

# 饲料磷水平对空怀期云南半细毛羊养分排泄和氮平衡的影响

欧阳依娜<sup>1</sup> 薛白<sup>2</sup> 王思宇<sup>1</sup> 梁家充<sup>1</sup> 李银江<sup>1</sup> 李卫娟<sup>1</sup> 洪琼花<sup>1\*</sup>

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

**摘要:** 本试验旨在研究饲料磷水平对空怀期云南半细毛羊氮、钙、磷排泄和氮平衡的影响。选择体况良好、体重(46.36±2.77) kg、38月龄的经产2胎空怀期云南半细毛羊50只,按体重随机分为5组,每组10只,每只羊为1个重复。5组试验羊分别饲喂磷水平为0.19%、0.32%、0.45%、0.56%和0.64%的饲料,饲料其他营养水平基本保持一致。所有试验羊进行为期44d的饲养试验,其中预试期14d,正试期30d。在正试期第9天从各组中选取5只母羊,放入代谢笼中预饲3d,在第12~16天(5d)进行消化代谢试验。结果表明:1)饲料磷水平对氮总排泄量和尿氮排泄量的影响不显著( $P>0.05$ );0.45%磷水平组粪氮排泄量显著高于0.32%磷水平组( $P<0.05$ ),与0.19%、0.56%和0.64%磷水平组差异不显著( $P>0.05$ )。2)随着饲料磷水平的升高,磷总排泄量和粪磷排泄量极显著升高( $P<0.01$ );尿磷排泄量以0.64%磷水平组最高,0.19%磷水平组最低,而0.32%、0.45%和0.56%磷水平组间差异不显著( $P>0.05$ )。3)钙总排泄量和粪钙排泄量均以0.19%磷水平组最高,显著高于0.45%、0.56%和0.64%磷水平组( $P<0.05$ ),以0.64%磷水平组最低,极显著低于其他各组( $P<0.01$ );尿钙排泄量以0.32%磷水平组最高,显著高于0.19%、0.56%和0.64%磷水平组( $P<0.05$ ),以0.56%磷水平组最低,显著低于其他各组( $P<0.05$ )。4)0.19%、0.32%和0.45%磷水平组干物质采食量显著高于0.56%和0.64%磷水平组( $P<0.05$ );0.19%磷水平组食入氮和沉积氮极显著高于其他各组( $P<0.01$ ),0.32%和0.45%磷水平组食入氮显著高于0.56%和0.64%磷水平组( $P<0.05$ ),沉积氮在0.32%、0.45%、0.56%和0.64%磷水平组间无显著差异( $P>0.05$ );氮沉积率以0.19%磷水平组最高,显著高于0.45%、0.56%和0.64%磷水平组( $P<0.05$ ),与0.32%磷水平组差异不显著( $P>0.05$ );5个组试验羊的氮平衡均为正氮平衡。综上所述,饲料磷水平在0.19%~0.32%时既可以提高空怀期云南半细毛羊的沉积氮和氮沉积率,又有利于减少氮、磷排泄量,降低环境污染。

**关键词:** 磷;云南半细毛羊;空怀期;养分排泄;氮平衡

中图分类号:S816

文献标识码:A

文章编号:1006-267X(2020)10-4922-09

反刍动物氮平衡及其消化代谢效率受饲养模式、饲料营养组成、不同生理阶段等多种因素的影响<sup>[1-2]</sup>。近年来,国内外研究者开展了饲料不同营养成分对绵羊、山羊氮平衡影响的一系列研

究<sup>[3-6]</sup>,而饲料磷水平对空怀期绵羊氮平衡及环境负荷影响的研究却鲜有报道。磷是动物体内仅次于钙的含量最多的必需矿物元素,对机体骨骼发育、维持细胞膜功能、调节能量代谢和酸碱平衡有

收稿日期:2020-04-22

基金项目:国家现代农业绒毛羊产业技术体系专项资金资助(CARS-39);省科技人才和平台计划(2018IC108);云南省科技创新人才计划(2018HC017)

作者简介:欧阳依娜(1979—),女,云南昆明人,副研究员,博士,从事反刍动物营养研究。E-mail: yinaouyang@126.com

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

重要作用<sup>[7]</sup>。饲料中磷不能满足反刍动物正常需要时可引起生长发育迟缓、骨骼发育不良、食欲不振、繁殖及泌乳性能下降<sup>[8-9]</sup>, 但饲料磷水平过高或利用效率较低均会导致母畜粪尿磷排泄量增加, 造成资源浪费和环境污染<sup>[10]</sup>。随着畜牧业规模化和集约化快速发展, 畜禽养殖污染已成为我国农业面源污染的主要来源, 畜禽养殖废弃物中化学需氧量(COD)、氨氮、总氮、总磷排泄带来的相应环境污染问题日益凸显<sup>[11]</sup>。目前, 如何在保证畜禽正常生产性能的条件下, 从源头减少矿物元素及氨氮排泄已成为畜禽污染防控研究的热点之一。研究表明, 通过优化饲料配方<sup>[12]</sup>、改良饲料加工技术<sup>[13]</sup>和使用饲料添加剂<sup>[14-15]</sup>等可以提高反刍动物磷消化利用率, 最大限度地减少磷排泄量, 而研究不同品种在特定生态条件下蛋白质和磷需要量, 可以解决饲料中氮、磷过量导致的畜禽

排泄污染问题<sup>[16-17]</sup>。本试验以空怀期云南半细毛羊母羊为研究对象, 通过研究不同饲料磷水平对粪尿中主要养分排泄和氮平衡的影响, 为优化空怀期云南半细毛羊饲料结构及减少环境负荷提供基础数据。

