

贵州香猪内源钙磷代谢及 7~25 kg 生长阶段的钙磷沉积规律与需要量研究

杨正德¹ 许万里¹ 孔德顺² 戴焱³ 吴平¹

(1. 贵州大学动物科学学院, 贵阳 550025; 2. 贵州省畜牧兽医研究所, 贵阳 550005;
3. 毕节地区畜牧兽医科学研究所, 毕节 551700)

摘要: 为研究贵州香猪维持和生长的钙、磷需要量, 选择 3.5~4.0 月龄, 遗传来源相似, 体重 (11.06 ± 2.61) kg 的贵州从江香猪和剑白香猪去势公猪各 6 头, 采用无钙无磷纯合饲料法进行代谢试验, 测定贵州香猪内源钙与内源磷的代谢规律。并选择 60~75 日龄贵州从江香猪 34 头, 采用扣除蛋白质等消化能 (DE_{pr}) 饲料设计和比较屠宰试验, 测定贵州香猪生长的钙、磷沉积规律。结果表明: 1) 贵州香猪内源钙、磷排泄量分别为 47.2 和 20.8 mg/kg BW; 2) 无脂增重的钙、磷沉积量在 7~16 kg 体重段分别为 10.86 和 4.50 g/kg, 在 16~25 kg 体重段分别为 8.02 和 4.75 g/kg。由结果可得出, 贵州香猪维持的净钙、净磷需要量分别为 47.2 和 20.8 mg/kg BW, 生长的净钙需要量为 $(10.03 - 0.184 BW)$ g/kg BW、净磷需要量约为 3.46 g/kg BW, 常规混合饲料钙和有效磷的真消化率可按 60% 和 67% 估计。

关键词: 贵州香猪; 内源钙磷; 沉积规律; 维持需要; 生长需要

中图分类号: S828

文献标识码: A

文章编号: 1006-267X(2011)08-1402-07

钙、磷代谢与沉积规律是研究钙磷营养需要的重要参数。动物体内的钙、磷既不能由其他物质转化形成, 也不被分解消耗^[1-2]。猪采食无钙无磷饲料后, 体内钙、磷代谢仍要从粪尿排泄和体表损失一定量的内源钙磷, 摄入饲料中钙、磷扣除粪尿排泄损失和体表损失后, 剩下的为体内沉积的钙、磷。成年哺乳动物机体无脂干物质中矿物质含量极为相近, 其中约 99% 的钙和 80% 的磷存在于骨和牙齿中^[1]。贵州香猪作为一种特色地方资源小型猪品种, 其钙、磷的内源代谢与生长沉积的规律尚未见报道^[3]。因此, 本试验拟采用无氮饲料 (nitrogen free diet, NFD) 法与 NFD + 5% 酶解酪蛋白 (enzyme-hydrolyzed casein, EHC) 法, 测定贵州香猪内源钙、磷的代谢规律, 同时采用扣除蛋白质等消化能 (protein-free equalized digestible energy, DE_{pr}) 饲料设计和比较屠宰试验, 测定贵州香

猪 7~25 kg 生长阶段的钙、磷沉积规律, 建立贵州香猪维持与生长的钙、磷需要模型, 为制订贵州香猪饲养标准提供理论参数。

1 材料与方法

1.1 试验设计

1.1.1 代谢试验

选择 3.5~4.0 月龄、遗传来源相似、体重 (11.06 ± 2.61) kg 的贵州香猪健康去势公猪 12 头, 其中剑白香猪 6 头采用正常钙磷无氮饲料 1 (NFD-1)、从江香猪 6 头采用正常钙磷无氮饲料 2 (NFD-2) 和无氮饲料 + 5% 酶解酪蛋白 (NFD + 5% EHC) 无钙无磷纯合饲料^[4-7], 采用全收粪法测定内源钙、磷的排泄规律。代谢试验饲料组成及营养水平见表 1。

收稿日期: 2011-03-04

基金项目: 贵州省科学技术基金项目《贵州香猪能量、氨基酸沉积规律与饲养标准研究》黔科合 J 字(2009)2138 号; 贵州大学大学生创新型实验计划项目《贵州香猪饲养标准研究与制订》贵大国创(2008)005 号

