

微生物植酸酶与 1~21 日龄肉鸡饲粮 无机磷当量模型研究

韩进诚¹, 杨晓丹¹, 杨凤霞¹, 姚军虎^{1*}, 刘玉瑞², 陈新科³,
王耀杰², 周镇锋³, 许晋荣², 冯新雨³

(1. 西北农林科技大学动物科技学院, 杨凌 712100; 2. 深圳康达尔(高陵)饲料有限公司,
高陵 710200; 3. 广东溢多利生物科技股份有限公司, 珠海 519060)

摘要: 本试验研究饲粮非植酸磷(NPP)和植酸酶添加水平对 1~21 日龄肉鸡生长性能、养分利用、血液指标及胫骨发育的影响, 确定微生物植酸酶与无机磷当量关系。试验设计 10 个处理, 每个处理 4 个重复, 每个重复 10 只鸡。前 4 种饲粮 NPP 水平为 2.1、2.9、3.7 和 4.5 g/kg; 后 6 种饲粮在基础饲粮(NPP 2.1 g/kg, 总磷(tP) 4.5 g/kg)中添加植酸酶 250、500、1 000、2 000、4 000 和 8 000 U/kg。结果显示:(1)随饲粮 NPP 水平升高, 肉鸡体增重、采食量、饲料转化率、血浆无机磷浓度、胫骨长度、强度、灰分含量与重量、胫骨磷含量以及粗蛋白质、tP 和 Ca 利用率呈二次曲线升高, 而死亡率、血浆 Ca 含量及碱性磷酸酶活性呈二次曲线降低;(2)随植酸酶水平升高, 肉鸡生长性能、血浆和胫骨指标、养分利用率呈现与 NPP 水平增加类似的趋势;(3)当植酸酶水平达到 8 000 U/kg 时, 肉鸡生长性能、血浆和胫骨指标以及粗蛋白质利用率达到对照组(NPP 4.5 g/kg)水平, 总磷利用率提高到 85%, 植酸磷释放率达到 94.84%;(4)以胫骨灰分重量为指标, 饲粮中无机磷释放量(y, g/kg)与微生物植酸酶添加水平(x, U/kg)之间的关系模型为 $y = 0.4254 \times \log_2(1 + x/250) + 0.283$ (n=7, $R^2 = 0.9153$, $P = 0.0007$)。结果表明, 高水平植酸酶可降解肉鸡饲粮中几乎全部植酸磷, 植酸酶添加水平与无机磷当量模型可为确定配方中磷水平提供参考。

关键词: 肉鸡; 磷; 植酸酶; 模型

中图分类号: S816.71; S831.5

文献标识码: A

文章编号: 0366-6964(2008)07-0907-08

Model to Predict Inorganic Phosphate Release from Phytate Phosphorus by Microbial Phytase in 1 to 21-day-old Broilers

HAN Jin-cheng¹, YANG Xiao-dan¹, YANG Feng-xia¹, YAO Jun-hu^{1*}, LIU Yu-rui²,
CHEN Xin-ke³, WANG Yao-jie², ZHOU Zhen-feng³, XU Jin-rong², FENG Xin-yu³

(1. College of Animal Science and Technology, Northwest A&F University,
Yangling 712100, China; 2. Shenzhen Kondarl Group (Gaoling) Feed Co. Ltd.,
Gaoling 710200, China; 3. Guangdong VTR Bio-Tech Co. Ltd., Zhuhai 519060, China)

Abstract: An experiment was conducted to determine effects of non-phytate phosphorus (NPP) and microbial phytase on performance, nutrient utilization, tibia development and plasma parameters in 1 to 21-day-old broiler chicks fed with a corn-soybean meal diet and to evaluate the equivalency values of microbial phytase for inorganic phosphate (Pi). On the day of hatch, 400, mixed sex, Arbor Acres chicks were allotted into treatments of ten chicks per pen with four pens per treatment. Ten experimental diets were formulated. Diet 1 (basal diet) to 4 contained 2.1, 2.9, 3.7, and 4.5 g/kg NPP. The PP content in all diets was 2.4 g/kg. To the basal diet, diet 5 to 10 was supplemented with microbial phytase 250, 500, 1 000, 2 000, 4 000 and 8 000 U/kg, respec-

收稿日期: 2007-06-21

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2006BAD12B06)

作者简介: 韩进诚(1977-), 男, 河北献县人, 博士生, 主要从事动物营养与饲料科学研究, E-mail: hjincheng@126.com

* 通讯作者: 姚军虎, E-mail: yaojunhu2004@sohu.com

tively. The results showed that body weight gain, feed intake, feed conversion rate, plasma Pi concentration, tibia length and strength, tibia ash weight and content, tibia P, and total P retention increased, but mortality and plasma alkaline phosphatase activity decreased with dietary NPP or phytase levels increasing. The relationship between dietary NPP or phytase levels and broilers growth was quadratic. When 8 000 U/kg phytase added, about 94.84% phytate phosphorus was hydrolyzed, and broilers growth performance was equal to those fed with diet of 4.5 g/kg NPP. The model to predict inorganic phosphate releasing from phytate phosphorus by microbial phytase was as follows: $y = 0.4254 \log_2(1 + x/250) + 0.283$ ($n=7$, $R^2 = 0.9153$, $P=0.0007$), where y is the phosphate releasing (g/kg) and x is the microbial phytase level (U/kg). This experiment indicated that high level microbial phytase could hydrolyze almost all phytate phosphorus and the model could be helpful to poultry diets formulation for nutritionist and managers.

