



## 饲料中 2-羟基-4-甲硫基丁酸异丙酯添加水平对 哺乳期山羊生长性能及氨基酸代谢的影响

李录明,张恩平,高亚伟,李金朋

(西北农林科技大学 动物科技学院,陕西杨凌 712100)

**摘要** 旨在研究饲料中 2-羟基-4-甲硫基丁酸异丙酯(HMBi)添加水平对哺乳期山羊生长性能及氨基酸代谢的影响,为 HMBi 在山羊日粮中的添加应用提供理论参考。将 27 只健康、体质量相近( $49.79 \pm 1.86$  kg)且均产单羔的哺乳期陕北白绒山羊随机分为 3 组,对照组饲喂基础日粮,试验组在基础日粮中分别添加 2% 和 4% 的 HMBi,试验期为 60 d。测定各组羊试验期平均日增加体质量(ADG)、乳成分、血液生化指标、血浆游离氨基酸质量浓度和乳水解氨基酸质量分数。结果表明:添加 HMBi 能够减轻哺乳期母羊体质量损失,2% 组山羊哺乳期 ADG 显著高于对照组( $P < 0.05$ )。对照组羊乳脂质量分数显著低于 2% 组( $P < 0.05$ ),极显著低于 4% 组( $P < 0.01$ );对照组羊乳糖质量分数显著高于 2% 组( $P < 0.05$ ),显著低于 4% 组( $P < 0.05$ );对照组羊乳蛋白、乳中总固形物和乳中非脂固形物质量分数均极显著低于 2% 组和 4% 组( $P < 0.01$ );2% 组羊乳蛋白和乳中非脂固形物质量分数极显著高于 4% 组( $P < 0.01$ ),乳糖和乳中总固形物质量分数极显著低于 4% 组( $P < 0.01$ )。试验第 60 天,4% 组山羊血清尿素氮(BUN)浓度显著低于对照组( $P < 0.05$ ),血浆 Met 质量浓度显著高于对照组( $P < 0.05$ );2% 组山羊血浆 Thr、Val 和 Leu 质量浓度显著高于 4% 组和对对照组( $P < 0.05$ ),血浆 Lys 质量浓度极显著高于对照组( $P < 0.01$ )。试验山羊乳中 Met、必需氨基酸和总氨基酸质量分数随 HMBi 添加水平的提高有增加趋势,但各组之间差异不显著( $P > 0.05$ )。综上所述,哺乳期山羊饲料中添加 HMBi 能够减轻山羊哺乳期体质量损失,改善山羊血清生化指标,提高山羊乳成分质量分数和血浆 Met 质量浓度;哺乳期山羊饲料中 2% HMBi 的添加效果优于 4%。

**关键词** 山羊;2-羟基-4-甲硫基丁酸异丙酯;生长性能;氨基酸代谢。

**中图分类号** S827

**文献标志码** A

**文章编号** 1004-1389(2018)12-1745-09

泌乳期是动物重要的一个生理时期,动物机体的营养分配和新陈代谢随泌乳的开始发生显著变化,以满足泌乳的需要<sup>[1]</sup>。泌乳期合理的营养,对提高母羊泌乳性能,保证羔羊正常生长发育;防止母羊泌乳期体质量损失,促进母羊发情,提高繁殖性能具有重要作用。反刍动物瘤胃内的可利用蛋白质进入皱胃和小肠,被消化分解为氨基酸和小肽后才能被动物组织吸收利用<sup>[2]</sup>。因此,蛋白质营养的核心和实质是氨基酸营养<sup>[3]</sup>。利用反刍动物蛋白质营养的特点,通过对可吸收限制性氨基酸的调控来降低日粮中蛋白质饲料的用量,是节约蛋白质饲料的有效途径之一<sup>[4]</sup>。蛋氨酸(Methionine, Met)是动物生长发育的必需氨基

酸之一,在以植物性蛋白质饲料为主的日粮中, Met 是反刍动物的第一限制性氨基酸。适量增加小肠 Met 的数量可提高反刍动物生产性能<sup>[5]</sup>,但日粮中直接添加 Met 会受到瘤胃微生物降解而降低有效利用率,通过蛋氨酸过瘤胃保护的方法可提高小肠 Met 数量、平衡氨基酸营养<sup>[6]</sup>。美斯特是一种应用比较成熟的过瘤胃蛋氨酸产品,其化学组成为 2-羟基-4-甲硫基丁酸异丙酯[2-hydroxy-4-(methylthio) butanoic acid isopropyl ester, HMBi]。HMBi 能够通过瘤胃壁被快速吸收并经肝脏转化为 Met 供反刍动物利用,从而避免瘤胃微生物的降解。部分 HMBi 还可以在瘤胃内被微生物降解为 HMB 起到促进瘤胃发酵的功

收稿日期:2018-04-28 修回日期:2018-06-06

基金项目:陕西省重点研发计划项目(2017TSCXL-NY-04-02);陕西省农业科技创新转化项目(NYKJ-2016-04)。

第一作者:李录明,男,硕士研究生,研究方向为动物营养与饲料科学。E-mail: liluming5060@126.com

通信作者:张恩平,男,教授,研究方向为动物营养与饲料科学。E-mail: zep126@126.com

效。HMBi 已经被开发为一种具有较高生物学价值的 Met 添加剂,为动物提供充足的 Met<sup>[7]</sup>。研究报道在日粮中添加 HMBi 能够提高养殖动物的生长性能和经济效益,Han 等<sup>[6]</sup>发现肉牛日粮中添加 HMBi 可提高肉牛总增加体质量和日增加体质量。Stpierre 等<sup>[8]</sup>研究发现,日粮中添加 HMBi 能够提高荷斯坦奶牛的产奶量、乳蛋白和乳脂质量分数。目前,中国绒肉用羊营养需要的研究主要集中在生长期和育肥期<sup>[9]</sup>,对于哺乳期的营养需要研究较少。此外,HMBi 在反刍动物上的研究与应用主要集中在奶牛上,鲜见在山羊上的饲喂效果及其作用机制方面的研究报道。因此,本试验在哺乳期陕北白绒山羊日粮中添加不同水平 HMBi,研究其对泌乳期山羊生长性能、乳成分、血清生化指标、血浆和羊乳氨基酸的影响,为 HMBi 在羊日粮中添加应用提供理论参考。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验动物

