

茶渣单宁含量对绵羊养分消化利用与氮代谢参数的影响

潘发明¹, 李发弟^{1,2*}, 郝正里¹, 郑琛¹, 董淑慧¹

(1. 甘肃农业大学动物科学技术学院, 兰州 730070; 2. 甘肃省饲料工程技术研究中心, 兰州 730000)

摘要: 旨在研究茶渣单宁含量对绵羊养分消化利用与氮代谢参数的影响。本研究分析了茶渣(RTL)的营养成分和单宁含量;用体外法测定6种配比茶渣/大豆粕混合料(0:10, 1:9, 2:8, 3:7, 4:6, 10:0, 其中茶渣缩合单宁(RTL-CT)含量依次为0.00、0.16、0.31、0.47、0.63和1.57 g·kg⁻¹DM)的瘤胃液与瘤胃液+HCl-胃蛋白酶干物质(DM)与粗蛋白质(CP)降解率(rdDM, tdDM, rdCP, tdCP);用4只安装永久性瘤胃瘘管的甘肃高山细毛羊(1岁半, 体质量(29±2.55)kg), 按4×4拉丁方方案进行试验, 研究了饲料RTL-CT水平(A、B、C、D分别为0.00、0.77、1.53、2.30 g·kg⁻¹DM)对绵羊养分消化利用与氮代谢参数的影响, 共4个15 d的饲料循环(预试期9 d, 收集期6 d)。试验结果:(1)3个茶渣样的粗蛋白质(CP)、粗纤维(CF)、单宁(单宁酸等价, TAE)与CT含量范围分别为23.23%~28.11%、16.68%~17.84%、1.98%~2.10%和1.47%~1.57%。(2)茶渣/大豆粕混合料的rdDM、tdDM、rdCP、tdCP均随茶渣比例提高而线性下降, 变化范围相应为61.39%~25.67%、79.61%~26.47%、60.76%~16.68%和84.85%~17.69%。(3)体内试验中, 高比例茶渣影响采食量, 饲料D(P<0.01)、C(P>0.05)的DM与有机物质(OM)采食量低于A、B; RTL-CT对DM、OM、中性洗涤纤维、酸性洗涤纤维、氮、钙和磷的消化率无显著影响(P>0.05); 但随RTL-CT水平提高尿氮排出量线性下降, 导致氮存留率上升, C的氮存留率较A提高23.61%(P<0.05), B、D分别提高12.57%和15.88%(P>0.05); 随RTL-CT提高, 瘤胃液pH、总氮浓度无显著变化(P>0.05), 而NH₃-N与血浆尿素氮(BUN)含量线性下降, C、D的NH₃-N分别是A的50.36%(P>0.05)和46.55%(P<0.05), BUN相应为A的68.04%与59.99%(P<0.05)。可见, 茶渣是高质量、低纤维物质, 单宁含量为中等的物质; 本试验中, RTL-CT降低了饲料的体外瘤胃CP降解率, 但未影响体内全消化道消化率, 且通过减少尿N排出而提高了氮存留率; 但高比例RTL-CT降低了绵羊采食量。显然, RTL-CT 1.53 g·kg⁻¹DM对饲料蛋白质的保护效果较好, 且对采食量无显著影响。

关键词: 绵羊; 茶渣; 单宁; 缩合单宁; 消化; 存留

中图分类号: S826; S816.32

文献标识码: A

文章编号: 0366-6964(2012)01-0071-11

Effects of Tannin Content in Residue of Tea-leaves on Digestion and Utilization of Nutrients and Metabolic Parameters of Nitrogen in Sheep

PAN Fa-ming¹, LI Fa-di^{1,2*}, HAO Zheng-li¹, ZHENG Chen¹, DONG Shu-hui¹

(1. College of Animal Science and Technology, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China; 2. Gansu Feed Engineer Technology Research Center, Lanzhou 730000, China)

Abstract: The present experiment was conducted to determine the effects of tannin content in residue of tea-leaves(RTL) on digestion and utilization of nutrients and metabolic parameters of nitrogen in sheep. The contents of nutrients and tannin in RTL were analysed; The *in vitro* degradability(rdDM, tdDM, rdCP, tdCP) of dry matter(DM) and crude protein(CP) of mixtures with six ratio of RTL to soybean meal(0:10, 1:9, 2:8, 3:7, 4:6, 10:0), which levels of RTL

收稿日期: 2010-10-27

基金项目: 现代农业产业技术体系建设专项资金; 国家农业科技成果转化资金项目(2008GB2G100324)

作者简介: 潘发明(1983-), 男, 甘肃民勤人, 硕士, 主要从事反刍动物营养研究, E-mail: pan-faming@163.com

* 通讯作者: 李发弟, 教授, E-mail: lifd@gsau.edu.cn

condensed tannin(RTL-CT) of the mixtures were 0.00, 0.16, 0.31, 0.47, 0.63, 1.57 g · kg⁻¹ DM, respectively, was measured by incubating in rumen fluid and rumen fluid + HCl-pepsin. To study the effects of RTL-CT contents on digestion and utilization of nutrients and metabolic profiles of nitrogen in sheep, four High Mountain Fine-wool wethers (one and a half years old and average live weight of (29 ± 2.55) kg) fitted with permanent rumen fistula and a 4 × 4 Latin square design with four cycles of diet each of 9 d for preliminary followed 6 d for sampling were used in this experiment. The contents of RTL-CT in diets were 0.00(A), 0.77(B), 1.53(C), 2.30(D)g · kg⁻¹DM. The results showed that: (1) the range of contents of CP, crude fiber (CF), TAE(tannic acid equivalent) and CT in three samples of TRL were 23.23%-28.11%, 16.68%-17.84%, 1.98%-2.10%, 1.47%-1.57%, respectively. (2) The degradabilities of DM and CP of the mixtures in rumen fluid and rumen fluid + HCl-pepsin(rdDM, tdDM, rdCP, tdCP) decreased linearly as the contents of RTL-CT, the range of change were 61.39%-25.67%, 79.61%-26.47%, 60.76%-16.68%, 84.85%-17.69%, respectively. (3) *In vivo*, the intake of diet was affected by high-ratio of RTL, compared with diet A and B, the intakes of DM and organic matter (OM) of diet C ($P > 0.05$) and diet D ($P < 0.01$) were lower; the digestibilities of DM, OM, calcium (Ca), phosphorus (P), neutral detergent fiber (NDF) and acid detergent fiber (ADF) of diets were unaffected by the contents of RTL-CT($P > 0.05$). But the excretions of urinary nitrogen were decreased linearly and retention of N increased as the RTL-CT level, the retention of nitrogen of diet B, C, D were raised by 12.57% ($P > 0.05$), 23.61% ($P < 0.05$) and 15.88% ($P > 0.05$) than for diet A, respectively; there were no significant changes of the levels of pH and total nitrogen of rumen fluid ($P > 0.05$) as the levels increasing of RTL-CT, while the contents of NH₃-N and plasma urea nitrogen(BUN) linearly decreased, the levels of NH₃-N and BUN of diet C and D were 50.36% ($P > 0.05$), 46.55% ($P < 0.05$) and 68.04%, 59.99% ($P < 0.05$) lower than that of diet A, correspondingly. It follows that residue of tea-leaves were a matter with high-protein, low-fiber and middle content of tannin; under the condition of this experiment, the *in vitro* rdCP were decreased by RTL-CT, but the digestibilities of CP in total gastrointestinal tract were unaffected by levels of RTL-CT, and N retentions were increased owing to reducing of the excretion of N in urine as RTL-CT; yet high ratio of residue of tea-leaves in diet resulted in lowering of intake by sheep. Obviously, the protection effect of RTL-CT with 1.53 g · kg⁻¹DM on protein was better, but no significant effect on the intake of diet.

