

刘宁, 莫佳琪, 王翊菲, 等. 灌服肠内酯对哺乳羔羊瘤胃发酵参数和消化道发育的影响 [J]. 畜牧与兽医, 2024, 56 (6): 49-54.

LIU N, MO J Q, WANG Y F, et al. Effect of enterolactone by gavage on rumen fermentation parameters and gastrointestinal development in sucking lambs [J]. Animal Husbandry & Veterinary Medicine, 2024, 56 (6): 49-54.

## 灌服肠内酯对哺乳羔羊瘤胃发酵参数和消化道发育的影响

刘宁<sup>#</sup>, 莫佳琪<sup>#</sup>, 王翊菲, 黄士翰, 刘军花<sup>\*</sup>

(国家动物消化道营养国际联合研究中心/江苏省消化道营养与动物健康重点实验室, 南京农业大学动物科技学院  
消化道微生物研究室, 江苏 南京 210095)

**摘要:** 本研究旨在探讨灌服肠内酯对羔羊瘤胃发酵和胃肠道发育的影响。试验选取 14 只健康 12 日龄湖羊羔羊, 随机均分为两组, 对照组灌服生理盐水, 灌服肠内酯组于每天 10:00 进行口腔灌服处理, 预饲期 3 d, 正试期为 28 d。试验过程中羔羊自由采食 1:9 冲泡的山羊奶粉并自由饮水, 每天记录羔羊采食量, 每周称重, 羔羊在 42 日龄时屠宰采样, 采取瘤胃和小肠组织样品, 以及瘤胃液样品, 分别用于组织形态学和挥发性脂肪酸分析。结果: 与对照组相比, 口腔灌服肠内酯显著提高了羔羊 5 周龄平均日增重 ( $P<0.05$ ); 口腔灌服肠内酯显著降低了瘤胃内乙酸比例 ( $P=0.019$ ) 以及乙酸与丙酸比 ( $P=0.019$ ); 口腔灌服肠内酯显著增加了羔羊瘤胃完全分化乳头比例 ( $P=0.013$ ), 增加瘤胃壁厚度 ( $P=0.004$ )、瘤胃乳头长度 ( $P<0.001$ )、宽度 ( $P<0.001$ )、密度 ( $P<0.001$ ) 和表面积 ( $P<0.001$ ), 显著增加角质层厚度 ( $P=0.004$ ) 以及棘状层和基底层厚度 ( $P<0.001$ ); 口腔灌服肠内酯显著增加了羔羊十二指肠 ( $P<0.001$ )、空肠绒毛高度 ( $P=0.048$ ) 和十二指肠的绒毛高度/隐窝深度 ( $P<0.001$ ), 显著降低了十二指肠隐窝深度 ( $P<0.001$ )。综上, 口腔灌服肠内酯能增加羔羊瘤胃壁厚度, 显著刺激瘤胃上皮细胞层的增生, 促进羔羊瘤胃的发育, 增加小肠绒毛高度, 提高小肠的吸收能力, 为羔羊健康生长发育打下坚实基础。

**关键词:** 肠内酯; 瘤胃发酵; 消化道发育; 羔羊

中图分类号: S826 文献标志码: A 文章编号: 0529-5130(2024)06-0049-06

## Effect of enterolactone by gavage on rumen fermentation parameters and gastrointestinal development in sucking lambs

LIU Ning<sup>#</sup>, MO Jiaqi<sup>#</sup>, WANG Yifei, HUANG Shihan, LIU Junhua<sup>\*</sup>

(National Centre for International Research on Animal Gut Nutrition, Laboratory of Gastrointestinal Microbiology/  
Jiangsu Key Laboratory of Gastrointestinal Nutrition and Animal Health/Laboratory of Gastrointestinal Microbiology  
of College of Animal Science and Technology, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

