

비육돈(78~118 kg)의 표준전장 인 요구량

정용대, 김조은, 민예진, 최요한, 김두완, 진현주, 조은석*
농촌진흥청 국립축산과학원 양돈과

Requirement of Standardized Total Tract Digestible Phosphorus for 78 to 118 kg Finishing Pigs

Yong Dae Jeong, Jo-Eun Kim, Ye-Jin Min, Yo-Han Choi,
Doo-Wan Kim, Hyunju Jin, Eun Seok Cho*

Swine Science Division, National Institute of Animal Science, Rural Development Administration

요 약 본 연구는 비육돈에서 내생인 손실량(endogenous phosphorus loss)을 고려한 표준전장 인(STTD P, standardized total tract digestible phosphorus) 요구량을 평가하기 위해 실시하였다. 시험동물은 120두(수 60두; 암 60두)의 3원 교잡돈(Landrace×Yorkshire×Duroc; 개시체중, 78.05 ± 2.47 kg)을 randomized complete block design을 활용해 처리구당 12반복, 반복당 2두(암 1두, 수 1두)씩 배치하였다. 시험사료내 STTD P 수준은 0.14, 0.19, 0.24, 0.29 및 0.34%로 설정하였고 모든 시험사료내 총칼슘 및 총인 비율은 1.25:1로 고정하였으며 사양시험은 5주간 수행하였다. 사양시험 종료일에 처리구당 6두씩 선발하여 대퇴골, 중수골 및 혈액을 수집하여 골광화(bone mineralization) 및 혈액특성을 분석하였다. 일당증체량은 STTD P 수준이 높아짐에 따라 증가하였다(linear and quadratic, $p < 0.05$). 일당사료섭취량 및 사료효율은 STTD P 수준에 따른 유의한 변화가 없지만 STTD P의 섭취량(iSTTD P)은 선형적으로 증가하였다($p < 0.05$). 또한, iSTTD P:gain 비율은 증가하였다(Linear, $p < 0.001$; quadratic, $p = 0.051$). 혈중 인농도는 사료내 STTD P 수준이 높을수록 증가하는 경향을 보였다(Linear, $p = 0.059$). 대퇴골 내 칼슘 및 인농도는 각각 선형($p < 0.05$) 및 비선형($p < 0.05$) 반응을 나타냈다. 사료비는 STTD P가 높을수록 선형적으로 증가하였다($p < 0.05$). 혈중 대사지표는 사료 내 STTD P 수준에 영향을 받지 않았다. 분석된 조사항목 중 유의한 선형 및 비선형 증가를 나타낸 일당증체량에 대해 회귀분석을 실시한 결과, 비육돈의 STTD P의 요구량은 0.23%로 확인되었다.

Abstract This study was conducted to estimate the standardized total tract digestible phosphorous (STTD-P) requirement for finishing pigs. A total of 120 crossbred pigs (Landrace × Yorkshire × Duroc; barrows, $n=60$; gilts, $n=60$; initial body weight (BW), 78.05 ± 2.47 kg) were allotted by randomized complete block design so that two pigs (one male and female, respectively) were housed per pen with 12 replicates per treatment. The levels of dietary STTD-P treatments were 0.14, 0.19, 0.24, 0.29, and 0.34%, respectively, to contain 60, 80, 100, 120, and 140% of the requirement of the National Research Council(NRC) for finishers with the fixing of the calcium : phosphorus (Ca:P) ratio at 1.25:1. Increasing STTD-P showed a quadratic response in the ending BW ($p < 0.1$) and the gain:feed ($p < 0.05$). The average daily gain (ADG) showed linear ($p < 0.05$) and quadratic ($p < 0.05$) responses with increasing STTD-P. Also, the intake of STTD-P (iSTTD-P) increased linearly (linear, $p < 0.05$) with rising STTD-P levels. Similarly, iSTTD-P:gain ratio increased linearly (linear, $p < 0.001$; quadratic, $p = 0.051$) with increasing STTD-P. Ca and P concentration in femur showed linear ($p < 0.05$) and quadratic ($p < 0.05$) responses, respectively. Similarly, ash and Ca concentrations in the metacarpal showed quadratic ($p < 0.05$) and linear ($p < 0.1$) increases, respectively, but there was no statistically significant response in blood characteristics to changes in the level of dietary STTD-P. Based on ADG with significantly linear and quadratic responses, the STTD-P requirement was 0.23% by regression analysis using the quadratic polynomial model.

Keywords : Phosphorous, Growth, Requirement, Bone Mineralization, Finishing Pigs

본 논문은 농촌진흥청 연구사업(세부과제번호:PJ01448502) 및 2021년도 농촌진흥청 국립축산과학원 전문연구원 과정 지원사업에 의해 수행되었음.

*Corresponding Author : Eun Seok Cho(National Institute of Animal Science)

email: segi0486@korea.kr

Received August 10, 2021

Revised August 26, 2021

Accepted September 3, 2021

Published September 30, 2021

1. 서론

양돈사료 내 인(P, phosphorous)은 체성장 및 골격 발달을 위한 필수 광물질이며 체내에서 칼슘에 이어 두 번째로 많은 다량 광물질이다 [1, 2]. 또한, 체내 다양한 생리반응에 관여하는 영양소 중 하나이고[3] 체중 구간별 권장하는 사료 내 인수준은 0.43~0.7%, 인섭취량은 1.86~11.97 g/d를 제시하고 있으며[1] 사료 내 최대허용수준(maximum tolerable levels)은 1.5%로 알려져 있다[4]. 따라서 일반적으로 시판사료에는 권장량보다 많은 인이 포함되어 있다. 그러나 사료 내 영양소 중 에너지와 단백질 다음으로 인은 비싼 영양소로 사료가격 상승을 초래할 수 있으며[5] 사료 내 높은 인수준은 분으로 배출되는 인함량을 증가시켜 환경부하를 야기한다[6].

