

# 不同方法测定生长猪内源磷排泄量及磷真消化率的比较研究

方热军<sup>1,2</sup>, 王康宁<sup>2</sup>, 范明哲<sup>1</sup>, 印遇龙<sup>1</sup>, 贺建华<sup>3</sup>

(1. 中国科学院亚热带农业生态研究所, 长沙 410125; 2. 四川农业大学动物营养研究所, 雅安 625014;  
3. 湖南农业大学动物科技学院, 长沙 410128)

**摘要:** 采用梯度回归法( REG 法) 和差量法, 用豆粕和次粉作为日粮磷唯一来源, 分别设计了 2 组总磷( TP) 水平为 0. 15%、0. 20%、0. 30%、0. 35% 梯度饲料, 按 4×4 拉丁方设计, 测定了 20 kg 生长猪内源磷排泄量和豆粕、次粉磷的真消化率。结果表明, 在 0. 15%~0. 35% TP 水平范围, 粪磷的排泄量与磷摄入量之间存在明显的线性关系, 动物具有稳定的内源磷排泄量。不同饲料条件下 REG 法测定的内源磷排泄量与差量法测定结果无显著差异(  $P>0. 05$ ), 2 种方法测定内源磷排泄量都是可行的; 生长猪内源磷排泄量为 0. 65~0. 68 g/kg DMI; 次粉磷的真消化率显著高于豆粕(  $P<0. 01$ ), 分别为 63. 7% 和 52. 1%。

**关键词:** 梯度回归法; 差量法; 内源磷; 生长猪

中图分类号: S828. 5

文献标识码: A

文章编号: 0366-6964(2005)02-0137-07

饲料有效磷评定的传统方法是采用斜率比法测定相对生物学效价( RBV) 和通过消化试验测定表观消化率, 二者均无法反映饲料磷被动物消化吸收的真实情况。能否准确测定内源磷排泄量是能否用真消化率来评定饲料有效磷的关键。不同饲料条件下的内源磷排泄量是否存在差异尚未见报道。Fan 等<sup>[1]</sup>首次采用梯度回归法( REG) 测定了 6~20 kg 仔猪内源磷排泄量。Ammerman 等<sup>[2]</sup>采用差量法测定了磷酸盐的真消化率。能否用差量法测定的真消化率结果来反推内源磷排泄量, 并与 REG 法比较, 以证明 2 种方法的可行性有待研究。因此, 本试验的目的在于, 分别采用豆粕和次粉梯度饲料, 比较 REG 法和差量法测定内源磷排泄量的差异, 确定适宜磷水平下生长猪内源磷的排泄量, 为用真消化率指标评定饲料有效磷含量奠定基础。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验设计与日粮配方

选用豆粕、次粉( TP 含量分别为 6. 7g/kg 和 4. 9 g/kg; 玉米淀粉中含磷 0. 009%, 饮水中含磷 0. 003%, 试验中对这两部分磷予以忽略) 作为试验

日粮磷的唯一来源, 采用两个 4×4 拉丁方设计。参照文献[1]方法, 分别配制 TP 水平为 0. 15%、0. 20%、0. 30% 和 0. 35% 的两组梯度饲料( 见表 1)。考虑到整个试验期动物均处于低磷条件, 试验日粮除磷和 CP 外, 其它养分均满足 1998 年 NRC 标准。

### 1.2 试验动物及饲养管理

从同一猪场的 2 窝中选择 8 头杜长大杂交去势公猪, 分别饲养在 8 个不锈钢代谢笼中, 室温控制在 20℃左右。适应期 5 d, 适应期间饲喂从市场购买的全价饲料, 自由采食与饮水, 试验前 3 d 统一驱虫。

试验当天早晨空腹称重, 平均体重为 20. 5±2. 0 kg。随机分为 A、B 两组, 每组各 4 头, 分别饲喂豆粕饲料( A 组) 和次粉饲料( B 组)。每轮试验由试验前期( 4 d) 和收粪期( 4 d) 共 8 d 组成。

试验期间每天上午 8: 00 及 20: 00 各喂 1 次, 每次按体重的 4% 给料, 每 2 轮结束时称重, 根据不同时期体重变化对采食量作相应调整, 自由饮水。