作者简介: 杨正德(1955—), 男, 贵州湄潭人, 教授, 硕士生导师, 从事动物营养与饲料科学研究。E-mail: franklin.y@126.com

表 1 代谢试验饲料组成及营养水平(风干基础)

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

%

| 项目 Items | 无氮饲料 1 | 无氮饲料 2 | 无氮饲料 +5% 酶解酪蛋白 |
|-------------------------------------|--------|--------|----------------|
| | NFD-1 | NFD-2 | NFD +5% EHC |
| 原料 Ingredients | | | |
| 淀粉 Starch | 64.83 | 68.83 | 66.63 |
| 豆油 Soybean oil | 3.00 | 4.00 | 4.00 |
| 蔗糖 Sucrose | 18.00 | 18.00 | 18.00 |
| 纤维素 Fiber | 5.00 | 5.00 | 5.00 |
| 石粉 Limestone | 0.80 | 0.80 | |
| 磷酸氢钙 CaHPO ₄ | 2.00 | 2.00 | |
| 食盐 NaCl | 0.37 | 0.37 | 0.37 |
| 酪蛋白 Casein | | | 5.00 |
| 沸石粉 Zeolite | 5.00 | | |
| 预混料 Premix ¹⁾ | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| 合计 Total | 100.00 | 100.00 | 100.00 |
| 营养水平 Nutrient levels ²⁾ | | | |
| 消化能 DE/(MJ/kg) | 14.81 | 15.85 | 16.34 |
| 扣除蛋白质等消化能 DE _{pt} /(MJ/kg) | 14.81 | 15.85 | 14.90 |
| 可消化粗蛋白质 DCP | <0.01 | <0.01 | 4.86 |
| 钙 Ca | 0.74 | 0.74 | <0.01 |
| 总磷 TP | 0.36 | 0.36 | <0.01 |
| 有效磷 AP | 0.36 | 0.36 | <0.01 |

¹⁾ 预混料为每千克饲料提供 The premix provides the following per kg of diet: MgSO₄ · H₂O 707 mg, K₂SO₄ 333 mg, CuSO₄ · 5H₂O 35 mg, 5% KI 4 mg, FeSO₄ · H₂O 477 mg, MnSO₄ · H₂O 15 mg, ZnSO₄ · H₂O 460 mg, 5% Na₂SeO₃ 10 mg, VA 15 000 IU, VD₃ 2 700 IU, VE 12 mg, VK₃ 3 mg, VB₁ 1.4 mg, VB₂ 6.6 mg, VB₆ 2.3 mg, VB₁₂ 14 μg, 烟酸 nicotinic acid 16 mg, 泛酸钙 calcium pantothenate 9 mg, 叶酸 folic acid 250 μg, 生物素 biotin 30 μg。

²⁾ 钙、总磷和有效磷为实测值,其他营养水平为计算值。表 2 同。Ca, TP and AP are measured values, and the other nutrient levels are calculated values. The same as Table 2.

1.1.2 生长试验和比较屠宰试验

选择 60 ~ 75 日龄,健康无病,遗传来源相近,体重(7.53 ± 0.56) kg 的贵州从江香猪 34 头,屠宰公母各 1 头作为本底值。其余 32 头随机分为 4 组,每组 8 头,公母各占 1/2。采用 DE_{pt} 饲料设计和比较屠宰试验^[8],分设 7 ~ 16 和 16 ~ 25 kg 2 个体重生长阶段。设计 5 个不同营养梯度的试验饲料(R15 ~ R11),测定 DE_{pt} 进食水平下钙、磷的沉积规律。生长试验和比较屠宰试验饲料组成及营养水平见表 2。

1.2 测定指标及方法

粪、尿收集:代谢试验采用 96 h 不间断收集粪、尿。粪用瓷盘收集,除去其中的毛和皮屑后,低温减压干燥制成风干样品;尿用棕色玻璃瓶收集,4 h 收集 1 次,每次取排尿量 10% 样品 -20 °C 保存备用。

