动物营养学报 2022,34(3):1694-1708
Chinese Journal of Animal Nutrition

doi:10.3969/j.issn.1006-267x.2022.03.031

泌乳期云南半细毛羊能量需要量研究

梁家充[1] 李银江[1] 王思宇[1] 薛 白[2] 洪琼花[1*]

(1.云南省畜牧兽医科学院草食家畜研究所,昆明 650224;2.四川农业大学动物营养研究所,成都 611130)

摘 要: 本试验旨在研究泌乳期云南半细毛羊能量需要量,为建立云南半细毛羊饲养标准和繁育理论提供参考。将25只体况相近、经产2胎的泌乳期云南半细毛羊随机分成5组,每组5只羊。各组试验饲粮代谢能(ME)水平分别为8.05(Ⅰ组)、8.51(Ⅱ组)、9.03(Ⅲ组)、9.52(Ⅳ组)和10.00 MJ/kg(Ⅴ组),其他营养水平保持一致。饲养试验为期104 d,其中预试期14 d,正试期90 d。产羔当日为正试期起点,第1~30天为泌乳前期,第31~60天为泌乳中期,第61~90天为泌乳后期。结果表明:1)在泌乳期云南半细毛羊的总能消化率、总能代谢率和消化能代谢率中,均以泌乳前期为最高,其次为泌乳后期。2)泌乳期云南半细毛羊的ME与代谢体重($W^{0.75}$)、平均日增重(ADG)和泌乳量(MY)间的回归方程为:泌乳前期,$ME=0.872W^{0.75}+0.009ADG+2.950MY$($R^2=0.987$);泌乳中期,$ME=0.733W^{0.75}-0.000\ 9ADG+2.642MY$($R^2=0.996$);泌乳后期,$ME=0.856W^{0.75}-0.011ADG+3.768MY$($R^2=0.992$)。通过回归方程得出,泌乳前期、中期和后期云南半细毛羊的维持ME需要量分别为0.872、0.733和0.856 MJ/kg $W^{0.75}$;每产1 kg常乳的ME需要量分别为3.822、3.375和4.624 MJ。40、50和60 kg的云南半细毛羊,日泌乳量1 kg、无体重变化情况下,泌乳前期代谢能需要量分别为16.82、19.35和21.75 MJ/d;泌乳中期代谢能需要量分别为14.30、16.42和18.44 MJ/d;泌乳后期代谢能需要量分别为17.38、19.86和22.22 MJ/d。

关键词: 云南半细毛羊;泌乳期;能量代谢;能量需要

中图分类号:S816 **文献标识码:**A **文章编号:**1006-267X(2022)03-1694-15

云南半细毛羊是我国培育出的内陆高山毛肉兼用型半细毛羊,具有较好的适应性和生产性能,是云南省乃至国内南方内陆高寒山区最有优势的畜种[1]。随着云南半细毛羊产业的高速发展,广大养殖户对提高云南半细毛羊的养殖效益有迫切的需求,对标准化养殖技术愈加重视。近几年有关山羊能量需要量的研究报道[2-4]较多,对绵羊却少有报道。动物能量摄入不足会导致动物分解体内的蛋白质、碳水化合物和脂肪等以维持正常的生理活动[5-6]。体内蛋白质、碳水化合物和脂肪的大量分解,最终导致母羊泌乳量不足,产生各种代谢疾病,影响生产效益。羊泌乳期摄入的能量不仅用于维持自身的能量需要,还密切关系到母羊的泌乳量和乳成分[7]。武渝瀚等[8-9]报道了饲粮能量水平对空怀期和妊娠期云南半细毛羊能量需要量的影响,而关于泌乳期云南半细毛羊能量需要量的研究还未开展。因此,本研究以泌乳期云南半细毛羊母羊为研究对象,采用饲养试验和消化代谢试验相结合的方法探究泌乳期云南半细毛羊能量需要量,旨在完善云南半细毛羊饲养标准,提高云南半细毛羊的养殖效率,为云南半细毛羊的推广与扩繁提供科学理论基础。

收稿日期:2021-08-04

基金项目:国家绒毛用羊产业技术体系(CARS 39-08);云南省科技创新人才计划(2018HC017);云南省"万人计划"产业技术领军人才项目

作者简介:梁家充(1985—),男,广西宾阳人,助理研究员,硕士,从事动物遗传育种与繁殖和动物营养研究。E-mail: ljj200311@163.com

*** 通信作者:**洪琼花,研究员,硕士生导师,E-mail: yxh7168@126.com

1　材料与方法

1.1　试验设计

选择体况良好、年龄体重相近、发情周期正常的25只经产2胎云南半细毛羊空怀母羊作为试验动物。空怀母羊采用同期发情技术处理,用人工授精配种。采用单因素试验设计,预产期前2周将母羊随机分为5组,每组5只羊,分别饲喂代谢能水平为8.05(Ⅰ组)、8.51(Ⅱ组)、9.03(Ⅲ组)、9.52(Ⅳ组)和10.00 MJ/kg(Ⅴ组)的试验饲粮,饲粮其他营养成分保持一致。试验饲粮组成及营养水平见表1。饲养试验为期104 d,其中预试期14 d,正试期90 d。产羔当日为正试期起点,第1~30天为泌乳前期,第31~60天为泌乳中期,第61~90天为泌乳后期。

表1　试验饲粮组成及营养水平(风干基础)

Table 1　Composition and nutrient levels of experimental diets (air-dry basis)　%

项目 Items	Ⅰ组 Group Ⅰ	Ⅱ组 Group Ⅱ	Ⅲ组 Group Ⅲ	Ⅳ组 Group Ⅳ	Ⅴ组 Group Ⅴ
原料 Ingredients					
玉米 Corn	15.70	21.85	19.25	17.75	18.50
麦麸 Wheat bran	13.00	8.70	10.00	10.00	
豆粕 Soybean meal	13.75	11.80	13.20	14.80	19.20
玉米淀粉 Corn starch					4.65
碳酸钙 $CaCO_3$	0.90	1.00	0.90	0.80	0.70
磷酸氢钙 $CaHPO_4$					0.20
食盐 NaCl	0.30	0.30	0.30	0.30	0.40
小苏打 $NaHCO_3$	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35
预混料 Premix[1)]	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
玉米青贮 Corn silage		5.00	25.00	43.00	55.00
小黑麦全株 Whole ryegrass	35.00	50.00	30.00	12.00	
小麦秸 Wheat straw	20.00				
合计 Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
营养水平 Nutrient levels[2)]					
代谢能 ME/(MJ/kg)	8.05	8.51	9.03	9.52	10.00
粗蛋白质 CP	13.63	13.64	13.63	13.65	13.65
中性洗涤纤维 NDF	49.00	44.08	39.48	34.95	27.80
酸性洗涤纤维 ADF	25.45	22.01	19.59	17.31	14.69
钙 Ca	0.70	0.71	0.71	0.71	0.70
磷 P	0.39	0.39	0.41	0.42	0.38

1)每千克预混料含有 Contained the following per kg of premix:$FeSO_4 \cdot H_2O$ 83.5 g,$CuSO_4 \cdot 5H_2O$ 20 g,$ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ 84.5 g,$MnSO_4 \cdot H_2O$ 82 g,KI 0.3 g,Na_2SeO_3 0.25 g,$CoSO_4 \cdot 7H_2O$ 0.95 g,VA 36 000 000 IU,VD_3 7 500 000 IU,VE 32 000 IU,烟酰胺 nicotinamide 38 000 mg,生物素 biotin 42 mg,载体 carrier 710 g。

2)代谢能为计算值,其余均为实测值。ME was a calculated value, while the others were measured values.

