

蒋竹英,李丽立,张彬,等. DON 污染饲料添加竹炭和竹醋液对断奶仔猪血清游离氨基酸含量的影响[J]. 华南农业大学学报,2014,35(2): 6-12.

DON 污染饲料添加竹炭和竹醋液对断奶仔猪血清游离氨基酸含量的影响

蒋竹英^{1,2,3}, 李丽立¹, 张彬³, 唐利华², 刘志强¹, 段杰林^{1,3}, 印遇龙¹, 李铁军¹

(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, 湖南长沙 410125;

2 永州市畜牧水产局, 湖南永州 425000; 3 湖南农业大学动物科技学院, 湖南长沙 410128)

摘要:【目的】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血清游离氨基酸含量的影响。【方法】试验选用28头35日龄、平均体质量为(12.10±1.12)kg的“杜×长×大”三元杂交断奶仔猪,随机分为4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37d。【结果和结论】1)试验第15天,除DON组和竹炭组3-甲基组氨酸分别显著降低39.06%、40.62%($P<0.05$)外,其他各试验组所测定的游离氨基酸与对照组相比差异均不显著($P>0.05$)。2)试验第30天,与对照组相比,DON组异亮氨酸、缬氨酸、半胱氨酸、羟基脯氨酸、3-甲基组氨酸分别显著降低26.60%、25.96%、73.38%、44.61%、26.09%($P<0.05$)。与DON组相比,竹炭组半胱氨酸、3-甲基组氨酸分别升高173.17%、8.82%($P>0.05$);竹醋液组羟基脯氨酸、3-甲基组氨酸分别显著升高55.96%、26.47%($P<0.05$),半胱氨酸升高170.73%($P>0.05$)。3)试验第37天,与对照组相比,DON组羟基脯氨酸显著升高($P<0.05$);竹炭组组氨酸、1-甲基组氨酸显著降低($P<0.05$);竹醋液组组氨酸、鸟氨酸、1-甲基组氨酸显著降低($P<0.05$),而羟基脯氨酸、谷氨酰胺显著升高($P<0.05$)。DON导致部分血清游离氨基酸含量降低或显著降低,按基础饲料质量比例添加2%竹炭或1%竹醋液具有一定的缓解作用,后期断奶仔猪适应程度相对提高,竹炭和竹醋液的添加量应该给予适当的调整。

关键词:竹炭;竹醋液;脱氧雪腐镰刀菌烯醇;血清游离氨基酸含量;断奶仔猪

中图分类号:S828

文献标志码:A

文章编号:1001-411X(2014)02-0006-07

Effects of the adsorption of bamboo-carbon and bamboo vinegar to the diets contaminated by DON on serum free amino acids content of weaned piglets

JIANG Zhuoying^{1,2,3}, LI Lili¹, ZHANG Bin³, TANG Lihua², LIU Zhiqiang¹,
DUAN Jielin^{1,3}, YIN Yulong¹, LI Tiejun¹

(1 Institute of Subtropical Agriculture/Key Laboratory of Agro-ecological Processes in Subtropical Region,
Chinese Academy of Sciences, Changsha 410125, China;

2 Animal Husbandry and Fishery of Yongzhou City, Yongzhou 425000, China;

3 College of Animal Science and Technology, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China)

Abstract:【Objective】This experiment was conducted to study the effects of adding bamboo-carbon and bamboo vinegar to the diets contaminated by deoxynivalenol (DON) on serum free amino acids content of weaned piglets.【Method】A total of 28 crossbred (Duroc × Landrace × Large white) weaned piglets with

收稿日期:2013-02-21 优先出版时间:2014-01-03

优先出版网址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/44.1110.S.20140103.0828.014.html>

作者简介:蒋竹英(1986—),女,硕士研究生,E-mail: hnjiangzhuoying@163.com;通信作者:李铁军(1967—),男,研究员,博士,E-mail: tjli@isa.ac.cn

基金项目:973 计划项目(2009CB118806);国家自然科学基金(31072042);湖南省自然科学基金重点项目(12JJ2020)

an average body mass of (12.10 ± 1.12) 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-carbon), bamboo vinegar group (the basal diet + DON + 1% bamboo vinegar). The experimental period lasted for 37 d. 【Result and conclusion】 1) On the 15th day of the experiment, there was no significant difference between the experiment group and control group ($P > 0.05$), besides 3MHis in DON group and bamboo-carbon group significantly decreased by 39.06%, 40.62% ($P < 0.05$). 2) On the 30th day of the experiment, compared with the control group, Ile, Val, Cys, Hyp, 3MHis in DON group were significantly decreased by 26.60%, 25.96%, 73.38%, 44.61%, 26.09% ($P < 0.05$) as compared to the control group, Cys, 3MHis in bamboo-carbon increased by 173.17%, 8.82% ($P > 0.05$), respectively; Hyp, 3MHis Cys in bamboo vinegar group increased by 55.96% ($P < 0.05$), 26.47% ($P < 0.05$), 170.73% ($P > 0.05$), respectively. 3) On the 37th day of the experiment, compared with the control group, Hyp in DON group significantly increased ($P < 0.05$); His, 1MHis in bamboo-carbon group significantly decreased ($P < 0.05$); His, Orn, 1MHis in bamboo vinegar group significantly decreased ($P < 0.05$); Hyp, Gln in bamboo vinegar group significantly increased ($P < 0.05$). Dietary supplementation with 2% bamboo-carbon or 1% bamboo vinegar could alleviate a part of serum free amino acids content, with a decrease or a significant decrease by DON challenge in weaned piglets. The weaned piglets have certain tolerant ability to DON with the time, dietary supplementation with bamboo-carbon and bamboo vinegar can give appropriate adjustment.