Key words: sheep; residue of tea-leaves; tannin; condensed tannin; digestion; retention

茶(*Camellia sinensis*)是一种保健功能良好的全球性饮品。茶叶中的多酚类化合物不仅可阻碍癌细胞的DNA复制,抑制其生长,还能保护线粒体及核酸的完整性,延缓机体衰老^[1]。我国是传统的产茶与茶文化大国,全国茶叶年总产量高达130万吨。茶叶是以茶树的新梢芽为原料,以多种加工工艺制作的具不同色、香、味、形的茶叶产品,如绿茶、红茶、乌龙茶、黑茶、黄茶、白茶等。幼嫩的芽叶富含蛋白质等养分及咖啡碱、多酚类及维生素C等有益于人体健康的成分。据测定,砖茶、红茶、花茶、绿茶的粗蛋白质含量依次为14.5%、26.7%、27.1%和

34.2%,碳水化合物在50.3%~66.7%之间,而浸泡出的茶水仅含粗蛋白质0.1%^[2],大量的粗蛋白质、多酚类及其它养分均剩留在“茶渣”中被废弃,造成资源浪费与环境污染。

反刍动物食入氮的利用率不高,约20%~50%可能排放到环境中。即使高产奶牛,也只有不到20%的进食蛋白质转化为畜产品^[3-4]。因此,通过饲料调控提高进食氮的利用率、减少氮向环境的排放,已成为当前反刍动物营养学界倍加关注的问题^[5-6]。国内外在用物理或化学方法(甲醛、单宁等)保护蛋白质方面进行了广泛的研究,部分成果已被用于生

产实践。众多试验已确认,单宁虽是抗营养因子,但反刍动物饲料中所含单宁可降低蛋白质在瘤胃内的降解率,提高氮利用率,并能减少瘤胃中的泡沫,防止臌胀病的发生^[7]。试验还查明,青贮原料中含一定量单宁可减少青贮发酵过程中的养分损失,Wang 等报道,苜蓿和富单宁红豆草混合制干草或青贮时,苜蓿的营养价值较单独贮藏时有明显改善^[8]。目前,国外现代牧草育种中也把适宜的单宁含量作为育种目标之一^[9]。

灌木叶、树叶、某些天然牧草及栽培红豆草等所含单宁对蛋白质的保护作用,国内外已有大量研究。茶渣不仅富含蛋白质,且含单宁等酚类物质,但其对蛋白质的保护效果罕见报道。本试验拟以绵羊为动物模型,研究饲料中茶渣单宁含量对反刍家畜营养物质消化和氮利用的影响,期望初步筛选出饲料中适宜的茶渣单宁添加量,为将茶渣作为反刍动物的一种新型饲料资源加以开发利用提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计

共进行 3 个试验,即茶渣成分分析、茶渣单宁体外保护蛋白质的效果与对绵羊饲料养分消化利用的影响。

1.1.1 茶渣成分分析 以绿茶渣(信阳毛尖)、花茶渣和自茶楼、饭馆搜集的混合茶渣为材料,测定单宁(单宁酸等值,TAE)、缩合单宁(CT)和粗蛋白质等养分含量。

1.1.2 体外试验 将大豆粕(CP 41.73%)、绿茶渣(晒干)及二者的 4 种混合物(绿茶渣/大豆粕比分别为 1:9、2:8、3:7 和 4:6)作为试验材料,分别采用瘤胃液与瘤胃液+HCl 胃蛋白酶离体消化法测定干物质与粗蛋白质的降解率。6 个试样(绿茶渣/大豆粕比分别为 0:10、1:9、2:8、3:7、4:6、10:0)的茶渣 TAE(RTL-TAE)含量分别为 0.00、0.21、0.42、0.63、0.84 和 2.10 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ DM,茶渣 CT(RTL-CT)依次为 0.00、0.16、0.31、0.47、0.63 与 1.57 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ DM。

1.1.3 体内试验 选用 4 只安装永久性瘤胃瘘管的羯绵羊(1 岁半,平均体质量为 (29 ± 2.55) kg)作试畜,采用 4×4 拉丁方方案进行试验,15 d(预试期 9 d,正试期 6 d)为一个饲料循环,全期共 60 d。依据茶渣单宁含量和体外法测定的茶渣与大豆粕混合料的蛋白质降解率,确定试验处理:基础饲料 A,

B、C、D 试验饲料分别以混合茶渣替代 A 的 5%、10%、15%,4 种饲料的茶渣 TAE 含量相应为 0.00、1.02、2.04 和 3.06 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ DM,CT 为 0.00、0.77、1.53 和 2.30 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ DM。

1.2 试验材料与方法

1.2.1 茶渣来源与成分分析 分别以逐日积累的绿茶(信阳毛尖)茶渣(晒干)、花茶渣和从茶楼、饭馆搜集的混合茶渣(阴干)作为试样,将其粉碎过 40 目筛后供分析。粗蛋白质等养分按《饲料分析及饲料质量检测技术》^[10]中方法测定;参照 Folin-Ciocalteu 比色法和丁醇-盐酸法,测定茶渣中的 TAE 和 CT 含量^[11]。

