

DOI: 10.11686/cyxb2017135

http://cyxb.lzu.edu.cn

潘发明, 王彩莲, 刁其玉, 宋淑珍, 郎侠, 宫旭胤, 张军成. 单宁酸对绵羊日粮养分消化利用及氮代谢的影响. 草业学报, 2017, 26(12): 179-185.  
PAN Fa-Ming, WANG Cai-Lian, DIAO Qi-Yu, SONG Shu-Zhen, LANG Xia, GONG Xu-Yin, ZHANG Jun-Cheng. Effects of tannic acid on digestion and utilization of nutrients and the metabolic parameters of nitrogen in sheep. Acta Prataculturae Sinica, 2017, 26(12): 179-185.

## 单宁酸对绵羊日粮养分消化利用及氮代谢的影响

潘发明<sup>1,2</sup>, 王彩莲<sup>1</sup>, 刁其玉<sup>2\*</sup>, 宋淑珍<sup>1</sup>, 郎侠<sup>1</sup>, 宫旭胤<sup>1</sup>, 张军成<sup>3</sup>

(1. 甘肃省农业科学院畜草与绿色农业研究所, 甘肃 兰州 730070; 2. 中国农业科学院饲料研究所, 农业部饲料生物技术重点实验室, 北京 100081; 3. 红古区动物疫病预防控制中心, 甘肃 兰州 730080)

**摘要:**通过在饲料中添加不同比例的分析纯单宁酸(鞣酸),对绵羊营养物质消化利用及氮代谢参数的影响进行了研究,并探讨分析纯单宁酸在饲料中的适宜添加量。试验选用 4 只安装永久性瘤胃瘘管的羯绵羊(2 岁,平均体重为 35±2.15 kg)作试畜,采用 4×4 拉丁方设计进行试验,研究了饲料单宁酸水平(A、B、C、D 分别为 0、10、15、20 g/kg DM)对绵羊养分消化利用与氮代谢参数的影响,16 d(预试期 10 d,正试期 6 d)为一个饲料循环,全期共 64 d。结果表明,高浓度单宁酸(20 g/kg DM)影响绵羊的采食量,进而影响绵羊对干物质(DM)、有机物(OM)、中性洗涤纤维(NDF)、酸性洗涤纤维(ADF)的摄入量( $P < 0.01$ );但随着单宁酸浓度的增加,绵羊对 DM、OM、NDF、ADF、Ca、P 的消化率并无显著影响( $P > 0.05$ );处理组 A、B、C 的 N 摄入量与 N 消化量极显著高于 D( $P < 0.01$ ),N 存留率随单宁酸比例的增大而升高,仅 C 处理组显著高于 A( $P < 0.01$ );N 消化率、pH、总 N 浓度差异不显著( $P > 0.05$ );而瘤胃液 NH<sub>3</sub>-N 浓度和尿素氮(BUN)呈线性下降,A 的 NH<sub>3</sub>-N 显著高于 D( $P < 0.05$ ),而其血浆尿素氮(BUN)高于 C、D( $P < 0.01$ )。可见,单宁酸具有提高蛋白质在绵羊体内消化吸收的功效;饲料中单宁酸含量小于 15 g/kg DM 时,能够显著提高氮存留率,对蛋白质保护的效果较好;故单宁酸在饲料中的添加量不应该超过 15 g/kg DM。

**关键词:**绵羊;单宁酸;营养;消化;氮代谢

## Effects of tannic acid on digestion and utilization of nutrients and the metabolic parameters of nitrogen in sheep

PAN Fa-Ming<sup>1,2</sup>, WANG Cai-Lian<sup>1</sup>, DIAO Qi-Yu<sup>2\*</sup>, SONG Shu-Zhen<sup>1</sup>, LANG Xia<sup>1</sup>, GONG Xu-Yin<sup>1</sup>, ZHANG Jun-Cheng<sup>3</sup>

1. Institute of Animal & Pasture Science and Green Agriculture of Gansu Academy of Agricultural Science, Lanzhou 730070, China; 2. Feed Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Key Laboratory of Feed Biotechnology, The Ministry of Agriculture of China, Beijing 100081, China; 3. Honggu Animal Disease Prevention and Control Center, Lanzhou 730080, China

