

马甜, 高智雄, 杨晓东, 等. 日粮不同精粗比对杜蒙羔羊生长性能、血清生化及免疫指标的影响 [J]. 福建农业学报, 2022, 37 (12): 1519–1527.
MA T, GAO Z X, YANG X D, et al. Effects of Forage with Varied Concentrate/Roughage Ratios on Growth, Serum Biochemistry, and Immunity of Dumeng Lambs [J]. *Fujian Journal of Agricultural Sciences*, 2022, 37 (12): 1519–1527.

日粮不同精粗比对杜蒙羔羊生长性能、血清生化及免疫指标的影响

马 甜, 高智雄, 杨晓东, 郭邵乾, 李述方, 王海荣*

(内蒙古农业大学动物科学学院/内蒙古自治区高校动物营养与饲料科学重点实验室, 内蒙古 呼和浩特 010018)

摘 要:【目的】探究日粮不同精粗比条件下杜蒙羔羊生长及健康状态, 寻求杜蒙羔羊更加合理科学的饲养模式。【方法】选用 30 只 3 月龄、体重 (25 ± 2.14) kg 杜蒙公羔羊, 随机分为 3 组, 即低精料 C30 组 (精粗比 30:70)、中精料 C50 组 (精粗比 50:50) 和高精料 C70 组 (精粗比 70:30), 每组 10 个重复。预饲期 15 d, 正试期 60 d, 分析其生长性能及血清生化指标。【结果】1) 生产性能结果表明: C50 组和 C70 组全期平均日增重 (ADG) 与 C30 组相比极显著升高 ($P < 0.01$), 料重比 (F/G) 极显著降低 ($P < 0.01$), C50 组比 C70 组 ADG 提高了 24.12%; C50 组的全期平均日采食量 (ADFI) 极显著高于其他两组 ($P < 0.01$)。2) 营养物质表观消化率结果表明: C50 和 C70 组粗蛋白 (CP) 和中性洗涤纤维 (NDF) 消化率分别极显著或显著高于 C30 组 ($P < 0.01$ 或 $P < 0.05$); C50 组酸性洗涤纤维 (ADF) 消化率显著高于其他两组 ($P < 0.05$)。3) 血清生化指标结果表明: C50 组和 C70 组血清中谷丙转氨酶活性 (ALT)、碱性磷酸酶活性 (ALP)、白蛋白 (ALB) 含量、血糖 (GLU) 含量和直接胆红素 (DBIL) 含量显著或极显著高于 C30 组 ($P < 0.05$ 或 $P < 0.01$)。4) 血清免疫指标结果表明: 试验第 30 天时, C70 组血清中免疫球蛋白 A (IgA) 含量极显著高于 C30 组 ($P < 0.01$), 而试验第 60 天时, C70 组血清中 IgA、免疫球蛋白 M (IgM) 含量显著低于 C50 组 ($P < 0.05$), 且 C70 组血清中白介素 6 (IL-6) 含显著高于 C30 组 ($P < 0.05$)。【结论】在精粗混饲生产条件下, 日粮精粗比为 50:50 时更有利于杜蒙羔羊生长和保持机体健康状态。

关键词: 羔羊; 精粗比; 生长性能; 营养物质表观消化率; 血清生化指标; 血清免疫指标

中图分类号: S 826

文献标志码: A

文章编号: 1008-0384 (2022) 12-1519-09

Effects of Forage with Varied Concentrate/Roughage Ratios on Growth, Serum Biochemistry, and Immunity of Dumeng Lambs

MA Tian, GAO Zhixiong, YANG Xiaodong, GUO Shaoqian, LI Shufang, WANG Hairong*

(College of Animal Science, Inner Mongolia Agricultural University/Inner Mongolia Key Laboratory of Animal Nutrition and Feed Science, Hohhot, Inner Mongolia 010018, China)

Abstract: 【Objective】Effect of forage with varied ratios of refined concentrate and roughage on the growth and health of lambs was studied. 【Method】Thirty 3-month-old Dumeng male lambs with body weight of (25 ± 2.14) kg were randomly divided into groups fed with a forage of low concentrate/roughage ratio at 30/70 (C30), one with medium concentrate/roughage ratio at 50/50 (C50), and another with high ratio at 70/30 (C70). Each group had 10 replicates to be fed initially on a 15 d pre-feeding followed by a treatment period that lasted 60 d. Growth performance and serum biochemicals of the lambs were monitored during the treatment. 【Results】(1) The average daily gain (ADG) of the lambs under C50 and C70 were significantly higher, while the feed/gain (F/G) rate significantly lower, than those of C30 ($P < 0.01$) with that of C50 lambs 24.12% higher than that of C70. The average daily feed intake (ADFI) of C50 group was significantly higher than those of the

收稿日期: 2022-06-17 初稿; 2022-09-15 修改稿

作者简介: 马甜 (1998-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 动物营养与饲料科学 (E-mail: 809251814@qq.com)

* 通信作者: 王海荣 (1973-), 女, 博士生导师, 教授, 研究方向: 动物营养与饲料科学 (E-mail: wanghairong97@163.com)

基金项目: 国家自然科学基金项目 (31860658); 内蒙古农业大学标志性成果专项资金项目 (BZCG202011)

other two groups ($P<0.01$). (2) The apparent digestibility of the lambs under C50 and C70 were extremely significantly higher ($P<0.01$) on crude protein (CP) and significantly higher ($P<0.05$) on neutral detergent fiber (NDF) than those under C30; while that of the animals under C50 on acid detergent fiber (ADF) significantly higher than those of the other two groups ($P<0.05$). (3) The serum alanine aminotransferase (ALT), alkaline phosphatase (ALP), albumin (ALB), blood glucose (GLU), and direct bilirubin (DBIL) of the C50 and C70 group were significantly ($P<0.05$) or extremely significantly ($P<0.01$) higher than those of C30. (4) On the 30th day of treatment, the serum immunoglobulin A (IgA) in C70 lambs was significantly higher than that in C30 ($P<0.01$). However, on the 60th day, the IgA and immunoglobulin M (IgM) in the lambs under C70 were significantly lower than those under C50 ($P<0.05$) but the serum interleukin 6 (IL-6) significantly higher under C70 than under C30 ($P<0.05$). **【Conclusion】** Feeding Dumont lambs with a 50/50 ratio of refined and roughage forage appeared to benefit the growth and health of the animals more than the other mixing combinations.

