



수입 박류사료내 에너지 및 영양소 함량의 변이

손 아 름[†]

장안대학교 바이오동물보호과 조교수

Variation in Energy and Nutrient Composition of Oilseed Meals from Different Countries

Ah Reum Son[†]

Assistant Professor, Department of Bio-Animal Care, Jangan University, Hwaseong 18331, Republic of Korea

ABSTRACT This study was conducted to investigate the variation in nutrient composition of oilseed meals and to develop prediction equations for amino acid concentrations. Energy and nutrient contents were determined in a total of 1,380 feed ingredient samples including copra byproducts, corn distillers, dried grains with solubles, palm kernel byproducts, and soybean meal. The ingredient samples were imported to the Republic of Korea between 2006 and 2015. Data were analyzed using the MIXED procedure of SAS. The regression procedure of SAS was used to generate the prediction equation for the lysine concentration using the crude protein (CP) concentration as an independent variable. The concentrations of moisture, gross energy, CP, ether extract, crude fiber, ash, calcium, phosphorus, lysine, methionine, cysteine, and threonine in tested oilseed meals differed ($P<0.05$) depending on producing countries. The prediction equations for amino acid concentrations (% as-is basis) in the oilseed meals are: lysine = $-1.08 + 0.080 \times \text{CP}$ (root mean square error = 0.244, $R^2 = 0.924$, and $P<0.001$); threonine = $-0.297 + 0.044 \times \text{CP}$ (root mean square error = 0.099, $R^2 = 0.958$, and $P<0.001$). In conclusion, energy and nutrient compositions vary in the oilseed meals depending on the producing countries. Moreover, the crude protein concentration can be used as a suitable independent variable for estimating lysine and threonine concentrations in the oilseed meals.

(Key words: crude protein, feed ingredient, origin, prediction equation, variability)

서 론

대한민국의 경우, 가축의 생산에 필요한 원료사료의 대부분을 수입에 의존하고 있다. 국내 배합사료 생산량은 2019년 2,000만 톤을 넘어섰으며(Statistics Korea, 2020), 배합사료 내 수입원료의 사용 비율은 1990년 이후 약 75% 수준을 유지하고 있으나, 이는 수입된 곡물을 국내에서 가공하는 과정에서 발생하는 가공부산물은 제외된 것으로, 수입곡물 가공부산물까지 합치면 수입원료의 사용 비율은 90%를 상회하는 수준이다(Korea Rural Economic Institute, 2017). 박류사료는 단위동물 배합사료에서 단백질 및 아미노산 공급원으로써 일반적으로 전체 사료의 20~30%를 차지한다. 대두박은 가금사료에서 전통적으로 사용하는 주요 단백질 공급원료사료이지만, 최근에는 대두박을 대체할 수 있는 단백질

공급원에 대한 관심 및 연구가 증가하고 있다(Ravindran, 2013). 대표적인 대두박 대체 원료사료는 옥수수주정박이 있으며, 면실박, 캐놀라박(canola meal), 아자박, 팜박 등도 가금용 배합사료에서 사용 가능한 대체 원료사료의 후보군에 포함될 수 있다(Świątkiewicz and Koreleski, 2008; Shim et al., 2011; Ravindran, 2013; Rezaei et al., 2015).

원료사료에 포함되어 있는 영양소 이용성의 극대화는 가축에게 사료를 통해 급여하는 영양소의 과부족을 방지할 수 있으며, 체내에서 이용되지 못해 낭비되고 분뇨를 통해 환경오염을 일으키는 오염원의 배출을 최소화시킬 수 있다(Nahm, 2007; Kong and Adeola, 2014; Lu et al., 2017). 정밀한 사료 배합을 위해서는 원료사료내 영양소 함량과 체내 이용성에 대한 정보가 필수적이다. 특히 사용되는 원료사료의 대부분을 수입에 의존하고 있는 경우에는 안정적이고 예

[†] To whom correspondence should be addressed : ardongja@naver.com

측 가능한 원료사료의 확보와 영양소 조성에 관한 정보가 더욱 중요하다고 볼 수 있다. 원산지에 따른 원료사료내 에너지 및 영양소 조성에 변이가 존재한다는 것은 잘 알려져 있으나(Pedersen et al., 2014; Lee et al., 2016a; Lagos and Stein, 2017; Dong et al., 2020), 이에 대한 국내 연구는 부족한 실정이다. 따라서 본 연구는 국내로 수입된 박류사료의 에너지 및 영양소 함량을 수입국가에 따라 비교 및 분석하며, 박류사료내 아미노산 함량을 추정할 수 있는 추정식을 개발하기 위하여 수행되었다.

