

维生素D₃对断奶仔猪生长性能和免疫机能的影响

李德发 刘焕龙 席鹏彬 陈勇 李宇红

(中国农业大学动物科技学院)

摘要 试验选用 16 头健康杜×长×大三元杂交断奶公猪(平均体重 9.04 ± 0.68 kg), 按体重相似的原则分成 4 个处理, 每个处理每头仔猪每日分别添加 0, 150, 1.5×10^4 和 1.5×10^5 IU VD₃, 研究不同水平维生素 D₃ 对断奶仔猪生长性能和免疫机能的影响。结果表明: 当每日 VD₃ 摄入量为 1.5×10^5 IU 时, 仔猪在试验第 12~ 18 天出现中毒症状, 此时血清钙浓度增加($P < 0.05$), 而血清磷浓度降低($P < 0.05$); 当每日 VD₃ 摄入量为 1.5×10^4 IU 和 1.5×10^5 IU 时, 血清尿素氮浓度显著升高($P < 0.05$); 血清 25-OH-D₃ 浓度与 VD₃ 摄入量呈显著相关($r^2 = 0.9987, P < 0.001$); VD₃ 缺乏或引起中毒症状时, 牛血清白蛋白(BSA) 抗体滴度和皮褶厚度均下降, 每日 VD₃ 摄入量为 1.5×10^5 IU 可增加血清溶菌酶活性和过氧化物歧化酶活性; 添加 VD₃ 也可增加血红蛋白含量。

关键词 VD₃; 断奶仔猪; 免疫机能

中图分类号 S816.7

Effects of Vitamin D₃ on Immunity and Performance of Weanling Pigs

Li Defa Liu Huanlong Xi Pengbin Chen Yong Li Yuhong

(College of Animal Science and Technology, CAU)

Abstract This experiment was conducted to evaluate the effects of vitamin D₃ (VD₃) on performance and the immunity functions of weanling pigs. A total of 16 crossbred (Duroc × Landrace × Large white) weanling pigs weighing (9.04 ± 0.68) kg was randomly assigned to four treatments. A daily dose of 0, 150, 1.5×10^4 or 1.5×10^5 IU VD₃ was administered orally for the corresponding treatments, after fed on the basal diet without supplemental VD₃ for 7 days. The results showed that a daily supply of VD₃ up to 1.5×10^5 IU was toxic to pigs from 12 to 18 days. Serum Ca²⁺ in toxic pigs was increased ($P < 0.01$) while phosphorus decreased ($P < 0.05$). A daily supply of VD₃ up to 1.5×10^4 IU and 1.5×10^5 IU significantly increased BUN concentration. Serum 25-OH-D₃ significantly correlated with the VD₃ supply in linearity ($r^2 = 0.9987$). Deficient and poisonous VD₃ addition could significantly decreased the response of pigs to injected BSA and decreased double skinfold thickness (DST) after stimulation with PHA. A daily supply up to 1.5×10^5 IU VD₃ increased serum lysozyme (LZM) activity and serum superoxidant dismutase (SOD) content. The addition of VD₃ also increased hemoglobin content.

Key words vitamin D₃; weanling pigs; immunity function

收稿日期: 2001-04-27

国家自然科学基金资助项目(30030100)

李德发, 北京圆明园西路 2 号中国农业大学(西校区), 100094

现代医学和免疫学的研究表明,维生素D (VD)在动物机体代谢和免疫功能调节等多方面发挥着重要的作用。近年来,VD研究的热点集中在VD类似物和代谢物、受体、相关代谢酶及其对免疫机能、激素分泌和微量元素代谢的影响等方面,并深入到分子和基因水平^[1],研究的对象主要是实验动物^[2]和人^[3]。在畜牧业中,人们对VD的研究较多偏重于其对钙、磷代谢及动物生长性能的影响,很少考虑其对机体免疫机能的调节作用^[4]。

仔猪早期断奶技术是现代集约化养猪生产普遍采用的先进技术,但由于早期断奶使仔猪面临营养、环境、心理等多方面的应激,导致其免疫机能降低,生产性能下降^[5]。如何减少仔猪断奶应激,提高机体免疫力,从而提高生产性能,是多年来营养学家不断探讨的问题。本试验通过添加不同水平的维生素D₃(VD₃),研究其对仔猪免疫机能和生产性能的影响,摸索在保证正常生产性能的前提下,VD₃不同添加水平对仔猪免疫状态的影响。由于本实验室在前期工作中发现,VD₃的添加量在0~100 NRC水平(0~ 1.5×10^4)内对断奶仔猪生产性能和免疫机能无显著影响。因此,在本试验只选择0和150 IU VD₃作为对照,选用 1.5×10^4 IU和 1.5×10^5 IU VD₃作为处理组,目的是为了进一步探讨其对仔猪生产性能和免疫机能的影响。