**Abstract:** An experiment was conducted to determine the effects of tannic acid on nutrient digestion and nitrogen metabolic parameters in sheep, in order to determine the appropriate amount of tannic acid in feed. Four fine-wool wethers (two years old and average live weight of 35±2.15 kg) fitted with permanent rumen fistula were selected and a 4×4 Latin square design with 10 d preliminary and 6 d sampling experiment was used to study the effects of 4 different tannic acid contents on nutrient digestion and nitrogen metabolic profiles. The

收稿日期:2017-03-21;改回日期:2017-06-02

基金项目:甘肃省农业科学院中青年基金项目,甘肃省委组织部 2016 年陇原青年创新创业人才项目和甘肃省农业科学院中青年基金项目(2015GAAS30)资助。

作者简介:潘发明(1983-),男,甘肃民勤人,助理研究员,硕士。E-mail:pan-faming@163.com

\* 通信作者 Corresponding author. E-mail: diao-qiyu@caas.cn

contents of tannic acid in diets were 0 (A), 10 (B), 15 (C), and 20 (D) g/kg DM. The results indicated that both feed intake and the intake of DM, OM, NDF and ADF were affected by the tannic acid in treatment D (20 g/kg DM) ( $P>0.01$ ), while the digestibility of DM, OM, NDF, ADF, Ca and P was unaffected by the acid contents ( $P>0.05$ ). The intake and digestion of N were higher in the A, B and C treatments than in treatment D ( $P>0.01$ ). N retention increased as the level of tannic acid increased (N retention in treatment C was higher than in treatment A). No differences were observed in N digestibility, pH and total nitrogen in rumen fluids ( $P>0.05$ ), whereas the levels of  $\text{NH}_3\text{-N}$  and BUN decreased linearly. The level of  $\text{NH}_3\text{-N}$  for diet A was higher than for D ( $P<0.05$ ) and BUN was higher in the C and D treatments ( $P>0.01$ ). In conclusion, tannic acid increased rumen bypass proteins. N retention was improved when the ratio of tannic acid was less than 15 g/kg DM, suggesting that the optimal tannic acid content in diets is less than this ratio.

**Key words:** sheep; tannic acid; nutrients; digestion; utilization of nitrogen

单宁酸(tannic acid)又称鞣酸,是一种多酚类化合物,存在于柿子、茶叶、咖啡、石榴、高粱籽粒等植物组织中,在植物尚未成熟时形成水溶性单宁,随着籽实的成熟由水溶性转为凝结性。单宁酸的结构非常复杂,属于多羟基酚类化合物<sup>[1]</sup>。食品、饲料中的涩味,通常与单宁酸有关。而且,单宁酸能够与蛋白质、生物碱、果胶等相结合形成沉淀,因此一直被认为是饲料中的抗营养因子<sup>[2]</sup>。然而,由于反刍动物特殊的生理结构和消化特点,饲料中适量的单宁酸对反刍动物的蛋白质消化利用与环境保护具有一定的积极作用<sup>[3]</sup>,一方面是当瘤胃 pH 为 5~7 时,单宁可与植物性饲料中的蛋白质形成复合物,降低蛋白质在瘤胃中的溶解度和表面活性,避免被瘤胃微生物迅速降解,增加过瘤胃蛋白数量,从而提高蛋白质利用效率。当这种单宁-蛋白质复合物进入真胃(pH 为 2.5)和小肠(pH 为 8~9)时,经过胃蛋白酶和胰蛋白酶分解,形成易于吸收的小分子物质,从而达到过瘤胃蛋白保护的作用。有人在奶牛饲料中添加少量单宁酸,可提高牛奶中蛋白含量<sup>[4]</sup>,可见,单宁酸可以提高饲料蛋白在奶牛体内的消化吸收。张晓庆等<sup>[5]</sup>通过给绵羊饲喂单宁水平分别为 0.00、1.70 和 3.40 g/kg 干物质(dry matter, DM)的红豆草饲料,研究发现,饲料中单宁含量为 3.40 g/kg DM 时对饲料蛋白质的保护效果最好。目前,茶叶、高粱籽粒、灌木叶等富含单宁的物质对反刍动物过瘤胃蛋白质的保护效果,国内外已有大量研究报道;而对于化学纯品单宁酸( $\text{C}_{76}\text{H}_{52}\text{O}_{64}$ )对蛋白质的保护效果鲜有研究报道。本试验以绵羊为动物模型,旨在研究饲料中添加分析纯单宁酸( $\text{C}_{76}\text{H}_{52}\text{O}_{64}$ )对反刍动物营养物质消化利用和氮代谢的影响,探讨分析纯单宁酸在饲料中的适宜添加量,为纯品单宁酸作为反刍动物保护过瘤胃蛋白的一种新型饲料添加剂加以开发利用并为生产实践提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验设计

