

# 用线性回归法测定生长猪内源钙、磷排泄量和豆粕钙、磷真消化率的研究

张铁鹰<sup>1\*</sup>, 张艳玲<sup>1,2</sup>, 闫素梅<sup>2</sup>, 印遇龙<sup>3</sup>, 范明哲<sup>3</sup>, 汪 傲<sup>1</sup>

(1. 中国农业科学院北京畜牧兽医研究所, 动物营养学国家重点实验室, 北京 100193;

2. 内蒙古农业大学动物科学与医学学院, 呼和浩特 010018;

3. 中国科学院亚热带农业生态研究所, 长沙 410125)

**摘要:** 用线性回归法(Linear Regression Analysis Technique, REG)测定生长公猪内源钙、磷排泄量和豆粕钙、磷的真消化率。选用6头大白×长白生长阉公猪为试验动物, 平均初始体重为(28.6 ± 1.76)kg。采用6×6拉丁方设计, 以豆粕-玉米淀粉为基础, 配制6个不同钙(0.04%、0.09%、0.13%、0.17%、0.22%、0.26%)、磷(0.09%、0.18%、0.27%、0.35%、0.44%、0.53%)水平的日粮。试验共6期, 每期8d, 预饲期6d, 采样期2d。结果显示, 以日粮干物质采食量(DMI)为基础, 粪钙的排泄量随日粮钙的摄入量的增加而线性增加( $P=0.002<0.01$ ), 通过回归曲线法得出内源钙排泄量为0.6225 g/kg DMI, 豆粕钙真消化率为44.34%。以日粮干物质采食量(DMI)为基础, 粪磷的排泄量随日粮磷的摄入量的增加而线性增加( $P=0.025<0.05$ ), 内源磷的排泄量为1.0771 g/kg DMI, 豆粕磷的真消化率为48.78%。结果表明, 不同钙、磷水平的豆粕日粮, 钙、磷的表观消化率变化较大, 真消化率相对稳定。钙表观消化率平均比真消化率低41.50%, 磷表观消化率平均比真消化率低35.51%。日粮配制时用钙、磷表观消化率会低估钙、磷生物学效价, 造成钙、磷的过量添加和猪粪钙、粪磷排泄量的增加。因此, 日粮配制时用钙、磷真消化率来评定钙、磷的生物学效价更精确。

**关键词:** 钙; 磷; 内源排泄量; 真消化率; 豆粕; 生长猪

中图分类号: S828; S816.71

文献标识码: A

文章编号: 0366-6964(2008)12-1684-08

## Study on the Determination of Endogenous Outputs and True Digestibility of Calcium and Phosphorus with Soybean Meal for Growing Pigs by Linear Regression Analysis Technique

ZHANG Tie-ying<sup>1\*</sup>, ZHANG Yan-ling<sup>1,2</sup>, YAN Su-mei<sup>2</sup>,

YIN Yu-long<sup>3</sup>, FAN Ming-zhe<sup>3</sup>, WANG Jing<sup>1</sup>

(1. State Key Laboratory of Animal Nutrition, Institute of Animal Science, Chinese Academy

of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China; 2. College of Animal Science and

Veterinary Medicine of Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010018, China;

3. Institute of Subtropical Agriculture, Chinese Academy of Sciences, Changsha 410125, China)

**Abstract:** This study was designed to determine endogenous fecal calcium and phosphorus losses and true fecal calcium and phosphorus digestibility with soybean meal for growing barrows by the Linear Regression Analysis Technique (REG). Six Yorkshire×Landrace barrows, with averaged initial body weight of (28.6 ± 1.76) kg, were fed in the metabolic cage. According to a 6×6 Latin square design, six soybean-cornstarch based diets, containing six levels of calcium (0.04%, 0.09%, 0.13%, 0.17%, 0.22% and 0.26%) and phosphorus (0.09%, 0.18%, 0.27%, 0.35%,

