

开食料中性洗涤纤维水平对羔羊消化道组织形态和消化酶活性的影响

汪晓娟¹ 李发弟^{1,2} 王世琴² 年芳³ 李冲¹ 王维民¹ 刘婷¹

(1. 甘肃农业大学动物科学技术学院, 兰州 730070; 2. 兰州大学草地农业科技学院, 兰州 730020;

3. 甘肃农业大学理学院, 兰州 730070)

摘要: 本试验旨在研究开食料中性洗涤纤维(NDF)水平对羔羊消化道组织形态和消化酶活性的影响。选择健康的初生湖羊公羔[初生重(3.01±0.12) kg] 18只, 随机分为3组, 每组6只羊。对照组随母羊哺乳, 试验组随母羊哺乳同时于7日龄开始补饲NDF水平分别为15.13%(高NDF水平组)和10.00%(低NDF水平组)的开食料。35日龄时屠宰。结果表明: 1) 高NDF水平组的瘤胃乳头长度、肌层厚度, 网胃乳头长度、乳头宽度、肌层厚度, 瓣胃瓣叶宽度、肌层厚度以及皱胃肌层厚度均极显著高于对照组($P<0.01$), 瓣胃瓣叶长度、皱胃黏膜层厚度均显著高于对照组($P<0.05$)。高NDF水平组的瘤胃乳头长度、网胃肌层厚度均极显著高于低NDF水平组($P<0.01$), 瓣胃瓣叶宽度、肌层厚度以及皱胃黏膜层厚度均显著高于低NDF水平组($P<0.05$)。2) 高、低NDF水平组的十二指肠隐窝深度极显著低于对照组($P<0.01$), 高、低NDF水平组的十二指肠肌层厚度极显著高于对照组($P<0.01$)。高NDF水平组的空肠绒毛长度极显著高于对照组和低NDF水平组($P<0.01$), 高、低NDF水平组的空肠隐窝深极显著低于对照组($P<0.01$), 高NDF水平组的空肠肌层厚度显著高于对照组($P<0.05$)。高、低NDF水平组的回肠绒毛长度极显著高于对照组($P<0.01$), 高、低NDF水平组的回肠肌层厚度极显著高于对照组($P<0.01$)。3) 对照组的瘤胃蛋白酶活性极显著高于高、低NDF水平组($P<0.01$), 高NDF水平组极显著高于低NDF水平组($P<0.01$); 低NDF水平组的瘤胃 α -淀粉酶活性显著高于对照组($P<0.05$)。低NDF水平组的空肠 α -淀粉酶活性显著高于对照组和高NDF水平组($P<0.05$), 低NDF水平组的十二指肠、空肠和回肠胰蛋白酶活性显著高于对照组($P<0.05$)。由此可见, 15.13% NDF水平的开食料有利于断奶前羔羊消化道的发育。

关键词: 开食料; NDF; 胃; 小肠; 组织形态; 消化酶活性

中图分类号: S826

文献标识码: A

文章编号: 1006-267X(2020)04-1704-09

早期补饲开食料能弥补羔羊断奶前营养的不足, 并提高生产性能^[1-2]。近年来, 国内外对幼龄反刍动物开食料的研究较多, 主要集中在开食料不同饲料组成^[3-4]以及营养水平^[5-6]对幼龄反刍动物生产性能、养分利用率和瘤胃发育的影响。据报道, 高营养水平更有利于消化道的发育^[7-8], 而且适宜比例的粗饲料可以增加羔羊消化道体

积^[2,9], 对瘤胃微生物区系的建立有重要作用^[3,10-11]。但是幼龄反刍动物由于瘤胃功能不完善, 对粗饲料的利用率不高, 过量饲喂粗饲料又不利于瘤胃发育和动物生长^[12-14]。开食料对小肠影响的报道较少而且也存在争议, 研究发现羔羊或犊牛的饲料由液态转换成固态后, 不利于小肠形态的发育^[15-17]; 但也有研究报道早期补饲固体饲

收稿日期: 2019-10-17

基金项目: 国家自然科学基金(31760682); 农业部现代农业产业技术体系建设专项资金(CARS-39)

作者简介: 汪晓娟(1977—), 女, 甘肃武山人, 副教授, 博士, 从事反刍动物营养研究。E-mail: wangxj@gsau.edu.cn

料可以促进羔羊小肠黏膜发育^[18],并且通过调节肠道微生物菌群结构降低断奶应激^[19]。中性洗涤纤维(NDF)是评价粗饲料营养价值的重要指标,是饲料中被动物缓慢消化或者不被消化的部分,当开食料中NDF水平较高时,未被消化的纤维类物质随食糜进入小肠,而小肠不分泌纤维分解酶,这是否会影响肠道的发育,还需要进一步研究。因此,本试验通过研究开食料不同NDF水平对羔羊消化道组织形态和消化酶活性的影响,以期探究羔羊开食料适宜的NDF水平,为科学补饲提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计

