

引文格式: 肖明霞, 赵平, 王雪艳, 等. 高温养殖条件下饲用凝结芽孢杆菌对肉鸡肠道健康的影响[J]. 云南农业大学学报(自然科学), 2023, 38(4): 573–579. DOI: 10.12101/j.issn.1004-390X(n).202211009

高温养殖条件下饲用凝结芽孢杆菌对肉鸡肠道健康的影响*

肖明霞¹, 赵平¹, 王雪艳¹, 袁丽红¹, 白华毅¹,
李琦华¹, PHOUTHAPANE V², 程志斌^{1**}

(1. 云南农业大学 动物科学技术学院, 云南 昆明 650201; 2. 老挝农林部畜牧与水产业局, 老挝 万象 6644)

摘要: 【目的】研究饲用凝结芽孢杆菌 (*Bacillus coagulans*) 对高温养殖肉鸡生长性能及肠道健康的影响。【方法】将 320 只 28 日龄 AA 肉公鸡分为阳性对照组 [即常温组, normal temperature, NT, (22±1) °C]、阴性对照组 [即高温组, high temperature, HT, (34±1) °C] 和 3 个试验组。NT 和 HT 组饲喂基础日粮; 3 个试验组在 HT 组基础日粮中分别添加 0.2×10^7 、 1.0×10^7 和 5.0×10^7 CFU/g 凝结芽孢杆菌, 分别记为 HT-BC_{0.2}、HT-BC_{1.0} 和 HT-BC_{5.0} 组。【结果】与 NT 组肉鸡相比, HT 组肉鸡的平均日增质量、平均日采食量、空肠绒毛高度、绒毛高度/隐窝深度、空肠食糜乳酸杆菌数和乳酸杆菌数/大肠杆菌数均显著降低 ($P < 0.05$), 料重比和空肠食糜大肠杆菌数显著增加 ($P < 0.05$)。与 HT 组肉鸡相比, HT-BC_{1.0} 和 HT-BC_{5.0} 组肉鸡的平均日增质量、绒毛高度/隐窝深度、乳酸杆菌数/大肠杆菌数均显著增加 ($P < 0.05$), HT-BC_{5.0} 组肉鸡的空肠食糜大肠杆菌数显著降低 ($P < 0.05$)。【结论】高温养殖条件下, 饲用凝结芽孢杆菌可通过维持肠道形态及菌群平衡增强肠道健康状况, 从而在一定程度上改善了肉鸡生长性能。

关键词: 凝结芽孢杆菌; 肉鸡; 生长性能; 肠道健康; 高温

中图分类号: S831.42 文献标志码: A 文章编号: 1004-390X (2023) 04-0573-07

Effects of Dietary Supplemented Probiotics *Bacillus coagulans* on Intestinal Health of Broiler Chickens under High Temperature

XIAO Mingxia¹, ZHAO Ping¹, WANG Xueyan¹, YUAN Lihong¹, BAI Huayi¹,
LI Qihua¹, PHOUTHAPANE V², CHENG Zhibin¹

(1. Faculty of Animal Science and Technology, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China;

2. Department of Livestock and Fisheries, Ministry of Agriculture and Forestry of Laos, Vientiane 6644, Laos)

Abstract: [Purpose] To study the effects of *Bacillus coagulans* on the growth performance and intestinal health of broilers bred under high temperature. [Methods] A total of 320 28-day-old AA broiler chickens were divided into five groups: positive control group was the normal temperature group [NT, (22±1) °C], negative control group was the high temperature group [HT, (34±1) °C], and three test groups. NT and HT groups were fed with basic diet; three test groups added *B. coagulans*

收稿日期: 2022-11-07

修回日期: 2023-06-16

网络首发日期: 2023-08-17

*基金项目: 云南省重大科技专项 (2016ZA008)。

作者简介: 肖明霞 (1996—), 女, 云南曲靖人, 硕士, 主要从事动物营养与饲料科学研究。

E-mail: 1377751863@qq.com

**通信作者 Corresponding author: 程志斌 (1977—), 男, 江西南昌人, 博士, 副教授, 主要从事动物营养与畜产品质量控制研究。E-mail: chengzb99@163.com

网络首发地址: <https://link.cnki.net/urlid/53.1044.S.20230817.1058.001>



with 0.2×10^7 , 1.0×10^7 , 5.0×10^7 CFU/g to the basic diet of HT group, respectively, recording HT-BC_{0.2}, HT-BC_{1.0} and HT-BC_{5.0} group, respectively. [Results] Compared with NT group broilers, the average daily gain (ADG), average daily feed intake, jejunal villus height, villus height/crypt depth, number of *Lactobacillus* (N_L) and N_L /number of *Escherichia coli* (N_E) in jejunal chyme of HT group broilers were significantly decreased ($P < 0.05$), while the feed intake/gain and N_E in jejunal chyme were significantly increased ($P < 0.05$). Compared with HT group broilers, the ADG, jejunal villus height/crypt depth, jejunal N_L/N_E of HT-BC_{1.0} and HT-BC_{5.0} group broilers were significantly increased ($P < 0.05$), while N_E in jejunal chyme of HT-BC_{5.0} group broilers were significantly decreased ($P < 0.05$). [Conclusion] Dietary supplementation of *B. coagulans* improves the growth performance and intestinal health of broilers chickens under high temperature, by maintaining intestinal morphology and microflora balance.

