

引用格式:

李鹏, 万彪, 肖冰, 贺长青, 曲湘勇, 郭松长. 博落回提取物对雪峰乌骨鸡雏鸡生长性能和血清生化指标及肠道形态的影响[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2023, 49(2): 206–211.

LI P, WAN B, XIAO B, HE C Q, QU X Y, GUO S C. Effects of *Macleaya cordata* extract on growth performance, serum biochemical indexes and intestinal morphology of Xuefeng black-bone chicks[J]. Journal of Hunan Agricultural University(Natural Sciences), 2023, 49(2): 206–211.

投稿网址: <http://xb.hunau.edu.cn>



博落回提取物对雪峰乌骨鸡雏鸡生长性能和血清生化指标及肠道形态的影响

李鹏¹, 万彪¹, 肖冰², 贺长青¹, 曲湘勇¹, 郭松长^{1*}

(1.湖南农业大学动物科学技术学院, 湖南 长沙 410128; 2.湖南云飞凤农业有限公司, 湖南 怀化 418200)

摘要: 将1日龄雪峰乌骨鸡504只随机分为3组, 每组设置8个重复(每个重复21只), 试验期42 d, 其间, 对照组饲喂基础日粮, 试验组II(组II)、试验组III(组III)分别在基础日粮中添加666、1332 mg/kg 博落回提取物(MCE), 以探究饲料中添加MCE对育雏阶段雪峰乌骨鸡生长性能、血清生化指标及肠道形态的影响。结果表明: 组II和组III雏鸡的体质量、日增质量和日采食量均极显著($P<0.01$)高于对照组的, 组II的分别提高了7.2%、8.0%、3.4%, 组III的分别提高了9.5%、10.3%、5.3%; 组II和组III的料重比相较于对照组的分别下降了4.0%和4.4%; 43日龄时, 组II和组III的血清尿素氮水平极显著($P<0.01$)低于对照组的, 分别降低了26.2%和27.5%, 组III的血清总蛋白水平显著($P<0.05$)高于对照组和组II的, 分别提高了58.9%和41.3%; 添加MCE极显著($P<0.01$)提高了十二指肠的绒毛高度(VH)、绒毛高度与隐窝深度比值(VH/CD), 显著($P<0.05$)降低了隐窝深度(CD), 组II和组III十二指肠的VH分别提高了12.6%、13.6%, CD分别下降了10.5%、14.7%, VH/CD分别提高了25.5%、32.9%; 组III空肠的VH/CD比对照组和组II的分别显著($P<0.05$)增加了6.2%和2.6%。可见, 饲料中添加MCE有助于改善雪峰乌骨鸡雏鸡的肠道形态, 促进饲料中营养物质消化吸收并提高雏鸡的生长性能。

关键词: 雪峰乌骨鸡; 雏鸡; 博落回提取物; 生长性能; 血清生化指标; 肠道形态

中图分类号: S831.5

文献标志码: A

文章编号: 1007-1032(2023)02-0206-06

Effects of *Macleaya cordata* extract on growth performance, serum biochemical indexes and intestinal morphology of Xuefeng black-bone chicks

LI Peng¹, WAN Biao¹, XIAO Bing², HE Changqing¹, QU Xiangyong¹, GUO Songchang^{1*}

(1.College of Animal Science and Technology, Hunan Agricultural University, Changsha, Hunan 410128, China; 2.Hunan Yunfeifeng Agriculture Co. Ltd, Huaihua, Hunan 418200, China)

Abstract: To study the effects of dietary supplementation of *Macleaya cordata* extract(MCE) on the growth performance, serum biochemical indexes and intestinal morphology of Xuefeng black-bone chicks during the brooding stage, a total of 504 1-day-old Xuefeng black-bone chicks were randomly divided into 3 groups, each with 8 replicates(21 birds each replicate), and the experimental period was 42 d. During this period, the control group was fed the basal diet, and the experimental group II(group II) and the experimental group III(group III) were supplemented with 666, 1332 mg/kg MCE in the basal diet, respectively. The results showed that the body weight, daily gain, and

