

回归法测定生长猪内源钙排泄量 及钙真消化率的研究*

王顺祥^{1,2}, 印遇龙^{1**}, 李铁军¹, 黄瑞林¹, 孔祥锋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: 采用多重线性回归法测定生长猪内源钙排泄量及菜粕和豆粕钙的真消化率。试验选用5头健康大白×长白阉公猪为试验动物, 平均体重为(21.6 ± 1.43) kg。试验采用5×5拉丁方设计, 设5个钙水平(0.10%, 0.15%, 0.20%, 0.25%和0.25%)。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, 菜粕和豆粕为钙唯一来源。结果表明, 生长猪采食豆粕加菜粕日粮的内源钙的排泄量为(0.61 ± 0.18) g/kg DMI, 对菜粕钙真消化率为(48.72 ± 24.04)%, 对豆粕钙真消化率为(67.80 ± 7.12)%。相对于表观消化率, 日粮钙真消化率更稳定(表观消化率为7.85%~48.37%;真消化率为59.63%~66.78%)。豆粕和菜粕钙表观消化率可加性差, 而真消化率配制日粮具有很好的可加性。

关键词: 生长猪; 菜粕; 豆粕; 钙; 真消化率

中图分类号: S 828.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1004-390X(2007)04-0537-06

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

WANG Sun-xiang^{1,2}, YIN Yu-long¹, LI Tie-jun¹, HUANG Rui-lin¹, KONG Xiang-fu¹, FAN Min-zhe¹

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

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

Abstract: Multiple Regression analysis technique was used to measure the fecal calcium (Ca) endogenous outputs and true Ca digestibility values with rapeseed meal and soybean meal in this study with growing pigs. 5 Yorkshire × Landrace barrows, with average initial body weight of (21.6 ± 1.43) kg, were allocated to one of five experimental diets, according to a 5 × 5 Latin square design. The 5 experimental diets were formulated to contain 5 Ca level (0.10%, 0.15%, 0.20%, 0.25% and 0.25%), with the rapeseed meal and soybean meal as the sole Ca source. The results showed that the Ca endogenous output of growing pigs was (0.61 ± 0.18) g/kg DMI, true Ca digestibility of rapeseed meal was (48.72 ± 24.04)%, and true Ca digestibility of soybean was (67.80 ± 7.12)%. True Ca digestibility rather than apparent digestibility, showed a perfect additivity associated with rapeseed meal and soybean meal when used in diet formulation for swine.

Key words: growing pigs; rapeseed meal; soybean meal; calcium; true digestibility

收稿日期: 2006-12-15

修回日期: 2007-01-25

* 基金项目: 国家973项目(2004CB117502); 国家自然科学基金资助项目(30371038); 中国科学院知识创新重要方向项目(KSCXZ-SW-323)。

** 通讯作者 E-mail: yyulong@hotmail.com

作者简介: 王顺祥(1979-), 男, 江苏东台人, 博士研究生。E-mail: jimwsx@yahoo.com.cn

钙是动物必需的矿物元素之一,是骨骼系统的重要组成部分(约 35% 灰分),且是体内代谢途径信号传导的重要形式,在机体内发挥着重要的生理作用^[1,2]。但是日粮中钙水平过高会影响其它营养素,尤其是磷的利用^[3]。猪对饲料原料 Ca 利用率研究报道较少,需要量都以总钙表示^[4]。而由于大量植酸的存在,以谷物类为基础日粮的 Ca 生物利用率相对较低,差异较大^[5]。因此,需要通过猪饲料钙真利用率的准确测定,来精确确定钙的需要量,同时也降低钙盲目添加对其它营养素利用的影响。

传统的消化代谢法和同位素示踪动力学法是过去几十年评定饲料钙有效性的常用方法^[6,7]。由于受内源钙的影响,传统的消化代谢法不能如实反映动物对钙吸收利用的真实情况。由于安全和仪器及测定费用高的原因,放射同位素法和稳定同位素法广泛应用于测定饲料钙利用率受到极大的限制。最近,FAN 等^[8]将简单梯度回归法(REG)法应用于断奶仔猪内源钙和饲料钙真消化率的测定,并且在其它生长阶段和不同的原料上得到很好的验证^[9,10]。但对于菜粕、高粱这些含抗营养因子的非常规原料,由于受添加量的限制,简单 REG 法应用受限制。本研究旨在以上研究基础上,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钙排泄量以及菜粕和豆粕钙的真消化率;以及确定表观消化率和真消化率配制日粮的可加性。

