

多重线性回归法测定猪内源磷排泄量 及饲料磷真消化率的研究

左建军¹, 汪 傲², 张铁鹰², 张常明¹, 冯定远^{1*}, 印遇龙³, 范明哲³

(1. 华南农业大学动物科学学院, 广州 510642; 2. 中国农业科学院北京

畜牧兽医研究所, 北京 100094; 3. 中国科学院亚热带农业生态研究所, 长沙 410125)

摘要: 本研究采用多重线性回归法测定生长猪内源磷排泄量及花生粕和豆粕磷的真消化率。选用 6 头健康大白×长白阉公猪为试验动物, 平均体重为 (24.8±1.42) kg。采用 6×6 拉丁方设计, 设 6 个磷水平 (0.09%、0.17%、0.26%、0.35%、0.43%、0.53%), 以豆粕、葡萄糖、玉米淀粉等为基础, 以花生粕为待测植物性饲料, 配制半纯合试验日粮, 花生粕和豆粕为磷唯一来源。日粮中添加 0.35% Cr₂O₃ 作为外源指示剂。试验分 6 个试验期, 每期 8 d, 6 d 适应期, 2 d 收粪期。结果表明, 在以 g/kg DMI 为计量单位条件下, 生长猪粪磷的排出量与日粮磷的摄入量呈线性关系 ($P=0.0001$), 回归法测得生长猪内源磷的排泄量为 0.526 g/kg DMI, 花生粕磷的真消化率为 28.00%, 豆粕磷的真消化率为 38.87%。分析粪磷来源发现, 内源磷排泄量基本不变 ($P=0.13$), 而日粮来源粪磷随日粮含量的增加而增加 ($P=0.0001$), 说明多重线性回归法可用于测定猪内源磷排泄量及非常规植物性饲料磷的真消化率; 比较真消化率和表观消化率值说明, 真消化率比表观消化率具有较好的重复性。

关键词: 线性回归法; 生长猪; 花生粕; 豆粕; 磷; 内源排泄量; 真消化率

中图分类号: S828.5

文献标识码: A

文章编号: 0336-6964(2007)07-0678-07

Endogenous Outputs and True Digestibility of Phosphorus Associated with Peanut Meal and Soybean Meal in Growing Pigs by Multiple Linear Regression Analysis Technique

ZUO Jian-jun¹, WANG Jing², ZHANG Tie-ying², ZHANG Chang-ming¹,

FENG Ding-yuan^{1*}, YIN Yu-long³, FAN Ming-zhe³

(1. College of Animal Science, South China Agricultural University,

Guangzhou 510642, China; 2. Institute of Animal Science, Chinese Academy of

Agricultural Sciences, Beijing 100094, China; 3. Institute of Subtropical Agriculture,

Chinese Academy of Sciences, Changsha 410125, China)

Abstract: Regression analysis technique was used to measure the fecal phosphorus (P) endogenous outputs and true P digestibility values with peanut meal and soybean meal in this study with growing pigs. Six Yorkshire×Landrace barrows, with average initial body weight of (24.8±1.42) kg, were fed in the metabolic cage. According to a 6×6 Latin square design, the six diets with soybean-cornstarch-glucose based experimental diet with peanut meal containing six P level (0.09%, 0.17%, 0.26%, 0.35%, 0.43%, 0.53%) were formulated, in which the peanut meal and soybean meal were the only P source. Chromic oxide (0.35%) was included in the diets as digestibility marker. Each experimental period lasted 8 d with 6 d adaptation and 2 d collection of the feces. The results showed that the P endogenous outputs were 0.526 g/kg DMI, true P digestibility with peanut meal was 28.00%, and true P digestibility with soybean was 38.87% with re-

收稿日期: 2006-11-22

基金项目: 中国科学院“百人计划”项目; 广东省自然科学基金(06300364); 华南农业大学校长科学基金(148(3))

作者简介: 左建军(1976-), 男, 土家族, 湖南永顺人, 讲师, 博士, 主要从事动物矿物质营养研究, E-mail: zuoj@scau.edu.cn

* 通讯作者: 冯定远(1961-), 男, 汉族, 广东阳江人, 教授, 博导, 主要从事动物营养与生物技术研究, E-mail: fengdy@scau.edu.cn

gression analysis technique.

