

脱氧雪腐镰刀菌烯醇污染饲料对断奶仔猪血液生理生化指标的影响及竹炭和竹醋液的干预作用

蒋竹英^{1,2,3} 范觉鑫^{1,2,3} 陈明洪^{1,3} 李丽立^{1,3} 王升平^{1,3} 印遇龙^{1,3} 李铁军^{1,3*}

(1. 中国科学院亚热带农业生态研究所, 中国科学院亚热带农业生态过程重点实验室, 长沙 410125; 2. 湖南农业大学动物科技学院, 长沙 410128; 3. 湖南省畜禽健康养殖工程技术研究中心, 农业部中南动物营养与饲料科学观测实验站, 长沙 410125)

摘要: 本试验旨在探讨脱氧雪腐镰刀菌烯醇(DON)污染饲料中添加竹炭和竹醋液对断奶仔猪生长性能、血液常规指标、血清生化指标及脏器指数的影响。试验选用28头35日龄、平均体重为(12.10±1.12) kg的“杜×长×大”三元杂交断奶仔猪,随机分为4个组,分别为对照组(基础饲料)、DON组(基础饲料+DON)、竹炭组(基础饲料+DON+2%竹炭)、竹醋液组(基础饲料+DON+1%竹醋液),每组7个重复,每个重复1头猪。试验期为37 d。结果表明:1)与对照组相比,DON组断奶仔猪平均日增重(ADG)显著降低($P < 0.05$),料重比显著升高($P < 0.05$);与DON组相比,竹醋液组断奶仔猪ADG、平均日采食量(ADFI)有提高趋势($P > 0.05$),料重比有降低趋势($P > 0.05$)。2)在试验第15天,血液红细胞数量,DON组显著低于对照组($P < 0.05$),竹炭组与对照组相比差异不显著($P > 0.05$),竹醋液组显著高于对照组和竹炭组($P < 0.05$);红细胞比积,DON组和竹炭组显著低于对照组($P < 0.05$),竹醋液组与对照组相比差异不显著($P > 0.05$);在试验第30天,血液常规指标4组之间无显著差异($P > 0.05$)。3)血清免疫球蛋白M、葡萄糖含量及乳酸脱氢酶和谷草转氨酶活性,不论是在第15天、第30天还是在第37天,4组之间差异均不显著($P > 0.05$)。试验第15天,血清谷丙转氨酶活性,DON组和竹醋液组显著高于对照组($P < 0.05$),竹炭组与对照组相比差异不显著($P > 0.05$);试验第30天,血清总蛋白含量,DON组显著低于对照组和竹醋液组($P < 0.05$),竹炭组、竹醋液组与对照组相比差异不显著($P > 0.05$);试验第37天,血清尿素氮含量,DON组显著高于对照组和竹醋液组($P < 0.05$),但竹炭组、竹醋液组与对照组相比差异不显著($P > 0.05$)。4)DON组、竹炭组和竹醋液组肝脏、肾脏、胰脏、脾脏、心脏、胆囊、胸腺指数与对照组相比差异不显著($P > 0.05$);DON组肝脏指数有升高的趋势,但差异不显著($P > 0.05$)。结果提示:1)DON降低仔猪生长性能,而添加1%竹醋液有改善的作用。2)DON对断奶仔猪前期影响较大,后期断奶仔猪适应程度相对提高,有一定的耐受能力。3)DON可导致血细胞数量减少,血清谷丙转氨酶活性和尿素氮含量升高,总蛋白含量降低,添加2%竹炭和1%竹醋液,血细胞数量及血清谷丙转氨酶活性、尿素氮和总蛋白含量等指标可恢复到正常水平,表明竹炭和竹醋液对DON导致的负面影响具有一定的缓解作用。

关键词: 竹炭;竹醋液;脱氧雪腐镰刀菌烯醇;血清生化指标;断奶仔猪

中图分类号:S828

文献标识码:A

文章编号:1006-267X(2012)12-2459-10

收稿日期:2012-06-15

基金项目:国家973资金资助(2009CB118806);国家自然科学基金项目(31072042)

作者简介:蒋竹英(1986—),女,湖南永州人,硕士研究生,动物营养与饲料科学专业。E-mail: hnjiangzhuying@yahoo.com.cn

*通讯作者:李铁军,研究员,硕士生导师,E-mail: tjli@isa.ac.cn

脱氧雪腐镰刀菌烯醇 (deoxynivalenol, DON), 又称呕吐毒素, 是我国食管癌和胃癌高发区粮食及饲料中的优势污染霉菌毒素之一^[1-2]。受全球气候异常影响, 干旱、洪涝和虫害等增加了田间型毒素 DON 的发生几率, 可导致动物食欲减退、呕吐、胃肠道炎症和淋巴组织坏死^[3], 对生长较快的细胞, 如胃肠道黏膜细胞、淋巴细胞、胸腺细胞、脾细胞等均有损伤作用^[4], 并且能作用于骨髓造血细胞产生细胞毒性^[5]。尽管 DON 在动物上的毒害作用及其机理等方面已经取得了较大的研究进展, 但仍存在一些有待研究的问题^[6], 如已被毒素污染原料的脱毒等。吸附剂是目前饲料工业中较为普遍使用的一种饲料原料脱毒方式^[7], 鉴于目前市场上吸附剂吸附效果有待提高的现状, 研究开发新型安全绿色吸附剂对畜牧业可持续发展非常必要。

竹炭是竹材热解产物, 有研究表明, 竹炭的比表面积可达 $360 \text{ m}^2/\text{g}$, 是普通木材的 2~5 倍, 可开发为优良吸附材料^[8]。竹醋液是在竹炭生产过程中获得的液体产品, 它是一种组成成分相当复杂的深红褐色液体混合物, 其主要成分是水、有机酸、酚类、酮类、醇类等物质, pH 在 2.5~3.0, 醋酸含量在 2.00%~6.10%, 可用于土壤消毒、杀菌防病、饲料添加剂以及作为农药增效剂^[9-11]。本试验在 DON 污染饲料中添加竹炭和竹醋液, 探讨其对断奶仔猪生长性能、血液常规指标、血清生化指标及脏器指数的影响, 旨在为实际生产中吸附剂的选择与应用提供参考。

