

引用格式:

王海波, 谷志勇, 刘远, 贾浩滨, 江浩筠, 潘月, 李文杨, 赵生国, 霍俊宏, 占今舜. 槲皮素对早期断奶广丰山羊羔羊的生长性能和血清生理及免疫抗氧化能力的影响[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2025, 51(1): 90–97.

WANG H B, GU Z Y, LIU Y, JIA H B, JIANG H Y, PAN Y, LI W Y, ZHAO S G, HUO J H, ZHAN J S. Effect of quercetin on growth performance and serum physiological and immuno-antioxidant capacity of early weaned Guangfeng goat lambs[J]. Journal of Hunan Agricultural University(Natural Sciences), 2025, 51(1): 90–97.

投稿网址: <http://xb.hunau.edu.cn>



槲皮素对早期断奶广丰山羊羔羊的生长性能和血清生理及免疫抗氧化能力的影响

王海波^{1,2}, 谷志勇^{1,3}, 刘远⁴, 贾浩滨¹, 江浩筠¹,
潘月^{1,3}, 李文杨⁴, 赵生国², 霍俊宏¹, 占今舜^{1*}

(1.江西省农业科学院畜牧兽医研究所, 江西 南昌 330200; 2.甘肃农业大学动物科学技术学院, 甘肃 兰州 730070; 3.天津农学院动物科学与动物医学学院, 天津 300384; 4.福建省农业科学院畜牧兽医研究所, 福建 福州 350013)

摘要: 选择36只45 d左右、健康、体质量(6.30±0.54) kg的广丰山羊羔羊, 随机分为3组, 每组12只, 对照组饲喂基础日粮(CON), 试验组在基础日粮中分别添加100 mg/kg(Q100)和200 mg/kg(Q200)的槲皮素, 饲喂15 d, 在60日龄断奶, 断奶后再饲喂15 d, 分别于断奶前15 d、断奶当日、断奶后15 d测定羔羊体尺指标, 同时, 测定断奶当日和断奶15 d羔羊血清生化、免疫和抗氧化指标。结果表明: 1) 基础日粮添加槲皮素对断奶广丰山羊的体高、胸围、体长、体质量、平均日增重、平均日采食量和料重比无显著影响。2) 断奶当日, Q200组羔羊血清谷草转氨酶(GOT)活性是CON组的1.89倍($P<0.05$); 断奶15 d, Q200组羔羊血清谷丙转氨酶(ALT)活性是CON组的1.02倍($P<0.05$)。3) 断奶当日, Q100组羔羊血清IgA浓度是CON组的1.48倍($P<0.05$), 而IgM和IL-1 β 浓度则分别降低26.97%和50.81%; 断奶15 d, Q200组羔羊血清IgG浓度是CON组的1.28倍, 而IL-1 β 浓度则降低46.71%($P<0.05$)。4) 断奶当日, Q100组和Q200组羔羊血清CAT活性分别是CON组的1.61倍和1.82倍, 断奶15 d时, 分别是CON组的2.98倍和2.84倍($P<0.05$); 断奶15 d, Q100组羔羊血清T-SOD和GSH-Px含量分别是CON组的1.59倍和1.24倍($P<0.05$), Q200组羔羊血清T-SOD和GSH-Px含量分别是CON组的1.65倍和1.32倍($P<0.05$)。综上所述, 槲皮素能够提高早期断奶广丰山羊羔羊的抗氧化性能和免疫力、抑制炎症反应来缓解早期断奶应激反应。

关键词: 槲皮素; 广丰山羊断奶羔羊; 血清生化指标; 免疫; 抗氧化

中图分类号: R285.5

文献标志码: A

文章编号: 1007-1032(2025)01-0090-08

Effect of quercetin on growth performance and serum physiological and immuno-antioxidant capacity of early weaned Guangfeng goat lambs

WANG Haibo^{1,2}, GU Zhiyong^{1,3}, LIU Yuan⁴, JIA Haobin¹, JIANG Haoyun¹, PAN Yue^{1,3},
LI Wenyang⁴, ZHAO Shengguo², HUO Junhong¹, ZHAN Jinshun^{1*}

(1. Institute of Animal Husbandry and Veterinary, Jiangxi Academy of Agricultural Science, Nanchang, Jiangxi 330200, China; 2. College of Animal Science and Technology, Gansu Agricultural University, Lanzhou, Gansu 730070, China; 3. College of Animal Science and Veterinary Medicine, Tianjin Agricultural University, Tianjin 300384, China; 4. Institute of Animal Husbandry and Veterinary Science, Fujian Academy of Agricultural Sciences, Fuzhou, Fujian 350013, China)

收稿日期: 2024-07-29

修回日期: 2024-12-08

基金项目: 江西现代农业科研协同创新专项(JXXTCCXN202203); 国家自然科学基金项目(32360857); 江西省现代农业产业技术体系建设专项(JXARS-13-肉羊岗位)

作者简介: 王海波(1992—), 男, 甘肃会宁人, 博士研究生, 主要从事反刍动物营养研究, wanghaibo8815@163.com; *通信作者, 占今舜, 博士, 助理研究员, 主要从事反刍动物营养与饲料研究, zhanjinshun1985@163.com