收稿日期: 2007-12-28

基金项目: “国家自然科学基金”项目(30671528); 中国科学院“百人计划”项目

作者简介: 张铁鹰(1971-), 男, 内蒙赤峰人, 博士, 主要从事酶与抗营养因子研究

\* 通讯作者: 张铁鹰, 副研究员, E-mail: zhty999@163.com

0.44% and 0.53%), were formulated in six experimental periods. Each experimental period comprised 8 d with 6 d adaptation and 2 d collection of fecal samples. When expressed as g/kg DM diet intake, increasing linear relationships ( $P=0.002<0.01$ ) were found between fecal outputs and dietary inputs of Ca. The endogenous Ca output of barrow was calculated as 0.622 5 g/kg DMI and true Ca digestibility was 44.34% when the dietary inputs of Ca point to zero on the regression curve. When expressed as g/kg DMI, increasing linear relationships ( $P=0.025<0.05$ ) were found between fecal outputs and dietary inputs of P. The endogenous P output was calculated as 1.077 1 g/kg DMI and true P digestibility was 48.78% when the dietary inputs of P point to zero on the regression curve. These results suggested that in the soybean diets of different Ca and P levels, apparent digestibility of Ca and P vary a lot, but true digestibility of Ca and P are relatively stable. Apparent digestibility of Ca and P were lower than true digestibility by 41.50% and 35.51%, respectively. Current diet formulation using apparent Ca and P digestibility leads to underestimation of Ca and P biological availability and excessive intake and excretion Ca and P in pigs. True Ca and P digestibility should be determined and used in diet formulation for pigs.

**Key words:** calcium; phosphorus; endogenous outputs; true digestibility; soybean meal; growing pigs

钙和磷是动物必需的矿物质元素,是构成动物骨骼和牙齿的主要成分,同时参与体内代谢的调节。必需添加钙和磷才能满足动物的需要,但准确测定动物对钙和磷的消化率是日粮配制时钙磷添加的基础。评定钙、磷生物学效价的传统方法是用表观消化率,表观消化率由于受到内源排泄量的影响,低估了钙、磷的生物学效价,因此,理论上讲真消化率更能准确真实的反映动物的消化吸收状况。而真消化率的准确性取决于内源排泄量的准确测定,有鉴于线性回归法(REG)在氨基酸测定上的成功应用<sup>[1-3]</sup>,Fan等<sup>[4]</sup>、Shen等<sup>[5]</sup>将该方法推广到测定内源磷和磷的真消化率上,试验证明在低磷条件下,这种方法可以用来测定磷的内源排泄量和真消化率。试验旨在用REG法测定生长公猪内源钙、磷的排泄量和豆粕钙、磷真消化率,为用真消化率评定饲料钙、磷的生物学效价奠定基础。

## 1 材料与方 法

### 1.1 消化试验

1.1.1 试验设计 采用6×6拉丁方设计。试验共6期,每期8d,预饲期6d,采样期2d。以玉米淀粉和豆粕为基础配制半纯合日粮(表1),豆粕为钙、磷唯一来源,设6个钙、磷水平(Ca: 0.04%、0.09%、0.13%、0.17%、0.22%、0.26%; P: 0.09%、0.18%、0.27%、0.35%、0.44%和

0.53%)。采用外源指示剂三氧化二铬(Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)法进行消化试验。

1.1.2 试验动物 6头大白×长白二元杂交生长公猪,平均初始体重为(28.6±1.76)kg。

1.1.3 饲养管理 将6头猪单独饲于6个代谢笼中,室温控制在17~22℃。预饲期6d,预饲期间饲喂自配的全价饲料,自由采食与饮水,试验前3d统一驱虫。6期的日采食量分别按1200、1500、1800、2150、2600、3000g/d饲喂,约为体重的4%。1d喂2次,于08:00和16:00各喂1次。

### 1.2 样品收集和处理

每个试验期从第7天的上午08:00点至第9天上午08:00点收集粪样,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混合拌匀后,置于105℃烘箱干燥后粉碎,回潮后待测。同时取豆粕原料样和6个日粮样品,置于4℃冰箱保存待测。

### 1.3 测定指标与方法

日粮、豆粕和粪干物质(DM)用GB/T 6435-1986方法测定<sup>[6]</sup>,日粮、豆粕和粪中总磷(TP)用GB/T 6437-92方法测定<sup>[6]</sup>,日粮、豆粕和粪中钙含量用GB/T 6436-92方法测定<sup>[6]</sup>,日粮和粪中指示剂铬(Cr)的含量用原子吸收法(TJA Solutions U. S. A)测定<sup>[7]</sup>。