1 材料与方 法

1.1 试验材料

竹炭和竹醋液由南京林业大学生物质能源工程研究室提供。禾谷镰刀菌 (*F. graminearum* R6576) 菌种由华中农业大学提供。免疫球蛋白 G (IgG)、免疫球蛋白 M (IgM)、碱性磷酸酶 (AKP)、葡萄糖 (GLU)、总蛋白 (TP)、白蛋白 (ALB)、肌酸激酶 (CK)、乳酸脱氢酶 (LDH)、谷丙转氨酶 (GPT)、谷草转氨酶 (GOT)、尿素氮 (UN) 检测试剂盒均购自北京利德曼生化技术有限公司。DON 的 ELASA 检测试剂盒购自武汉华美生物工程有限公司。

1.2 禾谷镰刀菌培养及 DON 污染饲料制备

选用马铃薯葡萄糖琼脂 (PDA) 培养基,

121 °C 高压蒸汽灭菌 20 min, 冷却后在超净工作台接禾谷镰刀菌菌种, 然后置于 28 °C 培养箱中培养 5~6 d, 待菌丝长好, 接种于羧甲基纤维素酯 (CMC) 培养基中, 用接种针将菌丝打碎, 1 L 三角瓶中加入 CMC 培养基 220 mL, 于摇床上振荡培养 (28 °C、200 r/min) 5 d。

将基础饲料平铺于室内, 厚度适中, 然后将处理好的每 1 L CMC 培养基溶液喷洒于 25 kg 基础饲料上, 搅拌, 混匀。处理过程中保持底物含水量均匀且在 20% 左右, 温度 28 °C 左右, 处理 7 d。将处理好的饲料与未处理的基础饲料按 1:1 混合均匀, 同时分别按试验设计要求加入 2% 竹炭或 1% 竹醋液。本试验周期为 37 d, 先后共处理饲料 5 次, 每次每组取样 2 份装入洁净的密闭塑料袋, 标记, -20 °C 保存, 用于测定 DON 含量。DON 含量检测结果为 DON 组平均含 DON 3.780 mg/kg、竹炭组平均含 DON 3.401 mg/kg、竹醋液组平均含 DON 3.348 mg/kg。

1.3 试验动物及试验设计

试验选用 28 头 35 日龄、平均体重为 $(12.10 \pm 1.12) \text{ kg}$ 的“杜×长×大”三元杂交断奶仔猪, 随机分为 4 个组, 分别为对照组 (基础饲料)、DON 组 (基础饲料 + DON)、竹炭组 (基础饲料 + DON + 2% 竹炭)、竹醋液组 (基础饲料 + DON + 1% 竹醋液), 每组 7 个重复, 每个重复 1 头猪。试验期 37 d。基础饲料参照 NRC (1998) 断奶仔猪营养需要配制, 基础饲料组成及营养水平见表 1。测定对照组、DON 组、竹炭组和竹醋液组饲料粗蛋白质含量分别为: 17.39%、17.54%、18.06%、17.12%; 粗灰分含量分别为: 6.77%、5.83%、5.81%、5.70%; 赖氨酸含量分别为: 1.31%、0.87%、0.99%、0.93%; 蛋氨酸 + 胱氨酸含量分别为: 0.37%、0.41%、0.38%、0.45%; 苏氨酸含量分别为: 0.81%、0.63%、0.66%、0.68%; 色氨酸含量分别为: 0.22%、0.21%、0.21%、0.22%。

1.4 饲养管理

饲养试验在中国科学院亚热带农业生态研究所动物房进行, 栏舍为封闭式、漏缝地板, 单栏饲养。每日饲喂 3 次, 饲喂时间分别为每天 08:00、12:00 和 18:00, 自动饮水器供水, 自由采食, 免疫消毒程序按猪场常规方法进行。每天清扫圈舍,

以保持圈内清洁。采取自由通风,所有圈舍定期 消毒,观察猪只的食欲、精神状态、粪便等情况。

表 1 基础饲料组成及营养水平(风干基础)

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

%

原料 Ingredients	含量 Content	营养水平 Nutrient levels ²⁾	含量 Content
玉米 Corn	62.25	消化能 DE/(MJ/kg)	14.23
豆粕 Soybean meal	16.79	粗蛋白质 CP	17.39
膨化大豆 Extruded soybean	8.00	灰分 Ash	6.77
进口鱼粉 Imported fish meal	5.00	钙 Ca	0.80
麦麸 Wheat bran	3.00	总磷 TP	0.63
豆油 Soybean oil	1.74	有效磷 AP	0.40
预混料 Premix ¹⁾	1.00		
石粉 Limestone	0.98		
磷酸氢钙 CaHPO ₄	0.78		
食盐 NaCl	0.37		
赖氨酸 Lys	0.09		
合计 Total	100.00		

¹⁾ 预混料为每千克饲料提供 The premix provided the following per kg of diet: Fe 70 mg, Zn 44 mg, Cu 4.4 mg, Mn 8.0 mg, I 0.12 mg, Se 0.09 mg, VA 1 700 IU, VD₃ 180 IU, VE 8 IU, VK 1.7 mg, VB₁ 0.9 mg, VB₂ 2.6 mg, 烟酸 niacin 9.0 mg, 泛酸 pantothenic acid 12 mg, 生物素 biotin 0.09 mg, 叶酸 folic acid 0.5 mg, VB₁₂ 0.013 mg。

²⁾ 消化能、钙、总磷、有效磷均为计算值,其他为实测值。DE, Ca, TP and AP were calculated values, while the others were measured values.

