



葡萄籽原花青素对羔羊瘤胃发酵、血清炎症及抗氧化指标的影响

郝小燕¹, 牟春堂¹, 乔栋², 张暄梓¹, 杨文军¹, 赵俊星¹, 张春香¹, 张建新¹✉

¹山西农业大学动物科学学院, 山西太谷 030801; ²朔州市草牧业发展中心, 山西朔州 036002

摘要:【目的】研究高精料饲粮条件下, 添加不同水平葡萄籽原花青素(GSPs)对杜寒杂交羔羊生长性能、瘤胃发酵、瘤胃及血清炎症因子及抗氧化能力的影响。为葡萄籽原花青素在反刍动物生产中的应用提供数据参考。【方法】选择48只体重相近(22.75 ± 1.20 kg)、月龄相近的杜泊×小尾寒羊杂交公羔, 采用单因素完全随机试验设计, 将48只羔羊随机分为4组, 每组12只。基础饲粮精粗比为7:3, GSPs添加量分别为0(对照组, CON)、10(10GSPs)、20(20GSPs)、40(40GSPs) mg·kg⁻¹ BW。饲养期共60 d, 前15 d为预饲期。正试期第1天晨饲前称量体重作为初始体重。正试期结束后颈静脉采集血液并分离血清, 用于抗氧化指标、炎症因子和脂多糖含量测定; 同时每组随机选择6只分别于饲喂后1、3、4、6、8、12 h口腔采集瘤胃液, 立即测定瘤胃液pH, 饲喂后3 h瘤胃液样品用于测定发酵指标及脂多糖含量。每组剩余6只进行屠宰, 采集瘤胃组织测定抗氧化指标和炎症因子水平。【结果】10GSPs和20GSPs组的末体重显著高于对照组($P < 0.05$), 与40GSPs组差异不显著($P > 0.05$)。10GSPs和20GSPs组ADG和ADF显著高于对照组和40GSPs组($P < 0.05$), 而40GSPs组与对照组差异不显著($P > 0.05$); 添加GSPs对瘤胃pH有一定的调控作用, 饲喂后3、8、12 h瘤胃pH随GSPs添加水平增加而线性升高($P < 0.05$), 4 h瘤胃pH较对照组有线性升高趋势, 但差异不显著($P = 0.057$); 添加GSPs后瘤胃液中乙酸、丁酸、总挥发性脂肪酸浓度有降低的趋势($P < 0.1$), 对丙酸、异戊酸、戊酸浓度及乙酸/丙酸值没有显著影响($P > 0.05$); 添加GSPs后血清脂多糖浓度较对照组显著降低($P < 0.05$), 但不影响瘤胃液中脂多糖浓度。20GSPs和40GSPs组瘤胃组织GSH-Px活性显著高于对照组和10GSPs组, MDA含量显著低于对照组和10GSPs组($P < 0.05$)。20GSPs和40GSPs组血清SOD活性显著高于对照组, GSH-Px活性显著高于对照组和10GSPs组($P < 0.05$)。添加GSPs对瘤胃组织炎症因子没有显著影响, 但有降低IL-6和IL-10的趋势($P < 0.1$)。20GSPs和40GSPs组血清TNF- α 水平显著低于对照组和10GSPs组($P < 0.05$); 40GSPs组血清IL-10含量显著低于对照组($P < 0.05$), 与10GSPs和20GSPs组差异不显著($P > 0.05$)。【结论】高精料饲粮条件下补饲适量GSPs可以提高羔羊瘤胃pH, 提高血清和瘤胃组织抗氧化能力, 对羔羊健康具有潜在的保护效应。在本试验条件下, GSPs的最佳饲喂量为20 mg·kg⁻¹ BW。

关键词: 葡萄籽原花青素; 羔羊; 高精料; 瘤胃发酵; 抗氧化

Effects of High-Concentrate Diet Supplemented with Grape Seed Proanthocyanidins on Rumen fermentation, Inflammatory and Antioxidant Indicators of Rumen and Serum in Lambs

HAO XiaoYan¹, MU ChunTang¹, QIAO Dong², ZHANG XuanZi¹, YANG WenJun¹, ZHAO JunXing¹, ZHANG ChunXiang¹, ZHANG JianXin¹✉

¹College of Animal Science, Shanxi Agricultural University, Taigu 030801, Shanxi; ²Grassland Livestock Husbandry Development Center, Shuozhou 036002, Shanxi

收稿日期: 2020-07-26; 接受日期: 2020-11-27

基金项目: 国家重点研发计划(2018YFD0502104)、现代农业产业技术体系(CARS-38)、山西省“1331工程”畜牧学重点学科建设计划(J201911301)、山西省基础研究计划(201801D221291)