胴体样本制备:比较屠宰试验于平均体重

16 kg 时每组选择生长发育正常、体重中等的公母猪各 1 头、25 kg 时公母猪各 2 头屠宰,去除胃肠与膀胱内容物后取左胴体粉碎,内脏器官用绞肉机绞碎,毛用剪刀剪碎,各部分充分混匀后按胴体、内脏、毛、血的重量比制备样品^[3,8],测定钙、磷的沉积量。

分析方法:用 GB/T 5009.3—2003、GB/T 5009.92—2003、GB/T 5009.87—2003 方法测定饲料、排泄物及胴体中的水分、钙、磷。

1.3 数据处理

内源钙、磷代谢规律用每千克自然体重(BW)或代谢体重(BW^{0.75})24 h 排泄量表示,钙、磷沉积规律用无脂增重中的沉积量表示。

无脂增重钙/磷沉积量(g/kg) = [阶段末体重(g) × 阶段末体钙/磷(%) - 阶段初体重(g) × 阶段初体钙/磷(%)] / 阶段无脂体重(kg)。

表 2 生长和比较屠宰试验饲粮组成及营养水平(风干基础)

Table 2 Composition and nutrient levels of experimental diets for growth and slaughter trial (air-dry basis) %

| 项目 Items | 组别 Groups | | | | |
|-------------------------------------|-----------|--------|--------|--------|--------|
| | R15 | R14 | R13 | R12 | R11 |
| 原料 Ingredients | | | | | |
| 玉米 Corn | 53.19 | 54.04 | 54.89 | 56.60 | 58.30 |
| 豆粕 Soybean meal | 14.70 | 12.84 | 10.98 | 7.25 | 3.53 |
| 麦麸 Wheat bran | 19.16 | 20.17 | 21.18 | 23.20 | 25.22 |
| 米糠 Rice bran | 12.10 | 12.10 | 12.10 | 12.10 | 12.10 |
| 石粉 Limestone | 0.07 | 0.07 | 0.07 | 0.07 | 0.07 |
| 磷酸氢钙 CaHPO ₄ | 0.41 | 0.41 | 0.41 | 0.41 | 0.41 |
| 食盐 NaCl | 0.30 | 0.30 | 0.30 | 0.30 | 0.30 |
| 预混料 Premix | 0.07 | 0.07 | 0.07 | 0.07 | 0.07 |
| 合计 Total | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 |
| 营养水平 Nutrient levels | | | | | |
| 消化能 DE/(MJ/kg) | 12.39 | 12.26 | 12.13 | 12.01 | 11.88 |
| 扣除蛋白质等消化能 DE _{pt} /(MJ/kg) | 8.97 | 9.11 | 9.26 | 9.40 | 9.55 |
| 可消化粗蛋白质 DCP | 11.55 | 10.63 | 9.73 | 8.80 | 7.80 |
| 钙 Ca | 0.64 | 0.63 | 0.62 | 0.61 | 0.60 |
| 总磷 TP | 0.42 | 0.41 | 0.41 | 0.40 | 0.39 |
| 有效磷 AP | 0.24 | 0.24 | 0.24 | 0.24 | 0.24 |

预混料为每千克饲粮提供 The premix provided the following per kg of the diet: CuSO₄ · 5H₂O 26 mg, 5% KI 15 mg, Fe-SO₄ · H₂O 213 mg, MnSO₄ · H₂O 7 mg, ZnSO₄ · H₂O 194 mg, 5% Na₂SeO₃ 5 mg, VA 10 000 IU, VD₃ 1 800 IU, VE 8 mg, VK₃ 2 mg, VB₁ 9.4 mg, VB₂ 4.4 mg, VB₆ 1.5 mg, VB₁₂ 9.4 μg, 烟酸 nicotinic acid 10.5 mg, 泛酸钙 calcium pantothenate 6 mg, 叶酸 folic acid 165 μg, 生物素 biotin 20 μg。