收稿日期: 2022-02-27

修回日期: 2022-03-14

基金项目: 湖南省自然科学基金面上项目(2021JJ30322)

作者简介: 李鹏(1995—), 男, 甘肃酒泉人, 硕士, 主要从事家禽遗传育种与健康养殖研究, 389151162@qq.com; *通信作者, 郭松长, 博士, 教授, 主要从事家禽遗传育种研究, guo_ast@126.com

daily feed intake of chicks in group II and group III were significantly ($P < 0.01$) higher than those in control group, and those in group II increased by 7.2%, 8.0% and 3.4%, respectively, and those in group III increased by 9.5%, 10.3% and 5.3%, respectively. Compared with control group, the feed-to-weight ratio of group II and group III decreased by 4.0% and 4.4%, respectively. At 43 days of age, the serum urea nitrogen level of group II and group III were significantly ($P < 0.01$) lower than that of control group, which decreased by 26.2% and 27.5%, respectively; the serum total protein level of group III was significantly ($P < 0.05$) higher than those of control group and group II, which increased by 58.9% and 41.3%, respectively. The addition of MCE significantly ($P < 0.01$) increased the villus height (VH) and the ratio of villus height to crypt depth (VH/CD) of the duodenum and significantly ($P < 0.05$) decreased the crypt depth (CD) of the duodenum. The VH of the duodenum of group II and group III increased by 12.6% and 13.6%, their CD decreased by 10.5% and 14.7%, and their VH/CD increased by 25.5% and 32.9%, respectively. Compared with the control group and group II, the VH/CD of the jejunum of group III were significantly ($P < 0.05$) increased by 6.2% and 2.6%, respectively. Our results suggested that the treatment of MCE in the diet could increase the intestinal morphology of Xuefeng black-bone chicks, promote the digestion and absorption of nutrients in the diet, and improve the growth performance of the chicks.

Keywords: Xuefeng black-bone chicks; chicks; *Macleaya cordata* extract; growth performance; serum biochemical indexes; intestinal morphology

农业农村部第 194 号公告的发布, 意味着中国已全面禁止在饲料端添加抗生素^[1]。在此背景下, 饲用抗生素替代品的研发及使用技术正成为动物养殖领域的新热点。植物提取物作为抗生素的替代品之一, 在增强免疫、提高抗病力、促生长、调节采食、降低环境污染等方面效果优良, 是目前替抗“系统工程”的重要一环, 对畜牧业的健康绿色发展具有重要影响。

博落回(*Macleaya cordata*)是草本植物, 富含生物碱, 其中尤以血根碱和白屈菜碱为主要成分。研究^[2-5]显示, 博落回提取物(MCE)可通过维护肠道微生物菌群平衡(整肠), 减少炎症对肠道黏膜组织的结构损伤(抗炎), 促进肠道对营养物质的消化吸收而促进动物生长(促生长)。雪峰乌骨鸡主产于湖南雪峰山地区, 是中国优异的地方鸡种质资源, 因其肉蛋兼用、营养价值高、食药同源而享有盛誉。前期研究^[6-7]表明, MCE 在提高成年雪峰乌骨鸡的繁殖潜能、生长性能和改善肠道健康, 以及促进资源优势向经济优势转变等方面具有明显效果, 但其在雪峰乌骨鸡育雏阶段的生长发育、肠道健康上是否有积极作用鲜有报道。本研究中, 将 MCE 添加至雪峰乌骨鸡雏鸡日粮中, 探究其对雪峰乌骨鸡雏鸡的生长性能、血清生化指标及肠道形态结构的影响, 旨在为雪峰乌骨鸡养殖经济效益的提高和地方品种鸡的无抗养殖提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