1.5 样品采集及测定

1.5.1 生长性能测定

试验开始和结束时,个体空腹称重;每日观察猪群生长情况,记录饲料消耗情况;试验结束后,计算平均日增重(ADG)、平均日采食量(ADFI)和料重比。

1.5.2 血液常规指标和血清生化指标的测定

试验在第 15、30 和 37 天,每天 08:00 进行空腹前腔静脉采血,每头猪采血 2 份,1 份肝素钠抗凝用于血液常规指标测定,检测指标包括白细胞(WBC)计数、红细胞(RBC)计数、血红蛋白(Hb)含量、红细胞比积(HCT)、血小板(PLT)计数。另 1 份静置 30 min 后以 3 000 r/min 离心 15 min 分离血清, -20 ℃ 下保存,用 Beckman 公司 CX4 型全自动血液生化分析仪进行血清生化指标测定,检测指标包括 IgG、IgM、AKP、GLU、TP、ALB、CK、LDH、GPT、GOT、UN。所有指标严格按试剂盒操作说明进行操作。

1.5.3 脏器指数计算

试验结束后,每组随机选取 4 头体重接近的仔猪,称重后屠宰、解剖,迅速取出肝脏、胰脏、肾脏、胆囊、胸腺、脾脏和心脏,除去其表面脂肪等异

物后称重,计算脏器指数。

脏器指数(g/kg) = 器官重量/猪活体重。

1.6 数据处理

数据经 Excel 2007 整理后,采用 SPSS 17.0 软件中的 one-way ANOVA 过程对组间的数据进行单因素方差分析,Duncan 氏法进行各组间多重比较,以 $P < 0.05$ 作为差异显著性判断标准。试验数据以平均值 ± 标准误表示。

2 结果与分析

2.1 DON 污染饲料添加竹炭和竹醋液对断奶仔猪生长性能的影响

从表 2 可知,与对照组相比,DON 组、竹炭组和竹醋液组 ADG 分别显著降低了 14.00%、14.00% 和 12.29% ($P < 0.05$),而 DON 组、竹炭组和竹醋液组之间 ADG 差异不显著($P > 0.05$),但竹醋液组较 DON 组提高了 2.00%。与 DON 组相比,竹醋液组 ADFI 差异不显著($P > 0.05$),但升高了 1.58%,竹炭组 ADFI 则显著降低了 2.25% ($P < 0.05$);竹炭组较对照组 ADFI 显著降低了 3.66% ($P < 0.05$)。与对照组相比,DON 组、竹炭组、竹醋液组料重比分别显著升高了

14.35%、12.11% 和 13.45% ($P < 0.05$), 但竹炭组、竹醋液组与 DON 组之间料重比则差异不显著 ($P > 0.05$)。

表 2 DON 污染饲料添加竹炭和竹醋液对断奶仔猪生长性能的影响

Table 2 Effects of adding bamboo-carbon and bamboo vinegar to diets contaminated by DON on growth performance of weaner piglets

项目 Items	对照组 Control group	DON 组 DON group	竹炭组 Bamboo-carbon group	竹醋液组 Bamboo vinegar group
始重 Initial weight/kg	11.95 ± 0.43	12.35 ± 0.47	11.74 ± 0.25	12.36 ± 0.53
末重 Final weight/kg	27.02 ± 0.93 ^a	25.31 ± 0.43 ^{ab}	24.74 ± 0.48 ^b	25.65 ± 0.75 ^{ab}
平均日增重 ADG/g	407.10 ± 0.02 ^a	350.00 ± 0.01 ^b	350.00 ± 0.02 ^b	357.10 ± 0.01 ^b
平均采日食量 ADFI/g	901.40 ± 0.01 ^a	888.60 ± 0.01 ^a	868.60 ± 0.00 ^b	902.90 ± 0.01 ^a
料重比 Feed/gain	2.23 ± 0.08 ^b	2.55 ± 0.07 ^a	2.50 ± 0.12 ^a	2.53 ± 0.07 ^a

同行数据肩标相同字母或无字母表示差异不显著 ($P > 0.05$), 不同字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。下表同。

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

2.2 DON 污染饲料添加竹炭和竹醋液对断奶仔猪血液常规指标的影响

从表 3 可知,随着日龄的增长,断奶仔猪不管是饲喂基础饲料(对照组)、DON 污染饲料(DON 组),还是竹炭或竹醋液处理的 DON 污染饲料(竹炭组或竹醋液组),除了 PLT 数量呈下降趋势,WBC 数量无规律外,其余血液常规指标(RBC 数量、Hb 含量和 HCT)均呈上升趋势;且不论是在试验第 15 天还是在第 30 天,均以竹醋液组断奶仔猪所有血液常规指标含量表现最高。在试验第 15 天,WBC 数量,竹炭组较 DON 组提高了 10.29% ($P > 0.05$),而竹醋液组较 DON 组显著提高了 33.39% ($P < 0.05$),DON 组、竹炭组、竹醋液组与对照组之间差异不显著 ($P > 0.05$),但竹醋液组较对照组提高了 10.67% ($P > 0.05$)。RBC 数量,竹炭组和竹醋液组分别较 DON 组显著提高了 8.16% 和 21.52% ($P < 0.05$),竹醋液组较对照组显著提高了 9.72% ($P < 0.05$),而 DON 组较对照组显著降低了 9.72% ($P < 0.05$)。HCT,竹炭组、竹醋液组与 DON 组相比差异不显著 ($P > 0.05$),但竹醋液组较 DON 组提高了 7.51%,竹醋液组与对照组相比差异不显著 ($P > 0.05$),但 DON 组和竹炭组较对照组则分别显著降低了 9.32% 和 10.20% ($P < 0.05$)。在试验第 30 天,竹炭组、竹醋液组、对照组和 DON 组之间,WBC 数量、RBC 数量、Hb 含量和 HCT 差异不显著 ($P > 0.05$),而

PLT 数量在竹炭组、对照组和 DON 组之间差异不显著 ($P > 0.05$),竹醋液组较对照组和 DON 组则分别显著提高了 41.31% 和 38.02% ($P < 0.05$)。

2.3 DON 污染饲料添加竹炭和竹醋液对断奶仔猪血清生化指标的影响

从表 4 可知,随着日龄的增长,饲喂 DON 污染饲料(DON 组)的仔猪血清 IgG、IgM、GLU、TP、ALB、UN 含量及 AKP、CK、LDH、GPT、GOT 活性均呈上升趋势;饲喂竹醋液处理的 DON 污染饲料(竹醋液组)的仔猪,除血清 AKP 和 LDH 活性呈降低趋势外,其他指标均呈上升趋势。在试验第 15 天,DON 组和竹醋液组血清 GPT 活性显著高于对照组 ($P < 0.05$);DON 组和竹醋液组血清 ALB 含量显著高于对照组 ($P < 0.05$)。试验第 30 天,DON 组血清 TP 含量显著低于对照组和竹醋液组 ($P < 0.05$);DON 组、竹炭组、竹醋液组血清 CK 活性显著低于对照组 ($P < 0.05$)。试验第 37 天,DON 组和竹炭组血清 AKP 活性与对照组相比差异不显著 ($P > 0.05$),但竹醋液组显著低于对照组和竹炭组 ($P < 0.05$);DON 组血清 UN 含量显著高于对照组和竹醋液组 ($P < 0.05$),但竹炭组、竹醋液组与对照组相比差异不显著 ($P > 0.05$)。

