

黄曲霉毒素对猪生长性能及肝脏功能的影响

史莹华¹, 方丽云¹, 孙宇¹, 许梓荣², 王成章¹

(1 河南农业大学 牧医工程学院, 河南 郑州 450002; 2 浙江大学 饲料科学研究所, 浙江 杭州 310029)

[摘要] 选用 60 头质量 28 kg 左右的“杜长大”三元杂交猪, 随机分为 2 组, 每组 3 个重复, 每重复 10 头猪(公母各半), 分别饲喂基础日粮(C 组)和基础日粮 + 0.1 mg/kg 黄曲霉毒素(AF 组), 预试期 7 d, 正试期 90 d, 研究黄曲霉毒素对猪生长性能、内脏器官相对质量、血清和肝脏酶活性指标的影响。结果表明, 黄曲霉毒素(AF)显著降低了试验猪的生长性能, AF 组猪日增重降低了 12.90 % ($P < 0.01$), 料重比提高了 7.54 % ($P < 0.01$); AF 显著影响试验猪内脏器官的相对质量, AF 组猪肝脏、肾脏、脾脏、胰脏的相对质量分别较 C 组提高了 8.24 % ($P < 0.05$)、27.27 % ($P < 0.01$)、41.18 % ($P < 0.01$)、42.86 % ($P < 0.01$); AF 使试验猪肝脏功能严重受损, 胞内酶大量释放到血液中, AF 组猪血清酶活性指标显著升高, 肝脏酶活性指标显著降低。这些结果表明, 长期饲喂黄曲霉毒素污染的日粮诱发了猪黄曲霉毒素的慢性中毒。

[关键词] 黄曲霉毒素; 猪; 生长性能; 肝功能

[中图分类号] S828.5

[文献标识码] A

[文章编号] 1671-9387(2007)06-00055-05

Effects of aflatoxin on growth performance and liver function of pigs

SHI Ying-hua¹, FANG Li-yun¹, SUN Yu¹, XU Zi-rong², WANG Cheng-zhang¹

(1 Engineering College of Animal Husbandry and Veterinary Science, Henan Agricultural University, Zhengzhou, Henan 450002, China; 2 Feed Science Institute, Zhejiang University, Hangzhou, Zhejiang 310029, China)

Abstract: Experiments were conducted to determine the effects of aflatoxin (AF) on growth performance, relative organ weights, serum and liver enzyme activities of growing/finishing pigs. A total of 60 crossbred pigs (Duroc × Landrace × Large white) were randomly divided to two treatment groups by sex (three replicates per treatment with ten pigs per replicate). Two dietary treatments of control feed, and control feed plus 0.1 mg/kg AF were fed to pigs for 90 days. The results showed that AF had significant effects on growth performance and relative organ weights of pigs, average daily gain was decreased by 12.90 % ($P < 0.01$) and feed gain ratio was increased by 7.54 % ($P < 0.01$) in pigs fed by AF diet; relative weights of liver, kidney, spleen and pancreas were increased by 8.24 % ($P < 0.05$), 27.27 % ($P < 0.01$), 41.18 % ($P < 0.01$) and 42.86 % ($P < 0.01$), respectively. Furthermore, liver function was injured by AF intake and liver enzymes were leaked out into the blood with the increase of serum enzyme activities and the decrease of liver enzyme activities. These findings suggested that long-term intake of AF induced chronic toxicity of AF in pigs.

Key words: aflatoxin; pigs; growth performance; liver function

黄曲霉毒素(Aflatoxin, AF)是黄曲霉和寄生曲霉的次级代谢物, 其主要的生物学效应是致癌、致畸

和致突变作用^[1]。据统计, 目前世界上至少有 25 % 的谷物被霉菌毒素污染, 其中最为严重的是黄曲霉

† 收稿日期: 2006-04-24

[基金项目] 浙江省科技厅重点项目(021122680)

[作者简介] 史莹华(1976-), 女, 河南新野人, 副教授, 硕士生导师, 主要从事动物营养及毒素研究。E-mail: annysyh@126.com

毒素的污染^[2]。黄曲霉毒素的污染已成为全球性难题。猪是对黄曲霉毒素比较敏感的动物,长时间、低剂量地摄入黄曲霉毒素可影响猪的生长、繁殖,降低其饲料转化效率及产仔数,造成肝坏死、胃肠道损伤、黄疸、贫血、免疫抑制等,给养猪业带来严重的危害。更为严重的是,残留在动物产品中的黄曲霉毒素可以通过食物链而危害人类的健康^[3]。本试验旨在探讨长时间、低剂量摄入黄曲霉毒素对猪生长性能及内脏器官的影响,以进一步认识猪饲喂黄曲霉毒素污染的饲料后产生的毒性作用,及其对畜产品的潜在危害。

