

竹酢粉对断奶湖羊生长性能、血液生理生化及免疫指标的影响

王 景, 万 艳, 高录贵, 刘明美*

(江苏联合职业技术学院淮安生物工程分院, 江苏淮安 223200)

摘 要: 为探究饲料中添加 5% 的竹酢粉对断奶湖羊生长性能、血液生理生化指标及免疫指标的影响, 本试验选择 2 月龄健康、体重 (20.00 ± 1.16) kg 的断奶湖羊 10 只, 随机分为 2 组, 每组 5 只, 单栏饲养。对照组饲喂基础饲料, 试验组在基础饲料中添加 5% 的竹酢粉, 预试期 7 d, 正试期 42 d。试验结束后, 采集颈静脉血用于测定血液生理生化及血清免疫指标。结果表明: 试验组与对照组断奶湖羊的平均日增重 (ADG) 和耗料增重比 (F/G) 均无显著差异。与对照组相比, 试验组断奶湖羊血液中的平均血红蛋白含量 (MCH) 和平均血红蛋白浓度 (MCHC) 显著降低; 白蛋白 (ALB) 和白球比 (A/G) 显著升高, 总蛋白 (TP)、球蛋白 (GLB)、葡萄糖 (GLU) 和钙 (Ca) 含量极显著升高。与对照组相比, 试验组断奶湖羊血清中白细胞介素-2 (IL-2)、 γ -干扰素 (IFN- γ) 含量显著升高, 免疫球蛋白 A (IgA) 含量极显著升高。以上结果表明, 日粮中添加 5% 竹酢粉能提高断奶湖羊的免疫力和抗病力, 预防羔羊应激, 有利于其机体健康。

关键词: 竹酢粉; 断奶湖羊; 生长性能; 生理生化指标; 免疫指标

中图分类号: S826.5

文献标识码: A

DOI 编号: 10.19556/j.0258-7033.20250727-02

断奶是羔羊生长发育的关键阶段^[1], 此时羔羊的消化系统、免疫系统发育尚不完善, 瘤胃微生物平衡尚未完全建立^[2-3]。羔羊断奶期面临与母羊分离、饲喂方式

和饲养环境的改变, 使得羔羊容易产生断奶应激, 进而抑制羔羊的生长发育、损害机体健康, 具体表现为体重减轻、免疫力下降、发病率和死亡率增加等^[4-6]。目前, 缓解断奶应激的主要措施有改善饲养管理、饲喂代乳料、饲料添加剂等^[7]。其中, 兼具抗应激、促生长及免疫增强功能的饲料添加剂因适配规模化养殖需求, 成为缓解断奶湖羊应激、提高羔羊生长性能的营养策略, 已得到广泛研究和应用。

收稿日期: 2025-07-27; 修回日期: 2025-10-30

资助项目: 江苏省淮安市自然科学研究计划项目 (HAB202242)

作者简介: 王景 (1987-), 女, 硕士, 讲师, 研究方向为预防兽医学, E-mail: 673712536@qq.com

* 通信作者: 刘明美 (1974-), 女, 山东青岛人, 博士, 副教授, 研究方向为动物营养与饲料研究, E-mail: 63584646@qq.com

- to energy harvest and nutritional utilization[J]. mSphere, 2021, 6(4): e0046721.
- [26] 郭晶晶. 植物乳杆菌 WW 及其发酵制品对高脂饮食大鼠体质的影响 [D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2019.
- [27] 饶泽斌. 噬淀粉乳杆菌 TZR-PI001 固态发酵饲料对猪生长性能、抗氧化性能和粪便微生物区系的影响 [D]. 重庆: 西南大学, 2022.
- [28] 胡萍. 多菌复合固态发酵不同粗纤维水平的日粮对育肥猪生长性能、营养物质消化、血清生化指标和粪便微生物的影响 [D]. 重庆: 西南大学, 2022.
- [29] Wang J, Han Y, Zhao J Z, et al. Consuming fermented distillers' dried grains with solubles (DDGS) feed reveals a shift in the faecal microbiota of growing and fattening pigs using 454 pyrosequencing[J]. J Integr Agr, 2017(4): 900-910.
- [30] Liu B, Yu D Y, Ge C Y, et al. Combined effects of microplastics and chlortetracycline on the intestinal barrier, gut microbiota, and antibiotic resistome of Muscovy ducks (Cairina moschata) [J]. Sci Total Environ, 2023, 887: 164050.
- [31] Tan J, Mckenzie C, Vuillermin P J, et al. Dietary fiber and bacterial scfa enhance oral tolerance and protect against food allergy through diverse cellular pathways[J]. Cell Reports, 2016, 15(12): 2809-2824.
- [32] Gao K, Pi Y, Peng Y, et al. Time-course responses of ileal and fecal microbiota and metabolite profiles to antibiotics in cannulated pigs[J]. Appl Microbiol Biotechnol, 2018, 102(5): 2289-2299.
- [33] Zhang L L, Gu X L, Wang J, et al. Effects of dietary isomaltoligosaccharide levels on the gut microbiota, immune function of sows, and the diarrhea rate of their offspring[J]. Front Microbiol, 2021, 11: 588986.

