



# 代乳粉添加甘露寡糖对7—28日龄湖羊羔羊胃肠道发育的影响

郑琛<sup>1</sup>, 李发弟<sup>2,3</sup>, 李飞<sup>2</sup>, 周巨旺<sup>1</sup>, 段鹏伟<sup>1</sup>, 刘绘汇<sup>1</sup>, 樊海苗<sup>1</sup>, 朱威力<sup>1</sup>, 刘婷<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>甘肃农业大学动物科学技术学院, 兰州 730070; <sup>2</sup>兰州大学草地农业科技学院, 草地农业生态系统国家重点实验室/  
农业农村部草牧业创新重点实验室, 兰州 730020; <sup>3</sup>甘肃省肉羊繁育生物技术工程实验室, 甘肃民勤 733300)

**摘要:**【目的】探讨代乳粉中添加甘露寡糖(mannan oligosaccharides, MOS)对7—28日龄湖羊羔羊胃肠道生长发育的影响。【方法】选择同质性良好的7日龄湖羊公羔(双羔)30只,随机分为2组,每组15只,每只1个重复,对照组羔羊饲喂不含MOS的代乳粉,试验组羔羊饲喂含0.2% MOS的代乳粉,试验期21d。羔羊28日龄时,两个试验组各随机选择8只羔羊屠宰,取出消化道,称量各胃室和肠段包含内容物的质量和净质量,量取各肠段长度,用以计算各部位的相对质量和内容物分布,以及各肠段的相对长度。多聚甲醛固定皱胃胃底腺区及十二指肠、空肠和回肠中段的组织样品,测定组织形态和小肠上皮细胞凋亡率。采集十二指肠、空肠和回肠的黏膜样品,测定紧密连接蛋白1(claudin 1)、闭锁小带1(zonula occludens-1, ZO-1)和闭锁蛋白(occludin)的mRNA表达量。【结果】除空肠相对长度外(%全肠长度,  $P=0.040$ ), MOS对羔羊胃肠指数(%活体质量)、胃肠相对质量(%全胃质量、%全肠质量和%全胃肠质量)、肠道相对长度(%全肠长度)、内容物相对活体质量(%活体质量)、胃肠内容物相对总胃/肠内容物及总胃肠内容物相对质量(%总胃内容物、总肠内容物、总胃肠内容物)、小肠上皮细胞凋亡率和小肠黏膜 claudin 1 蛋白 mRNA 的表达量均没有产生显著影响( $P>0.05$ ),但 MOS 显著提高羔羊十二指肠绒毛高度和肌层厚度并显著降低绒毛宽度( $P=0.033$ ,  $P=0.047$ ,  $P=0.015$ ),显著上调空肠 ZO-1 蛋白 mRNA 表达量( $P=0.028$ ),此外, MOS 有提高羔羊回肠绒毛高度、绒毛宽度和隐窝深度、皱胃肌层厚度及回肠 occludin 蛋白 mRNA 表达量的趋势( $P=0.075$ ,  $P=0.078$ ,  $P=0.085$ ,  $P=0.084$ ,  $P=0.052$ )。【结论】MOS 对7—28日龄湖羊羔羊胃肠道相对质量、长度和内容物分布基本无显著影响,但可改善十二指肠和回肠绒毛及肌层的组织形态,维持小肠屏障功能,有利于提高养分消化率。

**关键词:** 羔羊; 甘露寡糖; 代乳粉; 胃肠道; 发育

## Effects of Adding Mannan Oligosaccharides to Milk Replacer on the Development of Gastrointestinal Tract of 7-28 Days Old *Hu* Lambs

ZHENG Chen<sup>1</sup>, LI FaDi<sup>2,3</sup>, LI Fei<sup>2</sup>, ZHOU JuWang<sup>1</sup>, DUAN PengWei<sup>1</sup>, LIU HuiHui<sup>1</sup>,  
FAN HaiMiao<sup>1</sup>, ZHU WeiLi<sup>1</sup>, LIU Ting<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>College of Animal Science and Technology, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070; <sup>2</sup>State Key Laboratory of Grassland Agro-ecosystems, Key laboratory of Grassland Livestock Industry Innovation/Ministry of Agriculture and Rural Affairs, College of Pastoral Agriculture Science and Technology, Lanzhou University, Lanzhou 730020; <sup>3</sup>Engineering Laboratory of Mutton Sheep Breeding and Reproduction Biotechnology in Gansu Province, Minqin 733300, Gansu)

**Abstract:** 【Objective】 This study was conducted to investigate the effects of mannan oligosaccharides (MOS) supplementation to milk replacer on the development of gastrointestinal tract of 7-28 day-old *Hu* lambs. 【Method】 Thirty 7 day-old *Hu* male lambs

收稿日期: 2019-06-24; 接受日期: 2019-08-14

基金项目: 国家自然科学基金(31560646, 31860657)

联系方式: 郑琛, E-mail: zhengc@gsau.edu.cn. 通信作者刘婷, E-mail: liuting@gsau.edu.cn

were chosen and divided into 2 groups randomly, fifteen lambs in each group and each lamb as a repeat. Lambs were fed milk replacer with or without 0.2 % MOS, respectively. The test lasted for 21 days. Eight lambs were selected from each group randomly and slaughtered at 28 day-old. The weights of the compound stomach and the intestinal tract with and without content, and lengths of the intestinal tract were measured, and the relative quality and length were calculated. While the tissue samples from fundus gland region of the abomasum, the middle part of duodenum, jejunum and ileum were fixed in paraformaldehyde to analyse the histomorphology, and the apoptotic rate of intestinal epithelial cells as well. And the mRNA expression of claudin 1, zonula occludens-1 (ZO-1), and occludin protein of duodenum, jejunum and ileum mucosa were measured. 【Result】The results showed that except relative length of jejunum ( $P=0.040$ ), the relative weights (% body weight, % stomach weight, % intestinal tract weight, and % gastrointestinal tract weight), relative lengths (% intestinal tract length), content of stomach and intestinal tract (% body weight, % stomach content weight, % intestinal tract content weight, and % gastrointestinal tract content weight), the apoptotic rate of intestinal epithelial cells and mRNA expression of claudin 1 protein in intestinal tract of lambs were not affected by MOS ( $P>0.05$ ). However, MOS elongated the villus height and the muscular thickness, and decreased the villus width of lamb duodenum significantly ( $P=0.033$ ,  $P=0.047$ ,  $P=0.015$ ). MOS also up-regulated the mRNA expression of ZO-1 protein of lamb jejunum significantly ( $P=0.028$ ). And there was a tendency that MOS elongated villus height, width and crypt depth of ileum, muscular thickness of abomasum, and mRNA expression of occludin protein of ileum ( $P=0.075$ ,  $P=0.078$ ,  $P=0.085$ ,  $P=0.084$ ,  $P=0.052$ ). 【Conclusion】MOS almost did not affect the relative weights, lengths, and content distribution of gastrointestinal tract of 7-28 days old *Hu* lambs, but improved the histomorphology of duodenum and ileum, indicating it could maintain barrier function of intestinal tract and benefit to nutrients digestibility.