Key words: Lamb; refined concentrate/roughage forages; growth performance; apparent nutrient digestibility; serum biochemical indices; serum immunity indices

0 引言

【研究意义】反刍动物主要以粗饲料为食,但当单独的粗饲料不能满足动物高生产率的营养需要时,必须适当补充精饲料以满足反刍动物的生产需求。从目前生产现状看,肉羊高精料催肥提高生长速度是生产中的一种普遍现象,尤其在养殖场的集约化育肥环节。但因日粮碳水化合物含量过高所导致的瘤胃亚急性酸中毒问题,致使反刍动物代谢性疾病频发^[1],导致饲养成本高、饲料资源浪费等问题^[2]。而对于一些散养户或以繁殖为主的养殖户,为了控制成本,饲喂现有的低营养饲料成为常态,经常出现精料少、日粮营养水平过低,动物营养不良等现象^[2],尤其在改良品种的育肥中呈现的问题较为明显。因此,研究日粮精粗配比对反刍动物的科学饲养具有重要价值。**【前人研究进展】**前人研究表明,当日粮精粗比在 5:5 以下时,反刍动物营养物质表观消化率逐渐提高,但精料比例达 80% 时,动物食欲和采食量降低,消化率降低^[3],生产性能下降^[4]。占今舜等^[5]研究发现,湖羊日粮中适当提高精料比例能够促进机体对葡萄糖、蛋白质和脂类等营养物质的消化和吸收。但精料比例过高会导致上皮细胞屏障功能受损,内毒素进入内循环的浓度增加^[6],以及瘤胃异常发酵,挥发性脂肪酸(VFA)和乳酸浓度大量增加^[7],瘤胃 pH 降低^[8],极易引发亚急性瘤胃酸中毒^[9],造成机体免疫力及抗病力下降,从而阻碍动物生长发育,影响机体健康。**【本研究切入点】**杜蒙羊属新型杂交育肥羊品种,目前生产中多采用高精料全混颗粒饲料饲喂,导致皮下脂肪含量高,肉品质有待改善。在我国饲料资源严重短缺背景下,养殖饲料成本激增,降低饲料成本、提

高饲料转化效率,是生产中迫切需要解决的问题。

【拟解决的关键问题】本试验研究在精粗混饲的生产条件下,日粮中不同精粗比对杜蒙羔羊生产性能、营养物质消化率、血清生化及免疫指标的影响,以期寻求更加适宜羔羊生长和保证机体健康的日粮结构,为生产实践提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验动物及试验设计

本试验选用 30 只体重(25 ± 2.14) kg 的 3 月龄杜蒙公羔羊,统一免疫、驱虫后,随机分为 3 组,每组 10 只。分别饲喂精粗料质量比为 30:70、50:50、70:30 的日粮,记作 C30 组、C50 组、C70 组。预饲期 15 d,正试期 60 d。试验期羔羊单笼饲养,饲喂精粗全混合日粮,自由采食及饮水,每天 08:00 和 18:00 各饲喂一次。

1.2 试验饲料

试验基础日粮设计参照《肉羊饲养标准》(NY/T 816—2004)进行设计,日粮组成及营养水平见表 1。

1.3 样品采集

正式期开始后第 30 天和第 60 天对所有试验羔羊进行空腹颈静脉采血,于 $3\ 000\ \text{r}\cdot\text{min}^{-1}$ 离心 5 min,收集血清于 1.5 mL 无酶离心管, $-80\ ^\circ\text{C}$ 冻存待测。

1.4 测定指标与方法

1.4.1 生长性能指标 在试验第 0 d、30 d、60 d 早晨,对试验羊逐只进行空腹称重(Body weight, BW),试验期间每天准确记录各试验羊只采食量,计算全期平均日增重(Average daily gain, ADG)、全期平均日采食量(Average daily feed intake, ADFI)、阶段日增重(Stage daily gain, SDG)、阶段日采食量(Stage daily feed intake, SDFI)及料重比(Feed to gain, F/G)。

表 1 基础日粮组成及营养水平（干物质基础）

Table 1 Composition and nutrition level of basal diet (on dry matter basis)

(单位：%)

项目 Items	日粮组成 Diet composition			项目 Items	营养成分 Nutritional ingredient		
	C30组 Group C30	C50组 Group C50	C70组 Group C70		C30组 Group C30	C50组 Group C50	C70组 Group C70
羊草 <i>Leymus chinensis</i>	70.00	50.00	30.00	代谢能 ME (MJ·kg ⁻¹) ^②	8.86	9.53	10.20
玉米 Corn	27.10	36.10	52.00	粗蛋白 CP	11.45	14.17	14.45
豆粕 Soybean meal	2.00	12.00	15.20	钙 Ca	0.77	0.77	0.71
石粉 Limestone	0.10	0.60	1.00	磷 P	0.38	0.38	0.37
磷酸氢钙CaHPO ₄	0.10	0.10	0.10	中性洗涤纤维 NDF	41.33	33.18	25.03
食盐 NaCl	0.50	0.50	0.50	酸性洗涤纤维 ADF	28.97	22.36	15.37
预混料 Premix ^①	0.20	0.20	0.20	非结构性碳水化合物 NSC	37.5	43.6	49.9
小苏打 NaHCO ₃	0.00	0.50	1.00				
合计 Total	100.00	100.00	100.00				