1 材料和方法

1.1 试验设计

试验采用 5 × 5 拉丁方设计。试验共分 5 期,每期 6 d,4 d 适应期,2 d 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(见表 1),菜粕和豆粕为钙唯一来源,设 5 个钙水平(0.10%,0.15%,0.20%,0.25%和 0.25%),选用氧化钛(TiO₂)作为外源指示剂。

1.2 试验动物及饲养管理

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。试验期持续 30 d(5 个试验期,每期 6 d),自由采食与饮水,试验前 3 d 统一驱虫。试验期每天上午 8:00 和下午 16:00 各喂 1 次,每次按每头试验猪体重的 4% 供给。每

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。

1.3 样品收集和处理

每个试验期从第 5 d 的上午 8:00 至下个试验期第 1 d 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)含量按杨胜等^[12]的方法。Ca 的测定参照刘光崧^[13]的方法,在 GBC932 原子吸收仪上测定样品。TiO₂ 参照戴裘仲^[14]方法在紫外-可见光分光光度计(UV8500 II 紫外-可见光分光光度计)测定。

1.5 内源钙排泄量及菜粕和豆粕钙真消化率的计算方法

1.5.1 日粮 DM 和 Ca 表观消化率按指示剂法公式(1)计算:

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

D_{Ai} 为被测日粮 DM 或 Ca 表观消化率(%), I_D 为第 i 种日粮中 TiO₂ 的浓度(%), P_f 为粪中 DM 或 Ca 的浓度(%), P_D 为第 i 种日粮中 DM 或 Ca 浓度(%), I_f 为粪中 TiO₂ 的浓度(%)。

以 g/kg DMI (dry matter intake, 干物质采食量) 为单位,粪中 TCa 排泄量用公式(2)换算:

$$P_o = P_f \times (I_D / I_f) \quad (2)$$

P_o 为粪中 TCa 的排泄量(g/kg DMI), P_f 为粪中 TCa 含量(g/kg 粪 DM), I_D 为日粮中 TiO₂ 的浓度(g/kg DMI), I_f 为粪中 TiO₂ 的浓度(g/kg 粪 DMI)。

1.5.2 基础原料—豆粕(直接法)和待测原料—菜粕(间接法)钙表观消化率的计算

直接法:待测原料为唯一提供钙来源的情况下,原料钙表观消化率可根据公式(3)计算:

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

D_A 为待测原料中钙表观消化率(%); D_D 为日粮中表观可消化钙(g/kg DM); A_A 为待测原料中钙含量(g/kg DM); S_f 为待测原料在日粮中使用水平(%)。

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 为日粮钙表观消化率; D_B 为基础原料钙表观消化率; S_B 为基础原料来源的钙在试验日粮钙中比例(%) ; D_A 为待测原料钙表观消化率(%) ; S_A 为待测原料来源的钙在试验日粮钙中比例(%)。

基础原料钙表观消化率由直接法公式(3)计算,待测原料钙表观消化率由公式(4)变化过来的公式(5)计算:

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

表1 试验日粮配方及主要营养指标(%, 风干基础)

Tab.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
葡萄糖/% ^a Dextrose	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00
玉米淀粉/% ^b Cornstarch	53.52	37.98	22.24	6.70	0.00
豆粕/% ^c Soybean meal	24.04	36.11	48.18	60.25	75.30
菜粕/% ^d Rapeseed meal	3.14	4.71	6.28	7.85	0.00
豆油/% ^e Soybean oil	2.90	4.80	6.90	8.80	8.30
食盐/% ^f salt	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
预混料/% ^g Vitamin premix	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
氧化钛/% TiO ₂	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
总计 total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
营养成分 Nutrient levels					
粗蛋白/% CP	11.87	17.79	23.71	29.62	33.22
消化能/(MJ · kg ⁻¹) DE	3.80	3.80	3.80	3.80	3.80
钙/% Ca	0.10	0.15	0.20	0.25	0.25
总磷/% TP	0.18	0.27	0.36	0.45	0.47
钙磷比 Ca/P	0.55	0.55	0.55	0.55	0.53