**Key words:** lamb; mannan oligosaccharides; milk replacer; gastrointestinal tract; development

## 0 引言

【研究意义】胃肠道的结构是保障消化功能的前提, 当组织形态发育正常及功能完善时, 胃肠道中的营养物质才会被充分消化吸收<sup>[1]</sup>。反刍动物胃肠道发育受多种因素影响和调节, 如年龄<sup>[2]</sup>、断奶<sup>[3-4]</sup>、饲料类型<sup>[5-7]</sup>、肠营养素、激素和生长因子<sup>[8]</sup>等。饲喂幼畜时, 除了需要提供高浓度的能量和养分以满足幼畜快速生长发育和器官发育的需要<sup>[9-11]</sup>, 还需要强化一些微量营养性和非营养性饲料添加剂以提高幼畜成活率和机体免疫力, 益生菌和化学益生菌就是目前幼龄动物养殖中常用的免疫增强剂<sup>[12]</sup>。化学益生菌被定义为营养活性物质 (Nutricine), 是一种非药品类功能食品, 虽然不具备直接营养功能, 但可以维持肠道消化吸收功能, 因而增强动物健康和生长发育<sup>[13]</sup>。【前人研究进展】甘露寡糖 (mannan oligosaccharides, MOS) 是化学益生菌的一种, 来自于酵母 (*Saccharomyces cerevisiae*) 细胞壁, 富含甘露蛋白和  $\beta$ -葡聚糖等复杂碳水化合物等<sup>[14]</sup>, 广泛应用于养殖业以提高动物机体免疫机能并消除肠道病原菌<sup>[15-16]</sup>。在单胃动物和水产动物养殖中, 添加 MOS 具有提高生产性能和促进动物健康的作用<sup>[17-20]</sup>, 也促进肠道发育, 如前期和后期饲料中分别添加 0.2 % 和 0.1 % MOS 可提高肉仔鸡小肠绒毛高度并降低隐窝深度<sup>[21]</sup>, 添加 0.1 % MOS 可显著提高仔猪小肠黏膜绒毛高度/隐窝深度值 (V/C)<sup>[22]</sup>,

添加 0.1 %、0.15 % 和 0.2 % MOS 均可显著提高兔小肠绒毛高度<sup>[23]</sup>。【本研究切入点】MOS 在反刍动物上的应用研究较少, 主要是因为很多学者认为瘤胃微生物能够降解 MOS, 从而消除其保健功能。然而, 有限的资料仍然显示 MOS 在反刍动物养殖中起到了一定的有益作用, 如改善绵羊瘤胃健康<sup>[24]</sup>和提高抗氧化能力<sup>[25]</sup>, 提高羔羊血液免疫球蛋白水平<sup>[26]</sup>等, 但 MOS 对幼龄反刍动物消化道生长发育的影响鲜见报道。鉴于 MOS 在单胃动物胃肠道发育中所表现出的积极作用, 本研究提出假设, 添加 MOS 对羔羊胃肠道发育也具有一定的影响, 可为幼龄反刍动物的健康养殖提供帮助。【拟解决的关键问题】本试验以 7 日龄湖羊公双羔作为试验对象, 研究代乳粉中添加 MOS 对羔羊消化道生长发育的影响, 为幼龄反刍动物养殖中化学益生菌的使用提供基础数据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验设计及动物

试验选用同质性良好的 30 只 7 日龄湖羊公双羔 (选自甘肃省金昌中天羊业有限公司) 作为试验动物, 采用对照试验设计, 将羔羊随机分为 2 个处理组, 每组 15 只, 每只为 1 个重复。羔羊分别饲喂对照代乳粉 (北京精准动物营养研究中心, 营养物质浓度见表 1) 或添加 0.2 % MOS (SCIPHAR®, 陕西森弗天然制品有限公司, 纯度 > 90 %) 的代乳粉。饲养试验持续 21 d。

表 1 羔羊代乳粉营养物质浓度（风干基础）  
Table 1 The chemical composition of lamb milk replacer (air-dry basis, %)

营养成分	Ingredients <sup>1)</sup>	含量	Concentration
干物质	Dry matter	95.68	
蛋白质	Protein	24.89	
粗脂肪	Ether extract	17.50	
粗纤维	Crude fiber	2.16	
粗灰分	Crude ash	5.81	
钙	Calcium	1.02	
总磷	Total phosphorus	0.59	

<sup>1)</sup>营养水平均为实测值 The nutrient levels are measured values

1.2 羔羊饲养管理

羔羊出生的 1—3 d 内采食母乳，4 日龄与母羊分离后奶瓶训饲代乳粉。7 日龄清晨空腹称重，按组间体重无差异(对照组 4.09 ± 0.66 kg, MOS 组 4.07 ± 0.61 kg) 的原则将羔羊随机分为 2 组。8 日龄时按试验设计饲喂羔羊，喂量为羔羊体重的 2%，每日饲喂 4 次，分别为 6:00、12:00、18:00 和 24:00，代乳粉与水的比例为 1:5。羔羊单笼饲养，自由饮水。

1.3 羔羊屠宰及胃肠道相关指标测定

羔羊 28 日龄时屠宰，宰前不禁食禁水，称量活重后立即颈静脉放血致死。打开腹腔后按照马仲华<sup>[27]</sup>的方法分离瘤胃、网胃、瓣胃、皱胃、十二指肠、空肠、回肠、盲肠、结肠和直肠。称量胃肠道各部位净质量和含内容物的质量，计算各部位的相对质量及其内容物分布。测量肠道各段的长度，计算相对长度。

1.4 组织样品采集及组织形态和小肠上皮细胞凋亡率测定

采集皱胃胃底腺区以及十二指肠、空肠和回肠中部约 1 cm<sup>2</sup> 的组织样品，转入多聚甲醛固定液中，在成都里来生物科技有限公司用 H.E 染色法和 TUNEL 法观察胃肠道组织形态和测定小肠上皮细胞凋亡率。

1.5 小肠黏膜紧密连接蛋白 mRNA 表达量测定

采集十二指肠、空肠和回肠中段黏膜样品测定紧密连接蛋白 1 (claudin 1)、闭锁小带 1 (zonula occludens-1, ZO-1) 和小肠黏膜闭锁蛋白 (occludin) 的 mRNA 表达量。提取样品总 RNA，检测 RNA 浓度和纯度合格后将各样品 RNA 反转录为 cDNA。使用 Oligo 7.0 设计引物，其中 claudin 1 和 ZO-1 参考 LIU