1.2　饲养管理

试验开始前将羊舍羊床底羊粪清除干净,打扫并消毒羊舍。试验羊独笼饲养。每日分别于08:00、17:00各饲喂1次,自由饮水。母羊预产期前14天称重并进入羊舍,随机分组,进入为期14 d的预试期。预试期间根据试验羊前1天的采食量调整第2天的喂料量,确保剩料量保持在10%左右。正试期每天记录羊群的采食量和剩料量。母羊和羔羊分开饲养,每天哺乳3次。泌乳量通过每次哺乳前后对羔羊的称重计算得出。

1.3　消化代谢试验

分别在正试期的第10~15天、第40~45天、第70~75天,从各组中选择4只羊进行消化代谢试验。试验羊在代谢笼中单笼饲养。消化代谢试验采用全收粪、尿法,连续收集5 d,每天记录每只羊的排粪量和排尿量,并取样。每天收集的鲜粪

样混匀称重记录后取 20%分成 2 份,一份按 5%的比例加入 10%的稀盐酸进行固氮,-20 ℃低温保存,用于测定粗蛋白质含量;另一份按 3%的比例加入 10%的甲醛溶液杀死微生物,-20 ℃低温保存,用于测定能量及其他营养物质的含量。每天收集的尿样混匀称重记录后取 10%添加 10%盐酸使 pH 低于 3 进行固氮,于-20 ℃保存备用。每天还需采集 200 g 饲粮样品,备测。

消化代谢试验期间,每天记录母羊的泌乳量,方法是计算哺乳前后羔羊的体重差,体重差即为泌乳量,3 次泌乳量之和为每日泌乳量。每天在羔羊哺乳前采集乳样 100 mL,按 1∶1∶1 的比例混合留样加入适量的重铬酸钾,一份保存在-20 ℃环境下,待测乳能;另一份保存在-4 ℃环境下,并立即测乳成分。

1.4 测定方法及指标

1.4.1 饲粮、乳样、粪样及尿样中常规营养成分测定

饲粮、乳样、粪样和尿样中常规营养成分按照《饲料分析及饲料质量检测技术》[10]中的方法测定;饲粮、乳样、粪样和尿样中总能(GE)采用氧弹测热法测定。

1.4.2 能量代谢指标

本试验中甲烷能(E_{CH_4})采用 Blaxter 等[11]的方法估算得出。

能量代谢指标计算方法:

消化能(DE,MJ/d)=摄入总能-粪能(FE);

代谢能(ME,MJ/d)=摄入总能-粪能-尿能(UE)-甲烷能;

总能消化率(%)=(消化能/总能)×100;

总能代谢率(%)=(代谢能/总能)×100;

消化能代谢率(%)=(代谢能/消化能)×100;

粪能损失=(粪能/总能)×100;

尿能损失=(尿能/总能)×100;

甲烷能损失=(甲烷能/总能)×100。

1.5 数据处理与分析

试验数据采用 SPSS 19.0 软件的单因素方差分析程序进行统计分析,采用 Duncan 氏法进行多重比较,结果用“平均值±标准差”表示,以 $P<0.05$ 表示差异显著。

2 结 果

2.1 饲粮能量水平对泌乳期云南半细毛羊能量代谢的影响

饲粮能量水平对泌乳前、中、后期云南半细毛羊能量代谢的影响如表 2、表 3 和表 4 所示。

摄入总能:泌乳前期,Ⅲ组显著高于Ⅰ组($P<0.05$);泌乳中期和后期,各组间差异不显著($P>0.05$)。

粪能:泌乳前期,Ⅰ组和Ⅱ组显著高于Ⅴ组($P<0.05$);泌乳中期,Ⅰ组显著高于Ⅱ组、Ⅳ组和Ⅴ组($P<0.05$),Ⅲ组显著高于Ⅴ组($P<0.05$);泌乳后期,Ⅰ组显著高于Ⅱ组、Ⅳ组和Ⅴ组($P<0.05$)。

尿能:泌乳前期和后期,各组间差异不显著($P>0.05$);泌乳中期,Ⅱ组显著高于Ⅴ组($P<0.05$)。

甲烷能:泌乳前期,Ⅰ组和Ⅴ组显著高于Ⅱ组、Ⅲ组和Ⅳ组($P<0.05$),Ⅰ组和Ⅳ组显著高于Ⅲ组($P<0.05$);泌乳中期和后期,各组间差异不显著($P>0.05$)。

消化能和代谢能:泌乳前期,Ⅴ组显著高于Ⅱ组、Ⅲ组和Ⅳ组($P<0.05$),Ⅰ组、Ⅱ组和Ⅳ组显著高于Ⅲ组($P<0.05$);泌乳中期和后期,各组间差异不显著($P>0.05$)。

乳能:泌乳前期、中期和后期,各组间差异不显著($P>0.05$)。

总能消化率:泌乳前期,Ⅴ组显著高于Ⅰ组、Ⅱ组和Ⅲ组($P<0.05$);泌乳中期,Ⅱ组、Ⅳ组和Ⅴ组显著高于Ⅰ组($P<0.05$);泌乳后期,Ⅴ组显著高于Ⅲ组($P<0.05$)。

总能代谢率:泌乳前期,Ⅴ组显著高于Ⅰ组、Ⅱ组和Ⅲ组($P<0.05$);泌乳中期,Ⅴ组显著高于Ⅰ组和Ⅲ组($P<0.05$);泌乳后期,Ⅳ组显著高于Ⅰ组($P<0.05$)。

消化能代谢率:泌乳前期和后期,各组间差异不显著($P>0.05$);泌乳中期,Ⅴ组显著高于Ⅰ组($P<0.05$)。

粪能损失:泌乳前期,Ⅰ组、Ⅱ组和Ⅲ组显著高于Ⅴ组($P<0.05$);泌乳中期,Ⅰ组显著高于Ⅱ组、Ⅳ组和Ⅴ组($P<0.05$);泌乳后期,Ⅰ组显著高于Ⅳ组和Ⅴ组($P<0.05$)。

尿能损失:泌乳前期和泌乳后期,各组间差异

不显著($P>0.05$);泌乳中期,Ⅱ组显著高于Ⅴ组($P<0.05$)。

甲烷能损失:泌乳前期,Ⅴ组显著高于Ⅰ组、Ⅱ组和Ⅲ组($P<0.05$);泌乳中期,Ⅱ组、Ⅳ组和Ⅴ组显著高于Ⅰ组($P<0.05$);泌乳后期,Ⅳ组和Ⅴ组显著高于Ⅰ组($P<0.05$)。

表 2　饲粮能量水平对泌乳前期云南半细毛羊能量代谢的影响

Table 2　Effects of dietary energy level on energy metabolism of *Yunnan* semi-fine wool sheep during pre-lactation

项目 Items	Ⅰ组 Group Ⅰ	Ⅱ组 Group Ⅱ	Ⅲ组 Group Ⅲ	Ⅳ组 Group Ⅳ	Ⅴ组 Group Ⅴ
能量的摄入和排出 Energy intake and output/(MJ/d)					
摄入总能 GE intake	28.26±3.80^{b}	25.78±2.36^{ab}	21.99±1.80^{a}	25.19±2.24^{ab}	26.56±3.28^{ab}
粪能 FE	7.99±0.59^{b}	6.88±1.32^{b}	6.35±0.59^{ab}	6.21±0.56^{ab}	4.77±0.84^{a}
尿能 UE	0.26±0.07	0.34±0.02	0.26±0.14	0.27±0.11	0.21±0.09
甲烷能 E_{CH_4}	2.29±0.04^{c}	2.12±0.08^{b}	1.78±0.04^{a}	2.10±0.03^{b}	2.33±0.05^{c}
消化能 DE	20.27±0.59^{bc}	18.90±1.32^{b}	15.64±0.59^{a}	18.98±0.56^{b}	21.79±0.84^{c}
代谢能 ME	17.71±0.58^{bc}	16.45±1.24^{b}	13.60±0.54^{a}	16.61±0.49^{b}	19.25±0.88^{c}
乳能 Milk-E	2.02±0.20	1.90±0.20	1.80±0.45	1.80±0.17	1.63±0.40
能量的利用 Energy utilization/%					
总能消化率 GE digestibility	71.72±2.08^{a}	73.33±5.12^{a}	71.13±2.69^{a}	75.34±2.24^{ab}	82.02±3.17^{b}
总能代谢率 GE metabolism rate	62.68±2.07^{a}	63.80±4.83^{a}	61.84±2.44^{a}	65.93±1.94^{ab}	72.46±3.33^{b}
消化能代谢率 DE metabolism rate	87.38±0.48	86.98±0.54	86.95±0.87	87.51±0.53	88.32±0.66
粪能损失 FE loss	28.28±2.08^{b}	26.67±5.12^{b}	28.87±2.69^{b}	24.66±2.24^{ab}	17.98±3.17^{a}
尿能损失 UE loss	0.93±0.26	1.31±0.08	1.21±0.65	1.07±0.44	0.81±0.36
甲烷能损失 E_{CH_4} loss	8.12±0.13^{a}	8.22±0.32^{a}	8.08±0.17^{a}	8.34±0.14^{ab}	8.76±0.20^{b}

同行数据肩标不同字母表示差异显著($P<0.05$)。下表同。

Values in the same row with different letter superscripts mean significant difference ($P<0.05$). The same as below.