(责任编辑: 郑本艳)

竹酢液是一种源于自然、绿色健康的竹炭工业酸性副产品，其 pH 为 2.5~3.0^[8]。在低温环境下与食用糊精通过喷雾干燥处理后，得到竹酢粉^[9]，其中富含有机酸、酚类、酮类、醛类、醇类以及杂环类等多种有机成分^[10-11]。近年来，竹酢粉作为一种天然的抗氧化与抗菌制剂^[12]，已被广泛应用于畜牧生产中。Rattanawut 等^[8]研究发现，日粮中添加 1% 的竹醋液可以提高鸭的生长性能；而在肉鸡日粮中添加 0.2% 竹酢粉可以刺激肠道功能促进其体重增加^[13]。Huo 等^[14]研究表明，在断奶仔猪日粮中添加 0.5% 竹酢粉不仅能缓解仔猪腹泻，还能提高其免疫力与生长性能。Yu 等^[15]则发现，在育肥猪日粮中添加 1% 竹酢粉可以提高肝脏的抗氧化能力，Yang 等^[16]添加 0.2% 竹酢粉促进育肥猪的生长发育。此外，相关研究表明，妊娠后期母羊日粮中添加 2% 的竹酢粉，能够提高母羊的总抗氧化能力和免疫力^[17-18]。基于此，本试验以 2 月龄断奶湖羊为研究对象，探究竹酢粉对断奶湖羊的生长性能、血液生理生化指标、血清免疫指标的影响，以期对断奶羔羊健康养殖提供营养策略。

1 材料与方法

1.1 试验材料 试验所用竹酢粉（江阴中炬生物科技有限公司）主要活性物质包括酚类、醛类、有机酸、酮类及杂环类等。

1.2 试验设计 本试验选用江苏洪泽湖羊养殖专业合作社的 10 只健康的 2 月龄断奶羔羊，所选羔羊出生日期相近且体重差异较小，体重在（20.00±1.16）kg。经兽医全面健康检查后，将羔羊随机均分为对照组和试验组，每组各 5 只，单栏饲养。根据刘明美等^[18-19]在妊娠母羊和妊娠后期母羊饲料中添加 2% 的竹酢粉，考虑到断奶湖羊可能对竹酢粉的适应性更强，故本试验确定竹酢粉的添加量为 5%。试验组羔羊每日饲喂添加 5%（质量比）竹酢粉的基础日粮，对照组饲喂常规基础饲料。预饲期 7 d，正饲期为 42 d。

1.3 饲养管理 试验羊每日饲喂 2 次（08:00 和 16:00），各组试验羊自由采食和饮水，依据每日剩料的实际情况对饲喂量进行调整。每周对羊舍进行一次清粪和消毒，保持羊舍环境干净整洁。基础日粮的具体组成成分和营养水平详见表 1。

1.4 样品采集与测定

1.4.1 生长性能测定 在正试期第 1 天和第 42 天，于饲

表 1 基础日粮组成及营养成分（风干基础）

原料组成,%	含量	营养水平 ^②	含量
玉米	29.90	消化能,MJ/kg	10.87
糖蜜	2.00	粗蛋白,%	14.20
玉米胚芽粕(CP25.00%)	12.00	粗灰分,%	8.89
玉米皮	5.00	粗脂肪,%	2.38
豆粕(CP 46%)	12.00	粗纤维,%	14.36
花生秧	34.90	中性洗涤纤维,%	24.66
小苏打	0.40	钙,%	1.06
磷酸氢钙	1.00	总磷,%	0.44
石粉	1.50	赖氨酸,%	0.61
氯化钠	0.30	氯化钠,%	0.46
预混料 ^①	1.00		
合计	100.00		