사육용 양돈사료에서 인농도를 나타내는 지표는 총인 또는 유효인을 이용한다. 이러한 지표들은 체조직 유래한 내생인(endogenous phosphorous loss)을 고려하지 않아 사료 내 이용 가능한 인수준이 낮게 평가되어있다. 내생인을 고려한 지표는 표준전장 인(STTD P, standardized total tract digestive phosphorous)이 있다[1]. 그러므로 최근에 양돈사료 내 주요 원료사료인 옥수수[2, 7], 대두박[3, 8] 및 부산물들 [3, 7]에 대한 표준전장 인소화를 연구들이 수행되어 왔다. 또한, NRC(national research council, [1])는 제한적인 선행연구 결과를 이용한 통계적 기법을 통해 사육단계별 표준전장 인 요구량을 제시하였으나 이러한 요구량은 예측치이므로 실증 데이터(empirical data)의 확보를 통해 검증(validation)이 필요하다. 최근에 일부 체중구간에 대해 STTD P 요구량 관련 연구가 수행되었다 [5, 6, 9]. 그러나 연구들간 이용된 돼지의 유전능력이나 사육환경의 차이로 인해 실증데이터로서 제한적으로 활용된다 [9]. 그러므로 다양한 체중구간별 STTD P 요구량 설정을 위한 연구가 필요하다. 특히, 육성돈(25~50 kg) 대비 비육돈(75~100 kg)의 예상 증체량은 약 1.2배 이상 높고(758 g/d vs. 917 g/d) 사료섭취량은 약 1.7배 증가한다(1.58 kg/d vs. 2.63 kg/d; [1]). 증체량과 사료섭취량을 이용하여 사료효율을 산출하면 육성돈은 0.479, 비육돈은 0.348로 계산된다. 이와 같이 육성돈에 비해 비육돈은 사료섭취량 대비 사료효율이 좋지 않기 때문에 다른 영양소에 비해 비싼 인의 적정 수준 급여는 생산성 향상에 긍정적인 영향을 미칠 것이다. 따라서, 본 연구는 비육돈에서 사료 내 STTD P 수준이 성장, 뼈특성, 혈중

대사산물에 미치는 영향을 구명하고 STTD P 요구량을 설정하기 위해 실시하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 시험설계 및 공시동물

시험사료 내 표준전장 인수준은 NRC[1]에서 권장하는 비육돈의 표준전장 인수준 0.24%를 기준으로 20 및 40%씩 가감하여 0.14, 0.19, 0.24, 0.29, 0.34%로 5개 수준으로 설정하였다. 시험사료에서 이용된 원료사료들 내 STTD P 수준은 NRC[1]와 이전 연구들[2, 3, 7]의 데이터를 이용하여 산출하였고 사료 내 칼슘:인 비율은 1.25로 고정하였다. 에너지, 단백질, 아미노산수준은 NRC[1]의 권장수준에 준하여 설정하였다. 시험사료의 배합비 및 화학적 조성은 Table 1과 같다.

시험돈은 국립축산과학원 양돈과에서 생산된 총 120 두(수, 60두; 암, 60두; 체중, 78.05 ± 2.47 kg)의 3원교 잡돈(Landrace×Yorkshire×Duroc)을 이용하여 사료 처리구당 12반복, 반복당 2두(m, n=1; f, n=1)씩 randomized complete block design을 이용하여 배치하였다. 사양시험기간은 5주간 실시하였고 물과 사료는 무제한 공급하였다.

2.2 조사항목

2.2.1 생산성

사양시험 개시일 및 종료일에 체중, 사료공급량 및 사료잔량을 확인하여 생산성지표를 구하였다. 일당증체량은 종료 및 개시체중(BW, body weight)을 차감한 뒤 사육일수로 나누어 일당증체량(ADG, average daily gain)을 산출하였다. 사육기간동안 사료공급량에 사료잔량을 공제한 후 사육일수로 나누어 일당사료섭취량(ADFI, average daily feed intake)를 계산하였다. 사료효율(Gain:Feed: ADG to ADFI ratio)은 일당증체량을 일당사료섭취량으로 나누어 구하였다. 표준전장인 섭취량(iSTTD P, intake of STTD)은 일당사료섭취량과 사료 내 STTD P 수준을 곱하여 나타내었다. 증체량당 필요한 iSTTD P는 iSTTD P를 일당증체량으로 나누어 계산하였다.