表 3　饲粮能量水平对泌乳中期云南半细毛羊能量代谢的影响

Table 3　Effects of dietary energy level on energy metabolism of *Yunnan* semi-fine wool sheep during mid-lactation

项目 Items	Ⅰ组 Group Ⅰ	Ⅱ组 Group Ⅱ	Ⅲ组 Group Ⅲ	Ⅳ组 Group Ⅳ	Ⅴ组 Group Ⅴ
能量的摄入和排出 Energy intake and output/(MJ/d)					
摄入总能 GE intake	26.11±2.72	25.14±3.28	24.94±2.12	25.16±2.68	24.78±3.64
粪能 FE	9.37±0.79^{c}	7.42±0.44^{ab}	8.13±0.40^{bc}	7.27±0.37^{ab}	6.81±0.84^{a}
尿能 UE	0.33±0.07^{ab}	0.41±0.05^{b}	0.34±0.03^{ab}	0.32±0.05^{ab}	0.28±0.07^{a}
甲烷能 E_{CH_4}	2.00±0.05	2.02±0.03	1.96±0.03	2.03±0.02	2.02±0.05
消化能 DE	16.74±0.79	17.72±0.44	16.80±0.40	17.89±0.37	17.97±0.84
代谢能 ME	14.42±0.76	15.29±0.44	14.51±0.38	15.54±0.36	15.67±0.80
乳能 Milk-E	1.91±0.32	1.58±0.20	1.59±0.36	1.69±0.17	1.73±0.38
能量的利用 Energy utilization/%					
总能消化率 GE digestibility	64.12±3.02^{a}	70.47±1.74^{b}	67.38±1.62^{ab}	71.10±1.49^{b}	72.52±3.41^{b}
总能代谢率 GE metabolism rate	55.22±2.92^{a}	60.81±1.77^{bc}	58.18±1.52^{ab}	61.75±1.45^{bc}	63.23±3.21^{c}
消化能代谢率 DE metabolism rate	86.11±0.62^{a}	86.28±0.40^{ab}	86.35±0.24^{ab}	86.84±0.35^{ab}	87.18±0.50^{b}
粪能损失 FE loss	35.88±3.02^{b}	29.53±1.74^{a}	32.62±1.62^{ab}	28.90±1.49^{a}	27.48±3.41^{a}
尿能损失 UE loss	1.25±0.27^{ab}	1.62±0.18^{b}	1.35±0.11^{ab}	1.27±0.20^{ab}	1.12±0.29^{a}
甲烷能损失 E_{CH_4} loss	7.65±0.19^{a}	8.04±0.11^{b}	7.85±0.10^{ab}	8.08±0.09^{b}	8.17±0.21^{b}

表 4 饲粮能量水平对泌乳后期云南半细毛羊能量代谢的影响

Table 4 Effects of dietary energy level on energy metabolism of *Yunnan* semi-fine wool sheep during late-lactation

项目 Items	Ⅰ组 Group Ⅰ	Ⅱ组 Group Ⅱ	Ⅲ组 Group Ⅲ	Ⅳ组 Group Ⅳ	Ⅴ组 Group Ⅴ
能量的摄入和排出 Energy intake and output/(MJ/d)					
摄入总能 GE intake	28.66±4.08	27.77±2.76	27.23±3.28	27.40±2.04	27.55±2.88
粪能 FE	9.12±0.89[b]	6.56±1.53[a]	7.21±0.96[ab]	6.03±1.06[a]	6.33±1.04[a]
尿能 UE	0.41±0.04	0.45±0.12	0.56±0.14	0.36±0.15	0.38±0.15
甲烷能 E_{CH_4}	2.26±0.05	2.33±0.09	2.24±0.06	2.33±0.07	2.33±0.06
消化能 DE	19.54±0.89	21.21±1.53	20.01±0.96	21.36±1.06	21.22±1.04
代谢能 ME	16.87±0.82	18.42±1.50	17.21±0.92	18.67±1.03	18.51±1.12
乳能 Milk-E	1.52±0.18	1.42±0.35	1.43±0.21	1.50±0.15	1.58±0.19
能量的利用 Energy utilization/%					
总能消化率 GE digestibility	68.18±3.09[ab]	76.39±5.51[ab]	73.50±3.51[a]	77.98±3.88[ab]	77.03±3.77[b]
总能代谢率 GE metabolism rate	58.87±2.87[a]	66.35±5.40[ab]	63.23±3.37[ab]	68.15±3.77[b]	67.21±4.06[ab]
消化能代谢率 DE metabolism rate	86.33±0.34	86.81±1.00	86.01±0.81	87.38±0.78	87.21±0.97
粪能损失 FE loss	31.82±3.09[b]	23.61±5.51[ab]	26.50±3.51[ab]	22.02±3.88[a]	22.97±3.77[a]
尿能损失 UE loss	1.41±0.12	1.64±0.45	2.04±0.52	1.33±0.53	1.38±0.54
甲烷能损失 E_{CH_4} loss	7.90±0.19[a]	8.41±0.34[ab]	8.23±0.22[ab]	8.50±0.24[b]	8.45±0.23[b]

2.2 饲粮能量水平对泌乳期云南半细毛羊营养物质表观消化率的影响

饲粮能量水平对泌乳前、中、后期云南半细毛羊营养物质消化率的影响如表 5、表 6 和表 7 所示。

能量表观消化率和粗蛋白质表观消化率：泌乳前期、中期和后期，各组间差异不显著（$P>0.05$）。

粗灰分表观消化率：泌乳前期，Ⅴ组显著高于Ⅰ组和Ⅲ组（$P<0.05$）；泌乳中期，Ⅱ组、Ⅳ组和Ⅴ组显著高于Ⅰ组（$P<0.05$）；泌乳后期，各组间差异不显著（$P>0.05$）。

钙表观消化率：泌乳前期，Ⅴ组显著高于Ⅰ组和Ⅲ组（$P<0.05$）；泌乳中期，Ⅱ组和Ⅳ组显著高于Ⅰ组和Ⅲ组（$P<0.05$）；泌乳后期，Ⅳ组和Ⅴ组显著高于Ⅰ组和Ⅲ组（$P<0.05$），Ⅱ组显著高于Ⅰ组（$P<0.05$）。

磷表观消化率：泌乳前期，Ⅴ组显著高于Ⅰ组、Ⅱ组、Ⅲ组和Ⅳ组（$P<0.05$），Ⅱ组和Ⅳ组显著高于Ⅲ组（$P<0.05$）；泌乳中期，Ⅴ组显著高于Ⅰ组、Ⅱ组、Ⅲ组和Ⅳ组（$P<0.05$）；泌乳后期，Ⅴ组显著高于Ⅰ组、Ⅱ组和Ⅲ组（$P<0.05$），Ⅳ组显著高于Ⅰ组（$P<0.05$）。

粗脂肪表观消化率：泌乳前期，Ⅳ组显著高于Ⅰ组（$P<0.05$）；泌乳中期，Ⅳ组和Ⅴ组显著高于Ⅰ组（$P<0.05$）；泌乳后期，Ⅴ组显著高于Ⅰ组和Ⅱ组（$P<0.05$）。

