

引用格式:

杨帅勇, 卿志星, 刘华, 负宣, 张皓阳, 何冬生, 钟妮, 曾建国. 黄芩黄酮对小鼠生长性能和抗氧化能力及盲肠微生物的影响[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2023, 49(2): 212–217.

YANG S Y, QING Z X, LIU H, YUN X, ZHANG H Y, HE D S, ZHONG N, ZENG J G. Effects of flavonoids from *Scutellaria baicalensis* on growth performance, antioxidant capacity and cecal microbe of mice[J]. Journal of Hunan Agricultural University(Natural Sciences), 2023, 49(2): 212–217.

投稿网址: <http://xb.hunau.edu.cn>



黄芩黄酮对小鼠生长性能和抗氧化能力及盲肠微生物的影响

杨帅勇^{1,3}, 卿志星^{1,3}, 刘华^{2,3}, 负宣^{1,3}, 张皓阳^{1,3}, 何冬生⁴, 钟妮⁵, 曾建国^{1,3*}

(1.湖南农业大学动物医学院, 湖南 长沙 410128; 2.湖南农业大学动物科技学院, 湖南 长沙 410128; 3.中兽药湖南省重点实验室, 湖南 长沙 410128; 4.诸城市浩天药业有限公司, 山东 诸城 262200; 5.湖南省茶叶研究所, 湖南 长沙 410125)

摘要: 选取 3 周龄昆明小鼠 40 只, 随机分成 4 组, 分别为对照组(CON)及黄芩黄酮低剂量组(HQHTL)、中剂量组(HQHTM)、高剂量组(HQHTH), 对照组每天用 0.9%氯化钠溶液灌胃, 黄芩黄酮组每天分别用 25、50、100 mg/kg 的黄芩黄酮溶液灌胃, 灌胃 28 d 后测定小鼠的生长性能、抗氧化能力和盲肠的微生物多样性及群落组成。结果表明: 与 CON 相比, 用黄芩黄酮灌胃显著($P<0.05$)提高了小鼠的平均日增质量; 小鼠的血清总超氧化物歧化酶活性显著($P<0.05$)或极显著($P<0.01$)升高, 丙二醛水平显著($P<0.05$)或极显著($P<0.01$)降低; HQHTM 和 HQHTH 小鼠的盲肠微生物 Sobs 和 Bootstrap 指数显著($P<0.05$)下降, Chao 和 Ace 指数极显著($P<0.01$)下降; HQHTM 和 HQHTH 小鼠的盲肠放线菌门(Actinobacteriota)相对丰度显著($P<0.05$)上升, 疣微菌门(Verrucomicrobiota)相对丰度极显著($P<0.01$)上升, HQHTH 小鼠的盲肠脱铁杆菌门(Deferribacterota)相对丰度极显著($P<0.01$)下降, HQHTL、HQHTM 小鼠的盲肠脱铁杆菌门相对丰度显著($P<0.05$)下降; 用黄芩黄酮灌胃的小鼠盲肠的 Norank_f_Ruminococcaceae 和普雷沃菌属(*Prevotella*)相对丰度均显著($P<0.05$)下降, HQHTL、HQHTM 小鼠的盲肠厌氧球菌属(*Anaerotruncus*)显著($P<0.05$)下降, 而 HQHTM、HQHTH 小鼠的盲肠艾克曼菌属(*Akkermansia*)相对丰度极显著($P<0.01$)上升。可见, 用黄芩黄酮灌胃可提高小鼠的生长性能, 改善小鼠的抗氧化机能, 调控盲肠的微生物菌群, 其中 50 mg/kg 黄芩黄酮促小鼠生长的效果最好。

关键词: 小鼠; 黄芩黄酮; 生长性能; 抗氧化能力; 盲肠; 微生物多样性; 细菌群落组成

中图分类号: S816.7; R285.5 文献标志码: A 文章编号: 1007–1032(2023)02–0212–06

Effects of flavonoids from *Scutellaria baicalensis* on growth performance, antioxidant capacity and cecal microbe of mice

YANG Shuaiyong^{1,3}, QING Zhixing^{1,3}, LIU Hua^{2,3}, YUN Xuan^{1,3}, ZHANG Haoyang^{1,3},
HE Dongsheng⁴, ZHONG Ni⁵, ZENG Jianguo^{1,3*}