Table 1. Formula and chemical composition in the diets

Ingredients ¹ , %	Dietary STTD P ² , %				
	0.14	0.19	0.24	0.28	0.34
Corn	74.66	74.70	74.77	74.82	74.88
SBM, 45%	17.41	17.56	17.68	17.84	17.96
Limestone	0.82	0.80	0.78	0.75	0.73
Molasses	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50
Wheat bran	3.00	2.50	2.00	1.50	1.00
SBM oil	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70
Salt	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
DCP	0.11	0.43	0.76	1.08	1.41
L-Lys, 78%	0.25	0.24	0.25	0.24	0.25
DL-Met, 98	0.03	0.03	0.03	0.03	0.04
L-Thr, 99%	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
Vit-Min premix ³	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
Total	100	100	100	100	100
Calculated analysis ⁴					
ME, kcal/kg	3,320	3,315	3,310	3,305	3,300
NE, kcal/kg	2,509	2,505	2,501	2,498	2,494
CP, %	14.00	14.00	14.00	14.00	14.00
Fat, %	3.73	3.72	3.71	3.69	3.68
Fiber, %	2.37	2.32	2.28	2.23	2.19
Ash, %	3.45	3.74	4.03	4.32	4.61
Total Ca, %	0.41	0.48	0.56	0.63	0.70
Total P, %	0.33	0.39	0.45	0.50	0.56
Available P, %	0.09	0.15	0.21	0.27	0.33
ATTD P, %	0.12	0.16	0.20	0.25	0.29
STTD P, %	0.14	0.19	0.24	0.29	0.34
Ca:total P	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25
SID AA ⁵					
Arg, %	0.77	0.77	0.77	0.77	0.77
His, %	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35
Ile, %	0.49	0.49	0.49	0.49	0.49
Leu, %	1.16	1.16	1.16	1.17	1.17
Lys, %	0.77	0.77	0.77	0.77	0.77
Met, %	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24
Met+Cys, %	0.47	0.47	0.47	0.47	0.47
Phe, %	0.60	0.61	0.61	0.61	0.61
Phe+Tyr, %	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01
Thr, %	0.47	0.47	0.47	0.47	0.47
Trp, %	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13
Val, %	0.53	0.53	0.53	0.53	0.53

¹SBM, soybean meal; DCP, dicalcium phosphate²STTD P, standardized total tract digestible phosphorous.³Provided per kg of premix: 10,000 IU vitamin A; 2,000 IU vitamin D₃; 80 mg vitamin E; 2 mg vitamin K₃; 1.8 mg vitamin B₁; 5 mg vitamin B₂; 3.3 mg vitamin B₆; 0.04 mg vitamin B₁₂; 0.2 mg biotin; 30 mg pantothenic acid; 40 mg vitamin niacin; 1 mg folic acid; 25 mg Cu; 30 mg Zn; 50 mg Fe; 18 mg Mn; 0.3 mg Co; 0.2 mg I.⁴CP, crude protein; ATTD, apparent total tract digestible⁵SID AA, standardized ileal digestible amino acids.

2.2.2 혈중대사산물

사양시험 종료일에 처리구당 12두(m, n=6; f, n=6)씩 임의로 선발 후 12시간 절식을 시킨 뒤 경정맥에서 혈액을 채취하였다. 분리된 혈액은 3,000 rpm에서 20분동안 원심분리하여 혈청을 분리하였고 분석 전까지 -70℃에서 보관하였다. 혈중 내 간지표들(ALT, alanine aminotransferase; AST, aspartate aminotransferase), 칼슘, 인, 총단백질, 혈중요소질소(BUN, blood urea nitrogen), 유리지방산(NEFA, non-esterified fatty acid)은 생화학분석기(7180, Hitachi, Japan)를 이용하여 분석하였다. 혈액내 IgG는 면역효소측정키트(Pig IgG ELISA kit, E101-104, Bethyl Laboratories, USA)를 이용하여 분석하였다.

2.2.3 뼈 내 조회분, 칼슘 및 인 분석

사양시험후 처리구당 임의로 6두(m, n=3; f, n=3)씩 선발하여 시험 도축하였고 다리뼈인 대퇴골과 중수골을 수집하였고 분석 전까지 -70℃에서 보관하였다. 냉동된 시료는 상온에서 12시간동안 해동 후 뼈에 부착된 근육, 지방 및 결체조직을 제거하였고 뼈내 지방제거를 위해 석유에테르에 침지시켜 석유에테르의 색상이 맑아질 때까지 수회 반복하였다. 시료 내 조회분, 칼슘, 인 분석법은 다음과 같다. 조회분은 회화로 내 시료를 20℃에서 1시간, 300℃에서 1시간, 600℃에서 3시간동안 회화한 뒤 데시케이터에서 30분간 방냉 후 회화 전후의 시료무게차이를 백분율화 하였다. 칼슘은 건식회화법으로 회화 후 잔사를 염산용액(1:1, v:v)에 녹여 시료용액을 조제한 후 칼슘은 원자흡광분광광도계(AAS-3300, Perkin Elmer, USA)로 측정하였으며 인은 몰리브덴청 비색법에 따라서 분광광도계(UV-2450, Simadzu Co., Japan)로 470 nm에서 측정하였다.