재료 및 방법

1. 원료사료 샘플

본 연구에서는 2006년부터 2015년에 국내로 수입된 박류사료 6종의 샘플 총 1,380개에 대한 에너지 및 일반성분 조성 정보를 사용하였다. 인도네시아 및 필리핀으로부터 수입한 170개의 야자박-압착(copra expellers) 샘플과 356개의 야자박(copra meal) 샘플, 중국과 미국으로부터 수입한 31개의 옥수수주정박(corn distillers dried grains with solubles) 샘플, 인도네시아와 말레이시아로부터 수입한 563개의 팜박-압착(palm kernel expellers) 샘플과 85개의 팜박(palm kernel meal) 샘플, 아르헨티나, 중국, 인도 및 미국으로부터 수입한 175개의 대두박(soybean meal) 샘플을 사용하였다.

2. 화학분석

원료사료 샘플은 수분(moisture; method 930.15; AOAC, 2005), 조단백질(crude protein), 조지방(ether extract; method 920.39; AOAC, 2005), 조섬유(crude fiber), 조회분(ash; method 942.05; AOAC, 2005), 칼슘(calcium), 인(phosphorus), 총에너지(gross energy) 함량을 분석하였다. 조단백질 함량은 듀마스 분석법(Dumas combustion method; Leco, St. Joseph, MI, USA)을 이용하여 분석하였다. 조섬유 함량은 필터백(filter bag)을 이용하여 분석(Ankom technology, Macedon, NY, USA)하였으며, 칼슘과 인은 유도결합플라즈마분석기(inductively coupled plasma spectroscopy; method 985.91; AOAC, 2005)를 이용하여 분석하였다. 원료사료내 총에너지 함량은 열량측정계(bomb calorimeter; IKA Calorimeter C 2000 basic; IKA-Werke GmbH, Staufen, Germany)로 분석하였다. 샘플 내 아미노산 함량 분석시, postcolumn 유도체화를 위해 ninhydrin을 사용하였고, 분석 전에 샘플들은 100°C의 6N 염산(HCl)에서 24시간 동안 가수분해시켰다. 메티오닌과 시스

테인은 가수분해 전 하룻밤 동안 차가운 과포름산에서 산화시킨 후, 각각 Met sulfone과 cysteic acid로써 분석되었다.

3. 통계분석

원료사료 데이터는 SAS(SAS Inst., Inc., Cary, NC, USA)의 MIXED procedure를 이용해서 분석하였다. 모델에는 원료사료의 수입국가를 독립변수, 원료사료내 에너지 및 영양소 조성이 종속변수로 포함되었다. 수입연도에 따른 원료사료내 에너지 및 영양소 조성에 대한 변이의 유의성은 인정되지 않아 최종모델에 수입국가만 하나의 독립변수로써 포함되었다. 원료사료내 조단백질과 아미노산 함량 사이의 상관관계는 SAS의 correlation procedure로 분석하였다. 원료사료내 아미노산 함량을 추정하기 위한 추정식 개발을 위하여 SAS의 regression procedure를 이용하였으며, 조단백질 함량이 독립변수로써 사용되었다. 통계적인 유의성은 $P < 0.05$ 이하일 때로 설정하였다.

