



사료 내 단백질 함량 및 합성아미노산 첨가에 따른 육계의 사양성적 및 가슴육 성상에 미치는 영향

안수현¹ · 김관웅² · 안병기³ · 공창수^{4†}

¹경북대학교 축산BT학과 박사후연구원, ²농협사료 박사, ³건국대학교 동물자원연구센터 교수, ⁴경북대학교 축산BT학과 교수

Effects of Reduced Dietary Crude Protein Diet with Synthetic Amino Acid Supplements on the Growth Performance and Histochemical Characteristics of the Breast Meat of Male Broilers

Su Hyun An¹, Kwan Eung Kim², Byoung Ki An³ and Changsu Kong^{4†}

¹Post-Doctoral Researcher, Department of Animal Science and Biotechnology, Kyungpook National University, Sangju 37224, Republic of Korea

²Doctor, Nonghyup Feed, Seoul 05398, Republic of Korea

³Professor, Animal Resources Research Center, Konkuk University, Seoul 05029, Republic of Korea

⁴Professor, Department of Animal Science and Biotechnology, Kyungpook National University, Sangju 37224, Republic of Korea

ABSTRACT The present study was conducted to determine the effect of reduced dietary crude protein (CP) with a synthetic indispensable amino acids (AA) supplement on the growth performance, economics, and breast meat quality. A total of 450 male broilers (Ross 308) were used from the age of 7 to 28 days. On d 7, the birds were individually weighed and randomly assigned to three treatment diets with six replicate pens for each treatment in a randomized complete block design. The experimental diets were: (1) a control diet, (2) a diet with a reduction of 1% of the dietary CP with synthetic AA supplements to meet the indispensable AA requirement (OAA) of broiler chickens, and (3) a diet with a reduction of 1% of the dietary CP with synthetic Lys, Met, and Thr supplementation to exceed 5% of the indispensable AA requirement (HAA). There were no differences among the treatments on the final body weight, weight gain, and feed intake. However, the HAA diet impaired the feed conversion ratio at d 21 and during the overall feeding periods ($P<0.05$). The predicted total feed intake and feed price required to reach 1.5 kg BW was higher than for the birds fed the HAA diet ($P<0.05$). The breast meat muscle fiber cross sectional area and fiber density varied between the treatments ($P<0.05$). However, there were no differences in breast meat weight. In conclusion, reducing 1% of dietary CP had no adverse effects on the growth performance or breast meat yields.

(Key words: growth performance, breast meat quality, protein, amino acid, broiler)

서론

육계사료 내 단백질은 생명유지와 닭고기 생산에 필요한 필수영양소로서 사료에 반드시 공급되어야 한다. 하지만 육계에서의 단백질의 소화율은 원료사료의 종류에 따라 57~90%로 다양하며(Hoehler et al., 2005), 체내에서 이용되지 못한 부분은 다양한 질소화합물 형태로 체외로 배출되게 된다. 최근 동물생산 시 발생하는 환경문제를 최소화하기 위한 사회적 관심과 노력이 이어짐에 따라(Kim and Kang, 2019)

대표적인 환경부담물질로 여겨지는 질소(Morse, 1995) 배출을 감소시키기 위한 노력이 이어지고 있다. 특히, 가금사료 내 단백질 원료 사용을 줄이고, 합성아미노산을 사용하여 필수아미노산의 요구량을 충족하는 저단백질 정밀사료에 대한 연구가 많이 이루어지고 있다(Attia et al., 2020; Kim et al., 2020; Macelline et al., 2020). 단백질 원료는 사료원료 중 가격이 높은 원료에 속하며 배합사료에서 많은 비중을 차지하기 때문에 사료에서 대두박과 같은 단백질 원료사료의 사용 감소는 사료가격을 줄여 생산비 절감에 도움을 줄 수 있다.

[†] To whom correspondence should be addressed : changsukong@gmail.com

이전 연구에서 사료 내 조단백질 2.5% 감소는 대조구에 비해 육계의 사양성적 및 도체성적에는 부정적인 영향을 미쳤지만, 질소배출량 감소 및 질소이용률은 향상됨을 보였다(Lemme et al., 2019). 이와 유사하게 육계사료 내 조단백질 감소는 사양성적 저하 및 복부지방 증가와 같은 사양 및 도체성적에 부정적인 영향을 주었지만 저단백질 사료 내 합성 아미노산 보충 시 사양성적의 부정적인 영향이 개선되고 질소배출량이 감소하는 결과를 보였다(Bregendahl et al., 2002; Sigolo et al., 2017; Macelline et al., 2019). 또한, 산란계에서도 저단백질 사료 내 합성 아미노산 첨가가 질소 배출량 감소에 긍정적인 효과를 보였다고 보고된 바 있다(Khajali et al., 2008). 대부분의 연구에서 저단백질 사료 내 합성아미노산 첨가가 사료 내 단백질 감소에 따른 부정적인 영향을 개선시키는데 도움을 주었지만 대조구보다 향상된 사양성적을 보여주지는 않았다. 현재까지는 사양성적과 도체성적이 양계생산가치를 대표하고 있지만 다양한 산업분야에서 환경문제에 대한 규제가 강화되고 있는 것을 고려할 때 질소 배출량 저감과 같은 항목이 점차 강조될 것으로 전망된다. 그러므로 저단백질 사료는 생산가격 대비 향상된 생산효율을 위한 방안이 될 수 있으며(Bregendahl et al., 2002) 차후 국내 양계산업의 지속적인 성장을 위해 사양성적과 질소배출량 저감을 위한 저단백질 사료 개발이 필요할 것으로 보인다. 따라서 본 연구에서는 사료 내 조단백질 감소에 따른 합성 아미노산의 첨가가 육계 전기(7~21일령)와 후기(21~28일령)단계의 사양성적, 생산성 지표 및 가슴육 품질에 미

