

# 玉米与高丹草间作混合青贮品质及瘤胃发酵特性

王晓娟, 祁娟\*, 车美美, 杨娟弟, 贾燕伟, 赛宁刚

(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展研究中心, 甘肃 兰州 730070)

**摘要:**【目的】探究玉米与高丹草间作混贮对青贮品质及瘤胃发酵特性的影响。【方法】对玉米与高丹草行比为6:12(YG6-12)、4:8(YG4-8)、2:4(YG2-4) 3种间作模式以及玉米(Y)和高丹草(G)单作下青贮品质进行了研究。【结果】玉米单作单贮的粗蛋白含量较高, 中性洗涤纤维、酸性洗涤纤维含量较低, 高丹草单作单贮的营养品质较差。YG6-12、YG4-8和YG2-4处理组中粗蛋白含量较高丹草分别提高了14.14%、10.71%和2.08%, 酸性洗涤纤维和中性洗涤纤维含量分别较高丹草降低了16.84%、14.63%、3.63%和9.44%、2.94%、2.65%, 其中YG6-12的营养品质优于其他混贮处理组。发酵品质方面, 高丹草单作单贮的乳酸含量最高, 混贮处理组次之, 玉米单贮最低。混贮可降低高丹草的氨态氮含量, 其中YG6-12低于其他混贮处理组, 较高丹草单贮降低了32.08%, 有效提高青贮饲料的发酵品质; 混贮乙酸含量均低于玉米与高丹草单贮, 可提高青贮饲料的适口性。混贮瘤胃发酵的丁酸、乙酸、丙酸含量均介于玉米与高丹草之间。【结论】混贮可改善饲料的青贮品质以及瘤胃发酵特性, 其中玉米与高丹草以行比为6:12种植后混贮的青贮品质较其他混贮处理组较好。

**关键词:** 间作; 混贮; 营养品质; 发酵品质; 瘤胃发酵; 玉米; 高丹草

**中图分类号:** S816 **文献标志码:** A **文章编号:** 1009-5500(2023)06-0101-08

**DOI:** 10.13817/j.cnki.cycp.2023.06.014



随着我国畜牧业的快速发展, 饲草季节间供应短缺成为影响畜牧业可持续发展的关键因素<sup>[1]</sup>。通过合理的间作种植, 不仅可以充分利用种植空间, 还可以有效促进饲草增产增收<sup>[2]</sup>。黄田田等<sup>[3]</sup>研究表明: 高丹草和油菜间作可以显著提高饲草的粗蛋白和粗脂肪含量, 降低饲草酸性洗涤纤维和中性洗涤纤维含量; 瓮巧云等<sup>[4]</sup>研究表明: 间作种植能改善青贮玉米的品质, 其中玉米与大豆间作比例为2:1时的种植模式

最佳, 可有效增加玉米粗蛋白和淀粉含量。但是目前间作方面的研究主要集中在禾豆间作上, 禾禾间作也主要是小麦-玉米<sup>[5]</sup>, 关于玉米与高丹草间作是否能改善饲料的品质方面研究较少。

青贮饲料作为我国反刍动物重要的饲料来源之一, 具有营养价值高、易于消化、存放时间长等特点, 在一定程度上缓解了我国季节性饲料供应短缺问题<sup>[6]</sup>。玉米(*Zea mays*)色香味俱全, 柔软多汁, 营养丰富, 易于青贮、是目前青贮最为成功的原料之一, 也是奶牛饲用中不可或缺的饲料<sup>[7]</sup>。高丹草(*Sorghum-sudangrass*)是由高粱和苏丹草杂交而成的一年生新兴禾本科牧草, 兼具双亲优良品质, 产量高, 适口性好, 营养丰富<sup>[8]</sup>。目前, 刈割后直接饲喂是高丹草常见的利用方式, 由于直接饲喂周期短, 容易造成大量浪费, 调制青贮饲料成为高丹草有效保存营养品质并延长饲用时间的最佳方式<sup>[9]</sup>。然而, 高丹草单贮时表现为

收稿日期: 2022-08-21; 修回日期: 2022-12-09

基金项目: 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), 国家现代农业产业技术体系(CARS-34)