2.3 통계분석

수집된 데이터들은 통계프로그램(SAS ver. 9.1)을 이용하여 분석하였고 생산성 결과의 실험단위(experimental unit)는 반복이며 혈액 및 뼈특성은 개체반복으로 하였다. 성별효과를 구분할 수 있는 증례량, 혈액 및 뼈의 분석결과에 대해 사료처리, 성별 및 요인간 상호작용에 따른 효과를 확인하기 위해 two-way ANOVA를 실시한 결과 성별 및 상호 효과가 없어 성별 결과는 표에 나타내지 않았다. 사료 내 STTD P 수준에 대한 liner 및 quadratic effect를 검정하기 위해

polynomial contrast를 실시하였다. 요구량을 설정을 위한 회귀분석은 liner와 quadratic effect가 $p<0.05$ 미만일 경우 실시하였고 SAS의 NLIN procedure에 의해 broken line linear (BLL), quadratic polynomial (QP), broken line quadratic (BLQ) models을 이용하여 평가하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 생산성

종료체중은 사료 내 STTD P의 증가에 따라 quadratic response를 나타냈다(Table 2; $p=0.053$). 일당증체량은 사료내 STTD P 수준의 증가에 따라 증가하였다(linear and quadratic, $p<0.05$). 사료효율은 quadratic effect($p<0.05$)만 존재하였다. 본 연구에서 사료 내 STTD P 처리구들의 일당증체량은 1.07~1.14 kg/d로 측정되었다. 이러한 결과는 선행연구들[1, 6, 10]에서 비육돈 증체량인 0.74~0.97 kg/d보다 약간 높았고 사료 효율은 본 연구와 선행연구들간 유사한 수치를 보였다(355~385 vs. 346~404). 사료효율은 1 kg의 사료를 섭취했을 때 체중의 증가를 확인하는 지표이다. 사료섭취량은 3.03~3.21 kg/d로 비육돈(BW, 75~135 kg)의 평균사료섭취량 범위인 2.64~2.93 kg/d보다 높은 수치를 보인다[1]. 따라서, 선행연구와 비교했을 때 약간 높은 일당증체량은 증가한 일당사료섭취량으로 인해 증체량이 증가한 것으로 사료된다.

시험사료 내 STTD P 수준의 증가는 STTD P 섭취량을 증가시켰다(Table 2; linear, $p<0.01$). 이러한 결과는 이전 선행연구들과 일치한다[5, 6]. 또한 증체량 대비

STTD P 섭취량도 증가했다(linear, $p<0.01$). 본 연구에서 사료섭취량은 처리구간 유의한 차이가 관찰되지 않아 STTD P 섭취량은 사료 내 STTD P 수준이 높아짐에 따라 증가한 것으로 보인다.

3.2 혈중 대사산물

비육돈사료 내 STTD P 수준이 혈중 대사지표에 미치는 영향은 Table 3에 나타났다. 혈액 내 분석된 총단백질 농도는 6.78~7.00 g/dL로 확인되었고 contrast effects는 관찰되지 않았다. 혈중요소질소의 분석치 범위는 8.08~9.50 mg/dL이며 STTD P에 따른 통계적인 변화는 없었다. 간지표(AST, ALT)는 처리구간 차이가 없으며 분석값은 각각 43.58~55.75 U/L 및 47.17~55.42 U/L로 확인되었다. 혈중 유리지방산은 STTD P 처리에 따른 차이가 없으며 분석치는 184.83~266.67 μ M/L 범위를 나타냈다. 이러한 혈액지표들의 분석치는 Klem et al. [11]이 제시한 정상범위(reference value)에 해당되지만 유리지방산은 높게 측정되었다. 유리지방산은 지방대사의 지표로 이용되는 항목이며 체내 영양소 공급량이 부족하면 지방조직에서 유리되어 신체에 에너지를 공급한다[12,13]. 본 연구에서 혈중 대사산물 분석을 위해 혈액을 수집하는 과정에서 12시간 절식을 실시하였다. 이러한 채혈과정에서 사료 유래 에너지 공급량을 부족하게 만들어서 유리지방산 수치가 증가한 것으로 판단된다.

분석된 칼슘 및 인농도의 범위는 각각 10.98~11.16 mg/dL 및 8.97~9.46 mg/dL로 측정되었고 인농도의 경우 사료내 STTD P수준이 높아짐에 따라 감소하는 경향을 보였다(Linear, $p=0.059$). 선행연구결과에 따르면 인이 0.56, 0.84, 1.02% 씩 각각 포함된 사료를 급여한

Table 2. Growth performance in pig to fed diets including 5 levels of standardized total tract digestible phosphorous

Items ¹	Dietary STTD P ² , %					SEM	Contrast	
	0.14	0.19	0.24	0.29	0.34		Linear	Quadratic
Initial BW, kg	77.96	78.25	77.96	78.30	77.79	0.32	0.904	0.727
Ending BW, kg	115.58	117.45	119.30	119.01	117.70	0.52	0.115	0.053
ADG, kg/d	1.07	1.12	1.18	1.16	1.14	0.01	0.048	0.038
ADFI, kg/d	3.03	3.17	3.15	3.03	3.21	0.02	0.141	0.955
Gain:Feed	355.28	353.22	376.76	385.46	355.06	4.42	0.289	0.047
iSTTD P, g/d	4.24	6.03	7.55	8.77	10.92	0.30	<.000	0.329
iSTTD P, g/kg gain	3.96	5.46	6.42	7.57	9.63	0.26	<.000	0.051

¹BW, body weight; ADG, average daily gain; ADFI, average daily feed intake; Gain:Feed, ADG to ADFI ratio; iSTTD P, intake of STTD P.

²STTD P, standardized total tract digestible phosphorous; SEM, standard error of means.

