

사료내 Phytase 첨가가 육성비육돈의 생산성과 분뇨 배설량에 미치는 영향

황보종 · 홍의철

농촌진흥청 국립축산과학원 가금과

Effect of Dietary Phytase on Growth Performance and Excreta Excretion of Growing-Finishing Pigs

Hwangbo, Jong and Hong, Eui-Chul

National Institute of Animal Science, Poultry Division, RDA, Seonghwan 331-801, Korea

Summary

This work was conducted to investigate the effect of dietary phytase on growth performance and excreta excretion of growing-finishing pigs for 7 days. Eighty three crossbreeds (Yorkshire × Landrace × Duroc) of growing-finishing pigs were used in this work, and divided into 6 treatments. Six treatments were compared in a 2×2 factorial arrangement with 2 groups (5 replications/group, 8 head/replications) with the additive phytase and 3 groups(growing I, II and finishing phase) with growing phases. Initial weights with growing phases were 58.6±3.9, 83.2±3.8 and 111.4±5.4 kg, respectively. Body weight gain was high in phytase treatment (P<0.01) and low at finishing phase. Feed conversion ratio was high in no phytase treatment and at finishing phase (P<0.05). Feed and water intakes have no significant difference with phytase existence and growing phases. Feces excretion decreased with growing phase (P<0.05), and was low at phytase treatment (P<0.05). There was no significant difference on urine excretion (P>0.05). Nitrogen (N) and phosphorus (P) intake was not found significant difference with phytase and growing phases. N excretion had no significant difference on phytase existence and growing phase (P>0.05), but P excretion decreased at phytase treatment (P<0.05). N and P excretion ratio was low at phytase treatment (P<0.05). Finally, dietary phytase resulted in improvement of growth performance and reduction of excreta excretion of growing-finishing pigs.

(Key words : Phytase, Performance, Excreta excretion, N and P excretion)

서 론

가축의 배설량을 조사하여 분뇨의 효율적 처리를 위한 기초 자료는 정확한 분뇨 배출 원 단위 산출(국가나 농장 단위)을 위해 매

우 중요하다. 환경부는 1999년에 한우(14.4 ℓ/hd/d), 젓소(45.6 14.4 ℓ/hd/d), 돼지(8.6 ℓ/hd/d)의 분뇨배출원 단위를 환경부고시 제 1999-109호(1999)²⁰⁾에 발표하였다. 그러나 이후 축산농가의 품종개량, 사료이용기술 증진

Corresponding author : Hwangbo Jong. National Institute of Animal Science, San 9 Eoryong-ri, Seonghwan-eup, Cheonan-si, Chungcheongnam-do, 330-800, 041-580-6709, kohb@korea.kr
2011년 11월 1일 투고, 2011년 12월 27일 심사완료, 2011년 12월 28일 게재확정

등 가축관리기술의 향상과 아울러 세정수 사용량을 최소화하여 가축을 사육하는 기술이 발달함에 따라 축산농가의 현실에 맞는 가축 분뇨 배출원 단위를 재산정 (한우, 13.7 ℓ/hd/d; 젓소, 37.7 ℓ/hd/d; 돼지 5.1 ℓ/hd/d)하게 되었다 (환경부, 2008).¹⁹⁾

국내 축산업은 생명산업과 중합산업의 특성을 가지고 있으며, 90년대 이후 국민 생활 향상과 규모의 수직통합을 통해 크게 발전하였다. 그러나 축산 농가의 기업화 및 대규모화로 인해 발생하는 분뇨는 수질 오염이나 악취를 일으켜 환경 오염원이 되고 있다. 또한 해양 오염방지에 관한 국제협약인 ‘런던협약 72’가 2006년 발표되어 2012년부터 가축분뇨의 해양투기가 전면 금지되면서 축산 농가 경영의 어려움이 가중되고 있다. 특히, 양돈 농가에서 배출되는 분뇨의 배설량은 농지가 감당할 수 있는 한계를 넘어섰으며, 지역에 따라 매우 심각한 수준에 이르고 있다. 따라서 분뇨의 양을 줄이기 위한 대책이 시급히 요구되는 실정이다.