Keywords: *Bacillus coagulans*; broiler chicken; growth performance; intestinal health; high temperature

环境高温会危害肉鸡肠道健康,主要表现为肠道形态损伤及肠道菌群紊乱,严重降低了肉鸡的生长性能^[1-3]。大量研究表明:饲用益生菌对高温养殖肉鸡的生长性能有不同程度的改善^[4-7]。课题组前期研究显示:饲用益生菌凝结芽孢杆菌(*Bacillus coagulans*)可减轻机体氧化损伤和炎症反应,可在一定程度上改善高温养殖条件下肉鸡的生长性能^[8]。此外,良好的抑菌作用是凝结芽孢杆菌最显著的益生性能,已有研究报道:凝结芽孢杆菌维持常温养殖肉鸡肠道菌群是其改善肉鸡生长性能的重要机制之一^[9-11]。然而,迄今为止尚无饲用凝结芽孢杆菌对高温养殖肉鸡肠道形态及菌群影响的报道。鉴于此,在前期研究的基础上,本研究在饲料中添加不同剂量的凝结芽孢杆菌,重点检测凝结芽孢杆菌对肠道形态和肠道菌群的影响,从肠道健康的角度探讨凝结芽孢杆菌改善高温养殖肉鸡生长性能的可能机制,为凝结芽孢杆菌在养殖生产中的应用提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验动物及其分组

选 320 只 28 日龄爱拔益加(AA)肉公鸡随机分为 5 组:阳性对照组为常温组(normal temperature, NT),阴性对照组为高温组(high temperature, HT),阳性和阴性对照组肉鸡均饲喂不含凝结芽孢杆菌的基础饲料;3 个试验组在 HT 组基础上分别补充 0.2×10^7 、 1.0×10^7 和 5.0×10^7 CFU/g 凝结芽孢杆菌,分别记为 HT-BC_{0.2}、HT-BC_{1.0} 和 HT-BC_{5.0} 组。每组 8 个重复,每个重复 8 只肉公鸡。

饲用凝结芽孢杆菌制剂总菌数 500 亿 CFU/g,菌株编号 YNAU 5517,由本课题组制备^[12]。

1.2 试验饲料

基础饲料组成及营养水平参考《鸡饲养标准》(NY/T 33—2004)并结合云南省肉鸡饲料实际情况配制(表 1),基础饲料中不含抗生素、化学合成药物、商业饲用益生菌和酸化剂等功能性添加剂。所有试验饲料为颗粒料,试验组饲料于制粒前加入凝结芽孢杆菌,制粒机设置的制粒温度为 80 ℃。

1.3 饲养管理

试验在云南农业大学试验鸡场 2 间温控鸡舍完成。NT 组肉鸡全天饲养在 (22 ± 1) ℃ 鸡舍,4 个 HT 组肉鸡全天饲养在 (34 ± 1) ℃ 鸡舍,鸡舍由电控锅炉供暖和控温。试验采用笼养,每个重复为 1 笼,单笼长×宽×高为 140 cm×70 cm×32 cm。试验期间肉鸡自由采食和饮水,24 h 光照,试验周期共 14 d。

1.4 测定指标

1.4.1 生长性能

每个处理组以重复为单位,测定试验鸡 28 日龄和 42 日龄体质量。试验期间记录采食量,计算平均日采食量、平均日增质量和料重比。

1.4.2 直肠温度

采用数显温度计(精确度 0.01 ℃),于 28 日龄检测试验鸡的直肠温度(RT_{28}),并记录脚标;至 42 日龄再次检测同一脚标鸡的直肠温度(RT_{42})。每个重复检测 1 只试验鸡。 RT_{28} 表示试验鸡初始的直肠温度, RT_{42} 表示 42 d 的直肠温度,同时计算试验 14 d 的直肠温度差 ΔRT 。

表 1 基础饲粮组成及营养水平 (风干基础)

原料 ingredients	含量/% content
玉米 corn	59.60
豆粕 soybean meal	30.40
大豆油 soybean oil	4.60
石粉 limestone	1.35
磷酸氢钙 dicalcium phosphate	1.45
L-赖氨酸盐酸盐 L-lysine hydrochloride	0.10
DL-蛋氨酸 DL-methionine	0.15
L-苏氨酸 L-threonine	0.09
食盐 salt	0.26
预混料 ¹⁾ premix	2.00
营养水平 ²⁾ nutrient levels	
代谢能/(MJ·kg ⁻¹) metabolic energy	12.75
粗蛋白/% crude protein	19.07
钙/% calcium	0.94
总磷/% total phosphorus	0.65
赖氨酸/% lysine	1.02
蛋氨酸/% methionine	0.43
蛋氨酸+胱氨酸/% methionine + cystine	0.76
苏氨酸/% threonine	0.73
色氨酸/% tryptophan	0.22