试验结果以“平均值 ± 标准差”表示。试验数据采用 Excel 2010 整理后用 SPSS 13.0 单因素方差分析和用 *t* 检验进行显著分析。

2 结果与分析

2.1 贵州香猪的内源钙、磷排泄量

动物采食无钙无磷饲粮后,体内钙、磷代谢并没有停止,一部分钙、磷通过体内代谢损失,主要包括体内钙、磷周转代谢及物质与能量代谢过程中的无效性钙、磷损失,肠道黏膜、细胞及皮肤覆盖物脱落与排汗等引起的不可避免的钙、磷损失。其中粪、尿排泄的内源损失是钙、磷的主要损失途径。

由表 3 可见,贵州香猪内源钙、磷的排泄量,表达为自然体重 2 轮正常钙、磷水平饲粮钙排泄量为(109.7 ± 5.6)、(106.1 ± 9.0) mg/kg BW,相差 3.34%;磷排泄量为(56.3 ± 2.6)、(57.7 ± 3.5) mg/kg BW,相差 2.46%。表达为代谢体重相应钙排泄量为(211.6 ± 9.5)、(183.4 ±

18.4) mg/kg BW^{0.75},相差 14.28%;磷排泄量为(108.7 ± 2.5)、(100.8 ± 5.8) mg/kg BW^{0.75},相差 7.54%。表达为自然体重比表达为代谢体重更具规律性,说明内源钙、磷排泄量为自然体重的函数。采食正常钙水平饲粮与无钙饲粮,贵州香猪尿钙排泄量始终保持稳定,3 轮试验分别为(12.8 ± 2.0)、(14.2 ± 2.8)、(13.9 ± 1.5) mg/kg BW (*P* > 0.05),平均(13.7 ± 1.8) mg/kg BW。以上结果表明,贵州香猪尿中排泄稳定的钙,尿钙的排泄量与饲粮钙进食水平无关。粪钙排泄量方面,2 轮正常钙水平饲粮粪钙排泄量分别为(97.6 ± 4.9)、(91.9 ± 7.2) mg/kg BW,无钙饲粮粪钙排泄量为(33.3 ± 5.4) mg/kg BW,正常钙水平饲粮的粪钙排泄量显著高于无钙饲粮(*P* < 0.01)。

贵州香猪 2 轮正常磷水平饲粮尿磷排泄量分别为(14.3 ± 2.5)、(14.4 ± 2.4) mg/kg BW,无磷饲粮为(4.8 ± 1.3) mg/kg BW;粪磷排泄量正常磷水平饲粮分别为(42.0 ± 3.9)、(43.4 ± 3.3) mg/kg BW,无磷饲粮为(16.0 ± 1.9) mg/kg BW,