미생물 phytase는 의미상으로는 피트산 (phytic acid)의 복합염인 phytate를 분해할 수 있는 효소이다 (Selle와 Ravindran, 2008¹²⁾). 보통, 식물을 위주로 한 사료 원료에 내재되어 있는 phytate는 양돈 사료 내에 일정하게 존재한다. Phytate는 단백질이나 인과 같은 영양소에 결합되어 소화되지 않는 화합물이 되며, 영양소 이용률을 감소시킨다. Phytase는 이런 phytate를 영양소와 분리시켜 영양소의 이용률을 높이는 역할을 한다. 그러나 Simons 등 (1990)¹³⁾이 인의 소화율을 증가시키고 인의 배설량을 감소시킨다고 보고한 후, 최근에는, phytase가 환경에 악영향을 주고 환경오염의 주원인 중 하나인 인의 배설량을 줄이는 데 초점을 두고 있다 (Selle와 Ravindran, 2008).¹²⁾ 특히, phytase는 단백질의 생체 이용성을 증가시키고 (Khrehbiel과 Matthews, 2003⁷⁾; Cowieson 등, 2004⁵⁾), 사료내 피트산

염에 결합되어 있는 인을 분해시켜 인의 소화 및 체내 흡수를 돕기 때문에 (Simons 등, 1990¹³⁾; Zyla 등, 2001¹⁵⁾), 분뇨 중의 질소나 인의 함량을 크게 감소시킨다.

따라서, 본 연구는 환경오염의 원인이 되고 있는 가축, 특히 육성비육돈의 육성 비육 단계별 분뇨 배설량 및 질소와 인의 배설량을 조사하고, 양돈사료 내 phytase의 첨가가 육성비육돈의 생산성과 분뇨 배설량의 감소에 미치는 영향을 조사하고자 실시하였다.

재료 및 방법

1. 공시동물과 시험설계

본 시험에서는 3원 교잡종 (Yorkshire × Landrace × Duroc) 육성비육돈 80두를 공시하였다. 처리구는 phytase 첨가 유무에 따른 2 처리구, 처리구당 5반복, 반복당 8두씩을 육성비육돈의 체중 (50, 80, 110 kg)에 따라 3단계로 나누어 phytase 첨가 유무와 육성 비육돈 성장 3단계 (육성 I기, 육성 II기, 비육기)의 2×3 복합요인으로 7일씩 수행하였다. Phytase 500~700 FTU/kg 첨가시에 증체량과 사료 효율이 향상된다는 보고 (Campell 등, 19954); Selle 등, 2003¹¹⁾)에 따라 최소수준인 500 FTU/kg을 첨가하였다. 육성비육돈의 성장 단계에 따른 개시체중은 각각 58.6±3.9, 83.2±3.8 및 111.4±5.4 kg 이었다.

2. 시험사료, 시험방법 및 시료채취

시험사료는 한국돼지사양표준 (2007)¹⁷⁾에 따라 육성비육돈을 체중별로 50~80 kg과 80~110 kg으로 구분하여 DE 3,431 kcal/kg과 3,439 kcal/kg, CP 14.4%와 11.0%, lysine 0.84%와 0.57%, 인 0.46%와 0.43%를 함유한 사료를 자체 배합하여 이용하였다 (Table 1).

Table 1. Formula and chemical composition of basal diet

Ingredients (%)	Growing & Finishing Pig	
	50~80 kg	80~110 kg
Corn	82.20	88.84
Soybean meal	15.30	8.80
Monocalcium phosphate	0.70	0.70
Limestone	0.80	0.80
L-Lysine	0.30	0.16
Salt	0.30	0.30
Vitamin-mineral premix ¹⁾	0.30	0.30
Phytase	0.10	0.10
Antibiotics		
Chemical composition ²⁾		
DE (kcal/kg)	3,431	3,439
CP (%)	14.40	11.00
Lysine (%)	0.84	0.57
Phosphorus (%)	0.46	0.43

¹⁾ Provides per kilogram of diet: vitamin A, 11,025 IU; vitamin D₃, 1,103 IU; vitamin E, 44 IU; vitamin K (menadionic bisulfate complex), 4.4 mg; riboflavin, 8.3 mg; niacin, 50 mg; d-pantothenic acid (as d-calcium pantothenate), 29 mg; choline, 166 mg; vitamin B₁₂, 33 µg; Cu, 16 mg; Fe, 16 mg; Zn, 165 mg; Mn, 12 mg; I, 0.3 mg; Co, 1.0 mg; Se, 0.3 mg.

