

# 不同青贮玉米品种对羔羊胃肠道组织形态及发酵参数的影响

马淑敏<sup>1</sup>, 焦婷<sup>1\*</sup>, 师尚礼<sup>1</sup>, 高永权<sup>1</sup>, 陈鑫<sup>1</sup>, 张霞<sup>1</sup>, 赵生国<sup>2</sup>

(1. 甘肃农业大学草业学院, 草业生态系统教育部重点实验室, 甘肃省草业工程实验室, 中-美草地畜牧业可持续发展研究中心, 甘肃 兰州 730070; 2. 甘肃农业大学动物科学技术学院, 甘肃 兰州 730070)

**摘要:**【目的】研究不同品种青贮玉米对羔羊胃肠道组织形态及发酵参数的影响。【方法】选择体况及体重相近的4月龄湖羊30只, 随机分为3组, 每组10只, 分别饲喂豫青贮23(YQZ组)、屯玉168(TY组)和龙生1号(LS组)青贮玉米, 自由采食, 满足试羊维持需要; 同时各组饲喂等量相同的精料补充料, 以满足生长需要。正试期60 d后, 各组随机选择5只进行屠宰, 测定羔羊胃肠道组织形态及发酵参数变化。【结果】不同品种青贮玉米显著影响肠道pH、氨态氮(NH<sub>3</sub>-N)和挥发酸(VFA)浓度( $P < 0.05$ ), YQZ组羔羊十二指肠中食糜乙酸(AA)、丙酸(PA)及总酸(TVFA)含量均显著高于其他两组( $P < 0.05$ ), 结肠中则AA含量显著高于其他两组( $P < 0.05$ ); YQZ组和TY组羔羊瘤胃乳头长度、乳头宽度、十二指肠绒毛长度及盲结肠肌层厚度均显著高于LS组( $P < 0.05$ )。【结论】不同品种青贮玉米可以不同程度地改变羔羊胃肠道组织形态及发酵参数, 且YQZ组青贮玉米更有利于羔羊胃肠道发育。

**关键词:** 青贮玉米品种; 胃肠道; 发酵参数; 组织形态

中图分类号: S548 文献标志码: A 文章编号: 1009-5500(2024)06-0233-07

DOI: 10.13817/j.cnki.cyyep.2024.06.026



中国是农业大国, 拥有着广袤的土地, 畜牧业也有着天然的优势, 随着社会经济的发展, 人们对牛羊肉等畜产品的消费水平逐年上升, 这种消费导向间接推动着畜牧业的高速发展。与发达国家相比, 中国的畜牧业仍比较落后, 优质牧草是制约着我国畜牧业发展的关键问题。青贮玉米具有柔软多汁、营养价值高、利于动物消化吸收等优点, 是反刍动物重要的饲料来源<sup>[1]</sup>。不同青贮玉米品种活秆成熟性能不同, 营养成分差异较大, 对青贮发酵品质有较大影响<sup>[2]</sup>, 有研

究表明, 豫青贮23因其较好的持绿性和活秆成熟性状, 其青贮后因高粗蛋白(CP)和乳酸(LA)含量而具有高的青贮品质, 而屯玉168品种因相对低的纤维含量及高淀粉含量而具有更高的能量和更好的适口性<sup>[3]</sup>。体外产气研究表明, 不同品种青贮玉米对瘤胃发酵特性都有不同程度的影响<sup>[4]</sup>, 付佳伟等<sup>[5]</sup>利用不同品种玉米进行体外瘤胃发酵试验, 发现各组瘤胃氨态氮和微生物蛋白合成量不同。课题组前期用筛选的3种青贮玉米饲喂羔羊, 结果表明饲喂屯玉168组和豫青贮23组羔羊干物质、粗蛋白和纤维的实际摄入量、屠宰率显著高于龙生1号组, 屯玉168组平均日增重、末重显著高于龙生1号组, 但造成这种结果的原因还有待研究。

反刍动物胃肠道有分解纤维素、半纤维素、淀粉、蛋白质和脂肪等营养物质的功能, 对维持宿主的长期健康起着极其重要的作用<sup>[6]</sup>。胃肠道对营养物质进行消化和吸收, 而动物胃肠道发酵参数及组织形态也受

收稿日期: 2023-02-03; 修回日期: 2023-02-27

基金资助: 农业农村部农牧交错带优质青粗饲料资源开发利用技术集成示范项目(16200157); 新疆重点产业创新发展支撑计划项目(2022DB017)