결과 및 고찰

1. 수입국가에 따른 변이

야자부산물인 야자박-압착과 야자박은 사료명칭이 혼용되어 사용되거나 구분없이 수입되는 경우가 있으나, 가공과정에서 발생하는 사료의 원료사료내 조지방 함량의 차이에 따라 두 원료사료를 구분하였다(Lee and Kim, 2017). 야자부산물 원료사료는 수입국가에 따라 에너지 및 영양소 함량에서 차이($P < 0.05$)가 있는 것으로 나타났다(Tables 1 and 2). 야자박-압착내 조단백질, 조지방, 조섬유, 조회분, 총에너지, 메티오닌, 시스테인 및 트레오닌 함량은 필리핀산보다 인도네시아산에서 높았다($P < 0.05$). 야자박의 경우, 수분, 조단백질, 조섬유 및 칼슘 함량이 필리핀산보다 인도네시아산에서 높았으며($P < 0.05$), 조지방, 조회분 및 라이신 함량은 필리핀산이 높았다($P < 0.05$). 본 연구에서 사용된 야자부산물의 평균 에너지 및 영양소 함량은 이전 연구에서 보고된 수치들의 범위내에 존재하였다(Sauvant et al., 2004; NRC, 2012; Son et al., 2014; Stein et al., 2015). 본 연구에서 사용된 인도네시아산 야자박-압착내 총에너지 함량이 다소 높은 것으로 나타났으나, 이는 조지방 함량이 10.72%로 이전 연구에서 보고된 수치들보다 높기 때문인 것으로 보인다.

옥수수주정박내 에너지 및 영양소 함량은 이전 연구에서 보고된 수치들의 범위 내에 대부분 존재하였으며(Sauvant et al., 2004; NRC, 2012), 수입국가에 따라 차이가 있는 것으로

Table 1. Gross energy (GE, kcal/kg) and nutrient composition (%) of copra expellers from different countries (as-is basis)

	Moisture	Crude protein	Ether extract	Crude fiber	Ash	GE	Calcium	Phosphorus	Lysine	Methionine	Cysteine	Threonine
Indonesia												
n	39	36	38	45	36	26	36	36	24	24	24	24
Mean	8.16	21.38	10.72	13.03	6.31	4,540	0.10	0.54	0.39	0.34	0.37	0.58
CV	26.29	3.88	22.68	23.08	5.09	5.52	20.39	9.09	23.90	85.37	129.75	9.02
Philippines												
n	119	121	125	125	121	82	120	121	81	81	81	81
Mean	8.79	20.63	8.78	12.12	6.02	4,343	0.10	0.56	0.38	0.25	0.26	0.56
CV	27.06	4.35	11.50	14.92	6.66	4.81	34.35	9.29	22.50	39.26	14.51	10.61
SEM	0.30	0.12	0.19	0.27	0.05	35	0.004	0.01	0.01	0.03	0.04	0.01
P-value	0.148	<0.001	<0.001	0.018	<0.001	<0.001	0.764	0.107	0.453	0.031	0.043	0.043

CV, coefficient of variation; SEM, standard error of the mean.

Table 2. Gross energy (GE, kcal/kg) and nutrient composition (%) of copra meal from different countries (as-is basis)

	Moisture	Crude protein	Ether extract	Crude fiber	Ash	GE	Calcium	Phosphorus	Lysine	Methionine	Cysteine	Threonine
Indonesia												
n	171	171	171	171	171	124	171	171	109	109	109	109
Mean	10.98	21.73	2.37	12.46	6.54	4,033	0.12	0.56	0.37	0.24	0.28	0.59
CV	11.94	4.47	49.91	20.44	6.25	6.14	70.84	13.10	29.87	30.98	17.18	13.17
Philippines												
n	184	184	185	184	184	145	184	184	132	132	132	132
Mean	10.68	20.98	3.24	11.40	6.69	4,082	0.10	0.56	0.40	0.23	0.27	0.58
CV	13.17	3.35	35.63	13.94	8.71	5.06	29.11	11.53	22.73	17.41	12.37	12.82
SEM	0.10	0.06	0.09	0.16	0.04	20	0.005	0.01	0.01	0.01	0.004	0.01
P-value	0.038	<0.001	<0.001	<0.001	0.005	0.076	0.016	0.349	0.025	0.344	0.118	0.375

CV, coefficient of variation; SEM, standard error of the mean.