选取 18 只体况良好、健康、体重 $[(3.01 \pm 0.12) \text{ kg}]$ 相近的初生湖羊公羔,随机分为 3 组,每组 6 只羊。对照组随母羊哺乳,试验组随母羊哺乳同时于 7 日龄开始补饲 NDF 水平分别为

15.13% (高 NDF 水平组) 和 10.00% (低 NDF 水平组) 的开食料。所有羔羊在 35 日龄时屠宰,采集样品。屠宰前禁食 12 h。

1.2 试验开食料

按照试验设计配制高、低 NDF 水平开食料,开食料组成及营养水平见表 1。开食料为颗粒饲料,制粒机环模直径 2.5 mm,压缩比 1:6。

1.3 饲养管理

羔羊随母羊群饲,对照组全期自由哺乳,试验组羔羊 7 日龄时,分别在每天 08:00—11:00 和 14:00—17:00 与母羊隔离,在补饲栏自由采食开食料,自由饮水,其余时间随母羊哺乳。依照羊场免疫制度对羔羊进行免疫注射,每 10 d 将圈舍彻底消毒 1 次。记录羔羊和母羊疾病发生情况。羊舍为密闭双列式有运动场的羊舍,舍内装有红外线灯用于羔羊保温,试验期间羊舍平均温度为早: $-6.2 \text{ }^{\circ}\text{C}$,中: $-4.1 \text{ }^{\circ}\text{C}$,晚: $-8.1 \text{ }^{\circ}\text{C}$,平均相对湿度为 51%。

表 1 开食料组成及营养水平(干物质基础)

Table 1 Composition and nutrient levels of starters (DM basis)

%

项目 Items	开食料 Starter	
	高 NDF 水平 High NDF level	低 NDF 水平 Low NDF level
原料 Ingredients		
苜蓿草粉 Alfalfa meal	15.48	1.56
玉米 Corn	52.16	64.20
小麦麸 Wheat bran	3.04	1.02
大豆粕 Soybean meal	11.18	16.68
乳清粉 Whey powder	1.05	1.06
发酵豆粕 Fermented soybean meal	11.66	11.73
膨化大豆 Expanded soybean	3.15	1.06
石粉 Limestone	0.84	1.23
预混料 Premix ¹⁾	1.11	1.12
食盐 NaCl	0.33	0.34
合计 Total	100.00	100.00
营养水平 Nutrient levels ²⁾		
干物质 DM	88.94	88.35
消化能 DE/(MJ/kg)	11.57	12.20
粗蛋白质 CP	16.18	16.17
钙 Ca	0.57	0.58
磷 P	0.25	0.27
中性洗涤纤维 NDF	15.13	10.00

1) 预混料为每千克开食料提供 The premix provided the following per kg of starters: S 200 mg, Fe 25 mg, Zn 40 mg, Cu 8 mg, Mn 40 mg, I 0.3 mg, Se 0.2 mg, Co 0.1 mg, VA 940 IU, VD 111 IU, VE 20 IU, VB₁₂ 50 IU。

2) 干物质、粗蛋白质、钙、磷、中性洗涤纤维为实测值,消化能参考《中国饲料成分及营养价值表》(2010年第21版)^[20]计算。DM, CP, Ca, P and NDF were measured values, while DE was calculated in reference to *Composition and Nutrient Values of Feed in China* (2010, 21st ed).

1.4 样品采集与指标测定

1.4.1 开食料营养水平测定

参照 GB/T 6435—2014 的方法测定水分含量,并计算干物质含量^[21]。参照 GB/T 6432—2018 采用凯氏半微量法测定粗蛋白质含量^[22]。参照 GB/T 20806—2006^[23] 采用 Ringbio™ 2000 型纤维分析仪测定中性洗涤纤维(NDF)含量。参照 GB/T 6436—2018^[24] 采用乙二胺四乙酸络合快速滴定法测定钙含量。参照 GB/T 6437—2018^[25] 采用钼黄显色光度法测定磷含量。

1.4.2 瘤胃和小肠组织形态观察

羔羊 35 日龄时,每组取 6 只羊,颈静脉放血致死,取出瘤胃、网胃、瓣胃、皱胃、十二指肠、空肠、回肠。分别在瘤胃腹囊、网胃底、瓣胃和皱胃的胃底腺区取近 1 cm×1 cm 组织样品;从十二指肠近端(5 cm 处)、空肠中段、回肠中段取近 1 cm 的肠段,用生理盐水冲洗干净,放置于 10% 的甲醛溶液中固定。固定好的样品经不同浓度酒精逐级脱水石蜡包埋,切成 5 μm 的切片,苏木精-伊红(HE)染色后,在 4×10 倍光镜(Motic BA200)下观测胃室和肠道形态结构,并利用 Image-pro plus 6.0 软件测定绒毛长度、隐窝深度和肌层厚度。每个样品观察 3 个非连续切片,每张切片选择 3 个视野,每个视野分别测定 5 组数据。