表 1 试验日粮配方及营养水平 (风干基础)

Table 1 Composition and nutrient levels of experimental diets (air-dry basis)

项目 Item	日粮水平 Dietary level					
	1	2	3	4	5	6
葡萄糖 Dextrose	10.20	10.20	10.20	10.20	10.20	10.20
玉米淀粉 Corn starch	74.26	58.83	44.00	28.75	14.12	0.00
豆粕 Soybean meal	13.64	27.27	40.91	54.55	68.18	81.82
豆油 Soybean 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	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
微量矿物质预混料 Trace-Mineral premix	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						
粗蛋白质 CP	6.00	12.00	18.00	24.00	30.00	36.00
消化能 DE/(MJ/kg)	16.25	16.32	16.26	16.29	16.20	16.00
钙 Ca	0.04	0.09	0.13	0.17	0.22	0.26
总磷 TP	0.09	0.18	0.27	0.35	0.44	0.53
钙磷比 Ca/P	0.49	0.49	0.49	0.49	0.49	0.49

每 kg 维生素预混料中含有: VA 17 300 IU; VB<sub>1</sub>(核黄素) 1.1 mg; D-泛酸钙 1.1 mg; VB<sub>6</sub> 1.1 mg; VB<sub>12</sub> 0.012 mg; VD<sub>3</sub> 152 000 IU; VE 66 IU; VK<sub>3</sub> 3.0 mg; 生物素 0.1 mg; 叶酸 0.6 mg; 烟酸(尼克酸)12.0 mg; 胆碱 0.55 g; 每 kg 矿物质添加剂中含有: Cu 11.8 mg; Fe 152 mg; Mn 6.2 mg; Zn 95.9 mg; I 0.6 mg; Se 0.3 mg

Provided per kg of vitamin premix: VA 17 300 IU; VB<sub>1</sub>(riboflavin) 1.1 mg; D-calcium pantothenate 1.1 mg; VB<sub>6</sub> 1.1 mg; VB<sub>12</sub> 0.012 mg; VD<sub>3</sub> 152 000 IU; VE 66 IU; VK<sub>3</sub> 3.0 mg; biotin 0.1 mg; folic acid 0.6 mg; nicotinic acid (niacin) 12.0 mg; choline 0.55 g; Provided per kg of mineral premix: Cu(as copper sulfate) 11.8 mg; Fe (as ferrous sulfate) 152 mg; Mn (as manganese sulfate) 6.2 mg; Zn (as zinc oxide) 95.9 mg; I (as calcium iodate) 0.6 mg; Se (as sodium selenite) 0.3 mg

1.4 REG 法计算内源钙、磷排泄量和钙、磷真消化率

日粮 DM 和 Ca、P 表观消化率按指示剂法公式(1)计算:

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

$D_{Ai}$  为被测日粮 Ca、P 表观消化率(%),  $I_D$  为第  $i$  种日粮中 Cr 的浓度(%),  $P_I$  为粪中 Ca、P 的浓度(%),  $P_D$  为第  $i$  种日粮中 Ca、P 浓度(%),  $I_I$  为粪中 Cr 的浓度(%)。

粪中 Ca、P 排泄量用公式(2)计算:

$$P_o = P_I \times (I_D / I_I) \quad (2)$$

$P_o$  为粪中总 Ca、P 的排泄量(g/kg DMI),  $P_I$  为粪 Ca、P 含量(g/kg 粪 DM),  $I_D$  为日粮中 Cr 的浓度(g/kg DMI),  $I_I$  为粪中 Cr 的浓度(g/kg 粪 DM)。

根据消化道 Ca、P 的来源和流向剖分,粪中 Ca、P 排泄量( $P_{O_i}$ )可用公式(3)表示:

$$P_{O_i} = P_E + D_I \times P_{D_i} \quad (3)$$

$P_{O_i}$  表示第  $i$  种日粮 Ca、P 的排泄量(g/kg DMI),  $P_E$  表示粪中内源 Ca、P 的损失(g/kg DMI),  $D_I$  表示第  $i$  种日粮饲料来源的 Ca、P 的真不可消化率(%),  $P_{D_i}$  表示第  $i$  种日粮中 Ca、P 含量(g/kg DMI)。