MCE(血根碱质量分数为 0.375%)购自湖南长沙普诺美生物科技有限公司。

1.2 试验设计与饲养管理

饲养试验在湖南云飞凤农业有限公司(怀化市洪江区)的雪峰乌骨鸡原种场进行。预试期 4 d, 正试期 38 d。选取体质量相近、健康状况良好的同批次 1 日龄黄羽雪峰乌骨鸡 504 只, 随机分为 3 组, 每组设置 8 个重复, 每重复 21 只雏鸡。试验期间, 对照组饲喂基础日粮, 试验组 II(组 II)和试验组 III(组 III)则参照 HUANG 等^[8]的研究, 分别在基础日粮中添加 666、1332 mg/kg MCE。基础日粮组成及营养水平参照陈思等^[9]的研究使用。

鸡只饲养于 3 层阶梯式育雏笼, 每笼 7 只, 每日饲喂 2 次(06: 30、14: 00)。鸡舍日常管理方案和相关免疫程序均按照湖南云飞凤农业有限公司育雏规范实行, 鸡只自由采食及饮水。

1.3 测定指标与方法

1.3.1 生长性能

试验第 1 天和第 42 天禁食 12 h 后称质量, 记录始末体质量(BW)。试验期间准确记录饲喂量, 以各重复为单位统计饲喂量和剩料量。计算 43 日龄的平均日增质量(ADG)、平均日采食量(ADFI)和料

重比(F/G)。

1.3.2 血清生化指标

试验第42天,各重复随机采取2只雏鸡的静脉血于真空采血管中(5 mL/只),倾斜静置30 min后3000 r/min转速下离心10 min,分离血细胞和血清;转移血清至EP管,封口膜密封后于 -20°C 冰箱中保存,备测。采用南京建成科技有限公司生产的相关试剂盒,并遵照各试剂盒的使用说明测定血清中总蛋白(TP)、白蛋白(ALB)、尿素氮(BUN)含量及谷丙转氨酶(ALT)和谷草转氨酶(AST)活力。

1.3.3 肠道形态

鸡只采血后放血致死,采集十二指肠、空肠和回肠中段(约2 cm长)置于4%多聚甲醛溶液中(pH 7.4)避光固定。固定好的样品经石蜡包埋、切片、染色后在光学显微镜下观察肠道形态结构。各切片随机选取8个非连续视野,测量绒毛高度(VH)和隐窝深度(CD),每个视野记录3组数据并计算绒毛高度与隐窝深度比值(VH/CD)。

1.4 数据统计与分析

试验数据运用Excel 2016整理后,采用SPSS 21.0进行单因素方差分析,并用Duncan法进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 MCE对雪峰乌骨鸡雏鸡生长性能的影响

从表1可知,试验结束时,组II的BW、ADG和ADFI分别比对照组提高了7.2%、8.0%、3.4%;

组III的BW、ADG和ADFI分别比对照组高9.5%、10.3%、5.3%;试验组雏鸡的BW、ADG和ADFI极显著($P<0.01$)高于对照组的,但组II和组III在BW、ADG和ADFI上的差异均无统计学意义($P>0.05$);组II和组III的料重比相较于对照组分别下降了4.0%和4.4%,表明添加博落回可一定程度降低料重比,但组间差异无统计学意义($P>0.05$)。可见,添加MCE可极显著促进雪峰乌骨鸡雏鸡的采食和生长发育。

表1 基础日粮中添加MCE的雪峰乌骨鸡雏鸡的生长性能

组别	BW/g	ADG/g	ADFI/g	F/G
对照组	(392.40±0.33)B	(8.55±0.25)B	(21.46±0.54)B	2.51±0.11
试验组II	(420.78±0.28)A	(9.23±0.24)A	(22.20±0.19)A	2.41±0.07
试验组III	(429.51±1.26)A	(9.43±0.30)A	(22.60±0.37)A	2.40±0.09

