

引用格式:

潘月, 占今舜, 江浩筠, 王海波, 贾浩滨, 钟小军, 张建斌, 霍俊宏. 不同NFC/NDF水平饲粮对赣西山羊屠宰性能和血液生化指标与肌肉品质的影响[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2025, 51(4): 68–77.

PAN Y, ZHAN J S, JIANG H Y, WANG H B, JIA H B, ZHONG X J, ZHANG J B, HUO J H. Effects of different dietary NFC/NDF levels on slaughter performance, blood biochemical parameters and meat quality of Ganxi goats[J]. Journal of Hunan Agricultural University(Natural Sciences), 2025, 51(4): 68–77.

投稿网址: <http://xb.hunau.edu.cn>



不同NFC/NDF水平饲粮对赣西山羊屠宰性能和血液生化指标与肌肉品质的影响

潘月^{1,2,3}, 占今舜^{1,2}, 江浩筠^{1,2}, 王海波^{1,2,4}, 贾浩滨^{1,2}, 钟小军^{1,2}, 张建斌³, 霍俊宏^{1,2*}

(1. 江西省农业科学院畜牧兽医研究所, 江西 南昌 330200; 2. 畜禽绿色健康养殖江西省重点实验室, 江西 南昌 330200; 3. 天津农学院动物科学与动物医学学院, 天津 300384; 4. 甘肃农业大学动物科学技术学院, 甘肃 兰州 730070)

摘要: 将39只4月龄、体质量相近(15.25 ± 0.46 kg)且健康的赣西山羊分为3组, 每组13只, 试验I组、II组和III组山羊分别饲喂非纤维性碳水化合物与中性洗涤纤维含量比(NFC/NDF)为0.9、1.2和1.5的饲粮, 试验期为70 d, 其中预饲期10 d, 正试期60 d。饲养结束后测定赣西山羊屠宰性能、血液生化指标、瘤胃发酵参数、瘤胃细菌基因表达量、肠道形态和肌肉营养成分等, 探讨NFC/NDF水平对这些指标的影响。结果表明: 试验II组山羊宰前活体质量显著高于试验III组的, 是试验III组的1.09倍; 正试期第10天, 试验III组山羊血糖(GLU)浓度显著高于试验II组的, 是试验II组的1.31倍; 正试期第30天, 试验I组山羊血清总胆固醇(TC)浓度显著高于试验III组的, 是试验III组的1.42倍, 而试验III组山羊GLU浓度显著高于试验II组的, 是试验II组的1.15倍; 正试期第60天, 试验I组山羊TC和甘油三酯(TG)浓度均显著高于试验III组的, 分别是试验III组的1.23倍和1.53倍, 而GLU浓度和谷丙转氨酶(ALT)活性则显著低于其他2组的; 试验I组山羊瘤胃pH显著低于试验II组的, 而总挥发性脂肪酸和戊酸浓度则显著高于试验II组的, 分别是试验II组的1.07倍和2.48倍; 试验II组山羊瘤胃嗜淀粉瘤胃杆菌(*Ruminobacter amylophilus*)、产琥珀酸丝状杆菌(*Fibrobacter succinogenes*)和溶纤维丁酸弧菌(*Butyrivibrio fibrisolvens*)的基因相对表达量极显著高于其他2组的, 其中试验I组的最低, 而试验I组山羊瘤胃白色瘤胃球菌(*Ruminococcus albus*)、栖瘤胃普雷沃菌(*Prevotella ruminicola*)、乳杆菌(*Lactobacillus* spp.)和黄色瘤胃球菌(*Ruminococcus flavefaciens*)的基因相对表达量极显著高于其他2组的, 其中试验III组的最低; 试验I组山羊肌肉甘氨酸、组氨酸、总氨基酸、非必需氨基酸和甜味氨基酸质量分数均显著低于其他2组的, 丙氨酸质量分数显著低于试验II组的, 而试验II组山羊肌肉蛋氨酸质量分数显著低于其他2组的; 山羊的肠道形态指标、肌肉营养成分、脂肪酸质量分数在3组间的差异均无统计学意义。综上可见, 不同NFC/NDF水平的饲粮能够通过调控赣西山羊瘤胃菌群结构来影响纤维和蛋白的降解, 从而影响瘤胃发酵、提高赣西山羊宰前活体质量, 在本研究条件下, NFC/NDF水平为1.2时效果最好。

关键词: 赣西山羊; 非纤维性碳水化合物(NFC); 中性洗涤纤维(NDF); 屠宰性能; 瘤胃发酵参数; 肠道形态; 血液生化指标; 肌肉品质; 脂肪酸; 氨基酸

中图分类号: S827.5

文献标志码: A

文章编号: 1007-1032(2025)04-0068-10

收稿日期: 2024-07-29

修回日期: 2024-09-27

基金项目: 江西省农业科学院基础研究与人才培养专项(JXSNEYJCRC202407); 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: 潘月(1998—), 女, 河南延津人, 硕士研究生, 主要从事动物营养研究, 2373181521@qq.com; *通信作者, 霍俊宏, 硕士, 研究员, 主要从事动物遗传育种研究, hjh_0222@126.com

Effects of different dietary NFC/NDF levels on slaughter performance, blood biochemical parameters and meat quality of Ganxi goats

PAN Yue^{1,2,3}, ZHAN Jinshun^{1,2}, JIANG Haoyun^{1,2}, WANG Haibo^{1,2,4}, JIA Haobin^{1,2},
ZHONG Xiaojun^{1,2}, ZHANG Jianbin³, HUO Junhong^{1,2*}

(1. Institute of Animal Science and Veterinary Medicine, Jiangxi Academy of Agricultural Sciences, Nanchang, Jiangxi 330200, China; 2. Jiangxi Province Key Laboratory of Animal Green and Healthy Breeding, Nanchang, Jiangxi 330200, China; 3. College of Animal Science and Veterinary Medicine, Tianjin Agricultural University, Tianjin 300384, China; 4. College of Animal Science and Technology, Gansu Agricultural University, Lanzhou, Gansu 730070, China)

