

饲料中添加芦丁对湖羊生长性能、血清生化指标和激素水平及瘤胃发酵的影响

占今舜^{1,2} 霍俊宏¹ 钟小军¹ 雷小文³ 陈荣强³ 武艳平^{1*} 马月辉^{2*}

(1.江西省农业科学院畜牧兽医研究所,南昌 330200;2.中国农业科学院北京畜牧兽医研究所,北京 100193;

3.赣南科学院畜牧研究所,赣州 341401)

摘要: 为研究饲料中添加芦丁对湖羊生长性能、血清生化指标和激素水平及瘤胃发酵的影响,将36只健康且体重相近的湖羊随机分为3组,每组12只(公母各占1/2)。在3组湖羊所喂基础饲料中分别添加0(试验I组,作为对照组)、50(试验II组)和100 mg/kg BW(试验III组)的芦丁。试验期为70 d,其中预试期14 d,正试期56 d。结果显示:1)正试期第1~14天,试验I组湖羊平均日增重显著低于其他2组($P<0.05$),而料重比则相反。2)正试期第14天,试验I组湖羊血清葡萄糖含量显著高于试验II组($P<0.05$),试验III组湖羊血清高密度脂蛋白含量显著高于试验II组($P<0.05$)。正试期第35天,试验III组湖羊血清总蛋白含量显著低于其他2组($P<0.05$),而血清甘油三酯含量则相反。正试期第56天,试验III组湖羊血清甘油三酯含量极显著高于其他2组($P<0.01$)。3)正试期第14天,试验II组湖羊血清甲状腺素、三碘甲状腺原氨酸、瘦素、胰岛素以及皮质醇水平显著高于试验I组($P<0.05$)。正试期第35天,试验III组湖羊血清三碘甲状腺原氨酸、瘦素、胰岛素和生长激素水平显著高于试验I组($P<0.05$)。正试期第56天,试验II组湖羊血清雌二醇水平显著高于其他2组($P<0.05$);试验III组湖羊血清甲状腺素、三碘甲状腺原氨酸以及生长激素水平显著高于试验I组($P<0.05$)。4)试验II组湖羊瘤胃液乙酸、丙酸、异戊酸、戊酸和总挥发性脂肪酸浓度显著高于试验III组($P<0.05$)。试验I组瘤胃液乙醛瘤胃普雷沃菌、溶纤维丁酸弧菌和嗜淀粉瘤胃杆菌基因相对表达量显著或极显著高于其他2组($P<0.05$ 或 $P<0.01$);试验II组瘤胃液白色瘤胃球菌基因相对表达量显著或极显著高于其他2组($P<0.05$ 或 $P<0.01$)。综上所述,芦丁能够调控激素分泌和瘤胃发酵,进而改善湖羊的生长性能。在本试验条件下,湖羊饲料中添加50 mg/kg BW芦丁时效果较好。

关键词: 芦丁;湖羊;生长性能;血清生化指标;激素分泌;瘤胃发酵

中图分类号:S816

文献标识码:A

文章编号:1006-267X(2021)05-2717-10

芦丁(rutin),又称维生素P,是槲皮素C3位上的羟基和芸香糖结合而形成的双糖苷,它是广泛存在于植物根、花、茎叶、果实和种子中的一种黄酮类物质^[1]。研究发现,芦丁结构中的羟基能够与自由基相结合,形成稳定结构,抑制自由基链式反应^[2];能够通过调控丝裂原活化蛋白激酶

(MAPK)和核因子- κ B(NF- κ B)通路抑制一氧化氮(NO)和环氧化酶-2(COX-2)的产生而发挥抗炎作用^[3];能够抑制大肠杆菌、绿脓杆菌等细菌的生长^[4];能够刺激小鼠体液和细胞免疫,增强免疫作用^[5]。陈密等^[6]研究发现,饲料中添加适量的芦丁能够提高草鱼全鱼粗蛋白质含量;提高肝脏

收稿日期:2020-10-17

基金项目:江西省现代农业产业技术体系建设专项(JXARS-13-肉羊岗位);江西现代农业科研协同创新专项(JXXTCX201702-04)

作者简介:占今舜(1985—),男,江西玉山人,助理研究员,博士,主要从事反刍动物营养研究。E-mail: zhanjinshun1985@163.com

*通信作者:武艳平,研究员,博士生导师,E-mail: wyp_0902@126.com;马月辉,研究员,博士生导师,E-mail: mayuehui@caas.cn

溶菌酶和超氧化物歧化酶活性,降低丙二醛含量;提高肠道淀粉酶的活性。郭旭东^[7]研究发现,芦丁能够提高奶牛的产奶性能,增加瘤胃挥发性脂肪酸的总量和菌体蛋白的含量,提高瘤胃内容物中纤维素酶、滤纸酶等的活性。以上结果表明,芦丁可以作为一种饲料添加剂在动物生产中应用。目前,芦丁在羊上的研究尚未见报道。因此,本试验开展芦丁对湖羊生长性能、血清生化指标和瘤胃发酵影响的研究,旨在为芦丁在肉羊生产中应用提供参考。

1 材料与方 法

1.1 试验材料

试验所用芦丁为市购,提取自槐米,纯度 $\geq 95\%$ 。

1.2 试验设计和饲养管理

选择3月龄左右、健康且体重相近的湖羊36

只,随机分为3组,每组12只(公母各占1/2),公母分栏饲养。3组试验羊在所喂基础饲料中分别添加0(试验I组)、50(试验II组)和100 mg/kg BW(试验III组)的芦丁。参考我国《肉羊饲养标准》(NY/T 816—2004)配制基础饲料,饲料精粗比为60:40,精料组成及营养水平见表1,粗料为铡碎的紫象草,其中紫象草干物质中含10.98%的粗蛋白质、2.90%的粗脂肪、14.07%的粗灰分、61.23%的中性洗涤纤维为和34.67%的酸性洗涤纤维。将芦丁与精料拌匀后先饲喂,然后再喂铡碎的鲜草。饲养试验于2019年8—10月在江西省赣州市绿林湾农牧有限公司湖羊养殖场进行,试验期为70 d,其中预试期14 d,正试期56 d。每天饲喂2次,分别在08:30和17:30进行饲喂,自由采食,自由饮水,隔1天早上称前1天的剩料。其他饲养管理按照养殖场的规定执行。