1.4.3 瘤胃和小肠内容物酶活性测定

羔羊屠宰后,分别采集瘤胃液(4 层纱布过滤后滤液)和肠道内容物于 10 mL 离心管,立即置于液氮罐保存。

在未完全解冻前将瘤胃及小肠内容物用分析天平称重,按质量体积比约 1:5 加入 4 ℃ 的 0.4 mol/L 氯化钾溶液冰浴匀浆 45 s,匀浆液 4 ℃ 下过夜(10 h),4 ℃、10 000×g 离心 15 min,取上清液以备测定消化酶活性^[26]。

采用 Folin-酚方法^[27] 分别测定瘤胃和小肠内容物上清液中蛋白质含量。瘤胃蛋白酶和纤维素酶活性采用萃取化学公司法测定,瘤胃和小肠内容物 α-淀粉酶活性采用 Bernfeld 法测定,小肠胰蛋白酶活性采用 Worthington 法测定,小肠糜蛋白酶活性采用 Hummel 法测定^[28]。所用仪器设备为 723 型可见光分光光度计(上海光谱仪器有限公司)。

1.5 数据处理

数据采用 SPSS 19.0 中 ANOVA 程序进行单

因素方差分析,差异显著时用 Duncan 氏法进行多重比较。试验结果以平均值±标准误表示。 $P < 0.01$ 为差异极显著, $P < 0.05$ 为差异显著。

2 结果

2.1 开食料 NDF 水平对羔羊各胃室组织形态的影响

由表 2 可以看出,高 NDF 水平组的瘤胃乳头长度、肌层厚度,网胃乳头长度、乳头宽度、肌层厚度,瓣胃瓣叶宽度、肌层厚度以及皱胃肌层厚均极显著高于对照组($P < 0.01$),瓣胃瓣叶长度、皱胃黏膜层厚度均显著高于对照组($P < 0.05$)。高 NDF 水平组的瘤胃乳头长度、网胃肌层厚度均极显著高于低 NDF 水平组($P < 0.01$),瓣胃瓣叶宽度、肌层厚度以及皱胃黏膜层厚度均显著高于低 NDF 水平组($P < 0.05$)。各组间瘤胃乳头宽度差异不显著($P > 0.05$)。

2.2 开食料 NDF 水平对羔羊小肠组织形态的影响

由表 3 可以看出,各组间十二指肠绒毛长度差异不显著($P > 0.05$),高、低 NDF 水平组的十二指肠隐窝深度极显著低于对照组($P < 0.01$),高、低 NDF 组间差异不显著($P > 0.05$);高、低 NDF 水平组的十二指肠肌层厚度极显著高于对照组($P < 0.01$),高、低 NDF 组间差异不显著($P > 0.05$)。高 NDF 水平组的空肠绒毛长度极显著高于对照组和低 NDF 水平组($P < 0.01$),高、低 NDF 水平组的空肠隐窝深极显著低于对照组($P < 0.01$),高 NDF 水平组的空肠肌层厚度显著高于对照组($P < 0.05$)。高、低 NDF 水平组的回肠绒毛长度极显著高于对照组($P < 0.01$),各组间回肠隐窝深度差异不显著($P > 0.05$);高、低 NDF 水平组的回肠肌层厚度极显著高于对照组($P < 0.01$),高 NDF 水平组显著高于低 NDF 水平组($P < 0.05$)。

2.3 开食料 NDF 水平对羔羊消化道酶活性的影响

由表 4 可以看出,对照组的瘤胃蛋白酶活性极显著高于高、低 NDF 水平组($P < 0.01$),高 NDF 水平组极显著高于低 NDF 水平组($P < 0.01$);低 NDF 水平组的瘤胃 α-淀粉酶活性显著高于对照组($P < 0.05$),对照组与高 NDF 水平组间差异不显著($P > 0.05$);各组间瘤胃纤维素酶活性差异不显著($P > 0.05$)。低 NDF 水平组的空肠 α-淀粉酶活

性显著高于对照组和高 NDF 水平组 ($P<0.05$), 各组间十二指肠和回肠 α -淀粉酶活性差异不显著 ($P>0.05$)。各组间十二指肠、空肠和回肠糜蛋白酶活性差异不显著 ($P>0.05$)。低 NDF 水平组的十二指肠、空肠和回肠胰蛋白酶活性显著高于对

照组 ($P<0.05$), 高 NDF 水平组的十二指肠胰蛋白酶活性显著高于对照组 ($P<0.05$), 高 NDF 水平组的空肠和回肠胰蛋白酶活性与对照组差异不显著 ($P>0.05$)。

表 2 开食料 NDF 水平对羔羊各胃室组织形态的影响

Table 2 Effects of starter NDF level on tissue morphology in each stomach of lambs

