

白藜芦醇和血根碱对 2~6 月龄犊牛生长性能和血清生化指标的影响

张卫兵¹, 张 蓉¹, 毕研亮¹, 屠 焰¹, 杜汉昌², 田忠红², 刁其玉^{1*}

(1. 中国农业科学院饲料研究所, 农业部饲料生物技术重点实验室, 奶牛营养学北京市重点实验室, 北京 100081;
2. 山东农业生物免疫技术工程实验室, 山东银香伟业集团有限公司, 菏泽 274500)

摘 要: 旨在研究白藜芦醇(resveratrol, RES)和血根碱(sanguinarine, SAG)对 2~6 月龄犊牛生长性能和血清生化指标的影响。本研究选用 54 头 5 日龄, 体重为 42 kg 左右的荷斯坦母犊牛, 随机分成 3 个处理, 每个处理 18 头。处理分别为: 代乳粉(milk replacer, MR)组(MR 组), 作为基础饲粮; 血根碱组(基础饲粮+SAG 0.05 mg·(kg BW)⁻¹, SAG 组)和白藜芦醇组(基础饲粮+RES 4 mg·(kg BW)⁻¹, RES 组)。在 56、90、120、150 和 180 日龄测定犊牛体重和体尺; 在 60 和 180 日龄采集血液, 测定血清生化指标。结果表明: 1) 与 MR 组相比, 添加 RES 显著提高 180 日龄犊牛体重($P<0.05$), SAG 对 180 日龄犊牛体重的提高达到显著的趋势($P=0.0812$); 2) 体尺方面, SAG 对 150 和 180 日龄犊牛体高有显著增加作用($P<0.05$), 对 180 日龄犊牛十字部高也有显著增加作用($P<0.05$); 3) 与 MR 组相比, 60 日龄时, RES 和 SAG 显著降低犊牛血清游离脂肪酸(FFA)和胰岛素(INS)浓度($P<0.05$); RES 显著提高 60 日龄犊牛血清生长激素(GH)、表皮生长因子(EGF)和类胰岛素生长因子-1(IGF-I)浓度($P<0.05$); SAG 和 RES 显著提高 60 日龄犊牛免疫球蛋白 A 的浓度($P<0.05$); SAG 和 RES 对免疫球蛋白 G(IgG)影响不显著($P>0.05$); 60 日龄, SAG 组犊牛血清丙二醛(MDA)浓度显著高于 MR 组($P<0.05$); RES 和 SAG 对犊牛血清超氧化物歧化酶(SOD)、谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-PX)和总抗氧化力(T-AOC)没有显著影响($P>0.05$)。研究结果表明, 犊牛饲粮中添加 RES 和 SAG 分别提高了犊牛 180 日龄体重和体高, 均具有改善犊牛血清抗氧化指标的效果。

关键词: 犊牛; 植物提取物; 白藜芦醇; 血根碱; 犊牛培育

中图分类号: S823.5

文献标志码: A

文章编号: 0366-6964(2018)09-1940-12

Effect of Resveratrol and Sanguinarine on Growth Performance and Blood Biochemical Indices of 2-6 Months Old Calves

ZHANG Wei-bing¹, ZHANG Rong¹, BI Yan-liang¹, TU Yan¹,
DU Han-chang², TIAN Zhong-hong², DIAO Qi-yu^{1*}

(1. *Beijing Key Laboratory for Dairy Cow Nutrition, Key Laboratory of Feed Biotechnology of the Ministry of Agriculture, Feed Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China*; 2. *Shandong Agricultural Biological Immune Technology Engineering Laboratory, Shandong Yinxiang Weiye Group Co., Ltd., Heze 274500, China*)

Abstract: This study was conducted to investigate the effects of resveratrol (RES) and sanguinarine (SAG) on the growth performance and serum biochemical indexes of 2-6 months old calves. Fifty-four female Holstein calves of 5 days old with average body weight of 42 kg were randomly assigned to 3 groups with 18 calves in each group. Calves were fed one of the following diets: a milk replacer (MR) as the basal diet (MR group), a basal diets supplemented with SAG

收稿日期: 2018-02-02

基金项目: 中国农业科学院科技创新工程协同创新任务(CAAS-XTCX2016011-01); 奶牛产业技术体系北京市创新团队

作者简介: 张卫兵(1981-), 男, 山东东明人, 博士生, 主要从事反刍动物营养与饲料科学研究, Tel: 010-62140612, E-mail: yiebing_512@163.com

* 通信作者: 刁其玉, 研究员, 博士生导师, E-mail: diaoqiuyu@caas.cn

(0.05 mg · (kg BW)⁻¹, SAG group) or a basal diet supplemented with RES (4 mg · (kg BW)⁻¹, RES group). Calves were measured for body weight and body size on 56, 90, 120, 150 and 180 days of age. Blood was collected on 60 and 180 days of age for detecting serum biochemical indexes. The results showed that: 1) Compared with MR group, RES supplementation significantly increased the body weight of 180 days old calves ($P < 0.05$). The body weight of 180 days old calves in SAG treatment had a trend to increase ($P = 0.0812$); 2) In body size, SAG supplementation significantly increased the body height of 150 and 180 days old calves ($P < 0.05$), and hip height of 180 days old calves ($P < 0.05$); 3) Compared with MR group, RES and SAG supplementation significantly decreased serum FFA and INS concentrations of 60 days old calves ($P < 0.05$); RES supplementation significantly increased serum GH, EGF and IGF- I concentrations of 60 days old calves ($P < 0.05$); SAG and RES supplementation significantly increased IgA concentrations of 60 days old calves ($P < 0.05$); SAG and RES supplementation had no significant effect on IgG ($P > 0.05$); Serum MDA concentration of 60 days old calves in SAG treatment group were higher than that in MR group ($P < 0.05$). RES and SAG supplementation had no significant effect on serum SOD, GSH-PX and T-AOC concentrations of calves ($P > 0.05$). In conclusion, the addition of RES and SAG in diets increased the body weight and body height of 180 days old calves, respectively, and improved the serum antioxidant indexes of calves.

