

苯甲酸对球虫攻毒肉鸡生长性能、免疫功能及血清抗氧化能力的影响

黄灵杰 彭焕伟* 张克英 白世平 王建萍 曾秋凤 丁雪梅*

(四川农业大学动物营养研究所,动物抗病营养教育部重点实验室,成都 611130)

摘要: 本试验旨在研究苯甲酸对球虫攻毒肉鸡生长性能、免疫功能及血清抗氧化能力的影响。试验采用2×3双因子设计,选用540只1日龄健康爱拔益加(AA)白羽肉公鸡,2种攻毒处理(灌服无菌生理盐水或30倍球虫疫苗),3种苯甲酸源[饲料中不添加苯甲酸(N-B)、添加0.05%肠溶型缓释苯甲酸(ES-B)或0.10%未包被苯甲酸(NC-B)],共计6个组,每组6个重复,每个重复15只鸡。试验期42 d。结果表明:1)饲料中添加苯甲酸有提高肉鸡42日龄时体重(BW)和1~42日龄时体增重(BWG)的趋势($P=0.058$, $P=0.057$);球虫攻毒显著降低BW(除14日龄时外)、BWG和平均采食量(AFI)(除1~14日龄时外)($P<0.05$),显著提高15~21日龄时的料重比(F/G)($P<0.05$),且N-B组的生长性能下降幅度大于ES-B和NC-B组。2)饲料中添加苯甲酸显著提高肉鸡21日龄时的血清免疫球蛋白M(IgM)含量、胸腺指数和42日龄时的血清免疫球蛋白A(IgA)含量($P<0.05$),有降低42日龄时血清一氧化氮(NO)含量的趋势($P=0.068$);球虫攻毒显著提高42日龄时的血清白蛋白(ALB)含量,显著降低21日龄时的血清碱性磷酸酶(ALP)活性和42日龄时的血清IgM含量($P<0.05$);饲料中添加苯甲酸与球虫攻毒对21日龄时的血清IgM含量有显著交互作用($P<0.05$),表现为在球虫攻毒条件下,饲料中添加苯甲酸提高血清IgM含量,且以ES-B组效果最佳。3)饲料中添加苯甲酸显著提高肉鸡21日龄时的血清谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-Px)活性($P<0.05$),显著降低血清丙二醛(MDA)含量($P<0.05$);饲料中添加苯甲酸与球虫攻毒对42日龄时的血清MDA含量和GSH-Px活性有显著交互作用($P<0.05$),表现为在球虫攻毒条件下,饲料中添加苯甲酸提高血清GSH-Px活性及降低血清MDA含量,且以NC-B组效果最佳。由此得出,饲料中添加苯甲酸可提高肉鸡的生长性能;在球虫攻毒条件下,饲料中添加苯甲酸可通过改善机体健康和免疫功能,从而缓解球虫攻毒造成的生长性能下降,且以添加0.05% ES-B的改善效果较好。

关键词: 肉鸡;苯甲酸;球虫;生长;免疫;抗氧化

中图分类号:S831

文献标识码:A

文章编号:1006-267X(2021)03-1396-12

家禽养殖时常面临着球虫病、细菌病、流感及其他传染性疾病的威胁,每年家禽养殖业因球虫病就造成超过30亿美元的损失^[1]。而使用抗球虫药物面临着药物残留、耐药性、动物福利、食品安全、环境污染等威胁^[2],且人们对动物产品优

质、绿色、安全和健康等的关注度提高,因此,通过营养手段进行调控,对响应全面禁抗的号召具有重要意义。

酸化剂具有调节机体肠道健康、增强免疫力和抗氧化功能,有促进肠道黏膜修复和生长、抗球

收稿日期:2020-08-21

基金项目:“十三五”育种攻关计划项目(2016NYZ0052)

作者简介:黄灵杰(1993—),女,四川通江人,硕士研究生,从事家禽营养研究。E-mail: 13438286483@163.com

*通信作者:彭焕伟,副教授,硕士生导师,E-mail: 414364381@qq.com;丁雪梅,副教授,硕士生导师,E-mail: dingxuemei0306@163.com

虫等作用^[3-4],是理想的抗生素替代品之一。苯甲酸是一种结构较简单的有机酸,具有广谱抗菌、低生物利用率等特性^[5]。研究表明,苯甲酸在提高畜禽生长性能、增强机体免疫力、改善机体健康等方面有积极的促进作用^[5]。但在球虫攻毒条件下,苯甲酸对肉鸡的作用效果不是很清楚。因此,本试验旨在研究球虫攻毒条件下,苯甲酸对肉鸡生长性能和血清生化指标、免疫功能及抗氧化能力的影响,探讨苯甲酸是否可以缓解球虫应激带来的不利影响。

1 材料与方法

1.1 试验材料

肠溶型缓释苯甲酸(enteric coated sustained-release benzoic acid, ES-B),苯甲酸含量 $\geq 60.0\%$;未包被苯甲酸(uncoated benzoic acid, NC-B),苯甲酸含量 $\geq 99.5\%$ 。

1.2 试验设计与试验动物

试验采用 2×3 双因子设计,选用540只1日龄健康爱拔益加(AA)白羽肉公鸡,2种攻毒处理[于14日龄时,灌服无菌生理盐水或30倍球虫疫苗(其球虫卵囊数为 3.3×10^4 个/mL,含柔嫩、毒害、堆形、巨型艾美耳球虫)1 mL],3种苯甲酸源[饲料中不添加苯甲酸(N-B)、添加0.05% ES-B或0.10% NC-B],共计6个组,每组6个重复,每个重复15只鸡。试验期42 d,分1~21日龄和22~42日龄2个阶段。试验设计见表1。

1.3 基础饲料

试验采用玉米-杂粕型饲料,参照NRC(1994)和NY/T 33—2004肉仔鸡营养需要并结合生产实践配制。饲料形态为颗粒型,1~21日龄时颗粒直径为2.0 mm,22~42日龄时颗粒直径为3.0 mm。基础饲料组成及营养水平见表2。

表1 试验设计

Table 1 Experimental design

苯甲酸源 Benzoic acid sources	苯甲酸水平 Benzoic acid levels/%	球虫攻毒 Coccidia challenge
不添加苯甲酸 N-B	0	-
	0	+
肠溶缓释苯甲酸 ES-B	0.05	-
	0.05	+
未包被苯甲酸 NC-B	0.10	-
	0.10	+

“-”表示灌服无菌生理盐水;“+”表示灌服30倍球虫疫苗。下表同。

“-” mean administered sterile saline; and “+” mean administered 30-fold coccidiosis vaccine. The same as below.