Key words: regression analysis technique; growing pigs; peanut meal; soybean meal; phosphorus; endogenous outputs; true digestibility

作为一种非再生资源,磷是继蛋白质和能量之后第 3 种最昂贵的饲料原料,同时也是目前畜禽养殖过程中过量排泄对环境造成污染最为严重的来源之一^[1~3]。其问题产生的根源之一就是目前缺乏对饲料原料中有效磷的准确评定,从而无法合理配制畜禽饲料,降低饲料成本、减少对环境的污染。

目前,较为常用表示饲料有效磷的评价体系有表观消化率和相对生物学价值,但它们都不能反映动物对磷吸收利用的真实情况^[2,4]。磷的真消化率能反映动物对磷真实的吸收利用情况,但由于受内源磷的干扰,至今尚无理想的测定方法。受梯度回归测定内源氮方法的启迪,Fan 等^[2],Shen 等^[5]采用简单梯度回归法进行了内源磷的测定,之后,方热军^[4]、张艳玲^[6]先后针对不同饲料原料、动物不同性别和动物不同生产阶段对该方法进行了验证,结果都说明在以豆粕或次粉为磷的唯一来源,结合玉米淀粉和葡萄糖配制半纯合日粮的条件下,该方法用于测定猪内源磷和饲料磷真消化率具有很好的可行性。但是,以 2 种或 2 种以上含磷饲料配制模型日粮条件下动物内源磷排泄量及非常规植物性饲料磷真消化率等方面的研究还少有报道。本研究旨在前人研究基础上,选用非常规饲料原料——花生粕结合豆粕配制试验日粮,通过多重线性回归法测定生长猪内源磷排泄量以及花生粕和豆粕磷的真消化率。

1 材料和方法

1.1 试验设计

消化试验采用 6×6 拉丁方设计。试验共分 6 期,每期 8 d,6 d 适应期,2 d 收粪期。以玉米淀粉、葡萄糖和豆粕为基础,以花生粕为待测原料配制半纯合试验日粮(见表 1)。花生粕和豆粕为磷唯一来源,设 6 个磷水平(0.09%、0.17%、0.26%、0.35%、0.43%、0.53%)。采用外源指示剂(Cr₂O₃)法进行消化试验。

1.2 试验动物

试验在中国农业科学院北京畜牧兽医研究所农业部动物营养重点实验室进行。试验从北京豹房猪场选取体况一致的 6 头大白×长白二元杂交阉公

猪,平均初始体重为(24.8±1.42)kg。

1.3 饲养管理

将每头猪单独饲于已消毒处理过的代谢笼中,试验期间室温保持在 17~22℃。适应期 7 d,试验期持续 48 d(6 个试验期,每期 8 d),适应期间逐步过渡饲喂试验日粮,自由采食与饮水,试验前 3 d 统一驱虫。试验期每天 08:00 和 16:00 各喂一次,每次按每头试验猪体重的 4% 供给,自由饮水。每两期试验结束时称取一次体重,根据不同时期体重变化对采食量作相应调整。

1.4 样品收集和处理

每个试验期从第 7 天的 08:00 至下个试验期第 1 天 08:00 收集粪样,随排随收,每次收集的粪样及时装入准备好的塑料袋中,迅速置于 -20℃ 冰箱中保存。每期试验结束后,将同一头猪所有粪样解冻混合拌匀后,少于 500 g 的取全部,多于 500 g 的取其中的 500 g 置于 65℃ 烘箱干燥回潮后,粉碎待测。同时取花生粕和豆粕原料样及 6 个日粮样品,置于 0℃ 冰箱保存待测。

1.5 测定指标与方法

日粮、花生粕、豆粕和粪中干物质(DM)按 GB/T 6435-86 方法测定^[7],日粮、花生粕和豆粕及粪中总磷(TP)按 GB/T 6437-92 方法测定^[7],花生粕和豆粕中钙含量按 GB/T 6436-92 方法测定^[7],花生粕和豆粕中粗蛋白(CP)按 GB/T 6432-94 方法测定^[7];日粮和粪中 Cr 用原子吸收法测定^[8];花生粕和豆粕中性洗涤纤维(NDF)用 Van soest 方法测定^[9];花生粕和豆粕中植酸磷和植酸酶含量按 Shen 等^[10]所述方法测定。

1.6 内源磷排泄量及花生粕和豆粕磷真消化率的计算方法

1.6.1 日粮 DM 和 P 表观消化率按指示剂法公式(1)计算:

$$D_{Ai} = 100\% - [(I_D \times P_1) / (I_1 \times P_D)] \times 100\% \quad (1)$$