中性洗涤纤维表观消化率：泌乳前期，Ⅴ组显著高于Ⅲ组（$P<0.05$）；泌乳中期和后期，以Ⅱ组最高，分别为 58.97%和 67.70%，但各组间差异不显著（$P>0.05$）。

酸性洗涤纤维表观消化率：泌乳前期，Ⅴ组显著高于Ⅲ组（$P<0.05$）；泌乳中期，Ⅱ组显著高于Ⅰ组和Ⅲ组（$P<0.05$）；泌乳后期，各组间差异不显著（$P>0.05$）。

2.3 饲粮能量水平对泌乳期云南半细毛羊生产性能的影响

饲粮能量水平对泌乳前、中、后期云南半细毛羊生产性能的影响如表 8、表 9 和表 10 所示。

平均日增重：泌乳前期，各组间差异不显著（$P>0.05$）；泌乳中期，Ⅴ组显著高于Ⅱ组和Ⅲ组（$P<0.05$）；泌乳后期，Ⅳ组和Ⅴ组显著高于Ⅰ组（$P<0.05$）。

干物质采食量：泌乳前期，Ⅰ组和Ⅴ组显著高于Ⅲ组（$P<0.05$），泌乳中期和后期，各组间差异不显著（$P>0.05$）。

泌乳量和乳脂校正乳产量：泌乳前期、中期和后期，各组间差异不显著（$P>0.05$）。

表 5　饲粮能量水平对泌乳前期云南半细毛羊营养物质表观消化率的影响

Table 5　Effects of dietary energy level on apparent digestibility of nutrients of *Yunnan* semi-fine wool sheep during pre-lactation　%

项目 Items	Ⅰ组 Group Ⅰ	Ⅱ组 Group Ⅱ	Ⅲ组 Group Ⅲ	Ⅳ组 Group Ⅳ	Ⅴ组 Group Ⅴ
能量 Energy	71.72±2.08	73.33±5.12	71.13±2.69	75.34±2.24	82.02±3.17
粗蛋白质 CP	75.79±2.64	76.70±5.07	73.40±2.91	76.61±1.96	81.68±3.74
粗灰分 Ash	47.19±8.24^{a}	57.83±6.53^{ab}	47.26±5.95^{a}	53.87±5.75^{ab}	63.63±3.15^{b}
钙 Ca	49.95±4.19^{a}	60.92±7.05^{ab}	51.73±7.27^{a}	54.50±3.59^{ab}	65.62±7.29^{b}
磷 P	35.63±14.11^{ab}	38.80±6.85^{b}	25.52±14.54^{a}	42.36±7.39^{b}	60.35±7.97^{c}
粗脂肪 EE	77.53±4.78^{ab}	73.42±5.19^{a}	76.67±5.65^{ab}	83.64±2.83^{ab}	86.61±2.36^{b}
中性洗涤纤维 NDF	60.50±3.11^{ab}	61.62±7.37^{ab}	54.88±4.83^{a}	62.21±3.08^{ab}	68.67±7.61^{b}
酸性洗涤纤维 ADF	58.30±3.06^{ab}	58.11±8.30^{ab}	53.58±4.89^{a}	62.46±4.01^{ab}	67.86±7.03^{b}

表 6　饲粮能量水平对泌乳中期云南半细毛羊营养物质表观消化率的影响

Table 6　Effects of dietary energy level on apparent digestibility of nutrients of *Yunnan* semi-fine wool sheep during mid-lactation　%

项目 Items	Ⅰ组 Group Ⅰ	Ⅱ组 Group Ⅱ	Ⅲ组 Group Ⅲ	Ⅳ组 Group Ⅳ	Ⅴ组 Group Ⅴ
能量 Energy	64.12±3.02	70.47±1.74	67.38±1.62	71.10±1.49	72.52±3.41
粗蛋白质 CP	69.31±3.12	73.00±2.75	71.53±2.02	75.82±1.92	75.03±2.11
粗灰分 Ash	33.28±5.84^{a}	50.61±4.32^{b}	42.59±2.49^{ab}	46.80±2.78^{b}	50.16±6.40^{b}
钙 Ca	41.90±3.77^{a}	52.19±4.18^{b}	40.30±7.61^{a}	54.28±6.89^{b}	48.64±5.37^{ab}
磷 P	28.58±11.21^{a}	28.25±11.08^{a}	28.12±6.68^{a}	35.42±5.11^{a}	49.48±9.65^{b}
粗脂肪 EE	82.48±9.73^{ab}	74.02±7.18^{a}	82.05±5.42^{ab}	89.26±2.12^{b}	85.43±3.29^{b}
中性洗涤纤维 NDF	50.39±4.78	58.97±2.65	48.89±1.83	50.30±1.89	49.02±6.06
酸性洗涤纤维 ADF	46.71±5.02^{a}	57.53±2.13^{b}	46.53±2.10^{a}	50.18±2.18^{ab}	47.33±6.80^{ab}

表 7　饲粮能量水平对泌乳后期云南半细毛羊营养物质表观消化率的影响

Table 7　Effects of dietary energy level on apparent digestibility of nutrients of *Yunnan* semi-fine wool sheep during late-lactation　%

项目 Items	Ⅰ组 Group Ⅰ	Ⅱ组 Group Ⅱ	Ⅲ组 Group Ⅲ	Ⅳ组 Group Ⅳ	Ⅴ组 Group Ⅴ
能量 Energy	68.18±3.09	76.39±5.51	73.50±3.51	77.98±3.88	77.03±3.77
粗蛋白质 CP	73.39±1.96	78.70±3.93	76.09±3.19	81.36±2.79	79.47±2.57
粗灰分 Ash	48.99±2.63	59.57±8.80	50.59±4.16	59.07±6.53	57.62±5.26
钙 Ca	30.98±5.66^{a}	47.19±10.04^{bc}	37.32±7.03^{ab}	51.08±5.90^{c}	51.07±5.75^{c}
磷 P	26.22±4.64^{a}	34.39±16.35^{ab}	32.32±3.84^{ab}	45.23±10.04^{bc}	53.60±4.83^{c}
粗脂肪 EE	59.58±4.14^{a}	72.68±15.45^{ab}	78.37±5.66^{bc}	85.62±9.25^{bc}	88.47±3.24^{c}
中性洗涤纤维 NDF	57.40±4.48	67.70±8.74	60.66±4.98	63.01±6.88	57.68±6.44
酸性洗涤纤维 ADF	53.52±6.01	64.86±10.75	58.42±4.98	61.45±7.77	56.27±8.36

2.4　饲粮能量水平对泌乳期云南半细毛羊乳成分的影响

饲粮能量水平对泌乳前、中、后期云南半细毛羊乳成分的影响如表 11、表 12 和表 13 所示。

泌乳前期、中期和后期,乳成分中乳脂肪、乳蛋白、乳糖和总固形物含量在各组之间差异均不显著($P>0.05$)。

表 8 饲粮能量水平对泌乳前期云南半细毛羊生产性能的影响

Table 8 Effects of dietary energy level on performance of *Yunnan* semi-fine wool sheep during pre-lactation

项目 Items	Ⅰ组 Group Ⅰ	Ⅱ组 Group Ⅱ	Ⅲ组 Group Ⅲ	Ⅳ组 Group Ⅳ	Ⅴ组 Group Ⅴ
平均日增重 ADG/(g/d)	−169.03±99.70	−107.10±132.48	−178.71±56.55	−167.74±66.89	−98.06±78.74
干物质采食量 DMI/(kg/d)	1.70±0.12[b]	1.57±0.17[ab]	1.30±0.16[a]	1.50±0.11[ab]	1.61±0.14[b]
泌乳量 MY/(kg/d)	1.22±0.13	1.07±0.14	1.00±0.25	1.02±0.09	0.97±0.24
乳脂校正乳产量 FCM/(kg/d)	1.28±0.24	1.21±0.21	1.11±0.22	1.23±0.17	0.99±0.29

表 9 饲粮能量水平对泌乳中期云南半细毛羊生产性能的影响

Table 9 Effects of dietary energy level on performance of *Yunnan* semi-fine wool sheep during mid-lactation