(1.College of Veterinary Medicine, Hunan Agricultural University, Changsha, Hunan 410128, China; 2.College of Animal Science and Technology, Hunan Agricultural University, Changsha, Hunan 410128, China; 3.Hunan Provincial Key Laboratory of Chinese Veterinary Medicine, Changsha, Hunan 410128, China; 4.Zhucheng Haotian Pharmaceutical Co. Ltd, Zhucheng, Shandong 262200, China; 5.Hunan Tea Research Institute, Changsha, Hunan 410125, China)

收稿日期: 2021–12–06

修回日期: 2023–04–04

基金项目: 湖南省重点研发计划(2020NK2031); 中央引导地方科技发展专项(2019XF5061); 湖南省农业科技创新项目(2020CX34)

作者简介: 杨帅勇(1995—), 男, 河南开封人, 硕士研究生, 主要从事功能性植物提取物与中兽药创制研究, 1792191602@qq.com; *通信作者, 曾建国, 博士, 教授, 主要从事功能性植物提取物与中兽药创制研究, zengjianguo@hunau.edu.cn

Abstract: Forty 3-week-old Kunming mice were randomly divided into 4 groups infected four dose amount (low, medium, high dose and the control) of flavonoids from *Scutellaria baicalensis* respectively to study its effects on the mice. The mice of control group (CON) were given 0.9% sodium chloride solution every day, while the mice of flavonoids from *Scutellaria baicalensis* low-dose (HQHTL), medium-dose (HQHTM) and high-dose (HQHTH) groups were intragastrically injected with 25, 50 and 100 mg/kg flavonoids from *Scutellaria baicalensis* solution every day, respectively. After 28 days of intragastrically injected, the growth performance, antioxidant capacity, microbial diversity and community composition of cecum were collected in the study. The results showed that compared with CON, the average daily gain mass of mice were significantly ($P < 0.05$) increased, serum total superoxide dismutase activities of mice were significantly ($P < 0.05$) or extremely significantly ($P < 0.01$) increased, and malondialdehyde levels were significantly ($P < 0.05$) or extremely significantly ($P < 0.01$) decreased in the treated groups. The Sobs and Bootstrap indexes of cecum microorganisms of HQHTM and HQHTH mice were significantly ($P < 0.05$) decreased, and their Chao and Ace indexes were extremely significantly ($P < 0.01$) decreased. The relative abundances of Actinobacteriota of HQHTM and HQHTH mice were significantly ($P < 0.05$) increased, and the relative abundances of their Verrucomicrobiota were significantly ($P < 0.01$) increased. The relative abundance of Deferribacterota of HQHTH mice were significantly ($P < 0.01$) decreased, and the relative abundances of Deferribacterota of HQHTL and HQHTM mice were significantly ($P < 0.05$) decreased. The relative abundances of Norank_f__Ruminococcaceae and *Prevotella* in the cecum of mice treated with flavonoids from *Scutellaria baicalensis* were significantly ($P < 0.05$) decreased. The relative abundance of *Anaerotruncus* in the cecum of HQHTL and HQHTM mice were significantly ($P < 0.05$) decreased, while the relative abundances of *Akkermansia* in the cecum of HQHTM and HQHTH mice were significantly ($P < 0.01$) increased. In conclusion, flavonoids from *Scutellaria baicalensis* could improve the growth performance and the antioxidant function of mice and regulate the microflora of mice's cecum. The treated dose 50 mg/kg flavonoids could yield better effects on growth.

Keywords: mice; flavonoids from *Scutellaria baicalensis*; growth performance; antioxidant capacity; cecum; microbial diversity; bacterial community composition

