

代乳粉中添加单宁酸对湖羊羔羊生长性能、养分表观消化率和肌肉脂肪酸组成的影响

刘绘汇¹ 孙康¹ 范慧玉¹ 刘婷¹ 张倩² 郑琛^{1*}

(1. 甘肃农业大学动物科学技术学院, 兰州 730070; 2. 甘肃农业大学动物医学院, 兰州 730070)

摘要: 本试验旨在探究代乳粉中添加单宁酸对7~28日龄湖羊羔羊生长性能、养分表观消化率、器官生长发育和肌肉脂肪酸组成的影响。选择30只健康状况良好的7日龄湖羊公羔, 随机分为2组, 分别为代乳粉中未添加单宁酸的对照组和代乳粉中添加0.2%单宁酸的单宁酸组, 每组15只, 每只为1个重复。饲养至28日龄时, 每组随机选择8只羔羊进行屠宰。结果显示: 1) 与对照组相比, 代乳粉中添加0.2%的单宁酸极显著提高了羔羊14~28日龄的平均日采食量($P < 0.01$), 显著提高了7~28日龄的平均日增重($P < 0.05$), 显著降低了腹泻率($P < 0.05$)。2) 与对照组相比, 代乳粉中添加0.2%的单宁酸显著提高了羔羊7~28日龄的干物质、磷以及粗脂肪表观消化率($P < 0.05$), 对7~28日龄的钙表观消化率无显著影响($P > 0.05$), 但是显著降低了21~28日龄粗蛋白质表观消化率($P < 0.05$)。3) 与对照组相比, 代乳粉中添加0.2%的单宁酸极显著提高了羔羊肺脏重量($P < 0.01$), 极显著降低了蹄指数($P < 0.01$), 对其他器官重量与指数均无显著影响($P > 0.05$)。4) 单宁酸组羔羊背最长肌中硬脂酸含量显著低于对照组($P < 0.05$), 油酸和多不饱和脂肪酸含量显著高于对照组($P < 0.05$), 多不饱和脂肪酸/饱和脂肪酸值显著高于对照组($P < 0.05$); 此外, 单宁酸组羔羊肱二头肌中二十碳三烯酸含量显著高于对照组($P < 0.05$)。综上可知, 在代乳粉中添加0.2%的单宁酸可以提高湖羊羔羊的采食量和增重, 降低腹泻率, 促进养分消化, 从而改善生长性能。

关键词: 羔羊; 代乳粉; 单宁酸; 生长性能; 表观消化率; 脂肪酸

中图分类号: S816

文献标识码: A

文章编号: 1006-267X(2021)08-4520-13

单宁酸(tannic acid)也称鞣酸, 是一种酚类化合物, 在多种植物的根、茎、叶等中广泛存在, 主要分为水解单宁和浓缩单宁^[1]。关于反刍动物摄食过程中添加单宁酸的研究由来已久, 因其味涩, 易与蛋白质结合, 降低动物采食和纤维素酶等的活性, 导致养分消化率降低, 影响动物生长, 在动物营养界一直被认为有抗营养作用^[2-3], 但近些年来有研究表明单宁酸对动物也具有营养作用, 比如抗腹泻、抗氧化、抗菌和抗病毒等作用^[4-7], 尤其对反刍动物的生长性能具有积极作用^[8], 而2种作

用的体现取决于它们的添加剂量。相关研究表明, 饲料中添加适量的单宁酸既能促进幼龄动物生长、提高免疫力、改善健康状态, 同时可以提高饲料中养分的表观消化率^[9]; 此外, 还会增加蛋白质的利用效率, 一般添加量不超过5%时能够有效保护饲料中的蛋白质成分免受瘤胃微生物的降解^[10-11]。但若单宁酸添加量过高则会降低适口性和采食量, 抑制瘤胃微生物的生长, 甚至引起中毒现象。目前研究单宁酸对于幼龄动物的影响基本集中在单胃动物上。Liu等^[12]研究发现, 饲料中

收稿日期: 2021-01-26

基金项目: 国家自然科学基金项目(31860657); 甘肃农业大学人才引进专项(GSAU-RCZX201703)

作者简介: 刘绘汇(1992—), 女, 甘肃漳县人, 硕士研究生, 从事反刍动物营养研究。E-mail: lhh1181148654@163.com

* 通信作者: 郑琛, 副教授, 硕士生导师, E-mail: zhengc@gsau.edu.cn

添加0.2%的栗木单宁可以缓解热应激对肉仔鸡生长性能的负面影响。Rezar等^[13]研究发现,饲料中添加0.2%的栗木单宁酸能显著增加肉仔鸡粪干物质含量,减少腹泻的发生。孙展英等^[14]也报道,饲料中添加0.1%的单宁酸可降低仔猪的腹泻率。而单宁酸对于幼龄反刍动物的研究尚不多见。另外,食品的营养品质是消费者最关心的问题,肉中脂肪酸的组成与含量是影响肉品质的重要指标,尤其是不饱和脂肪酸(unsaturated fatty acid, UFA)的含量,富含不饱和脂肪酸的肉品对人体非常有益。但在反刍动物产品,如奶和肉中,饱和脂肪酸(saturated fatty acid, SFA)含量较高,单宁酸对肌肉脂肪酸组成是否存在影响鲜有报道。因此,本试验旨在探究在代乳粉中添加0.2%单宁酸对湖羊羔羊生长性能、养分表观消化率、器官生长发育以及肌肉脂肪酸组成的影响,为提高羔羊生长性能、改善肉品质提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计及动物

采用对照试验设计。从甘肃金昌中天羊业有限公司选取健康、生长发育正常的7日龄湖羊公羔(双羔)30只,随机分为2个组(对照组和单宁酸组),每组15只,每只为1个重复,保证羔羊7日龄体重[对照组:(4.09±0.66) kg;单宁酸组:(3.89±0.62) kg]组间无显著差异($P>0.05$)。试验期共21 d,在羔羊28日龄时结束饲养试验,并从每组随机选择8只羔羊进行屠宰。

1.2 饲养管理

初生羔羊随母羊哺乳,在4日龄时所有羔羊与母羊分离,开始使用奶瓶人工训饲代乳粉。羔羊在7日龄时随机分入对照组和单宁酸组,所有羔羊采用单笼饲养。试验期间,对照组羔羊饲喂专用代乳粉(北京精准动物营养研究中心,营养水平见表1),单宁酸组羔羊则饲喂在对照组代乳粉基础上添加0.2%单宁酸(纯度为98%)的代乳粉。代乳粉饲喂量为羔羊体重的2%,饲喂时用温水冲泡,水与代乳粉的比例为5:1,每天饲喂4次(06:00、12:00、18:00和24:00)。试验期间羔羊自由饮水。

1.3 测定指标及方法

1.3.1 生长性能及腹泻率测定

在试验第7、14、21、28天晨饲前进行称重,根

据各生长日龄始末体重值计算平均日增重。每天详细记录羔羊代乳品采食量和剩余量,计算平均日采食量。每日观察羔羊粪便,记录腹泻发生情况,计算腹泻率。

表1 代乳粉营养水平(干物质基础)

Table 1 Nutrient levels of milk

营养水平 Nutrient levels	含量 Content
干物质 DM	95.68
粗蛋白质 CP	24.89
粗脂肪 EE	17.50
粗纤维 CF	2.16
粗灰分 Ash	5.81
钙 Ca	1.02
总磷 TP	0.59

营养水平为实测值。

Nutrient levels were measured values.