분석되었다($P<0.05$; Table 3). 조단백질, 조섬유, 조회분 및 칼슘 함량이 미국산보다 중국산에서 더 높았으며($P<0.05$), 조지방 및 총에너지 함량은 중국산보다 미국산이 더 높았다($P<0.05$). NRC(2012)에서는 옥수수주정박내 에너지 및 영양소 함량을 지방 함량으로 구분하여 4% 미만, 6% 초과 및 9% 미만, 10% 이상으로 나누어 제시하고 있다. 본 연구에서 사용된 옥수수주정박은 원산지뿐만 아니라, 조지방 함량에서 중국산과 미국산이 각각 6.00%와 11.65%로 분석되어 상

당한 차이를 보이기 때문에 서로 다른 원료로써 구분되어야 할 것으로 보인다.

팜나무(palm tree) 열매의 가공부산물인 팜박-압착과 팜박 역시 야자부산물과 동일하게 가공과정에서 발생하는 사료의 원료사료내 조지방 함량의 차이에 따라 구분하였으며(Stein et al., 2015), 두 원료사료 모두 수입국가에 따라 에너지 및 영양소 조성에서 차이가 있었다($P<0.05$; Tables 4 and 5). 팜박-압착에서는 조단백질, 조회분, 칼슘, 인, 라이신 및

Table 3. Gross energy (GE, kcal/kg) and nutrient composition (%) of corn distillers dried grains with solubles from different countries (as-is basis)

	Moisture	Crude protein	Ether extract	Crude fiber	Ash	GE	Calcium	Phosphorus	Lysine	Methionine	Cysteine	Threonine
China												
n	18	18	18	16	18	18	18	18	18	18	18	18
Mean	12.54	28.78	6.00	8.20	5.37	4,564	0.08	0.77	0.82	0.75	0.51	0.99
CV	5.77	2.14	19.71	12.48	18.87	0.71	29.52	9.33	24.60	29.26	10.96	7.27
USA												
n	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
Mean	12.32	26.45	11.65	7.17	4.44	4,753	0.03	0.75	0.77	0.74	0.50	0.97
CV	14.41	6.45	16.98	6.92	14.00	2.32	30.84	11.09	7.32	18.75	45.20	7.01
SEM	0.33	0.31	0.40	0.22	0.22	19	0.01	0.02	0.04	0.05	0.04	0.02
P-value	0.644	<0.001	<0.001	0.003	0.006	<0.001	<0.001	0.630	0.358	0.886	0.862	0.311

CV, coefficient of variation; SEM, standard error of the mean.

Table 4. Gross energy (GE, kcal/kg) and nutrient composition (%) of palm kernel expellers from different countries (as-is basis)

	Moisture	Crude protein	Ether extract	Crude fiber	Ash	GE	Calcium	Phosphorus	Lysine	Methionine	Cysteine	Threonine
Indonesia												
n	288	290	289	289	289	218	289	289	186	186	186	186
Mean	9.22	14.87	8.40	15.86	4.25	4,551	0.39	0.55	0.32	0.26	0.18	0.41
CV	17.88	5.18	14.20	12.24	12.12	4.86	23.62	11.55	23.01	21.52	27.08	17.79
Malaysia												
n	273	273	273	272	273	207	273	273	166	164	166	166
Mean	8.18	15.77	7.81	15.03	4.56	4,513	0.42	0.60	0.35	0.25	0.19	0.43
CV	20.76	4.54	14.26	13.79	17.08	3.72	23.00	9.60	28.54	18.53	90.05	11.03
SEM	0.10	0.04	0.07	0.12	0.04	14	0.01	0.004	0.01	0.004	0.01	0.005
P-value	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.048	0.003	<0.001	0.005	0.613	0.242	0.021

CV, coefficient of variation; SEM, standard error of the mean.

트레오닌 함량이 인도네시아산보다 말레이시아산에서 더 높았다($P<0.05$). 팜박에서는 조단백질, 조회분 및 인 함량이 인도네시아산보다 말레이시아산에서 더 높았으며($P<0.05$), 조섬유 함량은 인도네시아산이 더 높았다($P<0.05$). 본 연구에서 사용된 팜박-압착 및 팜박내 에너지 및 영양소 조성은 기존 연구들이 보고한 수치들의 범위내에 존재하였다(Sauvant et al., 2004; NRC, 2012; Sulabo et al., 2013; Son et al., 2014).