1.2.2 体外试验

(1)瘤胃液供体动物:以 3 只安装永久性瘤胃瘘管的羯绵羊(1 岁半,平均体质量约 (29 ± 2.55) kg)作为瘤胃液供体。供液期间的日粮组成:麦草 150 g,苜蓿干草 150 g,青贮玉米秸 1 000 g,精料补充料 400 g。

(2)试剂:缓冲液配方: NaHCO_3 9.8 $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 9.3 $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 NaCl 0.47 $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 KCl 0.57 $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 、尿素 1.0 $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 CaCl_2 0.04 $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 MgCl_2 0.06 $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$;胃蛋白酶溶液:胃蛋白酶 2.5 g;浓盐酸 44.5 mL;蒸馏水 5 000 mL。

(3)试验步骤:将试样磨碎过 40 目筛、备用。准确称取 0.500 0 g 试样,并无损地转入已知质量的 100 mL 塑料离心管中(每试样至少 8 个平行测定),置 39 °C 恒温水浴中预热。经瘤胃瘘管分别采集 3 头羊的瘤胃内容液,等体积混合后以四层纱布过滤到烧杯中(烧杯置 39 °C 水浴中,边滤边充 CO_2),在保温状态下迅速带回实验室;随即加入 2 倍体积经 CO_2 饱和并预热(39 °C)的缓冲液,制备成混合培养液;在持续保温条件下用磁力搅拌器搅拌混合培养液,继续通入 CO_2 。向试样管充 CO_2 ,而后准确地加入 50 mL 混合培养液,立即盖好橡胶盖,轻轻摇匀后置 39 °C 恒温水浴箱中温育 48 h;最初 6 h 内每小时摇动 1 次,随后每 2 h 摇 1 次,12 h 后每 4 h 摇动 1 次。温育至 48 h 时,移去橡胶盖,向管中加入 5% HgCl_2 溶液 1 mL,以终止微生物活性。取出每试样的 4 个培养管,3 000 $\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$,丢弃上清液,105 °C 干燥,用于测定瘤胃液 DM 和 CP 降解率。在剩余的 4 个管中加入 5 mL HCl-胃蛋白酶溶液,继续在 39 °C 恒温水浴中温育 48 h,每天摇动 2 次。温育结束后取出,3 000 $\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$,丢弃上清液,105 °C 干

燥,用于测定瘤胃液+HCl-胃蛋白酶的DM和CP降解率。

同时设置空白培养管(未加试验样品)2个,分别排列于培养架的前、后位,以校正瘤胃液固相物的影响。

将结束温育的离心管于 $5\,000\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$ 下离心15 min,弃上清液,再加入蒸馏水30 mL,用玻璃棒充分搅动残渣,而后以同法离心、弃上清液。将管于 $105\text{ }^{\circ}\text{C}$ 干燥至恒质量测出DM,而后将4管残渣混合用于测定CP。同法测定各试样的DM与CP含量。

分别按以下公式计算瘤胃液与瘤胃液+HCl-胃蛋白酶培养的干物质和蛋白质降解率:

$$\text{DM 降解率}\% = [\text{试样 DM 质量} - (\text{残渣 DM 质$$

$$\text{量} - \text{空白 DM 质量})] / \text{试样 DM 质量} \times 100$$

$$\text{CP 降解率}\% = (\text{试样 CP 质量} - \text{残渣 CP 质量}) / \text{试样 CP 质量} \times 100$$

1.2.3 绵羊体内试验

(1)试验饲粮:试验用混合茶渣是从兰州10个茶楼、饭馆收集后阴干所得,其它饲料原料均购自饲料公司。对各原料的CP、钙(Ca)、磷(P)含量及茶渣中TAE、CT含量进行测定后,参照中国美利奴绵羊饲养标准,按其日增体质量50 g育成公羊消化能(DE)、CP推荐量的1.5倍配制饲粮配方(表1)。所有饲料原料均经粗粉碎后,制备成全混合型试验饲粮。

表1 试验饲粮的组成及营养水平(风干基础)

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

原料组成 Ingredient	各处理的配比/% Proportion			
	A	B	C	D
玉米 Corn	37.85	40.90	42.80	44.45
大豆粕 Soybean meal	6.00	2.97	1.00	0.30
苜蓿干草 Alfalfa hay	12.00	14.40	10.00	4.00
玉米秸秆 Corn stalk	27.00	20.60	20.00	14.00
大麦秸秆 Barley straw	16.00	15.00	15.00	21.00
茶渣 Residue of tea-leaves	0.00	5.00	10.00	15.00
磷酸氢钙 CaHPO_4	0.17	0.25	0.25	0.30
石灰石粉 Limestone	0.33	0.23	0.30	0.30
食盐 Salt	0.50	0.50	0.50	0.50
预混料 Premix	0.15	0.15	0.15	0.15
合计 Total	100.00	100.00	100.00	100.00
营养水平 Nutrient level				
消化能/($\text{MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$) DE	9.70	9.73	9.46	9.12
粗蛋白质/% CP	10.25	10.24	10.08	10.12
粗纤维/% CF	19.71	18.99	17.97	16.80
钙/% Ca	0.47	0.47	0.47	0.45
磷/% P	0.24	0.24	0.23	0.24
钙/磷 Ca/P	1.97	1.96	2.01	1.89

预混料组成($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 饲粮): Zn 50, Fe 50, Co 0.21, Mn 25, Cu 11, I 1, Se 0.19

Composition of premix($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ Diet): Zn 50, Fe 50, Co 0.21, Mn 25, Cu 11, I 1, Se 0.19

(2)试羊饲养管理:装置瘤胃瘘管,术前对试羊进行免疫,分期注射羊三联四防、口蹄疫疫苗和羊痘疫苗,口服驱虫药驱除体内外寄生虫等。试验前及试验期间经常保持羊舍及用具清洁,并定期消毒。

将试羊置于个体消化代谢笼中饲养,试验前1周开始逐渐过渡至采食试验饲粮。日投喂量约为

体质量的3%(平均0.9 kg DM),分3次等量饲喂(07:00、14:00、21:00),自由饮水。

(3)粪尿样收集:用全收粪、尿法进行消化代谢试验^[12]。收集期5 d中,逐日记录投料量和余料量,并采集样品,备测DM、CP、Ca、P、中性洗涤纤维(NDF)与酸性洗涤纤维(ADF)。