Key words: bamboo-carbon; bamboo vinegar; deoxynivalenol (DON); serum free amino acids content; weaned piglet

脱氧雪腐镰刀菌烯醇(Deoxynivalenol, DON),又称呕吐毒素,是最常见的一种污染粮食、饲料和食品的霉菌毒素之一^[1-2],广泛存在于自然界受霉菌污染的小麦、大麦、玉米等谷类作物中^[3],而且自然污染饲料中,几种霉菌毒素往往会同时存在于饲料原料和配合饲料中,资料显示,霉菌毒素间的协同作用对动物健康和生产性能的危害作用比任何一种霉菌毒素单独作用的危害都要大^[4].因此,为更好地解决上述问题,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^[5].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,醋酸体积分数在 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^[6-8].本试验在 DON 污染饲料中添加竹炭和竹醋液,探讨其对断奶仔猪血清游离氨基酸含量的影响,更进一步研究 DON 的毒害作用及机理,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 *Fusarium graminearum* R6576 菌种由华中农业大学提供.DON 的 ELASA 检测试剂盒为武汉华美生物工程有限公司产品.禾谷镰刀菌培养及 DON 污染饲料制备按文献[9]方法进行.

1.2 试验动物及试验设计

试验按文献[9]方法,选用 28 头 35 日龄、平均体质量为 (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 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质量分数分别为:17.39%、17.54%、18.06%、17.12%;粗灰分质量分数分别为:6.77%、5.83%、5.81%、5.70%;赖氨酸质量分数分别为:1.31%、0.87%、

表1 基础饲料组成及营养水平(风干基础)

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

饲料原料的比例/%											
玉米	豆粕	膨化大豆	进口鱼粉	麦麸	豆油	预混料 ¹⁾	石粉	磷酸氢钙	食盐	赖氨酸	合计
62.25	16.79	8.00	5.00	3.00	1.74	1.00	0.98	0.78	0.37	0.09	100.00
营养成分的比例 ²⁾ /%											
粗蛋白		粗灰分		钙		总磷		有效磷		消化能 ²⁾ /(MJ·kg ⁻¹)	
17.39		6.77		0.80		0.63		0.40		14.23	

1) 预混料为每千克饲料提供: Fe 70 mg, Zn 44 mg, Cu 4.4 mg, Mn 8.0 mg, I 0.12 mg, Se 0.09 mg, V_A 1 700 IU, V_{D₃} 180 IU, V_E 8 IU, V_K 1.7 mg, V_{B₁} 0.9 mg, V_{B₂} 2.6 mg, 烟酸 9.0 mg, 泛酸 12 mg, 生物素 0.09 mg, 叶酸 0.5 mg, V_{B₁₂} 0.013 mg; 2) 消化能、钙、总磷、有效磷均为计算值, 其他为实测值。

0.99%、0.93%; 蛋氨酸 + 胱氨酸质量分数分别为: 0.37%、0.41%、0.38%、0.45%; 苏氨酸质量分数分别为: 0.81%、0.63%、0.66%、0.68%; 色氨酸质量分数分别为: 0.22%、0.21%、0.21%、0.22%。

1.3 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。采取自然通风, 所有圈舍定期消毒, 观察猪只的食欲、精神状态、粪便等情况。

1.4 样品采集及测定

试验在第15、30和37天, 每天08:00进行空腹前腔静脉采血, 静置30 min后以3 000 r/min离心15 min分离血清, -20℃条件下保存, 用戴安公司HPLC Ultimate3000和AB公司3200 Q TRAP LC-MS/MS联用质谱仪检测血清游离氨基酸含量, 检测指标详见表2~表4。

1.5 数据处理

数据经Excel 2007整理后, 采用SPSS 17.0软件中的One-way ANOVA对组间的数据进行单因素方差分析, Duncan's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 试验开始后第15天仔猪血清游离氨基酸含量的变化