表2 基础饲料组成及营养水平(风干基础)

Table 2 Composition and nutrient levels of basal diets (air-dry basis)

项目 Items	1~21日龄 1 to 21 days of age	22~42日龄 22 to 42 days of age	%
原料 Ingredients			
玉米 Corn	53.00	57.31	
小麦麸 Wheat bran	1.00	0.50	
玉米干酒糟及其可溶物 Corn DDGS	5.00	0.50	
大豆油 Soybean oil	3.51	4.65	
豆粕 Soybean meal	29.05	27.43	
棉籽粕 Cottonseed meal	3.00	5.00	
菜籽粕 Rapeseed meal	2.10	1.11	
食盐 NaCl	0.30	0.30	
碳酸钙 CaCO ₃	0.99	0.89	
磷酸氢钙 CaHPO ₄	1.28	1.47	
氯化胆碱 Choline chloride	0.08	0.06	

续表 2

项目 Items	1~21 日龄 1 to 21 days of age	22~42 日龄 22 to 42 days of age
<i>L</i> -盐酸赖氨酸 <i>L</i> -Lys · HCl	0.22	0.24
<i>DL</i> -蛋氨酸 <i>DL</i> -Met	0.22	0.24
<i>L</i> -苏氨酸 <i>L</i> -Thr	0.02	0.07
植酸酶 Phytase	0.01	0.01
多维 Multi-vitamin ¹⁾	0.03	0.03
矿物质预混料 Mineral premix ²⁾	0.20	0.20
合计 Total	100.00	100.00
营养水平 Nutrient levels ³⁾		
代谢能 ME/(MJ/kg)	12.18	12.64
粗蛋白质 CP	21.07	20.00
钙 Ca	0.81	0.81
有效磷 AP	0.40	0.41
赖氨酸 Lys	1.21	1.18
蛋氨酸 Met	0.53	0.53
苏氨酸 Thr	0.80	0.80
色氨酸 Trp	0.24	0.23

1) 多维为每千克饲料提供 The multi-vitamin provided the following per kilogram of diets: VA 12 000 IU, VD₃ 3 000 IU, VE 7.5 IU, VK₂ 1.5 mg, VB₁ 0.6 mg, VB₂ 4.8 mg, VB₆ 1.8 mg, VB₁₂ 0.009 mg, 烟酸 niacin acid 10.5 mg, *D*-泛酸 *D*-pantothenic acid 7.5 mg, 叶酸 folic acid 0.15 mg。

2) 矿物质预混料为每千克饲料提供 The mineral premix provided the following per kilogram of diets: Fe (FeSO₄ · H₂O) 100 mg, Cu (CuSO₄ · 5H₂O) 8 mg, Mn (MnSO₄ · H₂O) 100 mg, Zn (ZnSO₄ · H₂O) 100 mg, I (KI) 0.7 mg, Se (Na₂SeO₃) 0.35 mg。

3) 营养水平为计算值。Nutrient levels were calculated values.

1.4 试验管理

试验在四川农业大学动物营养研究所试验场进行。试验肉鸡均采用地面平养(宽 1 m × 长 2 m),以谷壳为垫料。试验前清洗圈舍、料盘、料桶和饮水设备,然后用福尔马林和高锰酸钾(每立方米加 30 mL 福尔马林和 15 g 高锰酸钾)对其熏蒸 48 h,开窗敞 5 d 后开始正式试验。入雏前 24 h 将鸡舍升温至 32~35 ℃,此后温度每周降低 2~3 ℃,直至保持在 22~24 ℃为止。采用连续光照、自然通风、自由采食和饮水。于 1 日龄时颈部注射马立克+法氏囊二联苗,8 日龄时饮水免疫新城疫+传染性支气管炎二联苗。

1.5 测定指标及方法

1.5.1 生长性能

分别于 15、22 和 43 日龄时提前 12 h 断料,以重复为单位称重,计算 1~21 日龄(1~14 日龄、15~21 日龄)、22~42 日龄、1~42 日龄时各重复的平均阶段增重;以重复为单位计算阶段体重(BW)、体增重(BWG)、平均采食量(AFI)和料重比(F/G)。

1.5.2 血清生化指标

于 22 和 43 日龄时,称重后从每个重复随机选取 1 只接近平均体重的肉鸡,颈静脉采血 10 mL,分离血清,备用。采用全自动生化分析仪(日立 3100)测定血清总蛋白(TP)、白蛋白(ALB)、尿酸(UA)、一氧化氮(NO)含量和乳酸脱氢酶(LDH)、碱性磷酸酶(ALP)活性。

1.5.3 血清免疫球蛋白含量

采用酶联免疫吸附测定(ELISA)试剂盒(购于江苏宝莱生物科技有限公司)测定血清免疫球蛋白 G(IgG)、免疫球蛋白 M(IgM)和免疫球蛋白 A(IgA)含量。

1.5.4 免疫器官指数

于 22 和 43 日龄时,将采血后的肉鸡屠宰,取胸腺、法氏囊、脾脏,剔除表面结缔组织和脂肪后称重,根据肉鸡活体重计算免疫器官指数,公式为:

$$\text{免疫器官指数}(\%) = \frac{\text{免疫器官重量}}{\text{活体重}} \times 100。$$

1.5.5 血清抗氧化指标

采用 ELISA 试剂盒(购于南京建成生物工程

研究所试剂盒)测定血清谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-Px)、总超氧化物歧化酶(T-SOD)活性和总抗氧化能力(T-AOC)、丙二醛(MDA)含量。

1.6 数据分析统计

试验数据先使用 Excel 2016 进行初步统计,再采用 SAS 9.2 统计软件中 GLM 程序进行 2×3 因子方差分析(ANOVA),统计模型为是否球虫攻毒、不同苯甲酸源及二者的交互作用。当交互作用显著时,采用 Duncan 氏法比较各组平均值的差异显著性,以 $P < 0.05$ 为差异显著, $0.05 \leq P < 0.10$ 为有差异趋势。所有结果均采用平均值和均值标准误(SEM)表示。