## 1 材料与amp;方法

### 1.1 试验设计和试验动物

试验选择体况良好、体重相近( $46.36 \pm 2.77$ ) kg、38月龄的经产2胎空怀期云南半细毛羊50只, 按体重随机分为5组, 每组10个重复, 每个重复1只。5组试验羊分别饲喂磷水平为0.19%、0.32%、0.45%、0.56%和0.64%的饲料。试验饲料其他营养水平基本保持一致, 其组成及营养水平见表1。试验为期44 d, 包括14 d的预试期和30 d的正试期。

表1 试验饲料组成及营养水平(风干基础)

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

%

项目 Items	磷水平 P level/%				
	0.19	0.32	0.45	0.56	0.64
原料 Ingredients					
玉米 Corn	33.40	27.00	26.80	20.00	19.00
麦麸 Wheat bran		10.70	11.00	22.50	23.30
豆粕 Soybean meal	9.50	5.30	4.90		
磷酸氢钙 $\text{CaHPO}_4$			0.40		0.30
碳酸钙 $\text{CaCO}_3$	0.40	0.35		0.20	
磷酸二氢钠 $\text{NaH}_2\text{PO}_4$		0.15	0.40	0.80	0.90
食盐 NaCl	0.60	0.50	0.50	0.50	0.50
小苏打 $\text{NaHCO}_3$	0.10				
预混料 Premix <sup>1)</sup>	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
小黑麦草 Triticale plant	14.00	27.00	30.00	46.00	46.00
小麦秸 Wheat straw	41.00	28.00	25.00	9.00	9.00
合计 Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
营养水平 Nutrient levels <sup>2)</sup>					
总能 GE/(MJ/kg)	16.50	16.70	16.62	16.75	16.73
代谢能 ME/(MJ/kg)	8.00	8.03	8.03	8.04	8.01
粗蛋白质 CP	9.87	9.90	10.14	10.92	10.94
粗脂肪 EE	2.63	2.85	2.86	3.05	2.96
中性洗涤纤维 NDF	45.98	48.47	48.60	49.75	50.25
酸性洗涤纤维 ADF	27.98	27.54	27.28	26.58	26.56
钙 Ca	0.50	0.49	0.46	0.45	0.44
磷 P	0.19	0.32	0.45	0.56	0.64
钙磷比 Ca/P	2.63	1.53	1.33	0.80	0.69

1) 预混料为每千克饲料提供 The premix provided the following per kg of diets: Mn 98 mg, Fe 245 mg, Zn 80 mg, Cu 10 mg, I 2.5 mg, Se 0.65 mg, Co 0.65 mg, VA 10 000 IU, VD<sub>3</sub> 1 000 IU, VE 50 IU。

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

饲养试验在云南省昆明易兴恒畜牧科技有限公司进行,试验前对栏舍进行严格消毒,试验羊采用单栏饲养,进入羊舍后进行药物驱虫处理,每天08:00和17:00各饲喂1次,自由饮水,适应5d后清晨空腹称重,按体重随机分组,并进入预试期。在预试期熟悉试验羊饲养管理流程,记录各组试验羊采食量,根据前1天的采食量调整第2天饲喂量,确保饲槽内有10%左右的剩料。正试期与预试期各组试验羊饲养管理完全一致。

## 1.3 消化代谢试验

在正试期第9天每组随机选择5只体重相近的健康母羊放入代谢笼中,单笼饲养3d进行预饲,并于正试期第12~16天采用全收粪尿法进行为期5d的消化代谢试验。每天收集粪、尿样品,连续收集5d,并准确记录每天每只羊的排粪量和排尿量。每天收集的鲜粪样混匀称重后取20%分成2份,其中一份按5%的比例加入10%稀盐酸进行固氮,用于测定氮(粗蛋白质)含量;另一份按3%的比例加入10%甲醛溶液杀灭微生物,用于测定其他营养物质含量。每天收集的尿样经8层纱布过滤后用量筒测量体积,取总量的10%加入10%稀盐酸使pH低于3.0进行固氮。每天还需采集各组200g饲料样品和剩料样品。全部样品均于-20℃保存备用。

## 1.4 测定指标与方法

### 1.4.1 饲料、粪和尿中常规营养成分含量测定

饲料、粪样于65℃下烘48h,取出置空气中回潮24h后,利用粉碎机粉碎过60目筛后用于常规营养成分含量测定;尿样则经湿法消解后用于常规营养成分含量测定。粗灰分、粗脂肪、中性洗涤纤维、酸性洗涤纤维、钙、磷等含量参照《饲料分析及饲料质量检测技术》<sup>[18]</sup>中方法进行测定;氮(粗蛋白质)含量采用KT200 Kjteltec™凯氏定氮仪(FOSS,丹麦)测定。

### 1.4.2 计算公式

粗蛋白质含量(%)=氮含量×6.25;

沉积氮(g/d)=食入氮-粪氮排泄量-尿氮排泄量;

氮沉积率(%)=100×沉积氮/食入氮;

粪氮占比(%)=100×粪氮排泄量/  
(粪氮排泄量+尿氮排泄量);

粪磷占比(%)=100×粪磷排泄量/  
(粪磷排泄量+尿磷排泄量);

粪钙占比(%)=100×粪钙排泄量/  
(粪钙排泄量+尿钙排泄量);

尿氮占比(%)=100×尿氮排泄量/  
(粪氮排泄量+尿氮排泄量);

尿磷占比(%)=100×尿磷排泄量/  
(粪磷排泄量+尿磷排泄量);

尿钙占比(%)=100×尿钙排泄量/  
(粪钙排泄量+尿钙排泄量)。

## 1.5 统计分析

试验数据采用Excel 2013软件进行初步统计后,用SPSS 23.0软件中的ANOVA程序进行单因素方差分析,并采用Duncan氏法进行多重比较,结果以“平均值±标准差”表示。 $P>0.05$ 表示差异不显著, $P<0.05$ 表示差异显著, $P<0.01$ 表示差异极显著。