Table 3. Blood metabolites in pig to fed diets including 5 levels of standardized total tract digestible phosphorous

Items ¹	Dietary STTD P ² , %					SEM	Contrast	
	0.14	0.19	0.24	0.29	0.34		Linear	Quadratic
Total protein, g/dL	7.00	6.88	6.78	6.96	7.07	0.05	0.592	0.119
BUN, mg/dL	9.50	8.08	9.00	9.33	9.08	0.28	0.838	0.469
AST, U/L	55.75	43.58	44.00	55.00	47.08	2.49	0.737	0.362
ALT, U/L	54.25	47.17	50.92	53.00	55.42	1.25	0.355	0.099
NEFA, uM/L	217.58	327.50	211.42	184.83	266.67	18.95	0.734	0.830
Ca, mg/dL	11.16	10.98	11.03	11.03	11.05	0.06	0.710	0.499
P, mg/dL	9.37	9.46	9.18	9.15	8.79	0.11	0.059	0.466

¹BUN, blood urea nitrogen, AST, aspartate aminotransferase, ALT, alanine aminotransferase; NEFA, non-esterified fatty acid, Ca, calcium; P, phosphorous.

²STTD, standardized total tract digestible; SEM, standard error of means.

결과 calcitriol은 감소(573, 392 & 292 pM/L, respectively), 부갑상선호르몬은 증가(2.26, 6.19 & 10.51 pg/mL, respectively), 갑상선호르몬은 감소(0.81, 0.82 & 0.47 ng/mL, respectively)되었다[14]. 이러한 결과는 사료내 인수준이 체내 내분비에 영향을 미치고 있음을 시사한다. 그러나, 혈중 칼슘 및 인농도는 사료 내 인수준에 따른 변화 없었다[14]. 반면에, 낮은 인수준을 함유한 사료를 급여하면 혈중 인농도는 감소되었다[15]. 돼지의 혈중 칼슘농도의 정상범위는 10.02~12.42 mg/dL이며 인은 8.63~13.33 mg/dL를 제시하고 있다[11]. 현재 연구의 혈중 칼슘과 인농도는 정상치 범위내 존재하고 있음을 알 수 있다.

3.3 뼈 내 조회분, 칼슘 및 인 농도

대퇴골 내 조회분의 함량은 사료처리에 따른 contrast effect가 없지만 칼슘(linear, $p<0.05$) 및 인(quadratic, $p<0.05$)은 STTD P 수준이 높아짐에 따라 증가하였다

(Table 4). 중수골에서 조회분은 STTD P 수준이 높아질수록 증가하였고(quadratic, $p<0.05$) 칼슘은 증가하는 경향을 나타냈다($p=0.097$). 이러한 결과들은 이전 연구 결과들과 유사하다. 육성돈에 STTD P 수준(0.15~0.52%)이 높을수록 중수골 내 칼슘(38.6~37.9%)은 감소하지만 인(17.6~18.0%)은 증가하였고 파골강도, 골 밀도, 무기질함량도 증가한다[9]. NRC[1]에서 권장하는 STTD P 수준 대비 80, 90, 100, 115, 130, 150%로 인수준을 조절한 사료를 급여한 결과, 육성비육돈의 중수골의 조회분함량은 60.8~61.9%로 측정되어 선형적으로 증가했다[6]. 다른 연구에서는 인수준이 높을수록 뼈 내 조회분함량은 증가하지만 칼슘과 인농도에는 인수준에 따라 차이가 없음을 보고하였다[14]. 사료내 총인수준이 감소(0.59~0.41%)하면 파골강도 및 조회분이 감소한다[16]. 이러한 연구결과들은 사료 내 인이 bone mineralization에 영향을 미침을 시사한다.

사료 내 인의 이용성은 칼슘:인 비율과도 연관이 있다.

Table 4. Bone mineralization in pig to fed diets including 5 levels of standardized total tract digestible phosphorous

Items ¹	Dietary STTD P ² , %					SEM	Contrast	
	0.14	0.19	0.24	0.29	0.34		Linear	Quadratic
Femur, %								
Ash	62.48	62.19	61.70	62.12	63.15	0.28	0.537	0.153
Ca	22.00	24.04	22.34	23.80	24.04	0.30	0.024	0.751
P	12.93	13.03	12.22	12.52	13.18	0.13	0.997	0.032
Metacarpal, %								
Ash	60.96	62.62	61.92	61.71	60.97	0.22	0.522	0.016
Ca	22.82	24.09	24.45	23.83	25.21	0.37	0.097	0.811
P	13.32	13.36	13.55	13.34	13.36	0.07	0.921	0.457

¹Ca, calcium; P, phosphorous;

²STTD P, standardized total tract digestible P; SEM, standard error of means.

일반적으로 1:1~1.25:1을 권장하고 있는데 비율이 낮으면 체내 인흡수율이 감소되어 골격계 발달이 지연되기 때문이다[1]. 그러나 사료 내 인이 충분히 포함되어 있으면 비율의 중요성이 감소하며 오히려 2:1이상일 때 체성장과 뼈성장이 증가한다[17]. 본 연구에서는 모든 시험사료의 칼슘:인 비율을 1:25로 고정하여 사료 내 STTD P에 따른 대퇴골 및 증소골의 mineralization에 미치는 영향을 받은 것으로 사료된다.

