

营养性复合添加剂对饲喂含黄曲霉毒素 B₁ 饲料生长育肥猪生长性能、抗氧化能力、肝脏功能和毒素残留的影响

蒲俊宁 原清会 陈代文 田刚 何军 郑萍 毛湘冰 虞洁
黄志清 罗钧秋 罗玉衡 余冰*

(四川农业大学动物营养研究所,动物抗病营养四川省重点实验室,农业农村部动物抗病营养与饲料重点实验室,动物抗病营养教育部重点实验室,雅安 625014)

摘要: 本试验旨在研究营养性复合添加剂对饲喂含黄曲霉毒素 B₁ (AFB₁) 饲料生长育肥猪生长性能、抗氧化能力、肝脏功能和毒素残留的影响。选取平均体重为 (38.06±0.27) kg 的健康“杜×长×大”生长育肥猪 28 头,按照体重相近原则随机分为 4 组,分别为对照组(基础饲料)、AFB₁ 组(含 AFB₁ 280 μg/kg)、复合添加剂 I 组(AFB₁ 饲料+0.3%抗氧化复合添加剂)和复合添加剂 II 组(AFB₁ 饲料+0.3%肠道健康复合添加剂),每组 7 个重复,每个重复 1 头猪。试验期 102 d。结果表明:与对照组相比,AFB₁ 组 51~75 kg 生长育肥猪的平均日增重(ADG)显著降低 ($P<0.05$);135 kg 时的血浆总超氧化物歧化酶(T-SOD)活性显著降低 ($P<0.05$),血浆丙二醛(MDA)含量显著升高 ($P<0.05$);100 kg 时的血浆谷草转氨酶(GOT)活性显著升高 ($P<0.05$);肝脏指数、肝脏和肾脏 AFB₁ 和黄曲霉毒素 M₁(AFM₁)含量显著升高 ($P<0.05$),背最长肌 AFB₁ 含量显著升高 ($P<0.05$)。与 AFB₁ 组相比,复合添加剂 I 组 51~75 kg 生长育肥猪的 ADG 显著升高 ($P<0.05$);135 kg 时的血浆 T-SOD 活性显著升高 ($P<0.05$);100 kg 时的血浆 MDA 含量和 GOT 活性显著降低 ($P<0.05$);肾脏 AFM₁ 和背最长肌 AFB₁ 含量显著降低 ($P<0.05$)。与 AFB₁ 组相比,复合添加剂 II 组生长育肥猪 135 kg 时的血浆 T-SOD 活性显著升高 ($P<0.05$),100 和 135 kg 时的血浆 MDA 含量显著降低 ($P<0.05$);100 kg 时的血浆 GOT 活性显著降低 ($P<0.05$)。综上所述,饲喂含 280 μg/kg AFB₁ 饲料可导致生长育肥猪的生长性能和机体抗氧化能力下降、组织 AFB₁ 残留量增加、肝脏功能受损;添加 0.3%抗氧化复合添加剂显著降低 AFB₁ 在组织中的残留,提高机体抗氧化能力,缓解 AFB₁ 对生长育肥猪生长性能和肝脏功能的不良影响;添加 0.3%肠道健康复合添加剂显著提高机体抗氧化能力,缓解 AFB₁ 对生长育肥猪肝脏的损伤。

关键词: 营养性复合添加剂;黄曲霉毒素 B₁;生长性能;肝脏功能;毒素残留;生长育肥猪

中图分类号:S828

文献标识码:A

文章编号:1006-267X(2019)10-4691-10

全世界约有 25% 的谷物被霉菌毒素污染,其中危害饲料最严重的是黄曲霉毒素,给畜牧业造

成了巨大的经济损失^[1]。黄曲霉毒素是一类由黄曲霉和寄生曲霉等产毒真菌通过聚酮途径所产生

收稿日期:2019-03-16

基金项目:科技基础性工作专项(2014FY111000-4);国家科技支撑计划项目(2014BAD13B01)

作者简介:蒲俊宁(1990—),男,四川南充人,博士研究生,从事猪的营养研究。E-mail: 1135422733@qq.com

* 通信作者:余冰,教授,博士生导师,E-mail: ybingtian@163.com

的次级代谢产物,所产生的黄曲霉毒素包括 B₁、B₂、G₁、G₂、M₁、M₂ 等 20 种类型,其中黄曲霉毒素 B₁(AFB₁) 毒性最强,其主要生物学效应有致癌、致畸和致突变等作用,对人和畜禽健康危害极大^[2]。目前,霉菌毒素脱毒常用的方法有物理、化学和生物脱毒法。物理和化学脱毒法除了脱毒效果差、成本高、易解离,还存在吸附饲料中营养物质、降低饲料营养价值和适口性差等弊端^[3]。因此,寻找安全、高效的降解霉菌毒素的措施显得尤为重要。研究表明,AFB₁ 在机体内主要经肠道吸收,转入肝脏代谢,诱导氧化应激,从而造成肝脏损伤和生长性能下降等中毒现象^[4]。同时,肠道是消化吸收的主要器官,所面临的霉菌毒素浓度远高于其他组织,具有强脂溶性的 AFB₁ 会导致肠道氧化应激和肠道屏障功能受损,从而影响动物的生长性能^[5]。本课题组前期研究表明,抗氧化复合添加剂(主要成分为酵母硒、维生素 C 和维生素 E)和肠道健康复合添加剂(主要成分为丁酸钠、乳酸杆菌和黄芪多糖)能显著缓解 AFB₁ 对断奶仔猪产生的不利影响^[6],能否缓解长期饲喂含 AFB₁ 饲料对生长育肥猪产生的不利影响尚无报道。因此,本试验在含 AFB₁ 饲料中分别添加抗氧化和肠道健康 2 种复合添加剂,考察它们对生长育肥猪生长性能、抗氧化能力、肝脏功能和毒素残留的影响。研究结果可为认识长期饲喂含 AFB₁ 饲料对生长育肥猪的毒性作用提供试验依据,也可为实际生产中饲用霉菌毒素脱毒剂的研发提供方向。