联系方式: 郝小燕, E-mail: haoxiaoyan1990@sina.com. 通信作者张建新, E-mail: ypzjx@126.com

Abstract: 【Objective】 This study was conducted to investigate the effects of dietary grape seed proanthocyanidins (GSPs) supplementation on growth performance, rumen fermentation, rumen and serum inflammatory factors and antioxidative activity in lambs under the condition of a high-concentrate diet, so as to provide a support for applying GSPs on ruminant. **【Method】** A total of forty-eight 1/2 Dorper \times 1/2 thin-tailed Han ram lambs with similar body weight ($BW = 22.75 \pm 1.20$ kg, mean \pm SD) were randomly divided into four groups, with twelve lambs each group. Lambs were fed a 30:70 forage:concentrate diet with 0 (control), 10 (10GSPs), 20 (20GSPs), and 40 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ BW (40GSPs) GSPs supplemented, respectively. The feeding experiment lasted for 60 days before sampling, with the first 15 days for diet transition and adaptation. On the first day of the formal experiment period, the BW before morning feeding was weighed as the initial BW. At the end of the trial period, blood samples were collected from the jugular vein, and the serum was separated for the determination of antioxidant and inflammatory indicators and lipopolysaccharide content. At the same time, six lambs in each group were randomly selected to collect rumen fluid by using an oral stomach tube at 1, 3, 4, 6, 8 and 12 hours after feeding, respectively, and the rumen pH were measured immediately. The fluid samples at 3 hours after feeding were used to measured fermentation parameters and lipopolysaccharide content. The other 6 lambs in each group were slaughtered, and the samples of rumen tissue were collected to determine the antioxidation index and inflammatory factors. **【Result】** The final weight of lambs in 10GSPs and 20GSPs groups were significant greater than that in control group ($P < 0.05$), with no difference between 40GSPs and 10GSPs or 20GSPs ($P > 0.05$). Lambs in 10GSPs and 20GSPs groups also had higher average daily gain and average daily feed intake than control and 40GSPs ($P < 0.05$), with no significant difference between control and 40GSPs ($P > 0.05$). The dietary GSPs supplementation had a certain regulatory effect on rumen pH. The rumen pH increased linearly with the supplementation of GSPs ($P < 0.05$) at 3, 8 and 12 h after feeding, and tended to increased linearly at 4 h ($P = 0.057$). The concentrations of acetate, butyrate and total volatile fatty acid in rumen fluid tended to decrease after GSPS was added ($P < 0.1$), but there was no significant effect on propionate, isovalerate, valerate, and the ratio of acetic acid to propionic acid ($P > 0.05$). After GSPs was supplemented, the serum lipopolysaccharide concentration was significantly lower than that of the control group ($P < 0.05$), but which did not affect the lipopolysaccharide concentration in the rumen fluid. The activity of GSH-Px in rumen tissue of 20GSPs and 40GSPs groups was significantly higher than that of the control group and 10GSPs group ($P < 0.05$), however, the content of MDA was significantly lower. The serum SOD activity of 20GSPs and 40GSPs group was significantly higher than that of the control group, and the GSH-Px activity was higher than control and 10GSPs group ($P < 0.05$). There was no significant effect was observed in rumen inflammatory factors when GSPs was supplemented, but there was a trend of decreasing IL-6 and IL-10 ($P < 0.1$). The level of TNF- α in 20GSPs and 40GSPs group were significantly lower than that in the control group and 10 GSPs group ($P < 0.05$). The level of IL-10 in 40GSPs group was significantly lower than control group, with no significant difference between 40GSPs and 10GSPs or 20GSPs ($P > 0.05$). **【Conclusion】** Supplementing appropriate amount of GSPs to high-concentrate diet could improve the rumen pH, and the antioxidant capacity of serum and rumen tissue of lambs, suggesting that appropriate amount of GSPs had the potential protective effect on lamb health. The optimal feeding dose was 20 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ BW under the condition of this experiment.

Key words: grape seed proanthocyanidins; lambs; high-concentrate diet; rumen fermentation; antioxidant capacity

0 引言

【研究意义】在生态保护日益受到重视的背景下,传统畜牧业逐渐向先进的集约化饲养模式转变。我国优质粗饲料较为短缺,反刍动物生产中大量使用高谷物饲料以维持或提升生产性能。高精低粗的饲粮结构虽能提高育肥牛羊的生长速度,提高奶牛、奶山羊的产奶量,但长期饲喂高谷物饲粮引发的健康问题不容忽视。因此,研究高精料饲粮条件下调控瘤胃发酵、保护机体免受氧化损伤的措施对反刍动物健康、高效养殖具有重要意义。**【前人研究进展】**侯志高等^[1]研究发现不同精料浓度饲粮对瘤胃内环境稳定和机体氧

化应激有显著影响,精料比例在 55%时瘤胃内超氧化物歧化酶(SOD)、谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-Px)活力最高,丙二醛(MDA)含量最低,清除自由基的能力最强。而随着精料比例增加,瘤胃内环境稳态被破坏,抗氧化能力显著下降,抵抗不良刺激的能力下降,故高精料饲粮下机体容易发生一系列代谢性、炎性疾病。原花青素(proanthocyanidins, PC)是自然界中广泛存在的植物多酚类化合物,由不同数量的儿茶素或表儿茶素聚合而成。有关研究表明原花青素可以增强动物机体抗氧化能力,调节机体免疫反应,进而改善动物健康状况、促进生长^[2-3]。也有研究报道原花青素可以促进机体正常细胞生长,如胃黏膜细胞^[4];

可以降低脂质过氧化、DNA 片段化及细胞膜微黏度，通过抗组胺作用来降低氧化应激引起的胃肠道黏膜损伤^[5]；对结直肠炎、结直肠癌有一定的防护作用^[6]；长期食用原花青素能够缓解内毒素对结肠屏障完整性的损伤和抑制胃肠道对内毒素的吸收^[7]；可以减轻机体炎症肿胀，抑制细胞因子 IL-6 和 TNF- α 诱导的血管细胞黏附分子-1 的表达水平^[8]。另外，原花青素对瘤胃发酵、微生物区系也有一定的调控作用^[9-10]。杜宇等^[11]研究发现在体外建立的亚急性瘤胃酸中毒模型中添加 4.5%石榴多酚可以提高发酵液 pH，降低发酵液中挥发性脂肪酸（VFA）、内毒素（LPS）和组胺浓度，同时降低牛链球菌数量和乳酸浓度。郭长征等^[12]研究表明高精料饲料中添加另一种多羟基黄酮类化合物（槲皮素）可以提高山羊瘤胃 pH，提高血清抗氧化能力，但有关植物多酚对瘤胃组织抗氧化和抗炎能力的影响及机制的研究较少。【本研究切入点】基于高精料饲料对动物瘤胃、机体的危害及原花青素抗氧化、抗炎的生物学功能，本研究提出适宜剂量的葡萄籽原花青素可以通过调控瘤胃发酵和改善机体抗氧化能力而减轻机体氧化损伤的假设。【拟解决的关键问题】本试验研究了高精料饲料条件下，添加不同水平葡萄籽原花青素（GSPs）对羔羊生长性能、瘤胃发酵、瘤胃及血清炎症因子及抗氧化能力的影响，为葡萄籽原花青素在反刍动物生产中的应用提供数据参考。

1 材料与方法

1.1 试验设计

葡萄籽原花青素购自南京泽朗生物科技有限公司，纯度 $\geq 96\%$ 。

试验选用 48 只体重相近（ 22.75 ± 1.20 kg）、月龄相近的杜泊 \times 小尾寒羊杂交公羔，采用单因素完全随机试验设计，将 48 只羔羊随机分为 4 组，每组 12 只。基础饲料精粗比为 70:30，GSPs 添加量分别为 0（对照组，CON）、10（10GSPs）、20（20GSPs）、40（40GSPs） $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ BW。预饲 15 d，饲料精粗比从 4:6 逐渐过渡到 7:3，正试期 45d。正试期每日晨饲前，用分析天平称取每日每只羊 GSPs 饲喂量，与 100 g 粉状饲料混合后，逐只一次性饲喂，以保证完全摄入，GSPs 的饲喂量每周根据体重调整一次。试验羔羊全部单栏（3.0 m \times 0.8 m）饲养，饲料采用全混合颗粒饲料，每天饲喂 2 次（07:00 和 19:00），自由采食，自由饮水。试验羊舍通风良好，平均温度 23.7 $^{\circ}\text{C}$ ，平均相对湿度 59%，基础饲料组成及营养水平见表 1。