从表2可知, 试验第15天, DON组、竹炭组和竹醋液组精氨酸、组氨酸、异亮氨酸、亮氨酸、赖氨酸、

甲硫氨酸、苯丙氨酸、苏氨酸、色氨酸、缬氨酸、甘氨酸、丝氨酸、牛磺酸、酪氨酸、天门冬酰胺、天门冬氨酸、瓜氨酸、谷氨酸、谷氨酰胺、鸟氨酸、半胱氨酸、 α -氨基正丁酸、丙氨酸、肌肽、羟甲基脯氨酸、1-甲基组氨酸、脯氨酸与对照组相比差异均不显著($P > 0.05$), 但与对照组相比, DON组精氨酸、组氨酸、异亮氨酸、亮氨酸、赖氨酸、甲硫氨酸、苏氨酸、缬氨酸、牛磺酸、酪氨酸、天门冬酰胺、天门冬氨酸、瓜氨酸、谷氨酸、谷氨酰胺、半胱氨酸、 α -氨基正丁酸、丙氨酸、肌肽、羟甲基脯氨酸、1-甲基组氨酸、脯氨酸分别降低了40.46%、21.68%、6.86%、11.22%、44.14%、8.71%、30.96%、10.09%、25.00%、26.69%、32.13%、31.75%、17.77%、1.64%、42.59%、36.67%、12.31%、5.37%、37.78%、32.56%、18.88%、13.07% ($P > 0.05$); 与DON组相比, 竹炭组精氨酸、组氨酸、亮氨酸、甲硫氨酸、苏氨酸、色氨酸、缬氨酸、甘氨酸、牛磺酸、酪氨酸、天门冬酰胺、天门冬氨酸、瓜氨酸、谷氨酸、 α -氨基正丁酸、肌肽、羟甲基脯氨酸、脯氨酸分别升高了5.54%、9.74%、5.40%、7.59%、40.13%、4.23%、9.23%、4.06%、33.33%、17.44%、20.72%、4.65%、9.23%、4.79%、1.75%、25.00%、9.96%、7.66% ($P > 0.05$), 竹醋液组精氨酸、组氨酸、亮氨酸、赖氨酸、苏氨酸、缬氨酸、牛磺酸、酪氨酸、天门冬酰胺、天门冬氨酸、瓜氨酸、谷氨酰胺、半胱氨酸、肌肽、羟甲基脯氨酸、脯氨酸分别升高了70.22%、10.95%、6.84%、40.44%、38.20%、13.03%、41.67%、28.61%、45.63%、16.28%、14.87%、30.46%、22.10%、35.71%、23.75%、6.52% ($P > 0.05$)。与对照组相比, DON组和竹炭组3-甲基组氨酸分别显著降低39.06%、40.62% ($P < 0.05$), 竹醋液组差异不显著($P > 0.05$)。

表 2 试验开始后第 15 天仔猪血清游离氨基酸含量的变化¹⁾

Tab. 2 Changes of content of serum free amino acids in piglets on the 15th day after initiation of the addition $\mu\text{g/mL}$

组别	必需氨基酸						
	精氨酸	组氨酸	异亮氨酸	亮氨酸	赖氨酸	甲硫氨酸	苯丙氨酸
对照组	30.28 ± 7.06	19.00 ± 3.62	11.96 ± 1.66	25.85 ± 2.73	16.29 ± 7.10	5.05 ± 0.59	22.64 ± 3.08
DON 组	18.03 ± 2.32	14.88 ± 0.93	11.14 ± 0.41	22.95 ± 0.56	9.10 ± 0.61	4.61 ± 0.22	27.26 ± 2.99
竹炭组	19.03 ± 4.75	16.33 ± 1.37	10.99 ± 1.54	24.19 ± 2.68	7.48 ± 0.36	4.96 ± 0.42	20.32 ± 2.92
竹醋液组	30.69 ± 6.16	16.51 ± 1.72	10.74 ± 1.49	24.52 ± 4.01	12.78 ± 3.72	3.64 ± 0.63	19.18 ± 1.79

组别	必需氨基酸			非必需氨基酸			
	苏氨酸	色氨酸	缬氨酸	甘氨酸	丝氨酸	牛磺酸	酪氨酸
对照组	6.75 ± 1.89	10.96 ± 0.80	18.44 ± 2.91	78.84 ± 7.83	6.76 ± 0.68	0.16 ± 0.02	14.16 ± 2.21
DON 组	4.66 ± 0.65	11.12 ± 0.73	16.58 ± 0.94	87.75 ± 3.28	7.06 ± 0.36	0.12 ± 0.01	10.38 ± 0.63
竹炭组	6.53 ± 1.18	11.59 ± 0.89	18.11 ± 1.67	91.31 ± 5.27	6.71 ± 0.12	0.16 ± 0.02	12.19 ± 1.30
竹醋液组	6.44 ± 0.99	9.82 ± 0.67	18.74 ± 3.94	83.40 ± 7.56	6.69 ± 0.36	0.17 ± 0.02	13.35 ± 2.76