1 材料与方 法

1.1 AFB₁ 的培养与检测

AFB₁ 的培养包括菌种活化、接种、发酵和收毒 4 个过程。1) 活化:将黄曲霉菌(*Aspergillus flavus* 3.441,购于中科院生物所,主要代谢产物为 AFB₁)接种到马铃薯葡萄糖琼脂(PDA)培养基,待培养基上布满绿色孢子,加入到 0.2%的吐温 80 溶液中,封口,摇床振荡 15 min,悬浮液过 8 层擦镜纸,制得黄曲霉孢子悬浮液;2) 接种:将制备好的孢子悬浮液稀释至 10⁶ CFU/mL,取 10 mL 接种至大米培养基;3) 发酵:搅拌均匀,28 ℃培养箱中恒温培养 5 d,待有绿色孢子若隐若现后再培养 12 h,取出;4) 收毒:在已经培养好的大米培养基中加入三氯甲烷淹没和湿润长满黄曲霉的培养基,4 ℃避光静止 12 h,通风橱 65 ℃蒸干三氯甲烷,培养基烘干、粉碎、装袋,避光保存。参照国标

法(GB/T 17480—2008)检测培养的黄曲霉毒素,具体操作方法依照酶联免疫吸附试验(ELISA)试剂盒(购自江苏省苏微微生物研究有限公司)说明书进行。

1.2 试验动物与试验设计

采用单因子试验设计,选取平均体重为(38.06±0.27) kg 的健康“杜×长×大”生长育肥猪 28 头,按照体重相近原则随机分为 4 组,分别为对照组(基础饲料)、AFB₁ 组(预期含 AFB₁ 280 μg/kg)、复合添加剂 I 组(AFB₁ 饲料+0.3%抗氧化复合添加剂)和复合添加剂 II 组(AFB₁ 饲料+0.3%肠道健康复合添加剂),每组 7 个重复,每个重复 1 头猪。试验期 102 d。

1.3 试验饲料

试验采用玉米-豆粕型基础饲料(表 1),营养需要参照 NRC(2012)中 25~50 kg、51~75 kg、76~100 kg 和 101~135 kg 4 阶段推荐量配制。根据 ELISA 试剂盒测定的培养基中黄曲霉毒素含量,AFB₁ 组饲料使用含 AFB₁ 大米培养基等比例替代基础饲料中的正常大米,使饲料 AFB₁ 浓度至 280 μg/kg 左右;复合添加剂组饲料是在 AFB₁ 组饲料基础上分别用 0.3%抗氧化复合添加剂(含维生素 C、维生素 E 和酵母硒等)和 0.3%肠道健康复合添加剂(含丁酸钠、乳酸杆菌、黄芪多糖等)等比例替代统糠。饲料中黄曲霉毒素含量使用 GB/T 30955—2014 免疫亲和柱净化-高效液相色谱(HPLC)法测定。经检测,AFB₁ 组、复合添加剂 I 和 II 组饲料中 AFB₁ 含量分别为 286.6、302.8 和 282.5 μg/kg。

1.4 饲养管理

试验在四川农业大学动物营养研究所试验基地进行。试验前清洗料槽、水槽,彻底消毒猪舍。试验期间,猪只自由饮水,每日饲喂 3 次(08:00、14:00 和 20:00),少喂勤添,饲喂量以猪只吃饱后料槽内略有剩余为宜,各组饲养管理条件保持一致。保持圈舍通风,环境适宜,并于每日结算余料,记录采食量。

1.5 样品采集与处理

在 51~75 kg、76~100 kg 和 101~135 kg 阶段结束时,猪只空腹 12 h,前腔静脉采血 20 mL,置于含肝素钠抗凝管中,室温下放置 10 min,3 700 r/min 离心 15 min,分离血浆,置于-20 ℃保存待测。饲养试验结束,猪只采取常规电击放血屠宰,取肝脏、肾脏、脾脏、胰腺称重计算脏器指

数; 取背最长肌、肾脏及肝脏各 20 g 放入 -20 °C 保存待测毒素残留。

表 1 基础饲料组成及营养水平 (风干基础)

Table 1 Composition and nutrient levels of basal diets (air-dry basis)

%

项目 Items	体重阶段 Body weight stages/kg			
	38~50	51~75	76~100	101~135
原料 Ingredients				
玉米 Corn	72.11	78.68	78.64	84.41
豆粕 Soybean meal	18.14	16.76	17.42	12.04
鱼粉 Fish meal	3.00			
蔗糖 Sucrose	2.00			
氯化胆碱 Choline chloride	0.10	0.15	0.15	0.15
食盐 NaCl	0.30	0.40	0.40	0.40
大豆油 Soybean oil	1.40	0.91	0.80	0.60
石粉 Limestone	0.58	0.74	0.56	0.58
磷酸氢钙 CaHPO ₄	0.93	0.94	0.93	0.71
L-赖氨酸盐酸盐 L-Lys · HCl	0.38	0.39	0.22	0.21
DL-蛋氨酸 DL-Met	0.08	0.06		
L-苏氨酸 L-Thr	0.11	0.11	0.04	0.05
L-色氨酸 L-Try	0.03	0.03		0.01
大米 Rice	0.30	0.30	0.30	0.30
统糠 Rice bran	0.31	0.30	0.31	0.31
维生素预混料 Vitamin premix ¹⁾	0.03	0.03	0.03	0.03
矿物质预混料 Mineral premix ²⁾	0.20	0.20	0.20	0.20
合计 Total	100.00	100.00	100.00	100.00
营养水平 Nutrient levels ³⁾				
消化能 DE/(MJ/kg)	14.46	14.22	14.22	14.22
代谢能 ME/(MJ/kg)	13.91	13.74	13.74	13.81
粗蛋白质 CP	16.47	14.50	13.60	12.60
钙 Ca	0.66	0.59	0.52	0.46
总磷 TP	0.58	0.50	0.50	0.44
有效磷 AP	0.32	0.25	0.25	0.21
赖氨酸 Lys	1.10	0.96	0.84	0.70
蛋氨酸 Met	0.37	0.30	0.25	0.22