Key words: broiler; phosphorus; microbial phytase; model

动物饲料磷以无机磷(Pi)和有机磷(植酸磷, PP)形式存在。植酸主要贮存于植物种子内,是磷的主要贮存形式,而其中50%~80%是植酸磷,很难被家禽利用^[1]。肉仔鸡饲料中添加植酸酶可提高PP利用率。肉仔鸡自身对PP消化率为25%~30%^[2-3]。通常肉仔鸡饲料中植酸酶添加量为250~1 000 U/kg,PP消化率为30%~70%^[4-6]。超过1 000 U/kg时,添加植酸酶没有改善作用^[7]。但Shirley和Edwards^[8]研究发现,向1~16日龄肉鸡饲料中添加高水平植酸酶(12 000 U/kg)可使PP消化率达到94.7%。表明,通过添加植酸酶,肉鸡饲料中PP可完全降解释放出Pi,而通常饲料中植酸酶添加量未达到完全降解PP的程度。因此,提高PP消化率的空间在30%~70%。

在酶制剂与动物生长性能关系的研究中,很多学者进行了尝试和探索。Zhang等^[9-10]经系列试验后认为,饲料酶水平与肉鸡生长性能的关系可以用对数-线性模型进行估测。该模型的提出为研究植酸酶与家禽生长性能、磷利用率的关系奠定了基础。基于这种思路,Shirley和Edwards^[8]研究了植酸酶水平与肉鸡生长性能、胫骨发育的关系;但在试验中,他们将植酸酶水平转化为 $\log_{10}(x+1)$ 和 $\log_{10}(x+100)$ 2种形式。考虑到饲料厂家设计饲料植酸酶水平的实际需要,本研究中使用 $\log_2(1+x/250)$ 植酸酶水平的转化形式,结合我国肉鸡饲料营养水平及饲养现状,确定植酸酶和饲料无机磷释放量之间的定量关系,为合理设计家禽饲料磷水平提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验动物

将400只1日龄爱拔益佳(AA)肉雏鸡随机分为10个处理,每个处理4个重复,每个重复10只。粉料饲喂,自由采食、饮水。

1.2 饲料设计

设计10种饲料:前4种饲料NPP水平为2.1、2.9、3.7和4.5 g/kg,后6种饲料在基础饲料(NPP 2.1 g/kg,总磷4.5 g/kg)中添加植酸酶250、500、1 000、2 000、4 000和8 000 U/kg。通过调节磷酸氢钙和石粉用量,维持饲料磷的适宜梯度,其他营养指标一致(表1)。试验所用植酸酶由广东溢多利生物科技股份有限公司提供,酶活性为5 000 U/g。

1.3 饲养管理

鸡舍温度控制:1~3日龄35℃,4~7日龄33℃,8~14日龄30℃,15~21日龄25℃。光照制度:1~3日龄23~24 h,4~7日龄20 h,8~21日龄18 h。免疫程序:3日龄肾传支、8日龄新城疫-传支二联苗、21日龄法氏囊冻干苗,均以饮水方式免疫。整个试验期间,肉仔鸡避免阳光及紫外线照射,以免机体合成维生素D₃。

1.4 样品收集与分析

肉鸡分别在1和21日龄称重。每天记录死亡和发病鸡数,死亡鸡只称重,扣除采食量。统计试验期采食量,计算饲料转化率。

用全收粪法于17~21日龄进行代谢试验。16日龄20:00停料,17日龄08:00加料,并开始收粪,

表 1 试验饲粮组成
Table 1 Composition of the experimental diets

原料 Ingredient	饲粮 1 Diet 1	饲粮 2 Diet 2	饲粮 3 Diet 3	饲粮 4 Diet 4
玉米 Corn	62.78	62.41	62.02	61.72
豆粕 Soybean meal	29.14	29.14	29.14	29.14
豆油 Soybean oil	1.00	1.00	1.00	1.00
猪油 Swine lard	0.13	0.26	0.40	0.54
玉米蛋白粉 Corn gluten meal	3.15	3.20	3.25	3.31
石粉 Limestone	2.26	1.96	1.67	1.38
磷酸氢钙 Dicalcium phosphate	0.48	0.97	1.46	1.95
L-赖氨酸盐 L-Lysine	0.21	0.21	0.21	0.21
DL-蛋氨酸 DL-Methionine	0.16	0.16	0.16	0.16
维生素预混料 Vitamin premix ¹	0.04	0.04	0.04	0.04
微量元素预混料 Trace mineral premix ²	0.15	0.15	0.15	0.15
氯化胆碱 Choline chloride	0.20	0.20	0.20	0.20
食盐 Salt	0.30	0.30	0.30	0.30
营养成分 Nutrient composition				
表观代谢能 AME / (MJ/kg) ³	12.25	12.25	12.25	12.25
粗蛋白 CP ³	20.00	20.00	20.00	20.00
粗蛋白 CP ⁴	20.82	20.27	20.36	20.11
钙 Ca ³	1.00	1.00	1.00	1.00
钙 Ca ⁴	1.15	1.14	1.19	1.11
总磷 Total P ³	0.45	0.53	0.61	0.69
总磷 Total P ⁴	0.44	0.50	0.59	0.67
植酸磷 Phytate P ³	0.24	0.24	0.24	0.24
植酸磷 Phytate P ⁴	0.22	0.25	0.25	0.23

