

日粮磷和钙磷比例对小型猪骨骼性能的影响

王凤来 洪海燕 张曼夫 陈清明

(中国农业大学动物科技学院)

摘要 36头小型猪(香猪)去势公猪,通过 3×3 交叉分组设计随机分配到9个处理中,每个处理4个重复。日粮磷的3个水平为0.3%,0.6%和0.9%;日粮钙磷比例的3个水平为1:1,1.25:1和1.5:1。结果表明,第四跗骨骨鲜重随日粮磷水平提高显著增加($P < 0.01$)。随日粮磷增加第六肋骨、第四跗骨和第四趾骨的骨灰分、灰分钙和灰分钙磷比例显著地提高($P < 0.05$),而骨灰分磷则显著下降($P < 0.01$)。日粮钙磷比例对第六肋骨的骨灰分、灰分磷和灰分钙磷比例作用显著($P < 0.01$)。日粮不同磷水平对股骨、肱骨的压断力和弯曲力矩的作用有极显著差异($P < 0.01$),且当日粮磷水平0.9%达到最大值,但日粮不同钙磷比例对骨骼压断力和弯曲力矩无显著影响($P > 0.05$)。

关键词 小型猪(香猪);磷;钙磷比例;骨骼

分类号 S816.71

Effects of Dietary Phosphorus and Calcium to Phosphorus Ratio on Bone Characteristics in Growing Xiang Pigs

Wang Fenglai Hong Haiyan Zhang Manfu Chen Qingming

(College of Animal Sciences and Technology, CAU)

Abstract The effects of dietary phosphorus and calcium phosphorus ratio on bone characteristics were studied using thirty-six growing castrated Xiang pigs in a 3×3 factorial trial with four pigs as replicates. For the nine treatment diets, phosphorus levels of 0.3%, 0.6% and 0.9% were combined with calcium phosphorus ratios of 1:1, 1.25:1 and 1.5:1. The dietary phosphorus level and calcium phosphorus ratios in the diets were manipulated with CaCO_3 , Na_2HPO_4 and CaHPO_4 , respectively. The length of the sixth rib, fourth metacarpus and fourth metatarsus and the stress of the femur and humerus were not affected by dietary phosphorus level or dietary calcium phosphorus ratio ($P > 0.05$). The fresh weight, the percentage of dry fat-free bone ash, the percentage of bone ash calcium and bone ash calcium phosphorus ratio of the sixth rib, fourth metacarpus and fourth metatarsus increased with increased dietary phosphorus ($P < 0.01$), while the percentage of bone phosphorus decreased with increased dietary phosphorus ($P < 0.01$). The breaking forces and the bending moments of the humerus and femur were significantly different among different levels of dietary phosphorus ($P < 0.01$) and were greatest when dietary phosphorus was fed at 0.9%. Dietary calcium phosphorus ratios did not affect breaking forces and bending moments of the humerus and femur.

Key words Miniature pig (Xiang pig); dietary phosphorus; dietary calcium: phosphorus ratio; bone

近年来,香猪在百姓生活和医学研究等方面得到了广泛的开发和应用,香猪的营养需要研

收稿日期: 1999-11-24

王凤来,北京圆明园西路2号中国农业大学(西校区),100094



究也相继受到人们的广泛重视。在香猪的矿物质营养中, 研究人员曾通过消化代谢试验就日粮磷和钙磷比例对香猪钙磷代谢进行了系统研究^[1]。另有研究资料表明骨骼灰分、灰分钙磷或骨骼的机械性能是直接反映畜禽骨骼发育和体内钙磷代谢的重要指标^[2,3]。本研究目的是通过饲养、屠宰和骨骼性能测定试验探讨日粮不同磷水平和钙磷比例对香猪骨骼发育的影响, 为确立香猪适宜的日粮钙磷水平提供试验依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验为双因子3水平(3×3)交叉分组试验, 每个因子3个水平, 共9个处理, 每个处理4个重复, 每个重复1头猪。日粮2个因子分别为日粮磷和钙磷比例, 磷的3个水平分别为0.3%, 0.6%和0.9%, 钙磷比例的3个水平分别为1:1, 1:2.5和1:5。试验选用2月龄小型香猪去势公猪36头, 试验猪初始平均体重5.37 kg, 随机分配到9个处理中。试验全期为11周。试验猪结束平均体重19.89 kg。

