

植酸酶对家禽日粮中植酸与营养物质代谢关系的影响

陆文总¹,高玉鹏¹,杨亚丽²,王文杰³,穆淑琴³

(1 西北农林科技大学 动物科技学院,陕西 杨凌 712100;2 商洛学院 生物医药工程系,陕西 商洛 726005;
3 天津市畜牧兽医研究所,天津 300112)

[摘 要] 为了探讨添加植酸酶后家禽日粮中植酸含量与营养物质代谢的关系,选用爱拔益加成年公鸡 24 只,随机分为 6 组,每组 4 个重复,设计日粮的植酸含量分别为 0,4,6,8,10 和 12 g/kg,以日粮中未添加植酸酶作为对照组,研究日粮中添加植酸酶(处理组)对磷平均真消化率、粗蛋白(CP)和赖氨酸表观消化率及表观代谢能的影响。结果表明,日粮的植酸含量为 4,6,8,10,12 g/kg 时,处理组与对照组相比,磷(P)的平均真消化率分别提高了 3.03%,10.12%($P<0.05$),16.90%($P<0.05$),37.71%($P<0.05$)和 28.14%($P<0.05$);表观代谢能(AME)分别提高了 0.018,0.078,0.191,0.309 和 0.217 MJ/kg;粗蛋白(CP)表观消化率分别提高了 0.24%,2.26%,3.60%,4.00%和 1.85%;赖氨酸(Lys)表观消化率分别提高了 1.01%,1.70%,3.05%,4.82%和 1.89%。磷真消化率、AME、CP 和 Lys 表观消化率分别与日粮的植酸含量呈负线性关系。由试验结果可知当日粮植酸含量为 10 g/kg 时,营养物质利用率提高幅度最大。

[关键词] 家禽日粮;植酸;植酸酶;营养物质代谢

[中国分类号] S831.5

[文献标识码] A

[文章编号] 1671-9387(2007)09-0019-06

Effect of pyhtase on relationship between nutrients metabolism and phytate contents of poul fed diets

LU Wen-zong¹,GAO Yu-peng¹,YANG Ya-li²,WANG Wen-jie³,MU Shu-qin³

(1 College of Animal Science and Technology, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;

2 Department of Biological Medicine Materials, Shangluo College, Shangluo, Shaanxi 726000, China;

3 Institute of Animal Science and Veterinaty Medicine of Tianjin, Tianjin 300112, China)

Abstract : To study the effect of microbial phytase on nutrients metabolism and to study the regressive equations of the nutrients metabolism with contents of phytic acid,24 Arbor Acres clocks were randomly divided into six treatments according to a random factorial arrangement ,and each treatment represented by four replicates of one clock each ,and clocks were fed diet with 0,4,6,8,10,12 g/kg phytic acid. The results showed that compared with control group ,average true digestibility of phosphorus was increased by 3.03 %,10.12 %($P<0.05$),16.90 %($P<0.05$),37.71 %($P<0.05$),and 28.14 %($P<0.05$), respectively ; apparent metabolisable energy was increased by 0.018,0.078,0.191,0.309 and 0.217 MJ/kg ,respectively ; apparent digestibility of crude protein was increased by 0.24 %,2.26 %,3.60 %,4.00 % and 1.85 %,respectively ;apparent digestibility of lysine was increased by 1.01 %,1.70 %,3.05 %,4.82 % and 1.89 %,respectively. Besides there was negative regressive equation relationship between true digestibility of phosphorus ,

†收稿日期] 2006-04-10

[基金项目] 天津市自然科学基金项目(003608411)

[作者简介] 陆文总(1979-),男,广西都安人,在读硕士,主要从事畜禽营养与调控研究。

[通讯作者] 高玉鹏(1956-),男,陕西白水人,教授,主要从事动物营养与饲料科学研究。

crude protein, Lysine, metabolism energy and phytic acid content in diets, respectively, which showed the nutrients digestibility were increased by added pyhtase in diets.