选取体质量相近、健康的经产陕北白绒山羊空怀母羊 50 只,进行同期发情处理并配种,分娩后选取 27 只平均体质量为(49.79±1.86) kg、分娩日期接近且均产单羔的陕北白绒山羊作为试验动物。

### 1.2 试验设计与处理

采用单因素试验设计,将试验母羊随机分为 3 组,每组 3 个重复,每个重复 3 只羊。对照组饲

喂基础日粮,2 个试验组分别饲喂在基础日粮中添加质量分数为 2% 和 4% HMBi 的饲粮。基础日粮配制参考 NRC(1981)山羊饲养标准配制,主要原料组成及营养水平见表 1。试验饲粮制成颗粒饲料饲喂。所使用 HMBi 来源于过瘤胃蛋氨酸产品美斯特(Metasmart),由安迪苏生命科学制品(上海)有限公司提供,HMBi 质量分数≥57%,与蛋氨酸的换算值为 39%。

### 1.3 饲养管理

本试验在陕西省榆林市横山区陕北白绒山羊原种场进行。试验羊在试验前免疫注射多联必应、山羊痘、山羊传染性胸膜肺炎和小反刍兽疫疫苗。预试期 10 d,正试期 60 d,以重复(3 只羊为一圈)为单元分圈饲养,试验羊分别于每天 8:00 和 17:00 分 2 次按每天每只 1.2 kg 定量饲喂相应饲粮,自由饮水。

### 1.4 测定指标及方法

1.4.1 生长性能 试验羊每隔 30 d 于晨饲前空腹称量体质量,根据初始体质量、结束体质量计算平均日增加体质量(ADG)。

1.4.2 乳成分和乳中氨基酸 试验羊每隔 10 d 采集乳样 10 mL,于-20℃保存,将同只羊 6 次乳样混合均匀后分为 2 份,一份用于测定乳成分,另一份用于测定乳水解氨基酸质量分数。测试仪器分别为 FT120 乳成分分析仪(FOSS 公司)和日立 L-8900 氨基酸分析仪。

表 1 基础日粮组成及营养水平(干物质基础)

Table 1 Composition and nutrient level of basal diets (dry matter basis)

项目 Item	质量分数 Mass fraction	营养水平 Nutrient levels	数值 Data
原料 Ingredients		代谢能/(MJ/kg) Metabolic energy	7.65
玉米 Corn	35.55	粗蛋白质/% Crude protein	9.01
小麦麸 Wheat bran	7.00	粗脂肪/% Ether exteact	2.08
豆粕 Soybean meal	3.50	粗纤维/% Crude fiber	20.73
玉米秸秆 Corn stover	50.00	钙/% Ca	0.70
石粉 Limestone	1.15	磷/% P	0.40
碳酸氢钙 Ca(HCO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	1.30		
食盐 NaCl	0.50		
预混料 Premix	1.00		
合计 Total	100.00		

注:预混料为每千克饲粮提供:VA 600 000 IU,VD<sub>3</sub> 200 000 IU,VE 2000 IU,Fe 15 g,Zn 15 g,Cu 4.5 g,I 200 mg,Mn 10 g;代谢能为计算值,其他均为实测值。

Note:The premix provided the following per kg of diets:VA 600 000 IU,VD<sub>3</sub> 200 000 IU,VE 2000 IU,Fe 15 g,Zn 15 g,Cu 4.5 g,I 200 mg,Mn 10 g;metabolic energy is the calculated value,the other values are measured.

1.4.3 血液指标 试验开始(第 1 天)和试验结束(第 60 天)晨饲前,每只羊颈静脉采血 20 mL,分置于未做抗凝处理和含抗凝剂(肝素)的采血管中(各 10 mL)。

未做抗凝处理血液静置 30 min 凝血后 3 000 r/min 离心 15 min,取上层血清,于-20 ℃保存,送杨凌示范区医院测定血清尿素氮(Urea nitrogen, BUN)、血清葡萄糖(Glucose, GLU)和甘油三酯(Triglycerides, TG)浓度。

抗凝剂(肝素)处理血液 3 000 r/min 离心 15 min,分离血浆,于-20 ℃保存,用于测定血浆游离氨基酸(Plasma Free Amino Acids, PFAA)质量浓度。测试仪器为 A300 氨基酸分析仪(德国曼默博尔公司)。

## 1.5 数据处理

试验数据经 Excel 2007 初步整理后,采用 SPSS 17.0 进行单因素方差分析(one-way ANOVA),多重比较采用 Duncan's 法,结果用“平均数±标准差”表示, $P < 0.05$  为差异显著, $P < 0.01$  为差异极显著。

## 2 结果与分析

### 2.1 HMBi 添加水平对山羊生长性能的影响

试验羊试验期体质量测定结果见表 2。由表 2 可知,3 组试验羊哺乳期均出现体质量减轻现象,2% 组羊体质量损失量最小(4.58 kg),对照组最大(6.19 kg);2% 组羊试验期 ADG 显著高于对照组( $P < 0.05$ )。

表 2 不同处理组山羊生长性能测定结果

Table 2 Measurement results of growth performance of goats in different groups

项目 Item	HMBi 添加水平 HMBi supplement level			P 值 P value
	0%	2%	4%	
初始体质量/kg Initial body mass	49.27±2.19	50.93±0.56	49.16±2.41	0.49
结束体质量/kg Final body mass	43.08±1.48	46.35±0.93	43.51±2.61	0.13
平均日增体质量/(g/d) ADG	-103.24±12.65 a	-76.48±7.94 b	-94.16±6.61 ab	0.03

注:同行数据无标或标相同字母表示差异不显著( $P > 0.05$ ),不同小写字母表示差异显著( $P < 0.05$ ),不同大写字母表示差异极显著( $P < 0.01$ ),下同。

Note: In the same row, values with no letter or the same letter superscripts means no significant difference ( $P > 0.05$ ), while with different lowercase letter superscripts mean significant difference ( $P < 0.05$ ), and with different capital letter superscripts mean significant difference ( $P < 0.01$ ), the same below.