## 2 结果

### 2.1 饲料磷水平对空怀期云南半细毛羊粪中养分排泄量的影响

由表2可知,0.19%、0.32%和0.45%磷水平组干物质采食量显著高于0.56%磷水平组( $P<0.05$ ),极显著高于0.64%磷水平组( $P<0.01$ );0.45%磷水平组粪干物质排泄量显著高于0.19%和0.32%磷水平组( $P<0.05$ ),0.45%、0.56%和0.64%磷水平组粪干物质排泄量占干物质采食量的比例显著高于0.19%和0.32%磷水平组( $P<0.05$ ),而0.19%和0.32%磷水平组间以及0.45%、0.56%和0.64%磷水平组间以上2个指标差异均不显著( $P>0.05$ )。0.45%磷水平组粪氮排泄量显著高于0.32%磷水平组( $P<0.05$ ),而与0.19%、0.56%和0.64%磷水平组差异不显著( $P>0.05$ );粪氮排泄量占食入氮的比例以0.64%磷水平组最高,0.45%和0.56%磷水平组居中,0.19%和0.32%磷水平组较低。食入磷和粪磷排泄量随着饲料磷水平的升高呈极显著提高( $P<0.01$ );0.56%和0.64%磷水平组粪磷排泄量占食入磷的比例显著高于0.45%磷水平组( $P<0.05$ ),极显著高于0.19%和0.32%磷水平组( $P<0.01$ )。食入钙随着饲料磷水平的升高而极显著降低( $P<0.01$ );粪钙排泄量以0.19%磷水平组最高,显著高于0.45%、0.56%和0.64%磷水平组( $P<0.05$ ),0.64%磷水平组则最低,极显著低于其他4个组( $P<0.01$ );饲料磷

水平对粪钙排泄量占食入钙的比例没有产生显著影响 ( $P>0.05$ )。

表 2 饲料磷水平对空怀期云南半细毛羊粪中养分排泄量的影响

Table 2 Effects of dietary P level on fecal nutrient excretions of non-pregnant *Yunnan* semi-fine wool sheep

项目 Items	磷水平 P level/%				
	0.19	0.32	0.45	0.56	0.64
干物质采食量 DMI/(kg/d)	1.48±0.06 <sup>Aa</sup>	1.48±0.05 <sup>Aa</sup>	1.48±0.06 <sup>Aa</sup>	1.43±0.06 <sup>ABb</sup>	1.42±0.07 <sup>Bb</sup>
粪干物质排泄量 Fecal DM excretion/(kg/d)	0.46±0.03 <sup>ABbc</sup>	0.45±0.07 <sup>Bc</sup>	0.50±0.02 <sup>Aa</sup>	0.48±0.04 <sup>ABab</sup>	0.49±0.05 <sup>ABab</sup>
粪干物质排泄量占干物质采食量的比例 Proportion of fecal DM excretion in DMI/%	31.01±2.00 <sup>Bb</sup>	30.37±3.60 <sup>Bb</sup>	33.6±2.51 <sup>ABa</sup>	33.84±3.16 <sup>ABa</sup>	34.34±2.97 <sup>Aa</sup>
食入氮 NI/(g/d)	29.93±1.14 <sup>Aa</sup>	27.78±0.99 <sup>Bb</sup>	27.72±1.06 <sup>Bb</sup>	26.82±1.06 <sup>Bc</sup>	25.47±1.26 <sup>Cd</sup>
粪氮排泄量 FN excretion/(g/d)	10.99±0.83 <sup>ab</sup>	10.24±1.75 <sup>b</sup>	11.16±0.79 <sup>a</sup>	10.82±0.83 <sup>ab</sup>	11.01±1.33 <sup>ab</sup>
粪氮排泄量占食入氮的比例 Proportion of FN excretion in NI/%	36.72±2.26 <sup>Bc</sup>	36.79±4.80 <sup>Bc</sup>	40.33±3.19 <sup>ABb</sup>	40.33±2.46 <sup>ABb</sup>	43.14±4.03 <sup>Aa</sup>
食入磷 PI/(g/d)	3.51±0.13 <sup>E</sup>	5.47±0.19 <sup>D</sup>	7.56±0.26 <sup>C</sup>	8.81±0.36 <sup>B</sup>	10.24±0.44 <sup>A</sup>
粪磷排泄量 FP excretion/(g/d)	2.47±0.26 <sup>E</sup>	3.96±0.63 <sup>D</sup>	5.63±0.43 <sup>C</sup>	7.26±0.54 <sup>B</sup>	8.35±1.03 <sup>A</sup>
粪磷排泄量占食入磷的比例 Proportion of FP excretion in PI/%	70.28±8.32 <sup>Bb</sup>	72.27±11.04 <sup>Bb</sup>	74.66±6.52 <sup>ABb</sup>	82.55±7.30 <sup>Aa</sup>	81.55±9.60 <sup>Aa</sup>
食入钙 CaI/(g/d)	7.78±0.30 <sup>A</sup>	7.31±0.26 <sup>B</sup>	6.88±0.25 <sup>C</sup>	6.57±0.26 <sup>D</sup>	6.05±0.29 <sup>E</sup>
粪钙 FCa excretion/(g/d)	5.71±0.48 <sup>Aa</sup>	5.44±1.02 <sup>ABab</sup>	5.05±0.48 <sup>Bb</sup>	5.14±0.54 <sup>ABb</sup>	4.40±0.34 <sup>Cc</sup>
粪钙排泄量占食入钙的比例 Proportion of FCa in CaI/%	73.47±6.55	74.24±7.78	73.62±8.11	78.38±9.08	72.76±5.34

同行数据肩标相同或无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 ( $P<0.01$ )。下表同。

In the same row, values with the same or no letters superscripts mean no significant difference ( $P>0.05$ ), while with different small letter superscripts mean significant difference ( $P<0.05$ ), and with different capital letter superscripts mean significant difference ( $P<0.01$ ). The same as below.