Abstract: Thirty-nine healthy Ganxi goats aged 4 months with similar body masses ((15.25±0.46) kg) were divided into three groups with 13 goats in each group. Goats in experimental groups I, II, and III were fed diets with ratios of non-fibrous carbohydrates to neutral detergent fiber content(NFC/NDF) at levels of 0.9, 1.2, and 1.5, respectively. The experimental period lasted for 70 days, consisting of a 10-day adaptation period followed by a 60-day formal trial period. At the conclusion of the feeding period, slaughter performance, blood biochemical indicators, rumen fermentation parameters, rumen bacterial gene expression levels, intestinal morphology, and muscle nutritional components of the Ganxi goats were determined to investigate the effects of dietary NFC/NDF levels on these metrics. Results indicated that the pre-slaughter live mass of goats in Group II was significantly higher than that in Group III, being 1.09 times that of Group III. On day 10 of the formal trial period, blood glucose(GLU) concentration of goats in Group III was significantly higher than that in Group II, being 1.31 times that of Group II. On day 30 of the formal trial period, the serum total cholesterol(TC) concentration of goats in Group I was significantly higher than that in Group III, being 1.42 times that of Group III, while the GLU concentration of goats in Group III was significantly higher than that in Group II, being 1.15 times that of Group II. On day 60 of the formal trial period, the TC and triglyceride(TG) concentrations of goats in Group I were significantly higher than those in Group III, being 1.23 times and 1.53 times those of Group III, respectively, while the GLU concentration and alanine aminotransferase(ALT) activity of goats in Group I were significantly lower than those in the other two groups. The rumen pH of goats in Group I was significantly lower than that in Group II, while total volatile fatty acids and propionate concentrations of goats in Group I were significantly higher than those in Group II, being 1.07 times and 2.48 times those of Group II, respectively. The relative gene expression levels of *Ruminobacter amylophilus*, *Fibrobacter succinogenes* and *Butyrivibrio fibrisolvens* in goat rumen in Group II were significantly higher than those in the other two groups, with the lowest levels observed in Group I, while the relative gene expression levels of *Ruminococcus albus*, *Prevotella ruminicola*, *Lactobacillus* spp. and *Ruminococcus flavefaciens* in goat rumen in Group I were significantly higher than those in the other two groups, with the lowest levels observed in Group III. Group I goats exhibited significantly lower mass fractions of muscle glycine, histidine, total amino acids, non-essential amino acids, and sweet amino acids compared to the other two groups, and alanine mass fraction of goats in Group I was significantly lower than that in Group II. Meanwhile, Group II goats had significantly lower muscle methionine mass fraction than those in the other two groups. No statistically significant differences were observed among the three groups in intestinal morphological indicators, muscle nutritional components or fatty acid mass fractions. In conclusion, diets with different NFC/NDF levels could regulate ruminal microbial community structure in Ganxi goats, thereby influencing fiber and protein degradation, which affected rumen fermentation and improved pre-slaughter live mass. Under the conditions of this study, an NFC/NDF level of 1.2 was found to be optimal.

Keywords: Ganxi goat; non-fibrous carbohydrates(NFC); neutral detergent fiber(NDF); slaughter performance; rumen fermentation parameters; intestinal morphology; blood biochemical indicators; muscle quality; fatty acids; amino acids

碳水化合物分为纤维性碳水化合物和非纤维性碳水化合物(NFC), NFC主要包括糖与淀粉, 当饲粮中NFC含量过高时, 容易导致反刍动物产生瘤胃酸中毒, 影响机体健康, 而NFC含量过低则不能

满足机体生长、发育的需要^[1-2]。中性洗涤纤维(NDF)由纤维素、半纤维素和木质素组成, NDF相较于NFC不易发酵, 但有利于反刍动物瘤胃的发育, 然而, 饲粮中NDF含量过高, 会导致饲粮营养

水平降低,进而影响反刍动物的生长发育^[3]。由此可见,适宜的NFC与NDF含量比(NFC/NDF)的饲料对反刍动物生长代谢起着重要作用^[4]。研究发现,饲喂不同NFC/NDF水平的饲料不仅能够影响肉质营养成分、氨基酸和脂肪酸的含量^[5],还能够促进反刍动物瘤胃发育,提高其营养物质消化、吸收的能力及生长性能^[6]。其中,饲喂低水平NFC/NDF饲料有助于反刍动物(肉羊、黑藏羊)瘤胃发酵,提高抗氧化能力^[7-8]和生长性能^[3],增加瘤胃微生物多样性^[9];而饲喂高水平NFC/NDF饲料有助于提升肌肉中氨基酸的含量,使得肉的风味更佳,营养价值更高^[10]。然而,目前,反刍动物最适饲料NFC/NDF水平暂未形成统一标准,研究适宜的饲料NFC/NDF水平对赣西山羊标准化养殖具有重要意义。

赣西山羊是以产肉为主的江西地方山羊品种,随着江西省肉羊产业的不断发展,赣西山羊从传统的放牧饲养方式逐渐转变成圈养方式,其饲养管理方式也随之改变^[11-12]。前期研究^[6]发现,低NFC/NDF水平可以促进赣西山羊胃的发育和降低料肉比,而提高NFC/NDF水平对肉品质具有一定的改善作用。

因此,在前期研究的基础上,继续探讨饲料中不同NFC/NDF水平对赣西山羊屠宰性能、血液生化指标、瘤胃发酵参数、瘤胃细菌基因表达量、肠道形态和肌肉营养成分等的影响,以期优化赣西山羊饲料配制提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计和饲养管理

试验于2020年11月开始,2021年1月结束。试验地点在江西省建佳岭生态养殖有限公司肉羊场。选择39只(4月龄)体质量相近((15.25±0.46) kg)且健康的赣西山羊,分为3组(试验I、II、III组),每组7公6母,其中公羊和母羊分栏饲养。试验I、II、III组的山羊分别饲喂NFC/NDF为0.9、1.2和1.5的饲料。试验期共70 d,其中,预饲期10 d,正试期60 d。饲料配制采用占今舜等^[6]的方法,饲料原料组成和营养水平如表1所示。试验山羊均采用圈养方式饲养,每天饲喂2次(8:00、17:00),试验期间自由采食、饮水,其他饲养管理方式依照养殖场规定进行。

