

回归法测定生长猪内源磷排泄量及磷真消化率研究

王顺祥^{1,2}, 印遇龙¹, 李铁军¹, 黄瑞林¹, 范明哲¹

(1 中国科学院 亚热带农业生态研究所, 湖南 长沙 410125; 2 中国科学院 研究生院, 北京 100039)

[摘要] 为了确定多重线性回归法是否能应用于测定生长猪内源磷排泄量及菜粕和豆粕磷的真消化率, 试验选用5头平均质量为(21.6 ± 1.43) kg的健康大白 × 长白阉公猪为试验动物, 采用5 × 5拉丁方设计, 设5个磷水平(1.8, 2.7, 3.6, 4.5和4.7 g/kg); 日粮以豆粕、葡萄糖、玉米淀粉等为基础, 以菜粕为待测植物性饲料, 配制半纯合试验日粮, 菜粕和豆粕为磷唯一来源。通过测定日粮和粪中的干物质(DM)、磷和氧化钛含量, 计算出日粮、豆粕和菜粕磷的表观消化率。再应用多元线性回归分析, 推导出生长猪内源磷的排泄量及豆粕和菜粕磷的真消化率。结果表明, 以每kg干物质采食量(DMI)计, 生长猪粪磷的排出量与日粮磷的摄入量呈线性关系($P < 0.0001$); 采食豆粕加菜粕日粮的生长猪内源磷的排泄量为(1.24 ± 0.29) g/kg DMI, 菜粕磷的真消化率为(46.46 ± 11.33)%, 豆粕磷的真消化率为(61.87 ± 7.79)%; 相对于表观消化率(-0.45% ~ 35.15%), 日粮磷真消化率(56.60% ~ 59.03%)更稳定。说明多元线性回归法可以应用于同时测定猪内源磷排泄量和饲料磷的真消化率; 在配制日粮时, 磷表观消化率可加性差, 而真消化率具有很好的可加性。

[关键词] 线性回归法; 生长猪; 内源排泄量; 真消化率

[中图分类号] S816.32

[文献标识码] A

[文章编号] 1671-9387(2007)07-0033-06

Endogenous outputs and true digestibility of phosphorus associated with rapeseed meal and soybean in growing pigs by multiple linear regression analysis technique

WANG Shun-xiang¹, YIN Yu-long¹, LI Tie-jun¹, HUANG Rui-lin¹, FAN Ming-zhe¹

(1 Institute of Subtropical Agriculture, ISA, the Chinese Academy of Sciences, Changsha, Hunan 410025, China;

2 Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100094, China)

Abstract: The aim of this study was to examine whether multiple regression analysis technique could be used to measure fecal endogenous outputs and true digestibility of phosphorus (P) in rapeseed meal and soybean meal for growing pigs. 5 Yorkshire × Landrace barrows, with average initial body weight of (21.6 ± 1.43) kg, were allocated to the five experimental diets according to a 5 × 5 Latin square design. The 5 experimental diets were formulated to contain 5 P level (1.8, 2.7, 3.6, 4.5 and 4.7 g/kg), with the rapeseed meal and soybean meal as the mere P source. The apparent digestibilities of P in diets, soybean meal and rapeseed meal were measured. Then endogenous P output and true digestibilities of P in diets, soybean meal and rapeseed meal were determined by using multiple regression analysis technique, simultaneously. The P endogenous outputs were (1.24 ± 0.29) g/kg DMI, true P digestibility of rapeseed meal was

* [收稿日期] 2006-10-30

[基金项目] 国家“973”项目(2004CB117502); 国家自然科学基金项目(30371038); 中国科学院知识创新重要方向项目(KSCXZ-SW-323)

[作者简介] 王顺祥(1979-), 男, 江苏东台人, 在读博士, 主要从事猪营养研究。Email: jimwsx@yahoo.com.cn

[通讯作者] 印遇龙(1956-), 男, 湖南桃源人, 研究员, 博士, 主要从事单胃动物营养研究。Email: yyulong@hotmail.com

(46.46 ±11.33) %, and true P digestibility of soybean was (61.87 ±7.79) %. P outputs in feces increased linearly with the P inputs in diets ($P < 0.0001$). Multiple regression analysis technique was approved a novel method that could determine endogenous output and true digestibility of P for swine, simultaneously. True P digestibility rather than apparent digestibility, showed a perfect additivity associated with rapeseed meal and soybean meal when used in diet formulation.