注：①预混料为每千克饲料中提供：维生素 A 2640 IU，维生素 D 302 IU，维生素 E 17 IU，铁 60 mg，铜 10 mg，锌 36 mg，锰 48 mg，钴 0.12 mg，碘 0.3 mg，硒 0.24 mg。②消化能、钙、总磷和赖氨酸为计算值，其余为实测值。

喂前对羔羊进行空腹称重，获取初始重和末重数据。饲养全程每日记录饲料投放量及剩余饲料量，最后计算每组羔羊的平均日增重（ADG）、平均日采食量（ADFI）和耗料增重比（F/G）。计算公式如下：

ADG=（末重－初重）/ 试验天数

ADFI= 统计周期内总采食量 / 统计周期天数

F/G=ADFI/ADG

1.4.2 血样采集 试验期最后一天早晨空腹状态下，使用一次性真空采血针于试验羊颈部静脉处采集血液样本 3 份（A、B、C），每份样本量为 5 mL。其中，样本 A 分装于乙二胺四乙酸（EDTA）抗凝管；样本 B 分装至肝素锂抗凝管；样本 C 置于普通管，先在室温下静置 2 h，随后 4℃ 静置 2~3 h。待血液完全凝固收缩后，3 000 r/min 离心 10 min，收集上层血清，保存于 -20℃ 待测。

1.4.3 指标测定 参考刘明美等^[18]的方法，使用 PE-6800VET 全自动动物血细胞分析仪（深圳市普康电子有限公司）检测血常规指标，包括白细胞数量（WBC）、红细胞数量（RBC）、血红蛋白浓度（HGB）、血小板数量（PLT）、红细胞压积（PCV）、红细胞平均体积（MCV）、平均红细胞血红蛋白含量（MCH）、平均红细胞血红蛋白浓度（MCHC）和红细胞分布宽度（RDW-CV）。使用 SMT-120V 全自动生化分析仪（成都斯马特科技有限公司）检测血液生化指标，包括总蛋白（TP）、白蛋白（ALB）、球蛋白（GLB）、白球

比(A/G)、天门冬氨酸转移酶(AST)、丙氨酸氨基转移酶(ALT)、淀粉酶(AMY)、肌酐(Crea)、肌酸激酶(CK)、葡萄糖(GLU)、钙(Ca)、无机磷(PHOS)和尿素氮(UN)。使用 ELASA 试剂盒(上海心语生物科技有限公司)检测血清中细胞因子(IL-2 和 IFN- γ)和免疫球蛋白(IgM、IgG 和 IgA)等免疫指标。

1.5 统计分析 采用 Excel 2022 对试验数据进行初步整理,使用 GraphPad Prims 软件进行独立样本 *t* 检验。数据结果以平均值 $\pm$ 标准差表示。以 $P<0.01$ 作为差异极显著标准,以 $P<0.05$ 作为差异显著标准。

2 结果

2.1 竹酢粉对断奶湖羊生长性能的影响 由表 2 可知,添加竹酢粉对断奶湖羊的末重、ADG、ADFI 以及 F/G 均无显著影响。

表 2 竹酢粉对断奶湖羊生长性能的影响			
项目	对照组	试验组	<i>P</i> 值
初重,kg	19.80 $\pm$ 0.54	20.20 $\pm$ 0.54	0.989
末重,kg	28.52 $\pm$ 1.30	30.34 $\pm$ 0.51	0.101
ADG,kg/d	0.21 $\pm$ 0.04	0.24 $\pm$ 0.02	0.067
ADFI,kg/d	1.27 $\pm$ 0.04	1.26 $\pm$ 0.01	0.218
总采食量,kg	267.40 $\pm$ 0.88	265.70 $\pm$ 0.84	0.142
总增重,kg	8.72 $\pm$ 1.84	10.14 $\pm$ 0.8	0.067
F/G	6.05 $\pm$ 1.16	5.27 $\pm$ 0.44	0.062

注:小写字母不同表示差异显著($P<0.05$),大写字母不同表示差异极显著($P<0.01$),下同。

2.2 竹酢粉对断奶湖羊血常规指标的影响 如表 3 所示,与对照组相比,饲料中添加 5% 竹酢粉显著降低了断奶湖羊血液中的 MCH 和 MCHC,对其他血常规指标无显著影响。