同列数据后不同字母示组间差异有统计学意义($P<0.01$)。

2.2 MCE对雪峰乌骨鸡雏鸡血清生化指标的影响

43日龄雏鸡的血清生化指标测定结果(表2)显示,组III雏鸡血清TP水平显著($P<0.05$)高于对照组和组II的,比对照组和组II的分别提高了58.9%和41.3%,组II与对照组的血清TP水平间的差异无统计学意义($P>0.05$);试验组雏鸡的血清BUN水平极显著($P<0.01$)低于对照组的,组II和组III的BUN水平相较于对照组分别下降了26.2%和27.5%,组II与组III的血清BUN水平间的差异无统计学意义($P>0.05$);血清ALB、ALT、AST水平的组间差异均无统计学意义($P>0.05$)。可见,添加MCE可改善雪峰乌骨鸡雏鸡的部分血清生化指标。

表2 基础日粮中添加MCE的43日龄雪峰乌骨鸡雏鸡的血清生化指标

组别	TP/(mg mL ⁻¹)	ALB/(mg mL ⁻¹)	BUN/(mmol L ⁻¹)	ALT/(U L ⁻¹)	AST/(U L ⁻¹)
对照组	(32.02±1.08)b	13.64±3.79	(5.31±0.36)A	3.37±1.13	28.47±8.94
试验组II	(36.01±1.49)b	16.34±0.76	(3.92±0.51)B	3.00±1.19	23.77±5.04
试验组III	(50.88±7.99)a	17.25±3.72	(3.85±0.32)B	2.88±1.59	21.05±3.64

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

2.3 MCE对雪峰乌骨鸡雏鸡肠道形态的影响

由图1可知,组II和组III的十二指肠绒毛较长,无明显损伤;对照组十二指肠绒毛变短增粗;肠道切片图中未见试验组与对照组空肠和回肠绒毛形态明显变化。由表3可知,试验组十二指肠的VH和VH/CD极显著($P<0.01$)高于对照组的,CD显著

($P<0.05$)低于对照组的,试验组间VH、CD、VH/CD的差异均无统计学意义($P>0.05$);与对照组相比,组II和组III十二指肠的VH分别提高了12.6%、13.6%,VH/CD分别提高了25.5%、32.9%,CD分别下降了10.5%、14.7%;组III空肠的VH/CD比对照组和组II的分别显著($P<0.05$)增加了6.2%和

2.6%，对照组和组 II 的 VH/CD 间差异无统计学意义($P>0.05$)；空肠的 VH、CD 和回肠的 VH、CD、VH/CD 各组间的差异均无统计学意义($P>0.05$)。可

