

DOI:10.11686/cyxb2025136

http://cyxb.magtech.com.cn

贾浩滨, 江浩筠, 李爱华, 等. 不同精粗比饲料对广丰山羊生产性能、血清生化、瘤胃发酵的影响. 草业学报, 2026, 35(3): 170—184.

JIA Hao-bin, JIANG Hao-yun, LI Ai-hua, *et al.* Effects of diets with different concentrate-to-roughage ratios on the growth rate, serum biochemical indexes, and rumen fermentation of Guangfeng goats. *Acta Prataculturae Sinica*, 2026, 35(3): 170—184.

不同精粗比饲料对广丰山羊生产性能、血清生化、瘤胃发酵的影响

贾浩滨¹, 江浩筠¹, 李爱华², 王海波^{1,3}, 林孙权², 潘月^{1,4}, 霍俊宏^{1*}, 占今舜^{1*}

(1. 江西省农业科学院畜牧兽医研究所, 畜禽绿色健康养殖江西省重点实验室, 江西南昌 330200; 2. 广丰区农业农村产业发展服务中心, 江西上饶 334000; 3. 甘肃农业大学动物科学技术学院, 甘肃兰州 730070; 4. 天津农学院动物科学与动物医学学院, 天津 300384)

摘要:旨在探讨不同精粗比饲料对广丰山羊生产性能、血清生化指标和瘤胃发酵的影响。选取39只体重相近的健康广丰山羊随机分为3个处理组($n=13$), 各组精粗比分别为40:60(I)、45:55(II)和50:50(III), 试验期为90 d。结果表明: 1) 不同精粗比饲料对广丰山羊的体高、胸围、管围、平均日增重、平均日采食量、料肉比等指标均无显著影响($P>0.05$); 但试验III组体长显著高于试验I组($P<0.05$)。2) 试验III组的血清总蛋白、白蛋白、球蛋白、总胆固醇含量均显著高于其他各组, 四碘甲状腺原氨酸(T_4)含量显著低于试验II组, 三碘甲状腺原氨酸(T_3)含量显著低于其他各组($P<0.05$); 试验I组的血清尿素氮含量显著低于其他各组($P<0.05$)。3) 试验II组肌肉45 min pH值显著高于其他各组, 胴体重和熟肉率显著低于其他各组($P<0.05$); 试验III组的净肉率显著高于试验II组($P<0.05$); 但试验II组的肌肉赖氨酸、丝氨酸、非必需氨基酸、鲜味氨基酸、甜味氨基酸、山萘酸、二十碳三烯酸、花生四烯酸和多不饱和脂肪酸含量显著高于试验I组($P<0.05$); 此外, 试验III组的眼肌面积显著低于其他各组($P<0.05$); 试验III组的剪切力、失水率、滴水损失率和肌肉中己酸含量显著低于试验I组, 且其肉色红度、黄度和肌肉脯氨酸含量显著高于试验I组($P<0.05$)。4) 试验III组的瘤胃乳头长度显著高于试验I组, 回肠绒毛长度显著高于试验II组($P<0.05$); 试验I组的瘤胃器官指数显著低于其他各组, 肌纤维直径显著高于其他各组($P<0.05$)。5) 试验III组的瘤胃pH值显著高于试验I组, 乙酸/丙酸显著高于试验II组($P<0.05$)。综上所述, 不同精粗比饲料能够影响广丰山羊的机体代谢, 改善其肌肉品质。

关键词:广丰山羊; 精粗比饲料; 生产性能; 血液生化指标; 瘤胃发酵参数

Effects of diets with different concentrate-to-roughage ratios on the growth rate, serum biochemical indexes, and rumen fermentation of Guangfeng goats

JIA Hao-bin¹, JIANG Hao-yun¹, LI Ai-hua², WANG Hai-bo^{1,3}, LIN Sun-quan², PAN Yue^{1,4}, HUO Jun-hong^{1*}, ZHAN Jin-shun^{1*}

1. Jiangxi Academy of Agricultural Sciences Institute of Animal Husbandry and Veterinary Medicine, Key Laboratory of Green and Healthy Livestock and Poultry Breeding in Jiangxi Province, Nanchang 330200, China; 2. Guangfeng District Agricultural and Rural Industry Development Service Center, Shangrao 334000, China; 3. College of Animal Science and Technology, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China; 4. College of Animal Science and Veterinary Medicine, Tianjin Agricultural University, Tianjin 300384, China

收稿日期: 2025-04-17; 改回日期: 2025-06-03

基金项目: 江西现代农业科研协同创新专项(JXXTCXQN202203), 江西省农业科学院基础研究与人才培养专项(JXSNKYJCRC202407, JXSNKYJCRC202445)和江西省现代农业产业技术体系建设专项(JXARS-13-肉羊岗位)资助。

作者简介: 贾浩滨(1994—), 男, 山西太原人, 助理研究员, 硕士。E-mail: jiahaobin@jxaas.cn

* 通信作者 Corresponding author. E-mail: hjh_0222@126.com; zhanjinshun1985@163.com

Abstract: We evaluated the effects of different concentrate-to-roughage ratios on the growth rate, serum biochemical indexes, and rumen fermentation of Guangfeng goats. Thirty-nine healthy Guangfeng goats with similar body weight were randomly divided into three treatment groups ($n=13$). The concentrate-to-roughage ratios in the three groups were 40:60 (I), 45:55 (II), and 50:50 (III), and the experimental period was 90 days. The results indicate that: 1) Different concentrate-to-roughage ratios in the diets had no significant effects on the body height, chest circumference, cannon circumference, average daily gain, average daily feed intake, and feed conversion ratio of Guangfeng goats ($P>0.05$); however the body length of group III was significantly greater than that of group I ($P<0.05$). 2) The serum total protein, albumin, globulin, and total cholesterol levels in group III were significantly higher than those of the other groups; the tetraiodothyronine content was significantly lower than that in group II, and the triiodothyronine content was significantly lower than that in the other groups ($P<0.05$). The serum urea nitrogen content in group I was significantly lower than that in the other groups ($P<0.05$). 3) The 45-minute pH value of muscle in group II was significantly higher than that in other groups, and the carcass weight and cooked meat rate were significantly lower than those in the other groups ($P<0.05$). The net meat percentage in group III was significantly higher than that in group II ($P<0.05$). The contents of lysine, serine, non-essential amino acids, umami amino acids, sweet amino acids, behenic acid, eichlerianic acid, arachidonic acid, and polyunsaturated fatty acids in the muscle of group II were significantly higher than those in the muscle of group I ($P<0.05$). The loin muscle area of group III was significantly lower than that of the other groups ($P<0.05$). The shear force, rate of water loss, drip loss rate, and hexanoic acid content in the muscle of group III were significantly lower than those in group I, and the redness, yellowness, and proline content in the muscle of group III were significantly higher than those in group I ($P<0.05$). 4) The rumen papilla length in group III was significantly higher than that in group I, and the ileal villus length was significantly higher than that in group II ($P<0.05$); the rumen organ index in group I was significantly lower than that in the other groups, and the muscle fiber diameter was significantly higher than that in the other groups ($P<0.05$). 5) The pH value of the rumen in group III was significantly higher than that in group I, and the acetic acid/propionic acid was significantly higher than that in group II ($P<0.05$). In conclusion, different concentrate-to-roughage ratios of diets affect the metabolism of Guangfeng goats and their muscle quality.

Key words: Guangfeng goat; concentrate-to-roughage ratio diet; production performance; serum biochemical indexes; rumen fermentation parameters

广丰山羊是江西省地方优良种质资源,当地饲养山羊可追溯至唐朝。长期以来,产区群众积累并形成了一套广丰山羊的选育经验,并长期按照相似的性状选育,逐渐形成了具有耐粗饲、采食能力强、抗病能力强、繁殖力强,能够适应当地低丘陵生态环境的广丰山羊^[1]。饲粮精粗比对维持反刍动物瘤胃内环境稳态及宿主代谢具有关键作用,尤其是瘤胃发酵产生的挥发性脂肪酸^[2]。研究发现,精料比例过高或过低均可能引发代谢紊乱^[3]。研究表明,全混合日粮中精料占比介于40%~60%,有利于瘤胃微生物蛋白的合成、改善能量利用效率和生产性能^[4-5],降低瘤胃酸中毒风险,维持消化道微生物区系平衡,减少胃肠道屏障损伤^[6-7]。因此,优化调整适宜精粗比是平衡反刍动物营养供给与健康管理的核心策略。研究表明,当日粮精粗比为50:50时对5月龄小尾寒羊和波尔山羊的平均日增重、平均日采食量和料重比均无显著影响^[8],但有利于改善湖羊股三头肌的肉质,如提高总氨基酸含量^[9]。此外,日粮精料占比为60%时可以提高绵羊(湖羊^[9-10]、小尾寒羊^[11])的生长性能和波杂羔羊^[12]的采食量。但精粗比为40:60有利于提高湖羊血清酶活性和免疫性能^[13]。综上,精粗比的优化需综合考虑动物品种、生长阶段及目标性状的差异化需求。现有研究多聚焦于生产性能或瘤胃发酵参数等单一维度,针对血清生化、肉质特性及胃肠道形态的协同效应仍缺乏系统性解析。本课题组前期研究发现,饲喂40:60日粮的努比亚山羊生产性能优异^[14];饲喂50:50日粮的努比亚山羊肉品质较好^[15];并对广丰山羊适宜的饲粮蛋白水平进行了初步分析^[16],但