총 다섯 개의 국가로부터 수입된 대두박의 샘플에서도 원산지에 따른 에너지 및 영양소 변이가 존재하는 것으로 나타났다($P<0.05$; Table 6), 대두박의 원산지에 따른 영양소 함량의 차이는 이전 연구에서도 보고되었다(Lagos and Stein, 2017). 수분, 조단백질, 조섬유, 조회분, 총에너지, 칼슘, 인 및 메티오닌 함량에서 유의한 차이($P<0.05$)를 보였다. 조단백질 함량의 경우 45.17%(아르헨티나)부터 46.17%(미국),

Table 5. Gross energy (GE, kcal/kg) and nutrient composition (%) of palm kernel meal from different countries (as-is basis)

	Moisture	Crude protein	Ether extract	Crude fiber	Ash	GE	Calcium	Phosphorus	Lysine	Methionine	Cysteine	Threonine
Indonesia												
n	21	21	22	21	21	14	21	21	13	13	13	13
Mean	9.92	15.12	5.49	16.03	4.12	4,378	0.41	0.57	0.30	0.26	0.18	0.40
CV	16.64	5.54	8.88	20.92	7.68	1.86	29.55	6.22	15.02	14.90	12.29	10.20
Malaysia												
n	61	61	63	61	61	40	61	61	34	34	34	34
Mean	9.62	15.95	5.32	14.58	4.62	4,353	0.45	0.62	0.28	0.24	0.18	0.41
CV	13.58	3.97	8.16	13.71	11.14	4.59	22.46	11.15	29.06	22.88	21.77	10.93
SEM	0.25	0.12	0.08	0.43	0.08	39	0.02	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01
P-value	0.398	<0.001	0.124	0.020	<0.001	0.655	0.096	0.004	0.335	0.160	0.495	0.612

CV, coefficient of variation; SEM, standard error of the mean.

Table 6. Gross energy (GE, kcal/kg) and nutrient composition (%) of soybean meal from different countries (as-is basis)

	Moisture	Crude protein	Ether extract	Crude fiber	Ash	GE	Calcium	Phosphorus	Lysine	Methionine	Cysteine	Threonine
Argentina												
n	11	11	11	11	11	2	3	3	10	10	10	10
Mean	11.61	45.17	1.24	3.94	6.02	4,400	0.30	0.64	2.79	0.59	0.61	1.78
CV	7.85	1.44	40.47	9.16	7.34	3.76	14.53	0.90	5.80	6.79	5.99	3.79
China												
n	65	65	65	65	65	39	43	43	61	61	61	61
Mean	12.40	45.20	1.15	5.27	5.91	4,128	0.29	0.62	2.72	0.55	0.61	1.74
CV	3.87	2.26	30.06	17.04	4.48	3.04	14.81	12.31	7.55	11.49	7.77	7.52
India												
n	83	87	82	83	82	67	77	77	70	70	70	70
Mean	11.76	46.00	1.05	6.40	7.42	4,192	0.47	0.54	2.70	0.54	0.60	1.73
CV	6.18	1.73	32.46	10.80	10.48	3.00	23.30	16.51	8.15	14.12	10.95	10.08
USA												
n	12	12	12	12	12	4	4	4	12	12	12	12
Mean	11.88	46.17	1.19	3.95	6.20	4,223	0.36	0.66	2.86	0.65	0.64	1.83
CV	3.23	1.82	35.29	15.91	3.05	0.76	27.71	4.95	2.66	6.25	7.11	2.92
SEM	0.14	0.20	0.08	0.17	0.13	55	0.04	0.03	0.05	0.02	0.01	0.03
P-value	< 0.001	< 0.001	0.154	< 0.001	< 0.001	0.004	< 0.001	< 0.001	0.088	< 0.001	0.068	0.168

CV, coefficient of variation; SEM, standard error of the mean.