见，MCE 可改善雪峰乌骨鸡雏鸡十二指肠黏膜的形态结构和空肠的 VH/CD，对回肠的黏膜结构无显著影响。

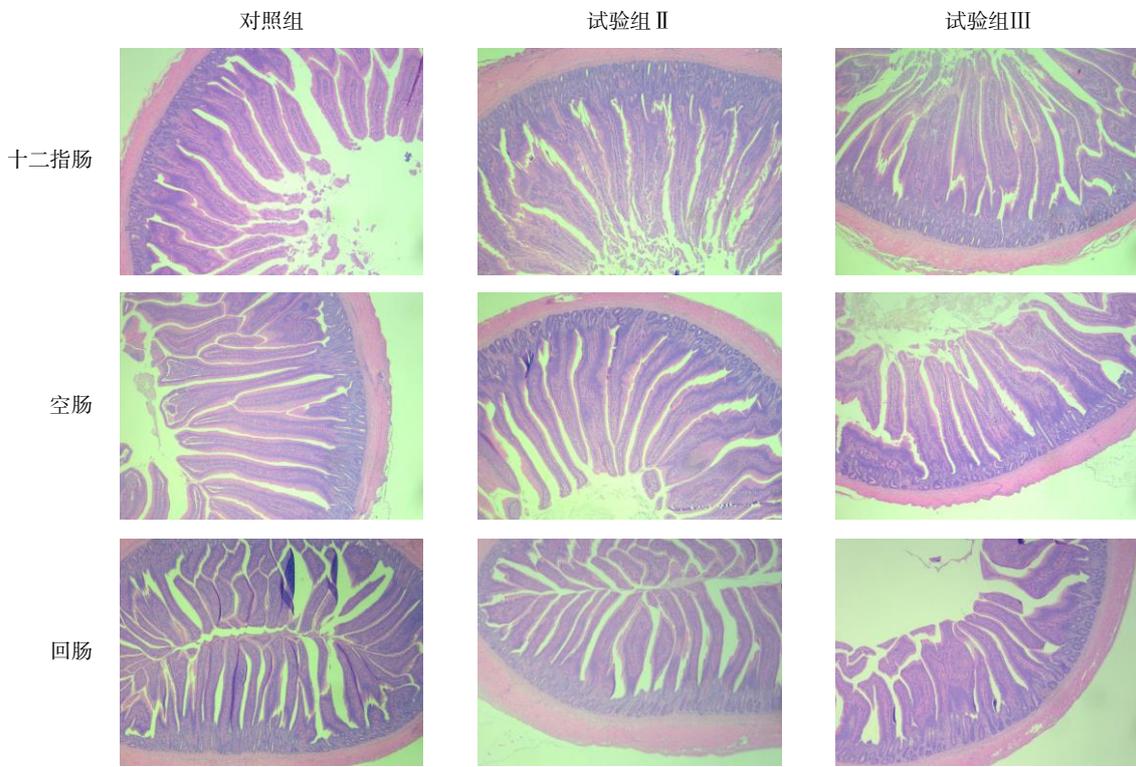


图1 基础日粮中添加MCE的雪峰乌骨鸡雏鸡的肠道形态

Fig.1 Intestinal morphology of Xuefeng black-bone chicks supplemented with MCE in the basal diet

表3 基础日粮中添加MCE的雪峰乌骨鸡雏鸡的肠道形态指数

Table 3 Intestinal morphology indices of Xuefeng black-bone chicks supplemented with MCE in the basal diet

肠段	组别	VH/ μm	CD/ μm	VH/CD
十二指肠	对照组	(1044.63 \pm 23.81)B	(204.21 \pm 10.94)a	(5.13 \pm 0.39)B
	试验组 II	(1175.86 \pm 40.79)A	(182.75 \pm 1.99)b	(6.44 \pm 0.25)A
	试验组 III	(1186.77 \pm 32.13)A	(174.14 \pm 8.36)b	(6.82 \pm 0.37)A
空肠	对照组	960.75 \pm 6.49	174.63 \pm 4.12	(5.50 \pm 0.37)b
	试验组 II	968.82 \pm 6.44	170.19 \pm 5.85	(5.69 \pm 0.23)b
	试验组 III	1005.74 \pm 9.84	172.05 \pm 4.55	(5.84 \pm 0.14)a
回肠	对照组	888.55 \pm 7.44	177.11 \pm 7.19	5.02 \pm 0.24
	试验组 II	908.61 \pm 10.93	168.52 \pm 6.08	5.39 \pm 0.23
	试验组 III	904.47 \pm 7.01	168.69 \pm 1.64	5.43 \pm 0.10

同列数据后不同小写、大写字母示同一肠段内组间差异有统计学意义($P<0.05$ 、 $P<0.01$)。

3 结论与讨论

本研究中，MCE 对雪峰乌骨鸡雏鸡的 BW、ADG 和 ADFI 具有极显著的促进作用。在畜牧生产中，研究人员在多个畜禽品种的饲养试验中添加 MCE，均观察到对生长发育的正向调节，如显著提