注: 每 kg 饲料提供: 维生素 A, 27 000IU; 维生素 D₃, 5 400IU; 维生素 E, 20 mg; 维生素 K₃, 2.5 mg; 维生素 B₁, 1.5mg; 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, 12.5 mg; 氯化胆碱 600 mg; CuSO₄ · 5H₂O 为 31.4 mg; FeSO₄ · H₂O 为 228.6 mg, ZnSO₄ · H₂O 为 164.8 mg, MnSO₄ · H₂O 为 123.1 mg, CaIO₃ 为 1.1 mg, Na₂SeO₃ 为 0.33 mg, 安她王 500 mg, 黄霉素 20 mg.

Supplied per kilogram of diet: vitamin A, 27 000 IU; vitamin D, 5 400IU; vitamin E, 20mg; vitamin K, 2.5 mg; vitamin B₁, 1.5 mg; vitamin B₂, 7.5mg; vitamin B₆, 1.5mg; vitamin B₁₂, 15 μg; biotin, 0.25 mg; folacin, 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; Mn-SO₄ · H₂O, 123.1 mg; CaIO₃, 1.1 mg; Na₂SeO₃, 0.33 mg; antawang, 500 mg; Flavomycin, 20 mg.

1.5.3 多重线性回归测定内源钙排泄量和饲料真消化率

把日粮表观可消化钙表示成 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 日粮粪表观可消化钙(g/kg DMI); N_{Di} 为第 i 日粮钙含量(g/kg DMI) D_A 为第 i 日粮钙表观消化率(%)。

如果日粮中基础原料和待测原料钙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钙(g/kg

DMI), 由公式(6)计算; N_E 为内源粪钙排泄量(g/kg DMI); D_{1-T} 和 D_{2-T} 分别为待测原料和基础原料钙真消化率(%) ; 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钙(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。

1.5.4 试验日粮钙真消化率和内源钙排泄量的计算

试验日粮钙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 种日粮钙真消化率, P_{Di} 为第 i 种日粮中钙含量(g/kg DMI)。

每个试验日粮中内源钙排泄量可根据公式(9)计算:

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

1.6 数据统计分析

用 Excel 进行回归分析。所有结果采用 SAS 单因子方差分析(ANOVA 过程),并用 t-检验比较两组数据之间的差异性。

2 结果与分析

2.1 日粮干物质、钙表观消化率

日粮 DM 和 Ca 表观消化率由公式(1)计算

(见表 2)。由 DM 消化率可以看出,蛋白质、Ca、P 水平没有影响正常的消化功能,从日粮 1 至日粮 5 随着日粮中淀粉含量的降低呈线性下降($P < 0.0001$)。日粮 Ca 的表观消化率随着日粮钙水平呈抛物线增加($P < 0.0001$)。

2.2 菜粕和豆粕中钙的表观消化率

豆粕钙表观消化率由公式(3)计算,结果为(49.10 ± 13.62)%。菜粕钙表观消化率根据公式(4)计算(表 3),各日粮中菜粕钙表观消化率差异极显著($P < 0.0001$)。

表 2 生长猪日粮干物质和钙表观消化率

Tab.2 The apparent diet Dry Matter and Ca digestibility values 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 ^x
日粮干物质表观消化率 apparent DM digestibility	86.27	83.26	81.58	80.35	80.77	1.35
日粮 Ca 表观消化率 apparent Ca digestibility	7.85 ^c	27.60 ^b	37.36 ^{ab}	45.14 ^{ab}	48.37 ^a	5.53

^x集合标准误,pooled SEM, n = 5

^{a,b} 同行肩标字母相同者差异不显著($P > 0.05$),肩标字母不同者差异显著($P < 0.05$)

^{a,b} Values in the same line with different superscripts differ ($P < 0.05$).