每天定时(06:30)收集与测粪、尿量。按日排粪量的一定比例取粪样,供测 DM、Ca、P、ADF 与 NDF;另取日排粪量的 2% 置广口瓶中,加 10% H_2SO_4 溶液浸没,冷藏,备测粪中氮。在备收尿容器中加入浓 H_2SO_4 数毫升,以固定氨氮;按日排尿量的 10%~20% 取尿样,冷藏,备测尿中氮。

(4) 瘤胃液采集:收集期第 6 天,分别在 06:00(食前)、08:00(食后 1 h)、10:00(食后 3 h)、12:00(食后 5 h)、14:00(食后 7 h),抽取瘤胃液约 50 mL,立即测定 pH;而后用 4 层纱布过滤,收集滤液于采样瓶,加入饱和 $HgCl_2$ 溶液 2 滴(使酶灭活)后,于 $-20\text{ }^\circ\text{C}$ 保存,备测瘤胃液总氮(TN)、氨氮(NH_3-N)。

(5) 血液的采集:正试期第 6 天 09:00(食后 2 h),从每只试羊颈静脉采血 10 mL(肝素抗凝),立即摇匀,而后以 $5\ 000\ \text{r}\cdot\text{min}^{-1}$ 离心 10 min,取出上清液(血浆), $-20\text{ }^\circ\text{C}$ 保存,备测尿素氮(BUN)。

1.3 试样分析方法

按照《饲料分析及饲料质量检测技术》^[10] 中方

法,测定茶渣、饲料和粪样中 DM、CP、Ca、P、灰分(Ash)、ADF 和 NDF(或 CF)及尿氮(N)含量;参照 Folin-Ciocalteu 比色法和丁醇-盐酸法,分别测定茶渣中的 TAE 和 CT 含量^[11];瘤胃液 pH 值的测定,用雷磁 PHS-2F 型酸度计(上海雷磁仪器厂);瘤胃液 NH_3-N 浓度的测定,按冯宗慈改进的比色法进行^[13];血浆尿素氮的测定,采用二乙酰-胍法(试剂盒由南京建成生物工程研究所提供)。

1.4 数据处理与统计分析

用 SPSS 10.0 软件进行统计分析。对体外试验平行测定的平均值进行两因素无重复观测值方差分析,对体内试验数据进行拉丁方方差分析,差异显著时均用 Turkey 法做多重比较。体内试验结果表示为“Mean \pm SD”。

2 结果

2.1 茶渣的化学成分

茶渣的主要化学成分见表 2。

表 2 茶渣的化学成分(DM)

Table 2 Components of the residue of tea-leaves

茶渣类型 Residue type	干物质 DM	粗蛋白质 CP	粗纤维 CF	钙 Ca	磷 P	单宁 TAE	缩合单宁 CT	备注 Remarks
绿茶渣 Residue of green tea	90.66	28.11	16.68	0.58	0.23	2.1	1.57	用于体外试验 Used <i>in vitro</i>
花茶渣 Residue of scented tea	90.73	23.23	17.84	0.63	0.25	1.98	1.47	
混合茶渣 Residue of mixed tea-leaves	90.63	25.23	17.27	0.60	0.23	2.04	1.53	用于体内试验 Used <i>in vivo</i>

表 2 显示,3 种茶渣的 CP 含量均与优质牧草相当或稍高些,而粗纤维含量较低,均可被划归国际与国内饲料分类体系中蛋白质饲料范畴(即干物质中 CP 含量高于或等于 20%,CF 含量低于 18%)。所测绿茶(信阳毛尖)渣、花茶渣与混合茶渣的 TAE 与 CT 含量相近。

2.2 茶渣、大豆粕及混合料的体外干物质和蛋白质降解率

由表 3 看出,试样的 rdDM、tdDM、rdCP 与 tdCP 均随渣粕比及缩合单宁含量增高而下降($P < 0.01$),渣粕比为 3:7 和 4:6 的 rdDM、rdCP 与 tdDM 均显著低于渣粕比为 0:10 和 1:9 和 2:8 ($P < 0.01$),所有加茶渣试样的 tdCP 均低于未添加

试样,渣粕比为 4:6 的该指标也显著低于 1:9 和 2:8,1:9 和 2:8 试样的 rdDM 和 tdDM 呈现低于 0:10 的趋势($P=0.133$ 和 $P=0.129$),2:8 的 rdDM 和 rdCP 也呈现出低于 1:9 的趋势($P=0.098$ 和 $P=0.106$)。每个试样的 tdDM 和 tdCP 分别高于其 rdDM 与 rdCP,表明 RTL-CT 蛋白复合物(过瘤胃蛋白质)在 HCl-胃蛋白酶中可被裂解和酶解。纯茶渣(渣粕比为 10:0)的 DM 和 CP 降解率都是最低的,其过瘤胃蛋白质的 tdCP 极低(17.69%)。根据茶渣数据,分别计算出各试样中大豆粕过瘤胃蛋白(pdBCP)的百分率与其在 HCl-胃蛋白酶中的降解率(bBCP);可看出,随 RTL-CT 增加(按每克大豆粕 CP 计,CT 依次为 0.42、0.94、1.61

和 2.51 mg), 其 pdBCP 上升, 分别较未添加茶渣处理提高 6.09% ($P>0.05$)、20.31% ($P<0.01$)、36.37% ($P<0.01$) 和 54.64% ($P<0.01$), 而 bBCP 却相应较

未添加茶渣处理下降 24.83% ($P<0.01$)、40.75% ($P<0.01$)、54.72% ($P<0.01$) 与 67.05% ($P<0.01$)。

表 3 试样体外干物质和粗蛋白降解率

Table 3 The *in vitro* degradability of DM and CP of samples

绿茶渣 : 大豆粕 RTL / Soybean meal	rdDM ^a	tdDM ^b	rdCP ^c	tdCP ^d	pdBCP ^e	bBCP ^f
0 : 10	61.39 ^A	79.61 ^A	60.76 ^A	84.15 ^A	39.24 ^C	59.61 ^A
1 : 9	53.48 ^A	71.88 ^A	55.46 ^A	72.89 ^B	41.63 ^{BC}	44.81 ^B
2 : 8	45.83 ^A	61.48 ^A	47.59 ^A	62.00 ^B	47.21 ^B	35.32 ^C
3 : 7	38.29 ^B	50.48 ^B	39.81 ^B	51.24 ^{BC}	53.51 ^{AB}	26.99 ^D
4 : 6	32.47 ^B	47.07 ^B	32.30 ^B	40.84 ^C	60.68 ^A	19.64 ^D
10 : 0	25.67 ^B	26.47 ^C	16.68 ^C	17.69 ^D	—	—
<i>P</i> (方法) <i>P</i> (Methods incubated)		0.004		0.006		
<i>P</i> (比例) <i>P</i> (Proportion mixed)		0.002		0.001	0.001	0.000