注: 1) 预混料为每千克日粮提供: 维生素A 10 000 IU, 维生素D₃ 3 000 IU, 维生素E 25 IU, 维生素K 2.00 mg, 维生素B₁ 2.00 mg, 维生素B₂ 6.00 mg, 维生素B₆ 4.00 mg, 叶酸 1.00 mg, 烟酸 40.00 mg, 泛酸 11.00 mg, 生物素 0.15 mg, 铁 80.00 mg, 铜 8.00 mg, 锌 75.00 mg, 硒 0.30 mg, 碘 0.35 mg, 锰 100.00 mg, 胆碱 800.00 mg; 2) 代谢能为计算值, 其余为实测值。
Note: 1) The premix provided the following per kilogram of diets: VA 10 000 IU, VD₃ 3 000 IU, VE 25 IU, VK 2.00 mg, VB₁ 2.00 mg, VB₂ 6.00 mg, VB₆ 4.00 mg, folic acid 1.00 mg, nicotinic acid 40.00 mg, D-pantothenic acid 11.00 mg, biotin 0.15 mg, Fe 80.00 mg, Cu 8.00 mg, Zn 75.00 mg, Se 0.30 mg, I 0.35 mg, Mn 100.00 mg, choline 800.00 mg; 2) metabolic energy was the calculated value, and the others were the measured values.

1.4.3 肠道形态

每组以重复为单位随机屠宰 1 只鸡, 取空肠组织 3~4 cm 于 4% 多聚甲醛中固定, 后采用苏木精—伊红染色法测定绒毛高度、隐窝深度及其比值, 具体操作方法参考文献 [13]。

1.4.4 肠道菌群和 pH 值

取空肠食糜, 采用平板计数法分别检测凝结芽孢杆菌、大肠杆菌和乳酸杆菌的总菌数, 其数量以总菌数的对数值表示, 检测方法参考文献 [13]。采用 pH 计 (HI99163, 哈纳沃德仪器北京有限公司) 检测空肠食糜 pH 值。

1.5 数据统计与分析

试验数据采用 SPSS 21.0 软件进行统计和分析, 并进行 5 个处理组间的单因素方差分析和 Duncan's 多重比较。

2 结果与分析

2.1 饲用凝结芽孢杆菌对高温养殖肉鸡生长性能的影响

由表 2 可知: 与 NT 组肉鸡相比, HT 组肉鸡的平均日增质量和平均日采食量显著降低 ($P<0.05$), 而料重比显著增加 ($P<0.05$); 与 HT 组肉鸡相比, HT-BC_{1.0} 和 HT-BC_{5.0} 组肉鸡的平均日增质量显著增加 ($P<0.05$), HT-BC_{0.2}、HT-BC_{1.0} 和 HT-BC_{5.0} 组肉鸡的料重比分别降低 1.82%、6.82% 和 5.91% ($P>0.05$)。

表 2 饲用凝结芽孢杆菌对高温养殖肉鸡生长性能的影响
Tab. 2 Effects of dietary supplemented probiotics *Bacillus coagulans* on the growth performance of broiler chickens under high temperature

处理 treatments	平均日增质量/g average daily gain	平均日采食量/g average daily feed intake	料重比 feed intake/gain
NT	80.95±3.41 a	158.82±10.12 a	1.96±0.08 b
HT	64.10±3.82 c	140.32±4.89 b	2.20±0.16 a
HT-BC _{0.2}	66.83±3.91 bc	143.98±6.61 b	2.16±0.10 a
HT-BC _{1.0}	69.74±3.56 b	143.07±7.56 b	2.05±0.11 ab
HT-BC _{5.0}	70.73±3.57 b	146.73±12.84 b	2.07±0.12 ab
P值 P-value	<0.001	0.012	0.016

注: NT. 常温组, HT. 高温组; -BC_{0.2}、-BC_{1.0}和-BC_{5.0}分别为添加 0.2×10^7 、 1.0×10^7 和 5.0×10^7 CFU/g凝结芽孢杆菌组; 同列不同小写字母表示差异显著 ($P<0.05$); 下同。
Note: NT. normal temperature group, HT. high temperature group; -BC_{0.2}, -BC_{1.0} and -BC_{5.0} were supplemented with 0.2×10^7 , 1.0×10^7 and 5.0×10^7 CFU/g *B. coagulans*, respectively; in the same column, values with different lowercase letters indicate significant difference ($P<0.05$); the same as below.

2.2 饲用凝结芽孢杆菌对高温养殖肉鸡直肠温度的影响

由表 3 可知: 与 NT 组肉鸡相比, HT 组肉鸡的 42 d 直肠温度 (RT₄₂) 和直肠温度差 (Δ RT) 显著升高 ($P<0.05$); 与 HT 组肉鸡相比, HT-BC_{0.2}、HT-BC_{1.0} 和 HT-BC_{5.0} 组肉鸡的 RT₄₂ 和 Δ RT 显著降低 ($P<0.05$); HT-BC_{1.0} 和 HT-BC_{5.0} 组肉鸡的 RT₄₂ 和 Δ RT 显著低于 HT-BC_{0.2} 组肉鸡。