## 2.2 饲料磷水平对空怀期云南半细毛羊尿中养分排泄量的影响

由表 3 可知, 0.45% 磷水平组尿排泄量显著高于 0.64% 磷水平组 ( $P<0.05$ ), 而与 0.19%、0.32% 和 0.56% 磷水平组差异不显著 ( $P>0.05$ )。饲料磷水平对尿氮排泄量和尿氮排泄量占食入氮的比例未产生显著影响 ( $P>0.05$ )。尿磷排泄量以 0.64% 磷水平组最高, 极显著高于其他各组 ( $P<0.01$ ), 以 0.19% 磷水平组最低, 极显著低于其他各组 ( $P<0.01$ ), 而 0.32%、0.45% 和 0.56% 磷水平组间差异不显著 ( $P>0.05$ ); 0.32% 磷水平组尿磷排泄量占食入磷的比例极显著高于 0.19% 和 0.45% 磷水平组 ( $P<0.01$ ), 显著高于 0.56% 磷水平组 ( $P<0.05$ ), 而与 0.64% 磷水平组间差异不显著 ( $P>0.05$ )。尿钙排泄量以 0.32% 磷水平组最高, 显著高于 0.19%、0.56% 和 0.64% 磷水平组 ( $P<0.05$ ), 以 0.56% 磷水平组最低, 显著低于其他各组 ( $P<$

0.05); 尿钙排泄量占食入钙的比例以 0.32% 磷水平组最高, 显著高于 0.19% 和 0.56% 磷水平组 ( $P<0.05$ ), 以 0.56% 磷水平组最低, 极显著低于 0.32%、0.45% 和 0.64% 磷水平组 ( $P<0.01$ )。

## 2.3 饲料磷水平对空怀期云南半细毛羊粪尿中养分排泄总量的影响

由表 4 可知, 氮总排泄量和尿氮占比在不同磷水平组间无显著差异 ( $P>0.05$ ); 0.64% 磷水平组粪氮占比显著高于 0.32% 磷水平组 ( $P<0.05$ ), 而与其他 3 组差异不显著 ( $P>0.05$ )。随着饲料磷水平的升高, 磷总排泄量极显著升高 ( $P<0.01$ ); 0.19% 磷水平组粪磷占比显著高于 0.32% 和 0.64% 磷水平组 ( $P<0.05$ ), 而与 0.45% 和 0.56% 磷水平组差异不显著 ( $P>0.05$ ); 0.32% 磷水平组尿磷占比显著高于 0.19%、0.45% 和 0.56% 磷水平组 ( $P<0.05$ ), 而与 0.64% 磷水平组差异不显著 ( $P>0.05$ )。钙总排泄量以 0.19% 磷水平组最高, 极显

著高于 0.45%、0.56% 和 0.64% 磷水平组 ( $P < 0.01$ ), 以 0.64% 磷水平组最低, 极显著低于其他各组 ( $P < 0.01$ ); 0.56% 磷水平组粪钙占比显著高于其他各组 ( $P < 0.05$ ); 0.32% 磷水平组尿钙占比

显著高于 0.19% 和 0.56% 磷水平组 ( $P < 0.05$ ), 而与 0.45% 和 0.64% 磷水平组差异不显著 ( $P > 0.05$ )。

表 3 饲料磷水平对空怀期云南半细毛羊尿中养分排泄量的影响

Table 3 Effects of dietary P level on urine nutrient excretions of non-pregnant *Yunnan* semi-fine wool sheep

项目 Items	磷水平 P level/%				
	0.19	0.32	0.45	0.56	0.64
尿排泄量 Urine excretion/(mL/d)	894.00±256.71 <sup>ab</sup>	917.14±414.57 <sup>ab</sup>	1 086.57±840.90 <sup>a</sup>	782.67±284.79 <sup>ab</sup>	677.33±186.72 <sup>b</sup>
尿氮排泄量 UN excretion/(g/d)	6.63±1.15	7.57±2.28	7.37±2.61	6.78±1.95	6.18±1.83
尿氮排泄量占食入氮的比例 Proportion of UN excretion in NI/%	22.25±4.32	27.25±5.17	26.58±5.23	25.32±4.31	24.25±5.25
尿磷排泄量 UP excretion/(g/d)	0.02±0.00 <sup>Cd</sup>	0.04±0.02 <sup>Bbc</sup>	0.04±0.01 <sup>Bc</sup>	0.05±0.02 <sup>Bb</sup>	0.07±0.02 <sup>Aa</sup>
尿磷占食入磷的比例 Proportion of UP in PI/%	0.47±0.12 <sup>Cc</sup>	0.78±0.41 <sup>Aa</sup>	0.53±0.20 <sup>BCc</sup>	0.59±0.16 <sup>ABCbc</sup>	0.73±0.20 <sup>ABab</sup>
尿钙排泄量 UCa excretion/(g/d)	0.12±0.05 <sup>ABCb</sup>	0.17±0.11 <sup>Aa</sup>	0.13±0.04 <sup>ABab</sup>	0.06±0.03 <sup>Cc</sup>	0.11±0.04 <sup>BCb</sup>
尿钙占食入钙的比例 Proportion of UCa in CaI/%	1.52±0.39 <sup>ABbc</sup>	2.32±0.42 <sup>Aa</sup>	1.83±0.44 <sup>Aab</sup>	0.98±0.35 <sup>Bc</sup>	1.82±0.34 <sup>Aab</sup>

表 4 饲料磷水平对空怀期云南半细毛羊粪尿中养分排泄总量的影响

Table 4 Effects of dietary P level on total nutrient excretions of feces and urine of non-pregnant *Yunnan* semi-fine wool sheep