1.2 试验日粮及营养水平

试验基础日粮由玉米、豆粕、苜蓿粉、血粉组成, 添加分析纯CaCO₃、Na₂HPO₄和CaHPO₄并通过等量替换基础日粮中玉米调配各处理日粮的钙磷水平(表1, 2)。

1.3 试验猪饲养管理

试验猪饲养于舍内铁制金属笼中, 单笼尺寸为长800 mm×宽420 mm×高650 mm, 每笼一头猪, 饲槽喂潮拌料, 每日6:00, 11:00和16:00共喂3次。水槽饮水, 饮用水是去离子水。试验猪上笼前去势驱虫, 试验期间逐日结料, 试验开始和结束时称重。

1.4 样品的制备与分析

1.4.1 骨样采集 所有试验猪在饲养11周后屠宰, 剥离软组织, 收集胴体的左右肱骨、股骨、第四跗骨(MC)和第四跖骨(MT), 以及左侧第六肋骨, 称骨重、测骨长后, 放入密封塑料袋中于-20℃冰柜中保存。

1.4.2 骨骼灰分制备 采用Reinhart等^[4-8]

制备脱脂骨骼灰分(dry fat-free bone ash)的方法。所有骨样于烘箱中70℃烘72 h, 然后用无水乙醚浸泡72 h脱脂, 脱脂的骨样再于105℃烘箱中烘12 h后称骨样脱脂烘干重。脱脂烘干骨样于马福炉中600℃灼烧3 h后得脱脂烘干骨灰分。

1.4.3 骨灰分钙磷测定 取10.00 mL分析纯盐酸溶解骨灰分样0.100 0 g, 定容50.00 mL过滤, 用等离子体(ICAP-9000, USA)测定骨灰分钙磷含量。

1.4.4 骨骼机械性能测定 肱骨和股骨待解冻后按Miller等^[9-11]方法测定其压断力(BF), 计

表1 试验基础日粮配方及营养水平

配方	w / %	营养水平	w / %
玉米	74.70	干物质	92.84
苜蓿粉	12.18	消化能/MJ·kg ⁻¹	12.50
豆粕	7.00	粗蛋白质	15.00
血粉	5.65	钙	0.29
食盐	0.27	总磷	0.30
添加剂	0.20	有效磷	0.18
		赖氨酸	0.80
		蛋+胱氨酸	0.60
		粗纤维	6.12

注: 干物质、钙、磷为实测值, 其他营养成分为计算值, 有效磷按王和民等(1990)方法计算。下同。
每千克饲料维生素和微量元素添加量: VA 4 500 IU; VD₃ 1 500 IU; VE 135 IU; VK₃ 2.7 mg; VB₁ 0.9 mg; VB₂ 2.7 mg; VB₆ 1.4 mg; VB₁₂ 0.01 mg; 烟酸 18 mg; 泛酸 10.8 mg; 氯化胆碱 200 mg; Fe 100 mg; Cu 10 mg; Mn 8 mg; Zn 100 mg; I 0.2 mg; Se 0.3 mg; 金霉素(15%) 600 mg。

算骨骼弯曲力矩(BM)和骨骼压强(S)^[9-11]。计算公式为, $BM = BF \times L / 4$ (L为骨受力时两端支撑点之间的距离); $S = BM \times D / (2 \times (\pi/64) \times (B \times D^3 - b \times d^3))$ (B,D表示骨受力处横断面骨壁外部水平和垂直方向直径,cm; b,d表示骨受力处横断面骨壁内部水平和垂直方向直径,cm)。