Key words: calf; plant extracts; resveratrol; sanguinarine; calf breeding

犊牛是奶牛场的未来,犊牛培育是牛场的关键环节。但犊牛出生后要经历营养、环境和心理的转变,由于消化酶分泌不足,胃肠道发育不全,免疫系统未建立,日粮形态变化等原因,在转变过程中会出现一些问题,如腹泻、呼吸道疾病和高水平氧化应激等,为犊牛的培育带来巨大挑战。为了应对这个挑战,传统做法是在犊牛培育过程中添加适当抗生素作为生长促进剂,在维持犊牛健康的情况下又能取得较理想增重。但在动物生产中使用抗生素的社会接受度越来越低,因此寻找经济、有效、有机的生长促进剂变得异常重要。植物提取物因具有天然性、多功能性、无抗药性等独特性质而逐渐成为抗生素作为生长促进剂的理想替代品。植物提取物在动物营养上已显示出具有提高饲料转化效率、促进动物生长、抗氧化应激、提高免疫力和调控瘤胃发酵等特性。白藜芦醇和血根碱就是两种天然的植物提取物。白藜芦醇(resveratrol, RES)是一种非黄酮类多酚物质,广泛存在于葡萄、花生及中药虎杖等植物中,RES 及其衍生物具有许多生物活性和药理作用,包括抗氧化活性,神经保护活性,心保护能力^[1]。血根碱(sanguinarine, SAG)是一种苯菲啶异喹啉类生物碱,主要存在于博落回、白屈菜、血水草以及紫堇中,具有抗菌、抗氧化以及抗炎症作用,也用来控制血吸虫,此外还具有抗肿瘤特性^[2]。

RES 和 SAG 作为饲料添加剂在单胃动物上进行了一些研究^[3-6],但在反刍动物上的研究很少^[7-10],尤其是在幼龄反刍动物的生长性能方面。因此,本试验研究了 RES 和 SAG 对 2~6 月龄荷斯坦犊牛生长性能和血清指标的影响,为 RES 和 SAG 在犊牛生产中的应用提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验时间与地点

试验于 2015 年 11 月—2016 年 2 月在山东省菏泽市曹县银香伟业第二牧场进行。平均气温和相对湿度分别为 5~30 °C 和 30%~60%。

1.2 试验饲料与试验设计

代乳粉(milk replacer, MR),专利编号 ZL 02128844.5,来自北京精准动物营养研究中心。

血根碱(sanguinarine, SAG),纯度>99%;白藜芦醇(resveratrol, RES),纯度>98%。二者均来自湖南美可达生物资源有限公司。

犊牛开食料来自牛场的饲料厂。

选用饲喂合格初乳、具有相似遗传背景、体重一致、健康的 5 日龄中国荷斯坦母犊牛 54 头,先在犊牛岛内饲养,每个犊牛岛(1.2 m×2.0 m,垫料为锯末)饲养 1 头犊牛。按照体重和日龄一致原则,将犊牛随机分为 3 组,每组 18 头。分别记为:MR 组、RES

组和 SAG 组。MR 组为对照组单独饲喂 MR;SAG 组在饲喂 MR 的基础上每千克体重添加 0.05 mg SAG;RES 组在饲喂 MR 的基础上每千克体重添加 4 mg RES。犍牛 60~63 日龄断奶,断奶后相同处理的犍牛放在同一牛圈,直到 180 日龄。SAG 和 RES 在犍牛断奶前添加到代乳粉液体中饲喂犍牛,断奶后 RES 和 SAG 添加到犍牛料里面饲喂犍牛。随着犍牛体重增加,SAG 和 RES 添加量每 2 周调整 1 次。

Vieira 等^[3]对博落回提取物(主要以 SAG 为主,其中 SAG 含量≥1.5%)在肉鸡日粮中的使用剂量范围为 0.01~0.045 mg·(kg BW)⁻¹,并且在 0.035 mg·(kg BW)⁻¹时饲料转化率和增重最好。饶华等^[11]在 8~25 kg 仔猪饲料中添加 SAG 量为 0.021~0.023 mg·(kg BW)⁻¹,本试验考虑到犍牛

可能有部分的代乳粉液体进瘤胃,选择 SAG 的添加量为 0.05 mg·(kg BW)⁻¹。RES 的添加量来自本实验室在绵羊上的推荐量。

1.3 饲养管理

试验开始前,用强力消毒灵溶液对整个圈舍进行全面的喷雾消毒,之后每周对所有栏位重复消毒 1 次,每隔 2 周用 10%生石灰消毒牛舍。

MR 中不添加抗生素等生长促进剂或抗球虫药物。断奶前所有犍牛均采食代乳粉,14 日龄开始给所有犍牛提供 0~3 月龄开食料直到 3 月龄;断奶后提供优质粗饲料(苜蓿草和燕麦草),4 月龄开始由 0~3 月龄开食料换成 4~6 月龄开食料直到 180 日龄。开食料和干草以及清洁饮水均自由采食,MR 的营养成分,开食料组成和营养水平见表 1。

表 1 基础饲料组成及营养水平(风干基础)

Table 1 Composition and nutrient levels of basal diets(air-dry basis)				%
项目 Item	代乳粉 Milk replacer	开食料 Starter		
		0~3 月龄	4~6 月龄	
		0-3 months old	4-6 months old	
原料 Ingredient				
玉米 Corn		55.65	56.50	
豆粕 Soybean meal		26.20	23.15	
膨化大豆 Extruded soy		7.00	0.00	
麸皮 Wheat bran		3.90	10.00	
玉米干酒糟及其可溶物 Corn DDGS		3.00	6.00	
石粉 Limestone		2.25	2.30	
磷酸氢钙 CaHPO ₄		0.60	0.55	
食盐 NaCl		0.40	0.50	
预混料 Premix ¹		1.00	1.00	
合计 Total		100.00	100.00	
营养水平 Nutrient level ²				
干物质 DM	94.68	87.94	87.77	
粗蛋白质 CP	22.93	20.00	18.00	
粗脂肪 EE	16.02	3.86	3.21	
总能/(MJ • kg ⁻¹) GE	19.96	16.73	16.36	
中性洗涤纤维 NDF	5.07	9.79	11.41	
酸性洗涤纤维 ADF	1.52	3.77	3.95	
粗灰分 Ash	4.30	6.94	6.99	
钙 Ca	0.90	1.00	1.00	
磷 P	0.49	0.45	0.45	

¹. 预混料为每 kg 饲料提供:维生素 A 15 000 IU;维生素 D₃ 5 000 IU;维生素 E 50 mg;铜 12.5 mg;铁 90 mg;锌 90 mg;锰 60 mg;碘 1.0 mg;硒 0.3 mg;钴 0.5 mg。². 数据为实测值

¹. The premix provided the following per kg of diets: VA 15 000 IU; VD₃ 5 000 IU; VE 50 mg; Cu 12.5 mg; Fe 90 mg; Zn 90 mg; Mn 60 mg; I 1.0 mg; Se 0.3 mg; Co 0.5 mg. ². Data are measured values

1.4 样品采集及分析方法

1.4.1 饲料样品采集 每天进行代乳粉和开食料的样品采集,正试期内的样品混匀后储存在自封袋里,−20 ℃冷冻保存待测。

1.4.2 血液样品的采集 犊牛 60、180 日龄时采集血样。每组选取 10 头牛,在早晨第 1 次饲喂前,由颈静脉采血约 10 mL,倾斜放置至析出血清为止,3 000 r·min^{−1}离心 10 min,收集血清于试管中,−20 ℃保存,待测。

1.4.3 生长性能指标测定 56、90、120、150 和 180 日龄在晨饲前称重,并在同日龄测量体高、胸围、体长、十字部高和十字部宽。

1.4.4 样品分析测定 颗粒料中营养水平的测定:总能(GE)、干物质(DM)、粗蛋白质(CP)、粗脂肪(EE)、粗灰分、钙(Ca)、磷(P)和中性洗涤纤维(NDF)和酸性洗涤纤维(ADF)含量参照张丽英^[12]的测定方法进行。