①预混料为每千克日粮提供：Fe 25 mg，Zn 35 mg，Cu 9 mg，Co 0.1 mg，I 0.9 mg，Se 0.25 mg，Mn 19.5 mg，烟酸60 mg，VE 15 IU，VA 3 000 IU，VD₃ 1 000 IU。②代谢能为计算值（参考NY/T 816—2004中的中国肉羊常用饲料成分及营养价值表的原料有效能值计算配方代谢能值），其余营养指标均为实测值。

① Premix provided nutrients per kg of forage on Fe at 25 mg, Zn at 35 mg, Cu at 9 mg, Co at 0.1 mg, I at 0.9 mg, Se at 0.25 mg, Mn at 19.5 mg, nicotinic acid at 60 mg, VE at 15 IU, VA at 3 000 IU, VD₃ at 1 000 IU. ② Metabolizable energy was based on NY/T 816—2004 formula for calculating effective energy of raw materials in common feed components for meat sheep in China; other nutritional indices were measured values.

1.4.2 营养物质表观消化率 采用内源指示剂法^[10]

测定营养物质表观消化率。正式试验进行到第 35 天时，连续收集 7 d 饲料样品和粪样进行消化率的测定。样品中干物质（DM）和粗蛋白质（CP）、中性洗涤纤维（NDF）、酸性洗涤纤维（ADF）、盐酸不溶灰分（AIA）的检测参照张丽英^[11]的方法进行。

1.4.3 血清生化指标 血清生化指标包括：总蛋白（TP）、白蛋白（ALB）、谷丙转氨酶活性（ALT）、谷草转氨酶活性（AST）、碱性磷酸酶活性（ALP）、总胆红素（TBIL）、直接胆红素（DBIL）、血糖（GLU）、总胆固醇（T-CHO）、甘油三酯（TG）和血清尿素氮（BUN）。检测方法：使用日立 7020 生化分析仪检测血清，检测试剂盒购于北京乐普公司。

1.4.4 血清免疫指标 检测指标包括免疫球蛋白 A（IgA）、免疫球蛋白 G（IgG）、免疫球蛋白 M（IgM）、白介素 1（IL-1）、白介素 6（IL-6）、干扰素（IFN）和肿瘤坏死因子-α（TNF-α）。检测方法采用酶标法，ELISA 试剂盒由武汉基因美生物科技有限公司提供。

1.5 数据统计与分析

利用 SPSS 中的 ANOVA 方差分析进行显著性检测，利用 Duncan's 法进行多重比较， $P<0.05$ 表示差异显著， $P<0.01$ 表示差异极显著，结果用平均值±标准差表示。

2 结果与分析

2.1 日粮不同精粗比对羔羊生长性能的影响

由表 2 可知，试验初始及 30 d 时，各组体重差异不显著（ $P>0.05$ ）；在试验 60 d，C50 和 C70 组体重极显著高于 C30 组（ $P<0.01$ ）。从两时段的 SDG 来看，C50 组和 C70 组 SDG 极显著高于 C30 组（ $P<0.01$ ），C50 组与 C70 组无显著差异（ $P>0.05$ ）。根据试验全期 60 d 的 ADG 来看，C50 组和 C70 组 ADG 极显著高于 C30 组（ $P<0.01$ ）。ADFI 为 C50 组极显著高于 C30 组和 C70 组（ $P<0.01$ ）。C50 组和 C70 组的 F/G 极显著低于 C30 组（ $P<0.01$ ）。

2.2 日粮不同精粗比对羔羊营养物质表观消化率的影响

由表 3 各组营养物质表观消化率可知，C50 和 C70 组 CP 和 NDF 表观消化率分别极显著（ $P<0.01$ ）和显著（ $P<0.05$ ）高于 C30 组，C50 组 ADF 表观消化率显著高于 C30 和 C70 组（ $P<0.05$ ），DM 无显著差异（ $P>0.05$ ）。

2.3 日粮不同精粗比对羔羊血清生化指标的影响

由表 4 可知，试验 30 d，C50 和 C70 组血清中 ALT 活性、ALP 活性、TP 含量、GLU 含量极显著高于 C30 组（ $P<0.01$ ）；C50 组和 C70 组 ALB 含量显著高于 C30 组（ $P<0.05$ ）；C50 组血清中 DBIL 含量显

表 2 日粮不同精粗比对羔羊生长性能的影响
Table 2 Effect of varied concentrate/roughage ratios of forage on growth of lambs

项目 Items	试验期 Test period/d	组别 Groups		
		C30组 Group C30	C50组 Group C50	C70组 Group C70
体重 BW/kg	0	24.81±3.29 Aa	25.08±1.68 Aa	25.11±1.44 Aa
	30	27.66±3.48 Aa	30.35±2.37 Aa	29.82±3.08 Aa
	60	31.16±4.07 Bb	37.51±3.22 Aa	35.51±2.79 Aa
阶段日增重 SDG/(g·d ⁻¹)	0–30	95.24±23.06 Bb	156.33±38.68 Aa	160.56±40.05 Aa
	30–60	118.00±28.73 Bb	236.11±58.53 Aa	185.97±43.28 Aa
平均日增重 ADG (g·d ⁻¹)	0–60	106.62±27.03 Bb	206.82±39.34 Aa	166.63±44.27 Aa
日均采食量 ADFI (kg·d ⁻¹)	0–30	0.87±0.06 Ab	1.02±0.08 Aa	0.90±0.01 Ab
	30–60	1.17±0.09 Bb	1.46±0.12 Aa	1.12±0.01 Bb
	0–60	1.03±0.07 Bb	1.24±0.10 Aa	1.01±0.01 Bb
料重比 F/G	0–60	9.66±1.22 Aa	6.01±0.93 Bb	6.06±1.53 Bb

同行数据后不同大、小写字母表示差异极显著 ($P < 0.01$) 或显著 ($P < 0.05$)，相同小写字母表示差异不显著 ($P > 0.05$)。下表同。
In the same row, values with different uppercase or lowercase letters mean extremely significant difference ($P < 0.01$) or significant difference ($P < 0.05$). The same lowercase letter indicates no significant difference ($P > 0.05$). The same as below.

