

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

占今舜¹ 刘远^{2*} 占咏平³ 李文杨² 霍俊宏^{1**}

(1.江西省农业科学院畜牧兽医研究所,南昌 330200;2.福建省农业科学院畜牧兽医研究所,福州 350013;

3.玉山县畜牧兽医局,上饶 334700)

摘要: 本试验旨在研究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。选择体重相近、健康的广丰山羊 30 只,随机分为 3 组,分别饲喂高(H组)、中(M组)和低蛋白质水平(L组)的精料,粗料为芒草鲜草,每组 10 只(公母各占 1/2)。预试期 14 d,正试期 70 d。结果表明:1)H 组的山羊肌肉 pH_{45 min} 显著高于 L 组($P < 0.05$),而熟肉率则显著低于 L 组($P < 0.05$),其他指标各组间无显著差异($P > 0.05$)。2)M 组血清谷草转氨酶、谷丙转氨酶和碱性磷酸酶活性均低于其他 2 组,但各组间差异不显著($P > 0.05$)。3)L 组瘤胃乙酸、丙酸和总挥发性脂肪酸的含量显著高于 H 组($P < 0.05$),其他指标各组间无显著差异($P > 0.05$)。M 组瘤胃黄色瘤胃球菌、栖瘤胃普雷沃菌、嗜淀粉瘤胃杆菌和白色瘤胃球菌基因相对表达量显著高于其他 2 组($P < 0.05$),H 组瘤胃的溶纤维丁酸弧菌和产琥珀酸丝状杆菌基因相对表达量显著高于其他 2 组($P < 0.01$)。4)L 组回肠的绒毛高度以及空肠绒毛高度、绒毛高度/隐窝深度(VH/CD)显著或极显著高于 H 组($P < 0.05$ 或 $P < 0.01$),其他指标各组间无显著差异($P > 0.05$)。综上所述,饲料蛋白质水平能够影响广丰山羊肉品质、瘤胃发酵和肠道发育。从本试验结果来看,降低饲料蛋白质水平能够改善山羊肉品质,提高瘤胃发酵和小肠吸收功能。

关键词: 山羊;肉品质;肠道发育;瘤胃发酵

中图分类号:S826

文献标识码:A

文章编号:1006-267X(2021)03-1493-10

饲料中的植物性蛋白质和非蛋白氮在瘤胃微生物的作用下生产肽和氨基酸以及合成微生物蛋白供宿主利用。因此,饲料中的蛋白质水平和蛋白质饲料种类、结构等会改变瘤胃微生物菌群结构,影响瘤胃的消化和代谢,进而影响反刍动物的生产性能^[1]。张凯凯等^[2]研究发现,18.99%蛋白质水平组贵州黑山羊羔羊体重、平均日增重和体尺指标等均优于 15.01%、17.02%及 20.99%蛋白质水平组。施安等^[3]研究发现,用蛋白质水平为

28.17%的饲料饲喂滩寒杂种羔羊,其生产性能和经济效益高于蛋白质水平为 13.10%、18.51%、23.84%的饲料。Estrada-Angulo 等^[4]研究发现,在试验前期,羔羊的生长性能和能量利用率随着饲料蛋白质水平的升高而显著升高,但试验后期,饲料蛋白质水平超过 110 g/kg 对生长性能和能量利用率无显著影响。Chobtang 等^[5]研究发现,山羊的末重、平均日增重和粗蛋白质消化率随着全混合日粮蛋白质水平的升高而显著升高。以上结果

收稿日期:2020-07-30

基金项目:江西省农业科学院创新基金项目(2017CBS001);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);福建省发改委农业五新工程项目(fjfgw201806)

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

* 同等贡献作者

** 通信作者:霍俊宏,副研究员,E-mail: hjh_0222@126.com

表明,适宜的饲料蛋白质水平能够提高肉羊的生产性能,增加经济效益。广丰山羊是一种原产于江西省广丰区的地方山羊品种,分布于江西省玉山、上饶等地。广丰山羊全身被毛白色,体型偏小,能够适应当地低山丘陵环境,具有耐粗饲、抗病力强、繁殖力强和采食能力强等优点^[6]。目前,广丰山羊饲养方式比较粗放,生产效率低。关于广丰山羊营养研究方面尚未见报道。因此,本试验拟开展饲料蛋白质水平对广丰山羊肉品质、血清酶活性、瘤胃代谢和肠道发育的影响研究,为今后合理配制广丰山羊饲料提供理论依据。

1 材料与方

1.1 试验设计及饲养管理

2019年9月在江西省龙海农业开发有限公司广丰山羊原种场开始试验,试验期分预试期和正

试期,其中预试期14 d,正试期70 d。试验选择3月龄左右、健康且体重相近 $[(10.15 \pm 0.83) \text{ kg}]$ 的广丰山羊30只,随机分为3组,每组10只(公母各占1/2),公母分栏饲养。每组山羊分别饲喂高(H组)、中(M组)和低蛋白质水平(L组)的精料,粗料均为铡碎的山上野生芒草鲜草。芒草的营养成分(绝干基础)检测结果为:粗蛋白质7.44%、粗脂肪3.90%、粗灰分8.07%、中性洗涤纤维77.83%和酸性洗涤纤维49.19%。参考《肉羊饲养标准》(NY/T 816—2004)来配制饲料,其中H组和L组精料蛋白质水平分别是M组的1.2和0.8倍,精料组成及营养水平见表1。将鲜草铡碎,然后以精粗比50:50混合拌匀,在每天的08:30和17:30进行饲喂,自由采食,自由饮水。其他饲养管理按照原种场的规定进行。