表 1 饲料组成及营养水平（干物质基础）

Table 1 Composition and nutrient level of diets (dry matter basis, %)

项目 Items	含量 Content
原料 Ingredients	
玉米秸秆 Corn straw	20.0
谷秸 Millet straw	10.0
玉米 Corn	46.0
豆粕 Soybean meal	7.0
棉粕 Cottonseed meal	5.0
麦麸 Wheat bran	5.0
石粉 Limestone	0.3
碳酸氢钠 Sodium bicarbonate	1.0
盐 Salt	0.7
预混料 Premix ¹	5.0
营养水平 Nutrient levels	
粗蛋白 CP	16.1
粗脂肪 EE	3.5
中性洗涤纤维 NDF	32.7
酸性洗涤纤维 ADF	16.9
粗灰分 Ash	10.2
总能 GE; $\text{MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ DM	18.8

¹ 每千克饲料中含有（ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ）：Cu 15，Fe 55，Zn 25，Mn 40，Se 0.3，I 0.5，Co 0.2；饲料中维生素添加量（ $\text{IU}\cdot\text{kg}^{-1}$ ）：VA 20 000，VD 4 000，VE 40。饲料各营养成分均为实测值
One kilogram of diet contained the followings（ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ）：Cu 15，Fe 55，Zn 25，Mn 40，Se 0.3，I 0.5，Co 0.2；Additive vitamin premix（ $\text{IU}\cdot\text{kg}^{-1}$ ）：VA 20 000，VD 4 000，VE 40. The compositions of diet are measured values

1.2 样品采集

正试期第一天早 6:00 对所有试验羊空腹称重，作为初始体重，之后每隔 15 d 称重一次，记录体重数据。试验期间记录每只羊的日采食量、剩料量，正试期结束后计算平均日增重（ADG）、平均日采食量（AFDI）及料重比（F/G）。正试期第 45 天晨饲前颈静脉采血，常规方法分离血清后-20 $^{\circ}\text{C}$ 保存待测。

正试期结束当天 18:00，每组随机选择 6 只禁食、禁水 12 h，次日 6:00 进行屠宰。采集瘤胃背囊组织，迅速用磷酸缓冲盐溶液反复清洗，剪碎后立即置于液氮中速冻保存，采样结束后放于-80 $^{\circ}\text{C}$ 保存。

正试期结束后连续 3 d 通过口腔采集每组剩余 6 只羊的瘤胃液，分别于饲喂后 1、3、4、6、8、12 h 通过口腔采集瘤胃液（每天采 2 个时间点，第一天：8:00、13:00，第二天：10:00、15:00，第三天：11:00、19:00），弃掉初始采集含有较多黏液的部分，立即

测定瘤胃液 pH; 同时分装样品于-20℃保存待测瘤胃发酵指标。

1.3 指标测定

瘤胃组织和血清抗氧化能力测定所用试剂盒均购自南京建成生物工程研究所, 具体指标包括总抗氧化能力(T-AOC)、SOD、过氧化氢酶(CAT)、GSH-Px、MDA。采用酶联免疫吸附(ELISA)法测定瘤胃组织及血清中 IL-6、IL-10、TNF-α 和 IFN-γ 含量, ELISA 试剂盒购自南京建成生物工程研究所。

饲喂后 3 h 的瘤胃液样品用于测定 VFA 和 LPS 浓度。VFA 浓度测定采用气相色谱法, 具体操作参照严淑红等^[13]的方法。使用显色基质鲎试剂盒(厦门鲎试剂实验厂有限公司)测定瘤胃液和血清中的 LPS 浓度^[14]。

1.4 数据分析

利用 Excel 2010 版进行试验数据初步整理, 采用 SAS 9.2 软件中 one-way ANOVE 进行分析, 采用 Duncan 法进行多重比较, 通过正交多项式分析处理的线性和二次效应。 $P<0.05$ 表示为差异显著, $P<0.10$ 表示有显著的趋势。

2 结果

2.1 生长性能

羔羊生长性能数据已发表^[15], 具体见表 2, 试验羔羊的初始体重相近, 但饲料中添加不同水平 GSPs 后羔羊末重 ($P=0.039$)、ADG ($P=0.005$)、ADFI ($P=0.001$) 呈二次方效应, 其中 10GSPs 和 20GSPs 组的末体重显著高于对照组 ($P<0.05$), 与 40GSPs 差异不显著 ($P>0.05$); 10GSPs 和 20GSPs 组 ADG 和 ADFI 显著高于对照组和 40GSPs 组 ($P<0.05$), 而 40GSPs 组与对照组差异不显著 ($P>0.05$)。饲料中添加 GSPs 对料重比没有显著影响 ($P>0.05$)。

2.2 瘤胃 pH 和挥发性脂肪酸

由表 3 可知, 与对照组相比, 添加 GSPs 对瘤胃 pH 有一定的调控作用。饲喂后 3、8、12 h 瘤胃 pH 随 GSPs 的添加线性升高, 20GSPs 和 40GSPs 组瘤胃 pH 显著高于对照组和 10GSPs 组 ($P<0.05$)。饲喂后 4 h 瘤胃液 pH 较对照组有线性升高趋势, 但差异不显著 ($P=0.057$)。

表 2 高精料饲料中添加葡萄籽原花青素对羔羊生长性能的影响

Table 2 Effect of GSPs supplemented in high-concentrate diet on growth performance of lambs

项目 Items	组别 Groups				SEM	P	
	CON	10GSPs	20GSPs	40GSPs		线性 Linear	二次方 Quadratic
初始体重 Initial BW(kg)	28.39	29.10	28.64	29.32	0.82	0.532	0.985
终末体重 Final BW(kg)	41.57b	43.85a	43.51a	42.64ab	0.70	0.375	0.039
平均日增重 ADG(g·d ⁻¹)	280.37b	314.05a	315.90a	283.56b	10.21	0.806	0.005
平均日采食量 ADFI(g·d ⁻¹)	1885.14b	2010.61a	1993.99a	1874.60b	31.74	0.737	0.001
料重比 ADFI/ADG	6.76	6.42	6.31	6.65	0.210	0.639	0.123