치는 영향에 대해 알아보하고자 한다.

재료 및 방법

본 연구의 동물실험은 건국대학교 동물실험윤리위원회(IACUC) 규정에 따라 진행되었다(승인번호: KU19109).

1. 실험동물, 사료 및 실험설계

총 450수의 Ross 308 수컷 육계를 공시하여 7일간 시판 초이사료(대사에너지 3,000 kcal/kg; CP, 21%)를 급여하고, 7일 차에 개별체중을 측정 후 반복별 처리구의 평균체중이 유사하도록 총 3처리, 6반복, 평사 펜(가로 × 세로 × 높이: 180 × 180 × 100 cm)당 25수씩 배치되도록 하였다. 구배치 후 실험사료를 급여하였고, 육계 전기(7~21일) 및 후기(21~28일)에 걸쳐 사양실험을 진행하였다. 처리구는 옥수수-소맥-대두박을 기초로 하여 대사에너지와 조단백질 수준을 Ross 308의 권장 수준에 유사하도록 배합한 시판사료를 1) 대조구(CON; 전기사료 CP: 20.5%, 후기사료 CP: 19.5%)로 하였고, 2) OAA:CP -1% 감소 + 필수아미노산 요구량 100% 충족한 사료 및 3)HAA: CP -1% 감소 + 필수아미노산 요구량 105% 충족한 사료와 사료의 조단백질 함량과 원재료비를 고려한 실험사료 2종을 추가로 구성하였다(Table 1, 2). 실험사료 내 단백질 및 아미노산을 제외한 에너지, 칼슘 및 인 등의 필수 영양소 수준은 동일하게 설계하였다.

Table 1. Ingredient composition of starter diets (7 to 21 d of age) and feed price (won/kg)

Item (%)	Experimental diets		
	CON 20.5% CP	CP 1% reduced	
		OAA	HAA
Corn	31.43	38.23	38.96
Wheat	25.00	20.00	20.00
Soybean meal	19.52	17.42	17.26
Rice	3.00	3.00	3.00
Wheat flour	1.00	2.00	2.00
Rapeseed meal	1.50	1.50	1.50
Corn gluten meal	2.00	2.00	2.00
DDGS	5.00	5.00	5.00
Meat meal	1.50	1.00	1.00
Poultry by product	1.00	1.50	1.50

Table 1. Continued

Item (%)	Experimental diets		
	CON 20.5% CP	CP 1% reduced	
		OAA	HAA
Animal fat	4.52	4.09	3.45
L-Lysine (78%)	0.52	0.64	0.67
DL-Met (98%)	0.38	0.43	0.45
Threonine (98%)	0.03	0.07	0.09
Choline chloride	0.03	0.03	0.03
MCP	0.60	0.60	0.60
Limestone	2.04	1.53	1.53
Salt	0.20	0.20	0.20
NaHCO ₃	0.10	0.10	0.10
Vitamin premix	0.10	0.10	0.10
Mineral premix	0.10	0.10	0.10
Others	0.43*	0.46**	0.46**
Total	100.00	100.00	100.00
Calculated chemical composition (%)			
AMEn (kcal/kg)	3,038	3,038	3,008
Crude protein	20.5	19.5	19.5
Crude fiber	2.88	2.79	2.80
Calcium	0.90	0.90	0.90
Phosphorus	0.49	0.48	0.48
Analyzed amino acid concentration (%)			
Arg	1.19	1.09	1.08
His	0.46	0.43	0.44
Ile	0.79	0.74	0.76
Leu	1.71	1.57	1.63
Lys	1.35	1.22	1.35
Met	0.64	0.63	0.63
Phe	0.98	0.91	0.93
Thr	0.79	0.75	0.84
Val	0.95	0.90	0.91
Total price of feed ingredients (won/kg)	395.80	395.59	393.49

* Others contained in a control diet included 0.20%, glucose; 0.03%, TEC-1000; 0.05%, phytase; 0.10%, bio 5050; 0.05%, allga clean.

** Others contained in experimental diets included 0.20%, glucose; 0.03%, enzyme cocktails (xylanase 4,000 U/g, α -amylase, 400 U/g, and protease, 8,000 U/g); 0.03%, TEC-1000; 0.05%, phytase; 0.10%, bio 5050; 0.05%, allga clean.

