

doi :10.3969/j.issn.2095-3887.2022.05.008

饲粮能量水平对育肥牦牛生长性能、血清生化指标 及瘤胃发酵特征的影响

次旦央吉^{1,2} 李 鑫¹ 孙光明² 索朗扎西¹ 洛桑扎西¹ 索 朗¹,
次 央¹ 彭全辉³ 巴桑旺堆² 朱彦宾^{1,2}

(1. 拉萨市林周县畜牧兽医站 林周 851600 2. 西藏自治区农牧科学院畜牧兽医研究所 拉萨 850009 ;
3. 四川农业大学动物营养研究所 动物抗病营养教育部重点实验室 成都 611130)

摘要 :为研究舍饲条件下育肥牦牛的能量需要,试验设计 3 种不同能量水平的日粮,考察其对育肥牦牛生长性能、血清免疫指标、瘤胃发酵特征以及营养物质表观消化率的影响。选择 2.5 岁体重相近(204.50 kg±3.34 kg)的健康育肥期娘亚牦牛 36 头,按单因子试验设计分为 3 组,每个处理组 12 头牛(公母各半),试验结束前 4 d 进行消化试验,试验结束当天晨饲前采集血液进行测定。结果表明,随日粮能量浓度的提高牦牛平均日增重升高($P=0.014$),料重比降低($P=0.034$),牦牛血清中血糖浓度提高($P=0.035$),尿素氮降低($P=0.003$)。随日粮能量浓度的提高,牦牛血清中超氧化物歧化酶活力提高($P=0.042$),丙二醛降低($P=0.012$),白介素-2($P=0.036$)和白介素-10 提高($P=0.024$),肿瘤坏死因子- α 降低($P=0.035$)。随日粮能量浓度的提高,牦牛瘤胃中微生物蛋白合成量($P=0.006$)和总挥发性脂肪酸升高($P=0.033$),氨氮($P=0.015$)和乙酸:丙酸($P=0.031$)降低。日粮中粗蛋白($P=0.013$)和中性洗涤纤维($P=0.032$)表观消化率提高。综上所述,高能量水平日粮可提高育肥期牦牛瘤胃微生物蛋白合成,改善机体糖、氮代谢,提高机体抗氧化能力,降低炎症反应,改善机体健康,促进牦牛生长。

关键词 :能量水平;育肥牦牛;生长性能;生化指标;瘤胃发酵

中图分类号 S823.5

文献标志码 A

文章编号 2095-3887(2022)05-0044-06

Effects of Dietary Energy Levels on Growth Performance, Serum Biochemical Indexes and Rumen Fermentation Characteristics of Fattening Yaks

CIDAN Yangji^{1,2} LI Xin¹ SUN Guangming² SUOLANG Zhaxi¹ LUOSANG Zhaxi¹ SUOLANG¹,
CIYANG¹ PENG Quanhui³ BASANG Wangdui² ZHU Yanbin^{1,2}

(1. Animal Husbandry and Veterinary Station of Linzhou County, Linzhou 851600, China; 2. Tibet Academy of Agricultural and Animal Husbandry Sciences, Lhasa 850009, China 3. Institute of Animal Nutrition, Key Laboratory of Animal Disease-Resistance Nutrition, Ministry of Education, Sichuan Agricultural University, Chengdu 611130, China)

Abstract In order to study the energy needs of fattening yaks under house feeding conditions, three diets with different energy levels were designed to investigate their effects on the growth performance, serum immune indexes, rumen fermentation characteristics and nutrients apparent digestibility of fattening yaks. 36 healthy yaks of 2.5-year-old with similar body weight (204.50 kg ± 3.34 kg) were allocated to three treatment groups according to the single factor experiment design, with 12 yaks in each treatment group (half male and half female). The digestion trial was conducted in four days before the end of the experiment and the serum was collected for determination on the morning before feeding on the end of the experiment. The results showed that with the increase of dietary energy concentration, ADG of yak increased ($P=0.014$), FCR decreased ($P=0.034$), serum Glu increased ($P=0.035$) and UN decreased ($P=0.003$). With the increase of dietary energy concentration, serum SOD of yak increased ($P=0.042$), while MDA decreased ($P=0.012$), IL-2 ($P=0.036$) and IL-10 increased ($P=0.024$), and TNF- α decreased ($P=0.035$). With the increase of dietary energy