表 3 竹酢粉对断奶湖羊血常规指标的影响			
项目	对照组	试验组	<i>P</i> 值
WBC, 10^9 /L	33.10 $\pm$ 6.53	37.02 $\pm$ 3.08	0.174
RBC, 10^{12} /L	9.50 $\pm$ 0.30	10.21 $\pm$ 0.19	0.419
HGB,g/L	131.00 $\pm$ 6.16	138.80 $\pm$ 7.93	0.638
PLT, 10^9 /L	847.40 $\pm$ 133.50	893.80 $\pm$ 122.30	0.870
PCV,%	54.78 $\pm$ 3.17	64.80 $\pm$ 4.69	0.456
MCV,fL	57.54 $\pm$ 1.55	59.64 $\pm$ 0.90	0.320
MCH,pg	13.72 $\pm$ 0.23 ^a	13.58 $\pm$ 0.82 ^b	0.029
MCHC,g/L	239.20 $\pm$ 2.75 ^a	228.60 $\pm$ 13.88 ^b	0.008
RDW-CV,%	15.24 $\pm$ 0.29	16.08 $\pm$ 0.46	0.390

2.3 竹酢粉对断奶湖羊血清生化指标的影响 由表 4 可知,试验组断奶湖羊血清 ALB 和 A/G 显著高于对照组,

TP、GLB、GLU 和 Ca 含量极显著高于对照组,其他生化指标在 2 组间无显著差异。

表 4 竹酢粉对断奶湖羊血清生化指标的影响			
项目	对照组	试验组	<i>P</i> 值
TP,g/L	66.10 $\pm$ 8.51 ^A	72.48 $\pm$ 1.54 ^B	0.006
ALB,g/L	28.56 $\pm$ 3.09 ^a	33.24 $\pm$ 0.68 ^b	0.012
GLB,g/L	37.56 $\pm$ 5.85 ^A	39.26 $\pm$ 1.15 ^B	0.008
A/G	0.81 $\pm$ 0.09 ^a	0.85 $\pm$ 0.02 ^b	0.027
AST,U/L	126.00 $\pm$ 15.27	124.20 $\pm$ 8.70	0.302
ALT,U/L	23.40 $\pm$ 3.93	23.20 $\pm$ 2.40	0.361
AMY,U/L	21.40 $\pm$ 4.27	17.40 $\pm$ 4.25	0.526
CK,U/L	89.00 $\pm$ 12.87	124.00 $\pm$ 5.20	0.107
GLU,mmol/L	3.87 $\pm$ 0.47 ^A	4.51 $\pm$ 0.08 ^B	0.004
Ca,mmol/L	2.07 $\pm$ 0.25 ^A	2.39 $\pm$ 0.03 ^B	0.001
PHOS,mmol/L	2.74 $\pm$ 0.51	2.89 $\pm$ 0.30	0.313
Crea, μ mol/L	49.94 $\pm$ 4.36	52.72 $\pm$ 3.66	0.740
UN,mmol/L	7.67 $\pm$ 1.07	7.71 $\pm$ 0.24	0.219
UN/Crea	156.03 $\pm$ 11.38	149.20 $\pm$ 22.37	0.792

2.4 竹酢粉对断奶湖羊免疫指标的影响 由表 5 可知,添加 5% 竹酢粉显著升高了断奶湖羊血清中 IL-2 和 IFN- γ 含量,极显著升高了 IgA 含量,对其他免疫指标无显著影响。

表 5 竹酢粉对断奶湖羊免疫指标的影响			
项目	对照组	试验组	<i>P</i> 值
IL-2,pg/mL	183.10 $\pm$ 24.93 ^a	280.20 $\pm$ 17.49 ^b	0.013
IFN- γ ,pg/mL	17.75 $\pm$ 1.91 ^a	25.41 $\pm$ 2.39 ^b	0.037
IgM,g/L	1.08 $\pm$ 0.18	1.34 $\pm$ 0.23	0.393
IgG,g/L	16.78 $\pm$ 3.49	21.70 $\pm$ 3.43	0.344
IgA,g/L	0.54 $\pm$ 0.03 ^A	0.69 $\pm$ 0.03 ^B	0.005

