

## 不同无机硫对内蒙古白绒山羊消化代谢的影响

彭玉麟 贾志海

(中国农业大学动物科技学院)

卢德勋 李玉荣 牛文艺 娜仁 任晓萍

(内蒙古畜牧科学院)

**摘要** 选用 9 只装有瘤胃和十二指肠近端瘘管的内蒙古白绒山羊羯羊(2 周岁左右), 随机分成 3 组, 分别饲喂氮硫比相同而硫源不同(分别为硫磺、硫化钠和硫酸钠)的 3 种日粮, 进行消化代谢试验和测定食糜流量, 以探讨不同无机硫对氮和硫的沉积量以及硫的流通规律。试验结果表明: 硫酸钠组氮的进食量和沉积量均显著高于硫磺组和硫化钠组( $P < 0.05$ ), 但各组间氮的表观消化率差异不显著( $P > 0.05$ )。硫化钠组和硫酸钠组硫的沉积量以及表观消化率均显著高于硫磺组( $P < 0.05$ )。硫酸盐在瘤胃吸收量很少, 主要在肠道被吸收; 硫化物在瘤胃和小肠均可被吸收利用; 元素硫(硫磺)主要在瘤胃和小肠前段被分解利用, 元素硫的生物价显著低于硫酸钠和硫化钠( $P < 0.05$ )。总之, 添加硫酸钠对内蒙古白绒山羊的效果好于硫磺和硫化钠。

**关键词** 绒山羊; 氮硫代谢; 无机硫; 山羊绒

**中图分类号** S816.71

## Effects of Different Inorganic Sulfur Sources on Nutrient Digestion and Metabolism in Inner Mongolian White Cashmere Goat

Peng Yulin Jia Zhihai

(College of Animal Science and Technology, CAU)

Lu Dexun Li Yurong Niu Wenyi Na Ren Ren Xiaoping

(Inner Mongolian Academy of Animal Sciences)

**Abstract** Nine Inner Mongolian White Cashmere Goat wethers aged two years old and installed with permanent ruminal and duodenal cannulas, were used to study the effects of different inorganic S sources (sulfur, sodium sulfide and sodium sulfate) on S flux and retention of N and S. The results showed that N intake and retention were higher for sodium sulfate group than those of sulfur group and sodium sulfide group ( $P < 0.05$ ), but there was no significant difference ( $P > 0.05$ ) in apparent digestibility of N among the three treatments. S retention and apparent digestibility were significantly lower for sulfur group than those of sodium sulfide group and sodium sulfate group ( $P < 0.05$ ). Sodium sulfate was absorbed mainly in the intestine, whereas sulfide was absorbed and utilized both in the rumen and intestine. Sulfur were mainly digested and availed in the rumen and the duodenum. Biological value of S was lower than that of sodium sulfate and sodium sulfide ( $P < 0.05$ ). The present results suggest that sodium sulfate is a good source of S used as a supplement in the diets of Inner Mongolian White Cashmere Goats compared with sulfur and sodium sulfide.

**Key words** cashmere goat; nitrogen and sulfur metabolism; inorganic sulfur; cashmere

收稿日期: 2000-09-25

贾志海, 北京圆明园西路 2 号中国农业大学(西校区), 100094

硫是动物所必需而只能从饲料中获得的一种常量元素。补饲含硫化合物对羊毛(绒)生长有明显的促进作用。有机硫主要以蛋氨酸、胱氨酸形式添加,但因价格昂贵而限制了在反刍动物上的应用。无机硫不仅来源广泛,价格低廉,而且能够被瘤胃微生物分解利用以合成含硫氨基酸。生产中,一般利用含硫氨基酸饲喂单胃动物,而反刍动物可利用无机硫部分替代含硫氨基酸。

在无机硫中以硫酸钠生物利用率较高,能提高畜禽的日增重、产蛋率、产乳量和产毛量。硫酸钙在瘤胃液中容易被合成微生物蛋白。如以硫酸钙的相对利用率为100%,则L-蛋氨酸为143%,硫酸钠为100%,元素硫为47%,DL-蛋氨酸为110%~130%<sup>[1]</sup>。硫化物是进食硫和内源硫周转以及硫代谢的最主要中间体。日粮中的无机硫和有机硫均可被瘤胃微生物还原为硫化物,然后合成有机硫化物。