1 材料与方法

1.1 试验动物

试验选用16头体重为 (9.04 ± 0.68) kg的30日龄断奶阉公猪(杜洛克×长白×大白,来自4窝,每窝4头),饲喂7 d未添加VD₃配合日粮后,根据平均体重相近原则分成4组,每组4头猪(分别来自于4窝),饲养在个体金属代谢笼中,猪舍前窗遮阳以防阳光直射。试验共进行38 d。

1.2 试验设计与试验日粮

所有试验猪饲喂没有添加VD₃的玉米-豆粕基础日粮(表1)。将VD₃用酒精稀释,分别配成含VD₃ 0, 150, 1.5×10^4 和 1.5×10^5 IU·mL⁻¹的溶液,按每日剂量用棕色小瓶分装,并保存于-4℃冰箱中。试验分为4个处理,处理1, 2, 3, 4中仔猪每头每天分别补充0, 150, 1.5×10^4 和 1.5×10^5 IU的VD₃,饲喂时用注射器直接打入口腔。并分别于试验第0, 15和30天个体称重,结料,计算日增重、日采食量及饲料增重比。试验最后1周内采血,测定猪瘟及牛血清白蛋白抗体的滴度。

1.3 样品采集与分析

试验猪分别在试验第0, 15和30天于前腔静脉采血以测定血液指标,同时分析血钙、磷、血清尿素氮、血清碱性磷酸酶、血清总蛋白、清蛋白和25-OH-D₃的浓度。在试验第3周,皮下注射猪瘟弱毒活苗(北京兽医诊断所, 1 mL/头),并在注射前和注射后第15天取血,采用ELISA法测定血清猪瘟抗体水平(以OD值表示,中监所试剂盒)。在试验第15天皮下注射牛血清白蛋白生理盐水溶液(BSA 1 mg·kg⁻¹体重),分别于注射前、注射后第7, 14和21天取血,用ELISA法测定血清中牛血清白蛋白抗体滴度。在试验第21天左腿股内侧皮下注射0.50 mL植物凝集素(PHA)生理盐水溶液($250 \mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$),右腿股内侧注射0.5 mL生理盐水,分别于注射前和注射24 h用厚度计测定注射部位的皮褶厚度。血清Cu-Zn SOD总量测定采用ELISA法,血清溶菌酶含量采用平板法测定^[6]。

1.4 统计方法

所有数据均采用 SPSS 统计软件的单因子方差分析(ANOVA) 进行统计, 差异显著后进行 Duncan's 多重比较。

表 1 基础日粮组成及营养水平

原料	w /%	营养水平	w /%
玉米	53.86	消化能/M cal	3.45
豆粕	26.5	粗蛋白质	19.06
鱼粉	4.0	钙	1.0
乳清粉	10.0	总磷	0.66
大豆油	1.5	赖氨酸	1.25
石粉	0.85	蛋氨酸+ 胱氨酸	0.78
磷酸氢钙	1.60	苏氨酸	0.85
食盐	0.25		
赖氨酸	0.25		
苏氨酸	0.05		
蛋氨酸	0.13		
1% 预混料	1.0		
总计	100		

每 kg 日粮中提供: VA 8000 IU, VE 64 IU, VK 1.8 mg, 硫胺素(B₁) 2.0 mg, 核黄素(B₂) 5 mg, 吡哆醇(B₆) 1.0 mg, VB₁₂ 0.015 mg, D-泛酸钙(B₅) 13.8 mg, 尼克酸 30 mg, 生物素 0.05 mg, 叶酸 0.45 mg, 氯化胆碱 400 mg, 锰 20 mg, 铁 100 mg, 锌 100 mg, 铜 250 mg, 碘 0.3 mg, 硒 0.3 mg, 痢特灵 200 mg, 阿散酸 160 mg。
除消化能和氨基酸以外, 其他均为实测值。