表1 精料组成及营养水平(干物质基础)

Table 1 Composition and nutrient levels of concentrates (DM basis)

项目 Items	H组 H group	M组 M group	L组 L group	%
原料 Ingredients				
玉米 Corn	47.40	58.00	68.00	
麦麸 Wheat bran	5.00	5.20	6.15	
豆粕 Soybean meal	41.00	30.30	19.40	
氯化钠 NaCl	0.50	0.50	0.50	
碳酸钙 CaCO_3	1.10	1.00	0.95	
预混料 Premix ¹⁾	5.00	5.00	5.00	
合计 Total	100.00	100.00	100.00	
营养水平 Nutrient levels ²⁾				
消化能 DE/(MJ/kg)	13.22	13.23	13.22	
粗蛋白质 CP	22.87	19.07	15.23	
中性洗涤纤维 NDF	12.10	11.72	11.57	
酸性洗涤纤维 ADF	6.19	5.56	4.97	
钙 Ca	0.64	0.58	0.55	
磷 P	0.42	0.38	0.36	
钙/磷 Ca/P	1.52	1.53	1.53	

1) 预混料为每千克饲料提供 Premix provided the following per kilogram of diets; 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 other nutrient levels were measured values.

1.2 肉品质测定

整个试验期结束后,每组选择4只山羊(公母各占1/2)进行屠宰。取出山羊第11~13肋骨处的背最长肌,用于测定肌肉的pH、熟肉率、失水率和剪切力等指标,参照占今舜等^[7]方法测定,由福

建省农业科学院畜牧兽医研究所草食动物研究室完成。

1.3 血清采集和指标测定

在正试期的第14、35和70天晨饲前,每组选择8只山羊(公母各占1/2)颈静脉采血。采集的

血液样品在室温下静置 2 h, 再用离心机 3 500 r/min 离心 10 min 收集血清。测定的指标有谷草转氨酶 (AST)、谷丙转氨酶 (ALT) 和碱性磷酸酶 (ALP) 活性。采用比色法进行测定, 由北京华英生物技术研究所完成。

1.4 瘤胃液采集和指标测定

试验结束后, 每组选择 4 只广丰山羊 (公母各占 1/2) 立即屠宰, 取出瘤胃, 按照占今舜等^[8]方法采集瘤胃液, 瘤胃液的 pH 用便携式 pH 计测定。

1.4.1 瘤胃液挥发性脂肪酸含量的测定

取 5 mL 瘤胃液, 12 000 r/min 离心 20 min, 取上清液 1.5 mL。将上清液与 0.15 mL 25% 偏磷酸混匀后静置 30 min, 然后 12 000 r/min 离心 15 min, 取上清液待测。挥发性脂肪酸含量用气相色谱仪 (GC-148, 日本岛津) 进行测定, 方法如下: 色谱柱采用毛细吸管柱 (34292-07B, NUKOLTM Capillary Column, 30 m×0.32 mm×0.25 μm), 柱温 130 ℃, 汽化温度 180 ℃, 采用氢离子火焰检测器,

检测温度 180 ℃, 以氮气为载气。

1.4.2 瘤胃液氨态氮含量的测定

取 6 mL 瘤胃液, 15 000 r/min 离心 20 min, 取上清液 40 μL, 然后与 2.5 mL 苯酚显色剂和 2.0 mL 次氯酸盐试剂混合, 旋涡振荡混匀后在 37 ℃ 水浴中显色 30 min。最后用酶标仪测定 550 nm 处吸光度^[9]。

1.4.3 瘤胃液细菌基因表达的测定

吸取 200~400 μL 瘤胃液到 2 mL 离心管中, 用天根生物科技有限公司生产的粪便基因组提取细菌 DNA, 提取方法参照试剂盒中的说明书进行。根据 Zhan 等^[10]研究中的序列进行细菌引物的合成, 引物由 Invitrogen 公司合成 (表 2)。采用实时荧光定量 PCR 进行基因相对表达的检测, 实时荧光定量 PCR 方法和操作步骤参照天根生物科技有限公司生产的试剂盒中的说明书。检测由福建省农业科学院畜牧兽医研究所草食动物研究室完成。

表 2 实时荧光定量 PCR 引物

Table 2 Primers used for real-time PCR

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: CCGCAACGAGCGCAACCC 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: CGGGTCCATCTGTACCGATAAAT	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
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: CCCTAAAAGCAGTCTTAGTTCG R: CCTCCTTGCGGTTAGAACA	176

1.5 肠道组织的测定

屠宰后, 准确找到山羊十二指肠、空肠和回肠, 然后用 4% 多聚甲醛固定用生理盐水将内容物冲洗掉的肠道组织。根据占今舜等^[7]的方法制成切片。在显微镜下检测肠道绒毛高度 (VH) 和隐窝深度 (CD), 并计算绒毛高度/隐窝深度 (VH/CD)。

1.6 数据统计

以总细菌基因为内参基因, 用 $2^{-\Delta\Delta Ct}$ 方法来计算细菌基因相对表达量。数据先用 Excel 2016 预处理, 再采用 SPSS 21.0 软件 one-way ANOVA 进行方差分析, 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。

2 结果

2.1 饲料蛋白质水平对广丰山羊肉品质的影响

从表 3 中可知, H 组的山羊肌肉 $\text{pH}_{45 \text{ min}}$ 显著

高于 L 组 ($P < 0.05$), 而熟肉率则显著低于 L 组 ($P < 0.05$), 其他指标各组间无显著差异 ($P > 0.05$)。

表 3 饲料蛋白质水平对广丰山羊肉品质的影响

Table 3 Effects of diet protein level on meat quality of Guangfeng goats

项目 Items	H 组 H group	M 组 M group	L 组 L group
熟肉率 Cooked meat percentage/%	55.10±0.19 ^b	56.10±0.45 ^{ab}	57.61±0.88 ^a
剪切力 Shear force/N	4.81±0.43	5.07±0.28	4.97±0.53
失水率 Rate of water loss/%	6.07±0.22	6.51±0.52	6.04±0.88
$\text{pH}_{45 \text{ min}}$	6.37±0.12 ^a	6.17±0.08 ^{ab}	6.07±0.03 ^b

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 or no letter superscripts mean no significant difference ($P > 0.05$). The same as below.