### 2.2 HMBi 添加水平对山羊乳成分的影响

试验羊乳成分测定结果见表 3。由表 3 可知,对照组羊乳脂质量分数显著低于 2% 组( $P < 0.05$ ),极显著低于 4% 组( $P < 0.01$ );对照组羊乳糖质量分数显著高于 2% 组( $P < 0.05$ ),显著低于 4% 组( $P < 0.05$ );对照组羊乳蛋白、乳中总

固形物和乳中非脂固形物质量分数极显著低于 2% 组和 4% 组( $P < 0.01$ );2% 组羊乳蛋白和乳中非脂固形物质量分数极显著高于 4% 组( $P < 0.01$ ),乳糖和乳中总固形物极质量分数显著低于 4% 组( $P < 0.01$ )。

表 3 不同处理组山羊乳成分测定结果

Table 3 Measurement results of milk composition of goats in different groups

项目 Item	HMBi 添加水平 HMBi supplemental level		
	0%	2%	4%
乳脂/% Milk fat	7.67±0.03 Aa	7.87±0.11 ABb	7.90±0.05 Bb
乳蛋白/% Milk protein	6.52±0.01 A	6.90±0.03 C	6.67±0.02 B
乳糖/% Lactose	4.37±0.03 ABb	4.32±0.03 Aa	4.44±0.02 Bc
总固形物/% Milk total solid	20.03±0.02 A	20.92±0.06 B	21.42±0.03 C
非脂固形物/% Solid not fat	12.32±0.03 A	12.95±0.03 C	12.53±0.02 B

### 2.3 HMBi 添加水平对山羊血清生化指标的影响

试验羊血清生化指标测定结果见表 4。由表 4 可知,试验第 60 天,4% 组羊血清 BUN 浓度显著低于对照组( $P < 0.05$ );2% 组和 4% 组羊血清 TG 浓度高于对照组,但差异不显著( $P > 0.05$ );各

处理组羊血清 GLU 浓度差异不显著( $P > 0.05$ )。

### 2.4 HMBi 添加水平对山羊血浆游离氨基酸的影响

试验羊血浆游离氨基酸质量浓度测定结果见表 5。由表 5 可知,试验第 60 天,试验羊血浆 Met

表 4 不同处理组山羊血清生化指标测定结果

Table 4 Measurement results of serum biochemical indices of goats in different groups

项目 Item	试验时间/d Test time	HMBi 添加水平 HMBi supplemental level			P 值 P value
		0%	2%	4%	
尿素氮/(mmol/L) BUN	1	4.91±0.31	5.03±0.36	5.02±0.31	0.87
	60	5.04±0.24 b	4.74±0.34 ab	4.25±0.19 a	0.02
葡萄糖/(mmol/L) GLU	1	2.34±0.44	2.16±0.10	2.31±0.26	0.75
	60	2.39±0.10	2.52±0.11	2.37±0.07	0.19
甘油三酯/(mmol/L) TG	1	0.21±0.03	0.24±0.03	0.27±0.03	0.21
	60	0.2±0.03	0.33±0.09	0.31±0.10	0.16

质量浓度随 HMBi 添加水平提高而增加,4% 组显著高于对照组和 2% 组 ( $P < 0.05$ ); 试验羊血浆 Lys、Thr、Val、Leu、Ile、His、Arg、Ser、Gly、Ala 和总游离氨基酸质量浓度随 HMBi 添加水平的提高呈先升高后降低趋势,其中 2% 组羊血浆 Lys 和 Thr 质量浓度极显著高于对照组 ( $P < 0.01$ ),2% 组羊血浆 Val 和 Leu 质量浓度显著高于对照组和 4% 组 ( $P < 0.05$ )。

2.5 HMBi 添加水平对山羊乳水解氨基酸的影响

试验羊乳中水解氨基酸质量分数测定结果见表 6。由表 6 可知,2% 组和 4% 组羊乳中 Met 质量分数比对照组分别提高了 0.016% 和 0.030% ( $P > 0.05$ ); 必需氨基酸质量分数比对照组分别提高了 0.093% 和 0.462% ( $P > 0.05$ ); 总氨基酸质量分数比对照组分别提高了 0.199% 和 0.996% ( $P > 0.05$ )。

表 5 不同处理组山羊血浆游离氨基酸测定结果

Table 5 Measurement results of free amino acids in plasma of goats in different groups