同行数据无字母或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 ($P<0.05$)。下同
In the same row, values with no letter or the same letter mean no significant difference ($P>0.05$), while with different small letter mean significant difference ($P<0.05$). The same as below

表 3 高精料饲料中添加葡萄籽原花青素对羔羊瘤胃 pH 的影响

Table 3 Effect of GSPs supplemented in high-concentrate diet on rumen fluid pH of lambs

项目 Items	组别 Groups				SEM	P	
	CON	10GSPs	20GSPs	40GSPs		线性 Linear	二次方 Quadratic
1 h	6.04	6.05	6.09	6.11	0.03	0.101	0.805
3 h	5.80b	5.79b	5.93a	5.94a	0.05	0.018	0.664
4 h	5.92	5.93	5.97	6.05	0.04	0.057	0.389
6 h	6.05	6.14	6.10	6.15	0.07	0.155	0.883
8 h	6.19b	6.21b	6.34a	6.30a	0.03	0.031	0.141
12 h	6.24b	6.23b	6.33a	6.35a	0.03	0.009	0.420

从表 4 可见，饲料中添加 GSPs 后羔羊采食后 3 h 瘤胃液中乙酸（ $P=0.058$ ）和丁酸（ $P=0.064$ ）浓度有降低的趋势，对丙酸、异戊酸和戊酸浓度没有显著影响（ $P>0.05$ ）。40GSPs 组异丁酸浓度显著高于对照组和 10GSPs 组（ $P<0.05$ ），与 20GSPs 组差异不显著（ $P>0.05$ ）。随着 GSPs 添加量的增加，总挥发性脂肪酸浓度有线性下降的趋势（ $P=0.062$ ）。饲料中添

加 GSPs 对乙酸/丙酸值没有显著影响（ $P>0.05$ ）。

2.3 瘤胃液和血清内毒素含量

由表 5 可见，高精料饲料中添加 GSPs 瘤胃液 LPS 含量的呈线性和二次方下降趋势，其中 20GSPs 数值最低，但差异不显著（ $P=0.076$ ）；20GSPs 和 40GSPs 组血清 LPS 浓度较对照组和 10GSPs 组显著降低（ $P<0.0001$ ）。

表 4 高精料饲料中添加葡萄籽原花青素对羔羊饲喂后 3 h 瘤胃挥发性脂肪酸的影响

Table 4 Effect of GSPs supplemented in high-concentrate diet on rumen VFA after feeding 3 hours of lambs

项目 Items	组别 Groups				SEM	P	
	CON	10GSPs	20GSPs	40GSPs		线性 Linear	二次方 Quadratic
乙酸 Acetate (mmol·L ⁻¹)	59.61	59.01	54.11	55.18	1.95	0.058	0.672
丙酸 Propionate (mmol·L ⁻¹)	25.08	24.93	21.56	22.83	1.64	0.182	0.667
异丁酸 Isobutyrate (mmol·L ⁻¹)	0.50b	0.49b	0.55ab	0.63a	0.032	0.004	0.153
丁酸 Butyrate (mmol·L ⁻¹)	11.93	10.82	10.92	9.51	0.78	0.064	0.850
异戊酸 Isovalerate (mmol·L ⁻¹)	0.85	0.92	0.95	0.91	0.041	0.291	0.224
戊酸 Valerate (mmol·L ⁻¹)	1.21	1.21	1.10	1.19	0.069	0.584	0.464
总挥发性脂肪酸 TVFA (mmol·L ⁻¹)	99.18	97.36	89.18	90.27	3.13	0.062	0.648
乙酸/丙酸 Acetate/propionate	2.45	2.41	2.55	2.45	0.16	0.854	0.856

表 5 高精料饲料中添加葡萄籽原花青素对羔羊饲喂后 3 h 瘤胃液脂多糖含量的影响

Table 5 Effect of GSPs supplemented in high-concentrate diet on rumen LPS content after feeding 3 hours of lambs

项目 Items	组别 Groups				SEM	P	
	CON	10GSPs	20GSPs	40GSPs		线性 Linear	二次方 Quadratic
瘤胃液 LPS (EU·mL ⁻¹)	42595	34449	27116	31267	4168	0.058	0.099
血清 LPS (EU·mL ⁻¹)	0.31a	0.29a	0.16b	0.17b	0.02	<0.0001	0.221

2.4 瘤胃和血清抗氧化能力

由表 6 可见，高精料饲料中添加 GSPs 线性提高了瘤胃 GSH-Px 活性，线性降低瘤胃组织 MDA 水平（ $P<0.05$ ）。20GSPs 和 40GSPs 组 GSH-Px 活性显著高于对照组和 10GSPs 组，MDA 含量显著低于对照组和 10GSPs 组（ $P<0.05$ ）。对于血清抗氧化指标，20GSPs 和 40GSPs 组 SOD 活性显著高于对照组，GSH-Px 活性显著高于对照组和 10GSPs 组（ $P<0.05$ ）。添加 GSPs 有线性降低血清 MDA（ $P=0.059$ ）和提高 T-AOC（ $P=0.060$ ）的趋势。

2.5 瘤胃和血清炎症因子水平

由表 7 可见，饲料中添加 GSPs 对瘤胃组织炎症因子水平没有显著影响，但有降低 IL-6 和 IL-10 的趋势（ $P\leq 0.061$ ）。20GSPs 和 40GSPs 组血清 TNF- α 水

平显著低于对照组和 10GSPs 组（ $P<0.05$ ），IL-6 水平有降低的趋势，但差异不显著（ $P=0.074$ ）；40GSPs 组血清 IL-10 含量显著低于对照组，与 10GSPs 和 20GSPs 组差异不显著（ $P>0.05$ ）。

3 讨论

原花青素是植物体内重要的次生代谢产物，是一类植物多酚类化合物。葡萄籽原花青素主要存在于葡萄籽、葡萄皮和梗部，是一类重要的天然抗氧化剂。研究表明，原花青素类植物多酚在提高动物生产性能、免疫功能、抗氧化能力等方面发挥着重要作用，但高浓度的植物多酚可能会抑制动物采食量，扰乱消化生理，抑制营养物质消化和机体生长^[16-19]。赵家奇等^[18]研究发现在断奶仔猪饲料中葡萄籽原花青素可以显著

表 6 高精料饲料中添加葡萄籽原花青素对羔羊瘤胃和血清抗氧化指标的影响
Table 6 Effect of GSPs supplemented in high-concentrate diet on rumen and serum antioxidant indicators of lambs