메티오닌 함량의 경우 0.54%(인도)부터 0.65%(미국)의 범위를 나타냈다. 본 연구에서 사용된 대두박 샘플의 조단백질 함량 평균은 약 45.6%로 일반적인 대두박의 조단백질 함량으로 알려져 있는 약 48%보다 낮았으며, 낮아진 조단백질 함량에 비례하여 주요 아미노산의 함량도 이전에 보고된 수치보다 낮은 것으로 보인다(Sauvant et al., 2004; NRC, 2012).

기존에 수행된 연구들은 가공부산물 원료사료의 경우 가공원료, 가공방법, 공장, 지역 등에 따라 동일 원료사료에서 영양소 조성에 차이가 있을 수 있다고 보고하였다(Liu, 2011; Pederson et al., 2014; Adewole et al. 2016). 본 연구의 결과에서도 원산지에 따라 원료사료내 영양소 조성의 변이가 존재하는 것뿐만 아니라, 동일한 원산지내에서도 영양소 함량의 변동계수(coefficient of variation)가 작게는 0.71%부터 높게는 약 130%까지 다양하게 분석되어 변이가 존재함을 확인할 수 있었다.

2. 아미노산 함량 추정식

박류사료내 조단백질과 아미노산 함량의 상관관계 분석

결과, 조단백질 함량과 아미노산 함량은 높은 상관관계 ($r > 0.70, P < 0.001$; Table 7)가 있는 것으로 나타났다. 박류사료내 조단백질 함량을 이용한 아미노산 함량(% as-is basis) 추정식은 다음과 같이 개발되었다(Fig. 1); 라이신 = $-1.08 + 0.080 \times$ 조단백질(root mean square error = 0.244, $R^2 = 0.924$, and $P < 0.001$); 메티오닌 = $0.071 + 0.011 \times$ 조단백질(root mean square error = 0.113, $R^2 = 0.505$, and $P < 0.001$); 시스테인 = $-0.025 + 0.014 \times$ 조단백질(root mean square error = 0.101, $R^2 = 0.691$, and $P < 0.001$); 트레오닌 = $-0.297 + 0.044 \times$ 조단백질(root mean square error = 0.099, $R^2 = 0.958$, and $P < 0.001$). 조단백질 함량을 이용한 아미노산 함량 추정식은 시간, 비용 및 노력을 절감하여 비교적 쉽고 빠르게 박류사료내 아미노산 함량의 예측이 가능할 것으로 보인다(Olukosi and Adebisi, 2013; Lee et al., 2016b).

결론

국내로 수입되고 있는 박류사료내 에너지 및 영양소 함량

Table 7. Correlation coefficients between crude protein concentration and amino acid concentrations in oilseed meals (as-is basis)

Item	Correlation coefficient (r)			
	Lysine	Methionine	Cysteine	Threonine
Crude protein	0.96*	0.71*	0.78*	0.98*
Lysine	-	0.70*	0.74*	0.98*
Methionine		-	0.80*	0.73*
Cysteine			-	0.77*

* $P < 0.001$.