μg/mL

氨基酸 Amino acid	试验时间/d Test time	HMBi 添加水平 HMBi supplemental level		
		0%	2%	4%
蛋氨酸 Met	1	2.83±0.76	3.17±0.29	3.33±0.29
	60	3.83±0.58 a	4.50±1.32 a	6.50±1.80 b
赖氨酸 Lys	1	20.67±2.08	18.83±2.75	19.5±3.00
	60	21.00±0.50 A	23.60±1.00 B	22.33±1.04 AB
苏氨酸 Thr	1	8.33±0.58	9.67±2.08	8.33±1.04
	60	10.67±0.76 Aa	15.33±1.53 Bb	11.83±1.76 AaB
缬氨酸 Val	1	31.17±6.60	26.17±7.69	31.00±3.46
	60	33.83±6.75 a	43.83±1.61 b	32.00±2.29 a
亮氨酸 Leu	1	20.17±3.18	19.50±3.5	20.00±3.04
	60	21.00±4.58 a	32.50±6.61 b	24.83±2.08 a
异亮氨酸 Ile	1	12.67±1.26	12.33±3.21	11.00±3.50
	60	14.00±3.28	16.50±2.50	11.17±2.36
组氨酸 His	1	18.50±1.50	18.17±2.93	16.83±1.44
	60	16.83±1.76	19.33±1.53	17.83±1.53
苯丙氨酸 Phe	1	10.67±0.76	10.50±0.87	10.33±0.58
	60	9.50±1.32	12.33±4.54	12.17±0.58
精氨酸 Arg	1	24.00±2.18	22.17±1.53	24.67±2.25
	60	28.83±0.76	30.83±4.25	30.17±1.53
丝氨酸 Ser	1	21.83±4.65	18.83±2.57	17.17±0.76
	60	18.50±3.04	24.33±3.21	23.17±1.44
谷氨酰胺 Gln	1	14.67±0.76	15.83±5.13	16.67±1.26
	60	11.00±2.00	11.17±3.75	17.50±3.97
甘氨酸 Gly	1	44.67±5.77	44.83±4.19	43.83±5.20
	60	45.33±2.25	48.67±4.65	45.83±7.09
丙氨酸 Ala	1	33.17±0.29	29.83±1.61	30.17±1.61
	60	36.00±1.32	39.83±3.75	39.67±2.36
酪氨酸 Tyr	1	15.00±3.28	13.00±3.12	12.83±1.76
	60	16.67±2.89	19.50±3.50	21.17±4.75
脯氨酸 Pro	1	19.00±0.50	17.83±1.61	18.83±2.36
	60	18.33±4.31	18.50±6.50	23.33±1.53
总氨基酸 TAA	1	297.33±13.32	280.67±29.77	284.5±15.17
	60	304.33±15.89	362.17±31.26	339.5±21.74

表 6 不同处理组山羊乳水解氨基酸测定结果

Table 6 Measurement results of amino acids in milk of goats in different groups

%

氨基酸 Amino acid	HMBi 添加水平 HMBi supplemental level		
	0%	2%	4%
蛋氨酸 Met	0.165±0.016	0.181±0.006	0.195±0.014
赖氨酸 Lys	0.491±0.038	0.512±0.096	0.561±0.089
苏氨酸 Thr	0.294±0.027	0.320±0.068	0.336±0.054
缬氨酸 Val	0.410±0.026	0.402±0.062	0.466±0.066
亮氨酸 Leu	0.611±0.028	0.615±0.103	0.724±0.117
异亮氨酸 Ile	0.293±0.023	0.286±0.046	0.334±0.047
组氨酸 His	0.166±0.011	0.169±0.027	0.192±0.028
苯丙氨酸 Phe	0.233±0.016	0.252±0.051	0.273±0.034
精氨酸 Arg	0.197±0.022	0.208±0.045	0.230±0.033
必需氨基酸 EAA	2.854±0.185	2.947±0.475	3.316±0.487
天冬氨酸 Asp	0.460±0.040	0.480±0.097	0.531±0.081
丝氨酸 Ser	0.331±0.023	0.355±0.068	0.277±0.212
谷氨酰胺 Gln	1.262±0.088	1.280±0.206	1.476±0.203
甘氨酸 Gly	0.115±0.006	0.127±0.028	0.136±0.015
丙氨酸 Ala	0.220±0.028	0.221±0.048	0.250±0.042
半胱氨酸 Cys	0.028±0.015	0.026±0.013	0.027±0.008
酪氨酸 Tyr	0.256±0.023	0.264±0.054	0.298±0.037
脯氨酸 Pro	1.311±0.117	1.337±0.223	1.524±0.165
非必需氨基酸 NEAA	3.984±0.258	4.091±0.714	4.518±0.677
总氨基酸 TAA	6.838±0.438	7.037±1.190	7.834±1.154
支链氨基酸 BCAA	1.315±0.074	1.303±0.210	1.524±0.229

### 3 讨论

#### 3.1 HMBi 添加水平对山羊生长性能的影响

由于泌乳消耗和产后体质较弱等原因, 哺乳期动物往往处于能量负平衡状态, 机体通过加强自身脂肪动员来满足能量需要, 从而导致泌乳期动物体质量损失。Met 作为反刍动物限制性必需氨基酸, 对促进机体蛋白质合成具有重要作用。此外, Met 是动物体中重要的甲基供体, Met 腺苷化转变成 S-腺苷甲硫氨酸(SAM)可以为胆碱、卵磷脂的合成提供甲基基团<sup>[10]</sup>。胆碱可促进脂肪以磷脂的形式由肝脏通过血液输送出去, 或改善脂肪酸本身在肝脏中的利用。卵磷脂可以促进肝脏中脂蛋白的合成, 加速脂肪代谢。SAM 提供甲基基团后转变同型半胱氨酸, 同型半胱氨酸可通过转硫途径生成半胱氨酸, 半胱氨酸可生成牛磺酸<sup>[11]</sup>, 牛磺酸和胆汁酸在肝脏中结合生成牛磺胆酸盐, 从而促进脂质的吸收和胆固醇的消耗<sup>[12]</sup>, 促进动物机体脂肪沉积。Jacometo 等<sup>[13]</sup>研究发现, 在妊娠期奶牛日粮中添加 RPMet 可提高肝脏中 1-碳单位、Met 和转硫途径代谢中相关基因 mRNA 的表达丰度, 这项研究从基因表达方面验证了 Met 在动物体内生理功能。大量研究证明, 饲粮中添加 HMBi 可在一定程度上提高反刍动