²⁾ Analyzed values.

3. 조사 항목

가. 증체량, 사료섭취량, 사료요구율 및 분뇨 배설량

증체량과 사료섭취량 및 분뇨 배설량은 황보 등 (2010)²¹⁾의 방법에 따라 조사하였다. 사료요구율은 사료섭취량을 증체량으로 나눈 값으로 계산하였다.

나. 사료 내 질소와 인 함량

사료(사료, 분, 뇨)에 함유되어 있는 질소와 인은 AOAC (2000)¹⁾ 방법으로 분석하였다.

4. 통계처리

모든 자료의 통계처리는 SAS (1999)¹⁰⁾의 General Linear Model procedure 이용하여 통계분석 하였으며, 처리의 평균간의 유의성 검정은 Duncan's multiple range test (Duncan, 1955)⁶⁾로 검정하였다.

결과 및 고찰

1. 증체량, 사료섭취량 및 사료요구율

본 시험에 사용된 육성비육돈의 증체량, 사료섭취량 및 사료요구율은 Table 2에 나타내었다. 증체량은 phytase 첨가구가 무첨가구에 비해 높았으며 (P<0.01), 성장 단계별로 보면 육성Ⅱ기의 증체량이 가장 높고, 비육기의 증체량이 가장 낮았다 (P<0.05). 사료섭취량은 phytase 첨가 유무와 성장 단계에 따른 유의차가 없었다 (P>0.05). 사료요구율은 phytase 무첨가구가 첨가구에 비해 높게 나타났으며, 비육기의 사료요구율이 가장 높았다 (P<0.05). 육성 I 기와 육성Ⅱ기 사이에서는 유의차가 없었다.

Beers와 Jongbloed (1992)³⁾은 phytase 첨가가 돼지의 성장 생산성을 증가시킨다고 보고하였으며, Campell 등 (1995)⁴⁾는 phytase 500 FTU/kg 첨가시에 증체량과 사료 효율을 증가시킨다고 보고하였다. 또한 Selle 등 (2003)¹¹⁾은 phytase를 550~750 FTU/kg 첨가시 증체량과 사료효율에서 개선효과를 보였다고 보고하였다. 본 시험의 결과에서도 phytase 첨가시에 증체량과 사료요구율은 유의적으로 개선되었다는 것을 알 수 있었다. 그러나 사료섭취량은 육성기와 비육기 사이에서 큰 차이를 보이지 않았다. 이는 황보 등 (2010)²¹⁾이 돼지의 육성기와 비육기 사이에서 사료섭취량을 조사하여 차이가 없었다고 보고한 결과와 유사하다. 또한 phytase 첨가 유무에도 차

Table 2. Effects of phytase supplementation on growth performance of growing-finishing pigs

Treatments	Body Weight Gain (g)	Feed Intake (g)	Feed Conversion Ratio
No Phytase, 50 kg	642 ^c	1,971	3.07 ^{ab}
No Phytase, 80 kg	700 ^{bc}	2,136	3.05 ^{ab}
No Phytase, 110 kg	610 ^c	1,983	3.25 ^a
Phytase, 50 kg	751 ^{ab}	2,030	2.70 ^{bc}
Phytase, 80 kg	818 ^a	2,200	2.69 ^{bc}
Phytase, 110 kg	713 ^b	2,043	2.87 ^b
SEM ¹⁾	22.8	85.1	0.089
Phytase			
0 FTU/kg	651	2,030	3.12
500 FTU/kg	761	2,091	2.75
Phase			
Growing I (50 kg)	697	2,000	2.89
Growing II (80 kg)	759	2,168	2.96
Finishing (110 kg)	662	2,013	3.06
P-value ²⁾			
Phytase	**	NS	**
Body Weight	*	NS	*
Phytase×Phase	*	NS	*

¹⁾ Pooled standard error of the mean for 15 pigs per treatment.

²⁾ Probability of contrast: NS, no significant; *, P<0.05; **, P<0.01.

^{a,b} Means with different superscripts in the same column differ significantly (P<0.05).