血清指标包括血清生化指标、血清激素指标和血清免疫指标。游离脂肪酸(FFA)、免疫球蛋白 A(IgA)、免疫球蛋白 G(IgG)、免疫球蛋白 M(IgM)、超氧化物歧化酶(SOD)、谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-PX)、总抗氧化力(T-AOC)、过氧化氢酶(CAT)、丙二醛(MDA)用全自动生化分析仪(日立 7160,日本)分析,试剂盒来自北京华英生物技术研究。血清尿素氮(SUN)用全自动生化分析仪(日立 7160,日本)分析,试剂盒来自中生北控股份有限公司。胰岛素(INS)、去甲肾上腺素(NE)用全自动放免计数仪(r-911,中国)测定,试剂盒来自北京华英生物技术研究。皮质醇(COR)、白介素-1β(IL-1β)、肿瘤坏死因子-α(TNF-α)、γ 干扰素(γ-IFN)、生长激素(GH)、类胰岛素样生长因子-I(IGF-1)、表皮生长因子(EGF)用全自动酶标仪(STAT FAX 2100,美国)检测,试剂盒来自北京华英生物技术研究。

1.5 数据统计和分析

数据表示为“平均数和标准误(standard error of mean, SEM)”。数据采用 SAS9.4 统计软件中的 MIXRD 模型分析,犊牛个体作为误差项分析主效应,时间以及时间与主效应的交互作为残差。当主效应之间有交互作用时用最小显著差数法(least significant difference, LSD)比较平均数的差异。 $P<0.05$ 表示统计差异显著, $0.05\leq P\leq 0.10$ 表示有统计显著差异的趋势。

统计分析模型: $Y_{ijk}=\mu+T_i+D_j+TD_{ij}+C(T)_{ik}+\varepsilon_{ijk}$,

式中, Y_{ijk} 为因变量; μ 为总体均值; T_i 为处理($i=1,2,3$),固定效应; D_j 为日龄($j=56、60、90、120、150、180$),固定效应; TD_{ij} 为处理和日龄的交互作用; $C(T)_{ik}$ ($i=1,2\cdots 54$)为受试犊牛,随机效应; ε_{ijk} 为残差。

2 结 果

2.1 RES 和 SAG 对犊牛生长性能的影响

由表 2 可以看出,试验开始时各组犊牛体重之间差异不显著($P>0.05$)。RES 和 SAG 组犊牛 120 和 150 日龄的体重均高于 MR 组,有达到显著水平的趋势($P=0.085\ 6$ 和 $P=0.050\ 4$)。RES 显著提高 180 日龄犊牛体重($P=0.019\ 9$),SAG 对 180 日龄犊牛体重提高也有达到显著的趋势($P=0.081\ 2$),3 个组犊牛体重分别为 182.14、196.28 和 192.70 kg。组间总增重差异不显著($P>0.05$),但 RES 组犊牛 180 日龄体重比 MR 组提高了 14.14 kg。

体尺方面,日粮添加 SAG 促进犊牛体高和十字部高的增加,SAG 对 150 和 180 日龄犊牛体高有显著的增加作用($P=0.029\ 5$ 和 $P=0.012\ 3$),对 180 日龄犊牛十字部高也有显著的增加作用。RES 有提高犊牛十字部宽增量的趋势($P=0.070\ 4$)。RES 和 SAG 对 56~180 日龄犊牛体长和胸围没有显著影响($P>0.05$)。

2.2 RES 和 SAG 对犊牛血清指标的影响

从表 3 可以看出,RES 和 SAG 对 60 日龄犊牛血清 FFA、INS、GH、EGF 和 IGF-1 浓度产生显著影响($P<0.05$)。与 MR 组相比,60 日龄时 RES 和 SAG 显著降低血清 FFA 和 INS 浓度($P=0.001\ 0$ 和 $P=0.007\ 0$),180 日龄时差异消失($P>0.05$)。RES 显著提高 60 日龄犊牛血清 GH、EGF 和 IGF-I 浓度($P=0.000\ 7$ 、 $P<0.000\ 1$ 和 $P=0.000\ 1$),180 日龄时差异消失($P>0.05$)。SAG 显著降低 60 日龄犊牛血清 EGF 浓度($P<0.000\ 1$)。RES 和 SAG 对犊牛血清 SUN、COR 和 NE 浓度没有显著影响($P>0.05$)。

由表 4 可知,体液免疫指标方面,与 MR 组相比 SAG 显著降低 60 日龄犊牛血清 IgA($P=0.014\ 8$)和 180 日龄 IgM 浓度($P=0.009\ 3$),对 IgG 影响不显著($P>0.05$)。免疫因子中,60 日龄 SAG 组犊牛血清 TNF-α 浓度显著低于 RES 组($P=0.031\ 3$),但与 MR

表 2 RES 和 SAG 对犊牛生长性能的影响

Table 2 Effects of the RES and SAG on growth performance of calves

项目 Item	日龄 Days of age	处理 Treatment			SEM	P 值 P-value		
		MR	RES	SAG		处理 Treatment	日龄 Days of age	处理×日龄 Treatment× Days of age
体重/kg Body weight	56	67.03	68.64	69.41	4.039	0.677 2	<0.000 1	0.060 9
	90	89.33	94.37	90.32	4.282	0.392 5		
	120	114.32	124.72	121.20	4.427	0.085 6		
	150	142.86	153.21	154.73	4.427	0.050 4		
	180	182.14 ^b	196.28 ^a	192.70 ^{ab}	4.427	0.019 9		
总增重 Total weight gain		114.73	127.83	123.81	5.021	0.154 9	<0.000 1	0.615 3
体长/cm Body length	56	87.50	87.37	87.59	1.322	0.904 5		
	90	90.98	91.93	93.78	1.685	0.200 6		
	120	102.97	104.29	104.60	1.497	0.421 0		
	150	112.02	112.27	114.97	1.497	0.144 3		
	180	119.11	120.51	121.82	1.497	0.181 8		
增长 Growth		31.23	33.47	34.20	1.362	0.230 6	<0.000 1	0.011 8
体高/cm Body height	56	82.11	83.50	83.12	0.893	0.261 2		
	90	89.47	89.36	89.29	0.930	0.888 0		
	120	93.86	94.83	95.39	0.962	0.244 5		
	150	98.27 ^b	99.45 ^{ab}	101.17 ^a	0.980	0.029 5		
	180	103.86 ^b	105.45 ^{ab}	107.17 ^a	0.962	0.012 3		
增长 Growth		21.95	22.27	24.06	0.880	0.111 2	<0.000 1	0.604 9
胸围/cm Heart girth	56	94.28	95.72	96.47	1.391	0.455 8		
	90	106.97	106.68	107.24	1.527	0.773 2		
	120	111.64	114.74	114.86	1.508	0.118 8		
	150	118.28	120.44	120.55	1.508	0.270 3		
	180	129.19	131.54	131.99	1.508	0.174 6		
增长 Growth		34.70	36.57	35.69	1.367	0.534 0	<0.000 1	0.086 1
十字部高/cm Hip height	56	86.92	88.84	88.41	0.922	0.138 9		
	90	94.95	94.83	95.02	0.968	0.878 6		
	120	99.69	99.95	100.85	1.016	0.398 6		
	150	104.23	105.45	106.76	1.017	0.067 8		
	180	109.86 ^b	111.42 ^{ab}	112.60 ^a	0.999	0.045 7		
增长 Growth		23.20	22.92	24.25	0.967	0.475 5	<0.000 1	0.778 3
十字部宽/cm Hip width	56	23.68	23.31	23.65	0.406	0.513 6		
	90	25.11	25.60	25.76	0.461	0.285 8		
	120	28.37	28.49	28.43	0.450	0.841 2		
	150	30.11	30.02	30.61	0.461	0.329 1		
	180	31.52	32.22	32.13	0.461	0.259 0		
增长 Growth		7.91 ^b	9.14 ^a	8.53 ^{ab}	0.517	0.070 4		