### 1.3 样品收集和处理

从第 5 天上午 8: 00 至第 9 天上午 8: 00 收集粪样, 随排随收, 每次收取的粪样及时装入准备好的塑料袋( 内装 10 mL 蚁酸, 以防止微生物的作用) 中, 迅速置于- 20℃冰箱保存。每轮试验结束后, 同一头猪所有粪样混合拌匀后, 按 50% 取样, 样品置 65

收稿日期: 2003-09-22

基金项目: 中国科学院“百人计划”项目

作者简介: 方热军( 1963-), 男, 湖南益阳人, 研究员, 博士, 主要从事饲料养分生物学效价评定的研究

℃烘箱干燥、回潮后测定鲜样风干物质百分含量。制成分析样待测。豆粕和次粉原料样品于日粮配制风干粪样和试验饲料、饲料同时磨碎、过 1 mm 筛，前取样，置 0℃冰箱保存待测。

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 their nutrient indexes for growing pigs (as-fed basis) %

总磷水平 Level of TP	豆 粕 Soybean meal				次 粉 Wheat middling			
	0.15	0.20	0.30	0.35	0.15	0.20	0.30	0.35
玉米淀粉 Cornstarch	73.50	65.46	48.89	40.51	66.09	55.57	34.51	23.94
豆粕 Soybean meal	24.59	32.79	49.18	57.38				
次粉 Wheat middling					31.25	41.67	62.50	72.92
石粉 CaCO <sub>3</sub>	0.41	0.55	0.83	1.01	0.57	0.74	1.11	1.34
赖氨酸 Lysine	0.26	0.03	0	0	0.79	0.73	0.63	0.57
蛋氨酸 Methionine	0.14	0.07	0	0	0.20	0.18	0.15	0.13
维生素预混料* Vitamine premix	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
食盐 Salt	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
微量元素预混料** Trace minerals premix	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
Chromic oxide Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
合计 Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
营养成分 Nutrient levels								
DM/ %	86.59	86.53	86.68	86.69	88.29	85.79	86.77	86.85
DE/(MJ/kg)	15.79	15.62	15.18	14.95	15.24	14.88	14.15	13.78
CP/ %	11.04	14.62	21.78	25.37	4.45	5.83	8.60	9.99
Lys/ %	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95
Met/ %	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
Ca/ %	0.23	0.30	0.45	0.54	0.23	0.30	0.45	0.54
非植酸磷/ % Nonr-phytate P	0.05	0.07	0.09	0.11	0.05	0.06	0.09	0.10
Ca/ P	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
NDF/ %	3.27	4.36	6.54	7.63	11.12	14.83	22.25	25.96

\* 每 kg 饲料维生素含量: VA 27 000IU, VD<sub>3</sub> 5 400IU, VE 9.0IU, VK<sub>3</sub> 2.5 mg, VB<sub>1</sub> 1.0 mg, VB<sub>2</sub> 7.3 mg, VB<sub>12</sub> 15 μg, 叶酸 18 mg, 烟酸 25 mg, 泛酸钙 12.5 mg; \*\* 每 kg 微量元素预混料含: ZnSO<sub>4</sub> · H<sub>2</sub>O 16.81 g, FeSO<sub>4</sub> · 7H<sub>2</sub>O 30.48 g, MnSO<sub>4</sub> · H<sub>2</sub>O 624 mg, CuSO<sub>4</sub> · 5H<sub>2</sub>O 1.6 g, KI 18 mg, Na<sub>2</sub>SeO<sub>3</sub> 33 mg

1.4 测定指标与方法

饲料、饲料样品分析指标为 Ca、TP、PP 含量，粪样分析指标为 Ca 和 TP。TP、PP 按杨胜等<sup>[3]</sup>的方法。饲料和粪样中 Cr 和 Ca 的测定参照刘光崧<sup>[4]</sup>方法，用原子吸收法测定 (SpectrAA-10/20, Varian, Mulgrave, Australia)。

1.5 内源磷和真消化率的计算方法

REG 法计算内源磷排泄量和磷真消化率参照文献[1]方法进行。根据差量法，假设前后两次磷摄入过程中内源磷的排泄量相等，日粮磷真消化率可

按以下公式计算:

$$D_T(\%) = \frac{(TPI_2 - FPD_2) - (TPI_1 - FPD_1)}{TPI_2 - TPI_1} \times 100\%$$