公式(3)为一个简单的线性方程,用粪中 Ca、P 的排泄量与日粮 Ca、P 的摄入量(g/kg DMI)作回归曲线,把回归方程中日粮 Ca、P 摄入量外推到零时,得出 Ca、P 的排泄量即为内源排泄量(g/kg DMI,即回归曲线的截距)。

待测日粮 Ca、P 真消化率( $D_{Ti}$ )可根据公式(4)计算:

$$D_{Ti} = D_{Ai} + (P_E / P_{D_i}) \times 100\% \quad (4)$$

1.5 统计分析方法

用 SAS 软件对不同处理进行方差分析和显著性检验。显著水平将不在图、表中表示,只在文中给出。

## 2 结果与分析

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。待测豆粕中钙、磷含量分别为 2.6 和 6.6 g/kg。

### 2.1 内源钙排泄量与钙真消化率

根据公式(2)计算出以 g/kg DMI 为计量单位时粪钙的排泄量。分析结果表明,粪钙的排泄量随日粮钙摄入量的增加而线性增加 ( $P = 0.002 < 0.01$ ,图 1),回归方程为  $Y = 0.5599 X + 0.6225$ ,  $R^2 = 0.9296$ ,其中  $Y$  是粪钙的排泄量, $X$  是日粮钙摄入量,钙回归方程式与公式(3)相对应,即得出钙的内源排泄量为 0.6225 g/kg DMI。钙的真消化率因此可用公式(4)计算。本试验得出,生长公猪

钙的真消化率为 44.34%(表 2)。粪钙的排泄量以 g/kg 粪 DM 计算时与日粮钙的摄入量(g/kg DMI)无线性增加关系(图 2)。

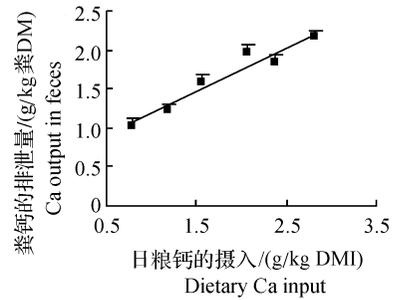


图 1 粪钙排出量与日粮钙摄入量的线性关系

Fig. 1 Linear Relationship between Ca output in feces and dietary Ca input

表 2 不同钙水平日粮豆粕钙的表现消化率和真消化率

Table 2 The apparent and true calcium digestibility in graded levels of calcium soybean meal diets

项目	日粮 1	日粮 2	日粮 3	日粮 4	日粮 5	日粮 6	平均
Item	Diet 1	Diet 2	Diet 3	Diet 4	Diet 5	Diet 6	Average
表观消化率	-30.14	-1.90	-2.30	4.97	23.33	23.10	2.84
真消化率	48.64	50.23	37.68	34.97	49.33	45.20	44.34

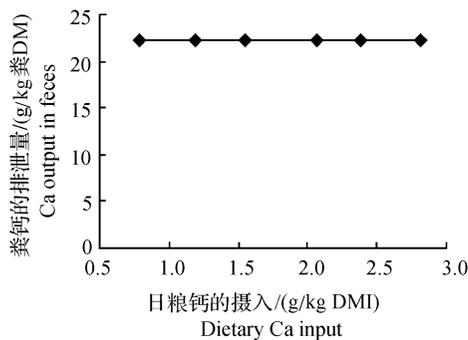


图 2 粪钙排出量与日粮钙摄入量的关系

Fig. 2 Relationship between Ca output in feces and dietary Ca input

将粪钙按来源剖分后(表 3),经分析,以 g/kg DMI 为计量单位,粪钙的排泄量随日粮钙的摄入量呈线性增加关系 ( $P = 0.002 < 0.01$ );以 g/kg 粪 DM 为计量单位时,粪钙的排泄量与日粮钙的摄入量之间无明显线性关系 ( $P = 0.937 > 0.05$ );以 g/kg 粪 DM 表示,内源钙的排出量随日粮钙摄入量的升