高断奶仔猪的 ADG 和 ADFI^[10]、提升火鸡的 ADG^[11]、降低肉仔鸡的 ADFI^[12]、提高肉鸡的 BW 和 ADFI^[13]等。本研究的结果与其类似。MCE 的主要有效成分为血根碱，研究^[14-15]证实血根碱可通过减少肠道中芳香氨基酸的脱酸来延长蛋白质在肠道中的停留时间，从而提高其利用率；血根碱还可

通过调节色氨酸-血清素的转化来影响动物采食量,从而起到促进动物生长发育的作用。

血清生化指标可有效反应动物的生理状况^[16-17]。本研究中,雪峰乌骨鸡雏鸡摄入 MCE 后,尽管血清中 ALB、ALT 和 AST 的水平无明显变化,但 TP 水平显著上升, BUN 水平极显著下降,表明添加 MCE 可提高机体合成蛋白的能力和氮的利用率,并最终表现为生长性能的提升,这与本研究试验组雏鸡的 BW、ADG 和 ADFI 等生长发育指标显著提升的结果一致。可能的原因是 MCE 促进肠道中双歧杆菌、乳酸杆菌等有益菌的增殖,增强消化酶活性,提高对蛋白的吸收利用^[18],而且 MCE 进入肠道后促进微生物发酵,产生短链脂肪酸,增加肠道酸度和化学屏障的形成,减少机体有害氮的产生^[8]。

小肠是分泌消化酶与吸收营养物质的场所,故肠道黏膜的形态结构与机体的生产或生长性能密切相关^[18-19]。VH、CD 和 VH/CD 常被用来衡量动物肠道形态结构和消化吸收功能,其数值大小与肠道健康呈正相关。研究^[20]显示, MCE 可通过抑制肠壁有害菌、减少有毒物质的产生和减少氧化损伤以保护肠上皮形态的完整性。YAKHKESHI 等^[21]研究表明,在肉鸡日粮中添加 MCE 后, MCE 的血根碱通过抑制肠壁中有害细菌的作用,减少有毒化合物的产生和对肠上皮细胞的损害,从而起到保护肠黏膜形态完整性的作用。CHEN 等^[22]研究表明,在日粮中添加 MCE 还可显著提升断奶山羊小肠的抗氧化能力,减轻小肠的氧化损伤,这对维持小肠上皮形态的完整性具有积极作用。日粮中添加 MCE 对雪峰乌骨鸡雏鸡可能发挥类似作用,从而显著提高了十二指肠的 VH 和 VH/CD,显著降低了十二指肠的 CD。由此可见,本研究中,试验组雏鸡的 BW、ADG 和 ADFI 显著高于对照组是由于雏鸡摄入 MCE 后其肠道形态得到了有效改善,促进其对营养物质的吸收而引起的。

参考文献:

[1] 尹景峰. 动物性食品中兽药残留的危害及其原因[J]. 山东畜牧兽医, 2019, 40(7): 55-56.
 [2] BUSSABONG P, RAIRAT T, CHUCHIRD N, et al. Effects of isoquinoline alkaloids from *Macleaya cordata* on growth performance, survival, immune response, and resistance to *Vibrio parahaemolyticus* infection of Pacific

white shrimp(*Litopenaeus vannamei*)[J]. PLoS One, 2021, 16(5): e0251343.