同一列数字肩标有不同大写字母表示差异极显著 ($P<0.01$), 有不同小写字母表示差异显著 ($P<0.05$), 有相同大或小写字母表示差异不显著 ($P>0.05$), 下同。a. DM 的瘤胃液降解率; b. DM 的瘤胃液 + HCl-胃蛋白酶降解率; c. CP 的瘤胃液降解率; d. CP 的瘤胃液 + HCl-胃蛋白酶降解率; e. 试样中豆粕蛋白过瘤胃率; f. 试样中过瘤胃豆粕蛋白在胃蛋白酶中降解率

Means with different superscripts (lowercase letters for the 0.05 level, capital letters for the 0.01 level) within the same row differ significantly, the same as below. a. Degradability of DM when incubated with rumen fluid; b. Degradability of DM when incubated with rumen fluid + HCl-pepsin; c. Degradability of CP when incubated with rumen fluid; d. Degradability of CP when incubated with rumen fluid + HCl-pepsin; e. Protein undegraded (bypass CP) of soybean meal in rumen fluid; f. Degradability of bypass CP of soybean meal in HCl-pepsin

2.3 饲料中茶渣单宁含量对绵羊养分消化与氮利用的影响

2.3.1 干物质、有机物质与纤维物质的表观消化率

表 4 显示, A、B、C 处理的 DM 与 OM 采食量 (DMI、OMI)、消化量 (DDM、DOM) 极显著高于 D ($P<0.01$); 各处理 DM 与 OM 的粪中排出量 (DMF、OMF)、消化率 (DMD、OMD) 差异均不显著 ($P>0.05$), 但 A、B、C 处理的 DMF、OMF 呈现高于 D 的趋势 ($P=0.135, P=0.164$)。还可看出, A、B 的 NDF 与 ADF 食入量 (NDFI、ADFI)、消化量 (DNDF、DADF) 极显著高于 C、D ($P<0.01$), C 的 NDFI、ADFI、DNDF、DADF 也极显著高于 D ($P<0.01$); 处理间粪中 NDF 与 ADF 的排出量 (NDFE、ADFE) 差异均不显著 ($P>0.05$), 但 D 的 NDFE、ADFE 呈现低于 A、B、C 的趋势 ($P=0.078, P=0.133$)。然而, 处理间 NDF 与 ADF 消化率 (NDFD、ADFD) 的差异不显著 ($P>0.05$)。

2.3.2 氮的表观消化和存留

表 5 显示, 处理

A、B、C 的 N 食入量 (NI) 与 N 消化量 (DN) 极显著高于 D ($P<0.01$); 处理间粪 N 排出量 (NF) 与 N 的消化率 (ND) 间差异不显著 ($P>0.05$); 尿 N 排出量 (UN) 随 RTL-CT 增大而线性下降 ($R^2=0.9921, P=0.001$), A 显著高于 C、D ($P=0.049, P=0.013$), B 呈现高于 D 的趋势 ($P=0.071$); C 的 N 存留量 (NR) 显著高于 A、D ($P<0.01$), B 的 NR 也显著高于 D ($P=0.02$) 且呈现高于 A 的趋势 ($P=0.112$); N 存留率 (NRE) 似随 RTL-CT 增大而升高, 但仅 C 处理显著高于 A ($P=0.027$), 其它处理间的差异不显著 ($P>0.05$)。

2.3.3 钙、磷的表观消化

由表 6 看出, A 的 Ca 食入量 (CAI) 与 B 差异不显著 ($P=0.207$), 但显著高于 C、D ($P<0.01$); C 的 CAI 也极显著高于 D ($P=0.001$); A、B、C 的粪 Ca 排出量 (CAF) 极显著高于 D ($P<0.01$); D 的 Ca 消化量 (DCA) 呈现低于 A、B、C 的趋势 ($P=0.102$), 但处理组间 Ca 消化率 (CAD) 无显著差异 ($P>0.05$)。A、B、C 的 P 食入

量(PI)极显著高于 D($P < 0.01$),其粪排出量(PF) (DP)与 P 消化率(PD)的差异均不显著($P > 0.05$)。呈现高于 D 的趋势($P = 0.132$),但处理间 P 消化量

表 4 处理对 DM、OM、NDF 和 ADF 表观消化的影响

Table 4 Effects of treatments on apparent digestion of DM, OM, NDF and ADF

处理 Treatment	食入量/(g·d ⁻¹) Intake	粪排出量/(g·d ⁻¹) Excretion in feces	消化量/(g·d ⁻¹) Digested	消化率/% Digestibility
干物质 DM				
A	960.00±0.00 ^A	304.28±28.49	655.72±28.49 ^A	68.31±2.97
B	960.00±0.00 ^A	301.68±16.93	658.33±16.93 ^A	68.58±1.77
C	888.00±91.91 ^A	282.13±35.96	605.87±93.89 ^A	68.02±4.79
D	648.00±144.00 ^B	206.48±118.78	441.52±25.63 ^B	70.18±12.30
P 值 P value	0.001	0.135	0.001	0.966
有机物 OM				
A	879.92±0.00 ^A	264.48±24.94	615.44±24.94 ^A	69.95±2.84
B	891.49±0.00 ^A	265.23±14.20	626.26±14.20 ^A	70.25±1.59
C	826.07±85.50 ^A	247.52±30.84	578.55±87.13 ^A	69.84±4.48
D	610.54±135.68 ^B	183.32±106.91	427.22±29.06 ^B	71.94±11.83
P 值 P value	0.002	0.164	0.001	0.961
中性洗涤纤维 NDF				
A	482.22±0.00 ^A	179.02±13.39	303.20±13.39 ^A	62.88±2.78
B	480.46±0.00 ^A	178.14±10.76	302.33±10.76 ^A	62.93±2.24
C	404.49±41.87 ^B	163.18±19.73	241.32±46.93 ^B	59.33±6.45
D	296.78±65.95 ^C	116.89±68.51	179.89±4.18 ^C	63.21±15.58
P 值 P value	0.000	0.133	0.001	0.919
酸性洗涤纤维 ADF				
A	299.35±0.00 ^A	118.71±9.72	180.64±9.72 ^A	60.36±3.25
B	293.50±0.00 ^A	119.32±7.27	174.19±7.27 ^A	59.35±2.48
C	230.82±23.89 ^B	105.26±11.58	125.56±23.80 ^B	54.13±5.86
D	159.82±35.52 ^C	76.85±42.05	82.97±6.96 ^C	54.73±16.89
P 值 P value	0.000	0.078	0.000	0.736