1.3.2 养分表观消化率计算

试验第14、21、28天晨饲前收集羔羊的粪样,记录粪总重后,一份按10%取样后放入65℃烘箱中烘48 h,室温下回潮24 h称重记录重量,装入自封袋带回试验室;另取100 g鲜粪加入10%硫酸进行固氮。将收集的粪样粉碎过40目筛,测定养分含量。

代乳粉与粪样中干物质(dry matter, DM)含量参照GB/T 6435—2014中方法测定,粗脂肪(ether extract, EE)含量参照GB/T 6433—2006中方法测定,粗蛋白质(crude protein, CP)含量参照GB/T 6432—2018中方法测定,钙(calcium, Ca)含量参照GB/T 6436—2018中方法测定,磷(phosphorous, P)含量参照GB/T 6437—2018中方法测定。

某养分表观消化率(%) = [(食入该养分含量 - 粪中该养分排出量) / 食入该养分含量] × 100。

1.3.3 器官生长发育测定

屠宰后,依次将羔羊皮长和宽、头重、蹄重、胴体重和各个内脏器官重量进行测定,计算器官指数。

某器官指数 = (该器官重量 / 活体重) × 100。

1.3.4 肌肉脂肪酸组成测定

采集屠宰羊的背最长肌和肱二头肌,各采集3份,用自封袋包装编码标记,于-80℃贮存。

参照Folch等^[15]方法对肌肉样品进行前处

理:将样品在室温下解冻后分离肌肉和脂肪,置于研钵中用液氮研磨,然后称取 1 g 样品于 15 mL 离心管中,加入 0.7 mL 的 10 mol/L 氢氧化钾溶液和 5.3 mL 无水甲醇,并放置在 55 °C 水浴锅中 1.5 h,同时每 20 min 振摇试管 5 s,水浴结束后在自来水下冷却到室温,再加入 0.5 mL 的 12 mol/L 硫酸溶液,继续 55 °C 恒温水浴,每 20 min 振摇试管 5 s,1.5 h 后取出试管用自来水冷却至室温,接着加入 3 mL 正己烷到离心管,3 000 r/min 离心 5 min,将上清液过滤到样品瓶中,于 -20 °C 保存待测。

采用安捷伦 (Agilent) 6890N 型气相色谱仪测定肌肉中各脂肪酸含量。色谱柱为 SP-2560 毛细管柱 (100 m×0.25 mm×0.2 μm),进样量 1.0 μL。色谱条件:进样口检测器温度分别为 220 和 250 °C,氮气流量 1.2 mL/min,分流比 100:1;程序升温模式:初温 140 °C 保持 5 min,然后以 2 °C/min 升至 200 °C,保持 5 min,再以 6 °C/min 升至 230 °C,保持 20 min。

表 2 单宁酸对湖羊羔羊生长性能的影响

Table 2 Effects of tannin acid on growth performance of *Hu* lambs

项目 Items	日龄 Days of age	对照组 Control group	单宁酸组 Tannic acid group	均值标准误 SEM	P 值 P-value
平均日采食量 ADFI/g	7~14	128.63	119.09	3.28	0.143
	14~21	106.33 ^B	135.42 ^A	4.70	0.004
平均日增重 ADG/g	21~28	82.60 ^B	108.07 ^A	3.62	0.005
	7~28	105.85	120.86	7.70	0.387
腹泻率 Diarrhea rate/%	7~14	91.12	96.08	6.05	0.692
	14~21	18.78 ^B	88.95 ^A	10.29	<0.001
	21~28	-85.12	-65.65	9.42	0.315
	7~28	26.46 ^b	42.12 ^a	3.85	0.039
	7~28	30.48 ^A	11.90 ^B	4.16	<0.001

同行数据肩标不同小写字母表示差异显著 ($P \leq 0.05$),不同大写字母表示差异极显著 ($P < 0.01$),无字母表示差异不显著 ($P > 0.05$)。下表同。

Values in the same row with different small letter superscripts mean significant difference ($P \leq 0.05$), and with different capital letter superscripts mean extremely significant difference ($P < 0.01$), while with no letter superscripts mean no significant difference ($P > 0.05$). The same as below.

2.2 单宁酸对湖羊羔羊养分表观消化率的影响

由表 3 可知,与对照组相比,在代乳粉中添加 0.2% 的单宁酸显著或极显著降低了 7~14 日龄的 DM 和 EE 采食量和排出量 ($P < 0.05$ 或 $P < 0.01$),显著或极显著提高了 14~28 日龄的 DM 和 EE 采食量 ($P < 0.05$ 或 $P < 0.01$),从而极显著提高了 7~28 日龄的 DM 和 EE 表观消化率 ($P < 0.01$)。

1.4 数据处理与分析

试验数据用 Excel 2016 进行初步整理,并使用统计软件 SPSS 22.0 对数据进行独立样本 *t* 检验,以 $P < 0.01$ 表示差异极显著, $P \leq 0.05$ 表示差异显著, $0.05 < P \leq 0.10$ 表示差异具有显著趋势。

2 结果

2.1 单宁酸对湖羊羔羊生长性能的影响

由表 2 可知,与对照组相比,在代乳粉中添加 0.2% 的单宁酸极显著提高了羔羊在 14~28 日龄的平均日采食量 ($P < 0.01$);虽然 2 组羔羊在 7~14 日龄的平均日增重无显著差异 ($P > 0.05$),并且在 21~28 日龄体重出现负增长情况,但是在代乳粉中添加 0.2% 的单宁酸极显著提高了羔羊在 14~21 日龄的平均日增重 ($P < 0.01$),且显著提高了试验全期 (7~28 日龄) 的平均日增重 ($P < 0.05$)。此外,代乳粉中添加 0.2% 的单宁酸后羔羊腹泻率极显著低于对照组 ($P < 0.01$)。

由表 4 可知,与对照组相比,在代乳粉中添加 0.2% 的单宁酸显著低了 7~14 日龄的 CP、P 采食量 ($P < 0.05$),显著提高了 14~28 日龄的 CP 采食量,14~21 日龄的 P 采食量 ($P < 0.05$),极显著增加了 21~28 日龄的 CP 排出量 ($P < 0.05$),极显著降低了整个试验期的 P 排出量 ($P < 0.01$),从而使 7~28 日龄的 P 表观消化率极显著升高 ($P <$

0.01), 21~28 日龄的 CP 表观消化率显著降低 ($P<0.05$)。与对照组相比,单宁酸组 7~14 日龄的 Ca 采食量有降低的趋势 ($P=0.058$), 21~28 日龄的 Ca 采食量与排出量均显著升高 ($P<0.05$), 但各阶段 Ca 表观消化率均无显著变化 ($P>0.05$)。