- [3] LIU Z Y, WANG X L, OU S Q, et al. Sanguinarine modulate gut microbiome and intestinal morphology to enhance growth performance in broilers[J]. PLoS One, 2020, 15(6): e0234920.
 [4] YANG X J, MIAO F, YAO Y, et al. In vitro antifungal activity of sanguinarine and chelerythrine derivatives against phytopathogenic fungi[J]. Molecules(Basel, Switzerland), 2012, 17(11): 13026-13035.
 [5] KHADEM A, SOLER L, EVERAERT N, et al. Growth promotion in broilers by both oxytetracycline and *Macleaya cordata* extract is based on their anti-inflammatory properties[J]. British Journal of Nutrition, 2014, 112(7): 1110-1118.
 [6] GUO S C, LIU L L, LEI J X, et al. Modulation of intestinal morphology and microbiota by dietary *Macleaya cordata* extract supplementation in Xuefeng Black-boned Chicken[J]. Animal, 2021, 15(12): 100399.
 [7] GUO S C, LEI J X, LIU L, et al. Effects of *Macleaya cordata* extract on laying performance, egg quality, and serum indices in Xuefeng black-bone chicken[J]. Poultry Science, 2021, 100(4): 101031.
 [8] HUANG P, ZHANG Y, XIAO K P, et al. The chicken gut metagenome and the modulatory effects of plant-derived benzylisoquinoline alkaloids[J]. Microbiome, 2018, 6(1): 211.
 [9] 陈思, 杜红方, 陈书琴, 等. 博落回和三丁酸甘油酯对黄羽肉鸡生长性能及肠道形态的影响[J]. 中国畜牧杂志, 2021, 57(7): 224-229.
 [10] KANTAS D, PAPATSIROS V G, TASSIS P D, et al. The effect of a natural feed additive (*Macleaya cordata*), containing sanguinarine, on the performance and health status of weaning pigs[J]. Animal Science Journal, 2015, 86(1): 92-98.
 [11] VIEIRA S L, BERRES J, REIS R N, et al. Studies with sanguinarine like alkaloids as feed additive in broiler diets[J]. Revista Brasileira De Ciência Avícola, 2008, 10(1): 67-71.
 [12] 柴毛毛, 郭玉光, 李阳源, 等. 博落回提取物替代抗生素对肉鸡生长性能、盲肠微生物及盲肠紧密连接的影响[J]. 微生物学报, 2020, 60(8): 1718-1728.
 [13] YESILBAG D, CETIN I, BALCI F, et al. Effects of dietary supplementation of two commercial plant extracts on the growth performance and ileal inflammation score in broiler chickens[J]. Acta Veterinaria Eurasia, 2020, 46(2): 68-74.
 [14] DRSA J, ULRICHOVÁ J, WALTEROVÁ D. Sanguinarine and chelerythrine as inhibitors of aromatic amino acid decarboxylase[J]. Journal of Enzyme Inhibition,

- 1996, 10(4): 231–237.
- [15] VIEIRA S L, OYARZABAL O A, FREITAS D M, et al. Performance of broilers fed diets supplemented with sanguinarine-like alkaloids and organic acids[J]. *Journal of Applied Poultry Research*, 2008, 17(1): 128–133.
- [16] 郝生宏, 董晓芳, 佟建明, 等. 耐制粒枯草芽孢杆菌对肉仔鸡生产性能、血清生化指标及粪便大肠杆菌的影响[J]. *中国畜牧杂志*, 2010, 46(19): 54–56.
- [17] 云龙. 血根碱制剂对黄羽肉鸡生长性能及抗氧化功能的影响[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2016.
- [18] WANG M, YANG C, WANG Q Y, et al. The growth performance, intestinal digestive and absorptive capabilities in piglets with different lengths of small intestines [J]. *Animal*, 2020, 14(6): 1196–1203.
- [19] XU Z, HU C, XIA M, et al. Effects of dietary fructooligosaccharide on digestive enzyme activities, intestinal microflora and morphology of male broilers [J]. *Poultry Science*, 2003, 82(6): 1030–1036.
- [20] XUE G D, WU S B, CHOCT M, et al. Impact of a *Macleaya cordata*-derived alkaloid extract on necrotic enteritis in broilers[J]. *Poultry Science*, 2017, 96(10): 3581–3585.
- [21] YAKHKESHI S, RAHIMI S, GHARIB NASERI K. The effects of comparison of herbal extracts, antibiotic, probiotic and organic acid on serum lipids, immune response, GIT microbial population, intestinal morphology and performance of broilers[J]. *Journal of Medicinal Plants*, 2011, 10(37): 80–95.
- [22] CHEN K, LIU Y, CHENG Y, et al. Supplementation of *Lactobacillus plantarum* or *Macleaya cordata* extract alleviates oxidative damage induced by weaning in the lower gut of young goats[J]. *Animals*, 2020, 10(4): 548.