组别	非必需氨基酸						
	天门冬酰胺	天门冬氨酸	瓜氨酸	谷氨酸	谷氨酰胺	鸟氨酸	半胱氨酸
对照组	7.75 ± 1.26	0.63 ± 0.07	13.17 ± 0.98	9.12 ± 0.63	77.38 ± 31.45	16.86 ± 3.05	1.50 ± 0.27
DON 组	5.26 ± 0.37	0.43 ± 0.04	10.83 ± 0.54	8.97 ± 0.55	44.42 ± 5.66	17.26 ± 3.17	0.95 ± 0.20
竹炭组	6.35 ± 0.52	0.45 ± 0.07	11.83 ± 1.36	9.40 ± 0.78	34.42 ± 1.67	16.51 ± 4.42	0.86 ± 0.12
竹醋液组	7.66 ± 2.07	0.50 ± 0.09	12.44 ± 0.83	8.00 ± 0.50	57.95 ± 20.95	15.25 ± 2.21	1.16 ± 0.48

组别	非必需氨基酸						
	α -氨基正丁酸	丙氨酸	肌肽	羟基脯氨酸	1-甲基组氨酸	3-甲基组氨酸	脯氨酸
对照组	0.65 ± 0.10	26.06 ± 3.84	0.45 ± 0.05	11.61 ± 3.49	10.01 ± 1.79	0.64 ± 0.07a	49.57 ± 4.74
DON 组	0.57 ± 0.05	24.66 ± 0.97	0.28 ± 0.06	7.83 ± 0.77	8.12 ± 0.72	0.39 ± 0.02b	43.09 ± 2.76
竹炭组	0.58 ± 0.09	23.78 ± 0.98	0.35 ± 0.06	8.61 ± 0.69	7.33 ± 0.70	0.38 ± 0.03b	46.39 ± 3.65
竹醋液组	0.45 ± 0.03	21.68 ± 1.65	0.38 ± 0.09	9.69 ± 1.53	8.07 ± 1.43	0.51 ± 0.02ab	45.90 ± 25.18

1) 表中数据为平均值 ± 标准误, 同列数据后, 凡有一个相同字母或无字母者表示差异不显著 ($P > 0.05$, Duncan's 法)。

2.2 试验开始后第 30 天仔猪血清游离氨基酸含量的变化

从表 3 可知, 试验第 30 天, DON 组、竹炭组和竹醋液组精氨酸、亮氨酸、赖氨酸、甲硫氨酸、苯丙氨酸、苏氨酸、色氨酸、甘氨酸、丝氨酸、牛磺酸、天门冬酰胺、天门冬氨酸、瓜氨酸、谷氨酸、谷氨酰胺、鸟氨酸、 α -氨基正丁酸、丙氨酸、肌肽、1-甲基组氨酸、脯氨酸与对照组相比差异均不显著 ($P > 0.05$), 但与对照组相比, DON 组精氨酸、亮氨酸、赖氨酸、甲硫氨酸、苏氨酸、色氨酸、丝氨酸、牛磺酸、天门冬酰胺、天门冬氨酸、谷氨酸、谷氨酰胺、鸟氨酸、 α -氨基正丁酸、丙氨酸、肌肽、1-甲基组氨酸、脯氨酸分别降低了 26.42%、16.42%、21.88%、29.17%、24.62%、22.62%、19.83%、20.00%、15.98%、37.08%、23.38%、32.28%、41.72%、12.98%、11.52%、52.56%、19.62%、2.61%。与 DON 组相比, 竹炭组精氨酸、赖氨酸、甘氨酸、丝氨酸、牛磺酸、苯丙氨酸、谷氨酰胺、鸟氨酸、肌肽分别升高了 8.18%、20.58%、7.61%、3.78%、25.00%、6.39%、18.35%、18.78%、13.51% ($P > 0.05$), 竹醋液组精氨酸、赖氨酸、苏氨酸、色氨酸、丝氨酸、牛磺酸、谷氨酰胺、鸟氨酸、肌肽、1-甲基组氨酸分别升高了 6.98%、30.64%、13.57%、0.10%、4.12%、31.25%、42.28%、11.96%、27.03%、32.08% ($P > 0.05$)。与对照组相比, 竹炭组组氨酸显著降低 32.00% ($P < 0.05$), DON 组和竹醋液组分别降低 21.73%、19.14%, 但差异不显著 ($P > 0.05$); DON 组、竹炭组和竹醋液组异亮氨酸分别显著降低 26.60%、26.19%、31.48% ($P < 0.05$); DON 组、竹炭组和竹醋液组缬氨酸分别显著降低 25.96%、31.79%、29.75% ($P < 0.05$); DON 组酪氨酸降低 24.34%, 但差异不显著 ($P > 0.05$), 竹炭组和竹醋液组分别显著降低 41.52%、37.53% ($P < 0.05$); DON 组、竹炭组和竹醋