项目 Items	磷水平 P level/%				
	0.19	0.32	0.45	0.56	0.64
氮总排泄量 Total N excretion/(g/d)	17.63±1.12	17.81±3.07	18.53±2.67	17.60±2.06	17.19±2.53
粪氮占比 FN proportion/%	62.52±5.19 <sup>ab</sup>	57.98±8.65 <sup>b</sup>	61.17±7.96 <sup>ab</sup>	62.21±8.14 <sup>ab</sup>	64.74±8.27 <sup>a</sup>
尿氮占比 UN proportion/%	37.48±5.19	42.02±8.65	38.83±7.96	37.79±8.14	35.26±8.27
磷总排泄量 Total P excretion/(g/d)	2.48±0.26 <sup>E</sup>	4.00±0.64 <sup>D</sup>	5.67±0.42 <sup>C</sup>	7.31±0.54 <sup>B</sup>	8.42±1.04 <sup>A</sup>
粪磷占比 FP proportion/%	99.34±0.17 <sup>Aa</sup>	98.94±0.49 <sup>Bbc</sup>	99.29±0.28 <sup>ABab</sup>	99.27±0.23 <sup>ABab</sup>	99.11±0.23 <sup>ABbc</sup>
尿磷占比 UP proportion/%	0.66±0.17 <sup>Bb</sup>	1.06±0.49 <sup>Aa</sup>	0.71±0.28 <sup>Bb</sup>	0.73±0.23 <sup>Bb</sup>	0.89±0.23 <sup>ABab</sup>
钙总排泄量 Total Ca excretion/(g/d)	5.83±0.46 <sup>A</sup>	5.61±1.04 <sup>AB</sup>	5.18±0.48 <sup>B</sup>	5.21±0.53 <sup>B</sup>	4.51±0.35 <sup>C</sup>
粪钙占比 FCa proportion/%	97.93±0.91 <sup>ABb</sup>	96.98±1.76 <sup>Bc</sup>	97.55±0.87 <sup>Bbc</sup>	98.73±0.64 <sup>Aa</sup>	97.56±0.96 <sup>Bbc</sup>
尿钙占比 UCa proportion/%	2.07±0.91 <sup>ABb</sup>	3.02±1.76 <sup>Aa</sup>	2.45±0.87 <sup>ABab</sup>	1.27±0.64 <sup>Bc</sup>	2.44±0.96 <sup>ABab</sup>

## 2.4 饲料磷水平对空怀期云南半细毛羊氮平衡的影响

由表 5 可知, 随着饲料磷水平的升高, 食入氮、沉积氮和氮沉积率逐渐降低, 其中 0.19% 磷水平组食入氮和沉积氮极显著高于其他 4 个磷水平组 ( $P < 0.01$ ), 0.32% 和 0.45% 磷水平组食入氮显著高于 0.56% 和 0.64% 磷水平组 ( $P < 0.05$ ), 0.32%、0.45%、0.56% 和 0.64% 磷水平组间沉积氮无显著差异 ( $P > 0.05$ ); 0.19% 磷水平组氮沉积率显著高于 0.45% 和 0.56% 磷水平组 ( $P < 0.05$ ), 极

显著高于 0.64% 磷水平组 ( $P < 0.01$ ), 与 0.32% 磷水平组差异不显著 ( $P > 0.05$ )。各组氮平衡均为正平衡。

## 3 讨论

### 3.1 饲料磷水平对空怀期云南半细毛羊粪尿中养分排泄量的影响

饲料磷水平决定了空怀期母羊体况恢复、繁殖性能和其他矿物元素的代谢, 但摄入过量磷则未被吸收的磷流失到环境中, 不仅造成磷资源浪

费,还会引起土壤、水体的富营养化等环境污染问题。

表 5 饲料磷水平对空怀期云南半细毛羊氮平衡的影响

Table 5 Effects of dietary P level on nitrogen balance of non-pregnant Yunnan semi-fine wool sheep

项目 Items	磷水平 P level/%				
	0.19	0.32	0.45	0.56	0.64
食入氮 NI/(g/d)	29.93±1.14 <sup>Aa</sup>	27.78±0.99 <sup>Bb</sup>	27.72±1.06 <sup>Bb</sup>	26.82±1.06 <sup>Bc</sup>	25.47±1.26 <sup>Cd</sup>
沉积氮 N retention/(g/d)	12.30±1.58 <sup>Aa</sup>	9.97±2.83 <sup>Bb</sup>	9.18±2.73 <sup>Bb</sup>	9.22±2.05 <sup>Bb</sup>	8.28±2.17 <sup>Bb</sup>
氮沉积率 N retention rate/%	41.03±4.35 <sup>Aa</sup>	35.95±10.47 <sup>Ab</sup>	33.09±9.51 <sup>Ab</sup>	34.35±7.49 <sup>Ab</sup>	32.61±8.88 <sup>Bb</sup>