表 5 试验处理对 N 表观消化和存留的影响

Table 5 Effects of treatments on apparent digestion and retention of N

处理 Treatment	食入量/ (g·d ⁻¹)NI	粪排出量/ (g·d ⁻¹)NF	尿排出量/ (g·d ⁻¹)UN	氮消化量/ (g·d ⁻¹)DN	氮消化率/% ND	氮存留量/g NR	氮存留率/% NRE
A	92.21±0.00 ^A	4.40±0.74	29.34±5.40 ^a	87.40±0.74 ^A	95.22±0.88	58.47±6.09 ^{BC}	63.41±7.18 ^b
B	92.25±0.00 ^A	5.23±0.47	24.49±7.02 ^{ab}	87.02±0.47 ^A	94.33±0.51	62.54±7.47 ^{AB}	67.79±8.10 ^{ab}
C	91.73±9.49 ^A	5.20±1.01	18.20±3.21 ^b	86.53±9.11 ^A	94.33±1.00	68.33±8.00 ^A	74.44±2.84 ^a
D	63.90±14.20 ^B	4.78±3.08	14.36±1.25 ^b	59.12±11.39 ^B	93.04±3.44	44.76±11.20 ^C	69.78±3.40 ^{ab}
P 值 P value	0.002	0.838	0.014	0.001	0.586	0.005	0.036

表 6 试验处理对钙、磷表观消化的影响

Table 6 Effects of treatments on apparent digestion of Ca and P

处理 Treatment	食入量/(g·d ⁻¹) Intake	粪排出量/(g·d ⁻¹) Excretion in feces	消化量/(g·d ⁻¹) Digested	消化率/% Digestibility
钙 Ca				
A	5.38±0.00 ^A	4.46±0.47 ^A	0.92±0.47	17.05±8.81
B	4.95±0.00 ^{AB}	3.95±0.21 ^A	0.99±0.21	20.15±4.21
C	4.71±0.49 ^B	3.86±0.44 ^A	0.85±0.12	18.03±2.08
D	3.18±0.71 ^C	2.62±0.60 ^B	0.57±0.14	17.89±2.30
P 值 P value	0.000	0.007	0.102	0.823
磷 P				
A	2.02±0.00 ^A	1.38±0.15	0.64±0.15	31.56±7.34
B	1.97±0.00 ^A	1.38±0.13	0.60±0.13	30.21±6.53
C	1.92±0.20 ^A	1.34±0.21	0.58±0.28	29.66±12.53
D	1.45±0.32 ^B	0.94±0.50	0.52±0.24	38.78±24.41
P 值 P value	0.004	0.132	0.773	0.768

2.4 茶渣单宁对瘤胃代谢参数的影响

表 7 列出瘤胃代谢参数 (pH、总 N、NH₃-N) 5

次测定的均值与血浆尿素氮 (BUN) 测值; 图 1、图 2 分别示出瘤胃液 pH 和 NH₃-N 动态变化。

表 7 瘤胃代谢参数平均值与血浆尿素氮

Table 7 The average of rumen metabolic parameters and plasma BUN

处理 Treatment	pH	总 N/(mg·100 mL ⁻¹)	NH ₃ -N/(mg·100 mL ⁻¹)	血浆 BUN/(mg·100 mL ⁻¹)
A	6.67±0.21	45.13±9.09	21.01±1.68 ^a	15.02±1.50 ^A
B	6.55±0.16	42.62±5.11	15.47±2.37 ^{ab}	12.24±1.93 ^{AB}
C	6.65±0.13	43.54±4.89	10.58±2.21 ^{ab}	10.22±0.87 ^B
D	6.65±0.35	48.80±19.60	9.78±8.49 ^b	9.01±0.86 ^B
P 值 P value	0.649	0.749	0.040	0.006

由表 7 看出, 各处理 RTL-CT 对瘤胃液 pH 和总 N 量均值无显著影响 ($P > 0.05$); 而随 RTL-CT 增加, 瘤胃液 NH₃-N 均值和血浆尿素氮呈线性下降 ($R_1^2 = 0.829$, $R_2^2 = 0.97$, $P = 0.001$), A 的 NH₃-N 显著高于 D ($P < 0.05$), 而其血浆 BUN 高于 C、D ($P < 0.01$) 与 B ($P = 0.138$), 这与 RTL-CT 降低饲料 CP 降解率和尿 N 排出量的结果相符。相关分析表明, NH₃-N、血浆尿素氮 (BUN) 含量间存在很高的相关性, $r = 0.999$ ($P = 0.001$)。

从图 1 可看出, 4 处理瘤胃液 pH 随时间变化

的趋势基本相似, 采食后先下降, 而后上升; B、C、D 均于采食后 3 h 达最低值, 而 A 是在采食后 5 h 达到; 各处理不同时间段的 pH 均处于纤维分解菌活性的适宜范围。

从图 2 可见, 各处理瘤胃液 NH₃-N 浓度变化趋势基本一致, 即食后 1 h 达峰值, 而后下降, 在食后 5 h 均达最低值, 而后略上升。A 处理的 NH₃-N 始终最高, 次为 B、C 与 D 高低交错, 除 C 的峰值高于 D 外, 采食 3 h 后两处理甚为接近。