表2 试验各组合日粮的磷钙水平和骨灰分钙磷含量

w / %

项 目	磷水平 w / % 及 各组钙磷比											
	0 3%			0 6%			0 9%					
	A 组	B 组	C 组	D 组	E 组	F 组	G 组	H 组	I 组			
	1 1	1.25 1	1.5 1	1 1	1.25 1	1.5 1	1 1	1.25 1	1.5 1			
钙	0 29	0 40	0 47	0 64	0 80	0 94	0 91	1 16	1 38			
磷	0 30	0 32	0 32	0 62	0 63	0 62	0 93	0 93	0 93			
有效磷	0 18	0 18	0 18	0 50	0 50	0 50	0 81	0 81	0 81			
钙磷比(1)	0 98	1 24	1 48	1 02	1 28	1 48	0 97	1 24	1 48			
干物质	92 52	92 37	92 71	93 01	92 89	92 81	92 62	92 60	93 00			

1.5 数据处理

采用Harvey程序对试验数据进行统计分析,最小二乘估计线性模型为 $Y = \mu + P_i + CP_j + P_i \times CP_j + e$,其中 μ 代表群体平均值; P_i 代表日粮磷水平效应($i = 1, 2, 3$); CP_j 代表日粮钙磷比例效应($j = 1, 2, 3$); $P_i \times CP_j$ 代表日粮磷和钙磷比例交互效应($ij = 11, 12, 13, \dots, 33$); e 代表随机残差。统计表中的平均数是最小二乘均数, SE 是最小二乘均数的标准误。

2 结果与分析

2.1 骨鲜重和骨长

日粮不同磷水平和钙磷比例对第六肋骨、第四跗骨和第四趾骨的骨长无影响($P > 0.05$),日粮不同钙磷比例对第六肋骨、第四跗骨和第四趾骨的鲜重也无影响($P > 0.05$),但随日粮磷水平提高,第六肋骨、第四跗骨和第四趾骨鲜重有增加的趋势,而且骨鲜重的变化以第四趾骨表现最明显($P < 0.01$),其中日粮磷水平0.6%和0.9%的第四趾骨鲜重分别比0.3%增加26.1%($P < 0.01$)和36.7%($P < 0.01$)(表3)。

表3 不同日粮磷钙水平对骨重和骨长的影响

项 目	日粮磷水平 w / %				日粮钙磷比				SE	磷 × 钙磷比 的 P 值
	0 3	0 6	0 9	P 值	1 1	1 25	1 5 1	P 值		
骨重 m / g										
第六肋骨	4 43	5 07	5 11	0 110	4 83	5 03	4 74	0 695	0 25	0 976
第四跗骨	3 95 a	4 69 b	4 59 ab	0 083	4 64	4 35	4 24	0 495	0 24	0 966
第四趾骨	4 30 a	5 42 b	5 88 b	0 001	5 24	5 49	4 87	0 235	0 25	0 442
骨长 l / cm										
第六肋骨	14 89	15 25	15 21	0 544	15 14	15 41	14 81	0 258	0 25	0 348
第四跗骨	4 19	4 15	4 18	0 966	4 25	4 22	4 07	0 348	0 25	0 323
第四趾骨	4 73	4 83	4 89	0 470	4 75	4 95	4 74	0 212	0 90	0 734

表中数据是最小二乘均数,同一行数据后字母不同者差异显著($P < 0.05$),相同者差异不显著($P > 0.05$),各处理为12头猪。 SE 是最小二乘均数的标准误。为日粮磷水平与钙磷比例之间的交互效应。下同。

2.2 骨灰分和骨灰分钙磷

第六肋骨、第四^跗骨和第四^趾骨骨灰分含量在日粮不同磷水平之间比较(表 4) 差异极显著 ($P < 0.01$), 而且, 日粮磷水平 0.3% 时的 3 种骨灰分极显著地低于 0.6% 或 0.9% 处理 ($P < 0.01$), 日粮磷水平 0.6% 与 0.9% 比较, 3 种骨灰分含量后者略高但均无显著差异 ($P > 0.05$)。日粮不同钙磷比例对第四^跗骨、第四^趾骨骨灰分含量无显著影响 ($P > 0.05$), 但仅在第六肋骨表现出显著差异 ($P < 0.01$), 而且钙磷比例 1.5 : 1 日粮的骨灰分含量显著地高于 1.25 : 1 和 1 : 1 处理 ($P < 0.01$), 这一结果说明钙磷比例 1.5 : 1 的日粮可以获得最高的骨灰分含量。