3 讨论

3.1 竹酢粉对断奶湖羊生长性能的影响 竹酢粉因其丰富的活性组分及天然无污染的特性而被广泛应用于养殖业^[9]。在肉鸡日粮中添加 0.2% 竹酢粉可刺激其肠道功能促进体重增加^[8];在断奶仔猪日粮中添加 0.5% 竹酢粉提高了仔猪的免疫力与生长性能^[14],在育肥猪日粮中添加 1% 竹酢粉可以促进其生长发育^[16]。这可能是竹酢粉中的乙酸和甲酸等成分能降低胃肠道 pH,酸化剂能抑制病原菌的繁殖,从而改善肠道微环境,促进生长^[9]。但本研究发现,添加 5% 竹酢粉对断奶湖羊的生长性能无显著影响。这可能与竹酢粉的添加剂量或者瘤胃微生物降解了部分竹酢粉有关,具体原因还需进一步

深入探究。

3.2 竹酢粉对断奶湖羊血常规指标的影响 动物血常规指标是反映机体生理状态的重要参数。MCH 和 MCHC 分别反映了红细胞中血红蛋白含量和色素饱和度, 这些指标的同步变化可能提示某些异常代谢变化^[20]。本研究发现, 饲料中添加 5% 竹酢粉显著降低了断奶湖羊血液中 MCH 和 MCHC, 但不影响其他指标。这一结果可能是由于竹酢粉中的有机酸、酚类等活性组分刺激造血干细胞生成红细胞^[21], 但由于断奶羔羊自身代谢问题, 使得血红蛋白的合成原料不足, 出现 MCH 和 MCHC 降低的现象, 具体原因还需进一步探究。

3.3 竹酢粉对断奶湖羊血液生化指标的影响 血清蛋白浓度的变化通常作为反刍动物的压力指标, 羔羊与母羊分离以及环境的改变会使得血清中 TP 的水平发生变化^[22]。TP 与动物免疫力和代谢水平有关, 能够反映机体对蛋白质的吸收能力^[23]。研究发现, 添加竹醋液增加了肉鸡血清中 TP 和 ALB^[24]。本试验也得到了相似的结果, 添加 5% 竹酢粉显著提高了断奶湖羊血清中 TP、ALB、GLB 和 A/G 含量。研究表明, 竹酢粉中的 2- 甲氧基 -4- 甲基苯酚、2,6- 二甲苯基酚和 1,2,4- 三甲氧基苯酚等酚类物质发挥免疫调节剂的功能^[25]。推测竹酢粉中的酚类活性组分可能通过促进断奶湖羊对蛋白质和氨基酸等营养物质的吸收和代谢, 进而促进机体发育、提高免疫功能和预防应激。

血清中的 GLU 主要来自小肠内碳水化合物的吸收和肝糖原的分解, 是动物机体代谢活动中重要的能量底物^[26]。幼龄反刍动物血清中高浓度的 GLU 水平能够提高肾上腺皮质激素和胰高血糖素活性, 增强机体抵抗应激的能力^[27]。本研究发现, 日粮中添加 5% 竹酢粉显著提高了断奶湖羊血清中 GLU 水平, 表明竹酢粉能够有效维持断奶湖羊血糖水平的稳定, 减少应激反应。此外, 血清中 Ca 含量显著升高也表明竹酢粉能够提高断奶湖羊对 Ca 的吸收和利用。

3.4 竹酢粉对断奶湖羊免疫指标的影响 动物机体的免疫机能与其体内免疫球蛋白的含量及细胞因子水平密切相关。IL-2 由辅助 T 细胞分泌, 能够活化细胞因子, 增强机体免疫功能^[28]。IFN- γ 是一种具有多种免疫调节和抗病毒作用的细胞因子^[29]。IgA 在免疫保护中也起着关键作用^[30]。竹醋液在猪和蛋鸡中的使用中显示出了高效的抗菌作用, 可以促进乳酸菌的增加并使得沙门氏

菌种群减少^[31-33]。Chu 等^[31]研究发现在育肥猪日粮中添加竹炭和竹醋液的抗菌作用与抗生素混合物的效果相似。Ju 等^[34]在商业鱼中的研究也显示出竹醋对肠道微生物群有积极影响。本试验结果显示, 日粮中添加竹酢粉显著提高了 IL-2、IFN- γ 和 IgA 含量, 推测 IL-2 可能通过活化 IFN- γ , 两者结合发挥免疫调节作用, 表明竹酢粉在提高断奶湖羊抗菌能力和提高其机体免疫力方面发挥重要作用。