2.4 DON 污染饲料添加竹炭和竹醋液对断奶仔猪脏器指数的影响

从表 5 可知,各试验组肝脏、肾脏、胰脏、脾脏、心脏、胆囊、胸腺指数与对照组相比,差异不显著 ($P > 0.05$);DON 组肝脏指数较对照组升高了

15.36%, 但差异不显著 ($P > 0.05$); 而 DON 组肾脏指数显著高于竹炭组 ($P < 0.05$)。

表 3 DON 污染饲料添加竹炭和竹醋液对断奶仔猪血液常规指标的影响

Table 3 Effects of adding bamboo-carbon and bamboo vinegar to diets contaminated by DON on hematologic indexes of weaner piglets

项目 Items	日龄 Days of age/d	对照组 Control group	DON 组 DON group	竹炭组 Bamboo-carbon group	竹醋液组 Bamboo vinegar group
白细胞 WBC / (10^9 L^{-1})	15	26.71 ± 2.62 ^{ab}	22.16 ± 0.78 ^b	24.44 ± 1.12 ^{ab}	29.56 ± 2.15 ^a
	30	25.07 ± 1.57	26.28 ± 0.68	24.30 ± 3.21	27.76 ± 2.18
红细胞 RBC / (10^9 L^{-1})	15	5.97 ± 0.06 ^b	5.39 ± 0.14 ^c	5.83 ± 0.14 ^b	6.55 ± 0.18 ^a
	30	6.11 ± 0.29	6.53 ± 0.18	6.23 ± 0.13	6.66 ± 0.13
血红蛋白 Hb / (g/L)	15	109.71 ± 3.53	103.86 ± 4.55	104.29 ± 2.31	109.00 ± 2.40
	30	111.33 ± 4.70	118.67 ± 2.31	111.43 ± 3.08	118.86 ± 3.31
红细胞比积 HCT / %	15	36.07 ± 1.03 ^a	32.71 ± 1.26 ^b	32.39 ± 0.56 ^b	35.17 ± 0.90 ^{ab}
	30	36.75 ± 1.73	38.15 ± 0.90	36.69 ± 1.23	38.73 ± 0.93
血小板 PLT / (10^9 L^{-1})	15	344.43 ± 8.70	302.14 ± 12.30	324.29 ± 27.49	327.43 ± 26.22
	30	185.71 ± 6.51 ^b	190.14 ± 23.84 ^b	232.14 ± 25.39 ^{ab}	262.43 ± 25.42 ^a

表 4 DON 污染饲料添加竹炭和竹醋液对断奶仔猪血清生化指标的影响

Table 4 Effects of adding bamboo-carbon and bamboo vinegar to diets contaminated by DON on serum biochemical indexes of weaner piglets

项目 Items	日龄 Days of age/d	对照组 Control group	DON 组 DON group	竹炭组 Bamboo-carbon group	竹醋液组 Bamboo vinegar group
免疫球蛋白 G IgG / (mg/dL)	15	310.98 ± 12.49	323.35 ± 15.17	322.11 ± 15.50	303.86 ± 12.33
	30	331.11 ± 15.78	333.11 ± 20.85	348.47 ± 11.78	321.56 ± 23.93
	37	349.00 ± 17.94 ^{ab}	359.02 ± 11.19 ^{ab}	366.12 ± 3.83 ^a	316.11 ± 19.30 ^b
免疫球蛋白 M IgM / (mg/dL)	15	14.42 ± 1.57	13.31 ± 1.56	15.79 ± 1.34	15.40 ± 1.51
	30	17.20 ± 0.75	16.06 ± 2.52	15.08 ± 0.91	16.48 ± 0.90
	37	16.05 ± 0.84	17.43 ± 2.21	22.48 ± 1.46	19.73 ± 3.53
碱性磷酸酶 AKP / (U/L)	15	188.14 ± 5.24	178.86 ± 14.29	216.57 ± 16.57	199.29 ± 15.83
	30	198.50 ± 23.33	166.00 ± 0.84	183.25 ± 18.40	193.75 ± 4.39
	37	256.00 ± 23.12 ^a	201.25 ± 30.10 ^{ab}	269.25 ± 14.94 ^a	181.25 ± 16.67 ^b
葡萄糖 GLU / (mmol/L)	15	5.43 ± 0.97	5.08 ± 0.27	5.27 ± 0.33	4.26 ± 0.18
	30	5.22 ± 1.12	4.67 ± 0.49	4.24 ± 0.55	3.28 ± 0.39
	37	7.00 ± 0.40	6.81 ± 1.15	5.86 ± 0.59	5.09 ± 0.04
总蛋白 TP / (g/L)	15	59.89 ± 3.34	63.91 ± 2.49	64.87 ± 4.52	61.90 ± 0.88
	30	71.90 ± 0.74 ^a	62.22 ± 0.84 ^b	66.95 ± 2.67 ^{ab}	70.63 ± 3.74 ^a
	37	79.00 ± 2.76	79.20 ± 5.42	92.50 ± 5.06	77.70 ± 4.86
白蛋白 ALB / (g/L)	15	27.99 ± 1.16 ^b	31.76 ± 0.91 ^a	31.48 ± 1.58 ^{ab}	31.32 ± 1.01 ^a
	30	32.23 ± 1.13	33.24 ± 0.79	33.28 ± 2.47	36.68 ± 2.07
	37	39.48 ± 1.40	43.08 ± 3.01	44.05 ± 0.68	38.60 ± 2.45
肌酸激酶 CK / (g/L)	15	1 075.10 ± 265.68	1 153.70 ± 249.02	1 633.14 ± 367.79	1 173.71 ± 375.46
	30	2 172.25 ± 295.44 ^a	1 039.80 ± 214.74 ^b	1 019.50 ± 232.69 ^b	846.00 ± 89.49 ^b
	37	2 761.00 ± 274.70	2 173.25 ± 380.32	3 075.00 ± 427.51	2 580.00 ± 368.93