¹⁾ 维生素预混料为每千克饲料提供 Vitamin premix provided the following per kg of diets: VA 12 000 IU, VD₃ 3 000 IU, VE 7.5 IU, VK₃ 1.5 mg, VB₁ 0.6 mg, VB₂ 4.8 mg, VB₆ 1.8 mg, VB₁₂ 9.0 μg, 泛酸 pantothenic acid 7.5 mg, 叶酸 folic acid 0.15 mg, 烟酸 nicotinic acid 1.05 mg, 生物素 biotin 0.15 mg。

²⁾ 矿物质预混料为每千克饲料提供 Mineral premix provided the following per kg of diets: Fe 60 mg, Cu 4.0 mg, Zn 60 mg, Mn 2.0 mg, I 0.14 mg, Se 0.2 mg。

³⁾ 营养水平为计算值。Nutrient levels were calculated values.

1.6 检测指标与方法

1.6.1 生长性能

试验期间准确记录每头试验猪的每日采食量, 分别在猪只平均体重达到 50、75、100 和 135 kg 左右时空腹称重, 计算猪的平均日增重 (average daily gain, ADG)、平均日采食量 (average daily feed intake, ADFI) 和料重比 (feed/gain, F/G)。

1.6.2 脏器指数

猪只屠宰后立即取肝脏、脾脏、肾脏、胰腺, 剥去表面薄膜和脂肪, 称鲜重, 计算脏器指数。计算公式为:

脏器指数 (g/kg) = 器官鲜重 (g) / 猪体活重 (kg)。

1.6.3 抗氧化能力

血浆总抗氧化能力 (total antioxidant capability, T-AOC)、谷胱甘肽过氧化物酶 (glutathione per-

oxidase, GSH-Px) 和总超氧化物歧化酶 (total superoxide dismutase, T-SOD) 活性及丙二醛 (malondialdehyde, MDA) 含量采用南京建成生物工程研究所试剂盒进行测定, 操作均按说明书进行。

1.6.4 肝脏功能

血浆谷草转氨酶 (GOT) 和谷丙转氨酶 (GPT) 活性采用南京建成生物工程研究所生产的试剂盒进行测定, 操作均按说明书进行。

1.6.5 组织 AFB₁ 和黄曲霉毒素 M₁ (AFM₁) 含量

背最长肌、肾脏及肝脏组织 AFB₁ 和 AFM₁ 含量采用高效液相色谱法测定, 具体操作参考 Tavčar-Kalcher 等^[7] 方法: 将组织样品切成小块, 绞碎, 取 3 g 样品, 加入 30 mL 二氯甲烷, 超声 10 min 后摇床振荡 1 h, 过滤; 滤液中加入 3 g 无水硫酸钠, 再次过滤, 取 10 mL 滤液至 15 mL 离心管中, 50 °C 用氮吹仪吹干后, 加入 3 mL 甲醇溶解, 将 3 mL 甲醇用水稀释至 15 mL, 全部过柱。过柱方法: 将上述 15 mL 稀释液 (相当于 1 g 样品量) 以 1 滴/s 的速度全部通过黄曲霉六合一亲和柱; 取 10 mL 纯水通过亲和柱, 洗去杂质; 加入 1 mL 甲醇洗脱, 并收集全部洗脱液到玻璃小管中, 上液相检

测。以信噪比 (S/N) 为 3 计算检出限 (LOD) 为 0.05 μg/kg。

1.7 数据统计分析

试验数据先用 Excel 2016 初步整理, 然后采用 SAS 9.2 软件中 GLM 程序进行单因素方差分析, 并采用 Duncan 氏法进行多重比较。所有数据均以“平均值±标准误 (SE)”表示, 以 $P < 0.05$ 为差异显著, $0.05 \leq P \leq 0.10$ 为差异有显著趋势。

2 结果

2.1 营养性复合添加剂对生长育肥猪生长性能的影响

由表 2 可知, 38~50 kg 阶段, 各组生长育肥猪的 ADG 和 ADFI 无显著差异 ($P > 0.05$), 复合添加剂 I 组的 F/G 显著高于其他各组 ($P < 0.05$)。51~75 kg 阶段, 与对照组相比, AFB₁ 组的 ADG 显著降低 ($P < 0.05$); 与 AFB₁ 组相比, 复合添加剂 I 组的 ADG 显著升高 ($P < 0.05$)。76~100 kg 阶段, 与对照组相比, AFB₁ 组的 ADG 降低 11.49% ($P > 0.05$); 与 AFB₁ 组相比, 复合添加剂 I 组的 ADG 升高 10.69% ($P > 0.05$)。101~135 kg 阶段, 各组的 ADG、ADFI 和 F/G 无显著差异 ($P > 0.05$)。

表 2 营养性复合添加剂对生长育肥猪生长性能的影响

Table 2 Effects of nutritional compound additive on growth performance of growing-finishing pigs