OAA: reduced 1% of the crude protein and optimum amino acids; HAA: reduced 1% of crude protein and high amino acids.

Table 2. Ingredient composition of starter diets (21 to 28 d of age) and feed price (won/kg)

Item (%)	Experimental diets		
	CON	CP 1% reduced	
		OAA	HAA
Corn	34.47	36.65	37.61
Wheat	25.00	22.00	22.00
Soybean meal	15.62	17.00	17.00
Rice	3.00	3.00	3.00
Wheat flour	1.00	2.00	2.00
Rapeseed meal	2.50	2.50	2.50
Corn gluten meal	2.00	0.40	0.00
DDGS	5.00	5.00	5.00
Meat meal	2.00	1.00	1.00
Poultry by product	1.00	1.50	1.50
Animal fat	4.32	4.86	4.26
L-Lysine (78%)	0.44	0.46	0.48
DL-Met (98%)	0.32	0.37	0.38
Threonine (98%)	0.06	0.10	0.11
Choline chloride	0.03	0.03	0.03
MCP	0.40	0.40	0.40
Limestone	2.08	1.94	1.94
Salt	0.20	0.20	0.20
NaHCO ₃	0.10	0.10	0.10
Vitamin premix	0.10	0.10	0.10
Mineral premix	0.10	0.10	0.10
Others	0.26*	0.29**	0.29**
Total	100.00	100.00	100.00
Calculated chemical composition (%)			
AMEn (kcal/kg)	3,047	3,047	3,017
Crude protein	19.50	18.50	18.50
Crude fiber	2.84	2.87	2.88
Calcium	1.00	1.00	1.00
Phosphorus	0.45	0.44	0.44
Analyzed amino acid concentration (%)			
Arg	1.11	1.13	1.12
His	0.45	0.47	0.45

Table 2. Continued

Item (%)	Experimental diets		
	CON	CP 1% reduced	
		OAA	HAA
Ile	0.75	0.77	0.75
Leu	1.64	1.58	1.52
Lys	1.11	1.15	1.09
Met	0.52	0.50	0.49
Phe	0.89	0.91	0.87
Thr	0.81	0.83	0.79
Val	0.87	0.88	0.85
Total price of feed ingredients (won/kg)	381.42	382.26	378.51

* Others contained in a control diet included 0.10%, glucose; 0.01%, enzyme cocktails (xylanase 4,000 U/g, α -amylase, 400 U/g, and protease, 8,000 U/g); 0.05%, phytase; 0.10%, bio 5050.

** Others contained in the experimental diets included 0.10%, glucose; 0.03%, enzyme cocktails (xylanase 4,000 U/g, α -amylase, 400 U/g, and protease, 8,000 U/g); 0.01%, banti-pearl; 0.05%, phytase; 0.10%, bio 5050.

OAA: reduced 1% of protein and optimal amino acids, HAA: reduced 1% of protein and high amino acids.

2. 사양관리

전체 사양기간 동안 사료와 물은 자유롭게 섭취하도록 하였다. 사양기간 동안 24시간 종일 점등하였으며 입식 후 1일 차에 계사 내 온도는 33℃로 조절하였고, 주당 4℃씩 감온하여 28일 차에 계사 내 온도는 20℃를 유지하도록 하였다.

3. 조사 항목

1) 증체량, 사료섭취량 및 사료요구율

실험개시 후 7, 21 및 28일 차에 반복별로 모든 공시계의 평소 펜별 체중과 사료 섭취량을 조사하였다. 해당 실험기간 중의 폐사율을 기록하였으며, 폐사율을 보정하여 실험사료 섭취기간 중의 증체량, 사료섭취량 및 사료요구율을 계산하였다.

2) 생산성 지표

각각 7, 21 및 28일령체의 개별체중을 기반으로 처리구별 체중이 1.5 kg에 도달하는 일령을 추정하였다. 1.5 kg 도달 추정일령 계산을 위한 식은 다음과 같았다. $y = ax + b$ 의 1차 함수를 이용하였고, 각 계수는 $y =$ 체중 1.5 kg; $a =$ 증체량 / 사육일수; $x =$ 체중 1.5 kg 시 추정일령; $b = y$ -절편과 같았다. 체중 1.5 kg 도달을 위해 개체가 섭취한 총 사료섭취량 추정은 실험기간 동안 처리구별 전기사료 및 후기사료 섭

취량에 1.5 kg 도달 추정일령을 곱하여 각 성장단계(전기 및 후기) 및 전체 실험사료 급이기간 동안의 사료섭취량을 계산하였다. 또한, 계산된 성장단계(전기 및 후기)별 사료섭취량과 각 처리구별 원가(won/kg)를 통해 추정 사료가격을 계산하였다.