续表 4

项目 Items	日龄 Days of age/d	对照组 Control group	DON 组 DON group	竹炭组 Bamboo-carbon group	竹醋液组 Bamboo vinegar group
乳酸脱氢酶 LDH/(U/L)	15	614.29 ± 74.22	791.00 ± 132.84	742.86 ± 32.79	885.71 ± 87.33
	30	694.50 ± 80.84	542.60 ± 31.19	650.75 ± 67.95	673.75 ± 61.69
	37	902.50 ± 123.69	836.00 ± 166.97	1 057.00 ± 94.86	855.25 ± 136.58
谷丙转氨酶 GPT/(U/L)	15	41.57 ± 4.05 ^b	59.57 ± 6.38 ^a	52.67 ± 2.94 ^{ab}	60.86 ± 2.88 ^a
	30	54.75 ± 3.57	57.80 ± 7.28	50.25 ± 2.50	64.50 ± 6.54
	37	74.50 ± 3.93 ^{ab}	63.50 ± 11.51 ^b	92.25 ± 6.79 ^a	78.75 ± 4.19 ^{ab}
谷草转氨酶 GOT/(U/L)	15	64.71 ± 11.06	97.71 ± 15.49	75.71 ± 8.02	103.29 ± 22.74
	30	65.25 ± 7.40	60.80 ± 2.03	61.75 ± 8.92	64.00 ± 3.34
	37	176.25 ± 15.84	156.50 ± 33.15	214.75 ± 26.46	150.25 ± 28.51
尿素氮 UN/(mmol/L)	15	4.54 ± 0.96	3.32 ± 0.27	3.50 ± 0.44	3.26 ± 0.25
	30	4.05 ± 0.29	3.40 ± 0.10	3.58 ± 0.36	3.45 ± 0.15
	37	3.51 ± 0.28 ^b	4.93 ± 0.57 ^a	4.14 ± 0.41 ^{ab}	3.52 ± 0.28 ^b

表 5 DON 污染饲料添加竹炭和竹醋液对断奶仔猪脏器指数的影响

Table 5 Effects of adding bamboo-carbon and bamboo vinegar to diets contaminated by DON on viscera indexes of weaner piglets

项目 Items	对照组 Control group	DON 组 DON group	竹炭组 Bamboo-carbon group	竹醋液组 Bamboo vinegar group
肝脏 Liver	23.38 ± 2.24	26.97 ± 0.78	23.61 ± 0.73	23.71 ± 0.77
肾脏 Kidney	5.61 ± 0.41 ^{ab}	6.62 ± 0.56 ^a	5.22 ± 0.15 ^b	5.63 ± 0.36 ^{ab}
胰脏 Pancreas	2.34 ± 0.14	2.19 ± 0.30	2.35 ± 0.17	2.00 ± 0.40
脾脏 Spleen	2.14 ± 0.24	2.00 ± 0.23	2.12 ± 0.14	2.40 ± 0.21
心脏 Heart	5.28 ± 0.24	5.55 ± 0.40	5.60 ± 0.07	5.41 ± 0.24
胸腺 Thymus	1.41 ± 0.13	1.62 ± 0.23	1.31 ± 0.09	1.32 ± 0.09
胆囊 Gall bladder	1.22 ± 0.38	0.99 ± 0.20	1.38 ± 0.18	1.49 ± 0.32

3 讨论

3.1 DON 污染饲料添加竹炭和竹醋液对断奶仔猪生长性能的影响

苏军^[12]用 25% 污染玉米饲料 [含 1.991 5 mg/kg DON、0.650 mg/kg 玉米赤霉烯酮 (ZEN)、0.283 3 mg/kg 黄曲霉毒素 B₁ (AFB₁)] 和 50% 污染玉米饲料 (含 3.983 mg/kg DON、1.300 mg/kg ZEN、0.576 5 mg/kg AFB₁) 饲喂断奶仔猪,与对照组相比,降低了仔猪的生长性能,随饲料中霉变玉米替代比例的增加,采食量和日增重呈线性或二次曲线下降。研究报道,给猪饲喂自然产生的 DON 0.6 ~ 2.0 mg/kg 饲料可导致其采食量和体增重下降^[13],但也有报道表明,饲喂含 DON 1 mg/kg 饲料时,不影响猪采食量和体增重^[14]。本试验结果表明,添加 2% 竹炭显著降低

了断奶仔猪 ADFI,可能原因是竹炭含量添加过高,影响了基础饲料的适口性。目前竹醋液在猪试验上的研究尚未见报道,本试验竹醋液处理的 DON 污染饲料 (竹醋液组) 有提高断奶仔猪末重、ADG、ADFI 及降低料重比的趋势,可能原因与竹醋液具有抑菌作用、促进农作物种子发芽、生根、生长的作用相关^[15-19]。

3.2 DON 污染饲料添加竹炭和竹醋液对断奶仔猪血液常规指标的影响

Prelusky 等^[14]研究发现,单端孢霉毒素族包括 T-2 毒素和 DON,两者都能够抑制蛋白质的合成和细胞增殖,对各种淋巴细胞具有选择性的影响,可减少巨噬细胞、淋巴细胞和 RBC 的数量,抑制细胞合成,引起全身各部分细胞死亡。Tiemann 等^[20]报道,DON 具有较强的细胞毒性,影响细胞增殖,从而导致血细胞的数量下降。赵青等^[21]研