3.4 표준전장 인 요구량

본 연구에서 STTD P를 수준별로 급여한 결과 유의한 linear 및 quadratic response을 나타낸 일당증체량에 대해 회귀분석을 실시하였고 broken line linear (BLL), quadratic polynomial (QP), broken line quadratic (BLQ) model를 적용하였다 (Fig 1). 회귀분석시 BLL 모델을 적용한 결과 breakpoint는 0.23%이며 95% 신뢰구간(CI)는 0.04 및 0.43%이고 R^2 는 0.88이다. BLL 기반 회귀공식은 breakpoint의 미만 및 이상일 경우로 나누어 볼 수 있으며 다음과 같다. $ADG \text{ kg/d} = 1.1614 - 0.95 \times (0.2327 - \text{STTD P})$ if $\text{STTD P} < 0.23\%$, and $ADG, \text{ kg/d} = 1.1614$ if $\text{STTD P} \geq 0.23\%$ ($p=0.121$). QP 모델을 적용시 요구량은 0.27%이며 95% 신뢰구간은 0.23 및 0.31%이고 R^2 는 0.94이다. QP 모델 기반 회귀식은 $ADG \text{ kg/d} = 1.1719 - 6.2619 \times (0.2681 - \text{STTD P})^2$ ($p=0.058$)이다. 마지막 모델인 BLQ 적용시 breakpoint는 0.25%, 95% 신뢰구간은 -0.03 및 0.54% 그리고 R^2 는 0.85로 계산되었으며 회귀식은 $ADG \text{ kg/d} = 1.1594 - 6.7801 \times (0.2546 - \text{STTD P})$ if $\text{STTD P} < 0.25\%$, and $ADG, \text{ kg/d} = 1.1594$ if $\text{STTD P} \geq 0.25\%$ ($p=0.149$)으로 확인되었다.

BLL 및 BLQ 모델을 적용한 회귀분석결과 요구량은 0.23% 및 0.25%로 평가되었고 NRC[1]에서 제시한 비육돈의 STTD P 요구량인 0.24%의 96% 및 104% 수준으로 확인되었다. 일부 선행연구들은 STTD P의 요구량을 보고하였다. BLL과 QP의 회귀모델을 이용한 자돈(11~23 kg)의 STTD P 요구량은 0.34%~0.42%로 보고하였다[5]. BLL 모델을 활용한 육성돈(20~40 kg)에서 STTD P 요구량은 0.39~0.41%[9]. 육성비육돈(24~130 kg)에서 QP 모델을 적용 시 0.31~0.41%의 요구량을 가지는 것으로 평가되었다[6]. 이러한 이전 연구들에 요구량들은 NRC의 요구량 대비 103~132% 수준이다. 본 연구와 선행연구간 차이는 적용한 모델 특성이 원인일 수 있다. Broken line 모델의 breakpoint

plateaus는 집단내 공식동물의 평균값을 대표하여 최소 요구량 설정에 적합하며 QP는 최대값을 기반으로 하여 최대요구량 평가에 알맞은 반면에 BLL 및 QP curve의 교차점(intercept)을 이용한 방법은 더 실용적인 평가 (realistic objective estimate) 알맞다[18]. 그러나 본 연구에서 이용한 회귀모델의 적합도를 평가하기 위해 R^2 및 p 값 검토한 결과, R^2 가 0.94이며 p 값이 0.058인 QP 모델이 최적적합(best fit)을 나타내었다. 따라서, 증체량을 위한 STTD P 요구량은 0.27%로 판단된다.

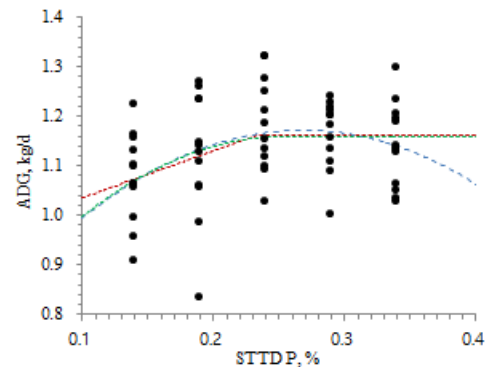


Fig. 1. Requirement of standardized total tract digestible phosphorus (STTD P) of pigs by quadratic polynomial and broken line linear regression model for average daily gain (ADG). Red-, blue- and- green dash line were fitted line with broken line linear (BLL), quadratic polynomial (QP), broken line quadratic (BLQ) models, respectively. The BLL breakpoint was determined at 0.23% (95% CI: [0.04, 0.43]%; $R^2 = 0.88$). The regression equation was $ADG \text{ kg/d} = 1.1614 - 0.95 \times (0.2327 - \text{STTD P})$ if $\text{STTD P} < 0.23\%$, and $ADG, \text{ kg/d} = 1.1614$ if $\text{STTD P} \geq 0.23\%$. The QP model was determined at 0.27% based on maximum ADG (95% CI: [0.23, 0.31]%; $R^2 = 0.94$). The regression equation on QP was $ADG \text{ kg/d} = 1.1719 - 6.2619 \times (0.2681 - \text{STTD P})^2$. The BLQ breakpoint was determined at 0.25% (95% CI: [-0.03, 0.54]; $R^2 = 0.85$). The regression equation was $ADG \text{ kg/d} = 1.1594 - 6.7801 \times (0.2546 - \text{STTD P})$ if $\text{STTD P} < 0.25\%$, and $ADG, \text{ kg/d} = 1.1594$ if $\text{STTD P} \geq 0.25\%$.