内源磷排泄量(P<sub>E</sub>)的计算公式则为:

$$P_E(\text{g/kg DMI}) = D_T \times P_{Di} - D_{Ai} \times P_{Di}$$

其中, D<sub>T</sub> 为磷的真消化率, TPI<sub>i</sub> 为第 i 种日粮磷的摄入量, FPD<sub>i</sub> 为第 i 种日粮表观粪磷排泄量, P<sub>Di</sub> 为第 i 种饲料总磷的含量, D<sub>Ai</sub> 为第 i 种饲料总磷的表观消化率。

## 1.6 统计分析

用 Excel 进行回归分析。用 SAS 软件包对处理效应进行方差分析 (ANOVA 过程), 对不同方法、不同饲料测定的内源磷和真消化率结果进行配对 *t* 检验。

## 2 结果

### 2.1 REG 法测定的生长猪内源磷排泄量和豆粕、次粉中磷的真消化率

2.1.1 DM 和 P 表观消化率 豆粕或次粉日粮中, 由 DM 消化率(见表 2) 可以看出, 蛋白质、钙、磷水

平不影响正常的消化功能, 从日粮 1 至日粮 4 随着玉米淀粉添加量的减少, DM 消化率线性降低 ( $P < 0.01$ ), 表明玉米淀粉的消化率要比豆粕和次粉高。豆粕日粮 DM 消化率显著高于次粉日粮 ( $P < 0.01$ )。磷的表观消化率随着日粮磷水平的提高而提高, 从日粮 1 至日粮 4 豆粕和次粉磷表观消化率分别提高 17.25% 和 18.89%。统计分析结果表明, 动物个体和试验期对试验结果影响不显著 ( $P > 0.05$ )。豆粕日粮磷表观消化率极显著地低于次粉日粮 ( $P < 0.01$ )。

表 2 不同磷水平豆粕、次粉饲料干物质和磷表观消化率

Table 2 The apparent digestibility of dry matter and phosphorus of 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	标准误 SEM
豆粕 Soybean meal					
饲料磷水平 Dietary P level/ (g/kg DM)	1.96	2.43	3.58	4.15	-
干物质 DM/ %	96.31	95.16	94.53	94.31	0.41
磷 P/ %	20.86	22.06	29.33	38.11	2.61
次粉 Wheat middling meal					
饲料磷水平 Dietary P level/ (g/kg DM)	1.81	2.56	3.57	4.26	-
干物质 DM/ %	87.26	84.02	81.43	80.86	3.37
磷 P/ %	32.00	35.95	41.94	50.89	4.42

2.1.2 内源磷排泄量和磷的真消化率 参照文献 [1] 方法计算, 采食不同磷水平豆粕和次粉日粮后, 粪磷含量及来源划分见表 3。由表 3 可见, 随总磷摄入量的增加, 粪磷排泄量 (g/kg DMI) 明显提高 ( $P < 0.05$ )。饲料表观可消化磷与磷的摄入量 ( $x$ , g/kg DM) 之间存在明显的线性关系, 豆粕日粮:  $y = 0.5187x - 0.6779$ ,  $R^2 = 0.9601$ ,  $P < 0.05$ ; 次粉日粮:  $y = 0.6370x - 0.6519$ ,  $R^2 = 0.9748$ ,  $P < 0.05$ 。从表 3 亦可看出, 当用 g/kg DMI 表示时, 磷水平由低到高日粮之间内源磷排泄量差异不显著 ( $P > 0.05$ ); 随着日粮磷水平的提高, 内源磷排泄量有减小的趋势, 豆粕和次粉都呈现同样的规律性。

线性回归结果表明, 用豆粕和次粉日粮测定的粪中内源磷排泄量分别为 0.6779 g/kg DMI 和 0.6519 g/kg DMI, 二者差异不显著 ( $P > 0.05$ ), 豆粕磷真消化率为 51.87%、次粉为 63.7%。

### 2.2 差量法测定的豆粕、次粉磷真消化率和内源磷排泄量

2.2.1 各磷水平差下饲料磷的真消化率 表 4 为在前后两次磷摄入量之差 (校正为 g/kg DMI) 下计算所得的豆粕和次粉日粮磷真消化率。从表可见, 总磷水平在 0.15% ~ 0.35% 范围内, 次粉磷的真消化率极显著地高于豆粕 ( $P < 0.01$ ), 其平均值分别为: 豆粕 48.7% 和次粉 62.21%。相邻两个水平日粮间, 次粉磷真消化率的波动要比豆粕大。