项目 Items	Ⅰ组 Group Ⅰ	Ⅱ组 Group Ⅱ	Ⅲ组 Group Ⅲ	Ⅳ组 Group Ⅳ	Ⅴ组 Group Ⅴ
平均日增重 ADG/(g/d)	−158.00±132.89[ab]	−48.00±66.44[a]	16.00±54.23[a]	120.67±96.79[ab]	147.33±54.33[b]
干物质采食量 DMI/(kg/d)	1.57±0.18	1.53±0.14	1.48±0.17	1.50±0.20	1.50±0.14
泌乳量 MY/(kg/d)	1.13±0.20	0.94±0.12	0.90±0.23	0.94±0.05	0.98±0.25
乳脂校正乳产量 FCM/(kg/d)	1.20±0.21	1.10±0.24	1.05±0.12	1.05±0.11	1.16±0.34

表 10 饲粮能量水平对泌乳后期云南半细毛羊生产性能的影响

Table 10 Effects of dietary energy level on performance of *Yunnan* semi-fine wool sheep during late-lactation

项目 Items	Ⅰ组 Group Ⅰ	Ⅱ组 Group Ⅱ	Ⅲ组 Group Ⅲ	Ⅳ组 Group Ⅳ	Ⅴ组 Group Ⅴ
平均日增重 ADG/(g/d)	−6.67±67.91[a]	8.48±63.43[ab]	−43.64±103.16[ab]	−151.52±87.62[b]	−124.85±69.41[ab]
干物质采食量 DMI/(kg/d)	1.72±0.09	1.69±0.12	1.62±0.13	1.64±0.12	1.66±0.15
泌乳量 MY/(kg/d)	0.85±0.11	0.80±0.19	0.78±0.09	0.80±0.06	0.86±0.08
乳脂校正乳产量 FCM/(kg/d)	1.16±0.24	1.27±0.47	1.18±0.32	1.23±0.24	1.34±0.27

表 11 饲粮能量水平对泌乳前期云南半细毛羊乳成分的影响

Table 11 Effects of dietary energy level on milk composition of *Yunnan* semi-fine wool sheep during pre-lactation %

项目 Items	Ⅰ组 Group Ⅰ	Ⅱ组 Group Ⅱ	Ⅲ组 Group Ⅲ	Ⅳ组 Group Ⅳ	Ⅴ组 Group Ⅴ
乳脂肪 Milk fat	4.32±1.19	5.02±1.88	4.88±1.47	5.38±1.33	4.28±1.39
乳蛋白 Milk protein	4.61±0.43	4.93±0.61	4.70±0.30	4.47±0.47	4.73±0.25
乳糖 Lactose	5.11±0.15	4.94±0.20	5.14±0.24	5.02±0.10	5.16±0.27
总固形物 Total solid	14.73±1.60	15.67±1.38	15.46±1.25	15.64±1.48	14.93±1.64

表 12 饲粮能量水平对泌乳中期云南半细毛羊乳成分的影响

Table 12 Effects of dietary energy level on milk composition of *Yunnan* semi-fine wool sheep during mid-lactation %

项目 Items	Ⅰ组 Group Ⅰ	Ⅱ组 Group Ⅱ	Ⅲ组 Group Ⅲ	Ⅳ组 Group Ⅳ	Ⅴ组 Group Ⅴ
乳脂肪 Milk fat	4.43±0.82	5.10±1.11	5.32±1.06	4.80±0.43	5.27±1.79
乳蛋白 Milk protein	4.83±0.19	5.02±0.23	4.70±0.11	4.54±0.30	5.10±0.26
乳糖 Lactose	4.91±0.18	4.84±0.05	4.97±0.11	5.02±0.13	5.05±0.38
总固形物 Total solid	14.88±0.84	15.72±1.01	15.75±1.13	15.08±0.63	16.22±1.93

表 13　饲粮能量水平对泌乳后期云南半细毛羊乳成分的影响

Table 13　Effects of dietary energy level on milk composition of *Yunnan* semi-fine wool sheep during late-lactation　%

项目 Items	Ⅰ组 Group Ⅰ	Ⅱ组 Group Ⅱ	Ⅲ组 Group Ⅲ	Ⅳ组 Group Ⅳ	Ⅴ组 Group Ⅴ
乳脂肪 Milk fat	4.32±1.19	5.02±1.88	4.88±1.47	5.38±1.33	4.28±1.39
乳蛋白 Milk protein	4.61±0.43	4.93±0.61	4.70±0.30	4.47±0.47	4.73±0.25
乳糖 Lactose	5.11±0.15	4.94±0.20	5.14±0.24	5.02±0.10	5.16±0.27
总固形物 Total solid	14.73±1.60	15.67±1.38	15.46±1.25	15.64±1.48	14.93±1.64

2.5　饲粮能量水平对泌乳期云南半细毛羊能量需要量的影响

根据营养学原理,泌乳期云南半细毛羊的能量需要量可以用下式表示:

$ME(MJ/d)=k1W^{0.75}+k2ADG(g)+k3MY(kg)$。

式中:ME 为代谢能需要量(MJ/d);k1 为维持需要常数;$W^{0.75}$为代谢体重(kg);k2 为生长需要常数;ADG 为平均日增重(g);k3 为泌乳需要常数;MY 为泌乳量(kg/d)。根据上述营养学原理,通过对表 8、表 9 和表 10 相关数据进行回归分析,建立泌乳期云南半细毛羊代谢能需要量与代谢体重、平均日增重和泌乳量的回归方程。

泌乳前期:$ME=0.872W^{0.75}+0.009ADG+2.950MY$($R^2=0.987$);

泌乳中期:$ME=0.733W^{0.75}-0.000\ 9ADG+2.642MY$($R^2=0.996$);

泌乳后期:$ME=0.856W^{0.75}-0.011ADG+3.768MY$($R^2=0.992$)。

根据以上回归方程,计算出不同体重、不同平均日增重和不同泌乳量的泌乳前期、中期和后期云南半细毛羊的代谢能需要量,如表 14、表 15 和表 16 所示。

表 14　泌乳前期云南半细毛羊代谢需要量

Table 14　ME requirement of *Yunnan* semi-fine wool sheep during pre-lactation

体重 BW/kg	平均日增重 ADG/(g/d)	泌乳量 MY/(kg/d)	代谢能 ME/(MJ/d)
		0	13.87
	0	0.5	15.34
		1.0	16.82
		0	14.32
40	50	0.5	15.79
		1.0	17.27
		0	14.77
	100	0.5	16.24
		1.0	17.72
		0	16.40
	0	0.5	17.87
		1.0	19.35
		0	16.85
50	50	0.5	18.32
		1.0	19.80
		0	17.30
	100	0.5	18.77
		1.0	20.25
		0	18.80
	0	0.5	20.27
		1.0	21.75
		0	19.25

续表 14

体重 BW/kg	平均日增重 ADG/(g/d)	泌乳量 MY/(kg/d)	代谢能 ME/(MJ/d)
60	50	0.5	20.72
		1.0	22.20
		0	19.70
	100	0.5	21.17
		1.0	22.65

表 15 泌乳中期云南半细毛羊代谢能需要量

Table 15 ME requirement of *Yunnan* semi-fine wool sheep during mid-lactation

体重 BW/kg	平均日增重 ADG/(g/d)	泌乳量 MY/(kg/d)	代谢能 ME/(MJ/d)
		0	11.66
	0	0.5	12.98
		1.0	14.30
		0	11.61
40	50	0.5	12.93
		1.0	14.26
		0	11.57
	100	0.5	12.89
		1.0	14.21
		0	13.78
	0	0.5	15.10
		1.0	16.42
		0	13.74
50	50	0.5	15.06
		1.0	16.38
		0	13.69
	100	0.5	15.01
		1.0	16.33
		0	15.80
	0	0.5	17.12
		1.0	18.44
		0	15.76
60	50	0.5	17.08
		1.0	18.40
		0	15.71
	100	0.5	17.03
		1.0	18.35