Abstract: Thirty-six healthy Guangfeng goat lambs aged around 45 d with body weight(6.30±0.54) kg were selected and randomly divided into 3 groups with 12 lambs in each group. The control group was fed a basal diet(CON), and the experimental group was fed a basal diet supplemented with 100 mg/kg(Q100) or 200 mg/kg(Q200) of quercetin for 15 d. After weaning at 60 day of age, the lambs were further fed for 15 d. Body size indices of lambs were measured 15 d before weaning, on the day of weaning and 15 d after weaning. In addition, serum biochemical, immunological and antioxidant parameters were measured in lambs on the day of weaning and 15 d after weaning. The results showed that 1) the addition of quercetin to the basal diet had no significant effect on body height, chest circumference, body length, body weight, average daily gain, average daily feed intake and feed-to-weight ratio of weaned Guangfeng goat lambs. 2) On the day of weaning, serum glutamate aminotransferase(GOT) activity of lambs in the Q200 group was significantly increased by 1.89 folds compared with CON group($P<0.05$); at 15 d after weaning, the serum alanine aminotransferase(ALT) of lambs in the Q200 group was significantly increased by 1.02 folds compared with CON group($P<0.05$). 3) On the day of weaning, the serum IgA concentration of lambs in the Q100 group was significantly increased by 1.48 folds compared with CON group($P<0.05$), while the IgM and IL-1 β concentrations were decreased by 26.97% and 50.81%, respectively; at 15 d after weaning, the serum IgG concentration of lambs in the Q200 group was significantly increased by 1.28 folds compared with CON group, whereas the IL-1 β concentration was decreased by 46.71%($P<0.05$). 4) On the day of weaning, the serum CAT activities of lambs in Q100 and Q200 groups were 1.61 and 1.82 folds higher than those in the CON group, respectively, while they were 2.98 and 2.84 folds higher than those in the CON group on 15 d after weaning($P<0.05$); at 15 d after weaning, the serum T-SOD and GSH-Px contents of lambs in the Q100 group were 1.59 and 1.24 folds higher than those in the CON group, respectively($P<0.05$), and the serum T-SOD and GSH-Px contents of lambs in the Q200 group were 1.65 and 1.32 folds higher than those in the CON group, respectively($P<0.05$). In conclusion, quercetin can improve the antioxidant property and immunity of early weaned Guangfeng goat lambs, and inhibit the inflammatory response to alleviate the early weaning stress of Guangfeng goat lambs.

Keywords: quercetin; Guangfeng goat weaned lambs; serum biochemical index; immunity; antioxidant

羔羊早期断奶可以缩短育种周期, 节约生产成本, 增加生产效益, 但早期断奶对羔羊来说是一个重要的应激源^[1], 因此, 寻求缓解羔羊断奶应激添加剂受到广泛关注。研究^[2-4]发现, 黄酮类化合物作为天然、绿色抗氧化剂, 具有增强抗菌、抗病毒、抗炎能力, 改善动物生产性能, 提高动物能量利用率^[5]的作用。同时, 能够消除自由基、抑制自由基生成酶的合成^[3], 增强反刍动物(奶牛^[6]、绵羊^[7])血清中抗氧化酶活性, 并能通过 NF- κ B 信号通路增强机体的免疫功能^[8]。

槲皮素(quercetin)作为一种广泛存在于蔬菜、水果、茶和酒等食物中的黄酮醇类, 其具有抗炎、抗氧化及抑制脂质过氧化等功能^[8-10]。槲皮素能够降低动物腹泻率^[11]、缓解氧化应激^[12], 增强机体抗氧化能力^[13-14], 促进有益菌增殖, 抑制潜在致病菌增殖^[15-16], 增强肠道屏障功能^[11,17-19]。同时, 饲料中添加槲皮素可刺激肠道菌群产生 VFA, 提高营养物

质消化率^[20-22], 改善断奶仔猪^[11,15]、育肥猪^[23-24]、肉鸡^[19]的生产性能。研究发现, 槲皮素能通过调控氧自由基(ROS)介导的单磷酸腺苷活化蛋白激酶(AMPK)、丝裂原活化蛋白激酶(MAPK)等信号通路, 减轻氧化损伤带来的危害^[25]。占今舜等^[14]研究发现, 槲皮素能够通过提高抗氧化酶活性, 并调节 TLR/MyD88/NF- κ B 信号通路抑制炎性细胞因子的分泌来缓解脂多糖(LPS)诱导的细胞损伤, 并且能抑制 NF- κ B 的核转位, 可以抑制促炎细胞因子的表达(如 IL-1 β), 降低 ROS 的水平, 缓解 LPS 诱导肺泡上皮细胞的氧化应激^[26]。同时, 槲皮素可通过激活 Nrf2 信号通路缓解 LPS 诱导的牛乳腺上皮细胞的氧化应激^[27]。目前, 有关槲皮素的研究大多集中在细胞层面和单胃动物生产中, 在反刍动物上缺乏应用研究。广丰山羊是一种原产于江西省广丰区的地方山羊品种, 具有耐粗饲、抗病力强、繁殖力强和采食能力强等优点, 但饲养方式比较粗放, 生产