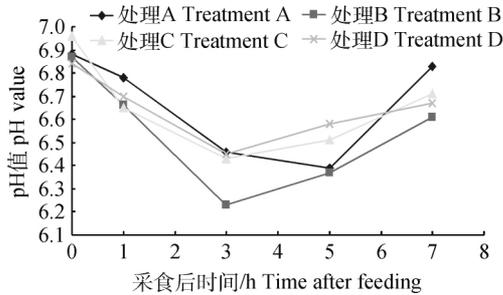


图1 瘤胃液 pH 的动态变化

Fig. 1 Dynamic changes of pH value in rumen fluid for sheep

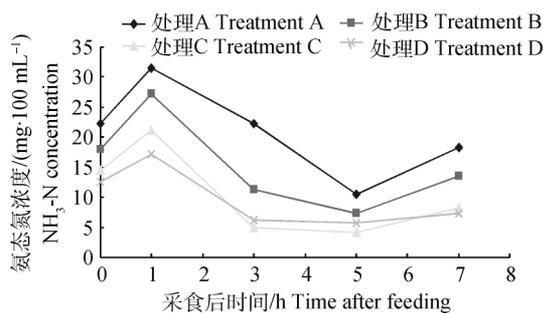
图2 瘤胃液 NH₃-N 浓度动态变化

Fig. 2 Dynamic changes of ammonia nitrogen level in rumen fluid for sheep

3 讨论

3.1 茶渣单宁含量及对体外干物质和蛋白质降解率的影响

对茶渣的营养成分的测定表明,茶渣是高蛋白、低纤维物质,可归属蛋白质饲料类,单宁含量属于中等,3个茶渣样的 TAE(19.8~21.0 g·kg⁻¹DM)与张晓庆测定的红豆草营养期(22.62 g·kg⁻¹DM)相近,CT(14.7~15.7 g·kg⁻¹DM)低于红豆草营养期(21.70 g·kg⁻¹DM),均与盛花期红豆草(TAE 17.24 g·kg⁻¹DM,CT 15.30 g·kg⁻¹DM)相近^[14];但已足以使其具有相当低的 rdDM、tdDM、rdCP 与 tdCP。不同比例茶渣与大豆粕混合,其 rdDM 较大豆粕下降 12.88%~47.11%,rdCP 相应下降 9.71%~40.87%,从而使大豆粕 CP 的过瘤胃率提高 6.09%~54.64%;茶渣单宁-蛋白质复合物在酸性环境中可被裂解,而后蛋白质被酶解,但复合物的稳定性随茶渣单宁水平增高,大豆粕的 tdCP 下降 24.83%~67.05%。试验结果与 Cortés 等试验具相同规律^[15],但试验效果有差别。说明单宁对蛋

白质的保护效果与所用 CT 来源、水平与添加方式等不同有关。Yu 等曾查明,添加棉籽壳可降低未热处理棉籽仁的体外蛋白质溶解度,棉籽壳中单宁对此起重要作用^[16]。Ngamsaeng 等在评定热带植物的体外(产气法)发酵试验中发现,与缩合单宁中等(2.1%~4.6%)和低的(0.7%~1.7%)植物相比,高 CT(11.4%~16.8%)植物的 48 h 产气量较低^[17]。

3.2 饲料茶渣单宁水平对绵羊 DM、OM 和纤维物质消化的影响

高比例茶渣(10%与 15%)明显影响饲料适口性,使 DMI、OMI、NDFI 与 ADFI 降低,进而致 DDM 与 DOM 下降,这与报道中许多植物单宁的影响相似^[18-20];但茶渣 CT 水平对 DM 与 OM 消化率并无显著影响,一些报道与此一致,而一些报道中单宁水平显著影响 DM 与 OM 消化率。张晓庆等给绵羊饲喂红豆草 CT 水平分别为 0.00、1.70 和 3.40 g·kg⁻¹DM 的饲料发现,处理间 DM 与 OM 消化率差异不显著($P>0.05$)^[21]。Merkel 等研究表明,与完全采食漆树叶(不含单宁)的羯山羊相比,完全采食果栎树叶(富单宁)羯山羊的 DMD、OMD、NDFD 和 ND 都显著较低^[22]。Martinez 等用 0%、50%和 100%的 *Caesalpinia bracteosa*(CT 6.30%)干草饲喂绵羊,未影响 DM、OM 和 CP 的消化率,但 NDF、ADF 的消化率与饲料中单宁含量呈线性负相关,半纤维素消化率与之呈二次相关^[23]。而本试验结果显示,饲料 RTL-CT 含量对 ADF、NDF 消化率无显著差异,与 Waghorn 等的结果相似^[18]。

3.3 饲料茶渣单宁水平对氮代谢参数及消化利用的影响

试验结果表明,随着饲料 RTL-CT 含量增高,瘤胃液 NH₃-N 下降,是 CP 瘤胃液降解率降低所致,这与体外试验呈现的规律相符;血浆尿素氮与瘤胃液 NH₃-N 并行下降,且二者间相关紧密($r=0.999, P=0.001$),表明血浆尿素氮主要受瘤胃液 NH₃-N 制约,处理间体内蛋白质分解代谢差异的影响不大。这两项参数与体内氮消化代谢结果高度契合,饲料 RTL-CT 含量主要通过降低尿氮排出量而提高了氮的存留率,基本未影响粪氮排出。有关报道的不少试验中,随蛋白质保护程度增强,尿氮排出减少与粪氮排出增高并行,二者之差可反映保护的效果,差值为正指示保护为正效果,差值为负则呈现保护的负效应。理想的保护效果取决于适宜的保护

剂特性及浓度,必须避免过度保护。本试验中,RTL-CT未显著影响粪氮排出,显示各处理浓度下形成的单宁-蛋白质复合物在瘤胃后可被充分消化吸收,表明茶渣单宁的特性较理想,处理的浓度范围也较适宜。然而,尿氮排出从饲料A到C呈线性下降,氮存留率呈线性提高;而饲料D(RTL-CT 2.30 g·kg⁻¹ DM)存留率低于C(1.53 g·kg⁻¹ DM),其粪氮排出比其他略高(占食入N的7.48%,另3个处理为4.78%~5.67%),并未影响氮消化率,主要是不明原因引起的尿N排出率高于C(占食入N的22.47%~19.84%)所致。

据报道,影响单宁对蛋白质作用的主要因素是单宁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反比^[24]。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^[25]。张晓庆等试验中,红豆草CT 3.03 g·kg⁻¹ DM饲料的尿氮排出量显著低于($P < 0.05$),而氮存留率极显著($P < 0.01$)高于0.00和1.52 g·kg⁻¹ DM的饲料^[21];而Komolong等给绵羊饲喂苜蓿干草,添加不同量白雀树皮CT,试验结果并不支持低于中等(<5% DM)含量的CT可改善绵羊氮利用的假定^[26]。本试验RTL-CT 2.30 g·kg⁻¹ DM的氮存留率反而低于1.53 g·kg⁻¹ DM,看来茶渣单宁与红豆草单宁的特性有一定差异,2个试验饲料组成间的差异,可能致蛋白质与单宁的亲合力也有某些不同。