表1 精料组成及营养水平(干物质基础)

Table 1 Composition and nutrient levels of the concentrate (DM basis)

%

原料 Ingredients	含量 Content	营养水平 Nutrient levels ²⁾	含量 Content
玉米 Corn	52.00	消化能 DE/(MJ/kg)	13.39
麦麸 Wheat bran	8.00	粗蛋白质 CP	20.06
豆粕 Soybean meal	30.40	中性洗涤纤维 NDF	23.24
氯化钠 NaCl	0.50	酸性洗涤纤维 ADF	13.78
碳酸钙 CaCO ₃	1.00	钙 Ca	0.66
预混料 Premix ¹⁾	5.00	磷 P	0.45
花生蔓 Peanut vine	1.60		
脂肪粉 Fat powder	1.50		
合计 Total	100.00		

1) 预混料为每千克精料提供 Premix provided the following per kilogram of the concentrate: VA 100 000 IU, VD₃ 15 000 IU, VE 125 IU, 烟酸 niacin 250 mg, 泛酸 pantothenic acid 75 mg, 生物素 biotin 5.0 mg, Cu 50 mg, Zn 500 mg, Se 3.75 mg, Fe 600 mg, I 8.75 mg, Mn 500 mg, Co 3.75 mg。

2) 消化能为计算值,其余为测定值。DE was a calculated value, while others were measured values.

1.3 样品采集与指标测定

1.3.1 生长性能的测定

在试验开始时以及正试期的第14、35和56天早上进行空腹称重,正试期每天记录采食量,试验结束后计算平均日采食量(ADFI)、平均日增重(ADG)和料重比(F/G)。

1.3.2 血清生化指标和激素水平的测定

在正试期的第14、35和56天早上,各组选择8只羊(公母各占1/2),空腹颈静脉采血5 mL,血液静置2 h后再用离心机3 500 r/min离心10 min

收集血清。血清各激素水平均采用酶联免疫法进行测定,血清生化指标用全自动生化分析仪通过比色法进行测定,所有指标的检测均由北京华英生物技术研究所完成。检测的血清激素指标有雌激素(E₂)、生长激素(GH)、瘦素(LEP)、三碘甲状腺原氨酸(T₃)、甲状腺素(T₄)、胰岛素(INS)和皮质醇(COR)水平;检测的血清生化指标有总蛋白(TP)、尿素氮(UN)、葡萄糖(GLU)、总胆固醇(TC)、甘油三酯(TG)、高密度脂蛋白(HDL)和低密度脂蛋白(LDL)含量。

1.3.3 瘤胃发酵参数的测定

试验结束当天早上喂料前, 每组选择 4 只湖羊(公母各占 1/2), 用瘤胃液口腔采液器采集瘤胃液。将采集的瘤胃液用 4 层纱布过滤后, 用便携式 pH 计测定瘤胃液 pH, 然后用离心管收集瘤胃液, 保存于液氮中, 之后带回实验室转入 -80 °C 冰箱保存待测。瘤胃液中挥发性脂肪酸和氨态氮浓度测定参照占今舜等^[8]的方法进行。

1.3.4 瘤胃细菌基因表达的测定

将冷冻的瘤胃液放在超纯水中解冻, 振荡混

匀后吸取 300 μL 瘤胃液到 2 mL 离心管中, 然后参照试剂盒(天根生物科技有限公司)中的说明书进行细菌 DNA 提取。细菌引物参考 Zhan 等^[9]中的序列进行合成, 引物合成由 Invitrogen 公司完成。瘤胃细菌引物详见表 2。参照试剂盒(天根生物科技有限公司)中的说明书, 采用荧光定量 PCR 法进行瘤胃细菌基因表达的检测。以总细菌基因为内参基因, 用 $2^{-\Delta\Delta C_t}$ 来计算各种细菌基因的相对表达量。

表 2 瘤胃细菌引物

Table 2 Primer of rumen bacteria

基因名称 Gene names	引物序列 Primer sequence (5'—3')	产物长度 Product length/bp
总细菌 General bacteria	F: CGGCAACGAGCGCAACCC R: CCATTGTAGCACGTGTGTAGCC	130
黄色瘤胃球菌 <i>Ruminococcus flavefaciens</i>	F: CGAACGGAGATAATTTGAGTTTACTTAGG R: CGGTCTCTGTATGTTATGAGGTATTACC	132
溶纤维丁酸弧菌 <i>Butyrivibrio fibrisolvens</i>	F: ACCGCATAAGCGCACGGA R: CGGGTCCATCTTGTACCGATAAAT	65
嗜淀粉瘤胃杆菌 <i>Ruminobacter amylophilus</i>	F: CTGGGGAGCTGCCTGAAT R: CATCTGAATGCGACTGGTTG	100
栖瘤胃普雷沃菌 <i>Prevotella ruminicola</i>	F: GCGAAAGTCGGATTAATGCTCTATG R: CCCATCCTATAGCGGTAAACCTTTG	78
乳酸杆菌 <i>Lactobacillus</i> spp.	F: AGCAGTAGGGAATCTTCCA R: ATTCCACCGCTACACATG	345
产琥珀酸丝状杆菌 <i>Fibrobacter succinogenes</i>	F: GGAGCGTAGGCGGAGATTCA R: GCCTGCCCTGAACTATCCA	97
白色瘤胃球菌 <i>Ruminococcus albus</i>	F: CCCTAAAAGCAGTCTTAGTTCCG R: CCTCCTTGCGGTTAGAACA	176

1.4 数据统计与分析

试验数据先用 Excel 2016 预处理, 再用 SPSS 21.0 软件进行单因素方差分析, 并用 LDS 法进行多重比较, 结果以平均值 ± 标准误表示。P < 0.01 表示差异极显著, P < 0.05 表示差异显著, P > 0.05 表示差异不显著。