表 3 日粮不同精粗比对羔羊营养物质表观消化率的影响
Table 3 Effect of varied concentrate/roughage ratios of forage on apparent nutrient digestibility of lambs (单位: %)

项目 Items	组别 Groups		
	C30组 Group C30	C50组 Group C50	C70组 Group C70
干物质 DM	86.25±3.11 Aa	89.48±3.45 Aa	91.18±1.64 Aa
粗蛋白质 CP	63.36±4.74 Bb	81.12±4.74 Aa	77.98±1.60 Aa
中性洗涤纤维 NDF	52.09±9.51 Ab	71.97±7.93 Aa	66.30±2.52 Aa
酸性洗涤纤维 ADF	47.11±5.59 Ab	69.54±8.66 Aa	54.02±1.29 Ab

著高于 C70 组 ($P < 0.05$)；而其余各组无显著差异 ($P > 0.05$)。试验 60 d，C50 组和 C70 组 ALT 活性极显著高于 C30 组 ($P < 0.01$)；C50 组 AST 活性显著高于 C30 和 C70 组 ($P < 0.05$)；C50 组 ALP 活性极显著高于 C70 组 ($P < 0.01$)；C30 和 C50 组 TP 含量极显著高于 C70 组 ($P < 0.01$)；C50 组和 C70 组 GLU 和 BUN 含量极显著高于 C30 组 ($P < 0.01$)；C70 组 DBIL 含量极显著高于 C50 组和 C30 组 ($P < 0.01$)；C50 组 ALB 含量显著高于 C30 组 ($P < 0.05$)；各组 TG、TCHO、TBIL 含量无显著差异 ($P > 0.05$)。

2.4 日粮不同精粗比对羔羊血清免疫指标的影响

由表 5 可知，试验 30 d，C70 组血清中 IgA 含量极显著高于 C30 组 ($P < 0.01$)；其余指标各组间无

显著差异 ($P > 0.05$)。试验 60 d，C70 组 IgA、IgM 含量显著低于 C50 组 ($P < 0.05$)；C70 组 TNF- α 含量显著高于 C50 和 C30 组 ($P < 0.05$)；C70 组 IL-6 显著高于 C30 组 ($P < 0.05$)；而其余指标各组无显著差异 ($P > 0.05$)。

3 讨论

3.1 日粮不同精粗比对羔羊生长性能的影响

日粮对动物作用最直观反映是生长性状。从本次试验结果来看，C70 和 C50 组平均日增重显著高于 C30 组，且 C50 组增重效果优于 C70 组。与郝怀志等^[4]研究不同精粗比玉米秸秆型全混合日粮对肉用绵羊生产性能的影响结果相似，饲料精粗比为 60:40 组平均日增重显著高于精粗比为 40:60 组和 50:50 组。周力等^[12]在不同非纤维性碳水化合物 (NFC)/中性洗涤纤维 (NDF) 饲料对藏羊生长性能的影响研究发现，NFC/NDF 为 2.20 的饲料提高了机体饲料利用率。但与熊逸林等^[13]研究发现精粗比例为 80:20 的日粮组羔羊平均日增重分别比 60:40 和 70:30 组提高了 30.52%、14.86% 的结果不一致，这可能与日粮结构水平有关。结合饲料利用效率来看，C70 组采食量显著低于 C50 组，且 C50 组饲料转化效率最高；原因可能是 C50 组日粮满足了羔羊的营养需要，也能保证瘤胃正常发酵，而 C70 高精料组可能

表 4 日粮不同精粗比对羔羊血清生化指标的影响
Table 4 Effects of varied concentrate/roughage ratios of forage on serum biochemical indices of lambs

项目 Items	试验期 Test period/d	组别 Groups		
		C30组 Group C30	C50组 Group C50	C70组 Group C70
谷丙转氨酶活性 ALT/ (U·L ⁻¹)	30	7.19±0.96 Bb	11.92±1.31 Aa	12.19±2.50 Aa
	60	7.73±1.10 Bb	13.77±1.33 Aa	12.62±2.25 Aa
谷草转氨酶活性 AST/ (U·L ⁻¹)	30	87.30±9.64 Aa	99.54±14.94 Aa	89.95±13.29 Aa
	60	90.20±8.74 Ab	110.50±8.40 Aa	96.23±9.72 Ab
碱性磷酸酶活性 ALP/ (U·L ⁻¹)	30	135.35±12.30 Bb	247.90±8.76 Aa	237.46±25.69 Aa
	60	282.65±24.67 ABab	352.75±42.59 Aa	258.71±23.24 Bb
总蛋白 TP/ (g·L ⁻¹)	30	54.09±3.13 Bb	61.16±2.56 Aa	61.51±5.65 Aa
	60	70.29±4.13 Aa	70.19±5.34 Aa	60.29±3.64 Bb
白蛋白 ALB/ (g·L ⁻¹)	30	25.43±3.95 Ab	30.33±3.31 Aa	31.18±2.92 Aa
	60	28.91±3.15 Ab	34.99±3.61 Aa	32.73±3.75 Aab
血糖 GLU/ (mmol·mL ⁻¹)	30	3.24±0.26 Bb	4.07±0.69 Aa	3.96±0.34 Aa
	60	3.72±0.14 Bb	4.93±0.13 Aa	4.71±0.46 Aa
尿素氮 BUN/ (mmol·mL ⁻¹)	30	5.86±1.29 Aa	6.69±0.605 Aa	6.97±1.29 Aa
	60	5.33±0.35 Bb	6.66±0.68 Aa	6.86±0.35 Aa
甘油三酯 TG/ (mmol·L ⁻¹)	30	0.44±0.04 Aa	0.45±0.04 Aa	0.49±0.04 Aa
	60	0.47±0.10 Aa	0.48±0.08 Aa	0.43±0.11 Aa
胆固醇 TCHO/ (mmol·L ⁻¹)	30	1.19±0.35 Aa	1.54±0.30 Aa	1.41±0.44 Aa
	60	1.38±0.33 Aa	1.59±0.15 Aa	1.53±0.16 Aa
总胆红素 TBIL/ (μmol·L ⁻¹)	30	11.68±0.53 Aa	11.358±1.43 Aa	10.98±0.97 Aa
	60	9.43±0.33 Aa	9.71±0.53 Aa	9.42±0.49 Aa
直接胆红素 DBIL/ (μmol·L ⁻¹)	30	0.88±0.15 Aab	1.18±0.58 Aa	0.59±0.18 Ab
	60	1.01±0.09 Bb	0.95±0.14 Bb	1.32±0.18 Aa