不同处理间,同行无字母或数据肩标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 row, values with no letter or the same letter superscripts mean no significant difference between the treatments ($P>0.05$), values with different small letter superscripts mean significant difference between the treatments ($P<0.05$). The same as the following tables

组无显著差异($P>0.05$)。血清 γ -IFN 和 IL-1 β 浓度不受 RES 和 SAG 影响($P>0.05$)。RES 和 SAG 对犊牛血清 ALT 和 AST 没有显著影响($P>0.05$)。抗氧化指标方面,60 日龄时 SAG 组犊牛血清 MDA 浓度显著高于 MR 组($P=0.001\ 1$),180

日龄时组间无显著差异($P>0.05$);SAG 组 60 日龄犊牛血清 CAT 浓度显著低于 RES 组($P=0.034\ 9$),但与 MR 组无显著差异($P>0.05$);RES 和 SAG 对犊牛血清 SOD、GSH-PX 和 T-AOC 无显著影响($P>0.05$)。

表 3 RES 和 SAG 对犊牛血清营养物质代谢以及内分泌指标的影响

Table 3 Effects of the RES and SAG on levels of nutrient metabolism and endocrine indexes in the serum of calves

项目 Item	日龄 Days of age	处理 Treatment			SEM	P 值 P-value		
		MR	RES	SAG		处理 Treatment	日龄 Days of age	处理×日龄 Treatment× Days of age
血清尿素氮/(mmol·L ⁻¹)	60	7.74	7.92	7.50	2.365	0.899 5	0.646 0	0.969 8
Serum urea nitrogen, SUN	180	6.78	7.08	7.33	0.428	0.375 8		
	平均值 Mean	7.26	7.50	7.41	1.177	0.989 9		
游离脂肪酸/(mmol·L ⁻¹)	60	0.44 ^a	0.36 ^b	0.38 ^b	0.015	0.001 0	0.803 4	0.100 5
Free fatty acids, FFA	180	0.41	0.40	0.39	0.014	0.503 0		
	平均值 Mean	0.42 ^a	0.38 ^b	0.39 ^b	0.009	0.003 5		
皮质醇/(ng·mL ⁻¹)	60	16.23	16.23	17.05	2.234	0.799 0	0.803 5	0.544 5
Cortisol, COR	180	8.92	16.84	20.65	5.314	0.126 3		
	平均值 Mean	12.58 ^b	16.53 ^{ab}	18.85 ^a	1.955	0.083 3		
胰岛素/(uIU·mL ⁻¹)	60	15.29 ^a	8.61 ^b	10.12 ^b	1.253	0.007 0	0.210 0	0.209 6
Insulin, INS	180	13.82	12.77	12.38	1.558	0.516 4		
	平均值 Mean	14.56 ^a	10.69 ^b	11.25 ^b	0.871	0.008 2		
去甲肾上腺素/(pg·mL ⁻¹)	60	398.74	430.10	370.60	28.472	0.592 8	0.713 5	0.269 3
Norepinephrine, NE	180	411.55	398.01	409.53	17.687	0.151 1		
	平均值 Mean	405.15	424.06	390.06	18.102	0.643 0		
生长激素/(ng·mL ⁻¹)	60	3.94 ^b	4.55 ^a	3.95 ^b	0.112	0.000 7	0.879 7	0.388 0
Growth hormone, GH	180	3.98	4.25	4.14	0.236	0.416 4		
	平均值 Mean	3.96	4.40	4.05	0.135	0.066 1		
表皮生长因子/(ng·mL ⁻¹)	60	0.81 ^b	0.88 ^a	0.64 ^c	0.020	<0.000 1	0.593 4	0.013 7
Epidermal growth factor, EGF	180	0.87	0.73	0.80	0.062	0.119 9		
	平均值 Mean	0.84 ^a	0.80 ^{ab}	0.72 ^b	0.031	0.030 1		
类胰岛素样生长因子-I/(ng·mL ⁻¹)	60	167.44 ^b	213.37 ^a	168.57 ^b	7.209	0.000 1	0.517 2	0.036 9
Insulin-like growth factor-I, IGF-I	180	195.43	174.65	203.14	19.732	0.316 3		
	平均值 Mean	181.44	194.01	185.86	10.521	0.695 7		

表 4 RES 和 SAG 对犊牛血清免疫和抗氧化指标的影响

Table 4 Effects of the RES and SAG on levels of immunity and antioxidant indexes in the serum of calves