作者简介: 马淑敏(1997-), 女, 甘肃镇原人, 硕士研究生。

E-mail: 3490150984@qq.com

\*通信作者。E-mail: jiaoting207@126.com

到机体摄入日粮的调控。短链脂肪酸(Short chain fatty acids, SCFA)是胃肠道发酵产物,包括乙酸、丙酸和丁酸等,这些 SCFA 被宿主吸收并作为能源,其中瘤胃发酵产生的 SCFA 可满足宿主高达 70% 的能量需求<sup>[7]</sup>,同时可以降低消化道内环境 pH,抑制有害菌的生长,防止消化道功能紊乱<sup>[8]</sup>,而在幼龄时期,反刍动物的瘤胃还没有发育完全,后肠道发酵产生的 SCFA 是幼龄反刍动物生长能量来源的一个重要补充。反刍动物胃肠道组织形态结构的变化可以反映其消化功能,对其育肥性能和屠宰性能有直接影响。因此,利用不同品种青贮玉米饲喂羔羊,其生产性能的变化可能与其胃肠道发酵及组织形态结构的变化有关。然而,青贮玉米品种是否影响了羔羊的胃肠道发酵及形态结构,其变化规律是否与其育肥性能和屠宰性能结果相一致尚不清楚。鉴于此,本研究主要探讨不同品种青贮玉米羔羊胃肠道发酵参数及组织形

态的变化规律,为青贮玉米的利用开发提供形态学基础和理论依据。

## 1 材料和方法

### 1.1 试验时间与地点

本试验于 2021 年 10 月 21 日至 2022 年 1 月 18 日在甘肃省会宁县会师镇进行,试验周期 90 d,其中过渡期 15 d,预试期 15 d,正试期 60 d。

### 1.2 试验材料

本试验所选全株青贮玉米为种植于甘肃省会宁县会师镇的青贮玉米品种屯玉 168(*Zea mays* L. 'Tuny 168')、豫青贮 23(*Zea mays* L. 'Yu Silage 23')以及当地普遍种植的龙生 1 号(*Zea mays* L. 'Longsheng 1')收割时期为乳熟后期至蜡熟前期,留茬高度约 10 cm,刈割后揉丝粉碎至 2~5 cm,水分约 65%~70% 时,装入青贮袋,发酵 60 d 备用。青贮后的青贮玉米营养成分见表 1。

表 1 不同品种青贮玉米青贮后营养成分(干物质基础)

Table 1 Nutrient content after silage of different varieties of silage corn (DM basis)

| 项目       | YQZ 组                   | TY 组                    | LS 组                    |
|----------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| 干物质/%    | 32.71±0.28 <sup>b</sup> | 32.82±1.13 <sup>b</sup> | 35.41±0.36 <sup>a</sup> |
| 粗蛋白/%    | 6.48±0.03               | 6.54±0.26               | 6.90±0.04               |
| 中性洗涤纤维/% | 46.64±0.40              | 43.64±0.88              | 47.22±1.57              |
| 酸性洗涤纤维/% | 26.86±0.02              | 25.79±0.72              | 26.71±0.65              |
| 粗灰分/%    | 3.95±0.34               | 4.40±0.05               | 4.95±0.24               |
| 钙/%      | 0.40±0.04               | 0.34±0.04               | 0.42±0.03               |
| 磷/%      | 0.26±0.02               | 0.24±0.02               | 0.31±0.00               |
| 氨态氮/%    | 0.04±0.00               | 0.03±0.00               | 0.03±0.00               |
| pH       | 4.09±0.00 <sup>a</sup>  | 4.05±0.00 <sup>b</sup>  | 4.10±0.00 <sup>a</sup>  |
| 乳酸/%     | 2.32±0.03               | 3.04±0.44               | 2.38±0.11               |
| 乙酸/%     | 1.47±0.01 <sup>a</sup>  | 1.70±0.11 <sup>a</sup>  | 1.09±0.03 <sup>b</sup>  |
| 戊酸/%     | 0.10±0.00               | 0.10±0.04               | 0.07±0.00               |

注:同行数据肩标不同小写字母表示差异显著( $P < 0.05$ ),下表同。

### 1.3 试验设计

试验选择体况及体重(19.61±0.26)kg 相近的 4 月龄湖羊 30 只,随机分为 3 组,每组 10 只,分别饲喂豫青贮 23(YQZ 组)、屯玉 168(TY 组)和龙生 1 号(LS 组)青贮玉米,自由采食,满足试羊维持需要;同时各组饲喂等量相同的精料补充料(表 2),以满足生长需要。因此,3 组分别为:YQZ:豫青贮 23+精料补充料;TY:屯玉 168+精料补充料;LS:龙生 1 号+精料补充料(对照组)。试验过渡期 15 d,预试期 15 d,正试期 60 d 后,各组随机选择 5 只进行屠宰,测定胃肠道发酵

参数及形态特征。参照 NRC(2007)肉羊饲养标准中体重为 20 kg 左右,日增重 200 g 和生长营养(energy for grow, Eg)需要为 0.42 Mcal/d 的育肥羔羊配制精料补充料。

### 1.4 饲养管理

每天饲喂 2 次(7:00 和 17:00),期间自由饮水,定时清理圈舍,保持圈舍干净,并根据饲养场要求定期免疫。

### 1.5 样品采集与处理

羔羊屠宰当天,早上空腹,颈动脉放血处死,解

表2 精料补充料组成及营养水平(干物质基础)