2 结 果

2.1 苯甲酸对球虫攻毒肉鸡生长性能的影响

由表 3 可知,饲料中添加苯甲酸对肉鸡的 BW、BWG、AFI 和 F/G 均无显著影响($P > 0.05$);但有提高 42 日龄时 BW 和 1~42 日龄时 BWG 的趋势($P = 0.058, P = 0.057$);与 N-B 和 NC-B 组相比,ES-B 组的 BW 分别提高了 3.48% 和 2.27%, BWG 分别提高了 3.54% 和 2.25%。球虫攻毒显著提高肉鸡 15~21 日龄时的 F/G($P < 0.05$),显著降低 BW(除 14 日龄时外)、BWG 和 AFI(除 1~14 日龄时外)($P < 0.05$)。饲料中添加苯甲酸与球虫攻毒对肉鸡的生长性能无显著交互作用($P > 0.05$)。

2.2 苯甲酸对球虫攻毒肉鸡血清生化指标的影响

由表 4 可知,球虫攻毒显著降低肉鸡 21 日龄时的血清 ALP 活性($P < 0.05$),显著提高 42 日龄时的血清 ALB 含量($P < 0.05$),且有提高 42 日龄时血清 TP 含量的趋势($P = 0.055$)。饲料中添加苯甲酸有降低肉鸡 42 日龄时血清 NO 含量的趋势($P = 0.068$)。饲料中添加苯甲酸与球虫攻毒对肉鸡的血清生化指标无显著交互作用($P > 0.05$)。

2.3 苯甲酸对球虫攻毒肉鸡血清抗氧化指标的影响

由表 5 可知,球虫攻毒对肉鸡的血清 GSH-Px 和 T-SOD 活性、T-AOC 和 MDA 含量均无显著影响($P > 0.05$),但有降低 21 日龄时血清 MDA 含量的趋势($P = 0.071$)。饲料中添加苯甲酸显著提高肉鸡 21 日龄时的血清 GSH-Px 活性($P < 0.05$),显著降低血清 MDA 含量($P < 0.05$),其中以 NC-B 组效果最佳。饲料中添加苯甲酸与球虫攻毒对肉鸡 42 日龄时的血清 MDA 含量和 GSH-Px 活性有显著交互作用($P < 0.05$),表现为在球虫攻毒条件下,

饲料中添加苯甲酸提高血清 GSH-Px 活性及降低血清 MDA 含量,且以 NC-B 组效果最佳。

2.4 苯甲酸对球虫攻毒肉鸡血清免疫球蛋白含量的影响

由表 6 可知,球虫攻毒显著降低肉鸡 42 日龄时的血清 IgM 含量($P < 0.05$)。饲料中添加 NC-B 显著提高肉鸡 21 日龄时的血清 IgM 含量和 42 日龄时的血清 IgA 含量($P < 0.05$)。饲料中添加苯甲酸与球虫攻毒对肉鸡 21 日龄时的血清 IgM 含量有显著交互作用($P < 0.05$),表现为在球虫攻毒条件下,饲料中添加苯甲酸提高血清 IgM 含量,且以 ES-B 组效果最佳。

2.5 苯甲酸对球虫攻毒肉鸡免疫器官指数的影响

由表 7 可知,球虫攻毒对肉鸡 42 日龄时的胸腺指数有降低趋势($P = 0.064$)。饲料中添加苯甲酸显著提高肉鸡 21 日龄时的胸腺指数($P < 0.05$)。饲料中添加苯甲酸与球虫攻毒对肉鸡的免疫器官指数无显著交互作用($P > 0.05$)。

3 讨 论

3.1 苯甲酸对球虫攻毒肉鸡生长性能的影响

在动物养殖过程中,存在着病原菌侵害机体的可能,其会降低动物的生长性能及机体对营养物质的吸收利用率,从而带来一定的经济损失。目前关于苯甲酸在肉鸡坏死性肠炎如球虫、沙门氏菌等上的研究较少,其中对球虫的研究主要集中在丁酸盐及其盐类^[3-4,6-7]对肉鸡的影响。Yan 等^[8]在饲料中添加 500 g/t 包被苯甲酸,于 14 日龄时灌服 10 倍鸡球虫疫苗,结果表明球虫攻毒降低了肉鸡的生长性能,添加包被苯甲酸提高了球虫攻毒组的生长性能。本试验中,球虫攻毒降低了肉鸡的生长性能,同时在饲料中添加苯甲酸对 42 日龄时的 BW 和 1~42 日龄时的 BWG 有提高趋势,这与前人的研究结果基本一致。尽管本试验球虫攻毒后在饲料中添加苯甲酸对肉鸡的生长性能没有显著的改善作用,但与未攻毒组相比,N-B、ES-B 和 NC-B 攻毒组 21 日龄时的 BW 分别降低了 7.83%、6.81% 和 3.78%,42 日龄时的 BW 分别降低了 5.82%、4.48% 和 2.53%;说明在球虫攻毒条件下,饲料中添加苯甲酸对球虫攻毒造成的生长性能下降有一定的缓解效果,且 ES-B 的缓解效果最佳,其原因可能是 ES-B 经包被处理,可持续在肠道定点缓慢释放,改善肠道健康,缓解球虫攻毒导致的生长性能下降。

表 3 苯甲酸对球虫攻毒肉鸡生长性能的影响
Table 3 Effects of benzoic acid on growth performance of broilers challenged by coccidia