反刍动物体内未被利用的氮主要以粪氮和尿氮的形式排出体外,一般来说,粪氮排泄量比较稳定,而尿氮排泄量则受饲料蛋白质水平影响较大<sup>[19]</sup>。本研究中空怀期云南半细毛羊氮总排泄量为 17.19~18.53 g/d,其中粪氮占比 57.98%~64.74%,尿氮占比 35.26%~42.02%。0.19%磷水平组粪氮排泄量占食入氮的比例、0.32%磷水平组粪氮排泄量和粪氮占比最低,而 0.45%磷水平组粪氮排泄量、0.64%磷水平组粪氮排泄量占食入氮的比例和粪氮占比最高;尿氮排泄量和尿氮占比则不受饲料磷水平的影响。赵智力<sup>[20]</sup>发现,内蒙古白绒山羊羯羊非产绒期Ⅳ组(0.42%钙、0.30%磷)尿氮排泄量低于Ⅱ组(0.29%钙、0.20%磷),而非产绒期粪氮排泄量及产绒期粪、尿氮排泄量在不同组间无显著差异。王浩等<sup>[12]</sup>研究表明,陕北白绒山羊断奶羔羊粪氮排泄量不受饲料钙与磷水平影响,而Ⅳ组(0.80%钙、0.65%磷)尿氮排泄量显著高于Ⅲ组(0.80%钙、0.45%磷)。以上研究结果说明,非产绒期内蒙古白绒山羊羯羊在饲料磷水平较低时,尿氮排泄量随饲料磷水平的升高而降低,陕北白绒山羊断奶羔羊在饲料磷水平较高时,尿氮排泄量随饲料磷水平的升高而升高。对于空怀期云南半细毛羊,当饲料磷水平超过 0.32%时,其粪氮排泄量、粪氮排泄量占食入氮的比例和粪氮占比将升高,尿氮排泄量则不受饲料磷水平的显著影响。此外,本试验中固定了饲料钙水平,而磷水平呈梯度上升,饲料磷水平为 0.19%、0.32%、0.45%、0.56%和 0.64%时,钙磷比分别为 2.63、1.53、1.33、0.80 和 0.69,0.19%、0.32%和 0.45%磷水平组具有较适宜的钙磷比,因此,饲料中适宜钙磷比更有利于减少空怀期云南半细毛羊粪氮排泄量。

Wang 等<sup>[21]</sup>研究表明,饲料磷水平从 0.57%降

低到 0.37%后,泌乳前期、中期、后期荷斯坦奶牛粪磷排泄量降低 35.65%~40.80%,尿磷排泄量减少 22.73%~41.03%,且产奶量不受饲料磷水平的影响。赵若含等<sup>[22]</sup>研究得出,相较于饲料磷水平为 0.42%时,饲料磷水平为 0.39%时泌乳荷斯坦奶牛的粪磷排泄量降低了 26.40%,尿磷排泄量降低了 7.69%。赵智力<sup>[20]</sup>报道,随着饲料磷水平的升高,内蒙古白绒山羊羯羊磷总排泄量和粪磷排泄量显著增加,尿磷排泄量则不受饲料磷水平的影响。在本试验中,对于空怀期云南半细毛羊来说,磷总排泄量主要由粪磷排泄量组成,占磷总排泄量的 98.94%~99.34%,而尿磷排泄量较少,仅占磷总排泄量的 0.66%~1.06%。当饲料磷水平由 0.19%增加到 0.64%时,粪、尿磷排泄量极显著增加,0.19%、0.32%、0.45%、0.56%和 0.64%磷水平组磷总排泄量分别为 2.48、4.00、5.67、7.31、8.42 g/d,与朱新民<sup>[23]</sup>、胡凤明等<sup>[24]</sup>和在生长期波杂山羊和察哈尔羔羊上的研究结果一致。有研究表明总磷摄入量是决定磷排泄量的主要因素,二者之间呈正相关关系<sup>[25]</sup>。因此,在满足空怀期云南半细毛羊磷营养需要的基础上,适当降低饲料磷水平将有利于提高磷利用效率,减少粪、尿磷排泄量,从而减轻环境污染,提高生态效益。

有研究报道饲料磷水平显著影响粪钙和尿钙排泄量<sup>[12,23]</sup>。本试验中,空怀期云南半细毛羊粪钙排泄量占钙总排泄量的 96.98%~98.73%,而尿钙排泄量占钙总排泄量的 1.27%~3.02%;粪钙排泄量随饲料磷水平增加呈逐渐降低趋势,尿钙排泄量则以 0.32%磷水平组最高,0.56%磷水平组最低。王浩等<sup>[12]</sup>研究表明,高磷水平组(0.66%磷)陕北白绒山羊断奶羔羊尿钙排泄量显著高于低磷水平组(0.45%磷),而粪钙排泄量则不受饲料磷水平的影响。朱新民<sup>[23]</sup>对生长期波杂山羊的研究

发现,第3组(2.56 g/d 磷)粪钙排泄量最低,其次为第4组(4.17 g/d 磷)、第2组(1.31 g/d 磷)和第1组(0.89 g/d 磷),而第4组尿钙排泄量则显著低于其他3组,与本试验研究结果一致,说明在相同钙水平下,磷水平过高会影响钙的吸收利用,最终导致粪、尿钙排泄量发生变化。

### 3.2 饲粮磷水平对空怀期云南半细毛羊氮平衡的影响

氮平衡是反刍动物蛋白质代谢的重要指标,它比蛋白质消化率更能反映蛋白质的利用效率。目前,有关饲粮磷水平对绵羊氮平衡的研究未见报道。在牛上的研究表明,饲喂不同磷水平(0.50%、0.75%、1.00%和1.25%)饲粮对生长期奶水牛沉积氮和氮沉积率的影响不显著<sup>[26]</sup>。本研究结果表明,随着饲粮磷水平的升高,空怀期云南半细毛羊沉积氮和氮沉积率逐渐降低,其中0.19%磷水平饲粮显著提高了母羊的沉积氮和氮沉积率,而0.32%~0.64%磷水平饲粮则未对沉积氮和氮沉积率产生显著影响。赵智力<sup>[20]</sup>对内蒙古白绒山羊的研究表明,产绒期羯羊不同钙、磷水平组间沉积氮及氮沉积率差异不显著。王浩等<sup>[12]</sup>报道,不同钙、磷水平饲粮对于陕北白绒山羊断奶羔羊沉积氮无显著影响,而Ⅲ组(0.80%钙、0.45%磷)氮沉积率显著高于Ⅳ组(0.80%钙、0.65%磷),反映出低磷水平饲粮(0.45%磷)更有助于陕北白绒山羊断奶羔羊氮沉积。有研究证明,磷元素参与了瘤胃微生物蛋白合成及纤维素消化的过程,当饲粮磷水平过低或超过瘤胃微生物需要时,瘤胃微生物活性和发酵效率也随之降低<sup>[27-28]</sup>。结合本研究结果,我们认为,0.19%磷水平饲粮有助于空怀期云南半细毛羊的氮沉积,当饲粮磷水平超过适宜磷水平时,会影响空怀期云南半细毛羊的干物质采食量,抑制瘤胃微生物对蛋白质的合成,最终降低氮的利用效率。

