

雷小文, 颜 语, 吴丽娟, 等. 饲料添加蚯蚓液对高温环境下肉鸡生长性能、小肠抗氧化能力和屏障功能的影响[J]. 江苏农业科学, 2023, 51(10): 163–167.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2023.10.023

饲料添加蚯蚓液对高温环境下肉鸡生长性能、 小肠抗氧化能力和屏障功能的影响

雷小文², 颜 语¹, 吴丽娟², 李秋粉¹, 李建军², 钟云平², 黎观红^{1,2}

(1. 江西农业大学江西省动物营养重点实验室, 江西南昌 330045; 2. 赣南科学院赣州市畜牧水产研究所, 江西赣州 341000)

摘要:为探讨饲料中添加蚯蚓液对高温环境下肉鸡生长性能和肠道屏障功能的影响, 选取 21 日龄健康状况良好、体质量相近的 817 肉公鸡 288 羽, 随机分成 4 个处理组, 每个处理组 6 个重复, 每个重复 12 羽鸡, 肉鸡饲养于夏季高温环境中。4 个处理组饲料分别添加 0.0% (对照组)、0.5%、2.0%、3.5% 蚯蚓液, 试验期为 21 d。结果显示, 与对照组相比, 饲料添加 3.5% 蚯蚓液显著提高肉鸡平均日采食量 ($P < 0.05$), 并有提高平均日增质量的趋势 ($P = 0.095$)。与对照组相比, 饲料添加 0.5% 和 2.0% 蚯蚓液显著提高肉鸡回肠黏膜总抗氧化力和过氧化氢酶活性 ($P < 0.05$), 显著降低回肠黏膜丙二醛水平 ($P < 0.05$)。与对照组相比, 饲料添加 2.0% 蚯蚓液显著提高肉鸡回肠绒毛高度 ($P < 0.05$), 饲料添加蚯蚓液显著降低肉鸡血清二胺氧化酶、D-乳酸和内毒素水平 ($P < 0.05$), 显著提高空肠和回肠黏膜 sIgA 水平 ($P < 0.05$)。以上结果表明, 饲料添加蚯蚓液可不同程度地提高高温环境下肉鸡生产性能和小肠黏膜抗氧化能力, 缓解高温环境对肉鸡小肠黏膜屏障功能的损伤。

关键词:高温; 蚯蚓液; 肉鸡; 生产性能; 肠道屏障功能

中图分类号:S831.5 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2023)10-0163-05

家禽是热敏感动物, 极易受高温应激而影响其生产性能。肠道是应激反应的靶器官, 极易受到高

温应激、环境缺氧等因素的影响, 造成黏膜损伤, 进而引起肠道细菌易位和内毒素侵入机体并引起其他组织器官功能变化或损伤^[1]。国内外研究揭示, 高温应激导致家禽肠道黏膜屏障结构和功能损伤, 影响其对营养物质正常的消化吸收功能, 并提高对病原菌的易感性, 最终导致其生产性能下降^[2-3]。蚯蚓富含蛋白质、脂肪、维生素和微量元素, 且含有多种核苷酸、蚯蚓素、蚯蚓碱、琥珀酸、胆碱、胆甾醇等活性物质^[4]。蚯蚓液, 又分蚯蚓自溶液、蚯蚓提取物等。蚯蚓体内含有的蛋白水解酶如纤溶酶等, 在高温等特定条件下, 可使蚯蚓自身溶解成液体,

收稿日期: 2022-07-07

基金项目: 国家自然科学基金 (编号: 31860651); 赣州市柔性引进高层次人才合作资助项目 (编号: 赣市发[2017]21 号)。

作者简介: 雷小文 (1983—), 男, 江西赣州人, 硕士, 副研究员, 主要从事动物营养与动物疫病研究, E-mail: 343224896@qq.com; 共同第一作者: 颜 语 (1995—), 男, 四川绵阳人, 硕士, 主要从事家禽营养研究, E-mail: 2362103812@qq.com。

通信作者: 黎观红, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事家禽营养调控研究。E-mail: liguanh@163.com。

[22] 曹梦琳, 赵智勇, 毕红园, 等. 干旱对不同小麦种质形态及生理特性的影响[J/OL]. 分子植物育种. (2022-11-30) [2023-01-07]. <https://kns.cnki.net/kcms/detail/46.1068.s.20221129.1159.020.html>.