究以 DON 标准品为原料,通过灌胃和静脉注射 2 种给药途径,研究 DON 对猪体内血液常规指标的影响,结果表明,DON 可减少血细胞的数量。本试验第 15 天,WBC、RBC、PLT 数量、HCT 及 Hb 含量均低于对照组,这与赵青等^[21]、李华^[22]研究结果一致,其中 RBC 数量和 HCT 显著降低,结果表明,DON 导致血细胞数量减少,而添加竹炭和竹醋液可以缓解 DON 引起的仔猪血液中 Hb 含量及 WBC 和 RBC 数量等减少。添加竹醋液可以显著提高 PLT 数量,原因尚未清楚。Prelusky 等^[14]研究表明,饲喂饲料中 DON 含量为 3 mg/kg 的饲料,仔猪的体重在进食后很快下降,但是饲喂纯品 DON 的仔猪,体重在几天后可以恢复,而饲喂用自然污染了 DON 的谷物配制的饲料的仔猪,其体重在整个试验期中一直下降,结果表明,自然污染了 DON 的谷物中可能存在着未被发现的其他霉菌毒素,相互间可能存在着互作效应,致使毒性加剧。阉公猪摄入含有 3 mg/kg DON 的污染玉米 1 周后会引引起饮食减少和增重下降,而在摄入等量的纯化 DON 时则没有上述反应,这表明在自然污染饲料中除了 DON 外,还存在其他化合物,该化合物对 DON 的毒性起相加或协同作用^[23]。本试验结果表明,DON 对断奶仔猪前期影响较大,后期适应程度提高,可能原因为:本试验 DON 含量不高,且为人工处理的 DON 污染饲料,毒性作用没有自然污染了 DON 毒性作用强,因此随着时间的延长,断奶仔猪对 DON 污染饲料有一定的耐受适应能力。添加竹醋液显著提高 PLT 数量,对提升仔猪的止血和凝血功能有一定的作用,促进了仔猪的健康,此结果与试验第 15 天一致,但作用机理仍需进一步的研究。

3.3 DON 污染饲料添加竹炭和竹醋液对断奶仔猪血清生化指标的影响

GPT 和 GOT 作为评价肝功能的重要指标,可以反映肝脏的受损情况。正常情况下,GPT 和 GOT 活性是相对稳定的,当心脏和肝脏组织细胞发生炎症、坏死、中毒等,造成细胞受损或在热冷应激状态下时,转氨酶便会释放到血液里,使血清转氨酶活性升高^[24]。何成华等^[25]结果表明,1 和 5 mg/kg DON 可引起鲤鱼血清中 GOT、GPT 和 AKP 活性的升高,且 GOT 活性显著升高。本试验第 15 天结果表明,DON 可能使断奶仔猪的肝功能受到一定程度的损伤,而添加竹炭可以缓解 DON

引起的肝损伤,说明竹炭具有吸附 DON 的效果。

Drochne 等^[26]在断奶仔猪饲料中分别添加不同水平的 DON(0、300、600、1 200 $\mu\text{g}/\text{kg}$),连续饲喂 8 周,发现 DON 添加量为 600 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 时,在血清中的 IgA 含量显著增加。苏军^[12]研究结果表明,随饲料中霉变玉米替代比例的增加,IgA、IgM、IgG 的含量前后无变化,本试验也表现出类似结果。血清 TP、ALB 含量是反映肝脏蛋白质合成能力的重要指标。血清中 TP 含量反映了机体蛋白质的吸收和代谢情况,并能反映体液免疫的情况。Bergsjø 等^[27]结果表明,猪采食 3.5 mg/kg DON 污染饲料显著降低血清 ALB 含量。本试验第 30 天的结果也表明,DON 可导致营养吸收不良,降低了蛋白质的吸收利用率,抑制了肝脏蛋白质合成,而添加竹炭和竹醋液可以缓解 DON 引起的肝损伤,从而可以有效缓解 DON 引起的负面影响。LDH 是糖酵解途径中重要的酶,当机体发生损伤、病变、不良反应等疾病时,血清中 LDH 的活性升高^[28]。CK 是能量代谢的关键酶之一,骨骼肌中含量最高,血浆中 CK、LDH 活性的变化常被作为反映应激对仔猪影响的指标^[29]。本试验结果也表明了 DON 对仔猪造成了应激。

血清 UN 是反映蛋白质的代谢方向和饲料氨基酸平衡的一个指标。血清 UN 含量降低还说明蛋白质和氨基酸的降解率降低,氮储留量增加。肝脏是体内生成尿素的最主要器官,因此肝脏尿素生成量的减少可为其他器官如肌肉的蛋白质沉积提供充足的氨基酸等原材料。董国忠等^[30]和陈代文等^[31]的研究发现,血清 UN 含量与肌肉增长或猪的日增重呈负相关。本试验第 37 天结果表明,单独添加 DON 影响蛋白质的代谢,导致动物体内氨基酸不平衡,竹炭组、竹醋液组 UN 与对照组相比差异不显著,说明在 DON 污染饲料中添加竹炭和竹醋液可以改善血清生化指标,提高氮的利用率,对 DON 导致的负面影响起到了显著缓解作用。

3.4 DON 污染饲料添加竹炭和竹醋液对断奶仔猪脏器指数的影响

Döll 等^[32]报道,DON 含量在 1 mg/kg 时,对仔猪肝脏、脾脏指数无显著影响,但是却显著提高了心脏、肾脏指数。Swamy 等^[33]研究发现,采食自然霉变饲料,DON 含量高达 5.6 mg/kg,仔猪肝脏、脾脏及肾脏指数并未受到显著影响。叶涛^[34]

研究发现,随霉变玉米替代比例的增加,心脏指数提高。苏军^[12] 研究表明,随饲料中霉变玉米替代比例的增加,肾脏相对重量二次曲线下降,脾脏相对重量呈线性增加,而肝脏、胰脏、胸腺的相对重量不受影响,25% 霉变玉米饲料降低胆囊相对重量。本试验研究结果表明,DON 可能造成肝脏肿大现象,但 DON 并未对其他脏器指数造成较大影响,这可能因为 DON 含量不高,且为人工处理的 DON 污染饲料,毒性作用没有自然污染 DON 饲料毒性作用强,仔猪后期对 DON 有一定的耐受能力。

4 结 论

① DON 降低仔猪生长性能,而添加 1% 竹醋液有改善的作用。

② DON 对断奶仔猪前期影响较大,后期由于断奶仔猪适应程度相对提高,有一定的耐受能力。

③ DON 可导致血细胞数量减少,血清 GPT 活性和 UN 含量升高,TP 含量降低,添加 2% 竹炭和 1% 竹醋液,血细胞数量、血清 GPT 活性及 UN 和 TP 含量等指标可恢复到正常水平,表明竹炭和竹醋液对 DON 导致的负面影响具有一定的缓解作用。