高而降低 ( $P = 0.007 < 0.01$ );用 g/kg DMI 表示时,日粮不同钙水平对内源钙影响差异不显著 ( $P = 0.454 > 0.05$ );以 g/kg 粪 DM 表示,粪中饲料来源的钙随日粮钙摄入量的增加而增加 ( $P = 0.005 < 0.05$ );用 g/kg DMI 表示时,粪中饲料来源的钙随日粮钙摄入的增加呈线性增加 ( $P = 0.005 < 0.01$ )。由表 3 得出,表观可消化钙随日粮钙摄入从 -0.24 g/kg DMI 增加到 0.65 g/kg DMI,真消化钙从 0.38 g/kg DMI 增加到 1.25 g/kg DMI。因此得出,在低钙日粮中真消化钙高于表观可消化钙,钙的摄入量影响粪钙的总排泄量,而对内源钙的排泄量没有影响。

随着日粮钙水平的增加,钙的表观消化率显著增加 ( $P = 0.0001 < 0.01$ ),而真消化率却未发生显著变化 ( $P = 0.698 > 0.05$ )(图 3)。表观消化率平均比真消化率低 41.5%(表 2)。从内源钙占总粪钙排泄量的比例可见,随着日粮钙的增加内源钙的比例显著下降 ( $P = 0.006 < 0.01$ )(图 4)。

表3 钙的摄入与粪钙流向的剖分  
Table 3 Dietary Ca input and the partitioning of Ca flow in feces

项目 Item	日粮水平 Dietary level						SEM <sup>2</sup>
	1	2	3	4	5	6	
总钙摄入量/(g/kg DMI) Total dietary Ca input	0.79	1.19	1.55	2.07	2.38	2.81	—
粪中表观可消化粪钙/(g/kg DMI) Apparent fecal digestible Ca	-0.24	-0.02	-0.04	0.10	0.56	0.65	—
粪真消化钙/(g/kg DMI) True fecal digestible Ca	0.38	0.60	0.58	0.71	1.18	1.25	—
总粪钙排出 Total fecal Ca output							
g/kg 粪 DM	22.27	22.14	22.18	22.20	22.21	22.23	0.01
g/kg DMI	1.02	1.21	1.59	1.96	1.83	2.16	0.04
粪内源钙排出 Endogenous fecal Ca output							
g/kg 粪 DM	13.53	11.41	8.78	7.07	7.63	6.70	0.05
g/kg DMI	0.64	0.61	1.00	1.24	0.65	0.89	0.01
粪钙中来自于日粮部分 Fecal Ca output of dietary origin							
g/kg 粪 DM	8.74	10.73	13.40	15.14	14.58	15.53	0.06
g/kg DMI	0.38	0.60	0.59	0.72	1.18	1.27	0.003

—. 没有此项。表5同

—. No the data. The same as table 5

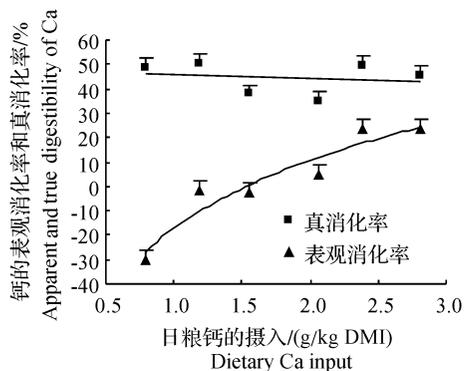


图3 日粮钙水平对表观消化率和真消化率的影响

Fig.3 Effects of dietary Ca levels on apparent and true Ca digestibility

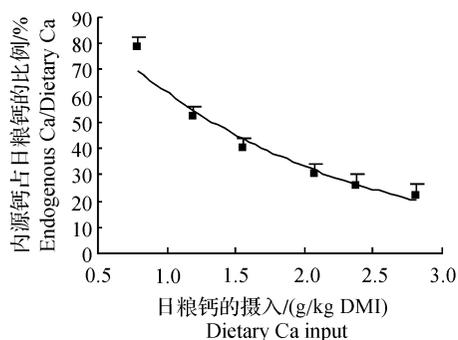


图4 内源钙占粪钙的比例与日粮钙摄入的关系

Fig.4 Relationships between the relative contributions of the endogenous Ca in feces as percentage of fecal Ca contents and dietary Ca input