D_{Ai} 为被测日粮 DM 或 P 表观消化率(%); I_D 为第 i 种日粮中 Cr 的浓度(%); P_1 为粪中 DM 或 P 的浓度(%); P_D 为第 i 种日粮中 DM 或 P 浓度(%), I_1 为粪中 Cr 的浓度(%)。

表1 试验日粮配方及主要营养指标(风干基础)

Table 1 Composition of experimental diets and nutrient indexes (as air dry basis)

%

成分 Ingredients	日粮水平 Dietary level					
	1	2	3	4	5	6
葡萄糖 Dextrose	10.10	10.10	10.10	10.10	10.10	10.10
玉米淀粉 Corn starch	74.26	58.83	44.00	28.75	14.12	0.00
豆粕 Soybean meal	10.07	20.12	30.19	40.25	50.31	81.82
花生粕 Peanut meal	3.57	7.15	10.72	14.30	17.87	0.00
玉米油 Vegetable oil	1.00	2.80	3.99	5.60	6.60	7.08
食盐 Salt	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
维生素预混料 Vitamin premix ¹	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
微量矿物质添加剂 Trace-Mineral premix ²	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
抗生素预混料 Antibiotics mixture ³	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
三氧化二铬 Chromic oxide	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35
总计 Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
营养水平 Nutrient level ⁴						
粗蛋白 CP	6.39	12.48	18.57	24.66	30.75	36.03
消化能 DE/(MJ/kg)	16.10	16.05	15.88	15.80	15.60	15.68
钙 Ca	0.04	0.08	0.12	0.16	0.19	0.26
总磷 TP	0.08	0.15	0.23	0.30	0.38	0.53
钙磷比 Ca/P	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45

1. 维生素预混料向每 kg 饲料提供:维生素 A 27 000 IU,维生素 D₃ 5 400 IU,维生素 E 20 mg,维生素 K₃ 2.5 mg,维生素 B₁ 1.5 mg,维生素 B₂ 7.5 mg,维生素 B₆ 1.5 mg,维生素 B₁₂ 15 μg,生物素 0.25 mg,叶酸 0.75 mg,烟酸 20 mg,泛酸钙 12.5 mg,氯化胆碱 600 mg; 2. 微量矿物质预混料向每 kg 饲料提供:CuSO₄ · 5H₂O 31.4 mg,FeSO₄ · H₂O 228.6 mg,ZnSO₄ · H₂O 164.8 mg,MnSO₄ · H₂O 123.1 mg,CaIO₃ 1.1 mg,Na₂SeO₃ 0.33 mg; 3. 抗生素预混料向每 kg 饲料提供:安她王 500 mg,黄霉素 20 mg; 4. 计算值

1. Supplied per kg feed: VA 27 000 IU, VD 5 400 IU, VE 20 mg, VK 2.5 mg, VB₁ 1.5 mg, VB₂ 7.5 mg, VB₆ 1.5 mg, VB₁₂ 15 μg, Biotin 0.25 mg, Folic acid 0.75 mg, Niacin 20 mg, Calpan 12.5 mg, Choline 600 mg; 2. Supplied per kg feed: CuSO₄ · 5H₂O 31.4 mg, FeSO₄ · H₂O 228.6 mg, ZnSO₄ · H₂O 164.8 mg, MnSO₄ · H₂O 123.1 mg, CaIO₃ 1.1 mg, Na₂SeO₃ 0.33 mg; 3. Supplied per kg feed: ANTA KING 500 mg, Flavomycin 20 mg; 4. Values calculated

以 g/kg DMI 为单位,粪中 TP 排泄量用公式(2)换算:

$$P_o = P_i \times (I_D / I_1) \quad (2)$$

P_o 为粪中 TP 的排泄量(g/kg DMI);P_i 为粪中 TP 含量(g/kg 粪 DM);I_D 为日粮中 Cr 的浓度(g/kg DMI);I₁ 为粪中 Cr 的浓度(g/kg 粪 DMI)。