等<sup>[28]</sup>方法设计，引物长度分别为 216 和 163 bp，occludin 参考 GenBank 设计 (NC\_040267)，引物长度为 93 bp，以  $\beta$ -Actin 为内参基因 (NC\_040362，长度 97 bp)。RT-PCR 使用 20  $\mu$ L 扩增体系：10  $\mu$ L 2 $\times$ Biogold qPCR SuperMix (2 $\times$ Biogold qPCR Mixture，浙江博而金科技股份有限公司)，0.4  $\mu$ L 上下游引物，1  $\mu$ L cDNA，8.2  $\mu$ L ddH<sub>2</sub>O。RT-PCR 在 Roche LightCycler<sup>®</sup> 480II 进行，反应条件为：95  $^{\circ}$ C 预变性 3 min，95  $^{\circ}$ C 变性 10 s，60  $^{\circ}$ C 退火 20 s，72  $^{\circ}$ C 延伸 10 s，40 个循环，72  $^{\circ}$ C 延伸 10 min。目的基因的相对表达量用 2<sup>- $\Delta\Delta$ Ct</sup> 法计算。

1.6 数据统计分析

使用 SPSS 22.0 对试验数据进行独立样本 t 检验，以  $P \leq 0.05$  表示为差异显著，以  $0.05 < P \leq 0.10$  表示差异具有显著趋势。

2 结果

2.1 MOS 对羔羊胃肠道相对质量的影响

2.1.1 羔羊胃肠指数 从表 2 可以看出，MOS 对羔羊胃肠指数 (%活体质量) 并未产生显著影响 ( $P > 0.05$ )，仅有降低羔羊十二指肠指数的趋势 ( $P = 0.066$ )。

2.1.2 羔羊胃肠相对质量 从表 3 可以看出，MOS 对羔羊胃肠相对质量 (%全胃质量、%全肠质量和 %全胃肠质量) 均未产生显著影响 ( $P > 0.05$ )，但饲喂含 MOS 代乳粉羔羊的大肠相对质量略高于对照组羔羊 ( $P > 0.05$ )。

2.1.3 羔羊肠道相对长度 从表 4 可以看出，MOS 显著降低了羔羊空肠相对长度 (%全肠长度， $P = 0.040$ )，此外，MOS 有增加盲肠相对长度的趋势 ( $P = 0.094$ )。

2.2 MOS 对羔羊胃肠道内容物分布的影响

2.2.1 羔羊胃肠内容物相对活体质量 (%活体质量) 从表 5 可以看出，MOS 对羔羊胃肠内容物相对活体质量 (%活体质量) 没有产生显著影响 ( $P > 0.05$ )。

2.2.2 羔羊胃肠内容物相对总胃/肠内容物及总胃肠内容物相对质量 (%总胃内容物、%总肠内容物、%总胃肠内容物) 从表 6 可以看出，MOS 对羔羊胃肠内容物相对总胃/肠内容物及总胃肠内容物相对质量 (%总胃内容物、%总肠内容物和 %总胃肠内容物) 均没有产生显著影响 ( $P > 0.05$ )，但采食含 MOS 代乳粉羔羊瘤胃内容物相对质量略高于对照组羔羊，而皱胃、盲肠和结肠内容物相对质量略低于对照组羔羊 ( $P > 0.05$ )。

表 2 MOS 对羔羊胃肠指数的影响

Table 2 Effects of MOS on gastrointestinal index of lambs (% body weight)

项目 Item	对照组 Control	MOS 组 MOS	SEM	P 值 P value
胃室 Stomach				
瘤胃 Rumen	0.54	0.50	0.02	0.386
网胃 Reticulum	0.16	0.15	0.01	0.555
瓣胃 Omasum	0.08	0.07	0.01	0.488
皱胃 Abomasum	1.04	0.92	0.04	0.138
肠道 Intestinal tract				
十二指肠 Duodenum	0.20	0.17	0.01	0.066
空肠 Jejunum	4.00	3.71	0.14	0.316
回肠 Ileum	0.13	0.14	0.01	0.697
盲肠 Cecum	0.35	0.41	0.02	0.201
结肠 Colon	1.18	1.15	0.04	0.675
直肠 Rectum	0.38	0.39	0.01	0.663

表 3 MOS 对羔羊胃肠相对质量的影响

Table 3 Effects of MOS on relative quality of gastrointestinal tract of lambs

项目 Item		对照组 Control	MOS 组 MOS	SEM	P 值 P value
胃室 Stomach					
瘤胃 Rumen	%全胃质量 % the quality of total stomach	29.70	30.45	0.58	0.533
	%全胃肠质量 % the quality of total gastrointestinal tract	6.71	6.62	0.27	0.869
网胃 Reticulum	%全胃质量 % the quality of total stomach	9.16	9.46	0.40	0.724
	%全胃肠质量 % the quality of total gastrointestinal tract	2.05	2.06	0.10	0.939
瓣胃 Omasum	%全胃质量 % the quality of total stomach	4.08	4.15	0.21	0.883
	%全胃肠质量 % the quality of total gastrointestinal tract	0.92	0.89	0.05	0.795
皱胃 Abomasum	%全胃质量 % the quality of total stomach	57.05	55.94	0.74	0.471
	%全胃肠质量 % the quality of total gastrointestinal tract	12.81	12.14	0.35	0.356
肠道 Intestinal tract					
十二指肠 Duodenum	%全肠质量 % the quality of total intestinal tract	3.22	2.93	0.14	0.297
	%全胃肠质量 % the quality of total gastrointestinal tract	2.49	2.28	0.09	0.292
空肠 Jejunum	%全肠质量 % the quality of total intestinal tract	64.21	61.69	1.07	0.254
	%全胃肠质量 % the quality of total gastrointestinal tract	49.80	48.36	1.06	0.517
回肠 Ileum	%全肠质量 % the quality of total intestinal tract	1.91	2.41	0.21	0.258
	%全胃肠质量 % the quality of total gastrointestinal tract	1.69	1.88	0.13	0.477
盲肠 Cecum	%全肠质量 % the quality of total intestinal tract	5.57	6.89	0.44	0.135
	%全胃肠质量 % the quality of total gastrointestinal tract	4.32	5.38	0.34	0.116
结肠 Colon	%全肠质量 % the quality of total intestinal tract	18.95	19.43	0.57	0.686
	%全胃肠质量 % the quality of total gastrointestinal tract	14.67	15.17	0.41	0.558
直肠 Rectum	%全肠质量 % the quality of total intestinal tract	6.14	6.65	0.23	0.275
	%全胃肠质量 % the quality of total gastrointestinal tract	4.75	5.19	0.16	0.162

表 4 MOS 对羔羊肠道相对长度的影响

Table 4 Effects of MOS on relative length of intestinal tract of lambs (% total intestinal tract length)

项目 Item	对照组 Control	MOS 组 MOS	SEM	P 值 P value
十二指肠 Duodenum	2.29	2.01	0.09	0.107
空肠 Jejunum	81.84a	80.53b	0.33	0.040
回肠 Ileum	0.83	0.95	0.01	0.292
盲肠 Cecum	0.91	1.12	0.06	0.094
结肠 Colon	11.96	12.89	0.29	0.115
直肠 Rectum	2.17	2.49	0.11	0.151