Table 2 Composition and nutritional levels of concentrate supplement(DM basis)

| 原料               | 比例/%   | 营养水平 <sup>2</sup> | 含量    |
|------------------|--------|-------------------|-------|
| 玉米               | 48.54  | 干物质/%             | 88.33 |
| 小麦麸              | 9.71   | 粗蛋白/%             | 14.65 |
| 豆粕               | 15.53  | 钙/%               | 1.75  |
| 亚麻仁饼             | 15.53  | 磷/%               | 0.92  |
| 棉籽粕              | 6.80   | 中性洗涤纤维/%          | 37.21 |
| 预混料 <sup>1</sup> | 3.88   | 酸性洗涤纤维/%          | 13.18 |
| 合计               | 100.00 |                   |       |

注:1 预混料为每千克饲料提供:Cu 200~550 mg, Fe 1 600~5 000 mg, Zn 1 800~4 500 mg, Se 8~20 mg, Co 8~30 mg, Mn 1 200~3 000 mg, I 15~50 mg, VA<sub>1</sub> 60~400 KIU, VD<sub>1</sub> 35~90 KIU。2 营养水平为实测值。

剖,将各胃室分割,去食糜;在瘤胃背囊顶部取1块直径为2~3 cm的圆片状样,分别浸入4%多聚甲醛磷酸缓冲液中固定,留待组织学检测;小肠大肠按解剖位置分十二指肠、回肠、空肠、盲肠、结肠5段,各段各取3 cm左右,用新配制的生理盐水冲洗干净后,每段再分成3份,分别浸入4%多聚甲醛磷酸缓冲液中固定,留待做石蜡切片。

十二指肠和结肠内容物:取各部位内容物10 mL于-20℃保存,用于肠道食糜发酵参数测定。

### 1.6 指标测定及方法

在Olympus BX51显微镜下观察早期断奶羔羊瘤胃上皮和肠壁结构,使用Olympus DP70图像采集系统取样,应用Image-Pro Plus 5.1 Chinese图像分析系统测量瘤胃乳头高度、乳头宽度,肠各段绒毛长度、隐窝深度、肌层厚度和黏膜厚度等,并计算绒毛长度(V)与隐窝深度(C)的比值(V/C)<sup>[9]</sup>。每个样本观察3张非连续切片,每张切片选取3个视野,每个视野分别测定5组数据,其平均值作为1个测定数据。利用pH计(S210, Mettler Toledo)测定十二指肠、结肠食糜pH值;采用苯酚一次氯酸钠比色法测定十二指肠、结肠食糜氨态氮(NH<sub>3</sub>-N)含量<sup>[10]</sup>;肠道内容物5 000×g、4℃离心10 min,取1 mL上清液,按9:1的比例添加25%的偏磷酸,利用气相色谱仪(7890A,安捷伦公司)上机测定十二指肠、结肠食糜乙酸、丙酸、丁酸、异丁酸、戊酸、异戊酸及总挥发酸含量<sup>[11]</sup>。

### 1.7 数据处理

使用SPSS 26.0软件对数据进行单因素(one-way ANOVA)分析,用Excel 2010进行数据整理及图表制作,图表中数据用平均值和标准误表示分析结果。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同品种青贮玉米对羔羊肠道发酵参数的影响

十二指肠中,YQZ组食糜pH显著低于TY和LS组( $P<0.05$ ),食糜乙酸及总酸含量显著高于TY和LS组( $P<0.05$ ),而YQZ和TY组食糜氨态氮量显著高于LS组( $P<0.05$ )。在结肠中YQZ组食糜氨态氮含量显著高于TY和LS组( $P<0.05$ ),而TY组乙酸含量显著高于YQZ和LS组( $P<0.05$ )(表3)。

### 2.2 不同品种青贮玉米对羔羊胃肠道组织形态的影响

瘤胃中,YQZ组乳头长度、肌层厚度显著高于TY和LS组( $P<0.05$ ),YQZ组、TY组乳头宽度显著高于LS组( $P<0.05$ );十二指肠中,YQZ、TY组绒毛长度,绒毛宽度显著高于LS组,隐窝深度显著低于LS组( $P<0.05$ ),YQZ组肌层厚度显著高于LS组( $P<0.05$ ),TY组绒毛长度、绒毛宽度显著高于YQZ组、LS组;在空肠中,TY组绒毛长度、绒毛宽度显著高于LS组( $P<0.05$ ),YQZ组绒毛宽度显著高于TY和LS组( $P<0.05$ ),TY组粘膜下层厚度显著低于YQZ和LS组( $P<0.05$ );回肠中,YQZ组绒毛宽度显著高于TY和LS组( $P<0.05$ ),TY组肌层厚度、绒毛宽度显著高于TY和LS组( $P<0.05$ );盲肠中,YQZ和TY组肌层厚度显著高于LS组( $P<0.05$ ),TY组粘膜下层厚度显著高于YQZ和LS组( $P<0.05$ ),LS组粘膜层厚度显著高于YQZ和TY组( $P<0.05$ );结肠中,YQZ组肌层厚度、粘膜层厚度显著高于TY和LS组( $P<0.05$ ),LS组粘膜下层厚度最低( $P<0.05$ )(表4)。