μm

项目 Items		对照组 Control group	高 NDF 水平组 High NDF level group	低 NDF 水平组 Low NDF level group
瘤胃 Rumen	乳头长度 Papilla length	206.98±9.35 ^C	528.90±24.86 ^A	426.25±22.86 ^B
	乳头宽度 Papilla width	185.96±18.04	231.92±13.54	180.67±10.61
	肌层厚度 Muscular thickness	151.03±4.22 ^{Bb}	255.64±22.17 ^{Aa}	201.90±21.32 ^{ABab}
网胃 Reticulum	乳头长度 Papilla length	174.86±16.23 ^{Bb}	323.04±11.07 ^{Aa}	269.51±10.78 ^{Bb}
	乳头宽度 Papilla width	88.06±10.13 ^{Bb}	145.48±6.06 ^{Aa}	118.28±3.04 ^{Aa}
	肌层厚度 Muscular thickness	172.92±7.94 ^C	414.00±8.66 ^A	282.60±20.83 ^B
瓣胃 Omasum	瓣叶长度 Papilla length	1719.49±27.78 ^b	3105.00±337.80 ^a	2643.64±253.20 ^{ab}
	瓣叶宽度 Papilla width	181.29±7.05 ^{Bc}	298.25±15.29 ^{Aa}	237.23±17.62 ^{Ab}
	肌层厚度 Muscular thickness	284.18±30.69 ^{Bc}	418.76±19.11 ^{Aa}	348.35±10.49 ^{ABb}
皱胃 Abomasum	黏膜层厚度 Mucosa layer thickness	223.03±13.56 ^b	291.35±16.95 ^a	211.94±5.97 ^b
	肌层厚度 Muscular thickness	116.96±7.93 ^{Bc}	291.34±22.98 ^{Aa}	189.11±27.82 ^{ABb}

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

In the same row, values with different small letter superscripts mean significant difference ($P<0.05$), and with different capital letter superscripts mean significant difference ($P<0.01$), while with the same or no letter superscripts mean no significant difference ($P>0.05$). The same as below.

表 3 开食料 NDF 水平对羔羊小肠组织形态的影响

Table 3 Effects of starter NDF level on tissue morphology in small intestine of lambs

μm

项目 Items		对照组 Control group	高 NDF 水平组 High NDF level group	低 NDF 水平组 Low NDF level group
十二指肠 Duodenum	绒毛长度 Villus length	274.80±9.27	305.96±21.13	276.56±9.21
	隐窝深度 Crypt depth	240.14±9.79 ^{Aa}	159.97±6.66 ^{Bb}	143.62±4.99 ^{Bb}
	肌层厚度 Muscular thickness	64.74±6.77 ^{Bb}	127.28±8.21 ^{Aa}	116.62±7.61 ^{Aa}
空肠 Jejunum	绒毛长度 Villus length	275.25±5.96 ^{Bb}	310.97±18.47 ^{Aa}	245.67±5.10 ^{Bb}
	隐窝深度 Crypt depth	270.80±7.33 ^{Aa}	141.83±9.29 ^{Bb}	157.60±8.59 ^{Bb}
	肌层厚度 Muscular thickness	92.61±2.33 ^b	100.75±2.05 ^a	95.30±2.58 ^{ab}
回肠 Ileum	绒毛长度 Villus length	308.52±19.12 ^{Bb}	409.75±15.25 ^{Aa}	395.14±32.87 ^{Aa}
	隐窝深度 Crypt depth	483.82±22.17	520.61±26.38	538.33±24.22
	肌层厚度 Muscular thickness	55.29±4.45 ^{Bc}	99.15±3.17 ^{Aa}	82.63±4.44 ^{Ab}

3 讨论

3.1 开食料 NDF 水平对羔羊各胃室组织形态的影响

不同饲料类型会影响幼龄反刍动物消化道发

育,尤其是瘤胃的发育^[9-12],瘤胃腹囊组织形态能够反映瘤胃发育的状况^[29]。本试验中,补饲开食料后羔羊瘤胃腹囊乳头高度、肌层厚度均高于对照组,高 NDF 水平组瘤胃壁发育最佳,其次是低 NDF 水平组。Sander 等^[30]研究发现,瘤胃微生物发酵产生的短链脂肪酸,尤其是丁酸和少量的丙

酸能够作为瘤胃上皮细胞的能量来源,促进瘤胃上皮组织正常发育,Sun等^[31]和Liu等^[32]报道,开食料可以促进羔羊瘤胃上皮细胞的增殖,抑制上皮细胞的凋亡。Wang等^[10]报道补饲18% NDF水平的开食料后羔羊瘤胃总挥发性脂肪酸浓度、丁酸摩尔比和丙酸摩尔比均显著高于哺乳组,这与本试验组织形态观察结果相呼应,可能是15.13% NDF水平的开食料在瘤胃微生物的作用下分解产生的短链脂肪酸促进了瘤胃组织形态的发育。通常高精料比例的饲料被认为能促进瘤胃的快速发育,但精料比例过高,会在瘤胃中形成食糜黏附着于瘤胃壁,使瘤胃乳头黏结在一起降低