表 16 泌乳后期云南半细毛羊代谢能需要量

Table 16 ME requirement of *Yunnan* semi-fine wool sheep during late-lactation

体重 BW/kg	平均日增重 ADG/(g/d)	泌乳量 MY/(kg/d)	代谢能 ME/(MJ/d)
		0	13.62
	0	0.5	15.50
		1.0	17.38
		0	13.07
40	50	0.5	14.95

续表 16

体重 BW/kg	平均日增重 ADG/(g/d)	泌乳量 MY/(kg/d)	代谢能 ME/(MJ/d)
		1.0	16.83
		0	12.52
	100	0.5	14.40
		1.0	16.28
		0	16.10
	0	0.5	17.98
		1.0	19.86
		0	15.55
50	50	0.5	17.43
		1.0	19.31
		0	15.00
	100	0.5	16.88
		1.0	18.76
		0	18.45
	0	0.5	20.34
		1.0	22.22
		0	17.90
60	50	0.5	19.79
		1.0	21.67
		0	17.35
	100	0.5	19.24
		1.0	21.12

3　讨　论

3.1　不同能量水平对泌乳期云南半细毛羊能量利用率的影响

饲粮代谢能水平是动物营养饲粮价值评定的重要指标[12]。本研究根据饲粮配方各成分含量,采用预测方程计算的方法,配制 5 种不同代谢能水平的饲粮。本研究结果显示,分别饲喂 5 种不同代谢能水平饲粮的泌乳期云南半细毛羊日均代谢能摄入量分别为 17.71(Ⅰ组)、16.45(Ⅱ组)、13.60(Ⅲ组)、16.61(Ⅳ组)和 19.25 MJ/d(Ⅴ组)。各组日均代谢能摄入量没有随着饲粮代谢能水平的增加而增加,却与干物质采食量的变化趋势相近。这可能是由于各组饲粮能量在精、粗料中的配比不同,而动物趋于偏好采食能量高的组分,造成试验羊对精、粗料采食的比例不符合试验设计的精、粗料比例,导致各组试验羊的采食量差异,最终对各组日均代谢能摄入量造成影响。有研究表明,动物摄入的能量越高,相应的粪能也越高[13]。在本研究中Ⅰ组母羊在泌乳前期、中期和后期摄入的总能在同期中均为最高,分别为28.26,26.11 和 28.66 MJ/d;其粪能也相应的为最高,分别为 7.99、9.37 和 9.12 MJ/d。但其他组的粪能并没有随着摄入总能的升高而升高,这可能是由于本研究中饲粮的粗料(玉米青贮、小黑麦全株和小麦秸)搭配组成差异较大所导致。反刍动物的粪能损失一般在 20%~50%,是饲粮能量代谢损耗中的最大部分[14]。有研究报道,生长期杜泊公羊粪能损失为 36.93%,母羊粪能损失为 38.41%[15];藏绵羊粪能损失平均值为 31.63%[16]。在本研究中,云南半细毛羊泌乳、中期和后期的粪能损失分别为 17.98%~28.87%、27.48%~35.88%和22.02%~31.82%。楼灿等[17]研究发现,不同饲养水平杜寒杂交母羊泌乳前期、中期和后期的粪能损失分别为 23.29%~39.51%、26.37%~38.93%和32.27%~38.57%,本研究各期结果均低于该水平,其中泌乳前期和后期特别明显。反刍动物的尿能损失一般为 4%~5%[14],Sutter 等[18]研究结果表明,尿能并不随着摄入能量的增加而升高,这与本研究结果一致。楼灿等[17]研究发现,杜寒杂交母羊泌乳前

期、中期和后期尿能损失分别为 3.28%～3.54%、3.27%～3.52%和 2.29%～2.53%。本研究中,云南半细毛羊泌乳前期、中期和后期尿能损失分别为 0.81%～1.31%、1.12%～1.62%和 1.33%～2.04%,低于楼灿等[17]的研究结果,并且结果显示,泌乳前期、中期和后期的尿能损失呈升高趋势。

杜飞[19]研究发现,萨福克×阿勒泰杂交母羊生长期的总能消化率、总能代谢率与消化能代谢率分别为 69.17%～74.39%、55.82%～64.46%、80.72%～85.67%;胡秀芝等[20]的研究结果表明陕北白绒山羊泌乳母羊的总能消化率、总能代谢率与消化能代谢率分别为 56.14%、47.29%、84.24%。本试验结果基本处于其范围内。在本试验条件下,云南半细毛羊泌乳前期、中期和后期的总能消化率分别为 71.13%～82.02%、64.12%～72.52%和 68.18%～77.98%,总能代谢率分别为 61.84%～72.46%、55.22%～63.23%和 58.87%～68.15%,消化能代谢率分别为 86.95%～88.32%、86.11%～87.17%和 86.01%～87.38%。这 3 个指标在泌乳前期均为最高,这可能是为满足羔羊前期高速生长发育的营养需求,母羊对能量的吸收效率也随之升高,这与欧阳依娜等[21]的研究发现相符合。

有研究表明,乳能主要受摄入总能的影响,特别是泌乳前期[18]。本研究结果表明,乳能受摄入总能的影响不大,这可能是由于云南半细毛羊泌乳母所羊摄入总能已经能满足其营养需求和泌乳需要。本研究中,云南半细毛羊泌乳前期、中期和后期乳能分别为 1.63～2.02 MJ/d、1.58～1.91 MJ/d和 1.42～1.58 MJ/d,呈下降趋势,这与马铁伟[22]和崔璨[23]报道的乳能变化趋势一致。

3.2 不同能量水平对泌乳期云南半细毛羊营养物质表观消化率的影响

摄入能量的表观消化率反映了动物对摄入饲粮消化能力[24]。Merchen 等[25]研究表明,绵羊的能量表观消化率随饲喂水平升高而显著降低,与本研究结果不一致。这可能是因为各组饲粮配方中的粗饲料组成不同,影响了能量的表观消化率。粗蛋白质表观消化率是衡量动物蛋白质吸收的一个重要指标。有关不同能量水平饲粮对泌乳期绵羊粗蛋白质消化代谢影响的相关报道较少。Oddy 等[26]研究表明,饲喂不同蛋白质水平饲粮的妊娠期美利奴羊妊娠前期、中期和后期粗蛋白质表观消化率分别为 55.44%、65.39%和 66.75%。在本研究中,云南半细毛羊泌乳前期、中期和后期的粗蛋白质表观消化率分别为 73.40%～81.68%、69.31%～75.82%和 73.39%～81.36%,均高于 Oddy 等[26]的研究结果,可能主要是由于泌乳期母羊对蛋白质需求更多所致。张少丰[27]研究显示,饲喂水平对肉用绵羊粗蛋白质表观消化率没有显著影响,这与本研究结果一致。纤维是反刍动物饲粮的重要组成,同时促进其他营养物质的消化吸收,其中的中性洗涤纤维和酸性洗涤纤维直接影响饲粮的消化效率。楼灿等[17]研究发现,不同饲喂水平的杜寒杂交母羊泌乳 20、50 和 80 d 的中性洗涤纤维表观消化率分别为 39.55%～49.35%、35.17%～43.07%和 31.22%～37.75%;酸性洗涤纤维表观消化率分别为 33.39%～42.48%、32.80%～38.02%和 30.86%～35.86%。在本研究中,云南半细毛羊泌乳前期、中期和后期的中性洗涤纤维表观消化率分别为 54.88%～68.67%、48.89%～58.97%和 57.40%～67.70%;酸性洗涤纤维表观消化率分别为 53.58%～67.86%、46.53%～57.53%和 53.52%～64.86%,各泌乳阶段均明显高于楼灿等[17]的研究结果。这可能是因为本试验所用饲粮精粗比(45∶55)较小,中性洗涤纤维等纤维性成分消化速度慢,饲粮存留瘤胃时间变长所致。