3.4 饲料茶叶渣单宁水平对钙、磷消化的影响

Calixto等人进行的研究发现,食物中单宁影响人体对钙、铁离子的吸收^[27]。Waghorn等研究表明,*Lotus Pedunculatus*的CT降低了硫的瘤胃降解和吸收,提高了磷与锌的净吸收,对钠、钙、镁、铁、锰消化的影响不大^[18]。而本试验RTL-CT对Ca、P表观消化吸收也无显著影响,基本与前人报道一致。单宁分子内有多个邻位酚羟基,可在不同pH值条件下与重金属离子络合形成沉淀。各种碱族和碱土族金属离子都能使单宁的溶解度降低。狄莹等研究表明,金属离子一般并未与单宁分子发生络合反应,而是静电作用^[28]。

4 结论

本试验研究表明,茶渣含较高的粗蛋白质,粗纤维含量较低,且具中等含量的单宁。体外与体内试验证明,茶渣单宁具有保护蛋白质的功效;体内试验

表明,饲料茶渣缩合单宁为2.30 g·kg⁻¹ DM严重影响绵羊的采食量,1.53 g·kg⁻¹ DM对采食量有小的影响,但其蛋白质的保护效果较好,氮存留率明显高于0.00和0.77 g·kg⁻¹ DM的饲料,故用于本试验的茶渣添加量在5%~10%之间效果最好。与常用饲料相比,潜在的茶渣资源要少得多,也使其在饲料中的添加比例不可能太大。添加比例小(如5%),则保护蛋白质的作用较低;但茶渣蛋白质含量高,其缩合单宁也不影响它本身蛋白质在小肠内的消化吸收,故其作为反刍动物的蛋白质来源的饲用价值也值得关注。

参考文献:

- [1] 李敏,王洁,杨志伟,等. 不同品种茶叶单宁的含量与结构测定[J]. 食品科学, 2009, 30(02): 149-153.
- [2] 杨月欣,王光亚,潘兴昌. 中国食物成分表 2002 [M]. 北京:北京大学医学出版社, 2002
- [3] MACREA J C. Advancing our understanding of amino acid utilization and metabolism in ruminant tissues [M]. CRC Lewis Publisher, 1996: 73-89.
- [4] 孟庆翔译. [美]国家科学研究委员会组织修订. 奶牛营养需要[M]. 第7版. 北京:中国农业大学出版社, 2002.
- [5] 袁中彪,张琼. 动物营养与生态环境[J]. 饲料工业, 2003, 24(4): 41-44.
- [6] 吉进卿. 解决好污染是畜牧业可持续发展的关键[J]. 饲料研究, 2003, (2): 31-33.
- [7] ROBBINS C T, HARIEY T A, HANLEY A E, et al. Role of tannins in defending plants against ruminants: Reduction in protein availability[J]. *Ecology*, 1987, 68(1): 98-107.
- [8] WANG Y, BARBIERI L R, BERG B P, et al. Effects of mixing sainfoin with *alfalfa* on ensiling, ruminal fermentation and total tract digestion of silage [J]. *Anim Feed Sci Technol*, 2007, 135: 296-314.
- [9] SMITH A K, FRANK M, PHIL M, et al. Reducing post-harvest losses of forage protein[M]. IGER INNOVATIONS, 2004: 30-33.
- [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.
- [11] HORVATH P J. The nutritional and ecological significance of acer-tannins and related polyphenols[M]. M S thesis, Cornell Univ. Ithaca, N Y P, 1981: 138.
- [12] 杨诗兴. 饲料营养价值评定方法[M]. 兰州:甘肃人

- 民出版社, 1982.
- [13] 冯宗慈. 通过比色法测定瘤胃液氨氮含量方法的改进[J]. 内蒙古畜牧科学, 1993, (4): 40.
- [14] 张晓庆. 红豆草中单宁对饲料蛋白质保护的效果[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2005.
- [15] CORTÉS J E, MORENO B, PABON M L, et al. Effects of purified condensed tannins extracted from *Caliandra*, *Flemingia* and *Leucaena* on ruminal and postruminal degradation of soybean meal as estimated *in vitro*[J]. *Anim Feed Sci Technol*, 2009, 151: 194-204.
- [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 [J]. *Food Agr Sci*, 1995, 69(3): 311-319.
- [17] NGAMSAENG A, WANAPAT M, KHAMPA S. Evaluation of tropical plants by *in vitro* rumen fermentation and their effects on fermentation end-products[J]. *Pakisan J Nutri*, 2006, 5(5): 414-418.
- [18] 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[J]. *J Agr Sci*, 1994, 123, 99-107.
- [19] STIENEZEN M, DOUGLAS G B. Digestibility and effects of condensed tannins on digestion of sulla (*Hedysarum coronarium*) when fed to sheep [J]. *New Zealand J Agr Res*, 1996, 39: 215-221.
- [20] 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 [J]. *Anim Sci*, 1997, 75: 1633-1640.
- [21] 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[J]. 畜牧兽医学报, 2009, 40(3): 356-362.
- [22] 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[J]. *Small Rumin Res*, 2001, 40(2): 123-127.
- [23] MARTINEZ R L V, SILVA E O, NETO S G, 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 [J]. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 2001, 30(2): 553-562.
- [24] ROBBINS C T, HARIEY T A, HANLEY A E, et al. Role of tannins in defending plants against ruminants: Reduction in protein availability[J]. *Ecology*, 1987, 68(1): 98-107.
- [25] SILANIKOVE N, PEREVOLOTSKY A, PROVENZA F D. Use of tannin-binding chemicals to assay for tannins and negative post-ingestive effects in ruminants [J]. *Anim Feed Sci Technol*, 2001, 91: 69-81.
- [26] KOMOLONG M K, BARBER D M, McNEIL D M. Post-rumina protein supply and N retention of weaner sheep fed on a basal diet of lucerne hay (*Medicago sativa*) with increasing levels of Quebracho tannin [J]. *Anim Feed Technol*, 2001, 92: 59-72.
- [27] CALIXTO J, NICOLAU M, RAE G. Pharmacological action of tannic acid. 1. Effects on isolated smooth and cardiac muscles and on blood pressure [J]. *Planta Medica*, 1985, 52: 32-35.
- [28] 狄 莹, 石 碧. 植物单宁化学研究进展[J]. 化学通报, 1999, (3): 1-5.

(编辑 郭云雁)