尿磷与粪磷的排泄量均受饲粮有效磷进食水平的影响 ($P < 0.01$)。

表 3 贵州香猪内源钙、磷排泄量

Table 3 The metabolism of endogenous calcium and phosphorus in piglets¹⁾

| 项目 Items | 钙 Calcium | | | 磷 Phosphorous | | |
|---|--------------------------|---------------------------|------------------------------------|--------------------------|--------------------------|------------------------------------|
| | 无氮饲粮 1 NFD-1 | 无氮饲粮 2 NFD-2 | 无氮饲粮 + 5% 酶解酪蛋白 NFD + 5% EHC | 无氮饲粮 1 NFD-1 | 无氮饲粮 2 NFD-2 | 无氮饲粮 + 5% 酶解酪蛋白 NFD + 5% EHC |
| 试猪数 Number of piglets ²⁾ | 5 | 6 | 6 | 5 | 6 | 6 |
| 试猪体重 Body weight/kg | 14.00 ± 1.67 | 9.49 ± 1.38 | 10.17 ± 2.26 | 14.00 ± 1.67 | 9.49 ± 1.38 | 10.17 ± 2.26 |
| 表达为自然体重 Show as live body weight/(mg/kg BW) | | | | | | |
| 摄入量 Intake | 267.7 ± 36.5 | 261.1 ± 24.9 | <0.01 | 130.2 ± 17.7 | 127.1 ± 12.1 | <0.01 |
| 尿中排泄 Excretion in urine | 12.8 ± 2.0 | 14.2 ± 2.8 | 13.9 ± 1.5 | 14.3 ± 2.5 ^a | 14.4 ± 2.4 ^a | 4.8 ± 1.3 ^b |
| 粪中排泄 Excretion in feces | 97.6 ± 4.9 ^a | 91.9 ± 7.2 ^a | 33.3 ± 5.4 ^b | 42.0 ± 3.9 ^a | 43.4 ± 3.3 ^a | 16.0 ± 1.9 ^b |
| 合计排泄 Total excretion ²⁾ | 109.7 ± 5.6 ^a | 106.1 ± 9.0 ^a | 47.2 ± 5.6 ^b | 56.3 ± 2.6 ^a | 57.7 ± 3.5 ^a | 20.8 ± 1.2 ^b |
| 表达为代谢体重 Show as metabolic body weight/(mg/kg BW ^{0.75}) | | | | | | |
| 摄入量 Intake | 515.4 ± 51.7 | 457.6 ± 49.8 | <0.01 | 250.8 ± 25.1 | 222.6 ± 24.2 | <0.01 |
| 尿中排泄 Excretion in urine | 23.4 ± 3.9 | 24.7 ± 5.0 | 25.5 ± 1.8 | 27.7 ± 5.4 ^a | 24.1 ± 6.5 ^a | 9.4 ± 3.8 ^b |
| 粪中排泄 Excretion in feces | 188.1 ± 8.8 ^a | 158.7 ± 14.9 ^a | 59.8 ± 9.1 ^b | 80.9 ± 7.3 ^a | 76.7 ± 4.9 ^a | 27.2 ± 3.6 ^b |
| 合计排泄 Total excretion ²⁾ | 211.6 ± 9.5 ^a | 183.4 ± 18.4 ^a | 85.3 ± 9.7 ^b | 108.7 ± 2.5 ^a | 100.8 ± 5.8 ^a | 36.6 ± 2.0 ^b |

¹⁾同行数据肩标不同字母表示差异极显著 ($P < 0.01$)。下表同。In the same row, values with different letter superscripts mean significant difference ($P < 0.01$). The same as below.

²⁾剑白香猪 NFD-1 轮次中 1 头试验猪回 - 直肠吻合术后致肠粘连而淘汰。A experiment pig of Jianbai Xiang pigs in NFD-1 turn was eliminated due to ankyloenteron after ileo-rectal anastomosis.

2.2 贵州香猪生长的钙、磷沉积量

动物生长的实质主要为体内蛋白质和矿物质的沉积,而钙、磷则是体内矿物质的主要成分。贵州香猪无脂增重的钙、磷沉积量见表 4。在 DE_{pt} 进食水平下,2 个体重阶段无脂增重钙的沉积量平均值分别为 (10.86 ± 0.12)、(8.02 ± 0.15) g/kg,前期显著高于后期 ($P < 0.01$);磷的沉积量平均值分别为 (4.50 ± 0.12)、(4.75 ± 0.05) g/kg,后期高于前期 ($P < 0.05$)。无脂增重的钙、磷沉积量与饲粮钙、总磷及有效磷进食量无明显相关性,但在相同生理阶段(体重段)却保持较高的一致性。

3 讨论

3.1 贵州香猪钙的代谢与沉积规律

贵州香猪采食无钙饲粮与常规钙水平饲粮均能从尿中排出稳定的钙,而粪钙的排泄量则受饲粮钙水平的影响。这表明,贵州香猪对饲粮中钙的消化与吸收主要受体内需要的调控,饲粮中超过体内需要多余的钙可能未经吸收而直接从粪中排泄,这还有待进一步的研究。以平均尿钙排泄

量 (13.9 mg/kg BW) 表示内源尿钙损失,以无钙饲粮的粪钙排泄量 (33.3 mg/kg BW) 表示内源粪钙损失,贵州香猪钙的内源总损失为 47.2 mg/kg BW。ARC (1981) 估计猪的钙需要量时,内源粪钙为 32.2 g/kg BW,内源尿钙为粪钙的 1%^[9]。本研究内源粪钙与之基本一致,而内源尿钙达粪钙的 41.11%,有待进一步研究。以无钙饲粮内源粪钙与内源尿钙损失之和为钙的维持需要量^[2,4,9],贵州香猪钙的维持需要量为 47.2 mg/kg BW。