3) 가슴육 시료채취

실험종료일(28일령)에 각 처리구의 반복별로 평균 체중에 해당하는 개체를 2수씩(처리당 12수) 선발하여 체중을 기록하고, CO₂에 질식사시켜 안락사시킨 후 양쪽 가슴육을 채취하여 즉시 무게를 기록하고 시료의 일부를 채취하여 15분 후에 pH를 측정하였다(Testo 206-pH2, Test Inc., Lenzkirch, Germany). 채취된 왼쪽 가슴육 전체는 시료들은 육질 분석을 위해 액체질소로 급냉시켜 보관 후 분석항목을 측정하기 전까지 -80℃에 보관하였다.

4) 근단면적 측정방법

근단면적(muscle cross-sectional area)은 왼쪽 가슴육의 상부에서 1/2 지점에 해당하는 부위에서 $0.5 \times 0.5 \times 1.0 \text{ cm}^3$ 로 잘라 근섬유 특성을 측정하였다. 근단면적 측정을 위해 cryostat(CM1510S, Leica, Nussloch, Germany)를 이용해 -25℃조건에서 시료를 10 μm 두께로 채취하여 H&E(hematoxylin and eosin) 방법을 통해 염색시켰다. 염색된 시료는 이미지 분석(Image-Pro Plus software, Media Cybernetics, Sil-

ver Spring, MD)을 진행했다. 시료당 최소 500개의 근섬유를 측정하였고 평균 근단면적은 전체 근면적을 전체 근섬유수로 나누어 측정하였다.

5) 육질분석방법

육질분석은 사후 24시간 후 pH 측정(Testo 206-pH2, Test Inc., Lenzkirch, Germany)을 포함한 육색, 보수력 및 전단력을 진행하였다. 육색은 채취한 가슴육 시료를 2 cm 두께로 절단하여 공기 중에 30분 정도 노출시킨 후 색차계(CR-400, Minolta Camera Co., Osaka, Japan)를 이용하여 명도(L*), 적색도(a*) 및 황색도(b*) 값을 동일한 방법으로 6반복 측정하여 평균값으로 가슴육의 표면색을 측정하였다. 이때 표준색은 $Y = 93.60$, $x = 0.3134$, $y = 0.3194$ 인 표준 백판을 이용하여 표준화 작업한 후 측정하였다. 육즙손실량(drip loss)은 Honikel(1998)에서 제시한 방법을 통해 측정했다. 가열손실량(cooking loss)은 각 처리별 가슴육 시료의 무게를 측정 후 polyethylene bag에 시료를 담아 항온수조(80°C)의 중심부 온도가 71°C가 될 때까지 끓인다(Honikel, 1998). 그 후 시료들은 온도변화가 없을 때까지 얼음에 넣고 무게를 재측정하

여 가열 전과 후의 무게를 통해 가열손실량을 측정하였다. 전단력(Warner-Bratzler shear force; WBS)은 직경 1.27 cm의 core를 근섬유의 방향과 평행하게 채취한 시료로 Instron Universal Testing machine(crosshead speed, 200 mm/min; Model 1011, Instron Corp., Can-ton, MA)을 이용해 측정하였다.

4. 통계 분석

대조구 대비 조단백질 감소 및 합성아미노산 보충에 따른 사양성적, 생산성 지표 및 도체특성에 미치는 효과를 비교하기 위해 데이터는 SAS(SAS, 2002)의 GLM procedure를 이용하여 분산분석을 실시하였고 평균값의 차이의 비교는 Tukey's HSD test를 적용하였다. 통계모델의 실험단위는 floor pen이었고, 통계적 유의 수준은 P 값이 0.05 이하일 때 유의하다고 판단하였다.

결 과

1. 사양성적

사료 내 조단백질 수준 및 필수아미노산 첨가수준이 성장 성적에 미치는 영향에 대한 결과를 Table 3에 제시하였다.

Table 3. Body weight, weight gain, feed intake, and feed conversion ratio of broiler chickens at different growth stages¹

Item	Experimental diets			SEM	P-value
	CON	CP 1% reduced			
		OAA	HAA		
Body weight (g)					
d 7	183	183	182	0.31	0.401
d 21	1,037	1,041	1,005	14.1	0.196
d 28	1,669	1,656	1,611	32.5	0.449
Weight gain (g/bird)					
d 21	853	857	823	14.3	0.237
d 28	624	615	598	17.9	0.597
Overall	1,478	1,472	1,421	29.3	0.365
Feed intake (g/bird)					
d 21	1,098	1,116	1,117	17.0	0.695
d 28	925	949	926	19.6	0.644
Overall	2,024	2,065	2,043	36.0	0.731
Feed conversion ratio					
d 21	1.29 ^b	1.30 ^b	1.36 ^a	0.01	0.002
d 28	1.49	1.54	1.55	0.02	0.092
Overall	1.37 ^c	1.40 ^b	1.44 ^a	0.01	<0.0001

¹ Data are means of six pens of 25 male Ross 308 chicks from 7 to 28 d post-hatch.

^{a-c} Means in a row with no common superscript letter differ significantly ($P < 0.05$).

OAA: reduced 1% of the crude protein and optimum amino acids; HAA: reduced 1% of crude protein and high amino acids.