酸、甘氨酸、丝氨酸、牛磺酸、苯丙氨酸、谷氨酰胺、鸟氨酸、肌肽分别升高了 8.18%、20.58%、7.61%、3.78%、25.00%、6.39%、18.35%、18.78%、13.51% ($P > 0.05$), 竹醋液组精氨酸、赖氨酸、苏氨酸、色氨酸、丝氨酸、牛磺酸、谷氨酰胺、鸟氨酸、肌肽、1-甲基组氨酸分别升高了 6.98%、30.64%、13.57%、0.10%、4.12%、31.25%、42.28%、11.96%、27.03%、32.08% ($P > 0.05$)。与对照组相比, 竹炭组组氨酸显著降低 32.00% ($P < 0.05$), DON 组和竹醋液组分别降低 21.73%、19.14%, 但差异不显著 ($P > 0.05$); DON 组、竹炭组和竹醋液组异亮氨酸分别显著降低 26.60%、26.19%、31.48% ($P < 0.05$); DON 组、竹炭组和竹醋液组缬氨酸分别显著降低 25.96%、31.79%、29.75% ($P < 0.05$); DON 组酪氨酸降低 24.34%, 但差异不显著 ($P > 0.05$), 竹炭组和竹醋液组分别显著降低 41.52%、37.53% ($P < 0.05$); DON 组、竹炭组和竹醋

液组天门冬氨酸分别降低 37.08%、41.57%、37.08%，但差异不显著 ($P > 0.05$)；DON 组半胱氨酸显著降低 73.38% ($P < 0.05$)，竹炭组和竹醋液组差异不显著 ($P > 0.05$)，与 DON 组相比，竹炭组和竹醋液组半胱氨酸分别升高 173.17% 和 170.73% ($P > 0.05$)；DON 组和竹炭组羟基脯氨酸分别显著降低 44.61%、

44.36% ($P < 0.05$)，竹醋液组差异不显著 ($P > 0.05$)，与 DON 组相比，竹醋液组显著升高 55.96% ($P < 0.05$)；DON 组和竹炭组 3-甲基组氨酸分别显著降低 26.09%、19.57% ($P < 0.05$)，竹醋液组差异不显著 ($P > 0.05$)，与 DON 组相比，竹醋液组显著升高 26.47% ($P < 0.05$)，竹炭组升高 8.82% ($P > 0.05$)。

表3 试验开始后第30天仔猪血清游离氨基酸含量的变化¹⁾

Tab.3 Changes of content of serum free amino acids in piglets on the 30th day after initiation of the addition $\mu\text{g/mL}$

组别	必需氨基酸						
	精氨酸	组氨酸	异亮氨酸	亮氨酸	赖氨酸	甲硫氨酸	苯丙氨酸
对照组	28.24 ± 7.48	29.41 ± 4.56a	17.22 ± 2.34a	30.64 ± 4.45	13.62 ± 2.82	0.72 ± 0.38	19.29 ± 2.54
DON 组	20.78 ± 1.14	23.02 ± 1.87ab	12.64 ± 0.73b	25.61 ± 1.29	10.64 ± 0.79	0.51 ± 0.12	22.06 ± 1.22
竹炭组	22.48 ± 1.59	20.00 ± 1.69b	12.71 ± 0.90b	23.61 ± 1.94	12.83 ± 1.50	0.33 ± 0.08	23.47 ± 4.44
竹醋液组	22.23 ± 2.04	23.78 ± 1.21ab	11.80 ± 0.48b	22.83 ± 1.77	13.90 ± 1.53	0.41 ± 0.02	19.29 ± 1.32
组别	必需氨基酸			非必需氨基酸			
	苏氨酸	色氨酸	缬氨酸	甘氨酸	丝氨酸	牛磺酸	酪氨酸
对照组	13.00 ± 0.71	13.22 ± 2.26	27.93 ± 4.06a	88.84 ± 12.01	10.89 ± 1.33	0.20 ± 0.06	22.30 ± 3.70a
DON 组	9.80 ± 1.03	10.23 ± 0.55	20.68 ± 1.10b	91.59 ± 7.60	8.73 ± 0.52	0.16 ± 0.01	16.87 ± 1.89ab
竹炭组	9.33 ± 1.81	10.05 ± 0.98	19.05 ± 1.16b	98.56 ± 1.04	9.06 ± 0.41	0.20 ± 0.03	13.04 ± 0.65b
竹醋液组	11.13 ± 0.92	10.24 ± 0.51	19.62 ± 0.74b	87.36 ± 2.69	9.09 ± 0.30	0.21 ± 0.04	13.93 ± 0.50b
组别	非必需氨基酸						
	天门冬酰胺	天门冬氨酸	瓜氨酸	谷氨酸	谷氨酰胺	鸟氨酸	半胱氨酸
对照组	10.20 ± 2.37	0.89 ± 0.20	10.52 ± 0.85	10.82 ± 1.90	58.92 ± 13.72	21.38 ± 4.23	1.54 ± 0.35a
DON 组	8.57 ± 0.87	0.56 ± 0.05	10.70 ± 0.71	8.29 ± 0.50	39.90 ± 3.65	12.46 ± 0.99	0.41 ± 0.08b
竹炭组	7.10 ± 0.49	0.52 ± 0.07	9.13 ± 1.15	8.07 ± 0.79	47.22 ± 6.33	14.80 ± 3.68	1.12 ± 0.22ab
竹醋液组	6.82 ± 0.41	0.56 ± 0.05	9.95 ± 0.61	8.19 ± 0.46	56.77 ± 8.68	13.95 ± 0.96	1.11 ± 0.24ab
组别	非必需氨基酸						
	α -氨基正丁酸	丙氨酸	肌肽	羟基脯氨酸	1-甲基组氨酸	3-甲基组氨酸	脯氨酸
对照组	0.57 ± 0.14	27.16 ± 4.70	0.78 ± 0.24	11.97 ± 1.20a	10.55 ± 1.48	0.46 ± 0.05a	35.61 ± 6.19
DON 组	0.50 ± 0.06	24.03 ± 1.20	0.37 ± 0.04	6.63 ± 0.55b	8.48 ± 1.07	0.34 ± 0.01c	34.68 ± 1.75
竹炭组	0.39 ± 0.04	21.08 ± 1.57	0.42 ± 0.07	6.66 ± 1.18b	6.66 ± 1.18	0.37 ± 0.01bc	32.27 ± 1.09
竹醋液组	0.38 ± 0.02	23.85 ± 1.62	0.47 ± 0.07	10.34 ± 1.31a	11.20 ± 1.22	0.43 ± 0.02ab	27.49 ± 2.04