2 结果

2.1 饲料中添加芦丁对湖羊生长性能的影响

从表 3 中可知, 正试期第 1~14 天, 试验 I 组湖羊平均日增重显著低于其他 2 组 (P < 0.05), 但料重比则显著高于其他 2 组 (P < 0.05), 其他指标各组间无显著差异 (P > 0.05)。正试期第 1~35 天

和第 1~56 天, 试验 I 组湖羊平均日增重均低于其他 2 组, 而料重比高于其他 2 组, 但各组间差异不显著 (P > 0.05)。

2.2 饲料中添加芦丁对湖羊血清生化指标的影响

从表 4 中可知, 正试期第 14 天, 试验 I 组湖羊血清葡萄糖含量显著高于试验 II 组 (P < 0.05), 试验 III 组湖羊血清高密度脂蛋白含量显著高于试验 II 组 (P < 0.05), 其他指标各组间无显著差异 (P > 0.05)。正试期第 35 天, 试验 III 组湖羊血清总蛋白含量显著低于试验 I 组和试验 II 组 (P < 0.05), 而血清甘油三酯含量则显著或极显著高于试验 I 组和试验 II 组 (P < 0.05 或 P < 0.01), 其他指标各组间无显著差异 (P > 0.05)。正试期第 56 天, 试验 III 组湖羊血清甘油

三酯含量极显著高于试验I组和试验II组 ($P<0.01$), 其他指标各组间无显著差异 ($P>0.05$)。

表 3 饲料中添加芦丁对湖羊生长性能的影响

Table 3 Effects of diet added with rutin on growth performance of *Hu* sheep

项目 Items	时间 Time	试验 I 组 Trial group I	试验 II 组 Trial group II	试验 III 组 Trial group III
初重 IBW/kg		17.29±0.48	17.33±0.51	17.31±0.33
体重 BW/kg	第 14 天 Day 14	20.67±0.39	21.27±0.56	21.23±0.48
	第 35 天 Day 35	25.06±0.41	25.68±0.73	25.93±0.65
	第 56 天 Day 56	29.63±0.63	30.80±0.84	29.93±0.89
平均日增重 ADG/g	第 1~14 天 Day 1 to 14	165.63±8.42 ^b	196.25±8.22 ^a	203.13±11.95 ^a
	第 1~35 天 Day 1 to 35	163.54±6.11	172.40±8.20	175.00±8.96
	第 1~56 天 Day 1 to 56	177.90±6.66	192.75±5.87	183.15±8.02
平均日采食量 ADFI/kg	第 1~14 天 Day 1 to 14	1.29±0.01	1.28±0.01	1.28±0.01
	第 1~35 天 Day 1 to 35	1.39±0.02	1.37±0.02	1.37±0.02
	第 1~56 天 Day 1 to 56	1.51±0.03	1.51±0.03	1.51±0.03
料重比 F/G	第 1~14 天 Day 1 to 14	5.59±0.30 ^a	4.69±0.19 ^b	4.65±0.27 ^b
	第 1~35 天 Day 1 to 35	6.34±0.24	6.04±0.28	5.96±0.28
	第 1~56 天 Day 1 to 56	7.17±0.28	6.59±0.21	6.99±0.33

同行数据肩标不同小写字母表示差异显著 ($P<0.05$), 不同大写字母表示差异极显著 ($P<0.01$), 相同小写字母或无字母表示差异不显著 ($P>0.05$)。下表同。

In the same row, values with different small letter superscripts mean significant difference ($P<0.05$), and with different capital letter superscripts mean significant difference ($P<0.01$), while with the same small letter or no letter superscripts mean no significant difference ($P>0.05$). The same as below.

表 4 饲料中添加芦丁对湖羊血清生化指标的影响

Table 4 Effects of diet added with rutin on serum biochemical indices of *Hu* sheep

项目 Items	时间 Time	试验 I 组 Trial group I	试验 II 组 Trial group II	试验 III 组 Trial group III
总蛋白 TP/(g/L)	第 14 天 Day 14	62.46±2.04	64.06±6.85	61.69±0.97
	第 35 天 Day 35	64.89±2.33 ^a	64.08±1.07 ^a	58.82±1.23 ^b
	第 56 天 Day 56	67.39±2.45	68.24±1.44	63.69±1.77
总胆固醇 TC/(mmol/L)	第 14 天 Day 14	2.32±0.12	2.08±0.11	2.06±0.20
	第 35 天 Day 35	1.93±0.13	2.30±0.20	1.99±0.39
	第 56 天 Day 56	2.69±0.18	2.29±0.15	2.80±0.28
甘油三酯 TG/(mmol/L)	第 14 天 Day 14	1.11±0.08	1.10±0.06	1.16±0.11
	第 35 天 Day 35	1.02±0.04 ^{ABb}	0.96±0.07 ^{Bb}	1.30±0.09 ^{Aa}
	第 56 天 Day 56	1.23±0.05 ^{Bb}	1.27±0.11 ^{Bb}	6.05±0.47 ^{Aa}
尿素氮 UN/(mmol/L)	第 14 天 Day 14	10.67±0.41	11.69±0.51	11.93±0.95
	第 35 天 Day 35	8.70±0.53	9.74±0.70	9.71±0.22
	第 56 天 Day 56	8.04±0.34	8.22±0.46	8.61±0.39
葡萄糖 GLU/(mmol/L)	第 14 天 Day 14	21.19±1.96 ^a	13.40±2.65 ^b	14.70±2.79 ^{ab}
	第 35 天 Day 35	15.50±2.16	13.20±1.58	12.36±2.07
	第 56 天 Day 56	11.43±1.54	11.59±0.62	12.44±0.99
高密度脂蛋白 HDL/(mmol/L)	第 14 天 Day 14	0.38±0.06 ^{ab}	0.31±0.08 ^b	0.54±0.04 ^a
	第 35 天 Day 35	0.45±0.05	0.46±0.02	0.45±0.03
	第 56 天 Day 56	0.41±0.09	0.46±0.03	0.50±0.05