**Abstract:** This study aimed to investigate the effects of enterolactone infusion on the rumen fermentation parameters and gastrointestinal development in lambs. Fourteen healthy 12-day-old lambs were used and randomly divided into two groups; the control group received saline infusion, while the experimental group received enterolactone infusion. The lambs were orally administered daily at 10:00. Then, the lambs were fed with ad libitum with a mixture of 1:9 goat milk powder and water, and their food intake was recorded daily and they weighed weekly. At 42 days of age, the lambs were slaughtered and samples of rumen and small intestine tissues, as well as rumen fluid, were taken from them for histomorphological and volatile fatty acid analyses, respectively. The results of the experiment showed that: Oral administration of enterolactone significantly increased the average daily weight gain of lambs at five weeks of age ( $P<0.019$ ). Oral administration of enterolactone significantly reduced the proportion of acetate in the rumen of the lambs ( $P=0.019$ ) as well as the acetic acid to propionic acid ratio in them ( $P=0.019$ ). Compared with the control group, oral administration of enterolactone significantly increased the proportion of fully differentiated papillae in the rumen of lambs of the experimental group ( $P=0.013$ ), increased the thickness of their rumen wall ( $P=0.004$ ), length ( $P<0.001$ ), width ( $P<0.001$ ), density ( $P<0.001$ ), and surface area ( $P<0.001$ ) of their rumen papillae, and significantly increased the thickness of their stratum corneum ( $P=0.004$ ), as well as the thickness of the spinous layer and basal layer in them ( $P<0.001$ ). Compared with the control group, oral administration of enterolactone significantly increased the height of the villi in the duodenum

收稿日期: 2024-02-12; 修回日期: 2024-04-11

基金项目: 国家自然科学基金面上项目 (32172752); 江苏省大学生创新创业训练项目 (202310307073Z)

第一作者: 刘宁, 男, 硕士研究生; 莫佳琪, 女, 本科生。<sup>#</sup>共同第一作者

<sup>\*</sup>通信作者: 刘军花, 博士, 教授, 研究方向: 反刍动物营养, E-mail: liujunhua@njau.edu.cn。

( $P < 0.001$ ) and jejunum of the experimental group, as well as the villus height to crypt depth ratio in the duodenum in them ( $P < 0.001$ ), but significantly reduced the crypt depth in their duodenum ( $P < 0.001$ ). In conclusion, oral administration of enterolactone altered the fermentation parameters of the rumen of the tested lambs, increased the thickness of their rumen wall, and significantly stimulated the proliferation of their rumen epithelium, increased the height of their small intestinal villi and enhanced the absorption capacity of their small intestine.

**Keywords:** enterolactone; rumen fermentation; gastrointestinal development; lambs

幼龄时期是反刍动物消化道结构和功能的发育的关键时期。瘤胃和小肠作为反刍动物主要的消化器官,对动物的营养、免疫和健康至关重要<sup>[1-2]</sup>。反刍动物瘤胃内栖居的微生物菌群,对宿主的营养物质消化利用、生理功能调节和健康维护等方面有着至关重要的作用<sup>[3]</sup>。哺乳期反刍动物的消化道生理结构和功能面临快速发展时期,其营养供应模式处于从液态奶向固体饲料转变的窗口期,容易引发幼龄反刍动物的应激,降低采食量、降低机体免疫力、诱发消化道炎症等疾病,从而阻碍反刍动物的生长发育,影响动物的生产效率<sup>[4]</sup>。研究表明,对幼龄反刍动物进行合理的营养调控有助于规避断奶产生的负面效应,并能够促进瘤胃发育和机体生长<sup>[5]</sup>。因此,采取包括营养策略在内的措施改善幼龄反刍动物胃肠道发育,对反刍动物健康和生产具有重要意义。

肠内酯与木脂素、异黄酮和香豆雌酚同为植物雌激素。研究发现肠内酯具有抗氧化、抗炎、抗癌与类雌激素等作用<sup>[6-7]</sup>,同时其也能减轻大鼠肠上皮屏障功能的损伤<sup>[8]</sup>。已有研究指出,肠内酯和肠二醇可由饲料中亚麻籽木脂素在瘤胃微生物的作用下降解生成,并促进山羊瘤胃营养物质的代谢<sup>[9]</sup>,但其对幼龄反刍动物瘤胃发酵及胃肠道发育影响方面的研究鲜有报道。本试验探究口腔灌服肠内酯对羔羊生长性能、瘤胃发酵和胃肠道发育的影响,为肠内酯调节幼龄反刍动物的胃肠道组织发育和生理功能提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验设计与动物管理

14只健康的12日龄的湖羊羔羊购于湖州怡辉生态农业有限公司,随机均分为两组:对照组羔羊按每公斤体重1.6 mL口腔灌服生理盐水;肠内酯组按每公斤体重1.6 mL口腔灌服肠内酯的生理盐水溶液。两组羔羊于每天10:00进行口腔灌服处理,预饲期3 d,正试期为28 d。试验期间羔羊单栏饲养,在每天7:00,12:00,17:00,22:00饲喂1:9冲泡的山羊奶粉,自由饮水,每天记录羔羊采食量,每周称重记录。