打破了瘤胃微生物区系的平衡^[14]，导致营养物质吸收障碍，降低了营养物质表观消化率，进而采食量和平均日增重减小。这一研究结果与邓先德等^[15]的研究相一致，该试验表明提高日粮中精饲料比例会降低绵羊的采食量，精料转化率提高到一定水平后则下降。

3.2 日粮不同精粗比对羔羊营养物质表观消化率的影响

日粮精粗比对反刍动物营养物质的消化代谢至关重要^[16]。刘清清^[17]研究发现，精料占日粮 30%~70% 时，对 DM 消化率没有显著影响。本试验结果也表明了不同精粗比间 DM 消化率未呈现显著变化。C30、C50、C70 组的 CP 表观消化率呈现先升高后降低的趋势，其原因可能是当精料比例过高时，CP 的利用效率下降。这与徐萍等^[18]在奶牛中的研究

结果一致。NDF 水平是影响反刍动物采食量和营养物质消化率等因素的关键，适宜的 NDF 水平是机体正常生理功能和保障动物健康的重要指标^[19]。本试验结果表明，精粗比为 50:50 时，NDF 的表观消化率最高，与生长性能指标相适应，但精粗比达到 70:30 时，NDF 和 ADF 表观消化率均降低。这可能是由于精料比例增加，瘤胃内环境稳态受到影响，导致分解纤维素的菌群丰度降低，从而降低粗饲料的分解速率^[20]，影响了肉羊表观消化率。

3.3 日粮不同精粗比对羔羊血清生化指标的影响

血清生化指标可以反映机体营养物质消化代谢、生长发育和机体健康状况^[21, 22]。葡萄糖是动物生长发育和机体代谢能量的主要来源。本试验结果显示，试验 60 d 测得 C50 组中血清葡萄糖（GLU）

表 5 日粮不同精粗比对羔羊血清免疫指标的影响
Table 5 Effects of varied concentrate/roughage ratios of forage on serum immunity indices of lambs

项目 Items	试验期 Test period/d	组别 Groups		
		C30组 Group C30	C50组 Group C50	C70组 Group C70
免疫球蛋白 A IgA ($\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$)	30	8.81±0.43 Bb	10.13±0.91 ABab	12.17±1.60 Aa
	60	8.41±0.51 Ab	10.31±1.46 Aa	8.27±0.81 Ab
免疫球蛋白M IgM ($\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$)	30	11.90±1.15 Aa	11.37±0.79 Aa	11.92±0.44 Aa
	60	11.82±0.52 Aab	12.34±1.02 Aa	10.43±0.48 Ab
免疫球蛋白G IgG ($\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$)	30	10.95±1.02 Aa	10.98±0.51 Aa	10.99±1.31 Aa
	60	10.25±0.32 Aa	11.11±0.60 Aa	10.18±0.80 Aa
干扰素 INF ($\text{pg}\cdot\text{mL}^{-1}$)	30	39.27±3.39 Aa	42.26±1.68 Aa	46.47±3.48 Aa
	60	47.30±8.89 Aa	43.72±2.71 Aa	42.75±3.90 Aa
肿瘤坏死因子- α TNF- α ($\text{pg}\cdot\text{mL}^{-1}$)	30	91.45±2.29 Aa	95.62±6.54 Aa	105.19±6.24 Aa
	60	90.61±3.23 Ab	95.11±7.12 Ab	112.88±8.95 Aa
白介素-1 IL-1 ($\text{pg}\cdot\text{mL}^{-1}$)	30	94.02±8.61 Aa	95.75±8.55 Aa	91.29±9.91 Aa
	60	93.68±4.03 Aa	97.57±15.54 Aa	92.74±5.85 Aa
白介素-6 IL-6 ($\text{pg}\cdot\text{mL}^{-1}$)	30	42.53±3.87 Aa	45.27±4.49 Aa	48.34±4.37 Aa
	60	41.48±2.55 Ab	45.16±3.37 Aab	58.73±11.14 Aa