表 3 生长猪菜粕钙表观消化率

Tab.3 The apparent Ca digestibility 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 ^x
日粮中菜粕来源钙水平/(g · kg)	0.23	0.34	0.46	0.58	
Ca level from rapeseed meal in diet DMI					
日粮中菜粕来源的钙表观消化率/%	-120.12 ^b	-36.88 ^{ab}	-3.84 ^a	33.22 ^a	28.01
apparent Ca digestibility from rapeseed meal in diet					

^x 集合标准误,pooled SEM, n = 5

^{a,b} 同行肩标字母相同者差异不显著($P > 0.05$),肩标字母不同者差异显著($P < 0.05$)

^{a,b} Values in the same line with different superscripts differ ($P < 0.05$).

2.3 内源钙排泄量及菜粕和豆粕钙真消化率

以 g/kg DMI (dry matter intake, 干物质采食量)计,不同日粮粪钙含量根据公式(2)计算结果列于表 5,日粮钙摄入量与粪钙排泄量之间的关系见图 1,由图 1 可知粪钙含量和日粮钙摄入量存在显著线性相关($P = 0.0040$)。根据公式(6)和(7)可知,对表观可消化钙和日粮菜粕、豆粕来源钙的含量进行多重线性回归,得其回归模型为 $y = -0.6074 + 0.4872x_1 + 0.6780x_2$ (y 为表观可消化钙, x_1 为日粮中菜粕来源钙, x_2 为日粮中豆粕来源钙; $R_2 = 0.8125, P < 0.0001$),由回归模型可得出生长猪内源钙排泄量为(0.61 ± 0.18) g/kg DMI

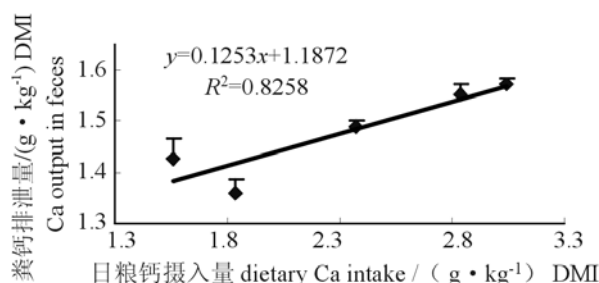


图 1 生长猪粪钙排泄量与日粮钙摄入量之间的关系

Fig.1 Linear relationship between fecal Ca output and dietary Ca input in the growing pigs

($P = 0.0031$),对菜粕钙的真消化率为(48.72 ± 24.04)% ($P = 0.059$),对豆粕钙的真消化率为

(67.80 ± 7.12)% ($P < 0.0001$)。

2.3 日粮钙真消化率

试验日粮钙真消化率可根据公式(8)计算,结果见表4。

表4 日粮钙真消化率

Tab.4 The true Ca digestibility values 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 ^a
日粮钙水平/(g · kg ⁻¹ DMI) dietary Ca level	1.56	1.84	2.37	2.84	3.04	
日粮钙真消化率/% true Ca digestibility	59.63	63.78	61.98	63.06	66.78	0.93

^a集合标准误 pooled SEM, n = 5.

比较日粮钙表观和真消化率发现,试验日粮中钙含量从1.56 g/kg DMI增加到3.04 g/kg DMI,日粮钙表观消化率呈二次方逐渐增加(表2),与表观消化率不同,试验日粮的真消化率相对稳定($P = 0.45$,见图2)。

根据公式(9)可算出每个试验日粮的内源钙排泄量,以总粪钙排泄量减去内源粪钙排泄量可算出日粮来源粪钙排泄量。粪钙含量剖分结果(见表5)。从日粮1到日粮5,内源钙排泄量基本保持不变($P = 0.7851$),而日粮来源粪钙排泄量随日粮钙摄入量增加而呈线性增加($P < 0.05$)(见表5)。

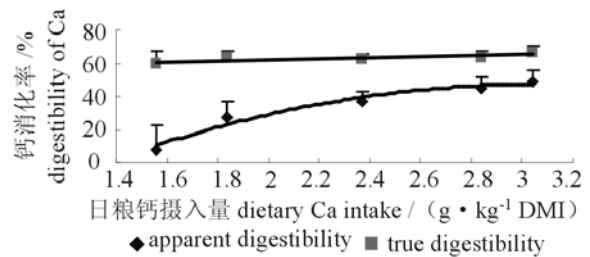


图2 日粮钙摄入量对生长猪钙表观消化率和真消化率的影响

Fig.2 Effects of dietary Ca levels on apparent and true fecal Ca digestibility values in the growing pigs