收稿日期 2022-04-08

基金项目 林周县格桑塘牦牛选育与高效扩繁(QYXTZX-LS2020-01) 牦牛种业创新与健康养殖(XZ202101ZD0002N) 国家肉牛牦牛产业技术体系(CARS-37)
作者简介 次旦央吉(1991-) 女 本科 研究方向为动物营养与饲料科学
通信作者 朱彦宾(1982-) 副研究员 研究方向为动物遗传育种

concentration, the MCP($P=0.006$) and TVFA in the rumen of yak increased($P=0.033$), and $\text{NH}_3\text{-N}$ ($P=0.015$) and ratio of acetic acid to propionic acid($P=0.031$) decreased. The apparent digestibility of CP($P=0.013$) and NDF($P=0.032$) increased. In conclusion, high energy diet improved rumen microbial protein synthesis, glucose and nitrogen metabolism, increased antioxidant capacity, decreased inflammatory response, and finally improved health and growth performance of yaks.

Keywords energy level ;fattening yak ;growth performance ;biochemical index ;rumen fermentation

牦牛是能够适应青藏高原地区的特有物种,是高原牧民赖以生存的重要生产生活资料,可以为牧民提供肉、奶、毛、皮以及燃料等必需物资^[1]。据统计,我国牦牛存量约 1 500 万头,占全世界牦牛的 95%,主要分布在西藏、青海、四川、云南、新疆等地^[2]。随着社会经济的发展,牦牛养殖逐渐由“靠天养畜”的全放牧模式逐渐变成了高海拔牧区放牧、中海拔半农半牧区放牧+补饲以及低海拔农区全舍饲育肥错峰出栏的三维立体“牧繁农养”养殖模式。

高海拔牧区全放牧的“靠天养畜”养殖模式冷季牦牛死亡率高,即使不死亡也掉膘严重,母牛繁育率低,草场循环浪费严重,退化压力大;中海拔半农半牧区放牧+补饲的饲养模式,尤其是冷季补饲可以降低牦牛死亡率,减少掉膘,暖季补饲则可提高日增重,缩短出栏时间,低海拔农区全舍饲饲养错峰出栏则可完全降低草场压力,最大化地发挥牦牛的生长潜力,提高饲料转化效率,增加养殖比较效益。因为牦牛全舍饲养殖占牦牛养殖的比例逐年递增,近年来关于舍饲牦牛营养需要的相关研究时常见诸于各大学术期刊^[3-4]。可能是因为高原地区能量的摄入比蛋白摄入更为重要,因而目前研究能量水平对牦牛的影响报道居多^[5-7],但不同研究开展的时间、使用的日粮、牦牛的品种存在较大差异,因而试验结果存在较大差异,甚至不具备可比性,互相参考的价值不高。本课题组前期考察了不同能量水平对生长期牦牛的影响,结果表明,生长期牦牛的生产性能随能量浓度的升高而提高^[8]。有报道表明,牦牛之所以能够适应高海拔极寒地区,在冷季饲草匮乏的情况下仍然能够较好地存活,是因为牦牛对日粮蛋白质的利用效率较其他物种更高^[9-10],因而,在牦牛育肥期间其日粮蛋白质需要量可能低于生长期。

因此,本研究在前期试验^[8]的基础上,降低了日粮蛋白水平(从 12% 降至 10%左右),设计了 3 种不同能量水平的日粮,考察其对育肥牦牛生产性能、免疫功能、瘤胃发酵特征以及营养物质表观消化率的影响,以期对舍饲牦牛的营养需要研究积累基础数据,为生产中牦牛养殖