关于同一蛋白水平下不同精粗比的影响尚不清楚。因此,本研究以广丰山羊为对象,通过精细化调控精粗比(40:60、45:55、50:50),系统评估其对广丰山羊生产性能、血清生化、瘤胃发酵等指标的影响,旨在为广丰山羊高效健康养殖提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计和饲养管理

试验于2022年10月在上饶市广丰区广丰山羊良种场(江西龙海农业开发有限公司)进行。采用单因素试验设计,选取体重相近且健康的广丰山羊[(120±7)日龄]39只,随机分为3组,每组13只(其中公羊7只,母羊6只),即试验I、II、III组,各试验组分别按照精粗比为40:60(I)、45:55(II)和50:50(III)配制全价颗粒饲料作为饲料进行饲喂,预试期14 d,正试期76 d,试验期共计90 d。试验广丰山羊公母分开饲喂,饲养管理按照养殖场的规定执行,每天分别在07:00和16:00喂料,保证自由采食和饮水。试验羊采取全舍饲圈养。试验开始前将试验羊舍进行彻底的消毒与清洗,所有试验羊只进入试验场地前统一进行药浴和驱虫。试验期间圈舍定期清洁与消毒,并保持良好的通风。试验饲料使用全价颗粒饲料,参照《肉羊营养需要量》^[17](NY/T 816-2021)配制,使用450型制粒机(济南),制粒直径8.0 mm,颗粒长度3 cm,各试验组饲料蛋白能量比均在同一水平,试验饲料组成和营养水平如表1所示。

1.2 样品采集和指标测定

1.2.1 生长性能的测定 试验期间记录每日饲喂量与剩料量,试验结束进行空腹称重,计算平均日采食量、平均日增重和料肉比并测量体高、体长、胸围、管围等体尺指标。

$$\text{平均日采食量} = \text{试验期内采食量} / \text{试验天数}$$

$$\text{平均日增重} = (\text{末重} - \text{初重}) / \text{试验天数}$$

$$\text{料肉比} = \text{饲料消耗量} / \text{增加的体重}$$

1.2.2 血清指标的测定 在试验结束当天(90 d)晨饲前采集空腹试验羊血液5 mL,室温静置30 min,离心5 min分离血清于2 mL冻存管中,置于-80℃保存。用南京建成生物工程研究所的试剂盒与全自动生化分析仪(BS240 Vet,深圳)测定血清中总蛋白(total protein, TP)、白蛋白(albumin, ALB)、球蛋白(globulin, GLB)、葡萄糖(glucose, GLU)、总胆固醇(total cholesterol, TC)、甘油三酯(triglyceride, TG)、尿素氮(urea nitrogen, BUN)、四碘甲状腺原氨酸(tetraiodothyronine, T₄)、三碘甲状腺原氨酸(triiodothyronine, T₃)、生长激素(growth hormone, GH)、胰岛素样生长因子1(insulin-like growth factor 1, IGF-1)和瘦素(leptin, LEP)等指标。

1.2.3 肉品质的测定 试验结束后,各组选择5只试验羊(3公2母)禁食24 h、禁水2 h,快速进行屠宰,记录宰前活重、胴体重、后腿重、肋肉厚、背膘厚和眼肌面积,计算屠宰率、净肉率、肉骨比和胴体净肉率,取第5~12肋骨

表1 试验饲料组成和营养水平(干物质基础)

Table 1 Composition and nutrient levels of the experimental diets (dry matter basis)

项目 Items	试验I组 Group I	试验II组 Group II	试验III组 Group III
原料组成 Ingredients			
豆粕 Soybean meal (%)	21.50	22.00	22.30
麸皮 Wheat bran (%)	6.00	4.00	2.70
玉米 Corn (%)	10.00	16.50	22.50
苜蓿草粉 Alfalfa powder (%)	24.00	26.00	28.00
甜叶菊渣 Stevia residue (%)	36.00	29.00	22.00
预混料 Premix ¹⁾ (%)	2.50	2.50	2.50
合计 Total (%)	100.00	100.00	100.00
营养水平 Nutrient levels ²⁾			
代谢能 Metabolic energy (ME, MJ·kg ⁻¹)	10.89	10.89	10.88
粗蛋白质 Crude protein (%)	18.16	18.17	18.16
蛋白能量比 Crude protein/metabolic energy	1.67	1.67	1.67
中性洗涤纤维 Neutral detergent fiber (%)	22.98	22.42	22.02
酸性洗涤纤维 Acid detergent fiber (%)	18.50	17.12	15.79
钙 Calcium (%)	0.81	0.75	0.70
磷 Phosphorus (%)	0.45	0.42	0.39
钙/磷 Calcium/phosphorus	1.81	1.81	1.80

注: ¹⁾预混料为每kg日粮提供:维生素A 28000 IU;维生素D₃ 4000 IU;维生素E 16 IU;维生素K₃ 0.2 mg;烟酸 16 mg;铜 16 mg;锌 120 mg;硒 0.3 mg;铁 36 mg;碘 0.6 mg;锰 5.6 mg; ²⁾代谢能为计算值,其余为测定值。

Note: ¹⁾Premix provided the following per kilogram of diets: Vitamin A 28000 IU; vitamin D₃ 4000 IU; vitamin E 16 IU; vitamin K₃ 0.2 mg; niacin 16 mg; copper 16 mg; zinc 120 mg; selenium 0.3 mg; ferrum 36 mg; iodine 0.6 mg; manganese 5.6 mg; ²⁾Metabolic energy was calculated value, the others were measured values.

间背最长肌,参照刘俊斌等^[18]的研究方法在屠宰 1 h 内测定肉色、剪切力、熟肉率、失水率、滴水损失率和蒸煮损失率,在屠宰后 45 min 和 24 h 测定 pH 值。具体测定步骤参考《畜禽肉质的测定》^[19](NY/T 1333-2007);并剪取背最长肌用 4% 多聚甲醛固定,随后进行切片的制作,使用 Eclipse Ci-L 拍照显微镜(上海)选取组织的目标区域进行 400 倍成像,成像后使用 Image-pro Plus 6.0 分析软件统一以 mm 为单位,测量并计算每张切片中肌纤维数量、面积与直径。

1.2.4 背最长肌中氨基酸和脂肪酸含量的测定 取试验羊的第 12 和 13 肋骨之间的背最长肌进行氨基酸和脂肪酸的测定。称取适量背最长肌至 1.5 mL 指型管,加 6 mol·L⁻¹ HCl,充分匀浆。全部转移至消煮瓶,加 6 mol·L⁻¹ HCl+0.1% 苯酚溶液补至 10 mL,110 °C 水解 22 h。0.22 μm 水相过滤,氮吹仪(N-EVAP,上海)吹干。0.1 mol·L⁻¹ HCl 溶解,漩涡振荡,加正亮氨酸、100 μL 三乙氨乙腈溶液、100 μL 异硫氰酸苯酯乙腈,混匀,室温静置 1 h。加正己烷,漩涡振荡,室温 15 min。取下层液体,0.22 μm 过滤后,取 10 μL 上样检测。采用液相色谱仪-1260 (美国)测定肌肉中氨基酸含量。称取适量背最长肌预处理等待检测。仪器采用 CP-Sil 88 脂肪酸甲酯分析专用柱(中国北京);柱长 100 mm,内径 0.25 mm,膜厚 0.2 μm;进样器温度:280 °C;FID 检测器温度为 300 °C,采用程序升温,起始温度为 130 °C,维持 5 min,以 4 °C·min⁻¹ 升温至 240 °C,维持 20 min,样品检测周期为 52.5 min;载气为高纯氮气(纯度为 99.99%),采用气相色谱仪-7890A(美国)测定脂肪酸。

1.2.5 胃肠组织形态的测定 屠宰后,精确收集试验羊的十二指肠、回肠、空肠和瘤胃组织。根据占今舜等^[16]的方法进行测定。在显微镜(ToupCam,苏州)下测量瘤胃乳头长度、瘤胃乳头宽度、瘤胃壁厚度及各肠道绒毛长度和隐窝深度。

1.2.6 瘤胃发酵参数的测定 试验结束后,各试验组屠宰前禁食 24 h,禁水 2 h。屠宰后,取瘤胃液置于冻存管中,在液氮中保存。pH 采用便携式 pH 计(PHBJ-260F,上海)测定。铵态氮含量采用比色法^[20]测定。采用 GC9800 气相色谱仪(上海)测定挥发性脂肪酸(乙酸、丙酸、异丁酸、丁酸、异戊酸、戊酸)含量。色谱柱采用毛细吸管柱,柱温 130 °C,汽化温度 180 °C,采用氢离子火焰检测器(H5201,青岛),检测温度为 180 °C,载气为氮气,压力为 60 kPa,氢气压力为 50 kPa,氧气压力 50 kPa。

1.3 数据处理

采用 SPSS 27.0.1.0 软件对数据进行单因素方差分析(ANOVA),采用 Duncan 法进行多重比较,试验结果均以“平均值±标准误”表示, $P<0.05$ 表示差异显著, $P>0.05$ 表示差异不显著。