1 材料与方法

1.1 材料

“杜长大”三元杂交猪,由浙江湖州犇翔牧业有限公司提供。寄生曲霉菌种 CICC 2416,购自中国微生物菌种保藏中心。谷丙转氨酶(GPT)、谷草转氨酶

(GOT)、碱性磷酸酶(ALP)、谷胱甘肽硫转移酶(GST)检测试剂盒,均购自南京建成生物工程研究所。CHEM-5 自动生化仪,日本 Hitachi 公司生产。

1.2 试验设计及饲养管理

选用 60 头质量 28 kg 左右的健康“杜长大”三元杂交猪,随机分成 2 组,每组设 3 个重复,每重复 10 头(公母各半)。试验猪分别饲喂基础日粮(C 组)、基础日粮 + 0.1 mg/kg AF (AF 组)。基础日粮参考美国 NRC(1998 版)肥育猪营养需要配制成粉状全价料,配方及主要营养成分见表 1。寄生曲霉菌种 CICC 2416 接种玉米,发酵 20 d 后,高压灭菌、晒干、混匀,测定其中 AF 含量,按 10 %比例添加到饲料中以达到试验日粮的要求。

试验前对猪舍进行严格消毒。试验猪自由采食和饮水。预试期 7 d,正试期 90 d,预试期间对各试验猪进行打耳编号。试验期间每日观察猪体状态、行为并记录耗料量。

表 1 基础日粮及试验日粮组成

Table 1 Composition of basal and experimental diet

组分 Group	生长期 Growing phase		肥育期 Finishing phase	
	C 组 Control group	AF 组 AF group	C 组 Control group	AF 组 AF group
正常玉米/(g·kg ⁻¹) Normal corn	500	400	506	406
AF 污染玉米/(g·kg ⁻¹) Contaminated corn	0	100	0	100
豆粕/(g·kg ⁻¹) Soybean meal	190	190	174	174
菜籽粕/(g·kg ⁻¹) Rapeseed meal	40	40	50	50
次粉/(g·kg ⁻¹) Wheat meddling	180	180	170	170
麸皮/(g·kg ⁻¹) Wheat bran	51	51	60	60
石粉/(g·kg ⁻¹) Limestone	13	13	13	13
磷酸氢钙/(g·kg ⁻¹) Dicalcium phosphate	12	12	12	12
食盐/(g·kg ⁻¹) Salt	4	4	5	5
预混料/(g·kg ⁻¹) Premix	10	10	10	10
营养成分 Nutrient				
消化能/(MJ·kg ⁻¹) DE	12.9	12.9	12.8	12.8
粗蛋白/(g·kg ⁻¹) CP	172.4	172.4	169.2	169.2
赖氨酸/(g·kg ⁻¹) Lys	8.3	8.3	8.1	8.1
钙/(g·kg ⁻¹) Ca	8.6	8.6	8.6	8.6
有效磷/(g·kg ⁻¹) AP	3.5	3.5	3.5	3.5
黄曲霉毒素/(mg·kg ⁻¹) AF	0	0.1	0	0.1

注:预混料含有(以每 kg 全价料计):Zn 180 mg;Fe 150 mg;Cu 150 mg;Mn 50 mg;I 0.3 mg;Se 0.15 mg;Co 0.3 mg;V_A 6 500 IU;V_D 750 IU;V_E 20 IU;V_{K₃} 3.5 mg;V_{B₁} 2.8 mg;V_{B₂} 6.2 mg;烟酰胺 33 mg;泛酸 18 mg;吡哆醇 3.5 mg;叶酸 0.85 mg;生物素 60 μg;V_{B₁₂} 35 μg;氯化胆碱 600 mg;金霉素 80 mg;赖氨酸 1000 mg。

Note:Supplied per kg of diet: 180 mg of Zn;150 mg of Fe;150 mg of Cu;50 mg of Mn;0.3 mg of I;0.15 mg of Se;0.3 mg of Co;6 500 IU of vitamin A;750 IU of vitamin D;20 IU of vitamin E;3.5 mg of vitamin K₃;2.8 mg of vitamin B₁;6.2 mg of vitamin B₂;33 mg of niacin;18 mg of pantothenic acid;3.5 mg of vitamin B₆;0.85 mg of folic acid;60 ug of biotin;35 ug of vitamin B₁₂;600 mg choline chloride;Premix also provided 80 mg of chlortetracycline;1 000 mg lysine per kg of diet.