2.2.2 差量法计算的内源磷排泄量 各磷水平下内源磷排泄量的结果见表 5。由表可见, 饲喂豆粕饲料时粪中内源磷的排泄量平均为 0.6715 g/kg DMI, 比饲喂次粉饲料时的 0.6588 g/kg DMI 略高, 但二者差异不显著 ( $t = 1.239$ ,  $P > 0.05$ ,  $n = 16$ ); 当总磷水平控制在设计范围, 内源磷排泄量基本处于稳定, 且在饲喂豆粕和次粉饲料条件下均表现出同样的规律。

表3 饲喂不同磷水平豆粕、次粉日粮后粪磷含量及来源划分

Table 3 Dietary P input and the partitioning of P flow in feces of the growing pigs fed soybean meal diets or wheat middling diets varying from low to high in P content

项目 Items	豆粕 soybean meal				mean $\pm$ SEM
	日粮 1Diet1	日粮 2Diet2	日粮 3Diet3	日粮 4Diet4	
总磷摄入量/(g/kg DMI) Total dietary P input	1.96	2.43	3.58	4.15	3.03 $\pm$ 1.01
表观粪可消化磷/(g/kg DMI) Apparent fecal digestible P input	0.39	0.54	1.05	1.59	0.89 $\pm$ 0.54
真粪可消化磷/(g/kg DMI) True fecal digestible P input	1.09	1.21	1.73	2.26	1.57 $\pm$ 0.54
粪中总磷排出量 Total fecal P output					
按 g/kg DM feces	40.95	42.28	42.60	46.40	43.06 $\pm$ 2.34
按 g/kg DMI	1.51	1.74	2.33	2.64	2.06 $\pm$ 0.52
粪内源磷排出量 Endogenous fecal P output					
按 g/kg DM feces	17.34	15.07	11.52	12.12	14.01 $\pm$ 2.71
按 g/kg DMI	0.64	0.73	0.63	0.69	0.67 $\pm$ 0.05
粪磷中来自日粮的部分 Fecal P output of dietary origin					
按 g/kg DM feces	23.58	27.21	31.08	34.28	29.04 $\pm$ 4.65
按 g/kg DMI	0.87	1.02	1.75	1.95	1.40 $\pm$ 0.53
项目 Items	次粉 wheat middling meal				mean $\pm$ SEM
	日粮 1Diet1	日粮 2Diet2	日粮 3Diet3	日粮 4Diet4	
总磷摄入量/(g/kg DMI) Total dietary P input	1.81	2.56	3.57	4.26	3.05 $\pm$ 1.08
表观粪可消化磷/(g/kg DMI) Apparent fecal digestible P input	0.59	0.99	1.69	2.20	1.37 $\pm$ 0.72
真粪可消化磷/(g/kg DMI) True fecal digestible P input	1.23	1.57	2.15	2.82	1.94 $\pm$ 0.70
粪中总磷排出量 Total fecal P output					
按 g/kg DM feces	10.12	9.95	10.61	11.55	10.56 $\pm$ 0.72
按 g/kg DMI	1.29	1.59	1.97	2.21	1.77 $\pm$ 0.41
粪内源磷排出量 Endogenous fecal P output					
按 g/kg DM feces	5.57	4.19	3.34	4.02	4.28 $\pm$ 0.94
按 g/kg DMI	0.71	0.67	0.62	0.67	0.67 $\pm$ 0.04
粪磷中来自日粮的部分 Fecal P output of dietary origin					
按 g/kg DM feces	4.55	5.76	7.27	7.53	6.28 $\pm$ 1.39
按 g/kg DMI	0.58	0.93	1.35	1.44	1.08 $\pm$ 0.40

表4 差量法测定的磷真消化率

Table 4 The true digestibility of TP for graded soybean meal or wheat middling diets calculated by difference method

磷水平差 Difference of P levels	% mean $\pm$ SEM			
	0.15- 0.20	0.20- 0.30	0.30- 0.35	
豆粕 Soybean meal diets	51.72 $\pm$ 1.98	48.44 $\pm$ 1.26	46.81 $\pm$ 7.79	48.7 $\pm$ 3.68
次粉 Wheat middling diets	60.77 $\pm$ 4.01	62.30 $\pm$ 6.90	65.11 $\pm$ 1.19	62.21 $\pm$ 3.71

表 5 差量法反推内源磷的排泄量

Table 5 Endogenous P losses in feces calculated by difference assay for growing pigs