项目 Items	对照组 Control group	AFB ₁ 组 AFB ₁ group	复合添加剂 I 组 Compound additive group I	复合添加剂 II 组 Compound additive group II	P 值 P-value
38~50 kg					
平均日增重 ADG/g	765.33±30.21	767.33±21.09	713.33±40.44	782.22±39.09	0.53
平均日采食量 ADFI/g	1 756.73±66.5	1 758.00±53.26	1 794.21±97.33	1 655.69±56.76	0.52
料重比 F/G	2.30±0.04 ^a	2.29±0.05 ^a	2.53±0.13 ^b	2.13±0.08 ^a	0.03
51~75 kg					
平均日增重 ADG/g	948.15±22.98 ^b	807.41±25.26 ^a	918.52±22.38 ^b	888.89±41.68 ^{ab}	0.03
平均日采食量 ADFI/g	2 146.14±90.77	1 995.48±82.19	2 111.81±71.02	2 018.77±84.41	0.54
料重比 F/G	2.26±0.07	2.47±0.08	2.30±0.06	2.28±0.04	0.10
76~100 kg					
平均日增重 ADG/g	954.84±34.74	845.16±48.55	935.48±60.13	873.66±57.62	0.44
平均日采食量 ADFI/g	2 667.13±62.41	2 272.29±136.15	2 448.26±110.31	2 272.42±143.31	0.11
料重比 F/G	2.80±0.06	2.69±0.09	2.63±0.09	2.61±0.09	0.42
101~135 kg					
平均日增重 ADG/g	962.07±42.72	927.59±87.81	924.14±83.15	971.26±45.33	0.94
平均日采食量 ADFI/g	3 190.28±67.72	3 006.66±199.02	3 158.07±217.26	2 986.01±169.65	0.78
料重比 F/G	3.33±0.11	3.29±0.18	3.47±0.21	3.07±0.09	0.31

同行数据肩标不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$), 相同或无字母表示差异不显著 ($P > 0.05$)。下表同。

In the same row, values with different small letter superscripts mean significant difference ($P < 0.05$), while with the same or no letter superscripts mean no significant difference ($P > 0.05$). The same as below.

2.2 营养性复合添加剂对生长育肥猪抗氧化能力的影响

由表 3 可知, 75 kg 左右时, 各组生长育肥猪的血浆 T-SOD、GSH-Px 活性及 T-AOC 无显著差异 ($P>0.05$)。100 kg 左右时, 与对照组相比, AFB₁ 组的血浆 T-SOD 和 GSH-Px 活性分别降低 7.22% 和 16.93% ($P>0.05$), 血浆 MDA 含量升高 9.69% ($P>0.05$); 与 AFB₁ 组相比, 复合添加剂 I 组的血浆 T-SOD 和 GSH-Px 活性分别提高 23.29%

和 7.68% ($P>0.05$), 血浆 MDA 含量显著降低 ($P<0.05$); 复合添加剂 II 组的血浆 T-SOD 和 GSH-Px 活性分别提高 12.47% 和 19.28% ($P>0.05$), 血浆 MDA 含量显著降低 ($P<0.05$)。135 kg 左右时, 与对照组相比, AFB₁ 组的血浆 T-SOD 活性显著降低 ($P<0.05$), MDA 含量显著升高 ($P<0.05$); 与 AFB₁ 组相比, 复合添加剂 I 和 II 组的血浆 T-SOD 活性显著升高 ($P<0.05$), 复合添加剂 II 组的血浆 MDA 含量显著降低 ($P<0.05$)。

表 3 营养性复合添加剂对生长育肥猪抗氧化能力的影响

Table 3 Effects of nutritional compound additive on antioxidant capacity of growing-finishing pigs

项目 Items	对照组 Control group	AFB ₁ 组 AFB ₁ group	复合添加剂 I 组 Compound additive group I	复合添加剂 II 组 Compound additive group II	P 值 P-value
75 kg					
总超氧化物歧化酶 T-SOD/(U/mL)	55.09±12.04	49.62±9.76	46.41±7.46	59.97±7.15	0.72
总抗氧化能力 T-AOC/(U/mL)	1.43±0.05	1.63±0.12	1.65±0.19	1.47±0.20	0.70
谷胱甘肽过氧化物酶 GSH-Px/(U/mL)	684.39±43.46	662.39±32.23	644.72±12.39	680.41±42.38	0.86
100 kg					
总超氧化物歧化酶 T-SOD/(U/mL)	107.67±6.72	99.90±9.45	123.17±6.71	112.36±6.71	0.22
总抗氧化能力 T-AOC/(U/mL)	2.54±0.27	2.40±0.13	2.46±0.23	2.16±0.19	0.61
谷胱甘肽过氧化物酶 GSH-Px/(U/mL)	791.28±28.4	657.34±48.28	707.84±41.95	784.10±62.04	0.20
丙二醛 MDA/(nmol/mL)	1.96±0.10 ^{ab}	2.15±0.12 ^b	1.71±0.15 ^a	1.73±0.06 ^a	0.04
135 kg					
总超氧化物歧化酶 T-SOD/(U/mL)	106.14±8.01 ^b	81.50±2.76 ^a	109.53±7.75 ^b	112.91±7.11 ^b	0.04
总抗氧化能力 T-AOC/(U/mL)	0.79±0.10	0.67±0.18	0.80±0.10	0.72±0.10	0.86
谷胱甘肽过氧化物酶 GSH-Px/(U/mL)	955.56±34.90	899.50±35.87	997.03±34.52	991.55±40.78	0.27
丙二醛 MDA/(nmol/mL)	2.50±0.21 ^a	3.22±0.13 ^b	2.91±0.11 ^{ab}	2.53±0.19 ^a	0.01