21일령, 28일령 및 사료 전 급이기간 동안의 육계의 체중, 증체량 및 사료섭취량은 사료 내 조단백질 수준과 합성 아미노산 함량에 영향을 받지 않았다. 반면 사료요구율의 경우, CON, OAA 및 HAA 처리구를 비교했을 때 전기(7~21일령) 그리고 실험사료 섭취 전 기간(7~28일령) 동안의 사료요구율에서는 CON과 OAA 처리구는 유의적인 차이를 보이지 않았지만, HAA 처리구에서는 두 처리구에 비해 사료요구율이 증가했다($P<0.05$).

2. 생산성 지표

개체체중이 1.5 kg에 도달하는데 소요되는 사육일령 추정 및 추정 급이기간 동안의 총 사료섭취량에 대한 결과는 Table 4에 제시하였다. 육계의 체중이 1.5 kg에 도달하기 위해 요구되어지는 사육일수는 사료 내 조단백질 및 필수아미노산 첨가수준은 1.5 kg 도달 추정일령에 영향을 받지 않았다. 7일령 이후부터 1.5 kg에 도달하기까지 실험동물이 섭취한 총 사료섭취량과 사료비는 HAA 사료를 급이받은 개체가 CON 사료를 급이받은 개체에 비해 사료를 더 많이 섭취하였고($P<0.05$), 사료비는 더 높게 계산되었다($P<0.05$).

3. 도체 특성

가슴육의 무게(g)와 가슴육 단면적(cm^2)은 사료 내 조단백질 및 필수아미노산 첨가수준에 영향을 받지 않았다 (Table 5). 샘플링 15분과 24시간 뒤의 가슴육의 pH는 처리

구에 따른 영향을 받지 않았다(Table 6). 육색의 경우 L값(lightness, L^*)은 육색의 명도를 나타내는 값으로 OAA 처리에서 HAA에 비해 유의적으로 낮은 값을 보였다. 육색의 적색정도를 나타내는 a값(redness, a^*)과 황색정도를 나타내는 b값(yellowness, b^*)에서는 사료 내 조단백질 및 필수아미노산 첨가수준에 영향을 받지 않았다. 가슴육의 보수력을 알아보기 위해 가열 손실량, 육즙 손실량 및 전단력에 대해 알아보았다. 육즙 손실량은 사료 내 조단백질 및 필수아미노산 함량에 영향을 받지 않았지만 전단력은 사료 내 조단백질 및 필수아미노산 첨가수준에 영향을 받았다($P<0.05$). 가열 손실량은 사료 내 조단백질 수준 감소와 필수아미노산 첨가수준이 증가함에 따라 감소하였고, 전단력의 경우 사료내 조단백질을 감소와 동시에 필수아미노산을 적정 수준 첨가한 처리구에서 가장 낮게 측정됐다.

고 찰

동물은 단백질 자체에 대한 요구량을 갖고 있지 않지만 단백질을 구성하는 아미노산에 대해서는 정상적인 생리적 기능과 성장을 위한 요구량을 가지고 있어 요구량을 고려한 아미노산 공급이 필요하다. 저단백질 사료는 대두박과 같은 식물성 단백질 원료사료의 사용을 줄여 단백질의 함량을 낮추고 합성아미노산을 사용하여 동물의 요구량을 맞추는 방법으로 사료비 절감의 효과를 기대할 수 있다(Kidd et al., 2021).

Table 4. Economic analysis based on the predicted age and feed intake of birds reached 1.5 kg body weight and estimated feed prices at different growth stage¹

Item	Experimental diets			SEM	P-value
	CON	CP 1% reduced			
		OAA	HAA		
Predicted age at 1.5 kg BW (day)	26.4	26.5	27.3	0.403	0.266
Predicted total feed intake from d 7 to reached 1.5 kg BW (g/bird)	1,813 ^b	1,862 ^{ab}	1,931 ^a	21.03	0.009
Estimated starter feed price from d 7 to 21 (won/bird)	435	441	439	6.9	0.771
Estimated grower feed price from d 21 to reached 1.5 kg BW (won/bird)	273	285	308	15.8	0.240
Estimated total feed price from d 7 to reached 1.5 kg BW (won/bird)	707 ^b	726 ^{ab}	748 ^a	9.9	0.014

¹ Data are means of six pens of 25 male Ross 308 chicks from 7 to 28 d post-hatch.

^{a,b} Means in a row with no common superscript letter differ significantly ($P<0.05$).

OAA: reduced 1% of the crude protein and optimum amino acids; HAA: reduced 1% of crude protein and high amino acids.