表 4 日粮不同钙磷水平对骨灰分、灰分钙磷的影响

项 目	日粮磷水平 $w / \%$				日粮钙磷比				SE	磷 × 钙磷比 的 P 值
	0.3	0.6	0.9	P 值	1 : 1	1.25 : 1	1.5 : 1	P 值		
骨灰分 $w / \%$										
第六肋骨	55.32 a	62.26 b	65.14 b	0	59.44 a	59.90 a	65.40 b	0.001	1.08	0.008
第四 ^跗 骨	44.72 a	53.78 b	52.36 b	0	51.22 ab	50.36 a	53.28 b	0.117	0.98	0.001
第四 ^趾 骨	46.62 a	52.66 b	54.52 b	0.001	51.10	50.84	51.92	0.846	1.38	0.030
骨灰分钙 $w / \%$										
第六肋骨	19.50	19.38	19.52	0.306	19.56	19.45	19.40	0.212	0.06	0.000
第四 ^跗 骨	19.63 a	19.32 b	19.49 ab	0.027	19.49	19.49	19.46	0.940	0.08	0.125
第四 ^趾 骨	19.41 a	19.12 b	19.10 b	0.005	19.20	19.27	19.16	0.482	0.07	0.161
骨灰分磷 $w / \%$										
第六肋骨	9.41 a	9.16 b	9.09 b	0	9.37 a	9.16 b	9.14 b	0.000	0.03	0.000
第四 ^跗 骨	9.00 a	9.23 b	8.42 c	0	8.85	8.88	8.91	0.722	0.06	0.001
第四 ^趾 骨	9.20 a	8.94 b	8.52 c	0	9.03 a	8.68 b	8.94 a	0.025	0.08	0.000
骨灰分钙磷比 (: 1)										
第六肋骨	2.07 a	2.12 b	2.15 c	0	2.09 a	2.13 b	2.13 b	0	0.01	0.000
第四 ^跗 骨	2.18 a	2.20 a	2.30 b	0.000	2.20	2.18	2.19	0.513	0.02	0.001
第四 ^趾 骨	2.12 a	2.17 b	2.25 c	0.001	2.15 a	2.23 b	2.15 a	0.026	0.02	0.000

同表 3。

从表 4 可以看出, 除第六肋骨外, 第四^跗骨 ($P < 0.05$) 和第四^趾骨 ($P < 0.01$) 的骨灰分钙含量受日粮不同磷水平作用显著, 以 0.3% 磷水平日粮骨灰分钙含量较高。日粮钙磷比例对第六肋骨、第四^跗骨和第四^趾骨的灰分钙含量无影响 ($P > 0.05$)。

骨灰分磷含量在不同日粮磷水平之间比较差异极显著 ($P < 0.01$), 第四^跗骨、第四^趾骨和第六肋骨均以 0.3% 磷水平日粮最高, 而以 0.9% 磷水平日粮最低。日粮不同钙磷比例对第六肋骨 ($P < 0.01$) 和第四^趾骨 ($P < 0.05$) 的骨灰分磷含量作用显著, 且当日粮钙磷比例 1 : 1 时骨灰分磷含量最高。

随日粮磷水平从 0.3% 增加到 0.9%, 第六肋骨、第四^跗骨和第四^趾骨的骨灰分钙磷比有增大 ($P < 0.01$)。日粮钙磷比例对第六肋骨和第四^趾骨骨灰分钙磷比例作用显著, 且骨灰分钙磷比例在日粮钙磷比例 1.25 : 1 时较高 ($P < 0.05$)。

