics of broilers

	SBM	PBM	EHPBM
TP (g/dL)	2.97±0.13	2.83±0.23	2.89±0.18
ALB (g/dL)	1.67±0.08 ^a	1.60±0.10 ^{ab}	1.59±0.07 ^b
GLO (g/dL)	1.29±0.10	1.23±0.13	1.30±0.13
T.Bil (mg/dL)	0.95±0.24 ^b	1.23±0.27 ^a	0.76±0.15 ^b
GLU (mg/dL)	258.33±16.36 ^a	239.20±15.65 ^b	242.47±8.73 ^b
BUN (mg/dL)	1.01±0.53	0.89±0.31	0.89±0.37
CREA (mg/dL)	0.00±0.00 ^b	0.05±0.08 ^a	0.01±0.04 ^{ab}
AST (U/L)	258.60±48.15 ^b	366.27±93.57 ^a	330.60±73.94 ^a
ALT (U/L)	2.80±1.08	2.60±1.96	1.67±1.11
ALP (U/L)	2,465.4±659.77 ^b	3,537.4±936.89 ^a	3,708.2±1056 ^a

^{a,b} Values (Means±SD) with different superscript within the same column significantly differ ($P<0.05$).

SBM, soybean meal; PBM, poultry by-product meal; EHPBM, enzyme-hydrolyzed poultry by-product meal; TP, total protein; ALB, albumin; GLO, globulin; T.Bil, total bilirubin; GLU, glucose; BUN, blood urea nitrogen; CREA, creatinine; AST, aspartate aminotransferase; ALT, alanine aminotransferase; ALP, alkaline phosphatase.

이트아미노전달효소(AST)와 알칼리포스파타제(ALP)는 가수분해 도계부산물 처리구(EHPBM)와 도계부산물 처리구(PBM)에서 높게 측정되었다($P<0.05$). 이는 대두박 처리구에 비하여 도계부산물 처리구에서 보다 빠른 성장으로 인해 신진대사가 증가하고, 간 기능에 다소 부담을 주었기 때문인 것으로 사료되나, 폐사 또는 질병 발생이 나타나지 않은 것으로 보아, 대사에 심각한 부정적 영향은 없었던 것으로 판단된다. 갈색거저리를 육계 사료에 첨가 급여한 Kim et al.(2014)의 연구에서도 대조구에 비해 높은 증체율과 함께 높은 GOT(AST)를 나타낸 것으로 보고되었다.

이상의 결과들을 종합할 때, 가수분해 도계부산물은 대두박 및 도계부산물 등의 단백질 원료를 대체 가능하고, 육계의 생산성 향상에 효과적인 것으로 사료된다. 다만 예전부터 문제가 되어왔던 동물성 단백질 원료의 품질 변이와 상대적으로 높은 가격 등으로 인해 기존의 식물성 단백질을 완전히 대체하기 위해서는 아직 해결해야 할 과제가 남아 있다. 따라서 경제성과 생산성을 모두 고려하면서 관행적인 식물성 단백질 공급원의 일부를 대체하거나 또는 첨가하는 방식으로 사료 시장에 적용이 가능할 것으로 판단된다. 또한 고급 단백질원의 수요 증가 및 악취 저감 등 환경적인 요인으로 인하여 시장의 요구가 확대되었을 시에는 기존 원료의 현실적인 대체 방안으로 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

적 요

본 연구는 단백질원으로서 가수분해 도계부산물(Enzyme-hydrolyzed poultry by-product meal)이 도계부산물(Poultry by-product meal) 및 대두박(Soybean meal)과 비교하여 육계의 생산성 등에 미치는 효과를 조사하고자 수행하였다. 실험에 사용된 가수분해 도계부산물은 SDS-PAGE와 MALDI-TOF 분석을 통해 가수분해가 잘 이루어져 저분자화 된 것을 확인하였다. 육계 300수를 이용해 1일령~35일령까지 3처리 5반복, 반복당 20수씩 배치하여 급여 실험을 한 결과, 가수분해 도계부산물(EHPBM) 처리구는 종료 시 평균체중 1,853±125.60 g으로 도계부산물(PBM) 처리구 1,723±76.81 g, 대두박(SBM) 처리구 1,545±62.31 g 보다 유의적으로 높았다($P<0.05$). 전 기간 사료요구율은 가수분해 도계부산물(EHPBM) 처리구에서 1.74±0.064로 도계부산물(PBM) 처리구 1.67±0.060, 대두박(SBM) 처리구 1.65±0.053보다는 높게 나타났다($P<0.05$). 이는 도계부산물(PBM) 및 가수분해 도계부산물(EHPBM) 처리구에서 대두박(SBM) 처리구에 비해 유의적으로 증가한 사료섭취량에 기인하는 것으로 보이며, 결과적으로 생산성 향상에 긍정적인 효과를 미친 것으로 판단된다. 각종 장기 무게에서는 대부분 유의성 있는 차이를 보이지는 않았고, F낭 무게에서는 유의차가 나타났으나 차이는 크지 않아 단백질 공급원이 각 처리구의 면역력에 명