续表 4

项目 Items	时间 Time	试验 I 组 Trial group I	试验 II 组 Trial group II	试验 III 组 Trial group III
低密度脂蛋白 LDL/(mmol/L)	第 14 天 Day 14	1.31±0.15	1.23±0.14	1.13±0.11
	第 35 天 Day 35	1.05±0.13	1.13±0.09	1.22±0.14
	第 56 天 Day 56	1.53±0.15	1.33±0.11	1.40±0.12

2.3 饲料中添加芦丁对湖羊血清激素水平的影响

从表 5 中可知, 正试期第 14 天, 试验 II 组湖羊血清三碘甲状腺原氨酸和瘦素水平显著高于试验 I 组 ($P<0.05$), 试验 I 组湖羊血清胰岛素和皮质醇水平显著低于试验 II 组和试验 III 组 ($P<0.05$), 其他指标各组间无显著差异 ($P>0.05$)。正试期第 35 天, 试验 III 组湖羊血清甲状腺素和胰岛素水平分别显著高于试验 II 组和试验 I 组 ($P<0.05$), 同时三碘甲状腺原氨酸和生长激素水平显著高于试

验 I 组和试验 II 组 ($P<0.05$); 试验 I 组湖羊血清瘦素水平显著低于试验 II 组和试验 III 组 ($P<0.05$), 其他指标各组间无显著差异 ($P>0.05$)。正试期第 56 天, 试验 II 组湖羊血清雌二醇水平显著高于试验 I 组和试验 III 组 ($P<0.05$), 试验 III 组湖羊血清甲状腺素和三碘甲状腺原氨酸水平显著高于试验 II 组和试验 I 组 ($P<0.05$), 试验 III 组湖羊血清生长激素水平显著高于试验 I 组 ($P<0.05$), 其他指标各组间无显著差异 ($P>0.05$)。

表 5 饲料中添加芦丁对湖羊血清激素水平的影响

Table 5 Effects of diet added with rutin on serum hormone levels of *Hu* sheep

项目 Items	时间 Time	试验 I 组 Trial group I	试验 II 组 Trial group II	试验 III 组 Trial group III
雌二醇 E ₂ /(pg/mL)	第 14 天 Day 14	41.15±2.29	41.03±2.48	38.49±1.72
	第 35 天 Day 35	43.98±2.08	44.51±1.41	42.49±1.05
	第 56 天 Day 56	42.29±1.71 ^b	49.30±2.77 ^a	40.66±1.42 ^b
甲状腺素 T ₄ /(ng/mL)	第 14 天 Day 14	56.92±2.60 ^b	65.27±1.38 ^a	63.89±2.15 ^a
	第 35 天 Day 35	67.77±1.80 ^{ab}	63.24±3.29 ^b	72.65±1.58 ^a
	第 56 天 Day 56	46.98±1.96 ^b	48.42±3.23 ^b	58.15±2.15 ^a
三碘甲状腺原氨酸 T ₃ /(ng/mL)	第 14 天 Day 14	0.97±0.04 ^b	1.20±0.08 ^a	1.11±0.07 ^{ab}
	第 35 天 Day 35	0.91±0.06 ^c	1.11±0.04 ^b	1.60±0.08 ^a
	第 56 天 Day 56	0.78±0.03 ^b	0.80±0.04 ^b	1.21±0.10 ^a
瘦素 LEP/(ng/mL)	第 14 天 Day 14	4.82±0.24 ^b	6.05±0.58 ^a	5.50±0.32 ^{ab}
	第 35 天 Day 35	4.13±0.33 ^b	5.16±0.18 ^a	5.94±0.41 ^a
	第 56 天 Day 56	5.39±0.73	5.78±0.57	6.01±0.33
生长激素 GH/(ng/mL)	第 14 天 Day 14	4.06±0.19	4.89±0.23	5.38±0.71
	第 35 天 Day 35	4.62±0.28 ^b	4.67±0.35 ^b	6.69±0.82 ^a
	第 56 天 Day 56	3.91±0.24 ^b	4.32±0.25 ^{ab}	5.00±0.38 ^a
胰岛素 INS/(μIU/mL)	第 14 天 Day 14	9.09±0.36 ^b	10.78±0.27 ^a	10.39±0.50 ^a
	第 35 天 Day 35	9.11±0.17 ^b	10.49±0.41 ^{ab}	11.68±1.24 ^a
	第 56 天 Day 56	9.42±0.21	10.30±0.57	10.04±0.40
皮质醇 COR/(ng/mL)	第 14 天 Day 14	58.49±3.15 ^b	72.61±1.71 ^a	69.02±3.95 ^a
	第 35 天 Day 35	59.51±1.80	66.80±3.78	68.05±3.91
	第 56 天 Day 56	60.49±1.93	70.85±4.74	64.98±3.33

2.4 饲料中添加芦丁对湖羊瘤胃发酵参数的影响

从表 6 中可知, 试验 II 组的瘤胃液中乙酸、丙酸、异戊酸、戊酸和总挥发性脂肪酸浓度显著高于

试验 III 组 ($P < 0.05$), 但其他指标各组间无显著差异 ($P > 0.05$)。

表 6 饲料中添加芦丁对湖羊瘤胃发酵参数的影响

Table 6 Effects of diet added with rutin on rumen fermentation parameters of *Hu* sheep