表1 饲料原料组成与营养水平(干物质基础)
Table 1 Composition and nutrient level of diets(DM basis)

试验组	原料组分质量分数/%								合计
	玉米	麦麸	豆粕	米糠	喷浆玉米皮	白酒糟	谷壳粉	预混料 ^①	
I组	18	5	5	15	12	9	31	5	100
II组	26	5	5	15	12	9	23	5	100
III组	31	5	5	16	13	9	16	5	100

试验组	营养水平 ^②								NFC/NDF
	消化能/ (MJ·kg ⁻¹)	粗蛋白 质量分数/%	中性洗涤纤维 质量分数/%	酸性洗涤纤维 质量分数/%	粗脂肪 质量分数/%	粗灰分 质量分数/%	钙质量 分数/%	磷质量 分数/%	
I组	8.96	10.55	40.54	25.18	5.50	6.82	1.17	0.64	0.9
II组	9.93	11.02	35.11	20.99	5.89	5.92	1.17	0.66	1.2
III组	10.76	11.57	30.74	17.49	6.37	5.24	1.17	0.69	1.5

注:①预混料为每kg饲料提供:钙200 g,磷30 g,镁45 g,钾12 g,钠50 g,维生素A 100 000 IU,维生素D₃ 45 000 IU,维生素E 1 400 IU,铜200 mg,钴23 mg,锰1 600 mg,硒9 mg,锌1 600 mg,碘33 mg。②营养水平均为计算值。

1.2 样品采集与指标测定

1.2.1 屠宰性能

饲养试验结束后,各组选择4只(公母各半)赣西山羊,禁食24 h和禁水2 h后称体质量,屠宰,并记录胴体质量;再取左边胴体,参照高林青等^[13]的方法,测定后腿质量、眼肌面积、背膘厚、肋肉厚,并计算屠宰率。

1.2.2 血液生化指标

在正试期的第10、30、60天时,晨饲前给山羊颈部剃毛,用真空采血管采集血液5 mL,静置2 h,在3 500 r/min下离心10 min,然后收集血清,于-20 ℃保存备用。参照南京建成生物工程研究所提供的试剂盒说明书,分别测定血清中总蛋白(TP)质量浓度,甘油三酯(TG)、总胆固醇(TC)、尿素氮(BUN)、血

糖(GLU)浓度及碱性磷酸酶(ALP)、天门冬氨酸氨基转移酶(AST)、丙氨酸氨基转移酶(ALT)活性,并计算AST与ALT活性比(AST/ALT)。

1.2.3 瘤胃发酵参数和瘤胃细菌基因表达

试验结束后,在山羊屠宰前,使用瘤胃液口腔采集器采集瘤胃液,测定pH后分装并置于液氮中保存,带回实验室后于-80℃冰箱保存备用。参照占今舜等^[14]的方法测定瘤胃发酵参数,主要包括pH,乙酸、丙酸、异丁酸、丁酸、异戊酸、戊酸、总挥

发性脂肪酸(TVFA)浓度,乙酸与丙酸浓度比(乙酸/丙酸)及氨态氮质量浓度;参照ZHAN等^[15]的方法进行瘤胃液细菌DNA提取、qRT-PCR检测以及细菌引物(表2)设计,测定的细菌包括总细菌、黄色瘤胃球菌(*Ruminococcus flavefaciens*)、溶纤维丁酸弧菌(*Butyrivibrio fibrisolvens*)、嗜淀粉瘤胃杆菌(*Ruminobacter amylophilus*)、栖瘤胃普雷沃菌(*Prevotella ruminicola*)、产琥珀酸丝状杆菌(*Fibrobacter succinogenes*)、白色瘤胃球菌(*Ruminococcus albus*)和乳杆菌(*Lactobacillus spp.*)。

表2 RT-PCR检测的细菌引物
Table 2 Bacterial primers used for the RT-PCR

细菌	引物序列(5'—3')	产物序列长度/bp
总细菌	CGGCAACGAGCGCAACCC	130
	CCATTGTAGCACGTGTGTAGCC	
黄色瘤胃球菌	CGAACGGAGATAATTTGAGTTTACTTAGG	132
	CGGTCTCTGTATGTTATGAGGTATTACC	
溶纤维丁酸弧菌	ACCGCATAAGCGCACGGA	65
	CGGGTCCATCTTGTACCGATAAAAT	
嗜淀粉瘤胃杆菌	CTGGGGAGCTGCCTGAAT	100
	CATCTGAATGCGACTGGTTG	
栖瘤胃普雷沃菌	GCGAAAGTCGGATTAATGCTCTATG	78
	CCCATCCTATAGCGGTAAACCTTTG	
产琥珀酸丝状杆菌	GGAGCGTAGGCGGAGATTCA	97
	GCCTGCCCCGTAACATATCCA	
白色瘤胃球菌	CCCTAAAAGCAGTCTTAGTTCG	176
	CCTCCTTGCGGTTAGAACA	
乳杆菌	AGCAGTAGGGAATCTTCCA	345
	ATTCCACCGCTACACATG	

1.2.4 肠道组织绒毛高度和隐窝深度

屠宰后,取十二指肠、空肠和回肠,并用0.9% NaCl水溶液将肠道内容物冲洗干净,再用4%多聚甲醛固定备用。采用苏木素-伊红(HE)染色固定肠道组织后将其制成切片,在显微镜下观察并测量肠道的绒毛高度(VH)和隐窝深度(CD),并计算VH/CD值。

1.2.5 肌肉营养成分

屠宰后,切取第11~13肋骨处的背最长肌200 g,参照《食品安全国家标准 食品中水分的测定》(GB 5009.3—2016)中的直接干燥法测定水分质量分数;参照《食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定》(GB 5009.5—2016)中的凯氏定氮法测定粗蛋白质质量分数;参照《食品安全国家标准 食品中脂肪的测定》(GB 5009.6—2016)中的索氏抽提法测定粗脂

肪质量分数;参照ZHAN等^[15]的方法测定肌肉脂肪酸及氨基酸质量分数。

1.3 数据统计分析

采用IBM SPSS 21.0对数据进行单因素方差分析,选用LSD法进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 不同NFC/NDF水平饲粮对赣西山羊屠宰性能的影响