이를 보이지 않아 phytase가 돼지의 기호성에는 크게 영향을 주지 않는 것으로 사료된다.

2. 사료섭취량, 음수량 및 분뇨 배설량

본 시험에 사용된 육성비육돈의 사료섭취량, 음수량 및 분뇨 배설량은 Table 3에 나타내었다. 사료섭취량을 건물 기준으로 환산하였을 때, 육성Ⅱ기에서, 또한 phytase 첨가구에서 사료섭취량이 높았으나, 성장 단계와 phytase 첨가 유무에 따른 섭취량의 유의적인 차이는 보이지 않았다 (p>0.05). 음수량 역시 사료 섭취량과 마찬가지로 성장 단계와 phytase 첨가 유무에 따른 유의적 차이를 보이지 않았다. 분의 배설량은 성장 단계에 따라 감소하였으며 (p<0.05), phytase 첨가구가 무첨가구에 비해 배설량이 크게 감소하였다 (p<0.01). 뇨의 배설량은 육성Ⅱ기에서 약간 높은 높이

였으나, 처리구간 유의적인 차이는 없었다. 배설율은 phytase 첨가구가 무첨가에 비해 높았으며 (P<0.01), 성장 단계가 진행됨에 따라 유의적으로 감소하였다 (P<0.05).

분뇨 배설량의 감소는 축산 농가의 환경적인 문제와 관련하여 매우 중요하게 여겨지고 있다. 본 시험에서 성장 단계에 따른 분의 배설량은 비육기에서 가장 적은 배설량을 보여주었다. 육성돈의 경우 성장을 위하여 과도하게 요구량을 늘리는 반면, 비육기에서는 비육을 위한 요구량만 사료에 첨가되므로 오히려 배설량이 감소되는 것이라 사료된다. 이런 결과는 황보 등 (2010)²¹⁾의 배설량 조사 결과와도 매우 유사하다. Phytase 첨가 유무에 따른 분의 배설량은 phytase 첨가구에서 유의적으로 감소하였음을 보여주었다. Phytase를 첨가시 영양소의 이용률을 높이고 영양소의 배설량을 감소시킨다는 보고는 오래 전부

Table 3. Effect of phytase supplementation on feed intakes, water intakes and excreta excretion of growing-finishing pigs

Treatments	Intake (g/day)		Excreta Excretion (g)		Excretion Ratio (%)	
	Feed	Water	Feces	Urine	Feces	Urine
 DM Basis					
No Phytase, 50 kg	1,734	3,360	185 ^a	141	10.67 ^a	4.20
No Phytase, 80 kg	1,880	3,687	178 ^a	150	9.47 ^{ab}	4.07
No Phytase, 110 kg	1,746	3,577	160 ^{ab}	129	9.16 ^{ab}	3.61
Phytase, 50 kg	1,786	3,420	163 ^{ab}	139	9.13 ^{ab}	4.06
Phytase, 80 kg	1,936	3,837	158 ^{ab}	147	8.16 ^b	3.81
Phytase, 110 kg	1,798	3,560	142 ^b	127	7.90 ^b	3.57
SEM ¹⁾	74.9	28.1	4.73	4.48	1.286	0.891
Phytase						
0 FTU/kg	1,786	3,641	174	140	9.77	3.96
500 FTU/kg	1,840	3,606	154	138	8.40	3.81
Phase						
Growing I (50 kg)	1,760	3,390	174	140	9.90	4.13
Growing II (80 kg)	1,908	3,762	168	149	8.82	3.94
Finishing (110 kg)	1,772	3,719	151	128	8.53	3.59
P-value ²⁾						
Phytase	NS	NS	**	NS	**	NS
Body Weight	NS	NS	*	NS	*	NS
Phytase×Phase	NS	NS	**	NS	**	NS

¹⁾ Pooled standard error of the mean for 15 pigs per treatment.

²⁾ Provability of contrast: NS, no significant; *, P<0.05; **, P<0.01.

^{a,b} Means with different superscripts in the same column differ significantly (P<0.05).