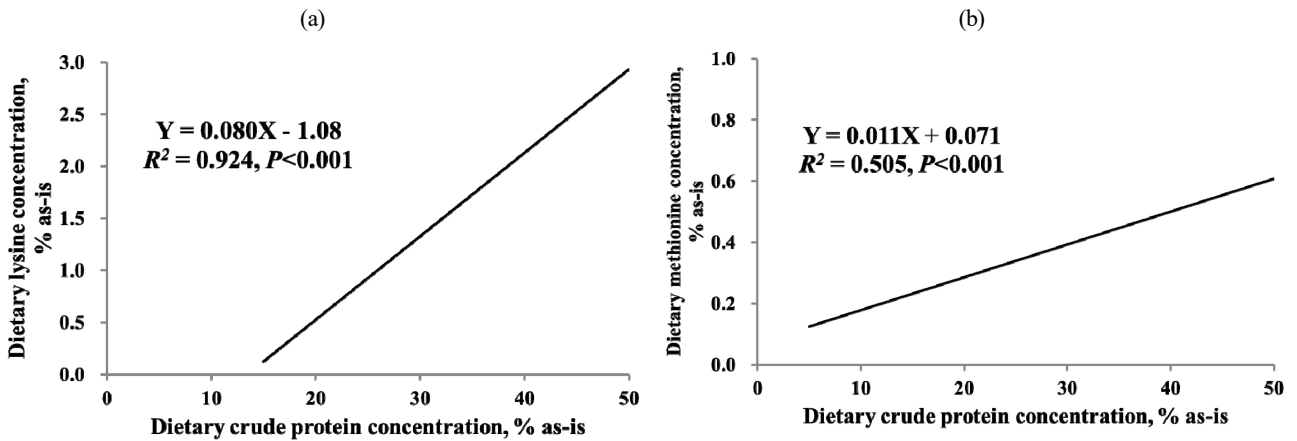


Fig. 1. Prediction equations for (a) lysine, (b) methionine, (c) cysteine, and (d) threonine in oilseed meals (n=928).

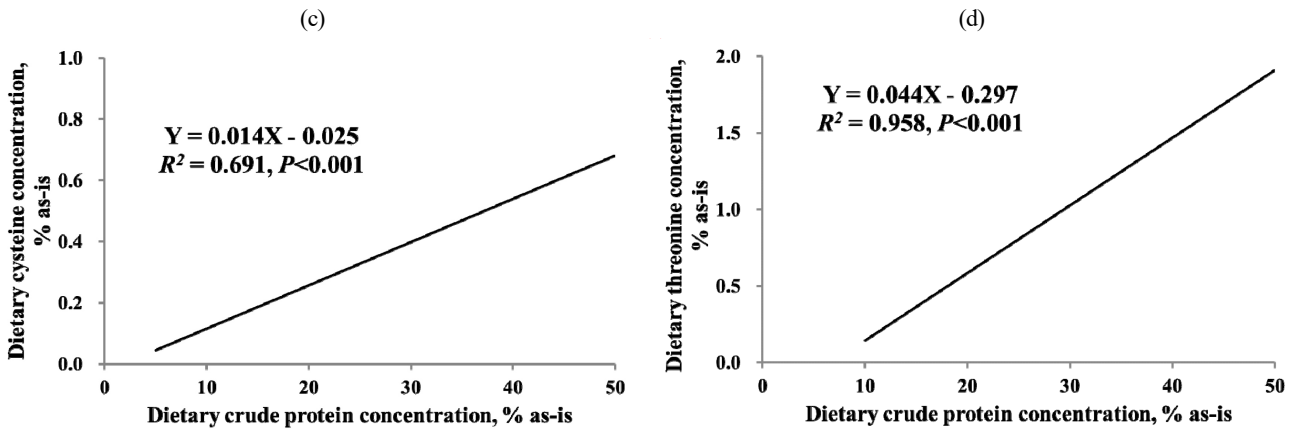


Fig. 1. Continued.

은 수입국가에 따라 변이가 존재하기 때문에 가금용 배합사료의 배합비 작성 시 사용하는 원료사료의 수입국가를 고려하는 것이 더 정밀한 사료 배합을 가능하게 할 것으로 보인다. 또한, 박류사료내 라이신 및 트레오닌 함량을 추정하기 위하여 조단백질 함량을 독립변수로써 활용할 수 있다.

사 사

이 논문은 2016년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2016R1A2B2015665).