2.3 饲用凝结芽孢杆菌对高温养殖肉鸡肠形态的影响

由图 1 可知: 与 NT 组肉鸡相比, HT 组肉

表 3 饲用凝结芽孢杆菌对高温养殖肉鸡直肠温度的影响

Tab. 3 Effects of dietary supplemented probiotics *B. coagulans* on the rectal temperature of broiler chickens under high temperature °C

处理 treatments	RT ₂₈	RT ₄₂	ΔRT
NT	40.88±0.17a	41.32±0.15 d	0.43±0.10 d
HT	41.01±0.13a	42.86±0.31 a	1.86±0.33 a
HT-BC _{0.2}	40.94±0.24a	42.48±0.25 b	1.54±0.18 b
HT-BC _{1.0}	40.84±0.19a	41.87±0.29 c	1.03±0.24 c
HT-BC _{5.0}	40.88±0.35a	41.95±0.33 c	1.07±0.22 c
P值 P-value	0.646	<0.001	<0.001

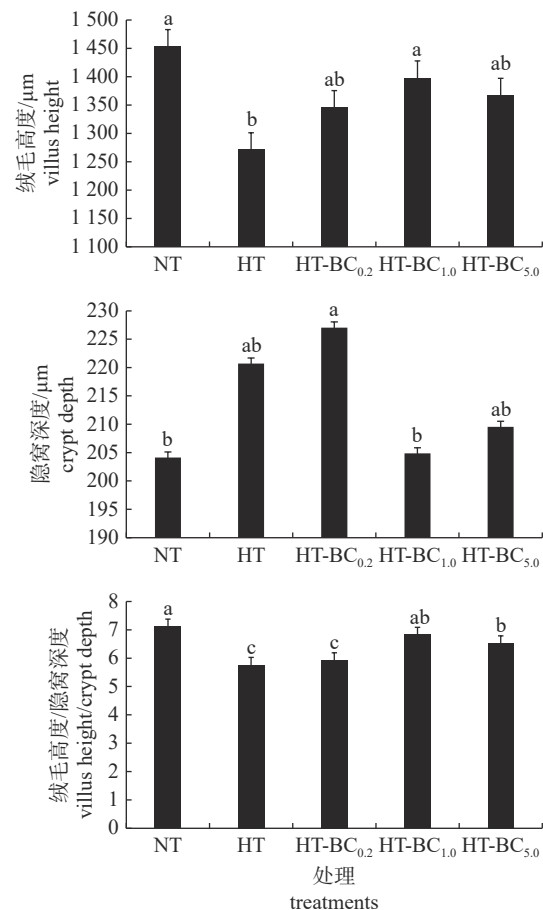
注: RT₂₈, 28 d 直肠温度; RT₄₂, 42 d 直肠温度; ΔRT, 28 和 42 d 的直肠温度差。

Note: RT₂₈, the rectal temperature of 28 days; RT₄₂, the rectal temperature of 42 days; ΔRT, the rectal temperature difference between 28 days and 42 days.

鸡的空肠绒毛高度和绒毛高度/隐窝深度显著降低 ($P<0.05$); 与 HT 组肉鸡相比, HT-BC_{1.0} 组肉鸡的空肠绒毛高度和绒毛高度/隐窝深度显著升高 ($P<0.05$), HT-BC_{5.0} 组肉鸡的绒毛高度/隐窝深度显著升高 ($P<0.05$), 但 HT-BC_{0.2} 组肉鸡的空肠形态指标无显著变化 ($P>0.05$)。

2.4 饲用凝结芽孢杆菌对高温养殖肉鸡肠道菌群及 pH 值的影响

由表 4 可知: 与 NT 组肉鸡相比, HT 组肉鸡的空肠食糜乳酸杆菌数和乳酸杆菌数/大肠杆菌数显著降低 ($P<0.05$), 而大肠杆菌数显著增加 ($P<0.05$); 与 HT 组肉鸡相比, HT-BC_{5.0} 组肉鸡的大肠杆菌数显著降低 ($P<0.05$), HT-BC_{0.2}、HT-BC_{1.0} 和 HT-BC_{5.0} 组肉鸡的乳酸杆菌数/大肠杆菌数均显著增加 ($P<0.05$); HT-BC_{0.2}、HT-BC_{1.0} 和 HT-BC_{5.0} 组肉鸡的空肠食糜凝结芽孢杆菌数呈显



注: NT, 常温组; HT, 高温组; -BC_{0.2}、-BC_{1.0} 和 -BC_{5.0} 分别为添加 0.2×10^7 、 1.0×10^7 和 5.0×10^7 CFU/g 凝结芽孢杆菌组; 不同小写字母表示差异显著 ($P<0.05$)。

Note: NT, normal temperature group; HT, high temperature group; -BC_{0.2}, -BC_{1.0} and -BC_{5.0} indicate added 0.2×10^7 , 1.0×10^7 and 5.0×10^7 CFU/g *B. coagulans*, respectively; different lowercase letters indicate significant difference ($P<0.05$).