4 结 论

本研究结果表明, 断奶湖羊日粮中添加 5% 竹酢粉能够改善断奶湖羊血清生化指标 (TP、ALB、CLB、A/G、GLU 和 Ca) 和免疫指标 (IL-2、IFN- γ 和 IgA), 表明竹酢粉在提高断奶羔羊免疫力、预防应激和维持机体健康方面发挥重要作用。

参考文献:

- [1] Li S, Hashim Z B. Impact of early weaning and nutritional interventions on growth performance, digestive metabolism, and serum biomarkers in lambs: A biomechanical perspective [J]. *Mol Cellular Biomech*, 2024, 21(1): 262.
- [2] 陈源. 不同转群时间对羔羊断奶应激的影响 [J]. *今日畜牧兽医*, 2023, 39(12): 35-37.
- [3] 王桂秋, 刁其玉, 罗桂河, 等. 羔羊断奶日龄对生长和血清指标的影响 [J]. *动物营养学报*, 2007, 19(1): 23-27.
- [4] Bhatt R S, Sarkar S, Sahoo A, *et al*. Growth performance, rumen fermentation and economic analysis of Malpura lambs raised on milk replacer at different weaning age under semiarid conditions [J]. *J Anim Physiol An N*, 2022, 106(2): 250-257.
- [5] Ekiz B, Kocak O, Yalcintan H, *et al*. Effects of suckling duration on growth, slaughtering and carcass quality characteristics of Kivircik lambs [J]. *Trop Anim Health Prod*, 2016, 48(2): 395-401.
- [6] 李炯, 唐亚楠, 魏贻, 等. 果寡糖对哺乳羔羊生长性能及断奶应激的影响 [J]. *动物营养学报*, 2024, 36(1): 397-405.
- [7] 王世琴. 断奶应激及饲喂白藜芦醇和地衣芽孢杆菌对羔羊胃肠道发育及其微生物区系的影响 [D]. 兰州: 兰州大学, 2020.
- [8] Rattanawut J, Yamauchi K. Growth performance, carcass traits and histological changes in the intestinal villi of male broiler chickens fed dietary silicic acid powder containing bamboo vinegar liquid [J]. *J Anim Feed Sci*, 2015, 24(1): 48-52.
- [9] 刘正旭, 崔宇, 霍永久, 等. 2 种竹酢粉饲料添加剂理化性质对比研究 [J]. *竹子研究汇刊*, 2014, 33(3): 27-31, 37.
- [10] Akakabe Y, Tamura Y, Iwamoto S, *et al*. Volatile organic compounds with characteristic odor in bamboo vinegar [J]. *Biosci Biotech Bioch*, 2006, 70(11): 2797-2799.
- [11] Gama G S P, Pimenta A S, Feijó F M C, *et al*. Antimicrobial activity and chemical profile of wood vinegar from eucalyptus