物生长性能。Han 等<sup>[6]</sup>在肉牛日粮中添加 HMBi 饲喂, 发现每头每天 15 g 和 25 g 添加组的总增加体质量比对照组分别高 31.20% 和 54.80%, ADG 比对照组分别高 30.16% 和 53.97%。Mousaie 等<sup>[14]</sup>研究发现, 在妊娠期和哺乳期绵羊日粮中添加蛋氨酸铬(Cr-Met)可显著提高绵羊 ADG, 减轻绵羊妊娠期体质量损失。本研究表明, 饲粮添加 HMBi 能够减轻泌乳期山羊体质量损失, 提高 ADG, 这与 Mousaie 等<sup>[14]</sup>的研究结果一致。但本试验中 4% 组山羊 ADG 低于 2% 组, 这可能是由于过高水平的 HMBi 超出肝脏代谢能力, 抑制肝脏细胞合成蛋白质的功能, 导致动物蛋白质和氨基酸代谢紊乱, 进而影响动物生长发育。Abe 等<sup>[15]</sup>研究发现, 在 7 周龄荷斯坦公牛饲粮中添加过量的 DL-Met 显著降低了其 ADG、料重比和氮利用率。

#### 3.2 HMBi 添加水平对山羊乳成分的影响

乳蛋白主要是由乳腺组织摄取动脉血液游离氨基酸从头合成的, 其合成效率受限于血液中泌乳限制性氨基酸数量及乳蛋白氨基酸组成的影响。研究表明, Met 是山羊产奶的限制性氨基酸<sup>[16]</sup>。HMBi 可为反刍动物提供大量的 Met, 除作为合成乳蛋白的原料提高乳蛋白质量分数外, Met 还可以提供甲基基团, 促进肝脏中脂蛋白的

合成,脂蛋白可以加速肝中合成的甘油三脂(TG)向乳腺转运<sup>[17]</sup>,此外,Met 提供的甲基基团还参与胆碱的甲基化过程,胆碱是合成乳脂的限制性营养物质,从而提高乳脂质量分数。其次,HMBi 在瘤胃内一部分被瘤胃微生物降解为 HMB 和异丙醇,HMB 具有促进瘤胃发酵的功能。研究发现,HMB 也能提高乳脂质量分数和产奶量<sup>[18]</sup>。因此,日粮添加 HMBi 提高反刍动物泌乳性能可能是 HMBi 被瘤胃壁迅速吸收后转化为 Met 和在瘤胃内降解为 HMB 后共同作用的结果。Flores 等<sup>[19]</sup>在奶山羊日粮中每头添加 2.5 g/d 的 RPMet 显著提高了山羊产奶量、乳脂和乳蛋白质量分数。本研究发现,日粮添加 HMBi 提高了山羊乳蛋白、乳脂、总固形物和非脂总固形物质量分数。但 4% 组试验羊乳蛋白和乳中非脂总固形物质量分数低于 2% 组,这可能是添加过量 HMBi 导致小肠小肠氨基酸营养不平衡,造成蛋白质代谢紊乱,进而影响动物乳蛋白的合成。Titi<sup>[20]</sup>在泌乳初期山羊日粮中分别每头添加 0 g、2.5 g 和 5.0 g 的 RPMet,发现添加 RPMet 提高了山羊乳蛋白质量分数,且每头 2.5 g 添加组山羊乳蛋白质量分数显著高于每头 5.0 g 添加组的,这与本试验研究结果一致。

### 3.3 HMBi 添加水平对山羊血清生化指标的影响

血清 BUN 是动物组织蛋白质代谢的终产物,血清 BUN 水平可衡量动物体内蛋白质代谢和日粮氨基酸平衡状况<sup>[21]</sup>,当动物蛋白质的利用率高或者体内氨基酸平衡时,血清 BUN 浓度降低,反之则升高。反刍动物血清 BUN 浓度很容易受瘤胃内氨态氮(NH<sub>3</sub>-N)浓度和小肠可吸收氨基酸是否平衡等因素的影响<sup>[22]</sup>。张成喜等<sup>[23]</sup>研究发现,奶牛日粮中添加 RPMet 可提高瘤胃 NH<sub>3</sub>-N 利用率和 MCP 产量,减少氮排泄。陈傲东等<sup>[24]</sup>研究发现,在奶牛日粮中添加 RPMet 降低了血清 BUN 浓度。Baghbanzadeh-nobari 等<sup>[25]</sup>在奶山羊日粮中添加 HMBi 降低了山羊血清 BUN 浓度。本研究表明,添加 HMBi 能显著降低血清 BUN 浓度,这与上述研究结果一致。说明补饲 HMBi 在一定程度上可以增强机体蛋白质的合成代谢,与本试验添加 HMBi 提高山羊乳蛋白质量分数的试验结果相符合。

血清 GLU 和 TG 水平是反映动物体内糖脂代谢的重要指标。关于补充过瘤胃氨基酸对反刍

动物血清 GLU 和 TG 浓度的影响不尽一致。Fukumori 等<sup>[26]</sup>研究发现,在奶牛日粮中添加 RPMet 可提高血清 GLU 浓度。Baghbanzadeh-nobari 等<sup>[25]</sup>研究发现,在奶山羊日粮中添加 HMBi 可显著降低血清 GLU 和 TG 浓度。隋雁南等<sup>[27]</sup>研究发现,在泌乳期奶牛日粮中添加 N-羟甲基蛋氨酸钙对血清 GLU 浓度无显著影响。本研究发现,试验组山羊血清 TG 浓度有增高趋势,各处理组血清 GLU 浓度无明显差异,这可能与基础日粮组成的差异有关,本试验饲粮粗蛋白比例稍低于其他试验研究,添加 HMBi 增加的血液游离氨基酸可能主要用于体蛋白和乳蛋白的沉积,而很少用于糖异生途径。