责任编辑: 邹慧玲

英文编辑: 柳正

(上接第 158 页)

- [15] 邱昊日, 范雪, 马健, 等. 籽粒苋在动物饲料中应用的研究进展[J]. *饲料工业*, 2019, 40(3): 26–30.
- [16] 聂婷婷, 李芳, 祝振洲, 等. 籽粒苋的应用研究进展[J]. *安徽农业科学*, 2016, 44(4): 8–10.
- [17] AGUILAR E G, DE JESÚS ALBARRACÍN G, UÑATES M A, et al. Evaluation of the nutritional quality of the grain protein of new amaranths varieties[J]. *Plant Foods for Human Nutrition*, 2015, 70(1): 21–26.
- [18] 高金秋, 王露露, 程金芝, 等. 籽粒苋种子消毒初探[J]. *北京农业*, 2016(2): 47–48.
- [19] GB/T 2930.4—2017 草种子检验规程发芽试验[S].
- [20] 武建新, 李丹竹, 陈桂华, 等. 9 个白三叶品种对渗透胁迫和干旱胁迫的响应[J]. *湖南农业大学学报(自然科学版)*, 2018, 44(5): 463–468.
- [21] 刘克彪, 姜生秀. 干旱和钠盐胁迫对罗布麻种子萌发的影响[J]. *草业学报*, 2016, 25(5): 214–221.
- [22] 朱依晗, 刘宁芳, 胡龙兴, 等. 8 份绿穗苋种子萌发期耐盐碱性综合评价[J]. *草地学报*, 2021, 29(10): 2176–2183.
- [23] 郭改改, 封斌, 麻保林, 等. 不同区域长柄扁桃抗旱性的研究[J]. *植物科学学报*, 2013, 31(4): 360–369.
- [24] 王景瑞, 王立, 徐先英, 等. 干旱荒漠区 4 种一年生植物种子萌发期耐盐性[J]. *草业科学*, 2020, 37(2): 237–244.
- [25] 王俊娟, 王德龙, 樊伟莉, 等. 陆地棉萌发至三叶期不同生育阶段耐盐特性[J]. *生态学报*, 2011, 31(13): 3720–3727.
- [26] 杨春桃, 王梦寒, 陈艳宇. 盐胁迫下 30 个多花黑麦草品种的种子萌发特性及耐盐性评价[J]. *四川农业科技*, 2021(5): 23–25.
- [27] VAISHNAV A, SHUKLA A K, SHARMA A, et al. Endophytic bacteria in plant salt stress tolerance: current and future prospects[J]. *Journal of Plant Growth Regulation*, 2019, 38(2): 650–668.
- [28] 张雪. 盐胁迫对柽柳和白刺种子发芽及幼苗生长的影响[D]. 北京: 北京林业大学, 2016.
- [29] 檀龙颜. 油菜(*Brassica napus*)种子萌发响应 NaCl 胁迫的生理学与蛋白质组学研究[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2014.
- [30] 冯钟慧, 刘立东, 谢丽侠, 等. 不同品种籽粒苋种子萌发期耐盐性鉴定评价[J]. *南方农业*, 2019, 13(32): 137–138.
- [31] KINSOU E, MONTCHO D, ZANKLAN S A, et al. Salt resistance of tomato(*Lycopersicon esculentum* Mill.) cultivars produced in Benin at germination stage[J]. *International Journal of Plant & Soil Science*, 2019, 28(2): 1–12.
- [32] 宋国英. NaCl 胁迫下 8 个黑青稞品种的萌发特性与耐盐性评价[J]. *大麦与谷类科学*, 2021, 38(6): 1–6.

责任编辑: 毛友纯

英文编辑: 柳正