3.3 泌乳期云南半细毛羊的代谢能需要量

饲粮能量水平在一定程度上决定了蛋白质、脂肪以及其他营养物质甚至是饲粮的消耗量,从而影响动物体对营养物质的吸收,最终影响动物的生长和健康,因此云南半细毛羊的能量需要量对生产活动的指导具有重要意义。Garrett 等[28]的研究表明,绵羊每天代谢能维持需要量为 259.41 kJ/kg $W^{0.75}$。楼灿等[17]研究表明,杜寒杂交肉用绵羊泌乳 20、50、80 d 的代谢能维持需要量分别是 0.327、0.320 和 0.362 MJ/kg $W^{0.75}$。本研究采用回归法得出,云南半细毛羊泌乳前期、中期和后期的代谢能维持需要量分别为 0.872、0.733 和 0.856 MJ/kg $W^{0.75}$,各泌乳期均明显高于楼灿等[17]的研究结果。这可能是因为 2 个研究的试验羊品种、体重、饲喂水平和饲喂环境不同所致。我国《肉羊饲养标准》[29]给出的日泌乳量 1 kg,40、50 和 60 kg 的泌乳期绵羊的代谢能需要量分别为 18.83、20.50 和 21.76 MJ/d。在本研究中,云南半细毛羊按日泌乳量 1 kg、平均日增重 0 g/d 进行回归计算得出,40、50 和 60 kg 的泌乳前期的代谢能

需要量分别为 16.82、19.35 和 21.75 MJ/d;泌乳中期的代谢能需要量分别为 14.30、16.42 和 18.44 MJ/d;泌乳后期的代谢能需要量分别为 17.38、19.86 和 22.22 MJ/d,其中泌乳前期和后期的代谢能需要量与我国《肉羊饲养标准》[29]相一致,而泌乳中期的代谢能需要量明显小于该标准。这可能是由于泌乳前期母羊为满足羔羊快速生长发育的需要,对能量摄入有较高的要求。到泌乳中期,羔羊由吮吸母乳逐渐过度到采食饲粮,母羊对能量的需求也相应降低。泌乳后期,母羊为保证体况的恢复,对能量的需求又重新增加。NRC(2007)[30]显示,绵羊每生产 1 kg 常乳需要 5.333 MJ的代谢能。杨在宾等[31]研究表明,大尾寒羊每生产 1 kg 常乳需要 11.85 MJ 的代谢能;胡秀芝等[20]研究显示,陕北白绒山羊每生产 1 kg 常乳需要 6.38 MJ 的代谢能。本研究使用回归法得到泌乳前期、中期和后期云南半细毛羊每生产1 kg 常乳所需要的代谢能分别为 3.822、3.375 和 4.624 MJ。上述研究结果与本研究结果差别较大,这些差异可能主要是受到品种因素、饲喂水平、生理阶段以及环境因素的影响造成。另外,该研究结果还受到回归法自身局限性的影响。

4　结　论

① 在本研究结果显示,云南半细毛羊泌乳前期对代谢能的需要量最高,其次为泌乳后期,泌乳中期最低。

② 通过回归分析得出,泌乳前期云南半细毛羊的维持代谢能需要量为 0.872 MJ/kg $W^{0.75}$,每产 1 kg 常乳的代谢能需要量为 3.822 MJ;泌乳中期云南半细毛羊的维持代谢能需要量为 0.733 MJ/kg $W^{0.75}$,每产 1 kg 常乳的代谢能需要量为 3.375 MJ;泌乳后期云南半细毛羊的维持代谢能需要量为 0.856 MJ/kg $W^{0.75}$,每产 1 kg 常乳的代谢能需要量为 4.624 MJ。40、50 和 60 kg 的云南半细毛羊,日泌乳量 1 kg、无体重变化情况下,泌乳前期的代谢能需要量分别为 16.82、19.35 和 21.75 MJ/d;泌乳中期的代谢能需要量分别为 14.30、16.42 和 18.44 MJ/d;泌乳后期的代谢能需要量分别为 17.38、19.86 和 22.22 MJ/d。

参考文献:

[1] 王文华.云南半细毛羊保种与利用[J].云南畜牧兽医,2009(增刊 1):42-43.
WANG W H. Conservation and utilization of *Yunnan* semi-fine wool sheep[J]. *Yunnan* Journal of Animal Science and Veterinary Medicine, 2009 (Suppl.1): 42-43. (in Chinese)

[2] HADDAD S G, HUSEIN M Q. Effect of dietary energy density on growth performance and slaughtering characteristics of fattening Awassi lambs[J]. Livestock Production Science, 2004, 87(2/3): 171-177.

[3] SIBANDA L M. Studies on the productivity and nutrition of the Matabele goat[D]. Ph. D. Thesis. Reading: University of Reading, 1992.

[4] ADOGLA-BESSA T, AGANGA A A. Milk production of Tswana goats fed diets containing different levels of energy[J]. South African Journal of Animal Science, 2000, 30(1): 77-81.

[5] SIBANDA L M, NDLOVU L R, BRYANT M J. Effects of a low plane of nutrition during pregnancy and lactation on the performance of Matebele does and their kids[J]. Small Ruminant Research, 1999, 32(3): 243-250.

[6] GLUCKMAN P D, CUTFIELD W, HOFMAN P, et al. The fetal, neonatal, and infant environments-the long-term consequences for disease risk[J]. Early Human Development, 2005, 81(1): 51-59.

[7] 许会芬,罗军,朱越,等.日粮中不同能量和蛋白水平对西农萨能羊泌乳量、乳成分及血浆生化指标的影响[J].黑龙江畜牧兽医,2013(1):1-4.
XU H F, LUO J, ZHU Y, et al. Effects of different energy and protein levels in the diets on the amount of lactation, milk composition and plasma biochemical indices of *Xinong* Saanen dairy goats[J]. Heilongjiang Animal Science and Veterinary Medicine, 2013(1): 1-4. (in Chinese)

[8] 武渝瀚,薛白,洪琼花,等.空怀期云南半细毛羊能量需要量研究[J].动物营养学报,2020,32(3):1256-1261.
WU Y H, XUE B, HONG Q H, et al. Energy requirements of *Yunnan* semi-fine wool sheep during barren period[J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2020, 32(3): 1256-1261. (in Chinese)

[9] 武渝瀚,薛白,洪琼花,等.妊娠期云南半细毛羊能量需要量[J].动物营养学报,2020,32(6):2738-2746.
WU Y H, XUE B, HONG Q H, et al. Energy requirements of *Yunnan* semi-fine wool sheep during pregnancy period[J]. Chinese Journal of Animal Nutri-

tion,2020,32(6):2738-2746.(in Chinese)

[10] 杨胜.饲料分析及饲料质量检测技术[M].北京:北京农业大学出版社,1993.
YANG S. Feed analysis and feed quality detection technology[M]. Beijing: Beijing Agricultural University Press,1993.(in Chinese)

[11] BLAXTER K L,CLAPPERTON J L.Prediction of the amount of methane produced by ruminants[J]. The British Journal of Nutrition,1965,19(4):511-522.

[12] 杨凤.动物营养与饲料科学[M].北京:中国农业出版,1993.
YANG F.Animal nutrition and feed science[M].Beijing:China Agricultural Press,1993.(in Chinese)

[13] TYRRELL H F,MOE P W.Effect of intake on digestive efficiency[J].Journal of Dairy Science,1975,58(8):1151-1163.

[14] 臧彦全.生长期波杂肉羊能量和蛋白质营养需要的研究[D].硕士学位论文.北京:中国农业科学院,2003.
ZANG Y Q.The studies on the energy and protein requirements of growing crossbred Boer goats[D].Master's Thesis.Beijing:Chinese Academy of Agricultural Sciences,2003.(in Chinese)

[15] 赵敏孟.杜泊羊生长期能量代谢规律及需要量研究[D].硕士学位论文.泰安:山东农业大学,2013.
ZHAO M M. Study on energy metabolic pattern and energy requirement of growing Dorper sheep[D]. Master's Thesis.Taian:Shandong Agricultural University,2013.(in Chinese)

[16] 张海容.不同精料补饲水平对藏绵羊生产性能和消化代谢影响的研究[J].畜牧与兽医,2009,41(8):24-28.
ZHANG H R.Effects of different concentrate supplement levels on the performance,digestion and metabolism in the Tibetan sheep[J].Animal Husbandry & Veterinary Medicine,2009,41(8):24-28.(in Chinese)

[17] 楼灿,邓凯东,姜成钢,等.饲养水平对肉用绵羊空怀期和哺乳期能量代谢平衡的影响[J].中国农业科学,2016,49(5):988-997.
LOU C,DENG K D,JIANG C G,et al.Effects of different feeding levels on energy metabolism balance of meat ewes during non-pregnancy and lactation[J]. Scientia Agricultura Sinica,2016,49(5):988-997.(in Chinese)

[18] SUTTER F,BEEVER D E.Energy and nitrogen metabolism in Holstein-Friesian cows during early lactation[J].Animal Science,2016,70(3):503-514.