### 3.4 HMBi 添加水平对山羊血浆和乳水解氨基酸的影响

血浆游离氨基酸水平是氨基酸在体内的合成与吸收、蛋白质的同化与异化之间的动态平衡<sup>[28]</sup>,可反映机体蛋白质代谢状况,评定饲料氨基酸的有效性,估测动物氨基酸的需要量<sup>[29]</sup>。Yang 等<sup>[30]</sup>研究发现,在奶牛日粮中添加 RPMet 可显著提高血浆 Met 质量浓度,降低血浆必需氨基酸(NEAA)、支链氨基酸(BCAA)和总氨基酸(TAA)质量浓度。Giallongo 等<sup>[31]</sup>研究发现,在高蛋白日粮中补充 RPMet 可提高奶牛血浆 Met 质量浓度,降低血浆 Asn、Gln、His、Ser、Ala、Lys 和 NEAA 质量浓度,对血浆 Glu、Thr 和 Pro 质量浓度无显著影响。Dalbach 等<sup>[32]</sup>在 8 只安装永久性肝脏门静脉、肝静脉和肠系膜静脉插管的荷斯坦奶牛日粮中添加 1.5 g/kg(干物质基础) HMBi,发现试验组奶牛血浆 Met 质量浓度显著高于对照组。本研究发现,试验羊血浆 Met 质量浓度随饲粮 HMBi 添加水平提高而增加,这可能是因为 HMBi 经瘤胃壁吸收后在肝脏内被直接被转化为 Met,进入血液从而提高血液游离 Met 质量浓度。但试验羊血浆 Lys、Thr、Val、Leu、Ile、His、Arg、Ser、Gly、Ala 和总游离氨基酸质量浓度随 HMBi 添加水平的提高呈先升高后降低的趋势,这可能是因为添加 4% HMBi 造成小肠氨基酸不平衡,而动物机体对动脉氨基酸的吸收量保持相对一致,保证泌乳和生长需要,导致静脉血液中其他游离氨基酸水平降低。

Met 是反刍动物泌乳的第一限制性氨基酸。孙华等<sup>[33]</sup>在奶牛日粮中添加 RPMet 后,发现除 Cys 质量分数降低 0.001% 外,牛奶其他氨基酸

质量分数均有不同程度的增加。本研究发现, 试验山羊乳中除 Val、Ile、Cys 和 Ser 质量分数相较于对照组有所降低外, 其他氨基酸质量分数均随饲料 HMBi 添加水平的提高有不同程度的增加。这是因为饲喂 HMBi 可提高血浆游离 Met 质量浓度, 进而提高乳腺组织摄取氨基酸合成乳蛋白的效率, 最终提高乳中氨基酸质量分数。但本试验中 4% 组山羊大多数种类血浆游离氨基酸质量浓度低于 2% 组, 与乳中氨基酸变化不同, 原因可能是乳腺组织从血液中摄取不同种类氨基酸的数量与比例并不与血液游离氨基酸的数量直接相关, 而是与乳蛋白的氨基酸组成直接相关, 并受血液中游离限制性氨基酸含量和各种氨基酸平衡性的影响<sup>[33]</sup>。另外, 静脉血液游离氨基酸水平是小肠氨基酸吸收和体组织(包括乳腺)对氨基酸利用之间的动态平衡, 血液游离 Met 有效供给量增加, 乳腺对血液游离氨基酸吸收量增加, 其中对某些种类氨基酸吸收量超过了小肠氨基酸吸收量的增加, 表现为这些种类的静脉血液游离氨基酸浓度下降。

## 4 结 论

哺乳期饲料中添加 HMBi 可缓解山羊哺乳期体质量损失, 提高山羊血浆 Met 质量浓度、乳蛋白和乳脂质量分数。本试验条件下, 推荐哺乳期陕北白绒山羊饲料中 HMBi 添加水平为 2%。