Key words : poultry diet ;phytic acid ;microbial phytase ;nutrients metabolism

植物性饲料中 2/3 磷以植酸磷形式存在,植酸(Phytic Acid, PA)中磷含量高达 28.2%。由于 PA 具有很强的络合性,既容易与钙、锌、铜、钴、锰、铁和镁等二价或三价阳离子络合成难溶性的盐,即影响这些元素的消化吸收^[1];又能与赖氨酸、组氨酸和精氨酸以及消化酶等络合,影响蛋白质的溶解性,并降低消化酶活性。在家禽日粮中添加植酸酶可以水解 PA,释放出被植酸络合的磷、钙、蛋白质、氨基酸和能量等营养物质。大量研究表明,植酸酶可以明显提高饲料报酬率及钙、磷利用率^[2-5]。李法忱等^[6]报道,植酸酶可分别提高生长公鸡粗蛋白质和赖氨酸(Lys)表观消化率 10%和 1%左右;Yi 等^[7]研究发现,植酸酶可以显著提高家禽必需氨基酸(EAA)的表观回肠消化率^[8];Clifford^[9]在蛋鸡试验中发现,植酸酶可为饲料提供 0.41 MJ/kg 的额外能量,在肉鸡试验中发现,饲料中添加 0.5 kg/t 的植酸酶,可提供 0.54 MJ/kg 额外能量;Farrell^[10]研究表明,小麦和豆饼日粮中添加酶制剂可以使代谢能提高 5%,因此在生产中可减少部分能量饲料的使用。可见,家禽日粮中添加植酸酶既能消除植酸的抗营养作用,又可以提高饲料营养物质的利用效率,还可减少养殖业排泄物中磷对环境的污染^[6,11-15]。

目前,植酸酶已广泛应用于家禽饲料中,其作用机制也得到较深入的研究。但是,有关在家禽日粮中添加植酸酶后,日粮 PA 含量与各种营养物质代谢率间关系的研究还未见报道。本试验通过研究家禽日粮中添加植酸酶后,PA 含量与主要营养物质代谢率的关系,旨在为家禽日粮添加植酸酶后,确定磷、代谢能、蛋白质及氨基酸的适宜水平提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 植酸酶 植酸酶由德国 BASF 有限公司提供,酶活性为 55 000 U/g。一个植酸酶单位(U)定义为:在 pH 值为 5.5、37℃条件下,能使 5.0 mmol/L 的植酸钠溶液中每 min 释放出 1 μmol 无机磷的植酸酶量。本试验植酸酶添加量为 1 200 U/kg,为生产厂家推荐量的 2 倍。

1.1.2 试验动物和日粮 选质量相近、采食正常、健康的爱拔益加成年公鸡 24 只,随机分为 6 组,每

组 4 个重复,每重复 1 只公鸡,采用单因子随机区组试验设计。日粮配制参考 NRC(1994)鸡的营养需要和标准^[16],配方及营养水平见表 1。

1.2 试验设计

试验分 3 期,第 1 期试验为内源磷排泄量试验,所有试验组均饲喂第 7 组日粮,测定 48 h 内源磷排泄量。第 2 期为对照组消化试验,6 个组分别饲喂 1 组(PA 含量为 0 g/kg)、2 组(PA 含量为 4 g/kg)、3 组(PA 含量为 6 g/kg)、4 组(PA 含量为 8 g/kg)、5 组(PA 含量为 10 g/kg)和 6 组(PA 含量为 12 g/kg)的日粮(PA 含量为各组配方原料的计算值);第 3 期为处理组消化试验,分别在每个对照组的日粮中添加 1 200 U/kg 植酸酶。第 1 期试验采用空腹 48 h 后,按重复收集 48 h 的粪尿,试验期 4 d;第 2 期和 3 期试验均采用空腹 48 h 后自由采食 2 h,准确记录每只鸡的采食量,采食后 48 h 按重复每天收集粪尿 2 次,每次收集完立即保存于 4℃条件下,第 2 期和 3 期试验各 10 d。收完粪尿后,将所有粪尿样品在 60~65℃下烘干至恒重,置室温下回潮 24 h,称量记录样品质量,混合均匀,粉碎,过孔径 0.25 mm 筛装瓶,测定水分,封存^[17]。