터 보고되어 왔다 (홍 등, 2002¹⁸⁾; Pomar 등, 2007⁹⁾; Selle와 Ravindran, 2008¹¹⁾; Augspurger 등, 2009²⁾). 또한 Nahm (2001)⁸⁾은 사료이용율 증가에 따라 비반추가축의 분뇨 발생률이 감소된다고 하였다. 본 시험에서도 이런 결과들과 마찬가지로 본 시험에서의 결과 또한 phytase 활성에 의해 체내에서 사료내 영양소가 많이 흡수되고 이용되었기 때문이라고 사료된다.

3. 질소와 인의 섭취량과 배설량

본 시험에 사용된 육성비육돈의 질소와 인의 섭취량과 배설량 및 배설율은 Table 4와 5에 나타내었다. 질소의 섭취량은 phytase 첨가 유무와 성장 단계에 따른 차이를 보이지 않았다 (P>0.05). 질소의 배설량은 phytase 첨

가가 무첨가구에 비해 배설량이 감소하였으며, 비육기에서 배설량이 가장 적었다 (P<0.05). 질소의 배설율은 phytase 첨가 유무와 성장 단계에 따라 유의적인 차이를 나타내었다 (P<0.05).

인의 섭취량은 질소의 섭취량과 마찬가지로 phytase 첨가 유무와 성장 단계에 따른 차이를 보이지 않았다. 인의 배설량은 육성 II기에서 가장 많았으며, phytase 무첨가구가 첨가구에 비해 많은 양을 배설하였다 (P<0.05). 인의 배설율은 육성 I기에서 가장 적었으며, 육성 II기와 유의적인 차이를 나타내었다 (P<0.05). 또한 phytase 첨가구가 무첨가구에 비해 배설율이 낮게 나타났다 (P<0.05).

Nahm (2001)⁸⁾은 phytase를 이용하여 사료이용율을 높일 경우 질소와 인의 배설량이 감소된다고 하였다. 그러나 김과 홍 (2001)¹⁶⁾은

Table 4. Effects of phytase on the intakes and the excreta of nitrogen (N) of growing-finishing pigs

Treatments	Intakes (g)	Excretion (g)	Excretion Ratio (%)
No Phytase, 50 kg	39.8	4.38 ^{ab}	11.01 ^{ab}
No Phytase, 80 kg	42.8	4.77 ^a	11.15 ^a
No Phytase, 110 kg	39.5	3.79 ^b	9.60 ^b
Phytase, 50 kg	40.9	3.88 ^b	9.49 ^{ab}
Phytase, 80 kg	44.1	3.93 ^b	8.91 ^{ab}
Phytase, 110 kg	40.7	3.61 ^b	8.87 ^b
SEM ¹⁾	1.48	0.164	1.546
Phytase			
0 FTU/kg	40.7	4.31	10.59
500 FTU/kg	41.9	3.81	9.09
Phase			
Growing I (50 kg)	40.4	4.13	10.22
Crowing II (80 kg)	43.5	4.35	10.00
Finishing (110 kg)	40.1	3.70	9.23
P-value ²⁾			
Phytase	NS	*	NS
Body Weight	NS	*	NS
Phytase × Phase	NS	*	*

¹⁾ Pooled standard error of the mean for 15 pigs per treatment.

²⁾ Provability of contrast: NS, no significant; *, P<0.05.

^{a,b} Means with different superscripts in the same column differ significantly (P<0.05).

Table 5. Effects of phytase on the intakes and the excreta of phosphorus (P) of growing-finishing pigs

Treatments	Intakes (g)	Excretion (g)	Excretion Ratio (%)
No Phytase, 50 kg	8.55	2.36 ^{ab}	27.6 ^b
No Phytase, 80 kg	9.21	3.15 ^a	34.2 ^a
No Phytase, 110 kg	8.81	2.74 ^{ab}	31.1 ^{ab}
Phytase, 50 kg	8.50	2.09 ^b	24.6 ^c
Phytase, 80 kg	9.49	2.91 ^{ab}	30.7 ^{ab}
Phytase, 110 kg	8.75	2.53 ^{ab}	28.9 ^{bc}
SEM ¹⁾	0.954	0.077	1.361
Phytase			
0 FTU/kg	8.86	2.75	31.1
500 FTU/kg	8.91	2.51	28.2
Phase			
Growing I (50 kg)	8.53	2.23	26.1
Crowing II (80 kg)	9.35	3.03	32.4
Finishing (110 kg)	8.78	2.64	30.1
P-value ²⁾			
Phytase	NS	*	*
Body Weight	NS	*	NS
Phytase×Phase	NS	*	*

¹⁾ Pooled standard error of the mean for 15 pigs per treatment.