2.2 饲料蛋白质水平对广丰山羊血清酶活性的影响

从表 4 中可知, 整个试验期, M 组的血清谷草

转氨酶、谷丙转氨酶和碱性磷酸酶的活性均低于其他 2 组, 但各组间差异不显著 ($P > 0.05$)。

表 4 饲料蛋白质水平对广丰山羊血清酶活性的影响

Table 4 Effects of diet protein level on enzyme activity in serum of Guangfeng goats

项目 Items	时间 Time	H 组 H group	M 组 M group	L 组 L group
谷草转氨酶 AST/(U/L)	第 14 天 Day 14	59.15±5.15	48.02±5.27	58.30±3.59
	第 35 天 Day 35	62.58±6.73	58.61±4.37	67.98±3.61
	第 70 天 Day 70	61.38±5.03	47.91±4.81	58.19±6.06
谷丙转氨酶 ALT/(U/L)	第 14 天 Day 14	15.48±2.37	14.83±2.65	13.52±1.10
	第 35 天 Day 35	18.93±3.21	15.86±1.88	16.36±2.39
	第 70 天 Day 70	17.82±2.21	15.93±2.74	17.33±1.75
谷草转氨酶/谷丙转氨酶 AST/ALT	第 14 天 Day 14	4.42±0.83	3.54±0.32	4.44±0.35
	第 35 天 Day 35	3.63±0.48	4.11±0.33	4.69±0.67
	第 70 天 Day 70	3.96±0.55	3.19±0.32	3.43±0.29
碱性磷酸酶 ALP/(U/L)	第 14 天 Day 14	352.00±75.65	205.39±32.78	212.41±39.92
	第 35 天 Day 35	434.88±88.12	307.27±45.07	323.21±69.28
	第 70 天 Day 70	361.39±84.30	331.79±53.24	402.84±58.19

2.3 饲料蛋白质水平饲料对广丰山羊瘤胃发酵的影响

从表 5 中可知, M 组的瘤胃液 pH 低于其他 2 组, 而瘤胃液氨态氮含量则高于其他 2 组, 但各组间无显著差异 ($P > 0.05$)。L 组的瘤胃液乙酸、丙酸和总挥发性脂肪酸的含量显著高于 H 组 ($P < 0.05$), 其他指标各组间无显著差异 ($P > 0.05$)。

2.4 饲料蛋白质水平对广丰山羊瘤胃细菌基因表达的影响

从表 6 中可知, M 组山羊瘤胃黄色瘤胃球菌和嗜淀粉瘤胃杆菌基因相对表达量极显著高于其他 2 组 ($P < 0.01$), 其他 2 组间无显著差异 ($P > 0.05$); H 组溶纤维丁酸弧菌基因相对表达量极显著高于其他 2 组 ($P < 0.01$), 其他 2 组间无显著差

异 ($P>0.05$); 产琥珀酸丝状杆菌基因相对表达量随饲料蛋白质水平下降呈极显著降低 ($P<0.01$); H 组栖瘤胃普雷沃菌基因相对表达量极显著低于

其他 2 组 ($P<0.01$), 其中 M 组相对表达量最高; L 组白色瘤胃球菌基因相对表达量极显著低于其他 2 组 ($P<0.01$), 其中 M 组相对表达量最高。

表 5 饲料蛋白质水平对广丰山羊瘤胃发酵的影响

Table 5 Effects of diet protein level on rumen fermentation of *Guangfeng* goats

项目 Items	H 组 H group	M 组 M group	L 组 L group
pH	7.07±0.06	6.96±0.03	7.08±0.04
乙酸 Acetic acid/(mmol/L)	24.19±1.13 ^b	30.22±5.24 ^{ab}	39.28±1.88 ^a
丙酸 Propionic acid/(mmol/L)	5.21±0.54 ^b	6.38±1.17 ^{ab}	8.86±0.65 ^a
异丁酸 Isobutyric acid/(mmol/L)	0.84±0.10	0.73±0.03	0.76±0.09
丁酸 Butyric acid/(mmol/L)	4.82±0.33	5.10±1.03	6.82±0.34
异戊酸 Isopentanoic acid/(mmol/L)	1.19±0.18	1.00±0.04	0.93±0.03
戊酸 Pentanoic acid/(mmol/L)	0.40±0.04	0.42±0.03	0.48±0.02
总挥发性脂肪酸 TVFA/(mmol/L)	36.65±2.26 ^b	43.86±7.14 ^{ab}	57.12±2.82 ^a
乙酸/丙酸 Acetic acid/propionic acid	4.75±0.27	4.86±0.27	4.47±0.16
氨态氮 Ammoniacal nitrogen/(mg/dL)	5.53±1.33	6.17±1.68	5.07±0.47