含量最高，但精料水平最高的 C70 组 GLU 含量有所降低，这与占今舜等^[5]的研究结果不一致，该试验在第 56 d 时测得精粗比为 70:30 组血清中 GLU 含量最高。其原因这可能是动物品种、饲料组成和营养水平存在差异，而本试验中 GLU 降低的原因可能与羔羊干物质采食量有关，C50 组采食量最多，提供了更多的营养物质，加速营养物质的消化吸收。血清总胆固醇和甘油三酯可反映机体脂类物质吸收代谢情况，含量越低，说明体内脂肪的利用率越高^[23]。本试验中各组 TCHO 和 TG 含量无显著差异，但 C50 组和 C70 组含量相比于 C30 组有升高的趋势，表明高精料有利于体重的增加，且与生产性能结果一致。这与周蓉等^[24]的研究结果一致，其差异不显著的原因可能是日粮精粗比对调节机体脂类代谢和改善机体的血脂状况的影响较小。总蛋白和白蛋白反映机体蛋白质吸收和健康情况，当肝细胞受损时，蛋白质合成受阻，血清蛋白质含量降低^[25]。血清尿素氮（BUN）是反映蛋白质分解代谢和氨基酸的平衡状况指标，当 BUN 含量较低，说明体内蛋白质代谢良好，而含量升高，说明体内蛋白质转化或肾脏排泄出现问题^[26]。本试验第 30 天，C50 组和 C70 组 TP 和 ALB 含量显著高于 C30 组，表明短期内提高精饲料比例，有助于机体蛋白质的消化和吸收。但试

验 60 d 结果显示，C50 组和 C30 组 TP 和 ALB 含量均高于 C70 组，C70 组 TP 含量显著降低，且尿素氮含量显著升高。说明长时间摄入高精料会阻碍机体蛋白质吸收代谢，使蛋白质转化出现问题。这与徐相亭等^[27]的研究结果一致，该试验发现，断奶杜泊绵羊血清中 TP、ALB 含量随着日粮精料水平增加其含量先升高后降低，BUN 含量逐渐升高。但是陈浅等^[25]研究发现，精粗比 6:4 时羔羊血清中 TP 和 ALB 含量升高，但 BUN 含量降低，说明机体代谢处于正常状态。综上所述，适当提高日粮中精料比例能够提高机体对糖类及蛋白质的利用，进而提高营养物质的消化和吸收，但精粗比例过高可能造成蛋白质代谢紊乱；精料比例过低，能量和蛋白质提供不足，影响蛋白质的代谢。

谷丙转氨酶和谷草转氨酶参与机体内转氨基作用，是反映动物机体肝脏合成蛋白能力和肝脏功能的重要参数^[28]。当动物机体在健康状况下，ALT 和 AST 的水平高说明肝脏内蛋白质代谢旺盛^[2]。碱性磷酸酶主要存在于骨骼、肝脏和肾脏，当肝脏受到损伤或者发生障碍时，会引起血液中 ALP 含量升高^[29]。本试验研究发现，试验第 30 天，C50 组和 C70 组 ALT、ALP 活性显著高于 C30 组；但在试验 60 d 时，C50 组 AST 和 ALP 活性显著高于 C30 组和 C70 组，

这与徐相亭等^[27]的研究发现,随着日粮精料水平增加,断奶杜波绵羊血清中 AST 和 ALT 活性先升高后降低的结果相一致。李岩等^[30]也研究发现,精粗比 75:25 组牦牛血清 ALT 活性显著低于 65:35 组,说明在一定范围内提高精料水平有利于绵羊的生长,而这些转氨酶活性的变化同羔羊生产性能的变化一致。总胆红素是直接胆红素和间接胆红素的总和,间接胆红素在肝细胞内转化,与葡萄糖醛酸结合形成直接胆红素。肝脏对胆红素的代谢起着重要作用,当代谢发生障碍,胆红素在血液中积聚可引起黄疸。本试验结果显示,DBIL 含量随精料比例的升高逐渐增加,但依旧在机体代谢正常范围内,未见疾病发生。

3.4 日粮不同精粗比对羔羊血清免疫指标的影响

免疫球蛋白是动物机体体液免疫的重要组成部分,具有结合抗原和激活补体等生物学的功能,其在外周血中的含量可反映动物机体免疫功能状况。本试验研究结果显示,试验 30 d 时,精料比例越高,羔羊血清中 IgA 含量越高,这与朱芬花等^[31]研究发现精料比例升高可使奶牛血清中 IgA、IgG 和 IgM 含量逐渐增加的研究结果相似。但与之不同的是,本试验在 60 d 时,C50 组绵羊血清中 IgA 含量显著高于 C30 组和 C70 组,且 IgM 含量显著高于 C70 组。朱芬花以精粗比为 60:40 组血清免疫球蛋白水平最高,说明精粗比为 60:40 的日粮增强了机体的免疫功能。但本试验后期精料比例在 70% 的情况下相比 30 d 免疫指标有所下降,其原因可能是当机体长时间持续摄入高精料日粮,B 细胞合成免疫球蛋白的能力降低,特异性免疫能力受阻^[32]。说明适当的提高精料比例可增强机体的免疫力,但当精料水平过高时,可能导致机体免疫力下降。

细胞因子是由多种组织细胞合成和分泌的具有广泛生物学活性的小分子多肽或糖蛋白,具有抗菌、抗病毒、抗毒素等生物学功能,在机体免疫反应和炎症反应中起着关键作用^[33]。研究发现,给奶牛饲喂高精料日粮,其乳动脉内促炎细胞因子浓度升高,其原因是高精料诱发亚急性瘤胃酸中毒(SARA)使得 LPS 从消化道进入血液循环,导致 LPS 浓度增加^[34]。常广军^[35]研究发现,长期饲喂精粗比为 6:4 的饲料,导致山羊发生 SARA,提高 LPS 在肝脏的蓄积,外周血液中促炎细胞因子 TNF- α 、IL-1 β 浓度显著升高,IL-6 有增高的趋势。本试验结果显示:试验 30 d,C70 组绵羊血液 TNF- α 浓度显著高于其他两组;试验第 60 天,C70 组绵羊血液 TNF- α 、IL-6 浓度显著升高。说明长期饲喂高精料,血液中促炎细胞因子的浓度逐渐升高,导致机体发生炎症