绒山羊是我国特有的品种资源,对其营养需要的研究很少。本试验拟在王娜<sup>[2]</sup>研究内蒙古白绒山羊适宜氮硫比的基础上,探讨不同无机硫(硫元素、硫化钠、硫酸钠)对内蒙古白绒山羊营养物质消化代谢及利用率的影响。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验动物

选用9只2周岁(体重17~21 kg)内蒙古白绒山羊羯羊,安装永久性瘤胃瘘管和十二指肠近端瘘管。

### 1.2 试验日粮与饲养管理

基础日粮配制参照美国NRC山羊饲养标准<sup>[3]</sup>(表1)。代谢能够满足日增重50 g的需要。试验日粮由基础日粮中分别添加硫磺0.16%、硫化钠( $\text{Na}_2\text{S} \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ ) 1.14%和无水硫酸钠0.66%,并用硅藻土平衡而获得。试验羊每天饲喂混合精料200 g和青干草500 g,6:00和18:00分2次饲喂。试验羊单笼全舍饲饲养,自由饮水。每期试验前、后对试验羊空腹称重。

### 1.3 试验设计

本试验采用单因素完全随机设计。9只试验羊随机分配到3个处理中,每个处理3个重复。先进行消化代谢试验,再测定食糜流通量。

**1.3.1 消化代谢试验** 试验羊空腹称重后,带上集粪袋,放入代谢笼。预试期15 d,自由饮水,待采食量恢复正常后进行正式试验。每天6:00和18:00分2次收集粪尿样,每天6:00收集试验羊的剩余料。正试期进行7 d。代谢试验结束时试验羊空腹称重。

**1.3.2 食糜流通量的测定** 食糜流通量的测定采用 $\text{Cr}_2\text{O}_3$ 标记法<sup>[4]</sup>。

表1 试验基础日粮配方和营养水平(风干样为基础)

原 料	配方 $w/\%$	营养成分	营养水平 $w/\%$
青干草	71.4	ME/(MJ·kg <sup>-1</sup> )	8.44
玉米	18.5	CP	11.89
麦麸	2.8	N	1.90
豆粕	2.9	S	0.25
胡麻饼	1.1	N S	7.57 1
尿素	0.9	Ca	0.58
矿物质和多维	0.4	P	0.22
食盐	0.4	ADF	30.25
骨粉	0.4		

矿物质组成( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ): FeCl<sub>2</sub> 19 600; CuSO<sub>4</sub>(含Cu 25%) 20 800; MnO<sub>2</sub> 10 560; ZnCl<sub>2</sub> 12 800; 5%的CaD<sub>3</sub> 6 000; 1%的CoCl<sub>2</sub> 8 400; 1%的Na<sub>2</sub>SeO<sub>3</sub> 4 800; NaMoO<sub>4</sub> 232。

多维组成(IU·kg<sup>-1</sup>): VA 5.4×10<sup>7</sup>; VD<sub>3</sub> 1.08×10<sup>7</sup>; VE 1 500。  
营养成分中除ME为计算值外,其他均为实测值。

#### 1.4 瘤胃和十二指肠食糜中微生物的分离方法

取 200 mL 瘤胃或十二指肠食糜, 加入适量 0.85% 的生理盐水, 在振荡器上振荡 1 min 后, 用 4 层乳酪布过滤, 弃掉饲料残渣, 取 150 mL 滤液, 在  $150 \text{ g} \cdot \text{m}^{-1}$  下离心 10 min, 以除去饲料颗粒和部分原虫, 再将上清液于  $2 \times 10^4 \text{ g} \cdot \text{m}^{-1}$  离心 20 min, 弃掉上清液, 用 0.85% 的生理盐水冲洗沉淀, 再于  $2 \times 10^4 \text{ g} \cdot \text{m}^{-1}$  离心 20 min, 重复 2 次, 弃掉上清液, 将沉淀物(细菌细胞)用蒸馏水冲洗到铝盒内, 冷冻干燥后用于分析 RNA 和总氮。

#### 1.5 样品分析方法

常规营养成分 精料、饲草、剩料、粪样及尿样中 DM, OM, CP, ADF, Ca, P 等指标按实验室常规方法测定。

$\text{Cr}$  浓度用高民<sup>[4]</sup>改进的比色法测定。

总硫的测定用硝酸、高氯酸、盐酸消煮-硫酸钡比浊法<sup>[5]</sup>。

微生物 RNA 用嘌呤碱基法测定<sup>[6]</sup>。

#### 1.6 数据统计和分析

用 SAS (SAS for Windows, Release 6.12) 软件包中的平衡实验设计方差分析过程 ANOVA 和非平衡实验设计方差分析过程 GLM, 均值的多重比较用 Duncan 法进行。