项目 Items	试验 I 组 Trial group I	试验 II 组 Trial group II	试验 III 组 Trial group III
pH	6.70±0.12	6.49±0.11	6.61±0.08
乙酸 Acetic acid/(mmol/L)	55.48±5.84 ^{ab}	58.07±4.33 ^a	43.41±3.12 ^b
丙酸 Propionic acid/(mmol/L)	15.46±1.94 ^{ab}	16.33±1.62 ^a	10.90±1.13 ^b
异丁酸 Isobutyric acid/(mmol/L)	1.24±0.16	1.28±0.24	0.83±0.05
丁酸 Butyric acid/(mmol/L)	12.96±1.23	13.19±1.53	9.62±0.44
异戊酸 Isopentanoic acid/(mmol/L)	1.92±0.22 ^{ab}	2.55±0.45 ^a	1.49±0.20 ^b
戊酸 Pentanoic acid/(mmol/L)	1.05±0.20 ^{ab}	1.28±0.20 ^a	0.66±0.09 ^b
总挥发性脂肪酸 TVFA/(mmol/L)	88.12±8.82 ^{ab}	92.70±7.31 ^a	66.91±4.64 ^b
乙酸/丙酸 Acetic acid/propionic acid	3.62±0.14	3.63±0.33	4.03±0.17
氨态氮 Ammoniacal nitrogen/(mg/dL)	15.08±1.03	17.60±3.57	14.81±1.35

2.5 饲料中添加芦丁对湖羊瘤胃菌群结构的影响

从表 7 中可知, 试验 I 组瘤胃液中栖瘤胃普雷沃菌、溶纤维丁酸弧菌和嗜淀粉瘤胃杆菌基因相对表达量显著或极显著高于试验 III 组和试验 II 组 ($P < 0.05$ 或 $P < 0.01$), 而其他 2 组之间无显著差异 ($P > 0.05$)。试验 II 组瘤胃液中白色瘤胃球菌基

因相对表达量显著或极显著高于试验 I 组和试验 III 组 ($P < 0.05$ 或 $P < 0.01$), 其中试验 III 组最低。试验 I 组瘤胃液中黄色瘤胃球菌和产琥珀酸丝状杆菌基因相对表达量低于试验 III 组和试验 II 组, 而乳酸杆菌基因相对表达量高于试验 III 组和试验 II 组, 但各组间差异不显著 ($P > 0.05$)。

表 7 饲料中添加芦丁对湖羊瘤胃细菌基因表达的影响

Table 7 Effects of diet added with rutin on gene expression of rumen bacteria of *Hu* sheep

项目 Items	试验 I 组 Trial group I	试验 II 组 Trial group II	试验 III 组 Trial group III
黄色瘤胃球菌 <i>Ruminococcus flavefaciens</i>	1.08±0.22	1.36±0.40	1.50±0.24
乳酸杆菌 <i>Lactobacillus</i> spp.	1.01±0.08	0.67±0.12	0.70±0.22
栖瘤胃普雷沃菌 <i>Prevotella ruminicola</i>	1.02±0.12 ^{Aa}	0.07±0.04 ^{Bb}	0.09±0.04 ^{Bb}
溶纤维丁酸弧菌 <i>Butyrivibrio fibrisolvens</i>	1.02±0.11 ^{Aa}	0.15±0.01 ^{Bb}	0.13±0.02 ^{Bb}
白色瘤胃球菌 <i>Ruminococcus albus</i>	1.00±0.05 ^{ABb}	1.93±0.46 ^{Aa}	0.53±0.15 ^{Bb}
产琥珀酸丝状杆菌 <i>Fibrobacter succinogenes</i>	1.01±0.09	1.74±0.37	1.69±0.24
嗜淀粉瘤胃杆菌 <i>Ruminobacter amylophilus</i>	1.02±0.13 ^{Aa}	0.03±0.01 ^{Bb}	0.46±0.21 ^{ABb}

3 讨论

3.1 饲料中添加芦丁对湖羊生长性能的影响

黄酮类化合物是一类广泛存在于植物界的天然活性物质, 它具有改善反刍动物生产性能的作用。刘艳丰等^[10]研究发现, 饲料中添加适量的沙棘叶黄酮能够提高阿勒泰羊的平均日增重、采食

量和饲料转化效率, 但对末重无显著影响。王凯等^[11]研究发现, 红车轴草黄酮提取物能够显著提高杂交肉羊的日增重, 降低料重比, 但对采食量和末重无显著影响。陈仁伟^[12]研究发现, 沙葱黄酮能够提高小尾寒羊的日增重和日采食量, 降低料重比。本试验结果发现, 饲料中添加芦丁能够提高湖羊的末重、平均日增重, 降低料重比, 与上述

研究结果相似,说明饲料中添加适量的芦丁有改善湖羊生长性能的作用。

3.2 饲料中添加芦丁对湖羊血清生化指标的影响

血清生化指标能够反映反刍动物机体器官功能和营养代谢状况。血清总蛋白含量与动物蛋白质营养和机体生长性能相关。当血清总蛋白含量较高时,能够促进动物健康生长^[10]。血清尿素氮含量是反映机体蛋白质代谢和氨基酸之间平衡的一个重要指标,氨基酸平衡良好时,血清尿素氮含量下降^[13]。本试验发现,整个试验过程中,采食添加 100 mg/kg BW 芦丁饲料的湖羊血清总蛋白含量最低,而血清尿素氮含量最高,说明芦丁添加剂量过高可能会影响湖羊体内蛋白质的合成与代谢。郑旭煦等^[14]研究发现,芦丁能够降低单纯性肥胖大鼠空腹血糖水平。在本试验中,在试验第 14 和 35 天,试验 II 组和试验 III 组湖羊血清葡萄糖含量低于试验 I 组,与郑旭煦等^[14]研究结果相似,说明芦丁有降低血糖水平的作用。胰岛素能够加速葡萄糖的利用和抑制葡萄糖的生产,进而降低血糖水平。在本试验中,芦丁能够降低血糖水平与其升高胰岛素水平有关。血清胆固醇和甘油三酯是血液中脂肪的主要成分,它们含量的高低是反映脂类吸收、代谢和利用的重要指标。它们的含量越低,说明脂肪利用率越高^[15]。高密度脂蛋白能够转运胆固醇,将胆固醇排出体外,而低密度脂蛋白则是把胆固醇转运到全身^[16]。在本试验中,在整个试验期,添加芦丁的试验 II 组和试验 III 组湖羊血清总胆固醇和低密度脂蛋白的平均含量要低于未添加芦丁的试验 I 组,而高密度脂蛋白的平均含量则高于未添加芦丁的试验 I 组,说明芦丁可能有助于清除机体胆固醇。然而,在正试期的第 35 和 56 天,饲料中添加高剂量(100 mg/kg BW)芦丁能够极显著增加血清甘油三酯含量,说明高剂量芦丁会影响机体对脂肪的吸收和代谢。