由表3可知,试验Ⅱ组山羊宰前活体质量显著高于试验Ⅲ组的,是试验Ⅲ组的1.09倍;试验Ⅰ组宰前活体质量与其他2组间的差异无统计学意义,山羊胴体质量、后腿质量、眼肌面积、背膘厚、肋肉厚、屠宰率在3组间的差异均无统计学意义。

表3 饲喂不同NFC/NDF水平饲料的赣西山羊的屠宰性能

Table 3 Slaughter performance of Ganxi goats fed diets with different NFC/NDF levels							
试验组	宰前活体质量/kg	胴体质量/kg	后腿质量/kg	眼肌面积/cm ²	背膘厚/mm	肋肉厚/mm	屠宰率/%
I组	20.16ab	10.28	2.08	8.89	1.56	16.65	51.78
II组	21.13a	10.13	2.18	8.02	1.30	14.80	49.47
III组	19.33b	9.70	2.00	8.03	1.29	14.03	50.77
标准误	0.70	0.26	0.14	0.53	0.27	1.65	1.48
P	0.03	0.33	0.68	0.46	0.74	0.54	0.56

注：同列不同字母表示试验组间差异有统计学意义(P<0.05)。

2.2 不同NFC/NDF水平饲料对血清生化指标的影响

由表4可知：正试期第10天时，试验III组山羊GLU浓度显著高于试验II组的，是试验II组的1.31倍，试验I组GLU浓度与其他2组的差异无统计学意义；TP质量浓度，TC、TG、BUN浓度，AST、ALT、ALP活性及AST/ALT在3组间的差异均无统计学意义。正试期第30天时，试验I组山羊TC浓度显著高于试验III组的，是试验III组的1.42倍；试验III组山

羊GLU浓度显著高于试验II组的，是试验II组的1.15倍；TP质量浓度，TG、BUN浓度，AST、ALT、ALP活性及AST/ALT在3组间的差异均无统计学意义。正试期第60天时，试验I组山羊TC和TG浓度均显著高于试验III组的，分别是试验III组的1.23倍和1.53倍；试验I组GLU浓度和ALT活性则显著低于其他2组的；TP质量浓度，BUN浓度，AST、ALP活性及AST/ALT在3组间的差异均无统计学意义。

表4 饲喂不同NFC/NDF水平饲料的赣西山羊的血清生化指标

Table 4 Serum biochemical indicators of Ganxi goats fed diets with different NFC/NDF levels									
试验组	TP质量浓度/(g·L ⁻¹)			TC浓度/(mmol·L ⁻¹)			TG浓度/(mmol·L ⁻¹)		
	第10天	第30天	第60天	第10天	第30天	第60天	第10天	第30天	第60天
I组	71.33	72.02	69.70	2.73	3.54a	2.85a	0.46	1.01	0.49a
II组	70.30	71.55	69.43	2.61	3.13ab	2.65ab	0.41	0.83	0.36ab
III组	72.06	77.09	71.49	2.41	2.49b	2.32b	0.52	0.90	0.32b
标准误	2.34	2.27	1.80	0.34	0.27	0.17	0.07	0.17	0.06
P	0.87	0.18	0.68	0.81	0.04	0.03	0.55	0.76	0.04

试验组	BUN浓度/(mmol·L ⁻¹)			GLU浓度/(mmol·L ⁻¹)			AST活性/(U·L ⁻¹)		
	第10天	第30天	第60天	第10天	第30天	第60天	第10天	第30天	第60天
I组	9.01	7.01	4.80	5.33ab	4.39ab	3.77b	88.99	80.05	72.34
II组	8.27	7.00	4.53	4.49b	4.09b	4.35a	92.66	93.31	90.77
III组	8.19	6.08	4.75	5.87a	4.71a	4.72a	108.35	85.85	82.20
标准误	0.54	0.45	0.33	0.32	0.18	0.18	6.84	6.58	6.97
P	0.51	0.27	0.83	0.02	0.02	<0.01	0.13	0.38	0.09

试验组	ALT活性/(U·L ⁻¹)			ALP活性/(U·L ⁻¹)			AST/ALT		
	第10天	第30天	第60天	第10天	第30天	第60天	第10天	第30天	第60天
I组	16.21	18.49	14.64b	364.37	548.84	587.10	5.81	4.80	5.20
II组	23.13	23.04	20.85a	210.91	627.48	513.95	4.87	4.13	4.44
III组	18.68	19.47	19.21a	357.82	622.82	758.03	6.21	4.65	4.31
标准误	3.19	1.79	1.50	177.41	212.71	138.63	0.69	0.54	0.37
P	0.32	0.19	0.02	0.81	0.96	0.46	0.38	0.66	0.21

注：同列不同字母表示试验组间差异有统计学意义(P<0.05)。

2.3 不同NFC/NDF水平饲料对赣西山羊瘤胃发酵参数及瘤胃细菌基因表达的影响

由表5可知，试验I组山羊瘤胃pH显著低于试验II组的，而TVFA和戊酸浓度则显著高于试验II组的，

分别是试验II组的1.07倍和2.48倍；乙酸、丙酸、异丁酸、丁酸、异戊酸浓度，乙酸/丙酸和氨态氮质量浓度在3组间的差异均无统计学意义；3组中乙酸、丙酸、丁酸浓度均较高，约占总挥发性脂肪酸的98%。

表5 饲喂不同NFC/NDF水平饲粮的赣西山羊的瘤胃发酵参数
Table 5 Rumen fermentation parameters of Ganxi goats fed diets with different NFC/NDF levels

试验组	pH	挥发性脂肪酸浓度/(mmol·L ⁻¹)							乙酸/ 丙酸	氨态氮 质量浓度/ (mg·L ⁻¹)
		乙酸	丙酸	异丁酸	丁酸	异戊酸	戊酸	总计		
I组	6.89b	71.84	20.85	0.16	12.27	0.25	2.18a	107.55a	3.49	181.67
II组	7.35a	68.83	19.73	0.22	10.28	0.21	0.88b	100.15b	3.52	153.14
III组	7.09ab	68.55	20.50	0.37	10.42	0.40	1.15ab	101.39ab	3.35	161.20
标准误	0.08	1.39	1.05	0.08	0.76	0.09	0.31	2.20	0.17	33.85
P	0.01	0.23	0.75	0.22	0.18	0.34	0.03	0.04	0.76	0.80