参考文献:

- [1] OHTANI N, ZEBEDEE A, HUOT T J, et al. Opposing effects of Ets and Id proteins on p16^{INK4a} expression during cellular senescence [J]. *Nature*, 2001, 409: 1067 - 1070.
- [2] ZHANG X H, XIE T X, LI S S, et al. Contamination of fungi and mycotoxins in food stuffs in high risk area of esophageal cancer [J]. *Biomedical and Environmental Sciences*, 1998, 11 (2): 140 - 146.
- [3] FERRARI L, CANTONI A M, BORGHETTI P, et al. Cellular immune response and immunotoxicity induced by DON (deoxynivalenol) in piglets [J]. *Veterinary Research Communications*, 2009, 33 (Suppl. 1): 133 - 135.
- [4] BOTTER B A, PRELUSKY D B, PESTKA J J. Toxicology of deoxynivalenol (vomitoxin) [J]. *Journal of Toxicology and Environmental Health*, 1996, 48 (1): 1 - 34.
- [5] MASSIN D P, THOUVENOT D. *In vitro* toxicity of trichothecenes on rat haematopoietic progenitors [J]. *Food Additives & Contaminants*, 1995, 12 (1): 41 - 49.
- [6] 尹杰,伍力,彭智兴,等. 脱氧雪腐镰刀菌烯醇的毒性作用及其机理 [J]. *动物营养学报*, 2012, 24 (1): 48 - 54.
- [7] DIAZ D E, HAGLER W M, Jr, HOPKINS B A, et al. Aflatoxin Binders I: *in vitro* binding assay for aflatoxin B1 by several potential sequestering agents [J]. *Mycopathologia*, 2002, 156 (3): 223 - 226.
- [8] 王高伟,胡光洲,孔倩. 竹炭性能的研究进展 [J]. *世界竹藤通讯*, 2006, 4 (4): 5 - 7.
- [9] 马良进,张昕. 竹醋液与杀菌剂混配的抑菌效果 [J]. *东北林业大学学报*, 2008, 36 (8): 29 - 42.
- [10] 欧敏锐,李忠琴,周训胜,等. 福建产竹醋液(竹沥)的组分分析 [J]. *福州大学学报:自然科学版*, 2003, 31 (3): 360 - 363.
- [11] 王卫平,薛智勇,朱凤香,等. 竹醋液及其在农业中的应用 [J]. *中国农业科技导报*, 2005, 7 (6): 53 - 55.
- [12] 苏军. 镰刀菌毒素对猪的抗营养效应及其机制研究 [D]. 博士学位论文. 雅安:四川农业大学, 2008: 33 - 35.
- [13] OVERNES G, MATRE T, SIVERTSEN T, et al. Effects of diets with graded levels of naturally deoxynivalenol-contaminated oats on immune response in growing pigs [J]. *Journal of Veterinary Medicine Series A*, 1997, 44 (9/10): 539 - 550.
- [14] PRELUSKY D B, GERDES R B, UNDERHILL K L, et al. Effects of low-level dietary deoxynivalenol on haematological and clinical parameters of the pig [J]. *Natural Toxins*, 1994, 2 (3): 97 - 104.
- [15] 胡春水,梁文斌,李建安. EM、竹醋在经济林无公害栽培中的应用研究 [J]. *江西林业科技*, 2000 (1): 4 - 6.
- [16] 罗敏,吴良如,高文惠,等. 竹醋液抑菌及增效作用的研究 [J]. *竹子研究汇刊*, 2004, 23 (2): 46 - 49.
- [17] 李忠琴,郭养浩,陈杰波,等. 竹醋液抗致病性真菌的活性研究 [J]. *海峡药学*, 2003, 15 (6): 49 - 51.
- [18] 黄健屏,林亲雄. 竹醋 4 种分馏物的抑菌试验 [J]. *中南林学院学报*, 1999, 19 (3): 82 - 84.
- [19] 蒋新龙. 竹醋液灭菌效果的研究试验 [J]. *竹子研究汇刊*, 2005, 24 (1): 50 - 53.
- [20] TIEMANN U, VIERGUTZ T, JONAS L, et al. Influence of the mycotoxins alpha- and beta- zearalenol and deoxynivalenol on the cell cycle of cultured porcine endometrial cells [J]. *Reproductive Toxicology*, 2003, 17 (2): 209 - 218.
- [21] 赵青,何敏,剡海阔,等. 呕吐毒素不同给药方式对

- 猪血常规指标的影响[J]. 中国畜牧兽医, 2010, 37(4): 47-50.
- [22] 李华. 醋化葡甘露聚糖对呕吐毒素吸附能力的研究[D]. 硕士学位论文. 青岛: 青岛农业大学, 2009: 2.
- [23] 邢涛. 脱氧雪腐镰刀菌烯醇的毒性、作用机理以及对动物健康的危害[J]. 养殖与饲料, 2008(11): 78-81.
- [24] 段铭, 高宏伟, 梁鸿雁. 吡啶羧酸铬对肉仔鸡血清生化指标及肝脏中相关酶基因表达的影响[J]. 畜牧兽医学报, 2003, 34(4): 336-339.
- [25] 何成华, 樊彦红, 王莹, 等. 饲料中黄曲霉毒素 B1 和脱氧雪腐镰刀菌烯醇对鲤鱼的联合毒性研究[J]. 南京农业大学学报, 2010, 33(6): 85-89.
- [26] DROCHNER W, SCHOLLENBERGER M, PIEPHO H P, et al. Serum IgA-promoting effects induced by feed loads containing isolated deoxynivalenol (DON) in growing piglets[J]. Journal of Toxicology and Environmental Health, 2004, 67(13): 1051-1067.
- [27] BERGSJØ B, LANGSETH W, NAFSTAD I, et al. The effects of naturally deoxynivalenol-contaminated oats on the clinical condition, blood parameters, performance and carcass composition of growing pigs[J]. Veterinary Research Communications, 1993, 17(4): 283-294.
- [28] 袁雪波, 马黎, 陈克麟, 等. 丙氨酰谷氨酰胺二肽对哺乳仔猪生长性能、小肠形态学和血清生化指标的影响[J]. 动物营养学报, 2011, 23(1): 94-101.
- [29] 王镜岩, 朱圣庚, 徐长法. 生物化学[M]. 3 版. 北京: 高等教育出版社, 2002: 347-348.
- [30] 董国忠, 周安国, 杨凤, 等. 饲料蛋白质水平对早期断奶仔猪氮代谢的影响[J]. 动物营养学报, 1997, 9(2): 19-24.
- [31] 陈代文, 杨凤, 陈可容, 等. 不同断奶时间和体重的仔猪对简单饲料和复杂饲料的反应[J]. 四川农业大学学报, 1996, 14(2): 280-286, 309.
- [32] DÖLL S, GOYARTS T, TIEMANN U, et al. Practically relevant concentrations of deoxynivalenol in diets for growing-finishing pigs offered as mash or pellets[J]. Archives of Animal Nutrition, 2007, 61(4): 247-265.
- [33] SWAMY H V, SMITH T K, MACDONALD E J, et al. Effects of feeding a blend of grains naturally contaminated with *Fusarium* mycotoxins on growth and immunological measurements of starter pigs, and the efficacy of a polymeric glucomannan mycotoxin adsorbent[J]. Journal of Animal Science, 2003, 81(11): 2792-2803.
- [34] 叶涛. 自然霉变玉米对生长育肥猪生产性能及肉质的影响[D]. 硕士学位论文. 雅安: 四川农业大学, 2009: 19.