### 1.2 样品的采集

在羔羊42日龄早晨,口腔灌服肠内酯2 h后颈

静脉采血进行屠宰采样。屠宰后结扎各胃室的连接处,分离获得瘤胃。将瘤胃内容物充分混合后收集瘤胃内容物,4层灭菌纱布过滤采集瘤胃液,放于-20℃保存用于测定挥发性脂肪酸(volatile fatty acid, VFA)含量。用预冷的医用生理盐水将瘤胃冲洗干净后称量瘤胃干重,从瘤胃腹囊处剪取1块瘤胃壁(5 cm×5 cm)拍照并保存;另取2块瘤胃壁(1 cm×1 cm)置于含有4%多聚甲醛50 mL离心管中用于组织切片制作。每只羔羊切取其十二指肠、空肠、回肠的中间部位,各取长度约为2 cm的新鲜组织样品3块,用PBS缓冲液将其冲洗干净后迅速投入到4%多聚甲醛溶液中固定用于组织切片制作。

### 1.3 瘤胃和小肠内容物发酵参数测定

瘤胃内容物收集后立马使用便携式pH计测定瘤胃液pH值,利用岛津气相色谱仪(GC-14B,岛津,日本;毛细管柱:30 m×0.32 mm×0.25 mm)测定瘤胃液VFA浓度,具体方法参照秦为琳<sup>[10]</sup>的研究(柱温=135℃,汽化室温度=180℃,检测器=210℃)。

### 1.4 瘤胃乳头和小肠上皮形态观察

将固定在4%多聚甲醛的瘤胃乳头、十二指肠、空肠、回肠的样品取出,包埋在石蜡中切成6 μm厚并用苏木精和曙红染色,标准切片制作流程参照Odongo等<sup>[11]</sup>。每只羔羊选取瘤胃腹背盲囊5个瘤胃乳头进行组织形态学分析,使用Image Pro Plus软件测量乳头的长度和宽度,使用放大倍率为2.5倍的放大镜测定瘤胃乳头密度(1 cm<sup>2</sup>)。乳头表面积(mm<sup>2</sup>/cm<sup>2</sup>)=乳头长度×宽度×密度×2。根据Malhi等<sup>[12]</sup>先前描述的方法测量瘤胃上皮的4层细胞结构:角质层、颗粒层、棘层和基底层的厚度,将瘤胃上皮切片中观察到的具有4层细胞结构的瘤胃乳头定义为完全分化乳头,将不具有4层细胞结构的瘤胃乳头定义为未完全分化乳头,统计每张切片中完全分化和未完全分化乳头数量。

### 1.5 数据统计与分析

采用SPSS 26.0进行数据分析,以双向重复方差分析对体重、日增重、日采食量数据进行分析,处理和日龄是统计模型中的变量。当方差分析有显著( $P < 0.05$ )时,采用多重比较检验(Tukey's方法)进行事后检验。以独立样本t检验来评估对照组和脂内酯组之间瘤胃发酵参数、瘤胃乳头形态、小肠上皮组

织形态的差异。数据表示形式为“平均值±标准误”， $P < 0.05$  时表明差异显著。

## 2 结果

### 2.1 生长性能

如图 1 所示，羔羊日龄显著影响羔羊平均日采食量 ( $P < 0.001$ ) 和体重 ( $P < 0.001$ )，但对平均日增重无显著影响。灌服肠内酯对羔羊平均日采食量、平均日增重和体重无显著影响。日龄和口腔灌服肠内酯