同行数据后所标字母相异表示差异显著 ( $P<0.05$ ), 所标字母相同表示差异不显著 ( $P>0.05$ )。下同  
Different letters in the same row means significant difference between the treatments ( $P<0.05$ ), same letter in the same row means not significant difference between treatments ( $P>0.05$ ). The same as below

表 5 MOS 对羔羊胃肠内容物相对活体质量的影响

Table 5 Effects of MOS on relative quality of gastrointestinal content to body weight of lambs (% body weight)

项目 Item	对照组 Control	MOS 组 MOS	SEM	P 值 P value
胃室内内容物 Stomach content				
瘤胃内容物 Rumen content	1.44	1.67	0.20	0.587
网胃内容物 Reticulum content	0.24	0.34	0.07	0.473
瓣胃内容物 Omasum content	0.01	0.01	0.001	0.946
皱胃内容物 Abomasum content	3.43	3.18	0.24	0.623
肠道内容物 Intestinal tract content				
十二指肠内容物 Duodenum content	0.15	0.14	0.02	0.868
空肠内容物 Jejunum content	1.26	1.35	0.20	0.833
回肠内容物 Ileum content	0.11	0.05	0.03	0.378
盲肠内容物 Cecum content	0.43	0.30	0.08	0.422
结肠内容物 Colon content	1.08	0.81	0.13	0.298
直肠内容物 Rectum content	0.17	0.21	0.03	0.503

表 6 MOS 对羔羊胃肠内容物相对总胃/肠内容物及总胃肠内容物相对质量的影响

Table 6 Effects of MOS on relative quality of each part of stomach and intestinal content to total stomach and intestinal tract content, and gastrointestinal tract content of lambs

项目 Item	对照组 Control	MOS 组 MOS	SEM	P 值 P value
胃室内内容物 Stomach content				
瘤胃内容物 %全胃内容物质量 % the quality of total stomach content	26.96	33.15	2.56	0.239
Rumen content %全胃肠内容物质量 % the quality of total gastrointestinal tract content	17.30	21.12	1.80	0.306
网胃内容物 %全胃内容物质量 % the quality of total stomach content	4.99	6.68	1.28	0.532
Reticulum content %全胃肠内容物质量 % the quality of total gastrointestinal tract content	3.50	4.06	0.03	0.742
瓣胃内容物 %全胃内容物质量 % the quality of total stomach content	0.23	0.24	0.03	0.988
Omasum content %全胃肠内容物质量 % the quality of total gastrointestinal tract content	0.14	0.13	0.01	0.698
皱胃内容物 %全胃内容物质量 % the quality of total stomach content	68.58	60.09	2.71	0.119
Abomasum content %全胃肠内容物质量 % the quality of total gastrointestinal tract content	43.14	39.30	2.35	0.434
肠道内容物 Intestinal tract content				
十二指肠内容物 %全肠内容物质量 % the quality of total intestinal tract content	7.20	6.23	1.63	0.777
Duodenum content %全胃肠内容物质量 % the quality of total gastrointestinal tract content	1.98	2.22	0.39	0.765
空肠内容物 %全肠内容物质量 % the quality of total intestinal tract content	39.34	46.21	2.22	0.126
Jejunum content %全胃肠内容物质量 % the quality of total gastrointestinal tract content	14.28	16.95	1.69	0.451
回肠内容物 %全肠内容物质量 % the quality of total intestinal tract content	1.75	1.45	0.31	0.666
Ileum content %全胃肠内容物质量 % the quality of total gastrointestinal tract content	0.80	0.57	0.20	0.618
盲肠内容物 %全肠内容物质量 % the quality of total intestinal tract content	12.73	9.88	1.35	0.312
Cecum content %全胃肠内容物质量 % the quality of total gastrointestinal tract content	4.88	3.51	0.70	0.345
结肠内容物 %全肠内容物质量 % the quality of total intestinal tract content	33.02	30.57	2.83	0.681
Colon content %全胃肠内容物质量 % the quality of total gastrointestinal tract content	12.49	10.25	1.17	0.356
直肠内容物 %全肠内容物质量 % the quality of total intestinal tract content	5.99	7.80	1.05	0.405
Rectum content %全胃肠内容物质量 % the quality of total gastrointestinal tract content	2.06	2.77	0.42	0.414

2.3 MOS 对羔羊皱胃和小肠组织形态的影响

从表 7 可以看出，MOS 显著提高羔羊十二指肠绒毛高度和肌层厚度但显著降低绒毛宽度（ $P=0.033$ ， $P=0.047$ ， $P=0.015$ ），此外，MOS 有提高羔羊回肠绒毛高度、绒毛宽度和隐窝深度及皱胃肌层厚度的趋势（ $P=0.075$ ， $P=0.078$ ， $P=0.085$ ， $P=0.084$ ）。MOS 对羔羊皱胃和小肠其他形态学指标未产生显著影响（ $P>0.05$ ）。

从表 8 可以看出，MOS 显著上调了羔羊空肠 ZO-1 蛋白 mRNA 的表达量（ $P=0.028$ ），且有上调回肠 occludin 蛋白 mRNA 表达量的趋势（ $P=0.052$ ）。MOS 对羔羊十二指肠 3 种紧密连接蛋白、空肠 claudin 1 和 occludin 蛋白、回肠 claudin 1 和 ZO-1 蛋白 mRNA 的表达量以及各肠段上皮细胞凋亡率均没有产生显著影响（ $P>0.05$ ）。

表 7 MOS 对羔羊皱胃和小肠组织形态的影响

Table 7 Effects of MOS on abomasum and intestinal tract histomorphology of lambs (μm)

项目 Item	对照组 Control	MOS 组 MOS	SEM	P 值 P value
皱胃 Abomasum				
黏膜厚度 Mucosa thickness	333.36	331.46	9.74	0.927
肌层厚度 Muscular thickness	548.48	686.99	40.11	0.084
十二指肠 Duodenum				
绒毛高度 Villus height	361.99b	446.39a	20.44	0.033
绒毛宽度 Villus width	80.04a	61.96b	3.92	0.015
隐窝深度 Crypt depth	148.87	163.33	8.46	0.414
肌层厚度 Muscular thickness	161.93b	201.87a	10.25	0.047
绒毛高度/隐窝深度值 V/C	2.57	2.82	0.11	0.258
空肠 Jejunum				
绒毛高度 Villus height	431.59	445.30	20.29	0.748
绒毛宽度 Villus width	71.13	68.01	2.04	0.464
隐窝深度 Crypt depth	173.48	158.21	6.65	0.265
肌层厚度 Muscular thickness	157.73	153.01	8.27	0.786
绒毛高度/隐窝深度值 V/C	2.59	2.89	0.09	0.118
回肠 Ileum				
绒毛高度 Villus height	373.81	428.38	15.25	0.075
绒毛宽度 Villus width	68.91	78.87	2.81	0.078
隐窝深度 Crypt depth	176.96	213.10	10.38	0.085
肌层厚度 Muscular thickness	274.31	230.82	18.54	0.267
绒毛高度/隐窝深度值 V/C	2.19	2.15	0.06	0.775