1) 表中数据为平均值 ± 标准误, 同列数据后, 凡有一个相同字母或无字母者表示差异不显著 ($P > 0.05$, Duncan's 法)。

2.3 试验开始后第37天仔猪血清游离氨基酸含量的变化

从表4可知, 试验第37天, 与对照组相比, DON 组、竹炭组和竹醋液组精氨酸、异亮氨酸、亮氨酸、赖氨酸、甲硫氨酸、苯丙氨酸、苏氨酸、色氨酸、缬氨酸、甘氨酸、丝氨酸、牛磺酸、酪氨酸、天门冬酰胺、天门冬氨酸、瓜氨酸、半胱氨酸、 α -氨基正丁酸、丙氨酸、肌肽、3-甲基组氨酸、脯氨酸差异均不显著 ($P > 0.05$)；DON 组组氨酸差异不显著 ($P > 0.05$)，竹炭组和竹醋液组分别显著降低了 36.54%、

43.14% ($P < 0.05$)；DON 组谷氨酸显著降低 66.31% ($P < 0.05$)，竹炭组和竹醋液组差异均不显著 ($P > 0.05$)；DON 组和竹炭组谷氨酰胺差异不显著 ($P > 0.05$)，竹醋液组显著升高 71.85% ($P < 0.05$)；DON 组和竹炭组鸟氨酸差异不显著 ($P > 0.05$)，竹醋液组显著降低 34.11% ($P < 0.05$)；竹炭组羟基脯氨酸差异不显著 ($P > 0.05$)，DON 组和竹醋液组显著升高 ($P < 0.05$)；DON 组 1-甲基组氨酸差异不显著 ($P > 0.05$)，竹炭组和竹醋液组显著降低 ($P < 0.05$)。

表4 试验开始后第37天仔猪血清游离氨基酸含量的变化¹⁾Tab. 4 Changes of content of serum free amino acids in piglets on the 37th day after initiation of the addition $\mu\text{g}/\text{mL}$

