

육계에서의 회장 조단백질 소화율 가산성 평가 및 방법론적 소화율 비교

이진영¹·공창수^{2*}

¹경북대학교 생태환경연구소, ²경북대학교 생태환경대학 축산학과

Additivity of Ileal Crude Protein Digestibility and Comparison of Digestibility with Methodological Consideration in Broilers

Jinyoung Lee¹ and Changsu Kong^{2*}

¹Ecology and Environmental Research Institute, Kyungpook National University

²Department of Animal Science, College of Ecology and Environmental Science, Kyungpook National University

ABSTRACT This study was aimed at evaluating the additivity of crude protein digestibility in mixed diets of corn and soybean meal (SBM), and comparing direct and indirect methods for evaluating crude protein (CP) digestibility. Totally, five hundred and twenty-five 18-day-old broiler chickens were grouped into 7 blocks based on body weight, and randomly allocated to 6 treatment groups in a randomized complete block design. The basal diet, diet 3, was corn-SBM-based, containing 65% corn and 28% SBM. Diets 1 and 5 contained corn and SBM, respectively, as the sole CP source. To use the difference method, 2 diets, diets 2 and 4, were prepared by mixing corn and SBM at the expense of the basal diet, respectively. Diet 2 contained 79% corn and 14% SBM, and diet 4 contained 32.5% corn and 34% SBM. To evaluate the additivity of digestibility values, the difference between measured values for the mixed diets (diets 2, 3, and 4) and predicted values calculated using the measured values for diets 1 and 5 was examined. The apparent (AID) and standardized (SID) ileal digestibility of CP in SBM differed between the direct and indirect methods; however, corresponding digestibility did not differ for corn. Additionally, the predicted and measured digestibility of both AID and SID differed in diets 2 and 3, implying that the digestibility values obtained from diets 1 and 5 were not additive for mixed diets. In conclusion, this study showed that digestibility evaluated by direct and indirect methods depends on the ingredients having different CP concentrations, and this finding may be considered to improve the accuracy of feed formulation for broiler chickens.

(Key words: additivity, basal endogenous losses, broiler chicken, crude protein, ileal digestibility)

서론

육계의 조단백질 소화율 측정 시, 요산에서의 질소함량 차이가 조단백질 소화율에 영향을 미칠 수 있기 때문에 총 배설물보다 회장에서 소화물을 채취하는 소화율을 측정하는 방법을 많이 사용하고 있다. 많은 연구들에서 육계의 조단백질과 아미노산의 회장 소화율을 외관상 회장 소화율(Apparent Ileal Digestibility; AID)로 제시하고 있다. 하지만, Stein et al. (2007)은 아미노산 및 단백질의 외관상 회장 소화율은 배합 사료에서의 단백질의 함량이 낮은 원료사료를 사용시에 가산성이 부족하다고 하였고, 또한 Kong and Adeola(2013)는 아미노산의 표준 회장 소화율(Standardized Ileal Digestibility;

SID)이 배합사료에서 가산성을 만족하며 더 적절한 소화율이라고 제시하였다. 배합사료내에서 가산성을 만족한다면, 배합사료내의 조단백질 함량은 각각의 원료사료내 조단백질 함량의 합과 같다(Stein et al., 2005). 조단백질의 함량이 낮은 원료사료의 회장 소화율 측정 시 소화물 내의 기초 내생 단백질 손실이 차지하는 비율이 크기 때문에 외관상 회장 소화율은 저평가되는 경향이 있다(Kong and Adeola, 2013).

원료사료 내 영양소 소화율은 측정하고자 하는 원료사료를 사료내 유일한 측정 영양소 공급원으로 하는 직접법과 일반사료를 기초사료로 하고 그 기초사료에서 측정하고자 하는 원료사료를 일정량 대치하여 측정하는 간접법 등으로 측정이 가능하다(Kong and Adeola, 2014). 또한, Fan and Sauer

* To whom correspondence should be addressed : changsukong@gmail.com

(1995)는 돼지에서 직접법으로 구한 단백질 함량이 낮은 원료사료의 외관상 단백질 회장 소화율은 저평가되는 경향이 있어 사료배합 시 가산성을 만족하지 못하므로 소화율을 회귀분석법이나 간접법을 사용하여 측정해야 한다고 제시하였다. 그러나, 육계 사료에서 각각의 방법으로 구한 조단백질 소화율 간의 비교 연구가 부족한 실정이다. 따라서, 이 연구의 목적은 옥수수과 대두박의 외관상 및 표준회장 단백질 소화율을 직접법과 간접법으로 구한 값의 비교와 배합사료내 가산성을 평가하는 것이다.