1.3 测定方法

磷(P)含量采用钼黄法,粗蛋白(CP)含量采用凯氏半微量定氮法测定,总能用全自动能量分析仪测定^[18],赖氨酸含量由中国饲料工业中心氨基酸自动分析仪测定,植酸含量根据国家标准测定^[19]。

1.3.1 表观代谢能计算 根据测得的饲料和排泄物的风干物总能,计算饲料原料的表观代谢能(AME)。

$$\text{AME}/(\text{MJ} \cdot \text{kg}^{-1}) = (W_1 \times E_1 - W_2 \times E_2) / W_1。$$

式中, W_1 为采食饲料风干质量(g), W_2 为 48 h 排泄量风干总质量(g), E_1 为单位饲料的能量(MJ/kg), E_2 为单位排泄物的能量(MJ/kg)。

1.3.2 养分利用率计算 根据测得的饲料和排泄物养分含量,计算饲料粗蛋白、赖氨酸(Lys)的表观消化率和磷真消化率。

$$\text{养分真消化率}/\% = (W_1 \times A_1 - W_2 \times A_2 + W_3 \times A_3) / (W_1 \times A_1) \times 100\%,$$

$$\text{养分表观消化率}/\% = (W_1 \times A_1 - W_2 \times A_2) / (W_1 \times A_1) \times 100\%。$$

式中, W_1 为采食饲料风干质量(g); W_2 为 48 h 量(g), A_1 、 A_2 、 A_3 分别为饲粮、排泄物、内源排泄物排泄量风干总质量(g), W_3 为 48 h 内源排泄物总质的某养分(粗蛋白、赖氨酸、磷)含量(%)。

表 1 试验成年公鸡饲粮组成及其营养水平

Table 1 Composition and nutrient level of experimental clocks diets

成份/(g·kg ⁻¹) Ingredient	配方 Dietary composition						
	1	2	3	4	5	6	7
玉米 Corn	-	372.3	646.3	834.6	807.4	773.0	-
葡萄糖 Glucose	437.7	108.3	-	-	-	-	502.5
麦饭石 Medical stone	20.6	22.8	19.9	15.0	11.0	11.0	-
淀粉 Starch	300.0	300.0	174.2	-	-	-	300.0
豆粕 Soybean meal	-	-	-	44.4	56.8	-	-
棉粕 Cottonseed meal	-	20.0	20.0	20.0	60.0	100.0	-
菜粕 Rapeseed meal	-	20.0	20.0	20.0	44.7	98.5	-
秘鲁鱼粉 Fish meal	207.0	134.7	99.8	45.5	-	-	-
石粉 Limestone	-	0.3	1.7	3.7	6.1	7.5	-
纤维素钠 CMC	32.2	19.0	12.8	6.2	-	-	30.0
食盐 Salt	-	0.1	1.5	3.4	4.9	4.8	0.5
预混料 Premix	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
蛋清粉 Egg Albumin Powder	-	-	-	-	-	-	160.0
磷酸氢钙 CaHPO ₄	-	-	1.3	4.7	6.6	2.7	-

营养水平 Nutrient level	配方 Dietary composition						
	1	2	3	4	5	6	7
粗蛋白/(g·kg ⁻¹)CP	130.0	130.0	130.0	130.0	130.0	139.3	130.0
能量(MJ·kg ⁻¹)ME	13.779	13.027	12.751	12.501	12.174	11.861	13.779
钙/(g·kg ⁻¹)Ca	7.6	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	0.0
总磷/(g·kg ⁻¹)TP	4.9	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	0.0
可利用磷/(g·kg ⁻¹)AP	4.9	3.8	3.5	3.2	2.7	2.2	0.0
赖氨酸/(g·kg ⁻¹)Lys	8.9	7.6	6.9	6.3	5.7	5.8	7.1
蛋氨酸/(g·kg ⁻¹)Met	3.6	3.5	3.5	3.3	2.9	3.1	3.0
粗纤维/(g·kg ⁻¹)CF	30.0	30.0	30.0	30.0	31.2	38.0	30.0