项目 Item	日龄 Days of age	处理 Treatment			SEM	P 值 P-value		
		MR	RES	SAG		处理 Treatment	日龄	处理×日龄
							Days of age	Treatment× Days of age
免疫球蛋白 A/(g·L ⁻¹) Immunoglobulin A, IgA	60	0.70 ^a	0.63 ^b	0.65 ^b	0.018	0.014 8	<0.000 1	0.130 3
	180	0.74	0.74	0.72	0.010	0.193 2		
	平均值 Mean	0.72 ^a	0.69 ^b	0.68 ^b	0.010	0.022 0		
免疫球蛋白 G/(g·L ⁻¹) Immunoglobulin G, IgG	60	10.12	10.04	9.72	0.305	0.365 5	0.026 5	0.222 1
	180	10.12	10.53	10.49	0.157	0.071 1		
	平均值 Mean	10.12	10.29	10.11	0.187	0.746 6		
免疫球蛋白 M/(g·L ⁻¹) Immunoglobulin M, IgM	60	2.43	2.53	2.32	0.074	0.054 7	0.047 6	0.814 5
	180	2.59 ^a	2.66 ^a	2.39 ^b	0.069	0.009 3		
	平均值 Mean	2.51 ^a	2.60 ^a	2.35 ^b	0.050	0.006 4		
肿瘤坏死因子-α/(pg·mL ⁻¹) Tumor necrosis factor α, TNF-α	60	54.80 ^{ab}	57.90 ^a	51.55 ^b	1.976	0.031 3	0.032 2	0.116 8
	180	53.18	50.85	51.15	1.560	0.299 1		
	平均值 Mean	53.99	54.38	51.35	1.350	0.243 7		
γ 干扰素/(pg·mL ⁻¹) γ interferon, γ-IFN	60	34.02	35.42	33.64	0.907	0.176 1	0.332 8	0.475 1
	180	37.99	34.18	36.17	2.830	0.349 2		
	平均值 Mean	36.01	34.80	34.90	1.432	0.805 1		
白介素-1β/(pg·mL ⁻¹) Interleukin-1β, IL-1β	60	20.77	21.17	20.06	0.564	0.369 1	0.679 8	0.888 4
	180	20.68	20.67	20.08	0.480	0.175 6		
	平均值 Mean	20.73	20.92	20.07	0.340	0.200 9		
谷丙转氨酶/(U·L ⁻¹) Alanine aminotransferase, ALT (U/L)	60	16.54	22.52	24.39	3.154	0.089 9	0.615 4	0.344 4
	180	19.00	21.85	19.54	1.378	0.156 2		
	平均值 Mean	17.77	22.18	21.97	1.701	0.137 8		
谷草转氨酶/(U·L ⁻¹) Aspartate aminotransferase, AST	60	54.01	58.23	62.94	5.795	0.285 7	0.510 6	0.455 7
	180	59.26	50.50	56.12	4.050	0.137 7		
	平均值 Mean	56.64	54.36	59.53	2.962	0.476 1		
超氧化物歧化酶/(U·mL ⁻¹) Superoxide dismutase, SOD	60	49.32	50.59	48.26	1.753	0.355 7	0.996 8	0.441 1
	180	52.62	47.36	48.16	3.195	0.254 1		
	平均值 Mean	50.97	48.97	48.21	1.864	0.563 7		
谷胱甘肽过氧化物酶/(U·mL ⁻¹) Glutathione peroxidase, GSH-Px	60	1 136.47	1 166.73	1 123.97	58.535	0.609 7	0.996 4	0.996 0
	180	1 129.88	1 172.81	1 125.26	86.861	0.701 7		
	平均值 Mean	1 133.18	1 169.77	1 124.62	54.111	0.822 8		
总抗氧化力/(U·mL ⁻¹) Total antioxidant capacity, T-AOC	60	10.85	10.78	10.86	0.439	0.896 1	0.989 4	0.887 1
	180	10.74	11.15	10.62	0.848	0.663 3		
	平均值 Mean	10.79	10.96	10.74	0.494	0.946 2		
过氧化氢酶/(U·mL ⁻¹) Catalase, CAT	60	42.68 ^{ab}	43.55 ^a	42.03 ^b	0.484	0.034 9	0.997 4	0.253 2
	180	36.50	46.23	45.51	4.302	0.121 7		
	平均值 Mean	39.59	44.89	43.77	2.101	0.189 9		
丙二醛/(nmol·mL ⁻¹) Malondialdehyde, MDA	60	37.61 ^b	35.06 ^b	44.87 ^a	1.904	0.001 1	<0.000 1	0.027 5
	180	7.04	6.26	8.07	0.961	0.194 0		
	平均值 Mean	22.33 ^b	20.66 ^b	26.47 ^a	1.097	0.002 7		

3 讨 论

3.1 RES 和 SAG 对犊牛生长性能的影响

RES 和 SAG 用于反刍动物促生长剂的研究不多,其对单胃动物的促生长效果也未取得一致结果^[12-15]。本试验中,添加 RES 提高了 6 月龄荷斯坦犊牛体重。这与 Zhang 等^[13]在肉鸡上添加 RES 得到的结果相同。在应激条件下畜禽生产性能会降低,但是在热应激或者注射疫苗的情况下添加 RES 能提高生长性能^[14]。此外,在猪和鹌鹑上添加 RES 对猪的体增重和采食量以及对鹌鹑的产蛋量影响不显著^[4,15],与本试验结论不一致。RES 是有效的植物雌激素^[16],与雌二醇在结构上极为相似,都具有多酚结构,可通过下丘脑-垂体激素轴影响 GH 分泌, GH 在直接促进机体蛋白质合成的同时促进生长激素受体发育,通过提高 IGF-1 分泌水平,发挥其对肌肉组织促生长作用,最终使动物生长速度加快^[17]。这可能是 RES 促进动物生长性能的一个原因。RES 提高动物生长性能,在不同动物表现形式不一样,可能是由于动物种类不同造成的。SAG 或者类似物显著提高断奶仔猪^[5]和鲤鱼^[18]的生长性能,这与本试验结果趋势一致,但本试验条件下没有达到显著水平。在热应激条件下, SAG 或者类似物也可提高绵羊的生长性能^[9]。有研究报道,在产奶牛上添加博落回提取物(主要成分为 SAG),不影响奶牛增重、产奶量以及采食量^[19]。尽管 SAG 对犊牛体重增加没有达到显著水平,但在 180 日龄时显著提高犊牛的体高和十字部高。可能是 SAG 具有一定的调控作用,使得更多的营养物质用于四肢骨骼发育,这为奶牛成年后具有优秀生产性能奠定了一定的基础。也有人认为是由于 SAG 在胃肠道内不可逆的抑制了 L-氨基酸脱羧酶活性,减少芳香族氨基酸降解,提高了动物对色氨酸、苯丙氨酸在小肠中的利用效率和蛋白质的存留率,进而提高了动物生长性能^[20]。也可能是由于 RES 和 SAG 都具有抗菌作用,保证了犊牛健康,促进了犊牛生长。

3.2 RES 和 SAG 对犊牛血清指标的影响

血清生化指标经常用来反映动物机体健康状况,这些参数是动物生理、病理和营养状态的良好指标,并有可能用于阐明营养因素和饮食中添加剂对血清指标的影响。FFA 是动物机体中重要的能量代谢物质,其代谢可以敏感地反映脂质代谢,并且其浓度变化反映机体的营养状况和体力活动^[21]。

Rivera 等^[22]在肥胖 Zucker 大鼠上的研究发现, RES 导致 FFA 浓度显著降低,此外丁亚南等^[23]在雄性 SD 大鼠上添加 RES 也显著降低血清 FFA 浓度,与本试验结论一致。Sergent 等^[24]在模拟肠脂肪消化的体外模型中,添加 RES 可以通过抑制三酰甘油消化降低肠细胞对脂肪酸的吸收,降低血清 FFA 的含量。Cho 等^[25]在仓鼠高能日粮中添加 RES 不影响血清 FFA 的含量,但是显著降低总胆固醇和三酰甘油的含量。SAG 对动物血清 FFA 的影响尚未见报道,但是在蛋鸡^[6]日粮中添加 SAG 对三酰甘油含量没有影响;而在蛋鸡^[6]和猪^[26]的研究中显著降低血清胆固醇含量,这种降低血清胆固醇的原因可能与通过肝 HMG-CoA 还原酶抑制(胆固醇生物合成的限速酶)以及刺激肝胆固醇-7-羟化酶将胆固醇转化为胆汁酸的过程来刺激药用植物的低胆固醇血症活性有关^[6]。此外,在比利时蓝牛公牛((131±3.5) kg)日粮中添加植物提取物香芹酚、肉桂醛和辣椒素的混合物,显著降低犊牛血清 FFA 浓度^[27]。