2 结果与分析

2.1 不同精粗比饲料对广丰山羊生长性能的影响

由表 2 可知,不同精粗比饲料对广丰山羊的体高、胸围、管围、初始重、末重、平均日采食量、平均日增重、料肉比均无显著影响($P>0.05$);试验 III 组的体长显著高于试验 I 组($P<0.05$)。

2.2 不同精粗比饲料对广丰山羊血清生化指标的影响

由表 3 可知,不同精粗比饲料对广丰山羊的血清葡萄糖(GLU)、甘油三酯(TG)、生长激素(GH)、胰岛素样生长因子 1(IGF-1)、瘦素(LEP)含量均无显著影响($P>0.05$);试验 III 组的血清总蛋白(TP)、白蛋白(ALB)、球蛋白(GLB)、总胆固醇(TC)含量均显著高于其他各组($P<0.05$);试验 I、II 组的血清三碘甲状腺原氨酸(T_3)含量显著高于试验 III 组($P<0.05$);试验 II 组的血清四碘甲状腺原氨酸(T_4)含量显著高于试验 III 组($P<0.05$);试验 I 组的血清尿素氮(BUN)含量显著低于其他各组($P<0.05$)。

2.3 不同精粗比饲料对广丰山羊屠宰性能的影响

由表 4 可知,各处理间广丰山羊的宰前活重、后腿重、肋肉厚、背膘厚、屠宰率、肉骨比和胴体净肉率均无显著差异($P>0.05$);试验 II 组的胴体重显著低于其他各组($P<0.05$);试验 III 组的净肉率显著高于试验 II 组($P<0.05$);试验 III 组的眼肌面积显著低于其他各组($P<0.05$)。

2.4 不同精粗比饲料对广丰山羊器官重量和指数的影响

由表 5 可知,不同精粗比饲料对广丰山羊的网胃、瓣胃、皱胃、心、肝、脾、肺和肾等器官的重量和指数均无显著影响($P>0.05$);试验 I 组的瘤胃重量和指数显著低于其他各组($P<0.05$)。

表2 不同精粗比饲料对广丰山羊生长性能的影响

Table 2 Effects of diets with different concentrate-to-roughage ratios on growth performance of Guangfeng goats

项目 Items	试验 I 组 Group I	试验 II 组 Group II	试验 III 组 Group III	P 值 P-value
体高 Body height (cm)	49.66±0.73a	48.62±0.81a	49.08±0.96a	0.41
体长 Body length (cm)	47.12±1.09b	50.59±1.72ab	51.62±0.66a	0.01
胸围 Chest circumference (cm)	58.58±0.74a	59.43±1.21a	58.95±0.60a	0.52
管围 Cannon circumference (cm)	6.95±0.09a	7.09±0.13a	7.12±0.07a	0.27
初始重 Initial body weight (kg)	12.31±0.37a	12.31±0.39a	12.31±0.40a	0.99
末重 Final body weight (kg)	17.17±0.53a	17.68±1.09a	17.41±0.53a	0.89
平均日采食量 Average daily feed intake (ADFI, kg·d ⁻¹)	0.93±0.11a	0.98±0.14a	0.94±0.12a	0.22
平均日增重 Average daily gain (ADG, g·d ⁻¹)	55.97±4.67a	62.92±8.93a	60.65±4.86a	0.47
料肉比 Feed conversion ratio (FCR, F/G)	17.11±1.39a	15.04±2.10a	16.60±1.06a	0.63

注: 同行不同小写字母表示差异显著($P<0.05$), 下同。

Note: In the same row, the different lowercase letters mean significant difference ($P<0.05$). The same below.

表3 不同精粗比饲料对广丰山羊血清生化指标的影响

Table 3 Effects of diets with different concentrate-to-roughage ratios on serum biochemical indexes of Guangfeng goats

项目 Items	试验 I 组 Group I	试验 II 组 Group II	试验 III 组 Group III	P 值 P-value
总蛋白 Total protein (TP, g·L ⁻¹)	66.07±1.38b	66.80±0.93b	71.27±0.86a	0.01
白蛋白 Albumin (ALB, g·L ⁻¹)	26.83±0.78b	27.10±0.15b	28.90±0.13a	0.01
球蛋白 Globulin (GLB, g·L ⁻¹)	39.87±0.76b	39.40±0.91b	42.70±0.58a	0.02
白蛋白/球蛋白 Albumin/globulin	0.67±0.02a	0.70±0.02a	0.67±0.01a	0.26
葡萄糖 Glucose (GLU, mmol·L ⁻¹)	4.19±0.12a	3.96±0.07a	4.00±0.12a	0.17
总胆固醇 Total cholesterol (TC, mmol·L ⁻¹)	1.78±0.09b	1.66±0.08b	2.18±0.11a	0.00
甘油三酯 Triglyceride (TG, mmol·L ⁻¹)	0.35±0.04a	0.34±0.04a	0.50±0.09a	0.11
尿素氮 Urea nitrogen (BUN, mmol·L ⁻¹)	8.34±0.57b	10.95±0.64a	10.93±0.31a	0.00
三碘甲状腺原氨酸 Triiodothyronine (T ₃ , ng·mL ⁻¹)	1.19±0.04a	1.15±0.04a	1.01±0.04b	0.01
四碘甲状腺原氨酸 Tetraiodothyronine (T ₄ , ng·mL ⁻¹)	69.99±1.88ab	72.31±2.20a	65.73±2.05b	0.04
生长激素 Growth hormone (GH, ng·mL ⁻¹)	6.13±0.33a	5.88±0.35a	6.82±0.20a	0.05
胰岛素样生长因子 1 Insulin-like growth factor 1 (IGF-1, ng·mL ⁻¹)	156.65±9.81a	155.97±14.78a	155.17±8.31a	0.93
瘦素 Leptin (LEP, ng·mL ⁻¹)	5.87±0.32a	7.40±0.78a	6.47±0.50a	0.09

2.5 不同精粗比饲料对广丰山羊肉质性状的影响

由表6可知,不同精粗比饲料对广丰山羊的肌肉蒸煮损失率、pH值(24 h)和肉色亮度均无显著影响($P>0.05$);试验II组的肌肉熟肉率显著低于其他各组($P<0.05$);试验I组的肌肉剪切力显著高于其他各组($P<0.05$);试验II组的肌肉失水率和pH值(45 min)显著高于其他各组($P<0.05$);试验I组的肌肉失水率和滴水损失率显著高于试验III组($P<0.05$);试验III组的肌肉肉色红度和肉色黄度显著高于试验I组($P<0.05$)。

2.6 不同精粗比饲料对广丰山羊背最长肌氨基酸含量的影响

由表7可知,在必需氨基酸指标中,除了试验II组的肌肉赖氨酸含量显著高于试验I组($P<0.05$)外,其他指标各处理间差异不显著($P>0.05$);非必需氨基酸指标中,试验II组的丝氨酸、鲜味氨基酸、甜味氨基酸和非必需氨基酸总量显著高于试验I组($P<0.05$),试验III组的肌肉脯氨酸含量显著高于试验I组($P<0.05$),其他指标各处理间均无显著差异($P>0.05$)。

表 4 不同精粗比饲料对广丰山羊屠宰性能的影响

Table 4 Effects of diets with different concentrate-to-roughage ratios on slaughter performance of Guangfeng goats

项目 Items	试验 I 组 Group I	试验 II 组 Group II	试验 III 组 Group III	P 值 P-value
宰前活重 Live weight before slaughter (kg)	16.77±0.13a	16.76±0.46a	17.35±0.25a	0.35
胴体重 Carcass weight (kg)	7.20±0.04a	6.81±0.05b	7.25±0.11a	0.00
后腿重 Hind leg weight (kg)	1.43±0.01a	1.37±0.04a	1.42±0.03a	0.40
肋肉厚 Rib meat thickness (mm)	7.00±0.25a	6.01±0.60a	7.20±0.32a	0.16
背膘厚 Backfat thickness (mm)	1.39±0.04a	1.28±0.15a	1.20±0.16a	0.56
屠宰率 Dressing percentage (%)	42.34±0.65a	42.80±0.74a	42.73±0.23a	0.84
眼肌面积 Loin muscle area (cm ²)	5.97±0.43a	6.93±0.37a	4.74±0.08b	0.00
净肉率 Net meat percentage (%)	15.31±0.29ab	14.60±0.27b	16.55±0.80a	0.03
肉骨比 Meat to bone ratio	3.45±0.16a	3.23±0.10a	3.60±0.30a	0.47
胴体净肉率 Carcass net meat percentage (%)	36.27±0.22a	35.51±0.33a	39.38±2.96a	0.29

表 5 不同精粗比饲料对广丰山羊器官重量和指数的影响

Table 5 Effects of diets with different concentrate-to-roughage ratios on organ weight and index of Guangfeng goats