3 讨论

3.1 MOS 对羔羊胃肠道相对质量的影响

幼龄反刍动物胃肠道发育中，胃肠道的相对质量（%活体质量、%全胃质量、%全肠质量和%全胃肠道质量）及相对长度（%全肠长度）等是反映机体消化道生长发育的重要指标<sup>[29]</sup>。幼龄反刍动物在生长发育中，体内组织器官会因机体不同的功能需要而表现出不同的生长发育速度<sup>[29]</sup>。本次试验中，对照组和 MOS 处理组羔羊胃肠道相对质量未出现显著差异，这是因为，整个试验期羔羊均饲喂液体代乳粉，尽管代乳粉营养均衡，但前胃得不到正常发育，单纯吃奶的动物，瘤胃缺乏粗糙物质的刺激<sup>[30]</sup>，而固体饲料的摄入会为胃肠道发育带来更好的物理刺激<sup>[31]</sup>。寇占英等<sup>[32]</sup>也报道采食粗饲料可以刺激瘤胃发育，而幼龄反刍动物仅

表 8 MOS 对羔羊小肠黏膜紧密连接蛋白 mRNA 表达量及上皮细胞凋亡的影响

Table 8 Effects of MOS on mRNA expression of intercellular tight junction protein of intestinal tract mucosa and apoptotic rate of intestinal epithelial cells of lambs

项目 Item	对照组 Control	MOS 组 MOS	SEM	P 值 P value
十二指肠 Duodenum				
Claudin 1	0.98	0.94	0.10	0.863
ZO-1	0.92	1.05	0.08	0.403
Occludin	0.86	1.18	0.10	0.112
细胞凋亡 Apoptosis (%)	11.27	5.04	2.90	0.302
空肠 Jejunum				
Claudin 1	0.91	1.09	0.21	0.671
ZO-1	0.80b	1.20a	0.10	0.028
Occludin	0.96	1.04	0.08	0.630
细胞凋亡 Apoptosis (%)	21.09	18.08	5.40	0.791
回肠 Ileum				
Claudin 1	0.87	0.81	0.18	0.875
ZO-1	0.92	1.06	0.07	0.362
Occludin	0.83	1.17	0.09	0.052
细胞凋亡 Apoptosis (%)	47.29	37.62	6.54	0.487

喂乳汁或代乳品，会延滞前胃发育。但采食含 MOS 代乳粉的羔羊空肠相对长度显著低于对照组羔羊，盲肠相对长度有高于对照组羔羊的趋势且大肠各段的相对长度均高于对照组羔羊，主要是因为 MOS 作为低聚糖，在羔羊小肠不能被消化吸收，而在大肠段可作为有益菌的发酵底物并促进有害菌排出体外，促进大肠发育<sup>[33]</sup>，使大肠相对长度增加而小肠相对长度有所降低，但由于其作为添加量很低的饲料添加剂，不能显著改变羔羊胃肠道的生长发育，仅有微弱的作用。周悻<sup>[34]</sup>在犊牛代乳粉中添加 75 mg·kg<sup>-1</sup> 酵母 β-葡聚糖后发现对胃肠道相对质量无显著影响，闫晓刚<sup>[35]</sup>在犊牛饲料粮中添加 20 g·d<sup>-1</sup> 酵母培养物，对犊牛前胃相对质量无显著影响，也与本试验结果相同。

3.2 MOS 对羔羊胃肠道内容物分布的影响

胃肠道内容物滞留时间决定养分的消化吸收率，而内容物的滞留时间由食糜类型和胃肠道运动所决定。本次试验中，所有羔羊胃肠道内容物含量均处于较低水平，主要是因为羔羊只饲喂液体代乳粉，因此，会缩短食糜在胃肠道中的滞留时间，且食糜流量显著低于采食固体饲料的动物<sup>[30]</sup>。胃肠道的节律性运动以及食糜的推送和分布，由食糜压力差、体液因素、交感神经、迷走神经、平滑肌细胞兴奋性、激素以及食糜的物理化学性质等多种因素调控<sup>[36]</sup>。本次试验

中，MOS 对羔羊胃肠道内容物分布并未产生显著影响，也说明食物的物理形态是决定胃肠道内容物分布的主要因素，MOS 作为外源添加的益生素，不能对胃肠道运动和 content 分布产生显著影响，仅由于对胃肠道益生菌有促进作用而改变食糜在胃肠道不同部位的滞留时间，导致采食含 MOS 代乳粉羔羊瘤胃内容物相对质量较高，而皱胃、盲肠和结肠内容物相对质量较低，也与前人在成年羊上的研究结果类似<sup>[33]</sup>。

3.3 MOS 对羔羊皱胃和小肠组织形态的影响

对前胃功能发育不完善的幼龄反刍动物来说，皱胃和小肠是养分最主要的消化吸收部位，而养分的吸收取决于皱胃和小肠的组织形态。皱胃的黏膜和肌层厚度、小肠的绒毛高度、隐窝深度、黏膜厚度及 V/C 值等，是评价动物消化道对养分消化吸收的重要指标<sup>[37-39]</sup>，如绒毛高度与肠道上皮细胞发育呈正相关，高度越高养分吸收能力越强<sup>[40]</sup>，而隐窝深度与肠道上皮细胞成熟率呈负相关，隐窝越浅表明细胞成熟率高且分泌功能越强<sup>[41]</sup>，此外，V/C 值与肠道上皮细胞更新程度有关，也与肠道养分吸收能力呈正相关<sup>[42-43]</sup>。本次试验中，羔羊肠道绒毛均保持在较高水平，这是因为，试验羔羊全期只饲喂液体代乳粉，而固体饲料会加大对肠绒毛的刺激而导致肠绒毛脱落速度加快<sup>[44]</sup>，液体饲料可维持肠绒毛高度<sup>[45]</sup>。本试验中，