本试验采用 4×4 拉丁方设计,选用 4 只安装永久性瘤胃瘘管的羯绵羊(2 岁,平均体重为 35±2.15 kg),饲料循环周期为 16 d(预试期 10 d,正试期 6 d),全期共 64 d。根据前期预试验结果(影响绵羊采食量的单宁酸最大添加剂量≤20 g/kg DM),本试验分为 A、B、C 和 D 组,依次在基础饲料中添加纯品单宁酸 0、10、15、20 g/kg DM。

### 1.2 试验饲料与动物管理

试验饲料参照中国美利奴绵羊饲养标准,按日增重 50 g/d 育成公羊消化能(digestible energy, DE)、粗蛋白质(crude protein, CP)推荐量的 1.5 倍配制(表 1)。分析纯单宁酸(鞣酸)购自天津市凯通化学试剂有限公司。

安装瘤胃瘘管前,对试验羊进行免疫,瘘管术后恢复一个月再进行试验;试验前与试验期间保持羊舍及用具清洁,并定期消毒。将试验羊置于个体消化代谢笼中饲养,试验前一周逐渐过渡为试验饲料,精料和粗料均粉碎后,按日粮配方制备成全混合日粮进行饲喂,日投喂量约为体重的 3%(平均 1.0 kg DM),分 3 次等量饲喂(07:00、14:00、21:00),每天准确称量与记录投料量和剩料量,且晨饲前清理剩料,自由饮水。

表 1 试验基础饲料的组成及营养水平  
Table 1 Composition and nutrient levels of the diets

原料组成 Ingredients	含量 Content (% DM)	营养水平 Nutrient level	含量 Content
玉米 Corn	37.85	有机物 Organic matter (% DM)	92.01
大豆粕 Soybean meal	6.00	代谢能 DE (MJ/kg)	14.70
苜蓿干草 Alfalfa hay	12.00	粗蛋白质 CP (% DM)	11.25
玉米秸秆 Corn stalk	27.00	中性洗涤纤维 Neutral detergent fiber (% DM)	52.01
大麦秸秆 Barley straw	16.00	酸性洗涤纤维 Acid detergent fiber (% DM)	33.65
磷酸氢钙 CaHPO <sub>4</sub>	0.17	钙 Ca (% DM)	0.46
石灰石粉 Limestone	0.33	磷 P (% DM)	0.23
食盐 NaCl	0.50		
预混料 Premix	0.15		
合计 Total	100.00		

预混料每 kg 日粮提供的元素 Composition of premix(mg/kg 饲料 Diet): Zn 60, Fe 60, Mn 40, Cu 12, I 1, Se 0.2, Co 0.3。

### 1.3 样品采集与测定方法

**1.3.1 消化代谢试验** 用全收粪尿法进行消化代谢试验<sup>[6]</sup>, 收集期 5 d 中, 逐日准确称量与记录投料量和剩料量, 并采集有代表性的样品; 分别混匀、缩分、粉碎(过 1 mm 孔筛)后, 备测 DM、CP、钙(calcium, Ca)、磷(phosphorus, P)、中性洗涤纤维(neutral detergent fiber, NDF)与酸性洗涤纤维(acid detergent fiber, ADF)。每天定时(06:30)收集粪、尿样品。按日排粪量的一定比例取粪样, 在 65 °C 烘干至恒重、回潮、再称重后制成半干样, 供测 DM、Ca、P、ADF 与 NDF; 另取日排粪量的 2% 置广口瓶中, 加 10% 硫酸(H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)溶液浸没粪样, 冷藏, 备测粪中氮。在收尿容器中加浓 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 数 mL, 以固定氨氮; 按日排尿量的 10%~20% 取尿样(依排尿量确定), 置塑料瓶中, 冷藏, 备测尿中氮。按照《饲料分析及饲料质量检测技术》<sup>[7]</sup>中方法, 测定饲料和粪样中 DM、CP、Ca、P、灰分(Ash)、酸性洗涤纤维、中性洗涤纤维及尿氮(nitrogen, N)含量。