Table 5. Effect of dietary crude protein and amino acid supplementation on breast meat, muscle cross-sectional area, muscle fiber characteristics¹

Item	Experimental diets			SEM	P-value
	CON	CP 1% reduced			
		OAA	HAA		
Body weight (g)	1,630	1,600	1,576	21.98	0.24
Breast meat (g)	275	276	262	9.1	0.44
Muscle cross-sectional area (cm ²)	19.3	20.6	19.2	0.89	0.43
Muscle fiber characteristics					
Muscle fiber					
Fiber cross-sectional area (μm ²)	2,412 ^b	3,009 ^a	2,498 ^{ab}	128.0	0.04
Fiber density	417.1 ^a	333.5 ^b	401.2 ^a	16.20	0.03
Total number of fiber (no./μm ²)	740.3	724.2	777.6	66.54	0.83

¹ Data are means of six pens of 12 male Ross 308 chicks from 7 to 28 d post-hatch.

^{a,b} Means in a row with no common superscript letter differ significantly ($P < 0.05$).

OAA: reduced 1% of the crude protein and optimum amino acids; HAA: reduced 1% of crude protein and high amino acids.

Table 6. Effect of dietary crude protein and amino acid supplementation on breast meat quality¹

Item	Experimental diets			SEM	P-value
	CON	CP -1%			
		OAA	HAA		
Breast muscle pH					
pH 15 min	6.71	6.74	6.77	0.027	0.31
pH 24 h	6.18	6.12	6.07	0.034	0.07
Meat color					
Lightness (L [*])	48.8 ^{ab}	47.5 ^b	50.6 ^a	0.69	0.02
Redness (a [*])	1.22	1.48	1.56	0.196	0.46
Yellowness (b [*])	7.98	6.79	7.23	0.332	0.06
Water-holding capacity					
Drip loss (%)	1.77	1.98	2.14	0.319	0.72
Cooking loss (%)	12.1	12.0	10.8	0.40	0.05
WBS (N)	58.3 ^a	47.9 ^b	56.3 ^a	1.83	0.001

¹ Data are means of six pens of 12 male Ross 308 chicks from 7 to 28 d post-hatch.

^{a,b} Means in a row with no common superscript letter differ significantly ($P < 0.05$).

OAA: reduced 1% of the crude protein and optimum amino acids; HAA: reduced 1% of crude protein and high amino acids; WBS : Warner-Bratzler shear.

본 실험의 경우, 사료내 1% 단백질 감소 및 합성 아미노산 보충에 따른 사료요구율을 제외한 체중, 증체량 및 사료 섭취량에서 차이를 보이지 않았지만 사료 내 조단백질 함량 1% 감소와 동시에 아미노산 3종의 공급량이 요구량의 5% 초과한 처리에서 전기(7~21일령) 및 전 실험기간 동안의 사료요구율은 증가하였다. 하지만 van Harn et al.(2019)의 연구에서는 대조구(전기 20.8% CP, 후기 19.8% CP) 대비 2.2~2.3% 조단백질 감소까지는 사양성적에 부정적인 영향을

미치지 않았다. Saleh et al.(2021)의 연구에서는 사료 내 조단백질 2% 감소와 합성아미노산 초과 공급 처리구보다 합성아미노산을 요구량에 맞게 공급한 처리구에서 사료섭취량과 증체량이 개선되었다. Wang et al.(2020)의 연구에서는 사료 내 필수아미노산 요구량을 충족시키고 사료 내 단백질을 기초사료(사료 내 조단백질: 22%) 대비 1.5, 3.0, 4.5, 6.0% 감소시켰을 때, 조단백질 3.0% 이상 감소 시 사료요구율이 증가하였다. 사료 내 조단백질 함량이 특정 수준 이하

로 낮아지면 아미노산이 요구량에 맞게 공급되더라도 동물의 성장에 부정적인 영향을 미칠 수 있지만 본 실험과 같이 조단백질 1% 감소는 동물의 사양성적에 큰 영향을 주지 않는 것으로 사료된다.

육계산업에서 과거 50년간 지속된 선택육종은 육계의 사양성적을 비약적으로 향상시켰고, 그 결과 1.5 kg 도달에 필요한 예상일령은 1950년대에는 120일부터 최근엔 30일 미만까지 단축되었다. 본 실험에서는 사료 내 단백질 수준과 합성아미노산 초과 공급이 1.5 kg 도달일령에 영향을 미치지 않았고 26.4~27.3일령 사이로 추정되었다. 육종회사에 제시한(Aviagen, 2014) Ross 308 수컷 육계의 1.5 kg 도달일령인 27.85일은 본 실험에서 추정된 예상일령과 유사한 값이었다. 하지만 7일령 이후부터 1.5 kg 도달까지의 예상 사료섭취량과 사료가격은 3종의 합성아미노산 요구량을 초과하여 공급한 처리구에서 가장 높게 계산되었다. 이러한 결과는 아마도 CON 사료에서의 낮은 추정일령과 추정사료섭취량 때문인 것으로 추정된다.