Key words: regression analysis technique; growing pigs; endogenous output; true digestibility

磷是动物必需的矿物元素之一,是骨骼系统的重要组成部分,且参与能量及各种代谢途径,在动物机体内发挥着重要的生理作用。作为一种非再生资源,磷资源的有效利用和保护已成为全球关注的热点^[1]。同时,磷是继蛋白质和能量之后的第3种最昂贵的饲料原料,也是目前畜禽养殖业排泄物对环境造成严重污染的主要来源之一^[2-4]。因此,在养殖业中合理利用无机磷源,不仅关系到养殖业效益,同时具有重大的环境和社会效益。

表观消化率和相对生物学价值是常用的表示饲料磷有效性的方法,但是由于受其自身条件的限制,两种方法都不能反映动物对磷吸收利用的真实情况^[4-5],从而导致养猪生产中无机磷的盲目添加。Fan等^[4]首次提出了应用简单梯度回归法(REG)进行内源磷和饲料磷真消化率的测定。随后,Shen等^[6]、Ajakaie等^[7]、方热军^[5]、张艳玲^[8]先后针对饲料原料、动物性别和生产阶段对该方法进行了验证,

结果均表明,该方法具有很好的可行性。但对于菜粕、高粱这类含有抗营养因子的非常规原料,由于受添加量的限制,使REG法的应用受到限制。本试验在前人研究基础上,选用非常规饲料原料——菜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菜粕和豆粕磷的真消化率,并确定表观消化率和真消化率配制日粮的可加性,以为生长猪日粮中磷的合理添加提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验采用5×5拉丁方设计。试验持续30d,分为5期,每期6d,其中4d为适应期,2d为收粪期。日粮以玉米淀粉、葡萄糖和豆粕为基础,以菜粕为待测原料配制半纯合试验日粮(表1),菜粕和豆粕为磷唯一来源,试验设1.8、2.7、3.6、4.5和4.7g/kg 5个磷水平,选用氧化钛(TiO₂)作为外源指示剂。

表1 生长猪内源磷排泄量及磷真消化率试验日粮配方及其主要营养指标(风干基础)

Table 1 Composition and nutrient indexes of experimental diets in study determining endogenous phosphorus output and true phosphorus digestibility with growing pigs (as air dry basis)

成分 Ingredients	日粮水平 Dietary level				
	1	2	3	4	5
葡萄糖/(g·kg ⁻¹) Dextrose	150.0	150.0	150.0	150.0	150.0
玉米淀粉/(g·kg ⁻¹) Cornstarch	535.2	379.8	222.4	67.0	0.0
豆粕/(g·kg ⁻¹) Soybean meal	240.4	361.1	481.8	602.5	753.0
菜粕/(g·kg ⁻¹) Rapeseed meal	31.4	47.1	62.8	78.50	0.0
豆油/(g·kg ⁻¹) Soybean oil	29.0	48.0	69.0	88.0	83.0
食盐/(g·kg ⁻¹) Salt	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
预混料/(g·kg ⁻¹) Premix	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
氧化钛/(g·kg ⁻¹) TiO ₂	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
粗蛋白/(g·kg ⁻¹) CP	118.7	177.9	237.1	296.2	332.2
消化能/(MJ·kg ⁻¹) DE	3.8	3.8	3.80	3.80	3.8
钙/(g·kg ⁻¹) Ca	1.0	1.5	2.0	2.5	2.5
总磷/(g·kg ⁻¹) TP	1.8	2.7	3.6	4.5	4.7
钙磷比 Ca/P	0.55	0.55	0.55	0.55	0.53

注: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,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,安她王 500 mg,黄霉素 20 mg。

Note: Supplied per kilogram of diet: vitamin A 27 000 IU, vitamin D₃ 5 400 IU, vitamin E 20 mg, vitamin K₃ 2.5 mg, vitamin B₁ 1.5 mg, vitamin B₂ 7.5 mg, vitamin B₆ 1.5 mg, vitamin B₁₂ 15 μg, biotin 0.25 mg, folic acid 0.75 mg, niacin 20 mg, pantothenic acid 12.5 mg, choline 600 mg, 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, antawang 500 mg, Flavomycin 20 mg.