组别	必需氨基酸						
	精氨酸	组氨酸	异亮氨酸	亮氨酸	赖氨酸	甲硫氨酸	苯丙氨酸
对照组	15.26 ± 2.39	35.00 ± 1.68a	13.10 ± 1.12	27.59 ± 2.10	10.43 ± 0.61	0.46 ± 0.11	19.83 ± 1.96
DON 组	19.21 ± 4.45	33.37 ± 4.54a	13.73 ± 1.45	29.10 ± 2.85	10.88 ± 0.97	0.81 ± 0.47	17.08 ± 2.06
竹炭组	12.89 ± 1.80	22.21 ± 1.44b	12.16 ± 0.68	26.14 ± 0.96	10.83 ± 1.84	0.50 ± 0.03	19.03 ± 0.37
竹醋液组	22.64 ± 2.78	19.90 ± 1.79b	11.84 ± 0.92	24.99 ± 1.71	14.60 ± 2.08	0.56 ± 0.19	17.57 ± 2.15
组别	必需氨基酸			非必需氨基酸			
	苏氨酸	色氨酸	缬氨酸	甘氨酸	丝氨酸	牛磺酸	酪氨酸
对照组	9.54 ± 0.54	12.88 ± 0.77	20.42 ± 0.81	106.69 ± 10.41	9.89 ± 0.92	0.15 ± 0.02	15.58 ± 0.99
DON 组	11.43 ± 2.13	11.60 ± 1.17	21.00 ± 2.37	96.97 ± 12.42	8.64 ± 1.02	0.14 ± 0.03	15.58 ± 3.90
竹炭组	9.37 ± 0.53	11.86 ± 0.32	20.07 ± 1.15	93.13 ± 5.60	8.64 ± 0.63	0.17 ± 0.00	15.53 ± 1.78
竹醋液组	9.46 ± 1.03	11.00 ± 0.90	19.24 ± 1.58	87.47 ± 7.10	7.82 ± 0.55	0.16 ± 0.03	15.15 ± 1.94
组别	非必需氨基酸						
	天门冬酰胺	天门冬氨酸	瓜氨酸	谷氨酸	谷氨酰胺	鸟氨酸	半胱氨酸
对照组	8.58 ± 1.21	0.58 ± 0.08	11.21 ± 0.83	10.24 ± 0.51a	36.84 ± 4.12b	25.77 ± 3.44a	1.08 ± 0.26
DON 组	9.05 ± 1.99	0.54 ± 0.12	12.32 ± 2.79	3.45 ± 1.28b	37.57 ± 6.41b	18.93 ± 1.81ab	1.27 ± 0.24
竹炭组	7.11 ± 0.89	0.51 ± 0.07	10.69 ± 0.26	9.34 ± 0.29a	44.23 ± 6.77b	22.83 ± 2.72ab	0.83 ± 0.14
竹醋液组	6.25 ± 0.21	0.61 ± 0.10	10.69 ± 0.70	8.65 ± 0.75a	63.31 ± 9.64a	16.98 ± 1.94b	1.22 ± 0.26
组别	非必需氨基酸						
	α -氨基正丁酸	丙氨酸	肌肽	羟基脯氨酸	1-甲基组氨酸	3-甲基组氨酸	脯氨酸
对照组	0.38 ± 0.02	24.79 ± 1.44	0.45 ± 0.04	6.71 ± 0.42c	9.01 ± 0.98a	0.36 ± 0.04	35.10 ± 2.01
DON 组	0.36 ± 0.08	21.14 ± 3.40	0.39 ± 0.12	10.16 ± 1.09ab	8.32 ± 0.78ab	0.29 ± 0.03	38.39 ± 7.10
竹炭组	0.35 ± 0.02	19.59 ± 0.99	0.41 ± 0.00	7.50 ± 1.18bc	5.74 ± 0.36c	0.33 ± 0.04	32.32 ± 1.54
竹醋液组	0.29 ± 0.06	22.41 ± 1.16	0.57 ± 0.11	12.88 ± 0.91a	6.81 ± 0.40bc	0.33 ± 0.03	30.09 ± 1.99

1) 表中数据为平均值 ± 标准误, 同列数据后, 凡有一个相同字母或无字母者表示差异不显著 ($P > 0.05$, Duncan's 法)。

3 讨论

血液是动物机体内环境最重要的组成部分, 是机体与外环境联系的媒介。血液能沟通体内各组织之间的联系, 运输养分与代谢废物, 能维持组织细胞正常生命活动所需的最适宜条件。当机体生理生化异常时, 将引起血液某些成分和理化性质的改变^[10]。Tiemann 等^[11] 和蒋竹英等^[9] 研究表明, 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。血清中总蛋白含量反映了体液免疫的情况, 并能反映机体蛋白质的吸收和代谢情况。蛋白质在人体生命活动中, 起着重要作用, 可以说没有蛋白质就没有生命活动的存在, 但是食物中的蛋白质不能直接吸收, 必须转化为小分子的氨基酸或短肽才能被机体吸收和利用^[12]。当日粮氨基酸不能满足动物需要时, 血清游离氨基酸含量偏低^[13], 就无法合成充分的蛋白质供给身体各组织使用。血清游离氨基酸直接参与机体氨基酸的代谢及

蛋白质沉积, 其水平反映着动物的营养状况, 所以确保足够的必需氨基酸摄取是很重要的^[14]。

赖氨酸能参与蛋白质合成和能量代谢, 而且能够增强机体的免疫功能。大量研究显示, 赖氨酸可提高机体抗氧化能力, 降低血中氧自由基, 有利于肌肉组织维持正常的生理功能, 是蛋白质必不可少的组成部分^[15-16]。甲硫氨酸是机体的一种必需氨基酸, 如果缺乏就会导致体内蛋白质合成受阻, 造成机体损害。苏氨酸是必需氨基酸之一, 可调整饲料中氨基酸平衡, 促进生长, 是动物免疫球蛋白分子中的一种主要氨基酸, 缺少苏氨酸会抑制免疫球蛋白和 T 细胞、B 细胞及其抗体的产生。3-甲基组氨酸是多肽链上组氨酸甲基化的产物, 体内 3-甲基组氨酸全部存在于骨骼肌的肌动蛋白和肌球蛋白中, 在肌肉分解时和其他氨基酸一同释放出来, 就不再参加蛋白质的合成, 全部从尿中排出, 临床上把它作为评价蛋白质营养状态及肌肉蛋白分解代谢情况的指标^[17]。本试验第 15 天, DON 组和竹炭组 3-甲基组氨酸分别显

著降低 39.06%、40.62% ($P < 0.05$), 竹醋液组与对照组差异不显著 ($P > 0.05$). 因此, 3-甲基组氨酸的下降说明肌蛋白分解作用已受到 DON 的抑制. 除 3-甲基组氨酸外, 各试验组其他游离氨基酸含量与对照组差异均不显著 ($P > 0.05$), 但 DON 组有降低部分血清游离氨基酸的趋势, 而在 DON 的基础上, 添加竹炭或竹醋液有升高血清游离氨基酸的趋势, 说明 DON 有破坏机体氨基酸的平衡趋势, 不利于蛋白质的沉积, 对仔猪生长性能的提高具有抑制作用, 添加竹炭或竹醋液有一定的改善作用.