1.6.2 基础原料(豆粕)和待测原料(花生粕)磷表观消化率的计算 豆粕磷表观消化率采用直接法^[11]计算,待测原料为唯一提供磷来源的情况下,原料磷表观消化率可根据公式(3)计算:

$$D_A = (D_D \times 100\%) / (A_A \times S_1) \quad (3)$$

D_A 为待测原料中磷表观消化率(%);D_D 为日粮中表观可消化磷(g/kg DM);A_A 为待测原料中磷含

量(g/kg DM);S₁ 为待测原料在日粮中使用水平(%)。

豆粕磷表观消化率采用间接法^[11]计算,这种方法的试验日粮中包括基础原料和待测原料,假设它们之间不存在交互作用,它们存在方程(4)中表示的关系:

$$D_D = D_B \times S_B + D_A \times S_A \quad (4)$$

D_D 为日粮磷表观消化率;D_B 为基础原料磷表观消化率;S_B 为基础原料来源的磷在试验日粮磷中比例(%);D_A 为待测原料磷表观消化率(%);S_A 为待测原料来源的磷在试验日粮磷中比例(%)。

基础原料磷表观消化率由直接法公式(3)计算,待测原料磷表观消化率由公式(4)变化过来的公式

(5) 计算:

$$D_A = (D_D - D_B \times S_B) / S_A \quad (5)$$

1.6.3 多重线性回归测定内源磷排泄量和饲料真消化率 根据 Fan 等^[12]、Shen 等^[5],把日粮表观可消化磷表示成 g/kg DMI,可以由公式(6)计算:

$$N_{Ai} = N_{Di} \times D_A \quad (6)$$

N_{Ai} 为第 i 日粮粪表观可消化磷(g/kg DMI); N_{Di} 为第 i 日粮磷含量(g/kg DMI); D_A 为第 i 日粮磷表观消化率(%)。

如果日粮中基础原料和待测原料磷消化率之间没有交互作用,它们的关系可表示为方程(7):

$$N_{Ai} = -N_E + [(D_{1-T}/100) \times N_{1Di}] + [(D_{2-T}/100) \times N_{2Di}] \quad (7)$$

N_{Ai} 为第 i 种日粮粪表观可消化磷(g/kg DMI),由公式(6)计算; N_E 为内源粪磷排泄量(g/kg DMI); D_{1-T} 和 D_{2-T} 分别为待测原料和基础原料磷真消化率(%); N_{1Di} 和 N_{2Di} 为第 i 种日粮中分别来源于待测原料和基础原料的磷(g/kg DMI)。

方程(7)实际上是一个多重线性回归模型, N_{Ai} 是因变量, N_{1Di} 和 N_{2Di} 是自变量,回归系数 N_E 、 D_{1-T} 和 D_{2-T} 可根据建立的回归模型估计出来。

1.6.4 试验日粮磷真消化率 试验日粮磷的真消化率可通过公式(8)计算:

$$D_{Ti} = [(D_{1-T} \times N_{1Di} + D_{2-T} \times N_{2Di}) / P_{Di}] \times 100\% \quad (8)$$

式中 D_{Ti} 为第 i 种日粮磷真消化率; P_{Di} 为第 i 种

日粮中磷含量(g/kg DMI)。

每个试验日粮中内源磷排泄量可根据公式(9)计算:

$$P_{Ei} = [(D_{Ti} - D_{Ai}) \times P_{Di}] / 100\% \quad (9)$$

1.7 统计分析

试验数据采用 SAS6.12 进行多重线性回归和方差分析(ANOVA 过程),以及显著性检验;各组数据均以平均数±标准误表示。

2 结果

试验期间动物处于正常采食水平,整个试验期没有发现明显的钙、磷缺乏症状。花生粕和豆粕中 DM 含量分别为 91.6%、88.7%,CP 分别为 48.2%、44.7%,NDF 为 21.1%、14.0%,钙分别为 0.20%、0.19%,磷分别为 0.83%、0.69%,植酸磷分别为 6.5 g/kg、3.9 g/kg,植酸酶分别为 56.4 U/kg、48.8 U/kg。

2.1 日粮干物质、磷表观消化率

日粮 DM 和 P 表观消化率可由公式(1)计算,结果见表 2。6 种试验日粮中玉米淀粉由 74.26% 降低至 0,豆粕由 10.07% 增加至 81.82%,花生粕由 3.57% 最高增加至 17.87%,结果日粮 DM 表观消化率差异显著($P=0.0001$),呈线性降低(线性关系式为: $y = 96.78 - 2.48x$, $R^2 = 0.90$, $P = 0.0001$)。而日粮磷含量随着豆粕和花生粕的增加线性增加,其表观消化率差异显著($P=0.0001$)。