1.2 试验动物及其饲养管理

试验选用5头大白×长白二元杂交阉公猪,平均初重为(21.6±1.43) kg。每头猪单独饲于不锈钢代谢笼中,室温保持在22℃。适应期7 d,适应期间饲喂从市场购买的全价饲料。试验期自由采食与饮水,试验前3天统一驱虫。试验期每天8:00和16:00各喂1次,每次按每头试验猪质量的4%供料。每期试验结束时称1次质量,根据不同时期质量变化对采食量作相应调整。

1.3 样品收集与处理

每个试验期从第5天的上午8:00至下个试验期第1天上午8:00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,取500 g置于65℃烘箱干燥回潮后,粉碎待测。同时取菜粕和豆粕原料样及5个日粮样品,置于0℃冰箱保存待测。

1.4 测定指标与方法

干物质(DM)、总磷(TP)和植酸磷(PP)含量按杨胜^[9]的方法测定。Ca的测定参照刘光崧^[10]的方法,在GBC932原子吸收仪上测定。TiO₂参照戴裘仲^[11]的方法在紫外-可见分光光度计(UV8500紫外-可见分光光度计)上测定。

1.5 生长猪内源磷排泄量及菜粕和豆粕磷真消化率的计算

1.5.1 日粮DM和磷表观消化率的计算 按指示剂法计算,公式如下:

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

式中: D_{Ai} 为被测日粮DM或磷表观消化率(%), I_D 为第*i*种日粮中TiO₂的含量(g/kg), P_i 为粪中DM或磷的含量(g/kg), I_i 为粪中TiO₂的含量(g/kg), P_D 为第*i*种日粮中DM或磷的含量(g/kg)。

以“g/kg DMI(干物质采食量)”为单位,粪中TP排泄量用公式(2)换算:

$$P_0 = P_i \times (I_D / I_i) \quad (2)$$

式中: P_0 为粪中TP的排泄量(g/kg DMI), P_i 为粪中TP含量(g/kg DM), I_D 为日粮中TiO₂的含量(g/kg DMI), I_i 为粪中TiO₂的含量(g/kg DM)。

1.5.2 豆粕磷(基础原料)和菜粕磷(待测原料)表观消化率的计算 (1)直接法。在以待测原料为惟一磷来源的情况下,原料磷表观消化率可根据式(3)计算:

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

式中: D_A 为待测原料磷的表观消化率(%), A_D 为日粮中磷含量(g/kg DM), D_D 为日粮磷表观消化率(%), A_A 为待测原料中磷含量(g/kg DM), S_i 为待测原料在日粮中的使用水平(%)。

(2)间接法。这种方法的试验日粮中包括基础原料和待测原料,假设其之间不存在交互作用,则其存在式(4)中的关系:

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

式中: 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的比例(%), D_A 为待测原料磷的表观消化率(%), S_A 为待测原料来源的磷在试验日粮磷中的比例(%)。

基础原料磷表观消化率由式(3)计算,待测原料磷表观消化率由式(4)变化而来的式(5)计算:

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

1.5.3 多重线性回归法测定内源磷排泄量和饲料磷真消化率 将日粮表观可消化磷表示成“g/kg DMI”,可由式(6)计算:

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

式中: N_{Ai} 为第*i*种日粮粪表观可消化磷(g/kg DMI), N_{Di} 为第*i*种日粮磷含量(g/kg DMI), D_{Ai} 为第*i*种日粮磷表观消化率(%)。

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,则其关系可表示为式(7):

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

式中: 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)。

式(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。

1.5.4 试验日粮磷真消化率和内源磷排泄量的计算 试验日粮磷的真消化率可通过式(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(P_E)可根据式(9)计算:

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

1.6 数据统计分析

数据采用 Excel 软件进行回归分析,采用 SAS 软件进行单因子方差分析(ANOVA 过程),并用 Duncan 法进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 生长猪对日粮 DM 和磷的表观消化率

日粮 DM 和磷表观消化率由公式(1)计算,结果

表 2 生长猪对日粮干物质和磷的表观消化率

Table 2 Apparent diet DM and P digestibility in experimental diets as determined with the growing pigs

项目 Items	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
日粮磷水平/(g·kg ⁻¹ DMI) Dietary P level	2.10	3.10	4.26	5.33	5.51	
DM 表观消化率/% Apparent DM digestibility	86.27	83.26	81.58	80.35	80.77	1.35
日粮磷表观消化率/% Apparent P digestibility	-0.45	10.77	27.79	34.65	35.15	6.63

注:SEM 为集合标准误,样本数 $n=5$ 。下表同。

Note: Pooled SEM, $n=5$. The following tables are the same.