재료 및 방법

1. 공시동물, 사료 및 사양관리

평균 체중이 38.5 g인 총 525마리의 육계 수컷(Ross 308)을 공시하여 1일령에 개별 인식표를 부착하고 시판 육계전기사료를 18일간 급여하였으며, 실험사료는 이후 23일령까지 5일간 급여하였다. 전기사료는 에너지와 영양소 요구량을 충족하거나 초과하는 수준으로 배합되었다(NRC, 1994). 18일령의 육계를 무질소 사료를 제외한 5개의 처리구에 케이지 당 12수씩 총 7반복으로 난괴법(randomized complete block design)을 이용하여 배치하였으며, 무질소 사료는 케이지당 15수씩 7반복으로 구배치를 하였다(Kim and Lindemann, 2007). 실험사료는 조단백질 함량이 각각 9.17%인 옥수수와 46.17%인 대두박을 기반으로 구성하였고, 기초사료(사료3)는 NRC (1994)에서 권장되는 영양소 요구량 중 아미노산을 제외하고 모두 만족하도록 배합하였다(Table 1). 사료1과 사료5는 옥수수 혹은 대두박만을 각각 단백질 공급원의 유일한 원료가 되도록 배합되었으며, 사료2와 사료4는 각각 사료1과 사료5에서 일정한 함량의 기초사료(사료3)를 차이법(difference method)을 이용하여 옥수수와 대두박으로 같은 비율로 대체하도록 만들었다. 따라서, 기초사료(사료3)에서부터 사료2와 사료1은 일정한 함량으로 옥수수가 증가하고, 사료4와 사료5는 일정한 함량으로 대두박이 증가하도록 하였다. 무질소 사료는 기초 내생 단백질 손실을 측정하기 위한 배합사료이며, 모든 실험사료는 0.5%의 산화크롬을 소화율 계산을 위한 지시제로 첨가하였다. 전체 실험기간 동안 육계에게 물과 사료를 무제한 급여하였으며, 점등은 전체 실험기간 동안 24시간 종일 점등을 실시하였다. 시험에 관련된 닭의 관리 및 취급은 건국대학교의 동물실험윤리위원회(IACUC)의 규정을 준수하여 시행하였다.

2. 시험분석 항목 및 방법

1) 조단백질 소화율을 위한 회장 소화물 채취

23일령에 모든 육계를 이산화탄소로 안락사 시킨 후, 회장 소화물을 메켈계실부터 회장과 맹장의 연결부위보다 2 cm 정도 위쪽까지, 즉 회장의 후반부 2/3를 증류수로 씻어내어 채취하였다(Kong and Adeola, 2013). 채취한 회장 소화물은 케이지 별로 취합하여 이후의 분석을 위해 -20℃의 냉동고 저장하였다.

2) 화학 성분 분석

원료사료와 실험사료 및 회장 소화물은 균일하게 분쇄하여 크롬과 조단백질 분석을 하였다. 배합사료와 회장 소화물에서의 크롬은 분광광도계(Optizen 2120UV, Mecasys Inc., Daejeon, Republic of Korea)를 사용하여 분석하였고, 조단백질은 Kjeldahl 분석기(Büchi Distillation Unit B-324, Flawil, Switzerland)를 이용하여 분석하였다.