注:每 kg 预混料含:VA 320 万 IU;VD₃ 100 万 IU;VE 6 000 IU;VK₃ 1.2 g;VB₁ 0.52 g;VB₂ 3.2 g;VB₆ 1.3 g;VB₁₂ 0.004 5 g;生物素 70 mg;烟酸 20 g;氯化胆碱 240 g;Cu 2 g;Fe 3 g;Zn 20 g;Mn 32 g;Se 0.11 g;I 0.3 mg。营养水平均为计算值,“-”表示配方中未添加。
Note: One kilogram premix included VA 3 200 000 IU;VD₃ 1 000 000 IU;VE 6 000 IU;VK₃ 1.2 g;VB₁ 0.52 g;VB₂ 3.2 g;VB₆ 1.3 g;VB₁₂ 0.004 5 g;biotin 70 mg;niacin 20 g;chloride choline 240 g;Cu 2 g;Fe 3 g;Zn 20 g;Mn 32 g;Se 0.11 g;I 0.3 mg. The nutritional levels value were computed,“-”indicated the ingredient was not used in the dietary composition.

1.4 数据统计

数据采用 Excel 统计,并以“平均值±标准差”表示,应用 SAS 统计软件进行回归分析。

2 结果与分析

2.1 成年公鸡内源磷平均排泄量的比较

从表 2 可以看出,试验公鸡 48 h 内源磷平均排泄量存在一定的个体差异,其中第 5 组与第 4 组 48 h 内源磷平均排泄量差值最高,达 23.9 g/只,第 5 组与第 1 组的差值最低,为 5.4 g/只,整体平均值为 34.4 g/只。

2.2 添加植酸酶后不同植酸含量日粮中家禽养分消化率的变化

表 3 和表 4 表明,添加植酸酶后,随着日粮 PA 含量的增加,对照组和处理组成年公鸡磷平均真消

化率及 AME、CP 和 Lys 的表观消化率总体上均呈降低趋势。当日粮的 PA 含量为 0 g/kg 时,添加植酸酶后磷平均真消化率及 AME、CP 的表观消化率与对照组差异不大;但当日粮的 PA 含量分别为 4, 6,8,10,12 g/kg 时,磷平均真消化率及 AME、CP 和 Lys 的表观消化率较对照组均有明显提高。

表 2 各试验组成年公鸡内源磷平均排泄量的比较

Table 2 Average excretion of endogenous phosphorus of experimental clocks in different treatment

组别 Groups	48 h 内源磷平均排泄量/(g·只 ⁻¹) Average of endogenous phosphorus
1	39.9±0.101
2	33.8±0.077
3	29.1±0.288
4	21.4±0.430
5	45.3±0.334
6	36.9±0.188

表 3 添加植酸酶后不同 PA 含量日粮中磷平均真消化率和表观代谢能的变化

Table 3 Effect of added phytase on average true digestibility of phosphorus and apparent metabolisable energy of clocks by different phytic acid contents diets

组别 Groups	植酸含量/(g·kg ⁻¹) PA content	磷平均真消化率/% Average true digestibility of phosphorus		表观代谢能/(MJ·kg ⁻¹) Apparent metabolisable energy	
		对照组 Control	处理组 Treatment	对照组 Control	处理组 Treatment
1	0	45.90 ±1.96	46.03 ±0.04	12.220 ±0.162	12.214 ±0.087
2	4	44.56 ±0.91	45.91 ±0.04	12.253 ±0.816	12.271 ±0.709
3	6	40.12 ±0.14 a	44.18 ±0.26 b	12.098 ±0.343	12.176 ±0.214
4	8	35.27 ±0.46 a	41.23 ±0.13 b	11.870 ±0.241	12.061 ±0.256
5	10	31.93 ±0.20 a	43.97 ±0.42 b	11.023 ±0.355	11.312 ±0.260
6	12	28.11 ±0.77 a	36.02 ±0.84 b	10.352 ±0.436	10.569 ±0.178

注:同行数据后标不同小写字母者表示差异显著($P<0.05$)。
Note:Means with the different letter in a same column are significantly different($P<0.05$).