球虫攻毒 Coccidia challenge	体重 BW/g			体增重 BWG/g			平均采食量 AFI/g			料重比 F/G			
	14 日龄 days	21 日龄 days	42 日龄 days	15~21 日龄 days	1~21 日龄 days	22~42 日龄 days	1~14 日龄 days	15~21 日龄 days	22~42 日龄 days	1~14 日龄 days	15~21 日龄 days	22~42 日龄 days	
苯甲 酸源 Benzoic acid sources	14 日龄 days	21 日龄 days	42 日龄 days	15~21 日龄 days	1~21 日龄 days	22~42 日龄 days	1~14 日龄 days	15~21 日龄 days	22~42 日龄 days	1~14 日龄 days	15~21 日龄 days	22~42 日龄 days	
-	444.7	869.1	2 903.0	401.0	424.4	825.4	2 034.0	2 859.0	443.3	604.3 ^{abc}	1 047.0	3 478.0	4 603.0
+	450.0	801.1	2 734.0	406.3	351.1	757.4	1 933.0	2 690.0	450.3	543.8 ^d	989.1	3 261.0	4 323.0
-	458.4	907.9	2 983.0	414.7	449.6	864.3	2 075.0	2 940.0	461.0	626.6 ^a	1 088.0	3 478.0	4 638.0
+	460.2	850.1	2 850.0	416.6	389.8	806.4	1 999.0	2 806.0	464.8	570.3 ^{bcd}	1 035.0	3 389.0	4 497.0
-	446.2	882.2	2 888.0	402.7	435.9	838.6	2 006.0	2 845.0	455.1	619.7 ^{ab}	1 074.0	3 441.0	4 591.0
+	456.0	848.8	2 815.0	412.3	392.0	805.1	1 966.0	2 772.0	457.2	557.9 ^{cd}	1 015.0	3 412.0	4 497.0
SEM	6.95	21.47	39.77	6.93	16.15	21.46	30.39	39.77	8.20	16.81	22.48	59.45	73.02
球虫攻毒 Coccidia challenge	449.8	886.4 ^a	2 925.0 ^a	406.1	436.3 ^a	842.8 ^a	2 038.0 ^a	2 881.0 ^a	453.2	616.9 ^a	1 070.0 ^a	3 466.0 ^a	4 611.0 ^a
+	455.4	833.3 ^b	2 800.0 ^b	411.7	377.9 ^b	789.7 ^b	1 966.0 ^b	2 756.0 ^b	457.4	557.3 ^b	1 013.0 ^b	3 354.0 ^b	4 439.0 ^b
苯甲酸源 Benzoic acid sources	447.4	835.1	2 818.0	403.7	387.8	719.4	1 984.0	2 775.0	446.8	574.0	1 018.0	3 369.0	4 463.0
-	459.3	879.0	2 916.0	415.7	419.7	835.4	2 037.0	2 873.0	462.9	598.5	1 061.0	3 433.0	4 568.0
+	451.1	865.5	2 852.0	407.5	414.4	821.9	1 986.0	2 808.0	456.2	588.8	1 044.0	3 426.0	4 544.0
P 值 P-value													
球虫攻毒 Coccidia challenge	0.331	0.005	0.001	0.331	<0.001	0.005	0.007	0.001	0.529	<0.001	0.004	0.028	0.007
苯甲酸源 Benzoic acid source	0.230	0.129	0.058	0.227	0.123	0.129	0.157	0.057	0.159	0.355	0.172	0.505	0.337
球虫攻毒×苯甲酸源 Coccidia challenge× benzoic acid source	0.851	0.711	0.484	0.854	0.649	0.713	0.600	0.486	0.956	0.986	0.989	0.285	0.425

同一项目同列数据肩标无字母或相同字母表示差异不显著 ($P>0.05$), 不同小写字母表示差异显著 ($P<0.05$)。下表同。

In the same column, values in same item with no letter or the same letter superscripts mean no significant difference ($P>0.05$), while with different small letter superscripts mean significant difference ($P<0.05$). The same as below.

表 4 苯甲酸对球虫攻毒肉鸡血清生化指标的影响

球虫攻毒 Coccidia challenge	苯甲酸源 Benzoic acid sources	21 日龄 21 days of age							42 日龄 42 days of age						
		总蛋白 TP/ (g/L)	白蛋白 ALB/ (g/L)	乳酸脱氢酶 LDH/ (U/L)	尿酸 UA/ ($\mu\text{mol/L}$)	一氧化氮 NO/ ($\mu\text{mol/L}$)	碱性磷酸酶 ALP/ ($\mu\text{mol/L}$)	总蛋白 TP/ (g/L)	白蛋白 ALB/ (g/L)	乳酸脱氢酶 LDH/ (U/L)	尿酸 UA/ ($\mu\text{mol/L}$)	一氧化氮 NO/ ($\mu\text{mol/L}$)	碱性磷酸酶 ALP/ ($\mu\text{mol/L}$)		
-	N-B	21.75	9.85	1 550.00	234.00	3.29	2 431.00	26.92	10.67	2 130.00	202.80	3.84	3 281.00		
+		22.55	8.58	1 392.00	204.60	2.93	1 891.00	25.63	10.42	2 151.00	243.70	3.55	3 266.00		
-	ES-B	21.83	9.76	1 438.00	238.50	1.98	2 426.00	26.32	10.38	1 939.00	185.70	3.09	3 523.00		
+		20.98	9.07	1 323.00	241.50	2.41	1 935.00	29.80	12.40	2 340.00	204.40	2.73	4 326.00		
-	NC-B	18.97	9.08	1 457.00	243.30	3.12	2 540.00	25.97	10.00	1 953.00	228.40	2.01	3 427.00		
+		21.77	9.42	1 449.00	198.10	2.13	1 895.00	29.45	11.37	2 042.00	182.30	3.20	4 427.00		
SEM		1.38	0.38	102.50	26.46	0.45	263.60	1.16	0.55	193.10	32.99	0.46	492.00		
球虫攻毒	-	20.85	9.65	1 482.00	239.90	2.80	2 466.00 ^a	26.40	10.35 ^b	2 007.00	205.63	2.98	3 410.00		
Coccidia chal- lence	+	21.77	9.02	1 388.00	214.70	2.49	1 907.00 ^b	28.29	11.39 ^a	2 178.00	210.12	3.16	4 006.00		
苯甲酸源	N-B	22.15	9.22	1 477.00	221.30	3.11	2 161.00	26.28	10.54	2 140.00	223.24	3.69	3 273.00		
Benzoic acid	ES-B	21.41	9.41	1 380.00	240.00	2.19	2 181.00	28.06	11.39	2 140.00	195.04	2.91	3 925.00		
sources	NC-B	20.37	9.25	1 453.00	220.70	2.62	2 218.00	27.71	10.68	1 998.00	205.35	2.61	3 927.00		
<i>P</i> 值 <i>P</i> -value															
球虫攻毒	Coccidia challenge	0.421	0.090	0.271	0.253	0.408	0.015	0.055	0.026	0.289	0.869	0.636	0.148		
苯甲酸源	Benzoic acid source	0.438	0.857	0.649	0.710	0.144	0.977	0.281	0.265	0.698	0.691	0.068	0.323		
球虫攻毒×苯甲酸源	Coccidia challenge× benzoic acid source	0.424	0.115	0.755	0.642	0.299	0.957	0.076	0.119	0.582	0.402	0.185	0.556		

表 5 苯甲酸对球虫攻毒肉鸡血清抗氧化指标的影响
Table 5 Effects of benzoic acid on antioxidant indexes in serum of broilers challenged by coccidia