MOS 显著提高了羔羊十二指肠绒毛高度和肌层厚度, 并有提高回肠绒毛高度、绒毛宽度和皱胃肌层厚度的趋势, 表明 MOS 能提高羔羊皱胃和小肠段的养分消化吸收能力。周悻<sup>[34]</sup>报道饲粮添加 75 mg·kg<sup>-1</sup> 酵母  $\beta$ -葡聚糖可提高犊牛小肠绒毛高度和 V/C 值。在仔猪和肉仔鸡的试验中, 饲粮添加 0.1 % MOS 可显著提高小肠 V/C 值<sup>[21-22]</sup>。本试验中采食含 MOS 代乳粉羔羊空肠 ZO-1 蛋白 mRNA 表达量显著上调, 回肠 occludin 蛋白 mRNA 表达量也有上调的趋势, 且小肠上皮细胞凋亡率均低于对照组羔羊, 也说明 MOS 有利于维持小肠正常屏障功能, 并使肠绒毛维持在较高水平。occludin 蛋白、claudin 1 蛋白和 ZO-1 蛋白是肠上皮细胞间的紧密连接蛋白, 构建肠道屏障, 机械性阻止微生物入侵<sup>[46]</sup>。而外界刺激、生理和病理等会使肠道屏障发生改变, 增加肠上皮细胞间隙通透性, 导致病原菌侵入细胞引发感染性疾病。PUTHENEDAM 等<sup>[47]</sup>报道, 肠道中的乳酸菌和双歧杆菌可上调 ZO-1 蛋白及 occludin 蛋白的表达, 修复肠道损伤。杨俊等<sup>[48]</sup>也报道, 肠上皮细胞被大肠杆菌 (*enteroinvasive E.coli*, EIEC) 感染后, 用乳酸菌处理时, 紧密连接相关蛋白 (claudin, occludin, junction adherens molecular-1 (JAM-1), ZO-1) 表达量上调, 肠道通透性得到改善。本试验中, MOS 作为化学益生菌可以促进肠道中乳酸杆菌和双歧杆菌等益生菌的增殖<sup>[16]</sup>, 因此发挥出维护肠道屏障健康的作用。肠道黏膜的更新和上皮细胞的转型由上皮细胞凋亡和有丝分裂共同维持, 凋亡一方面可以促进肠黏膜的适度发育和成熟, 但另一方面, 如细胞过度凋亡, 将引起肠道功能紊乱<sup>[49]</sup>。尚沁沁<sup>[50]</sup>指出, 益生菌可通过抑制病原菌在肠道的定植, 调控细胞凋亡通路, 降低肠上皮细胞凋亡率。YAN 等<sup>[51]</sup>研究发现, 乳酸菌可以抑制由肿瘤坏死因子  $\alpha$  (tumor necrosis factor, TNF- $\alpha$ ) 诱导的肠道上皮细胞凋亡。本次试验中采食含 MOS 代乳粉羔羊小肠上皮细胞凋亡率低于对照组羔羊, 也是由于 MOS 促进肠道有益菌增殖而引起的<sup>[33]</sup>。

## 4 结论

7—28 日龄湖羊羔羊代乳粉中添加 MOS 对羔羊胃肠道相对质量和长度、内容物分布和组织形态基本无显著影响, 但显著提高羔羊十二指肠绒毛高度和肌层厚度并显著降低绒毛宽度且上调空肠 ZO-1 蛋白 mRNA 表达量, 还有提高羔羊回肠绒毛高度、绒毛宽度和隐窝深度、皱胃肌层厚度及回肠 occludin 蛋白

mRNA 表达量的趋势。表明代乳粉中添加 0.2 % MOS 对湖羊羔羊胃肠道发育的影响较为微弱, 主要对小肠绒毛形态和屏障功能有一定促进作用。

## References

- [1] 郭江鹏, 潘建忠, 李发弟, 张元兴, 杨宇泽, 郝正里. 不同早期断奶日龄对舍饲肉用羔羊胃组织形态发育变化的影响. 畜牧兽医学报, 2018, 49(5): 971-985.  
GUO J P, PAN J Z, LI F D, ZHANG Y X, YANG Y Z, HAO Z L. Effect of different early weaned day on morphological development of stomach for housed lambs. *Acta Veterinaria et Zootechnica Sinica*, 2018, 49(5): 971-985. (in Chinese)
- [2] 马俊南, 屠焰. 固液饲料饲喂水平对犊牛生长及胃肠道发育影响的研究进展. 家畜生态学报, 2017, 38(5): 7-12.  
MA J N, TU Y. Research progress on feeding patterns of different solid and liquid feed level on growth and gastrointestinal tract development in holstein calves. *Acta Ecologiae Animalis Domastici*, 2017, 38(5): 7-12. (in Chinese)
- [3] 马志远, 李飞, 李发弟, 李冲, 王维民, 唐德富, 刘婷, 潘香羽. 早期断奶对湖羊羔羊生长性能及胃肠道发育的影响. 动物营养学报, 2015, 27(5): 1385-1393.  
MA Z Y, LI F, LI F D, LI C, WANG W M, TANG D F, LIU T, PAN X Y. Effect of early weaning on performance and gastrointestinal tract development of Hu lambs. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2015, 27(5): 1385-1393. (in Chinese)
- [4] 柴建民. 断母乳日龄对羔羊生长性能与胃肠道发育的影响[D]. 北京: 中国农业科学院饲料研究所, 2015.  
CHAI J M. Effect of weaning age on the growth performance and development of the gastrointestinal tract in lambs [D]. Beijing: Feed Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2015. (in Chinese)
- [5] 吴志强. 不同喂奶量和不同类型开食料对哺乳后期犊牛胃肠道发育的影响[D]. 泰安: 山东农业大学, 2016.  
WU Z Q. Effect of different milk allowances and different starter on gastrointestinal development of dairy calves [D]. Taian: Shandong Agricultural University, 2016. (in Chinese)
- [6] 杨宏波. 不同精粗比颗粒饲料对 3~6 月龄犊牛生长性能和胃肠道发育的影响[D]. 扬州: 扬州大学, 2015.  
YANG H B. Effects of pellet diets with different concentrate-roughage ratio on growth performance and development of gastrointestinal tract of 3~6 monthly calves [D]. Yangzhou: Yangzhou University, 2015. (in Chinese)
- [7] 吴兆海. 不同牧草补饲模式对犊牛生长及胃肠道发育的影响[D].