3. 계산 및 통계처리

옥수수와 대두박만을 각각 단백질 공급원으로 하는 사료 1과 사료5로부터 직접법으로 옥수수와 대두박 각각의 원료 사료 소화율을 구하였고, 측정 외관상 및 표준 회장 소화율과 기초 내생 조단백질은 다음 공식으로 계산되었다(Kong and Adeola, 2014).

$$\text{외관상 회장 소화율(AID, \%)} = 100 - [(Cr_i/Cr_o \times CP_o/CP_i) \times 100]$$

$$\text{기초 내생 조단백질(BEL, mg/kg of DM intake)} = (Cr_i/Cr_o) \times CP_o \times 10,000$$

$$\text{표준 회장 소화율(SID, \%)} = \text{AID} + (\text{BEL}/CP^i \times 10,000) \times 100$$

Cr_i 과 Cr_o 은 각각 배합사료와 회장 소화물 내의 크롬의 농도(%)이고, CP_i 와 CP_o 는 각각 배합사료와 회장 소화물 내의 조단백질 농도(%)이다.

각 원료사료의 조단백질 함량과 직접법으로 측정된 소화율을 이용하여 ‘기초 + 옥수수’(사료2), ‘기초사료’(사료3) 및 ‘기초 + 대두박’(사료4)의 ‘예측 소화율’(predicted digestibility) 값을 계산하였고 ‘예측 소화율’은 실제로 육계에게 사료를 급여하여 구한 ‘측정 소화율’(measured digestibility)과 비교하여 두 값의 차이가 없는 경우 가산성이 있는 것으로 판단하였다(Kong and Adeola, 2014).

예측 외관상 및 표준 회장 조단백질 소화율은 다음의 공

Table 1. Ingredients and analyzed crude protein composition of experimental diets (as-fed basis)

Item	Dietary treatment					
	Corn (Diet 1)	Basal + corn (Diet 2)	Basal (Diet 3)	Basal + SBM ¹ (Diet 4)	SBM (Diet 5)	NFD ²
Corn	93.00	79.00	65.00	32.50	-	-
SBM	-	14.00	28.00	34.00	40.00	-
Corn starch	-	-	-	25.50	51.00	29.21
Sucrose	-	-	-	-	-	55.00
Soybean oil	2.00	2.00	2.00	3.00	4.00	4.00
Monocalcium phosphate	2.10	2.10	2.10	2.10	2.10	2.10
Limestone	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
Vitamin-mineral premix ³	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	1.00
Salt	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	-
Chromic oxide	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
Cellulose	-	-	-	-	-	5.00
Choline chloride	-	-	-	-	-	0.25
Sodium bicarbonate	-	-	-	-	-	0.75
Potassium chloride	-	-	-	-	-	0.30
Magnesium oxide	-	-	-	-	-	0.09
Potassium carbonate	-	-	-	-	-	0.30
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
Analyzed nutrient (%)						
Crude protein	8.77	13.8	19.1	20.7	20.7	0.33

¹ SBM = soybean meal.

² NFD = nitrogen-free diet.

³ Provided the following quantities per kilogram of premix: vitamin A, 1,600,000 IU; vitamin E, 800 IU; vitamin K₃, 132 mg; vitamin B₁, 97 mg; vitamin B₂, 500 mg; vitamin B₆, 200 mg; vitamin B₁₂, 1,200 mg; nicotinic acid, 2,000 mg; calcium pantothenate, 800 mg; folic acid, 60 mg; choline chloride, 35,000 mg; zinc, 9,000 mg as zinc sulfate; manganese, 12,000 mg as manganese sulfate; iron, 94,000 mg as iron sulfate; copper, 500 mg as copper sulfate; iodine, 250 mg as calcium iodide; cobalt, 100 mg as cobalt sulfate; selenium, 50 mg as sodium selenite.

식을 이용하여 계산하였다;

$$\text{예측 외관상 회장 조단백질 소화율(AIDp, \%)} = \frac{[(AID_{Corn} \times CP_{Corn}) + (AID_{SBM} \times CP_{SBM})]}{(CP_{Corn} + CP_{SBM})}$$

$$\text{예측 표준 회장 조단백질 소화율(SIDp, \%)} = \frac{[(SID_{Corn} \times CP_{Corn}) + (SID_{SBM} \times CP_{SBM})]}{(CP_{Corn} + CP_{SBM})}$$

AID_{Corn} 와 AID_{SBM} 는 각각 옥수수과 대두박의 외관상 회장

조단백질 소화율이고, SID_{Corn} 와 SID_{SBM} 은 각각 옥수수와 대두박의 표준 회장 소화율(%)이며, CP_{Corn} 와 CP_{SBM} 은 각각 배합사료내 옥수수와 대두박의 조단백질의 농도(%)이다.