表 2 生长猪饲料干物质和磷表观消化率

Table 2 The apparent diet Dry Matter and P digestibility values in experimental diets as determined with the growing pigs

	日粮 1	日粮 2	日粮 3	日粮 4	日粮 5	日粮 6	SEM*
	Diet 1	Diet 2	Diet 3	Diet 4	Diet 5	Diet 6	
日粮磷水平							
Dietary P level/(g/kg DM)	1.12	2.10	3.07	4.10	4.77	5.07	
日粮干物质表观消化率/%							
Apparent DM digestibility	93.46	91.96	89.83	86.48	84.17	84.58	1.17
日粮磷表观消化率/%							
Apparent P digestibility	-27.59	17.51	21.36	24.86	20.43	28.32	11.78

*. 集合标准误,样本数 $n=6$,下表同

*. Pooled standard error of means, $n=6$, The same as below

2.2 花生粕和豆粕中磷的表观消化率

豆粕中磷的表观消化率可根据公式(3)计算,结果为 $23.01\% \pm 1.97\%$ ($n=6$)。花生粕中磷表观消

化率可根据公式(4)计算,结果见表 3,各日粮中花生粕磷表观消化率差异显著($P=0.0001$)。

表 3 生长猪花生粕磷表观消化率

Table 3 The apparent P digestibility values in peanut meal as determined with the growing pigs

	日粮 1 Diet 1	日粮 2 Diet 2	日粮 3 Diet 3	日粮 4 Diet 4	日粮 5 Diet 5	SEM*
日粮中花生粕来源磷水平 P level from peanut meal in diet / (g/kg DMI)	0.35	0.69	1.03	1.36	1.69	
日粮中花生粕来源磷表观消化率/% Apparent P digestibility from peanut meal in diets	-138.65	6.33	18.09	28.59	15.74	13.45

2.3 磷的内源排泄量及花生粕和豆粕磷的真消化率

以 g/kg DMI 为单位,不同日粮粪磷含量根据公式(2)计算结果列于表 4。由表 4 可知粪磷排泄量和日粮磷摄入量存在显著线性相关($R^2=0.97, P=0.0001$)。根据公式(6)和(7)可知,以表观可消化磷为因变量,以花生粕、豆粕来源磷的含量为自变

量进行多重线性回归,得其回归模型为 $y = -0.5266 + 0.2800x_1 + 0.3887x_2$ ($R^2=0.80, P=0.0001$),由回归模型可得出生长猪内源磷排泄量为 (0.5266 ± 0.13) g/kg DMI ($P=0.0002$),对花生粕磷的真消化率为 $28.00\% \pm 0.08\%$ ($P=0.0017$),对豆粕磷的真消化率为 $38.87\% \pm 0.03\%$ ($P=0.0001$)。

表 4 生长猪不同日粮粪磷的排泄量

Table 4 The fecal P outputs in experimental diets varying from low to high P contents with the growing pigs

	日粮 1 Diet1	日粮 2 Diet2	日粮 3 Diet3	日粮 4 Diet4	日粮 5 Diet5	日粮 6 Diet6	SEM*
日粮磷水平 Dietary P level	1.12	2.10	3.07	4.10	4.77	5.07	
粪磷排泄量 Fecal P level	1.43	1.73	2.42	3.08	3.79	3.63	0.16

2.4 日粮磷真消化率

见表 5。

试验日粮磷真消化率可根据公式(8)计算,结果

表 5 日粮磷真消化率

Table 5 The true P digestibility values in diets as determined with the growing pigs

	日粮 1 Diet1	日粮 2 Diet2	日粮 3 Diet3	日粮 4 Diet4	日粮 5 Diet5	日粮 6 Diet6	SEM*
日粮磷水平/(g/kg DMI) Dietary P level	1.12	2.10	3.07	4.10	4.77	5.07	
日粮磷真消化率/% True P digestibility	35.47	35.29	35.21	35.26	35.02	38.87	0.61

比较日粮磷表观和真消化率发现,试验日粮中磷含量从 1.12 g/kg DMI 增加到 5.07 g/kg DMI (表 4),日粮磷表观消化率之间差异显著 ($P=0.0001$),并呈 $y = -1.56x^2 + 14.30x + 3.49$ (R^2