瘤胃的吸收面积,不利于瘤胃健康,而适宜的粗饲料比例能够减少食糜附着斑块的形成,维持瘤胃健康^[33]。同时,Harrison等^[34]报道,适宜的粗饲料物理性刺激有利于瘤胃黏膜健康、瘤胃的运动和瘤胃肌层发育。然而,Hamada等^[35]研究发现粗饲料的物理刺激可以同时促进瘤胃重量的增加和肌肉组织的发育,但并不会促进瘤胃上皮细胞的发育。也有研究报道,犊牛饲喂49.3% NDF水平的开食料,瘤胃上皮黏膜厚度低于9.4% NDF水平组^[36]。过早饲喂粗饲料或高淀粉开食料不利于瘤胃发育^[37-38],这可能与饲料的类型、粗饲料添加比例等有关。

表4 开食料NDF水平对羔羊消化道酶活性的影响

Table 4 Effects of starter NDF level on digestive tract enzyme activities of lambs

U/mg prot

项目 Items		对照组 Control group	高 NDF 水平组 High NDF level group	低 NDF 水平组 Low NDF level group
瘤胃 Rumen	蛋白酶 Protease	1.247±0.063 ^A	0.307±0.035 ^C	0.670±0.039 ^B
	α-淀粉酶 α-amylase	0.883±0.156 ^b	1.146±0.232 ^{ab}	1.602±0.176 ^a
	纤维素酶 Cellulase	0.289±0.007	0.416±0.055	0.339±0.093
十二指肠 Duodenum	α-淀粉酶 α-amylase	4.846±1.753	5.893±1.540	3.966±1.727
	糜蛋白酶 Chymotrypsin	0.918±0.133	0.595±0.080	0.658±0.128
	胰蛋白酶 Trypsin	0.722±0.192 ^b	1.048±0.342 ^a	1.232±0.371 ^a
空肠 Jejunum	α-淀粉酶 α-amylase	3.594±1.183 ^b	4.524±0.589 ^b	6.884±0.404 ^a
	糜蛋白酶 Chymotrypsin	0.768±0.075	0.716±0.119	0.718±0.090
	胰蛋白酶 Trypsin	0.782±0.212 ^b	0.880±0.043 ^b	1.476±0.426 ^a
回肠 Ileum	α-淀粉酶 α-amylase	3.881±0.231	5.881±0.211	3.393±0.325
	糜蛋白酶 Chymotrypsin	0.761±0.014	0.693±0.017	0.675±0.010
	胰蛋白酶 Trypsin	0.763±0.043 ^b	0.823±0.045 ^b	1.463±0.035 ^a

网胃主要的功能是控制瘤胃内容物流出瘤胃的速度,网胃乳头、肌层的厚度反映了其发育情况。本试验中,补饲开食料后增加了羔羊网胃乳头长度、乳头宽度和肌层厚度,可以有效地减缓饲料进入消化道后段的速度,提高粗饲料在瘤胃停留的时间,有利于粗饲料的进一步降解。瓣胃功能是对未能消化的纤维素及部分木质素进行揉搓、研磨和筛滤。本试验中,高 NDF 水平组羔羊瓣叶长度、瓣叶宽度和肌层厚均显著高于对照组,高 NDF 水平组瓣胃发育也优于低 NDF 水平组。乔灵等^[39]研究也表明,绒山羊瘤胃、网胃和瓣胃胃壁上皮的厚度与饲料粗纤维的含量呈正相关。

3.2 开食料 NDF 水平对小肠组织形态的影响

小肠组织结构的完整性是保证羔羊消化吸收

营养物质的关键,与动物的生长状态密切相关。小肠绒毛长度、隐窝深度和肠壁厚度是评价小肠生理形态的主要指标,小肠单位长度内绒毛上皮的表面积越大,消化吸收的能力越强,隐窝深度反映了肠细胞的生成率,隐窝深度变浅,肠上皮细胞成熟率上升,细胞的分泌能力增强,化学消化功能增强,同时肠黏膜上皮细胞的生长加快,对肠道损伤的修复作用增强。幼龄反刍动物开食料对肠道影响的研究结果不尽一致。本试验中,补饲开食料后羔羊十二指肠隐窝深度变浅,肌层厚度变厚,空肠和回肠绒毛长度增长。马俊南^[40]报道,高固体比例颗粒饲料(NDF水平4.03%)与仅饲喂液态饲料相比,有助于犊牛十二指肠的形态发育。然而,吕小康等^[15]、王珊珊^[16]和武翠^[17]研究报道,

幼龄反刍动物过早的饲喂粗饲料会不同程度地造成肠道损伤,影响肠道黏膜结构的完整性。可能的原因是不同粗饲料的来源、NDF 水平的开食料均会影响进入小肠的不能被消化物质的含量,纤维类物质含量过高时,对小肠黏膜产生的物理性磨损增大,引起上皮细胞的脱落,使肠绒毛长度降低,影响了小肠的发育。羔羊在初期肠道脆弱,采食过多或难消化的物质过多,对小肠黏膜的损伤也较大,不利于肠道发育和功能的发挥。