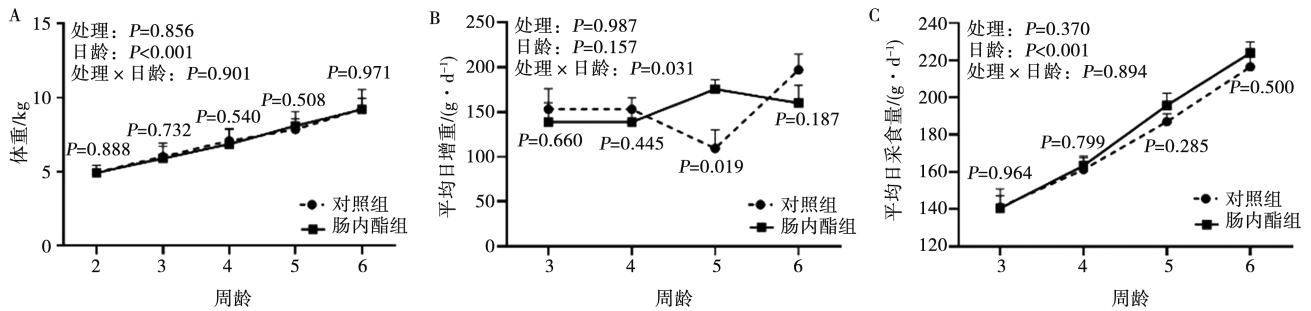


图 1 肠内酯灌服对哺乳羔羊体重 (A)、平均日增重 (B) 和平均日饲料摄入量 (C) 的影响

### 2.2 瘤胃发酵参数

肠内酯灌服对羔羊瘤胃发酵参数的影响见表 1。结果显示，与对照组相比，肠内酯灌服显著降低了乙酸比例 ( $P = 0.019$ ) 和乙酸/丙酸比例 ( $P = 0.019$ )，对瘤胃 pH 值、总挥发性脂肪酸浓度、乙酸浓度、丙酸浓度、丁酸浓度、其他 VFA 浓度、丙酸比例丁酸比例、和其他 VFA 比例没有显著影响 ( $P > 0.05$ )。

表 1 肠内酯灌服对哺乳羔羊瘤胃发酵参数的影响

项目	对照组	肠内酯组	P 值
瘤胃 pH 值	6.30±0.32	6.23±0.23	0.868
总挥发性脂肪酸/ (mmol·L <sup>-1</sup> )	13.50±1.56	14.00±2.10	0.853
乙酸/(mmol·L <sup>-1</sup> )	9.51±1.22	8.07±1.31	0.442
丙酸/(mmol·L <sup>-1</sup> )	1.92±0.25	2.33±0.32	0.332
丁酸/(mmol·L <sup>-1</sup> )	0.71±0.11	2.06±0.99	0.169
其他 VFA/(mmol·L <sup>-1</sup> )	1.36±0.14	1.88±0.30	0.154
乙酸比例/%	0.70±0.01	0.58±0.04	0.019
丙酸比例/%	0.14±0.01	0.17±0.02	0.154
丁酸比例/%	0.05±0.01	0.13±0.06	0.280
其他 VFA 比例/%	0.10±0.01	0.14±0.01	0.070
乙酸/丙酸	5.13±0.52	3.47±0.29	0.019

注：其他 VFA=异丁酸+戊酸+异戊酸。

### 2.3 瘤胃重量和乳头形态

如表 2 所示，与对照组相比，灌服肠内酯显著增加了羔羊瘤胃壁厚度 ( $P = 0.004$ )，但瘤胃湿重和瘤

的交互作用显著影响羔羊的平均日增重 ( $P = 0.031$ )。

如图 1A 所示，两组羔羊试验期内各周龄体重均无显著差异 ( $P > 0.05$ )；灌服肠内酯显著增加羔羊第 5 周龄 ( $P = 0.019$ ) 的平均日增重 (图 1B)，而对其他各周平均日增重无显著影响；灌服肠内酯对羔羊各周的平均日采食量 (图 1C) 无显著影响 ( $P > 0.05$ )。上述结果表明，灌服肠内酯对哺乳羔羊生长无负面影响。

胃干重没有显著变化 ( $P > 0.05$ )。肠内酯灌服显著促进了羔羊瘤胃乳头的形态发育，具体表现在显著提高乳头长度 ( $P < 0.001$ )、乳头宽度 ( $P < 0.001$ )、乳头密度 ( $P < 0.001$ )、乳头表面积 ( $P < 0.001$ )，角质层厚度 ( $P = 0.004$ )、棘层和基底层厚度 ( $P < 0.001$ ) 和总上皮层厚度 ( $P < 0.001$ )，但颗粒层的厚度无显著变化 ( $P > 0.05$ )。

表 2 灌服肠内酯对哺乳羔羊瘤胃重量、乳头形态的影响

项目	对照组	肠内酯组	P 值
瘤胃湿重/kg	273.67±50.50	263.07±40.02	0.871
瘤胃干重/kg	47.37±3.21	43.47±3.18	0.405
瘤胃壁厚度/mm	1.28±0.07	1.60±0.06	0.004
乳头长度/mm	0.43±0.01	0.53±0.01	<0.001
乳头宽度/mm	0.32±0.01	0.37±0.01	<0.001
乳头密度/(个·cm <sup>-2</sup> )	222±16	338±10	<0.001
乳头表面积/(mm <sup>2</sup> ·cm <sup>-2</sup> )	63.05±3.62	137.48±6.98	<0.001
总厚度/μm	106.94±3.90	128.97±3.39	<0.001
角质层/μm	10.67±0.59	13.26±0.66	0.004
颗粒层/μm	15.64±0.59	15.73±0.57	0.905
棘层和基底层/μm	80.63±3.53	99.97±2.96	<0.001