## 3 讨论

### 3.1 不同品种青贮玉米对羔羊肠道发酵产物的影响

碳水化合物在反刍动物瘤胃内被微生物发酵生成乙酸、丙酸和丁酸等SCFA,它们可为宿主提供70%左右能量来源,同时后肠道微生物发酵产生的SCFA是能量来源的重要补充。对于幼龄反刍动物,

表3 不同品种青贮玉米对羔羊肠道发酵产物的影响

Table 3 Effects of silage maize varieties on intestinal fermentation products of lambs

| 位置   | 项目                             | 处理                 |                    |                    | 标准误   | P值    |
|------|--------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|-------|-------|
|      |                                | YQZ                | TY                 | LS                 |       |       |
| 十二指肠 | pH                             | 6.16 <sup>b</sup>  | 6.62 <sup>a</sup>  | 6.71 <sup>a</sup>  | 0.089 | 0.000 |
|      | 氨态氮/(mg·100 mL <sup>-1</sup> ) | 1.09 <sup>a</sup>  | 1.15 <sup>a</sup>  | 0.26 <sup>b</sup>  | 0.144 | 0.000 |
|      | 乙酸/(mmol·L <sup>-1</sup> )     | 2.86 <sup>a</sup>  | 1.89 <sup>b</sup>  | ND                 | 0.144 | 0.000 |
|      | 丙酸/(mmol·L <sup>-1</sup> )     | 1.01               | 0.83               | ND                 | 0.269 | 0.053 |
|      | 异丁酸/(mmol·L <sup>-1</sup> )    | ND                 | ND                 | ND                 | —     | —     |
|      | 丁酸/(mmol·L <sup>-1</sup> )     | 4.27               | ND                 | ND                 | —     | —     |
|      | 异戊酸/(mmol·L <sup>-1</sup> )    | 1.04               | ND                 | ND                 | —     | —     |
|      | 戊酸/(mmol·L <sup>-1</sup> )     | ND                 | ND                 | ND                 | —     | —     |
|      | 己丙比 A/P                        | 2.91               | 2.28               | ND                 | 0.287 | 0.325 |
|      | 总挥发酸/(mmol·L <sup>-1</sup> )   | 9.17 <sup>a</sup>  | 2.72 <sup>b</sup>  | ND                 | 1.446 | 0.000 |
| 结肠   | pH                             | 7.19               | 7.12               | 7.20               | 0.020 | 0.198 |
|      | 氨态氮/(mg·100 mL <sup>-1</sup> ) | 12.96 <sup>a</sup> | 10.81 <sup>b</sup> | 8.67 <sup>c</sup>  | 0.634 | 0.000 |
|      | 乙酸/(mmol·L <sup>-1</sup> )     | 48.47 <sup>b</sup> | 50.77 <sup>a</sup> | 48.21 <sup>b</sup> | 0.502 | 0.040 |
|      | 丙酸/(mmol·L <sup>-1</sup> )     | 10.78              | 10.32              | 10.76              | 0.192 | 0.611 |
|      | 异丁酸/(mmol·L <sup>-1</sup> )    | 0.65               | 0.92               | 0.84               | 0.060 | 0.162 |
|      | 丁酸/(mmol·L <sup>-1</sup> )     | 4.08               | 3.11               | 2.91               | 0.424 | 0.217 |
|      | 异戊酸/(mmol·L <sup>-1</sup> )    | 1.14               | 0.92               | 0.81               | 0.065 | 0.089 |
|      | 戊酸/(mmol·L <sup>-1</sup> )     | 0.69               | 0.64               | 0.63               | 0.039 | 0.839 |
|      | 己丙比 A/P                        | 4.50               | 4.95               | 4.48               | 0.121 | 0.215 |
|      | 总挥发酸/(mmol·L)                  | 65.81              | 66.68              | 64.16              | 0.612 | 0.258 |

注:ND,未检测出。

其瘤胃仍未发育完全,但此时动物处于一个快速增长阶段,能量供给能否满足其生长发育的需求对于幼龄反刍动物生长尤为关键<sup>[12]</sup>。因此,关注不同品种青贮玉米对后肠道发酵产物 SCFA 产量的影响,对于羔羊生长发育有重要意义。

NH<sub>3</sub>-N 和 VFA 是评价反刍动物胃肠道发酵参数的主要指标,间接反映了其内环境状况和健康水平。NH<sub>3</sub>-N 是饲料蛋白质、肽、氨基酸及其他含氮化合物在胃肠道内分解的终产物,是微生物合成菌体蛋白的主要原料,NH<sub>3</sub>-N 含量主要受饲粮蛋白质水平、饲粮来源和精粗比等的影响<sup>[13]</sup>,本试验结果表明,十二指肠、结肠中 YQZ、TY 组氨态氮含量显著高于 LS 组 ( $P < 0.05$ ),表明不同品种青贮玉米可以影响羔羊后肠道中氮代谢,这可能是由于 YQZ 组青贮玉米较好的持绿性和活秆成熟性状,而 TY 组青贮玉米因相对低的纤维含量及高淀粉含量具有更高的能量和更好的适口性,使羔羊摄入了更多粗蛋白,导致肠道氨态氮含量升高<sup>[13]</sup>。VFA 是反映胃肠道发酵的重要指标之一,反刍动物可将饲粮中的碳水化合物降解并转化为乙酸、丙酸、丁酸等 VFA,为机体提供 70%~80% 的能