확한 영향을 주었다고 판단하기는 어렵다. 혈청 생화학 특성에서는 AST와 ALP가 가수분해 도계부산물(EHPBM) 처리구와 도계부산물(PBM) 처리구에서 유의적으로 높게 나타났다. 이는 이들 처리구의 증가한 사료섭취량과 급격한 체중 증가가 간에 영향을 미쳤기 때문인 것으로 추측된다. 결론적으로 가수분해 도계부산물은 육계의 생산성 향상에 효과적이며, 관행적인 단백질 원료들의 대체제로서 활용할 수 있을 것으로 사료된다.

(색인어: 효소가수분해, 도계부산물, 생산성, 혈액특성, 육계)

사 사

본 연구는 지역주력산업육성 기업지원사업의 재원으로 (주)에스씨아이의 지원을 받아 이루어진 것으로 이에 감사드립니다.

ORCID

Min-Geun Gwak <https://orcid.org/0000-0001-6545-8416>
 Hye-Sung Park <https://orcid.org/0000-0003-4471-4622>
 Bong-Ki Kim <https://orcid.org/0000-0002-5229-7294>
 Hee-Bok Park <https://orcid.org/0000-0002-9418-1898>
 Ji-Hyuk Kim <https://orcid.org/0000-0002-6266-2160>

REFERENCES

- Ahmed I, Qaisrani SN, Azam F, Pasha TN, Bibi F, Naveed S, Mertaza S 2020 Interactive effects of threonine levels and protein source on growth performance and carcass traits, gut morphology, ileal digestibility of protein and amino acids, and immunity in broilers. *Poult Sci* 99(1): 280-289.
- Allen RD. 1989. Feedstuffs ingredient analysis table. *Feedstuffs*. 61(31):25-30.
- Bandegan A, Kiarie E, Payne RL, Crow GH, Guenter W, Nyachoti CM 2010 Standardized ileal amino acid digestibility in dry-extruded expelled soybean meal, extruded canola seed-pea, feather meal, and poultry by-product meal for broiler chickens. *Poult Sci* 89:2626-2633.
- Bhaskar N, Modi VK, Govindaraju K, Radha C, Lalitha RG 2007 Utilization of meat industry by products: protein hydrolysate from sheep visceral mass. *Bioresour Technol* 98:388-394.
- Bovera F, Loponte R, Marono S, Piccolo G, Parisi G 2016 Use of *Tenebrio molitor* larvae meal as protein source in broiler diet: Effect on growth performance, nutrient digestibility, and carcass and meat traits. *J Anim Sci* 94:639-647.
- Bhuiyan MM, Clatworthy G, Iji PA 2012 Vegetable protein diets are adequate but broiler chicken prefer animal protein diets. In: *Proceedings of the XXIV World's Poultry Congress*, Salvador, Brazil.
- Choe HS, Um JS, Ryu KS 2013 A comparison of various energy and protein concentrations in diets on the performance, bone mineral density and blood characteristics of broiler chicks. *Kor J Poult Sci* 40(4):369-377.
- Cullere M, Tasoniero G, Giaccone V, Miotti-Scapin R, Claeys E, Smet SD, Zotte AD 2016 Black soldier fly as dietary protein source for broiler quails: apparent digestibility, excreta microbial load, feed choice, performance, carcass and meat traits. *J Anim Sci* 10(12):1923-1930.
- Holanda HD, Netto FM 2006 Recovery of components from shrimp (*Litopenaeus setiferus*) processing waste by enzymatic hydrolysis. *J Food Sci* 71:298-303.
- Hossain MA, Islam AF, Iji PA 2013 Growth responses, excreta quality, nutrient digestibility, bone development and meat yield traits of broiler chickens fed vegetable or animal protein diets. *S Afr J Anim Sci* 43(2):208-218.
- Kim JH 2015 Protein quality and amino acid utilization in chickens. *Kor J Poult Sci* 42(1):87-100.
- Kim SG, Kim JE, Kang SJ, Koo HY, Kim HJ, Choi HC, Sun SS 2014 Feed supplementation of yellow mealworms (*Tenebrio molitor* L.) improves blood characteristics and meat quality in broiler. *Agri Sci Technol Res* 49:9-18.
- Kurozawa LE, Park KJ, Hubinger MD 2008 Optimization of the enzymatic hydrolysis of chicken meat using response surface methodology. *J Food Sci* 73(5):405-412.
- Lee KH 1997a Chemical composition and biological feed value of autoclaved poultry by-products for poultry. *Kor J Poult Sci* 24(4):185-191.
- Lee KH 1997b Effects of feeding autoclaved poultry by-product and hatchery by-product meals on laying hen performances. *Kor J Poult Sci* 24(4):199-206.
- Lee CH, Kim CS, Lee SP 1984 Studies on the enzymatic