2 结果与讨论

2.1 VD₃ 对断奶仔猪生长性能的影响(表 2)

每日添加 0~ 1.5 × 10⁴ IU VD₃ 对断奶仔猪生长性能无显著影响(P > 0.05)。当每日 VD₃ 添加量为 1.5 × 10⁵ IU 时, 前 15 d 仔猪的平均日增重显著降低(P < 0.05); 在试验第 12~ 18 天, 仔猪出现厌食、饮水量剧增、腿部无力和嗜睡等明显的中毒症状, 此后采食量迅速下降, 日增重、日采食量和饲料转化效率显著低于其他 3 组(P < 0.01)。本试验结果表明, 每日添加 150 IU VD₃ 即可满足 8~ 20 kg 仔猪的生长需要, 此结果与 NRC^[7] 推荐水平(200~ 220 IU · kg⁻¹) 接近, 略低于 Panic 等^[8] 的结果(< 330 IU · kg⁻¹)。此外, Quo tem ann^[9] 报道每日口服 2.5 × 10⁵ IU VD₃, 持续 4 周后仔猪的主要生长性能显著降低, 且出现中毒症状。VD₃ 严重中毒可导致采食量下降, 血清尿素氮升高, 体组织开始消耗, 机体水盐代谢失去平衡。中毒的猪饮水量剧增, 表明机体水盐代谢受到影响, 且由于钙化作用使得肾脏功能受损。采食量降低可引起电解质摄入量降低, 从而加剧对生长性能的负影响作用。从本试验的结果还可以看出, 添加的 VD₃ 需达到一定浓度, 且需经过一定作用时间后才能对生长性能产生影响, 这方面的确切数据需要进一步研究。

表2 不同VD₃供给量对断奶仔猪生长性能的影响

项 目	处 理 组			
	1	2	3	4
初始体重/kg	10.55 ± 1.16	10.87 ± 1.06	10.48 ± 0.94	11.13 ± 0.83
平均日增重/g				
前期 10~15 d	371 ± 67.3 a	411 ± 36.1 a	375 ± 70.0 a	307 ± 136.0 b
后期 15~30 d	395 ± 89.4 a	471 ± 149.7 a	412 ± 51.4 a	307 ± 21.4 b
全期 10~30 d	383 ± 77.5 a	441 ± 89.4 a	395 ± 42 a	117.5 ± 63 b
平均日采食量/g				
前期 10~15 d	615 ± 88	690 ± 53	647 ± 39	658 ± 62
后期 15~30 d	898 ± 89 a	1010 ± 140 a	967 ± 24 a	415 ± 93 b
全期 10~30 d	755 ± 98 a	847 ± 93 a	810 ± 29 a	533 ± 75 b
饲料转化率, F/G				
前期 10~15 d	1.67 ± 0.26	1.68 ± 0.01	1.76 ± 0.22	2.14 ± 1.03
后期 15~30 d	2.32 ± 0.33 a	2.24 ± 0.47 a	2.37 ± 0.29 a	2.57 ± 0.33 b
全期 10~30 d	2.00 ± 0.27 a	1.95 ± 0.20 a	2.06 ± 0.16 a	4.64 ± 2.89 b

注: 表中数据以“平均值 ± 标准误($\bar{X} \pm SEM$)”形式表示;

同行数据字母不同者差异显著($P < 0.05$), 不标者表示差异不显著($P > 0.05$)。下同。

2.2 VD₃对血液生化指标的影响

在试验第15天和30天, 处理4($1.5 \times 10^5 \text{ IU} \cdot \text{d}^{-1}$)血清钙浓度显著高于其他3个处理($P < 0.01$), 而血清无机磷浓度显著低于其他3个处理(第15天, $P < 0.05$; 第30天, $P < 0.01$) (见表3)。主要原因是每日添加 $1.5 \times 10^5 \text{ IU}$ VD₃可使猪中毒, 中毒猪机体内 $1,25\text{-}(\text{OH})_2\text{-D}_3$ 无法维持平衡, 因此血清钙浓度显著升高, 而血清磷浓度显著降低。从第0天到第15天和30天, 处理4血清碱性磷酸酶浓度下降速度显著高于其他各处理(第15天/第0天, $P < 0.01$; 第30天/第0天, $P < 0.05$)。

血清尿素氮浓度反应了蛋白质的代谢状况和氨基酸平衡及其利用状况。在试验第30天, 每日添加 $1.5 \times 10^5 \text{ IU}$ VD₃可使血清尿素氮浓度提高到 $10.45 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ ($P < 0.05$), 比试验第0天增加1.79倍($P < 0.05$), 且显著高于其他各组血清尿素氮浓度($P < 0.05$) (表3), 说明氮代谢受到影响。本试验所得血清尿素氮浓度测定值低于管武太^[10]的测定结果($23.4 \sim 29.4 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$)。