量需求<sup>[14]</sup>。VFA 浓度主要取决于 VFA 产量和吸收速率,而 VFA 的吸收速率受食糜通过速率和胃肠道内容物的缓冲能力的影响。Schoonmaker 等<sup>[15]</sup>研究发现,不同来源的粗饲料经消化道发酵所产生的 VFA 浓度不同。本试验结果表明,YQZ 组十二指肠食糜乙酸及总酸含量显著高于 TY 和 LS 组 ( $P < 0.05$ ),TY 组结肠食糜乙酸含量显著高于 YQZ 和 LS 组 ( $P < 0.05$ ),这可能是由于 YQZ 组青贮玉米自身持绿性和适口性更好导致羔羊采食量不同,而研究表明胃肠道总挥发酸浓度随固体采食量的增加而增加<sup>[16]</sup>,因此 YQZ 组和 TY 组挥发酸浓度受采食量增加影响而升高。

### 3.2 不同品种青贮玉米对羔羊胃肠道组织形态发育的影响

绒毛宽度、绒毛长度、隐窝深度以及 V/C 是反映动物肠道发育及其对营养物质吸收的重要指标。本课题组的前期研究结果发现,与饲喂 LS 组玉米相比,YQZ、TY 组羔羊的育肥性能、屠宰性能显著高于 LS 组,造成这一结果的原因可能与消化道的组织形态结构发生变化有关。瘤胃乳头是瘤胃上皮的小突起,瘤胃乳头长和乳头宽等形态学结构,决定了瘤胃上皮对

表4 不同品种青贮玉米对羔羊胃肠道组织形态的影响

Table 4 Effects of silage maize varieties on gastrointestinal tissue morphology of lambs

| 位置   | 项目                    | 处理                   |                      |                      | 标准误    | P值    |
|------|-----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|--------|-------|
|      |                       | YQZ                  | TY                   | LS                   |        |       |
| 瘤胃   | 乳头长度/ $\mu\text{m}$   | 2440.58 <sup>a</sup> | 2256.10 <sup>b</sup> | 2230.25 <sup>b</sup> | 38.429 | 0.017 |
|      | 乳头宽度/ $\mu\text{m}$   | 608.20 <sup>b</sup>  | 717.48 <sup>a</sup>  | 482.86 <sup>c</sup>  | 34.893 | 0.000 |
|      | 肌层厚度/ $\mu\text{m}$   | 2031.80 <sup>a</sup> | 1982.01 <sup>b</sup> | 1981.66 <sup>b</sup> | 9.865  | 0.024 |
| 十二指肠 | 绒毛长度/ $\mu\text{m}$   | 438.42 <sup>a</sup>  | 440.99 <sup>a</sup>  | 351.72 <sup>b</sup>  | 16.125 | 0.005 |
|      | 绒毛宽度/ $\mu\text{m}$   | 161.03 <sup>a</sup>  | 164.70 <sup>a</sup>  | 105.71 <sup>b</sup>  | 11.066 | 0.017 |
|      | 隐窝深度/ $\mu\text{m}$   | 499.08 <sup>b</sup>  | 445.62 <sup>c</sup>  | 531.60 <sup>a</sup>  | 13.092 | 0.001 |
|      | 肌层厚度/ $\mu\text{m}$   | 460.38 <sup>a</sup>  | 420.84 <sup>ab</sup> | 416.81 <sup>b</sup>  | 9.185  | 0.078 |
|      | 粘膜下层厚度/ $\mu\text{m}$ | 59.71                | 42.93                | 35.87                | 4.927  | 0.114 |
|      | 绒隐比V/C                | 0.88 <sup>b</sup>    | 0.99 <sup>a</sup>    | 0.66 <sup>c</sup>    | 0.050  | 0.000 |
|      | 绒毛长度/ $\mu\text{m}$   | 557.04 <sup>b</sup>  | 667.51 <sup>a</sup>  | 536.76 <sup>b</sup>  | 22.874 | 0.009 |
| 空肠   | 绒毛宽度/ $\mu\text{m}$   | 167.36 <sup>a</sup>  | 115.20 <sup>b</sup>  | 136.02 <sup>c</sup>  | 7.638  | 0.000 |
|      | 隐窝深度/ $\mu\text{m}$   | 553.70               | 575.16               | 565.38               | 13.479 | 0.849 |
|      | 肌层厚度/ $\mu\text{m}$   | 298.55               | 248.19               | 249.99               | 15.428 | 0.364 |
|      | 粘膜下层厚度/ $\mu\text{m}$ | 48.08 <sup>a</sup>   | 34.34 <sup>b</sup>   | 46.33 <sup>a</sup>   | 2.549  | 0.023 |
|      | 绒隐比V/C                | 1.01 <sup>ab</sup>   | 1.16 <sup>a</sup>    | 0.96 <sup>b</sup>    | 0.038  | 0.048 |
| 回肠   | 绒毛长度/ $\mu\text{m}$   | 559.44 <sup>ab</sup> | 604.28 <sup>a</sup>  | 483.56 <sup>b</sup>  | 21.016 | 0.026 |
|      | 绒毛宽度/ $\mu\text{m}$   | 176.02 <sup>a</sup>  | 142.07 <sup>b</sup>  | 126.59 <sup>b</sup>  | 7.714  | 0.001 |
|      | 隐窝深度/ $\mu\text{m}$   | 318.82               | 310.34               | 337.36               | 11.736 | 0.692 |
|      | 肌层厚度/ $\mu\text{m}$   | 273.84 <sup>b</sup>  | 428.87 <sup>a</sup>  | 325.47 <sup>b</sup>  | 24.980 | 0.005 |
|      | 粘膜下层厚度/ $\mu\text{m}$ | 34.54                | 34.95                | 36.46                | 0.650  | 0.507 |
|      | 绒隐比V/C                | 1.76 <sup>ab</sup>   | 1.95 <sup>a</sup>    | 1.46 <sup>b</sup>    | 0.087  | 0.031 |
| 盲肠   | 肌层厚度/ $\mu\text{m}$   | 684.23 <sup>a</sup>  | 616.76 <sup>a</sup>  | 519.85 <sup>b</sup>  | 27.550 | 0.016 |
|      | 粘膜层厚度/ $\mu\text{m}$  | 552.34 <sup>c</sup>  | 717.36 <sup>b</sup>  | 802.88 <sup>a</sup>  | 37.021 | 0.000 |
|      | 粘膜下层厚度/ $\mu\text{m}$ | 49.70 <sup>c</sup>   | 75.57 <sup>a</sup>   | 60.19 <sup>b</sup>   | 3.903  | 0.000 |
| 结肠   | 肌层厚度/ $\mu\text{m}$   | 522.23 <sup>a</sup>  | 469.65 <sup>b</sup>  | 350.22 <sup>c</sup>  | 25.913 | 0.000 |
|      | 粘膜层厚度/ $\mu\text{m}$  | 730.13 <sup>a</sup>  | 513.73 <sup>b</sup>  | 431.24 <sup>c</sup>  | 45.546 | 0.000 |
|      | 粘膜下层厚度/ $\mu\text{m}$ | 59.47 <sup>a</sup>   | 58.35 <sup>a</sup>   | 51.89 <sup>b</sup>   | 1.306  | 0.006 |