**1.3.2 瘤胃液样品** 收集期第 6 天, 分别在 6:00(食前 1 h)、8:00(食后 1 h)、10:00(食后 3 h)、12:00(食后 5 h)、14:00(食后 7 h), 经每只试羊瘤胃瘘管从腹囊中抽取瘤胃液约 50 mL, 用雷磁 PHS-2F 型酸度计(上海雷磁仪器厂)立即测定 pH 值; 而后用 4 层纱布过滤, 收集滤液于采样瓶, 加入饱和 HgCl<sub>2</sub> 溶液 2 滴(使酶灭活)后, 于 -20 °C 保存, 备测瘤胃液总氮(total nitrogen, TN)、氨氮(NH<sub>3</sub>-N)。瘤胃液 NH<sub>3</sub>-N 浓度的测定, 按冯宗慈<sup>[8]</sup>改进的比色法进行。

**1.3.3 血浆样品** 在正试期第 6 天 9:00(食后 2 h), 每只羊颈静脉采血 10 mL(肝素抗凝), 立即摇匀, 而后以 5000 r/min 离心 10 min, 制取血浆, -20 °C 保存, 备测尿素氮(blood urea nitrogen, BUN)。采用二乙酰-胍法(试剂盒由南京建成生物工程研究所提供)进行血浆尿素氮的测定。

### 1.4 数据处理与统计分析

采用 SPSS 20.0 软件进行拉丁方方差分析, 差异显著时均用 Turkey 法做多重比较, 试验结果表示为 Mean±SD。

## 2 结果与分析

### 2.1 饲料中单宁酸含量对瘤胃代谢参数的影响

由表 2 看出, 各处理组单宁酸含量对瘤胃液 pH 和总 N 量均值无显著影响( $P>0.05$ ); 但随着单宁酸的增加, 瘤胃液 NH<sub>3</sub>-N 均值和血浆尿素氮均呈线性下降, 处理组 A 的 NH<sub>3</sub>-N 浓度显著高于 D( $P<0.05$ ), 且其血浆 BUN 极显著高于 C、D( $P<0.01$ )。

表 2 瘤胃氮代谢参数与血浆尿素氮

Table 2 The average of rumen metabolic parameters and plasma blood urea nitrogen (BUN)

处理 Treatment	pH	总 N Total N (mg/100 mL)	NH <sub>3</sub> -N (mg/100 mL)	血浆 BUN (mg/100 mL)
A	6.74±0.14	47.26±6.31	23.31±1.22a	17.32±1.53A
B	6.68±0.12	45.42±5.45	18.42±1.56ab	14.29±1.76AB
C	6.66±0.13	44.83±6.23	15.53±2.27ab	13.42±0.87B
D	6.65±0.26	46.80±9.53	12.87±5.32b	12.98±0.32B
P 值 P-value	0.746	0.845	0.035	0.040

注:同列不同大写字母表示差异极显著( $P<0.01$ ),不同小写字母表示差异显著( $P<0.05$ ),下同。

Note: Means with different lowercase letters for the 0.05 level, different capital letters for the 0.01 level within the same column represent differ significantly, the same below.

## 2.2 饲料中单宁酸含量对绵羊养分消化与氮利用的影响

**2.2.1 干物质、有机物质与纤维物质的表观消化率** 处理组 A、B、C 的 DM 与有机质(organic matter, OM)采食量、消化量极显著高于 D( $P<0.01$ );各处理组 DM 与 OM 的粪中排出量、消化率差异均不显著( $P>0.05$ ),但处理组 A、B、C 的 DM、OM 消化率均呈高于 D 的趋势(表 3);还可看出,处理组 A、B 的 NDF 与 ADF 食入量、消化量极显著高于 C、D( $P<0.01$ ),处理组 C 的 NDF 与 ADF 食入量、消化量极显著高于 D( $P<0.01$ );各处理间 NDF 与 ADF 的粪排出量、消化率差异均不显著( $P>0.05$ )。

表 3 处理对干物质、有机质、中性洗涤纤维和酸性洗涤纤维表观消化的影响

Table 3 Effects of treatments on apparent digestion of dry matter, organic matter, neutral detergent fiber and acid detergent fiber