日粮配制提供技术支撑。

1 材料与方法

1.1 试验设计与动物

试验选择 2.5 岁体重相近($204.50 \text{ kg} \pm 3.34 \text{ kg}$)的健康育肥期娘亚牦牛 36 头,按单因子试验设计分为高能量组、中能量组和低能量组 3 个处理组,每个处理组 12 头牛(公母各半)。

1.2 试验日粮

参照我国《肉牛饲养标准》(NY/T815—2004),按 200 kg 体重、日增重 500 g 标准配制日粮(见表 1)。3 种日粮的结构组成和蛋白质水平一致,但代谢能水平高、中、低能量组依次相差 0.7 MJ/kg DM。以全株青贮玉米、燕麦干草和苜蓿干草为粗饲料,玉米、豆粕、菜粕、棉粕以及小麦麸等为精料补充料主要成分,每顿饲喂前将精料和粗饲料按比例配制成 TMR 进行饲喂。

表 1 日粮组成与营养水平			%
项目	低能量组	中能量组	高能量组
苜蓿干草	20.00	16.60	13.30
燕麦干草	20.00	16.70	13.30
全株玉米青贮	20.00	16.70	13.40
玉米	29.00	38.50	48.00
菜籽油	0.50	0.50	0.50
小麦麸	5.00	4.50	4.00
豆粕	1.50	1.50	1.50
棉粕	0.50	1.00	1.50
菜粕	0.50	1.00	1.50
碳酸钙	1.66	1.56	1.44
磷酸氢钙	0.34	0.44	0.56
预混料	1.00	1.00	1.00
代谢能/(MJ·kg ⁻¹ DM)	7.20	7.89	8.58
粗蛋白	9.80	9.85	9.91
中性洗涤纤维	34.89	30.87	26.84
酸性洗涤纤维	19.70	17.19	14.67
钙	0.88	0.86	0.83
总磷	0.58	0.57	0.56

注 预混料为每千克日粮提供 VA 16 000 IU,VD₃ 2 000 IU,VE 100 IU,铁 40 mg,铜 8 mg,锌 50 mg,锰 50 mg,硒 0.3 mg,碘 0.5 mg,钴 0.2 mg;代谢能为根据《中国饲料成分及营养价值表》2021 年第 32 版的计算值,其余组分含量均为实测值

1.3 试验时间和地点

试验在西藏自治区拉萨市林周县格桑唐牦牛繁育基

地进行。2021 年 10 月 14 日开始,12 月 26 日结束,其中预试期 15 d,正试期 56 d。

1.4 饲养管理

试验开始前将牛圈彻底消毒,所有牛只做耳标标记,按流程注射疫苗。每天定人定时(8:00,17:00)饲喂 2 次。试验日粮以 TMR 形式饲喂,整个试验期间牛只自由采食和饮水。

1.5 样品采集与指标测定

1.5.1 生长性能 正式试验前对牛只进行称重并记为初始重(IBW),试验结束当天晨饲前称重记为末重(FBW),并以此计算平均日增重(ADG),每天记录投料量并收集剩料,记录每头牛的采食量,并根据 TMR 的干物质计算干物质采食量(ADFI)。根据 ADG 和 ADFI 计算料重比(FCR)。

1.5.2 TMR 与粪便组分分析 饲养试验最后 4 d,每组选择 8 头牛,公母各半,采用全收粪法进行消化试验,所收集的粪便采用 10%硫酸进行固氮备测。参照相应国家标准或行业标准测定饲料和粪便干物质(DM,GB/T 6435—2014)、粗蛋白(CP,GB/T 6432—2018)、中性洗涤纤维(NDF,GB/T 20806—2006)、酸性洗涤纤维(ADF,NY/T 1459—2007)、钙(Ca,GB/T 6436—2002)和磷(P,GB/T 6437—2002)含量。

1.5.3 血清样品收集与指标测定 在饲养试验结束当天晨饲前,用真空管于牦牛前腔静脉采血 10 mL,4℃ 3 500×g 离心 10 min,移液枪分装血清多份,-20℃冻存备测。

血清葡萄糖(GLU)、总蛋白(TP)、球蛋白(GLOB)、甘油三酯(TG)、尿素氮(UN)、谷丙转氨酶(ALT)、谷草转氨酶(AST)以及碱性磷酸酶(ALP)等采用 HITACHI-7020 自动生化仪进行测定。