3.3 饲料中添加芦丁对湖羊血清激素分泌的影响

芦丁、大豆黄酮等黄酮类物质的结构与内源性雌激素 17- β -雌二醇相似,能够与雌激素受体相结合,发挥弱雌激素样活性。研究发现,适量的芦丁能够提高哺乳母鼠体内雌二醇水平^[17]。当它们的添加剂量过高时,会与雌激素竞争性结合,表现为抗雌激素样作用,导致相关内源激素水平下降^[10]。从本试验来看,低剂量芦丁发挥了弱雌激

素样活性,而高剂量芦丁发挥了抗雌激素样作用。瘦素是一种具有抑制摄食、调节脂肪沉积与能量代谢功能的蛋白质激素^[18]。研究发现,高效采食的牛犊体内瘦素水平较高,剩料量较少,结果表明瘦素可能是控制采食量的主要原因^[19]。从本试验来看,饲料中添加芦丁能够通过调控机体瘦素的分泌来提高湖羊的采食效率。邵美丽等^[20]研究发现,大豆黄酮能够提高辽宁绒山羊血液中三碘甲状腺原氨酸和胰岛素的水平。聂芙蓉等^[21]研究发现,大豆黄酮可显著提高山羊血液中三碘甲状腺原氨酸、甲状腺素、生长激素以及雌激素的水平。王凯等^[11]研究发现,苜蓿和红车轴草黄酮提取物提高了绵羊血清中生长激素和三碘甲状腺原氨酸的水平。本试验结果与上述研究结果相似,说明芦丁能够通过调控内源性激素水平来促进湖羊的生长。机体内的皮质醇可以促进组织蛋白质和脂肪的分解,促进糖原异生。当机体发生应激时,皮质醇会相应增多,增加动物对应激的适应能力^[22]。本试验也发现相似的结果,表明芦丁具有提高机体抗应激能力的作用。

3.4 饲料中添加芦丁对湖羊瘤胃发酵的影响

郭旭东^[7]研究发现,在饲料中添加 3.0 mg/kg BW 的芦丁能够显著增加奶牛瘤胃液中乙酸、丙酸和总挥发性脂肪酸的浓度,降低瘤胃液 pH 和氨态氮浓度。本试验发现,饲料中添加低剂量(50 mg/kg BW)的芦丁提高了湖羊瘤胃液乙酸、丙酸和总挥发性脂肪酸等的浓度,结果与其相似;然而,饲料中添加高剂量(100 mg/kg BW)的芦丁则使湖羊瘤胃液中部分挥发性脂肪的浓度下降。上述结果表明,饲料中添加适量的芦丁能够改善湖羊的瘤胃发酵,但添加剂量过高则会影响瘤胃发酵。白色瘤胃球菌、黄化瘤胃球菌和产琥珀酸丝状杆菌等是瘤胃中主要的纤维素降解菌,而栖瘤胃普雷沃菌、溶纤维丁酸弧菌和嗜淀粉瘤胃杆菌是瘤胃中主要的蛋白质降解菌^[23]。白齐昌等^[24]研究发现,饲料中添加高剂量的沙棘黄酮能够显著降低绵羊瘤胃液中白色瘤胃球菌的数量,本试验结果与其相似。在本试验中,低剂量芦丁能够增加湖羊瘤胃液中白色瘤胃球菌、黄化瘤胃球菌和产琥珀酸丝状杆菌等的数量,说明低剂量芦丁可能有助于瘤胃降解纤维素。饲料中的纤维、淀粉等物质被瘤胃内微生物降解后生成挥发性脂肪酸。饲料中添加低剂量芦丁提高了瘤胃液

中挥发性脂肪酸的浓度,这可能是因为低剂量芦丁通过增加纤维降解菌的数量来促进瘤胃液对纤维的降解,生成较多挥发性脂肪酸。本试验发现,饲料中添加不同剂量的芦丁均显著或极显著降低了湖羊瘤胃液中栖瘤胃普雷沃菌、溶纤维丁酸弧菌和嗜淀粉瘤胃杆菌的数量,说明芦丁可能会直接抑制这些细菌的生长或者通过促进这些细菌的竞争菌的生长来抑制它们生长,表明饲料中添加芦丁对瘤胃中蛋白质的降解具有一定的影响。

4 结论

芦丁能够通过调控湖羊体内激素分泌来影响营养物质的消化吸收,进而改善湖羊的生长性能。低剂量芦丁可能通过提高纤维素降解效率来促进瘤胃发酵,而高剂量芦丁可能通过抑制蛋白质降解来抑制瘤胃发酵。在本试验条件下,湖羊饲料中添加 50 mg/kg BW 的芦丁效果较好。

参考文献:

- [1] 占今舜,钟小军,杨群,等.芦丁的生物活性功能及其在反刍动物生产中的应用[J].动物营养学报,2019,31(7):2952-2957.
ZHAN J S,ZHONG X J,YANG Q,et al.Bio-active functions of rutin and its application in ruminant production[J].Chinese Journal of Animal Nutrition,2019,31(7):2952-2957.(in Chinese)
- [2] YANG J X, GUO J, YUAN J F. *In vitro* antioxidant properties of rutin[J].LWT-Food Science and Technology,2008,41(6):1060-1066.
- [3] NAFEE S, RASHID S, ALI N, et al. Rutin ameliorates cyclophosphamide induced oxidative stress and inflammation in wistar rats; role of NFκB/MAPK pathway[J].Chemico-Biological Interactions,2015,231:98-107.
- [4] GANESHPURKAR A, SALUJA A K. The pharmacological potential of rutin[J].Saudi Pharmaceutical Journal,2017,25(2):149-164.
- [5] GANESHPURKAR A, SALUJA A K. Protective effect of rutin on humoral and cell mediated immunity in rat model[J].Chemico-Biological Interactions,2017,273:154-159.
- [6] 陈密,付国香,董娟娥,等.芦丁对草鱼生长性能、体成分、非特异性免疫力和肠道消化酶活性的影响[J].动物营养学报,2019,31(10):4868-4876.
CHEN M, FU G X, DONG J E, et al. Effects of rutin on growth performance, body composition, non-specific immunity and intestinal digestive enzyme activities of grass carp (*Ctenopharyngodon idella*) [J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2019, 31(10): 4868-4876. (in Chinese)
- [7] 郭旭东.芦丁对奶牛泌乳性能、瘤胃消化代谢和对大鼠乳腺发育的影响[D].博士学位论文.北京:中国农业科学院,2011.
GUO X D. Studies of rutin's role on lactation performance, the rumen digestion and metabolism in dairy cows, and the development of mammary glands in rats [D]. Ph.D. Thesis. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2011. (in Chinese)
- [8] 占今舜,杨群,胡耀,等.日粮精粗比对湖羊瘤胃发酵和菌群结构的影响[J].草业学报,2020,29(7):122-130.
ZHAN J S, YANG Q, HU Y, et al. Effects of dietary concentration; roughage ratio on rumen fermentation and flora population structure in *Hu* sheep [J]. Acta Prataculturae Sinica, 2020, 29(7): 122-130. (in Chinese)
- [9] ZHAN J S, LIU M M, SU X S, et al. Effects of alfalfa flavonoids on the production performance, immune system, and ruminal fermentation of dairy cows [J]. Asian-Australasian Journal of Animal Sciences, 2017, 30(10): 1416-1424.
- [10] 刘艳丰,唐淑珍,张文举,等.沙棘叶黄酮对阿勒泰羊生长性能、屠宰性能和血清生化指标的影响[J].畜牧兽医学报,2014,45(12):1981-1987.
LIU Y F, TANG S Z, ZHANG W J, et al. Effects of flavonoids of sea buckthorn leaves on growth performance, slaughter performance and serum biochemical indexes of Altay sheep [J]. Chinese Journal of Animal and Veterinary Sciences, 2014, 45(12): 1981-1987. (in Chinese)
- [11] 王凯,王洋,孙娟娟,等.首蓿和红车轴草黄酮提取物对绵羊生长性能和血液相关指标的影响[J].中国兽医学报,2017,37(4):704-709.
WANG K, WANG Y, SUN J J, et al. Effect of flavonoids of *Medicago sativa* L. and *Trifolium pratense* L. extraction on growth performance, blood biochemical indexes of sheep [J]. Chinese Journal of Veterinary Science, 2017, 37(4): 704-709. (in Chinese)
- [12] 陈仁伟.沙葱黄酮对肉羊生产性能及其肉品质的影响[D].呼和浩特:内蒙古农业大学,2016.
CHEN R W. Effects of flavonoids from *Allium mongolicum* Regel on production performance and meat qual-

- ity in meat sheep [D]. Master's Thesis. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2016. (in Chinese)
- [13] 占今舜, 杨群, 钟小军, 等. 不同精粗比饲料对湖羊肉品质、血液指标和肠道发育的影响 [J]. 草业科学, 2019, 36(12): 3166-3174.
- ZHAN J S, YANG Q, ZHONG X J, et al. Effects of total mixed rations with different concentration-roughage ratios on meat quality, serum indices, and intestinal tract development in sheep [J]. *Pratacultural Science*, 2019, 36(12): 3166-3174. (in Chinese)
- [14] 郑旭煦, 邵承斌, 江澜, 等. 芦丁对单纯性肥胖大鼠血糖和脂代谢紊乱的调节作用 [J]. 华西药理学杂志, 2005, 20(2): 109-111.
- ZHENG X X, SHAO C B, JIANG L, et al. The effects of rutin on blood sugar and lipid metabolism disorder in diet-induced obese rats [J]. *West China Journal of Pharmaceutical Sciences*, 2005, 20(2): 109-111. (in Chinese)
- [15] 占今舜, 詹康, 刘明美, 等. 苜蓿草颗粒饲料对鹅屠宰性能、器官和血液生化指标的影响 [J]. 草业学报, 2015, 24(8): 181-187.
- ZHAN J S, ZHAN K, LIU M M, et al. Effects of alfalfa pellet feed on slaughter performance, organ weights and blood biochemical indices of geese [J]. *Acta Prataculturae Sinica*, 2015, 24(8): 181-187. (in Chinese)
- [16] 占今舜, 夏晨, 刘苏娇, 等. 黑麦草对扬州鹅生长性能、屠宰性能和血液生化指标的影响 [J]. 草业学报, 2015, 24(2): 168-175.
- ZHAN J S, XIA C, LIU S J, et al. Effects of ryegrass on growth, carcass traits and blood biochemical indices of *Yangzhou* geese [J]. *Acta Prataculturae Sinica*, 2015, 24(2): 168-175. (in Chinese)
- [17] 郭旭东, 刁其玉, 王月影, 等. 芦丁对哺乳大鼠乳腺发育及相关激素水平与受体表达量关系的影响 [J]. 中国农业大学学报, 2011, 16(5): 88-95.
- GUO X D, DIAO Q Y, WANG Y Y, et al. Effect of dietary rutin on mammary gland development and the level and receptors of estrogen in lactation rats [J]. *Journal of China Agricultural University*, 2011, 16(5): 88-95. (in Chinese)
- [18] 罗铮, 翁吉梅, 封璇琪, 等. 瘦素基因的研究进展 [J]. 中国畜牧兽医, 2018, 45(9): 2524-2530.
- LUO Z, WENG J M, FENG J Q, et al. Research advances on leptin gene [J]. *China Animal Husbandry & Veterinary Medicine*, 2018, 45(9): 2524-2530. (in Chinese)
- [19] MOTA L F M, BONAFE C M, ALEXANDRE P A, et al. Circulating leptin and its muscle gene expression in Nellore cattle with divergent feed efficiency [J]. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 2017, 8(1): 71.
- [20] 邵美丽, 刘哲洁. 大豆黄酮及其复合制剂对绒山羊绒毛性状和血液中激素水平的影响 [J]. 中国饲料, 2008(6): 16-18.
- SHAO M L, LIU X J. Effects of soybean flavone and its compound preparation on cashmere trait and hormone levels in blood of cashmere goats [J]. *China Feed*, 2008(6): 16-18. (in Chinese)
- [21] 聂芙蓉, 王老七, 王艳玲. 大豆黄酮对山羊血液中几种内源性激素水平的影响 [J]. 安徽农业科学, 2007, 35(21): 6442, 6530.
- NIE F R, WANG L Q, WANG Y L. Effect of the daidzein on the levels of several endogenous hormones in goat blood [J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2007, 35(21): 6442, 6530. (in Chinese)
- [22] 程忠刚, 林映才, 周桂莲, 等. 大豆黄酮对仔猪生产性能及血液生化指标的影响 [J]. 河南科技大学学报 (农学版), 2003, 23(4): 44-48.
- CHENG Z G, LIN Y C, ZHOU G L, et al. Effect of daidzein on growth performance and serum biochemistry index in weanling pigs [J]. *Journal of Henan University of Science and Technology (Agricultural Science)*, 2003, 23(4): 44-48. (in Chinese)
- [23] 吴小燕, 王之盛, 邹华围. 不同蛋白质饲料对宣汉黄牛瘤胃固相粘附蛋白分解菌数量的影响 [J]. 畜牧兽医学报, 2014, 45(6): 953-959.
- WU X Y, WANG Z S, ZOU H W. Different protein sources dietary affect the quantities of rumen proteobacteria adhesive to solid fractions in *Xuanhan* yellow cattle [J]. *Chinese Journal of Animal and Veterinary Sciences*, 2014, 45(6): 953-959. (in Chinese)
- [24] 白齐昌, 郝小燕, 项斌伟, 等. 沙棘黄酮对绵羊体外产气量、瘤胃发酵参数和微生物菌群的影响 [J]. 动物营养学报, 2020, 32(3): 1405-1414.
- BAI Q C, HAO X Y, XIANG B W, et al. Effects of sea buckthorn flavone on gas production, rumen fermentation parameters and microflora population of sheep *in vitro* [J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2020, 32(3): 1405-1414. (in Chinese)