	日粮 1 Diet1	日粮 2 Diet2	日粮 3 Diet3	日粮 4 Diet4	平均 ± 标准误 Mean ± SEM
豆粕 Soybean meal diets	0.682 0 ± 0.100 4	0.649 0 ± 0.148 2	0.678 4 ± 0.085 3	0.676 5 ± 0.021 7	0.671 5 ± 0.088 9
次粉 Wheat middling diets	0.650 6 ± 0.119 6	0.650 1 ± 0.271 9	0.652 4 ± 0.028 8	0.682 1 ± 0.149 9	0.658 8 ± 0.142 6

### 2.3 REG 法和差量法磷真消化率和内源磷排泄量比较

表 6 是两种方法测定的内源磷和真消化率结果比较, 由表 6 可知, 从绝对值看, 2 种不同饲料均表明, REG 法测定的磷真消化率比差量法略高, 但二者差异均不显著 ( $P > 0.05$ ), 内源磷排泄量两种方法所测结果差异亦不显著 ( $P > 0.05$ )。

表 6 REG 法和差量法测定的豆粕和次粉日粮磷真消化率和内源磷排泄量比较

Table 6 Comparison of true digestibility of phosphorus and endogenous losses fed graded diets determined by difference and REG assays for growing pigs

评定方法 Assays	饲料 Diet	真消化率 True digestibility / %	内源磷排泄量 Endogenous losses / (g/kg DMI)
REG 法 <sup>a</sup>	豆粕 Soybean meal diets	52.02 ± 2.61 <sup>m</sup>	0.672 5 ± 0.046 4 <sup>a</sup>
	次粉 Wheat middling diets	63.93 ± 4.41 <sup>n</sup>	0.651 9 ± 0.063 4 <sup>a</sup>
差量法	豆粕 Soybean meal diets	48.70 ± 3.33 <sup>m</sup>	0.671 5 ± 0.088 9 <sup>a</sup>
	次粉 Wheat middling diets	62.21 ± 5.08 <sup>n</sup>	0.658 8 ± 0.1426 <sup>a</sup>

同列肩注字母相同者表示差异不显著; \* 4 个磷水平日粮的平均值

In the same column, means with same letters no differ significantly ( $P > 0.05$ ); \* Means the mean value of four diets

## 3 讨论

### 3.1 两种内源磷测定方法的比较

本研究采用梯度回归法和差量法, 试验日粮除

磷水平在一定范围内变动外, 能量、蛋白质、维生素和矿物质均满足动物正常营养需要, 因此, 其结果应当更具有实际意义。差量法与 REG 法不同的是, 差量法测定磷的消化率时, 可以在更窄、更小的磷水平范围内变动, 而且可以测定出不同磷水平范围的内源磷排泄量。

本研究采用 2 种不同饲料, 通过差量法与 REG 法结果的比较, 证明 2 种方法测定内源磷排泄量的可靠性。REG 法与差量法成立的前提都是在一定的日粮磷水平范围内, 动物内源磷的排泄量基本稳定。本试验无论是用豆粕或次粉作为“模型”日粮, 总磷水平控制在 1.96~ 4.3 g/kg DM (相当于 0.41~ 1.58 g/kg DM 可消化磷) 范围, 粪磷的排泄量随日粮磷水平的提高而线性增加 ( $P < 0.05$ ); 当内源磷排泄量用 g/kg DMI 表示时, 内源磷排泄量基本保持恒定。说明在本试验中, 梯度回归法与差量法的假设基本上是成立的。本试验结果也与前人的结果相吻合<sup>[1,5]</sup>。

本试验结果表明, 在各磷水平梯度差下计算得到的豆粕和次粉日粮磷真消化率结果基本一致 ( $P > 0.05$ ); 在整个设计磷水平范围, 内源磷排泄量基本恒定不变。

通过对 REG 和差量法测定结果的比较表明, 2 种方法测定的同一饲料磷真消化率和内源磷的排泄量差异均不显著 ( $P > 0.05$ ), 且豆粕和次粉之间内源磷排泄量差异也不显著 ( $P > 0.05$ )。从 REG 法和差量法的原理和应用条件可以看出, 在适宜的磷水平范围内, 2 种方法并没有本质的区别。因此, 本试验差量法的结果也是对 REG 法结果可靠性的辅证。