由本试验可知, 血清 25-OH-D_3 浓度与VD₃摄入量呈显著线性相关关系, $Y = 10.96X / 1000 - 9.038$ ($r^2 = 0.9987$), 其中 Y 为血清 25-OH-D_3 浓度($\text{ng} \cdot \text{mL}^{-1}$), X 为VD₃每日摄入量(IU)。血清 25-OH-D_3 浓度可作为评价VD₃营养状况的重要指标, 肝脏是进行 25 羟VD₃的贮存场所^[11], 肝脏的功能状态会影响 25-OH-D_3 的合成与贮存。一般情况下, 每日摄入 $0 \sim 234 \text{ IU}$ VD₃不足以维持血清 25-OH-D_3 的正常浓度。本试验处理1组的仔猪采食不加任何外源VD₃日粮, 38 d后血清 25-OH-D_3 浓度与第8天相比略有下降, 血清各种测定指标正常, 说明机体内有一定的VD₃储备, 此时还不足以引起缺乏症。Quartemann曾发现采食缺乏VD₃日粮的猪, 4~6个月才会出现缺乏症。

表 3 不同VD₃添加量对血液生化指标的影响

100 mL 样品

项 目	处 理 组			
	1	2	3	4
钙/mg				
0 d	10 50±0 22	10 27±0 27	10 45±0 21	10 43±0 52
15 d	10 50±0 34 a	10 52±0 22 a	10 80±0 22 a	14 17±0 36 b
30 d	10 15±0 40	10 25±0 34	10 58±0 17	10 58±0 17
无机磷/mg				
0 d	7 18±0 96 a	8 57±0 74 b	8 20±0 34 b	7 18±0 87 a
15 d	9 50±0 56 a	10 23±0 63 a	10 27±0 48 a	8 15±1 13 b
30 d	8 93±1 11 a	9 93±0 81 a	10 03±1 65 a	5 83±0 17 b
碱性磷酸酶/U				
0 d	290±30 3	273±82 8	290±11 0	275±35 5
15 d	290±35 0 a	257±97 7 b	302±11 7 a	180±49 8 b
30 d	218±48 a	211±84 5 a	253±17 7 a	150±37 7 b
15 d/0 d	1 00±0 11 a	0 94±0 11 a	1 04±0 10 a	0 66±0 13 b
30 d/0 d	0 75±0 13 a	0 77±0 11 a	0 87±0 14 a	0 55±0 10 b
尿素氮/mg				
0 d	4 87±0 59	4 03±0 75	4 33±0 99	3 75±0 56
15 d	5 72±0 83	5 28±1 67	5 17±1 09	6 88±1 37
30 d	5 57±2 56 a	5 20±0 71 a	6 98±2 00 a	10 45±2 59 b
25-OH-D ₃ /ng·mL ⁻¹				
0 d	3 55±0 21	3 23±0 39	3 15±0 69	2 32±0 37
30 d	3 35±1 20 a	1 85±0 48 a	131 4±19 8 b	1 637 7±41 4 c

2.3 VD₃对免疫指标的影响

本试验中各处理间血清猪瘟抗体OD值无显著差异($P > 0.05$),而牛血清白蛋白抗体与猪瘟抗体水平的变化趋势不同(表4)。日粮中VD₃缺乏和过量添加均可抑制牛血清白蛋白抗体的生成。当添加适宜水平的VD₃时,机体的免疫应答反应较理想,抗体浓度大幅度上升且保持较高水平。BSA是异种蛋白抗原,具有胸腺依赖性,其抗体产生需要T_H-细胞的协助。如果BSA的免疫特性与日粮中的蛋白抗原具有同样的免疫机制,我们则可利用大剂量VD类似物,抑制抗原对肠道的免疫原性,促进机体产生免疫耐受性,减弱由日粮抗原引起的断奶应激,从而缓解腹泻程度。

PHA是一种促有丝分裂原。动物皮下组织对PHA的反应状况是细胞免疫的一项指标^[12,13]。本试验中,处理3皮褶厚度显著高于处理1和处理4(表4)。适宜的VD₃水平可以提高仔猪对PHA刺激的免疫应答反应,在日粮VD₃缺乏或中毒剂量条件下,皮褶厚度明显降低,说明VD对T细胞免疫功能具有调节作用。

试验开始时,4个处理间血清溶菌酶活性无显著差异($P > 0.05$)。在试验第15天,处理4血清溶菌酶活性显著高于其他3个处理($P < 0.05$);在第30天,处理3和处理4血清溶菌酶活性高于处理1和处理2($P < 0.05$)(表5)。正常动物的组织、体液和分泌液中有多种抗微生物