¹ 维生素预混料向每 kg 饲粮提供:维生素 A,8 000 IU;维生素 D₃,1 000 IU;维生素 E,20 IU;维生素 K,0.5 mg;硫胺素,2.0 mg;核黄素,8.0 mg;烟酸,35 mg;维生素 B₆,3.5 mg;维生素 B₁₂,0.01 mg;泛酸,10.0 mg;叶酸,0.55 mg;生物素,0.18 mg。

² 微量元素预混料向每 kg 饲粮提供:铁,100 mg;锌,100 mg;铜,8 mg;锰,120 mg;碘,0.7 mg;硒,0.3 mg。³ 计算值。⁴ 实测值

¹ Vitamin premix provided the following (per kg of diet): vitamin A, 8 000 IU; vitamin D₃, 1 000 IU; vitamin E, 20 IU; menadione, 0.5 mg; thiamine, 2.0 mg; riboflavin, 8.0 mg; niacin, 35 mg; pyridoxine, 3.5 mg; vitamin B₁₂, 0.01 mg; pantothenic acid, 10.0 mg; folic acid, 0.55 mg; biotin, 0.18 mg. ² Trace mineral premix provided the following (per kg of diet): iron, 100 mg; zinc, 100 mg; copper, 8 mg; manganese, 120 mg; iodine, 0.7 mg; selenium, 0.3 mg. ³ Calculated value.

⁴ Determined value

21 日龄 08:00 结束收粪。收集的粪便立即放入冰箱冷冻,不加硫酸或甲醛。4 d 的粪便收集到一起。粪样解冻,按比例取粪样,混合均匀,60℃烘干 24 h。测定指标包括水分、Ca、tP、CP 和总能。EDTA 滴定法测定 Ca,钼黄比色法测定 tP,凯氏定氮法测定粗蛋白,自动氧弹测定仪测定总能,三氯乙酸法测定植酸磷含量。

每个重复取 1 只鸡在 22 日龄进行屠宰试验。用 1 mg/mL 肝素钠溶液润湿注射器,心脏采血 5 mL,3 000×g 离心 10 min,分离的血浆放入冰箱冷冻保存。测定指标包括血浆 Ca、Pi、总蛋白质含量

和碱性磷酸酶(AKP)活性,测定仪器为岛津生化自动分析仪。

屠宰试验分别取左右胫骨,放入样品袋,密封,冷冻保存。左胫骨测定胫骨长度、重量、灰分及 Ca、P 含量,右胫骨测定胫骨强度。将左胫骨在沸水中煮 3~5 min,去除残余肌肉、腓骨,剥离干净后,无水酒精浸泡 36 h,乙醚抽提 36 h,除去水分和脂肪。烘箱中 100℃烘干 24 h,测定胫骨重量和长度。将胫骨压碎,放入坩埚,于茂福炉中 600℃灰化 18 h,测定灰分含量。加入盐酸溶解,测定 Ca、P 含量。将右胫骨晾干,用数显万能试验机测定胫骨折断力

(即胫骨强度),参数设置:跨度 40 mm,单位负荷 50 kg,位移速度 10 mm/min。

饲料 CP、Ca、P 表观代谢率计算公式为:养分表观代谢率 = $100 \times [\text{采食量}(\text{kg}) \times \text{养分含量}(\%) - \text{粪便排泄量}(\text{kg}) \times \text{养分含量}(\%)] \div [\text{采食量}(\text{kg}) \times \text{养分含量}(\%)]$ 。

饲料表观代谢能计算公式为:AME = $[\text{采食量}(\text{kg}) \times \text{饲料总能}(\text{MJ}/\text{kg}) - \text{粪便排泄量}(\text{kg}) \times \text{粪便总能}(\text{MJ}/\text{kg})] \div \text{采食量}(\text{kg})$ 。以上计算公式均以样品干物质为基础。

无机磷释放率计算公式为:无机磷释放率 = $100 \times [(\text{理论 Pi 当量} - \text{饲料 NPP 含量}) \div \text{饲料 PP 含量}]$ 。

1.5 统计分析

以每个重复为试验单元,用 SAS 9.0 统计软件

对试验数据进行 ANOVA 分析和多重比较,并用一次或二次曲线模型分别模拟饲料 NPP 水平与生长性能、经对数转化的植酸酶水平 $x' = \log_2(x + 1/250)$ 与生长性能的关系。