## 4 结论

① 随着饲粮磷水平的升高,空怀期云南半细毛羊粪、尿磷排泄量呈增加趋势,粪钙排泄量呈下降趋势,尿钙排泄量以0.32%磷水平组最高,0.56%磷水平组最低;饲粮磷水平超过0.32%时,粪氮排泄量将升高,尿氮排泄量不受饲粮磷水平的影响。

② 空怀期云南半细毛羊氮、磷、钙均以从粪中

排泄为主,尤其是磷,粪磷排泄量占总磷排泄量的98.94%~99.34%,而尿磷排泄量较少。

③ 随着饲粮磷水平的升高,空怀期云南半细毛羊的沉积氮和氮沉积率逐渐降低,当饲粮磷水平为0.19%时沉积氮和氮沉积率最佳。

④ 饲粮磷水平在0.19%~0.32%时既可以提高空怀期云南半细毛羊的沉积氮和氮沉积率,又有利于减少氮、磷排泄量,降低环境污染。

### 参考文献:

- [1] 朱伟,冯培功,马君军,等.不同饲喂水平对育成期杜寒杂交母羊营养物质消化代谢的影响[J].中国饲料,2018(11):30-34.
- [2] 周艳,许贵善,董利锋,等.不同饲养模式下饲粮非纤维性碳水化合物/中性洗涤纤维对生长期杜寒杂交母羊生长性能、营养物质表观消化率和甲烷产量的影响[J].动物营养学报,2018,30(4):1367-1376.
- [3] 李卫娟,薛白,李银江,等.饲粮蛋白质水平对空怀期云南半细毛羊氮沉积和养分排放的影响[J].动物营养学报,2019,31(6):2651-2658.
- [4] 李卫娟,薛白,李银江,等.日粮钙水平对空怀期云南半细毛羊生长性能及血清生化指标和繁殖相关激素的影响[J].中国畜牧杂志,2019,55(3):72-76.
- [5] 孟梅娟,高立鹏,白云峰,等.金针菇菌渣对山羊饲粮养分表观消化率及氮平衡的影响[J].动物营养学报,2016,28(09):2953-2961.
- [6] SEOK J S, KIM Y I, LEE Y H, et al. Effect of feeding a by-product feed-based silage on nutrients intake, apparent digestibility, and nitrogen balance in sheep[J]. Journal of Animal Science and Technology, 2016, 58(1):9.
- [7] 冯仰廉.反刍动物营养学[M].北京:科学出版社,2004.
- [8] HUMER E, ZEBELI Q. Phytate in feed ingredients and potentials for improving the utilization of phosphorus in ruminant nutrition[J]. Animal Feed Science and Technology, 2015, 209:1-15.
- [9] 刘阳,杨昕润,杜红方,等.反刍动物对磷的利用[J].动物营养学报,2018,30(9):3403-3409.
- [10] KEBREAB E, HANSEN A V, LEYTEM A B. Feed management practices to reduce manure phosphorus excretion in dairy cattle[J]. Advances in Animal Biosciences, 2013, 4(Suppl.1):37-41.
- [11] 刘玉莹,范静.我国畜禽养殖环境污染现状、成因分析及其防治对策[J].黑龙江畜牧兽医,2018(8):19-21.

- [12] 王浩, 林昌龙, 周广琛, 等. 陕北白绒山羊断奶羔羊钙磷需要量的研究[J]. 畜牧兽医学报, 2018, 49(1): 121-130.
- [13] JAKOBSEN G V, JENSEN B B, BACH KNUDSEN K E, et al. Fermentation and addition of enzymes to a diet based on high-moisture corn, rapeseed cake, and peas improve digestibility of nonstarch polysaccharides, crude protein, and phosphorus in pigs[J]. Journal of Animal Science, 2015, 93(5): 2234-2245.
- [14] VALLEJO L H, BUENDÍA G, ELGHANDOUR M M M Y, et al. The effect of exogenous phytase supplementation on nutrient digestibility, ruminal fermentation and phosphorous bioavailability in Rambouillet sheep[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2018, 98(13): 5089-5094.
- [15] AZZAZ H H, ABOAMER A A, ALZAHAR H, et al. Effect of xylanase and phytase supplementation on goat's performance in early lactation[J]. Pakistan Journal of Biological Sciences, 2019, 22(6): 265-272.
- [16] 张浩, 聂海涛, 马铁伟, 等. 20~35 kg 杜湖 F1 代母羔常量元素净维持和生长需要量的研究[J]. 畜牧兽医学报, 2018, 49(1): 111-120.
- [17] 王思宇, 薛白, 洪琼花, 等. 48~52 kg 空怀期云南半细毛羊母羊粗蛋白质需要量研究[J]. 中国畜牧杂志, 2020, 56(4): 145-148.
- [18] 张丽英. 饲料分析及饲料质量检测技术[M]. 2 版. 北京: 中国农业大学出版社, 2003.
- [19] CASTILLO A R, KEBREAB E, BEEVER D E, et al. A review of efficiency of nitrogen utilisation in lactating dairy cows and its relationship with environmental pollution[J]. Journal of Animal and Feed Sciences, 2000, 9(1): 1-32.
- [20] 赵智力. 内蒙古白绒山羊生长羯羊钙、磷需要量的研究[D]. 硕士学位论文. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2006.
- [21] WANG C, LIU Z, WANG D M, et al. Effect of dietary phosphorus content on milk production and phosphorus excretion in dairy cows[J]. Journal of Animal Science and Biotechnology, 2014, 5(1): 23.
- [22] 赵若含, 李莲, 韩兆玉, 等. 不同饲料组成对泌乳荷斯坦奶牛产奶性能、血液生化指标及氮磷排放量的影响[J]. 动物营养学报, 2018, 30(6): 2155-2163.
- [23] 朱新民. 生长期波杂山羊钙磷代谢规律及需要量研究[D]. 硕士学位论文. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2004.
- [24] 胡凤明, 司丙文, 张博, 等. 内蒙古牧区察哈尔羔羊饲料钙磷适宜水平研究[J]. 草业学报, 2017, 26(3): 100-110.
- [25] EKELUND A, SPÖRNDLY R, VALK H, et al. Effects of varying monosodium phosphate intake on phosphorus excretion in dairy cows[J]. Livestock Production Science, 2005, 96(2/3): 301-306.
- [26] 陈月丽. 不同钙、磷水平日粮对 11~14 月龄奶牛生长性能、养分消化率和血液指标的影响[D]. 硕士学位论文. 南宁: 广西大学, 2016.
- [27] 初汉平. 体外法研究不同磷添加水平对奶牛瘤胃发酵的影响[J]. 中国饲料, 2011(4): 15-17.
- [28] HARDER H, KHOL-PARISINI A, METZLER-ZEBELI B U, et al. Treatment of grain with organic acids at 2 different dietary phosphorus levels modulates ruminal microbial community structure and fermentation patterns *in vitro*[J]. Journal of Dairy Science, 2015, 98(11): 8107-8120.