胰岛素是营养物质分配稳态调节中的关键合成代谢激素,可以抑制脂肪酶的活性,减少体内脂肪的分解与动员,使血液中 FFA 减少,酮体生成减少^[27-28]。在小鼠的高脂肪日粮中添加 RES,显著降低血浆 INS 浓度^[29-30]。RES 改善人胰岛素敏感性,可能是由于 RES 诱导的氧化应激减少,导致通过蛋白激酶 B(protein kinase B, Akt)途径产生更有效的胰岛素信号有关^[31]。INS 和 FFA 的变化一致也说明 RES 和 SAG 对 INS 和 FFA 的影响在正常范围内。

皮质醇是一种由肾上腺皮质分泌的类固醇激素,当动物处于应激状态时,它对动物体的松弛反应起作用;另外,动物体内皮质醇过量会引起血压升高,降低免疫力,炎症反应^[32]。因此,维持皮质醇的最佳水平对于动物的生长非常关键。Balaji 等^[33]指出,体弱猪只免疫力低,血液中皮质醇浓度高。本试验在日粮中添加 RES 和 SAG 不影响犊牛血清皮质醇浓度。这也说明犊牛在该阶段的生长过程中没有遭受应激。GH 是由脑垂体分泌的合成代谢关键激素,控制动物生长及营养物质代谢,促进机体核酸、蛋白质合成和脂肪分解^[34]。IGF-I 在反刍动物的体液内广泛存在,促进机体、器官、组织的生长发育, GH 的合成代谢作用是通过在肝和骨骼肌中诱导 IGF-I 来实现的^[35]。RES 显著提高 60 日龄犊牛血

清 GH 和 IGF-I 浓度,这可能是促进犊牛生长的原因,以至于在 180 日龄时 RES 组犊牛体重显著高于 MR 组。Zhang 等^[36]指出,添加桑叶黄酮能显著提高 80 日龄犊牛血清 GH 和 IGF-I 浓度。添加 RES 显著提高 EGF 浓度,这可能是因为白藜芦醇是有效的植物雌激素^[16],通过上调 EGF 及其受体,激活磷酸化细胞外调节激酶信号转导级联反应,促进胃肠道上皮细胞的增殖与分化,修复受损的黏膜,具有提高营养物质消化吸收的作用^[37]。

在动物机体的免疫调节和防御感染中起重要作用的免疫球蛋白主要包括 IgM、IgG 和 IgA。IgG 是血清中主要的抗体部分,也是血清中主要的免疫球蛋白,在体液免疫中发挥重要作用;IgM 是动物机体初次免疫应答早期阶段所产生的主要免疫球蛋白;IgA 由动物肠系膜淋巴组织中的浆细胞产生,是机体防止病原微生物入侵的第一道防线^[38]。本试验中,添加 SAG 对 IgG 浓度没有影响,但是显著降低 IgM 和 IgA 浓度。这与前人在仔猪^[39]上添加主要成分为 SAG 的博落回提取物的结论不一致,他们都得出添加后显著提高 IgG 浓度的结论。但李会智等^[40]在断奶仔猪上添加主要成分为 SAG 的博落回提取物显著降低 IgG 和 IgA 浓度,他认为这是由于博落回提取物的添加产生了免疫抑制,也有可能是添加量不同,产生的结论也不一致。本研究结果表明,RES 和 SAG 对犊牛免疫系统激活影响不大。

细胞因子是一种由造血系统和免疫系统激活,细胞产生的具有高活性的功能性肽、蛋白质或糖蛋白类物质^[41]。细胞因子如 IL-1 β 和 TNF- α 介导并在炎症反应中起作用^[42],并与营养物质吸收和利用改变有关^[35]。Broussard 等^[43]报道,促炎性细胞因子诱导肝 GH 受体的抗性,导致具有促进人成肌细胞中蛋白质合成作用的血浆 IGF-I 显著降低。本试验中,SAG 在 60 日龄显著降低血清的 TNF- α 浓度,但是不影响 IL-1 β 和 γ -IFN 血清浓度,说明 RES 和 SAG 没有引起犊牛炎症的发生。

谷草转氨酶(AST)是反映心功能的重要指标,谷丙转氨酶(ALT)活性则是反映肝完整性以及功能的重要指标。当肝组织受到破坏时大量的转氨酶逸入血清,于是血清中的转氨酶活性增高。SAG 和 RES 不影响这两种酶的活性,这说明在本试验条件下添加 RES 和 SAG 不影响犊牛的心和肝机能。给大鼠口服 RES 不影响这两种酶的活性^[44]。此外在黄羽肉鸡日粮中添加主要成分为 SAG 的博落回提

取物,也不影响这两种酶的活性^[45],这表明 RES 和 SAG 不会给机体代谢带来不良影响,也不会损伤肝细胞。

动物在正常生理过程中产生自由基,但过量自由基会破坏糖、蛋白质、核酸等生物大分子和膜的结构和功能,导致功能和代谢紊乱。T-AOC 是衡量抗氧化物质总抗氧化能力的指标,MDA 是脂质过氧化产物,可用作生物氧化应激的一般生物标志物^[46]。GSH-PX 被认为是防止氧化损伤的第一道细胞防御;作为生物体的主要抗氧化酶,CAT 和 SOD 具有较强的自由基清除能力。自由基的形成和消除处于动态平衡状态^[47]。从本试验结果可以看出,60 日龄时,SAG 组血清 MDA 浓度显著高于其余两组,这与 Bavarsadi 等^[6]在蛋鸡日粮中添加 SAG 降低血清中的 MDA 浓度的结论不一致。这可能是由于动物品种和添加量不一致造成的,因为 Bavarsadi 等^[6]在蛋鸡上添加的 SAG 低于一倍的量时对血清 MDA 浓度没有影响。前人认为,血根碱的抗炎和抗氧化活性与抑制直接清除活性氧引起的多形核中性粒细胞的氧化裂解和炎性因子的产生有关^[48]或者与抑制细胞受体、G 蛋白、磷脂酶 C、胞浆 Ca²⁺ 水平和蛋白激酶 C 的活性氧形成的信号通路有关^[49]。SAG 处理组犊牛血清 CAT 浓度显著低于 RES 处理组,与 MR 处理组相比,添加 RES 后也没有显著影响犊牛的血清抗氧化指标,这也与以前的研究结果不一致^[4, 14-15, 50],可能是由于动物品种和添加量不一致造成的。

4 结 论

RES 和 SAG 均可提高犊牛出生到 180 日龄的体重;SAG 对犊牛体高和十字部高增加作用显著;RES 和 SAG 对 60 日龄犊牛血清 FFA、INS、GH、EGF 和 IGF-I 浓度产生显著的影响;对免疫指标影响不显著。结果表明 RES 和 SAG 可以作为生长促进剂用于动物生产。