处理 Treatment	食入量 Intake (g/d)	排出量 Excretion in feces (g/d)	消化量 Digested (g/d)	消化率 Digestibility (%)	
DM	A	1000.00±0.00A	322.19±19.83	677.81±19.83A	67.78±1.98
	B	1000.00±0.00A	331.16±15.62	668.84±15.62A	66.88±1.57
	C	938.00±21.76A	320.25±33.10	617.75±11.34A	65.85±3.53
	D	756.00±91.23B	261.43±69.52	494.57±21.71B	65.42±2.87
	P 值 P-value	0.002	0.127	0.001	0.895
OM	A	920.12±0.00A	302.42±23.68	617.77±23.68A	67.14±2.57
	B	921.05±0.00A	294.68±14.60	626.37±14.60A	68.00±1.59
	C	878.36±15.86A	278.72±30.25	599.64±14.39A	68.27±1.64
	D	689.34±95.56B	229.78±75.00	459.56±20.56B	66.67±2.98
	P 值 P-value	0.002	0.193	0.001	0.955
NDF	A	520.10±0.00A	194.16±12.96	325.94±12.96A	62.67±2.49
	B	518.63±0.00A	195.82±11.38	322.81±11.38A	62.24±2.19
	C	400.89±38.42B	157.74±20.67	243.15±17.75B	60.65±4.43
	D	380.69±32.15C	116.89±45.10	224.61±26.24C	59.00±6.89
	P 值 P-value	0.000	0.146	0.001	0.947
ADF	A	336.46±0.00A	141.30±10.32	195.16±10.32A	58.00±3.07
	B	331.52±0.00A	133.77±9.26	197.75±9.26A	59.65±2.79
	C	264.85±14.63B	102.10±10.85	162.75±3.78B	61.45±1.43
	D	200.23±26.13C	76.85±41.58	115.09±7.16C	57.48±3.58
	P 值 P-value	0.000	0.081	0.001	0.886

**2.2.2 氮的表观消化和存留** 处理组 A、B、C 的 N 摄入量与 N 消化量极显著高于 D ( $P < 0.01$ ); 各处理间尿 N 排出量与 N 的消化率差异不显著 ( $P > 0.05$ ); 各处理间粪 N 排出量随单宁酸比例的增大而下降, 处理组 A 显著高于处理组 C、D, 处理组 B 显著高于处理组 D (表 4); 处理组 C 的 N 存留量显著高于 A、D ( $P < 0.01$ ); 各处理间 N 存留率随单宁酸比例的增大呈上升的趋势, 仅 C 处理组显著高于 A ( $P < 0.01$ ), 其他各处理间差异不显著 ( $P > 0.05$ )。

表 4 试验处理对 N 表观消化和存留的影响

Table 4 Effects of treatments on apparent digestion and retention of N

处理 Treatment	摄入量 Intake (g/d)	尿排出量 Excretion in urine (g/d)	粪排出量 Excretion in feces (g/d)	氮消化量 Nitrogen amount of digestion (g/d)	氮消化率 Nitrogen digestibility (%)	氮存留量 Amount of nitrogen (g)	氮存留率 Nitrogen retention (%)
A	102.54±0.00A	7.22±0.32	44.29±2.61a	58.25±0.32A	56.81±0.31	51.03±2.93B	49.77±2.86b
B	102.46±0.00A	8.07±0.65	39.52±3.01ab	62.94±0.65A	61.43±0.63	54.87±3.66AB	53.55±3.57ab
C	96.16±6.42A	6.57±0.73	30.36±4.35b	65.80±2.07A	68.43±5.91	57.23±1.34A	59.52±1.39a
D	77.49±10.25B	6.13±3.08	26.89±3.87b	50.60±6.38B	65.29±8.23	44.47±3.30C	57.39±4.26ab
P 值 P-value	0.002	0.838	0.014	0.001	0.586	0.000	0.040

**2.2.3 钙、磷的表观消化** 由表 5 看出, 处理组 A 的 Ca 摄入量与处理组 B 差异不显著, 但显著高于 C、D ( $P < 0.01$ ); 处理组 C 的 Ca 摄入量也极显著高于 D ( $P < 0.01$ ); 处理组 A、B、C 的粪 Ca 排出量极显著高于 D ( $P < 0.01$ ); 各处理组间 Ca 消化量、消化率无显著差异 ( $P > 0.05$ ); 处理组 A、B、C 的 P 摄入量极显著高于 D ( $P < 0.01$ ); 各处理组间 P 粪排出量、消化量、消化率的差异均不显著 ( $P > 0.05$ )。