表5 生长猪不同日粮钙摄入量和粪钙排泄量的分析

Tab.5 The Ca input and the partitioning of Ca flow in feces of 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 ^x
钙摄入量 total Ca input	1.56	1.84	2.37	2.84	3.04	
表观钙摄入量 apparent Ca input	0.14 ^c	0.51 ^c	0.89 ^b	1.28 ^a	1.47 ^a	0.12
真钙摄入量 true Ca input	0.93 ^d	1.10 ^c	1.47 ^b	1.86 ^{ab}	2.03 ^a	0.03
粪总钙排出量 total fecal Ca output	1.42	1.35	1.48	1.56	1.58	0.06
粪钙内源排出量 endogenous fecal Ca output	0.74	0.60	0.58	0.58	0.60	0.11
粪钙来源于日粮部分 fecal Ca output of dietary origin	0.67 ^b	0.76 ^b	0.90 ^a	0.98 ^a	0.97 ^a	0.07

^x集合标准误, pooled SEM, n = 5

^{a,b,c} 同行肩标字母相同者差异不显著($P > 0.05$), 肩标字母不同者差异显著($P < 0.05$)

^{a,b,c} Values in the same line with different superscripts differ ($P < 0.05$).

3 讨论

近年来, REG 法得到很好的认证后,被广泛应用于测定猪内源磷排泄量和饲料磷的真消化率。最近, FAN 等^[8]又将 REG 应用于猪钙内源排泄量和饲料钙真消化率的测定。本试验应用菜粕和豆粕配比,发展应用 REG 法测定猪对添加量小的饲料钙的利用率。结果表明,当粪钙排泄量表示为 g/kg DMI (干物质采食量)时,与日粮钙摄入成直线线性相关,

说明本试验假设成立。通过回归分析,拟合出表观消化率与日粮菜粕钙和豆粕钙含量的回归方程 ($R^2 = 0.7623, P < 0.0001$)。由回归模型得出生长猪内源钙排泄量为 (0.61 ± 0.18) g/kg DMI ($P = 0.0031$),对菜粕钙的真消化率为 (48.72 ± 24.04)% ($P = 0.059$),对豆粕钙的真消化率为 (67.80 ± 7.12)% ($P < 0.0001$)。同时,在整个设计钙水平范围内,内源钙排泄量基本保持不变(表5),而日粮来源的粪钙呈线性增加(表5),这也证明了在本试

验中线性回归法的假设是成立的。

日粮钙表观消化率随着日粮钙水平的升高显著增加(7.85%~48.37%),呈抛物线状(表 2)。这就验证了内源钙排泄量对测定钙消化率的影响,也说明对内源钙进行校正、测定钙真消化率的必要性。由表 4 可见,由菜粕和豆粕真消化率推算出的日粮真消化率,较稳定,不随日粮钙含量变化而改变($P=0.45$)。而按照可加性原理反推算出的菜粕表观消化率受日粮钙水平影响极大,为-120.12%~33.22% ($P<0.0001$) (表 3)。可见饲料钙的真消化率具有很好的可加性,而表观消化率缺乏可加性。笔者(in press)和方热军^[9]在测定饲料磷的消化率的试验中,也得到相似的结论。另外在本试验中,豆粕和菜粕作为钙、磷和蛋白质的唯一来源,在设计钙梯度的同时,日粮磷和蛋白质也呈现梯度增加(表 1)。可以得出,日粮磷和蛋白质水平的变化,并没有影响钙的真消化率,而是影响了表观消化率。SPENCER 等^[15], HEANEY^[16] 和 FAN 等^[8] 也得到同样的结论,但也有相反的报道^[20]。