表 6 饲料蛋白质水平对广丰山羊瘤胃细菌基因表达的影响

Table 6 Effects of diet protein level on gene expression of ruminal bacteria of *Guangfeng* goats

项目 Items	H 组 H group	M 组 M group	L 组 L group
黄色瘤胃球菌 <i>Ruminococcus flavefaciens</i>	1.01±0.10 ^{Bb}	24.16±5.14 ^{Aa}	1.88±0.07 ^{Bb}
溶纤维丁酸弧菌 <i>Butyrivibrio fibrisolvens</i>	1.01±0.10 ^{Aa}	0.02±0.01 ^{Bb}	0.01±0.00 ^{Bb}
栖瘤胃普雷沃菌 <i>Prevotella ruminicola</i>	1.00±0.03 ^{Bb}	5.74±0.60 ^{Aa}	4.06±0.62 ^{Ab}
嗜淀粉瘤胃杆菌 <i>Ruminobacter amylophilus</i>	1.04±0.17 ^{Bb}	3.78±0.25 ^{Aa}	1.40±0.07 ^{Bb}
产琥珀酸丝状杆菌 <i>Fibrobacter succinogenes</i>	1.00±0.05 ^{Aa}	0.52±0.02 ^{Bb}	0.16±0.00 ^{Cc}
白色瘤胃球菌 <i>Ruminococcus albus</i>	1.02±0.11 ^{Ab}	2.45±0.40 ^{Aa}	0.13±0.00 ^{Bb}

2.5 饲料蛋白质水平对广丰山羊肠道发育的影响

从表 7 中可知, L 组山羊回肠的绒毛高度显著高于 H 组 ($P<0.05$), 而隐窝深度和 VH/CD 组间无显著差异 ($P>0.05$); L 组空肠绒毛高度和

VH/CD 极显著高于 H 组 ($P<0.01$), 显著高于 M 组 ($P<0.05$), 而隐窝深度组间无显著差异 ($P>0.05$); 各组间十二指肠绒毛高度、隐窝深度和 VH/CD 均无显著差异 ($P>0.05$)。

表 7 饲料蛋白质水平对广丰山羊肠道发育的影响

Table 7 Effects of diet protein level on development of intestinal tract in *Guangfeng* goats

器官 Organs	项目 Items	H 组 H group	M 组 M group	L 组 L group
十二指肠 Duodenum	绒毛高度 VH/ μm	353.07±24.76	283.52±14.48	256.63±20.25
	隐窝深度 CD/ μm	106.12±5.62	124.27±6.99	111.76±5.60
	绒毛高度/隐窝深度 VH/CD	2.61±0.42	2.35±0.13	2.38±0.21
回肠 Ileum	绒毛高度 VH/ μm	224.35±68.91 ^b	286.05±27.53 ^{ab}	403.36±14.35 ^a
	隐窝深度 CD/ μm	97.90±6.75	130.22±3.97	137.46±23.56
	绒毛高度/隐窝深度 VH/CD	2.50±0.76	2.25±0.18	3.43±0.53
空肠 Jejunum	绒毛高度 VH/ μm	206.03±64.80 ^{Bb}	287.90±14.82 ^{ABb}	412.55±25.62 ^{Aa}
	隐窝深度 CD/ μm	124.11±7.91	143.63±11.86	119.98±8.18
	绒毛高度/隐窝深度 VH/CD	1.82±0.58 ^{Bb}	2.12±0.15 ^{ABb}	3.57±0.23 ^{Aa}

3 讨论

3.1 饲料蛋白质水平对广丰山羊肉品质的影响

pH 是反映肉羊宰杀后肌糖原酵解速度和强度的重要指标,它是影响肉品质主要指标之一。据报道,肉羊屠宰后,pH 为 6.0~7.0,肌肉放置 1 h 后,pH 降至 5.4~5.6^[11]。本试验结果发现,肌肉 pH 为 6.0~6.4,比较正常。饲料营养水平能够影响肌肉 pH,李宏等^[12]研究发现,随着营养水平的升高,羊肉 pH_{45 min} 升高。本试验研究结果与其相似,说明提高饲料蛋白质水平能够提高羊肉 pH。肌肉的失水率越低,熟肉率越高,肉的保水性越好,说明肉品质越好。剪切力是表示肌肉嫩度的一个指标,剪切力越大,嫩度越小,反之则嫩度越大^[13]。闫秋良等^[14]研究发现,饲喂低蛋白质水平饲料的东北肉用细毛羊的熟肉率显著高于饲喂高蛋白质水平饲料,而蛋白质水平对失水率和剪切力无显著影响。本试验结果与其相似。马铁伟等^[15]研究发现,随着饲料蛋白质水平提高,湖羊肌肉失水率显著降低,而熟肉率无显著变化。施安等^[3]研究发现,饲料蛋白质水平对滩寒杂种羔羊的熟肉率、失水率和剪切力均无显著影响,其中失水率随着饲料蛋白质水平的提高而升高。结合本研究结果,表明低蛋白质水平饲料能够提高肉羊肌肉的保水力,但不会影响肌肉嫩度。