中药黄芩以唇形科植物黄芩 (*Scutellaria baicalensis* Georgi) 的干燥根入药, 始载于《神农本草经》。黄芩的主要产地有山西、河北、甘肃、山东、内蒙古等^[1]。目前, 药厂生产黄芩苷后产生的废液不仅污染环境, 而且废液中含有的大量黄酮类化合物 (简称黄芩黄酮) 被直接排放, 造成严重的资源浪费。合理开发利用黄芩黄酮, 不仅能避免上述问题, 还能实现对废弃物的再利用, 创造一定的经济效益。黄芩黄酮里含有汉黄芩苷、黄芩苷、黄芩素、汉黄芩素等多种黄酮类化合物。研究^[2-5]报道, 黄芩具有促生长、抗氧化、提高免疫力、调节肠道微生物等功效。笔者以小鼠为试验动物, 研究黄芩黄酮对小鼠生长性能、抗氧化能力和盲肠微生物的影响, 以期为黄芩资源综合利用和黄芩黄酮饲料添加剂产品的开发提供依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

供试黄芩黄酮为诸城市浩天药业有限公司的产品, 总黄酮质量分数 $\geq 30\%$, 生产批次为 HQ200908-51。供试小鼠为 40 只 3 周龄断奶昆明

小白鼠, 购于湖南斯莱克景达试验动物有限公司, 体质量 (14.68 ± 1.31) g。

1.2 试验设计

参照文献[6-7]的方法, 将 40 只小鼠随机分为 4 组, 每组 10 个重复, 每个重复 1 只小鼠。试验组分别为对照组 (CON) 及黄芩黄酮低剂量组 (HQHTL)、中剂量组 (HQHTM)、高剂量组 (HQHTH), 其中, CON 每天用 0.02 mL/g 的 0.9% 氯化钠溶液灌胃, HQHTL、HQHTM、HQHTH 每天分别用 0.02 mL/g 的 25、50、100 mg/kg 黄芩黄酮溶液灌胃。试验持续 28 d。饲养期间小鼠自由采食和饮水。

1.3 样品采集

试验 28 d 后, 称量小鼠体质量, 然后对小鼠眼眶静脉采血, 血液在室温静置 4 h, 3500 r/min 离心 10 min, 取上清液得到血清, 于 $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ 冰箱保存, 以备检测。参照文献[8]的方法, 血液样品采集后将小鼠颈椎脱臼处死, 用手术剪剪开小鼠的腹部, 摘取小鼠的心脏、肝脏、肾脏、脾脏, 剔除其上面的脂肪组织后称质量; 再取盲肠内容物, 装入灭菌离心管中, 经液氮速冻后转移至 $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ 冰箱保存, 以

备检测。

1.4 指标测定与方法

1.4.1 生长性能指标和器官指数测定

在试验开始时和结束后,称量小鼠体质量(初质量、末质量)和饲料的用量,并计算平均日增质量、平均日采食量、料重比。利用称量的小鼠心脏、肝脏、肾脏、脾脏质量及体质量计算各个器官的指数。

1.4.2 血液抗氧化指标和生化指标测定

运用南京建成生物工程研究所的试剂盒,采用羟胺法和 TBA 法分别测定总超氧化物歧化酶(T-SOD)活性和丙二醛(MDA)含量。采用深圳迈瑞公司生产的 BS190 全自动生化仪测定血清中的谷草转氨酶(AST)、谷丙转氨酶(ALT)活性。

1.4.3 肠道菌群检测

肠道菌群由上海美吉生物有限公司检测。

1.5 数据统计与分析

生长性能、脏器指数、抗氧化能力和血液生化指标运用 SPSS 25.0 进行单因素方差分析,选用 LSD 法进行多重比较。运用美吉云平台,采用 Kruskal-Wallis H test bar plot 和 Student's t-test 方法分析肠道菌群 α 多样性指数(Sobs、Ace、Bootstrap、Chao 指数)和盲肠微生物相对丰度差异。

2 结果与分析

2.1 黄芩黄酮对小鼠生长性能的影响

从表 1 可知,与 CON 相比,用黄芩黄酮溶液灌胃 28 d 后,黄芩黄酮各组小鼠末质量和平均日增质量均显著($P<0.05$)提高;HQHTH 小鼠的平均日采食量显著($P<0.05$)增加;各组小鼠料重比间的差异均无统计学意义。

表1 用黄芩黄酮灌胃小鼠的生长性能

Table 1 Growth performance of mice treated with flavonoids from *Scutellaria baicalensis*