在饲粮钙水平充足的条件下,贵州香猪 2 个体重段无脂增重钙的沉积量分别为 10.86、8.02 g/kg,前期显著高于后期。这表明,贵州香猪钙的沉积与生理阶段密切相关,与饲粮钙进食量无关。动物体内 99% 的钙存在于骨骼与牙齿中,前期是贵州香猪骨骼系统生长发育的主要时期,后期则随着年龄和体重的增加,骨骼系统的相对生长速度减慢,钙的沉积量降低。按无脂体重 ($BW_{fat-free}$) = 0.816 × BW - 0.006 × BW^{0.624e} + 0.252 转换为自然体重下,贵州香猪自然增重生长的净钙需要量为 (10.03 - 0.184 BW) g/kg ($R^2 = 0.9670$)。

表 4 贵州香猪体重变化与钙、磷沉积量

Table 4 Body weight change and deposition of calcium and phosphorus in piglets

| 项目 Items | 7~16 kg | | | | 16~25 kg | | | |
|---|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| | R15 | R14 | R13 | R12 | R14 | R13 | R12 | R11 |
| 始空体重 Initial empty body weight/kg ¹⁾ | 8.17 | 7.75 | 7.82 | 7.86 | 14.09 | 14.60 | 14.52 | 16.06 |
| 始含钙 Initial body Ca/% | 0.68 | 0.68 | 0.68 | 0.68 | 0.74 | 0.74 | 0.75 | 0.76 |
| 始含磷 Initial body P/% | 0.30 | 0.30 | 0.30 | 0.30 | 0.32 | 0.32 | 0.31 | 0.32 |
| 末空体重 Final empty body weight/kg ¹⁾ | 15.14 | 13.76 | 13.71 | 13.18 | 23.57 | 24.01 | 22.30 | 24.01 |
| 末含钙 Final body Ca/% | 0.76 | 0.75 | 0.74 | 0.74 | 0.68 | 0.68 | 0.68 | 0.70 |
| 末含磷 Final body P/% | 0.32 | 0.31 | 0.32 | 0.32 | 0.33 | 0.33 | 0.32 | 0.33 |
| 无脂增重 Fat-free gain/(g/d) ²⁾ | 149.20 | 129.52 | 123.66 | 112.73 | 190.40 | 198.78 | 151.25 | 159.33 |
| 采食量 Feed intake/(g/d) | 573.98 | 508.55 | 527.19 | 493.32 | 834.52 | 819.44 | 805.41 | 822.99 |
| 无脂增重的钙、磷摄入量 Intake of Ca and P of fat-free gain/(g/kg) | | | | | | | | |
| 钙 Ca | 24.94 | 24.99 | 26.63 | 26.82 | 27.90 | 25.75 | 32.63 | 31.04 |
| 总磷 TP | 16.22 | 16.23 | 17.27 | 17.36 | 18.12 | 16.70 | 21.12 | 20.06 |
| 有效磷 AP | 9.27 | 9.47 | 10.30 | 10.58 | 10.57 | 9.95 | 12.87 | 12.50 |
| 无脂增重的钙、磷沉积量 Deposit of Ca and P of fat-free gain/(g/kg) | | | | | | | | |
| 钙沉积量 Deposited Ca | 10.95 ^a | 10.69 ^a | 10.91 ^a | 10.91 ^a | 8.17 ^b | 7.82 ^b | 8.02 ^b | 8.09 ^b |
| 磷沉积量 Deposited P | 4.57 | 4.33 | 4.51 | 4.58 | 4.79 | 4.70 | 4.79 | 4.72 |

¹⁾ 空体重为自然体重扣除消化道与膀胱内容物重量。The empty body weight is body weight taking off the content in digestive tract and bladder.