养分吸收和离子的转运能力<sup>[17]</sup>。本试验结果发现, YQZ组瘤胃肌层厚度显著高于TY和LS组( $P < 0.05$ )。研究发现, 瘤胃肌层厚度与饲料中木质素及纤维素的含量, 即机械性消化的强度呈正比<sup>[18]</sup>, 因此, 本试验结果得出的不同品种青贮玉米对羔羊胃壁肌层厚度有显著影响可能与青贮玉米中的木质素含量有关, 确切原因有待于进一步探讨。一般认为, 饲料发酵产生的VFA等的化学刺激对瘤胃乳头的发育起主要作用, VFA促进瘤胃乳头的发育, 其中丁酸刺激作用最强, 其次为丙酸, 乙酸最弱<sup>[19]</sup>, 因此本试验中YQZ组瘤胃乳头长度高于TY和LS组( $P < 0.05$ ), YQZ组、TY组瘤胃乳头宽度显著高于LS组( $P < 0.05$ ), 可能是由于YQZ和TY组羔羊摄入的碳水化合物增加而产生了更多VFA促进乳头发育。

小肠是动物主要的消化吸收部位, 与动物的消化

道功能及生长发育有密切联系<sup>[20]</sup>。反映动物肠道消化功能的重要指标有小肠绒毛长度、宽度、隐窝深度、V/C等<sup>[21]</sup>。肠绒毛对营养物质消化吸收起重要作用, 小肠绒毛越长, 其消化吸收部位面积越大, 消化吸收能力就越强。隐窝深度是反映细胞生成率的指标, 随着隐窝变浅, 肠上皮细胞的消化液分泌能力增强, 从而化学消化功能加强<sup>[22]</sup>。本试验得出, YQZ、TY组十二指肠绒毛长度, 绒毛宽度显著高于LS组, 十二指肠隐窝深度显著低于LS组( $P < 0.05$ ), YQZ组空肠和回肠绒毛宽度显著高于TY和LS组( $P < 0.05$ ), TY组空肠绒毛长度、绒隐比显著高于LS组( $P < 0.05$ )。饲料蛋白质水平越高, 十二指肠、空肠和回肠绒毛长度越长, 隐窝深度越浅, 绒隐比越大, 小肠绒毛发育越好<sup>[23]</sup>, 因此, YQZ和TY组绒毛发育良好的原因可能是由于羔羊摄入了更多粗蛋白促进了绒毛发育。YQZ组十二指肠肌层厚度显著高于LS组( $P < 0.05$ ),