效率较低,而开展广丰山羊早期断奶对缩短广丰山羊母羊哺乳周期,提高繁殖率,降低培育成本等方面具有重要意义^[28-29]。笔者研究日粮中添加槲皮素对早期断奶广丰山羊羔羊体尺指标、平均日增重、平均日采食量、料重比、血清生化指标、免疫球蛋白、细胞因子和抗氧化酶活的影响,以期为开发槲皮素成为一种缓解羔羊断奶应激的添加剂提供依据。

1 材料与方法

1.1 材料

36只45日龄、健康、体质量(6.30±0.54)kg的广丰山羊羔羊,由江西龙海农业开发有限公司提供。槲皮素为槐米提取物,纯度≥95%,由宁波某生物科技有限公司提供。

1.2 试验设计

羔羊断奶前随母哺乳,并补饲基础饲粮。基础日粮参考NY/T 816—2021《肉用绵羊和山羊饲养标准》,由江西龙海农业开发有限公司配制。饲粮精粗比为50:50,饲粮组成及营养水平列于表1。

表1 广丰山羊羔羊饲粮组成及营养水平

Table 1 Composition and nutrient levels of diet for Guangfeng goat lambs

原料	占比/%	营养水平	数值
玉米	19.50	消化能/(MJ·kg ⁻¹)	13.12
麦麸	7.50	粗蛋白质量分数/%	14.45
豆粕	18.00	中性洗涤纤维质量分数/%	46.27
氯化钠	0.50	酸性洗涤纤维质量分数/%	42.06
磷酸氢钙	0.50		
芒草	50.00		
预混料	4.00		
合计	100.00		

预混料为每kg饲粮提供 V-A 80 000 IU, V-D 252 000 IU, V-E 100 IU, 烟酸 200 mg, 泛酸 60 mg, 生物素 4.8 mg, Cu 48 mg, Zn 400 mg, Se 3 mg, Fe 480 mg, 17 mg, Mn 400 mg, Co 3 mg。

广丰山羊羔羊36只,随机分为3组,每组12只,单栏饲养。对照组(CON)在45日龄开始饲喂基础日粮,试验组45日龄开始在基础日粮中分别添加100 mg/kg(Q100)和200 mg/kg(Q200)槲皮素,饲喂15 d后,在60日龄断奶,断奶后再饲喂15 d。

1.3 测定项目及方法

1.3.1 羔羊体质量和体尺指标的测定

在断奶前15 d、断奶当日和断奶后15 d晨饲前,测定羔羊的体质量和体尺指标。体质量为自然状态下空腹体质量;体高为髻髻最高点到地面的垂直距离;体长为肩胛端前缘至同侧坐骨结节后缘的距离;胸围为肩胛后端绕胸一周的长度;管围为左前肢管骨最细处的水平周长。

1.3.2 血液指标测定

在断奶当日和断奶后15 d晨饲前,采集羔羊颈静脉血5 mL,静置2 h,3 500 r/min离心10 min收集血清,-20℃保存。参照南京建成生物科技有限公司试剂盒说明书测定碱性磷酸酶(AKP)、葡萄糖(GLU)、高密度脂蛋白(HDL-C)、低密度脂蛋白(LDL-C)、乳酸脱氢酶(LDH)、总胆固醇(TCHO)、甘油三酯(TG)、谷丙转氨酶(ALT)、谷草转氨酶(GOT)及尿素氮(BUN)等血清生化指标。参照上海科兴生物科技有限公司试剂盒说明书,测定血清免疫球蛋白(IgA、IgG、IgM)、转化生长因子-β(TGF-β)、白细胞介素(IL-1β、IL-6、IL-10)、肿瘤坏死因子-α(TNF-α)血清免疫和过氧化氢酶(CAT)、总超氧化物歧化酶(T-SOD)、总抗氧化能力(T-AOC)、谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-PX)、丙二醛(MDA)、二胺氧化酶(DAO)和D-乳酸(DLA)活性。

1.4 数据处理与分析

数据经Excel 2016整理后,利用SPSS 26.0进行单因素方差分析,用Duncan法进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 槲皮素对早期断奶广丰山羊羔羊体尺指标的影响

由表2可知,在断奶当日,Q200组羔羊体长有高于其他两组的趋势(0.05<P<0.10);断奶后15 d,Q100组羔羊的管围分别较CON组和Q200降低4.92%和3.44%(P<0.05);其他各组间体高、胸围、体长和管围在断奶前15 d,断奶当日和断奶后15 d均无显著差异(P>0.05)。

表 2 槲皮素处理的早期断奶广丰山羊羔的体尺指标

处理	体高/cm			胸围/cm		
	断奶前 15 d	断奶当日	断奶后 15 d	断奶前 15 d	断奶当日	断奶后 15 d
CON	36.36±2.99	37.32±2.93	38.37±1.79	40.87±2.72	42.10±1.46	45.37±3.16
Q100	36.60±1.60	37.73±1.41	38.64±2.38	41.56±1.95	42.06±1.88	44.58±1.51
Q200	37.43±2.16	38.90±2.49	40.06±1.25	41.86±2.49	41.79±1.31	45.43±2.32
<i>P</i>	0.56	0.17	0.11	0.65	0.68	0.69