2.3 骨骼机械性能

试验结果表明, 当骨骼压断力在不同日粮磷水平间比较(表 5) 时, 日粮磷水平 0.6% 比 0.9% 的股骨、肱骨压断力略小但差异不显著, 而当日粮磷水平 0.3% 时骨骼压断力最小。日粮不同钙磷比例对骨骼压断力的作用差异不显著 ($P > 0.05$)。

股骨、肱骨的弯曲力矩在日粮不同磷水平作用下差异极显著 ($P < 0.01$), 当日粮磷水平 0.3% 时骨骼弯曲力矩最小, 日粮磷水平 0.9% 比 0.6% 的股骨和肱骨的弯曲力矩略大, 但差异不显著 ($P > 0.05$)。日粮不同钙磷比例对骨骼弯曲力矩无显著影响 ($P > 0.05$)。

股骨和肱骨的压强在日粮不同磷水平和钙磷比例之间比较差异不显著 ($P > 0.05$)。

表 5 日粮不同磷水平和钙磷比例对骨骼机械性能的影响

项 目	日粮磷水平 $w/\%$				日粮钙磷比				SE	磷 × 钙磷比 的 P 值
	0.3	0.6	0.9	P 值	1:1	1:2.5	1:1.5	P 值		
压断力/kg										
股骨	69.75 a	96.17 b	99.08 b	0.003	90.25	81.08	93.67	0.320	5.97	0.710
肱骨	121.25 a	166.67 b	169.92 b	0.000	150.67	144.50	162.67	0.285	8.05	0.009
弯曲力矩(kg·cm)										
股骨	137.92 a	185.46 b	194.86 b	0.006	178.40	159.32	180.53	0.399	12.02	0.855
肱骨	245.60 a	354.95 b	331.87 b	0.001	319.27	290.08	323.07	0.427	19.25	0.050
压强/kg·cm ⁻²										
股骨	977.65	1329.65	1274.79	0.282	1427.78 a	862.97 b	1291.33 ab	0.057	164.56	0.117
肱骨	1309.86 a	1975.72 b	1673.86 b	0.100	1747.88	1538.16	1673.40	0.775	210.37	0.486

同表 3。

3 讨论

3.1 日粮磷和钙磷比例对骨骼鲜重和长度的影响

Coalson 等^[12]曾报道随日粮磷水平从 0.28% 增加到 0.73%, 第六肋骨、肱骨和股骨的鲜重线性增加。本试验结果也同样表现出这一规律性变化, 当日粮磷水平 0.3% 时, 第四跗骨鲜重显著低于 0.6% 或 0.9% 磷水平日粮, 第四跗骨和第六肋骨也表现出同样的趋势。在 0.6% 和 0.9% 磷水平之间比较, 第四跗骨、第四跗骨和第六肋骨的骨鲜重无显著差异, 说明日粮 0.6% 磷水平即可获得较高的骨鲜重。

3.2 日粮磷和钙磷比例对骨骼灰分和灰分钙磷的影响

本试验证实骨骼灰分含量随日粮磷水平从 0.3% 增加到 0.6% 时大幅度提高 ($P < 0.01$), 表现出骨骼灰分随日粮磷水平增加而升高的趋势^[4-6]。然而当日粮磷水平从 0.6% 增加到 0.9% 时, 骨灰分含量的增长幅度却很小, 这说明 0.6% 日粮磷水平基本可以满足生长阶段香猪骨骼矿化所需要的磷。在骨灰分钙磷的检测结果中, 骨骼灰分磷的百分含量随日粮磷水平从 0.3% 增加到 0.9% 而有下降的趋势。骨灰分、骨灰分磷含量和骨灰分钙磷比例受日粮磷水平和钙磷比例互作效应的作用显著 ($P < 0.01$)。试验结果还证实, 第六肋骨比第四跗骨和第四跗骨的骨灰分含量易受日粮钙磷比例影响, 说明第六肋骨的骨骼矿化程度更能反映日粮钙磷营养状况^[13]。