血清抗氧化指标总抗氧化能力(T-AOC)、超氧化物

歧化酶(SOD)、谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-Px)以及丙二醛(MDA)等指标用南京建成生物工程研究生产的试剂盒,采用酶联免疫法(ELISA)进行测定。

利用酶标仪,采用双抗体夹心法测定免疫球蛋白 A、G 和 M(IgA、IgG 和 IgM),试剂盒购于南京建成生物工程研究所。

利用酶标仪,采用 ELISA 方法测定白介素-2(IL-2)、白介素-4(IL-4)、白介素-6(IL-6)、白介素-10(IL-10)、肿瘤坏死因子- α (TNF- α)和干扰素- γ (IFN- γ)的含量。

1.5.4 瘤胃发酵特征参数测定 在饲养试验结束当天清晨采血后,通过真空泵吸取瘤胃液约 100 mL,用四层纱布过滤后,采用便携式 pH 计测定瘤胃液 pH 值,采用比色法测定氨氮($\text{NH}_3\text{-N}$)^[11],利用三氯乙酸沉淀法测定微生物蛋白(MCP)^[12]。采用气相色谱 CP-3800 测定挥发性脂肪酸并计算其百分含量。

1.6 数据处理与分析

试验所得数据采用 Excel 2019 进行初步整理,采用 SAS 9.3 混合模型进行方差分析,并用 Tukey-Kramer 进行多重比较,结果以平均数 \pm 标准误表示, $P<0.05$ 为差异显著。

2 结果与分析

2.1 日粮能量水平对育肥牦牛生长性能的影响

由表 2 可知,日粮能量浓度显著影响育肥牦牛的 ADG($P=0.014$)和 FCR($P=0.034$)。随日粮能量浓度的提高,高能量组牦牛的 ADG 显著高于低能量组($P<0.05$),FCR 显著低于低能量组($P<0.05$),但中能量组的 ADG 和 FCR 与高、低能量组间均无显著差异($P>0.05$)。日粮能量浓度对牦牛的 FBW 和 ADFI 无显著影响($P>0.05$)。

表 2 不同能量水平日粮对育肥牦牛生长性能的影响

项目	低能量组	中能量组	高能量组	P 值
IBW/kg	202.50 \pm 2.233	206.17 \pm 3.234	205.54 \pm 3.032	0.988
FBW/kg	221.63 \pm 2.876	230.33 \pm 3.643	233.58 \pm 3.117	0.224
ADG/kg	0.34 \pm 0.023 ^b	0.43 \pm 0.032 ^{ab}	0.50 \pm 0.036 ^a	0.014
ADFI/kg	5.57 \pm 0.385	5.76 \pm 0.412	6.12 \pm 0.335	0.326
FCR	16.31 \pm 1.256 ^a	13.35 \pm 1.542 ^{ab}	12.22 \pm 0.973 ^b	0.034

注:同行数据肩标不同小写字母表示差异显著($P<0.05$),相同或无字母表示差异不显著($P>0.05$)。下同

2.2 不同能量水平日粮对育肥牦牛血清生化指标的影响

由表 3 可知,日粮能量浓度显著影响育肥牦牛血清中的 GLU($P=0.035$)和 UN($P=0.003$)。随日粮能量浓度的

提高,高能量组牦牛血清中的 GLU 显著高于中、低能量组($P<0.05$),UN 显著低于低能量组($P<0.05$)。日粮能量浓度对牦牛血清中 TP、ALB、GLOB、TG、ALT、AST 和 ALP 等的含量无显著影响($P>0.05$)。