- 太谷: 山西农业大学, 2014.
- WU Z H. Effects of different forage supplementary patterns on the growth and gastrointestinal development of holstein calves [D]. Taigu: Shanxi Agricultural University, 2014. (in Chinese)
- [8] 何军. 半胱胺盐酸及代乳蛋白对山羊小肠粘膜生长发育的影响[D]. 南京: 南京农业大学, 2005.
- HE J. Influence of cysteamine and milk replacer proteins on the development of small intestinal mucosa of goats [D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2005. (in Chinese)
- [9] BARTLETT K S, MCKEITH F K, VANDEHAAR M J, DAHL G E, DRACKLEY J K. Growth and body composition of dairy calves fed milk replacers containing different amounts of protein at two feeding rates. *Journal of Animal Science*, 2006, 84: 1454-1467.
- [10] GEIGER A J, PARSONS C L M, JAMES R E, AKERS R M. Growth, intake, and health of Holstein heifer calves fed an enhanced preweaning diet with or without postweaning exogenous estrogen. *Journal of Dairy Science*, 2016, 99: 3995-4004.
- [11] SOBERON F, VAN AMBURGH M E. Effects of preweaning nutrient intake in the developing mammary parenchymal tissue. *Journal of Dairy Science*, 2017, 100: 4996-5004.
- [12] ADHIKARI P, Kim W K. Overview of prebiotics and probiotics: focus on performance, gut health and immunity – a review. *Annals of Animal Science*, 2017, 17: 949-966.
- [13] HALAS V, NOCHTA I. Mannan oligosaccharides in nursery pig nutrition and their potential mode of action. *Animals*, 2012, 2: 261-274.
- [14] WESTLAND A, MARTIN R, WHITE R, MARTIN J H. Mannan oligosaccharide prepartum supplementation: effects on dairy cow colostrum quality and quantity. *Animal*, 2017, 11: 1779-1782.
- [15] FERNANDEZ F, HINTON M, VAN GILS B. Dietary mannan-oligosaccharides and their effect on chicken caecal microflora in relation to *Salmonella* Enteritidis colonization. *Avian Pathology*, 2002, 31: 49-58.
- [16] NAJDEGERAMI E H, TOKMACHI A, BAKHSHI F. Evaluating the effects of dietary prebiotic mixture of mannan oligosaccharide and poly- $\beta$ -hydroxybutyrate on the growth performance, immunity, and survival of rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum 1792), fingerlings. *Journal of the World Aquaculture Society*, 2017, 48(3): 415-425.
- [17] GIANNENAS I, DOUKAS D, KARAMOUTSIOS A, TZORA A, BONOS E, SKOUFOS I, TSINAS A, CHRISTAKI E, TONTIS D, FLOROU-PANERI P. Effects of *Enterococcus faecium*, mannan oligosaccharide, benzoic acid and their mixture on growth performance, intestinal microbiota, intestinal morphology and blood lymphocyte subpopulations of fattening pigs. *Animal Feed Science and Technology*, 2016, 220: 159-167.
- [18] BOZKURT M, BINTAŞ E, KIRKAN S, AKŞİT H, KÜÇÜKYILMAZ K, ERBAŞ G, ÇABUK M, AKŞİT D, PARM U, EGE G, KOÇER B, SEYREK K, TÜZÜN A E. Comparative evaluation of dietary supplementation with mannan oligosaccharide and oregano essential oil in forced molted and fully fed laying hens between 82 and 106 weeks of age. *Poultry Science*, 2016, 95: 2576-2591.
- [19] ATTIA Y A, ABD AL-HAMID A E, IBRAHIM M S, AL-HARTHI M A, BOVERA F, ELNAGGAR A S. Productive performance, biochemical and hematological traits of broiler chickens supplemented with propolis, bee pollen, and mannan oligosaccharides continuously or intermittently. *Livestock Science*, 2014, 164: 87-95.
- [20] TORRECILLAS S, CABALLERO M J, MONTERO D, SWEETMAN J, IZQUIERDO M. Combined effects of dietary mannan oligosaccharides and total fish oil substitution by soybean oil on European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) juvenile diets. *Aquaculture Nutrition*, 2016, 22(5): 1079-1090.
- [21] 温若竹. 甘露寡糖对肉仔鸡肠道形态及微生物区系的影响[D]. 南京: 南京农业大学, 2010.
- WEN R Z. Effects of mannose-oligosaccharide on intestinal morphology and bacterial community in gastrointestinal tract of broiler chickens [D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2010. (in Chinese)
- [22] 黄俊文, 林映才, 冯定远, 郑春田, 丁发源. 纳豆菌、甘露寡糖对仔猪肠道 pH、微生物区系及肠黏膜形态的影响. 畜牧兽医学报, 2005, 36(10): 1021-1027.
- HUANG J W, LIN Y C, FENG D Y, ZHENG C T, DING F Y. Effect of natto and MOS on intestinal pH, colonic microflora population and intestinal membrane shape of early weaning piglet. *Acta Veterinaria et Zootechnica Sinica*, 2005, 36(10): 1021-1027. (in Chinese)
- [23] MOURÃO J L, PINHEIRO V, ALVES A, GUEDES C M, PINTO L, SAAVEDRA M J, SPRING P, KOCHER A. Effect of mannan oligosaccharides on the performance, intestinal morphology and cecal fermentation of fattening rabbits. *Animal Feed Science and Technology*, 2006, 126: 107-120.
- [24] DIAZ T G, BRANCO A F, JACOVACI F A, JOBIM C C, BOLSON D C, DANIEL J L P. Inclusion of live yeast and mannan-oligosaccharides in high grain-based diets for sheep: Ruminal parameters, inflammatory response and rumen morphology. *Plos One*, 2018, 13: e0193313.
- [25] ZHENG C, LI F D, HAO Z L, LIU T. Effects of adding mannan oligosaccharides on digestibility and metabolism of nutrients, ruminal fermentation parameters, immunity, and antioxidant capacity of sheep.