3.3 开食料 NDF 水平对羔羊消化道酶活性的影响

瘤胃黏膜不分泌消化酶,但瘤胃微生物可分泌多种消化酶(如蛋白酶、脂肪酶、淀粉酶、纤维素酶等),微生物的种类与数量决定瘤胃的微生物酶活性。随着饲料采食量的增加,摄入的植物性饲料促进了瘤胃微生物的定植,从而刺激了瘤胃微生物酶活性,而随着羔羊瘤胃微生物菌群的稳定,酶活性逐渐降低^[41]。本试验结果显示,对照组羔羊瘤胃蛋白酶活性极显著高于高、低 NDF 水平组,而低 NDF 组瘤胃 α -淀粉酶活性显著高于对照组。 α -淀粉酶活性受到饲料中淀粉含量的影响较大,这可能与本试验中饲料组成富含淀粉的玉米有关,低 NDF 水平组玉米含量比高 NDF 水平组高了 22.33%。在本研究中,羔羊随母羊群饲,只计算了每组羔羊平均采食量,高、低 NDF 水平组羔羊日均采食量分别为 51.78 和 53.86 g,采食量基本接近,因此消化道酶活性的差异可能是由补饲或不补饲及开食料的组成所引起。

本试验中,低 NDF 水平组小肠胰蛋白酶活性和空肠 α -淀粉酶活性均显著高于对照组,而高 NDF 水平组十二指肠胰蛋白酶活也显著高于对照组。王宝山^[42]报道,小尾寒羊小肠淀粉酶活性随着饲料非结构性碳水化合物含量的增加而增加,但饲料非结构性碳水化合物超过一定量时,差异不显著。李佩健^[43]报道,植物型饲料中的不容易消化物质可能会加剧羔羊胃肠道负担,从而影响消化酶的分泌和养分的消化。本试验结果显示,羔羊补饲高、低 NDF 水平开食料后,消化道酶活性接近或高于对照组,说明并没有对羔羊肠消化道酶活性产生负面影响。

4 结 论

① 羔羊 7 日龄补饲 10.00% 或 15.13% NDF

水平的开食料,可促进瘤胃、网胃、瓣胃和皱胃的发育,对各胃室发育而言,15.13% NDF 水平的开食料较好。

② 羔羊 7 日龄补饲 10.00% 或 15.13% NDF 水平的开食料,可促进肠道形态的发育,而不同 NDF 水平的开食料对肠道的促进作用没有明显差异。

③ 羔羊 7 日龄补饲 10.00% 或 15.13% NDF 水平的开食料,可提高消化道 α -淀粉酶和胰蛋白酶活性。

参考文献:

- [1] 汪晓娟,刘婷,李发弟,等.开食料补饲日龄对湖羊羔羊生长性能和胃发育的影响[J].畜牧兽医学报,2016,47(2):305-314.
- [2] 岳喜新,刁其玉,马春晖,等.早期断奶羔羊代乳粉饲喂水平对营养物质消化代谢及血清生化指标的影响[J].中国农业科学,2011,44(21):4464-4473.
- [3] YANG B,LE J Q,WU P,et al. Alfalfa intervention alters rumen microbial community development in hu lambs during early life[J].Frontiers in Microbiology,2018,9:574.
- [4] DANSO A S,MOREL P C H,KENYON P R,et al. Effect of different feeding regimens on energy and protein utilization and partitioning for maintenance and growth in pre-weaned lambs reared artificially[J]. Journal of Animal Science,2016,94(12):5359-5371.
- [5] STAMEY J A ,JANOVICK N A,KERTZ A F,et al. Influence of starter protein content on growth of dairy calves in an enhanced early nutrition program[J]. Journal of Dairy Science,2012,95(6):3327-3336.
- [6] QUIGLEY J D, HILL T M, DENNIS T S, et al. Effects of feeding milk replacer at 2 rates with pelleted, low-starch or texturized, high-starch starters on calf performance and digestion[J]. Journal of Dairy Science,2018,101(7):5937-5948.
- [7] SHEN Z M, SEYFERT H M, LÖHRKE B, et al. An energy-rich diet causes rumen papillae proliferation associated with more IGF type 1 receptors and increased plasma IGF-1 concentrations in young goats[J]. The Journal of Nutrition,2004,134(1):11-17.
- [8] 祁敏丽,马铁伟,刁其玉,等.饲料营养限制对断奶湖羊羔羊生长、屠宰性能以及器官发育的影响[J].畜牧兽医学报,2016,47(8):1601-1609.
- [9] YANG B,HE B,WANG S S,et al. Early supplementen-