处理	体长/cm			管围/cm		
	断奶前 15 d	断奶当日	断奶后 15 d	断奶前 15 d	断奶当日	断奶后 15 d
CON	34.67±2.31	35.48±2.21	38.72±2.46	5.85±0.41	6.36±0.23	(6.50±0.23)a
Q100	34.26±2.23	35.66±1.45	38.37±1.21	5.63±0.44	6.25±0.19	(6.18±0.18)b
Q200	35.75±1.89	37.02±1.01	39.45±2.78	5.80±0.40	6.36±0.14	(6.40±0.22)a
<i>P</i>	0.29	0.06	0.56	0.48	0.24	0.01

同列数据不同字母表示处理间的差异有统计学意义($P<0.05$)。

2.2 槲皮素对早期断奶广丰山羊羔羊生长性能的影响

由表 3 可知, 相比 CON 处理, Q100 和 Q200 处理对早期断奶羔羊的断奶前 15 d、断奶当日和断奶后 15 d 的体质量以及断奶前 15 d 至断奶当日、

断奶当日至断奶后 15 d 及断奶前 15 d 至断奶后 15 d 的平均日增重均无显著影响($P>0.05$)。同时, 对断奶当日至断奶后 15 d 和断奶当日至断奶后 15 d 的平均日采食量和料重比也无显著影响($P>0.05$)。

表 3 槲皮素处理的早期断奶广丰山羊羔羊的生长性能

处理	体质量/kg			平均日增重/g			平均日采食量/g	料重比
	断奶前 15 d	断奶当日	断奶后 15 d	断奶前 15 d 至断奶当日	断奶当日 至断奶后 15 d	断奶前 15 d 至断奶后 15 d		
CON	6.38±0.59	7.57±0.89	7.82±1.21	79.47±8.71	16.07±11.95	47.77±8.53	304.72±32.16	11.04±4.68
Q100	6.35±0.50	7.28±0.78	7.84±0.91	61.93±11.00	37.60±17.62	49.77±8.88	276.89±23.29	7.41±2.70
Q200	6.36±0.58	7.29±0.85	7.99±0.94	61.60±9.38	46.73±8.15	54.17±6.28	283.17±25.08	6.24±1.14
<i>P</i>	0.99	0.47	0.92	0.35	0.26	0.85	0.50	0.24

平均日采食量和料重比为断奶当日至断奶后 15 d 的值。

2.3 槲皮素对早期断奶广丰山羊羔羊血清生化指标的影响

由表 4 可知, 断奶当天, Q200 组羔羊血清 GOT 活性是 CON 组的 1.89 倍($P<0.05$), TCHO 有升高的趋势($0.05<P<0.10$)。相比 CON 处理, 槲皮素对断奶当日的 AKP、GLU、HDL-C、LDL-C、LDG、TG、ALT 和 BUN 均无显著影响($P>0.05$), 但 Q200 组羔

羊血清 AKP 活性是 Q100 组的 2.64 倍($P<0.05$)。同时, 断奶 15 d, Q200 组羔羊血清 ALT 是 CON 组的 1.02 倍($P<0.05$), HDL-C 含量以及 LDH 和 GOT 活性有升高的趋势($0.05<P<0.10$)。相比 CON 组, 槲皮素对早期断奶广丰山羊 15 d 血清的 AKP、GLU、LDL-C、TCHO、TG 和 BUN 含量均无显著影响。

表 4 槲皮素处理的早期断奶广丰山羊羔羊的血清生化指标

处理	AKP 活性/(U·L ⁻¹)		GLU 含量/(mmol·L ⁻¹)		HDL-C 含量/(mmol·L ⁻¹)		LDL-C 含量/(mmol·L ⁻¹)		LDH 活性/(U·L ⁻¹)	
	断奶当日	断奶 15 d	断奶当日	断奶 15 d	断奶当日	断奶 15 d	断奶当日	断奶 15 d	断奶当日	断奶 15 d
CON (248.33±34.56)ab	91.39±19.56	4.57±0.36	3.33±0.20	1.80±0.31	0.41±0.07	1.05±0.18	0.26±0.03	66.48±3.61	59.02±4.30	
Q100 (154.08±14.57)b	132.66±35.56	5.16±0.49	3.83±0.51	1.73±0.26	0.56±0.04	1.14±0.16	0.34±0.06	68.98±4.71	60.46±5.60	
Q200 (406.69±85.89)a	149.30±84.32	5.21±0.41	2.91±0.28	1.70±0.29	0.63±0.09	1.27±0.22	1.01±0.59	57.72±3.65	74.57±7.21	
<i>P</i>	0.01	0.54	0.52	0.10	0.97	0.06	0.71	0.16	0.15	0.09

表 4(续)