项目 Items	指标 Index	试验 I 组 Group I	试验 II 组 Group II	试验 III 组 Group III	P 值 P-value
瘤胃 Rumen	重量 Weight (g)	334.80±68.40b	470.00±15.39a	470.01±20.91a	0.04
	器官指数 Organ index (%)	2.39±0.06b	2.85±0.04a	2.68±0.09a	0.02
网胃 Reticulum	重量 Weight (g)	76.50±8.30a	92.47±7.62a	81.33±7.98a	0.20
	器官指数 Organ index (%)	0.47±0.05a	0.55±0.02a	0.47±0.04a	0.18
瓣胃 Omasum	重量 Weight (g)	68.62±3.03a	63.02±5.62a	63.40±5.98a	0.47
	器官指数 Organ index (%)	0.42±0.03a	0.37±0.02a	0.37±0.03a	0.25
皱胃 Abomasum	重量 Weight (g)	148.60±3.77a	147.62±7.18a	170.85±15.30a	0.14
	器官指数 Organ index (%)	0.90±0.03a	0.90±0.06a	1.00±0.07a	0.27
心脏 Heart	重量 Weight (g)	83.62±5.98a	81.17±6.30a	73.92±2.16a	0.23
	器官指数 Organ index (%)	0.50±0.03a	0.49±0.03a	0.43±0.01a	0.05
肝脏 Liver	重量 Weight (g)	368.22±15.86a	372.88±30.61a	362.83±14.18a	0.76
	器官指数 Organ index (%)	2.23±0.05a	2.22±0.36a	2.13±0.07a	0.38
脾脏 Spleen	重量 Weight (g)	40.87±3.07a	36.07±2.06a	35.77±1.45a	0.16
	器官指数 Organ index (%)	0.25±0.01a	0.22±0.02a	0.21±0.01a	0.09
肾脏 Kidney	重量 Weight (g)	63.97±2.96a	68.92±4.43a	64.55±3.46a	0.38
	器官指数 Organ index (%)	0.39±0.02a	0.42±0.02a	0.38±0.02a	0.24
肺 Lung	重量 Weight (g)	252.22±14.17a	290.50±20.08a	283.33±16.36a	0.15
	器官指数 Organ index (%)	1.53±0.08a	1.73±0.07a	1.67±0.11a	0.14

2.7 不同精粗比饲料对广丰山羊背最长肌脂肪酸含量的影响

由表 8 可知, 试验 I 组的肌肉己酸含量显著高于其他各组 ($P < 0.05$); 试验 II 组的肌肉山萘酸、二十碳三烯酸、花生四烯酸、多不饱和脂肪酸含量均显著高于试验 I 组 ($P < 0.05$); 其他指标含量各处理间均无显著差异 ($P > 0.05$)。

2.8 不同精粗比饲料对广丰山羊胃肠道和肌肉组织形态的影响

由表 9 和图 1 可知, 试验 III 组的瘤胃乳头长度显著高于试验 I 组, 试验 II 组的回肠绒毛长度显著低于其他各组 ($P < 0.05$); 试验 I 组的肌肉纤维直径显著高于其他各组 ($P < 0.05$); 其他指标各处理间差异不显著 ($P > 0.05$)。

表6 不同精粗比饲料对广丰山羊肉质性状的影响

Table 6 Effects of diets with different concentrate-to-roughage ratios on meat quality traits of Guangfeng goats

项目 Items	试验 I 组 Group I	试验 II 组 Group II	试验 III 组 Group III	P 值 P-value
熟肉率 Cooked meat rate (%)	63.14±0.68a	60.37±0.95b	63.79±0.60a	0.02
剪切力 Shear force (N·kg ⁻¹)	79.55±2.70a	64.75±2.83b	65.04±2.51b	0.01
失水率 Rate of water loss (%)	5.52±0.14b	6.85±0.32a	4.05±0.45c	0.00
滴水损失率 Drip loss rate (%)	4.99±0.34a	4.32±0.70ab	2.65±0.88b	0.04
蒸煮损失率 Cooking loss rate (%)	25.15±1.30a	25.07±0.77a	21.46±1.84a	0.15
pH _{45 min}	6.47±0.05b	6.67±0.04a	6.37±0.04b	0.00
pH _{24 h}	5.55±0.04a	5.55±0.06a	5.81±0.17a	0.20
肉色红度 Redness (a*)	64.44±0.07b	64.65±0.22b	65.33±0.13a	0.01
肉色黄度 Yellowness (b*)	20.48±0.03b	21.07±0.23ab	21.15±0.24a	0.02
肉色亮度 Lightness (L*)	39.01±1.14a	36.86±0.22a	39.36±2.09a	0.42

表7 不同精粗比饲料对背最长肌氨基酸含量的影响

Table 7 Effects of diets with different concentrate-to-roughage ratios on amino acids of the longest back muscle of Guangfeng goats

项目 Items	试验 I 组 Group I (g·100 g ⁻¹)	试验 II 组 Group II (g·100 g ⁻¹)	试验 III 组 Group III (g·100 g ⁻¹)	P 值 P-value
必需氨基酸 Essential amino acids	4.03±0.09a	4.31±0.17a	4.36±0.29a	0.09
缬氨酸 Valine	0.47±0.01a	0.48±0.02a	0.50±0.02a	0.20
蛋氨酸 Methionine	0.22±0.01a	0.17±0.04a	0.23±0.02a	0.20
异亮氨酸 Isoleucine	0.44±0.01a	0.45±0.02a	0.46±0.02a	0.38
亮氨酸 Leucine	0.98±0.02a	1.02±0.04a	1.06±0.05a	0.22
苯丙氨酸 Phenylalanine	0.37±0.01a	0.38±0.01a	0.40±0.02a	0.18
赖氨酸 Lysine	1.20±0.02b	1.42±0.02a	1.32±0.15ab	0.01
苏氨酸 Threonine	0.36±0.01a	0.38±0.02a	0.40±0.03a	0.19
非必需氨基酸 Non-essential amino acids	6.84±0.24b	8.04±0.22a	7.91±0.74ab	0.03
天冬氨酸 Aspartic acid	0.87±0.06a	1.35±0.12a	1.21±0.27a	0.10
谷氨酸 Glutamate	2.47±0.07a	2.74±0.07a	2.71±0.15a	0.09
丝氨酸 Serine	0.50±0.02b	0.59±0.01a	0.55±0.05ab	0.03
甘氨酸 Glycine	0.41±0.01a	0.47±0.03a	0.51±0.05a	0.07
组氨酸 Histidine	0.29±0.04a	0.35±0.02a	0.29±0.06a	0.33
精氨酸 Arginine	0.85±0.02a	0.97±0.11a	1.01±0.16a	0.37
丙氨酸 Alanine	0.67±0.01a	0.73±0.03a	0.75±0.03a	0.07
脯氨酸 Proline	0.30±0.00b	0.33±0.02ab	0.35±0.02a	0.03
酪氨酸 Tyrosine	0.50±0.02a	0.51±0.02a	0.53±0.02a	0.31
总氨基酸 Total amino acids	10.87±0.32a	12.34±0.36a	12.27±1.02a	0.07
鲜味氨基酸 Umami taste of amino acids	3.34±0.12b	4.09±0.13a	3.92±0.41ab	0.02
甜味氨基酸 Sweet taste of amino acids	3.42±0.07b	3.91±0.11a	3.88±0.30ab	0.04
苦味氨基酸 Bitter taste of amino acids	4.11±0.13a	4.34±0.24a	4.47±0.32a	0.34

2.9 不同精粗比饲料对广丰山羊瘤胃发酵参数的影响

由表 10 可知, 试验 III 组的瘤胃 pH 值和乙酸/丙酸分别显著高于试验 I、II 组 ($P < 0.05$); 瘤胃乙酸、丙酸、丁酸、异丁酸、戊酸、异戊酸、总挥发性脂肪酸 (total volatile fatty acids, TVFA) 和铵态氮含量在各处理间均无显著差异 ($P > 0.05$)。

表 8 不同精粗比饲料对广丰山羊背最长肌脂肪酸含量的影响

Table 8 Effects of diets with different concentrate-to-roughage ratios on fatty acids of the longest back muscle of Guangfeng goats