- tation of starter pellets with alfalfa improves the performance of pre- and postweaning *Hu* lambs[J]. *Journal of Animal Science*, 2015, 93(10): 4984-4994.
- [10] WANG W M, LI C, LI F D, et al. Effects of early feeding on the host rumen transcriptome and bacterial diversity in lambs[J]. *Scientific Reports*, 2016, 6(1): 32479.
- [11] LIN L M, XIE F, SUN D M, et al. Ruminal microbiome-host crosstalk stimulates the development of the ruminal epithelium in a lamb model[J]. *Microbiome*, 2019, 7(1): 83.
- [12] FRANKLIN S T, AMARAL-PHILLIPS D M, JACKSON J A, et al. Health and performance of Holstein calves that suckled or were hand-fed colostrum and were fed one of three physical forms of starter[J]. *Journal of Dairy Science*, 2003, 86(6): 2145-2153.
- [13] FOKKINK W B, HILL T M, BATEMAN II H G, et al. Effect of high- and low-cereal-grain starters on straw intake and rumen development of neonatal Holstein calves[J]. *Professional Animal Scientist*, 2011, 27(4): 357-364.
- [14] LANE M A, BALDWIN VI R L, JESSE B W. Sheep rumen metabolic development in response to age and dietary treatments[J]. *Journal of Animal Science*, 2000, 78(7): 1990-1996.
- [15] 吕小康, 解彪, 黄文琴, 等. 早期饲喂对山羊羔羊瘤胃和小肠组织形态的影响[J]. *畜牧兽医学报*, 2019, 50(5): 1006-1015.
- [16] 王珊珊. 两种早期断奶补饲模式对羔羊肠道屏障功能发育的影响[D]. 硕士学位论文. 杭州: 浙江大学, 2015.
- [17] 武翠. 阿尔巴斯绒山羊在不同饲养条件下小肠形态变化的研究[D]. 硕士学位论文. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2007.
- [18] 汪晓娟, 刘婷, 李发弟, 等. 开食料补饲日龄对羔羊瘤胃和小肠组织形态的影响[J]. *草业学报*, 2016, 25(4): 172-178.
- [19] SUN D M, MAO S Y, ZHU W Y, et al. Effects of starter feeding on caecal mucosal bacterial composition and expression of genes involved in immune and tight junctions in pre-weaned twin lambs[J]. *Anaerobe*, 2019, 59: 167-175.
- [20] 中国饲料数据库. 中国饲料成分及营养价值表 2010 年第 21 版[J]. *中国饲料*, 2010(21): 34-39.
- [21] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. GB/T 6435—2014 饲料中水分的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2015.
- [22] 国家市场监督管理总局, 国家标准化管理委员会. GB/T 6432—2018 饲料中粗蛋白的测定 凯氏定氮法[S]. 北京: 中国标准出版社, 2018.
- [23] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. GB/T 20806—2006 饲料中中性洗涤纤维(NDF)的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2007.
- [24] 国家市场监督管理总局, 中国国家标准化管理委员会. GB/T 6436—2018 饲料中钙的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2018.
- [25] 国家市场监督管理总局, 国家标准化管理委员会. GB/T 6437—2018 饲料中总磷的测定 分光光度法[S]. 北京: 中国标准出版社, 2018.
- [26] 杨子江, 年芳, 李发弟, 等. 不同精粗比全混合饲料对肥育羔羊消化道 pH 和消化酶活性的影响[J]. *畜牧兽医学报*, 2009, 40(9): 1333-1340.
- [27] 李建武, 余瑞元, 袁明秀. 生物化学实验原理和方法[M]. 3 版. 北京: 北京大学出版社, 2000.
- [28] BRUNO S. 酶的测定方法[M]. 钱嘉渊, 译. 北京: 中国轻工业出版社, 1992.
- [29] LESMEISTER K E, TOZER P R, HEINRICHS A J. Development and analysis of a rumen tissue sampling procedure[J]. *Journal of Dairy Science*, 2004, 87(5): 1336-1344.
- [30] SANDER E G, WARNER R G, HARRISON H N, et al. The stimulatory effect of sodium butyrate and sodium propionate on the development of rumen mucosa in the young calf[J]. *Journal of Dairy Science*, 1959, 42(9): 1600-1605.
- [31] SUN D M, MAO S Y, ZHU W Y, et al. Effect of starter diet supplementation on rumen epithelial morphology and expression of genes involved in cell proliferation and metabolism in pre-weaned lambs[J]. *Animal*, 2018, 12(11): 2274-2283.
- [32] LIU J, BIAN G, SUN D, et al. Starter feeding altered ruminal epithelial bacterial communities and some key immune-related genes' expression before weaning in lambs[J]. *Journal of Animal Science*, 2017, 95(2): 910-921.
- [33] SUÁREZ B J, VAN REENEN C G, STOCKHOFF N, et al. Effect of roughage source and roughage to concentrate ratio on animal performance and rumen development in veal calves[J]. *Journal of Dairy Science*, 2007, 90(5): 2390-2403.
- [34] HARRISON H N, WARNER R G, SANDER E G, et al. Changes in the tissue and volume of the stomachs of calves following the removal of dry feed or con-