处理	TCHO 含量/(mmol·L ⁻¹)		TG 含量/(mmol·L ⁻¹)		ALT 活性/(U·L ⁻¹)		GOT 活性/(U·L ⁻¹)		BUN 含量/(mmol·L ⁻¹)	
	断奶当日	断奶 15 d	断奶当日	断奶 15 d	断奶当日	断奶 15 d	断奶当日	断奶 15 d	断奶当日	断奶 15 d
CON	2.23±0.11	0.73±0.04	0.48±0.06	0.42±0.06	172.57±0.78 (171.19±0.20)b	(16.67±1.60)b	28.34±2.99	3.09±0.48	7.96±1.30	
Q100	2.74±0.24	0.67±0.10	0.95±0.24	0.32±0.03	173.24±0.85 (171.74±0.47)b	(20.89±1.93)b	27.46±3.97	3.45±0.06	6.52±0.38	
Q200	2.87±0.25	0.81±0.12	0.75±0.23	0.80±0.46	171.65±0.38 (174.40±0.83)a	(31.53±3.93)a	37.28±3.28	3.76±0.39	7.16±0.47	
<i>P</i>	0.06	0.36	0.26	0.25	0.30	<0.01	<0.01	0.07	0.43	0.26

同列不同字母表示处理间的差异有统计学意义($P<0.05$)。

2.4 槲皮素对早期断奶广丰山羊羔羊血清免疫指标的影响

由表 5 可知,断奶当日, Q100 和 Q200 组羔羊血清 IgA 含量分别是 CON 处理的 1.48 倍和 1.40 倍($P<0.05$), 而 IL-1 β 含量则分别下降 50.81%和 56.64%($P<0.05$)。相对于 CON 处理, Q100 组羔羊

血清 IgM 浓度降低 26.97% ($P<0.05$)。此外,槲皮素对断奶当日的 IgG、TGF- β 、TNF- α 、IL-10 和 IL-6 含量均无显著影响($P>0.05$)。断奶 15 d, Q200 组羔羊血清 IgG 含量是 CON 组的 1.28 倍($P<0.05$), 而 Q100 和 Q200 组羔羊血清 IL-1 β 分别下降 52.16%和 46.71%($P<0.05$)。

表 5 槲皮素处理的早期断奶广丰山羊羔的血清免疫指标

Table 5 Serum immunity indices of early-weaned lambs of Guangfeng goats treated with quercetin

处理	IgM 含量/($\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$)		IgG 含量/($\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$)		IgA 含量/($\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$)		TGF- β 含量/($\text{ng}\cdot\text{L}^{-1}$)	
	断奶当日	断奶 15 d	断奶当日	断奶 15 d	断奶当日	断奶 15 d	断奶当日	断奶 15 d
CON	(6.08±0.60)a	4.69±0.51	782.29±39.54	(800.12±62.78)b	(34.29±0.95)b	42.86±4.11	612.75±36.69	576.48±61.38
Q100	(4.44±0.48)b	5.01±0.59	708.40±59.67	(888.30±54.03)b	(50.87±4.20)a	42.62±3.03	537.60±70.31	583.72±82.02
Q200	(5.18±0.40)ab	5.19±0.64	742.71±13.48	(1 023.80±38.32)a	(48.01±2.25)a	45.18±4.06	629.45±27.84	601.97±76.18
<i>P</i>	0.03	0.83	0.26	0.03	<0.01	0.87	0.22	0.97

处理	TNF- α 含量/($\text{ng}\cdot\text{L}^{-1}$)		IL-10 含量/($\text{ng}\cdot\text{L}^{-1}$)		IL-6 含量/($\text{ng}\cdot\text{L}^{-1}$)		IL-1 β 含量/($\text{ng}\cdot\text{L}^{-1}$)	
	断奶当日	断奶 15 d	断奶当日	断奶 15 d	断奶当日	断奶 15 d	断奶当日	断奶 15 d
CON	567.18±46.49	560.32±38.46	104.59±7.47	72.99±11.63	72.94±3.35	47.68±6.01	(30.88±2.05)a	(28.99±2.42)a
Q100	525.54±48.37	578.28±57.85	82.73±9.28	96.03±9.23	69.22±7.10	57.25±5.98	(15.19±1.59)b	(13.87±1.71)b
Q200	574.89±46.15	583.04±35.79	85.23±8.98	92.05±7.00	59.61±4.84	57.82±5.34	(13.39±2.83)b	(15.45±200)b
<i>P</i>	0.49	0.93	0.11	0.21	0.11	0.40	<0.01	<0.01

同列不同字母表示处理间的差异有统计学意义($P<0.05$)。

2.5 槲皮素对早期断奶广丰山羊羔羊血清抗氧化指标的影响

由表 6 可知,断奶当日, Q100 组和 Q200 组羔羊血清 CAT 含量分别是 CON 组的 1.61 倍和 1.82 倍,断奶 15 d, 分别是 2.98 倍和 2.84 倍($P<0.05$)。断奶 15 d, Q100 组羔羊血清 T-SOD 和 GSH-Px 含

量分别是 CON 组的 1.59 倍和 1.24 倍, Q200 组羔羊血清 T-SOD 和 GSH-Px 含量分别是 CON 组的 1.65 倍和 1.32 倍($P<0.05$)。相比 CON 组,槲皮素具有提高早期断奶羔羊 15 d 血清 T-AOC 和 DAO 含量的趋势($0.05<P<0.10$)。