3.2 饲料蛋白质水平对广丰山羊血清酶活性的影响

机体血液生化指标能够反映机体营养物质的代谢情况,通过检测血液生化指标能够间接反映机体的健康状况^[16]。谷丙转氨酶和谷草转氨酶是反映肝脏功能的 2 个重要指标,它们在氨基酸降解过程中发挥重要作用。正常情况下,血清中谷草转氨酶活性较低,当肝脏细胞受损时,会使谷草转氨酶和谷草转氨酶/谷丙转氨酶明显升高,说明肝脏受到损伤^[17]。郭万正等^[18]研究发现,马头山羊血清谷丙转氨酶活性随着全混合颗粒饲料蛋白质水平的降低而显著降低,谷草转氨酶/谷丙转氨酶显著升高,但谷草转氨酶活性无显著影响。结果表明,饲料蛋白质水平能够影响山羊血清谷丙转氨酶和谷草转氨酶活性。机体粗蛋白质含量过高,会造成肝脏代谢负担加重,导致谷草转氨酶活性升高,而营养不良等情况也会导致谷草转氨酶活性升高^[18]。本试验来看,摄入高蛋白质可能造

成肝脏代谢负担加重,促使谷丙转氨酶和谷草转氨酶的活性升高,而摄入低蛋白质可能由于营养不足而造成谷丙转氨酶和谷草转氨酶的活性升高。结果表明,饲料蛋白质水平过高或过低均可能会影响肝脏功能。碱性磷酸酶是一种消化代谢过程中的关键性酶,可反映动物的生长性能。动物在健康状态下,碱性磷酸酶活性增加有利于物质代谢,增加动物平均日增重^[19]。在本试验中,除正试期第 70 天外,高蛋白质组的血清碱性磷酸酶活性均高于其他组,说明饲料高蛋白质水平有利于动物生长。碱性磷酸酶也是检测肝脏功能的一个重要指标,如果肝脏受损,会导致该酶活性升高。在本试验中,试验后期,低蛋白质水平组山羊血清碱性磷酸酶活性升高,可能是因为山羊长期摄入蛋白质不足导致肝脏受损造成的。

3.3 饲料蛋白质水平对广丰山羊瘤胃发酵的影响

饲料中的纤维、淀粉等物质被瘤胃内微生物发酵,生成主要供能物质——挥发性脂肪酸。饲料的组成和比例能够影响瘤胃微生物的多样性,进而影响瘤胃挥发性脂肪酸的生成^[20]。司丙文等^[21]研究不同蛋白质水平饲料对羔羊瘤胃发酵的影响,结果发现,瘤胃 pH 和氨态氮含量随饲料蛋白质水平的升高而显著升高,但乙酸/丙酸没有显著变化。10.4% 蛋白质组羔羊瘤胃总挥发性脂肪酸含量显著高于 13.0% 和 15.7% 蛋白质组。田梅等^[22]研究发现,高蛋白质水平组瘤胃 pH 和乙酸含量显著低于低蛋白质水平组,而丙酸含量则显著高于低蛋白质水平组。夏永波等^[23]研究发现,21% 蛋白质组山羊瘤胃氨态氮含量显著高于 15% 和 17% 蛋白质组,19% 蛋白质组瘤胃总挥发性脂肪酸含量显著高于其他组,15% 蛋白质组最低;21% 蛋白质组瘤胃乙酸含量显著高于 15% 蛋白质组,而丁酸含量则显著低于 15% 蛋白质组。本试验发现,低蛋白质水平组的乙酸、丙酸和总挥发性脂肪酸含量显著高于高蛋白质水平组。以上结果表明,饲料蛋白质水平能够影响瘤胃发酵。大部分挥发性脂肪酸主要由碳水化合物产生,当饲料中易发酵的碳水化合物增多时,挥发性脂肪酸也增多^[24]。本试验中,低蛋白质水平组的挥发性脂肪酸含量要显著高于高蛋白质水平组,可能是因为高蛋白质水平组饲料中易发酵的碳水化合物相对减少,导致挥发性脂肪酸产生降低。

白色瘤胃球菌、黄化瘤胃球菌、溶纤维丁酸弧

菌和产琥珀酸丝状杆菌等是纤维素降解相关的细菌。栖瘤胃普雷沃氏菌、溶纤维丁酸弧菌和嗜淀粉瘤胃杆菌是研究最多的主要降解饲料蛋白质的细菌^[25-26]。牛骁麟等^[27]研究发现, 白色瘤胃球菌和溶纤维丁酸弧菌含量随饲料蛋白质水平降低而降低, 中蛋白质水平组产琥珀酸丝状杆菌、黄化瘤胃球菌和普雷沃氏菌含量高于其他 2 组。本试验结果与其相似。从本试验结果来看, 饲料高蛋白质水平利于瘤胃溶纤维丁酸弧菌和产琥珀酸丝状杆菌的生长, 中蛋白质水平有助于促进白色瘤胃球菌、黄化瘤胃球菌、栖瘤胃普雷沃氏菌和嗜淀粉瘤胃杆菌的生长。高蛋白质和低蛋白质水平组瘤胃白色瘤胃球菌、黄化瘤胃球菌、栖瘤胃普雷沃氏菌和嗜淀粉瘤胃杆菌数量下降, 原因可能是饲料蛋白质水平过高或过低, 会促进这些细菌发生竞争、拮抗细菌的生长, 进而抑制其生长。