2.2 内源磷的排泄量与磷的真消化率

内源磷和磷真消化率计算同2.1。分析结果表明,粪磷的排泄量与日粮磷摄入量(g/kg DMI)存在线性增加关系( $P=0.003<0.01$ ,图5),回归方程为  $Y = 0.5198 X + 1.0771$ ,  $R^2 = 0.9195$ ,其中Y是粪磷的排泄量,X是日粮磷摄入量,该回归方程与公式(3)相对应,得出磷的内源排泄量为1.0771 g/kg DMI。由公式(4)得出磷真消化率为48.78% (表4)。粪磷的排泄量以g/kg 粪DM计算时与日粮磷的摄入量无线性增加关系(图6)。

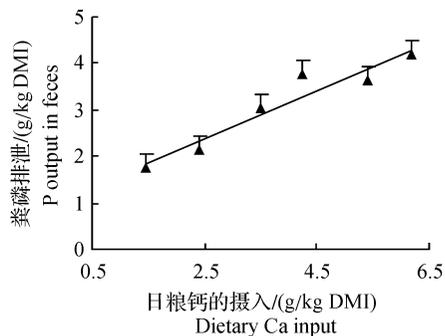


图5 日粮磷摄入与粪磷排出的线性关系

Fig.5 Linear relationship between P output in feces and dietary P input

将粪磷按来源剖分后的结果由表5可见,以g/kg DMI为计量单位,粪磷的排泄量随日粮磷的摄入呈线性增加关系( $P=0.003<0.01$ );以g/kg

表 4 不同磷水平豆粕日粮磷的表现消化率和真消化率  
Table 4 The apparent and true Phosphorus digestibility in graded levels of phosphorus soybean meal diets

项目 Item	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	日粮 6 Diet 6	平均 Average
表现消化率 Apparent digestibility	-21.60	12.35	13.19	11.23	32.40	32.06	13.27
真消化率 True digestibility	52.91	56.92	44.06	36.68	52.55	49.54	48.78

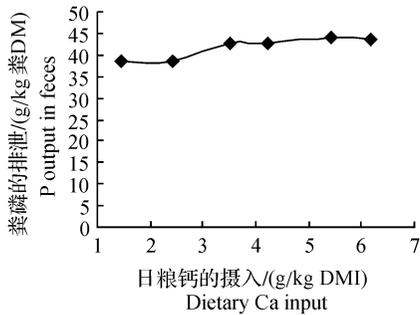


图 6 日粮磷的摄入与粪磷排出的关系  
Fig. 6 Relationship between P output in feces and dietary P input

粪 DM 为计量单位时,粪磷的排泄量随日粮磷的摄入变化较小( $P=0.077>0.05$ );以 g/kg 粪 DM 表示,内源磷的排出随日粮磷摄入的升高而降低,但未达显著水平( $P=0.383>0.05$ );用 g/kg DMI 表示时,日粮磷水平不同对内源磷影响差异不显著( $P=0.124>0.05$ );以 g/kg 粪 DM 表示,粪中饲料来源的磷随日粮磷摄入量的增加而增加( $P=0.022<0.05$ );用 g/kg DMI 表示时,粪中饲料来源的磷随日粮磷摄入的增加呈线性增加( $P=0.003<0.01$ )。由表 5 得出,表观可消化磷随日粮磷摄入从 -0.31 g/kg DMI 增加到 1.98 g/kg DMI,真消化磷从

表 5 磷的摄入与粪磷流向的剖分  
Table 5 Dietary P input and the partitioning of P flow in feces

项目 Item	日粮水平 Dietary level						SEM <sup>2</sup>
	1	2	3	4	5	6	
总磷摄入量/(g/kg DMI) Total dietary P input	1.45	2.42	3.50	4.24	5.41	6.18	—
粪中表观可消化粪磷/(g/kg DMI) Apparent fecal digestible P	-0.31	0.30	0.46	0.48	1.75	1.98	—
粪真消化磷/(g/kg DMI) True fecal digestible P	0.77	1.38	1.54	1.56	2.84	3.06	—
总粪磷排出 Total fecal P output							
g/kg 粪 DM	38.34	38.75	42.63	42.67	44.16	43.77	0.12
g/kg DMI	1.76	2.12	3.04	3.77	3.64	4.20	0.01
粪内源磷排出 Endogenous fecal P output							
g/kg 粪 DM	21.49	13.06	20.47	24.72	9.14	9.11	6.62
g/kg DMI	1.01	1.08	1.08	1.08	1.09	1.08	0.01
粪磷中来自于日粮部分 Fecal P output of dietary origin							
g/kg 粪 DM	16.85	25.69	22.26	17.95	35.02	34.63	5.32
g/kg DMI	0.75	1.04	1.96	2.69	2.55	3.12	0.01