球虫攻毒 Coccidia challenge	苯甲酸源 Benzoic acid sources	21 日龄 21 days of age				42 日龄 42 days of age			
		谷胱甘肽过 氧化物酶 GSH-Px/ (U/mL)	丙二醛 MDA/ (nmol/mL)	总超氧化物 歧化酶 T-SOD/ (U/mL)	总抗氧化能力 T-AOC/ (U/mL)	谷胱甘肽过 氧化物酶 GSH-Px/ (U/mL)	丙二醛 MDA/ (nmol/mL)	总超氧化物 歧化酶 T-SOD/ (U/mL)	总抗氧化能力 T-AOC/ (U/mL)
-		1 930.00	7.09	367.80	10.00	2 214.00 ^{ab}	4.33 ^a	361.30	7.77
+	N-B	1 856.00	6.96	367.50	9.10	1 762.00 ^b	3.33 ^{ab}	353.20	7.84
-		2 090.00	6.19	422.10	10.78	2 226.00 ^{ab}	2.38 ^b	361.00	7.77
+	ES-B	2 183.00	4.57	379.00	13.94	2 252.00 ^{ab}	3.88 ^{ab}	408.60	9.49
-		2 338.00	3.83	400.30	12.31	1 992.00 ^{ab}	3.71 ^{ab}	411.20	8.03
+	NC-B	2 736.00	3.79	386.90	9.03	2 573.00 ^a	2.64 ^{ab}	425.80	7.88
SEM		199.30	0.39	35.05	1.37	188.60	0.56	36.08	0.68
球虫攻毒	-	2 119.00	5.70	396.80	11.04	2 144.00	3.47	377.80	7.86
Coccidia challenge	+	2 258.00	5.11	377.80	10.69	2 195.00	3.28	395.80	8.40
苯甲酸源	N-B	1 893.00 ^b	7.02 ^a	367.70	9.55	1 988.00	3.83	357.30	7.80
Benzoic acid sources	ES-B	2 137.00 ^b	5.38 ^b	400.60	12.36	2 239.00	3.13	384.80	8.63
	NC-B	2 537.00 ^a	3.81 ^c	393.60	10.67	2 282.00	3.18	418.50	7.96
<i>P</i> 值 <i>P</i> -value									
球虫攻毒	Coccidia challenge	0.385	0.071	0.513	0.761	0.740	0.683	0.546	0.335
苯甲酸源	Benzoic acid source	0.008	<0.001	0.618	0.135	0.258	0.385	0.252	0.448
球虫攻毒×苯甲酸源	Coccidia challenge×benzoic acid source	0.476	0.091	0.824	0.074	0.035	0.044	0.743	0.343

表 6 苯甲酸对球虫攻毒肉鸡血清免疫球蛋白含量的影响

Table 6 Effects of benzoic acid on the contents of immunoglobulins in serum of

broilers challenged by coccidia

 $\mu\text{g/mL}$

球虫攻毒 Coccidia challenge	苯甲酸源 Benzoic acid sources	21 日龄 21 days of age			42 日龄 42 days of age		
		免疫球 蛋白 A	免疫球 蛋白 G	免疫球 蛋白 M	免疫球 蛋白 A	免疫球 蛋白 G	免疫球 蛋白 M
		IgA	IgG	IgM	IgA	IgG	IgM
-	N-B	574.60	3 065.00	938.70 ^b	540.40	2 867.00	1 013.00
+		554.00	2 907.00	960.50 ^b	527.40	3 084.00	945.80
-	ES-B	592.50	2 917.00	935.40 ^b	530.30	3 214.00	948.30
+		585.20	3 007.00	1 064.00 ^a	514.20	3 232.00	958.90
-	NC-B	553.90	2 905.00	1 067.00 ^a	585.10	3 062.00	1 071.00
+		546.00	2 757.00	1 016.00 ^{ab}	568.70	3 010.00	944.60
SEM		17.81	100.50	27.98	17.82	130.20	31.96
球虫攻毒 Coccidia challenge	-	573.70	2 962.00	980.20	551.90	3 048.00	1 011.00 ^a
	+	561.70	2 890.00	1 014.00	536.70	3 109.00	949.70 ^b
苯甲酸源 Benzoic acid sources	N-B	564.30	2 986.00	949.60 ^b	533.90 ^b	2 976.00	979.50
	ES-B	588.80	2 962.00	999.90 ^{ab}	522.20 ^b	3 223.00	953.60
	NC-B	550.00	2 831.00	1 041.00 ^a	576.90 ^a	3 036.00	1 008.00
<i>P</i> 值 <i>P</i> -value							
球虫攻毒 Coccidia challenge		0.414	0.382	0.147	0.301	0.566	0.023
苯甲酸源 Benzoic acid source		0.096	0.258	0.007	0.008	0.149	0.245
球虫攻毒×苯甲酸源 Coccidia challenge×benzoic acid source		0.914	0.382	0.008	0.994	0.567	0.108

表 7 苯甲酸对球虫攻毒肉鸡免疫器官指数的影响

Table 7 Effects of benzoic acid on immune organ indexes of broilers challenged by coccidia

%

球虫攻毒 Coccidia challenge	苯甲酸源 Benzoic acid sources	21 日龄 21 days of age			42 日龄 42 days of age		
		胸腺	脾脏	法氏囊	胸腺	脾脏	法氏囊
		Thymus	Spleen	Bursa of Fabricius	Thymus	Spleen	Bursa of Fabricius
-	N-B	2.90	0.84	1.29	2.41	0.84	1.13
+		2.35	1.07	1.36	2.19	0.98	1.07
-	ES-B	3.34	1.04	1.47	3.19	1.13	1.46
+		3.43	0.93	1.76	2.74	0.84	1.24
-	NC-B	3.16	0.94	1.56	3.42	0.84	1.21
+		3.73	0.90	1.67	2.36	0.87	1.10
SEM		0.31	0.09	0.17	0.37	0.09	0.17
球虫攻毒 Coccidia challenge	-	3.13	0.94	1.44	3.01	0.94	1.26
	+	3.17	0.97	1.60	2.43	0.90	1.14
苯甲酸源 Benzoic acid source	N-B	2.26 ^b	0.96	1.33	2.30	0.91	1.10
	ES-B	3.38 ^a	0.98	1.61	2.96	0.98	1.35
	NC-B	3.45 ^a	0.92	1.62	2.89	0.85	1.16
<i>P</i> 值 <i>P</i> -value							
球虫攻毒 Coccidia challenge		0.879	0.739	0.271	0.064	0.597	0.344
苯甲酸源 Benzoic acid source		0.002	0.803	0.175	0.162	0.339	0.303
球虫攻毒×苯甲酸源 Coccidia challenge×benzoic acid source		0.211	0.200	0.801	0.508	0.051	0.892