3.4 饲料蛋白质水平对广丰山羊肠道发育的影响

小肠是机体营养物质消化和吸收的主要场所, 绒毛长度、隐窝深度是反映肠道黏膜吸收功能的重要指标^[28]。肠绒毛能够扩大营养物质的吸收面积, 较高的 VH/CD 有利于营养物质的吸收, 而绒毛变短, 会减少营养物质的吸收, 降低动物的生长性能^[29]。隐窝深度能够反映隐窝细胞的增殖率和成熟度。隐窝越深, 说明细胞成熟度下降, 消化酶的合成和分泌下降^[30]。而隐窝越浅, 细胞成熟度越好, 肠上皮细胞分泌消化液的能力增强, 进而加强化学消化功能^[7]。祁敏丽^[31]研究发现, 降低蛋白质水平能够显著降低湖羊十二指肠的 VH/CD、空肠绒毛高度、空肠的 VH/CD。这说明饲料蛋白质水平能够影响肠道组织形态, 进而影响肠道的消化吸收功能。饲料蛋白质抗原能够引起细胞介导的超敏反应, 造成肠道组织损伤、绒毛变短和隐窝增生, 进而导致肠道吸收功能降低^[32]。研究发现, 饲料蛋白质水平降低能够改善小肠结构, 这可能是因为降低蛋白质水平导致抗原水平也降低^[33]。在本试验中, 高蛋白质水平组山羊回肠的绒毛高度、空肠绒毛高度和 VH/CD 显著低于低蛋白质水平组, 这可能跟高蛋白质水平饲料的蛋白质抗原高有关。

4 结 论

饲料低蛋白质水平能够改善肉品质, 促进挥发性脂肪酸的产生和肠道发育。饲料中蛋白质水

平能够促进瘤胃一些分解纤维和蛋白质分解菌的生长。从本试验结果来看, 广丰山羊以精料蛋白质水平 19.07% 的育肥效果最佳。

参考文献:

- [1] 占今舜, 霍俊宏, 胡利珍, 等. 反刍动物日粮蛋白质能量比的研究进展[J]. 饲料博览, 2018(2): 9-11, 15. ZHAN J S, HUO J H, HU L Z, et al. Progress on ratio of protein to energy in diet of ruminant[J]. Feed Review, 2018(2): 9-11, 15. (in Chinese)
- [2] 张凯凯, 吴仙, 粟朝芝, 等. 不同梯度蛋白水平开食料对贵州黑山羊生长性能的影响[J]. 饲料工业, 2018, 39(23): 39-43. ZHANG K K, WU X, LI C Z, et al. Effects of the starters of different gradient protein levels on the growth performance of Guizhou black goat[J]. Feed Industry, 2018, 39(23): 39-43. (in Chinese)
- [3] 施安, 张俊丽, 李聚才, 等. 不同蛋白营养水平精补料对黄渠桥羔羊生长育肥性能的影响[J]. 饲料研究, 2019(5): 1-4. SHI A, ZHANG J L, LI J C, et al. Effects of different protein levels on growth and fattening performance of Huangqu Bridge lambs[J]. Feed Research, 2019(5): 1-4. (in Chinese)
- [4] ESTRADA-ANGULO A, CASTRO-PÉREZ B I, URÍAS-ESTRADA J D, et al. Influence of protein level on growth performance, dietary energetics and carcass characteristics of Pelibuey × Katahdin lambs finished with isocaloric diets[J]. Small Ruminant Research, 2018, 160: 59-64.
- [5] CHOBTANG J, INTHARAK K, ISUWAN A. Effects of dietary crude protein levels on nutrient digestibility and growth performance of Thai indigenous male goats[J]. Songklanakarin Journal of Science and Technology, 2009, 31(6): 591-596.
- [6] 赵有璋. 中国养羊学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2013: 129-130. ZHAO Y Z. Sheep husbandry of China[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2013: 129-130. (in Chinese)
- [7] 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 ratios with different concentration-roughage ratio on meat quality, serum indices, and intestinal tract development in Hu sheep[J]. Pratacultural Science, 2019, 36(12): 3166-3174. (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] 王加启.反刍动物营养学研究方法[M].北京:现代教育出版社,2011:136-138.
WANG J Q. *Methods in ruminant nutrition research* [M]. Beijing: Modern Education Press, 2011: 136-138. (in Chinese)
- [10] 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 Science*, 2017, 30(10): 1416-1424.
- [11] 都帅,尤思涵,包健,等.补饲精料对乌珠穆沁羊生产性能、屠宰性能和肉品质的影响[J].草业学报,2019,28(6):196-203.
DOU S, YOU S H, BAO J, et al. Effects of different nutrition levels on growth performance, carcass characteristics and meat quality of *Wuzhumuqin* lamb [J]. *Acta Prataculturae Sinica*, 2019, 28(6): 196-203. (in Chinese)
- [12] 李宏,吴建平,宋淑珍,等.相对饲养水平对阿勒泰羊生长性能、屠宰性能、器官发育及肉品质的影响[J].动物营养学报,2020,32(4):1927-1935.
LI H, WU J P, SONG S Z, et al. Effects of relative feeding level on growth performance, slaughter performance, organ development and meat quality of *Altai* sheep [J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2020, 32(4): 1927-1935. (in Chinese)
- [13] 侯川川,马莲香,邱家凌,等.饲粮类型对育肥湖羊生长性能、屠宰性能和肉品质的影响[J].动物营养学报,2018,30(12):5023-5031.
HOU C C, MA L X, QIU J L, et al. Effects of different diet types on growth performance, slaughter performance and meat quality of fattening *Hu* sheep [J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2018, 30(12): 5023-5031. (in Chinese)
- [14] 闫秋良,赵玉民,金海国,等.蛋白水平及去势对东北肉用细毛羊群公羔生长、屠宰性能和肉品质的影响[J].中国草食动物科学,2014(S1):257-259.
YAN Q L, ZHAO Y M, JIN H G, et al. Effects of protein level and castration on the growth, slaughter performance and meat quality of male northeast fine wool sheep lamb [J]. *China Herbivore Science*, 2014(S1): 257-259. (in Chinese)
- [15] 马铁伟,王强,王锋,等.营养水平对湖羊生长性能、血清生化指标、屠宰性能和肉品质的影响[J].南京农业大学学报,2016,39(6):1003-1009.
MA T W, WANG Q, WANG F, et al. Effects of different nutrition levels on growth performance, serum indexes, slaughter performance and meat traits of *Hu* lamb [J]. *Journal of Nanjing Agricultural University*, 2016, 39(6): 1003-1009. (in Chinese)
- [16] 占今舜,苏效双,刘明美,等.日粮中添加苜蓿黄酮对奶牛血液生化指标、抗氧化性能和免疫的影响[J].中国农业大学学报,2017,22(5):66-74.
ZHAN J S, SU X S, LIU M M, et al. Effects of diet added alfalfa flavonoids on blood biochemical indexes, oxidation resistance and immunity of dairy cow [J]. *Journal of China Agricultural University*, 2017, 22(5): 66-74. (in Chinese)
- [17] 魏金涛,汪红武,杨雪海,等.苕麻青贮及不同粗蛋白质水平精料补充料对西门塔尔牛生长性能和血清生化指标的影响[J].中国畜牧兽医,2018,45(12):3463-3470.
WEI J T, WANG H W, YANG X H, et al. Ramie silage and effects of different crude protein level of concentrate supplement on growth performance and serum biochemical parameters of *Simmental* cattle [J]. *China Animal Husbandry & Veterinary Medicine*, 2018, 45(12): 3463-3470. (in Chinese)
- [18] 郭万正,柯有田,尚延琮,等.不同粗蛋白质水平全混合颗粒日粮对马头山羊生长性能及血液生化指标的影响[J].中国畜牧杂志,2019,55(10):108-110, 125.
GUO W Z, KE Y T, SHANG Y Z, et al. Effects of different crude protein levels of formulated pellet diets on growth performance and blood biochemical parameters of *Matou* goats [J]. *Chinese Journal of Animal Science*, 2019, 55(10): 108-110, 125. (in Chinese)
- [19] 聂召龙,潘浩,刘书杰,等.复合乳酸菌对早期断奶犏牦牛生长性能、血清生化指标、肠道发育及消化酶活性的影响[J].动物营养学报,2020,32(8):3760-3770.
NIE Z L, PAN H, LIU S J, et al. Effects of compound lactobacillus on growth performance, serum biochemical indexes, intestinal development and digestive enzyme activities of early-weaned yak calves [J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2020, 32(8): 3760-