2.3 营养性复合添加剂对生长育肥猪脏器指数的影响

由表 4 可知, 与对照组相比, AFB₁ 组生长育

肥猪的肝脏指数显著升高 ($P<0.05$); 与 AFB₁ 组相比, 复合添加剂 I 和 II 组的肝脏、肾脏、脾脏和胰腺指数均无显著差异 ($P>0.05$)。

表 4 营养性复合添加剂对生长育肥猪脏器指数的影响

Table 4 Effects of nutritional compound additive on organ indexes of growing-finishing pigs

项目 Items	对照组 Control group	AFB ₁ 组 AFB ₁ group	复合添加剂 I 组 Compound additive group I	复合添加剂 II 组 Compound additive group II	P 值 P-value
肝脏 Liver	11.65±0.66 ^a	14.17±0.41 ^b	14.01±0.41 ^b	14.03±0.45 ^b	0.01
肾脏 Kidney	2.55±0.08	2.77±0.06	2.89±0.09	2.71±0.07	0.05
脾脏 Spleen	1.18±0.08	1.31±0.06	1.19±0.10	1.24±0.08	0.70
胰腺 Pancreas	1.07±0.03	1.10±0.02	1.15±0.08	1.11±0.05	0.74

2.4 营养性复合添加剂对生长育肥猪血浆 GOT 和 GPT 活性的影响

由表 5 可知,100 kg 左右时,与对照组相比, AFB₁ 组生长育肥猪的血浆 GOT 活性显著升高 ($P<0.05$);与 AFB₁ 组相比,复合添加剂 I 和 II 组

的血浆 GOT 活性显著降低 ($P<0.05$)。135 kg 左右时,与对照组相比, AFB₁ 组的血浆 GOT 活性提高 29.62% ($P>0.05$);与 AFB₁ 组相比,复合添加剂 I 和 II 组的血浆 GOT 活性分别降低 28.49% 和 12.46% ($P>0.05$)。

表 5 营养性复合添加剂对生长育肥猪血浆 GOT 和 GPT 活性的影响

Table 5 Effects of nutritional compound additive on plasma GOT and GPT activities of growing-finishing pigs

项目 Items	对照组 Control group	AFB ₁ 组 AFB ₁ group	复合添加剂 I 组 Compound additive group I	复合添加剂 II 组 Compound additive group II	P 值 P-value
75 kg					
谷草转氨酶 GOT/(U/L)	3.22±0.39	5.00±0.49	3.48±0.54	4.04±0.47	0.09
谷丙转氨酶 GPT/(U/L)	5.08±0.60	5.92±1.46	5.94±1.21	5.75±0.66	0.93
谷草转氨酶/谷丙转氨酶 GOT/GPT	0.65±0.09	1.00±0.21	0.71±0.20	0.71±0.05	0.38
100 kg					
谷草转氨酶 GOT/(U/L)	3.27±0.08 ^a	4.52±0.32 ^b	3.20±0.28 ^a	3.55±0.20 ^a	<0.01
谷丙转氨酶 GPT/(U/L)	5.24±0.23	6.41±1.09	5.04±0.73	7.12±0.77	0.21
谷草转氨酶/谷丙转氨酶 GOT/GPT	0.63±0.02	0.80±0.15	0.66±0.06	0.51±0.03	0.12
135 kg					
谷草转氨酶 GOT/(U/L)	2.60±0.24	3.37±0.51	2.41±0.37	2.95±0.53	0.47
谷丙转氨酶 GPT/(U/L)	8.21±0.89	9.99±1.25	10.76±0.61	9.42±0.74	0.28
谷草转氨酶/谷丙转氨酶 GOT/GPT	0.34±0.05	0.34±0.03	0.23±0.05	0.31±0.05	0.34

2.5 营养性复合添加剂对生长育肥猪组织中 AFB₁ 和 AFM₁ 残留的影响

由表 6 可知,与对照组相比, AFB₁ 组生长育肥猪的肝脏和肾脏 AFB₁ 和 AFM₁ 含量显著升高

($P<0.05$),背最长肌 AFB₁ 含量显著升高 ($P<0.05$);与 AFB₁ 组相比,复合添加剂 I 组的肾脏 AFM₁ 和背最长肌 AFB₁ 含量显著降低 ($P<0.05$)。

表 6 营养性复合添加剂对生长育肥猪组织中 AFB₁ 和 AFM₁ 残留的影响

Table 6 Effects of nutritional compound additive on AFB₁ and AFM₁ residues in

tissues of growing-finishing pigs

项目 Items	对照组 Control group	AFB ₁ 组 AFB ₁ group	复合添加剂 I 组 Compound additive group I	复合添加剂 II 组 Compound additive group II	P 值 P-value
肝脏 Liver					
黄曲霉毒素 B ₁ AFB ₁	ND ^a	0.69±0.13 ^b	0.66±0.18 ^b	0.41±0.04 ^b	<0.01
黄曲霉毒素 M ₁ AFM ₁	ND ^a	0.96±0.11 ^b	0.82±0.19 ^b	0.59±0.14 ^b	<0.01
肾脏 Kidney					
黄曲霉毒素 B ₁ AFB ₁	ND ^a	0.15±0.05 ^{bc}	0.11±0.03 ^b	0.22±0.03 ^c	<0.01
黄曲霉毒素 M ₁ AFM ₁	ND ^a	1.25±0.08 ^c	0.68±0.12 ^b	1.29±0.20 ^c	<0.01
背最长肌 LM					
黄曲霉毒素 B ₁ AFB ₁	ND ^a	0.05±0.02 ^b	ND ^a	0.04±0.02 ^{ab}	0.04
黄曲霉毒素 M ₁ AFM ₁	ND	ND	ND	ND	—

ND 表示未检测到。ND means not detected.