组别	初质量/g	末质量/g	平均日增质量/(g d ⁻¹)	平均日采食量/(g d ⁻¹)	料重比
CON	13.82±0.62	(38.08±3.15)a	(0.87±0.09)a	(5.18±0.20)a	5.97±0.06
HQHTL	14.49±1.44	(41.65±4.00)b	(0.97±0.10)b	(5.55±0.02)a	5.73±0.19
HQHTM	14.74±1.06	(42.09±1.26)b	(0.98±0.01)b	(5.66±0.01)a	5.79±0.10
HQHTH	14.39±1.23	(41.36±3.58)b	(0.96±0.09)b	(5.82±0.15)b	6.04±0.01

同列不同字母示组间差异有统计学意义($P<0.05$)。

2.2 黄芩黄酮对小鼠器官指数的影响

从表 2 可知,用黄芩黄酮溶液灌胃,小鼠的心

表2 用黄芩黄酮灌胃小鼠的脏器指数

Table 2 Organ indices of mice treated with flavonoids from *Scutellaria baicalensis*

组别	器官指数/(mg g ⁻¹)			
	心脏	肝脏	脾脏	肾脏
CON	6.27±0.67	50.99±4.26	2.88±0.79	15.34±1.91
HQHTL	6.53±1.30	47.99±3.92	2.67±0.21	14.71±1.27
HQHTM	5.59±0.74	50.38±2.80	2.81±0.39	14.90±0.78
HQHTH	7.30±1.02	49.10±3.34	2.55±0.50	14.47±1.43

脏、肝脏、脾脏、肾脏器官指数各组之间的差异均无统计学意义。

2.3 黄芩黄酮对小鼠血清抗氧化能力和生化指标的影响

由表 3 可知,与 CON 相比, HQHTL、HQHTH 的 MDA 含量极显著($P<0.01$)降低, HQHTM 的 MDA 含量显著($P<0.05$)降低; HQHTL 的 T-SOD 活性极显著($P<0.01$)升高, HQHTM、HQHTH 的 T-SOD 活性显著升高($P<0.05$); 小鼠血清 ALT 和 AST 活性各组间的差异均无统计学意义。

表3 用黄芩黄酮灌胃小鼠的血清抗氧化性能和生化指标

Table 3 Serum antioxidant properties and biochemical indices of mice treated with flavonoids from *Scutellaria baicalensis*

组别	MDA 浓度/($\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$)	T-SOD 活性/(U mL ⁻¹)	ALT 活性/(U L ⁻¹)	AST 活性/(U L ⁻¹)
CON	(16.40±3.26)Aa	(81.35±7.17)Bc	48.88±8.14	125.38±10.57
HQHTL	(9.67±2.80)Bb	(115.11±16.86)Aa	37.50±6.06	107.38±21.13
HQHTM	(10.75±1.55)ABb	(92.95±12.11)ABb	37.75±6.85	111.25±10.13
HQHTH	(9.80±1.26)Bb	(91.90±3.74)ABb	40.00±10.08	112.40±12.39

同列不同小写、大写字母示组间差异有统计学意义($P<0.05$ 、 $P<0.01$)。

2.4 黄芩黄酮对小鼠盲肠细菌群落的影响

2.4.1 黄芩黄酮对小鼠盲肠细菌群落 α 多样性的影响

在 CON 小鼠的肠道中共有 856 个细菌 OTUs, HQHTL、HQHTM、HQHTH 样品中则分别有 857、

814 和 830 个细菌 OTUs。从表 4 可知, 与 CON 相比, HQHTM、HQHTH 的 Sobs 和 Bootstrap 指数显著($P<0.05$)下降, Chao 和 Ace 指数极显著($P<0.01$)下降。

表4 用黄芩黄酮灌胃小鼠的盲肠细菌α多样性

Table 4 The α diversity of bacteria in cecum of mice treated with flavonoids from *Scutellaria baicalensis*

组别	Sobs 指数	Ace 指数	Bootstrap 指数	Chao 指数
CON	(532.00±47.39)a	(620.41±47.23)A	(581.65±49.85)a	(633.12±39.73)A
HQHTL	(501.00±46.87)a	(594.50±58.59)A	(549.11±49.90)a	(592.78±60.73)A
HQHTM	(464.70±58.50)b	(537.86±61.37)B	(507.69±62.88)b	(546.15±63.61)B
HQHTH	(478.50±51.05)b	(554.18±46.07)B	(522.80±52.34)b	(554.68±49.52)B