## 2 结果与讨论

### 2.1 氮沉积及消化率(表 2)

表 2 不同无机硫对氮沉积及消化率的影响

$/(g \cdot d^{-1})$

项 目	硫磺组	硫化钠组	硫酸钠组
进食干物质	622.54 ± 10.85 a	625.91 ± 11.13 a	642.01 ± 2.36 a
进食氮	12.72 ± 0.27 b	12.97 ± 0.28 b	13.36 ± 0.13 a
粪氮	3.39 ± 0.25 a	3.64 ± 0.52 a	3.44 ± 0.30 a
尿氮	3.73 ± 0.33 a	3.41 ± 0.84 a	3.66 ± 0.48 a
可消化氮	9.32 ± 0.52 ab	9.15 ± 0.35 b	9.82 ± 0.18 a
沉积氮	5.59 ± 0.43 b	5.74 ± 0.35 b	6.26 ± 0.41 a
表观消化率 <sub>w</sub> /%	73.28 ± 2.58 a	71.58 ± 3.67 a	73.52 ± 2.01 a

注: 同行数据不同字母表示差异显著 ( $P < 0.05$ )。下同。

不同无机硫对干物质进食量没有显著影响 ( $P > 0.05$ ), 但以硫酸钠组最高。硫酸钠组的进食氮显著高于其他 2 组 ( $P < 0.05$ ), 这可能与硫化钠、硫磺的适口性差而影响采食量有关。不同处理间粪氮和尿氮差异不显著 ( $P > 0.05$ ), 在同一氮硫比、同一饲养水平条件下不同无机硫对粪氮和尿氮没有显著影响是正常的。但可消化氮硫磺组和硫酸钠组显著高于硫化钠组 ( $P < 0.05$ )。沉积氮硫酸钠组显著高于硫磺组和硫化钠组 ( $P < 0.05$ ), 这与许多在基础日粮中添加无机硫导致日粮氮的沉积量增加的试验结果相一致<sup>[7,8]</sup>。这可能是由于硫酸钠的利用率较高, 微生物蛋白的合成量较多的缘故, 但各组间氮的表观消化率没有显著差异 ( $P > 0.05$ )。日粮中

添加硫导致瘤胃壁吸收的氮减少,促进瘤胃微生物蛋白合成,增加了十二指肠的总氮流量。当氮硫比偏高时,动物有调节其适宜氮硫比的能力,相对多出的氮就被浪费。添加硫使血浆尿素氮的浓度降低,说明添加硫促进瘤胃氨氮的利用,增加氮沉积<sup>[9]</sup>。

不同无机硫虽然影响氮的进食量和微生物蛋白合成量进而显著影响氮的沉积量,但并没有提高氮的表观消化率。

## 2.2 日粮不同无机硫对硫代谢的影响(表3)

表3 不同无机硫对硫代谢的影响

/(g·d<sup>-1</sup>)

项目	硫磺组	硫化钠组	硫酸钠组
进食干物质	622.54 ± 10.85 a	625.91 ± 11.13 a	642.01 ± 2.36 a
进食硫	1.032 ± 0.015 a	1.106 ± 0.019 a	1.046 ± 0.011 a
粪硫	0.485 ± 0.07 a	0.371 ± 0.08 ab	0.320 ± 0.09 b
尿硫	0.376 ± 0.091 a	0.380 ± 0.070 a	0.364 ± 0.175 a
可消化硫	0.547 ± 0.075 b	0.730 ± 0.069 a	0.726 ± 0.099 a
沉积硫	0.171 ± 0.042 b	0.356 ± 0.046 a	0.362 ± 0.053 a
表观消化率 <sub>w</sub> / %	53.01 ± 7.10 b	66.57 ± 7.28 a	69.35 ± 9.01 a