血清生化指标可间接反映机体的健康状态和生长性能。代长云等^[9]研究表明,饲料中添加苯甲酸降低了肉兔的血清 ALP 活性。苟清碧等^[10]研究表明,饲料中添加包埋苯甲酸提高了青麻脚鸡的血清球蛋白、TP 和 ALP 含量。本试验发现,饲料中添加苯甲酸对肉鸡的血清生化指标无显著影响,其原因可能是试验动物、饲料营养水平及苯甲酸添加剂量的不同;但添加苯甲酸有降低 42 日龄时血清 NO 含量的趋势。NO 是动物机体内的一种新型免疫调节因子和炎症递质,可通过介导内毒素等细胞因子,对多种原虫(球虫、弓形虫等)起到抑杀作用,且球虫攻毒后体内的 NO 含量升高^[11]。郭红斌等^[12]研究表明,机体血清 NO 含量下降可以缓解应激因素对肉鸡带来的一系列损伤。有关球虫攻毒对鸡血清生化指标影响的报道结果不尽相同。Kogut 等^[13]研究发现,球虫攻毒 7 d 后,肉鸡的血清 ALP 活性显著降低。葛凯^[14]研究表明,球虫攻毒后第 5 天和第 9 天,鸡的血清 ALP 活性显著升高。李建梅等^[15]研究表明,在肉鸡 26 日龄时球虫攻毒,攻毒后第 6 天血清的 ALB 和 TP 含量显著降低。本试验中,球虫攻毒显著降低了肉鸡 21 日龄时的血清 ALP 活性,显著提高了 42 日龄时的血清 ALB 含量;前者降低的原因可能是血液中的 ALP 因球虫攻毒导致肠道上皮细胞损伤而被释放到肠腔中,最终导致 ALP 流失,后者升高的原因一方面可能与饲料配方组成、球虫攻毒时间及球虫种类等有关,另一方面可能是鸡只感染球虫后呈病理状态,造成体液损失而导致血清 ALB 含量显著升高。此外,本试验中,球虫攻毒有提高 42 日龄时肉鸡血清 TP 含量的趋势,结果与前人研究存在差异,原因可能是本试验用 30 倍球虫攻毒,在应激条件下促进了肌肉中蛋白质和油脂的分解,为糖元异生提供了原料,使血清 TP 含量升高。

3.2 苯甲酸对球虫攻毒肉鸡血清抗氧化能力的影响

Papadomichelakis 等^[16]研究表明,饲料中添加苯甲酸提高了育肥兔红细胞的 GSH-Px 活性。Diao 等^[17]研究发现,饲料中添加 0.5% 苯甲酸降低了仔猪的血清 MDA 含量。本试验中,饲料中添加苯甲酸显著提高了肉鸡 21 日龄时的血清 GSH-Px 活性,显著降低了血清 MDA 含量,与前人的研究结果相似。常翠青等^[18]研究发现,苯甲酸含有的

羧基能够清除机体内自由基,中断自由基链式反应,抑制脂质过氧化,从而缓解氧化损伤。

当动物机体处于应激或疾病时,机体会产生氧化损伤;当机体被病原菌攻毒时,会使机体的抗氧化能力下降。郭兵等^[19]研究发现,艾美耳球虫攻毒后,雏鸡的血清 T-SOD 和 GSH-Px 活性显著降低。本试验研究发现,球虫攻毒对肉鸡的血清抗氧化能力无显著影响,这与前人的研究结果不一致,可能与攻毒所用的球虫种类、攻毒剂量以及攻毒时间不同有关;同时在饲料中添加苯甲酸显著提高了 42 日龄时的血清 GSH-Px 活性,显著降低了 42 日龄时的血清 MDA 含量,且以 NC-B 的效果最佳,其原因可能是血清 GSH-Px 活性增加,对球虫攻毒应激造成了一种补偿机制,从而降低了血清 MDA 含量。这表明苯甲酸能在一定程度上提高球虫攻毒肉鸡机体的抗氧化能力,维系机体抗氧化酶系统平衡。

3.3 苯甲酸对球虫攻毒肉鸡免疫功能的影响

免疫功能在维护动物肠道健康和机体健康上有着重要作用。研究表明,动物机体的免疫水平可随着免疫器官相对重量的增加而提高^[20]。动物机体的免疫器官指数、血清免疫和肠道免疫等都可反映动物机体代谢和健康状态。许金根等^[21]研究表明,饲料中添加酸化剂有提高肉鸡胸腺和法氏囊指数的趋势,提高了机体免疫力。陈佳力^[22]研究发现,饲料中添加 2 000 mg/kg 苯甲酸显著提高了仔猪的血清 IgG 和 IgM 含量。本试验中,饲料中添加苯甲酸显著提高了肉鸡 42 日龄时的血清 IgA 含量、21 日龄时的血清 IgM 含量和胸腺指数,与前人研究结果类似,说明苯甲酸可促进肉鸡机体免疫水平的提高;其中,胸腺指数和血清免疫球蛋白含量的增加,表明苯甲酸促进了前期免疫器官的发育,对提高肉鸡前期免疫水平有一定的作用。当动物机体处于免疫应激时,机体的免疫器官会因为自身营养供应不足而发生萎缩^[23],球虫攻毒会阻碍免疫器官的发育^[24]。薛敬洁等^[25]报道认为,罗曼公雏 27 日龄时球虫攻毒 1×10^5 个孢子化球虫卵囊,降低了血清 IgA、IgG 和 IgM 含量。本试验中,球虫攻毒降低了肉鸡 42 日龄时的血清 IgM 含量和胸腺指数,与前人研究结果相似;同时在饲料中添加苯甲酸提高了 21 日龄时的血清 IgM 含量,表明饲料中添加苯甲酸可能对球虫攻毒导致的免疫功能降低有一定程度的缓解作