²⁾ 无脂体重 $BW_{\text{fat-free}} = 0.816 \times BW - 0.006 \times BW^{0.624c} + 0.252$, ($R^2 = 0.9995$)^[3]。

3.2 贵州香猪磷的代谢与沉积规律

贵州香猪内源尿磷与内源粪磷的排泄量,常规磷含量饲料均显著高于无磷饲料,这主要是受饲料中有效磷进食水平的影响。这表明,贵州香猪对饲料中磷的消化与吸收,同时受体需要和饲料中磷的有效性的调控。当饲料有效磷充足时,贵州香猪可吸收超过体内需要量的磷,吸收的多余的磷可通过尿排泄而维持体内代谢平衡,当饲料有效磷不足时,又能最大限度地通过肾脏重吸收磷以维持体内代谢需要,且有磷饲料尿磷与尿钙排泄基本呈 1:1 比例,无钙无磷饲料粪磷与粪钙排泄呈 1:2 比例,有待进一步研究。以无磷饲料的尿磷排泄量(4.8 mg/kg BW)为内源尿磷损失,粪磷排泄量(16.0 mg/kg BW)为内源粪磷损失,贵州香猪磷的内源总损失为 20.8 mg/kg BW,这与杨凤等^[1]生长肥育猪每千克体重磷的内源损失约为 20 mg 基本一致。同理以无磷饲料内源粪磷与内源尿磷损失之和为磷的维持需要,贵州香猪的有效磷维持需要为 20.8 mg/kg BW。Fan 等^[10]和 Jongbloed 等^[11]曾用无磷饲料测定仔猪内源磷,但因在试验期 5~7 d 试验猪表现出腹泻、颤抖等症状致使试验未获成功。本研究试验猪未见任何

异常症状,可能与试验猪来源于原产地农区,当地半牧半饲的饲养方式使试验猪有较好的体质或对饲料养分有较强的耐受能力有关,有待进一步研究。

在有效磷进食量充足的条件下,贵州香猪 2 个体重段无脂增重磷的沉积量分别为 4.50、4.75 g/kg,后期略高于前期。按 $BW_{\text{fat-free}} = 0.816BW - 0.006BW^{0.624c} + 0.252$ 转换为自然体重的需要量,贵州香猪自然增重生长的净磷需要量为 $(3.46 - 0.00004 BW)$ g/kg,由于磷的需要中未知数项为 0.00004 BW,即使按自然体重 30 kg 时也不足 0.01 g,故本文忽略,得出净磷需要量约为 3.46 g/kg。后期虽然骨骼系统的生长量下降,磷的沉积量减少,但肌肉及脂肪组织的相对比例上升,非骨组织生长对磷的需要量提高,有待进一步研究。

3.3 贵州香猪钙、磷的利用效率

以平均每千克增重的钙、磷维持消耗与沉积量之和为钙、磷的净吸收量^[2,7,9],贵州香猪 2 个体重段试验饲料钙的真消化率分别为 $(60.12 \pm 1.05)\%$ 和 $(47.99 \pm 2.48)\%$,后期显著降低可能是骨骼系统生长速度减慢,钙沉积量下降而供应

水平并未相应减少所致。2 个体重段饲料有效磷的真消化率分别为 $(67.43 \pm 2.40)\%$ 和 $(66.13 \pm 5.01)\%$, 基本保持一致。理论上试验饲料钙、有效磷的真消化率应高于上述参数, 可能是实际供应水平偏高所致^[12], 有等进一步研究。根据以上试验结果, 推荐贵州香猪常规混合饲料钙和有效磷的真消化率可按 60% 和 67% 估计。

4 结 论

① 贵州香猪维持的净钙需要为 47.2 mg/kg BW, 净磷需要为 20.8 mg/kg BW。

② 贵州香猪生长的净钙需要量为 $(10.03 - 0.184 \text{ BW}) \text{ g/kg BW}$, 净磷需要量约为 3.46 g/kg BW。

③ 贵州香猪常规混合饲料钙和有效磷的真消化率可按 60% 和 67% 估计。

参考文献:

- [1] 杨凤. 动物营养学[M]. 2 版. 北京: 中国农业出版社, 2001.
- [2] National Research Council (NRC). Nutrient requirements of swine[S]. 10th ed. National Academy of Sciences. National Academy Press, Washington, D. C., 1998.
- [3] 吴敏, 杨正德, 许万里, 等. 贵州从江香猪体成分沉积规律与肉质营养特性研究[J]. 贵州农业科学, 2010, 38(3): 121 - 123.
- [4] 李伟, 杨正德, 刘代强, 等. 贵州香猪内源氮与内源氨基酸代谢规律研究[J]. 动物营养学报, 2010, 22(6): 1523 - 1528.
- [5] 王顺祥, 印遇龙, 李铁军, 等. 回归法测定生长猪内源钙排泄量及钙真消化率的研究[J]. 云南农业大学学报, 2007, 22(4): 536 - 543.
- [6] 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.
- [7] PETTEY L A, CROMWELL G L, LINDEMANN M D. Estimation of endogenous phosphorus loss in growing and finishing pigs fed semi-purified diets[J]. Journal of Animal Science, 2006, 84: 618 - 626.
- [8] WALTER J, GERRITS J, HENK T G, et al. Effect of protein and protein-free energy intake on protein and fat deposition rates in preruminant calves of 80 to 240 kg live weight[J]. Journal of Animal Science, 1996, 4: 2129 - 2139.
- [9] Agricultural Research Council (ARC). The nutrient requirements of pigs[S]. London: Commonwealth Agricultural Bureaux, 1981.
- [10] 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: 2388 - 2396.
- [11] JONGBLOED A W. Phosphorus in the feeding of pigs: effect of diet on the absorption and retention of phosphorus by growing pigs[D]. Ph. D. Thesis. Wageningen; Wageningen University, 1987.
- [12] TILMAN D, FARGIONE J, WOLFF B, et al. Forecasting agriculturally driven global environmental changes[J]. Science, 2001, 292: 281 - 284.

Endogenous Calcium and Phosphorus Metabolism in *Guizhou Xiang* Pigs: Deposition and Requirements of Calcium and Phosphorus for the 7 to 25 kg Growth Period

YANG Zhengde¹ XU Wanli¹ KONG Deshun² DAI Yi³ WU Ping¹

(1. College of Animal Sciences, Guizhou University, Guiyang 550025, China; 2. Guizhou Institute of Animal Husbandry and Veterinary, Guiyang 550005, China; 3. Bijie Institute of Animal Husbandry and Veterinary, Bijie 551700, China;)

Abstract: To determinate the calcium and phosphorus requirements for maintenance and growth of *Guizhou Xiang* pigs, six castrated *Congjiang Xiang* pigs and six castrated *Jianbai Xiang* pigs at the age of 3.5 to 4 months and with the same body weight of (11.06 ± 2.61) kg and genetic background were selected as experimental animals in this study. Calcium- and phosphorus-free purified diets were adopted in this study to investigate the metabolic regulation of endogenous calcium and phosphorus in *Guizhou Xiang* pigs. 34 *Congjiang Xiang* pigs aged from 60 to 75 days and fed with the protein-free diets equalized digestible energy (DE_{pf}) were selected to measure the deposition regulation and requirements of calcium and phosphorus in growing *Guizhou Xiang* pigs using a comparative slaughter method. The results showed as follows: 1) the losses of endogenous calcium and phosphorus of *Guizhou Xiang* pigs were 47.2 and 20.8 mg/kg BW per day, respectively. 2) The deposition of calcium and phosphorus were 10.86 and 4.50 g/kg of fat-free gain from 7 to 16 kg live body weight and 8.02 and 4.75 g/kg of fat-free gain from 16 to 25 kg live body weight, respectively. The results indicate that requirements of net calcium and phosphorus for maintenance are 47.2 and 20.8 g/kg BW and for growth are ($10.03 - 0.184 \text{ BW}$) and 3.46 g/kg BW in *Guizhou Xiang* pigs, respectively. The true digestibility of calcium and available phosphorus of conventional compound diets may be estimated by 60% and 67%, respectively. [*Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2011, 23(8):1402-1408]

Key words: *Guizhou Xiang* pigs; endogenous calcium and phosphorus; deposition regulation; requirement for maintenance; requirement for growth