表 4 添加植酸酶后不同植酸含量日粮中鸡粗蛋白和赖氨酸表观消化率的变化

Table 4 Effect of added phytase on apparent digestibility of crude protein and lysine of clocks by different phytic acid contents diets

组别 Groups	植酸含量/(g·kg ⁻¹) PA content	粗蛋白表观消化率 Apparent digestibility of crude protein		赖氨酸表观消化率 Apparent digestibility of lysine	
		对照组 Control	处理组 Treatment	对照组 Control	处理组 Treatment
1	0	81.77 ±1.96	81.85 ±2.08	89.84	90.12
2	4	75.86 ±0.91	76.04 ±1.13	83.17	84.01
3	6	77.02 ±2.13	79.79 ±1.55	83.55	84.97
4	8	76.32 ±2.56	77.47 ±3.90	80.87	83.34
5	10	70.54 ±1.20	73.36 ±2.57	74.86	78.65
6	12	69.11 ±2.82	70.39 ±2.07	66.67	67.93

2.3 添加植酸酶后日粮中植酸含量与养分利用率的关系

表 5 显示,日粮中添加植酸酶后,磷真消化率、AME、CP 和 Lys 表观消化率与日粮中 PA 含量均

呈负线性关系,其中 Lys 表观消化率与日粮中 PA 含量的相关性达极显著水平。表明随着日粮中 PA 含量的提高,各养分利用率均呈降低的趋势。

表 5 日粮中添加植酸酶后 PA 含量与养分利用率的回归方程及相关性

Table 5 Relation between nutrients digestibility and phytate content and the correlation parameter by added phytase in diets

营养指标 Nutrition index	回归方程 Regression equation	相关系数(R) Correlation coefficient (R)	P 值 P-value
P	$y = - 6.9857x + 47.507$	0.798	0.058
AME	$y = - 310.45x + 3022.1$	0.818	0.048
CP	$y = - 8.4053x + 82.087$	0.865	0.026
Lys	$y = - 18.602x + 92.111$	0.949	0.004

注:y 表示养分的表观消化率(其中磷为真消化率),x 表示植酸含量。
Note:y denotes digestibility of nutrients but phosphorus,x denotes content of PA in experimental dies.

3 讨论

植物性饲料原料中,PA 含量一般为 6~45 g/kg^[20],PA 分子中含有 6 个磷酸基团,带有丰富的磷。家禽日粮中植酸盐非常稳定,由于单胃动物自身不能分泌分解植酸盐的植酸酶,故植酸盐中的磷基本上不能被单胃动物利用^[21]。添加植酸酶可以催化植酸盐的水解反应,使其中的磷以无机磷形式游离出来,从而被单胃动物吸收利用。本试验发现,日粮中添加 1 200 U/kg 植酸酶后,与对照组相比,

磷的平均真消化率提高幅度较大,其中以日粮中 PA 含量为 10 g/kg 时的提高幅度最大,为 37.71%。此结果与国内外一些报道一致^[2-5];但随着日粮中 PA 含量的增加,磷平均真消化率的提高幅度则呈下降趋势,日粮的 PA 含量为 12 g/kg 时,磷的平均真消化率提高幅度为 28.14%。说明植酸酶发挥作用是有限的。这可能是由于饲料原料中除 PA 外的其他抗营养因子影响了磷的代谢,植酸酶水解 PA 释放出来的钙、锌、铜等矿物元素离子也可能会抑制磷的吸收利用。此外 PA 常以各种形式的植酸盐存