### 2.4 瘤胃乳头发育情况

哺乳羔羊的瘤胃发育并不均衡，部分瘤胃上皮发育迟缓，瘤胃乳头细小且堆积在一起，不能清晰分辨颗粒层、棘突层和基底层 (图 2A、C)，也有瘤胃乳

头分化正常,有角质层、颗粒层、棘突层和基底层的分化,且瘤胃乳头逐渐分开,并且初步具备成年瘤胃乳头的形态(图 2B、D)。基于此,将图 2A 中乳头定义为未完全分化乳头,将图 2B 中乳头定义为完全分化乳头。由表 3 所示,对 HE 切片上所有瘤胃乳头

分化情况进行统计后发现,相比于对照组,肠内酯组中瘤胃乳头未完全分化数( $P=0.002$ )、完全分化数( $P=0.043$ )、为完全分化占比( $P=0.013$ )均显著降低,而完全分化占比( $P=0.013$ )则显著升高。

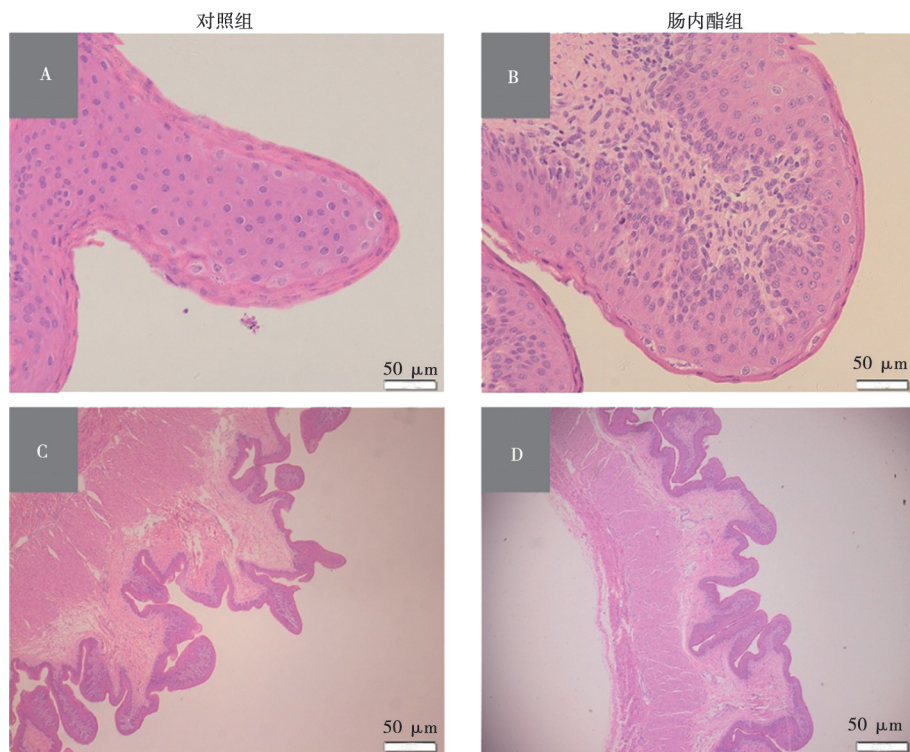


图 2 灌服肠内酯对哺乳羔羊瘤胃上皮乳头组织形态的影响

表 3 灌服肠内酯对哺乳羔羊瘤胃乳头发育的影响

项目	对照组	肠内酯组	<i>P</i> 值
未完全分化乳头数	29±6	11±2	0.020
完全分化乳头数	38±5	35±3	0.605
总乳头数	67±9	46±4	0.043
未完全分化乳头占比/%	41.99±4.90	24.51±3.44	0.013
完全分化乳头占比/%	58.01±4.90	75.49±3.44	0.013

## 2.5 小肠上皮组织形态

如表 4 结果显示,与对照组相比,肠内酯灌服显著增加羔羊十二指肠绒毛高度( $P<0.001$ )和绒毛高度/隐窝深度( $P<0.001$ ),显著降低了十二指肠隐窝深度( $P<0.001$ )。结果显示,口腔灌服肠内酯显著增加空肠绒毛高度( $P=0.048$ ),但是对空肠隐窝深度和绒毛高度/隐窝深度没有显著影响( $P>0.05$ )。与对照组相比,肠内酯灌服对羔羊回肠绒毛高度( $P=0.090$ )和隐窝深度( $P=0.050$ )有降低的趋势,但对绒毛高度/隐窝深度无显著影响( $P>0.05$ )。