用,一方面通过提高了机体免疫球蛋白含量和胸腺指数,另一方面通过降低血清 NO 含量,2 方面协同作用增强机体的抗体活性,从而增强机体对球虫等致病菌的抵抗力。研究表明,血清 IgA、IgG 和 IgM 含量的提高可在一定程度上减缓机体肠道疾病的发生^[26]。

4 结 论

在本试验条件下,饲料中添加苯甲酸可通过提高肉鸡的血清抗氧化能力、免疫球蛋白含量,从而对球虫攻毒造成的生长性能降低有一定的缓解效果,且添加 0.05% ES-B 缓解效果较好。

参考文献:

- [1] 廖申权,孙铭飞.鸡球虫病的防控现状与发展趋势[J].广东饲料,2020(7):17-20.
LIAO S Q, SUN M F. Current situation and development trend of prevention and control in chickens coccidiosis[J]. Guangdong Feed, 2020(7):17-20. (in Chinese)
- [2] WEI R C, GE F, CHEN M, et al. Occurrence of ciprofloxacin, enrofloxacin, and florfenicol in animal wastewater and water resources[J]. Journal Environmental Quality, 2012, 41(5):1481-1486.
- [3] 王阵锋.丁酸钠对感染 *E. tenella* 肉鸡肠道粘膜修复作用的研究[D].硕士学位论文.福州:福建农林大学,2008:47-48.
WANG Z F. Effect of sodium butyrate on repairing intestinal mucosa of broiler chickens with infection of *E. tenella*[D]. Master's Thesis. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, 2008: 47-48. (in Chinese)
- [4] 潘丽俊.包膜丁酸钠对家兔肠道健康的影响及对球虫病的预防效果研究[D].硕士学位论文.杭州:浙江师范大学,2016:42-46.
PAN L J. Coated sodium butyrate effect on rabbit intestinal health and its protective effect research for coccidiosis[D]. Master's Thesis. Hangzhou: Zhejiang Normal University, 2016: 42-46. (in Chinese)
- [5] KRISTENSEN N B, NØRGAARD J V, WAMBERG S, et al. Absorption and metabolism of benzoic acid in growing pigs[J]. Journal of Animal Science, 2009, 87(9):2815-2822.
- [6] LEESON S, NAMKUNG H, ANTONGIOVANNI M, et al. Effect of butyric acid on the performance and carcass yield of broiler chickens[J]. Poultry Science, 2005, 84(9):1418-1422.
- [7] ALI A M, SEDDIEK S A, KHATER H F. Effect of butyrate, clopidol and their combination on the performance of broilers infected with *Eimeria maxima* [J]. British Poultry Science, 2014, 55(4):474-482.
- [8] YAN F, CHEN J, KUTTAPPAN V, et al. Efficacy of protected benzoic acid in broilers subject to *Eimeria* challenge as affected by diet type[R]. City, PSA Annual Meeting, 2018.
- [9] 代长云,李细龙,沈强.苯甲酸对肉兔生长性能、营养物质消化率及血液生化指标的影响[J].中国饲料,2018(22):42-46.
DAI C Y, LI X L, SHEN Q. Effects of benzoic acid on growth performance, nutrient digestibility and blood traits of meat rabbits [J]. China Feed, 2018(22):42-46. (in Chinese)
- [10] 苟清碧,张波,孙得发,等.包埋苯甲酸对青麻脚鸡生长性能、血清生化指标以及肠道形态的影响[J].中国畜牧杂志,2016,52(24):72-77.
GOU Q B, ZHANG B, SUN D F, et al. Effect of imbedded benzoic acid on growth performance, serum biochemical parameters and intestinal morphology for broilers[J]. Chinese Journal of Animal Husbandry, 2016, 52(24):72-77. (in Chinese)
- [11] ALLEN P C. Nitric oxide production during *Eimeria tenella* infections in chickens [J]. Poultry Science, 1997, 76(6):810-813.
- [12] 郭红斌,弓素梅.青蒿素与青蒿水提液对感染柔嫩艾美耳球虫肉鸡的疗效评价[J].动物医学进展,2011,32(2):82-85.
GOU H B, GONG S M. Therapeutic effects of *Qinghaosu* and *Qinghao* extract against *E. tenella* infection in broilers[J]. Progress in Veterinary Medicine, 2011, 32(2):82-85. (in Chinese)
- [13] KOGUT M H, POWELL K C. Preliminary findings of alterations in serum alkaline phosphatase activity in chickens during coccidial infections [J]. Journal of Comparative Pathology, 1993, 108(2):113-119.
- [14] 葛凯.鸡球虫的分离鉴定及预防鸡球虫病中草药复方制剂的研究[D].硕士学位论文.合肥:安徽农业大学,2007:50-53.
GE K. The isolation and identification of chicken coccidia and study of Chinese medical herb compounds to prevent chicken coccidiosis [D]. Master's Thesis. Hefei: Anhui Agricultural University, 2007: 50-53. (in Chinese)
- [15] 李建梅,刘梅,沈欣悦,等.感染柔嫩艾美耳球虫藏鸡