2 结果

2.1 饲料非植酸磷(NPP)和植酸酶水平对肉鸡生长性能的影响

由表 2 可见,随饲料 NPP 水平升高,肉鸡体增重($P < 0.0001$)、采食量($P < 0.0001$)、饲料转化率($P = 0.0343$)提高,死亡率($P = 0.0753$)降低。NPP 水平为 3.7 和 4.5 g/kg 时,2 组间体增重和采食量差异不显著($P > 0.05$)。

表 2 饲料非植酸磷和植酸酶水平对 1~21 日龄肉鸡生长性能的影响
Table 2 Effect of NPP and phytase on growth of 1 to 21-day-old broilers

处理 Treatment	非植酸磷/(g/kg) NPP	植酸酶/(U/kg) Phytase	体增重/(g/只) BWG	采食量/(g/只) FI	增重/采食量 FCR	死亡率/% Mortality
1	2.1	0	335.68 ^e	629.24 ^e	0.566 ^b	20.00 ^a
2	2.9	0	472.24 ^{de}	798.28 ^{bcd}	0.621 ^a	5.00 ^b
3	3.7	0	554.75 ^a	893.13 ^a	0.653 ^a	0 ^b
4	4.5	0	556.54 ^a	918.63 ^a	0.637 ^a	7.50 ^b
5	2.1	250	440.04 ^f	765.38 ^d	0.604 ^{ab}	7.50 ^b
6	2.1	500	451.48 ^{ef}	790.92 ^{cd}	0.601 ^{ab}	5.00 ^b
7	2.1	1 000	493.97 ^{cd}	840.00 ^{abcd}	0.618 ^{ab}	2.50 ^b
8	2.1	2 000	509.11 ^{bc}	856.25 ^{abc}	0.627 ^a	7.50 ^b
9	2.1	4 000	532.68 ^{ab}	873.78 ^{ab}	0.640 ^a	2.50 ^b
10	2.1	8 000	545.00 ^a	889.50 ^a	0.643 ^a	2.50 ^b
	SEM		10.771 9	14.631 5	0.006 0	1.377 5
变异来源 Source of variation		df		P 值	P value	
处理 Treatment		9	<0.000 1	<0.000 1	0.038 8	0.042 2
非植酸磷 NPP		3	<0.000 1	<0.000 1	0.034 3	0.075 3
植酸酶 Phytase		6	<0.000 1	<0.000 1	0.096 8	0.003 3

在 NPP 2.1 g/kg 饲料中添加植酸酶可提高肉鸡体增重($P < 0.0001$)、采食量($P < 0.0001$)和饲料转化率($P = 0.0968$),降低死亡率($P = 0.0033$)。添加 250 U/kg 植酸酶时,肉鸡体增重和采食量较基础饲料组显著提高,死亡率显著降低;添加 4 000 U/kg 植酸酶时,肉鸡体增重、采食量、饲料转化率、死亡率与对照组(NPP 4.5 g/kg)及植酸酶水平

8 000 U/kg 组间无显著差异($P > 0.05$)。

2.2 饲料非植酸磷和植酸酶水平对血浆指标的影响

由表 3 可见,随饲料 NPP 水平升高,血浆 Pi 浓度增加($P < 0.0001$),血浆 AKP 活性降低($P < 0.0001$),血浆 Ca 和总蛋白质含量不受影响($P > 0.05$)。

表 3 饲粮非植酸磷和植酸酶水平对 21 日龄肉鸡血浆矿物元素、总蛋白质含量和碱性磷酸酶活性的影响

Table 3 Effect of NPP and phytase on plasma minerals, total protein and AKP in 21-day-old broilers

处理 Treatment	非植酸磷/(g/kg) NPP	植酸酶 /(U/kg)Phytase	钙/(mg/100 mL) Ca	无机磷 /(mg/100 mL)Pi	总蛋白质 /(g/100 mL)TP	碱性磷酸酶 /(U/L)AKP
1	2.1	0	14.00 ^{ab}	2.50 ^f	3.37	3 948.5 ^a
2	2.9	0	12.66 ^{ab}	4.39 ^{cd}	3.02	3 062.4 ^b
3	3.7	0	10.35 ^b	6.26 ^b	2.79	1 700.8 ^d
4	4.5	0	11.87 ^{ab}	7.24 ^a	3.10	1 958.9 ^{cd}
5	2.1	250	13.63 ^{ab}	3.54 ^{de}	3.04	4 014.6 ^a
6	2.1	500	14.63 ^a	3.35 ^{ef}	3.01	4 080.8 ^a
7	2.1	1 000	13.92 ^{ab}	4.40 ^c	3.16	4 006.5 ^a
8	2.1	2 000	11.59 ^{ab}	5.91 ^b	3.14	2 873.3 ^b
9	2.1	4 000	10.93 ^b	6.67 ^{ab}	3.07	2 572.6 ^{bc}
10	2.1	8 000	11.43 ^{ab}	6.38 ^{ab}	3.18	2 287.2 ^{bed}
	SEM		0.342 3	0.261 4	0.038 4	156.873 2
变异来源 Source of variation		df		P 值 P value		
处理 Treatment		9	0.096 3	<0.000 1	0.195 0	<0.000 1
非植酸磷 NPP		3	0.187 0	<0.000 1	0.195 0	<0.000 1
植酸酶 Phytase		6	0.263 5	<0.000 1	0.535 0	0.000 2