表 6 槲皮素处理的早期断奶广丰山羊的血清抗氧化指标

Table 6 Serum antioxidant indices of early-weaned lambs of Guangfeng goats treated with quercetin

处理	DAO 含量/($\text{pg}\cdot\text{mL}^{-1}$)		DLA 含量/($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)		T-AOC 活性/($\text{U}\cdot\text{mL}^{-1}$)		T-SOD 含量/($\text{pg}\cdot\text{mL}^{-1}$)	
	断奶当日	断奶 15 d	断奶当日	断奶 15 d	断奶当日	断奶 15 d	断奶当日	断奶 15 d
CON	158.73±15.31	134.30±15.95	151.10±17.48	112.77±22.66	3.44±0.67	1.81±0.25	96.83±3.45	(90.14±5.40)b
Q100	149.87±14.02	190.99±23.70	132.71±22.02	130.30±20.02	3.41±0.53	2.56±0.25	85.37±5.61	(142.91±12.89)a
Q200	163.02±6.52	154.63±17.99	136.08±13.43	156.78±18.09	3.21±0.66	2.68±0.38	94.80±10.98	(148.59±10.93)a
<i>P</i>	0.49	0.07	0.50	0.16	0.81	0.06	0.31	<0.01

表 6(续)

处理	GSH-Px 含量/(ng·L ⁻¹)		CAT 含量/(ng·L ⁻¹)		MDA 含量/(nmol·mL ⁻¹)	
	断奶当日	断奶 15 d	断奶当日	断奶 15 d	断奶当日	断奶 15 d
CON	69.10±5.87	(80.18±2.80)b	(64.98±5.23)b	(27.68±3.16)b	4.24±0.33	5.38±0.37
Q100	72.91±2.04	(99.27±4.03)a	(104.62±9.93)a	(82.36±5.36)a	4.19±0.18	6.36±0.49
Q200	77.52±3.69	(106.21±5.82)a	(118.12±9.03)a	(78.70±5.08)a	4.87±0.66	6.81±0.72
<i>P</i>	0.19	<0.01	<0.01	<0.01	0.31	0.10

同列不同字母表示处理间的差异有统计学意义($P<0.05$)。

3 结论与讨论

槲皮素在动物生产中的研究发现, 槲皮素能够改善动物(断奶仔猪^[11,15]、育肥猪^[23-24]、肉鸡^[19])生产性能, 能够提高生长猪的 ADG, 降低仔猪腹泻, 提高断奶仔猪平均日增重(ADG)。同时, 在肉鸡上的研究发现, 饲料中添加槲皮素改善肉鸡的 ADG^[19], 然而也有研究发现槲皮素对肉鸡的 ADG、平均日采食量和料重比无显著影响^[8], 本试验研究发现, 饲料中添加 100 mg/kg 或 200 mg/kg 的槲皮素对早期断奶广丰山羊羔羊的体质量、平均日增重、平均日采食量和料重比无显著差异, 这与其可改善猪和鸡等单胃动物的生产性能的研究不一致, 这可能与槲皮素改善动物生长性能存在剂量效应^[8,19,30], 且早期断奶广丰山羊羔羊瘤胃内丰富的微生物能够迅速降解^[31]有关。体尺指标能客观地反映反刍动物生长、发育情况, 是评价动物体况发育的重要指标。从本试验来看, 槲皮素不影响广丰山羊羔羊生长发育, 然而断奶后 15 d 羔羊管围显著小于其他两组的, 这可能是测量误差造成的。

血清 GLU 含量变化能够反映机体对糖吸收、运转和代谢的动态平衡; TG 和 TC 含量反映脂类的吸收、代谢及利用情况, 其数值越低脂肪利用率越高^[32]。HDL 俗称“血管清道夫”, 能把胆固醇从身体组织运输到肝脏转化为胆汁酸或直接通过胆汁从肠道排出。LDH 是一种催化丙酮酸与乳酸之间氧化还原反应的酶类, 当其活性升高时说明细胞受到损伤^[33]。ALT 和 GOT 是反映肝脏功能的两个重要指标, 当肝功能受损时, 这两种酶就会释放到血液中。当细胞受损时, GOT 明显升高^[34]。王凯^[35]研究发现, 日粮中添加槲皮素能够显著降低 LPS 刺激下吉林白鹅血清 GOT 活性, 显著升高 TG 含量, 但对 ALT 活性和 TC 浓度无显著影响。本试验研究发现槲皮素对羔羊血清中 TG、TCHO、GLU、HDL-C、

LDL-C、LDH 无显著影响, 但饲料中添加 200 mg/kg 的槲皮素具有提高 ALT 和 GOT 活性, 这一结果与王凯等^[35]在吉林白鹅中的研究不同, 但与郭长征等^[36]研究发现日粮添加槲皮素对山羊血葡萄糖浓度无显著影响的结果一致。