3 讨论

3.1 营养性复合添加剂对生长育肥猪生长性能的影响

AFB₁ 作为一种剧毒物质, 高剂量极易造成动物死亡, 低剂量会因累积效应而致慢性中毒, 阻碍动物的生长发育和对营养物质的吸收, 造成经济损失^[8]。研究报道, 饲喂含 84.4 μg/kg AFB₁ 饲料可以抑制断奶仔猪的生长性能, 使 ADG 降低 9.43%, ADFI 显著降低 16.87%^[9]; 含 250 μg/kg AFB₁ 饲料显著降低初始体重为 14.2 kg 的生长猪第 9 周的 ADG^[10]。本试验结果表明, 饲喂 AFB₁ 含量为 280 μg/kg 饲料使 51~75 kg 生长育肥猪的 ADG 显著降低, 76~100 kg 生长育肥猪的 ADG 降低 11.49%, 与以上试验结果相似, 说明 AFB₁ 可以抑制生长育肥猪生长期的生长性能。然而, AFB₁ 对 101~135 kg 生长育肥猪的生长性能几乎没有负面影响, 可能是随着动物体重的增加, 其免疫系统逐渐完善, 对 AFB₁ 的耐受性增加, 从而减弱了 AFB₁ 对猪生长性能的影响。本试验结果也表明, 与 AFB₁ 组相比, 抗氧化复合添加剂组生长育肥猪 51~75 kg 阶段的 ADG 显著升高, 76~100 kg 阶段的 ADG 升高 10.69%, 说明抗氧化复合添加剂在一定程度上可以缓解 AFB₁ 对猪生长性能的负面影响。这可能与抗氧化复合添加剂中含有维生素 C、维生素 E 和酵母硒等成分有关, 它们可通过提高机体抗氧化能力^[11-12], 缓解 AFB₁ 对机体产生的氧化损伤, 从而改善猪的生长性能。

3.2 营养性复合添加剂对生长育肥猪抗氧化能力的影响

为抵抗氧化损伤, 机体内存在的酶类和非酶类抗氧化系统相互作用, 共同维持机体自由基平衡, 其中 T-AOC、T-SOD、GSH-Px 是酶类抗氧化系统的重要组成部分^[13]。MDA 则是脂质过氧化所产生的稳定终产物, 其含量常常用来反映机体内的脂质过氧化程度和细胞损伤程度。通常 AFB₁ 的主要毒性体现在其导致过量活性氧 (ROS) 产生, 引起脂质过氧化及相关酶活性降低^[14]。研究表明, 饲喂 AFB₁ 含量为 372.8 μg/kg 的饲料可显著降低断奶仔猪的血清 T-SOD 活性^[15]。本试验中, 饲喂含 AFB₁ 饲料降低生长育肥猪的血浆 T-SOD 和 GSH-Px 活性, 升高 MDA 含量; 而添加抗氧化复合添加剂或肠道健康复合添加剂均可有

效缓解 AFB₁ 引起的血浆 T-SOD 和 GSH-Px 活性降低及 MDA 含量升高, 表明 2 种添加剂均具有缓解 AFB₁ 引起机体抗氧化能力下降的功能。这可能与 2 种复合添加剂的组成有关, 本试验抗氧化复合添加剂中包含维生素 C 和维生素 E, 能清除自由基, 提高抗氧化酶活性, 缓解 AFB₁ 引起的氧化应激^[16]; 肠道健康复合添加剂中含有黄芪多糖, 具有改善机体抗氧化的能力^[17]。

3.3 营养性复合添加剂对生长育肥猪肝脏功能的影响

AFB₁ 是一种肝毒素, 对动物肝脏具有较强的破坏作用。AFB₁ 进入肝脏后, 可与 DNA 结合, 影响正常的转录和翻译, 抑制蛋白质的合成, 从而破坏细胞膜的稳定性并影响肝脏中脂类运输, 使肝脏脂肪过量沉积, 导致肝脏肥大和损伤^[18]。血清 GOT、GPT 活性代表肝脏损伤程度。Shi 等^[19] 研究报道, 仔猪黄曲霉毒素中毒时, 肝脏严重损伤, 肝脏中 GPT、GOT 等酶类活性降低, 而血清中这些酶活性显著升高。本试验中, AFB₁ 组生长育肥猪的血浆 GOT 活性和肝脏指数高于对照组, 表明 AFB₁ 的摄入导致生长育肥猪肝脏损伤; 与 AFB₁ 组相比, 2 种复合添加剂均显著降低血浆 GOT 活性, 表明复合添加剂在一定程度上缓解了 AFB₁ 对肝脏的损伤。但是添加剂的使用并未缓解由 AFB₁ 导致的肝脏指数增加, 可能是猪长时间饲喂含 AFB₁ 饲料, 导致肝脏指数增高严重, 虽然添加剂在一定程度上改善了肝脏功能, 但不能完全使其恢复到正常状态。