项目 Items	试验 I 组 Group I (mg·100 g ⁻¹)	试验 II 组 Group II (mg·100 g ⁻¹)	试验 III 组 Group III (mg·100 g ⁻¹)	P 值 P-value
己酸 Hexanoic acid	4.23±0.17a	3.53±0.16b	3.52±0.02b	0.01
辛酸 Octanoic acid	7.54±0.90a	6.72±0.98a	6.34±0.47a	0.34
十一碳酸 Undecanoic acid	16.54±0.94a	15.24±0.69a	16.49±0.46a	0.25
肉豆蔻酸 Myristic acid	21.92±8.74a	16.24±3.22a	12.28±2.05a	0.27
十五碳酸 Pentadecanoic acid	5.80±0.87a	5.12±0.38a	4.50±0.44a	0.18
棕榈酸 Palmitic acid	204.03±25.22a	232.41±24.49a	180.66±19.68a	0.17
十七碳酸 Heptadecanoic acid	15.21±2.11a	19.88±5.75a	12.53±2.38a	0.22
硬脂酸 Stearic acid	248.78±24.32a	318.37±48.71a	236.28±23.55a	0.14
山嵛酸 Docosanoic acid	10.97±0.65b	17.71±1.67a	15.40±2.42ab	0.02
二十三碳酸 Tricosanoic acid	16.16±1.94a	18.50±1.68a	13.68±0.98a	0.07
棕榈油酸 Palmitoleic acid	24.89±4.37a	26.76±4.52a	22.95±3.29a	0.55
十七碳烯酸 Heptadecenoic acid	17.31±0.96a	21.58±3.45a	15.61±2.50a	0.14
反式油酸 Elaidic acid	5.71±0.05a	5.82±1.02a	5.34±0.83a	0.68
油酸 Oleic acid	625.87±60.55a	767.85±171.71a	620.80±65.92a	0.40
亚油酸 Linoleic acid	44.78±4.58a	64.75±5.33a	49.06±11.24a	0.11
α-亚麻酸 α-linolenic acid	5.80±0.65a	6.01±0.60a	5.53±0.96a	0.68
二十碳三烯酸 Eichlerianic acid	3.51±0.14b	5.72±0.48a	4.71±0.54ab	0.02
花生四烯酸 Arachidonic acid	37.77±1.35b	55.66±0.52a	46.26±6.30ab	0.03
二十碳五烯酸 Eicosapentaenoic acid	4.15±0.17a	5.14±0.52a	5.45±0.47a	0.06
饱和脂肪酸 Saturated fatty acid	551.17±58.36a	653.73±80.31a	501.68±47.80a	0.14
单不饱和脂肪酸 Monounsaturated fatty acid (MUFA)	673.79±65.85a	822.01±178.92a	664.70±71.96a	0.39
多不饱和脂肪酸 Polyunsaturated fatty acid (PUFA)	96.00±5.28b	137.27±4.75a	111.01±19.13ab	0.04
多不饱和脂肪酸/单不饱和脂肪酸 PUFA/MUFA	0.18±0.01a	0.22±0.02a	0.22±0.02a	0.14

3 讨论

3.1 不同精粗比饲料对广丰山羊生产性能的影响

现阶段,畜牧业生产正面临巨大压力,饲料成本占比约为动物生产成本的 50%~75%^[21-22]。因此,提高动物的生产性能与饲料转化效率是提高产业可持续发展的关键^[23-24]。本试验发现,在满足 9 月龄广丰山羊基本营养需求的前提下,适当提高精料占比对山羊的生长性能无显著影响,这一结果与姜玥^[8]的研究结论一致。本试验中精粗比 45:55 饲料的平均日增重均值较高且料肉比低,表明 45:55 组的转化效率更高。同时,精粗比为 50:50 组显著提高了山羊的体长,表明较高的精料占比虽未显著提升日增重,但通过增加淀粉供给,促进了山羊骨骼的纵向生长。胴体重和屠宰率是反映动物生产性能的重要指标,肌肉的失水率与保水性呈负相关,剪切力则与嫩度成反比^[16,25]。本试验 50:50 组在胴体重、净肉率、熟肉率、保水性和嫩度等方面表现最优,这与康燕^[26]和王杰琼等^[27]得出的研究结果相符。40:60 组肌纤维直径与剪切力同时显著升高,印证肌肉嫩度与肌肉剪切力的负相关关系。任秋斌^[28]研究表明,肉色红度数值越高,肉质越佳,肌红蛋白氧化稳定性越强。本研究中 50:50 组的肉色红度显著提高,表明其肉色评分优于其余两组,这可能与该组的血清总蛋白水平显著升高有关。

与羊肉风味密切相关的氨基酸主要为鲜味氨基酸、甜味氨基酸及芳香族氨基酸,其中鲜味氨基酸对羊肉风味起着决定作用^[29]。本研究中精粗比为 45:55 饲料的赖氨酸、丝氨酸及鲜味氨基酸含量显著优于精粗比 40:60 饲

表9 不同精粗比饲料对广丰山羊胃肠道和肌肉组织形态的影响

Table 9 Effects of diets with different concentrate-to-roughage ratios on morphology of gastrointestinal tract and muscle tissue of Guangfeng goats

项目 Items	试验 I 组 Group I	试验 II 组 Group II	试验 III 组 Group III	P 值 P-value
瘤胃组织形态 Rumen tissue morphology				
瘤胃乳头长度 Rumen papilla length (μm)	997.06 \pm 74.90b	1112.41 \pm 96.14ab	1285.17 \pm 20.64a	0.03
瘤胃乳头宽度 Rumen papilla width (μm)	201.29 \pm 12.00a	169.41 \pm 5.49a	189.33 \pm 16.92a	0.10
瘤胃胃壁厚度 Rumen wall thickness (μm)	666.09 \pm 72.61a	885.71 \pm 119.41a	860.55 \pm 52.86a	0.11
十二指肠组织形态 Duodenum tissue morphology				
绒毛长度 Villus length (μm)	320.51 \pm 20.12a	332.93 \pm 23.06a	335.48 \pm 9.84a	0.60
隐窝深度 Crypt depth (μm)	105.06 \pm 4.82a	99.82 \pm 7.26a	113.11 \pm 11.53a	0.31
绒毛长度/隐窝深度 Villus length/crypt depth	3.07 \pm 0.21a	3.36 \pm 0.18a	3.06 \pm 0.23a	0.36
空肠组织形态 Jejunum tissue morphology				
绒毛长度 Villus length (μm)	347.18 \pm 19.62a	343.87 \pm 17.79a	348.25 \pm 28.44a	0.90
隐窝深度 Crypt depth (μm)	96.83 \pm 5.20a	96.31 \pm 6.01a	102.69 \pm 4.10a	0.42
绒毛长度/隐窝深度 Villus length/crypt depth	3.61 \pm 0.22a	3.59 \pm 0.17a	3.41 \pm 0.13a	0.58
回肠组织形态 Ileum tissue morphology				
绒毛长度 Villus length (μm)	303.85 \pm 15.23a	223.81 \pm 22.11b	287.11 \pm 20.08a	0.03
隐窝深度 Crypt depth (μm)	104.26 \pm 4.89a	92.94 \pm 4.63a	94.98 \pm 4.67a	0.13
绒毛长度/隐窝深度 Villus length/crypt depth	2.93 \pm 0.16a	2.42 \pm 0.24a	3.04 \pm 0.21a	0.07
肌肉组织形态 Muscle tissue morphology				
肌纤维数量 Number of muscle fibers (No.)	59.60 \pm 7.70a	59.80 \pm 1.55a	55.40 \pm 3.91a	0.79
肌纤维面积 Muscle fiber area (mm^2)	381.57 \pm 19.01a	365.05 \pm 11.23a	360.37 \pm 25.18a	0.73
肌纤维直径 Muscle fiber diameter (mm)	25.89 \pm 0.83a	18.95 \pm 0.27b	20.16 \pm 1.78b	0.01

粮,这与刘宇航等^[13]在湖羊中观察到的中低精料比例(40:60)可提升丝氨酸和部分鲜味氨基酸的研究结论相吻合。精粗比为45:55饲料中较高的赖氨酸作为限制性氨基酸,其积累可反映出瘤胃微生物蛋白合成效率的提升^[30]。而精粗比为50:50组的脯氨酸显著增加可能与胶原蛋白代谢增强有关,脯氨酸作为胶原蛋白的主要成分,其含量升高可能进一步优化嫩度^[31]。除了氨基酸对羊肉风味的影响,脂肪酸也是另一个关键因素。羊肉中富含的不饱和脂肪酸能够降低血糖和胆固醇,提高多不饱和脂肪酸摄入,同时,减少反式脂肪酸和饱和脂肪酸摄入可降低心血管疾病的发生率^[32]。多不饱和脂肪酸作为畜禽体内重要的营养物质,能够减少脂肪沉积和炎症反应、参与细胞信号转导、调节神经系统,并提高机体免疫力^[33-34]。n-6多不饱和脂肪酸主要包括亚油酸、 γ -亚麻酸和花生四烯酸^[35]。二十碳三烯酸可与花生四烯酸竞争代谢,减少促炎介质的形成^[36]。本试验中精粗比45:55试验组的多不饱和脂肪酸总量、二十碳三烯酸和花生四烯酸含量显著升高,且多不饱和脂肪酸含量随着精料占比的升高呈先升高后下降的变化趋势,这和卢盛勇等^[37]研究发现贵州白山羊多不饱和脂肪酸含量的变化规律一致。

3.2 不同精粗比饲料对广丰山羊血清生化指标的影响

血清中总蛋白(TP)、白蛋白(ALB)可以反映动物肝功能和机体能量代谢水平,血清球蛋白(GLB)可反映机体免疫情况,GLB含量提高可以增强机体免疫水平^[38-39]。本研究结果表明,精粗比为50:50的饲料显著提高了广丰山羊的血清TP、ALB、GLB和总胆固醇(TC)含量,且TC含量显著高于其他处理组,这与陈浅等^[40]的研究结果相似,表明高精料比能提高机体蛋白利用率,进而提升机体免疫水平;TC含量显著升高可能与精料中淀粉比例增加有关。血清尿素氮(BUN)水平可以准确反映动物体内蛋白质代谢和氨基酸平衡状况^[41]。值得注意的是,精粗比为50:50处理组的BUN含量显著高于40:60组,这与董瑗榕等^[42]的研究结论相悖。BUN作为蛋白质代谢的