图 1 饲用凝结芽孢杆菌对高温养殖肉鸡肠形态的影响

Fig. 1 Effects of dietary supplemented probiotics *Bacillus coagulans* on the jejunum morphology of broiler chickens under high temperature

表 4 饲用凝结芽孢杆菌对高温养殖肉鸡空肠菌群及 pH 值的影响

Tab. 4 Effects of dietary supplemented probiotics *B. coagulans* on the intestinal flora and pH value of broiler chickens under high temperature

处理 treatments	乳酸杆菌数 No. of <i>Lactobacillus</i> (N _L)	大肠杆菌数 No. of <i>Escherichia coli</i> (N _E)	N _L /N _E	凝结芽孢杆菌数 No. of <i>B. coagulans</i>	pH 值 pH value
NT	7.46±0.26 a	4.72±0.20 b	1.58±0.04 a	ND	5.78±0.19a
HT	6.70±0.19 b	5.06±0.12 a	1.33±0.05 c	ND	5.75±0.17a
HT-BC _{0.2}	7.02±0.57 b	4.93±0.30 ab	1.43±0.12 b	5.51±0.19 c	5.74±0.41a
HT-BC _{1.0}	7.09±0.26 ab	4.86±0.15 ab	1.46±0.08 b	5.75±0.12 b	5.75±0.16a
HT-BC _{5.0}	7.10±0.17 ab	4.66±0.33 b	1.53±0.10 ab	6.09±0.15 a	5.69±0.24a
P值 P-value	0.013	0.049	<0.001	<0.001	0.979

注: ND, 未检测到。

Note: ND, not detected.

著增加的趋势 ($P<0.05$), 但 NT 和 HT 组肉鸡的空肠中未检测出凝结芽孢杆菌。此外, 5 个组肉鸡的空肠 pH 值无显著差异 ($P>0.05$)。

3 讨论

3.1 饲用凝结芽孢杆菌对高温养殖肉鸡生长性能的影响

本研究表明: 高温养殖可显著降低肉鸡生长性能, 这与前人研究的结果^[6-8, 14]一致。本试验条件下, HT-BC_{1.0} 和 HT-BC_{5.0} 组肉鸡的平均日增质量较 HT 组肉鸡分别显著增加 8.80% 和 10.35%, 表明饲用凝结芽孢杆菌对高温养殖肉鸡生长性能有一定程度的改善作用, 尤其是日增质量这一指标, 与课题组前期的研究^[8, 12]基本相符。已有研究显示: 包括凝结芽孢杆菌、枯草芽孢杆菌和植物乳杆菌等多种饲用益生菌对热应激肉鸡的料重比及日增质量等生长性能指标有不同程度的改善作用^[4-7], 这可能与饲用益生菌的种类、添加量以及试验条件有关。根据本试验生长性能数据综合分析, 在采食量不变的情况下, 饲料补充中、高剂量的凝结芽孢杆菌可能通过调节热应激肉鸡肠道菌群、改善肉鸡肠道健康, 进而提高热应激肉鸡的日增质量。

3.2 饲用凝结芽孢杆菌对高温养殖肉鸡直肠温度的影响

直肠温度和直肠温差客观地反映了一定时间内持续高温养殖条件下肉鸡机体产热和散热的状况, 常用于评价功能性饲料添加剂改善肉鸡热应激生理的作用效果^[8, 15]。本研究表明: 高温养殖环境可引起肉鸡体温失衡, 与未进行热应激时相比, 热应激可显著增加肉鸡的直肠温度, 使得肉鸡体温失衡, 这与前人报道^[15-17]一致。与 HT 组肉鸡比, HT-BC_{0.2}、HT-BC_{1.0}、HT-BC_{5.0} 组肉鸡的直肠温差分别显著降低 17.20%、44.62% 和 42.47%, 表明添加高剂量的凝结芽孢杆菌有利于热应激环境下肉鸡的体温调控。ALUWONG 等^[15]将试验鸡全天处于 32 ℃ 高温环境下, 在其日粮中添加酵母菌可显著降低其直肠温度。HUMAM 等^[16]采用热应激模型研究发现: 热应激环境下饲料添加植物乳杆菌可显著降低肉鸡的直肠温度。AL-FATAFTAH 等^[17]在 22~35 日龄 Hubbard 公鸡的基础日粮中添加 2.3×10^5 CFU/g 枯草芽孢杆菌 (全

价饲料), 其直肠温度可显著降低 0.93%。综合以上研究表明: 饲料中添加饲用益生菌能有效缓解热应激肉鸡体温的升高, 且作用效果与益生菌种类密切相关。

3.3 饲用凝结芽孢杆菌对高温养殖肉鸡肠道形态的影响

肠道形态主要由肠黏膜上皮细胞的增殖、增生、凋亡及更新决定, 检测肠绒毛高度、隐窝深度和绒毛高度/隐窝深度等主要肠形态指标, 可直观地反映肠道的健康状况^[3, 18-19]。高温养殖条件下, 肉鸡机体通过自我调节散热, 外周血液循环加强导致肠道供血和供氧减少, 加速了肠黏膜细胞凋亡, 同时不利于肠黏膜细胞的增殖更新, 从而导致肠绒毛高度下降; 再加上黏膜细胞缺氧导致的氧化应激, 从而使肠绒毛高度/隐窝深度减小^[20-21]。环境高温损害了肉鸡肠道健康, 这与前人研究结果^[1, 6, 22]一致。