YQZ 组结肠肌层厚度显著高于 TY 和 LS 组 ( $P < 0.05$ ), 而肌层厚度与饲料中木质素及纤维素的含量, 即机械性消化的强度呈正比<sup>[18]</sup>, 因此, 可能是由于 YQZ 组玉米较好的持绿性和活秆成熟性状使羔羊摄入了更多纤维素促进肌层发育。盲肠和结肠可以消化小肠未消化的养分, 主要降解纤维素、多糖等生成 VFA, 吸收水分和少量营养物质, 组织形态结构则主要影响物质的吸收。羊的大肠无绒毛、固有层内有直而密集的大肠腺, 肠腺由单层柱状细胞和杯状细胞组成, 形态学指标包括肌层和黏膜层的厚度<sup>[24]</sup>。本试验中, 各处理组的盲结肠肌层和黏膜层厚度有显著差异, TY 组盲结肠肌层厚度、粘膜下层厚度显著高于 LS 组 ( $P < 0.05$ ); YQZ、TY 组结肠肌层厚度、粘膜层厚度、粘膜下层厚度显著高于 LS 组 ( $P < 0.05$ ), 而不同品种青贮玉米活秆成熟性能及适口性等有差异, 使 YQZ、TY 组干物质、纤维、粗蛋白等摄入量都高于 LS 组进而影响肌层和粘膜层厚度。这说明不同品种青贮玉米能够调节胃肠道组织的形态结构, 适宜的玉米品种使胃肠道发育良好, 能够更好地消化吸收营养物质。

#### 4 结论

不同品种青贮玉米显著影响羔羊胃肠道组织形态及发酵参数。YQZ 组羔羊十二指肠食糜乙酸、丙酸及总酸含量均显著高于其他两组, 结肠中则乙酸含量显著高于其他两组; YQZ 组和 TY 组羔羊瘤胃壁乳头长度、乳头宽度及盲结肠肌层厚度均显著高于 LS 组。

#### 参考文献:

- [1] 盘道兴, 李凡, 何鸿源, 等. 不同微生物菌剂对全株玉米青贮感官评价效果的影响[J]. 粮食与饲料工业, 2021(3): 26—29.
- [2] 曾德斌, 王军民, 吴向阳, 等. 青贮玉米不同品种和生育时期植株体的营养品质分析[J]. 湖北农业科学, 2019, 58(5): 85—87.
- [3] 马淑敏, 焦婷, 师尚礼, 等. 混合型乳酸菌制剂对不同品种青饲玉米青贮品质的影响[J]. 草地学报, 2022, 30(6): 1558—1568.
- [4] 王黎, 王传杰, 潘旻, 等. 4个青贮玉米品种的青贮发酵品质及瘤胃降解特性的比较[J]. 草地学报, 2022, 30(3): 568—574.
- [5] 付佳伟, 王俊, 郁冯艳, 等. 不同品种青贮玉米对反刍动物瘤胃发酵特性的影响[J]. 安徽科技学院学报, 2018, 32(6): 22—27.
- [6] Firkins J L, Yu Z. Ruminant nutrition symposium: How to use data on the rumen microbiome to improve our understanding of ruminant nutrition[J]. Journal of Animal Science, 2015, 93(4): 1450—1470.
- [7] Bergman E N. Energy contributions of volatile fatty acids from the gastrointestinal tract in various species[J]. Physiological Reviews, 1990, 70(2): 567—590.
- [8] Cummings J H, Pomare E W, Branch W J, *et al.* Short chain fatty acids in human large intestine, portal, hepatic and venous blood[J]. Gut, 1987, 28(10): 1221—1227.
- [9] 张明良, 张海龙, 马世鹏, 等. 花椒精油对小尾寒羊生产性能和胃肠道组织结构的影响[J]. 中国畜牧兽医, 2023, (2): 556—563.
- [10] 高瑞红, 徐嘉, 张魏斌, 等. 乳酸菌制剂对青贮玉米发酵品质和有氧稳定性的影响[J]. 中国饲料, 2018(8): 70—74.
- [11] 王荣, 颜志成, 王玉诗, 等. 大黄和大黄素对外瘤胃发酵甲烷、氢气和挥发性脂肪酸生成的影响[J]. 动物营养学报, 2015, 27(3): 853—862.
- [12] Song Y, Malmuthuge N, Steele M A, *et al.* Shift of hindgut microbiota and microbial short chain fatty acids profiles in dairy calves from birth to pre-weaning[J]. Fems Microbiology Ecology, 2018, 93(3): 179.
- [13] 魏子维, 池宙, 邓铭, 等. 饲料精料和丙酸铬水平对雷州山羊生长性能、粪便发酵参数和微生物区系的影响[J]. 动物营养学报, 2021, 33(10): 5781—5793.
- [14] Ma J, Wang C, Wang Z S, *et al.* Active dry yeast supplementation improves the growth performance, rumen fermentation, and immune response of weaned beef calves[J]. Animal Nutrition, 2021, 7(4): 1352—1359.
- [15] Schoonmaker J P, Cecava M J, Faulkner D B, *et al.* Effect of source of energy and rate of growth on performance, carcass characteristics, ruminal fermentation, and serum glucose and insulin of early-weaned steers[J]. Journal of Animal Science, 2003, 81(4): 843—855.
- [16] Wang S Q, Ma T, Zhao G H, *et al.* Effect of age and weaning on growth performance, rumen fermentation, and serum parameters in lambs fed starter with limited ewe-lamb interaction[J]. Animals, 2019, 9(10): 825.
- [17] 张海涛, 王加启, 卜登攀, 等. 影响犊牛瘤胃发育的因素研究[J]. 乳业科学与技术, 2008(2): 86—89.
- [18] 乔灵, 包花尔, 吴美玲, 等. 8~9个月龄阿尔巴斯绒山羊在不同饲养条件下网胃的形态学变化[J]. 黑龙江畜牧兽医, 2005(9): 7—9.
- [19] Flatt W P, Warner R G, Loosli J K. Influence of purified