Effects of Diets Contaminated by Deoxynivalenol on Blood Physiological and Biochemical Indexes and Intervention Effects of Bamboo-Carbon and Bamboo Vinegar in Weaner Piglets

JIANG Zhuoying^{1,2,3} FAN Juexin^{1,2,3} CHEN Minghong^{1,3} LI Lili^{1,3}

WANG Shengping^{1,3} YIN Yulong^{1,3} LI Tiejun^{1,3*}

(1. Key Laboratory for Agro-Ecological Processes in Subtropical Region, Institute of Subtropical Agriculture, the Chinese Academy of Sciences, Changsha 410125, China; 2. College of Animal Science and Technology, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China; 3. Hunan Engineering and Research Center of Animal and Poultry Science, Scientific Observing and Experimental Station of Animal Nutrition and Feed Science in South-Central, Ministry of Agriculture, Changsha 410125, China)

Abstract: This experiment was conducted to study the effects of adding bamboo-carbon and bamboo vinegar to the diets contaminated by deoxynivalenol (DON) on growing performance, hematologic indexes, serum biochemical indexes and viscera indexes of weaner piglets. A total of 28 crossbred (Duroc × Landrace × Large White) weaner piglets with an average body weight of (12.19 ± 0.18) kg were randomly assigned to 4 groups with 7 replicates per group and 1 piglet in each replicate. The 4 groups were as follows: control group (a basal diet), DON group (the basal diet + DON), bamboo-carbon group (the basal diet + DON + 2% bamboo-car-

bon) and bamboo vinegar group (the basal diet + DON + 1% bamboo vinegar). The experimental period lasted for 37 d. The results showed as follows: 1) compared with the control group, average daily gain (ADG) in DON group was significantly decreased ($P < 0.05$), and the ratio of feed to gain was increased significantly ($P < 0.05$); compared with the DON group, ADG and average daily feed intake (ADFI) had an increasing trend ($P > 0.05$), and the ratio of feed to gain in bamboo vinegar group had a decreasing trend ($P > 0.05$). 2) On d 15 of the experiment, the red blood cell (RBC) count in DON group was significantly decreased compared with the control group ($P < 0.05$), there was no significant difference in RBC count between bamboo-carbon group and control group ($P > 0.05$), but that in bamboo vinegar group was significantly higher than that in control group and bamboo-carbon group ($P < 0.05$); the hematocrit (HCT) in DON group and bamboo-carbon group was significantly decreased compared with the control group ($P < 0.05$), and there was no significant difference between bamboo vinegar group and control group ($P > 0.05$). There were no significant differences in hematologic indexes among DON group, bamboo-carbon group, bamboo vinegar group and control group on d 30 of the experiment ($P > 0.05$). 3) There were no effects on serum contents of immunoglobulin G (IgG), immunoglobulin M (IgM) and glucose (GLU) and activities of lactate dehydrogenase (LDH) and glutamic-oxal(o)acetic transaminase (GOT) in the whole experimental period. On d 15 of the experiment, the activity of glutamic-pyruvic transaminase (GPT) in serum in DON group and bamboo vinegar group was significantly higher than that in the control group ($P < 0.05$), but there were no significant differences between bamboo-carbon group and control group ($P > 0.05$). On d 30 of the experiment, the serum content of total protein (TP) in DON group was significantly decreased compared with control group and bamboo vinegar group ($P < 0.05$), but there was no significant difference among bamboo-carbon group, bamboo vinegar group and control group ($P > 0.05$). On d 37 of the experiment, the serum content of urea nitrogen (UN) in DON group was significantly higher than that in control group and bamboo vinegar group ($P < 0.05$), but there was no significant difference among bamboo-carbon group, bamboo vinegar group and control group ($P > 0.05$). 4) There were no significant differences in the liver, pancreas, spleen, heart, gall bladder, thymus indexes between experiment group and control group ($P > 0.05$), but the liver index in DON group had an increasing trend, but no significant difference ($P > 0.05$). In conclusion, 1) DON can reduce growth performance of weaner piglets, and the 1% bamboo vinegar added in the diets can reverse the weaner piglets from the injury of DON toxin. 2) The effects of diets contaminated by DON are more obvious in the early growing period than those in the later growing period, and the possible reason may be that the weaner piglets have certain tolerant ability to DON with the time increasing. 3) DON can result in the toxicity such as the decrease of blood cell count, the increase of GPT activity and UN content, and the decrease of TP content in serum. The 2% bamboo-carbon and 1% bamboo vinegar added in the diets can reverse the activity of GPT, the contents of UN and TP in serum to normal. It is concluded that the 2% bamboo-carbon and 1% bamboo vinegar can effectively adsorb DON toxin. [*Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2012, 24 (12): 2459-2468]

Key words: bamboo-carbon; bamboo vinegar; DON; serum biochemical indexes; weaner piglets