参考文献(References):

- [1] 张卫兵,张 蓉,屠 焰,等.白藜芦醇对动物表观遗传学调控的作用机制[J].动物营养学报,2016,28(5): 1302-1308.
ZHANG W B,ZHANG R,TU Y,et al. The mechanism of resveratrol in epigenetics regulation in animals [J]. Chinese Journal of Animal Nutrition,2016,28

- (5):1302-1308. (in Chinese)
- [2] 张卫兵,张 蓉,屠 焰,等. 血根碱的作用机制及其在动物营养上的应用效果[J]. 动物营养学报,2017,29(1):27-33.
ZHANG W B,ZHANG R,TU Y,et al. Sanguinarine: mechanism and its application in animal feeding[J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*,2017,29(1):27-33. (in Chinese)
- [3] VIEIRA S L,BERRES J,REIS R N,et al. Studies with sanguinarine like alkaloids as feed additive in broiler diets[J]. *Rev Bras Cienc Avic*,2008,10(1):67-71.
- [4] SAHIN K,AKDEMIR F,ORHAN C,et al. Effects of dietary resveratrol supplementation on egg production and antioxidant status[J]. *Poult Sci*,2010,89(6):1190-1198.
- [5] KANTAS D,PAPATSIROS V G,TASSIS P D,et al. Effect of a natural feed additive (*Macleaya cordata*), containing sanguinarine, on the performance and health status of weaning pigs[J]. *Anim Sci J*,2015,86(1):92-98.
- [6] BAVARSADI M,MAHDAVI A H,ANSARI-MAH-YARI S,et al. Effects of different levels of sanguinarine on antioxidant indices,immunological responses, ileal microbial counts and jejunal morphology of laying hens fed diets with different levels of crude protein[J]. *J Anim Physiol Anim Nutr*,2017,101(5):936-948.
- [7] MA T,CHEN D D,TU Y,et al. Effect of dietary supplementation with resveratrol on nutrient digestibility, methanogenesis and ruminal microbial flora in sheep[J]. *J Anim Physiol Anim Nutr*,2015,99(4):676-683.
- [8] AGUILAR-HERNÁNDEZ J A,URÍAS-ESTRADA J D,LÓPEZ-SOTO M A,et al. Evaluation of isoquinoline alkaloid supplementation levels on ruminal fermentation,characteristics of digestion,and microbial protein synthesis in steers fed a high-energy diet[J]. *J Anim Sci*,2016,94(1):267-274.
- [9] ESTRADA-ANGULO A,AGUILAR-HERNÁNDEZ A,OSUNA-PÉREZ M,et al. Influence of quaternary benzophenanthridine and protopine alkaloids on growth performance,dietary energy,carcass traits,visceral mass,and rumen health in finishing ewes under conditions of severe temperature-humidity index[J]. *Asian-Australas J Anim Sci*,2016,29(5):652-658.
- [10] MICKDAM E,KHIAOSA-ARD R,METZLER-ZE-BELI B U,et al. Rumen microbial abundance and fermentation profile during severe subacute ruminal acidosis and its modulation by plant derived alkaloids *in vitro*[J]. *Anaerobe*,2016,39:4-13.
- [11] 饶 华,蔡 鹏,周锡红,等. 博落回提取物对断奶仔猪生长性能的影响[J]. 中国兽药杂志,2009,43(11):42-45.
RAO H,CAI P,ZHOU X H,et al. Effects of *macleaya cordata* extracts on growth performance of weaned piglets[J]. *Chinese Journal of Veterinary Drug*,2009,43(11):42-45. (in Chinese)
- [12] 张丽英. 饲料分析及饲料质量检测技术[M]. 3 版. 北京:中国农业大学出版社,2007:49-151.
ZHANG L Y. Feed analysis and quality test technology [M]. 3rd ed. Beijing: China Agricultural University Press,2007:49-151. (in Chinese)
- [13] ZHANG C,WANG L,ZHAO X H,et al. Dietary resveratrol supplementation prevents transport-stress-impaired meat quality of broilers through maintaining muscle energy metabolism and antioxidant status[J]. *Poult Sci*,2017,96(7):2219-2225.
- [14] LIU L L,HE J H,XIE H B,et al. Resveratrol induces antioxidant and heat shock protein mRNA expression in response to heat stress in black-boned chickens[J]. *Poult Sci*,2014,93(1):54-62.
- [15] ZHANG C,LUO J Q,YU B,et al. Effects of resveratrol on lipid metabolism in muscle and adipose tissues;a reevaluation in a pig model[J]. *J Funct Foods*,2015,14:590-595.
- [16] SERRERO G,LU R Q. Effect of resveratrol on the expression of autocrine growth modulators in human breast cancer cells[J]. *Antioxid Redox Signal*,2001,3(6):969-979.
- [17] 杨春涛. 热带假丝酵母与桑叶黄酮对犊牛生长和胃肠道发育的影响[D]. 北京:中国农业科学院,2016.
YANG C T. Effects of *Candida tropicalis* and mulberry leaf flavonoids on growth and gastrointestinal development in calves[D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences,2016. (in Chinese)
- [18] ABDELNABY E A,MOHAMED M F,GAMMAZ H A. Pharmacological studies of feed additives (sanguinarine and *saccharomyces cerevisiae*) on growth performance,haematological and intestinal bacterial count with challenge test by *Aeromonas hydrophila* in *Cyprinus carpio*[J]. *Global Anim Sci J*,2013,1(1):19-29.
- [19] WANG W,DOLAN L C,VON ALVENSLEBEN S,