项目 Items		组别 Groups				SEM	P	
		CON	10GSPs	20GSPs	40GSPs		线性 Linear	二次方 Quadratic
瘤胃 Rumen	T-AOC (U·mg ⁻¹)	1.13	1.22	1.28	1.23	0.08	0.282	0.370
	CAT (U·mg ⁻¹)	4.41	4.54	4.08	4.37	0.47	0.787	0.861
	SOD (U·mg ⁻¹)	6.8	6.85	7.46	7.28	0.53	0.394	0.830
	GSH-Px (U·mg ⁻¹)	66.30b	69.18b	90.55a	82.99a	3.70	0.0003	0.173
	MDA, nmol·mg ⁻¹	0.693a	0.62ab	0.52b	0.53b	0.05	0.019	0.481
血清 Serum	T-AOC (U·mL ⁻¹)	1.60	1.62	1.83	1.78	0.07	0.056	0.590
	CAT (U·mL ⁻¹)	6.6	6.66	6.52	6.79	0.52	0.855	0.839
	SOD (U·mL ⁻¹)	69.28b	72.58ab	82.9a	83.43a	4.16	0.010	0.743
	GSH-PX (U·mL ⁻¹)	85.74b	87.92b	102.60a	104.35a	4.85	0.004	0.963
	MDA (nmol·mL ⁻¹)	4.49	4.34	3.52	3.59	0.33	0.060	0.764

表 7 高精料饲料中添加葡萄籽原花青素对羔羊瘤胃和血清炎症因子的影响
Table 7 Effect of GSPs supplemented in high-concentrate diet on rumen and serum inflammatory factors of lambs

项目 Items		组别 groups				SEM	P	
		CON	10GSPs	20GSPs	40GSPs		线性 Linear	二次方 Quadratic
瘤胃 Rumen	TNF-α (pg·mg ⁻¹)	4.48	4.45	4.25	4.30	0.23	0.497	0.871
	IL-6 (pg·mg ⁻¹)	12.05	12.06	10.16	10.73	0.66	0.061	0.676
	IFN-γ (pg·mg ⁻¹)	4.96	4.51	4.50	4.78	0.28	0.664	0.208
	IL-10 (pg·mg ⁻¹)	1.46	1.44	1.28	1.30	0.06	0.062	0.729
血清 Serum	TNF-α (pg·mL ⁻¹)	48.74a	50.52a	38.52b	39.6b	2.99	0.008	0.908
	IL-6 (pg·mL ⁻¹)	142.18	133.33	127.5	128.72	5.47	0.074	0.368
	IFN-γ (pg·mL ⁻¹)	39.13	40.44	39.86	37.09	2.21	0.506	0.365
	IL-10 (pg·mL ⁻¹)	19.86a	17.79ab	17.83ab	16.19b	0.93	0.015	0.814

提高仔猪血清免疫球蛋白和补体含量，提高血清抗氧化酶活性，说明原花青素可以提高断奶仔猪免疫力和抗氧化能力。在高温热应激条件下，饲料中添加板栗多酚可以显著提高肉鸡日增重和采食量，提高肉鸡抗氧化能力、缓解高温热应激^[20]。金亚倩等^[21]在绵羊饲料中添加葡萄渣，试验结果表明 10%葡萄渣添加组较对照组日增重提高 38%，可能是葡萄皮渣中的主要活性物质原花青素发挥了生物学功能，这与本试验得到的结果一致。本试验中，GSPs 改善羔羊生长性能，一方面原因可能是 GSPs 改善了机体抗氧化能力和免疫力，进而提高生长性能；另一方面原因可能与多酚类物质降低饲料蛋白质降解率、提高蛋白利用率有关^[17]。有关饲料中 GSPs 水平对羔羊饲料蛋白瘤胃降解率的

影响还有待进一步研究。40GSPs 组采食量和日增重较另外两个 GSPs 添加组低，可能与高剂量多酚类物质抑制瘤胃微生物（尤其是纤维分解菌），降低饲料消化率有关^[22-23]。杨德莲等^[9]研究也表明葡萄籽原花青素能够显著降低奶牛瘤胃体外发酵液中溶纤维丁酸弧菌和产琥珀酸丝状杆菌的数量，降低体外发酵产气量。本试验中 GSPs 对羔羊瘤胃微生物区系的影响还需进一步深入研究。

反刍动物长期采食高精料饲料会导致瘤胃和后肠道 pH 下降和 VFA 积累，导致微生物代谢紊乱，从而产生大量的细菌内毒素。当瘤胃 pH 低于 5.8，且持续时间大于 3 h，则被认为发生了亚急性瘤胃酸中毒。本试验中各处理组瘤胃液 pH 在采食后不同时间点测定

结果均高于 5.8(除 3 h 对照组为 5.80, 10GSPs 为 5.79), 提示试验羔羊尚未处于亚急性瘤胃酸中毒状态。但由于本试验中瘤胃液 pH 是通过口腔插管采集, 可能对试验羊食道产生一定的刺激, 影响了采食量, 从而影响瘤胃 pH。对照组和 10GSPs 组各时间点瘤胃 pH 低于 6.2, 添加 20 和 40 mg·kg⁻¹ BW 的 GSPs 可以在一定程度上提高瘤胃液 pH, 这与杨德莲等^[9,11]的研究结果相一致。瘤胃 pH 升高有利于提高羔羊的营养物质消化率和日增重。研究表明在体外亚急性瘤胃酸中毒模型中添加石榴皮多酚提取物可以显著抑制瘤胃液中牛链球菌的生长和繁殖^[11]; 在高精料饲料中添加槲皮素可以提高山羊瘤胃 pH 和血清抗氧化酶活性, 缓解亚急性瘤胃酸中毒^[12]; 在高精料饲料中添加植物多酚和精油混合物, 瘤胃 pH 低于 5.6 的时间较不添加组显著降低(18 min 和 199 min)^[24]。本试验中, 添加 GSPs 有降低乙酸和总挥发性脂肪酸的趋势, 可能是 GSPs 对纤维分解菌有一定的抑制作用所致。杜宇等^[10]的研究中石榴多酚对乙酸和丙酸均有显著的抑制作用, 而本试验中丙酸浓度的降低没有达到显著水平, 可能是添加剂量不同所致。前人研究也表明, 单宁对瘤胃中溶纤维丁酸弧菌有显著的抑制作用^[25], 而乙酸和丁酸是溶纤维丁酸弧菌的主要代谢物, 因此添加 GSPs 后瘤胃液中丁酸浓度有所下降。GETACHEW 等^[26]报道, 多酚可能通过抑制微生物的氧化磷酸化而影响微生物代谢, 或与微生物外源酶或底物结合而抑制底物降解, 进而抑制微生物发酵产酸。