[19] 杜飞.20-35 kg 萨福克×阿勒泰杂交母羊能量需要量的研究[D].硕士学位论文.武汉:华中农业大学,2012.
DU F.Study on energy requirement of Suffolk×Altay crossbred ewes at 20-35 kg[D].Master's Thesis.Wuhan:Huazhong Agricultural University,2012.(in Chinese)

[20] 胡秀芝,王惠,周利勇,等.陕北白绒山羊泌乳期能量需要量研究[J].家畜生态学报,2013,34(4):25-32.
HU X Z,WANG H,ZHOU L Y,et al.Study on energy requirement for lactating *Shanbei* white cashmere goat[J].Acta Ecologae Animalis Domastici,2013,34(4):25-32.(in Chinese)

[21] 欧阳依娜,李银江,李卫娟,等.不同钙水平日粮对云南半细毛羊泌乳期能量代谢的影响[J].中国畜牧兽医,2020,47(2):416-424.
OUYANG Y N,LI Y J,LI W J,et al.Effects of different dietary calcium levels on energy metabolism of *Yunnan* semi-fine wool sheep during lactation[J].China Animal Husbandry & Veterinary Medicine,2020,47(2):416-424.(in Chinese)

[22] 马铁伟.杜湖杂交羊妊娠期和哺乳期能量和蛋白质维持需要量的研究[D].硕士学位论文.南京:南京农业大学,2016.
MA T W.Study on energy and protein requirements for maintenance of Doper sheep and *Hu* sheep hybrid ewes during pregnancy and lactation[D].Master's Thesis.Nanjing:Nanjing Agricultural University,2016.(in Chinese)

[23] 崔璨.杜蒙 F1 杂交肉用绵羊妊娠期与哺乳期能量和蛋白质需要量的研究[D].硕士学位论文.呼和浩特:内蒙古农业大学,2017.
CUI C.Energy and protein requirements for pregnancy and lactation of Dorper×Mongolia crossbred ewes[D].Master's Thesis.Hohhot:Inner Mongolia Agricultural University,2017.(in Chinese)

[24] 许贵善,刁其玉,纪守坤,等.不同饲喂水平对肉用绵羊能量与蛋白质消化代谢的影响[J].中国畜牧杂志,2012,48(17):40-44.
XU G S,DIAO Q Y,JI S K,et al.Effects of different feeding levels on energy and protein digestion and metabolism of mutton sheep[J].Chinese Journal of Animal Science,2012,48(17):40-44.(in Chinese)

[25] MERCHEN N R,FIRKINS J L,BERGER L L.Effect of intake and forage level on ruminal turnover rates,

bacterial protein synthesis and duodenal amino acid flows in sheep[J]. Journal of Animal Science, 1986, 62(1):216-225.

[26] ODDY V H, GOODEN J M, ANNISON E F. Partitioning of nutrients in Merino ewes. I. Contribution of skeletal muscle, the pregnant uterus and the lactating mammary gland to total energy expenditure[J]. Australian Journal of Biological Sciences, 1984, 37(5/6):375-388.

[27] 张少丰.肉用绵羊妊娠期和哺乳期能量及蛋白质需要量的研究[D].硕士学位论文.武汉:华中农业大学,2015.
ZHANG S F. Energy and protein requirements for pregnancy and lactation on meat sheep[D]. Master's Thesis. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2015.(in Chinese)

[28] GARRETT W N, MEYER J H, LOFGREEN G P. The comparative energy requirements of sheep and cattle for maintenance and gain[J]. Journal of Animal Science, 1959, 18(2):528-547.

[29] 中华人民共和国农业部.肉羊饲养标准:NY/T 816—2004[S].北京:中国农业出版社,2004.
The Ministry of Agriculture of the People's Republic of China. Feeding standard of meat-producing sheep and goats: NY/T 816—2004[S]. Beijing: China Agriculture Press, 2004.(in Chinese)

[30] NRC. Nutrient requirements of small ruminants[M]. Washington, D.C.: National Academies Press, 2007.

[31] 杨在宾,李凤双,张崇玉,等.大尾寒羊泌乳期母羊能量需要量及其代谢规律研究[J].中国养羊,1994(3):18-21.
YANG Z B, LI F S, ZHANG C Y, et al. The energy requirement for lactation and metabolic rule for fat-tail sheep[J]. China Sheep & Goat Farming, 1994(3):18-21.(in Chinese)

Study on Energy Requirement of *Yunnan* Semi-Fine Wool Sheep during Lactation

LIANG Jiachong[1] LI Yinjiang[1] WANG Siyu[1] XUE Bai[2] HONG Qionghua[1*]

(1. *Yunnan Animal Science and Veterinary Institute*, *Kunming* 650224, *China*; 2. *Animal Nutrition Institute*, *Sichuan Agricultural University*, *Chengdu* 611130, *China*)

Abstract: This experiment was conducted to investigate the energy requirement of *Yunnan* semi-fine wool sheep during lactation, and to provide reference for establishing feeding standard and breeding theory of *Yunnan* semi-fine wool sheep. Twenty-five *Yunnan* semi-fine wool sheep with similar body condition and two pregnancies were randomly divided into 5 groups with 5 sheep each group. The metabolizable energy (ME) levels of experimental diets in the 5 groups were 8.05 (group Ⅰ), 8.51 (group Ⅱ), 9.03 (group Ⅲ), 9.52 (group Ⅳ) and 10.00 MJ/kg (group Ⅴ), respectively, and the other nutrient levels in the diet were consistent. The feeding experiment period was 90 days, which concluded 14 days of pre-trial period and 90 days of formal trial period. The lambing day was the starting point of formal trial period, the 1st to 30th day was the pre-lactation, the 31st to 60th day was the mid-lactation, and the 61st to 90th was the late-lactation. The results showed as follows: 1) in the gross energy digestibility, gross energy metabolism rate and digestible energy metabolism rate of *Yunnan* semi-fine wool sheep during lactation, the pre-lactation was the highest, followed by the late-lactation. 2) In lactation, the relationship between ME and metabolic weight ($W^{0.75}$), average daily gain (ADG) and milk yield (MY) of *Yunnan* semi-fine wool sheep were: pre-lactation, $ME = 0.872W^{0.75} + 0.009ADG + 2.950MY$ ($R^2 = 0.987$); mid-lactation, $ME = 0.733W^{0.75} - 0.000\ 9ADG + 2.642MY$ ($R^2 = 0.996$); late-lactation, $ME = 0.856W^{0.75} - 0.011ADG + 3.768MY$ ($R^2 = 0.992$). According to the regression equations, the maintenance ME requirements of *Yunnan* semi-fine wool sheep in the pre-lactation, mid-lactation and late-lactation were 0.872, 0.733 and 0.856 MJ/kg $W^{0.75}$, respectively; the ME requirements per 1 kg of MY were 3.822, 3.375 and 4.624 MJ, respectively. The ME requirements of 40, 50 and 60 kg *Yunnan* semi-fine wool sheep with per 1 kg of MY and no weight change were 16.82, 19.35 and 21.75 MJ/d in the pre-lactation, respectively; 14.30, 16.42 and 18.44 MJ/d in the mid-lactation, respectively; 17.38, 19.86 and 22.22 MJ/d in the late-lactation, respectively. [***Chinese Journal of Animal Nutrition***, **2022**, **34**(**3**): **1694-1708**]

Key words: *Yunnan* semi-fine wool sheep; lactation; energy metabolism; energy requirement

* Corresponding author, professor, E-mail: yxh7168@126.com

(责任编辑 管景颖)