육계의 선택육종에 따라 성장률이 개선됨에 따라 Ross 308 육계의 생체중에서 가슴육이 차지하는 비율은 2001년 15.8%(349g)에서 2019년 25.4%(558 g)로 향상되었다(Aviagen, 2001; 2019). 가슴육은 육계 도체 중 가장 높은 비율을 차지하며 지방이 적고 단백질 함량이 높을수록 상품가치가 높아진다. 육계의 가슴육 중량 및 조성은 사료 내 단백질 수준에 따라 영향을 받고(Bartov and Plavnik, 1998; Chodová et al., 2021) 사료 내 충분한 필수아미노산 공급은 사료 내 조단백질의 감소에 따른 가슴육 생산 감소와 같은 부정적인 영향을 감소시키는데 도움을 줄 수 있다(Fritts et al., 2004). 본 실험에서는 사료 내 조단백질 수준 1% 감소 및 합성아미노산 첨가는 가슴육 중량과 가슴육의 단면적 크기에는 영향을 미치지 않았다. 이와 유사하게 Chodová et al.(2021)의 연구에서도 사료내 조단백질(초이: -1.20%, 전기: -1.13% 후기: -1.07%) 감소가 가슴육 비율에 영향을 주지 않았다. 또한, 사료 내 조단백질 2% 감소에 따라 합성아미노산을 보충할 경우에도 가슴육 비율에서 대조구와 차이를 보이지 않았다(Saleh et al., 2021). 반면 Bartov and Plavnik (1998)의 연구에서는 사료 내 단백질 수준이 대조구보다 낮은(전기: -1.3%, 후기: -1.2%) 수준인 처리구에서 가슴육 중량 감소를 보였다. 근섬유는 근육을 구성하는 단위로 근섬유 다발이 모여 근육을 이루기 때문에 단일밀도당 근섬유의 크기와 개수는 근육의 크기와 중량에 영향을 미칠 수 있지만 본 실험에서는 사료 내 조단백질 수준 감소에 따라 근섬유 크기가 증가했다. 따

라서, 근섬유의 밀도는 낮아졌지만 단면적(μm^2)당 근섬유의 총 개수에서는 처리구에 따른 차이를 보이지 않았고, 단면적 크기에서도 차이를 보이지 않았다.

가슴육의 품질은 이화학적 특성에 따라 영향을 받을 수 있기 때문에 가슴육의 산도, 육색 및 보수력을 포함한 육질 변화를 분석하였다. 식육의 품질 및 소비자의 선호도에 영향을 미치는 요인 중 하나인 육색은 창백할수록 선호도가 감소한다고 알려져 있다. 본 실험에서는 사료 내 조단백질 수준을 1% 감소시킨 처리구와 비교했을 때 조단백질 1% 감소에 따라 합성아미노산을 추가 첨가한 처리구에서 더 높은 lightness(L^*)값을 보였지만 대조구와는 차이를 보이지 않았다. Chodová et al.(2021)의 연구에서는 사료 내 단백질 수준(대조구 vs. 조단백질 1% 감소)에 따른 육질을 비교한 결과, 사료 내 조단백질 수준이 감소함에 따라 L^* 값이 감소했다. 대조구의 경우 50.02, 단백질 감소 처리구에서는 47.82의 수치를 보였고 이 값은 본 실험의 측정치와 유사했다. 또한, Woelfel et al.(2002)에 의하면 L^* 값이 54 이상인 것을 PSE육(pale, soft, and exudative meat)이라 볼 수 있다고 제시한 바 있지만 본 실험에서 측정된 값들은 54 이하였고, 측정된 가슴육의 pH값은 정상수준 범위였기 때문에 PSE육이라고 보기 어려워 보인다. 또한, 가열손실량이 낮을수록 가슴육 가공 및 제조과정에서 손실될 수 있는 무게가 적고, 식육내 수분을 유지하려 하는 성질을 높음을 의미한다. 이전연구(Chen et al., 2016)에서 가열손실량은 전단력과 높은 양의 상관관계($r=0.820$)를 보인다고 발표되었지만 이와는 다르게 본 실험에서는 가열손실량과 전단력 간에 다른 양상을 보였고, 사료내 조단백질 수준을 1% 감소시킨 처리에서 낮은 전단력을 보였다. 하지만, 대조구와 사료 내 조단백질 수준 1% 감소에 따라 합성아미노산을 추가 첨가한 처리구의 전단력에서는 차이를 보이지 않았다.

결론

본 실험의 결과를 종합해 보면 사료 내 조단백질 1% 감소는 사료요구율과 사료가격을 증가시켰지만 개체의 종료체중, 사료섭취량, 가슴육 중량에는 영향을 주지 않았다. 또한, 사양성적에서 요구량을 5% 초과한 합성아미노산의 추가가 긍정적인 효과를 보여주진 않았다. 체중이 1.5 kg 도달할 때까지 개체가 섭취한 사료량과 그에 따른 사료가격은 대조구가 가장 경제성이 높게 나타났다. 따라서, 육계의 사양성적에 부정적인 영향을 감소시킬 수 있는 경제적인 저단

백질 사료를 개발하기 위해서는 사료 내 적정 조단백질 수준과 합성아미노산 첨가수준 범위 설정을 위한 추가적인 연구가 필요할 것으로 사료된다.