作者简介: 王晓娟(1992-), 女, 甘肃静宁人, 硕士研究生。

E-mail: 1419927334@qq.com

\*通信作者。E-mail: Qijuan@gsau.edu.cn

粗蛋白含量低、丁酸含量高、发酵品质劣<sup>[10]</sup>,添加剂能有效改善其发酵品质,但由于成本较高,将高丹草与其他牧草混贮成为国内外学者关注的焦点<sup>[11]</sup>,混贮不仅可以弥补单贮饲草的不足,还能提高饲草的饲用价值<sup>[12]</sup>。尤思涵等<sup>[13]</sup>以高丹草和黑麦草混贮为研究对象发现,同高丹草单贮时相比,混合青贮降低了氨态氮含量并有效改善了发酵品质;张欢等<sup>[14]</sup>研究发现在紫花苜蓿和高丹草混合青贮中提高高丹草比例可改善发酵品质。但玉米与高丹草混合青贮鲜见报道,因此本研究以玉米、高丹草为研究对象,探究玉米与高丹草行比为6:12、4:8、2:4三种间作模式以及玉米与高丹草单作下青贮品质及瘤胃发酵的影响,为畜牧业的可持续发展提供理论依据。

## 1 材料和方法

### 1.1 试验地概况

试验地设于宁夏回族自治区固原市原州区头营镇徐河村(N 36°09', E 106°14'),该地位于黄河中上游地区的黄土高原西部,处于青藏高原、黄土高原和内蒙古高原交汇地带,属温带大陆性半干旱气候,降水量少、蒸发量大、日照充足。年均日照时数长达2 600 h,无霜期150 d,年平均气温7.8℃,平均海拔1 550 m,太阳辐射强,昼夜温差大,年平均降水量350 mm,雨季多集中在7—9月,年均蒸发量在1 336 mm以上。

### 1.2 试验方法

#### 1.2.1 试验材料

本试验选取玉米品种为正大12,高丹草品种为F10,均购买于北京正道生态科技有限公司。

1.2.2 试验设计 田间种植设计 试验于2020年4—10月进行,采用随机区组设计,每个间作组合设置玉米与高丹草行比为6:12(YG6-12)、4:8(YG4-8)和2:4(YG2-4)3种处理,其带幅宽度分别为460 cm、300 cm和140 cm。间作处理的小区面积分别为6.0 m×3个种植带宽。以玉米单作(Y)和高丹草单作(G)为对照,小区面积为84 m<sup>2</sup>,每个处理设置3次重复,共15个小区。玉米行距为40 cm,种植密度为12.5万株/hm<sup>2</sup>,高丹草的行距为20 cm,播种量为22.5 kg/hm<sup>2</sup>。间作作物单位面积的种植密度、行距设置与对应单作相同,南北行向种植。开春耕种前,基施洋丰复合肥

675 kg/hm<sup>2</sup>(总养分≥43%,N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O:30-6-7),作物生长期间不施肥,在适当时期进行中耕和人工除草,且不施用任何杀菌剂及杀虫剂。

样品采集与处理 将15个小区的玉米和高丹草于玉米蜡熟期(9月17日)齐地刈割,利用粉碎机将刈割的玉米和高丹草铡碎混合均匀,后紧实装入20 L青贮桶,边装填边压实,装满后用多层封口膜密封保存,填后的桶重约13 kg。经过60 d青贮发酵,称重后开桶取样,每个重复约取1.5 kg样品,真空包装带回实验室。

### 1.3 测定指标及方法

1.3.1 感官评价 感官评定参照德国农业协会(Deutsche Lan DirtschaftsGesellschaft)推荐的评分法<sup>[15]</sup>(表1)。

1.3.2 营养指标测定 取青贮发酵60 d后开封的青贮样品,于105℃烘箱内杀青30 min后,65℃烘干,粉碎,过40目筛,制成风干样,用于常规营养成分测定,粗蛋白(CP)、酸性洗涤纤维(ADF)、中性洗涤纤维(NDF)、可溶性糖含量等参照《饲料中营养成分测定》中的方法<sup>[16]</sup>。

1.3.3 发酵指标测定 准确称取20 g混匀青贮样品,加入180 mL超纯水,4℃浸提24 h后,4层纱布过滤得到浸提液,用于发酵参数的测定。

pH值用酸度计测定;挥发性脂肪酸含量等使用安捷伦(Agilent1100)液相色谱仪测定;NH<sub>4</sub>(Ammoniacal nitrogen)含量采用苯酚一次氯酸钠比色法测定<sup>[17]</sup>。