Kong and Adeola(2014)의 차이법을 이용하여 옥수수와 대두박의 간접법 소화율을 계산하였고, 직접법과 간접법을 이용하여 구한 각각의 조단백질 소화율을 비교하였다.

실험 데이터의 통계분석은 SAS(SAS Inst. Inc., Cary, NC)의 T-TEST 방법을 이용하여 분석하였고, 유의수준은 0.05로 설정하였다. 측정 소화율을 예측 소화율에서 뺀 차이로 측정

소화율과 예측 소화율 값을 단일표본 양측 *t*검정 방법을 이용하여 비교하였고, 실험단위는 케이지였다.

결과 및 고찰

‘옥수수’(사료1), ‘기초 + 옥수수’(사료2), ‘기초사료’(사료3), ‘기초 + 대두박’(사료4), ‘대두박’(사료5) 및 무질소사료에서의 조단백질 함량은 각각 8.77, 13.8, 19.1, 20.7, 20.7 및 0.33 %로 나타났다(Table 1). 무질소 사료를 이용하여 측정된 기초 내생 단백질 손실 값은 건물 섭취 1 kg당 8,343 mg이었다.

옥수수의 외관상 및 표준 회장 조단백질 소화율은 각각 76.2와 85.0%였고, 대두박의 외관상 및 표준 회장 조단백질 소화율은 83.5와 87.2%로 측정되었으며(Table 2) 이 값은 이전의 연구에서 측정된 값과 유사한 수치였다(Huang et al., 2006; de Coca-Sinova et al., 2008; Kong and Adeola, 2013).

Table 2. Direct and indirect digestibility (%) of corn and soybean meal in broilers^{1,2}

		Direct	Indirect	Standard error	<i>P</i> -value
Corn	AID	76.2	77.2	2.44	0.72
	SID	85.0	86.1	2.44	0.66
Soybean meal	AID	83.5	89.0	2.06	0.04
	SID	87.2	92.4	2.06	0.05

¹ AID = apparent ileal digestibility; SID = standardized ileal digestibility.

² Each least squares mean represents 7 observations.

하지만, 본 실험에서의 기초 내생 단백질 손실이 건물 1 kg 섭취당 8,343 mg으로 다른 연구보다 낮은 수준이었기 때문에(Kong and Adeola, 2013; Adedokun et al., 2014), 옥수수와 대두박의 표준 회장 조단백질 소화율은 이전의 연구 결과보다 낮게 나타났다(Adedokun et al., 2014).

외관상 회장소화율과 표준 회장소화율 간의 차이는 대두박보다 옥수수에서 더 크게 나타났다. 이 결과는 대두박과 비교하였을 때 옥수수가 상대적으로 더 조단백질 함량이 낮은 원료이므로, 회장 소화물내 전체 조단백질 중 기초 내생 조단백질이 차지하는 비율이 대두박에 비해 옥수수에서 더 크게 나타났고, 따라서, 옥수수의 외관상 회장 조단백질 소화율이 저평가되었으며, 기초 내생 단백질로 소화율을 보정해 줄 때 옥수수의 표준 회장 조단백질 소화율은 대두박에 비해 더 많이 증가하였음을 알 수 있었다(Kong and Adeola, 2013).

옥수수와 대두박의 외관상 및 표준 회장 조단백질 소화율을 각각 직접법과 간접법으로 구한 값을 비교하였을 때, 옥수수의 경우 외관상 및 표준 회장 조단백질 소화율 모두 유의한 차이가 나타나지 않았으나, 대두박의 경우 간접법을 이용한 조단백질 소화율이 외관상 회장 소화율에서 직접법을 이용한 소화율보다 더 높았다($P=0.04$). 이는 본 실험에서 대두박(사료5)의 평균 소화율에 비해 기초 + 대두박(사료4)의 평균 소화율이 높게 관측되었기 때문에, 기초(사료3)와 기초 + 대두박(사료4)을 이용하여 간접법으로 측정된 대두박의 단백질 소화율 값이 높아진 것으로 사료된다.