本研究表明: 与 HT 组肉鸡相比, HT-BC_{1.0} 组肉鸡的空肠绒毛高度和绒毛高度/隐窝深度分别显著升高 9.97% 和 18.89%, HT-BC_{5.0} 组肉鸡的绒毛高度/隐窝深度显著升高 13.17%。绒毛高度和绒毛高度/隐窝深度的增加不仅表征了肠上皮细胞功能的恢复, 同时意味着肠吸收面积的增加, 这有利于肉鸡对饲料营养的消化吸收。因此, 本研究肠道形态的检测结果显示与肉鸡的生长性能相符。此外, HT-BC_{1.0} 和 HT-BC_{5.0} 组肉鸡的空肠绒毛高度和隐窝深度与 NT 组肉鸡差异不显著, 提示受损肠上皮细胞在饲用凝结芽孢杆菌作用下增强了自我更新, 肠道形态逐步恢复到正常状况。以上结果综合表明: 饲用凝结芽孢杆菌有效降低了高温养殖条件下肉鸡的肠道损伤, 在一定程度上改善了肠道健康状况, 有利于肉鸡生长性能的提高。

3.4 饲用凝结芽孢杆菌对高温养殖肉鸡肠道菌群和 pH 值的影响

研究显示: 高温养殖条件下肉鸡肠道菌群失衡, 尤其是肠道有害菌滋生, 其分泌的毒素对肠黏膜上皮细胞有直接毒害作用, 是导致黏膜上皮细胞加速凋亡的又一重要原因^[1, 23-24]。因此, 肠道菌群是评价高温养殖肉鸡肠道健康的重要指标。本研究结果显示: 高温环境可显著降低肉鸡肠道乳酸杆菌 (有益菌) 的数量、显著升高大肠杆菌 (有害菌) 的数量, 这与前人研究结果^[16-17, 24]一致。

已有饲用益生菌改善热应激肉鸡肠道菌群的报道表明：饲粮添加单一的枯草芽孢杆菌、植物乳杆菌、地衣芽孢杆菌或复合益生菌制剂均能不同程度地改善肉鸡的肠道菌群^[3-4, 17]。ABDELQADER 等^[22]在基础日粮中添加饲用枯草芽孢杆菌，可有效缓解由热应激造成的肠道微生物紊乱，主要表现为缓解大肠杆菌和梭菌数量的增加，且肠道乳酸杆菌和双歧杆菌的数量也显著增加。本研究显示：与 HT 组肉鸡相比，HT-BC_{0.2}、HT-BC_{1.0} 和 HT-BC_{5.0} 组肉鸡空肠食糜中乳酸杆菌的数量无显著变化，但随着饲粮中凝结芽孢杆菌添加量的增加，3 个试验组肉鸡空肠食糜中大肠杆菌的数量呈下降趋势，说明高温养殖条件下，饲粮添加凝结芽孢杆菌可显著抑制肠道大肠杆菌的滋生，这是饲用凝结芽孢杆菌调控肠道菌群、促进肠道健康的重要机制之一。大量体外抑菌试验证明：凝结芽孢杆菌能够显著抑制大肠杆菌和沙门氏菌等肠道主要有害菌^[11, 25]；已有的动物试验也表明：常温养殖条件下饲用凝结芽孢杆菌具有抑制肠道有害菌和调控肠道菌群的作用^[9-10, 26]。

本研究首次检测了肠道中凝结芽孢杆菌的数量，结果显示：HT-BC_{0.2}、HT-BC_{1.0} 和 HT-BC_{5.0} 组肉鸡空肠食糜中的凝结芽孢杆菌分别达 3.23×10^5 、 5.62×10^5 和 1.23×10^6 CFU/g，这与 3 个试验组肉鸡空肠大肠杆菌数量降低的趋势相符。已有研究显示：凝结芽孢杆菌增殖和增生过程中可分泌抗菌肽和 (或) 抗菌蛋白等抑菌功能分子^[27-28]。因此本研究结果提示：添加高剂量饲用凝结芽孢杆菌有利于调控肠道菌群、增强肠道健康。

依据凝结芽孢杆菌可分泌乳酸和苯甲酸等功能性抑菌酸菌株的特性，有研究推测：产抑菌酸也是饲用凝结芽孢杆菌调控肠道菌群的作用机制之一^[28-30]。检测肠道食糜 pH 值是反映肠道酸性物质数量变化的最简单指标之一。然而，本研究结果显示：高温养殖条件下 3 个试验组肉鸡空肠食糜的 pH 值与阳性和阴性对照组差异不显著。造成这一结果的可能原因包括：其一，检测部位单一，本研究只检测了空肠食糜 pH 值，未系统检测所有肠道的 pH 值；其二，食糜 pH 值检测的干扰因素较多，包括肉鸡的采食量和饮水量，胃酸、肠液和胆汁等分泌，屠宰取样测定的时间等。因此，系统评估饲用凝结芽孢杆菌对肠道各类有机酸及 pH 值变化的影响有待后续试验。