3770. (in Chinese)
- [20] 高林青, 占今舜, 胡耀, 等. 不同精粗比全混合日粮对湖羊生长性能、血清激素浓度和屠宰性能的影响[J]. 动物营养学报, 2019, 31(4): 1676-1684.
GAO L Q, ZHAN J S, HU Y, et al. Effects of total mixed ration with different concentration-roughage ratios on growth performance, serum hormone concentrations and slaughter performance of *Hu* sheep [J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2019, 31(4): 1676-1684. (in Chinese)
- [21] 司丙文, 王俊, 张乃峰, 等. 日粮蛋白质水平对杜寒杂交断奶羔羊营养物质消化及瘤胃发酵的影响[J]. 家畜生态学报, 2014, 35(12): 33-38.
SI B W, WANG J, ZHANG N F, et al. Effect of crude protein levels of rations on nutrients digestion and rumen fermentation in Dorper×Small-Tailed *Han* crossbred weaning lambs [J]. Acta Ecologica Animalis Domestici, 2014, 35(12): 33-38. (in Chinese)
- [22] 田梅, 桂蕴, 齐艳梅, 等. 不同营养水平日粮添加丁香酚对奶牛消化性能、瘤胃发酵及奶品质的影响[J]. 中国饲料, 2019(6): 46-50.
TIAN M, GUI Y, QI Y M, et al. Effects of different dietary nutrient levels supplementation of eugenol on digestibility, rumen fermentation and milk quality of dairy cows [J]. China Feed, 2019(9): 46-50. (in Chinese)
- [23] 夏永波, 韩勇, 陈胜昌, 等. 日粮蛋白浓度对 45~105 日龄贵州黑山羊生产性能及瘤胃发酵的影响[J]. 草学, 2019(6): 71-79.
XIA Y B, HAN Y, CHEN S C, et al. Effects of dietary protein concentration on production performance and rumen fermentation of *Guizhou* black goats aged 45 to 105 days [J]. Journal of Grassland and Forage Science, 2019(6): 71-79. (in Chinese)
- [24] 普宣宣, 郭雪峰, 蒋辰宇, 等. 饲料非纤维性碳水化合物/中性洗涤纤维对绵羊消化、瘤胃发酵参数及纤维素酶活性的影响[J]. 动物营养学报, 2019, 31(10): 4859-4867.
PU X X, GUO X F, JIANG C Y, et al. Effects of dietary non-fibrous carbohydrate/neutral detergent fiber on digestion, rumen fermentation parameters and cellulase activities in sheep [J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2019, 31(10): 4859-4867. (in Chinese)
- [25] KOIKE S, KOBAYASHI Y. Fibrolytic rumen bacteria: their ecology and functions [J]. Asian-Australasian Journal of Animal Sciences, 2009, 22(1): 131-138.
- [26] 冯仰廉. 反刍动物营养学 [M]. 北京: 科学出版社, 2006.
- FENGY L. Ruminants nutrition [M]. Beijing: Science Press, 2006.
- [27] 牛骁麟, 郭涛, 周文静, 等. 日粮粗蛋白质水平对育肥湖羊瘤胃微生物组成和发酵参数的影响[J]. 草业科学, 2020, 37(5): 975-983.
NIU X L, GUO T, ZHOU W J, et al. Effects of dietary crude protein level on rumen microbial composition and the fermentation parameters of finishing *Hu* lambs [J]. Pratacultural Science, 2020, 37(5): 975-983. (in Chinese)
- [28] 刘伯帅, 王文静, 孙骁, 等. 饲料纤维源对仔猪生长性能、肠道发育及其消化酶活性的影响[J]. 草业学报, 2018, 27(9): 175-182.
LIU B S, WANG W J, SUN X, et al. Effects of different dietary fiber on growth performance, intestinal development and digestive enzyme activity of piglets [J]. Acta Prataculturae Sinica, 2018, 27(9): 175-182. (in Chinese)
- [29] 钟晓霞, 黄健, 刘志云, 等. 甘露寡糖和复合益生菌对断奶仔猪生长性能及肠道形态结构、挥发性脂肪酸含量和菌群结构的影响[J]. 动物营养学报, 2020, 32(7): 3099-3108.
ZHONG X X, HUANG J, LIU Z Y, et al. Effects of mannan oligosaccharides and complex probiotics on growth performance and intestinal morphology, volatile fatty acid contents and microbial structure of weaned piglets [J]. Chinese Journal of Animal Science, 2020, 32(7): 3099-3108. (in Chinese)
- [30] 王辉, 王旭, 耿毅, 等. 不同粗蛋白、粗纤维水平对白獭兔生长性能和肠道发育的影响[J]. 四川畜牧兽医, 2015(2): 36-39.
WANG H, WANG X, GENG Y, et al. Influence of dietary crude protein and fiber levels on growth performance and gastrointestinal development of Rex rabbits [J]. Sichuan Animal Husbandry & Veterinary Medicine, 2015(2): 36-39. (in Chinese)
- [31] 祁敏丽. 日粮能量和蛋白质水平对羔羊生长性能和胃肠道发育的影响[D]. 硕士学位论文. 北京: 中国农业科学院, 2016.
QI M L. Effects of dietary energy and protein level on growth performance and gastrointestinal development of lambs [D]. Master's Thesis. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2016. (in Chinese)
- [32] 郝瑞荣, 岳文斌, 范志勇, 等. 日粮蛋白质水平对断奶仔猪肠道发育的影响[J]. 激光生物学报, 2009, 18(3): 383-388.