4. 요약 및 결론

본 연구는 비육돈사료 내 표준전장 인 수준별 급여가 성장, 골특성에 미치는 영향을 구명하고 이에 따른 요구

량을 설정하기 위해 실시하였다. 일당증체량은 유의한 linear 및 quadratic effects를 보이며 증가하였으나 사료효율을 비롯한 일부 생산성조사항목들은 linear 또는 quadratic 경향을 나타냈었다. 혈중 대사산물은 일부항목에서 사료내 STTD P 수준에 따라 linear 또는 quadratic 증가하지만 전체적으로 STTD P 수준에 의한 차이가 없는 것으로 분석되었다. 대퇴골 및 증수골의 mineralization은 혈액특성과 유사한 결과를 나타냈다. 일당증체량에 대해 회귀모델(BLL, QP, BLQ)을 적용하여 분석한 결과, 0.23~0.27%의 범위를 가지는 것으로 확인되었고 모델의 적합도 평가를 위해 R^2 및 p 값을 고려하면 QP 모델을 적용하여 산출된 0.27%가 비육돈의 STTD P 요구량으로 사료된다. 또한, 본 결과는 추후 비육돈의 STTD P 요구량 추정 시 기초자료로 활용될 것이다.

References

- [1] NRC (National Research Committee), Nutrient requirements of swine (11th rev. ed.), p.400, National Academy Press, 2012, pp.24-79, 210-213.
- [2] Y. D. Jeong, S. H. Lee, C. S. Park, S. B. Cho, S. K. Park, "Variation in coefficient of total tract apparent digestibility of dry matter, nitrogen, and phosphorus and coefficient of total tract standardized digestibility of phosphorus in different corns fed to growing-finishing pigs", *Animal Feed Science and Technology*, Vol.201, pp.66-71, 2015.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2015.01.002>
- [3] S. K. Park, Y. K. Lee, E. S. Cho, Y. D. Jeong, "Coefficient of standardized total tract digestibility of phosphorus in oilseed meals and distillers dried grains in growing-finishing pigs", *South African Journal of Animal Science*, Vol.47, No.1, pp.41-48, 2017.
DOI: <https://doi.org/10.520/EJC-561e3db8c>
- [4] NRC (National Research Committee), Mineral tolerance of animals (2nd rev. ed.) p.496, National Academy Press, 2005, pp.290-305.
- [5] C. M. Vier, S. S. Dritz, F. Wu, M. D. Tokach, J. M. Derouchey, R. D. Goodband, M. A. D. Gonçalves, U. a. D. Orlando, J. C. Woodworth, "Effects of standardized total tract digestible phosphorus on growth performance of 11-to 23-kg pigs fed diets with or without phytase", *Journal of Animal Science*, Vol.97, No.10, pp.4032-4040, 2019.
DOI: <https://doi.org/10.1093/ias/skz255>
- [6] C. M. Vier, S. S. Dritz, F. Wu, M. D. Tokach, J. M. Derouchey, R. D. Goodband, M. A. Gonçalves, U. A. Orlando, K. Chitakasempornkul, J. C. Woodworth, "Standardized total tract digestible phosphorus requirement of 24-to 130-kg pigs", *Journal of Animal Science*, Vol.97, No.10, pp.4023-4031, 2019.
DOI: <https://doi.org/10.1093/ias/skz256>
- [7] S. Park, E. Cho, H. Chung, K. Cho, S. Sa, B. Balasubramanian, T. Choi, Y. Jeong, "Digestibility of phosphorous in cereals and co-products for animal feed", *Saudi Journal of Biological Sciences*, Vol.26, No.2, pp.373-377, 2019.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sbs.2018.12.003>
- [8] F. Almeida, H.-H. Stein, "Performance and phosphorus balance of pigs fed diets formulated on the basis of values for standardized total tract digestibility of phosphorus", *Journal of Animal Science*, Vol.88, No.9, pp.2968-2977, 2010.
DOI: <https://doi.org/10.2527/jas.2009-2285>
- [9] O. Adeola, M. J. Azain, S. D. Carter, T. D. Crenshaw, M. J. Estienne, B. J. Kerr, M. D. Lindemann, C. V. Maxwell, P. S. Miller, M. C. Shannon, "A cooperative study on the standardized total-tract digestible phosphorus requirement of twenty-kilogram pigs", *Journal of Animal Science*, Vol.93, No.12, pp.5743-5753, 2015.
DOI: <https://doi.org/10.2527/jas.2015-9509>
- [10] C. W. Hastad, S. S. Dritz, M. D. Tokach, R. D. Goodband, J. L. Nelssen, J. M. Derouchey, R. D. Boyd, M. E. Johnston, "Phosphorus requirements of growing-finishing pigs reared in a commercial environment", *Journal of Animal Science*, Vol.82, No.10, pp.2945-2952, 2004.
DOI: <https://doi.org/10.2527/2004.82102945x>
- [11] T. B. Klem, E. Bleken, H. Morberg, S. I. Thorese n, T. Framstad, "Hematologic and biochemical reference intervals for Norwegian crossbreed grower pigs", *Veterinary Clinical Pathology*, Vol.39, No.2, pp.221-226, 2010.
DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1939-165X.2009.00199.x>
- [12] R. G. Vernon, "Effects of diet on lipolysis and its regulation", *Proceedings of the Nutrition Society*, Vol.51, No.3, pp.397-408, 1992.
DOI: <https://doi.org/10.1079/PNS19920053>
- [13] K. Konigsson, G. Savoini, N. Govoni, G. Invernizzi, A. Prandi, H. Kindahl, M. C. Veronesi, "Energy balance, leptin, NEFA and IGF-I plasma concentrations and resumption of post partum ovarian activity in swedish red and white breed cows", *Acta Veterinaria Scandinavica*, Vol.50, No.1, pp.3, 2008.
DOI: <https://doi.org/10.1186/1751-0147-50-3>
- [14] M. Oster, C. Gerlinger, K. Heide, F. Just, L. Borgelt, P. Wolf, C. Polley, B. Vollmar, E. Muráni, S. Ponsuksili, "Lower dietary phosphorus supply in pigs match both animal welfare aspects and resource efficiency", *Ambio*, Vol.47, No.1, pp.20-29, 2018.
DOI: <https://doi.org/10.1007/s13280-017-0969-8>
- [15] L. S. Alexander, A. Qu, S. A. Cutler, A. Mahajan, S. M. Lonergan, M. F. Rothschild, T. E. Weber, B. J. Kerr, C. H. Stahl, "Response to dietary phosphorus deficiency is affected by genetic background in growing pigs",