[23] 孙计平, 李雪君, 丁燕芳, 等. 不同烤烟品种对干旱胁迫的响应[J]. 种子, 2017, 36(6): 9-13, 19.

[24] 张玉娜, 杜金哲, 王永丽. 干旱胁迫对夏谷干物质积累及产量影响[J]. 东北农业大学学报, 2016, 47(12): 15-22.

[25] 杜云峰. 不同根系类型水稻对干旱胁迫的响应差异及其生理基础研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2022: 71.

[26] 王园园, 赵 明, 张红香, 等. 干旱胁迫对紫花苜蓿幼苗形态和生理特征的影响[J]. 中国草地学报, 2021, 43(9): 78-87.

[27] 莫若男. 花荚期干旱胁迫对大豆光合特性及产量影响的研究[D]. 合肥: 安徽农业大学, 2018.

[28] 刘凯强, 刘文辉, 贾志锋, 等. 干旱胁迫对‘青燕 1 号’燕麦产量及干物质积累与分配的影响[J]. 草业学报, 2021, 30(3): 177-188.

[29] 彭玉琳, 夏天意, 邹云阳, 等. PEG-6000 模拟干旱胁迫对青稞种子萌发的影响[J]. 种子, 2022, 41(3): 58-62.

[30] 李 洪, 王瑞军, 王或超, 等. 不同玉米品种在晋北地区的适应性评价[J]. 中国农学通报, 2018, 34(20): 15-20.

[31] 田治国, 王 飞, 张文娥, 等. 多元统计分析方法在万寿菊品种抗旱性评价中的应用[J]. 应用生态学报, 2011, 22(12): 3315-3320.

这种自溶方法提取率一般为 75% 以上^[5]。研究表明,蚯蚓液可改善家禽的生长性能,提高家禽免疫能力^[6-7]。然而,蚯蚓及其制品在缓解肉鸡热应激损伤研究还未见报道。本试验旨在探究热应激条件下饲料中添加蚯蚓液对肉鸡生长性能和小肠屏障功能的影响,为蚯蚓产品在缓解肉鸡热应激损伤方面提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 蚯蚓液的制备

蚯蚓品种为大平 2 号与大平 3 号,养殖周期为 15 d。收集成熟的蚯蚓制备蚯蚓液,蚯蚓液的制备参照雷小文等的方法^[8]。

1.2 试验设计

试验选用健康良好的 15 日龄 817 肉公鸡 350 羽,常规饲养以及免疫,饲喂至 21 日龄,选取健康,体质量相近 288 羽,随机分成 4 个处理组,蚯蚓液添加量分别为 0.0% (对照组)、0.5%、2.0%、3.5%,每个处理组 6 个重复,每个重复 12 羽鸡,饲养至 42 日龄。试验于 2020 年江西省南昌市江西农业大学畜禽饲养基地进行,饲养期间处于南昌夏季高温(2020 年 8 月 10—31 日,共 21 d),每日 09:00—17:00 的平均温度为 33.4 ℃。

1.3 试验饲料与饲养管理

本试验采用玉米-豆粕型饲料,参考我国《鸡饲养标准》(NT/T 33—2004)推荐的营养水平进行配制(表 1)。试验采用 4 层笼养饲养法,乳头式自动饮水,所有试验鸡均自由采食和饮水。试验前对鸡舍和周围环境进行严格消毒。采用连续光照、自然通风。每天定时清理食槽,清理粪盘并消毒,鸡羽按正常免疫程序进行。