表 3 不同能量水平日粮对育肥牦牛血清生化指标的影响

项目	低能量组	中能量组	高能量组	P 值
TP/(g·L ⁻¹)	49.37±0.848	49.81±1.762	50.06±1.872	0.779
ALB/(g·L ⁻¹)	28.15±0.616	28.51±0.681	28.76±0.795	0.894
GLOB/(g·L ⁻¹)	27.11±0.979	27.79±1.759	28.88±1.467	0.866
GLU/(mmol·L ⁻¹)	3.86±0.122 ^b	4.35±0.123 ^b	4.96±0.112 ^a	0.035
TG/(nmol·L ⁻¹)	0.12±0.009	0.11±0.011	0.11±0.007	0.763
UN/(mmol·L ⁻¹)	4.11±0.058 ^a	3.51±0.019 ^{ab}	3.02±0.066 ^b	0.003
ALT/(U·L ⁻¹)	3.01±0.128	3.02±0.104	2.97±0.094	0.442
AST/(U·L ⁻¹)	39.62±1.221	40.96±1.351	41.86±1.404	0.584
ALP/(U·L ⁻¹)	40.06±1.147	39.73±1.179	39.91±1.482	0.673

2.3 不同能量水平日粮对育肥牦牛血清抗氧化指标的影响

由表 4 可知,随日粮能量浓度的提高,高能量组牦牛血清中的 SOD 高于中、低能量组($P<0.05$),MDA 低

于低能量组($P<0.05$),中能量组与低能量组的 SOD 间差异不显著($P>0.05$)。随着日粮能量浓度的提高,牦牛血清中的 T-AOC 和 GSH-Px 各组间无显著变化($P>0.05$)。

表 4 不同能量水平日粮对育肥牦牛血清抗氧化指标的影响

项目	低能量组	中能量组	高能量组	P 值
T-AOC/(U·mL ⁻¹)	9.66±0.347	9.63±0.359	9.36±0.336	0.472
SOD/(U·mL ⁻¹)	131.40±4.544 ^b	139.18±4.180 ^b	153.46±5.110 ^a	0.042
GSH-Px/(U·mL ⁻¹)	203.38±11.226	206.63±12.867	208.99±13.030	0.225
MDA/(nmol·mL ⁻¹)	6.04±0.294 ^a	4.38±0.226 ^b	4.01±0.114 ^b	0.012

2.4 不同能量水平日粮对育肥牦牛血清免疫球蛋白的影响

由表 5 可知,日粮能量浓度对牦牛血清中 IgA、IgG 和 IgM 含量均无显著影响($P>0.05$)。

2.5 不同能量水平日粮对育肥牦牛血清细胞因子的影响

由表 6 可知,随日粮能量浓度的提高,高能量组牦牛血清中的 IL-2 和 IL-10 均显著显著高于低能量组($P<0.05$),TNF- α 低于低能量组($P<0.05$);中能量组与低能量组间各指标差异均不显著($P>0.05$)。随着日粮能量浓

度的提高,牦牛血清中的 IL-4、IL-6 和 IFN- γ 均无显著变化($P>0.05$)。

2.6 不同能量水平日粮对育肥牦牛瘤胃发酵特征的影响

由表 7 可知,随日粮能量浓度的提高,高能量组牦牛瘤胃中 MCP 合成量和 TVFA 显著高于低能量组($P<0.05$),NH₃-N 和乙酸:丙酸显著低于中能量组和低能量组($P<0.05$)。随着日粮能量浓度的提高,牦牛瘤胃中的 pH 值、乙酸、丙酸和丁酸均无显著变化($P>0.05$)。

表 5 不同能量水平日粮对育肥牦牛血清免疫球蛋白的影响

项目	低能量组	中能量组	高能量组	P 值
IgA	0.60±0.008	0.62±0.007	0.66±0.007	0.365
IgG	0.19±0.012	0.20±0.009	0.22±0.010	0.474
IgM	0.07±0.002	0.06±0.002	0.07±0.002	0.642

表 6 不同能量水平日粮对育肥牦牛血清细胞因子的影响

项目	低能量组	中能量组	高能量组	P 值
IL-2	45.96±3.716 ^b	52.83±3.947 ^{ab}	54.64±3.392 ^a	0.036
IL-4	72.99±2.896	74.46±3.148	76.33±2.711	0.466
IL-6	92.46±2.142	94.84±3.582	95.31±3.993	0.354
IL-10	83.69±3.346 ^b	91.55±4.991 ^{ab}	93.46±5.418 ^a	0.024
IFN- γ	97.26±3.084	101.58±4.222	103.11±4.180	0.246
TNF- α	89.57±2.758 ^a	80.52±1.984 ^{ab}	73.55±2.565 ^b	0.035