$= 0.88$)关系逐渐增加,与表观消化率不同,试验日粮的真消化率并不随着日粮磷摄入量增加而变化 ($P=0.15$)。

根据公式(9)可算出每个试验日粮的内源磷排

泄量,以总粪磷排泄量减去内源粪磷排泄量可算出日粮来源粪磷排泄量;再由总磷摄入量、表观消化率和真消化率可分别算出表观可消化磷摄入量和真可消化磷摄入量。日粮磷摄入量和粪磷含量剖分结果

见表 6。从日粮 1 到日粮 6,内源磷排泄量基本保持不变($P=0.13$),而日粮来源粪磷排泄量随日粮磷摄入量增加而呈线性增加($y=0.6209x+0.06$, $R^2=0.9958$, $P=0.0001$)。

表 6 生长猪不同日粮磷摄入量和粪磷排泄量的分析
Table 6 The P input and the partitioning of P flow in feces of the growing pigs fed diets varying from low to high in P contents

	日粮 1	日粮 2	日粮 3	日粮 4	日粮 5	日粮 6	g/kg DMI
	Diet 1	Diet 1	Diet 1	Diet 1	Diet 1	Diet 1	SEM*
磷摄入量	1.12	2.10	3.07	4.10	4.77	5.07	
Total P input							
表观可消化磷的摄入量	-0.31	0.37	0.66	1.02	0.97	1.44	0.10
Apparent digestible P input							
真可消化磷的摄入量	0.40	0.74	1.08	1.45	1.67	1.97	0.24
True digestible P input							
粪总磷排出量	1.43	1.73	2.42	3.08	3.79	3.63	0.16
Total fecal P output							
粪磷内源排出量	0.70	0.37	0.43	0.43	0.70	0.53	0.05
Endogenous fecal P output							
粪磷来源于日粮部分	0.73	1.36	1.99	2.65	3.09	3.10	0.40
Fecal P output of dietary origin							

3 讨论

测定饲料磷真消化率的前提和基础是动物在正常生理条件下,内源磷的准确测定,可选择的方法有无磷日粮法、同位素 ^{32}P 示踪技术、差量法和线性回归法等。用线性回归法测定猪磷的内源排泄量和饲料磷的真消化率是最新猪常量矿物质内源排泄量和真消化率的测定方法之一^[2,4~6,13]。

本试验得出花生粕和豆粕的表观消化率分别为 -13.98% 、 23.01% ,真消化率分别为 28.00% 、 38.87% ,表观消化率值要比真消化率低,6个日粮磷的表观消化率值也低于其真消化率,方热军^[4]和张艳玲^[6]也有一致的结果,这是由于表观消化率没有对内源排泄磷进行校正^[14,15]。此外,同种饲料表观消化率变异很大,例如本试验得出的豆粕磷表观消化率为 32.48% ,而张艳玲^[6]、方热军^[4]和贾刚等^[16]测得的结果分别为 13.27% 、 27.59% 、 31.00% 。通过粪磷的分析,内源磷对消化率结果的影响主要体现在表观消化率上,而对真消化率影响很小,这也可以解释为什么同一饲料磷表观消化率的变异很大。因此,用真消化率更能准确反映饲料

磷可被利用的真实情况。

Fan等^[2]和方热军^[4]报道,线性回归法测定动物内源磷排泄量和饲料磷真消化率需要满足3个基本条件:(1)粪磷排泄量随着日粮磷的增加而线性增加;(2)在整个设计磷水平范围内,内源磷排泄量基本保持不变;(3)在整个设计磷水平范围内,日粮来源的粪磷线性增加。本试验结果说明在本试验中线性回归法的假设是成立的。本试验用花生粕-豆粕半纯合日粮测的生长猪内源磷排泄量为 $(0.5266 \pm 0.13)\text{g/kg DMI}$,这高于Fan等^[2]用豆粕日粮测定的断奶仔猪内源磷排泄量 (0.31g/kg DMI) ,但低于Shen^[5] (0.67g/kg DMI) ,方热军^[4] (0.68g/kg DMI) 和张艳玲^[6] $(0.89\text{和}1.08\text{g/kg DMI})$ 的测定结果。张艳玲^[6]应用线性回归法比较不同性别(阉公猪和小母猪)对磷内源排泄量的影响,结果发现阉公猪内源磷的排泄量极显著高于小母猪($P < 0.01$),但Ajakaiye等^[13]应用相同方法比较不同生长阶段(断奶仔猪和生长猪)对内源磷排泄量的影响,结果却发现差异不显著($P > 0.05$)。综合近几年用线性回归法测定的猪内源磷排泄量,发现由于猪的生长阶段或试验日粮类型不同,其结果差异较