同列不同小写、大写字母示组间差异有统计学意义($P<0.05$ 、 $P<0.01$)。

2.4.2 黄芩黄酮对小鼠肠道细菌群落组成的影响

在所有样品中, 小鼠肠道细菌相对丰度前 6 的菌门有厚壁菌门(Firmicutes)、拟杆菌门(Bacteroides)、脱硫弧菌门(Desulfobacterota)、弯曲菌门(Campilobacterota)、变形菌门(Proteobacteria)和放线菌门(Actinobacteriota)(表 5)。从表 6 可知, 与 CON 相比,

HQHTM 和 HQHTH 的放线菌门相对丰度显著($P<0.05$)升高, 疣微菌门(Verrucomicrobiota)的相对丰度极显著($P<0.01$)升高; HQHTH 的脱铁杆菌门(Deferribacterota)相对丰度极显著($P<0.01$)下降; HQHTL、HQHTM 的脱铁杆菌门相对丰度显著($P<0.05$)下降。

表5 用黄芩黄酮灌胃小鼠的盲肠菌群优势菌门及其相对丰度

Table 5 Dominant phyla and their relative abundance of cecal microflora in mice treated with flavonoids from *Scutellaria baicalensis*

组别	相对丰度/%					
	厚壁菌门	拟杆菌门	脱硫弧菌门	弯曲菌门	变形菌门	放线菌门
CON	64.60	27.30	2.61	2.82	1.84	0.45
HQHTL	59.07	32.50	2.03	3.61	1.27	0.42
HQHTM	69.41	22.14	3.39	1.41	1.62	1.05
HQHTH	66.98	24.98	4.27	1.01	1.12	0.77

表6 用黄芩黄酮灌胃小鼠的盲肠菌群差异较大的菌门及其相对丰度

Table 6 The phyla and their relative abundance of cecal microflora significantly changed in mice treated with flavonoids from *Scutellaria baicalensis*

组别	相对丰度/%		
	放线菌门	疣微菌门	脱铁杆菌门
CON	(0.45±0.23)b	(0.01±0.00)B	(0.08±0.14)Aa
HQHTL	(0.42±0.25)b	(0.06±0.19)B	(0.02±0.03)Ab
HQHTM	(1.05±0.90)a	(0.42±1.30)A	(0.01±0.02)Ab
HQHTH	(0.77±0.53)a	(0.36±0.69)A	(0.00±0.00)Bc

同列不同小写、大写字母示组间差异有统计学意义($P<0.05$ 、 $P<0.01$)。

在所有样品中, 小鼠肠道细菌相对丰度前 5 的菌属有乳酸杆菌属(*Lactobacillus*)、Norank_f_Muribaculaceae、Lachnospiraceae_NK4A136_group、Unclassified_f_Lachnospiraceae、类杆菌属(*Bacteroides*) (表 7)。从表 8 可知, 与 CON 相比, HQHTM、HQHTH 的阿克曼菌属(*Akkermansia*)相对丰度极显著($P<0.01$)升高; HQHTL、HQHTM、HQHTH 的 Norank_f_Ruminococcaceae、普雷沃菌属(*Prevotella*)相对丰度均显著($P<0.05$)降低; HQHTL、HQHTM 的厌氧球菌属(*Anaerotruncus*)相对丰度均显著($P<0.05$)降低。

表7 黄芩黄酮灌胃小鼠盲肠菌群的优势菌属及其相对丰度

组别	相对丰度/%				类杆菌属
	乳酸杆菌属	Norank_f__ Muribaculaceae	Lachnospiraceae_ NK4A136_group	Unclassified_f__ Lachnospiraceae	
CON	37.69	17.74	6.46	4.39	2.87
HQHTL	41.72	24.53	3.46	3.20	2.71
HQHTM	43.75	13.18	7.01	5.49	4.12
HQHTH	44.95	17.28	4.61	5.37	3.49