2.3 单宁酸对湖羊羔羊器官生长发育的影响

由表 5 可知,与对照组相比,代乳粉中添加 0.2% 的单宁酸使羔羊肺脏重量极显著升高 ($P<0.01$), 头重量有提高的趋势 ($P=0.060$), 蹄指数极显著降低 ($P<0.01$); 另外,单宁酸组羔羊皮长显著高于对照组 ($P<0.05$)。

表 3 单宁酸对湖羊羔羊 DM 和 EE 表观消化率的影响

Table 3 Effects of tannic acid on apparent digestibility of DM and EE of *Hu* lambs

项目 Items	日龄 Days of age	指标 Indices	对照组 Control group	单宁酸组 Tannic acid group	均值 标准误 SEM	<i>P</i> 值 <i>P</i> -value
干物质 DM	7~14	采食量 Intake/g	12 410.58 ^a	10 915.54 ^b	362.93	0.041
		排出量 Output/g	2 034.10 ^A	1 407.07 ^B	106.90	0.003
		表观消化率 Apparent digestibility/%	83.36 ^B	88.45 ^A	0.79	0.001
	14~21	采食量 Intake/g	10 384.39 ^B	12 878.54 ^A	478.90	0.008
		排出量 Output/g	1 799.62	1 718.64	195.83	0.844
		表观消化率 Apparent digestibility/%	82.46 ^B	86.65 ^A	0.92	0.004
	21~28	采食量 Intake/g	8 654.40 ^b	10 373.17 ^a	382.82	0.027
		排出量 Output/g	1 346.68	1 297.99	139.13	0.867
		表观消化率 Apparent digestibility/%	83.95 ^B	88.62 ^A	0.77	0.001
粗脂肪 EE	7~14	采食量 Intake/g	2 288.57 ^a	2 008.64 ^b	67.04	0.033
		排出量 Output/g	451.53 ^A	258.09 ^B	27.63	<0.001
		表观消化率 Apparent digestibility/%	80.48 ^B	88.45 ^A	1.07	<0.001
	14~21	采食量 Intake/g	1 914.93 ^B	2 361.74 ^A	87.37	0.009
		排出量 Output/g	505.92	370.23	32.95	0.058
		表观消化率 Apparent digestibility/%	73.80 ^B	85.02 ^A	1.59	<0.001
	21~28	采食量 Intake/g	1 556.97 ^B	1 902.66 ^A	68.33	0.009
		排出量 Output/g	304.39	290.20	22.62	0.765
		表观消化率 Apparent digestibility/%	80.11 ^b	84.82 ^a	0.94	0.015

表 4 单宁酸对湖羊羔羊 CP、Ca 和 P 表观消化率的影响

Table 4 Effects of tannic acid on apparent digestibility of CP, Ca and P of *Hu* lambs

项目 Items	日龄 Days of age	指标 Indices	对照组 Control group	单宁酸组 Tannic acid group	均值标准误 SEM	<i>P</i> 值 <i>P</i> -value
粗蛋白质 CP	7~14	采食量 Intake/g	3 255.00 ^a	2 865.86 ^b	95.34	0.022
		排出量 Output/g	511.36	498.39	24.02	0.798
		表观消化率 Apparent digestibility/%	84.46	82.15	1.06	0.316
	14~21	采食量 Intake/g	2 723.58 ^b	3 319.17 ^a	121.47	0.013
		排出量 Output/g	656.38	700.96	55.91	0.705
		表观消化率 Apparent digestibility/%	75.88	78.50	1.10	0.256
	21~28	采食量 Intake/g	2 214.44 ^b	2 673.98 ^a	94.95	0.015
		排出量 Output/g	330.27 ^B	534.62 ^A	36.08	0.004
		表观消化率 Apparent digestibility/%	85.56 ^a	79.76 ^b	1.37	0.014

续表 4

项目 Items	日龄 Days of age	指标 Indices	对照组 Control group	单宁酸组 Tannic acid group	均值标准误 SEM	P 值 P-value
钙 Ca	7~14	采食量 Intake/g	133.40	118.46	3.92	0.058
		排出量 Output/g	28.64	26.57	1.97	0.619
		表观消化率 Apparent digestibility/%	78.21	77.14	1.63	0.788
	14~21	采食量 Intake/g	117.05	138.13	5.01	0.420
		排出量 Output/g	40.88	42.77	3.64	0.735
		表观消化率 Apparent digestibility/%	64.97	69.10	2.40	0.303
	21~28	采食量 Intake/g	94.78 ^b	111.23 ^a	3.93	0.041
		排出量 Output/g	17.39 ^b	22.94 ^a	1.35	0.039
		表观消化率 Apparent digestibility/%	80.91	79.07	1.80	0.645
磷 P	7~14	采食量 Intake/g	78.36 ^a	68.77 ^b	2.30	0.036
		排出量 Output/g	27.47 ^A	3.16 ^B	2.46	<0.001
		表观消化率 Apparent digestibility/%	64.77 ^B	95.32 ^A	2.95	<0.001
	14~21	采食量 Intake/g	65.56 ^b	79.90 ^a	2.92	0.013
		排出量 Output/g	24.92 ^A	5.40 ^B	2.17	0.004
		表观消化率 Apparent digestibility/%	61.93 ^B	93.65 ^A	2.95	<0.001
	21~28	采食量 Intake/g	55.68	66.31	2.34	0.220
		排出量 Output/g	17.95 ^A	3.02 ^B	1.64	<0.001
		表观消化率 Apparent digestibility/%	66.06 ^B	95.25 ^A	2.84	<0.001

表 5 单宁酸对湖羊羔羊器官生长发育的影响

Table 5 Effects of tannic acid on organ growth and development of *Hu* lambs

项目 Items	指标 Indices	对照组 Control group	单宁酸组 Tannic acid group	均值标准误 SEM	P 值 P-value
头 Head	重量 Weight/g	443.75	497.78	14.51	0.060
	指数 Index/%	10.12	10.55	0.18	0.247
蹄 Foot	重量 Weight/g	306.25	292.22	10.43	0.520
	指数 Index/%	6.97 ^A	6.18 ^B	0.16	0.008
胴体 Carcass	重量 Weight/g	1 817.50	2 026.56	90.72	0.263
	指数 Index/%	40.96	42.54	0.72	0.285
心脏 Heart	重量 Weight/g	29.38	28.83	1.10	0.815
	指数 Index/%	0.67	0.62	0.03	0.352
肝脏 Liver	重量 Weight/g	121.50	126.50	4.98	0.632
	指数 Index/%	2.79	2.92	0.12	0.700
脾脏 Spleen	重量 Weight/g	6.88	6.83	0.44	0.964
	指数 Index/%	0.16	0.15	0.01	0.604
肺脏 Lung	重量 Weight/g	86.75 ^B	104.44 ^A	3.44	0.005
	指数 Index/%	2.00	2.24	0.09	0.212
肾脏 Kidney	重量 Weight/g	33.69	27.89	2.33	0.235
	指数 Index/%	0.79	0.59	0.07	0.179
胰腺 Pancreas	重量 Weight/g	5.94	5.38	0.46	0.563
	指数 Index/%	0.14	0.11	0.00	0.122
肾周脂 Perirenal lipid	重量 Weight/g	7.31	10.61	1.07	0.128
	指数 Index/%	0.16	0.22	0.02	0.189