注：同列不同字母表示试验组间差异有统计学意义(P<0.05)。

由表6可知：试验II组山羊瘤胃中嗜淀粉瘤胃杆菌、产琥珀酸丝状杆菌和溶纤维丁酸弧菌的基因相对表达量均极显著高于其他2组的，其中试验I组的最低；试验I组山羊瘤胃中白色瘤胃球菌、栖瘤胃普雷沃菌、乳杆菌和黄色瘤胃球菌的基因相对表达量极显著高于其他2组的，其中试验III组的最低。

表6 饲喂不同NFC/NDF水平饲粮的赣西山羊的瘤胃细菌基因相对表达量
Table 6 Relative gene expression levels of rumen bacteria in Ganxi goats fed diets with different NFC/NDF levels

试验组	基因相对表达量						
	嗜淀粉 瘤胃杆菌	产琥珀酸 丝状杆菌	白色 瘤胃球菌	溶纤维 丁酸弧菌	栖瘤胃 普雷沃菌	乳杆菌	黄色 瘤胃球菌
I组	1.02b	1.14c	1.01a	1.01c	1.00a	1.00a	1.01a
II组	91.32a	3.83a	0.73b	53.50a	0.12b	0.77b	0.04b
III组	33.54b	2.38b	0.58c	25.35b	0.05c	0.23c	0.02b
标准误	14.70	0.19	0.05	3.67	0.01	0.03	0.005
P	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01

注：同列不同字母表示试验组间差异有统计学意义(P<0.01)。

2.4 不同NFC/NDF水平饲粮对赣西山羊肠道形态的影响

由表7可知，山羊十二指肠、空肠和回肠的绒

毛高度、隐窝深度和VH/CD在3组间的差异均无统计学意义。

表7 饲喂不同NFC/NDF水平饲粮的赣西山羊的肠道形态指标
Table 7 Intestinal morphology indicators of Ganxi goats fed diets with different NFC/NDF levels

试验组	VH/μm			CD/μm			VH/CD		
	十二指肠	空肠	回肠	十二指肠	空肠	回肠	十二指肠	空肠	回肠
I组	279.85	369.39	329.74	88.6	118.03	120.38	3.27	3.06	2.85
II组	279.52	293.92	323.18	100.58	108.05	126.84	2.82	2.76	2.74
III组	259.05	389.1	256.18	82.85	112.25	94.04	3.29	3.47	2.74
标准误	23.89	70.32	26.43	9.84	12.73	17.62	0.43	0.41	0.30
P	0.79	0.62	0.15	0.46	0.86	0.42	0.69	0.5	0.95

2.5 不同NFC/NDF水平饲粮对赣西山羊肌肉营养成分与脂肪酸和氨基酸质量分数的影响

由表8可知，山羊肌肉粗蛋白、粗脂肪质量分数在3组间的差异无统计学意义，但试验II组山羊肌肉水分和灰分质量分数有低于其他2组的趋势。

从表9可知，山羊肌肉各种脂肪酸质量分数在3组间的差异均无统计学意义，但试验II组山羊肌肉饱和脂肪酸(SFA)、不饱和脂肪酸(UFA)质量分数及两者比值(SFA/UFA)均高于其他2组的。

从表10可知：试验I组山羊肌肉甘氨酸(Gly)、

组氨酸(His)、总氨基酸(TAA)、非必需氨基酸(NEAA)和甜味氨基酸(SAA)质量分数均显著低于其他2组的; 试验I组丙氨酸(Ala)质量分数显著低于试验II组的; 试验II组山羊蛋氨酸(Met)质量分数显著低于其他2组的; 谷氨酸(Glu)质量分数随NFC/NDF水平升高呈升高趋势; 试验II组苏氨酸(Thr)质量分数有高于试验I组的趋势; 而其他氨基酸质量分数在3组间的差异均无统计学意义。

表8 饲喂不同NFC/NDF水平饲料的赣西山羊的肌肉营养成分

Table 8 Muscle nutrient composition of Ganxi goats fed diets with different NFC/NDF levels

试验组	质量分数/%			
	水分	粗蛋白	粗脂肪	灰分
I组	61.16	19.34	23.77	3.63
II组	55.59	18.22	23.09	1.72
III组	60.38	16.57	20.04	3.21
标准误	2.88	2.82	7.02	0.95
P	0.09	0.63	0.85	0.08

表9 饲喂不同NFC/NDF水平饲料的赣西山羊的肌肉脂肪酸质量分数

Table 9 Muscle fatty acid mass fractions in Ganxi goats fed diets with different NFC/NDF levels

试验组	质量分数/(g·(100 g) ⁻¹)								
	十一烷酸	豆蔻酸	肉豆蔻烯酸	十五烷酸	棕榈酸	棕榈油酸	十七烷酸	十七碳一烯酸	硬脂酸
I组	19.79	49.61	4.77	11.76	343.97	18.89	7.68	5.81	349.77
II组	10.14	50.50	6.63	19.49	649.76	35.18	37.01	15.92	499.35
III组	9.86	82.35	4.48	15.65	406.42	25.19	44.42	4.78	367.07
标准误	7.46	67.95	1.95	15.20	415.70	14.66	35.16	6.27	311.78
P	0.36	0.86	0.51	0.88	0.75	0.56	0.56	0.20	0.87

试验组	质量分数/(g·(100 g) ⁻¹)									SFA/UFA
	反式油酸	油酸	反式亚油酸	亚油酸	α-亚麻酸	二十-十一烷酸	花生四烯酸	饱和脂肪酸	不饱和脂肪酸	
I组	8.42	974.11	3.30	148.19	5.12	14.65	49.64	797.23	1 218.25	0.64
II组	41.58	1 384.89	7.72	97.59	7.04	26.09	38.19	1 292.34	1 634.74	0.73
III组	103.56	861.26	7.05	163.13	6.65	23.40	44.42	949.17	1 220.52	0.63
标准误	87.54	808.22	3.48	92.03	3.52	20.94	10.12	835.43	966.89	0.11
P	0.57	0.80	0.43	0.76	0.85	0.85	0.55	0.84	0.89	0.65