1.4 样品采集与制备

在 42 日龄时,肉鸡提前禁食 12 h,期间自由饮水,每个重复随机选取 1 羽肉鸡,翅静脉采血 10 mL,3 000 r/min 离心 8 min,分离血清,-20 ℃保存备用。采血后立即断颈处死,剖开腹腔,采集空肠、回肠中段 4 cm,采用 DEPC 水洗净内容物,置于装有 10% 甲醛溶液中固定,用于制作肠道切片。采集空肠和回肠中下段,用预冷的生理盐水冲洗干净内容物,刮取肠黏膜并置于冻存管中,迅速放入液氮罐中,后于-80 ℃冰箱保存备用。

1.5 测定指标与方法

1.5.1 生长性能 分别在肉鸡21日龄、42日龄的

表 1 基础饲料组成及营养水平(风干基础)

项目	含量 (%)
原料组成	
玉米	63.44
大豆粕	29.00
大豆油	3.00
鱼粉	1.20
磷酸氢钙	1.70
食盐	0.36
石粉	1.10
蛋氨酸	0.09
维生素预混料	0.04
微量元素预混料	0.07
合计	100.00
营养水平	
代谢能(MJ/kg)	12.73
粗蛋白	19.61
蛋氨酸	0.40
赖氨酸	1.05
钙	0.94
有效磷	0.47

注:预混料为每 kg 饲料提供:维生素 A 3 250 IU,维生素 D₃ 1 010 IU,维生素 E 75 mg,维生素 K 3 mg,维生素 B₁ 1 mg,维生素 B₂ 2.5 mg,维生素 B₆ 1.2 mg,维生素 B₁₂ 0.009 mg,烟酸 10 mg,D-泛酸钙 5 mg,生物素 0.04 mg,叶酸 0.5 mg,Cu 7.5 mg,Zn 60 mg,Mn 60 mg,Fe 80 mg,Se 0.15 mg,I 0.35 mg。营养水平为计算值。

08:00 对每组每重复鸡称空腹质量,每天记录每个重复饲料的饲喂量和剩余量,计算平均日采食量(ADFI)、平均日增质量(ADG)和料质量比(F/G)。

1.5.2 小肠黏膜抗氧化指标的测定 分别取空肠、回肠肠段,快速刮取肠黏膜,放入冻存管于-20 ℃冰箱保存。采用生理盐水制备 10% 组织匀浆,离心取上清进行抗氧化指标的检测,采用 BCA 法测定上清液的蛋白浓度。采用南京建成生物工程研究所的试剂盒测定总抗氧化能力(T-AOC)、过氧化氢酶(CAT)活性和丙二醛(MDA)含量。

1.5.3 小肠黏膜形态结构的测定 将固定好的肠道样品经脱水-透明-浸蜡-石蜡包埋-切片(5 μm 厚)-染色(苏木精-伊红,HE 染色),最后通过光学显微镜拍照并观察切片,利用 Motic Images Advanced 3.2 图像软件测量绒毛高度(VH)和隐窝深度(CD)并计算绒毛高度和隐窝深度比值(V/C)。

1.5.4 血清二胺氧化酶(DAO)、D-乳酸(D-LA)和内毒素(LPS)含量的测定 采用南京建成生物工程研究所的试剂盒,并严格按照试剂盒说明书测定DAO活性、D-LA和LPS含量。

1.5.5 小肠黏膜分泌型IgA(sIgA)含量的测定 空肠和回肠黏膜sIgA含量采用上海酶联生物科技有限公司的试剂盒并用ELISA法测定,严格按照说明书进行。

1.6 数据统计分析

采用SPSS 22.0软件中的one-way ANOVA过程进行单因素方差分析,采用Duncan’s法进行多重比较,结果以“平均值±标准误”表示, $P<0.05$ 表示差异显著, $P<0.01$ 表示差异极显著, $0.05<P<0.1$ 表示有趋势。