4 结论

高温养殖条件下，饲用凝结芽孢杆菌通过维持肠道形态及菌群平衡增强肉鸡肠道健康状况，在一定程度上改善了肉鸡的生长性能，且饲用凝结芽孢杆菌添加量为 1.0×10^7 和 5.0×10^7 CFU/g 时的改善作用较好。研究结果为生产运用凝结芽孢杆菌提供了科学依据。

[参考文献]

- [1] ROSTAGNO M H. Effects of heat stress on the gut health of poultry[J]. Journal of Animal Science, 2020, 98(4): skaa090. DOI: [10.1093/jas/skaa090](https://doi.org/10.1093/jas/skaa090).
- [2] ABDEL-MONEIM A E, SHEHATA A M, KHIDR R E, et al. Nutritional manipulation to combat heat stress in poultry: a comprehensive review[J]. Journal of Thermal Biology, 2021, 98: 102915. DOI: [10.1016/j.jtherbio.2021.102915](https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2021.102915).
- [3] BRUGALETTA G, TEYSSIER J, ROCHELL S J, et al. A review of heat stress in chickens. Part I: insights into physiology and gut health[J]. Frontiers in Physiology, 2022, 13: 934381. DOI: [10.3389/fphys.2022.934381](https://doi.org/10.3389/fphys.2022.934381).
- [4] 葛长荣, 程志斌. 饲用微生态制剂对热应激肉鸡生产性能影响的研究进展[J]. 饲料工业, 2019, 40(3): 1. DOI: [10.13302/j.cnki.fi.2019.03.001](https://doi.org/10.13302/j.cnki.fi.2019.03.001).
- [5] SALEM H M, ALQHTANI A H, SWELUM A A, et al. Heat stress in poultry with particular reference to the role of probiotics in its amelioration: an updated review[J]. Journal of Thermal Biology, 2022, 108: 103302. DOI: [10.1016/j.jtherbio.2022.103302](https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2022.103302).
- [6] LI Q F, WAN G, PENG C Y, et al. Effect of probiotic supplementation on growth performance, intestinal morphology, barrier integrity, and inflammatory response in broilers subjected to cyclic heat stress[J]. Animal Science Journal, 2020, 91(1): e13433. DOI: [10.1111/asj.13433](https://doi.org/10.1111/asj.13433).
- [7] WANG W C, YAN F F, HU J Y, et al. Supplementation of *Bacillus subtilis* based probiotic reduces heat stress-related behaviors and inflammatory response in broiler chickens[J]. Journal of Animal Science, 2018, 96(5): 1654. DOI: [10.1093/jas/sky092](https://doi.org/10.1093/jas/sky092).
- [8] 王乙茹, 柳成东, 白华毅, 等. 凝结芽孢杆菌对热应激肉鸡生长性能及血清指标的影响[J]. 动物营养学报, 2020, 32(5): 2148. DOI: [10.3969/j.issn.1006-267x.2020.05.023](https://doi.org/10.3969/j.issn.1006-267x.2020.05.023).
- [9] LIU C R, RADEBE S M, ZHANG H, et al. Effect of *Bacillus coagulans* on maintaining the integrity intestinal mucosal barrier in broilers[J]. Veterinary Microbiology, 2022, 266: 109357. DOI: [10.1016/j.vetmic.2022.109357](https://doi.org/10.1016/j.vetmic.2022.109357).
- [10] 白勇昌, 肖明霞, 赵平, 等. 饲用凝结芽孢杆菌对肉鸡生长性能、免疫器官指数及肠道菌群的影响[J]. 饲料工业, 2022, 43(2): 13. DOI: [10.13302/j.cnki.fi.2022.02.003](https://doi.org/10.13302/j.cnki.fi.2022.02.003).
- [11] 柳成东, 肖明霞, 李琦华, 等. 饲用益生菌凝结芽孢杆菌抑菌性能的研究[J]. 中国畜牧杂志, 2021, 57(10): 236.