ORCID

Su Hyun An <https://orcid.org/0000-0001-6236-6815>
 Kwan Eung Kim <https://orcid.org/0000-0002-8392-9864>
 Byoung Ki An <https://orcid.org/0000-0002-3158-2491>
 Changsu Kong <https://orcid.org/0000-0002-3876-6488>

REFERENCES

- Attia YA, Bovera F, Wang J, Al-Harthi MA, Kim WK 2020 Multiple amino acid supplementations to low-protein diets: effect on performance, carcass yield, meat quality and nitrogen excretion of finishing broilers under hot climate condition. *Animals* 10(6):973.
- Aviagen 2001 Ross performance objectives. https://en.aviagen.com/assets/Tech_Center/Ross_Broiler/Ross308AP-BroilerPerformanceObjectives-2021-EN.pdf. Accessed on January 12, 2022.
- Aviagen 2014 Ross 308 performance objectives. <http://en.aviagen.com/Ross-308-Broiler-PO-2014-EN.pdf>. Accessed on January 12, 2022.
- Aviagen 2019 Ross 308 performance objectives. https://en.aviagen.com/assets/Tech_Center/Ross_Broiler/Ross308-308FF-BroilerPO2019-EN.pdf. Accessed on January 12, 2022.
- Bartov I, Plavnik I 1998 Moderate excess of dietary protein increases breast meat yield of broiler chicks. *Poult Sci* 77(5):680-688.
- Chodová D, Tůmová E, Ketta M, Skřivanová V 2021 Breast meat quality in males and females of fast-, medium- and slow-growing chickens fed diets of 2 protein levels. *Poult Sci* 100(4):100997.
- Dozier WA, Kidd MT, Corzo A 2008 Dietary amino acid responses of broiler chickens. *J Appl Poult Res* 17(1):157-167.
- Hoehler D, Lemme A, Ravindran V, Bryden WL, Rostagno, HS 2006. Feed formulation in broiler chickens based on standardized ileal amino acid digestibility. *Avances en Nutrición Acuicola VIII. VIII Simposium Internacional de Nutrición Acuicola*. 15-17 Noviembre. Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey, Nuevo León, México.
- Honikel KO 1998 Reference methods for the assessment of physical characteristics of meat. *Meat Sci* 49(4):447-457.
- Khajali F, Khoshouie EA, Dehkordi SK, Hematian M 2008 Production performance and egg quality of Hy-line W36 laying hens fed reduced-protein diets at a constant total sulfur amino acid: Lysine ratio. *J Applied Poult Res* 17(3):390-397.
- Kim CH, Kang HK 2019 Effects of dietary apparent metabolizable energy and protein concentrations on growth performance, nutrient digestibility, and quality of Korean Native Ducks. *Korean J Poult Sci* 46(3):205-213.
- Kim WL, Kwon SH, Kim KE, Kim EJ, An SH, Kong C, Kim SK, An BK 2020 Effect of enzymes application in feed with reduced concentrations of energy and crude protein in broiler chickens. *Korean J Poult Sci* 47(3):143-151.
- Lemme A, Hiller P, Klahren M, Taube V, Stegemann J, Simon I 2019 Reduction of dietary protein in broiler diets not only reduces n-emissions but is also accompanied by several further benefits. *J Appl Poult Res* 28(4):867-880.
- Macelline SP, Wickramasuriya SS, Cho HM, Kim E, Shin TK, Hong JS, Kim JC, Pluske JR, Choi HJ, Hong YG, and Heo JM 2020 Broilers fed a low protein diet supplemented with synthetic amino acids maintained growth performance and retained intestinal integrity while reducing nitrogen excretion when raised under poor sanitary conditions. *Poult Sci* 99(2):949-958.
- Saleh AA, Amber KA, Soliman MM, Soliman MY, Morsy WA, Shukry M, Alzawqari MH 2021 Effect of low protein diets with amino acids supplementation on growth performance, carcass traits, blood parameters and muscle amino acids profile in broiler chickens under high ambient temperature. *Agriculture* 11(2):185.
- Si J, Fritts C, Burnham D, Waldroup P 2004 Extent to which crude protein may be reduced in corn-soybean meal broiler diets through amino acid supplementation. *Int J Poult Sci* 3(1):46-50.
- Sigolo S, Zohrabi Z, Gallo A, Seidavi A, and Prandini A 2017 Effect of a low crude protein diet supplemented with

different levels of threonine on growth performance, carcass traits, blood parameters, and immune responses of growing broilers. *Poult Sci* 96(8):2751-2760.

van Harn J, Dijkslag MA, van Krimpen MM 2019 Effect of low protein diets supplemented with free amino acids on growth performance, slaughter yield, litter quality, and footpad lesions of male broilers. *Poult Sci* 98(10): 4868-4877.

Wang WW, Wang J, Wu SG, Zhang HJ, Qi GH 2020 Response of broilers to gradual dietary protein reduction with or without an adequate glycine plus serine level. *Ital J Anim Sci* 19(1):127-136.

Received Feb. 8, 2022, Revised Mar. 3, 2022, Accepted Mar. 23, 2022