高精料引起瘤胃和肠道后段 pH 下降, 革兰氏阴性菌崩解死亡释放出大量的 LPS, LPS 的积累导致瘤胃上皮和肠道黏膜屏障损伤, LPS 通过损伤的屏障易位进入循环系统, 从而启动机体的免疫应答, 激活巨噬细胞和白细胞产生一系列细胞因子, 如 TNF- α 、IL-6^[27]。本研究中添加 GSPs 后瘤胃液 LPS 浓度在数值上低于对照组, 但统计学上没有显著差异。原因可能是 GSPs 对瘤胃 pH 的轻微调控作用尚且没有缓解不耐酸革兰氏阴性菌的死亡。但添加 GSPs 后血清 LPS 浓度显著降低, 说明 GSPs 提高了肝脏清除 LPS 的能力。众多研究表明原花青素可以缓解多种因素导致的肝损伤, 提高肝功能^[28-29]。本团队将进一步深入研究高精料饲料中添加 GSPs 对羔羊肝功能的影响。

高精料可能导致反刍动物体内氧化和抗氧化作用失衡, 使机体处于氧化应激状态^[1,30]。机体内氧化应激和炎症的发生往往是伴随发生, 且促炎细胞因子的

过表达正反馈促进氧化应激^[31]。植物多酚能够有效清除机体内多余的自由基, 在抗氧化和抗炎方面有重要作用。DESCALZO 等^[32]报道, 新鲜牧草中植物多酚含量较高, 因此放牧牛体内抗氧化物质含量较舍饲牛更高, 机体抗氧化能力、免疫力更强。GSPs 具有很强的抗氧化和抗炎能力, 是一种良好的外源性抗氧化剂。宿孝奇^[33]研究表明 GSPs 可以显著提高泌乳早期奶牛机体抗氧化能力, 降低血液中氧化代谢产物和酮体的含量。LI 等^[34]研究表明 GSPs 可以有效缓解由三硝基苯磺酸诱导产生的小鼠急性结肠炎, 主要是通过下调某些炎症介质而起抗炎作用, 能够有效抑制炎症细胞浸润, 抑制机体的氧化损伤, 减少促炎细胞因子产生, 同时通过提高氧化损伤组织的修复能力, 增加抗炎细胞因子分泌而发挥作用。GSPs 能够调节仔猪肠道黏膜 NF- κ B 和 Nrf2 的活性, 抑制仔猪肠道炎症^[35], 提高母猪肠道有益菌比例^[36], 抑制促炎因子 TNF- α 、IL-1 β 等的释放, 有效抑制机体炎症持续发生^[37]。DE NARDI 等^[24]研究发现植物多酚和精油混合物通过显著降低高谷物饲料条件下母牛血清淀粉样蛋白 A 和 LPS 结合蛋白水平, 缓解机体炎症反应, 但对血清 IL-6 含量无显著影响。本试验中, 添加 20 和 40 mg·kg⁻¹ BW 的 GSPs 显著提高了瘤胃组织和血清抗氧化酶活性, 降低了 MDA 含量, 同时降低了血清炎症因子 TNF- α 和 IL-10 的水平, 对瘤胃组织也有类似的作用趋势, 说明添加适量 GSPs 后羔羊机体抗氧化能力有所提高, 对高精料所致的瘤胃及全身炎症也有缓解的潜力。

4 结论

高精料饲料条件下, 饲喂适量葡萄籽原花青素可以提高羔羊瘤胃 pH, 提高血清和瘤胃组织抗氧化能力, 降低血清促炎因子水平, 提高羔羊采食量和日增重, 对羔羊健康具有潜在的保护效应。在本试验条件下, 葡萄籽原花青素的最佳饲喂量为 20 mg·kg⁻¹ BW。

参考文献 References

- [1] 侯志高, 王振勇, 柴同杰, 贾玉东, 巩庆亮, 马健, 王允田. 不同精粗比饲料对奶牛机体氧化应激和瘤胃内环境稳定性的影响. 畜牧兽医学报, 2008, 39(4): 455-459.
HOU Z G, WANG Z Y, CAI T J, JIA Y D, GONG Q L, MA J, WANG Y T. Effects of forage to concentrate ratio on homeostasis of rumen and oxidative stress in cows. Acta Veterinaria et Zootechnica Sinica, 2008, 39(4): 455-459. (in Chinese)