2 结果与分析

2.1 饲粮添加蚯蚓液对高温环境下肉鸡生长性能的影响

由表2可知,与对照组相比,饲粮中添加3.5%蚯蚓液显著提高高温环境下21~42日龄肉鸡平均日采食量($P<0.05$)。饲粮添加蚯蚓液对高温环境下,21~42日龄肉鸡的料质量比无显著影响($P>0.05$),但有提高平均日增质量趋势($P=0.095$)。

表2 饲粮添加蚯蚓液对高温环境下肉鸡生长性能的影响

项目	平均日采食 (g/d)	平均日增质量 (g/d)	料质量比
对照组	52.758b	22.308	2.317
0.5% 蚯蚓液	53.937ab	23.274	2.275
2.0% 蚯蚓液	53.383ab	22.440	2.372
3.5% 蚯蚓液	56.272a	24.444	2.267
SEM	0.482	0.343	0.019
P值	0.042	0.095	0.185

注:同行数据后不同小写字母表示差异显著($P<0.05$),不同大写字母表示差异极显著($P<0.01$),下表同;蚯蚓液添加组的平均日采食量已折算成风干基础。

2.2 饲粮添加蚯蚓液对高温环境下肉鸡小肠黏膜抗氧化能力的影响

由表3可知,与对照组相比,饲粮添加0.5%蚯蚓液极显著提高高温环境下肉鸡回肠黏膜T-AOC水平($P<0.01$),添加0.5%、2.0%和3.5%蚯蚓液均极显著提高高温环境下肉鸡回肠黏膜CAT活性($P<0.01$),添加0.5%和2.0%蚯蚓液显著降低高温环境下肉鸡回肠黏膜中MDA含量($P<0.05$)。与对照组相比,饲粮添加不同含量蚯蚓液对空肠黏膜MDA含量、T-AOC水平和CAT活性均无显著影响($P>0.05$)。

表3 饲粮添加蚯蚓液对高温环境下肉鸡小肠抗氧化指标的影响

项目	空肠			回肠		
	MDA 含量 (nmol/mg prot)	T-AOC 活性 (U/mg prot)	CAT 活性 (U/mg prot)	MDA 含量 (nmol/mg prot)	T-AOC 活性 (U/mg prot)	CAT 活性 (U/mg prot)
对照组	4.104	25.906	31.975	3.489a	18.305Bb	4.136Dd
0.5% 蚯蚓液	3.438	36.158	29.177	1.902b	39.094Aa	20.980Aa
2.0% 蚯蚓液	2.617	50.370	31.031	1.696b	24.884Bb	15.830Bb
3.5% 蚯蚓液	2.693	45.319	30.492	2.526ab	19.073Bb	10.158Cc
SEM	0.317	6.597	1.571	0.236	2.111	1.410
P值	0.293	0.602	0.934	0.027	0.001	<0.001

2.3 饲粮添加蚯蚓液对高温环境下肉鸡小肠黏膜形态结构的影响

由表4可知,与对照组相比,饲粮中添加不同含量蚯蚓液对高温环境下肉鸡空肠的绒毛高度、隐窝深度和V/C值均无显著影响($P>0.05$),对高温环境下肉鸡回肠隐窝深度和V/C值无显著影响($P>0.05$),饲粮添加2%蚯蚓液显著提高高温环境下肉

鸡回肠绒毛高度($P<0.05$)。

2.4 饲粮添加蚯蚓液对高温环境下肉鸡血清DAO、D-LA和LPS含量的影响

由表5可知,与对照组相比,饲粮中添加不同含量蚯蚓液显著降低高温环境下肉鸡血清中D-LA的水平($P<0.05$),极显著降低高温环境下肉鸡血清中DAO和LPS的水平($P<0.01$)。