- Journal of Animal Science*, 2018, 96: 284-292.
- [26] DEMIREL G, TURAN N, TANOR A, KOCABAGLI N, ALP M, HASOKSUZ M, YILMAZ H. Effects of dietary mannanoligosaccharide on performance, some blood parameters, IgG levels and antibody response of lambs to parenterally administered *E. coli* O157: H7. *Archives of Animal Nutrition*, 2007, 61(2): 126-134.
- [27] 马仲华. 家畜解剖学及组织胚胎学. 第 3 版. 北京: 中国农业出版社, 2001.
- MA Z H. Animal anatomy, histology and embryology. 3<sup>rd</sup> edition. Beijing: China Agriculture Press, 2001. (in Chinese)
- [28] LIU J H, XU T T, LIU Y J, ZHU W Y, MAO S Y. A high-grain diet causes massive disruption of ruminal epithelial tight junctions in goats. *American Journal of Physiology-Regulatory Integrative and Comparative Physiology*, 2013, 305: R232-R241.
- [29] 任文. 不同直/支链淀粉比对肥羔胃肠道发育及其相关基因 mRNA 表达量的影响[D]. 大庆: 黑龙江八一农垦大学, 2014.
- REN W. Effects of different amylose/amylopectin ratio on the development of gastrointestinal tract and mRNA expression of related genes in fattening lamb [D]. Daqing: Heilongjiang Bayi Agricultural University, 2014. (in Chinese)
- [30] 刘敏雄. 反刍动物消化生理学. 北京: 北京农业大学出版社, 1991.
- LIU M X. Ruminant digestive physiology. Beijing: Beijing Agricultural University Press, 1991. (in Chinese)
- [31] KHAN M A, LEE H, LEE W, KIM H, KIM S, PARK S B, BAEK K S, HA J K, CHOI Y. Starch source evaluation in calf starter: II. Ruminal parameters, rumen development, nutrient digestibilities, and nitrogen utilization in Holstein calves. *Journal of Dairy Science*, 2008, 91(3): 1140-1149.
- [32] 寇占英, 李启鹏, 莫放, 张晓明. 犊牛主要消化器官的发育规律. 中国畜牧兽医学动物营养学会第六届全国会员代表大会暨第八届学术研讨会论文集(下), 2000: 533-536.
- KOU Z Y, LI Q P, MO F, ZHANG X M. Studies on development of digestive organs in calves. Proceedings of 6<sup>th</sup> National Congress & 8th Symposium of Animal Nutrition Branch of China Animal Husbandry and Veterinary Society (Part Two), 2000: 533-536. (in Chinese)
- [33] 郑琛. 外源添加甘露寡糖对绵羊养分消化代谢、瘤胃发酵、消化道食糜流量及免疫的影响. 兰州: 甘肃农业大学, 2012.
- ZHENG C. Effects of adding mannan oligosaccharides on digestibility and metabolism of nutrients, ruminal parameters, digesta passage and immune of sheep. Lanzhou: Gansu Agricultural University, 2012. (in Chinese)
- [34] 周铎, 刁其玉, 屠焰, 云强. 酵母  $\beta$ -葡聚糖对早期断奶犊牛胃肠道发育的影响. 动物营养学报, 2009, 21(6): 846-852.
- ZHOU Y, DIAO Q Y, TU Y, YUN Q. Effects of yeast  $\beta$ -glucan on gastrointestinal development in early-weaning calves. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2009, 21(6): 846-852. (in Chinese)
- [35] 闫晓刚. 酵母培养物和颗粒精料对荷斯坦犊牛生长发育的影响[D]. 长春: 吉林农业大学, 2005.
- YAN X G. The effect of yeast culture and pellet concentrate on the growing development of Holstein calves [D]. Changchun: Jilin Agricultural University, 2005. (in Chinese)
- [36] 赵如茜. 动物生理学. 第五版. 北京: 中国农业出版社, 2011.
- ZHAO R Q. Animal physiology. 5<sup>th</sup> Edition. Beijing: China Agricultural Press, 2011. (in Chinese)
- [37] 王彩莲. 0~56 日龄放牧绵羊消化系统发育性变化的研究[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2009.
- WANG C L. Developmental changes of digestive system in grazing sheep from birth to 56d [D]. Lanzhou: Gansu Agricultural University, 2009. (in Chinese)
- [38] ZHANG X, WU X, CHEN W, ZHANG Y, JIANG Y, MENG Q, ZHOU Z. Growth performance and development of internal organ, and gastrointestinal tract of calf supplementation with calcium propionate at various stages of growth period. *PLoS One*, 2017a, 12: e0179940.
- [39] JIN Y M, JIANG C, ZHANG X Q, SHI L F, WANG M Z. Effect of dietary *Urtica cannabina* on the growth performance, apparent digestibility, rumen fermentation and gastrointestinal morphology of growing lambs. *Animal Feed Science and Technology*, 2018, 243: 1-9.
- [40] 袁雪. 巴氏杀菌  $\beta$ -内酰胺类抗奶对犊牛生长性能、血液指标和胃肠发育的影响[D]. 大庆: 黑龙江八一农垦大学, 2016.
- YUAN X. The effects of feeding pasteurized  $\beta$ -lactam antibiotic milk on holstein calves' performance, blood indicator, gastrointestinal development [D]. Daqing: Heilongjiang Bayi Agricultural University, 2016. (in Chinese)
- [41] 杨全明. 仔猪消化道酶和组织器官生长发育规律的研究[D]. 北京: 中国农业大学, 1999.
- YANG Q M. The study on digestive enzymes and growth and development of tissues and organs of piglet [D]. Beijing: China Agricultural University, 1999. (in Chinese)
- [42] BAKARE A G, CHIMONYO M. Relationship between feed characteristics and histomorphometry of small intestines of growing pigs. *South African Journal of Animal Science*, 2017, 47: 7-14.
- [43] 姚浪群, 萨仁娜, 佟建明, 霍启光. 安普霉素对仔猪肠道微生物及肠壁组织结构的影响. 畜牧兽医学报, 2003, 34(3): 250-257.
- YAO L Q, SA R N, TONG J M, HUO Q G. Effect of apramycin on

- intestinal flora and intestinal morphology of piglets. *Acta Veterinaria et Zootechnica Sinica*, 2003, 34(3): 250-257. (in Chinese)
- [44] 宋恩亮, 陈耀星, 王子旭, 巢国正, 万发春, 吴乃科. 利杂犊牛小肠各段长度与黏膜结构的发育学变化. *动物医学进展*, 2006, 27(5): 66-70.
- SONG E L, CHEN Y X, WANG Z X, CHAO G Z, WAN F C, WU N K. Developmental changes on the lengths of different intestinal segments and the morphological structure of small intestinal mucosa in Limisin-crossbred calf. *Progress in Veterinary Medicine*, 2006, 27(5): 66-70. (in Chinese)
- [45] MCLEOD J S, CHURCH J T, YERRAMILI P, COUGHLIN M A, PERKINS E M, RABAH R, BARTLETT R H, ROJAS-PENA A, GREENSON J K. Gastrointestinal mucosal development and injury in premature lambs supported by the artificial placenta. *Journal of Pediatric Surgery*, 2018, 53: 1240-1245.
- [46] FORSTER C. Tight junctions and the modulation of barrier function in disease. *Histochemistry and Cell Biology*, 2008, 130(1): 55-70.
- [47] PUTHENEDAM M, WILLIAMS P H, LAKSHMI B S, BALAKRISHNAN A. Modulation of tight junction barrier function by outer membrane proteins of enteropathogenic *Escherichia coli*: Role of F-actin and junctional adhesion molecule-1. *Cell Biology International*, 2007, 31(8): 836-844.
- [48] 杨俊, 张中伟, 秦环龙. 乳酸菌对肠上皮细胞侵袭性大肠杆菌损伤的保护作用. *世界华人消化杂志*, 2008, 16(30): 3394-3399.
- YANG J, ZHANG Z W, QIN H L. Protective role of *Lactobacillus plantarum* in regulating intestinal epithelial cells response to pathogenic bacteria. *World Chinese Journal of Digestology*, 2008, 16(30): 3394-3399. (in Chinese)
- [49] 王远孝. IUGR 猪的生长与肠道发育及 L-精氨酸和大豆卵磷脂的营养调控研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2011.
- WANG Y X. Effect of IUGR on the growth and the intestinal development in postnatal pigs and the nutrition regulation by L-arginine and soya lecithine [D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2011. (in Chinese)
- [50] 尚沁沁, 李雅丽, 史艳云, 付爱坤, 李卫芬, 余东游. 益生菌对动物肠上皮细胞免疫功能的研究进展. *中国畜牧杂志*, 2014, 50(13): 87-90.
- SHANG Q Q, LI Y L, SHI Y Y, FU A K, LI W F, YU D Y. Research progress on probiotics for the immune function of intestinal epithelial cells in animal. *Chinese Journal of Animal Science*, 2014, 50(13): 87-90. (in Chinese)
- [51] YAN F, POLK D B. Probiotic bacterium prevents cytokine-induced apoptosis in intestinal epithelial cells. *The Journal of Biological Chemistry*, 2002, 277(52): 50959-50965.

(责任编辑 林鉴非)