表 4 灌服肠内酯对羔羊小肠上皮组织形态的影响

项目	对照组	肠内酯组	<i>P</i> 值
十二指肠	绒毛高度/ $\mu\text{m}$	404.32±7.94	464.59±7.62 <0.001
	隐窝深度/ $\mu\text{m}$	319.98±9.55	273.57±6.49 <0.001
	绒毛高度/隐窝深度	1.34±0.04	1.75±0.03 <0.001
空肠	绒毛高度/ $\mu\text{m}$	317.11±5.70	336.88±8.10 0.048
	隐窝深度/ $\mu\text{m}$	264.20±5.87	267.97±6.13 0.659
	绒毛高度/隐窝深度	1.24±0.03	1.28±0.03 0.389
回肠	绒毛高度/ $\mu\text{m}$	400.57±8.66	375.45±11.86 0.090
	隐窝深度/ $\mu\text{m}$	309.04±8.53	281.81±10.80 0.050
	绒毛高度/隐窝深度	1.38±0.05	1.41±0.05 0.587

## 3 讨论

哺乳期羔羊经历着从非反刍阶段到反刍阶段的重大转变,从液态饲料转变为固态饲料的日粮模式改变,可能导致氧化应激、采食量下降、体重减轻等问题<sup>[13]</sup>,确保羔羊顺利实现日粮的过渡对于减少断奶应激和提高生产性能至关重要<sup>[14]</sup>。

在本研究中,发现口腔灌服肠内酯对哺乳羔羊生长性能无负面影响,并增加了羔羊第5周的平均日增重。有研究表明,肠内酯在反刍动物瘤胃中具有抗炎和抗氧化应激作用<sup>[15]</sup>,在日粮中补充肠内酯的前体物质(亚麻籽木脂素)可显著提高育肥绵羊和山羊的生长性能<sup>[16]</sup>,与本试验结果并不完全一致,这可能因为幼龄反刍动物瘤胃发育和瘤胃营养代谢与成年反刍动物存在极大差异所致。口腔灌服肠内酯增加羔羊哺乳中期平均日增重,推测口腔灌服肠内酯可能加快了羔羊对开食料的适应性<sup>[17]</sup>,从而增加试验组羔羊的营养吸收效率。

瘤胃作为反刍动物的重要消化吸收代谢器官,微生物发酵产生的VFA可提供反刍动物总能量需要的70%~80%<sup>[18]</sup>。哺乳期是反刍动物瘤胃微生物代谢功能发育的关键时期,经过3~8周龄的从非反刍阶段到反刍阶段的过渡期,瘤胃功能在8周龄左右达到类似成年期水平<sup>[19]</sup>。瘤胃VFA浓度反映底物发酵的效率,乙酸作为合成体脂和乳脂的原料,丙酸则是糖异生的主要前体物质,从能量利用效率来看乙酸/丙酸比例下降将有利于动物增重效率<sup>[18,20]</sup>。本研究发现口腔灌服肠内酯对降低了羔羊瘤胃乙酸比例和乙酸/丙酸比例,使发酵类型向丙酸型转变。这一结果跟平均日增重的增加相对应,可能是因为肠内酯进入瘤胃后直接或者间接影响了瘤胃微生物活性,并最终增加羔羊的平均日增重。

幼龄反刍动物在哺乳期器官迅速发育,在这一阶段进行适当的营养干预对促进它们的生长、增强能量摄入、保持机体健康和提高生产性能至关重要<sup>[21]</sup>。瘤胃壁厚度的增加不仅为瘤胃容纳更多食糜提供支撑,还为瘤胃蠕动提供强大力量,而瘤胃乳头的长度、宽度和密度是衡量瘤胃组织发育的重要特征,表面积则是瘤胃营养吸收水平的重要体现,乳头的表面积大小影响羔羊瘤胃中营养物质的吸收速率,较大的表面积有助于吸收VFAs,并提高饲料转化率<sup>[22-23]</sup>。本试验结果表明,口服肠内酯增加了羔羊瘤胃乳头的长度、宽度、密度和表面积,进而增强了瘤胃上皮吸收营养物质的能力,促进了羔羊的营养物质吸收和代谢。