예측한 외관상 및 표준 회장소화율과 측정 소화율 값을 Table 3에 제시하였다. ‘예측 소화율’은 옥수수와 대두박의 소화율과 배합사료내 각각의 원료사료의 함량을 이용하여

Table 3. Measured and predicted values for apparent and standardized ileal crude protein digestibility of broilers fed a corn-soybean meal mixed diet^{1,2}

		Measured	Predicted	Difference ³	Standard error	<i>P</i> -value
Basal + Corn (Diet 2)	AID	78.5	82.2	-3.7	0.82	0.004
	SID	84.0	86.8	-2.7	0.82	0.015
Basal (Diet 3)	AID	79.1	82.9	-3.8	1.00	0.010
	SID	83.1	87.0	-3.9	1.00	0.008
Basal + SBM ⁴ (Diet 4)	AID	84.4	83.2	1.2	1.33	0.415
	SID	88.1	87.1	1.0	1.33	0.489

¹ AID = apparent ileal digestibility; SID = standardized ileal digestibility.

² Each least squares mean represents 7 observations.

³ Calculated as measured - predicted.

⁴ SBM = soybean meal.

계산하였는데, ‘기초 + 옥수수’(사료2)와 ‘기초사료’(사료3)의 외관상 및 표준 회장 예측 소화율이 측정 소화율 값보다 더 높게 나타났다. 그러나, ‘기초 + 대두박’(사료4)의 외관상 및 표준 회장 소화율 모두에서 예측 소화율과 측정 소화율 간의 통계적 유의차는 나타나지 않았다. 이것은 상대적으로 기초 내생 조단백질의 함량에 영향을 덜 받는 대두박이 사료내 조단백질에 기여하는 함량이 높아 직접법으로 측정된 옥수수과 대두박의 소화율을 이용하여 예측한 소화율 값이 실제 측정된 소화율값과 유의한 차이를 보이지 않은 것으로 사료된다.

이론적으로, 예측 외관상 소화율이 측정 외관상 소화율보다 그 값이 작아야 하지만, 본 실험에서는 사료2와 사료3에서 예측 소화율 값이 더 크게 계산되었다(Kong and Adeola, 2013). 이는 유사한 사료의 배합비로 측정된 실험에서의 외관상 소화율과 비교하였을 때 사료2와 사료3의 소화율이 낮게 측정되었기 때문일 것으로 사료된다. 옥수수와 대두박 배합사료(사료2~4)에서 표준 회장 조단백질 소화율의 예측치와 측정치 값들 간에 유의한 차이가 없을 것으로 예상되었으나, ‘기초 + 옥수수’(사료2)와 ‘기초사료’(사료3)의 예측 및 측정 표준 회장 조단백질 소화율 간의 유의차가 나타나, 본 실험에서 측정된 옥수수와 대두박의 표준 회장 조단백질 소화율이 배합사료에서 가산성을 만족하지 않았는데, 이것은 본 실험에서 측정된 기초 내생 단백질의 양이 낮게 나타나 상대적으로 기초 내생 단백질이 소화물 내에 차지하는 비율이 낮아 그 영향이 작았기 때문이라고 사료된다(Kong and Adeola, 2013; Adedokun et al., 2014).

결론적으로, 옥수수와 대두박의 외관상 및 표준회장 조단백질 소화율을 직접법과 간접법으로 구한 값의 비교에서 옥수수는 직접법과 간접법 간의 차이가 나타나지 않았고, 대두박은 간접법으로 측정된 값이 높았으며, 또한 직접법으로 구한 소화율을 기초로 하여 예측한 ‘기초사료’(사료3)의 소화율 값은 측정값과 서로 달라 가산성을 만족하지 않았다.