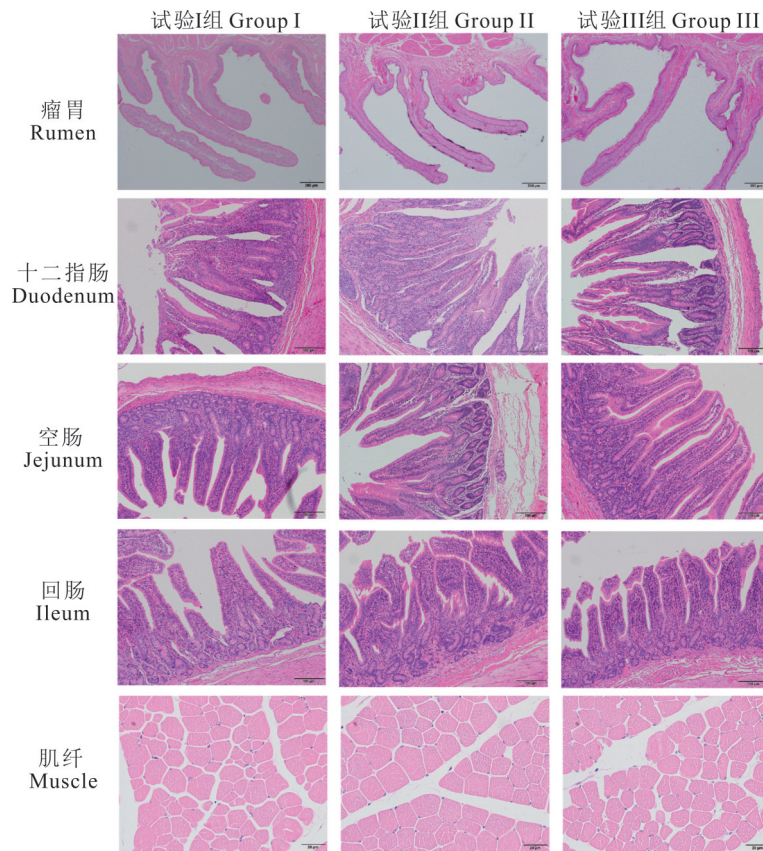


图 1 胃肠道和肌肉组织苏木精-伊红染色(HE)切片

Fig. 1 Hematoxylin-eosin stained sections of gastrointestinal and muscle tissues

表 10 不同精粗比饲料对广丰山羊瘤胃发酵参数的影响

Table 10 Effects of diets with different concentrate-to-roughage ratios on rumen fermentation of Guangfeng goats

项目 Items	试验 I 组 Group I	试验 II 组 Group II	试验 III 组 Group III	P 值 P-value
pH	7.14±0.05b	7.17±0.02ab	7.28±0.02a	0.04
乙酸 Acetic acid (mmol·L ⁻¹)	43.60±3.44a	39.62±2.15a	42.42±2.52a	0.35
丙酸 Propionic acid (mmol·L ⁻¹)	11.70±1.16a	11.81±0.67a	10.71±0.57a	0.39
丁酸 Butyric acid (mmol·L ⁻¹)	6.02±1.18a	4.62±0.60a	5.40±0.65a	0.29
异丁酸 Isobutyric acid (mmol·L ⁻¹)	3.19±0.33a	3.05±0.30a	2.70±0.26a	0.29
戊酸 Pentanoic acid (mmol·L ⁻¹)	1.22±0.21a	0.82±0.12a	0.95±0.12a	0.10
异戊酸 Isopentanoic acid (mmol·L ⁻¹)	3.27±0.49a	2.90±0.41a	2.65±0.26a	0.32
总挥发性脂肪酸 Total volatile fatty acids (TVFA, mmol·L ⁻¹)	69.00±5.38a	62.82±3.21a	64.83±3.78a	0.34
乙酸/丙酸 Acetic acid/propionic acid	3.81±0.21ab	3.37±0.12b	3.98±0.23a	0.04
铵态氮 Ammonium nitrogen (mg·dL ⁻¹)	18.62±3.97a	19.99±1.41a	21.28±4.43a	0.87

终产物,其含量升高可能反映出瘤胃微生物对氨的捕获效率不足,导致过量的氨进入肝脏转化为尿素^[43]。甲状腺激素具有提高机体代谢和改善血脂的作用,其与总胆固醇有显著相关性^[44]。本试验发现,精粗比为 50:50 处理组的 T₃ 和 T₄ 含量显著低于 45:55 组,表明甲状腺激素能够抑制胆固醇含量。45:55 组在维持较高甲状腺激素水平的同时未显著影响生产性能,表明 45:55 精粗比有利于产出低脂羊肉;而精粗比为 50:50 饲料通过提高蛋白质合成能力和能量供应显著改善了广丰山羊的血清蛋白和胆固醇水平。

3.3 不同精粗比饲料对广丰山羊胃肠道发育和瘤胃发酵的影响

研究表明,瘤胃乳头长度、宽度和表面积随着日龄增长而增加,精料可促进瘤胃乳头的生长发育,但过高精料比会导致乳头角质化不全,形态异常^[45-46]。值得注意的是,本试验精粗比 50:50 饲料的瘤胃乳头长度和瘤胃指数显著高于精粗比 40:60 饲料,表明精料占比为 50 时仍能促进瘤胃与瘤胃上皮发育。同时,肠道的健康发育也对营养物质吸收起关键作用。肠道绒毛长度、隐窝深度是反映肠道上皮细胞发育程度的指标,绒毛长度的升高意味着有更多的成熟细胞^[47]。本试验 50:50 组的回肠绒毛长度显著高于 45:55 组,反映其回肠营养物质的吸收与转运功能增强。

瘤胃菌群的稳定生长环境与瘤胃内 pH 值密切相关,瘤胃 pH 值一般为 5.5~7.5^[48]。本试验中,各试验组的瘤胃 pH 值均不在瘤胃酸中毒的风险区域,表明各试验组的瘤胃内环境稳定,且有助于微生物蛋白的合成。铵态氮(NH₃-N)是合成菌体蛋白的主要前体物质^[49]。本试验发现,NH₃-N 含量随精料占比的升高而增加。李岩等^[50]研究发现,育肥牛瘤胃液 NH₃-N 含量随饲料精料占比增加而逐渐升高,本试验结果与其一致。这说明精料比例增加会抑制对 NH₃-N 的利用。瘤胃中的微生物负责将摄入的饲料转化为挥发性脂肪酸(volatile fatty acids, VFA),VFA 是反刍动物的主要能量来源,同时也是机体蛋白质的重要组成部分^[51]。黄佑倩等^[52]研究发现,在努比亚山羊上饲喂精粗比 60:40 日粮组总挥发性脂肪酸、乙酸、丁酸、异戊酸含量显著高于 40:60 组,表明日粮中增加粗饲料占比会降低瘤胃挥发性脂肪酸的含量。本试验中各组挥发性脂肪酸的差异不显著,这可能是由于广丰山羊较强的耐粗饲能力,对精粗比例的变化有较强的适应性。瘤胃中乙酸和丙酸是 VFA 的主要成分,乙酸/丙酸是评估瘤胃能量代谢的关键指标,乙酸/丙酸的比例调节影响着微生物群蛋白质的合成和瘤胃微生物群的结构,关系到整个机体的消化和营养代谢^[53-54]。杨靖等^[55]研究发现,饲喂高精料比(60:40)日粮显著降低奶牛乙酸/丙酸,提高丙酸浓度,降低乙酸浓度。本试验 50:50 组乙酸/丙酸显著高于 45:55 组,但乙酸、丙酸浓度差异不显著。所得结果与以上结论不同,可能是由于试验对象与饲料组成不同。赵丽等^[56]研究发现,总挥发性脂肪酸(TVFA)含量提高能降低 pH 值,本试验中 TVFA 与 pH 值的变化趋势与其相似。

4 结论

在等能量蛋白比条件下,精粗比为 45:55 有利于改善广丰山羊肌肉氨基酸和脂肪酸的组成。同时,精粗比为 50:50 能够提升广丰山羊产肉性能、改善肉质特性及蛋白代谢、促进瘤胃和肠道发育。

参考文献 References:

- [1] Jia H B, Zhan J S, Jiang H Y, *et al.* Introduction and current status of Guangfeng goat breeds. *The Chinese Livestock and Poultry Breeding*, 2024, 20(2): 50-55.
贾浩滨, 占今舜, 江浩筠, 等. 广丰山羊品种介绍与现状研究. *中国畜禽种业*, 2024, 20(2): 50-55.
- [2] Liu C L M, Wang C J, Simujide, *et al.* Research progress on effect of dietary concentrate to coarse ratio on performance of ruminants. *Feed Research*, 2023, 46(20): 148-152.
刘朝乐门, 王纯洁, 斯木吉德, 等. 日粮精粗比对反刍动物生产性能影响的研究进展. *饲料研究*, 2023, 46(20): 148-152.
- [3] Song S D, Rao K Q, Guo C H, *et al.* Research progress on the application of the ratio of concentrate to forage in the diets of meat sheep production. *Animal Husbandry & Veterinary Medicine*, 2015, 47(5): 135-139.
宋善丹, 饶开晴, 郭春华, 等. 日粮精粗比在肉羊生产中应用的研究进展. *畜牧与兽医*, 2015, 47(5): 135-139.
- [4] Zhang B, Guo X. Research progress on application of concentrate to roughage ratio in ruminant diet. *Feed Research*, 2024, 47(15): 146-150.
张犇, 郭宪. 反刍动物饲料精粗比应用研究进展. *饲料研究*, 2024, 47(15): 146-150.
- [5] Yang W Z, Beauchemin K A. Physically effective fiber: method of determination and effects on chewing, ruminal acidosis, and digestion by dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 2006, 89(7): 2618-2633.
- [6] Zhao F F. Research on regulatory of tannic acid pretreated corn on subacute ruminal acidosis in goats. Yangzhou: Yangzhou University, 2021.
赵芳芳. 单宁酸预处理玉米对山羊亚急性瘤胃酸中毒的调控作用研究. 扬州: 扬州大学, 2021.