- [2] ZHAO J X, LI Q, ZHANG R X, LIU W Z, REN Y S, ZHANG C X, ZHANG J X. Effect of dietary grape pomace on growth performance, meat quality and antioxidant activity in ram lambs. *Animal Feed Science and Technology*, 2018, 236: 76-85.
- [3] MOSSALAYI M D, RAMBERT J, RENOUEF E, MICOULEAU M, MÉRILLON J M. Grape polyphenols and propolis mixture inhibits inflammatory mediator release from human leukocytes and reduces clinical scores in experimental arthritis. *Phytomedicine*, 2014, 21(3): 290-297.
- [4] JOSHI S, KUSZYNSKI C, BAGCHI D. The cellular and molecular basis of health benefits of grape seed proanthocyanidin extract. *Current Pharmaceutical Biotechnology*, 2001, 2(2): 187-200.
- [5] BAGCHI M, MILNES M, WILLIAMS C, BALMOORI J, YE X M, STOHS S, BAGCHI D. Acute and chronic stress-induced oxidative gastrointestinal injury in rats, and the protective ability of a novel grape seed proanthocyanidin extract. *Nutrition Research*, 1999, 19(8): 1189-1199.
- [6] GULGUN M, ERDEM O, OZTAS E, KESIK V, BALAMTEKIN N, VURUCU S, KUI M, KISMET E, KOSEOGLU V. Proanthocyanidin prevents methotrexate-induced intestinal damage and oxidative stress. *Experimental and Toxicologic Pathology*, 2010, 62(2): 109-115.
- [7] GOODRICH K M, FUNDARO G, GRIFFIN L E, GRANT A, HULVER M W, PONDER M A, NEILSON A P. Chronic administration of dietary grape seed extract increases colonic expression of gut tight junction protein occludin and reduces fecal calprotectin: a secondary analysis of healthy Wistar Furth rats. *Nutrition Research*, 2012, 32(10): 787-794.
- [8] HO S C, HWANG L S, SHEN Y J, LIN C C. Suppressive effect of a proanthocyanidin-rich extract from longan (*Dimocarpus longan* Lour.) flowers on nitric oxide production in LPS-stimulated macrophage cells. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2007, 55(26): 10664-10670.
- [9] 杨德莲, 童津津, 张婕, 郭琪, 蒋琦晖, 蒋林树, 熊本海. 葡萄籽原花青素对奶牛瘤胃体外发酵参数及微生物区系的影响. *动物营养学报*, 2018, 30(2): 717-725.
- YANG D L, TONG J J, ZHANG J, GUO Q, JIANG Q H, JIANG L S, XIONG B H. Effects of grape seed procyanidine on rumen fermentation parameters and microflora of dairy cows *in vitro*. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2018, 30(2): 717-725. (in Chinese)
- [10] 童津津, 张华, 孙铭维, 张婕, 熊本海, 蒋林树. 采用 Illumina MiSeq 测序技术分析葡萄籽原花青素对奶牛体外瘤胃发酵产甲烷菌区系的影响. *动物营养学报*, 2019, 31(1): 325-334.
- TONG J J, ZHANG H, SUN M W, ZHANG J, XIONG B H, JIANG L S. Effects of grape seed procyanidine on methanogens flora of *in vitro* rumen fermentation of dairy cows using Illumina MiSeq sequencing technology. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2019, 31(1): 325-334. (in Chinese)
- [11] 杜宇, 王之盛, 董利锋. 石榴皮多酚提取物对亚急性瘤胃酸中毒相关有害因子的影响. *动物营养学报*, 2011, 23(11): 2031-2036.
- DU Y, WANG Z S, DONG L F. Protective effects of pomegranate peel polyphenol extract against related harmful factors of subacute ruminal acidosis. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2011, 23(11): 2031-2036. (in Chinese)
- [12] 郭长征, 冯洋飞, 薛春旭, 叶慧敏, 刘军花, 毛盛勇. 高精料饲料添加槲皮素对山羊瘤胃发酵、瘤胃菌群数量及血清指标的影响. *动物营养学报*, 2016, 28(9): 2839-2846.
- GUO C Z, FENG P F, XUE C X, YE H M, LIU J H, MAO S Y. Effects of quercetin supplemented in high-concentrate diet on rumen fermentation, rumen bacteria counts and serum indices of goats. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2016, 28(9): 2839-2846. (in Chinese)
- [13] 严淑红, 赵士萍, 蒋琦晖, 方洛云, 周敏, 闵婉平, 蒋林树. 茶皂素对奶牛瘤胃发酵及瘤胃微生物区系的影响. *动物营养学报*, 2016, 28(8): 2485-2496.
- YAN S H, ZHAO S P, JIANG Q H, FANG L Y, ZHOU M, MIN W P, JIANG L S. Effects of tea saponin on rumen fermentation and rumen microflora of dairy cows. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2016, 28(8): 2485-2496. (in Chinese)
- [14] KHAFIPOUR E, KRAUSE D O, PLAIZIER J C. A grain-based subacute ruminal acidosis challenge causes translocation of lipopolysaccharide and triggers inflammation. *Journal of Dairy Science*, 2009, 92(3): 1060-1070.
- [15] 牟春堂, 杨文军, 王鹏举, 任国栋, 剧浩, 任有蛇, 郝小燕, 张建新. 葡萄籽原花青素对公羔羊生长性能、精液品质及睾丸和附睾抗氧化指标的影响. *动物营养学报*, 2020, 32(5): 2241-2250.
- MU C T, YANG W J, WANG P J, REN G D, JU H, REN Y S, HAO X Y, ZHANG J X. Effects of grape seed procyanidins on growth performance, semen quality, antioxidant indexes in testis and epididymis of ram. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2020, 32(5): 2241-2250. (in Chinese)
- [16] 王峰, 王继彤, 赵茜, 熊颖, 顾美超, LAURA G, 郭凯军. 板栗总苞