表8 黄芩黄酮灌胃小鼠盲肠菌群的相对丰度变化较大的菌属及其相对丰度

组别	相对丰度/%			
	Norank_f__Ruminococcaceae	厌氧球菌属	艾克曼菌属	普雷沃菌属
CON	(0.55±0.43)a	(0.39±0.22)a	(0.01±0.00)B	(0.19±0.59)Aa
HQHTL	(0.24±0.13)b	(0.14±0.13)b	(0.06±0.19)B	(0.08±0.19)Ab
HQHTM	(0.23±0.10)b	(0.19±0.09)b	(0.42±1.30)A	(0.04±0.13)ABb
HQHTH	(0.21±0.12)b	(0.24±0.16)ab	(0.36±0.69)A	(0.00±0.00)Bc

同列不同小写、大写字母示组间差异有统计学意义($P<0.05$ 、 $P<0.01$)。

3 结论与讨论

研究^[2]表明,黄芩中的成分可以提高鸡的生长性能。本研究中,黄芩黄酮能显著提高小鼠平均日增质量;随着黄芩黄酮灌胃剂量的提高,小鼠平均日采食有增加的趋势,这与李福泉等^[5]研究肉鸡的结果一致;小鼠的料重比随黄芩黄酮剂量的提高而增加,黄芩黄酮高剂量组小鼠平均日增质量低于低、中剂量小鼠的,可能是采食量过多增加了小鼠肠道负担,导致食物消化吸收利用率低。在本试验条件下,小鼠黄芩黄酮灌胃改善生长性能的最佳剂量为 50 mg/kg。

陈贤均等^[9]认为,动物器官正常发育是动物机体器官功能发挥的基础,在一定范围内,脏器系数高,表明该器官代谢旺盛、功能强大。本研究中,用黄芩黄酮灌胃小鼠的肝脏指数、脾脏指数、心脏指数和肾脏指数与不灌胃的差异均无统计学意义,说明黄芩黄酮对小鼠脏器功能没有不良影响。

王力^[10]研究表明,黄芩能提高断奶仔猪血浆总抗氧化能力、T-SOD 活性、谷胱甘肽过氧化物酶活性,从而在一定程度上缓解断奶应激,促进断奶仔猪健康生长。严鹏等^[11]研究表明,黄芩能提高动物的抗氧化能力,并促进动物生长。本研究中,不同剂量的黄芩黄酮均可显著或极显著提高小鼠血清中 T-SOD 活性和降低 MDA 含量,说明黄芩黄酮

可通过增强机体抗氧化酶活性的途径来缓解氧化应激,从而提升动物机体的抗氧化能力。

当肝细胞受到损伤时,AST、ALT 即被释放到血液中,其酶活性的高低能反映出肝细胞的受损情况^[9]。本研究中,黄芩黄酮对小鼠 AST、ALT 活性无显著影响,说明黄芩黄酮对小鼠肝脏功能没有不良影响。

本研究中,小鼠肠道微生物的 α 多样性分析表明,用中、高剂量黄芩黄酮灌胃能显著降低小鼠肠道微生物的相对丰度和多样性。放线菌门的一些微生物能分泌木质素酶和抗生素,可改善宿主的纤维消化力,提高机体免疫力^[12]。疣微菌门的一些微生物具有多糖水解酶活性,能促进多糖消化吸收^[13]。脱铁杆菌门的丰度与糖尿病相关^[14]。本研究中,用黄芩黄酮灌胃导致小鼠肠道菌群结构发生改变,放线菌门和疣微菌门的相对丰度增加,改善了小鼠对营养物质的消化吸收,增强了机体免疫力,进而提高了小鼠的生长性能。艾克曼菌属具有调节代谢、提高机体免疫力、保护肠道健康等作用^[15-16]。Norank_f__ Ruminococcaceae 中有几种菌对人有致病性,如活泼瘤胃球菌可以引发败血症。厌氧球菌属与肠道菌群失调有关,也可能引起细菌感染^[17]。普雷沃菌属是临床上较常见的一种条件致病菌,可引起内源性感染^[18-19]。本研究中,用黄芩黄酮灌胃提高了艾克曼菌属有益菌的相对丰度,同时降低了

Norank_f__Ruminococcaceae、厌氧球菌属、普雷沃菌属等有害菌的相对丰度,增强了小鼠的消化吸收和机体免疫力,进而提高小鼠的生长性能。

参考文献:

- [1] 谷婧, 黄玮, 张文生. 黄芩野生与栽培资源分布调查研究[J]. 中国中医药信息杂志, 2013, 20(12): 42-45.
- [2] 任成财. 黄芩黄酮对肉仔鸡生长性能、免疫指标和肠道微生物菌群的影响[D]. 大庆: 黑龙江八一农垦大学, 2010.
- [3] 牟明生, 张祥, 毛胜勇, 等. 黄芩对肉鸡生长性能及回盲肠微生物菌群的影响[J]. 畜牧与兽医, 2010, 42(5): 4-7.
- [4] 肖霞. 山银花、黄芩提取物对母猪繁殖性能和后代仔猪生长性能影响及作用机制研究[D]. 绵阳: 西南科技大学, 2020.
- [5] 李福泉, 张娟, 林建和. 饲料中添加黄芩提取物对肉鸡生长性能、营养物质消化率和肉质的影响[J]. 中国饲料, 2020(2): 29-32.
- [6] 裴婷, 孔佳美, 白培细, 等. 酶与微生态复合组剂对小鼠生长性能、血液指标及肠道 MUC₂ 表达的影响[J]. 山西农业科学, 2021, 49(4): 514-519.
- [7] 郭世伟, 秦哲, 邢媛媛, 等. 黑沙蒿水提物对小白鼠生长性能、免疫和抗氧化指标的影响[J]. 饲料研究, 2021, 44(8): 48-52.
- [8] 闫志强, 陈春林, 付文贵, 等. 女黄颗粒对小鼠的急性毒性和大鼠的亚慢性毒性试验[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2020, 46(3): 358-363.
- [9] 陈贤均, 赵红刚. 盐制杜仲对小鼠生长发育与脏器系数的影响[J]. 四川中医, 2005, 23(11): 32-34.
- [10] 王力. 饲料添加金银花和黄芩提取物对母猪繁殖性能的影响研究[D]. 雅安: 四川农业大学, 2019.
- [11] 严鹏, 刘英东, 孔祥玉, 等. 黄芩茎叶总黄酮对脑缺血再灌注大鼠皮质微血管和氧化应激的预防保护作用[J]. 医学研究与教育, 2016, 33(2): 12-17.
- [12] EVANS NICHOLAS J, BROWN JENNIFER M, MURRAY R D, et al. Characterization of novel bovine gastrointestinal tract *Treponema* isolates and comparison with bovine digital dermatitis treponemes[J]. Applied and Environmental Microbiology, 2011, 77(1): 138-147.
- [13] CARDMAN Z, ARNOSTI C, DURBIN A, et al. Verrucomicrobia are candidates for polysaccharide-degrading bacterioplankton in an arctic fjord of Svalbard[J]. Applied and Environmental Microbiology, 2014(12): 3749-3756.
- [14] 许祯, 倪雅丽, 肖曼, 等. 缙沙坦灌胃糖尿病肾病小鼠肠道菌群多样性观察[J]. 山东医药, 2019, 59(6): 42-45.
- [15] CANI P D, DE VOS W M. Next-generation beneficial microbes: the case of *Akkermansia muciniphila*[J]. Frontiers in Microbiology, 2017, 8: 1765.
- [16] DERAKHSHANI H, DE BUCK J, MORTIER R, et al. The features of fecal and ileal mucosa-associated microbiota in dairy calves during early infection with *Mycobacterium avium* subspecies paratuberculosis[J]. Frontiers in Microbiology, 2016, 7: 426.
- [17] LAU S K P, WOO P C Y, WOO G K S, et al. Bacteraemia caused by *Anaerotruncus colihominis* and emended description of the species[J]. Journal of Clinical Pathology, 2006, 59(7): 748-752.
- [18] ALPIZAR-RODRIGUEZ D, LESKER T R, GRONOW A, et al. *Prevotella copri* in individuals at risk for rheumatoid arthritis[J]. Annals of the Rheumatic Diseases, 2019, 78(5): 590-593.
- [19] PRECUP G, VODNAR D C. Gut *Prevotella* as a possible biomarker of diet and its eubiotic versus dysbiotic roles: a comprehensive literature review[J]. The British Journal of Nutrition, 2019, 122(2): 131-140.

责任编辑: 邹慧玲

英文编辑: 柳正