### 参考文献 Reference:

- [1] 吴慧慧, 刘建新, 张才乔. 反刍动物泌乳期的营养分配及其调控机制[J]. 中国畜牧杂志, 2005(5): 64-66.  
WU H H, LIU J X, ZHANG C Q. Nutrient partitioning and its regulation mechanism during ruminants lactation[J]. *Chinese Journal of Animal Science*, 2005(5): 64-66.
- [2] 国家科学研究委员会. 奶牛营养需要[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2002.  
National Council for Scientific Research. Nutrition Requirement of Dairy Cow[M]. Beijing: China Agricultural University Press, 2002.
- [3] 贾文彬, 李建国, 赵世芳. 反刍动物过瘤胃氨基酸的研究进展[J]. 饲料博览, 2005(12): 10-12.  
JIA W B, LI J G, ZHAO S H F. Research progress of rumen protected amino acids on ruminants[J]. *Feed Review*, 2005(12): 10-12.
- [4] 王洪荣, 董晓玲. 反刍家畜限制性氨基酸的研究进展[C]//中国畜牧兽医学动物营养学会第九届学术研讨会论文集. 北京: 中国农业出版社, 2004.  
WANG H R, DONG X L. Advance in limited amino acid nutrition of ruminants[C]//The 9th academic Symposium of animal nutrition branch of Chinese association of animal science and veterinary medicine. Beijing: China Agriculture Press, 2004.
- [5] BERGEN W G. Free amino acids in blood of ruminants—physiological and nutritional regulation [J]. *Journal of Animal Science*, 1979, 49(6): 1577-1589.
- [6] HAN Z Y, YANG B K, YANG Z, et al. Effects of 2-hydroxy-4-(methylthio) butanoic acid isopropyl ester on growth and blood components in growing Holstein steers [J]. *Animal Science Journal*, 2017, 88(2): 286-293.
- [7] ZANTON G I, BOWMAN G R, VAZQUEZ-ANON M, et al. Meta-analysis of lactation performance in dairy cows receiving supplemental dietary methionine sources or postpartum infusion of methionine [J]. *Journal of Dairy Science*, 2014, 97(11): 7085.
- [8] STPIERRE N R, SYLVESTER J T. Effects of 2-hydroxy-4-(methylthio) butanoic acid (HMB) and its isopropyl ester on milk production and composition by Holstein cows [J]. *Journal of Dairy Science*, 2005, 88(7): 2487-2497.
- [9] DENG K D, DIAO Q Y, JIANG C G, et al. Energy requirements for maintenance and growth of Dorper crossbred ram lambs [J]. *Livestock Science*, 2012, 150(1/3): 102-110.
- [10] PINOTTI L, BALDI A, DELLÓRTO V. Comparative mammalian choline metabolism with emphasis on the high-yielding dairy cow [J]. *Nutrition Research Reviews*, 2002, 15(2): 315.
- [11] MATO J M, MARTÍNEZCHANTAR M L, LU S C. S-adenosylmethionine metabolism and liver disease [J]. *Annual Review of Nutrition*, 2008, 28(2): 273-293.
- [12] 冉 霓, 郭履卿. 牛磺酸与胎儿和婴儿的生长发育[J]. 国际儿科学杂志, 1993(2): 70-73.  
RAN N, GUO L ZH. Taurine in growth and development of Fetal and Infant[J]. *Internationa Journal of Pediatrics*, 1993(2): 70-73.
- [13] JACOMETO C B, ZHOU Z, LUCHINI D, et al. Maternal supplementation with rumen-protected methionine increases prepartal plasma methionine concentration and alters hepatic mRNA abundance of 1-carbon, methionine, and transsulfuration pathways in neonatal Holstein calves [J]. *Journal of Dairy Science*, 2017, 100(4): 3209.
- [14] MOUSAIE A, VALIZADEH R, CHAMSAZ M. Selenium-methionine and chromium-methionine supplementation of sheep around parturition: impacts on dam and offspring performance [J]. *Archives of Animal Nutrition*, 2017, 71(2): 134-149.
- [15] ABE M, OKADA H, MATSUMURA D. Methionine imbalance and toxicity in calves [J]. *Journal of Animal Science*, 2000, 78(10): 2722.
- [16] National Research Council. Nutrient Requirements of Small Ruminants: Sheep, Goats, Cervids, and New World Camelids[S]. Washington: National Academy Press, 2007.

- [17] 毕晓华,张晓明. 过瘤胃保护蛋氨酸对奶牛氨基酸代谢和血液生化指标的影响[J]. 饲料研究, 2014(21):48-53.  
BI X H, ZHANG X M. Effects of rumen protected amino acids on amino acid metabolism and blood biochemistry indices in dairy cows[J]. *Feed Research*, 2014(21):48-53.
- [18] NOFTSGER S, ST-PIERRE N R, SYLVESTER J T. Determination of rumen degradability and ruminal effects of three sources of methionine in lactating cows [J]. *Journal of Dairy Science*, 2005, 88(1):223-237.
- [19] FLORES A, MENDOZA G, PINOSRODRIGUEZ J M, *et al.* Effects of rumen-protected methionine on milk production of dairy goats [J]. *Italian Journal of Animal Science*, 2010, 8(2):271-275.
- [20] TITI H H. Effect of long-term rumen-protected methionine supplementation on performance of Shami goats and growth performance of their kids [J]. *Animal Production Science*, 2017, 57:1713-1718.
- [21] STANLEY C C, WILLIAMS C C, JENNY B F, *et al.* Effects of feeding milk replacer once versus twice daily on glucose metabolism in holstein and jersey calves 1 [J]. *Journal of Dairy Science*, 2002, 85(9):2335-2343.
- [22] 张成喜,刘吉山,孙国强. 过瘤胃蛋氨酸对奶牛血液生化指标和养分消化率的影响[J]. 中国饲料, 2017(16):20-23.  
ZHANG CH X, LIU J SH, SUN G Q. Effects of rumen-protected methionine on blood biochemistry indices and nutrient digestibility in dairy cows[J]. *China Feed*, 2017(16):20-23.
- [23] 张成喜,孙友德,刘锡武,等. 过瘤胃蛋氨酸对奶牛瘤胃微生物蛋白产量、产奶性能和氮排泄的影响[J]. 动物营养学报, 2017, 29(5):1759-1766.  
ZHANG CH X, SUN Y D, LIU X W, *et al.* Effects of rume-protected methionine on ruminal microbial protein production, milk performance and nitrogen excretion of dairy cows [J]. *Acta Zoonutrimenta Sinica*, 2017, 29(5):1759-1766.
- [24] 陈傲东,陈红莉,孔平,等. 氨基酸平衡日粮对奶牛生产性能、血清生化指标及经济效益的影响[J]. 中国畜牧兽医, 2015, 42(10):2650-2657.  
CHEN A D, CHEN H L, KONG P, *et al.* Effects of amino acids balance diet on production performance, serum biochemical indexes and economic benefits in dairy cows [J]. *China Animal Husbandry & Veterinary Medicine*, 2015, 42(10):2650-2657.
- [25] BAGHBANZADEH-NOBARI B, TAGHZADEH A, KHORVASH M, *et al.* Digestibility, ruminal fermentation, blood metabolites and antioxidant status in ewes supplemented with DL-methionine or hydroxy-4 (methylthio) butanoic acid isopropyl ester [J]. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 2016, 10(5)266-277.
- [26] FUKUMORI R, SUGINO T, SHINGU H, *et al.* Effects of calcium salts of long-chain fatty acids and rumen-protected methionine on plasma concentrations of ghrelin, glucagon-like peptide-1 (7 to 36) amide and pancreatic hormones in lactating cows [J]. *Domestic Animal Endocrinology*, 2012, 42(2):74.
- [27] 隋雁南,马婷婷,陈志远,等. 饲料中添加 N-羟甲基蛋氨酸钙对泌乳期奶牛血清生化指标的影响[J]. 中国农业大学学报, 2017, 22(3):94-101.  
SUI Y N, MA T T, CHEN ZH Y, *et al.* Effects of N-hydroxymethyl methionine calcium in dietary on serum biochemical parameters of lactation cows[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2017, 22(3):94-101.
- [28] BERGEN W G. Free amino acids in blood of ruminants-physiological and nutritional regulation [J]. *Journal of Animal Science*, 1979, 49(6):1577-1589.
- [29] 王彬,袁珍虎,季海波,等. 亮氨酸对断奶仔猪血浆游离氨基酸浓度变化的影响[J]. 饲料工业, 2017(2):8-11.  
WANG B, YUAN ZH H, JI H B, *et al.* Effects of leucine on variationn of plasma free amino concentration in weaning pigs[J]. *Feed Industry*, 2017(2):8-11.
- [30] YANG W R, SUN H, WANG Q Y, *et al.* Effects of rumen-protected methionine on dairy performance and amino acid metabolism in lactating cows [J]. *American Journal of Animal & Veterinary Sciences*, 2010, 5(1):1-7.
- [31] GIALLONGO F, HARPER M T, OH J, *et al.* Effects of rumen-protected methionine, lysine, and histidine on lactation performance of dairy cows [J]. *Journal of Dairy Science*, 2016, 99(6):4437-4452.
- [32] DALBACH K F, LARSEN M, RAUN B M, *et al.* Effects of supplementation with 2-hydroxy-4-(methylthio)-butanoic acid isopropyl ester on splanchnic amino acid metabolism and essential amino acid mobilization in postpartum transition Holstein cows [J]. *Journal of Dairy Science*, 2011, 94(8):3913-3927.
- [33] 孙华,张晓明,王欣,等. 过瘤胃保护蛋氨酸对奶牛乳和血浆氨基酸含量及血液生化指标的影响[J]. 中国奶牛, 2010(12):7-11.  
SUN H, ZHANG X M, WANG X, *et al.* Effects of supplementing rumen protected methionine on content and composition of amino acids in milk and plasma, blood biochemical parameters of lactating cows[J]. *China Dairy Cattle*, 2010(12):7-11.