各组间进食硫差异不显著( $P > 0.05$ )。粪硫以硫磺组 > 硫化钠组 > 硫酸钠组,硫磺组和硫化钠组显著高于硫酸钠组( $P < 0.05$ ),这是由于硫磺表观消化率低。各组间尿硫差异不显著( $P > 0.05$ ),这与 Qi 的研究结果一致<sup>[10]</sup>。硫磺组的可消化硫和沉积硫均显著低于硫化钠组和硫酸钠组( $P < 0.05$ )。以上结果说明,添加硫化钠和硫酸钠组是可消化硫、沉积硫以及硫的表观消化率均高于硫磺组( $P < 0.05$ ),但硫化钠与硫酸钠对硫代谢的影响差异不显著( $P > 0.05$ )。硫化物是瘤胃硫代谢最主要的中间体,不需要经过降解即可被吸收利用;硫酸钠须降解为硫化物后再进入硫代谢途径,硫酸盐在瘤胃几乎不被吸收。从硫代谢的结果来看,硫化钠和硫酸钠的效果明显好于硫磺。

综合考虑氮代谢和硫代谢的结果,以硫酸钠组的效果要好于硫化钠组和硫磺组。

## 2.3 不同无机硫对食糜流通量的影响(表4)

本试验测得绒山羊瘤胃食糜流通常数  $K_p$  在每小时 4.38% ~ 5.21% 之间,各处理间差异不显著( $P > 0.05$ )。瘤胃总氮流量硫酸钠组显著高于硫磺组和硫化钠组( $P < 0.05$ ),这可能是硫酸钠组进食氮和瘤胃微生物蛋白合成量显著高于硫磺组和硫化钠组的缘故。硫化钠组和硫酸钠组十二指肠总氮流量显著高于硫磺组( $P < 0.05$ )。各组间瘤胃总硫流量差异不显著( $P > 0.05$ )。但硫酸钠组十二指肠总硫流通量显著高于硫磺组和硫化钠组( $P < 0.05$ ),其原因是硫酸盐在瘤胃内几乎不吸收,而部分硫化物能够通过瘤胃壁而吸收。硫酸钠组瘤胃微生物蛋白的产量显著高于硫磺组和硫化钠组( $P < 0.05$ ),可能是由于硫酸盐在瘤胃液中溶解而易被利用合成微生物蛋白,这与 Goodrich 的试验结果一致<sup>[11]</sup>。十二指肠微生物蛋白产量以硫酸钠组最高,显著高于硫化钠组( $P < 0.05$ )。从上可知,硫酸钠能够显著促进微生物蛋白合成;硫酸盐在瘤胃内吸收很少,而硫化物大部分在瘤胃和十二指肠吸收。

表 4 不同无机硫对食糜流通量的影响

/(g·d<sup>-1</sup>)

项 目	硫磺组	硫化钠组	硫酸钠组
进食氮	12.72 ± 0.27 b	12.97 ± 0.28 b	13.36 ± 0.13 a
瘤胃 K <sub>p</sub> /‰·h <sup>-1</sup>	4.36 ± 0.60 a	4.78 ± 0.30 a	5.21 ± 0.38 a
瘤胃总氮流量	17.11 ± 1.66 b	17.47 ± 1.96 b	20.18 ± 1.73 a
瘤胃总硫流量	0.725 ± 0.149 a	0.738 ± 0.128 a	0.819 ± 0.140 a
十二指肠总氮流量	16.93 ± 0.93 b	18.59 ± 0.72 a	19.13 ± 1.50 a
十二指肠总硫流量	0.52 ± 0.14 b	0.58 ± 0.02 b	0.795 ± 0.04 a
瘤胃微生物氮	6.16 ± 1.55 b	7.32 ± 0.84 b	9.36 ± 1.47 a
十二指肠微生物氮	5.69 ± 0.42 ab	4.99 ± 0.55 b	6.47 ± 0.35 a

2.4 消化道各段硫的流通规律(图 1)