2.2 生长猪对菜粕和豆粕中磷的表观消化率

豆粕中磷的表观消化率由公式(3)计算,结果为(36.09 ±10.68)%。菜粕中磷表观消化率根据公式

表 3 生长猪对菜粕磷的表观消化率

Table 3 Apparent P digestibility values of rapeseed meal as determined with the growing pigs

项目 Items	日粮 1 Diet 1	日粮 2 Diet 2	日粮 3 Diet 3	日粮 4 Diet 4	SEM
日粮中菜粕来源的磷水平/(g·kg ⁻¹ DMI) P level from rapeseed meal in diet	0.32	0.48	0.64	0.80	
日粮中菜粕来源的磷表观消化率/% Apparent P digestibility from rapeseed meal in diet	-292.22	-42.26	20.22	35.08	27.85

2.3 生长猪磷的内源排泄量及对菜粕和豆粕磷的真消化率

以“g/kg DMI”计,生长猪饲喂不同日粮后粪磷含量根据公式(2)计算,日粮磷摄入量与粪磷排泄量之间的关系见图 1。由图 1 可知,粪磷含量与日粮磷摄入量间存在极显著线性正相关关系($R^2 = 0.9978$, $P=0.0001$)。根据公式(6)和(7)可知,对表观可消化磷和菜粕、豆粕来源磷的含量进行多重线性回归,得其回归模型为 $y = -1.2415 + 0.4646x_1 + 0.6187x_2$ ($R^2 = 0.7623$, $P < 0.0001$),由回归模型可得出生长猪内源磷排泄量为(1.24 ± 0.29)g/kg DMI ($P = 0.001$),对菜粕磷的真消化率为(46.46 ± 11.33)% ($P = 0.0625$),对豆粕磷的真消化率为(61.87 ± 7.79)% ($P < 0.0001$)。

2.4 生长猪对日粮磷的真消化率

生长猪对试验日粮中磷的真消化率可根据公式(8)计算,结果见表 4。由表 4 可知,随着试验日粮

见表 2。由日粮 DM 表观消化率可以看出,蛋白质、Ca、P 水平对生长猪正常的消化功能没有影响。从日粮 1 至日粮 5,随着日粮中淀粉含量的降低,日粮 DM 表观消化率呈线性下降($y = 0.104x + 79.941$, $R^2 = 0.91$)。日粮磷的表观消化率随日粮磷水平提高呈抛物线增加($y = -1.3715x^2 + 21.295x - 39.932$, $R^2 = 0.99$)。

(4) 计算,结果(表 3)表明,各日粮中菜粕磷表观消化率差异极显著($P < 0.0001$)。

中磷含量从 2.10 g/kg DMI 增加到 5.51 g/kg DMI,生长猪对试验日粮中磷的真消化率相对稳定($P = 0.65$)。

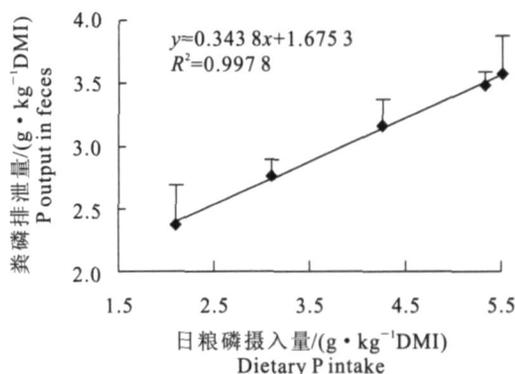


图 1 生长猪总粪磷排泄量与日粮磷摄入量间的关系
Fig. 1 Relationship between total fecal P output and dietary P input in the growing pigs