研究发现, 槲皮素可以提高蛋鸡血清免疫球蛋白(IgA、IgG)和脾免疫相关基因(IgA)的表达^[37], 本试验也得出相似结果, 表明槲皮素有改善早期断奶广丰山羊羔羊免疫力的功能。正常生理状况下, 机体主要依靠酶系(T-SOD、GSH-Px、CAT 等)和非酶系内源性自由基清除剂及外源添加剂来抵消或清除体内自由基, 维持机体自由基动态平衡^[38]。而 MDA 是脂质过氧化的最终产物, MDA 含量降低则表明脂质过氧化对机体造成的损伤降低^[7,30]。同时, 槲皮素能够提高肉鸡体内 T-AOC 和 T-SOD 含量, 降低 MDA 浓度增强机体抗氧化能力^[10]。本试验研究发现, 饲料中添加槲皮素能够显著提高早期断奶广丰山羊羔羊血清中 T-SOD、GSH-Px 和 CAT 的含量, 这与前期的研究发现槲皮素提高动物血清(肉鸡^[10]、奶牛^[6]、绵羊^[7])中抗氧化酶活性的结果一致。综上, 槲皮素对早期断奶广丰山羊羔羊生长发育无显著影响, 但能够通过提高机体抗氧化性能和免疫力, 抑制炎症反应来缓解羔羊断奶应激反应。

参考文献:

- [1] LI C, WANG W M, LIU T, et al. Effect of early weaning on the intestinal microbiota and expression of genes related to barrier function in lambs[J]. *Frontiers in Microbiology*, 2018, 9: 1431.
- [2] GHORBANI A. Mechanisms of antidiabetic effects of flavonoid rutin[J]. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 2017, 96: 305-312.
- [3] 王咏梅, 陈冰, 王国霞, 等. 饲料中添加桑叶黄酮对凡纳滨对虾生长性能、抗氧化指标及抗胁迫能力的影响[J]. *中国水产科学*, 2020, 27(10): 1184-1195.

- [4] EREN-GUZELGUN B, INCE E, GURERORHAN H. *In vitro* antioxidant/prooxidant effects of combined use of flavonoids[J]. *Natural Product Research*, 2018, 32(12): 1446–1450.
- [5] BODAS R, PRIETO N, GARCÍA-GONZÁLEZ R S, et al. Manipulation of rumen fermentation and methane production with plant secondary metabolites[J]. *Animal Feed Science and Technology*, 2012, 176(1/2/3/4): 78–93.
- [6] LIU D Y, HE S J, JIN E H, et al. Effect of daidzein on production performance and serum antioxidative function in late lactation cows under heat stress[J]. *Livestock Science*, 2013, 152(1): 16–20.
- [7] 王海波, 占今舜, 霍俊宏, 等. 饲料添加芦丁对湖羊血清免疫和抗氧化指标以及肌肉成分的影响[J]. *动物营养学报*, 2022, 34(4): 2504–2513.
- [8] YANG J X, MARIA T C, ZHOU B, et al. Quercetin improves immune function in Arbor Acre broilers through activation of NF- κ B signaling pathway[J]. *Poultry Science*, 2020, 99(2): 906–913.
- [9] ZARAGOZÁ C, VILLAESCUSA L, MONSERRATJ, et al. Potential therapeutic anti-inflammatory and immunomodulatory effects of dihydroflavones, flavones, and flavonols[J]. *Molecules*, 2020, 25(4): 1017.
- [10] ZHANG S, KIM I H. Effect of quercetin(flavonoid) supplementation on growth performance, meat stability, and immunological response in broiler chickens[J]. *Livestock Science*, 2020, 242: 104286.
- [11] 张卫辉, 朱秋凤, 张永静, 等. 槲皮素对仔猪生长性能、肠道抗氧化及免疫相关基因表达的影响[J]. *河南农业大学学报*, 2023, 57(1): 136–142.
- [12] SUN L, XU G Q, DONG Y, et al. Quercetin protects against lipopolysaccharide-induced intestinal oxidative stress in broiler chickens through activation of Nrf2 pathway[J]. *Molecules*, 2020, 25(5): 1053.
- [13] ALÍA M, MATEOS R, RAMOS S, et al. Influence of quercetin and rutin on growth and antioxidant defense system of a human hepatoma cell line(HepG2)[J]. *European Journal of Nutrition*, 2006, 45(1): 19–28.
- [14] 占今舜, 霍俊宏, 詹康, 等. 槲皮素对脂多糖刺激下山羊瘤胃上皮细胞抗氧化和抗炎的影响[J]. *草业科学*, 2021, 38(7): 1393–1401.
- [15] 梅华迪, 李袁飞, 田琦, 等. 槲皮素对断奶仔猪生长性能、营养物质表观消化率、血清生化指标、粪便微生物及其代谢产物的影响[J]. *动物营养学报*, 2022, 34(5): 2884–2895.
- [16] LIU H N, LIU Y, HU L L, et al. Effects of dietary supplementation of quercetin on performance, egg quality, cecal microflora populations, and antioxidant status in laying hens[J]. *Poultry Science*, 2014, 93(2): 347–353.
- [17] DONG Y Y, LEI J Q, ZHANG B K. Effects of dietary quercetin on the antioxidative status and cecal microbiota in broiler chickens fed with oxidized oil[J]. *Poultry Science*, 2020, 99(10): 4892–4903.
- [18] ZHENG J Y, XU H, HUANG C L, et al. Quercetin protects against intestinal barrier disruption and inflammation in acute necrotizing pancreatitis through TLR4/MyD88/p38 MAPK and ERS inhibition[J]. *Pancreatology*, 2018, 18(7): 742–752.
- [19] ABDEL-LATIF M A, ELBESTAWY A R, EL-FAR A H, et al. Quercetin dietary supplementation advances growth performance, gut microbiota, and intestinal mRNA expression genes in broiler chickens[J]. *Animals(Basel)*, 2021, 11(8): 2302.
- [20] CHO S K, JO C R, JUNG S M E, et al. Effects of dietary quercetin on the feed utilization, blood parameters, and meat quality in Korean native goats[J]. *Journal of Animal Science and Technology*, 2010, 52(4): 297–304.
- [21] MAO S Y, ZHU W. Effects of six flavonoid compounds addition on short-chain fatty acids production and human fecal microbial community change during *in vitro* fermentation[J]. *African Journal of Microbiology Research*, 2011, 5(26): 4484–4491.
- [22] XU B Y, QIN W X, XU Y Z, et al. Dietary quercetin supplementation attenuates diarrhea and intestinal damage by regulating gut microbiota in weanling piglets[J]. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2021, 2021: 6221012.
- [23] PARK J H, SURESHKUMAR S, KIM I H. Influences of dietary flavonoid(quercetin) supplementation on growth performance and immune response of growing pigs challenged with[J]. *Journal of Animal Science and Technology*, 2020, 62(5): 605–613.
- [24] ZOU Y, XIANG Q H, WANG J, et al. Effects of oregano essential oil or quercetin supplementation on body weight loss, carcass characteristics, meat quality and antioxidant status in finishing pigs under transport stress[J]. *Livestock Science*, 2016, 192: 33–38.
- [25] KAWAMURA K, QI F, KOBAYASHI J. Potential relationship between the biological effects of low-dose irradiation and mitochondrial ROS production[J]. *Journal of Radiation Research*, 2018, 59(Suppl 2): ii91–ii97.
- [26] SUL O J, RA S W. Quercetin prevents LPS-induced