续表 5

项目 Items	指标 Indices	对照组 Control group	单宁酸组 Tannic acid group	均值标准误 SEM	<i>P</i> 值 <i>P</i> -value
胆囊+胆汁 Gallbladder+bile	重量 Weight/g	2.25	2.11	0.15	0.655
	指数 Index/%	0.05	0.05	0.00	0.600
皮长 Leather length/cm		46.13 ^b	50.89 ^a	1.11	0.027
皮宽 Leather width/cm		35.00	34.39	0.64	0.650
皮面积 Area/cm ²		1 621.75	1 754.33	59.10	0.276

2.4 单宁酸对湖羊羔羊肌肉脂肪酸组成的影响

由表 6 可知,与对照组相比,在代乳粉中添加 0.2% 的单宁酸显著降低了羔羊背最长肌中硬脂酸 (C18:0) 的含量 ($P < 0.05$),显著增加油酸 (C18:1n9c) ($P < 0.05$) 和多不饱和脂肪酸 (polyunsaturated fatty acid, PUFA) 的含量 ($P = 0.05$),极显著增加 PUFA/SFA 值 ($P < 0.01$),有降低辛酸

(C6:0) ($P = 0.068$) 以及提高肉豆蔻酸 (C14:0) ($P = 0.067$)、UFA ($P = 0.060$) 和单不饱和脂肪酸 (monounsaturated fatty acid, MUFA) 含量 ($P = 0.060$) 的趋势。由表 7 可知,与对照组相比,在代乳粉中添加 0.2% 的单宁酸仅显著升高了羔羊肱二头肌中二十碳三烯酸 (C20:3n3) 的含量 ($P < 0.05$),而对其他脂肪酸含量无显著影响 ($P > 0.05$)。

表 6 单宁酸对湖羊羔羊背最长肌脂肪酸组成的影响

Table 6 Effects of tannic acid on fatty acid composition of *longissimus dorsi* of *Hu* lambs

%

脂肪酸 Fatty acids	对照组 Control group	单宁组 Tannic acid group	均值标准误 SEM	<i>P</i> 值 <i>P</i> -value
丁酸 C4:0	0.036	0.031	0.002	0.185
乙酸 C6:0	0.046	0.052	0.005	0.523
辛酸 C8:0	0.047	0.045	0.002	0.068
癸酸 C10:0	0.264	0.260	0.010	0.852
月桂酸 C12:0	0.032	0.035	0.003	0.535
十三烷酸 C13:0	0.018	0.020	0.001	0.360
肉豆蔻酸 C14:0	1.892	2.307	0.114	0.067
十五烷酸 C15:0	0.374	0.380	0.022	0.902
棕榈酸 C16:0	22.478	21.465	0.454	0.723
十七烷酸 C17:0	2.654	2.694	0.049	0.698
硬脂酸 C18:0	9.879 ^a	7.679 ^b	0.644	0.031
二十烷酸 C20:0	0.033	0.028	0.002	0.223
二十一烷酸 C21:0	0.005	0.005	0.001	0.936
榆树酸 C22:0	0.025	0.032	0.003	0.357
肉豆蔻烯酸 C14:1	0.049	0.044	0.003	0.341
十五烷烯酸 C15:1	0.354	0.349	0.017	0.670
棕榈烯酸 C16:1	0.142	0.163	0.017	0.782
十七碳烯酸 C17:1	0.086	0.079	0.003	0.220
反油酸 C18:1n9t	2.089	2.087	0.021	0.981
油酸 C18:1n9c	46.872 ^b	48.465 ^a	1.515	0.048
顺芥子酸甲酯 C22:1n9	0.198	0.194	0.008	0.740
神经酸 C24:1	0.698	0.690	0.073	0.906
反亚油酸 C18:2n6t	0.014	0.015	0.001	0.533
亚油酸 C18:2n6c	1.769	2.249	0.157	0.131
γ -亚麻酸 C18:3n6	0.023	0.024	0.002	0.861

续表 6

脂肪酸 Fatty acids	对照组 Control group	单宁组 Tannic acid group	均值标准误 SEM	P 值 P-value
α -亚麻酸 C18:3n3	0.132	0.139	0.016	0.835
二十碳三烯酸 C20:3n6	0.432	0.459	0.022	0.549
二十碳三烯酸 C20:3n3	0.256	0.275	0.027	0.740
花生四烯酸 C20:4n6	1.004	1.025	0.041	0.808
二十二碳二烯酸 C22:2	0.986	1.067	0.036	0.283
二十碳五烯酸 C20:5n3	0.766	0.788	0.024	0.806
二十二碳六烯酸 C22:6n3	0.736	0.746	0.056	0.833
不饱和脂肪酸 UFA	56.616	60.094	1.557	0.060
饱和脂肪酸 SFA	37.783	35.031	1.001	0.316
单不饱和脂肪酸 MUFA	50.488	52.123	1.520	0.070
多不饱和脂肪酸 PUFA	6.128 ^b	6.760 ^a	0.172	0.050
多不饱和脂肪酸:饱和脂肪酸 PUFA:SFA	0.162 ^B	0.191 ^A	0.043	0.001
单不饱和脂肪酸:饱和脂肪酸 MUFA:SFA	1.306	1.478	0.053	0.620

表 7 单宁酸对湖羊羔羊肱二头肌脂肪酸组成的影响

Table 7 Effects of tannic acid on fatty acid composition of *biceps brachii* of Hu lambs

%

脂肪酸 Fatty acids	对照组 Control group	单宁组 Tannic acid group	均值标准误 SEM	P 值 P-value
丁酸 C4:0	0.033	0.035	0.004	0.788
乙酸 C6:0	0.045	0.047	0.002	0.601
辛酸 C8:0	0.051	0.049	0.001	0.305
癸酸 C10:0	0.267	0.279	0.005	0.278
月桂酸 C12:0	0.032	0.029	0.001	0.214
十三烷酸 C13:0	0.021	0.023	0.001	0.293
肉豆蔻酸 C14:0	1.882	1.992	0.078	0.499
十五烷酸 C15:0	0.378	0.383	0.014	0.876
棕榈酸 C16:0	22.167	22.406	0.560	0.839
十七烷酸 C17:0	2.654	2.726	0.097	0.782
硬脂酸 C18:0	9.488	9.640	0.262	0.782
二十烷酸 C20:0	0.031	0.032	0.001	0.520
二十一烷酸 C21:0	0.004	0.004	0.000	0.963
榆树酸 C22:0	0.038	0.041	0.002	0.598
肉豆蔻烯酸 C14:1	0.043	0.042	0.002	0.768
十五烷烯酸 C15:1	0.345	0.350	0.006	0.656
棕榈烯酸 C16:1	0.164	0.160	0.007	0.797
十七烷烯酸 C17:1	0.076	0.074	0.003	0.824
反油酸 C18:1n9 ^t	2.103	2.099	0.025	0.947
油酸 C18:1n9 ^c	47.895	46.293	1.101	0.531
顺芥子酸甲酯 C22:1n9	0.208	0.216	0.012	0.729
神经酸 C24:1	0.675	0.710	0.042	0.693
反亚油酸 C18:2n6 ^t	0.012	0.012	0.001	0.749
亚油酸 C18:2n6 ^c	1.755	1.768	0.043	0.892
γ -亚麻酸 C18:3n6	0.028	0.029	0.002	0.744