- DOI: [10.19556/j.0258-7033.20201116-02](https://doi.org/10.19556/j.0258-7033.20201116-02).
- [12] 王乙茹, 柳成东, 白华毅, 等. 一株凝结芽孢杆菌YNAU 5517对热应激肉鸡生长性能影响的初探[J]. 饲料工业, 2019, 40(5): 16. DOI: [10.13302/j.cnki.fi.2019.05.004](https://doi.org/10.13302/j.cnki.fi.2019.05.004).
- [13] 柳成东, 肖明霞, 赵平, 等. 饲用凝结芽孢杆菌对感染产肠毒素大肠杆菌K88断奶仔猪生长性能和肠道健康的影响[J]. 动物营养学报, 2021, 33(8): 4373. DOI: [10.3969/j.issn.1006-267x.2021.08.018](https://doi.org/10.3969/j.issn.1006-267x.2021.08.018).
- [14] TEYSSIER J, BRUGALETTA G, SIRRI F, et al. A review of heat stress in chickens. Part II: insights into protein and energy utilization and feeding[J]. Frontiers in Physiology, 2022, 13: 943612. DOI: [10.3389/fphys.2022.943612](https://doi.org/10.3389/fphys.2022.943612).
- [15] ALUWONG T, SUMANU V O, AYO J O, et al. Daily rhythms of cloacal temperature in broiler chickens of different age groups administered with zinc gluconate and probiotic during the hot-dry season[J]. Physiological Reports, 2017, 5(12): e13314. DOI: [10.14814/phy2.13314](https://doi.org/10.14814/phy2.13314).
- [16] HUMAM A M, LOH T C, FOO H L, et al. Effects of feeding different postbiotics produced by *Lactobacillus plantarum* on growth performance, carcass yield, intestinal morphology, gut microbiota composition, immune status, and growth gene expression in broilers under heat stress[J]. Animals, 2019, 9(9): 644. DOI: [10.3390/ani9090644](https://doi.org/10.3390/ani9090644).
- [17] AL-FATAFATAH A R, ABDLQADER A. Effects of dietary *Bacillus subtilis* on heat-stressed broilers performance, intestinal morphology and microflora composition[J]. Animal Feed Science and Technology, 2014, 198: 279. DOI: [10.1016/j.anifeedsci.2014.10.012](https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2014.10.012).
- [18] JIANG S, YAN F F, HU J Y, et al. *Bacillus subtilis* based probiotic improves skeletal health and immunity in broiler chickens exposed to heat stress[J]. Animals, 2021, 11(6): 1494. DOI: [10.3390/ani11061494](https://doi.org/10.3390/ani11061494).
- [19] NAWAB A, IBTISHAM F, LI G H, et al. Heat stress in poultry production: mitigation strategies to overcome the future challenges facing the global poultry industry[J]. Journal of Thermal Biology, 2018, 78: 131. DOI: [10.1016/j.jtherbio.2018.08.010](https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2018.08.010).
- [20] CRIADO-MESAS L, ABDELLIN, NOCE A, et al. Transversal gene expression panel to evaluate intestinal health in broiler chickens in different challenging conditions[J]. Scientific Reports, 2021, 11(1): 6315. DOI: [10.1038/s41598-021-85872-5](https://doi.org/10.1038/s41598-021-85872-5).
- [21] SUGIHARTO S, TURRINI Y, ISROLI I, et al. Dietary supplementation of probiotics in poultry exposed to heat stress: a review[J]. Annals of Animal Science, 2017, 17(3): 591. DOI: [10.1515/aoas-2016-0062](https://doi.org/10.1515/aoas-2016-0062).
- [22] ABDELQADER A, ABUJAMIEH M, HAYAJNEH F, et al. Probiotic bacteria maintain normal growth mechanisms of heat stressed broiler chickens[J]. Journal of Thermal Biology, 2020, 92: 102654. DOI: [10.1016/j.jtherbio.2020.102654](https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2020.102654).
- [23] AHMAD R, YU Y H, HSIAO F S, et al. Influence of heat stress on poultry growth performance, intestinal inflammation, and immune function and potential mitigation by probiotics[J]. Animals, 2022, 12(17): 2297. DOI: [10.3390/ani12172297](https://doi.org/10.3390/ani12172297).
- [24] LIU G H, ZHU H B, MA T H, et al. Effect of chronic cyclic heat stress on the intestinal morphology, oxidative status and cecal bacterial communities in broilers[J]. Journal of Thermal Biology, 2020, 91: 102619. DOI: [10.1016/j.jtherbio.2020.102619](https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2020.102619).
- [25] 柳成东, 赵平, 王乙茹, 等. 凝结芽孢杆菌抑菌性能的研究进展[J]. 饲料工业, 2021, 42(10): 58. DOI: [10.13302/j.cnki.fi.2021.10.010](https://doi.org/10.13302/j.cnki.fi.2021.10.010).
- [26] GUO S S, XI Y, XIA Y, et al. Dietary *Lactobacillus fermentum* and *Bacillus coagulans* supplementation modulates intestinal immunity and microbiota of broiler chickens challenged by *Clostridium perfringens*[J]. Frontiers in Veterinary Science, 2021, 8: 680742. DOI: [10.3389/fvets.2021.680742](https://doi.org/10.3389/fvets.2021.680742).
- [27] ZHANG J, GU S B, ZHANG T R, et al. Characterization and antibacterial modes of action of bacteriocins from *Bacillus coagulans* CGMCC 9951 against *Listeria monocytogenes*[J]. Food Science and Technology, 2022, 160(34): 113272.
- [28] 刘彬, 栗胜兰, 张雅惠, 等. 饲用凝结芽孢杆菌的菌种特性及作用机制[J]. 饲料工业, 2022, 43(5): 40. DOI: [10.13302/j.cnki.fi.2022.05.007](https://doi.org/10.13302/j.cnki.fi.2022.05.007).
- [29] 葛长荣, 柳成东, 程志斌. 基于大肠杆菌感染模型探讨益生菌对断奶仔猪生长性能影响的研究进展[J]. 饲料工业, 2021, 42(14): 1. DOI: [10.13302/j.cnki.fi.2021.14.001](https://doi.org/10.13302/j.cnki.fi.2021.14.001).
- [30] 柯轲, 方端, 高福, 等. 凝结芽孢杆菌在动物饲料中的应用[J]. 中国微生态学杂志, 2022, 34(8): 988. DOI: [10.13381/j.cnki.cjm.202208023](https://doi.org/10.13381/j.cnki.cjm.202208023).

责任编辑: 何馨成