表10 饲喂不同NFC/NDF水平饲料的赣西山羊的肌肉氨基酸质量分数

Table 10 Muscle amino acid mass fractions in Ganxi goats fed diets with different NFC/NDF levels

试验组	质量分数/(g·(100 g) ⁻¹)										
	天冬氨酸	谷氨酸	丝氨酸	甘氨酸	组氨酸	精氨酸	苏氨酸	丙氨酸	脯氨酸	酪氨酸	缬氨酸
I组	21.27	19.69	10.72	7.94b	10.10b	14.79	9.29	5.98b	6.67	13.59	12.25
II组	22.12	19.92	12.02	12.96a	17.77a	13.84	11.48	15.25a	9.24	14.28	11.89
III组	23.86	23.20	10.26	14.48a	16.38a	13.91	10.69	9.69ab	10.01	13.19	8.51
标准误	2.40	1.84	1.61	0.95	2.46	1.55	1.01	3.32	1.71	3.50	2.40
P	0.57	0.09	0.55	<0.01	0.03	0.80	0.06	0.02	0.18	0.95	0.28

试验组	质量分数/(g·(100 g) ⁻¹)										
	蛋氨酸	异亮氨酸	亮氨酸	苯丙氨酸	赖氨酸	总氨基酸	必需氨基酸	非必需氨基酸	鲜味氨基酸	甜味氨基酸	苦味氨基酸
I组	8.86a	10.50	7.01	10.14	14.97	183.77b	73.03	110.74b	40.96	55.57b	87.25
II组	6.82b	11.58	11.90	8.22	9.27	208.57a	71.15	137.41a	42.05	70.22a	96.30
III组	8.50a	10.24	11.82	12.13	14.14	211.02a	76.03	134.99a	47.07	69.27a	94.69
标准误	0.74	2.22	3.05	2.68	3.64	5.48	3.29	5.57	3.86	5.33	5.30
P	0.04	0.82	0.24	0.38	0.29	<0.01	0.37	<0.01	0.29	0.04	0.24

注：同列不同字母表示试验组间差异有统计学意义(P<0.05)。

3 结论与讨论

胴体质量、眼肌面积、屠宰率等是评价反刍动物屠宰性能的重要指标,这些指标的高低与饲粮结构有很大关系^[16]。有研究指出,采食 NFC/NDF 为 1.35 的饲粮的肉牛胴体质量显著高于采食 NFC/NDF 为 0.94 和 0.80 的饲粮的肉牛的,但屠宰率和净肉率均无显著变化^[3];饲喂 NFC/NDF 为 2.20 的饲粮的藏羊的宰前活体质量、胴体质量、屠宰率和眼肌面积显著高于饲喂 NFC/NDF 为 0.92 的饲粮的藏羊的^[16];与饲喂 NFC/NDF 为 0.12~0.13 的饲粮相比,饲喂 NFC/NDF 为 0.77~0.78 的饲粮显著提高了阿尔巴斯白绒山羊羔羊胴体质量、屠宰率、眼肌面积和 GR 值^[17]。本研究结果显示,饲喂 NFC/NDF 为 1.2 的饲粮的赣西山羊宰前活体质量显著高于 NFC/NDF 为 1.5 的,但其他屠宰性能指标各组间无显著变化,该结果与上述研究结果^[3,16-17]不同,可能与种属和 NFC/NDF 水平不同有关。综上可见,在一定范围内,适当提高 NFC/NDF 水平能够改善山羊的屠宰性能。

研究发现,在饲粮中适当增加精粗比,提高 NFC/NDF 水平能够提高羔羊血清 AST 和 ALP 活性以及 BUN 和 TG 含量^[18];提高 NFC/NDF 水平能够升高驴血清 TP 含量,降低 TC 和 BUN 含量^[19]。这说明不同 NFC/NDF 水平的饲粮能够影响动物的血清生化指标。本研究发现,适当提高饲粮 NFC/NDF 水平能够提高试验后期山羊血清 ALT 活性,但对 AST/ALT、ALP 活性无显著影响。ALT 活性先随 NFC/NDF 水平升高而升高,但当 NFC/NDF 水平升高至 1.5 时,ALT 活性又有所降低,这可能是因为饲粮中粗蛋白含量升高,需要更多的酶去参与氨基酸降解。周力等^[16]研究发现, NFC/NDF 水平不会影响藏羊血清 TC 和 TG 含量,但提高 NFC/NDF 水平能够显著提高血清 GLU 含量。本研究发现,试验 I 组 TC、TG 含量显著高于试验 III 组的,这与周力等^[16]的研究结果不同,可能与绵羊、山羊的消化能力不同有关。贾战等^[4]研究发现, NFC/NDF 水平不会影响山羊血清 TP 和 BUN 含量,本研究结果与其一致。从本研究结果来看,提高饲粮的 NFC/NDF 水平有利于促进赣西山羊机体糖和脂肪的利用。