续表 7

脂肪酸 Fatty acids	对照组 Control group	单宁组 Tannic acid group	均值标准误 SEM	P 值 P-value
α -亚麻酸 C18:3n3	0.122	0.124	0.003	0.870
二十碳三烯酸 C20:3n6	0.443	0.448	0.031	0.946
二十碳三烯酸 C20:3n3	0.248 ^B	0.467 ^A	0.034	<0.001
花生四烯酸 C20:4n6	1.098	1.115	0.043	0.853
二十二碳二烯酸 C22:2	0.087	0.092	0.002	0.257
二十碳五烯酸 C20:5n3	0.745	0.073	0.041	0.855
二十二碳六烯酸 C22:6n3	0.728	0.712	0.025	0.763
不饱和脂肪酸 UFA	56.756	55.439	0.996	0.123
饱和脂肪酸 SFA	36.791	37.685	0.492	0.564
单不饱和脂肪酸 MUFA	51.509	49.946	1.071	0.257
多不饱和脂肪酸 PUFA	5.247	5.494	0.124	0.378
多不饱和脂肪酸:饱和脂肪酸 PUFA:SFA	0.140	0.146	0.005	0.597
单不饱和脂肪酸:饱和脂肪酸 MUFA:SFA	1.388	1.245	0.024	0.161

3 讨论

3.1 单宁酸对湖羊羔羊生长性能的影响

羔羊的采食量和日增重都与生长性能具有密切的关系,也是对养分摄入、消化、吸收和沉积的最终体现^[16-17]。单宁酸对动物生长性能的影响一直存在争议,其影响取决于多个因素,包括单宁酸纯度和化学成分、基础饲料、动物种类和代谢状况等^[18]。肖杰等^[19]研究发现,饲喂 0.1% 的单宁对湖羊平均末重和平均日增重有促进作用,但作用效果不显著。李志威等^[20]研究发现,饲喂百脉根单宁(单宁含量为 1.45%)对湖羊的平均日增重没有显著影响,但添加单宁组的平均日增重高于对照组。薛树媛^[21]的研究显示,在饲料中添加 2.0% 的单宁酸可以显著提高绵羊的平均日增重,而添加 1.0% 和 3.5% 的单宁酸对其无显著影响。丁鑫^[22]的研究显示,添加 0.3% 的栗木单宁(水解单宁含量为 76%)显著提高了 1~21 d 和 64~90 d 这 2 个阶段的平均日增重。本试验中,在代乳粉中添加 0.2% 的单宁酸可以显著提高湖羊羔羊 14~28 日龄的平均日采食量和 14~21 日龄的平均日增重,可能与单宁酸有助于提高羔羊十二指肠和空肠的养分吸收能力^[23]、降低肠蠕动、降低食糜通过小肠的速度、提高饲料消化率等有关^[24]。2 组湖羊羔羊 21~28 日龄的平均日增重均出现负增长,可能是因为该阶段羔羊胃肠道处于快速发育时期,瘤胃微生物区系的建立需要固体饲料的刺激

和能量提供,而本试验中羔羊只饲喂代乳品,没有固体饲料的饲喂,所以导致羔羊生长受到限制^[25]。对于腹泻率,在本试验中,与对照组相比,在代乳粉中添加 0.2% 的单宁酸显著降低了湖羊羔羊的腹泻率。在畜禽试验研究中发现,单宁酸能够有效抑菌和杀灭病毒,能有效抑制多种植物源和动物源病原体^[14]。另外,产生细胞毒素是细菌引起腹泻的主要原因之一,单宁酸能阻断细菌与肠道结合的受体,在肠道内形成一个保护层,抑制细菌的感染,使得引起腹泻的毒素失去作用,减轻刺激肠蠕动,从而降低腹泻率^[26]。单宁酸的抗菌特性对反刍动物的肠道寄生虫也有一定抑制作用^[27-28]。Ren 等^[29]研究发现,单宁酸可以降低肠道通透性,减少因肿瘤坏死因子诱导的上皮屏障功能受损,进而减少腹泻的发生。羔羊腹泻的改善可能与单宁酸抗菌、抗炎等作用对肠道结构和功能的改善有关,促进养分消化,进而提高羔羊的生长性能。

3.2 单宁酸对湖羊羔羊养分表观消化率的影响

单宁能与蛋白质结合,保护蛋白质不受瘤胃降解的影响,这种保护作用对蛋白质比对 DM 或其他营养物质更有效^[30]。在本研究中,代乳粉中添加 0.2% 的单宁酸能提高 DM、EE 和 P 的表观消化率,降低 21~28 日龄的 CP 表观消化率。Zhao 等^[31]在湖羊的试验中也发现单宁酸增加了 DM 消化率,与本研究结果一致。但也有研究已表明,添加单宁酸会降低反刍动物 DM 消化率^[32]。潘发明等^[33]研究显示,在饲料中添加不同水平的单宁酸

对羯绵羊的Ca消化率无显著影响,这与本试验结果相一致,本试验结果显示在代乳粉中添加0.2%的单宁酸对湖羊羔羊的Ca表观消化率无显著影响,但另有研究显示五倍子单宁酸有增加断奶仔猪的Ca表观消化率的趋势^[34]。上述研究结果不一致可能归因于单宁酸的来源不同,导致单宁酸与碳水化合物结合的能力差异很大。本试验中湖羊羔羊CP表观消化率降低的结果与许多已有研究报道相似,Zhao等^[31]研究显示,饲料中添加0.1%的单宁酸降低了湖羊的CP消化率。王敬尧等^[11]在绵羊体外发酵试验中发现,添加0.5%、1.0%、1.5%和2.0%的单宁酸能显著降低CP降解率。同样,饲料中添加白坚木单宁提取物降低了肉牛的CP表观消化率^[30]。Min等^[35]也认为,单宁酸会增加瘤胃蛋白质量,降低瘤胃消化所需蛋白质。有研究认为CP表观消化率的降低可能是因为瘤胃中单宁与蛋白质形成难以消化的复合物,抑制瘤胃微生物对蛋白质的降解,从而降低蛋白质的消化率^[1]。另外,在本试验中,由于羔羊在试验期间饲喂液态代乳粉,对胃肠道缺乏有效物理刺激,导致胃肠道发育滞缓,尤其是瘤胃和皱胃功能发育不完善,导致流入十二指肠的可消化蛋白质数量减少^[23]。