ORCID

Ah Reum Son <https://orcid.org/0000-0003-3199-9796>

REFERENCES

- Adewole DI, Rogiewicz A, Dyck B, Slominski BA 2016 Chemical and nutritive characteristics of canola meal from Canadian processing facilities. *Anim Feed Sci Technol* 222:17-30.
- Association of Official Analytical Chemists 2005. *Official Methods of Analysis of AOAC International*. 18th. ed. AOAC International, Gaithersburg, MD, USA.
- Dong W, Li J, Li Z, Zhang S, Li X, Yang C, Liu L, Zhang S 2020 Physicochemical properties and energy content of yellow dent corn from 2 different climatic origins fed to growing pigs. *Asian-Australas J Anim Sci* In Press.
- 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(7):917-925.
- Korea Rural Economic Institute 2017 Market structure and performance analysis of the imported grain processing industries - focusing on the feed industries. Korea Rural Economic Institute, Republic of Korea.
- Lagos LV, Stein HH 2017 Chemical composition and amino acid digestibility of soybean meal produced in the United States, China, Argentina, Brazil, or India. *J Anim Sci* 95(4):1626-1636.
- Lee J, Nam DS, Kong C 2016a Variability in nutrient composition of cereal grains from different origins. *Springer-Plus* 5:419.
- Lee SA, Kim BG 2017 Classification of copra meal and copra expellers based on ether extract concentration and prediction of energy concentrations in copra byproducts. *J Anim Plant Sci* 27(1):34-39.
- Lee SA, Park CS, Nam DS, Kim BG 2016b Prediction models for amino acid concentrations in soybean meal. Page 63 In: *Proceedings of 2016 Annual Congress of KSAST, Korean Society of Animal Science and Technology*, Seoul, Republic of Korea.
- Liu K 2011 Chemical composition of distillers grains, a review. *J Agric Food Chem* 59(5):1508-1526.
- Lu L, Liao XD, Luo XG 2017 Nutritional strategies for reducing nitrogen, phosphorus and trace mineral excretions of

- livestock and poultry. *J Integr Agric* 16(12):2815-2833.
- Nahm KH 2007 Feed formulations to reduce N excretion and ammonia emission from poultry manure. *Bioresour Technol* 98(12):2282-2300.
- National Research Council 2012 Nutrient Requirements of Swine. 11th ed. The National Academy Press, Washington, DC, USA.
- Olukosi OA, Adebiyi AO 2013 Chemical composition and prediction of amino acid content of maize- and wheat-distillers' dried grains with soluble. *Anim Feed Sci Technol* 185:182-189.
- Pedersen MB, Dalsgaard S, Bach Knudsen KE, Yu S, Lærke HN 2014 Compositional profile and variation of distillers dried grains with solubles from various origins with focus on non-starch polysaccharides. *Anim Feed Sci Technol* 197:130-141.
- Ravindran V 2013 Alternative feedstuffs for use in poultry feed formulations. Pages 72-75 In: *Poultry Development Review* ed. FAO, Rome, Italy.
- Rezaei S, Jahromi MF, Liang JB, Zulkifli I, Farjam AS, Laudadio V, Tufarelli V 2015. Effect of oligosaccharides extract from palm kernel expeller on growth performance, gut microbiota and immune response in broiler chickens. *Poult Sci* 94(10):2414-2420.
- Sauvant D, Perez JM, Tran G 2004 Tables of composition and nutritional value of feed materials: pigs, poultry, sheep, goats, rabbits, horses, and fish. 2nd ed. Wageningen Academic Publishers, Wageningen, The Netherlands.
- Shim MY, Pesti GM, Bakalli RI, Tillmann PB, Payne RL 2011. Evaluation of corn distillers dried grains with solubles as an alternative ingredient for broilers. *Poult Sci* 90(2): 369-376.
- Son AR, Hyun Y, Htoo JK, Kim BG 2014 Amino acid digestibility in copra expellers and palm kernel expellers by growing pigs. *Anim Feed Sci Technol* 187:91-97.
- Statistics Korea 2020 http://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=114&tblId=DT_114N_1B001. Accessed on May 27, 2020.
- Stein HH, Casas GA, Abelilla JJ, Liu YH, Sulabo RC 2015 Nutritional value of high fiber co-products from the copra, palm kernel, and rice industries in diets fed to pigs. *J Anim Sci Biotechnol* 6:56.
- Sulabo RC, Ju WS, Stein HH 2013 Amino acid digestibility and concentration of digestible and metabolizable energy in copra meal, palm kernel expellers, and palm kernel meal fed to growing pigs. *J Anim Sci* 91(3):1391-1399.
- Świątkiewicz S, Koreleski J 2008. The use of distillers dried grains with solubles (DDGS) in poultry nutrition. *World's Poult Sci J* 64(2):257-266.

Received Jun. 4, 2020, Revised Jun. 16, 2020, Accepted Jun. 17, 2020