Journal of Animal Science, Vol.86, No.10, pp.2585-2595, 2008.

DOI: <https://doi.org/10.2527/jas.2007-0692>

- [16] T. T. Santos, C. L. Walk, P. Wilcock, G. Cordero, J. Chewning, "Performance and bone characteristics of growing pigs fed diets marginally deficient in available phosphorus and a novel microbial phytase", *Canadian Journal of Animal Science*, Vol.94, No.3, pp.493-497, 2014.
DOI: <https://doi.org/10.4141/cjas2013-190>
- [17] D. D. Hall, G. L. Cromwell, T. S. Stahly, "Effects of dietary calcium, phosphorus, calcium: phosphorus ratio and vitamin K on performance, bone strength and blood clotting status of pigs", *Journal of Animal Science*, Vol.69, No.2, pp.646-655, 1991.
DOI: <https://doi.org/10.2527/1991.692646x>
- [18] T. M. Parr, B. J. Kerr, D. H. Baker, "Isoleucine requirement of growing (25 to 45 kg) pigs", *Journal of Animal Science*, Vol.81, No.3, pp.745-752, 2003.
DOI: <https://doi.org/10.2527/2003.813745x>

정 용 대(Yong-Dae Jeong)

[정회원]



- 2008년 2월 : 전북대학교 축산학
가금영양생리전공 (농학석사)
- 2016년 2월 : 전북대학교 축산학
분자영양생리 (농학박사)
- 2016년 3월 ~ 현재 : 농촌진흥청
국립축산과학원 박사후 연구원

<관심분야>

동물영양생리, 단위동물사양

김 조 은(Jo-Eun Kim)

[정회원]



- 2016년 8월 : 경상대학교 농업생
명과학대학 축산학과 (농학석사)
- 2019년 3월 ~ 현재 : 충남대학교
농업생명과학대학 축산학과(농학
박사수료)
- 2012년 10월 ~ 현재 : 농촌진흥청
국립축산과학원 농업연구사

<관심분야>

동물영양, 미생물체

민 예 진(Ye-Jin Min)

[정회원]



- 2019년 8월 : 충남대학교 농업생
명과학대학 축산학과 (농학석사)
- 2019년 9월 ~ 현재 : 충남대학교
농업생명과학대학 축산학과 (농학
박사수료)
- 2016년 10월 ~ 현재 : 농촌진흥청
국립축산과학원 농업연구사

<관심분야>

동물영양, 동물복지

최 요 한(Yo-Han Choi)

[정회원]



- 2015년 2월 : 강원대학교 동물생
명과학전공 (농학석사)
- 2019년 2월 : 강원대학교 동물생
명과학전공 (농학박사)
- 2019년 4월 ~ 현재 : 농촌진흥청
국립축산과학원 박사후 연구원

<관심분야>

동물영양 및 사양, 동물복지

김 두 완(Doo-Wan Kim)

[정회원]



- 1998년 2월 : 전남대학교 농업생
명과학대학 축산학과 (농학학사)
- 2016년 2월 : 전북대학교 축산학과
(식육가공석사)
- 2016년 9월 ~ 현재 : 전북대학교
축산학과 (식육학 박사수료)
- 2006년 3월 ~ 현재 : 농촌진흥청
국립축산과학원 농업연구사

<관심분야>

가축사양, 식육

진 현 주(Hyun-Ju Jin)

[정회원]



- 2002년 8월 : 강원대학교 축산학과 (축산학박사)
- 1988년 5월 ~ 1991년 12월 : 포항시·경주시 농업기술센터
- 1992년 1월 ~ 2021년 5월 : 농촌진흥청 국립축산과학원 농업연구사
- 2021년 6월 ~ 현재 : 농촌진흥청 국립축산과학원 농업연구관

〈관심분야〉

스마트축산, 동물유전자원

조 은 석(Eun-Seok Jo)

[정회원]



- 2007년 3월 : 경남과학기술대학교 동물소재공학과 (농학석사)
- 2011년 8월 : 경상대학교 응용생명공학 (이학박사)
- 2012년 1월 ~ 2015년 6월 : 농촌진흥청 국립축산과학원 박사후연구원

- 2015년 7월 ~ 현재 : 농촌진흥청 국립축산과학원 농업연구사

〈관심분야〉

가축육종, 유전체학