在 NPP 水平 2.1 g/kg 基础饲粮中添加植酸酶可提高血浆 Pi 浓度 ($P < 0.000 1$), 降低 AKP 活性 ($P = 0.000 2$), 趋于减小血浆 Ca 浓度 ($P > 0.05$), 血浆总蛋白质含量未受植酸酶显著影响 ($P > 0.05$)。添加植酸酶 250 U/kg 时, 血浆 Pi 浓度较基础饲粮组显著提高; 添加至 1 000 U/kg 时, 血浆 Pi 浓度与 NPP 2.9 g/kg 组相当; 添加水平达到 4 000

U/kg 时, 血浆 Pi 浓度和 AKP 活性达到对照组 (NPP 4.5 g/kg) 水平 ($P > 0.05$)。

2.3 饲粮非植酸磷和植酸酶水平对胫骨指标的影响

由表 4 可见, 随饲粮 NPP 水平升高, 胫骨长度 ($P < 0.000 1$)、强度 ($P < 0.000 1$)、灰分重量 ($P < 0.000 1$) 与相对含量 ($P < 0.000 1$) 及磷含量 ($P <$

表 4 饲粮非植酸磷和植酸酶水平对 21 日龄肉鸡胫骨指标的影响

Table 4 Effect of NPP and phytase on tibia parameters in 21-day-old broilers

处理 Treatment	非植酸磷 /(g/kg)NPP	植酸酶/(U/kg) Phytase	长度/cm Length	强度/kg Strength	灰分 Ash		磷/% Pi	钙/% Ca	P 释放率/% P release
					g	%			
1	2.1	0	4.97 ^d	4.73 ^d	0.40 ^f	39.29 ^d	6.86 ^f	20.52 ^a	—
2	2.9	0	5.65 ^c	6.56 ^c	0.50 ^e	42.81 ^c	8.20 ^{bed}	19.31 ^{abc}	—
3	3.7	0	6.05 ^{ab}	8.46 ^b	0.68 ^{bc}	49.94 ^a	9.03 ^a	20.24 ^{ab}	—
4	4.5	0	6.22 ^a	10.65 ^a	0.83 ^a	51.14 ^a	9.04 ^a	19.45 ^{abc}	—
5	2.1	250	5.59 ^c	6.54 ^c	0.59 ^{cde}	45.41 ^{bc}	7.60 ^{de}	18.27 ^{bc}	47.21
6	2.1	500	5.67 ^c	6.65 ^c	0.54 ^{de}	44.78 ^{bc}	7.52 ^e	17.94 ^c	35.87
7	2.1	1 000	5.86 ^{bc}	8.35 ^b	0.61 ^{cd}	45.73 ^b	7.73 ^{cde}	18.42 ^{bc}	51.74
8	2.1	2 000	5.98 ^{ab}	10.83 ^a	0.68 ^{bc}	49.48 ^a	8.28 ^{bc}	19.07 ^{abc}	67.62
9	2.1	4 000	6.03 ^{ab}	11.33 ^a	0.78 ^{ab}	49.68 ^a	8.33 ^{bc}	18.81 ^{abc}	90.30
10	2.1	8 000	6.26 ^a	11.87 ^a	0.80 ^a	51.71 ^a	8.45 ^{ab}	19.24 ^{abc}	94.84
	SEM		0.063 6	0.391 8	0.023 3	0.659 2	0.119 9	0.213 2	—
变异来源 Source of variation		df			P 值 P value				
处理 Treatment		9	<0.000 1	<0.000 1	<0.000 1	<0.000 1	<0.000 1	0.121 7	—
非植酸磷 NPP		3	<0.000 1	<0.000 1	<0.000 1	<0.000 1	<0.000 1	0.708 2	—
植酸酶 Phytase		6	<0.000 1	<0.000 1	<0.000 1	<0.000 1	<0.000 1	0.011 4	—

0.000 1) 增加, 但胫骨 Ca 含量未受影响 ($P > 0.05$)。饲粮 NPP 水平 3.7 和 4.5 g/kg 2 组间胫骨长度、灰分相对含量、磷和钙含量差异不显著 ($P > 0.05$)。

添加植酸酶可提高胫骨长度 ($P < 0.000 1$)、强度 ($P < 0.000 1$)、灰分重量 ($P < 0.000 1$) 与相对含量 ($P < 0.000 1$) 以及磷含量 ($P < 0.000 1$), 降低胫骨 Ca 含量 ($P = 0.011 4$)。添加 250 U/kg 植酸酶后, 除 Ca 含量外的所有胫骨指标较基础饲粮组显著提高; 添加 500 U/kg 植酸酶时, 胫骨长度、强度