在于各原料中,这种结构的复杂性也会造成 PA 水解产物不同而对动物机体代谢产生影响。

植酸酶可通过打断酯键释放与 PA 结合的磷,同时也可使与 PA 结合的蛋白质基团获得自由,消除 PA 对蛋白水解酶的不良作用,促进蛋白质和氨基酸的消化吸收^[22]。本试验结果显示,日粮中添加植酸酶后,CP 表观消化率提高了 0.24%~4.00%;Lys 表观消化率提高了 1.01%~4.82%,这与国内外相关报道一致^[6-8],而且随着日粮中 PA 含量增加均呈下降趋势,CP 和 Lys 表观消化率与日粮 PA 含量的回归方程相关性均显著。但当日粮中 PA 含量为 12 g/kg 时,日粮中添加植酸酶后,CP 和 Lys 表观消化率的提高幅度比 PA 含量为 10 g/kg 时低,这与 Ravindram 等^[23]的研究结果相类似。一个原因可能是 PA 与蛋白质发生反应,生成植酸-蛋白质二元复合物(在低于蛋白质等电点 pH 介质下),或以金属阳离子为桥生成植酸-金属阳离子-蛋白质三元复合物(在高于蛋白质等电点 pH 介质下),这些复合物的形成降低了蛋白质的生物学效价。此外,PA 及其不完全水解产物还可抑制动物胃肠道中蛋白水解酶的作用,降低对日粮蛋白质的消化率^[1]。另外一个原因可能是在 PA 含量达 8 g/kg 后,日粮成分变化较大,豆粕、菜粕、棉粕添加量明显增多而引起的。豆粕中的胰蛋白酶抑制因子和抗原蛋白等抗营养因子抑制蛋白质的消化,增加内源氮的损失;棉粕中的棉酚能破坏蛋白质的代谢,Lys 与棉酚会发生不可逆结合;菜粕中的硫葡萄糖苷、芥子酸也会影响机体对营养物质的吸收利用^[24]。

在日粮中添加植酸酶后,磷和蛋白质利用率提高必然会提高日粮能量利用率,因为磷既是能量代谢的参与者,也是 ATP、磷酸肌酸的组成部分,而蛋白质利用率的提高会减少氨基酸分解代谢和尿素形成与排泄的能量消耗率^[25]。而且植酸酶消除了 PA 对淀粉酶等一些消化酶的抑制作用,减低了消化道内能量的消耗,提高了动物内脏器官的代谢活性,从而提高了动物机体对能量的吸收利用。此外,植酸酶可提高动物对矿物元素的吸收,从而提高动物机体血浆容量和血压,会有更多的血浆化合物滤过到原尿中去,又被重新吸收,肾脏尿滤作用增强使许多富含能量的有机化合物被重吸收。也有可能是植酸酶水解了钠-植酸和钾-植酸络合物,释放出更多的 Na^+ 、 K^+ ,增强了 $\text{Na}^+\text{-K}^+\text{-ATPase}$ 系统,使更多能量得到贮存^[26]。本试验中,日粮中添加植酸酶后,处理组较对照组 AME 提高了 0.018~0.309

MJ/kg,这与一些研究报道相似^[9-10,27]。日粮 PA 含量为 0~8 g/kg 时,随 PA 含量增加 AME 呈小幅度下降;日粮的 PA 含量为 8 g/kg 之后,AME 呈现明显的下降趋势,这与 Ravindram 等^[23]的报道相似。说明植酸酶对日粮中 PA 的作用所能释放出来的磷、蛋白等营养物质有限。

[参考文献]