- [7] Chen Y, Song P, Hou M M, *et al.* Effects of dietary supplementation with bile acid on ileal epithelial morphology, microflora composition, and relative transcript levels of *IFN- γ* in the ileal mucosa of goats with subacute ruminal acidosis. *Acta Prataculturae Sinica*, 2024, 33(12): 188–200.
陈悦, 宋品, 侯曼曼, 等. 饲喂胆汁酸对亚急性瘤胃酸中毒山羊回肠黏膜形态、菌群组成和 *IFN- γ* mRNA 相对表达量的影响. *草业学报*, 2024, 33(12): 188–200.
- [8] Jiang Y. Effects of dietary concentrate to forage ratio on growth performance and rumen metabolism of sheep and goats. Tai'an: Shandong Agricultural University, 2021.
姜玥. 日粮精粗比对绵羊和山羊生长性能及瘤胃代谢的影响分析. 泰安: 山东农业大学, 2021.
- [9] Zhang R, Wang Q, Zhang L, *et al.* Effects of caragana diet with different concentrate to forage ratio on growth performance, meat quality and intestinal microflora of Hu sheep. *China Animal Husbandry & Veterinary Medicine*, 2023, 50(9): 3622–3629.
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. *中国畜牧兽医*, 2023, 50(9): 3622–3629.
- [10] 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. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2019, 31(4): 1676–1684.
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. *动物营养学报*, 2019, 31(4): 1676–1684.
- [11] Guo W, Feng D Y, Feng X M, *et al.* Effects of dietary concentrate to coarse ratio on growth performance and meat quality of small-tailed cold sheep. *China Feed*, 2023(14): 74–77.
郭威, 冯东亚, 冯晓敏, 等. 日粮精粗比对小尾寒羊生长性能和肉品质的影响. *中国饲料*, 2023(14): 74–77.
- [12] Qian Y, Zhong S, Zhang J, *et al.* The effects of short-term fattening of crossbred lambs with different concentration ratios of total mixed rations. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2011, 39(6): 335–336.
钱勇, 钟声, 张俊, 等. 不同精粗比全混合日粮短期育肥波杂羔羊的效果. *江苏农业科学*, 2011, 39(6): 335–336.
- [13] Liu Y H, Gu Z Y, Wang H B, *et al.* Effects of different concentrate to forage diets on serum enzyme activities, immune performance and muscle composition of Hu sheep. *Heilongjiang Animal Science and Veterinary Medicine*, 2023(3): 98–103.
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. *黑龙江畜牧兽医*, 2023(3): 98–103.
- [14] Zhan J S, Huo J H, Hu Y, *et al.* Effects of total mixed rations with different concentrate:roughage ratios on meat quality, serum indexes and organ development in Nubian goats. *Acta Prataculturae Sinica*, 2020, 29(10): 139–148.
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. *草业学报*, 2020, 29(10): 139–148.
- [15] Liu Y H, Wang H B, Zhan J S, *et al.* Effects of different concentrate to roughage ratio on goat quality. *China Feed*, 2022(13): 48–51.
刘宇航, 王海波, 占今舜, 等. 不同精粗比全混合日粮对山羊肉品质的影响. *中国饲料*, 2022(13): 48–51.
- [16] Zhan J S, Liu Y, Zhan Y P, *et al.* Effects of dietary protein level on meat quality, serum enzyme activity and intestinal development of Guangfeng goats. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2021, 33(3): 1493–1502.
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. *动物营养学报*, 2021, 33(3): 1493–1502.
- [17] Diao Q Y, Ma T, Deng K D, *et al.* Nutrient requirements of meat-type sheep and goat: NY/T 816–2021. Beijing: China Agricultural Press, 2021.
刁其玉, 马涛, 邓凯东, 等. 肉羊营养需要量: NY/T 816–2021. 北京: 中国农业出版社, 2021.
- [18] Liu J B, Song S Z, Zhang L P. Effects of *Bacillus subtilis* on growth performance, slaughter performance and meat quality of weaned Hu sheep. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2022, 34(5): 3096–3106.
刘俊斌, 宋淑珍, 张利平. 枯草芽孢杆菌对断奶湖羊生长性能、屠宰性能和肉品质的影响. *动物营养学报*, 2022, 34(5): 3096–3106.
- [19] Liu S Y, You H, Liu Y J, *et al.* Determination of livestock and poultry meat quality: NY/T 1333–2007. Beijing: Standards Press of China, 2007.
刘素英, 尤华, 刘勇军, 等. 畜禽肉质的测定: NY/T 1333–2007. 北京: 中国标准出版社, 2007.
- [20] Feng Z Z, Gao M. Improvement of the method for measuring ammonia nitrogen content in rumen fluid by colorimetry. *Animal*

- Husbandry and Feed Science, 2010, 31(Z1): 37.
- 冯宗慈, 高民. 通过比色测定瘤胃液氨氮含量方法的改进. 畜牧与饲料科学, 2010, 31(Z1): 37.
- [21] Kelly D N, Murphy C, Sleator R D, *et al.* Feed efficiency and carcass metrics in growing cattle. *Journal of Animal Science*, 2019, 97(11): 4405–4417.
- [22] Davison C, Michie C, Tachtatzis C, *et al.* Feed conversion ratio (FCR) and performance group estimation based on predicted feed intake for the optimisation of beef production. *Sensors*, 2023, 23(10): 4621.
- [23] Duthie C A, Haskell M, Hyslop J J, *et al.* The impact of divergent breed types and diets on methane emissions, rumen characteristics and performance of finishing beef cattle. *Animal*, 2017, 11(10): 1762–1771.
- [24] Løvendahl P, Difford G F, Li B, *et al.* Review: Selecting for improved feed efficiency and reduced methane emissions in dairy cattle. *Animal*, 2018, 12(S2): s336–s349.
- [25] 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. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2018, 30(12): 5023–5031.
- 侯川川, 马莲香, 邱家凌, 等. 饲料类型对育肥湖羊生长性能、屠宰性能和肉品质的影响. *动物营养学报*, 2018, 30(12): 5023–5031.
- [26] Kang Y. Effects of different forage to concentrate ratio diets on growth performance, slaughter performance, blood biochemical indexes and lipid metabolism in Tan sheep. Yinchuan: Ningxia University, 2024.
- 康燕. 不同精粗比日粮对滩羊生长性能、屠宰性能、血液生化指标及脂质代谢的影响. 银川: 宁夏大学, 2024.
- [27] Wang J Q, Li J F, Yun J Y, *et al.* Effect of different concentrate to forage ratio diets on growth performance, slaughter performance and meat quality of Taihang black goats. *Feed Research*, 2022, 45(1): 11–14.
- 王杰琼, 李继锋, 云君琰, 等. 不同精粗比日粮对太行黑山羊生长性能、屠宰性能及肉品质的影响. *饲料研究*, 2022, 45(1): 11–14.
- [28] Ren Q B. Studies on muscle histological characteristics and meat quality of beef cattle forelimb. Baoding: Hebei Agricultural University, 2011.
- 任秋斌. 肉牛前肢肌肉组织学特性及食用品质研究. 保定: 河北农业大学, 2011.
- [29] Zhang L, Wu Z Z, Zhou Z Q, *et al.* The slaughter performance and meat quality of sheep hybridized with different combinations in the Yan'an area. *Animal Husbandry & Veterinary Medicine*, 2020, 52(5): 29–33.
- 张磊, 武泽众, 周占琴, 等. 延安地区杂交肉羊屠宰性能和肉品质分析. *畜牧与兽医*, 2020, 52(5): 29–33.
- [30] Wu S, Wang Q, Yang C, *et al.* Effects of polyunsaturated fatty acids on slaughter performance, amino acid and fatty acid content of Tan sheep. *Feed Industry*, 2024, 45(20): 55–62.
- 吴爽, 王倩, 杨冲, 等. 多不饱和脂肪酸对滩羊屠宰性能、氨基酸和脂肪酸含量的影响. *饲料工业*, 2024, 45(20): 55–62.
- [31] Albaugh V L, Mukherjee K, Barbul A. Proline precursors and collagen synthesis: Biochemical challenges of nutrient supplementation and wound healing. *The Journal of Nutrition*, 2017, 147(11): 2011–2017.
- [32] Chen X, Liang K H, Wang J, *et al.* Progress in prevention and treatment of cardiovascular diseases by dietary polyunsaturated fatty acids. *China Oils and Fats*, 2020, 45(10): 87–94.
- 陈雪, 梁克红, 王靖, 等. 膳食中多不饱和脂肪酸对心血管疾病预防研究进展. *中国油脂*, 2020, 45(10): 87–94.
- [33] Fang C R, Yang J, Pei Z W, *et al.* Dietary intake and composition of unsaturated fatty acids in Chinese residents. *Acta Nutrimenta Sinica*, 2023, 45(4): 331–338.
- 方从容, 杨杰, 裴紫薇, 等. 我国居民不饱和脂肪酸的膳食摄入与构成分析. *营养学报*, 2023, 45(4): 331–338.
- [34] Schönfeld P, Wojtczak L. Short- and medium-chain fatty acids in energy metabolism: the cellular perspective. *Journal of Lipid Research*, 2016, 57(6): 943–954.
- [35] Balić A, Vlašić D, Žužul K, *et al.* Omega-3 versus omega-6 polyunsaturated fatty acids in the prevention and treatment of inflammatory skin diseases. *International Journal of Molecular Sciences*, 2020, 21(3): 741.
- [36] Gilroy D W, Edin M L, De Maeyer R P, *et al.* CYP450-derived oxylipins mediate inflammatory resolution. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2016, 113(23): E3240–E3249.
- [37] Lu S Y, Chen S C, Chen X, *et al.* The effects of diets with different concentrate-to-forage ratios on growth performance, slaughter performance and meat quality of Guizhou White goats. *Chinese Journal of Animal Science*, 2021, 57(6): 219–222.
- 卢盛勇, 陈胜昌, 陈祥, 等. 不同精粗比日粮对贵州白山羊生长性能、屠宰性能及肉品质的影响. *中国畜牧杂志*, 2021, 57(6): 219–222.
- [38] Xu X T, Wang B L, Cheng G M, *et al.* Effect of different dietary concentrate to forage ratios on growth performance, serum