的免疫活性物质,如补体、溶菌酶等,它们具有抑菌、杀菌和溶菌作用。溶菌酶活性随日龄增加可部分解释抗病力随日龄增加的现象。VD₃可增强补体、溶菌酶的免疫活性^[9]。此外,肠液中溶菌酶活性可以作为诊断或辅助克服断奶应激的因素。在试验第15天,4个处理组血清超氧化物歧化酶的OD值均显著升高,其中处理4增幅最大。在第30天,各处理血清超氧化物歧化酶OD值比第15天低,且处理4血清超氧化物歧化酶OD值显著升高($P < 0.05$) (表5)。分析其原因可能是中毒导致应激,机体超氧化物歧化酶代偿性增高,血液细胞脆性增高,使得超氧化物歧化酶从血细胞中释放出来,此解释需要进一步实验研究加以验证。

表4 不同VD₃添加量对牛血清白蛋白抗体滴度和PHA刺激皮褶厚度的影响

项 目	处 理 组			
	1	2	3	4
牛血清白蛋白抗体滴度				
注射前	1	1	1	1
注射后第1周	0.453 ± 0.19	3.502 ± 1.347	1.950 ± 0.756	0.383 ± 0.124
注射后第2周	0.308 ± 0.192	3.098 ± 1.675	1.537 ± 0.344	0.255 ± 0.044
注射后第3周	0.250 ± 0.185 a	3.263 ± 1.356 b	1.213 ± 0.478 ab	0.153 ± 0.011 a
PHA 刺激后皮褶厚度/cm				
左腿增厚	1.46 ± 0.49 ab	1.80 ± 0.45 a	1.90 ± 0.37 a	1.33 ± 0.51 b
左右腿增厚之差	1.24 ± 0.28 ab	1.37 ± 0.39 ab	1.53 ± 0.14 b	1.15 ± 0.21 a

表5 不同VD₃添加量对血清溶菌酶含量和超氧化物歧化酶活性的影响

项 目	处 理 组			
	1	2	3	4
溶菌酶含量, U/100 mL				
0 d	17.3 ± 6.8	14.1 ± 3.6	17.6 ± 4.9	14.7 ± 6.3
10 d	17.3 ± 6.1 a	16.0 ± 2.8 a	19.1 ± 5.0 a	23.1 ± 3.4 b
30 d	18.7 ± 7.3 a	17.4 ± 4.4 a	22.0 ± 4.7 b	24.2 ± 2.54 b
超氧化物歧化酶活性 (OD 值)				
0 d	0.189 ± 0.024 a	0.199 ± 0.029 b	0.200 ± 0.031 a	0.184 ± 0.035 a
15 d	0.335 ± 0.111 a	0.328 ± 0.153 a	0.322 ± 0.150 a	0.554 ± 0.180 b
30 d	0.279 ± 0.069 a	0.148 ± 0.030 b	0.251 ± 0.090 a	0.425 ± 0.076 c

2.4 VD₃对血红蛋白和其他血液常规指标的影响

在试验第15天和30天,处理4血红蛋白含量显著高于处理1($P < 0.05$),表明VD₃添加量达到或超过NRC推荐水平20倍时,可以提高血红蛋白含量。在试验第30天,血红蛋白含量与VD₃显著相关($P = 0.026$),但各处理间血红细胞数量无显著差异($P > 0.05$),说明血红蛋白含量升高并非由红细胞数量增加所致。血红蛋白含量升高有利于氧的运输,可加强机体代谢机能。在本试验中,大细胞比例和小细胞比例随时间呈相反变化趋势,即在试验第15天大细胞比例逐渐下降,而小细胞比例上升。随日龄增加,处理1和处理2的大细胞比例逐渐下降,而处