- sumption of inert bulk[J]. *Journal of Dairy Science*, 1960, 43(9):1301-1312.
- [35] HAMADA T, MAEDA S, KAMEOKA K. Factors influencing growth of rumen, liver, and other organs in kids weaned from milk replacers to solid foods[J]. *Journal of Dairy Science*, 1976, 59(6):1110-1118.
- [36] SUÁREZ B J, VAN REENEN C G, BELDMAN G, et al. Effects of supplementing concentrates differing in carbohydrate composition in veal calf diets: I. Animal performance and rumen fermentation characteristics[J]. *Journal of Dairy Science*, 2006, 89(11):4365-4375.
- [37] ÁLVAREZ-RODRÍGUEZ J, MONLEÓN E, SANZ A, et al. Rumen fermentation and histology in light lambs as affected by forage supply and lactation length[J]. *Research in Veterinary Science*, 2012, 92(2):247-253.
- [38] WANG Y H, XU M, WANG F N, et al. Effect of dietary starch on rumen and small intestine morphology and digesta pH in goats[J]. *Livestock Science*, 2009, 122(1):48-52.
- [39] 乔灵, 吴美玲. 1.5 岁阿尔巴斯绒山羊在不同饲养条件下瓣胃黏膜的变化研究[J]. *黑龙江畜牧兽医*, 2009(12):32-33.
- [40] 马俊南. 不同固液比例饲喂模式对犊牛生长及胃肠道发育的影响[D]. 硕士学位论文. 北京: 中国农业科学院, 2017.
- [41] KMET V, BODA K, JAVORSKÝ P, et al. Dynamics of enzymatic activity development in the adherent rumen microflora[J]. *Archiv für Tierernährung*, 1986, 36(7):621-628.
- [42] 王宝山. 日粮类型对小尾寒羊小肠各段消化酶活性影响的研究[D]. 硕士学位论文. 保定: 河北农业大学, 2003.
- [43] 李佩健. 断奶日龄及蛋白质来源对羔羊增重和消化生理的影响[D]. 硕士学位论文. 重庆: 西南大学, 2009.

Effects of Neutral Detergent Fiber Level of Starter on Tissue Morphology and Digestive Enzyme Activities in Digestive Tract of Lambs

WANG Xiaojuan¹ LI Fadi^{1,2} WANG Shiqin² NIAN Fang³ LI Chong¹
WANG Weimin¹ LIU Ting¹

(1. College of Animal Science and Technology, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China; 2. College of Pastoral Agriculture Science and Technology, Lanzhou University, Lanzhou 730020, China; 3. College of Science, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China)

Abstract: This experiment was conducted to study the effects of neutral detergent fiber (NDF) level of starter on tissue morphology and digestive enzyme activities in digestive tract of lambs. Eighteen healthy newborn male *Hu* lambs [birth weight of (3.01±0.12) kg] were randomly divided into 3 groups with 6 lambs per group. Lambs in the control group was suckled with ewe, and others in experimental groups were suckled with ewe and fed the starters which NDF levels were 15.13% (high NDF level group) and 10.00% (low NDF level group) at 7 days of age, respectively. All lambs were slaughtered at 35 days of age. The results showed as follows: 1) the papilla length and muscular thickness in rumen, the papilla length, papilla width and muscular thickness in reticulum, the papilla width and muscular thickness in omasum, and the muscular thickness in abomasums of high NDF level group were significantly higher than those of the control group ($P<0.01$), and the papilla length in omasum and muscular thickness in abomasum was significantly higher than those of the control group ($P<0.05$). The papilla length in rumen and muscular thickness in reticulum of high NDF level group were significantly higher than those of low NDF level group ($P<0.01$), and the papilla width, muscular thick-

ness in omasum and muscular thickness in abomasum were significantly higher than those of low NDF level group ($P<0.05$). 2) The crypt depth in duodenum of high and low NDF level group was significantly lower than that of the control group ($P<0.01$), and the muscular thickness in duodenum of high and low NDF level group was significantly higher than that of the control group ($P<0.01$). The villus length in jejunum of high NDF level group was significantly higher than that of the control group and low NDF level group ($P<0.01$), the crypt depth in jejunum of high and low NDF level groups was significantly lower than that of the control group ($P<0.01$), and the muscular thickness in jejunum of high NDF level group was significantly higher than that of the control group ($P<0.05$). The villus length in ileum of high and low NDF level groups was significantly higher than that of the control group ($P<0.01$), and the muscular thickness in ileum of low NDF level group was significantly higher than that of the control group ($P<0.01$). 3) The rumen protease activity of the control group was significantly higher than that of high and low NDF level groups ($P<0.01$), and the high NDF level group was significantly higher than that of low NDF level group ($P<0.01$); the rumen α -amylase activity of low NDF level group was significantly higher than that of the control group ($P<0.01$). The jejunum α -amylase activity of low NDF level group was significantly higher than that of the control group and high NDF level group ($P<0.01$), and the activity of trypsin in duodenum, jejunum and ileum of low NDF level group was significantly higher than that of the control group ($P<0.01$). In conclusion, the 15.13% NDF level of starter is beneficial to the development of digestive tract of lambs before weaning. [*Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2020, 32(4):1704-1712]

Key words: starter; NDF; stomach; small intestine; tissue morphology; digestive enzyme activities