3.3 日粮磷和钙磷比例对骨骼机械性能的影响

骨骼压断力和弯曲力矩以日粮 0.3% 磷水平最低, 0.9% 日粮磷水平最高, 说明增加日粮磷水平, 股骨和肱骨的骨骼压断力和弯曲力矩相应逐渐提高^[4, 11, 14-16]。本试验结果还证实, 股骨和肱骨的压断力和弯曲力矩受日粮磷水平和钙磷比例互作效应影响 ($P < 0.05$)。

4 结论

当日粮磷水平 0.9% 时, 生长阶段小型香猪的骨骼灰分质量分数、股骨和肱骨的压断力和弯曲力矩为最大值, 骨骼发育最理想。日粮的 3 个钙磷比(1:1, 1:2.5 和 1:5)对骨骼性能的影响均未表现显著差异。

参 考 文 献

- 1 王凤来, 陈清明, 张曼夫, 许民强. 日粮不同磷水平和钙磷比例对香猪钙磷代谢的影响. 中国畜牧杂志, 1999, 35(6): 8~ 11
- 2 蒋宗勇, 林映才, 姜文联, 等. 仔猪有效磷需要量的研究. 动物营养学报, 1999, 11(1): 44~ 50
- 3 Cromwell G L. Biological availability of phosphorus for pigs. Feedstuffs, 1980, 52(9): 38
- 4 Reinhart G A, Mahan D C. Effect of various calcium phosphorus ratios at low and high dietary phosphorus for starter, grower and finishing swine. J Animal Sci, 1986, 63: 457~ 466
- 5 Kornegay E T, Thomas H R. Phosphorus in swine: II. Influence of dietary calcium and phosphorus levels and growth rate on serum minerals, soundness scores and bone development in barrows, gilts and boars. J Animal Sci, 1981, 52: 1049~ 1059
- 6 Maxson D C. Dietary calcium and phosphorus levels for growing swine from 18 to 57 kilograms body weight. J Animal Sci, 1983, 56: 1124~ 1134
- 7 Lepine A J, Kornegay E T, Veit H P, et al. Metacarpus and metatarsus dimensional, mechanical and mineral characteristics of crossbred boars as influenced by nutrition and age. Can J Anim Sci, 1985, 65: 483~ 496
- 8 Crenshaw T D. Reliability of dietary Ca and P levels and bone mineral content as predictors of bone mechanical properties at various time period in growing swine. J Nutr, 1986, 116: 2155~ 2170
- 9 Miller E R, Ulrey D E, Zutaut C L, et al. Calcium requirement of the baby pig. J Nutr, 1962, 77: 7~ 17
- 10 Cromwell G L, Hays V W, Chaney C H, et al. Effects of dietary phosphorus and calcium level on performance, bone mineralization and carcass characteristics of swine. J Animal Sci, 1972, 30: 519~ 525
- 11 Crenshaw T D, Peo E R, Jr Lewis A J, et al. Influence of age, sex and calcium and phosphorus levels on the mechanical properties of various bones in swine. J Animal Sci, 1981, 52: 1319~ 1329
- 12 Coalson J A, Maxwell C V, Hillier J C, et al. Calcium and phosphorus requirements of young pigs reared under controlled environmental conditions. J Anim Sci, 1972, 35: 1194~ 1200
- 13 Walker G L, Danielson D M, Peo E R, et al. Effect of calcium source, dietary calcium concentration, and gestation phase on various bone characteristics in gestating gilts. J Animal Sci, 1993, 71: 3003~ 3010
- 14 Koch M E, Mahan D C. Biological characteristics for assessing low phosphorus intake in growing swine. J Animal Sci, 1985, 60: 699~ 708
- 15 Kock M E, Mahan D C. Biological characteristics for assessing low phosphorus intake in finishing swine. J Animal Sci, 1986, 62: 163~ 172
- 16 Koch M E, Mahan D C, Corley J R. An evaluation of various biological characteristics in assessing low phosphorus intake in weanling swine. J Anim Sci, 1984, 59: 1546~ 1556