有关猪对饲料原料 Ca 利用率研究报道较少,需要量都以总钙表示^[4]。而由于大量植酸的存在,以谷物类为基础日粮的 Ca 生物利用率相对较低,差异较大^[5]。通过回归法已经测定了多种生产类型和阶段猪对豆粕的消化率。在不同的试验中^[8,10,11],豆粕钙的表观消化率随着日粮钙水平变化较大(本试验测定的豆粕表观消化率在一个钙水平下测定,差异较小),而真消化率比较稳定。并且在大多数研究中^[10,11],采食低钙水平日粮,猪对豆粕钙的表观消化率都为负值,说明从日粮中吸收利用的钙不能补偿内源排泄量。同时也可以看出,不同生产类型和生长阶段的猪,对豆粕钙真消化率差异较大,生长猪(67.80±7.12)%;(44.34±7.51)%^[10],要高于断奶仔猪(36.00±12.60)%^[8],小母猪(23.41±3.21)%^[10]和空怀母猪(27.00±5.00)%^[11]。因此,需要对不同生产类型和不同生长阶段猪对饲料钙利用率进行分类测定。

在本试验中,随着日粮钙水平变化,内源钙排泄量维持稳定($P=0.9951$)。本试验测得的生长猪内源钙排泄量(0.96 g/d)与张艳玲(0.98 g/d)^[10]的报道结果相一致。比较已有的研究发现,内源钙的排泄量,由断奶仔猪(0.04 g/d)^[8]到小母猪(0.29^[10]和 0.34^[11] g/d)到生长猪再到经产母

猪(2.06 g/d)^[10],具有依次增加的趋势。这这是由于内源钙随着生理状况和体重的不同而变化。因此,进一步要对不同试验日粮、不同生产阶段,不同性别,不同品种猪内源钙排泄量进行系统研究。另外,本试验和张艳玲^[10]得出的生长猪内源排泄量与前人应用同位素示踪技术研究报道的结果(1.15 和 1.12 g/d)^[18~20]基本一致,但高于 FERNANDEZ^[6]的报道(0.55 g/d)。因此 REG 可以和同位素示踪法一样适用于内源钙的测定。但是 REG 方法简单、简易易操作、成本低,较同位素示踪动力学法易于广泛应用。

4 结论

通过多重线性回归法测定得出,生长猪对菜粕-豆粕试验日粮的内源钙排泄量为 0.61 g/kg DMI,对菜粕和豆粕钙的真消化率分别为(48.72±24.04)%和(67.80±7.12)%。钙的表观消化率在配制猪日粮不具可加性,而真消化率具有很好的可加性。

[参考文献]

- [1] BRONNER F, PANSU D. Nutritional aspects of calcium absorption[J]. J. Nutr., 1999, 129: 9-12.
- [2] VILLERAL M L, PALFREY H C. Intracellular calcium and cell function[J]. Ann. Rev. Nutr. 1989, 9: 347-376.
- [3] LEO L, LEONLARD L, HILLEL J G, et al. Effects of high dietary calcium and phosphorus on calcium, phosphorus, nitrogen and fat metabolism in children[J]. AM J Clin Nutr. 1964, 14: 76-82.
- [4] NATIONAL R C. Nutrient requirements for swine [M]. 10th ed. National Academy Press, Washington DC. 1998.
- [5] SOARES J H. Calcium bioavailability. in Bioavailability of Nutrients for Animals [M], C. B. Ammerman, D. H. Baker, and A. J. Lewis, eds. New York: Academic Press, 1995.
- [6] FERNANDEZ J A. Calcium and phosphorus metabolism in growing pigs. Simultaneous radio-calcium and radio-phosphorus kinetics[J]. Livestock Production Science, 1995, 41: 243-254.
- [7] DE G J A, IVANOVICH P, FELLOWS H, et al. A double label technique for measurement of intestinal absorption of calcium in man[J]. J Lab Clin med. 1995, 66: 822-829.