表 4 生长猪对日粮中磷的真消化率

Table 4 True P digestibility in diets as determined with the growing pigs

项目 Items	日粮 1 Diet1	日粮 2 Diet2	日粮 3 Diet3	日粮 4 Diet4	日粮 5 Diet5	SEM
日粮磷水平/(g·kg ⁻¹ DMI) Dietary P level	2.10	3.10	4.26	5.33	5.51	
日粮磷真消化率/% True P digestibility	57.98	58.39	56.60	57.31	59.03	0.28

2.5 生长猪磷摄入量与粪磷排泄量分析

根据公式(9)可计算出每种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得出日粮来源粪磷排泄量。粪磷含量剖分结果见表

表 5 生长猪不同日粮磷摄入量与粪磷排泄量的分析

Table 5 Phosphorus (P) input and the partitioning of P flow in feces of the growing pigs g/ kg DMI

项目 Items	日粮 1 Diet 1	日粮 2 Diet 1	日粮 3 Diet 1	日粮 4 Diet 1	日粮 5 Diet 1	SEM
磷摄入量 Total P input	2.10	3.10	4.26	5.33	5.51	
粪总磷排出量 Total fecal P output	2.38	2.76	3.16	3.48	3.57	0.30
粪磷内源排出量 Endogenous fecal P output	1.23	1.48	1.22	1.21	1.32	0.26
粪磷来源于日粮部分 Fecal P output of dietary origin	1.15	1.29	1.94	2.27	2.26	0.09

5。由表 5 可知,从日粮 1 到日粮 5,内源磷排泄量基本保持不变($P = 0.9411$),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($P < 0.0001$)。

3 讨论

3.1 内源磷测定方法及生长猪内源磷排泄量

测定饲料磷真消化率的关键,是内源磷排泄量的确定。到目前为止,内源磷测定可选择的方法有无磷日粮法、同位素³²P 示踪技术、差量法和线性回归法。但前两种方法存在明显的缺陷^[4],如无磷日粮法会导致猪处于非正常营养和生理状态,出现腹泻和颤抖现象;同位素标记物在胃肠道中强烈、快速地循环,这就不可避免地过分高估内源磷的排泄量,还有安全及费用的限制,也制约了同位素³²P 示踪技术法的普遍应用。因而差量法和线性回归法成为猪内源磷排泄量和真消化率的最新测定方法^[4-8]。本试验通过回归分析,拟合出磷表观消化率与日粮菜粕磷和豆粕磷含量的回归方程。由回归模型得出生长猪内源磷排泄量为(1.24 ± 0.29) g/ kg DMI ($P = 0.001$),对菜粕磷的真消化率为(46.46 ± 11.33) % ($P = 0.0625$),对豆粕磷的真消化率为(61.87 ± 7.79) % ($P < 0.0001$)。同时在整个试验磷水平范围内,内源磷排泄量基本保持不变,而日粮来源的粪磷排泄量随日粮磷水平增加呈线性增加,这说明在本试验中,线性回归法的假设是成立的。

由表 6 可以看出,本试验测得的生长猪内源磷排泄量(1.24 ± 0.29) g/ kg DMI 要高于其他报道,但与张艳玲^[8]报道的生长猪较接近(1.08 g/ kg

DMI)。相比其他研究,本试验采用的菜粕-豆粕型日粮可能是造成内源磷排泄量多的原因。另外,张艳玲^[8]发现,阉公猪内源磷的排泄量显著高于小母猪($P < 0.01$)。从表 6 还可以看出,生长猪的内源磷排泄量要高于断奶仔猪。因此,有必要对不同试验日粮、不同生产阶段、不同性别、不同品种的猪的内源磷排泄量进行系统研究。

3.2 生长猪饲料磷的消化率及其可加性

本试验结果表明,生长猪对豆粕磷的表观消化率差异很大,而真消化率变异较小,这与前人的报道相一致。由表 6 可以看出,去势生长公猪对豆粕磷的真消化率为 48.78 % ~ 61.87 %,变异较小,而本试验测定的值较其他报道稍高,这可能是由于试验使用日粮类型不同所致。由表 6 还可以看出,去势生长公猪对豆粕磷的真消化率比其他生产类型的猪要高,这可能是由于去势生长公猪的生理机能高于其他生产类型。本研究测定的菜粕表观消化率为 - 292.22 % ~ 35.08 %,真消化率为(46.46 ± 11.33) %,而方热军^[5]测定的值分别为(28.42 ± 1.38) %和(44.96 ± 1.38) %,可见真消化率差异较小,而表观消化率差异很大。通过对粪磷的分析可知,内源磷对消化率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。