表 5 试验处理对 Ca、P 表观消化的影响

Table 5 Effects of treatments on apparent digestion of Ca and P

处理 Treatment	摄入量 Intake (g/d)	粪排出量 Excretion in feces (g/d)	消化量 Digested (g/d)	消化率 Digestibility (%)	
Ca	A	4.60±0.00A	3.64±0.49A	0.96±0.49	20.87±2.30
	B	4.60±0.00AB	3.67±0.36A	0.93±0.21	20.22±4.57
	C	4.31±0.10B	3.58±0.00A	0.73±0.10	16.94±2.32
	D	3.48±0.42C	2.81±0.23B	0.67±0.19	19.25±5.46
	P 值 P-value	0.000	0.008	0.1000	0.652
P	A	2.30±0.00A	1.46±0.02	0.84±0.02	36.52±2.00
	B	2.30±0.00A	1.42±0.08	0.88±0.08	38.26±8.00
	C	2.06±0.05A	1.33±0.06	0.73±0.11	35.44±5.34
	D	1.74±0.21B	1.10±0.12	0.64±0.09	36.78±5.17
	P 值 P-value	0.005	0.120	0.687	0.663

### 3 讨论

#### 3.1 饲料单宁酸水平对绵羊 DM、OM 和纤维物质消化的影响

低浓度单宁酸含量不影响绵羊的采食量, 高浓度单宁酸 (20 g/kg DM), 明显影响饲料的适口性, 从而降低绵羊的采食量, 进而影响绵羊对 DM、OM、NDF 与 ADF 的摄入量。随着单宁酸浓度的增加, 绵羊对 DM、OM、NDF

与 ADF 的消化率并无显著影响,这与前期许多研究报道相似<sup>[9-11]</sup>;张晓庆<sup>[12]</sup>给绵羊饲喂单宁水平分别为 0.00、1.70 和 3.40 g/kg DM 的红豆草饲料研究发现,各处理间 DM、OM、NDF 与 ADF 消化率差异不显著。潘发明等<sup>[13]</sup>研究了饲料茶渣单宁水平(A、B、C、D 分别为 0.00、0.77、1.53、2.30 g/kg DM)对绵羊养分消化利用的影响,结果表明,茶渣单宁水平对 DM、OM、NDF 与 ADF 消化率无显著影响;Merkel 等<sup>[14]</sup>研究表明,羯山羊采食富含单宁的水栎树(*Quercus nigra*)树叶,与采食不含单宁的亮叶漆树(*Rhus copallina*)树叶相比,其 DM、OM、NDF 与 ADF 消化率都显著提高。

### 3.2 饲料单宁酸水平对氮代谢参数及消化利用的影响

刁其玉<sup>[15]</sup>提出,单宁在瘤胃中可和蛋白质结合成单宁-蛋白质复合物,成为过瘤胃蛋白,当到达真胃和小肠后复合物可释放出蛋白,这样增加了小肠对氨基酸的吸收,或增加了瘤胃的氨基酸外流速度;另外还提出,在瘤胃蛋白质和单宁结合可以预防脱氨基作用,新鲜牧草含有大量的可溶性蛋白,采食后降解快,单宁能有效地阻止蛋白质的快速降解,客观上增加了过瘤胃蛋白的数量。Yu 等<sup>[16]</sup>报道,鞣酸(水解单宁)具有保护蛋白质免在瘤胃内降解、改善氮沉积的作用。反刍动物采食单宁含量低的饲草后,降低了可溶性蛋白质在瘤胃内的降解率,使过瘤胃蛋白数量增加,从而提高家畜利用蛋白质的效率<sup>[17-18]</sup>。本研究表明,在单宁酸低浓度时,随着饲料单宁酸浓度的增大,氮的存留量、存留率显著提高,这与很多报道相一致;瘤胃液中 CP 降解率的降低,导致瘤胃中  $\text{NH}_3\text{-N}$  浓度的下降,这与张晓庆<sup>[12]</sup>半体内法试验呈现的规律一致;血浆尿素氮的变化趋势与瘤胃液  $\text{NH}_3\text{-N}$  相一致,且二者存在很高的相关性( $r=0.999, P=0.001$ ),表明血浆尿素氮主要受瘤胃液  $\text{NH}_3\text{-N}$  制约。饲料单宁酸浓度主要通过降低尿氮排出量而提高了氮的存留率,粪氮排出量基本未受影响。