1.3 屠宰试验与取样

饲养试验结束时,试验猪禁食而自由饮水 24 h 后称重,计算平均日采食量、日增重和料重比。每处理组随机选取质量相近的试验猪 8 头(公母各半),

共 16 头,屠宰,宰前称质量并登记耳号。屠宰时采集血样,并于 37 ℃ 水浴中静置,待析出血清后转入离心管中,以 3 000 r/min 离心 10 min,所得血清样品分装于 Eppendorf 管中,-70 ℃ 保存待用。取肝

脏、肾脏、脾脏、胰脏称鲜重,计算各器官的相对质量(器官相对质量 = 器官鲜重/活体重)。

1.4 样品测定

血清和肝脏谷丙转氨酶 (GPT)、谷草转氨酶 (GOT)、碱性磷酸酶 (ALP) 活性测定采用南京建成生物工程研究所提供的试剂盒,用 CHEM-5 自动生化仪测定。谷胱甘肽硫转移酶 (GST) 活力测定参照 Habig 等^[4]的方法,以每 mL (血清)/mg (蛋白)在 37 反应 1 min,扣除非酶促反应,使反应体系中谷胱甘肽 (GSH) 浓度降低 1 μmol 为一个酶活力单位。这是因为谷胱甘肽硫转移酶 (GST) 活力的大小是通过检测谷胱甘肽 (GSH) 浓度的高低来反应的,GSH (底物) 浓度降低越多,则 GST 活力越大,然后由公式计算出血清或肝脏 GST 活力。所以,血清 GST 活力单位为 U/mL (样本为血清),肝脏 GST 活力单位为 U/mg (样本为肝脏匀浆)。

表 2 AF 对猪生长性能和内脏器官相对质量的影响

处理 Treatment	日采食量/kg ADFI	日增重/kg ADG	料重比 F/G	器官相对质量 Relative organ weights/ %			
				肝脏 Liver	肾脏 Kidney	脾脏 Spleen	胰脏 Pancreas
C 组 Control group	1.57 ±0.03 a	0.62 ±0.01 A	2.52 ±0.07 B	1.82 ±0.13 b	0.44 ±0.05 B	0.17 ±0.02 B	0.14 ±0.02 B
AF 组 AF group	1.47 ±0.06 b	0.54 ±0.03 B	2.71 ±0.05 A	1.97 ±0.12 a	0.56 ±0.05 A	0.24 ±0.02 A	0.20 ±0.03 A

注:同列数据后标不同小写字母者表示差异显著 ($P < 0.05$),不同大写字母者表示差异极显著 ($P < 0.01$)。下表同。
Note: Values within a column with the different small letters differ significantly ($P < 0.05$), with the different capital letters differ very significantly ($P < 0.01$). The same as below tables.

2.3 AF 对猪血清酶活性指标的影响

由表 3 可知,与 C 组相比,AF 组血清谷丙转氨酶、谷草转氨酶、碱性磷酸酶和谷胱甘肽硫转移酶活性分别增加了 15.99 % ($P < 0.05$)、25.84 % ($P < 0.01$)、21.91 % ($P < 0.01$) 和 10.24 % ($P < 0.05$),表明长期摄入 0.1 mg/kg 的 AF 显著影响试验猪血清中酶的活性。

表 3 AF 对猪血清及肝脏酶活性指标的影响

处理 Treatment	血清 Serum			
	GPT/ (U · mL ⁻¹)	GOT/ (U · mL ⁻¹)	ALP/ (U · L ⁻¹)	GST/ (U · mL ⁻¹)
C 组 Control group	20.76 ±2.49 b	14.67 ±2.18 B	164.23 ±15.79 B	35.95 ±8.66 b
AF 组 AF group	24.08 ±3.00 a	18.46 ±3.27 A	200.21 ±23.71 A	39.63 ±7.75 a