瘤胃上皮组织由瘤胃腔向内可分为角质层、颗粒层、棘突和基底层,瘤胃上皮4层细胞结构的分化对营养物质的转运和吸收至关重要。角质层曾被认为不利于瘤胃的吸收,而后来研究发现在正常情况下,瘤胃内容物的连续磨损使角质化细胞层只有3至4层细胞时,对营养物质的吸收作用影响不大,却具有明显的保护作用;颗粒细胞层的连接紧密但不连续,且水分可自由通过;棘突层是细胞表面的微细突起结构,

增加了细胞表面积,有利于吸收营养物质;基底层则是上皮细胞的基础支持层,参与调节细胞功能和代谢活动,是瘤胃上皮组织中短链脂肪酸代谢的部位<sup>[24-26]</sup>。本研究发现,肠内酯灌服使羔羊瘤胃乳头能更多的分化出上皮的4层细胞结构,同时增加上皮层总厚度、角质层、棘突和基底层厚度,促进瘤胃整体发育,提高了瘤胃的完全分化乳头比例,对于反刍动物的营养吸收和生长发育有重要作用。

幼龄反刍动物的小肠发挥着重要的消化、吸收及免疫功能,调控手段促进反刍动物小肠的生长发育,对保证其肠道健康及提高动物生产性能具有重要意义<sup>[27]</sup>。小肠的绒毛高度、隐窝深度和绒毛高度和隐窝深度的比值是反映小肠发育状态的重要指标,肠绒毛可使肠腔表面积扩大约10倍,能够最大限度地消化吸收食物中的营养物质<sup>[28]</sup>,而肠绒毛的完整性及高度决定了小肠的吸收面积,影响营养物质的吸收及动物的生长<sup>[29]</sup>。有研究指出,随着育肥阶段肉鸡日粮中黄酮类化合物剂量的增加,十二指肠中的绒毛高度以及绒毛高度和隐窝深度的比值也显著增加,从而提高肉鸡的生产性能<sup>[30]</sup>。这与本研究结果类似,提示肠内酯可能促进十二指肠和空肠肠绒毛生长发育,改善肠道组织结构,提高小肠吸收营养的能力,但肠内酯如何促进肠绒毛的生长相关机制还需进一步研究。同时,本研究发现,口腔灌服肠内酯对于回肠的发育并无显著影响,这可能是由于3段部位所处的解剖学顺序不同,导致肠内酯吸收浓度不同,从而对小肠组织形态发育的影响逐渐下降。

综上,口腔灌服肠内酯能增加羔羊瘤胃壁厚度,显著刺激瘤胃上皮细胞的生长、促进羔羊瘤胃的发育,增加小肠绒毛高度、提高小肠的吸收能力,为羔羊健康生长发育打下坚实基础。

## 参考文献:

- [1] 刁其玉,张蓉.我国幼龄反刍动物生长与消化生理发育特点[J].中国畜牧杂志,2017,53(7):4-8.
- [2] 张剑搏.早期营养干预对幼龄反刍动物瘤胃微生物区系发育的影响[J].草业学报,2021,30(2):199.
- [3] 张昕乐,王智博,陈培勇,等.围产期湖羊能量负平衡下添加三丁酸甘油酯对羔羊瘤胃发酵指标及微生物多样性的影响[J].南京农业大学学报,2023,46(5):933-938.
- [4] KHAN M, WEARY D, VON KEYSERLINGK M. Invited review: effects of milk ration on solid feed intake, weaning, and performance in dairy heifers [J]. J Dairy Sci, 2011, 94 (3): 1071-1081.
- [5] OCKENDEN E M, RUSSO V M, LEURY B J, et al. Preweaning nutrition and its effects on the growth, immune competence and metabolic characteristics of the dairy calf [J]. Animals, 2023, 13 (5): 829.