Effects of Diet Added with Rutin on Growth Performance, Serum Biochemical Indexes and Hormone Levels, and Rumen Fermentation of *Hu* Sheep

ZHAN Jinshun^{1,2} HUO Junhong¹ ZHONG Xiaojun¹ LEI Xiaowen³ CHEN Rongqiang³
WU Yanping^{1*} MA Yuehui^{2*}

(1. Institute of Animal Husbandry and Veterinary, Jiangxi Academy of Agricultural Science, Nanchang 330200, China; 2. Institute of Animal Science, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China; 3. Ganzhou Animal Husbandry Research Institute, Gannan Academy of Sciences, Ganzhou 341401, China)

Abstract: To study the effects of diet added with rutin on growth performance, serum biochemical indexes and hormone levels, and rumen fermentation of *Hu* sheep, thirty-six healthy sheep with similar weight were randomly divided into 3 groups with 12 sheep per group (half of male and female). Each group of sheep were fed a basal diet added with 0 (trial group I, as control group), 50 (trial group II) and 100 mg/kg BW rutin (trial group III), respectively. The experimental period was 70 days including 14 days of adaptation period and 56 days of formal period. The results showed as follows: 1) the average daily gain (ADG) of sheep in trial group I was significantly lower than that in other two groups ($P<0.05$), but the feed to gain ratio had the opposite result on day 14 of formal period. 2) The serum glucose content of sheep in trial group I was significantly higher than that in trial group II ($P<0.05$), and the serum high-density lipoprotein content of sheep in trial group III was significantly higher than that in trial group II on day 14 of formal period ($P<0.05$). The serum total protein content of sheep in trial group III was significantly lower than that in other two groups ($P<0.05$), but the serum triglyceride content had the opposite result on day 35 of formal period. The serum triglyceride content of sheep in trial group III was significantly higher than that in other two groups on day 56 of formal period ($P<0.01$). 3) The levels of triiodothyronine, tetraiodothyronine, leptin, insulin and cortisol in serum of sheep in trial group II were significantly higher than those in trial group I on day 14 of formal period ($P<0.05$). The levels of triiodothyronine, leptin, insulin and growth hormone in serum of sheep in trial group III were significantly higher than those in trial group I on day 35 of formal period ($P<0.05$). The estradiol level in serum of sheep in trial group II was significantly higher than that in other two groups ($P<0.05$), and the levels of triiodothyronine, tetraiodothyronine and growth hormone in serum of sheep in trial group III were significantly higher than those of trial group I on day 56 of formal period ($P<0.05$). 4) The concentrations of acetic acid, propionic acid, isovaleric acid, valeric acid and total volatile fatty acids in rumen fluid of sheep in trial group II were significantly higher than those in trial group I ($P<0.05$). The gene relative expression levels of *Prevotella ruminicola*, *Butyrivibrio fibrisolvens*, *Ruminobacter amylophilus* in rumen fluid of sheep in trial group I were significantly higher than those in other two groups ($P<0.05$ or $P<0.01$). The gene relative expression level of *Ruminococcus albus* in rumen fluid of sheep in trial group II was significantly higher than that in other two groups ($P<0.05$ or $P<0.01$). In conclusion, rutin can regulate hormone secretion and rumen fermentation, and then increase the growth performance of *Hu* sheep, and the effect is better when additive amount is 50 mg/kg BW under this experiment conditions. [*Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2021, 33 (5):2717-2726]

Key words: rutin; *Hu* sheep; growth performance; serum biochemical indexes; hormone secretion; rumen fermentation

* Corresponding authors: WU Yanping, professor, E-mail: wyp_0902@126.com; MA Yuehui, professor, E-mail: mayuehui@caas.cn