理 3 和处理 4 明显上升。

表 6 不同VD₃添加量对血液常规指标的影响

项 目	处 理 组			
	1	2	3	4
血红蛋白,mg/100 mL				
15 d	12.6 ± 0.91 a	13.8 ± 1.16 ab	13.8 ± 0.48 ab	14.5 ± 0.40 b
30 d	12.4 ± 1.48 a	13.9 ± 3.78 ab	15.0 ± 1.08 ab	16.55 ± 2.31 b
白细胞, × 10 ⁶ •mL ⁻¹				
15 d	24.5 ± 4.65 a	21.0 ± 0.98 ab	22.1 ± 2.50 ab	28.7 ± 5.78 b
30 d	24.7 ± 2.11	22.1 ± 7.4	19.35 ± 2.7	20.7 ± 4.75
大细胞比例, %				
15 d	56.2 ± 6.43 a	60.1 ± 1.78 a	50.6 ± 0.43 ab	44.5 ± 6.65 b
30 d	48.9 ± 3.8	43.4 ± 9.6	53.8 ± 10.5	53.6 ± 10.74
30 d/15 d	0.87	0.72	1.06	1.20
小细胞比例, %				
15 d	42.8 ± 6.9 a	37 ± 2.16 a	47.0 ± 8.8 ab	54.5 ± 8.36 b
30 d	51.1 ± 3.8	56.6 ± 9.6	46.2 ± 10.35	46.4 ± 10.75
30 d/15 d	1.07	1.53	0.98	0.85
血小板, × 10 ⁶ •mL ⁻¹				
15 d	558 ± 135 a	498 ± 99 a	372 ± 131 a	344 ± 69 b
30 d	264 ± 20 b	331 ± 101 a	200 ± 59 a	207 ± 129 a

3 结论

1) 断奶仔猪每日摄入 $0 \sim 1.5 \times 10^4$ IU 的VD₃对生长性能和血清钙、磷和碱性磷酸酶无不利影响,但每日摄入 1.5×10^5 IU VD₃可在 12~ 18 d 后出现中毒症状,且血清钙浓度增加,无机磷含量和碱性磷酸酶活性降低,生长性能显著降低。

2) 在本试验中,VD₃添加水平为每天 150 IU 时,动物机体免疫反应较强,且抗体浓度迅速升高;而日粮当VD₃缺乏,添加水平过高或为中毒剂量时,BSA 抗体生成降低。大剂量VD₃可抑制细胞免疫功能,降低由 PHA 刺激后的皮褶厚度。

3) 从溶菌酶活性和超氧化物歧化酶活性的变化可反映出VD₃对非特异免疫机能的促进作用,也反应了机体免疫系统各种功能的平衡能力。

参 考 文 献

- 1 Abe J, Nakamura K, Takita Y, et al Prevention of immunological disorders in MRL/l mice by a new synthetic analogue of vitamin D₃: 22-oxal alpha, 25-dihydroxy vitamin D₃. J Nutr Sci Vitam inology, 1991, 36 (1): 21~ 31
- 2 Norman A W. The avian as an animal model for the study of the vitamin D endocrine system. J Exp

- Zoology Suppl, 1990, 4: 37~ 45
- 3 Majumdar S S, Bartke A, Stumpf W E. Vit D₃ modulates the effects of follicle-stimulating hormone on sertoli cells function and testicular growth in Siberian Hamster. Life Sci, 1994, 55 (19): 1478~ 1486
 - 4 Norman A W. Vitamin D: A Chemical, Biochemical And Clinical Update. Germany. Walter De Gruyter And Co, 1985
 - 5 李德发, 谯仕彦. 动物营养、疾病与免疫的关系. 见: 冯仰廉主编. 动物营养研究进展. 北京: 农业出版社, 1996, 23~ 40
 - 6 谢秩勋, 李素, 朱国标. 试验家兔血清中溶菌酶的测定. 中国兽医科技, 1994, 12(4): 32~ 33
 - 7 NRC. Nutrients requirement of swine. Washington DC: National Academic Press, 1988
 - 8 Panic B. The effect of different levels of vitamin D₃ on growth and plasma calcium and phosphorus concentration in weaned piglets. Zbornik-RagovaPoljoprivrednog-Fakuleteta, Univerzitet-u-Beogradu, 1991, 36: 595 (abstract)
 - 9 Quarternan J, Daldaro A C, Adams A, et al. The distribution of vitamin D between the blood and the liver in the pig and observations on the pathology of vitamin D toxicity. Br J Nutr, 1964, 18: 65~ 77
 - 10 管武太. 理想氨基酸模式提高猪生产性能的机理: [学位论文]. 北京: 中国农业大学, 1997
 - 11 杨凤主编. 动物营养学. 北京: 农业出版社, 1992
 - 12 Blencha D S, Polmann, Nichols D A. Weaning pigs at an early age decreases cellular immunity. J Ani Sci, 1983, 56 (2): 397~ 400
 - 13 Haggard D L, Stowe H D, Conner G H, et al. Immunologic effects of experimental iodine toxicants in young cattle. Am J Vet Res, 1980, 51: 539~ 547