反应,免疫力下降。

4 结论

在本试验条件下,日粮精粗比为 50:50 时更有利于杜蒙羔羊生长和维持机体健康状态,而精粗比 30:70 和 70:30 则呈现羔羊生产性能下降和机体健康受损情况。

参考文献:

- [1] 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.
WANG H R. Mechanism analysis and nutritional strategies for prevention of sub-acute ruminal acidosis in ruminants[J].*Chinese Journal of Animal Nutrition*,2014,26(10):3140-3148. (in Chinese)
- [2] 段俊红,杨帆,侯芳,等.日粮不同精粗比对思南杂交肉牛生产性能与血液生化指标的影响[J].*饲料研究*,2020,43(12):10-13.
DUAN J H, YANG F, HOU F, et al. Effect of different concentrate to coarse ratio in diet on production performance and blood biochemical indices of Sinan crossbred beef cattle[J].*Feed Research*,2020,43(12):10-13. (in Chinese)
- [3] NA Y, LI D H, LEE S R. Effects of dietary forage-to-concentrate ratio on nutrient digestibility and enteric methane production in growing goats (*Capra hircus hircus*) and Sika Deer (*Cervus nippon hortulorum*) [J].*Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*,2017,30(7):967-972.
- [4] 郝怀志,白滨,董俊,等.不同精粗比日粮对肉用绵羊的生产性能影响[J].*畜牧兽医杂志*,2016,35(6):7-9,12.
HAO H Z, BAI B, DONG J, et al. Effect of different dietary forage to concentrate ratios on the growth performance of mutton sheep [J].*Journal of Animal Science and Veterinary Medicine*,2016,35(6):7-9,12. (in Chinese)
- [5] 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 Hu sheep [J].*Pratacultural Science*,2019,36(12):3166-3174. (in Chinese)
- [6] PLAIZIER J C, MULLIGAN F J, NEVILLE E W, et al. Invited review: Effect of subacute ruminal acidosis on gut health of dairy cows [J].*Journal of Dairy Science*,2022,105(9):7141-7160.
- [7] ENEMARK J M D, GEMSEN R, ENEMARK P S. Rumen acidosis with special emphasis on diagnostic aspects of subclinical rumen acidosis: A review [J].*Veterinarija ir Zootechnika*,2002,20(42):16-29.
- [8] 唐黎标.日粮精粗比对反刍动物的影响[J].*饲料与畜牧*,2017(17):49-50.
TANG L B. Effect of concentrate/roughage ratio on ruminants [J].*Animal Agriculture*,2017(17):49-50. (in Chinese)