当 NFC/NDF 比例增加时,瘤胃会产生大量的有机酸, NDF 减少会使反刍动物反刍次数减少,导致

瘤胃 pH 下降。本研究中,当 NFC/NDF 水平为 0.9 ~ 1.5 时,瘤胃液 pH 维持在适宜的范围,乙酸、丙酸、丁酸质量分数在 3 组间的差异均无统计学意义,且它们约占总挥发性脂肪酸的 98%,这与赵国琦等^[20]和 VANZANT 等^[21]的结果一致。本研究中,随着 NFC/NDF 水平升高,戊酸含量先降低,后又升高,当 NFC/NDF 为 0.9 时,戊酸含量最高。这表明在本试验条件下,低 NFC/NDF 水平更有利于戊酸生成。瘤胃中氨态氮浓度高低主要反映瘤胃中微生物氮的供应状况^[22]。THAO 等^[23]研究发现,瘤胃氨态氮适宜质量浓度为 50 ~ 300 mg/L,本研究中,瘤胃氨态氮质量浓度为 153.14 ~ 181.67 mg/L,均在正常范围内,适宜瘤胃微生物的生长,且瘤胃中 pH 越低,被固定的氨越多^[22]。反刍动物出生后与环境相互适应的过程中逐渐建立的复杂微生物群落,在维持瘤胃内环境稳态、促进动物健康等方面具有重要的作用。其中,微生物群落易受遗传、年龄、饲粮、性别和环境等诸多因素的影响,尤其是饲粮^[23]。白色瘤胃球菌、黄色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^[24-25]。本研究中,山羊瘤胃蛋白质降解菌中溶纤维丁酸弧菌和嗜淀粉瘤胃杆菌及纤维素降解菌中产琥珀酸丝状杆菌的相对丰度随 NFC/NDF 水平升高而先升高后下降,纤维素降解菌中白色瘤胃球菌和黄色瘤胃球菌及蛋白质降解菌中栖瘤胃普雷沃菌的相对丰度随 NFC/NDF 水平升高而显著降低。这表明饲粮 NFC/NDF 水平能够通过改变瘤胃菌群结构来影响饲粮纤维和蛋白的降解,其中 NFC/NDF 为 1.2 时,更有利于蛋白的降解。产乳酸的细菌主要包括牛链球菌、淀粉分解菌(溶纤维丁酸弧菌)和乳杆菌^[26]。本研究中,乳杆菌相对丰度随着 NFC/NDF 水平增加而显著降低,表明提高饲粮 NFC/NDF 水平会抑制乳杆菌的生长,有助于降低瘤胃酸中毒的风险。NFC/NDF 为 0.9 组的山羊瘤胃 pH 低于其他 2 组的,这可能与其乳杆菌相对丰度高有关。

刘婷婷等^[27]研究发现,饲粮 NFC/NDF 为 1.0 组肉兔空肠隐窝深度显著低于 NFC/NDF 为 0.7 和 1.9 组的, NFC/NDF 为 1.0 组的空肠 VH/CD 和盲肠黏膜厚度显著高于 NFC/NDF 为 0.7、1.6 和 1.9 组的。在本试

验条件下, 饲粮NFC/NDF水平对赣西山羊肠道发育(绒毛高度、隐窝深度和VH/CD)均无显著影响, 表明饲粮NFC/NDF为0.9~1.5时不会影响赣西山羊小肠组织形态结构。

周力等研究表明, 不同NFC/NDF水平的饲粮对高原型藏羊肌肉中粗蛋白和水分含量均无显著影响^[16]; 不同精粗比饲粮对藏羊(黑藏羊^[28]、藏羔羊^[29])肌肉水分、粗蛋白、灰分和粗脂肪含量均无显著影响。本研究发现, 饲粮不同NFC/NDF水平对赣西山羊肌肉粗蛋白、粗脂肪质量分数均无显著影响, 这与周力等^[28-29]的研究结果相似。而试验II组山羊肌肉中水分和灰分质量分数有低于试验I组和试验III组的趋势, 这可能是因为山羊品种、饲养环境和月龄不同。

脂肪酸的组成是影响羊肉肉质、风味、嫩度、多汁性、食用价值和营养价值的重要因素, 而影响肌肉脂肪酸组成和含量的重要因素是日粮组成和动物品种等^[30-31]。本研究中, 赣西山羊肌肉脂肪酸含量组间差异不明显, 这与张瑞等^[32]和周力等^[33]分别对湖羊和青海黑藏羊的研究结果一致。试验II组山羊肌肉饱和脂肪酸、不饱和脂肪酸含量和SFA/UFA均高于其他2组的, 这表明试验II组山羊肉质对人体健康有益。

研究发现, 不同精粗比对绵羊(湖羊^[34]、青海黑藏羊^[28])中的总氨基酸、必需氨基酸和非必需氨基酸的含量无显著影响, 但精粗比为50:50的饲粮能够提高湖羊蛋氨酸、天冬氨酸、谷氨酸、丝氨酸和精氨酸的含量。不同精粗比对青海黑藏羊^[28]肌肉鲜味氨基酸和甜味氨基酸的含量无显著影响, 但低精粗比组肌肉蛋氨酸和谷氨酸含量高于高精粗比组的。本研究结果表明, 与饲粮NFC/NDF为0.9的组相比, 饲粮NFC/NDF为1.2和1.5的赣西山羊肌肉甘氨酸、组氨酸、总氨基酸、非必需氨基酸和甜味氨基酸的质量分数显著提高; 饲粮NFC/NDF为1.2的赣西山羊丙氨酸质量分数显著提高, 但蛋氨酸质量分数显著降低。

综上可知, 在本试验条件下, 适当提高NFC/NDF水平有利于提高赣西山羊机体血清中GLU含量和ALT活性, 降低TC和TG含量; 增加赣西山羊肌肉中总氨基酸、非必需氨基酸和甜味氨基酸含量, 但对赣西山羊肠道形态、肌肉营养成分和

脂肪酸含量无显著影响; 饲粮不同NFC/NDF水平能够通过调控赣西山羊瘤胃菌群结构来影响纤维和蛋白的降解, 从而影响赣西山羊瘤胃发酵、宰前活体质量, 其中NFC/NDF水平为1.2时效果最好。

参考文献:

- [1] SUN Y Y, CHENG M, XU M, et al. The effects of subacute ruminal acidosis on rumen epithelium barrier function in dairy goats[J]. Small Ruminant Research, 2018, 169: 1-7.
- [2] 韦子海, 王迪铭, 刘建新. 反刍动物日粮中非纤维性碳水化合物营养代谢的研究进展[J]. 中国畜牧杂志, 2018, 54(5): 6-10.
- [3] 李岚捷, 王安思, 廉红霞, 等. 不同NFC/NDF水平饲粮对肉公犊牛生长性能和屠宰性能的影响[J]. 中国农业大学学报, 2017, 22(12): 101-109.
- [4] 贾战, 杨东, 王文义, 等. 饲粮非纤维性碳水化合物与中性洗涤纤维比例对山羊生长性能、营养物质表观消化率及血清生化指标的影响[J]. 动物营养学报, 2022, 34(8): 5136-5145.
- [5] 周力, 张莹莹, 杨葆春, 等. 不同NFC/NDF饲粮对高原型藏羊肌肉营养成分、氨基酸及脂肪酸含量的影响[J]. 中国兽医学报, 2021, 41(9): 1841-1847.
- [6] 占今舜, 黄梅鲜, 刘垒, 等. 不同NFC/NDF日粮对育肥赣西山羊生长性能、肉品质和器官发育的影响[J]. 草业科学, 2022, 39(9): 1923-1930.
- [7] 红敏, 兰向莉, 王丽萍, 等. 玉米秸秆饲粮模式下不同NFC/NDF的比值对肉羊瘤胃发酵特性及血清生化指标的影响[J]. 饲料研究, 2024, 47(1): 5-10.
- [8] 张春梅. 不同NFC/NDF水平日粮对黑藏羊瘤胃发育及瘤胃内环境的影响[D]. 西宁: 青海大学, 2022.
- [9] 李蒋伟, 桂林生, 周力, 等. 饲粮不同非纤维性碳水化合物/中性洗涤纤维对高原型育肥藏羊生长性能、瘤胃发酵及微生物多样性的影响[J]. 动物营养学报, 2021, 33(12): 7180-7191.
- [10] 朱晋佳, 吴祎程, 吕小康, 等. 饲粮中NFC与NDF比例影响肉牛肌肉氨基酸和蛋白质代谢[J]. 中国兽医学报, 2022, 42(12): 2471-2478.
- [11] 江浩筠, 占今舜, 贾浩滨, 等. 赣西山羊品种介绍与现状研究[J]. 中国畜禽种业, 2024, 20(2): 56-61.
- [12] 王荣民, 姜佑武, 姜树林, 等. 高床饲养条件下川中黑山羊与赣西山羊生长繁殖性能观察比较[J]. 江西畜牧兽医杂志, 2020(5): 42-45.
- [13] 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.
- [14] 占今舜, 刘远, 占咏平, 等. 饲粮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.

- [15] 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.
- [16] 周力, 杨葆春, 王志有, 等. 不同非纤维性碳水化合物/中性洗涤纤维饲料对藏羊生长发育和血清生化指标的影响[J]. 西南农业学报, 2021, 34(12): 2775–2783.
- [17] 刘树林, 温琦, 张永胜, 等. 饲料中非纤维性碳水化合物/中性洗涤纤维对绒山羊羊生长性能、屠宰性能及器官指数的影响[J]. 动物营养学报, 2018, 30(9): 3543–3550.
- [18] 郝颖, 李胤豪, 刘树林, 等. 休牧期日粮中NFC/NDF对苏尼特羊生长发育、血液生化指标和矿物元素含量的影响[J]. 饲料研究, 2020, 43(8): 1–5.
- [19] 梁晓帅. 日粮NDF/NFC对泌乳驴产乳性能、血液生化指标及乳中氨基酸与脂肪酸组成的影响[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2021.
- [20] 赵国琦, 贾亚红, 陈小连, 等. 不同NDF/NFE比的日粮对山羊瘤胃发酵参数影响的研究[J]. 中国畜牧杂志, 2006, 42(13): 29–33.
- [21] VANZANT E S, COCHRAM R C, JACQUES K A, et al. Influence of level of supplementation and type of grain in supplements on intake, utilization of harvested, early-growing-season, bluestem-range forage by beef steers. Journal of Animal Science, 1990, 68(5): 1457–1468.
- [22] 李宏, 宋淑珍, 高良霜, 等. 饲养水平对阿勒泰羊胃肠道发育、瘤胃发酵参数及瘤胃微生物区系的影响[J]. 草业学报, 2021, 30(4): 180–190.
- [23] THAO N T, WANAPAT M, CHERDTHONG A, et al. Effects of *Eucalyptus* crude oils supplementation on rumen fermentation, microorganism and nutrient digestibility in swamp buffaloes[J]. Asian-Australasian Journal of Animal Sciences, 2014, 27(1): 46–54.
- [24] 郭成, 郭婷婷, 胡丹丹, 等. 基于16SrRNA基因测序技术研究低聚异麦芽糖对奶牛瘤胃细菌菌群的影响[J]. 四川农业大学学报, 2018, 36(6): 815–821.
- [25] 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.
- [26] 王洪荣. 反刍动物瘤胃酸中毒机制解析及其营养调控措施[J]. 动物营养学报, 2014, 26(10): 3140–3148.
- [27] 刘婷婷, 夏雪茹, 常兴发, 等. 饲料不同非纤维性碳水化合物/中性洗涤纤维对肉兔生长性能、养分表观消化率、肠道消化酶活性及肠道发育的影响[J]. 动物营养学报, 2021, 33(6): 3469–3478.
- [28] 周力, 侯生珍, 雷云, 等. 不同精粗比饲料对青海黑藏羊肌肉营养组成的影响[J]. 草业科学, 2022, 39(4): 762–769.
- [29] 周力, 李雪清, 彭秀秀, 等. 不同精粗比全混合日粮对育肥期藏羊屠宰性能和肉品质的影响[J]. 西南农业学报, 2021, 34(2): 400–405.
- [30] 张生伟, 王小平, 张展海, 等. 青贮杂交构树对杜湖杂交肉羊生长性能、血清生化指标和肉品质的影响[J]. 草业学报, 2021, 30(3): 89–99.
- [31] 杨永慧, 杨发荣, 吴涛, 等. 全株青贮藜麦对小尾寒羊肌肉中氨基酸和脂肪酸的影响[J]. 草业科学, 2022, 39(10): 2211–2221.
- [32] 张瑞, 王强, 张磊, 等. 不同精粗比柠条饲料对湖羊生长性能、肉品质及肠道微生物区系的影响[J]. 中国畜牧兽医, 2023, 50(9): 3622–3629.
- [33] 周力, 高占红, 张春梅, 等. 不同NFC/NDF饲料对青海藏羊育成母羊肌肉抗氧化功能、肌纤维类型组成及其相关基因表达的影响[J]. 四川农业大学学报, 2021, 39(5): 639–645.
- [34] 刘宇航, 谷志勇, 王海波, 等. 不同精粗比日粮对湖羊血清酶活性、免疫性能和肌肉成分的影响[J]. 黑龙江畜牧兽医, 2023(3): 98–103.

责任编辑: 邹慧玲

英文编辑: 罗 维