据报道,影响单宁酸对蛋白质作用的主要因素是单宁酸与蛋白质的结合能力,氮消化率与单宁对蛋白质结合能力呈负相关<sup>[19]</sup>。单宁-蛋白质复合物的结合强度取决于单宁和蛋白质的特性,即分子量、三级结构、等电点和结合位置的相容性<sup>[20]</sup>。张晓庆等<sup>[5]</sup>给绵羊饲喂单宁水平分别为 0.00、1.70 和 3.40 g/kg DM 的红豆草饲料研究发现,单宁水平为 3.40 g/kg DM 饲料的尿氮排出量显著低于其他处理组,而氮存留率极显著高于其他各处理组。

### 3.3 饲料单宁酸水平对钙、磷消化的影响

本研究表明,各处理组间 Ca、P 消化量和消化率差异不显著。Calixto 等<sup>[21]</sup>研究发现,食物中单宁可以影响人体对钙离子的吸收。Neto 等<sup>[22]</sup>研究表明,*Lotus pedunculatus* 的单宁降低硫在瘤胃中的降解和吸收,提高了磷与锌的消化吸收,而对钠、钙、镁、铁、锰等的消化吸收影响不显著。单宁酸(水解单宁)与细胞内或组织外的钙离子结合,可拮抗平滑肌和心肌钙诱导收缩,降低血压<sup>[23]</sup>。而本试验中单宁酸浓度对 Ca、P 表观消化吸收也无显著影响。

## 4 结论

本研究表明,单宁酸具有提高蛋白质体内消化吸收的功效;饲料中单宁酸含量小于 15 g/kg DM 时,对绵羊采食影响很小,而显著提高氮存留率,对蛋白质消化吸收的效果较好;而当饲料中单宁酸含量为 15~20 g/kg DM 时,显著影响绵羊的采食量;故单宁酸在饲料中的添加量不应该超过 15 g/kg DM。目前,蛋白质饲料资源相对缺乏,单宁含量高的饲料原料可以与其他饲料合理搭配,以提高饲料营养物质的生物学价值,也可以考虑添加适量的单宁酸作为饲料添加剂使用。

## 参考文献 References:

- [1] Xu X F, Zhang L L. Nutritional role of tannin for ruminants. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2011, 23(12): 2084-2089.  
徐晓锋, 张力莉. 单宁对反刍动物促营养作用的研究进展. 动物营养学报, 2011, 23(12): 2084-2089.
- [2] Li Z F, Gao T Y, Zhou C S. Nutritional mechanism of tannin on nutrients utilization in ruminants. Acta Ecologiae Animalis Domastici, 2007, 28(6): 97-103.  
黎智峰, 高腾云, 周传社. 单宁对反刍动物养分利用的营养机制. 家畜生态学报, 2007, 28(6): 97-103.