- [9] DUFFIELD T, PLAIZIE R J C, FAI R FIELD A, et al. Comparison of techniques for measurement of rumen pH in lactating dairy cows [J]. *Journal of Dairy Science*, 2004, 87 (1): 59–66.
- [10] VAN KEULEN J, YOUNG B A. Evaluation of acid-insoluble ash as a natural marker in ruminant digestibility studies [J]. *Journal of Animal Science*, 1977, 44 (2): 282–287.
- [11] 张丽英. 饲料分析及饲料质量检测技术[M]. 4版. 北京: 中国农业大学出版社, 2016.
- [12] 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.
- ZHOU L, YANG B C, WANG Z Y, et al. Effects of different non-fiber carbohydrate/neutral detergent fiber diets on growth and serum biochemical indices of Tibetan sheep [J]. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 2021, 34 (12): 2775–2783. (in Chinese)
- [13] 熊逸林, 景爱强, 王志武. 不同精粗比例的日粮对育肥羔羊生长性能和屠宰性能的影响 [J]. *饲料研究*, 2022, 45 (8): 1–5.
- XIONG Y L, JING A Q, WANG Z W. Effect of different ratios of concentrate to forage on growth performance and slaughter performance of fattening lambs [J]. *Feed Research*, 2022, 45 (8): 1–5. (in Chinese)
- [14] 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)
- [15] 邓先德, 李卫军, 朱进忠, 等. 不同精料喂量对绵羊育肥效果的影响 [J]. *草食家畜*, 2000 (2): 32–34.
- DENG X D, LI W J, ZHU J Z, et al. Effects of different concentrate feeding rates on fattening effect of sheep [J]. *Herbivorous Animals*, 2000 (2): 32–34. (in Chinese)
- [16] 冯仰廉. 反刍动物营养学[M]. 北京: 科学出版社, 2004.
- [17] 刘清清. 日粮精粗比对绵羊消化和瘤胃消化代谢的影响[D]. 晋中: 山西农业大学, 2014.
- LIU Q Q. Effects of diet concentrate: Roughage ratio on digestibility, ruminal digestion and metabolism in sheep[D]. Jinzhong: Shanxi Agricultural University, 2014. (in Chinese)
- [18] 徐萍, 莫放, 陈瑶, 等. 日粮精料进食水平对肉牛消化道营养物质流量和表观消化率的影响 [J]. *中国草食动物*, 2007, 27 (4): 12–15.
- XU P, MO F, CHEN Y, et al. Effects of dietary concentrate intake on abomasum nutrient flows and nutrient digestibility of diets on total digestive tract in steers [J]. *China Herbivores*, 2007, 27 (4): 12–15. (in Chinese)
- [19] TJARDES K E, BUSKIRK D D, ALLEN M S, et al. Neutral detergent fiber concentration of corn silage and rumen inert bulk influences dry matter intake and ruminal digesta kinetics of growing steers [J]. *Journal of Animal Science*, 2002, 80 (3): 833–840.
- [20] 姜南, 朱彦宾, 孙光明, 等. 不同精粗比饲料对牦牛养分表观消化率、血浆生化及抗氧化指标的影响 [J]. *中国草食动物科学*, 2021, 41 (3): 43–48.
- JIANG N, ZHU Y B, SUN G M, et al. Effects of roughage to concentrate ratio on nutrient apparent digestibility, plasma biochemical parameters and antioxidant capacity of yak [J]. *China Herbivore Science*, 2021, 41 (3): 43–48. (in Chinese)
- [21] 刘玉清, 陈云, 赵健强, 等. 中国沙皮犬血液生理生化指标的测定 [J]. *黑龙江畜牧兽医*, 2003 (2): 18–19.
- LIU Y Q, CHEN Y, ZHAO J Q, et al. Determination of blood physiological and biochemical indexes of China sharpie dogs [J]. *Heilongjiang Journal of Animal Science and Veterinary Medicine*, 2003 (2): 18–19. (in Chinese)
- [22] 王玉琴, 赵有璋. 波德代羊主要生理生化指标的测定和分析 [J]. *甘肃畜牧兽医*, 2003, 33 (3): 2–4.
- WANG Y Q, ZHAO Y Z. Determination and analysis of main physiological and biochemical indexes of Bode sheep [J]. *Gansu Animal and Veterinary Sciences*, 2003, 33 (3): 2–4. (in Chinese)
- [23] 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)
- [24] 周蓉, 杨宏波, 杨雯婕, 等. 不同精粗比全价颗粒料对荷斯坦断奶犊牛血液指标的影响 [J]. *饲料工业*, 2016, 37 (1): 42–45.
- ZHOU R, YANG H B, YANG W J, et al. Effects of concentrate to forage ratio in pellet diet on blood indexes of Holstein weaned calf [J]. *Feed Industry*, 2016, 37 (1): 42–45. (in Chinese)
- [25] 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 [J]. *饲料工业*, 2020, 41 (23): 6–14.
- CHEN Q, DONG A 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 [J]. *Feed Industry*, 2020, 41 (23): 6–14. (in Chinese)
- [26] 陈小连, 占今舜, 黄江南, 等. 发酵菜籽粕对28–49日龄白羽番鸭生长性能及血清生化、激素和抗氧化指标的影响 [J]. *动物营养学报*, 2019, 31 (9): 4044–4051.
- CHEN X L, ZHAN J S, HUANG J N, et al. Effects of fermented rapeseed meal on growth performance and serum biochemical, hormone and antioxidant indexes of white male Muscovy ducks during 28 to 49 days of age [J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2019, 31 (9): 4044–4051. (in Chinese)
- [27] 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 [J]. *中国畜牧兽医*, 2016, 43 (3): 668–675.
- 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 [J]. *China Animal Husbandry & Veterinary Medicine*, 2016, 43 (3): 668–675. (in Chinese)
- [28] YOUNG V R, MARCHINI J S, CORTIELLA J. Assessment of protein nutritional status [J]. *The Journal of Nutrition*, 1990,

- 120 (S11) : 1496-1502.
- [29] 刘建国, 高辉, 于俊玲, 等. 双环醇对抗精神病药物所致肝损伤患者血清碱性磷酸酶(ALP)及白蛋白(ALB)水平的影响 [J]. 中国实验诊断学, 2015, 19 (1) : 59-61.
- LIU J G, GAO H, YU J L, et al. Effects of bicyclol on serum alkaline phosphatase (ALP) and albumin (ALB) levels in patients with liver injury caused by antipsychotic drugs [J]. *Chinese Journal of Laboratory Diagnosis*, 2015, 19 (1) : 59-61. (in Chinese)
- [30] 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 [J]. 动物营养学报, 2022, 34 (5) : 3056-3065.
- 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 indexes and rumen fermentation parameters, serum biochemical indices of yak in late stage of fattening [J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2022, 34 (5) : 3056-3065. (in Chinese)
- [31] 朱芬花, 冯秉福, 罗永珍, 等. 不同精粗比日粮对奶山羊性能、乳品质和免疫力的影响 [J]. 家畜生态学报, 2017, 38 (5) : 74-77.
- ZHU F H, FENG B F, LUO Y Z, et al. Effect of different ratios of concentrate to roughage on milk yield, milk quality and immunity of dairy cows [J]. *Journal of Domestic Animal Ecology*, 2017, 38 (5) : 74-77. (in Chinese)
- [32] 陈静静, 冯建明, 李文倩, 等. B细胞及其分泌的抗体在免疫相关性全血细胞减少症中的研究进展 [J]. 世界最新医学信息文摘, 2016, 16 (57) : 55-56, 23.
- CHEN J J, FENG J M, LI W Q, et al. Research progress of B cells and their secreted antibodies in immune-related pancytopenia [J]. *World Latest Medicine Information*, 2016, 16 (57) : 55-56, 23. (in Chinese)
- [33] RENCKENS R, ROELOFS J J T H, KNAPP S, et al. The acute-phase response and serum amyloid A inhibit the inflammatory response to *Acinetobacter baumannii* pneumonia [J]. *The Journal of Infectious Diseases*, 2006, 193 (2) : 187-195.
- [34] ZHOU J, DONG G Z, AO C J, et al. Feeding a high-concentrate corn straw diet increased the release of endotoxin in the rumen and pro-inflammatory cytokines in the mammary gland of dairy cows [J]. *BMC Veterinary Research*, 2014, 10 (1) : 1-10.
- [35] 常广军. 脂多糖对反刍动物肝脏天然免疫反应的影响及表观遗传机理研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2015.
- CHANG G J. Effect of lipopolysaccharide on hepatic innate immune response of ruminants and its involved epigenetic mechanism[D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2015. (in Chinese)

(责任编辑: 张梅)