表 4 饲料添加蚯蚓液对高温环境下肉鸡小肠黏膜形态结构的影响

项目	十二指肠			空肠			回肠		
	VH(μm)	CD(μm)	V/C	VH(μm)	CD(μm)	V/C	VH(μm)	CD(μm)	V/C
对照组	1 467.064	243.961	6.396	1 153.189	148.783	7.168	994.793b	165.873	6.080
0.5% 蚯蚓液	1 542.722	251.256	6.680	1 063.355	131.875	8.379	977.291b	157.834	6.006
2.0% 蚯蚓液	1 657.718	197.019	8.499	1 269.557	138.052	7.834	1 125.434a	166.590	6.832
3.5% 蚯蚓液	1 412.869	191.891	7.951	1 256.425	199.749	6.765	961.455b	138.511	7.026
SEM	69.009	13.759	0.530	35.160	8.154	0.322	23.837	8.163	0.286
P 值	0.625	0.349	0.398	0.287	0.100	0.497	0.021	0.690	0.551

表 5 饲料添加蚯蚓液对高温环境下肉鸡血清 DAO、D-LA 和 LPS 含量的影响

项目	DAO 含量 (ng/mL)	D-LA 含量 (μmol/mL)	LPS 含量 (EU/mL)
对照组	25.431Aa	95.523a	118.144Aa
0.5% 蚯蚓液	19.170Bb	69.175b	79.259Bb
2.0% 蚯蚓液	19.542Bb	77.545b	86.110Bb
3.5% 蚯蚓液	18.528Bb	66.098b	73.152Bb
SEM	0.774	3.455	4.770
P 值	0.003	0.010	0.002

2.4 饲料添加蚯蚓液对高温环境下肉鸡小肠黏膜 sIgA 含量的影响

由表 6 可知,饲料添加不同含量的蚯蚓液均极显著提高高温环境下肉鸡空肠黏膜 sIgA 含量($P < 0.01$),饲料添加 0.5% 蚯蚓液极显著提高高温环境下肉鸡回肠黏膜 sIgA 含量($P < 0.01$)。

表 6 饲料添加蚯蚓液对高温环境下肉鸡小肠黏膜 sIgA 含量的影响

项目	空肠 sIgA 含量 (μg/mg prot)	回肠 sIgA 含量 (μg/mg prot)
对照组	649.466Bb	965.465Bb
0.5% 蚯蚓液	1 037.684Aa	1 364.404Aa
2.0% 蚯蚓液	1 084.942Aa	816.949Bb
3.5% 蚯蚓液	1 072.838Aa	1 083.866ABab
SEM	47.586	53.896
P 值	<0.001	0.001

3 讨论

肉鸡是热敏感动物,全身覆盖羽毛,且皮肤表层缺乏汗腺,极易遭受高温应激。研究表明,高温应激引起肉鸡采食量下降、饲料转化率降低,损伤肠道黏膜屏障结构和功能,影响其对营养物质正常的消化吸收功能,并增加对病原菌的易感性,最终

导致生产性能下降^[9-10]。高温应激成为影响肉鸡养殖产业经济效益的重要因素之一。由于养殖实践中的技术限制和经济成本等原因,营养干预成为缓解肉鸡高温应激的重要手段^[11]。蚯蚓是我国重要的中药材之一,蚯蚓富含多种生物活性物质。笔者所在课题组前期研究发现,饲料添加蚯蚓液可提高番鸭和宁都黄鸡生产性能^[7-8]。本研究发现,饲料中添加 3.5% 蚯蚓液显著提高高温环境下 21~42 日龄肉鸡平均日采食量,并有提高日增质量的趋势,但对饲料转化率无显著。由于热应激会激活下丘脑-垂体-肾上腺轴,继而影响摄食中枢与消化道交感神经,最终导致采食量下降^[12],而蚯蚓液本身富含“鲜味氨基酸”谷氨酸,可提高饲料适口性,对生产性能具有一定的改善作用。