- [3] Getachew G, Makkar H P S, Becker K. Method of polyethylene glycol application to tannin-containing browses to improve microbial fermentation and efficiency of microbial protein synthesis from tannin-containing browes. *Animal Feed Science and Technology*, 2001, 92(1): 51-57.
- [4] Yang Y F, Wei H J. Review of effects of tannins on ruminants. *Special Wild Economic Animal and Plant Research*, 2010, 32(1): 60-64.  
杨镒峰, 魏海军. 单宁对反刍动物影响的研究进展. *特产研究*, 2010, 32(1): 60-64.
- [5] Zhang X Q, Li Y, Li F D, *et al.* Effects of tannin content in sainfoin (*Onobrychis viciifolia*) hay on digestibility of nutrients and utilization of nitrogen in sheep diets. *Acta Veterinaria et Zootechnica Sinica*, 2009, 40(3): 356-362.  
张晓庆, 李勇, 李发弟, 等. 红豆草单宁含量对绵羊养分消化率及氮利用的影响. *畜牧兽医学报*, 2009, 40(3): 356-362.
- [6] Yang S X. Evaluation Method of Feed Nutritional Value. Lanzhou: Gansu People's Press, 1982.  
杨诗兴. 饲料营养价值评定方法. 兰州: 甘肃人民出版社, 1982.
- [7] Yang S. Feed and Feed Quality Detection Technology. Beijing: Beijing Agricultural University Press, 1993.  
杨胜. 饲料分析及饲料质量检测技术. 北京: 北京农业大学出版社, 1993.
- [8] Feng Z C. Improvement of ammonia nitrogen content in rumen by colorimetry. *Inner Mongolia Animal Husbandry Science*, 1993, (4): 40-41.  
冯宗慈. 通过比色法测定瘤胃液氨氮含量方法的改进. *内蒙古畜牧科学*, 1993, (4): 40-41.
- [9] Waghorn G C, Shelton I D, McNabb W C. Effects of condensed tannins in *Lotus pedunculatus* on its nutritive value for sheep. 1. Non-nitrogenous aspects. *Journal of Agricultural Science*, 1994, 123(1): 109-119.
- [10] Stienezen M, Waghorn G C, Douglas G B. Digestibility and effects of condensed tannins on digestion of sulla (*Hedysarum coronarium*) when fed to sheep. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 1996, 39(2): 215-221.
- [11] Barahona R, Lascano C E, Cochran R, *et al.* Intake, digestion, and nitrogen utilization by sheep fed tropical legumes with contrasting tannin concentration and astringency. *Animal Science*, 1997, 75(6): 1633-1640.
- [12] Zhang X Q. Effects of Tannin in Sainfoin on Protein Protection of Diets. Lanzhou: Gansu Agricultural University, 2005.  
张晓庆. 红豆草中单宁对饲料蛋白质保护的效果. 兰州: 甘肃农业大学, 2005.
- [13] Pan F M, Li F D, Hao Z L, *et al.* Effects of tannin content in residue of tea-leaves on digestion and utilization of nutrients and metabolic parameters of nitrogen in sheep. *Acta Veterinaria et Zootechnica Sinica*, 2012, 43(1): 71-81.  
潘发明, 李发弟, 郝正里, 等. 茶渣单宁含量对绵羊养分消化利用与氮代谢参数的影响. *畜牧兽医学报*, 2012, 43(1): 71-81.
- [14] Merkel R C, Toerien C, Sahlu T, *et al.* Digestibility, N balance and blood metabolite levels in Alpine goat wethers fed either water oak or shining sumac leaves. *Small Ruminant Research the Journal of the International Goat Association*, 2001, 40(2): 123-127.
- [15] Diao Q Y. The latest research dynamic of tannins. *Feed Research*, 1999, (11): 28.  
刁其玉. 单宁的最新研究动态. *饲料研究*, 1999, (11): 28.
- [16] Yu F, Barry T N, McNabb W C, *et al.* Effect of bound condensed tannin from cottonseed upon in situ, protein solubility and dry matter digestion in the rumen. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 1995, 69(3): 311-319.
- [17] Robbins C T, Hanley T A, Hagerman A E, *et al.* Role of tannins in defending plants against ruminants: reduction in protein availability. *Ecology*, 1987, 68(1): 98-107.
- [18] Silanikove N, Perevolotsky A, Provenza F D. Use of tannin-binding chemicals to assay for tannins and their negative post-ingestive effects in ruminants. *Animal Feed Science and Technology*, 2001, 91(1/2): 69-81.
- [19] Cortés J E, Moreno B, Pabón M L, *et al.* Effects of purified condensed tannins extracted from Calliandra, Flemingia and Leucaena on ruminal and post-ruminal degradation of soybean meal as estimated *in vitro*. *Animal Feed Science and Technology*, 2009, 151(3): 194-204.
- [20] Ngamsaeng A, Wanapat M, Khampa S. Evaluation of local tropical plants by *in vitro* rumen fermentation and their effects on fermentation end-products. *Pakistan Journal of Nutrition*, 2006, 5(5): 717-719.
- [21] Calixto J B, Nicolau M, Rae G A. Pharmacological actions of tannic acid. I. Effects on isolated smooth and cardiac muscles and on blood pressure. *Planta Medica*, 1986, 52(1): 32.
- [22] Neto S G, Batista A M V, de Carvalho F F R, *et al.* Bromatological composition, intake and *in vivo* digestibility of the diets with different levels of "catingueira" hay (*Caesalpinia bracteosa*), Fed to Morada Nova Sheep. *Revista Brasileira De Zootecnia*, 2001, 30(2): 553-562.
- [23] Luque A, Barry T N, McNabb W C, *et al.* The effect of grazing *Lotus corniculatus* during late summer-autumn on reproductive efficiency and wool production in ewes. *Australian Journal of Agricultural Research*, 2000, 51(3): 385-392.