- 多酚对奶牛牛抗氧化指标及生产性能的影响. 中国牛业科学, 2016, 42(2): 32-38.
- WANG F, WANG J T, ZHAO X, XIONG Y, GU M C, LAURA G, GUO K J. Effects of polyphenols from the involucres of *castanea mollissima* blume on antioxidative parameters and growth performance of buffalo. *China Cattle Science*, 2016, 42(2): 32-38. (in Chinese)
- [17] 张培军. 茶多酚对奶牛酮病、氧化/抗氧化指标和生产性能的影响[D]. 南宁: 广西大学, 2017.
- ZHANG P J. Effects of feeding tea polyphenols on ketosis, oxidation/antioxidant index and production performance of dairy cows[D]. Nanning: Guangxi University, 2017. (in Chinese)
- [18] 赵家奇, 郝瑞荣, 高俊杰, 王伟伟. 葡萄籽原花青素对断奶仔猪免疫力及抗氧化功能的影响. 山西农业大学学报, 2016, 36(10): 735-739.
- ZHAO J Q, HAO R R, GAO J J, WANG W W. Effects of grape seed procyanidins on immune function and antioxidant capacity in weaned piglets. *Journal of Shanxi Agricultural University*, 2016, 36(10): 735-739. (in Chinese)
- [19] 潘发明, 李发弟, 郝正里, 郑琛, 董淑慧. 茶渣单宁含量及对绵羊养分消化利用与氮代谢参数的影响. 畜牧兽医学报, 2012, 43(1): 75-85.
- PAN F M, LI F D, HAO Z L, ZHENG C, DONG S H. Effects of tannin content in residue of tea-leaves on digestion and utilization of nutrients and metabolic parameters of nitrogen in sheep. *Acta Veterinaria et Zootechnica Sinica*, 2012, 43(1): 75-85. (in Chinese)
- [20] 李红, 董硕, 熊颖, 谷明灿, 郭凯军. 板栗总苞多酚对 AA 肉鸡生长、抗氧化性能影响. 中国农业科学, 2015, 48(4): 788-795.
- LI H, DONG S, XIONG Y, GU M C, GUO K J. Effects of chestnut involucres polyphenols on growth performance and antioxidant properties of AA broilers. *Scientia Agricultural Sinica*, 2015, 48(4): 788-795. (in Chinese)
- [21] 金亚倩, 郝松华, 赵俊星, 马雪豪, 苏锐, 任有蛇, 张春香, 张建新. 饲料中添加葡萄皮渣对绵羊生长性能、器官指数及血液生化指标的影响. 中国畜牧兽医, 2016, 43(9): 2326-2332.
- JIN Y Q, HAO S H, ZHAO J X, MA X H, SU R, REN Y S, ZHANG C X, ZHANG J X. Effect of dietary grape pomace on growth performance, organ index and blood biochemical indexes in sheep. *China Animal Husbandry & Veterinary Medicine*, 2016, 43(9): 2326-2332. (in Chinese)
- [22] 李大彪, 于永强, 王卫云, 张妹妹, 李红磊, 邢媛媛. 单宁和聚乙二醇对绵羊和山羊瘤胃微生物数量和营养物质表观消化率的影响. 动物营养学报, 2015, 27(10): 3155-3162.
- LI D B, YU Y Q, WANG W Y, ZHANG M M, LI H L, XING Y Y. Effects of tannin and polyethylene glycol on ruminal microorganism quantity and nutrient apparent digestibility of sheep and goats. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2015, 27(10): 3155-3162. (in Chinese)
- [23] 赵梦迪, 邸凌峰, 唐泽宇, 曹雪, 李成云. 单宁与饲用纤维素酶对湖羊瘤胃微生物菌群的影响. 中国畜牧兽医, 2019, 46(1): 112-122.
- ZHAO M D, DI L F, TANG Z Y, CAO X, LI C Y. Effects of tannin and feeding cellulase on rumen microflora of Hu sheep. *China Animal Husbandry & Veterinary Medicine*, 2019, 46(1): 112-122. (in Chinese)
- [24] DE NARDI R, MARCHESINI G, C PLAIZIER J, LI S C, KHAFIPOUR E, RICCI R, ANDRIGHETTO I, SEGATO S. Use of dicarboxylic acids and polyphenols to attenuate reticular pH drop and acute phase response in dairy heifers fed a high grain diet. *BMC Veterinary Research*, 2014, 10: 277.
- [25] 吕忠蕾. 不同分子量缩合单宁对延边黄牛瘤胃发酵及微生物区系的影响[D]. 延吉: 延边大学, 2014.
- LÜ Z L. Effects of different molecular weights of condensed tannins on ruminal fermentation and microflora to Yanbian yellow cattle[D]. Yanji: Yanbian University, 2014. (in Chinese)
- [26] GETACHEW G, PITTROFF W, DEPETERS E J, PUTNAM D H, DANDEKAR A, GOYAL S. Influence of tannic acid application on alfalfa hay: in vitro rumen fermentation, serum metabolites and nitrogen balance in sheep. *Animal*, 2008, 2(3): 381-390.
- [27] EMMANUEL D G V, MADSEN K L, CHURCHILL T A, DUNN S M, AMETAJ B N. Acidosis and lipopolysaccharide from *escherichia coli* B: 055 cause hyperpermeability of rumen and colon tissues. *Journal of Dairy Science*, 2007, 90: 5552-5557.
- [28] 李伟, 孙静, 郭英. 葡萄籽提取物对化学性肝损伤的抗氧化保护作用. 热带医学杂志, 2007, 7(2): 148-150.
- LI W, SUN J, GUO Y. Anti-oxidation effects of GSE on chemical hepatic injury. *Journal of Tropical Medicine*, 2007, 7(2): 148-150. (in Chinese)
- [29] 姜婧, 陈雁, 张海莉, 谭敦, 杨大千, 张志刚. 原花青素对铅诱导大鼠肝损伤的保护作用. 中国兽医科学, 2016, 46(5): 131-137.
- JIANG J, CHEN Y, ZHANG H L, TAN X, YANG D Q, ZHANG Z G.

- Protective role of grape seed proanthocyanidin extract against lead-induced liver damage. *Chinese Veterinary Science*, 2016, 465(5): 131-137. (in Chinese)
- [30] GABAI G, TESTONI S, PICCININI R, MARINELLI L, STRADAIOLI G. Oxidative stress in primiparous cows in relation to dietary strach and the progress of lactation. *Animal Science*, 2004, 79(1): 99-108.
- [31] 曾诚. 二苯乙烯苷对炎症性肠病的作用: 诱导 PPAR- γ 和抑制 NF- κ B 炎症通路[D]. 武汉: 华中科技大学, 2011.
- ZENG C. Effects of THSG on inflammatory bowel disease: induction of PPAR- γ protein and inhibition of NF- κ B inflammatory pathway[D]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology, 2011. (in Chinese)
- [32] DESCALZO A M, SANCHO A M. A review of natural antioxidants and their effects on oxidative status, odor and quality of fresh beef produced in Argentina. *Meat Science*, 2008, 79(3): 423-436.
- [33] 宿孝奇. 酮病奶牛氧化应激特征及原花青素对奶牛氧化应激的影响[D]. 南宁: 广西大学, 2015.
- SU X Q. Characteristics of oxidative stress in cows with ketosis and the effect of adding procyanidins on oxidative stress in cows[D]. Nanning: Guangxi University, 2015. (in Chinese)
- [34] LI X L, CAI Y Q, QIN H, WU Y J. Therapeutic effect and mechanism of proanthocyanidins from grape seeds in rats with TNBS induced ulcerative colitis. *Canadian Journal of Physiology & Pharmacology*, 2008, 86(12): 841-849.
- [35] BRENES A, VIVEROS A, GOÑI I, CENTENO C. Effect of grape seed extract on growth performance, protein and polyphenol digestibilities, and antioxidant activity in chickens. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 2010, 8(2): 326-335.
- [36] CHOY Y Y, QUIFERRADA P, HOLSTEGE D M, FRESE S A, CALVERT C C, MILLS D A, LAMUELA-RAVENTOS R M, WATERHOUS A L. Phenolic metabolites and substantial microbiome changes in pig feces by ingesting grape seed proanthocyanidins. *Food & Function*, 2014, 5(9): 2298-2308.
- [37] SUNG N Y, YANG M S, SONG D S, BYUN E B, KIM J K, PARK J H, SON B S, LEE J W, PARK S H, PARK H J, BYUN M W, BYUN E H, KIM J H. The procyanidin trimer C1 induces macrophage activation via NF- κ B and MAPK pathways, leading to Th1 polarization in murine splenocytes. *European Journal of Pharmacology*, 2013, 714(1-3): 218-228.

(责任编辑 林鉴非)