- [6] CANIVENC-LAVIER M C, BENNETAU-PELISSERO C. Phytoestrogens and health effects [J]. *Nutrients*, 2023, 15 (2): 317.
- [7] 王秀芝. 大豆黄酮, 亚麻籽木脂素和伊普异黄酮对山羊瘤胃代谢影响的研究 [D]. 南京: 南京农业大学, 2008.
- [8] ALMOUSA A A, MEURENS F, KROL E S, et al. Linoorbities and enterolactone mitigate inflammation-induced oxidative stress and loss of intestinal epithelial barrier integrity [J]. *Int Immunopharmacol*, 2018, 64: 42-51.
- [9] 周炜, 韩正康, 王国杰. 亚麻籽木脂素在山羊瘤胃中的转化及其对瘤胃代谢的影响 [J]. *南京农业大学学报*, 2009, 32 (2): 82-87.
- [10] 秦为琳. 应用气相色谱测定瘤胃挥发性脂肪酸方法的研究改进 [J]. *南京农业大学学报*, 1982, 4: 110-116.
- [11] ODONGO N, ALZAHAL O, LINDINGER M, et al. Effects of mild heat stress and grain challenge on acid-base balance and rumen tissue histology in lambs [J]. *J Anim Sci*, 2006, 84 (2): 447-455.
- [12] MALHI M, GUI H, YAO L, et al. Increased papillae growth and enhanced short-chain fatty acid absorption in the rumen of goats are associated with transient increases in cyclin D1 expression after ruminal butyrate infusion [J]. *J Dairy Sci*, 2013, 96 (12): 7603-7616.
- [13] CELI P. Oxidative stress in ruminants [J]. *Stud Vet Med*, 2011, 1 (1): 191-231.
- [14] CHENG Y, YANG C, TAN Z L, et al. Changes of intestinal oxidative stress, inflammation, and gene expression in neonatal diarrhoea kids [J]. *Front Vet Sci*, 2021, 8: 598691.
- [15] ZHOU W, WANG G J, HAN Z K, et al. Metabolism of flaxseed lignans in the rumen and its impact on ruminal metabolism and flora [J]. *Anim Feed Sci Technol*, 2009, 150 (1/2): 18-26.
- [16] LIU S L, WANG X, LI Y H, et al. Flaxseed oil and heated flaxseed supplements have different effects on lipid deposition and ileal microbiota in albas cashmere goats [J]. *Animals*, 2021, 11 (3): 790.
- [17] YANG B, LE J Q, WU P, et al. Alfalfa intervention alters rumen microbial community development in Hu lambs during early life [J]. *Front Microbiol*, 2018, 9: 574.
- [18] DIJKSTRA J. Production and absorption of volatile fatty acids in the rumen [J]. *Livest Prod Sci*, 1994, 39 (1): 61-69.
- [19] HAO Y, GUO C, GONG Y, et al. Rumen fermentation, digestive enzyme activity, and bacteria composition between pre-weaning and post-weaning dairy calves [J]. *Animals*, 2021, 11 (9): 2527.
- [20] MENG Q, KERLEY M, LUDDEN P, et al. Fermentation substrate and dilution rate interact to affect microbial growth and efficiency [J]. *J Anim Sci*, 1999, 77 (1): 206-214.
- [21] DIAO Q, ZHANG R, FU T. Review of strategies to promote rumen development in calves [J]. *Animals*, 2019, 9 (8): 490.
- [22] MARTENS H, RABBANI I, SHEN Z, et al. Changes in rumen absorption processes during transition [J]. *Anim Feed Sci Technol*, 2012, 172 (1/2): 95-102.
- [23] WANG L, QI W B, MAO S Y, et al. Effects of whole corn high-grain diet feeding on ruminal bacterial community and epithelial gene expression related to VFA absorption and metabolism in fattening lambs [J]. *J Anim Sci*, 2022, 100 (3): skac056.
- [24] 何军, 陈代文. 反刍动物瘤胃上皮发育规律及影响因素 [J]. *中国草食动物*, 2007 (5): 56-58.
- [25] SILEN W, ITO S. Mechanisms for rapid re-epithelialization of the gastric mucosal surface [J]. *Annu Rev Physiol*, 1985, 47 (1): 217-229.
- [26] BALDWIN R L, CONNOR E E. Rumen function and development [J]. *Vet Clin Food Anim Pract*, 2017, 33 (3): 427-439.
- [27] GUILLOTEAU P, ZABIELSKI R, BLUM J. Gastrointestinal tract and digestion in the young ruminant: ontogenesis, adaptations, consequences and manipulations [J]. *J Physiol Pharmacol*, 2009, 60 (Suppl 3): 37-46.
- [28] OTEIZA P, FRAGA C G, MILLS D, et al. Flavonoids and the gastrointestinal tract: local and systemic effects [J]. *Mol Aspects Med*, 2018, 61: 41-49.
- [29] TASCHUK R, GRIEBEL P J. Commensal microbiome effects on mucosal immune system development in the ruminant gastrointestinal tract [J]. *Anim Health Res Rev*, 2012, 13 (1): 129-141.
- [30] PRIHAMBODO T R, SHOLIKIN M M, Qomariyah N, et al. Effects of dietary flavonoids on performance, blood constituents, carcass composition and small intestinal morphology of broilers: a meta-analysis [J]. *Anim Biosci*, 2021, 34 (3): 434.