### 3.2 内源磷排泄量和豆粕、次粉磷的真消化率

本试验 REG 法测定豆粕日粮的内源磷排泄量为 0.677 9 g/kg DMI。如按动物试验期平均体重 30kg, 采食量为体重的 4% (即 DM 采食量 1 200 g/d) 计, 则内源磷排泄量相当于 0.81g/d, 或者为

0.027 g/(kg LW·d)。根据 NRC<sup>[6]</sup> 推荐的矿物质生长模型估计的 20~50 kg 阶段猪磷每天的必需内源损失量为 20 mg/(kg LW·d), 本试验结果与此基本吻合。Fan 等采用豆粕“模型”日粮测得的内源磷排泄量结果为 0.31 g/kgDMI, 按试验期平均体重计算相当于 0.20 g/d, 或者为 0.015 g/(kg LW·d)。Shen 等采用玉米“模型”日粮测得的内源磷排泄量结果为 0.67 g/kgDMI, 相当于 1.17g/d, 或者为 0.033 g/(kg LW·d)。本试验结果与 Shen 的结果似乎更趋一致。

本试验与 Fan 等<sup>[11]</sup>、Shen 等<sup>[5]</sup> 结果比较发现, 当猪体重由 13 kg 增至 35 kg, 粪内源磷排泄量由 0.015 g/(kg LW·d) 增至 0.027~0.033 g/(kg LW·d)。按照 NRC 推荐的矿物质生长模型估计的 5~100 kg 阶段猪每天磷的必需损失量为 0.020 g/(kg LW·d)<sup>[6]</sup>。因此, 三者试验结果能否说明, 随着体重的增加, 内源磷排泄量是否存在增加的趋势尚待进一步深入验证。

NRC 推荐的体重为 35 kg 左右(20~50 kg) 猪每天总磷或有效磷的需要量分别为 9.28 g 和 4.27 g。本试验结果按内源磷排泄量占总磷需要量的比例计, 体重 30 kg 的猪每天粪中内源磷排泄量可达总磷需要量的 10.87%, 或者为有效磷需要量的 18.97%。因此, 在确定猪磷的需要量时, 内源磷的损失是一个不可忽略的部分。从另一个角度也说明了按饲料磷的真消化率来配制日粮的必要性。

本研究测定的豆粕和次粉磷的表观消化率平均值分别为 27.6% (20.9%~38.1%) 和 40.2% (32.0%~50.9%); 豆粕和次粉磷真粪消化率分别为 52.9% 和 63.7%。Fan 等测得豆粕磷真消化率分别为 48.5%。不同学者对豆粕磷表观消化率的测定结果一般在 24%~38%<sup>[8-10]</sup>, 次粉磷的表观消化率为 28%~41%<sup>[8,11,12]</sup>, 本试验与前人测得结果基本一致。

### 3.3 内源磷排泄量影响因子的控制

本试验设计的其它养分水平不影响内源磷排泄量的测定结果。适宜的磷水平梯度是保证 REG 法所测结果可靠的前提, 为了保证内源磷排泄量处于稳定状态, 饲料中磷的水平不宜太低, 但不能超过需要量<sup>[9,12]</sup>。经验算, 本试验中豆粕饲料最高的可消化磷水平为 1.57 g/kgDM, 次粉饲料可消化磷的最高水平为 2.13 g/kgDM, 低于 NRC 确定的 20~50 kg 阶段总磷 0.5% (或有效磷 2.3 g/kgDM) 的水

平。因此, 从磷水平设计上说本试验是合理的。

采用 REG 法外推内源排泄量时, 虽然从理论上说, 养分梯度水平设计的下限越低越接近养分摄入量为零的假设, 但其结果是造成内源排泄量的低估, 因此, 本试验设计的梯度范围为 1.96~4.15 g/kgDM 基本与 Fan 等设计的梯度范围一致(1.06~4.28 g/kgDM), 其梯度下限与正常磷水平相对更接近。进行回归分析时, 可避免低磷日粮导致的内源磷排泄量减少所造成的影响, 使结果更接近正常磷水平时内源磷的排泄量。

## 4 小结

4.1 在接近磷需要量水平范围, 粪磷的排泄量(当用 g/kg DMI) 与磷的摄入量之间存在显著的线性关系, 内源磷的排泄量基本稳定, 因此, 梯度回归法可以有效地用来测定猪的内源磷排泄量和磷的真消化率。