3.3 单宁酸对湖羊羔羊器官生长发育的影响

动物器官重量及指数是衡量动物机体发育情况的重要指标之一,机体功能可以由器官重量近似反映,动物营养状况和生理状态可以通过器官指数获得,对理论研究和生产实践有重要意义^[36]。本试验中,虽然添单宁酸组的肺脏重量显著高于对照组,但是其指数(即占宰前活重的比例)2组间差异不显著,其他器官重量与指数均无显著差异,说明在代乳粉中添加0.2%的单宁酸对湖羊羔羊器官生长发育无不良影响。

3.4 单宁酸对湖羊羔羊肌肉脂肪酸组成的影响

本研究中,在湖羊羔羊背最长肌与肱二头肌中共检测出32种脂肪酸,各脂肪酸含量基本一致,其中含量较高的脂肪酸是C18:1n9c、棕榈酸(C16:0)和C18:0,这与陈雪君等^[37]的研究结果一致。进一步比较发现,背最长肌与肱二头肌中C18:1n9c含量最高,其次是C16:0,C18:0含量较低。研究认为肉的风味受脂肪酸种类和含量的影响^[38],羊肉膻味与C18:0的含量有关,特别是当皮下脂肪中C18:0含量高时会造成羊肉膻味的加

重^[39],羊肉风味与UFA中的C18:1n9c和亚麻酸(C18:3n)关系密切^[40]。添加单宁酸后,C18:1n9c在羔羊背最长肌和肱二头肌中的含量分别为48.465%和46.293%,其中背最长肌中C18:1n9c的含量显著高于对照组,而背最长肌中C18:0的含量显著低于对照组。由C18:0含量降低与C18:1n9c含量升高可知单宁酸能够降低羊肉膻味,具有影响羊肉风味的潜力。另外,有关报道认为,饮食中的脂肪酸影响人体血脂和血胆固醇,SFA含量增加会引起血脂升高,进而有引起冠状动脉硬化的潜在危险,而PUFA有降低血胆固醇的作用^[41-42]。PUFA/SFA值通常用来衡量肉品质,羊肉的PUFA/SFA值一般为0.10~0.26^[43]。本试验中,单宁酸组湖羊羔羊背最长肌中PUFA含量和PUFA/SFA值与对照组相比显著增加,PUFA/SFA值为0.192,处于0.10~0.26。Vasta等^[44]指出,在精料或牧草中添加单宁能使羔羊肉中PUFA含量升高、SFA含量降低,与本试验结果一致。但从人类营养学角度看,湖羊羔羊背最长肌中PUFA/SFA值还达不到营养学建议值(≥ 0.4)。由于单宁酸对羔羊肌肉脂肪酸组成的影响的相关研究较少,关于单宁酸羔羊肌肉脂肪酸组成的影响还需进一步验证。

4 结论

在湖羊羔羊代乳粉中添加0.2%的单宁酸可以提高采食量和增重,降低腹泻率,对器官生长发育无不良影响,并影响背最长肌中UFA含量。虽然0.2%的单宁酸对湖羊羔羊21~28日龄CP表观消化率有负面影响,但可以促进其他养分的消化。

参考文献:

- [1] MAKKAR H P S. Effects and fate of tannins in ruminant animals, adaptation to tannins, and strategies to overcome detrimental effects of feeding tannin-rich feeds [J]. *Small Ruminant Research*, 2003, 49 (3): 241-256.
- [2] HUANG Q Q, LIU X L, ZHAO G Q, et al. Potential and challenges of tannins as an alternative to in-feed antibiotics for farm animal production [J]. *Animal Nutrition*, 2018, 4 (2): 137-150.
- [3] 杜恩存, 杨雪海, 郭万正, 等. “中苧1号”苧麻不同茬次的营养价值分析及在山羊中的饲喂效果研究 [J]. *饲料工业*, 2019, 40 (23): 40-45.

- DU E C, YANG X M, GUO W Z, et al. Study on the nutritional value of "Zhongzhu No. 1" ramie among different cutting times and its feeding effect in goats [J]. *Feed Industry*, 2019, 40(23): 40-45. (in Chinese)
- [4] BONELLI F, TURINI L, SARRI G, et al. Oral administration of chestnut tannins to reduce the duration of neonatal calf diarrhea [J]. *BMC Veterinary Research*, 2018, 14: 227.
- [5] 陈赛娟, 刘亚娟, 郅永伟, 等. 单宁酸对生长獭兔毛皮品质、免疫器官发育及抗氧化能力的影响 [J]. *动物营养学报*, 2019, 31(11): 5152-5156.
- CHEN S J, LIU Y J, ZHI Y W, et al. Effects of tannic acid on fur quality, immune organ development and antioxidant capacity of growing Rex rabbits [J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2019, 31(11): 5152-5156. (in Chinese)
- [6] FRASCA G, CARDILE V, PUGLIA C, et al. Gelatin tannate reduces the proinflammatory effects of lipopolysaccharide in human intestinal epithelial cells [J]. *Clinical and Experimental Gastroenterology*, 2012, 5(1): 61-67.
- [7] BIONDI L, RANDAZZO C L, RUSSO N, et al. Dietary supplementation of tannin-extracts to lambs; effects on meat fatty acids composition and stability and on microbial characteristics [J]. *Foods*, 2019, 8(10): 469.
- [8] 李义海, 张效生, 张金龙, 等. 单宁对反刍动物机体功能调节作用的研究进展 [J]. *中国草食动物科学*, 2018, 38(5): 44-48.
- LI Y H, ZHANG X S, ZHANG J L, et al. Regulation of tannins on the function of ruminant body [J]. *China Herbivore Science*, 2018, 38(5): 44-48. (in Chinese)
- [9] 回海勇, 安文亭, 李占一, 等. 单宁酸对奶牛生产性能、营养物质利用率及免疫力影响 [J]. *饲料研究*, 2018(6): 14-18, 24.
- HUI H Y, AN W T, LI Z Y, et al. Effects of tannin on performance, nutrient utilization rate and immunity of dairy cows [J]. *Feed Research*, 2018(6): 14-18, 24. (in Chinese)
- [10] 于永强. 日粮中添加单宁对绵羊和绒山羊瘤胃发酵参数及营养物质消化率的影响 [D]. 硕士学位论文. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2016.
- YU Y Q. Effects of tannin supplemented in diet on ruminal fermentation parameters and nutrient digestibility in sheep and Cashmere goats [D]. Master's Thesis. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2016. (in Chinese)
- [11] 王敬尧, 解湧芳, 丽丽, 等. 添加不同水平单宁酸对绵羊体外发酵参数和甲烷产量的影响 [J]. *中国畜牧兽医*, 2020, 47(5): 1428-1435.
- WANG J Y, XIE Y F, LI L, et al. Effects of adding different levels of tannic acid on rumen fermentation parameters and methane production of sheep *in vitro* method [J]. *China Animal Husbandry and Veterinary Medicine*, 2020, 47(5): 1428-1435. (in Chinese)
- [12] LIU H W, LI K, ZHAO J S, et al. Effects of chestnut tannins on intestinal morphology, barrier function, pro-inflammatory cytokine expression, microflora and antioxidant capacity in heat-stressed broilers [J]. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 2018, 102(3): 717-726.
- [13] REZAR V, SALOBIR J. Effects of tannin-rich sweet chestnut (*Castanea sativa* Mill.) wood extract supplementation on nutrient utilisation and excreta dry matter content in broiler chickens [J]. *European Poultry Science*, 2014, 78, doi: 10.1399/eps.2014.42.
- [14] 孙展英, 李建涛, 陈宝江. 单宁酸对仔猪生长性能、营养物质利用率及相关消化酶活性的影响 [J]. *饲料研究*, 2014(1): 46-49.
- SUN Z Y, LI J T, CHEN B J. Effects of tannin on growth performance, nutrient utilization rate and related digestive enzyme activities of piglets [J]. *Feed Research*, 2014(1): 46-49. (in Chinese)
- [15] FOLCH J, LEES M, STANLEY G H S. A simple method for the isolation and purification of total lipides from animal tissues [J]. *Journal of Biological Chemistry*, 1957, 226(1): 497-509.
- [16] 赵梦迪, 邸凌峰, 唐泽宇, 等. 单宁与饲用纤维素酶对湖羊生长性能、血液生化指标、屠宰性能及器官发育的影响 [J]. *中国畜牧兽医*, 2019, 46(6): 1668-1676.
- ZHAO M D, DI L F, TANG Z Y, et al. Effects of dietary tannin and forage cellulose on growth performance, blood biochemical parameters, slaughter performance and organ development of *Hu* sheep [J]. *China Animal Husbandry and Veterinary Medicine*, 2019, 46(6): 1668-1676. (in Chinese)
- [17] 康婧鹏, 王文基, 郭亚敏, 等. 不同能量水平低氮饲料对藏羊表观消化率、氮代谢和生长性能的影响 [J]. *草业学报*, 2018, 27(9): 166-174.
- KANG J P, WANG W J, GUO Y M, et al. Effects of different dietary energy levels on apparent digestibility, nitrogen metabolism and growth performance of Tibetan sheep under low nitrogen conditions [J]. *Acta*