和灰分达到 NPP 2.9 g/kg 组相当的水平; 添加 4 000 U/kg 植酸酶时, 除胫骨磷含量外的其他指标与对照组 (NPP 4.5 g/kg) 差异不显著 ($P > 0.05$)。

2.4 饲粮非植酸磷和植酸酶水平对养分利用率的影响

由表 5 可见, 随饲粮 NPP 水平升高, 总磷 ($P = 0.000 8$)、Ca ($P = 0.062 7$) 和粗蛋白质 ($P = 0.029 4$) 利用率提高; 当 NPP 水平为 3.7 g/kg 时, 养分利用率达到最高; NPP 水平升高到 4.5 g/kg 时, tP 利用率降至最低, 其他养分利用率也呈下降趋势。

表 5 饲粮非植酸磷和植酸酶水平对 17~20 日龄肉鸡养分利用率的影响
Table 5 Effect of NPP and phytase on nutrient utilization in 17 to 20-day-old broilers

处理 Treatment	非植酸磷 /(g/kg)NPP	植酸酶/(U/kg) Phytase	总磷/% tP	钙/% Ca	表观代谢能 /(MJ/kg)AME	粗蛋白/% CP
1	2.1	0	70.89 ^d	52.53 ^d	12.54 ^{ab}	56.51 ^d
2	2.9	0	74.49 ^{cd}	62.50 ^{bc}	12.06 ^c	56.87 ^{cd}
3	3.7	0	77.76 ^{bc}	63.85 ^{abc}	12.58 ^{ab}	60.82 ^{abc}
4	4.5	0	63.44 ^e	58.27 ^{cd}	12.31 ^{bc}	59.61 ^{abcd}
5	2.1	250	73.89 ^{cd}	65.01 ^{abc}	12.51 ^{ab}	59.71 ^{abcd}
6	2.1	500	78.01 ^{bc}	57.18 ^{cd}	12.41 ^{ab}	57.97 ^{bcd}
7	2.1	1 000	83.60 ^a	68.76 ^{ab}	12.36 ^{ab}	60.93 ^{abc}
8	2.1	2 000	82.31 ^{ab}	57.12 ^{cd}	12.49 ^{ab}	61.68 ^{ab}
9	2.1	4 000	84.28 ^a	68.95 ^{ab}	12.58 ^{ab}	63.31 ^a
10	2.1	8 000	85.07 ^a	71.27 ^a	12.63 ^a	62.13 ^{ab}
	SEM		1.138 3	1.178 6	0.028 4	0.493 0
变异来源 Source of variation		df		P 值 P value		
处理 Treatment		9	<0.000 1	<0.000 1	0.005 7	0.008 3
非植酸磷 NPP		3	0.000 8	0.062 7	0.003 5	0.029 4
植酸酶 Phytase		6	<0.000 1	<0.000 1	0.436 1	0.021 9

添加植酸酶可提高 tP ($P < 0.000 1$)、Ca ($P < 0.000 1$) 和粗蛋白质 ($P = 0.021 9$) 利用率, 但对表观代谢能值无显著影响 ($P > 0.05$)。添加植酸酶水平为 500 U/kg 时, tP 利用率较基础饲粮组显著提高; 植酸酶水平超过 1 000 U/kg 后, 各组间养分利用率仍呈改善趋势, 但差异不显著。

3 讨论

3.1 饲粮非植酸磷和植酸酶水平对肉鸡生长性能的影响

试验显示, 饲粮 NPP 和肉鸡生长性能呈现二次曲线关系, 生长性能随 NPP 升高而改善。但饲粮

NPP 3.7 g/kg 组肉鸡体增重、采食量和饲料转化率与对照组 (NPP 4.5 g/kg) 相当。根据饲粮 NPP 水平与生长性能的二次模型, 可以确定获得最佳体增重、采食量、饲料转化率及最低死亡率时, 适宜饲粮 NPP 水平分别为 4.18、4.37、3.86 和 3.60 g/kg。表明, 在我国肉鸡饲粮能量和粗蛋白质水平明显低于 NRC^[11] 推荐水平而鸡采食量相对较高前提下, 饲粮中磷水平设计不宜过高。

添加植酸酶后, 肉鸡生长速度、采食量提高, 此结果与 Sebastian 等^[1]、Shirley 和 Edwards^[8] 及 So-hail 和 Roland^[12] 研究结果一致。关于植酸酶是否改善饲料转化率存在争议。有些学者认为, 生长速度提高来自采食量增加, 而非饲料转化率改善^[13-14]。

但另外的研究发现,当肉鸡玉米-豆粕型饲粮中不补充无机磷^[15]或 1~21 日龄肉鸡饲粮 NPP 水平低于 2.0 g/kg 时^[16],添加植酸酶可改善饲料转化率。综合以上观点可以发现,植酸酶对肉鸡生长性能尤其是饲料转化率的影响在饲粮 NPP 水平较低时更为明显。本试验基础饲粮 NPP 水平为 2.1 g/kg,肉鸡生长速度提高源自采食量增加以及饲料转化率改善。