- (*Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*-clone I144) and bamboo (*Bambusa vulgaris*)[J]. *World J Microb Biot*, 2023, 39(7): 186.
- [12] Chen Y P, Chen C, Wu H, *et al*. Bamboo vinegar powder: Unveiling its antioxidant and antifungal efficacy through bioactive compound analysis and mechanistic insights[J]. *Food Chem*, 2025, 470: 142718.
- [13] Ruttanavut J, Yamauchi K, Goto H, *et al*. Effects of dietary bamboo charcoal powder including vinegar liquid on growth performance and histological intestinal change in Aigamo ducks[J]. *Int J Poult Sci*, 2009, 8(3): 229-236.
- [14] Huo Y, Liu Z, Xuan H, *et al*. Effects of bamboo vinegar powder on growth performance and mRNA expression levels of interleukin-10, interleukin-22, and interleukin-25 in immune organs of weaned piglets[J]. *Anim Nutr*, 2016, 2(2): 111-118.
- [15] Yu L, Peng Z, Dong L, *et al*. Bamboo vinegar powder supplementation improves the antioxidant ability of the liver in finishing pigs[J]. *Livest Sci*, 2018, 211: 80-86.
- [16] Yang L, Feng H, Liu Y, *et al*. Influence of bamboo vinegar powder supplementation on growth performance, apparent digestibility and expression of growth-related genes in finishing pigs[J]. *Anim Nutr*, 2020, 20(2): 175-186.
- [17] 陈光明, 孟云, 赵政, 等. 竹酢粉对妊娠后期母羊血液生化、免疫与抗氧化指标及常乳成分的影响 [J]. *畜牧与兽医*, 2017, 49(12): 39-43.
- [18] 刘明美, 徐长军, 黄德军, 等. 竹酢粉对妊娠后期母羊血液及初乳抗氧化、免疫指标的影响 [J]. *中国畜牧兽医*, 2018, 45(1): 106-112.
- [19] 刘明美, 戴乐军, 何丛丛, 等. 妊娠母羊饲喂竹酢粉对羔羊生长性能、血液生理生化指标、免疫与抗氧化能力的影响 [J]. *中国畜牧兽医*, 2020, 47(6): 1759-1764.
- [20] 段俊红, 杨帆, 侯芳, 等. 日粮精粗比对思南杂交肉牛体尺性状和血液常规指标的影响 [J]. *中国饲料*, 2021(9): 22-26.
- [21] Baglioni C. Ontogenesis of erythrocytes and hemoglobin formation[J]. *J Cell Physiol*, 1966, 67(1): 169-184.
- [22] Tóthová C, Link R, Kyzecková P, *et al*. Serum protein electrophoretic pattern in piglets during the early postnatal period[J]. *Sci Rep*, 2021, 11(1): 17539.
- [23] Chen Z, Song C, Yao Z, *et al*. Associations between albumin, globulin, albumin to globulin ratio and muscle mass in adults: results from the national health and nutrition examination survey 2011—2014[J]. *BMC Geriatr*, 2022, 22(1): 383.
- [24] 普少瑕. 竹醋液在肉鸡生产中的应用研究 [D]. 南京: 南京农业大学, 2014.
- [25] Chen L H, Chai Y L, Shuk M K, *et al*. Bamboo vinegar decreases inflammatory mediator expression and NLRP3 inflammasome activation by inhibiting reactive oxygen species generation and protein kinase c- α / δ activation[J]. *PLoS One*, 2013, 8 (10) :e75738.
- [26] Silva L P, Lourenço M L G, Paula R A, *et al*. Assessment of serum lactate levels, blood glucose values and blood gas values in sheep, newborn lambs and placenta[J]. *Pesquisa Veterinária Brasileira*, 2018, 38(9): 1878-1884.
- [27] Belanche A, Palma-Hidalgo J M, Nejjam I, *et al*. Inoculation with rumen fluid in early life as a strategy to optimize the weaning process in intensive dairy goat systems[J]. *J Dairy Sci*, 2020, 103(6): 5047-5060.
- [28] Smith K A. Interleukin-2: inception, impact, and implications [J]. *Science*, 1988, 240(4856): 1169-1176.
- [29] Zhang S Y, Boisson-Dupuis S, Chappier A, *et al*. Inborn errors of interferon (IFN)-mediated immunity in humans: insights into the respective roles of IFN- α/β , IFN- γ , and IFN- λ in host defense[J]. *Immunol Rev*, 2008, 226(1): 29-40.
- [30] Woof J M, Kerr M A. The function of immunoglobulin A in immunity[J]. *J Pathol*, 2006, 208(2): 270-282.
- [31] Chu G M, Jung C K, Kim H Y, *et al*. Effects of bamboo charcoal and bamboo vinegar as antibiotic alternatives on growth performance, immune responses and fecal microflora population in fattening pigs[J]. *Anim Sci J*, 2013, 84(2): 113-120.
- [32] Qu H, Huang Y, Shi Y, *et al*. Effect of bamboo vinegar powder as an antibiotic alternative on the digesta bacteria communities of finishing pigs[J]. *Can J Microbiol*, 2018, 64(10): 732-743.
- [33] Rattanawut J, Pimpa O, Venkatachalam K, *et al*. Effects of bamboo charcoal powder, bamboo vinegar, and their combination in laying hens on performance, egg quality, relative organ weights, and intestinal bacterial populations[J]. *Trop Anim Health Prod*, 2021, 53(1): 1-7.
- [34] Ju K, Kil M, Ri S, *et al*. Impacts of dietary supplementation of bamboo vinegar and charcoal powder on growth performance, intestinal morphology, and gut microflora of large-scale loach *Paramisgurnus dabryanus*[J]. *J Oceanol Limnol*, 2023, 41(3): 1187-1196.

(责任编辑: 周会会)