- et al. Safety of standardized *Macleaya cordata* extract in an eighty-four-day dietary study in dairy cows[J]. *J Anim Physiol Anim Nutr*, 2018, 102(1): e61-e68.
- [20] DRSATA J, ULRICHOVÁ J, WALTEROVÁ D. Sanguiarine and chelerythrine as inhibitors of aromatic amino acid decarboxylase[J]. *J Enzyme Inhib*, 1996, 10(4): 231-237.
- [21] FRAYN K N. Non-esterified fatty acid metabolism and postprandial lipaemia[J]. *Atherosclerosis*, 1998, 141(S1): S41-S46.
- [22] RIVERA L, MORÓN R, ZARZUELO A, et al. Long-term resveratrol administration reduces metabolic disturbances and lowers blood pressure in obese Zucker rats[J]. *Biochem Pharmacol*, 2009, 77(6): 1053-1063.
- [23] 丁亚南, 赵月香, 王玲霞, 等. 白藜芦醇对高脂诱导大鼠生长、血脂代谢及抗氧化力的影响[J]. 畜牧兽医学报, 2017, 48(11): 2216-2224.
- DING Y N, ZHAO Y X, WANG L X, et al. Effects of resveratrol on the growth, blood lipid metabolism and antioxidant capacity of rats fed with high fat diet[J]. *Acta Veterinaria et Zootechnica Sinica*, 2017, 48(11): 2216-2224. (in Chinese)
- [24] SERGENT T, VANDERSTRAETEN J, WINAND J, et al. Phenolic compounds and plant extracts as potential natural anti-obesity substances[J]. *Food Chem*, 2012, 135(1): 68-73.
- [25] CHO I J, AHN J Y, KIM S, et al. Resveratrol attenuates the expression of HMG-CoA reductase mRNA in hamsters[J]. *Biochem Biophys Res Commun*, 2008, 367(1): 190-194.
- [26] GUDEV D, POPOVA-RALCHEVA S, MONEVA P, et al. Effect of supplemental Sangrovit on some biochemical indices and leukocytes phagocytic activity in growing pigs[J]. *Arch Zootech*, 2004, 7: 19-26.
- [27] CASTILLO C, BENEDITO J L, VÁZQUEZ P, et al. Effects of supplementation with plant extract product containing carvacrol, cinnamaldehyde and capsaicin on serum metabolites and enzymes during the finishing phase of feedlot-fed bull calves[J]. *Anim Feed Sci Technol*, 2012, 171(2-4): 246-250.
- [28] LIEN T F, HORNG Y M, YANG K H. Performance, serum characteristics, carcass traits and lipid metabolism of broilers as affected by supplement of chromium picolinate[J]. *Br Poult Sci*, 1999, 40(3): 357-363.
- [29] LAGOUGE M, ARGMANN C, GERHART-HINES Z, et al. Resveratrol improves mitochondrial function and protects against metabolic disease by activating SIRT1 and PGC-1 α [J]. *Cell*, 2006, 127(6): 1109-1122.
- [30] BAUR J A, PEARSON K J, PRICE N L, et al. Resveratrol improves health and survival of mice on a high-calorie diet [J]. *Nature*, 2006, 444(7117): 337-342.
- [31] BRASNYÓ P, MOLNÁR G A, MOHÁS M, et al. Resveratrol improves insulin sensitivity, reduces oxidative stress and activates the Akt pathway in type 2 diabetic patients [J]. *Br J Nutr*, 2011, 106(3): 383-389.
- [32] MÖSTL E, PALME R. Hormones as indicators of stress[J]. *Domest Anim Endocrinol*, 2002, 23(1-2): 67-74.
- [33] BALAJI R, WRIGHT K J, TURNER J L, et al. Circulating cortisol, tumor necrosis factor- α interleukin-1 β , and interferon- γ in pigs infected with *Actinobacillus pleuropneumoniae* [J]. *J Anim Sci*, 2002, 80(1): 202-207.
- [34] ETHERTON T D, BAUMAN D E. Biology of somatotropin in growth and lactation of domestic animals [J]. *Physiol Rev*, 1998, 78(3): 745-761.
- [35] SPURLOCK M E. Regulation of metabolism and growth during immune challenge: an overview of cytokine function [J]. *J Anim Sci*, 1997, 75(7): 1773-1783.
- [36] ZHANG L Y, QU P B, TU Y, et al. Effects of flavonoids from mulberry leaves and *Candida tropicalis* on performance and nutrient digestibility in calves [J]. *Kafkas Univ Vet Fak Derg*, 2017, 23(3): 473-479.
- [37] PENNER G B, STEELE M A, ASCHENBACH J R, et al. Ruminant nutrition symposium: molecular adaptation of ruminal epithelia to highly fermentable diets [J]. *J Anim Sci*, 2011, 89(4): 1108-1119.
- [38] TURNER J L, DRITZ S S, HIGGINS J J, et al. Effects of *Ascophyllum nodosum* extract on growth performance and immune function of young pigs challenged with *Salmonella typhimurium* [J]. *J Anim Sci*, 2002, 80(7): 1947-1953.
- [39] 李美荃, 张春勇, 满意, 等. 博落回提取物在仔猪生产中的应用效果研究[J]. 家畜生态学报, 2013, 34(9): 50-55.
- LI M Q, ZHANG C Y, MAN Y, et al. Effect of *Macleaya cordata* extract on piglet production [J]. *Acta Ecologiae Animalis Domastici*, 2013, 34(9): 50-55.

- (in Chinese)
- [40] 李会智,褚青坡,王志国,等. 博落回提取物对断奶仔猪生长性能、腹泻率和血清免疫指标的影响[C]//中国猪业科技大会暨中国畜牧兽医学会 2015 年学术年会, 厦门:中国畜牧兽医学会,2015.
- LI H Z, CHU Q P, WANG Z G, et al. Effects of *Macleaya cordata* extract on growth performance, diarrhea rate and serum immune parameters of weaned piglets[C]//Xiamen: Chinese Animal Husbandry and Veterinary Association, 2015. (in Chinese)
- [41] RENCKENS R, ROELOFS J J T H, KNAPP S, et al. The acute-phase response and serum amyloid A inhibit the inflammatory response to *Acinetobacter baumannii* Pneumonia[J]. *J Infect Dis*, 2006, 193(2): 187-195.
- [42] AKIRA S, HIRANO T, TAGA T, KISHIMOTO T. Biology of multifunctional cytokines, IL 6 and related molecules (IL 1 and TNF) [J]. *FASEB J*, 1990, 4(11): 2860-2867.
- [43] BROUSSARD S R, ZHOU J H, VENTERS H D, et al. At the interface of environment-immune interactions: cytokine and growth-factor receptors [J]. *J Anim Sc*, 2001, 79(Suppl_E): E268-E284.
- [44] JUAN M E, VINARDELL M P, PLANAS J M. The daily oral administration of high doses of *trans*-resveratrol to rats for 28 days is not harmful[J]. *J Nutr*, 2002, 132(2): 257-260.
- [45] 刘 靖. 博落回生物碱对黄羽肉鸡生长的影响[D]. 长沙:湖南农业大学, 2010.
- LIU J. The effect of macleaya alkaloids on the growth of yellow broilers[D]. Changsha: Hunan Agricultural University, 2010. (in Chinese)
- [46] KADIISKA M B, GLADEN B C, BAIRD D D, et al. Biomarkers of oxidative stress study II: are oxidation products of lipids, proteins, and DNA markers of CCl₄ poisoning? [J]. *Free Radic Biol Med*, 2005, 38(6): 698-710.
- [47] SU J L, SHI B L, ZHANG P F, et al. Effects of yucca extract on feed efficiency, immune and antioxidative functions in broilers [J]. *Braz Arch Biol Technol*, 2016, 59: e16150035.
- [48] VARGA Z, CZOMPA A, KAKUK G, et al. Inhibition of the superoxide anion release and hydrogen peroxide formation in PMNLs by flavonolignans[J]. *Phytother Res*, 2001, 15(7): 608-612.
- [49] FORMAN H J, TORRES M. Signaling by the respiratory burst in macrophages[J]. *IUBMB Life*, 2001, 51(6): 365-371.
- [50] ZHANG C, LUO J Q, YU B, et al. Dietary resveratrol supplementation improves meat quality of finishing pigs through changing muscle fiber characteristics and antioxidative status[J]. *Meat Sci*, 2015, 102: 15-21.

(编辑 郭云雁)