적 요

본 연구의 목적은 옥수수와 대두박 배합사료에서의 직접법 또는 간접법으로 구한 조단백질 소화율을 비교하는 것과 조단백질 소화율의 가산성을 평가하는 것이다. 총 525수의 18일령 육계를 공시하여 체중을 기준으로 7개의 그룹으로 나누고, 6개의 처리구를 각 그룹에 난괴법으로 배치하였다. 기초사료(사료3)는 옥수수 65%와 대두박 28%를 포함하게 배합하였고, 사료1과 사료5는 옥수수와 대두박을 유일한 단백

질의 공급원으로 하는 원료가 되게 배합하였다. 차이법을 사용하기 위하여 사료2와 사료4를 사료1과 사료5로부터 기초사료(사료3)를 옥수수와 대두박의 일부와 각각 대체시켜 배합하였다. 사료2는 옥수수 79%와 대두박 14%가 되게 배합하였고, 사료4는 옥수수 32.5%와 대두박 34%가 되도록 배합하였다. 가산성을 평가하기 위해, 사료2~4에서 측정된 값을 사료1과 사료5를 이용해 구한 옥수수와 대두박의 조단백질 소화율을 이용하여 계산한 예측값과 비교하였다. 직접법과 간접법으로 구한 소화율 값은 옥수수에서는 유의한 차이를 보이지 않았지만, 대두박에서는 직접법과 간접법 간의 유의한 차이를 보여주었다. 추가적으로 사료2와 사료3에서는 외관상 회장 소화율과 표준 회장 소화율 간에 유의적 차이를 보여 소화율의 가산성이 부족함을 보인 반면, 대두박의 조단백질 함량이 옥수수에 비해 더 높아 기초 내생 조단백질의 영향을 덜 받아서, 사료4의 외관상 및 표준 회장 조단백질 소화율 간의 유의적 차이가 나타나지 않았고, 소화율의 가산성을 만족함을 보여주었다. 본 실험을 통해 원료사료의 단백질 함량에 따른 소화율 값의 차이가 소화율 측정방법에 따라 다름을 확인되었으며, 이러한 결과는 육계 사료배합의 정밀성을 높이는데 이용될 수 있을 것으로 기대된다.

(색인어: 가산성, 기초내생 손실, 육계, 조단백질, 회장 소화율)

사 사

본 연구는 2017년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 이공분야 기초연구사업임 (NRF-2015R1C1A1A02036777).

REFERENCES

- Adedokun SA, Jaynes P, Abd El-Hack ME, Payne RL, Applegate TJ 2014 Standardized ileal amino acid digestibility of meat and bone meal and soybean meal in laying hens and broilers. *Poult Sci* 93:420-428.
- de Coca-Sinova A, Valencia DG, Jiménez-Moreno E, Lázaro R, Mateos GG 2008 Apparent ileal digestibility of energy, nitrogen, and amino acids of soybean meals of different origin in broilers. *Poult Sci* 87:2613-2623.
- Fan MZ, Sauer WC 1995 Determination of apparent ileal amino acid digestibility in barley and canola meal for pigs with the direct, difference, and regression methods. *J Anim*

- Sci 73:2364-2374.
- Huang KH, Li X, Ravindran V, Bryden WL 2006 Comparison of apparent ileal amino acid digestibility of feed ingredients measured with broilers, layers, and roosters. *Poult Sci* 85:625-634.
- Kim BG, Lindemann MD 2007 A new spreadsheet method for the experimental animal allotment. *J Anim Sci* 85(Suppl. 2):218 (Abstr.).
- Kong C, Adeola O 2013 Additivity of amino acid digestibility in corn and soybean meal for broiler chickens and White Pekin ducks. *Poult Sci* 92:2381-2388.
- Kong C, Adeola O 2014 Evaluation of amino acid and energy utilization in feedstuff for swine and poultry diets. *Asian Australas J Anim Sci* 27:917-925.
- NRC 1994 Nutrient Requirements of Poultry, 9th edn. National Academy Press, Washington, DC.
- Stein HH, Pedersen C, Wirt AR, Bohlke RA 2005 Additivity of values for apparent and standardized ileal digestibility of amino acids in mixed diets fed to growing pigs. *J Anim Sci* 83:2387-2395.
- Stein HH, Sève B, Fuller MF, Moughan PJ, de Lange CFM 2007 Invited review: amino acid bioavailability and digestibility in pig feed ingredients: Terminology and application. *J Anim Sci* 85:172-180.

Received Sep. 26, 2017, Revised Dec. 4, 2017, Accepted Dec. 7, 2017