## Effects of Supplementation with 2-hydroxy-4-(methylthio) Butanoic Acid Isopropyl Ester on Growth Performance and Amino Acids Metabolism in Lactating Goats

LI Luming, ZHANG Enping, GAO Yawei and LI Jinpeng

(College of Animal Science and Technology, Northwest A&F University, Yangling Shaanxi 712100, China)

**Abstract** This experiment was aimed to investigate the effects of supplementation with 2-hydroxy-4-(methylthio) butanoic acid isopropyl ester (HMBi) on growth performance and amino acids metabolism in lactating goats, and to provide a reference for the use of HMBi on goats. 27 healthy lactating Shaanbei White Cashmere goats with similar body mass ( $49.79 \pm 1.86$  kg) were selected and randomly assigned to 3 groups. The control group was fed the basal diets, the test groups were fed the basal diets and supplemented 2% and 4% HMBi respectively. The experiment lasted for 60 days. Average daily gain, milk composition, serum biochemistry indices, plasma free amino acid mass concentration and milk hydrolytic amino acid mass fraction were measured. The results showed that: the average daily gain of goats in 2% group was significantly higher than those in control group ( $P < 0.05$ ). The milk fat mass fraction of goats in control group were significantly lower than those in 2% group ( $P < 0.05$ ), and significantly lower than those in 4% group ( $P < 0.01$ ); the milk lactose mass fraction of goats in control group were significantly higher than those in 2% group ( $P < 0.05$ ), and significantly lower than those in 4% group ( $P < 0.05$ ); the milk protein, milk total solid content and milk solid not fat mass fraction of goats in control group were significantly higher than those in 2% group and 4% group ( $P < 0.01$ ); the milk protein and milk solid not fat mass fraction of goats in 2% group were significantly higher than those in 4% group ( $P < 0.01$ ), the milk lactose and milk total solid mass fraction were significantly lower than those in 4% group ( $P < 0.01$ ). On 60 d, the serum urea nitrogen concentration of goats in 4% group was significantly lower than those in control group ( $P < 0.05$ ), plasma Met mass concentration of goats in 4% group was significantly higher than those in control group ( $P < 0.05$ ), plasma amino acids mass concentration of Thr, Val and Leu in 2% group was significantly higher than those in control group and 4% group ( $P < 0.05$ ), plasma Lys mass concentration of goats in 2% group was extremely significantly higher than those in control group ( $P < 0.01$ ). It showed increasing trend on mass fraction of milk Met and total amino acids with the addition of HMBi level. This study concluded that HMBi supplementation in diet could reduce the body mass loss of lactating goats, and improve serum biochemical indices, and increase the mass concentration of plasma Met; the 2% HMBi supplement level in diet had better effects on lactating goats.

**Key words** Goat; 2-Hydroxy-4-(methylthio) butanoic acid isopropyl ester (HMBi); Growth performance; Amino acid metabolism.

**Received** 2018-04-28

**Returned** 2018-06-06

**Foundation item** Key Research and Development Project in Shaanxi Province (No. 201TSCXL-NY-04-02); Innovation Transformation Project of Agricultural Science and Technology in Shaanxi Province (No. NYKJ-2016-04).

**First author** LI Luming, male, master student. Research area: animal nutrition and feed science. E-mail: liluming5060@126.com

**Corresponding author** ZHANG Enping, male, professor. Research area: animal nutrition and feed science. E-mail: zep126@126.com

(责任编辑: 成敏 Responsible editor: CHENG Min)