- m aterials on the developm ent of the rum inant stom ach [J]. *Journal of Dairy Science*, 1958, 41 (11) : 1593–1600.
- [20] Xu R J, Mellor D J, Birtles M J, *et al.* Effects of oral IGF- I or IGF- II on digestive organ growth in new-born piglets[J]. *Neonatology*, 1994, 66(5):280–287.
- [21] Lindvall H, Nevsten P, Strom K, *et al.* A novel hormone-sensitive lipase isoform expressed in pancreatic $\beta$ -cells[J]. *Journal of Biological Chemistry*, 2004, 279(5):3828–3836.
- [22] Hampson D J, Kidder D E. Influence of creep feeding and weaning on brush border enzyme activities in the piglet small intestine[J]. *Research in Veterinary Science*, 1986, 40(1):24–31.
- [23] 吕凯,侯生珍,王志有,等. 饲料蛋白质水平及赖氨酸/蛋氨酸对早期断奶藏羔羊生长性能及胃肠道组织形态的影响[J]. *动物营养学报*, 2013, 25(4):743–751.
- [24] Min B R, Solaiman S. Comparative aspects of plant tannins on digestive physiology, nutrition and microbial community changes in sheep and goats: A review[J]. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 2018, 102 (5):1181–1193.

## Effects of different silage corn cultivars on tissue morphology and fermentation parameters in the gastrointestinal track of lambs

MA Shu-min<sup>1</sup>, JIAO Ting<sup>1\*</sup>, SHI Shang-li<sup>1</sup>, GAO Yong-quan<sup>1</sup>, CHEN Xin<sup>1</sup>,  
ZHANG Xia<sup>1</sup>, ZHAO Sheng-guo<sup>2</sup>

(1. *College of Grassland Science, Gansu Agricultural University, Key Laboratory for Grassland Ecosystem, Ministry of Education, Grassland Engineering Laboratory of Gansu Province, Sino-U. S. Centers for Grazing Land Ecosystem Sustainability, Lanzhou 730070, China*; 2. *College of Animal Science and Technology, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China*)

**Abstract:** 【Objective】 This study aimed to evaluate the effects of different cultivars of silage corn on the tissue morphology and fermentation parameters in the gastrointestinal track of lambs. 【Method】 Thirty four-month-old Hu lambs with similar body conditions and weights were selected and randomly divided into three groups, with each group containing 10 lambs. The groups were fed silage from three different corn cultivars: Y silage 23 (YQZ), Tunyu 168 (TY) and Longsheng 1 (LS). The lambs were allowed ad libitum access to silage to meet maintenance energy requirements, with growth energy supplied through a concentrate supplement. After 60 days of the trial period, five lambs were randomly selected from each group for slaughter to measure the changes in gastrointestinal tissue morphology and fermentation parameters. 【Result】 The results indicated that different cultivars of silage corn had significant effects on the intestinal pH, NH<sub>3</sub>-N and VFA concentrations ( $P < 0.05$ ). The contents of acetic acid, propionic acid and total volatile fatty acids in the duodenum of the YQZ group were significantly higher than those of the other two groups ( $P < 0.05$ ), while the contents of acetic acid in the colon were significantly higher than those of the other two groups ( $P < 0.05$ ). The YQZ and TY groups showed significantly greater papilla length, papilla width, villus length of small intestinal and muscle thickness of cecocolon compared to the LS group ( $P < 0.05$ ). 【Conclusion】 It can be concluded that different cultivars of silage corn affect gastrointestinal tissue morphology and fermentation characteristics in lambs to varying degrees. Among the cultivars tested, YQZ group silage corn was the most beneficial for the gastrointestinal tract development of lambs.

**Key words:** silage corn cultivars; gastrointestinal track; fermentation parameters; tissue morphology

(责任编辑:康宇坤)