大。因此,有必要对不同试验日粮、不同生产阶段,不同性别,不同品种的猪内源磷排泄量进行系统研究。

有关花生粕的真消化率至今未见报道。而豆粕的真消化率与 Fan 等^[2](48.5%)、方热军^[4](51.87%)和张艳玲^[6](41.44%、48.78%)的结果都相差不大,表明用线性回归法测定的饲料磷真消化率具有较好的重复性。

4 结 论

多重线性回归法可用于测定非常规植物性饲料磷真消化率和生长猪内源磷排泄量;以花生-豆粕为试验日粮模型,通过多重线性回归法测定生长猪磷的内源排泄量为 0.526 6 g/kg DMI,花生粕和豆粕磷的真消化率分别为 28.00%和 38.87%;饲料磷真消化率比表观消化率具有较好的重复性。

参考文献:

- [1] Lei X G, Stahl C H. Nutritional benefits of phytase and dietary determinants of its efficacy. Special issue on swine production[J]. *Journal of Applied Animal Research*, 2000, 17(1): 474~481.
- [2] Fan M Z, Archbold T, Sauer W C, *et al.* Novel methodology allows simultaneous measurement of true phosphorus digestibility and the gastrointestinal endogenous phosphorus outputs in studies with pigs [J]. *Journal of Nutrition*, 2001, 131:2 388~2 396.
- [3] 霍启光. 动物磷营养与磷源[M]. 北京:中国农业科学技术出版社, 2002. 114~115.
- [4] 方热军. 植物性饲料磷真消化率及其真可消化磷预测模型的研究[D]. 雅安:四川农业大学, 2003.
- [5] Shen Y R, Fan M Z, Ajakaie A, *et al.* True phosphorus digestibility and the endogenous phosphorus outputs associated with corn for growing pigs are determined with the regression analysis technique[J]. *Journal of Nutrition*, 2002, 132: 1 199~1 206.
- [6] 张艳玲. 利用线性回归测定小母猪和阉公猪内源钙、磷排泄量和豆粕钙、磷真消化率的研究 [D]. 呼和浩特:内蒙古农业大学, 2004. 18~38.
- [7] 农业部畜牧兽医局, 中国饲料工业协会, 全国饲料工业标准技术委员会, 等. 饲料工业标准汇编[M]. 北京:中国标准出版社, 2002. 70~73, 79~82, 84~88, 89~91.
- [8] 刘光菘. 土壤理化分析与剖面描述[M]. 北京:中国标准出版社, 1996. 79~80.
- [9] 张丽英. 饲料分析及饲料质量检测技术[M]. 北京:中国农业大学出版社, 2003. 63~70.
- [10] Shen Y R, Yin Y L, Chavez E R, *et al.* Methodological aspects of measuring phytase activity and phytate phosphorus content in selected cereal grains and digesta and feces of pigs[J]. *Journal of Agricultural Food and Chemistry*, 2005, 53 (4): 853~859.
- [11] Fan M Z, Sauer W C. Determination of apparent ileal amino acid digestibility in barley and canola meal for pigs with the direct, difference, and regression methods [J]. *Journal of Animal Science*, 1995, 73: 2 364~2 374.
- [12] Fan M Z, Sauer W C, McBurney M I. Estimation by regression analysis of endogenous amino acid levels in digesta collected from the distal ileum of pigs[J]. *Journal of Animal Science*, 1995, 73: 2 319~2 328.
- [13] Ajakaiye A, Fan M Z, Archbold T, *et al.* Determination of true digestive utilization of phosphorus and the endogenous phosphorus outputs associated with soybean meal for growing pigs [J]. *Journal of Animal Science*, 2003, 81:2 766~2 775.
- [14] 林映才, 蒋宗勇. 猪的磷需要量和有效磷研究进展 [J]. *饲料博览*, 1994, (1): 14~16.
- [15] Fan M Z, Sauer W C. Variability of apparent ileal amino acid digestibility in peas for pigs with the direct, difference, and regression methods [J]. *Canadian Journal of Animal Science*, 1999, 79: 467~475.
- [16] 贾刚, 王康宁. 生长猪植物性饲料中可消化磷的评定[J]. *动物营养学报*, 2000, 12(3): 24~29.