HAO R R, YUE W B, FAN Z Y, et al. Effects of dietary protein content on intestinal development of early-weaned pigs [J]. *Acta Laser Biology Sinica*, 2009, 18 (3): 383-388. (in Chinese)

Effect of dietary soybean meal on the microscopic anatomy of the small intestine in the early-weaned pig [J]. *Journal of Animal Science*, 1989, 67 (7): 1855-1863.

[33] DUNSFORD B R, KNABE D A, HAENSLY W E.

Effects of Dietary Protein Level on Meat Quality, Serum Enzyme Activity and Intestinal Development of *Guangfeng* Goats

ZHAN Jinshun¹ LIU Yuan^{2*} ZHAN Yongping³ LI Wenyang² HUO Junhong^{1**}

(1. Institute of Animal Husbandry and Veterinary, Jiangxi Academy of Agricultural Science, Nanchang 330200, China;

2. Institute of Animal Husbandry and Veterinary, Fujian Academy of Agricultural Science, Fuzhou 350013, China;

3. Animal Husbandry and Veterinary Bureau of Yushan, Shangrao 334700, China)

Abstract: To study the effects of dietary protein level on meat quality, serum enzyme activity and intestine development of *Guangfeng* goats, thirty healthy goats with similar body weight were chosen and randomly divided into three groups with ten sheep per group (half of male and female). Goats in each group were fed concentrates with high (group H), medium (group M) and low protein levels (group L), respectively. The roughage was fresh grass of *Miscanthus* in all groups. The experimental period contained a 14-day pre-experiment and a 70-day experiment. The results showed as follows: 1) the pH of goat muscle of group H was significantly higher than that of group L ($P < 0.05$), while cooked meat percentage of group H was significantly lower than that of group L ($P < 0.05$). There was no significant difference in other indexes between groups ($P > 0.05$). 2) The activities of alanine aminotransferase, alanine aminotransferase and alkaline phosphatase of group M were lower than those of other two group, while there was no significant difference among groups ($P > 0.05$). 3) The contents of acetic acid, propionic acid and total volatile fatty acids of group L were significantly higher than those of group H ($P < 0.05$), but the other indexes were no significant difference between groups ($P > 0.05$). The relative expression levels of *Ruminococcus flavefaciens*, *Prevotella ruminicola*, *Ruminobacter amylophilus*, *Ruminococcus albus* of group M were significantly higher than those of other two groups ($P < 0.05$ or $P < 0.01$). The relative expression levels of *Butyrivibrio fibrisolvens* and *Fibrobacter succinogenes* of group H were significantly higher than those of other two groups ($P < 0.01$). 4) The villus height of ileum and the villus height and villus height/crypt depth (VH/CD) of jejunum of group L were significantly higher than those of group H ($P < 0.05$ or $P < 0.01$), but the other indexes were no significant difference between groups ($P > 0.05$). In conclusion, dietary protein level can affect meat quality, rumen fermentation and intestinal function of *Guangfeng* goat. Reducing dietary protein level can improve meat quality, improve rumen fermentation and intestinal absorption in this experiment. [*Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2021, 33(3): 1493-1502]

Key words: goat; meat quality; intestine development; rumen fermentation

* Contributed equally

** Corresponding author, associate professor, E-mail: hjh_0222@126.com