- Prataculturae Sinica, 2018, 27(9):166-174. (in Chinese)
- [18] GUERREIRO O, ALVES S P, SOLDADO D, et al. Inclusion of the aerial part and condensed tannin extract from *Cistus ladanifer* L. in lamb diets—effects on growth performance, carcass and meat quality and fatty acid composition of intramuscular and subcutaneous fat[J]. Meat Science, 2020, 160:107945.
- [19] 肖杰, 孙攀峰, 李鹏伟, 等. 饲料中添加单宁和纤维素酶对育肥湖羊生长性能、营养物质消化率及肠道形态的影响[J]. 中国饲料, 2020(8):33-36.
- XIAO J, SUN P F, LI P W, et al. Effects of tannins and cellulase on growth performance, nutrients digestibility and intestinal morphology of *Hu* sheep[J]. China Feed, 2020(8):33-36. (in Chinese)
- [20] 李志威, 魏元浩, 赵国琦, 等. 百脉根单宁对3月龄湖羊生长性能和瘤胃发酵性能的影响[J]. 饲料研究, 2020, 43(3):7-11.
- LI Z W, WEI Y H, ZHAO G Q, et al. Effect of *Lotus corniculatus* tannin on growth performance and rumen fermentation performance of three months *Hu* sheep[J]. Feed Research, 2020, 43(3):7-11. (in Chinese)
- [21] 薛树媛. 灌木类植物单宁对绵羊瘤胃发酵影响及其对瘤胃微生物区系、免疫和生产指标影响的研究[D]. 硕士学位论文. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2011.
- XUE S Y. Effect of SHRUB tannin on rumen fermentation and rumen microflora, immunity and production performance in sheep[D]. Master's Thesis. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2011. (in Chinese)
- [22] 丁鑫. 不同栗木单宁水平日粮对湖羊公羔生产性能和肉品质的影响[D]. 硕士学位论文. 兰州: 兰州大学, 2019.
- DING X. Effects of different chestnut tannin levels on the production performance and meat quality of *Hu* lambs[D]. Master's Thesis. Lanzhou: Lanzhou University, 2019. (in Chinese)
- [23] 郑琛, 李发弟, 李飞, 等. 代乳粉添加单宁酸对7-28日龄湖羊羔羊胃肠道发育的影响[J]. 中国农业科学, 2019, 52(21):3924-3933.
- ZHENG C, LI F D, LI F, et al. Effects of tannic acid addition in milk replacer on development of gastrointestinal tract of 7 to 28 days old *Hu* lambs[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2019, 52(21):3924-3933. (in Chinese)
- [24] 陈宝江, 裴素俭, 魏忠华, 等. 单宁酸对肉仔鸡生产性能和消化道酶活性的影响研究[J]. 中国家禽, 2012, 34(20):26-28, 32.
- CHEN B J, PEI S J, WEI Z H, et al. Effect of tannic acid on production performance and digestive enzyme activity of broiler[J]. China Poultry, 2012, 34(20):26-28. (in Chinese)
- [25] 周巨旺. 代乳品中添加甘露寡糖对湖羊羔羊血清和尿液代谢组及肠道免疫的影响[D]. 硕士学位论文. 兰州: 甘肃农业大学, 2020.
- ZHOU J W. Effects of mannan oligosaccharide in milk replacer on serum and urine metabolome and gut immunity of *Hu* lamb[D]. Master's Thesis. Lanzhou: Gansu Agricultural University, 2020. (in Chinese)
- [26] 隋慧, 付莉, 史丽华, 等. 单宁酸对断奶仔猪腹泻率和生长性能的影响[J]. 饲料研究, 2013(7):50-53.
- SUI H, FU L, SHI L H, et al. Effects of tannin on diarrhea rate and growth performance of weaned piglets[J]. Feed Research, 2013(7):50-53. (in Chinese)
- [27] MIN B R, HART S P. Tannins for suppression of internal parasites[J]. Journal of Animal Science, 2003, 81(Suppl.2):E102-E109.
- [28] SCALBERT A. Antimicrobial properties of tannins[J]. Phytochemistry, 1991, 30(12):3875-3883.
- [29] REN A X, ZHANG W Q, THOMAS H G, et al. A tannic acid-based medical food, Cesinex[®], exhibits broad-spectrum antidiarrheal properties: a mechanistic and clinical study[J]. Digestive Diseases and Sciences, 2012, 57(1):99-108.
- [30] BEAUCHEMIN K A, MCGINN S M, MARTINEZ T F, et al. Use of condensed tannin extract from quebracho trees to reduce methane emissions from cattle[J]. Journal of Animal Science, 2007, 85(8):1990-1996.
- [31] ZHAO M D, DI L F, TANG Z Y, et al. Effect of tannins and cellulase on growth performance, nutrients digestibility, blood profiles, intestinal morphology and carcass characteristics in *Hu* sheep[J]. Asian-Australasian Journal of Animal Sciences, 2019, 32(10):1540-1547.
- [32] MÉNDEZ-ORTIZ F A, SANDOVAL-CASTRO C A, VENTURA-CORDERO J, et al. Condensed tannin intake and sheep performance: a Meta-analysis on voluntary intake and live weight change[J]. Animal Feed Science Technology, 2018, 245:67-76.
- [33] 潘发明, 王彩莲, 刁其玉, 等. 单宁酸对绵羊日粮养分消化利用及氮代谢的影响[J]. 草业学报, 2017, 26(12):179-185.
- PAN F M, WANG C L, DIAO Q Y, et al. Effects of