- oxidative stress and inflammation by modulating NOX2/ROS/NF-kB in lung epithelial cells[J]. *Molecules*, 2021, 26(22): 6949.
- [27] 任晓丽, 皇甫和平, 米俊宪, 等. 槲皮素通过 Nrf2 信号通路缓解 LPS 诱导的牛乳腺上皮细胞氧化应激[J]. *中国兽医学报*, 2023, 43(12): 2590–2596.
- [28] 占今舜, 刘远, 占咏平, 等. 饲料蛋白质水平对广丰山羊肉品质、血清酶活性、瘤胃发酵和肠道发育的影响[J]. *动物营养学报*, 2021, 33(3): 1493–1502.
- [29] 李永洙, 杨燕, 金太花, 等. 早期断奶对沂蒙黑山羊羔羊生长性能、盲肠短链脂肪酸含量和菌群多样性的影响[J]. *中国农业大学学报*, 2022, 27(1): 156–170.
- [30] GOLIOMYTIS M, TSOUREKI D, SIMITZIS P E, et al. The effects of quercetin dietary supplementation on broiler growth performance, meat quality, and oxidative stability[J]. *Poultry Science*, 2014, 93(8): 1957–1962.
- [31] BERGER L M, BLANK R, ZORN F, et al. Ruminant degradation of quercetin and its influence on fermentation in ruminants[J]. *Journal of Dairy Science*, 2015, 98(8): 5688–5698.
- [32] 占今舜, 杨群, 钟小军, 等. 不同精粗比饲料对湖山羊肉品质、血液指标和肠道发育的影响[J]. *草业科学*, 2019, 36(12): 3166–3174.
- [33] 占今舜, 詹康, 陈小连, 等. 苜蓿素对脂多糖诱导下奶牛乳腺上皮细胞炎症和乳蛋白合成相关基因表达的影响[J]. *草业科学*, 2018, 35(2): 441–448.
- [34] 占今舜, 霍俊宏, 胡耀, 等. 不同精粗比全混合日粮对努比亚山羊肉品质、血清指标和器官发育的影响[J]. *草业学报*, 2020, 29(10): 139–148.
- [35] 王凯. 槲皮素对脂多糖应激下鹅生长性能、血液生化指标及肠道消化酶的影响[D]. 长春: 吉林农业大学, 2023.
- [36] 郭长征, 冯洋飞, 薛春旭, 等. 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[J]. *动物营养学报*, 2016, 28(9): 2839–2846.
- [37] WEI Y, LIU Y F, LI G, et al. Effects of quercetin and genistein on egg quality, lipid profiles and immunity in laying hens[J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2024, 104(1): 207–214.
- [38] FINKEL T, HOLBROOK N J. Oxidants, oxidative stress and the biology of ageing[J]. *Nature*, 2000, 408: 239–247.

责任编辑: 罗慧敏

英文编辑: 罗维