L-组氨酸是猪的一种必需氨基酸, 在体内肌肽合成酶下参与合成肌肽而发挥抗氧化作用, 能够保护细胞膜, 阻止猪细胞膜的过氧化反应^[18]. 支链氨基酸(Branched-chain amino acid, BCAA)是唯一的主要在肝外组织氧化的必需氨基酸, 包括亮氨酸、异亮氨酸、缬氨酸, 具有氧化供能、促进蛋白质合成和抑制蛋白质降解、促进糖的异生、增强免疫力和调节激素代谢等生理功能^[19]. 天门冬氨酸和谷氨酸是哺乳动物中枢神经系统内的兴奋性递质, 参与控制垂体功能. 羟基脯氨酸具有独特的生理功能和生物活性, 为胶原蛋白的主要成分. 本试验第 30 天, DON 导致部分血清游离氨基酸含量降低或显著降低, 竹炭和竹醋液可使部分游离氨基酸升高, 结果表明 DON 可能导致过氧化反应, 胶原蛋白降解, 细胞膜受到破坏, 抑制蛋白质合成, 降低免疫力, 这与众所周知的, DON 是 RNA、DNA 和蛋白质合成的潜在抑制剂结果相一致. 在 DON 污染的基础上, 添加竹炭或竹醋液有缓解效果, 并且竹醋液的缓解作用效果要优于竹炭. 本试验第 37 天, 尽管大部分血清游离氨基酸仍然有降低的趋势, 但 DON 组羟基脯氨酸显著升高 ($P < 0.05$); 而竹炭组组氨酸、1-甲基组氨酸显著降低 ($P < 0.05$); 竹醋液组组氨酸、鸟氨酸、1-甲基组氨酸显著降低 ($P < 0.05$), 相反羟基脯氨酸、谷氨酰胺显著升高 ($P < 0.05$). 结果表明在后期 DON 对仔猪的影响较少, 竹炭和竹醋液的添加量应该给予适当的调整.

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 (6823): 1067-1070.

[2] ZHANG Xianghong, XIE Tongxin, LI Shaosen, et al. Contamination of fungi and mycotoxins in food stuffs in high risk area of esophageal cancer [J]. *Biomed Environ Sci*, <http://xuebao.scau.edu.cn>

1998, 11(2): 140-146.

[3] TUTELYAN V A. Deoxynivalenol in cereals in Russia [J]. *Toxicol Lett*, 2004, 153(1): 173-179.

[4] SWAMY H V T N, SMITH T K, MacDONALD E J, et al. Effects of feeding a blends of grains naturally contaminated with *Fusarium* mycotoxins on growth and immunological measurements of starter pigs, and the efficacy of a polymeric gluconan mycotoxin adsorbent [J]. *J Anim Sci*, 2003, 81(11): 2792-2803.

[5] 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.

[6] 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.

[7] 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.

[8] 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.

[9] 蒋竹英, 范觉鑫, 陈明洪, 等. 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 [J]. *动物营养学报*, 2012, 24(12): 2459-2468.

[10] 杨秀平. *动物生理学* [M]. 北京: 高等教育出版社, 2002: 61-62.

[11] 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]. *Reprod Toxicol*, 2003, 17(2): 209-218.

[12] 王墨清. 普氏野马血液氨基酸测定与分析 [J]. *甘肃畜牧兽医*, 1996, 26(3): 10-11.

[13] 管武太. 理想氨基酸模式提高猪生产性能的机理 [D]. 北京: 中国农业大学, 1997.

[14] LONGENECKER J B, HAUSE N L. Relationship between plasma amino acids and composition of ingested protein [J]. *Arch Bioch Bioph*, 1959, 84(1): 46-59.

[15] 陆志范, 周保全. 赖氨酸的药用功能 [J]. *药学实践杂志*, 1996, 14(4): 255-256.

[16] 张英, 王树英, 丁霄霖. 羟化赖氨酸清除活性氧自由基能力的研究 [J]. *无锡轻工业大学学报*, 1998, 17(3): 58-61.

[17] 王静. 运动性损伤后大鼠骨骼肌及血清游离氨基酸的变化 [D]. 上海: 上海体育学院, 2011: 33-34.

[18] 张春勇, 陈克磷, 黄金昌, 等. 谷氨还蛋白 1 和硫氧还蛋白 1 基因在云南乌金猪不同组织中的表达特点及 L-组氨酸对其在氧化应激细胞中表达的影响 [J]. *动物营养学报*, 2012, 24(12): 2415-2423.

[19] 刘春生, 张大鹏, 刘文宽. 支链氨基酸在泌乳母猪营养中的研究现状 [J]. *饲料研究*, 2006(2): 31-35.