- partial hydrolysis of soybean protein isolates. *Kor J Food Sci Technol* 16(2):228-234.
- Leeson S, Summers JD 1980 Production and carcass composition of the broiler chicken. *Poult Sci* 59:786-798.
- Mahmood T, Mirzaa MA, Nawaza H, Shahidb M, Atharc M, Hussain M 2017 Effect of supplementing exogenous protease in low protein poultry by-product meal based diets on growth performance and nutrient digestibility in broilers. *Anim Feed Sci & Technol* 228:23-31.
- Na JC, Lee SJ, Suh OS, Kim SS, Park YY 1994 Evaluation of feed value of dried poultry by-product in broilers. Page 188 In: Proceedings of 1994 Annual Congress of Korean Society of Animal Science, Jinju, Korea.
- Na JC, Park SB, Bang HT, Kang HK, Kim MJ, Choi HC, Seo OS, Ryu KS, Jang HK, Choi JT 2005 Effect of protein and energy levels on performance and carcass rate in cross bred chicks. *Kor J Poult Sci* 36(1):474-479.
- 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. *Kor J Agri Sci* 38(4):651-657.
- Ojewola GS, Okoye FC, Ukoha OA 2005 Comparative utilization of three animal protein sources by broiler chickens. *Int J Poult Sci* 4 (7):462-467.
- Parsons CM, Baker DH 1982 Effect of dietary protein level and monensin on performance of chicks. *Poult Sci* 61:2083-2088.
- Rabie M, El-Maaty HMA, El-Gogary M, Abdo MS 2015 Nutritional and physiological effects of different levels of canola meal in broiler chick diets. *Asian J Anim Vet Adv* 10:161-172.
- Sathivel S, Smiley S, Prinyawiwatkul W, Bechtel PJ 2005 Functional and nutritional properties of red salmon (*Oncorhynchus nerka*) enzymatic hydrolysates. *J Food Sci* 70:401-406.
- Wasswa J, Tang J, Gu X, Yuan X 2007 Influence of the extent of enzymatic hydrolysis on the functional properties of protein hydrolysate from grass carp (*Ctenopharyngodonidella*) skin. *Food Chem* 104:1698-1704.
- Xia SH, Wang Z, Xu SY 2007 Characteristics of *Bellamya purificata* snail foot protein and enzymatic hydrolysates. *Food Chem* 101:1188-1196.
- Yun JH, Kwon IK, Lohakare JD, Choi JY, Yong J, Zheng SJ, Cho WT, Chae BJ 2005 Comparative efficacy of plant and animal protein sources on the growth performance, nutrient digestibility, morphology and caecal microbiology of early-weaned pigs. *J Anim Sci* 18(9):1285-1293.

Received Jul. 27, 2021, Revised Sep. 7, 2021, Accepted Sep. 15, 2021