- biochemical indexes and economic benefits of Dorper sheep. *China Animal Husbandry & Veterinary Medicine*, 2016, 43(3): 668–675.
- 徐相亭, 王宝亮, 程光民, 等. 不同精粗比日粮对杜泊绵羊生长性能、血清生化指标及经济效益的影响. *中国畜牧兽医*, 2016, 43(3): 668–675.
- [39] Yang H B, Liu H. The effect of dietary concentrate to roughage ratio on the production performance of ruminant animals. *China Dairy Cattle*, 2015(5): 11–14.
- 杨宏波, 刘红. 日粮精粗比对反刍动物生产性能的影响. *中国奶牛*, 2015(5): 11–14.
- [40] Chen Q, Dong Y R, Chen J H, *et al.* Effects of adding *Clostridium butyricum* to diets with different concentrate to forage ratios on growth performance, serum indexes and economic benefits of weaned lambs. *Feed Industry*, 2020, 41(23): 6–14.
- 陈浅, 董瑗榕, 陈菊红, 等. 不同精粗比日粮中添加丁酸梭菌对断奶羔羊生长性能、血清指标及经济效益的影响. *饲料工业*, 2020, 41(23): 6–14.
- [41] Hu J, Guo C Y, Lin Y T. Effects of concentrate to roughage ratio on rumen fermentation, serum biochemical indexes and production performance of ruminants. *China Dairy Cattle*, 2014(7): 13–16.
- 胡静, 郭春燕, 林英庭. 精粗比对反刍动物瘤胃发酵、血清生化指标及生产性能的影响. *中国奶牛*, 2014(7): 13–16.
- [42] Dong Y R, Chen Q, Shi H T, *et al.* Effects of adding essential oil blend to diets with different concentrate-forage ratios on growth performance, nutrient apparent digestibility, serum indexes and rumen fermentation parameters of weaned lambs. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2023, 35(8): 5236–5249.
- 董瑗榕, 陈浅, 史海涛, 等. 不同精粗比饲料添加2种复合植物精油对断奶羔羊生长性能、养分表观消化率、血清指标和瘤胃发酵参数的影响. *动物营养学报*, 2023, 35(8): 5236–5249.
- [43] Wang Y Y, Zhang B Q, Cao M S, *et al.* Factors affecting nitrogen utilization in ruminants and optimization measures. *Chinese Journal of Veterinary Science*, 2023, 43(12): 2618–2624.
- 王悦颖, 张博琦, 曹茂盛, 等. 影响反刍动物氮利用的因素及其优化措施. *中国兽医学报*, 2023, 43(12): 2618–2624.
- [44] Roos A, Bakker S J, Links T P, *et al.* Thyroid function is associated with components of the metabolic syndrome in euthyroid subjects. *The Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism*, 2007, 92(2): 491–496.
- [45] Vi R L B, McLeod K R, Klotz J L, *et al.* Rumen development, intestinal growth and hepatic metabolism in the pre- and postweaning ruminant. *Journal of Dairy Science*, 2004, 87: E55–E65.
- [46] Wang A S. Effects of different diets on growth performance and rumen development of meat calves. Zhengzhou: Henan Agricultural University, 2017.
- 王安思. 不同精粗比日粮对肉公犊牛生长性能及瘤胃发育的影响. 郑州: 河南农业大学, 2017.
- [47] An L L, Xue G L, Zhou Y N, *et al.* Effects of different roughage source diets on nutrient apparent digestibility, intestinal histomorphology, immune indices and digestive enzyme activities of pre-weaned yak calves. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2024, 36(9): 5817–5827.
- 安乐乐, 薛国良, 周亚楠, 等. 不同粗饲料来源饲料对哺乳期牦牛犊牛养分表观消化率、肠道组织形态、免疫指标及消化酶活性的影响. *动物营养学报*, 2024, 36(9): 5817–5827.
- [48] Melo L Q, Costa S F, Lopes F, *et al.* Rumen morphometrics and the effect of digesta pH and volume on volatile fatty acid absorption. *Journal of Animal Science*, 2013, 91(4): 1775–1783.
- [49] Chen L, Jie H D, Ren A, *et al.* Effects of *Saccharomyces cerevisiae* on nutrient digestibility, rumen fermentation and plasma biochemical parameters of Xiangzhong black beef. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2017, 29(9): 3359–3365.
- 陈亮, 揭红东, 任傲, 等. 酿酒酵母对湘中黑牛营养物质消化率、瘤胃发酵及血浆生化指标的影响. *动物营养学报*, 2017, 29(9): 3359–3365.
- [50] Li Y, Dai D W, Yang Y K, *et al.* Effects of diets with different concentrate to roughage ratios on growth performance, nutrient apparent digestibilities, serum biochemical indexes and rumen fermentation parameters of yak in late stage of fattening. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2022, 34(5): 3056–3065.
- 李岩, 戴东文, 杨英魁, 等. 不同精粗比饲料对育肥后期牦牛生长性能、营养物质表观消化率、血清生化指标及瘤胃发酵参数的影响. *动物营养学报*, 2022, 34(5): 3056–3065.
- [51] Xu L, Lu J Y, Chen H, *et al.* Effects of different dietary concentrate-roughage ratios and inulin and *Bacillus subtilis* supplemental levels on rumen fermentation characteristics *in vitro*. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2025, 37(1): 496–510.
- 徐领, 卢俊言, 陈欢, 等. 不同饲料精粗比及菊粉和枯草芽孢杆菌添加水平对体外瘤胃发酵特性的影响. *动物营养学报*,

2025, 37(1): 496–510.

- [52] Huang Y Q, Yuan X F, Cheng Z H, *et al.* Effect of total mixed diets with different roughage to concentrate ratios on growth performance, serum biochemical parameters and rumen fermentation index of Nubian goats. *Feed Research*, 2023, 46(14): 11–14.
黄佑倩, 原雪峰, 程治和, 等. 不同精粗比全混合日粮对努比亚山羊生长性能、血清生化指标及瘤胃发酵参数的影响. *饲料研究*, 2023, 46(14): 11–14.
- [53] Tedeschi L O, Muir J P, Naumann H D, *et al.* Nutritional aspects of ecologically relevant phytochemicals in ruminant production. *Frontiers in Veterinary Science*, 2021, 8: 628445.
- [54] Sun J, Wang Z, Yan X, *et al.* Indole-3-acetic acid enhances ruminal microbiota for aflatoxin B1 removal *in vitro* fermentation. *Frontiers in Veterinary Science*, 2024, 11: 1450241.
- [55] Yang J, Cui Q R, Zhang L L, *et al.* Effects of dietary concentrate to forage ratio on rumen volatile acid pattern and serum indices related with glucose and lipid metabolism in dairy cows. *China Feed*, 2019(5): 33–35.
杨靖, 崔巧荣, 张力莉, 等. 日粮精粗比对奶牛瘤胃挥发酸模式及血液糖脂代谢相关指标的影响. *中国饲料*, 2019(5): 33–35.
- [56] Zhao L, Solang Q J, Tsering N B, *et al.* Effects of diets with different concentrate to forage ratios on lactation performance, digestion and metabolism, rumen fermentation parameters and immunity of Jersey cattle in Tibet. *Journal of Domestic Animal Ecology*, 2024, 45(8): 22–27.
赵丽, 索朗曲吉, 次仁罗布, 等. 不同精粗比饲料对西藏地区娟珊牛泌乳性能、消化代谢、瘤胃发酵参数及免疫能力的影响. *家畜生态学报*, 2024, 45(8): 22–27.