(下转第 569 页)

- 固氮特性[J]. 植物生理学报,1990,(2):153-157.
- [6] 陈志银,李三玉,叶明儿,等. 浙江省杨梅气候生态区划的研究[J]. 浙江农业大学学报,1993,19(2):139-144.
- [7] 缪松林,黄寿波,梁森苗,等. 中国杨梅生态区划研究[J]. 浙江农业大学学报,1995,(4):366-372.
- [8] 康志雄,袁亚平. 浙江省杨梅生产区划与使用技术[J]. 林业技术开发,1999,(4):28-30.
- [9] 康志雄,骆文坚,吕爱华,等. 杨梅栽培气候区划与应用研究[J]. 果树学报,2002,19(2):118-122.
- [10] 陈守智,李正丽,徐丽梅,等. 云南省杨梅生态区划的研究[J]. 云南农业大学学报,2004,19(3):307-310.
- [11] 陈志银,李三玉,叶明儿,等. 气候生态因子与杨梅品质关系的研究[J]. 浙江农业大学学报,1992,18(2):97-103.
- [12] 陈志银,李三玉,叶明儿,等. 海拔高度对杨梅花期和品质影响的初探[J]. 浙江农业大学学报,1987,15(3):302-304.
- [13] 李永慈. 聚类分析在果树优良品系选择中的应用[J]. 河北林果研究,1998,13(2):162-165.
- [14] 王玉柱,刘奇志. 不同聚类方法对杏品种分类的影响[J]. 北京农业科学,1996,14(1):32-36.
- [15] 裴鑫德. 多元统计分析及其应用[M]. 北京:北京农业大学出版社,1991.
- [16] 云南省气象台. 云南省地面气候资料整编电子簿1961-1990[DB/CD]. 云南省气象局,2000.
- [17] 朱道元,吴诚鸥. 多元统计分析软件 SAS[M]. 南京:东南大学出版社,1995.
- [18] 唐启义,冯明光. DPS 数据处理系统-实验设计、统计分析及模型优化[M]. 北京:科学出版社,2006.
- [19] ANAERSON T W. Introduction to multivariate statistical analysis, 2nd[M]. New York: Wiley,1967.
- [20] GAUCH H G J. Multivariate analysis in community ecology[M]. Cambridge University Press, 1982.
- [21] 陈守智,吴兴恩,钟瑞芳,等. 大树杨梅果实数量性状的主成分分析[J]. 云南农业大学学报,2003,18(2):163-166.
- [22] 陈守智,李正丽,龙月娟. 桃树主要性状指标的主成分分析及与产量关系的研究[J]. 云南农业大学学报,2005,20(4):544-547.
- [23] 樊建峰,李绍稳,朱立武,等. 红籽瓜数量性状的主成分与聚类分析[J]. 中国农学通报,2006,22(2):301-303.
- [24] 金志凤,姚益平,樊高峰. 基于 GIS 的浙江省杨梅栽培气候生态区划[J]. 浙江气象,2005,25(3):21-23.

=====

(上接第 542 页)

- [8] FAN M Z, ATCHBOLD 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.
- [9] 方热军,王康宁,范明哲,等. 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[J]. 畜牧兽医学报,2005,36(2):137-143.
- [10] 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.
- [11] 矿昶. 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.
- [12] 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.
- [13] 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.
- [14] 戴求仲. 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.
- [15] HERTA S M D. Lois Kramer, RD. Nunilo Rubio, MD, and Dace Osis. The effect of phosphorus on endogenous fecal calcium excretion in man[J]. AM J Clin Nutr, 1986,43:844-851.
- [16] ROBERT P. Dietary protein and phosphorus do not affect calcium absorption[J]. AM J Clin Nutr, 2000, 72:758-761.
- [17] KERSTETTER J E, O'BRIEN K O, INSOGNA K L. Dietary protein affects intestinal calcium absorption[J]. AM J Clin Nutr, 1998,68:859-865.
- [18] BESANCON P. Les principales voies du metabolisme calcium chez le porc en croissance[J]. Ann. Biol. Anim. Bioch. Biophys,1969,9(4):537-553.
- [19] HANSARD S L, LY W A, CROWDER H M. Absorption, excretion and utilization of calcium of swine[J]. J. Anim. Sci, 1961,20:292-296.
- [20] MUDD A J, SMITH W C, ARMSTRONG D G. The influence of dietary concentration of calcium and phosphorus on their retention in the body of the growing pig[J]. J Agri Sci, Camb, 1969,73:189-196.