表 7 不同能量水平日粮对育肥牦牛瘤胃发酵特征的影响

项目	低能量组	中能量组	高能量组	P 值
pH 值	6.83±0.068	6.60±0.091	6.56±0.121	0.257
瘤胃微生物蛋白/(mg·dL ⁻¹)	50.86±2.183 ^b	52.79±2.342 ^{ab}	68.12±2.416 ^a	0.006
氨态氮/(mg·dL ⁻¹)	4.97±0.213 ^a	4.91±0.276 ^a	4.15±0.233 ^b	0.015
总挥发性脂肪酸/(mmol·L ⁻¹)	66.48±1.192 ^b	71.63±1.500 ^{ab}	77.82±1.558 ^a	0.033
乙酸/%	68.73±1.017	66.44±2.146	65.25±2.035	0.433
丙酸/%	20.90±0.798	21.76±1.223	22.77±1.076	0.254
丁酸/%	8.34±0.483	8.82±0.575	9.01±0.448	0.465
乙酸:丙酸	3.29±0.105 ^a	3.05±0.224 ^a	2.86±0.213 ^b	0.031

2.7 日粮能量水平对育肥牦牛营养物质表观消化率的影响

由表 8 可知,日粮能量浓度显著影响育肥牦牛的 CP($P=0.013$)和 NDF($P=0.032$)表观消化率。高能量组的

CP 和 NDF 消化率显著高于中能量组和低能量组 ($P<0.05$),而中、低能量组间无显著差异($P>0.05$)。日粮能量浓度对育肥牦牛 DM、OM 和 ADF 的表观消化率均无显著影响($P>0.05$)。

表 8 不同能量水平日粮对育肥牦牛营养物质表观消化率的影响

项目	低能量组	中能量组	高能量组	P 值
干物质	64.63±1.146	65.11±1.330	66.99±1.362	0.433
有机物	66.93±1.160	67.47±0.920	69.29±1.470	0.398
粗蛋白质	66.12±1.249 ^b	67.42±1.140 ^b	72.20±2.299 ^a	0.013
中性洗涤纤维	55.75±1.459 ^b	57.34±1.730 ^b	62.49±0.807 ^a	0.032
酸性洗涤纤维	34.37±1.010	35.46±1.176	38.14±0.844	0.364

3 讨论

3.1 不同能量水平日粮对育肥牦牛生长性能的影响

牦牛生长在高寒牧区,从营养供给的角度来看,能量的重要性要大于蛋白质,因为牦牛除了生长需要消耗大量能量外,御寒也需要能量进行体产热,因此,目前有关牦牛的营养需要主要以考察能量水平对牦牛的影响为主^[5-7]。尽管如此,由于牦牛主要分布在我国的西藏、青海和四川,而这 3 个省份的经纬度差异较大,因而气候条件各异,且目前已经查明的牦牛地方品种有 12 个^[13],另外还有 2 个人工培育品种。不同研究选择的牦牛品种、试验时间、饲用的日粮等均存在较大差异,因而其结果往往存在较大差异,甚至不具备可比性和可借鉴性。张振宇等^[6]的研究表明,采食不同能量水平的公牦牛在栓系和散栏饲养的条件下,牦牛的 ADG 为 0.53~0.83 kg。拜彬强^[5]的研究表明,饲喂不同能量水平日粮的阉牦牛的 ADG 仅为 0.2~0.3 kg。李亚茹等^[14]的研究表明,冷季给阉牦牛饲喂不同能量水平的日粮,高营养水平组的 ADG 为 0.27 kg,而低营养水平组的牦牛在试验期间体增重为负。不同省份或区域牦牛的营养需要可能存在较大差异。本课题组前期考察了不同能量水平对生长期牦牛的影响^[8],结果表明,在高能量水平条件下,生长期牦牛的 ADG