0.77 g/kg DMI 增加到 3.06 g/kg DMI。因此得出,在低磷日粮中真消化磷高于表观可消化磷,磷的摄入量影响粪磷的总排泄量,而对内源磷的排泄量

没有影响。

随着日粮磷水平的增加,磷的表现消化率显著增加( $P=0.0001<0.01$ ),而真消化率未发生显著

变化( $P=0.116>0.05$ )(图7)。磷的表观消化率平均比真消化率低35.51%(表4)。从内源磷占总粪磷排泄量的比例可见,随着日粮磷的增加内源磷的比例显著下降( $P=0.001<0.01$ )(图8)。

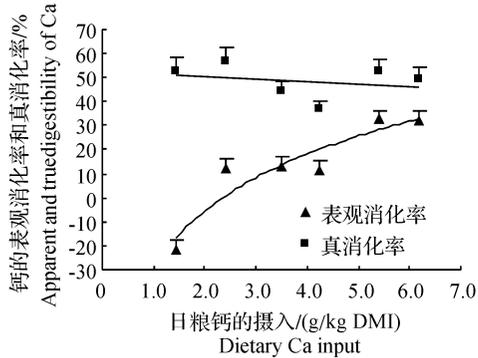


图7 日粮磷水平对磷表观消化率和真消化率的影响  
Fig. 7 Effects of dietary P levels on apparent and true P digestibility

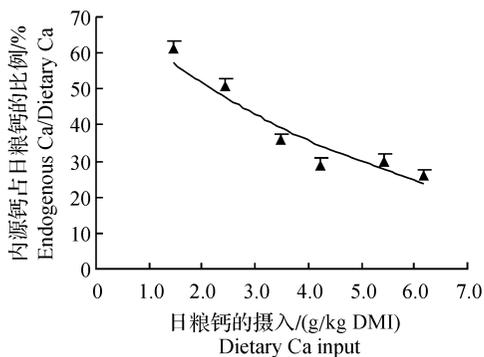


图8 内源磷占粪磷的比例和日粮磷摄入的关系  
Fig. 8 Relationships between the relative contributions of the endogenous P in feces as percentage of P contents and dietary P input

### 3 讨论

受内源排泄量的影响,表观消化率低于真消化率,低估了磷的生物学效价,用真消化率作为评定磷生物学效价的指标更接近动物的实际消化吸收情况<sup>[8-10]</sup>。Fan和Sauer<sup>[1-3]</sup>等用回归法(REG)成功地测定了回肠和粪中内源氨基酸的排泄量和氨基酸的真消化率,目前这种方法体系也比较完善。有鉴于此,Fan<sup>[4]</sup>和Shen<sup>[5]</sup>等将这一方法推广到测定内源磷和磷真消化率上,试验证明,在低磷条件下,这一方法同样适用于测定饲料内源磷的真消化率,试验期间动物未出现明显的磷缺乏症,而且操作方便安