处理 Treatment	肝脏 Liver			
	GPT/ (U · mg ⁻¹)	GOT/ (U · mg ⁻¹)	ALP/ (U · g ⁻¹)	GST/ (U · mg ⁻¹)
C 组 Control group	22.34 ±2.36 a	17.93 ±3.15 A	154.82 ±14.61 A	30.92 ±3.72 a
AF 组 AF group	18.48 ±2.19 b	13.06 ±2.01 B	125.11 ±19.83 B	24.33 ±4.90 b

1.5 数据处理

所有数据均以“平均值 ±标准差 ($\bar{X} \pm SD$)”表示,采用 SAS (8.0 版) 软件中的一般线性模式 (GLM) 对数据进行差异显著性分析。

2 结果与分析

2.1 AF 对猪生长性能的影响

从表 2 可以看出,与 C 组相比,AF 组日增重降低了 12.90 % ($P < 0.01$),料重比提高了 7.54 % ($P < 0.01$),表明 AF 显著影响试验猪的生长性能,抑制猪的生长速度。

2.2 AF 对猪内脏器官相对质量的影响

由表 2 可知,AF 组肝脏、肾脏、脾脏和胰脏的相对质量分别比 C 组增加了 8.24 % ($P < 0.05$)、27.27 % ($P < 0.01$)、41.18 % ($P < 0.01$)、42.86 % ($P < 0.01$),表明 AF 显著影响试验猪内脏器官的质量。

2.4 AF 对猪肝脏酶活性指标的影响

从表 3 可以看出,AF 组肝脏谷丙转氨酶、谷草转氨酶、碱性磷酸酶和谷胱甘肽硫转移酶活性分别比 C 组降低了 17.28 % ($P < 0.05$)、27.16 % ($P < 0.01$)、19.19 % ($P < 0.01$) 和 21.31 % ($P < 0.05$),表明 AF 显著降低了试验猪肝脏中酶的活性。

3 讨 论

3.1 AF 对猪生长性能的影响

黄曲霉毒素具有致癌、致畸和致突变作用,其毒性是砒霜的 68 倍,是氰化钾的 10 倍^[1,3]。黄曲霉毒素在高剂量时能够导致急性死亡,低水平、长时间能够产生慢性毒性。在实际生产中,发生急性中毒的机会很小,其毒性作用主要表现为慢性中毒,影响动物的生长、繁殖,抑制动物的生长速度,降低饲料转化效率及产仔数,影响禽类的产蛋率和孵化率等^[5-6]。本试验结果表明,AF 组试验猪的日增重和饲料转化效率极显著下降,说明长期饲喂 0.1 mg/kg 黄曲霉毒素诱发了猪黄曲霉毒素慢性中毒症的发生,这与前人的试验结果相一致^[7-8]。

3.2 AF 对猪器官相对质量的影响

肝脏是黄曲霉毒素的靶器官,动物摄入的黄曲霉毒素在肝脏内积累,导致肝脏肿大、苍白、变脆、胆管上皮增生等。由于黄曲霉毒素抑制磷脂及胆固醇的合成,影响脂类从肝脏的运输,从而使脂肪在肝脏中沉积,引起肝脏脂肪浸润、肥大。Schell 等^[8]报道,日粮中添加 0.922 mg/kg 黄曲霉毒素,使猪肝脏相对质量显著升高,而对肾脏相对质量无影响。Harvey 等^[9]研究表明,用含 1 mg/kg 黄曲霉毒素的日粮饲喂猪时,猪肝脏、肾脏和肝脏脂肪的相对质量明显升高。Abo-norag 等^[10]研究也表明,肉仔鸡采食黄曲霉毒素污染的日粮后,其肝脏、肾脏、脾脏、胰脏与体重比均有不同程度升高。本试验发现,AF 组试验猪肝脏、肾脏、脾脏、胰脏的相对质量明显升高,说明长期摄入 0.1 mg/kg 黄曲霉毒素对猪内脏器官造成了严重损伤,使肝脏、肾脏、脾脏、胰脏发生了不同程度的肿大。

3.3 AF 对猪肝脏功能的影响

黄曲霉毒素是剧毒物质,尤以对肝脏的损害为甚,毒素在肝脏蓄积可引起肝癌,并引发其他器官如肾、肺、胃肠等产生癌变。畜禽摄入 AF 后,肝脏中毒素浓度最高。由于毒素在肝脏中蓄积,使肝脏机能受损,胞内酶大量释放到血液中,导致血清中碱性磷酸酶(ALP)、谷丙转氨酶(GPT)、谷草转氨酶(GOT)等指标明显升高。因此,血清中碱性磷酸酶、谷丙转氨酶、谷草转氨酶活性的异常升高是反映肝功能受损的敏感指标。Shi 等^[11-12]报道,仔猪黄曲霉毒素中毒时,肝脏严重损伤,肝脏中 ALP、GPT、GOT 等酶类的活性降低,而血清中这些酶的活性显著升高。本试验中,AF 组试验猪血清 GPT、