最高,为 0.68 kg,低能量水平饲喂牦牛的 ADG 为 0.43 kg。本试验结果表明,育肥期牦牛在高能量饲喂条件下 ADG 为 0.50 kg,低能量水平饲喂下 ADG 为 0.34 kg。本次育肥牦牛的 ADG 低于生长期牦牛的原因可能在于本试验所使用的牛只公母各半,而本课题组前期研究所使用牛只全部为公牛。另一方面,可能与本试验降低了日粮蛋白水平(12%降至 10%左右)也有关。

3.2 不同能量水平日粮对育肥牦牛血清生化、抗氧化和免疫指标的影响

本试验结果表明,随着日粮能量水平的提高,牦牛血清中的 GLU 浓度升高,UN 浓度降低。GLU 是哺乳动物能量的最佳来源,血清中 GLU 的升高意味着牦牛的能量供给充足,这与 Zhang 等^[15]的报道相一致,高能量水平可促进牦牛生长和脂肪沉积。UN 可以在一定程度上代表机体利用日粮氮的情况,UN 高则日粮蛋白质利用效率低,UN 随日粮能量浓度升高而降低则意味着牦牛对日粮氮的利用效率提高,此结果与李红丽等^[16]的研究结果相似。

生物机体的抗氧化功能与健康状况紧密相关,抗氧化能力越强,生命力越旺盛,生产性能则越好^[17]。本试验结果表明,随着日粮能量浓度的升高,牦牛血清中的

SOD 升高,而 MDA 浓度降低。MDA 是机体脂质氧化产物,SOD 升高,说明机体抗氧化能力增强,因而机体脂质氧化减少,从而降低 MDA 含量。尽管机体的抗氧化能力得到了增强,但是本研究并未观察到血清免疫球蛋白 IgA、IgG 和 IgM 受到日粮能量水平的显著影响。细胞因子是淋巴细胞、巨噬细胞等分泌的能够产生免疫级联反应的分泌物,从功能上可以分为抗炎症因子和促炎症因子。本试验日粮能量浓度的升高提高了牦牛血清 IL-2、IL-10 水平,降低了 TNF- α 水平,这意味着牦牛机体炎症反应受到抑制,有利于牦牛机体健康^[18]。

3.3 不同能量水平日粮对育肥牦牛瘤胃发酵特征和营养物质表观消化率的影响

反刍动物与单胃动物最大的区别在于反刍动物强大的瘤胃微生物体系能够降解大量的纤维性物质,因而反刍动物营养物质的表观消化率与瘤胃内的发酵特征紧密相关。瘤胃发酵的正常与否及其发酵模式直接影响动物机体的健康和能量、蛋白等的利用效率。本试验结果表明,随着日粮能量浓度的升高,瘤胃内 MCP 合成量增加,MCP 的升高意味着瘤胃内环境变得更好。合成 MCP 的过程也是微生物利用瘤胃内 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的过程,因此血清 UN 降低,这与姚喜喜等^[19]的报道相一致,瘤胃内 $\text{NH}_3\text{-N}$ 与日粮能量浓度呈负相关关系。总挥发性脂肪酸浓度升高则意味着瘤胃内微生物活动增强。另一方面,瘤胃内乙酸:丙酸的比例降低,意味着瘤胃内的发酵模式由乙酸型转变为丙酸型,因为低能量浓度组日粮的纤维含量高,因而乙酸产量相对较高,而丙酸产量较低。反刍动物的葡萄糖 80%以上来源于丙酸的糖异生,可能瘤胃发酵模式的转变导致了血清中 GLU 的升高,从而促进了牦牛的生长,这与王富伟等^[20]的报道相一致。