表 6 不同生产类型猪的内源排泄量及对豆粕中磷的表现和真消化率

Table 6 Endogenous output and apparent and true digestibility of phosphorus in soybean meal determined with different production type of swine

文献来源 Reference	生产类型 Species and phases of pigs	内源磷排泄量/ (g · kg ⁻¹ DMI) Endogenous P outputs	表观消化率/ % Apparent digestibility	真消化率/ % True digestibility
本试验 Present study	生长猪(去势公猪) Barrow	1.24 ±0.29	36.09 ±10.68	61.87 ±7.79
[4]	断奶仔猪 Weaning pig	0.31 ±0.06	- 24.80 ~ 42.50	48.50 ~ 50.70
[7]	生长猪(去势公猪) Barrow	0.45 ±0.21	- 26.72 ~ 52.66	51.30 ~ 59.00
[8]	小母猪 Gilt	0.89	- 15.38 ~ 27.44	41.44
[8]	生长猪(去势公猪) Barrow	1.08	- 21.60 ~ 32.40	48.78
[5]	生长猪(去势公猪) Barrow	0.67 ±0.05	20.86 ~ 38.11	51.30 ±2.61
[12]	经产空怀母猪 Dry sow	0.78 ±0.17	-	44.00 ±4.50

本研究表明,由菜粕和豆粕真消化率推算出的日粮真消化率较稳定,不随日粮中磷含量变化而改变($P=0.65$)。而按照可加性原理反推算出的菜粕表观消化率受日粮磷水平影响极大,为 $-292.22\% \sim 35.08\%$ ($P<0.0001$)。可见,饲料磷的真消化率具有很好的可加性,而表观消化率缺乏可加性。方热军^[5]在应用多种能量原料和蛋白原料配合生长猪日粮的研究中,也得出了同样的结论。

4 结 论

通过多重线性回归法测定得出,生长猪对菜粕-豆粕型日粮的内源磷排泄量为 $(1.24 \pm 0.29) \text{ g/kg DMI}$,对菜粕和豆粕磷的真消化率分别为 $(46.46 \pm 11.33)\%$ 和 $(61.87 \pm 7.79)\%$ 。磷的表现消化率在配制猪日粮时不具有可加性,而真消化率具有很好的可加性。

[参考文献]

- [1] Abelson P H. A potential phosphate crisis[J]. Science, 1999, 283:2015.
- [2] National Research Council. Nutrient requirements for swine [M]. 10th ed. Washington DC:National Academy Press, 1998.
- [3] Malin M. Impact of industrial animal production on rivers and estuaries[J]. Am Sci, 2000, 88:26-37.
- [4] Fan M Z, Archbold T, Willem C. Novel methodology allows simultaneous measurement of true phosphorus digestibility and the gastrointestinal endogenous phosphorus outputs in studies with pigs[J]. J Nutr, 2001, 131:2388-2396.
- [5] 方热军. 植物性饲料磷消化率及其可消化磷预测模型的研究[D]. 雅安:四川农业大学, 2003.
- [6] Shen Y R, Fan M Z, Ajakaie A. True phosphorus digestibility and the endogenous phosphorus outputs associated with corn for growing pigs are determined with the regression analysis technique[J]. J Nutr, 2002, 132:1199-1206.
- [7] Ajakaie A, Fan M Z, Archbold T. Determination of true digestive utilization of phosphorus and the endogenous phosphorus outputs associated with soybean meal for growing pigs[J]. J Anim Sci, 2003, 81:2766-2775.
- [8] 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.
- [9] 杨 胜. 饲料分析与饲料质量检测技术[M]. 北京:北京农业大学出版社, 1993.
- [10] 刘光崧. 土壤理化分析和剖面描述[M]. 北京:中国标准出版社, 1996:79-80.
- [11] 戴袁仲. 日粮淀粉来源对生长猪氨基酸消化率、门静脉净吸收量和组成模式的影响[D]. 雅安:四川农业大学, 2005.
- [12] 旷 昶. 用线性回归法测定空怀猪和五指山小母猪钙、磷内源排泄量和豆粕钙磷的真消化率[D]. 武汉:华中农业大学, 2005.