4.2 差量法和梯度回归法测定的同一日粮磷真消化率结果无显著差异, 所测定的内源磷排泄量几乎完全一致。

4.3 20~50 kg 生长猪内源磷排泄量为 0.677 9 g/kg DMI, 豆粕和次粉磷的真消化率分别为 52.02% 和 63.93%, 与国外研究者报道的结果基本一致。

致谢: 湖南农业大学陈清华、易遵刚、王闯等同学参与了部分试验, 中国科学院亚热带农业生态研究所中心实验室王久荣在试验分析过程给予了帮助, 特致谢意。

### 参考文献:

- [1] 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]. *J Nutr*, 2001, 131(9): 2388~2396.
- [2] Ammerman C B, Forbes R M, Garrigus U S, et al. Ruminant utilization of inorganic phosphorus [J]. *J Anim Sci*, 1957, 16: 796~810.
- [3] 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.
- [4] 刘光崧. 土壤理化分析与剖面描述[M]. 北京: 中国标准出版社, 1996. 79~80.
- [5] Shen Y, Fan Z M, Ajakaiye A, et al. Use of the regression analysis technique to determine the true phosphorus digestibility and the endogenous phosphorus

- output associated with cron in growing pigs[J]. *J Nutr*, 2002, 132(6): 1199~ 1206.
- [6] NRC. Nutrient requirement of swine [M]. Washington D C: National Academy Press. 1998.
- [7] 杨 凤. 动物营养学[M]. 第 2 版. 北京: 中国农业出版社, 2001. 249.
- [8] Cromwell G L. The biological availability of phosphorus in feedstuffs for pigs[J]. *Pig News and Information*, 1992, 13: 75.
- [9] Rodehutsord M, Faust M, Lorenz H. Digestibility of phosphorus contained in soybean meal, barley, and different varieties of wheat, without and with supplemental phytase fed to pigs and additivity of digestibility in a wheat-soybean meal diet[J]. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 1996, 75: 1, 40~ 48.
- [10] 贾 刚. 用总磷、植酸磷、植酸酶评定猪饲料有效磷(表观可消化磷)的研究[D]. 雅安: 四川农业大学, 1998.
- [11] Coffey R D, Cromwell G L. Evaluation of biological availability of phosphorus in various feed ingredients for growing pigs[J]. *J Anim Sci* 1993, 71 (suppl. 1): 66 (abs.)
- [12] Dugelhoeft M, Roudhutsord M, Spiekers H, et al. Pfeffer. Effects of supplemental microbial phytase on availability of phosphorus contained in maize, wheat and tricale to pigs[J]. *Anim Feed Sci and Technol*, 1994, 49: 1~ 10.

### A Comparison of Two Techniques to Measure the Gastrointestinal Endogenous Phosphorus Outputs and True Phosphorus Digestibility with Growing Pigs

FANG Re-jun, WANG Kang-ning, FAN Ming-zhe, YIN Yu-long, HE Jian-hua

(1. *Institute of Subtropical Agriculture, Chinese Academy of Sciences, Changsha 410125, China;*

2. *Institute of Animal Nutrition, Sichuan Agricultural University, Yaan 625014, China;*

3. *Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China)*

**Abstract:** The regression analysis technique (REG) and difference technique were used to estimate endogenous P outputs and true P digestibility value with soybean meal (SBM) or wheat middling(WM) as only P source in diets for animals. Eight barrows, average initial body weight 20 kg, were allotted two groups randomly, fed four diets each group according to a 4×4 Latin Square design. Four cornstarch-based diets containing four levels of TP (0.15%, 0.20%, 0.30% and 0.35%) based on fed status each group were formulated from SBM or WM, respectively. Each experimental period comprised 8d with 4 d adaptation and 4 d collection feces. Results showed that: There were significant linear relationship ( $P < 0.05$ ) between fecal P outputs and dietary inputs of P when both expressed as g/kg DM intake diet with TP level of diet from 0.15% to 0.35%, which suggests a stable amount of endogenous P lose in feces for pig. No significant differences ( $P > 0.05$ ) of endogenous P existed determined by REG and difference technique with SBM and WM, implicated that the two assays are valid for estimating endogenous P outputs in pigs. The endogenous P output was 0.65~ 0.68 g/kg DM intake diets under tested TP levels and true P digestibility value of SBM and WM in growing pigs were 52.1% and 63.7%, respectively.

**Key words:** regression technique; difference assay; endogenous P loss; growing pig