3.4 营养性复合添加剂对生长育肥猪组织中 AFB₁ 和 AFM₁ 残留的影响

AFB₁ 不仅给动物和畜牧业造成了严重的危害, 也可残留在动物的肝脏、肾脏、肌肉、血液及禽蛋等动物产品中, 通过食物链危害人类健康^[20]。黄曲霉毒素在生物体内的代谢较为复杂, 动物摄入含 AFB₁ 的饲料, 约有 50% 在十二指肠被吸收, 主要蓄积在肝脏、肾脏和肌肉中^[21]。研究表明, 家养动物如鸡、猪采食含 AFB₁ 的饲料后, 提高了肝脏、肾脏和肌肉组织中 AFB₁ 的残留量^[22-23]。本试验结果表明, 生长育肥猪长时间采食含 AFB₁ 饲料, 提高了肝脏及肾脏组织中 AFB₁ 及主要代谢产物 AFM₁ 残留量, 提高了背最长肌中 AFB₁ 残留量。AFB₁ 及 AFM₁ 在脏器中的残留伴随着机体氧化损伤或免疫抑制^[15], 这与本试验 AFB₁ 组生

长育肥猪的血浆 T-SOD 活性显著降低、MDA 含量显著升高的结果相符合。抗氧化复合添加剂可显著降低生长育肥猪的肾脏 AFB₁ 和背最长肌 AFB₁ 含量,表明抗氧化复合添加剂具有降低生长育肥猪组织毒素残留量的能力,提高猪肉食品的安全性。这些效果一方面可能是抗氧化复合添加剂能够清除氧化自由基,缓解肝脏氧化损伤,从而提高肝脏的解毒能力^[24],减少 AFB₁ 在机体中的蓄积,降低 AFB₁ 在肌肉中的残留量;另一方面可能是抗氧化复合添加剂能分解体内过氧化物和环氧化物,抑制 AFB₁ 在体内的转化和分解,最终使 AFB₁ 以复合体的形式从粪便中排出体外,从而降低组织中毒素残留量^[25]。

4 结 论

饲喂含 280 μg/kg AFB₁ 饲料可导致猪生长性能和机体抗氧化能力下降、组织 AFB₁ 残留量增加、肝脏功能受损;添加 0.3% 抗氧化复合添加剂显著降低 AFB₁ 在猪组织中的残留量,提高机体抗氧化能力,缓解 AFB₁ 对猪生长性能和肝脏功能的不良影响;添加 0.3% 肠道健康复合添加剂显著提高机体抗氧化能力,缓解 AFB₁ 对猪肝脏的损伤。

参考文献:

- [1] MOSS M O. Risk assessment for aflatoxins in foodstuffs [J]. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 2002, 50 (3/4) : 137-142.
- [2] MISHRA H N, DAS C A. A review on biological control and metabolism of aflatoxin [J]. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2003, 43 (3) : 245-264.
- [3] 左瑞雨,王秋文,常娟,等. AFB₁ 降解剂对肉鸡生长性能、养分代谢及 AFB₁ 在体内残留的影响 [J]. *中国畜牧兽医*, 2017, 44 (2) : 432-439.
- [4] ATHERSTONE C, GRACE D, LINDAHL J F, et al. Assessing the impact of aflatoxin consumption on animal health and productivity [J]. *African Journal of Food, Agriculture, Nutrition and Development*, 2016, 16 (3) : 10949-10966.
- [5] 毕小娟,陈代文,余冰,等. 黄曲霉毒素 B₁ 对断奶仔猪生长性能, 肝脏组织及肠道健康的影响 [J]. *动物营养学报*, 2018, 30 (8) : 3276-3284.
- [6] 高亿清. 不同复合添加剂对采食含霉菌毒素饲料断奶仔猪生长性能和肠道健康的影响 [D]. 硕士学位论文. 雅安: 四川农业大学, 2015.
- [7] TAVČAR-KALČER G, VRTAČ K, PESTEVŠEK U, et al. Validation of the procedure for the determination of aflatoxin B₁ in animal liver using immunoaffinity columns and liquid chromatography with postcolumn derivatisation and fluorescence detection [J]. *Food Control*, 2007, 18 (4) : 333-337.
- [8] YUNUS A W, RAZZAZI-FAZELI E, BOHM J. Aflatoxin B₁ in affecting broiler's performance, immunity, and gastrointestinal tract: a review of history and contemporary issues [J]. *Toxins*, 2011, 3 (6) : 566-590.
- [9] 黄能金. 自然霉变玉米对断奶仔猪的毒性作用及添加剂的解毒效果研究 [D]. 硕士学位论文. 雅安: 四川农业大学, 2014.
- [10] RUSTEMEYER S M, LAMBERSON W R, LEDOUX D R, et al. Effects of dietary aflatoxin on the health and performance of growing barrows [J]. *Journal of Animal Science*, 2010, 88 (11) : 3624-3630.
- [11] NUNES G L, ROBINSON K, KALYNYCH A, et al. Vitamins C and E inhibit O₂⁻ production in the pig coronary artery [J]. *Circulation*, 1997, 96 (10) : 3593-3601.
- [12] WANG X, SHEN Z, WANG C, et al. Dietary supplementation of selenium yeast enhances the antioxidant capacity and immune response of juvenile *Eriocheir sinensis* under nitrite stress [J]. *Fish & Shellfish Immunology*, 2019, 87 : 22-31.
- [13] LYKKESFELDT J, SVENDSEN O. Oxidants and antioxidants in disease; oxidative stress in farm animals [J]. *The Veterinary Journal*, 2007, 173 (3) : 502-511.
- [14] BEDARD L L, MASSEY T E. Aflatoxin B₁-induced DNA damage and its repair [J]. *Cancer Letters*, 2006, 241 (2) : 174-183.
- [15] FU J C, CHEN Q, DU J, et al. Effectiveness of maifanite in reducing the detrimental effects of aflatoxin B₁ on hematology, aflatoxin B₁ residues, and antioxidant enzymes activities of weanling piglets [J]. *Livestock Science*, 2013, 157 (1) : 218-224.
- [16] ALPSOY L, YILDIRIM A, AGAR G. The antioxidant effects of vitamin A, C, and E on aflatoxin B₁-induced oxidative stress in human lymphocytes [J]. *Toxicology and Industrial Health*, 2009, 25 (2) : 121-127.
- [17] DANG S S, ZHANG X, JIA X L, et al. Protective effects of emodin and astragalus polysaccharides on chronic hepatic injury in rats [J]. *Chinese Medical Journal*, 2008, 121 (11) : 1010-1014.
- [18] JEANNOT E, BOORMAN G A, KOSYK O, et al. Increased incidence of aflatoxin B₁-induced liver tumors in