- [1] 何欣,计成,丁丽敏,等.植酸酶的研究及其在养鸡业中的应用[C]//汪微.饲料毒物与抗营养因子研究进展.西安:西北大学出版社,1997:170-171.
- [2] Cheng Y H. Utilizing *Solanum glaucophyllum* alone or with phytase to improve phosphorus utilization in broilers[J]. Poultry Science, 2004, 83(3): 406-413.
- [3] Camden B J. Effectiveness of exogenous microbial phytase in improving the bioavailabilities of phosphorus and other nutrients in maize-soya-bean meal diets for broilers[J]. Animal Science, 2001, 73(2): 289-297.
- [4] Demyr E, Sekerodlu A. The efficacy of phytase in broiler diets containing low phosphorus, calcium and crude protein[J]. The Indian Journal of Animal Sciences, 2002, 72(6): 513-515.
- [5] Adedokun S A. Determining the equivalent phosphorus released by an *Escherichia coli*-derived phytase in broiler chicks[J]. Canadian Journal of Animal Science, 2004, 84(3): 437-444.
- [6] 李法忱,王星凌,朱承满,等.高活性植酸酶饲喂生长公鸡代谢试验[J].山东农业科学, 2002(5): 37-38.
- [7] Yi Z, Kornegay E T, Ravindran V. Improving phytate phosphorus availability in corn and soybean meal for broilers using microbial phytase and calculation of phosphorus equivalency values for phytase[J]. Poultry Science, 1996, 75(2): 240-249.
- [8] Ravindram V. Response of broiler chickens to microbial phytase supplementation as influenced by dietary phytic acid and nonphytate phosphorus levels II Effects on apparent metabolisable energy digestibility and nutrient retention[J]. British Poultry Science, 2000, 41(2): 193-200.
- [9] Clifford. 酶制剂的表观能量值用于最低成本家禽日粮配方的策略[J]. 袁森泉,译.国外畜牧学——饲料, 1994(2): 30-32.
- [10] Farrell D J. Strategies to improve the nutritive value of rice bran in poultry diets III The addition of inorganic phosphorus and a phytase to duck diets[J]. British Poultry Science, 1998, 39(5): 601-611.
- [11] Nahm K H. Current pollution and odor control technologies for poultry[J]. Avian and Poultry Biology Reviews, 2003, 14(4): 151-174.
- [12] Paik I K. Management of excretion of phosphorus, nitrogen and pharmacological level minerals to reduce environmental pollution from animal production [J]. Asian-Australasian Journal of Animal Sciences, 2001, 14(3): 384-394.
- [13] 张若寒,张莹.植酸酶对种鸡生产性能及种蛋孵化性能影响的研究[J].中国畜牧杂志, 1997, 33(5): 5-8.

- [14] 张若寒. 植酸酶的潜在营养价值[J]. 中国饲料, 1999(10): 24-25.
- [15] 丁宏标, 黄水生. 玉米-豆粕型肉鸡日粮中添加重组植酸酶效果的研究[J]. 动物营养学报, 2002, 14(2): 19-22.
- [16] 动物营养委员会家禽分会(NRC). 家禽营养需要[M]. 9 版. 蔡辉益, 文生, 杨禄良, 译. 北京: 中国农业出版社, 1994.
- [17] 霍启光. 饲料生物学评定技术[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1996.
- [18] 杨胜. 饲料分析及饲料质量检测技术[M]. 北京: 北京农业大学出版社, 1993.
- [19] 刘胜杰, 曲宁, 元晓梅. GB/T 5009.153-2003 植物性食品中植酸的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2003.
- [20] 黄遵锡, 章克昌. 植酸在饲料工业的生物学作用[J]. 饲料研究, 1998(9): 15-16.
- [21] Leslie A J. The ever-increasing role of biotechnology in the poultry industry: lessons from the past and thoughts for the future[R]. Nicholasville K Y. Alltech's 10th Annual Asia-Pacific Lecture Tour, 1996: 65-84.
- [22] Biehl R R, Baker D H, Deluca H F. α -Hydroxylated cholecalciferol compounds act additively with microbial phytase to improve phosphorus, zinc and manganese utilization in chicks fed soy-based diets[J]. Journal of Nutrition, 1995, 125(9): 2407-2416.
- [23] Ravindram V, Bryden W L. Influence of dietary phytic acid and available phosphorus levels on the response of broilers to supplemental Nataphos[EB/OL][2006-04-5] http://www.chinafeed.org.cn/cms/_code/business/include/php/135197.htm
- [24] 吉红. 鱼用植物性蛋白饲料中抗营养因子的影响及其对策[C]//汪傲. 饲料毒物与抗营养因子研究进展. 西安: 西北大学出版社, 1997: 103-105.
- [25] 张克英, 陈代文, 余冰, 等. 饲料中添加植酸酶对断奶仔猪生长性能及蛋白质、氨基酸和磷利用率的影响[J]. 动物营养学报, 2001, 13(3): 19-22
- [26] Arie K K, Walter J G, Johan W, et al. Mineral absorption and excretion as affected by microbial phytase, and their effect on energy metabolism in young piglets[J]. Journal of Nutrition, 2005, 135: 1131-1138.
- [27] Shirley R B, Edwards H M. Graded levels of phytase past industry standards improves broiler performance[J]. Poultry Science, 2003, 82(4): 671-680.