3.2 饲粮非植酸磷和植酸酶水平对血浆指标的影响

试验显示,随饲粮 NPP 升高,血浆无机磷浓度线性提高。表明,无机磷吸收量随饲粮磷含量提高而增加。血浆 Ca 浓度呈降低趋势,表明血液中 Ca、P 平衡状况得到改善,Ca/P 比值由基础饲粮的 5.60:1 恢复到 1.64:1。血浆 AKP 活性线性降低,表明机体骨骼动员以释放矿物元素满足其生理需要的活动减弱,机体 Ca、P 达到平衡状态。血浆总蛋白质过低预示机体蛋白质合成发生障碍,本试验中饲粮磷水平对机体蛋白质合成无显著影响。

添加植酸酶后,血浆 Pi 浓度随经对数转化后的植酸酶水平呈二次曲线升高,表明植酸酶提高植酸磷水解率和总磷吸收率。血浆 Ca 浓度随植酸酶水平升高而呈降低趋势。当植酸酶水平为 4 000 U/kg 时,血浆磷浓度与正对照组(NPP 4.5 g/kg)相当,Ca/P 比值由添加 250 U/kg 时的 3.85:1 降低至 1.64:1,机体 Ca、P 平衡状况恢复。血浆 AKP 活性降低。血浆总蛋白质含量未受植酸酶的影响,此结果与 Viveros 等^[17]报道一致。

3.3 饲粮非植酸磷和植酸酶水平对胫骨指标的影响

随饲粮 NPP 水平升高,胫骨长度增加,强度加大,表明肉鸡骨骼发育状况随磷摄入量增加而改善。胫骨磷含量、灰分重量及含量增加,表明骨骼发育的改善源自骨骼中磷等矿物元素沉积量提高。胫骨 Ca 含量无显著变化,但胫骨 Ca、P 平衡状况改善,Ca/P 比值由基础饲粮组 2.99:1 降至对照组 2.15:1。

在基础饲粮中添加植酸酶后,胫骨长度、强度、胫骨磷含量、灰分重量及含量呈现与提高饲粮 NPP 水平类似的趋势。这与 Sohail 和 Roland^[12]、Johnston 和 Southern^[14]及 Broz 等^[18]结果类似,即植酸酶可提高胫骨灰分含量。本试验中,添加 250 U/kg 植酸酶后,胫骨指标比基础饲粮组显著提高;当饲粮中植酸酶水平为 2 000 U/kg 时,胫骨长度、强度和灰分相对含量达到对照组(NPP 4.5 g/kg)相当的水平;植酸酶为 4 000 U/kg 时,胫骨灰分重量达到

对照组水平;植酸酶为 8 000 U/kg 时,胫骨磷含量达到对照组水平。Ca/P 比值在添加植酸酶的各组间变化不大,维持在 2.40:1 至 2.28:1。

在评价矿物元素生物学效价的指标中,骨骼灰分较体增重更合理。本试验以胫骨灰分重量为评价指标,在饲粮 NPP 水平与胫骨灰分重量建立的线性模型基础上推算添加植酸酶时无机磷释放量。

3.4 饲粮非植酸磷和植酸酶水平对养分利用率的影响

饲粮 NPP 与 Ca 沉积率呈二次曲线关系。当饲粮 NPP 水平上升至 3.7 g/kg 时,代谢能值及 CP、tP 和 Ca 沉积率最大;而当 NPP 水平为 4.5 g/kg 时,tP 沉积率降至最低,代谢能、CP 和 Ca 利用率也相应下降。表明,从提高饲粮养分利用率的角度看,NRC^[11]推荐 1~21 日龄肉鸡饲粮 NPP 水平(4.5 g/kg)并非最佳。结合我国饲料原料养分水平和肉鸡饲养实际情况,我国肉鸡饲粮磷水平可能需要适当下调,以保持其与饲粮能量、蛋白质和氨基酸水平相对平衡,达到养分利用率最大化,节约有限的饲料资源。

植酸酶可提高饲粮总磷、Ca 和 CP 利用率。植酸酶对 tP 利用率的改善来自植酸磷降解的增加,植酸水解率提高导致植酸与 Ca、氨基酸螯合几率降低,机体对其吸收利用相应提高。植酸酶没有影响 AME 值,这与 Biehl 和 Baker^[19]、Murai 等^[20]结果一致,表明植酸酶对淀粉或脂肪利用率的影响可能相对较弱;但 Namkung 和 Leeson^[21]、Camden 等^[22]发现植酸酶可提高饲料代谢能值。结果的差异可能来自饲粮类型、试验环境等。

4 结 论

4.1 高水平植酸酶可降解肉鸡饲粮中几乎全部植酸磷。

4.2 以胫骨灰分重量为指标,饲粮无机磷释放量(y,g/kg)与微生物植酸酶添加水平(x,U/kg)间的线性模型为 $y = 0.4254 \times \log_2(1 + x/250) + 0.283$ (n=7, $R^2 = 0.9153$, $P=0.0007$)。

参考文献:

- [1] SEBASTIAN S, TOUCHBURN S P, CHAVEZ E R, et al. The effects of supplemental microbial phytase on the performance and utilization of dietary calcium, phosphorus, copper, and zinc in broiler

- chickens fed corn-soybean diets [J]. *Poult Sci*, 1996, 75:729-736.
- [2] MITCHELL R D, EDWARDS H M. Effect of phytase and 1,25-dihydroxycholecalciferol on phytate utilization and the quantitative requirement for calcium and phosphorus in young broiler chickens [J]. *Poult Sci*, 1996, 75:95-110.
- [3] 丁保安. 鸡对植酸磷利用率的研究 [J]. *中国家禽*, 1999, 21(11):8-9.
- [4] DENBOW D M, RAVINDRAN V, KORNEGAY E T, et al. Improving phosphorus availability in soybean meal for broilers by supplemental phytase [J]. *Poult Sci*, 1995, 74: 1 831-1 842.
- [5] WALDROUP P W, KERSEY J H, SALEH E A, et al. Nonphytate phosphorus requirement and phosphorus excretion of broiler chicks fed diets composed of normal or high available phosphorus corn with or without microbial phytase [J]. *Poult Sci*, 2000, 79: 1 451-1 459.
- [6] YAN F, KERSEY J H, WALDROUP P W. Phosphorus requirements of broiler chicks three to six weeks of age as influenced by phytase supplementation [J]. *Poult Sci*, 2001, 80:455-459.
- [7] 贺建华. 植酸磷和植酸酶研究进展 [J]. *动物营养学报*, 2005, 17(1):1-6.
- [8] SHIRLEY R B, EDWARDS H M. Graded levels of phytase past industry standards improve broiler performance [J]. *Poult Sci*, 2003, 82:671-680.
- [9] ZHANG Z, MARQUARDT R R, WANG G, et al. A simple model for predicting the response of chicks to dietary enzyme supplementation [J]. *J Anim Sci*, 1996, 74:394-402.
- [10] ZHANG Z, MARQUARDT R R, WANG G, et al. Prediction of the effect of enzymes on chick performance when added to cereal-based diets: Use of a modified log-linear model [J]. *Poult Sci*, 2000b, 79: 1 757-1 766.
- [11] National Research Council. *Nutrient Requirements of Poultry*. 9th rev. ed [M]. National Academy Press, Washington, DC, 1994.
- [12] SOHAIL S S, ROLAND D A. Influence of supplemental phytase on performance of broilers four to six weeks of age [J]. *Poult Sci*, 1999, 78:550-555.
- [13] GORDON R W, ROLAND D A. Performance of commercial laying hens fed various phosphorus levels, with and without supplemental phytase [J]. *Poult Sci*, 1997a, 76:1 172-1 177.
- [14] JOHNSTON S L, SOUTHERN L L. The effect of varying mix uniformity (simulated) of phytase on growth performance, mineral retention, and bone mineralization in chicks [J]. *Poult Sci*, 2000, 79: 1 485-1 490.
- [15] GORDON R W, ROLAND D A. Influence of supplemental phytase on calcium and phosphorus utilization in laying hens [J]. *Poult Sci*, 1998, 77:290-294.
- [16] KORNEGAY E T, DENBOW D M, YI Z, et al. Response of broilers to graded levels of microbial phytase added to maize-soybean-meal-based diets containing three levels of non-phytate phosphorus [J]. *Br J Nutr*, 1996, 75: 839-852.
- [17] VIVEROS A, BRENES A, ARIJA I, et al. Effects of microbial phytase supplementation on mineral utilization and serum enzyme activities in broiler chicks fed different levels of phosphorus [J]. *Poult Sci*, 2002, 81:1 172-1 183.
- [18] BROZ J, OLDALE P, PERRIN-VOLTZ A H, et al. Effects of supplemental phytase on performance and phosphorus utilization in broiler chickens fed a low phosphorus diet without addition of inorganic phosphates [J]. *Br Poult Sci*, 1994, 35:273-280.
- [19] BIEHL R R, BAKER D H. 1 α -Hydroxycholecalciferol does not increase the specific activity of intestinal phytase but does improve phosphorus utilization in both cecectomized and sham-operated chicks fed cholecalciferol-adequate diets [J]. *J Nutr*, 1997, 127:2 054-2 059.
- [20] MURAI A, KOBAYASHI T, OKADA T, et al. Improvement of growth and nutritive value in chicks with non-genetically modified phytase product from *Aspergillus niger* [J]. *Br Poult Sci*, 2002, 43:687-695.
- [21] NAMKUNG H, LEESON S. Effect of phytase enzyme on dietary nitrogen-corrected apparent metabolizable energy and ileal digestibility of nitrogen and amino acids in broiler chicks [J]. *Poult Sci*, 1999, 78: 1 317-1 319.
- [22] CAMDEN B J, MOREL P C H, THOMAS D V, et al. Effectiveness of exogenous microbial phytase in improving the bioavailabilities of phosphorus and other nutrients in maize-soybean meal diets for broilers [J]. *Anim Sci*, 2001, 73: 289-297.