- hepatitis virus C transgenic mice[J]. *International Journal of Cancer*, 2012, 130(6):1347-1356.
- [19] 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.
- [20] CREPPY E E. Update of survey, regulation and toxic effects of mycotoxins in Europe[J]. *Toxicology Letters*, 2002, 127(1/2/3):19-28.
- [21] 李娟娟, 苏晓鸥. 不同吸附剂对黄曲霉毒素 B₁ 吸附效果的研究[J]. *中国畜牧兽医*, 2009, 36(8):5-10.
- [22] HUSSAIN Z, KHAN M Z, KHAN A, et al. Residues of aflatoxin B₁ in broiler meat; effect of age and dietary aflatoxin B₁ levels[J]. *Food and Chemical Toxicology*, 2010, 48(12):3304-3307.
- [23] NEFF G L, EDDS G T. Aflatoxins B₁ and M₁: tissue residues and feed withdrawal profiles in young growing pigs[J]. *Food and Cosmetics Toxicology*, 1981, 19:739-742.
- [24] YILMAZ S, KAYA E, COMAKLI S. Vitamin E (α tocopherol) attenuates toxicity and oxidative stress induced by aflatoxin in rats[J]. *Advances in Clinical and Experimental Medicine*, 2017, 26(6):907-917.
- [25] 王钟翊. 纳米硒对肉鸭日粮中黄曲霉毒素 B₁ 解毒效果的研究[D]. 硕士学位论文. 重庆: 西南大学, 2009.

Effects of Nutritional Compound Additives on Growth Performance, Antioxidant Capacity, Liver Function and Toxin Residues of Growing-Finishing Pigs Fed Diets Contaminated with Aflatoxin B₁

PU Junning YUAN Qinghui CHEN Daiwen TIAN Gang HE Jun ZHENG Ping

MAO Xiangbing YU Jie HUANG Zhiqing LUO Junqiu LUO Yuheng YU Bing*

(Key laboratory of Animal Disease-Resistant Nutrition, Sichuan Province, Key laboratory of Animal Disease-Resistant Nutrition and Feed, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Key Laboratory for Animal Disease-Resistance Nutrition of Ministry of Education, Institute of Animal Nutrition, Sichuan Agricultural University, Ya' an 625014, China)

Abstract: This experiment was conducted to investigate the effects of nutritional compound additives on growth performance, antioxidant capacity, liver function and toxin residues of growing-finishing pigs fed diets contaminated with aflatoxin B₁ (AFB₁). Twenty-eight healthy Duroc×Landrace×Yorkshire growing-finishing pigs with average body weight of (38.06±0.27) kg were randomly assigned to 4 groups with 7 replicates per group and 1 pig per replicate according to similar body weight. The 4 groups were control group (basal diet), AFB₁ group (280 μg/kg AFB₁), compound additive group I (AFB₁ diet+0.3% antioxidant compound additive) and compound additive group II (AFB₁ diet+0.3% intestinal health compound additive), respectively. The experiment lasted for 102 days. The results showed as follows: compared with control group, average daily gain (ADG) at 51 to 75 kg was significantly decreased ($P<0.05$), plasma total superoxide dismutase (T-SOD) activity was significantly decreased and plasma malondialdehyde (MDA) content was significantly increased at 135 kg ($P<0.05$), plasma glutamic oxaloacetic transaminase (GOT) activity was significantly increased at 100 kg ($P<0.05$), and liver index, AFB₁ and aflatoxin M₁ (AFM₁) contents in liver and kidney and AFB₁ content in *longissimus dorsi* of growing-finishing pigs in AFB₁ group were significantly increased ($P<0.05$). Compared with AFB₁ group, ADG at 51 to 75 kg was significantly increased ($P<0.05$), plasma T-SOD activity was significantly increased at 135 kg ($P<0.05$), plasma MDA content and GOT activity were significantly decreased at 100 kg ($P<0.05$), and AFM₁ content in kidney and AFB₁ content in *longissimus dorsi* of growing-finishing pigs in compound additive group I were significantly decreased ($P<0.05$). Compared with AFB₁ group, plasma T-SOD activity was significantly increased at 135 kg ($P<0.05$), plasma MDA content was significantly decreased at 100 and 135 kg ($P<0.05$), and plasma GOT activity at 100 kg of growing-finishing pigs in compound additive group II was significantly decreased ($P<0.05$). In conclusion, dietary 280 μg/kg AFB₁ can reduce growth performance and body antioxidant capacity, increase tissue AFB₁ residue, and lead to liver function of growing-finishing pigs damaged. Adding 0.3% antioxidant compound additive can significantly reduce AFB₁ residue in tissue, improve body antioxidant ability, and effectively relieve the adverse effects of AFB₁ on growth performance and liver function of growing-finishing pigs. Adding 0.3% intestinal health compound additive can significantly improve body antioxidant capacity and alleviate AFB₁ damage to liver of growing-finishing pigs. [Chinese Journal of Animal Nutrition, 2019, 31(10):4691-4700]

Key words: nutritional compound additives; aflatoxin B₁; growth performance; liver function; toxin residue; growing-finishing pigs