(上接第 18 页)

[参考文献]

- [1] Clade H, Francoise M, James P. Immunogenicity and protective efficacy of influenza vaccination[J]. Virus Research, 2004, 103: 133-138.
- [2] Reid A A, Fanning T G, Hultin J V. Origin and evolution of the 1918 "Spanish" influenza virus hemagglutinin gene[J]. Proc Natl Sci, 1999, 96: 1651-1656.
- [3] Ferguson N M, Galvani A P, Bush R M. Ecological and immunological determinants of influenza evolution[J]. Nature, 2003, 422: 428-433.
- [4] Takada A, Kuboki N, Okazaki K. Avirulent avian influenza virus as a vaccine strain against a potential human pandemic[J]. J Virol, 1999, 73(10): 8303-8307.
- [5] Neumann G, Kawaoka Y. Synthesis of influenza virus: new impetus from and old enzyme, RNA polymerase I[J]. Virus Res, 2002, 82: 153-158.
- [6] Neumann G, Kawaoka Y. Reverse genetics of influenza virus[J]. Virology, 2001, 287: 243-250.
- [7] Hoffmann E, Neumann G, Kawaoka Y, et al. A DNA transfection system for generation of influenza A virus from eight plasmids[J]. Proc Natl Acad Sci, 2000, 97: 6108-6113.
- [8] Hoffmann E, Krauss S, Perez D, et al. Eight-plasmid system for rapid generation of influenza virus vaccines[J]. Vaccine, 2002, 20: 3165-3170.
- [9] Hoffmann E, Stech J, Guan Y, et al. Universal primer set for the full-length amplification of all influenza A viruses[J]. Arch Virol, 2001, 146: 2275-2289.
- [10] Sambrook J, Fritsch E F, Maniatis T. 分子克隆实验指南: 现代生物技术译丛[M]. 2 版, 金冬雁, 译. 黎孟枫, 校. 北京: 科学出版社, 2002.
- [11] 郭元吉, 程小雯. 流行性感冒病毒及其实验技术[M]. 北京: 中国三峡出版社, 1997.
- [12] Lawson N D, Stillman E A, Whitt M A, et al. Recombinant vesicular stomatitis viruses from DNA[J]. Proc Natl Acad Sci USA, 1995, 92: 4477-4481.
- [13] Radecke F, Spielhofer P, Schneider H, et al. Rescue of measles viruses from cloned DNA[J]. EMBO J, 1995, 14: 5773-5784.
- [14] Schneider H, Spielhofer P, Kaelin K, et al. Rescue of measles virus using a replication-deficient vaccinia-T7 vector[J]. J Virological Methods, 1997, 64: 57-64.
- [15] Takeda M, Takeuchi K, Miyajima N, et al. Recovery of pathogenic measles virus from cloned cDNA[J]. J Virol, 2000, 74: 6643-6647.