## Effects of Dietary Phosphorus Level on Nutrient Excretions and Nitrogen Balance of *Yunnan Semi-Fine Wool Sheep* during Non-Pregnancy Period

OUYANG Yina<sup>1</sup> XUE Bai<sup>2</sup> WANG Siyu<sup>1</sup> LIANG Jiachong<sup>1</sup> LI Yinjiang<sup>1</sup>  
LI Weijuan<sup>1</sup> HONG Qionghua<sup>1\*</sup>

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

**Abstract:** The current study was conducted to evaluate the effects of dietary phosphorus (P) level on excre-



tions of nitrogen (N), calcium (Ca) and phosphorus (P) and N balance of non-pregnant *Yunnan* semi-fine wool sheep during non-pregnant period. Fifty healthy non-pregnant multiparous *Yunnan* semi-fine wool sheep at the age of 30 months and with the body weight of ( $46.36 \pm 2.77$ ) kg were randomly divided into 5 groups with 10 replicates per group and 1 ewe per replicate. The P levels of diets for 5 groups were 0.19%, 0.32%, 0.45%, 0.56% and 0.64%, respectively, and other nutrient levels in the diets were essentially consistent. The experiment lasted for 44 d. There was a pretrial period of 14 d followed by an experimental period of 30 d. On the 9th day of the experimental period, five ewes were randomly selected from each group for digestion and metabolism experiment with a 3-d pretrial period by a 5-d trial period (the 12th to 16th day). The results showed as follows: 1) dietary P level had no significant effects on the excretions of total N and urine N ( $P > 0.05$ ). Fecal N excretion in 0.45% P level group was significantly higher than that in 0.32% P level group ( $P < 0.05$ ); however, there was no significant difference compared with 0.19%, 0.56% and 0.64% P level groups ( $P > 0.05$ ). 2) Excretions of total P and fecal P were significantly increased with the dietary P level increasing ( $P < 0.01$ ). Urine P excretion was the highest in 0.64% P level group and the lowest in 0.19% P level group ( $P < 0.01$ ), while there was no significant difference among 0.32%, 0.45% and 0.56% P level groups ( $P > 0.05$ ). 3) Excretions of total Ca and fecal Ca were the highest in 0.19% P level group, which was significantly higher than those in 0.45%, 0.56% and 0.64% P level groups ( $P < 0.05$ ). The lowest excretions of total Ca and fecal Ca were observed in 0.64% P level group, which was significantly lower than those in other groups ( $P < 0.01$ ). Similarly, urine Ca excretion was the highest in 0.32% P level group, which was significantly higher than that in 0.19%, 0.56% and 0.64% P level groups ( $P < 0.05$ ); however, the lowest urine Ca excretion was found in 0.56% P level group, which was significantly lower than that in other groups ( $P < 0.05$ ). 4) Dry matter intake (DMI) in 0.19%, 0.32% and 0.45% P level groups was significantly higher than that in 0.56% and 0.64% P level groups ( $P < 0.05$ ). N intake and N retention in 0.19% P level group were significantly higher than those in other groups ( $P < 0.01$ ), and the N intake in 0.32% and 0.45% P level groups was significantly higher than that in 0.56% and 0.64% P level groups ( $P < 0.05$ ). There was no significant difference in the N retention among 0.32%, 0.45%, 0.56% and 0.64% P level groups ( $P > 0.05$ ). The highest N retention rate was observed in 0.19% P group, which was significantly than that in 0.45%, 0.56% and 0.64% P level groups ( $P < 0.05$ ); however, there was no significant difference between 0.19% and 0.32% P level groups ( $P > 0.05$ ). Nitrogen balance in the 5 groups was positive. According to above findings, when the dietary P level is 0.19% to 0.32%, it is beneficial to enhance the N retention and N retention rate of *Yunnan* semi-fine wool ewes during non-pregnancy period, decrease the excretions of N and P, and reduce environmental pollution. [ *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2020, 32(10):4922-4930 ]

**Key words:** phosphorus; *Yunnan* semi-fine wool sheep; non-pregnancy period; nutrient excretions; nitrogen balance