- 和隐性白羽鸡血清生化指标变化比较[J].中国家禽,2018,40(2):15-19.
- LI J M, LIU M, SHEN X Y, et al. Comparative analysis on changes of serum biochemical indexes between Tibetan chicken and recessive White chicken infected with *Eimeria tenella*[J]. China Poultry, 2008, 40(2): 15-19. (in Chinese)
- [16] PAPADOMICHELAKIS G, MOUNTZOURIS K C, ZOIDIS E, et al. Influence of dietary benzoic acid addition on nutrient digestibility and selected biochemical parameters in fattening rabbits [J]. Animal Feed Science and Technology, 2011, 163(2/3/4): 207-213.
- [17] DIAO H, GAO Z B, YU B, et al. Effects of benzoic acid (Vevo Vitall®) on the performance and jejunal digestive physiology in young pigs [J]. Journal of Animal Science and Biotechnology, 2016, 7: 32.
- [18] 常翠青, 陈吉棣. 有机酸对人血管内皮细胞保护作用的机制研究[D]. 营养学报, 2004, 26(4): 280-283.
- CHANG C Q, CHEN J D. Study on the protective mechanism of organic acids in human umbilical vein endothelial cells [J]. Acta Nutrimenta Sinica, 2004, 26(4): 280-283. (in Chinese)
- [19] 郭兵, 王海凤, 庞春酉, 等. 雏鸡感染柔嫩艾美耳球虫对血清中抗氧化酶产生的影响[J]. 河北北方学院学报(自然科学版), 2010, 26(4): 38-41.
- GOU B, WANG H F, PANG C Y, et al. Effect of *E. tenella* coccidiosis infection on antioxidant enzyme in serum of chickens [J]. Journal of Hebei North University (Natural Science Editition), 2010, 26(4): 38-41. (in Chinese)
- [20] KATANBAF M N, DUNNINGTON E A, SIEGEL P B. Restricted feeding in early and late-feathering chickens. 1. growth and physiological responses [J]. Poultry Science, 1989, 68(3): 344-351.
- [21] 许金根, 车传燕, 闻爱友, 等. 酸化剂对肉鸡免疫器官指数、肠道 pH 值和血清生化指标的影响[J]. 饲料工业, 2016, 37(8): 12-15.
- XU J G, CHE C Y, WEN A Y, et al. Effects of acidifier on immune organ index, intestinal pH values and serum biochemical indexes of broilers [J]. Feed Industry, 2016, 37(8): 12-15. (in Chinese)
- [22] 陈佳力. 苯甲酸对断奶仔猪生产性能和肠道功能的影响及其适宜添加剂量研究[D]. 硕士学位论文. 雅安: 四川农业大学, 2015: 38-40.
- CHEN J L. Effects of benzoic acid on weaned piglets' performance and intestinal function and its appropriate dosage [D]. Master's Thesis. Ya'an: Sichuan Agricultural University, 2015: 38-40. (in Chinese)
- [23] GRIFFITHS G L, SINGH U M, HOPKINS D, et al. Nutritional stress as a cause of thymic atrophy in broiler chickens [J]. Avian Diseases, 1985, 29(1): 103-106.
- [24] 谭建庄. 日粮精氨酸对不同疾病模型肉鸡免疫功能的调节作用与机理研究[D]. 博士学位论文. 北京: 中国农业大学, 2014: 39-41.
- TAN J Z. Effects of dietary *L*-arginine supplementation on immune functions in broiler chickens challenged with different pathogens [D]. Ph. D. Thesis. Beijing: China Agricultural University, 2014: 39-41. (in Chinese)
- [25] 薛敬洁, 黄兰, 徐前明, 等. 中药复方制剂对球虫感染鸡血液免疫指标和酶活性影响[J]. 中兽医医药杂志, 2010, 29(4): 12-15.
- XUE J J, HUANG L, XU Q M, et al. Effects of compound traditional Chinese medicine on the enzyme activity and blood immune index in chickens infected with coccidiosis [J]. Journal of Traditional Chinese Veterinary Medicine, 2010, 29(4): 12-15. (in Chinese)
- [26] 顾宪红, 张宏福, 李长忠, 等. 不同断奶日龄仔猪血清代谢物水平的变化[J]. 畜牧兽医学报, 2000, 31(4): 317-324.
- GU X H, ZHANG H F, LI C Z, et al. Effect of weaning age on serum metabolite level in piglets [J]. Chinese Journal of Animal and Veterinary Sciences, 2000, 31(4): 317-324. (in Chinese)

Effects of Benzoic Acid on Growth Performance, Immune Function and Serum Antioxidant Capacity of Broilers Challenged by *Coccidia*

HUANG Lingjie PENG Huanwei* ZHANG Keying BAI Shiping WANG Jianping
ZENG Qiufeng DING Xuemei*

(Key Laboratory of Animal Disease Resistance and Nutrition, Ministry of Education, Institute of Animal Nutrition, Sichuan Agricultural University, Chengdu 611130, China)

Abstract: This study was to investigate the effects of benzoic acid (BA) on growth performance, immune function and serum antioxidant capacity of broilers challenged by coccidia. A 2×3 double factors design was used to select 540 one-day-old healthy Arbor Acres (AA) white-feathered male broilers, 2 kinds of challenge treatments (administered sterile saline or 30-fold coccidiosis vaccine), 3 kinds of benzoic acid sources [no adding BA (N-B) in the diet, adding 0.05% enteric-coated sustained-release BA (ES-B) or 0.10% uncoated BA (NC-B)], a total of 6 groups with 6 replicates per group and 15 broilers per replicate. The trial lasted for 42 days. The results showed as follows: 1) dietary BA had a tendency to increase body weight (BW) at 42 days of age and body weight gain (BWG) from 1 to 42 days of age of broilers ($P=0.058$, $P=0.057$). *Coccidia* infection significantly decreased BW (except for that at 14 days of age), BWG and average feed intake (AFI) (except for those from 1 to 14 days of age) ($P<0.05$), and significantly increased the ratio of feed to gain (F/G) of broilers from 15 to 21 days of age ($P<0.05$), and decline range of growth performance in N-B group was greater than that in ES-B and NC-B groups. 2) Dietary BA significantly increased serum immunoglobulin M (IgM) content and thymus index at 21 days of age and serum immunoglobulin A (IgA) content at 42 days of age, and had a tendency to decrease serum nitric oxide (NO) content of broilers at 42 days of age ($P=0.068$). *Coccidia* infection significantly increased serum albumin (ALB) content at 42 days of age, and significantly decreased serum alkaline phosphatase (ALP) activity at 21 days of age and serum IgM content of broilers 42 days of age ($P<0.05$). Dietary BA and coccidia infection had significant interaction on serum IgM content of broilers at 21 days of age ($P<0.05$), it is showed as under the condition of coccidia infection, dietary BA increased serum IgM content, and ES-B group had the best effects. 3) Dietary BA significantly increased serum glutathione peroxidase (GSH-Px) activity and significantly decreased serum malondialdehyde (MDA) content of broilers at 21 days of age ($P<0.05$). Dietary BA and coccidia infection had significant interaction on serum MDA content and GSH-Px activity of broilers at 42 days of age ($P<0.05$), it is showed as under the conditions of coccidia infection, dietary BA increased serum GSH-Px activity and decreased MDA content ($P<0.05$), and NC-B group had the best effects. In conclusion, dietary BA can improve growth performance of broilers; under the conditions of coccidia infection, dietary BA can alleviate the degradation of growth performance caused by coccidia infection by improving health and immune function, and 0.05% ES-B has better improvement effects. [*Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2021, 33(3):1396-1407]

Key words: broilers; benzoic acid; coccidia; growth; immune; antioxidant

* Corresponding authors: PENG Huanwei, associate professor, E-mail: 414364381@qq.com; DING Xuemei, associate professor, E-mail: dingxuemei0306@163.com