4 结论

在本试验条件下,高能量水平日粮促进了牦牛瘤胃微生物蛋白的合成,改善了机体糖、氮代谢,提高了机体抗氧化能力,降低了炎症反应,促进了牦牛生长。

参考文献

- [1] 庞凯悦,戴东文,杨英魁,等.不同饲养方式对牦牛瘤胃发酵参数及微生物菌群的影响[J].动物营养学报,2022,34(3):1667-1682.
- [2] Ma J,Shah A M,Wang Z S et al. Dietary supplementation with glutamine improves gastrointestinal barrier function and promotes compensatory growth of growth-retarded yaks [J]. Animal,2021,15:100108.
- [3] 潘浩,聂召龙,王通,等.牦牛妊娠后期能量和蛋白质维持需要量的研究[J].动物营养学报,2020,32(8):3750-3759.
- [4] 张玉莹,潘浩,王通,等.牦牛泌乳期能量和蛋白质维持需要量的研究[J].动物营养学报,2022,34(3):1655-1666.
- [5] 拜彬强.生长期牦牛舍饲育肥及肉质调控日粮的适宜能量水平研究[D].西宁:青海大学,2015.
- [6] 张振宇,梁春年,姚喜喜,等.饲养方式和饲粮能量水平对牦牛生长性能、瘤胃发酵参数和瘤胃菌群的影响[J].动物营养学报,2021,33(6):3343-3355.
- [7] 王斌星,陈光吉,郭春华,等.能量水平对舍饲育肥牦牛生长性能、屠宰性能、瘤胃发酵参数和瘤胃微生物数量的影响[J].中国畜牧兽医,2017,44(2):469-475.
- [8] 孙光明,洛桑顿珠,巴桑旺堆,等.饲粮能量水平对舍饲育肥牦牛生长性能、体尺增长及血清生化和内分泌激素指标的影响[J].动物营养学报,2021,33(8):4511-4519.
- [9] 韩兴泰,陈杰,韩正康.饲喂不同蛋白水平日粮的牦牛瘤胃氮代谢与十二指肠各氮组分流量[J].动物营养学报,1998(1):34-43.
- [10] 张莹,郭旭生,龙瑞军,等.饲粮氮水平对牦牛瘤胃发酵及营养物质消化代谢特征的影响[J].动物营养学报,2011,23(6):956-964.
- [11] Broderick G A,Kang J H. Automated simultaneous determination of ammonia and total amino acids in ruminal fluid and *in vitro* media [J]. Journal of Dairy Science,1980,63(1):64-75.
- [12] 王放.瘤胃细菌和原虫蛋白测定方法初步研究[J].中国畜牧杂志,1990,26(2):43-44.
- [13] 杨晓春.中甸牦牛消化道寄生虫初步调查及防制[J].畜牧兽医科技信息,2018(7):54-55.
- [14] 李亚茹,郝力壮,刘书杰,等.冷季不同能量水平对生长期舍饲牦牛生长性能及血液生化指标的影响[J].黑龙江畜牧兽医,2015(21):222-225.
- [15] Zhang Y,Zhou J W,Guo X S, et al. Influences of dietary nitrogen and non-fiber carbohydrate levels on apparent digestibility, rumen fermentation and nitrogen utilization in growing yaks fed low quality forage based-diet[J]. Livestock Science,2012,147:139-147.
- [16] 李红丽,王书祥,王迅,等.不同能量和蛋白质水平对冷季育肥牦牛生长性能和血清生化指标的影响[J].饲料研究,2021,44(19):1-5.
- [17] 罗焱鹏,李梦雅,王之盛,等.母带犊牛与离母犊牛的血清代谢组学差异[J].动物营养学报,2022,34(2):1109-1118.
- [18] 李梦雅,袁梅,王之盛,等.母带犊牛与离母犊牛生长性能和血清生化、抗氧化、免疫指标的比较研究[J].动物营养学报,2019,31(12):5571-5581.
- [19] 姚喜喜,李长慧,海存秀,等.日粮能量水平对牦牛生产性能、肉质和瘤胃菌群的影响[J].草地学报,2022,30(2):432-439.
- [20] 王富伟,何雅琴,郑宇慧,等.饲粮能量水平对干奶期奶牛瘤胃发酵、消化代谢及血浆生化指标的影响[J].动物营养学报,2021,33(10):5690-5700.