在热应激条件下,机体产生过量活性氧,机体抗氧化稳态失衡,导致氧化应激^[13],机体氧化应激导致体内自由基和脂质过氧化物大量累积,SOD 作为抗氧化酶系的第一道防线,首先将其催化同时生成 H₂O₂,而后 CAT 与 GSH-Px 再对 SOD 的催化产物进行清除。MDA 是自由基作用于脂质发生过氧化反应的氧化终产物,具有细胞毒性,能够反映机体脂质过氧化程度。蚯蚓液富含 SOD、CAT 及过氧化氢酶(POD),具有较强的抗氧化作用,对脂质过氧化物及自由基具有清除作用^[14]。本试验在饲料中添加蚯蚓液,相较于对照组,显著降低了热应激肉鸡回肠黏膜中 MDA 水平,显著提高了回肠中 T-AOC 水平。同时,添加蚯蚓液均能显著提高回肠黏膜中 CAT 酶活,这与周亿金等的研究结果^[15]一致。这些研究结果表明,蚯蚓液可通过提高肠道抗氧化能力,减少高温环境下肉鸡机体自由基与脂质过氧化物的产生,从而提高肠道健康。

肠道既是机体的消化器官,又是重要的免疫器官,同时又是热应激主要的靶器官之一。研究表

明,热应激损害肠道黏膜组织形态,绒毛萎缩变短、隐窝深度增加、消化和免疫功能受损^[16-17]。本试验发现,饲料中添加 2% 蚯蚓液能显著提高 42 日龄肉鸡回肠黏膜小肠绒毛长度,这表明饲料中添加蚯蚓液能在一定程度上缓解高温环境下肉鸡回肠黏膜结构损伤。肠道黏膜的完整性对于上皮细胞的正常功能和防止肠腔内有害致病菌进入血液循环至关重要。内毒素(LPS)是革兰氏阴性菌细胞壁中的一种高致病性成分,在应激条件下高浓度 LPS 存在于肠腔中,当肠道屏障受损时释放到血液^[18]。体循环中 LPS 浓度的增加表明肠道屏障功能受损^[17]。D-LA 是肠道细菌的产物,肠道菌群失衡导致 D-LA 过度产生,在机体肠道黏膜屏障受损时,肠道黏膜通透性增加,使得血液中 D-LA 水平升高^[19]。DAO 主要存在于小肠绒毛,DAO 可通过受损的肠道屏障进入血液^[20]。因此,血清 LPS、D-LA 和 DAO 浓度通常被用来作为评价肠黏膜屏障完整性和通透性的标志物。本试验发现,饲料添加蚯蚓液显著降低高温环境下肉鸡血清 D-LA 水平,极显著降低热应激肉鸡血清中 DAO 和 LPS 水平,由此表明,蚯蚓液可改善高温环境下肉鸡肠道黏膜结构,缓解高温应激引起的肠道屏障损伤。本试验发现,饲料中添加蚯蚓液能显著提高高温环境下肉鸡空肠和回肠黏膜重要防御因子 sIgA 水平。提示饲料中添加蚯蚓液可显著提高高温应激条件下肉鸡肠道免疫功能,提高肉鸡抗应激能力。

4 结论

综上所述,饲料中添加蚯蚓液可不同程度地提高高温环境下肉鸡生产性能和小肠黏膜抗氧化能力,改善高温环境下肉鸡肠道黏膜结构和免疫功能,缓解高温环境对肉鸡小肠黏膜屏障功能的损伤。

参考文献:

- [1] He S P, Arowolo M A, Medrano R F, et al. Impact of heat stress and nutritional interventions on poultry production[J]. *World's Poultry Science Journal*, 2018, 74(4): 647-664.
- [2] Liu L L, Fu C X, Yan M L, et al. Resveratrol modulates intestinal morphology and HSP70/90, NF- κ B and EGF expression in the jejunal mucosa of black-boned chickens on exposure to circular heat stress[J]. *Food & Function*, 2016, 7(3): 1329-1338.
- [3] Nanto-Hara F, Kikusato M, Ohwada S, et al. Heat stress directly affects intestinal integrity in broiler chickens[J]. *The Journal of Poultry Science*, 2020, 57(4): 284-290.
- [4] 涂清波, 林颖, 苏鹏亮, 等. 蚯蚓的化学成分与应用价值研究进展[J]. *安徽农业科学*, 2017, 45(34): 109-111.
- [5] 罗艺, 彭祥伟, 王阳铭, 等. 蚯蚓添加剂在家禽生产中的研究进展[J]. *畜牧与饲料科学*, 2011, 32(6): 82-83.
- [6] 李娟, 雷春龙, 许祯莹, 等. 蚯蚓提取液对彭县黄鸡生产性能、血清免疫指标和抗氧化指标的影响[J]. *中国家禽*, 2020, 42(3): 54-58.
- [7] 雷小文, 苏州, 谢华亮, 等. 蚯蚓液对公番鸭生长性能、脂肪蓄积及抗病能力的影响[J]. *江西农业学报*, 2020, 32(10): 105-109.
- [8] 雷小文, 刘珍妮, 陈荣强, 等. 饲料中添加蚯蚓液对宁都黄鸡生长性能、屠宰性能、肌肉品质和血清生化指标的影响[J]. *江西科学*, 2021, 39(1): 44-52.
- [9] Lara L J, Rostagno M H. Impact of heat stress on poultry production[J]. *Animals*, 2013, 3(2): 356-369.
- [10] 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: 131-139.
- [11] Abdel-Moneim A M 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.
- [12] Sohail M U, Ijaz A, Yousaf M S, et al. Alleviation of cyclic heat stress in broilers by dietary supplementation of mannan-oligosaccharide and Lactobacillus-based probiotic: dynamics of cortisol, thyroid hormones, cholesterol, C-reactive protein, and humoral immunity[J]. *Poultry Science*, 2010, 89(9): 1934-1938.
- [13] Surai P F, Kochish I I, Fisinin V I, et al. Antioxidant defence systems and oxidative stress in poultry biology: an update[J]. *Antioxidants*, 2019, 8(7): 235.
- [14] 雷小文, 刘珍妮, 林小翠, 等. 饲料中添加蚯蚓液对番鸭血清生化指标、抗氧化指标和免疫相关指标的影响[J]. *黑龙江畜牧兽医*, 2022(3): 124-128.
- [15] 周亿金, 李文平. 蚯蚓抗氧化提取液抗氧化作用研究[J]. *动物医学进展*, 2009, 30(6): 58-62.
- [16] Song J, Lei X, Luo J X, et al. The effect of Epigallocatechin-3-gallate on small intestinal morphology, antioxidant capacity and anti-inflammatory effect in heat-stressed broilers[J]. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 2019, 103(4): 1030-1038.
- [17] Alhenaky A, Abdelqader A, Abuajamieh M, et al. The effect of heat stress on intestinal integrity and Salmonella invasion in broiler birds[J]. *Journal of Thermal Biology*, 2017, 70: 9-14.
- [18] Hall D M, Buettner G R, Oberley L W, et al. Mechanisms of circulatory and intestinal barrier dysfunction during whole body hyperthermia[J]. *American Journal of Physiology. Heart and Circulatory Physiology*, 2001, 280(2): H509-H521.
- [19] Brandt R B, Siegel S A, Waters M G, et al. Spectrophotometric assay for D[J]. *Analytical Biochemistry*, 1980, 102(1): 39-46.
- [20] Luk G D, Bayless T M, Baylin S B. Diamine oxidase (histaminase). A circulating marker for rat intestinal mucosal maturation and integrity[J]. *The Journal of Clinical Investigation*, 1980, 66(1): 66-70.