全,与本试验结果一致,同时试验还得出钙的内源排泄量和真消化率也可以用这一方法测定。

采用REG法测得内源钙的排泄量为0.6225 g/kg DMI,相当于0.744 g/d,NRC(1998)<sup>[11]</sup>推荐20~50 kg猪钙的日需要量是7.2 g/d。内源钙的排出占总钙需要量的10.33%。内源磷的排泄量为1.0771 g/kg DMI,相当于1.30 g/d,NRC(1998)<sup>[12]</sup>推荐20~50 kg猪总磷的需要量是0.50%,有效磷的需要量是0.23%,分别相当于6和2.76 g/d。试验中内源磷约占日粮总磷需要量的18%,占有有效磷需要量的39.13%。Fan等<sup>[4]</sup>用同样的方法,测得5~20 kg猪内源磷的排泄量为0.31 g/d,约占总磷需要量的5.8%~12.8%,占有有效磷需要量的9.5%~24.1%;Shen等<sup>[5]</sup>测得,20~45 kg猪内源磷的排泄量为0.67 g/kg DMI,约占总磷需要量的12.3%,占有有效磷的26.6%;左建军等<sup>[12]</sup>得出,生长猪内源磷的排泄量为0.5266 g/kg DMI,这一结果表明,内源钙、磷的排泄对真消化率的影响不能忽视,它们也是影响钙、磷表观消化率的重要因素,是准确测定真消化率的基础。饲喂无磷日粮测定内源磷这一传统方法,可引起动物磷缺乏症;用同位素示踪法会高估内源磷的排泄,同时存在价格昂贵和安全隐患的缺点<sup>[13]</sup>。试验是在低水平的钙、磷条件下测定内源排泄量,结果得出在试验期间动物没有出现钙磷缺乏症,因此用这种方法测定内源排泄量从准确角度和经济、安全方面都更适用。

试验得出,钙、磷平均表观消化率分别为2.84%和13.27%,真消化率分别为44.34%和48.78%。钙表观消化率比真消化率低41.5%,磷表观消化率比真消化率低35.51%。表观消化率低估了钙、磷的生物学效价,尤其是低估了磷的生物学效价,造成日粮配制时磷的过量添加,就会增加动物代谢负担,同时,粪磷排泄的增加污染环境。Fan等<sup>[4]</sup>得出,豆粕磷的真消化率为48.5%。方热军<sup>[14]</sup>报道,生长猪豆粕磷的真消化率为51.87%。试验测得的磷真消化率与Fan等<sup>[4]</sup>和方热军<sup>[14]</sup>的结果一致,而左建军等<sup>[12]</sup>测得的结果略低,为38.87%。

### 4 结论

4.1 REG法可以同时测定钙、磷的内源排泄量和豆粕钙、磷的真消化率,该方法在试验期间动物没有出现钙磷缺乏症,从准确角度和经济、安全方面更适

用。

**4.2** 内源钙、磷的排泄量分别为 0.622 5 和 1.077 1 g/kg DMI。

**4.3** 豆粕钙、磷的真消化率分别为 44.34% 和 48.78%。

#### 参考文献:

- [1] FAN M Z, SAUER W C, McBURNEY M I, et al. Estimation by regression analysis of the endogenous amino acid levels in digesta collected from the distal ileum of pigs [J]. *Journal of Animal Science*, 1995, 73:2 319-2 328.
- [2] FAN M Z, SAUER W C. Determination of true ileal amino acid digestibility in feedstuffs for pigs with the linear relationships between distal ileal outputs and dietary inputs of amino acids [J]. *Journal Science Food Agric*, 1997, 73:189-199.
- [3] 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.
- [4] 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 Nutrition*, 2001, 131: 2 388-2 396.
- [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 Nutrition*, 2002, 132: 1 199-1 206.
- [6] 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. 饲料工业汇编[M]. 北京: 中国标准出版社, 2002: 70-73, 79-82, 84-88.
- [7] 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.
- [8] ODEHUTSCORD M, FAUST M, LOUENZ 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 Animal Physiol Animal Nutrition*, 1996, 75: 40-48.
- [9] ONGBLOED A W. Phosphorus in the feeding of pigs: effect of diet on the absorption and retention of phosphorus by growing pigs [M]. Doctoral Thesis, Wageningen Agricultural University, Wageningen, the Netherlands, 1987.
- [10] FAN M Z, SAUER W C. Additivity of apparent ileal and fecal phosphorus digestibility values measured in single feed ingredients for growing-finishing pigs [J]. *Canadian Journal of Animal Science*, 2002, 82: 183-191.
- [11] NRC. Nutrient requirement of swine[M]. Washington, DC: Natl Acad Press, 1998.
- [12] 左建军, 汪 傲, 张铁鹰, 等. 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 [J]. *畜牧兽医学报*, 2007, 38(7):678-684.
- [13] DELLAERT B M, VAN der PEET G F V, JONGBLOED A W, et al. A Comparison of different techniques to assess the biological availability of feed phosphates in pig feeding [J]. *Netherlands of Journal of Agricultural Science*, 1990, 38:555-566.
- [14] 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.