GOT、ALP 的活性明显升高,肝脏中这些酶的活性显著降低,这说明长期饲喂黄曲霉毒素污染的日粮,诱发了猪黄曲霉毒素的慢性中毒,猪的肝脏发生了病变,功能受到了损伤。这与器官相对质量的测定结果是一致的。

谷胱甘肽硫转移酶(GST)广泛存在于哺乳动物各组织中,其中以肝脏中含量最高。谷胱甘肽硫转移酶在机体有毒化合物的代谢、保护细胞免受急性毒性化学物质攻击中起重要作用,它催化谷胱甘肽与亲电子化合物发生结合反应,形成硫醚氨酸排出体外,通过这种方式将体内各种有潜在毒性的物质降解排出^[13]。AF 在体内经生物转化而成的活性形式 8,9-AF-环氧化物,是一种较强的亲电子化合物,在肝脏中谷胱甘肽硫转移酶的催化下与谷胱甘肽相结合,随胆汁或尿排出体外^[14]。当肝脏功能严重受损时,肝细胞受到一定程度的破坏,膜通透性增加,GST 即大量释放到血液中,故血清 GST 异常升高可以作为肝脏损伤的敏感指标^[15-16]。本研究发现,AF 组试验猪肝脏中 GST 活性显著降低,血清 GST 活性显著升高,说明猪 AF 中毒后,肝细胞膜的完整性受到破坏,通透性增加,使细胞内 GST 大量渗出,肝脏的解毒能力大大降低。

【参考文献】

- [1] Mishra H N, Chitrangada D. A review on biological control and metabolism of aflatoxin[J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2003, 43: 245-264.
- [2] Moss M O. Risk assessment for aflatoxins in foodstuffs[J]. International Biodeterioration and Biodegradation, 2002, 50: 137-142.
- [3] Smela M E, Currier S S, Bailey E A, et al. The chemistry and biology of aflatoxin B1: from mutational spectrometry to carcinogenesis[J]. Carcinogenesis, 2001, 22: 535-545.
- [4] Habig W H, Pabst M J, Jakoby W B. Glutathione S-transferase[J]. Journal of Biological Chemistry, 1974, 249: 7130-7139.
- [5] Lindemann M D, Blodgett D J, Kornegay E T, et al. Potential ameliorator of aflatoxicosis in weanling/growing swine[J]. Journal of Animal Science, 1993, 71: 171-178.
- [6] Verma J, Swain B K, Johri T S. Effect of various levels of aflatoxin and ochratoxin A and combinations thereof on protein and energy utilisation in broilers[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2002, 82: 1412-1417.
- [7] Schell T C, Lindemann M D, Kornegay E T, et al. Effectiveness of different types of clay for reducing the detrimental effects of aflatoxin-contaminated diets on performance and serum profiles of weaning pigs[J]. Journal of Animal Science, 1993a, 71: 1226-1231.
- [8] Schell T C, Lindemann M D, Kornegay E T, et al. Effects of

- feeding aflatoxin-contaminated diets with and without clay to weaning and growing pigs on performance, liver function, and mineral metabolism[J]. *Journal of Animal Science*, 1993b, 71: 1209-1218.
- [9] Harvey R B, Kubena L F, Huff W E, et al. Effects of treatment of growing swine with aflatoxin and T-2 toxin[J]. *American Journal of Veterinary Research*, 1990, 51: 1688-1693.
- [10] Abo-norag M, Edrington T S, Kubena L F, et al. Influence of hydrated sodium calcium aluminosilicate and virginiamycin on aflatoxicosis in broiler chicks[J]. *Poultry Science*, 1995, 74: 626-632.
- [11] Shi Y H, Xu Z R, Feng J L, et al. Effects of modified montmorillonite nanocomposite on growing/finishing pigs during aflatoxicosis[J]. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 2005, 18(9): 1305-1309.
- [12] Shi Y H, Xu Z R, Feng J L, et al. Efficacy of modified montmorillonite nanocomposite to reduce the toxicity of aflatoxin in broiler chicks[J]. *Animal Feed Science and Technology*, 2006, 129(8): 138-148.
- [13] Hayes J D, Judah D J, McClellan L I. Ethoxyquin-induced resistance to aflatoxin B1 in the rat is associated with the expression of a novel alpha-class glutathione S-transferase subunit, Yc2, which possesses high catalytic activity for aflatoxin B1-8,9-epoxide[J]. *Journal of Biochemistry*, 1991, 279: 385-398.
- [14] Guengerich F P, Johnson W W, Shimada T, et al. Activation and detoxification of aflatoxin B1[J]. *Mutation Research*, 1998, 402: 121-128.
- [15] 聂立红, 王声湧, 胡毅玲. 谷胱甘肽硫转移酶的研究进展[J]. *中国病理生理杂志*, 2000, 16(11): 1240-1243.
- [16] 刘斌剑, 孙月庭, 万军. 谷胱甘肽硫转移酶对动物肝损伤模型诊断价值的探讨[J]. *中华肝脏病杂志*, 2001, 9(7): 91.