- tannic acid on digestion and utilization of nutrients and the metabolic parameters of nitrogen in sheep[J]. *Acta Prataculturae Sinica*, 2017, 26(12): 179-185. (in Chinese)
- [34] 苟昌勇,施晓丽,孙澄慧,等.五倍子单宁酸对断奶仔猪生长性能、腹泻和养分消化的影响[J]. *动物营养学报*, 2020, 32(11): 5137-5144.
GOU C Y, SHI X L, SUN C H, et al. Effects of gallnut tannic acid on growth performance, diarrhea and nutrient digestion in weaned piglets[J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2020, 32(11): 5137-5144. (in Chinese)
- [35] MIN B R, BARRY T N, ATTWOOD G T, et al. The effect of condensed tannins on the nutrition and health of ruminants fed fresh temperate forages: a review[J]. *Animal Feed Science and Technology*, 2003, 106(1/2/3/4): 3-19.
- [36] 张晋青,岳度兵,罗海玲,等.日粮中维生素 E 水平对敖汉细毛羊内脏器官生长发育的影响[J]. *中国畜牧杂志*, 2010, 46(17): 43-46.
ZHANG J Q, YUE D B, LUO H L, et al. Effects of dietary vitamin E level on growth and development of internal organ of Aohan fine wool sheep[J]. *Chinese Journal of Animal Science*, 2010, 46(17): 43-46. (in Chinese)
- [37] 陈雪君,刘建新,马小梅.湖羊肌肉和皮下脂肪组织的脂肪酸组成研究[J]. *浙江大学学报(农业与生命科学版)*, 2008, 34(6): 641-648.
CHEN X J, LIU J X, MA X M. Fatty acid profiles of intramuscular and subcutaneous fat tissues of *Huzhou* sheep[J]. *Journal of Zhejiang University (Agriculture and Life Sciences)*, 2008, 34(6): 641-648. (in Chinese)
- [38] 张贤.西藏牦牛肉品质分析与评价[D].硕士学位论文.杨凌:西北农林科技大学,2017.
ZHANG X. The quality analysis and evaluation of Tibet yak meat[D]. Master's Thesis. Yangling: Northwest Agriculture and Forestry University, 2017. (in Chinese)
- [39] 莎丽娜.自然放牧苏尼特羊肉品质特性的研究[D].博士学位论文.呼和浩特:内蒙古农业大学,2009.
SHA L N. The study on meat characteristic of natural grazing Sunit sheep[D]. Ph.D. Thesis. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2009. (in Chinese)
- [40] WOOD J D, ENSER M, FISHER A V, et al. Fat deposition, fatty acid composition and meat quality: a review[J]. *Meat Science*, 2008, 78(4): 343-358.
- [41] BANSKALIEVA V, SAHLU T, GOETSCH A L. Fatty acid composition of goat muscles and fat depots: a review[J]. *Small Ruminant Research*, 2000, 37(3): 255-268.
- [42] 豆成林.淮南猪肉品质特性研究[D].硕士学位论文.杨凌:西北农林科技大学,2008.
DOU C L. Research on meat quality of *Huainan* swine[D]. Master's Thesis. Yangling: Northwest Agriculture and Forestry University, 2008. (in Chinese)
- [43] 罗建学.羊肉脂肪酸的研究概况[J]. *肉类研究*, 2010(1): 12-15.
LUO J X. Research on fatty acids in mutton[J]. *Meat Reserch*, 2010(1): 12-15. (in Chinese)
- [44] VASTA V, MELE M, SERRA A, et al. Metabolic fate of fatty acids involved in ruminal biohydrogenation in sheep fed concentrate or herbage with or without tannins[J]. *Journal of Animal Science*, 2009, 87(8): 2674-2684.

Effects of Tannic Acid Addition in Milk Replacer on Growth Performance, Nutrient Apparent Digestibility and Muscle Fatty Acid Composition of *Hu* Lambs

LIU Huihui¹ SUN Kang¹ FAN Huiyu¹ LIU Ting¹ ZHANG Qian² ZHENG Chen^{1*}

(1. College of Animal Science and Technology, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China; 2. College of Veterinary Medicine, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China)

Abstract: This study was conducted to investigate the effects of tannic acid addition in milk replacer on growth performance, nutrient apparent digestibility, organ growth and development and muscle fatty acid composition of 7- to 28-day-old *Hu* lambs. Thirty 7-day-old *Hu* male lambs in good health were selected and randomly divided into 2 groups, lambs in control group and tannic acid group were fed milk replacer with or without 0.2% tannic acid, respectively. Fifteen lambs in each group and each lamb as a duplication. At 28 days of age, eight lambs were selected from each group randomly and slaughtered. The results showed as follows: 1) compared with the control group, adding 0.2% tannic acid to milk replacer extremely significantly increased the average daily feed intake of lambs at 14 to 28 days of age ($P<0.01$), significantly increased the average daily gain at 7 to 28 days of age ($P<0.05$), and significantly decreased the diarrhea rate of lambs ($P<0.05$). 2) Compared with the control group, adding 0.2% tannic acid to milk replacer significantly increased the apparent digestibility of dry matter, phosphorus and ether extract of lambs at 7 to 28 days of age ($P<0.05$), had no significant effect on the apparent digestibility of calcium of lambs at 7 to 28 days of age ($P>0.05$), but significantly decreased the apparent digestibility of crude protein of lambs at 21 to 28 days of age ($P<0.05$). 3) Compared with the control group, adding 0.2% tannic acid to milk replacer extremely significantly increased the lung weight of lambs ($P<0.01$), and extremely significantly decreased the foot index ($P<0.01$), but had no significant effects on the weights and indexes of other organs ($P>0.05$). 4) The content of stearic acid in *longissimus dorsi* of tannic acid group was significantly lower than that of control group ($P<0.05$), the contents of oleic acid and polyunsaturated fatty acid were significantly higher than those of control group ($P<0.05$), and the value of polyunsaturated fatty acid/saturated fatty acid was significantly higher than that of control group ($P<0.05$). In addition, the content of eicosatrienoic acid in *biceps brachii* of tannic acid group was significantly higher than that of control group ($P<0.05$). In conclusion, adding 0.2% tannic acid to milk replacer can improve the feed intake and weight gain, reduce the diarrhea rate, promote nutrient digestion, and improve growth performance of *Hu* lambs. [*Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2021, 33(8):4520-4532]

Key words: lambs; milk replacer; tannic acid; growth performance; apparent digestibility; fatty acids

* Corresponding author, associate professor, E-mail: zhengc@gsau.edu.cn