²⁾ Provability of contrast: NS, no significant; *, P<0.05.

^{a,b,c} Means with different superscripts in the same column differ significantly (P<0.05).

phytase 첨가에 따른 N 이용률의 차이가 없다고 하였다. 본 시험의 결과에서도 질소의 배설율에 대한 phytase 첨가 유무에 따른 차이는 보이지 않았으나, 성장 단계에 따라서는 비육기의 질소 배설율이 가장 낮게 나타났다. 이런 결과는 육성율에 비해 비육기의 영양소 이용률이 우수하다는 것을 나타낸다고 사료된다. 환경오염의 주원인이 되는 인의 배설량과 배설율은 phytase 첨가 유무와 성장 단계에 따라 유의적인 차이를 보였다. 이런 결과는 Nahm (2001)⁸⁾, 홍 등 (2002)¹⁸⁾, Augspurger 등 (2009)²⁾ 그리고 Varley 등 (2011)¹⁴⁾의 연구와 유사한 결과를 나타냈다. 그러나 이들은 인의 phytase 첨가시 인의 함량을 낮출 것을 권장하여, 앞으로 사료내 phytase 첨가시 인의 적정 수준에 대한 연구가 추가적으로 수행되어야 한다고 사료된다. 결론적으로, 사료내 phytase 첨가는 육성비육돈의 생산성을 향상시키고 배설량을 절감시킨다.

적 요

본 시험은 사료내 phytase 첨가가 육성비육돈의 생산량과 분뇨 배설량에 미치는 영향을 조사하기 위해 수행하였다. 3원 교잡종 (Yorkshire × Landrace × Duroc) 육성비육돈 80수를 공시하였으며, 처리구는 phytase 첨가 유무에 따른 2처리구, 처리구당 5반복, 반복당 8수씩을 육성비육돈의 체중 (50, 80, 110 kg)에 따라 3단계로 나누어 phytase 첨가 유무 (0, 500 FTU/kg)와 육성 비육돈 성장 3단계 (육성 I기, 육성 II기, 비육기)의 2×3 복합요인으로 7일간씩 수행하였다. 육성비육돈의 성장 단계에 따른 개시체중은 각각 58.6±3.9, 83.2±3.8 및 111.4±5.4 kg 이었다. 증체량은 phytase 첨가구가 무첨가구에 비해 높았으며 (P<0.01), 성장 단계별로 보면 육성 II기의 증체량이 가장 높고, 비육기의 증체량이 가장 낮았다 (P<0.05). 사료요구율은 phytase 무첨가구가

첨가구에 비해 높게 나타났으며, 비육기의 사료요구율이 가장 높았다 (P<0.05). 사료섭취량과 음수량은 성장 단계와 phytase 첨가 유무에 따른 섭취량의 유의적인 차이는 보이지 않았다 (p>0.05). 분의 배설량은 성장 단계에 따라 감소하였으며 (p<0.05), phytase 첨가구가 무첨가구에 비해 감소하였다 (p<0.01). 뇨의 배설량은 처리구간 유의적인 차이는 없었다. 질소와 인의 섭취량은 phytase 첨가 유무와 성장 단계에 따른 차이를 보이지 않았다 (P>0.05). 질소의 배설량은 phytase와 성장 단계에 따른 차이가 없었으나, 인의 배설량은 phytase 첨가구에서 감소하였다. 질소와 인의 배설율은 phytase 첨가구가 무첨가구에 비해 감소하였다 (P<0.05).