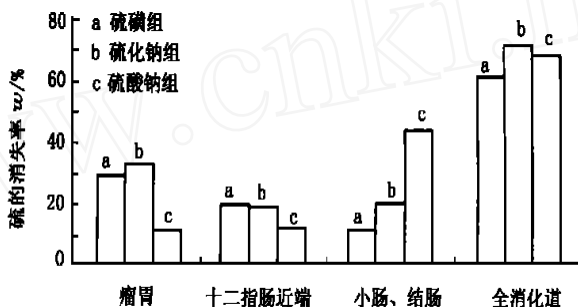


图 1 消化道不同部位硫的表观消失率

不同处理的进食硫和瘤胃总硫流量的差异均不显著( $P > 0.05$ )。硫酸钠组的十二指肠总硫流量显著高于硫磺组和硫化钠组( $P < 0.05$ ) (表 4)。从硫在消化道各段的消失率可以估测硫的吸收率。硫磺主要在瘤胃内被降解吸收, 硫化钠在瘤胃内不需要经过降解就能够被瘤胃壁吸收, 故硫化钠在瘤胃的消失率最高。硫酸钠也能够 在瘤胃内降解, 但硫酸盐在瘤胃内的吸收几乎为零, 所以硫酸钠在瘤胃内的消失率最低。从瘤胃到十二指肠近端, 硫磺组和硫化钠组的消失率相近, 但硫酸钠组的消失率偏低。在十二指肠以后的消化道内, 硫磺组的消失率最低, 未被降解的硫磺在小肠内不能被吸收; 硫化钠组有较高的消失率, 证明小肠也是硫化物吸收的主要场所; 硫酸盐在这一段的消失率最高, 大部分硫酸盐或其降解物在此被吸收利用。从全消化道来看, 硫化钠组的消失率最高, 硫酸钠组其次, 硫磺组最低。

从氮和硫的沉积量以及微生物蛋白合成量来看, 不同无机硫对内蒙古白绒山羊的消化代谢均有促进作用, 但以添加硫酸钠的效果更明显。本次试验只测定了总硫, 未能测定总硫中不同形式的硫, 所以对于消失部分中硫的形式无法判断。例如硫酸钠组主要在小肠被吸收, 但不能确定到底是以硫酸盐的形式, 还是以硫酸盐的降解物(如硫化物)的形式被吸收。本试验中未考虑内源循环硫的影响, 硫的内源循环量及其途径尚需要进一步研究。

### 3 结论

在适宜氮硫比(约 7.6:1)条件下,不同无机硫对内蒙古白绒山羊消化代谢的影响,可归纳如下:

添加硫酸钠可显著提高氮的沉积量( $P < 0.05$ ),比硫磺组和硫化钠组分别提高 15.50% 和 8.63%;硫化钠组和硫酸钠组硫的沉积量以及表观消化率均显著高于硫磺组( $P < 0.05$ );硫酸钠组的瘤胃微生物氮和十二指肠微生物氮均显著高于硫磺组和硫化钠组( $P < 0.05$ )。

硫酸盐在瘤胃吸收量很少,主要在肠道被吸收;硫化物在瘤胃和小肠均可被吸收利用;元素硫(硫磺)主要在瘤胃和小肠前段被分解利用。硫磺的生物学效价显著低于硫酸钠组和硫化钠组( $P < 0.05$ )。

### 参 考 文 献

- 1 Goodrich R D, Garrett J E. Sulfur in livestock nutrition. In: Tabatabai M A, ed. Sulfur in Agriculture. Madison, WI: 1986, 617
- 2 王娜. 内蒙古白绒山羊日粮适宜氮硫比综合评定: [学位论文]. 北京: 中国农业大学, 1999
- 3 NRC. Nutrient Requirements of Goats: Angora, Dairy and meat goats in temperate and tropical countries. Washington, DC: National Academy Press, 1985
- 4 高民, 冯宗慈. 一种改进铬的测定方法. 内蒙古畜牧科学, 1993, (3): 42~ 45
- 5 硝酸、高氯酸、盐酸消煮——硫酸钡比浊法. 见: 中国土壤学会农业化学专业编委会编. 土壤农业化学常规分析法. 北京: 科学出版社, 1983. 283, 284
- 6 Zinn R A, Owens F N. A rapid procedure for purine measurement and its use for estimating net ruminal protein synthesis. Can J Anim Sci, 1986, 66: 157~ 166
- 7 Bray A C, Hensley J A. Sulfur metabolism in sheep: IV. The effect of a varied dietary sulfur content on some body fluid sulphate levels and on the distribution of sulfur in the ultrafiltrates of blood plasma. Austr J Res, 1969, 20: 759~ 773
- 8 Kennedy P M, Siebert B D. The utilization of Spear grass: II. The influence of Sulfur on energy intake and rumen and blood parameters in cattle and sheep. Austr J Agric Res, 1972, 23: 45
- 9 Elliott R, Armstrong D G. The Effect of urea and urea plus sodium sulfate on microbial protein production in the rumens of sheep given diets high in alkali-treated barley straw. J Agric Sci, 1982, 99: 51
- 10 Qi K H, Lu C D, Owens F N. Sulfate supplementation of alpine goats: effects on milk yield and composition, metabolites, nutrient digestibility and acid-base balance. J Anim Sci, 1992, 70: 3541~ 3550