(上接第54页)

[参考文献]

- [1] 邱祥聘, 陈 铿, 陈育新. 中国家禽品种志[M]. 上海: 上海科技出版社, 1989: 107-134.
- [2] 王宝维, 张名爱, 刘光磊, 等. 墨西哥玉米对五龙鹅日粮蛋白净利用率及氨基酸消化率的影响[J]. *西北农林科技大学学报: 自然科学版*, 2004, 32(7): 29-32.
- [3] 王宝维, 刘光磊, 吴晓平, 等. 青黑麦草结构日粮对五龙鹅 N 平衡及 Ca、P 消化规律的影响[J]. *福建农林大学学报: 自然科学版*, 2004, 33(3): 373-376.
- [4] 王宝维, 张旭晖, 吴晓平, 等. 苜蓿粉含量对鹅日粮粗纤维和钙磷消化率的影响[J]. *西北农林科技大学学报: 自然科学版*, 2005, 33(8): 58-62.
- [5] 邵彩梅, 韩正康. 鹅盲肠对纤维类成分消化的研究[J]. *南京农业大学学报: 自然科学版*, 1992, 15(4): 86-89.
- [6] 崔景坤, 王淑华, 宋国军, 等. 羊草(干草)消化率测定报告[J]. *黑龙江畜牧兽医*, 1994(4): 12-13.
- [7] Baker C J L. The determination of oxalate in fresh plant materials[J]. *Analytic*, 1954, 77: 340-344.
- [8] 林再兴, 杨清白. 家鹅对纤维质饲料之利用——脱水羊草粉之营养价值[J]. *中畜会志*, 1987, 5(3-4): 29-34.
- [9] 王瑞晓, 郑 诚. 鹅、鸡对不同饲料养分利用率的比较测定[J]. *中国饲料*, 2001(19): 8-9.
- [10] Timmler R, Rodehutsord M. Dose-response relationships for valine in the growing white pekin duck[J]. *Poultry Sci*, 2003, 82: 1755-1762.
- [11] 廖玉英, 杨家晃, 韦凤英, 等. 日粮粗纤维水平对广西合浦鹅生长性能的影响[J]. *广西畜牧兽医*, 2004, 20(6): 243-245.
- [12] 陈盈豪, 许振忠, 刘琳琳. 高低日粮纤维含量对鹅食糜通过消化道速率之影响[J]. *东海学报*, 1991, 32: 765-774.
- [13] Nahm K H, Carlson C W. Effect of cellulose from *Trichoderma viride* on nutrition utilization by broilers[J]. *Poultry Sci*, 1985, 64: 1536-1540.
- [14] 杨曙明, 杨忠源, 张甫山, 等. 生长鹌鹑对富含纤维饲料利用率的研究[J]. *中国农业科学*, 1995, 28(增刊): 171-176.
- [15] 张铁鹰. 植酸酶在畜禽日粮中应用研究进展[J]. *中国饲料*, 2005(4): 25-29.
- [16] 单安山, 刘大森, 马 玺. 植物植酸酶及其饲用价值[J]. *东北农业大学学报: 自然科学版*, 2002, 33(2): 184-190.
- [17] 张若寒. 植酸酶实用指南[J]. *湖南饲料*, 2004(4): 20-22.
- [18] Brandt E, Pindborg E, Frøddsted I, et al. Oxalic acid in foods[J]. *Nutri Abst and Rev*, 1954, 24: 298.