(Key words : Phytase, 생산성, 분뇨 배설량, 질소와 인 배설량)

사 사

본 연구는 2008년 농촌진흥청 국립축산과학원의 연구비 지원에 의해 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

인 용 문 헌

1. AOAC. 2000. Official methods of analysis. 17thed, Association Official Methods of Analysis of AOAC International, Ch. 4. pp. 5.
2. Augspurger, N. R., Spencer, J. D., Webel, D. M., Wolter, B. F. and Torrance, T. S. 2009. An *Escherichia coli*-derived phytase can fully replace inorganic phosphorus in maize-soybean meal diets for growing-finishing pigs. Anim. Feed Sci. Tech. 154, 254-259.
3. Beers, S. and Jongbloed, A. W. 1992. Effect of supplementary *Aspergillus niger*

- phytase in diets for piglets on their performance and apparent digestibility of phosphorus. *Anim. Prod.* 55, 425-430.
4. Campell, R. G., Harrison, D. T., Buttler, K. J. and Selle, P. H. 1995. Effect of dietary available phosphorus and phytase (Natuphos) on the performance of pigs from 19-40 days post-weaning. *Manipulating Pig Production V. Australian Pig Science Association, Werribee, Vic.*, p. 193.
 5. Cowieson, A. J., Acamovic, T. and Bedford, M. R. 2004. The effects of phytase and phytic acid on the loss of endogenous amino acids and minerals from broiler chickens. *Br. Poult. Sci.* 45(1), 101-108.
 6. Duncan, D. B. 1955. Multiple range and multiple F tests. *Bio-metrics* 11, 1-42.
 7. Khrehbiel, C. R. and Matthews, J. C. 2003. Absorption of amino acids and peptides. In: D'Mello J. P. F. (Ed.), *Amino Acids in Animal Nutrition second ed* CABI. pp, 41-70.
 8. Nahm, K. K. 2001. A study on the reducing pollutants in non-ruminant manure by increasing feed utilization. *Kor. J. Poult. Sci.* 28(3), 245-257.
 9. Pomar, C., Dubeau, F., Letourneau-Montminy, M.-P., Boucher, C., Julien, P.-O. 2007. Reducing phosphorus concentration in pig diets by adding an environmental objective to the traditional feed formulation algorithm. *Livestock Science.* 111, 16-27.
 10. SAS. 1999. SAS user guide. release 6.11 edition. SAS Inst Inc Cary NC USA.
 11. Selle, P. H., Cadogan, D. J. and Bryden, W. L. 2003. Effects of phytase supplementation of phosphorus-adequate, lysine-deficient, wheat-based diets on growth performance of weaner pigs. *Aust. J. Agric. Res.* 54, 323-330.
 12. Selle, P. H. and Ravindran, V. 2008. Phytate-degrading enzymes in pig nutrition. *Livestock Science.* 113, 99-122.
 13. Simons, P. C. M., Versteegh, H. A. J., Jongbloed, A. W., Kemme, P. A., Slump, P., Bos, K. D., Wolters, M. G. E., Beudeker, R. F. and Verschoor, G. J. 1990. Improvement of phosphorus availability by microbial phytase in broilers and pigs. *Br. J. Nutr.* 64, 525-540.
 14. Varley, P. F., Flynn, B., Callan, J. J., O'Doherty, J. V. 2011. Effect of phytase level in a low phosphorus diet on performance and bone development in weaner pigs and the subsequent effect on finisher pig bone development. *Livestock Science.* 138, 152-18.
 15. Zyla, K., Koreleski, J., Swiatkiewicz, S., Piironen, J. and Ledoux, D. R. 2001. Influence of supplemental enzymes on the performance and phosphorus excretion of broilers fed wheat-based diets to 6 weeks of age. *Anim. Feed. Sci. Technol.* 89, 13-118.
 16. 김인호, 홍종욱. 2001. Phytase를 이용한 환경친화성 육성돈사료개발. *한국유기농업학회지.* 9, 53-62.
 17. 한국돼지사양표준. 2007. 농림수산식품부·농촌진흥청 국립축산과학원.
 18. 홍종욱, 김인호, 문태현, 이지훈, 권오석, 민병준, 이원백. 2002. 육성돈에 있어 성장 및 영양소 배설에 대한 미생물 phytase의 첨가 효과. *한국유기농업학회지.* 10, 85-94.
 19. 환경부. 2008. 가축분뇨 배출원단위 재산정.
 20. 환경부고시 제1999-109호. 1999. 가축별 가축분뇨 배출원 단위.
 21. 황보 중, 홍의철, 박희두, 김동운, 조성백. 2010. 돼지의 분뇨 배설량 및 분뇨 성분 조사. *한국동물자원과학회지.* 52(4):319-328.