1.3.4 体外发酵 称取0.5 g青贮饲料放入恒重后的滤袋中并封口。晨饲前1 h取3只装有永久性瘤胃瘘管奶羊的瘤胃液,饲料组成及营养水平见表2。混合均匀并在恒温厌氧的状态下迅速带回实验室,随后将瘤胃液与配制好的缓冲液1:2的比例混合均匀,配制成发酵液<sup>[18]</sup>。将装有样品的滤袋与30 mL发酵液放入对应编号的培养注射器中,保持恒温厌氧环境。培养注射器置于39℃的水浴振荡器中培养48 h,且每个样品5个重复并设置3个空白,体外发酵结束后,立即使用pH测定仪测定发酵液pH值,随后取20 mL发酵液平均分装于2个15 mL离心管中,并分别加入2 mL 25%的偏磷酸,充分混匀后置于-20℃保存,直至用于挥发性脂肪酸(VFA)和NH<sub>3</sub>-N含量的测定。

表 1 青贮饲料感官评定标准

Table 1 Sensory evaluation standard for silage

	评分标准得分	得分
气味	有芳香果味或明显的面包味	14
	有微弱的丁酸臭味,或较轻的酸味,芳香味弱	10
	丁酸味颇重,或有刺鼻的焦糊臭或霉味	4
	有较强的丁酸臭味或氨味,或几乎无酸味	2
质地	茎叶结构保持良好	4
	茎叶结构保持较差	2
	茎叶结构保持极差,或有轻度的霉菌污染	1
	茎叶腐烂或污染严重	0
色泽	与原料相似,烘干后呈淡褐色	2
	略有变色呈淡黄色或带褐色	1
	变色严重,墨绿色或褐色呈黄色,霉味较强	0
总分	16~20    10~15    5~9    0~4	
等级	1级(优等) 2级(良好) 3级(中等) 4级(腐败)	

表 2 试验饲料组成及营养水平(风干基础)

Table 2 Composition and nutritional level of experimental diet (air dried basis)

配方组成	比例/ %	营养水平	含量
玉米	38.0	DM/ %	86.0
玉米胚芽粕	20.0	DE/(MJ·kg <sup>-1</sup> )	14.23
玉米芯粉	9.0	ME/(MJ·kg <sup>-1</sup> )	11.67
稻壳粉	8.0	Ca/ %	4.30
喷浆玉米皮	6.0	P/ %	1.90
玉米皮	5.0	CP/ %	9.40
棉粕	3.0		
菜粕	2.0		
豆粕	3.5		
豆皮	3.5		
1% 预混料添加剂	1.0		
食盐	1.0		
总计	100		

#### 1.4 数据处理与统计

试验数据采用 Microsoft Excel 2016 和 SPSS 19.0 统计软件进行处理分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 青贮原料营养成分

青贮原料中玉米的粗蛋白为 7.3%, 较高丹草高出了 37.48%, 高丹草的可溶性糖含量为 11.39%, 比玉米高出了 24.62%, 玉米的酸性洗涤纤维及中性洗涤纤维含量都比高丹草低(表 3)。

### 2.1 玉米与高丹草间作混贮对感官评价的影响

完成青贮发酵之后, 根据德国农业协会推荐的评

表 3 青贮原料营养成分

Table 3 Nutrient composition of silage raw materials

原料	粗蛋白/ %	可溶性糖/ %	酸性洗涤纤维/ %	中性洗涤纤维/ %
玉米	7.3	9.14	23.86	50.46
高丹草	5.31	11.39	31.55	53.26

定方法, 从气味、质地、色泽对青贮饲料进行感官评价。只有试验组 YG2-4 等级为良好, 其他试验组及对照均为优等(表 4)。

表 4 青贮饲料感官评价

Table 4 Sensory evaluation of silage

处理	气味	质地	色泽	总分	等级
YG6-12	11.57	3.20	1.47	16.24	优等
YG4-8	11.76	3.20	1.53	16.49	优等
YG2-4	11.20	2.80	1.00	15.00	良好
Y	12.40	2.93	1.63	16.97	优等
G	12.51	3.60	1.40	17.51	优等

### 2.2 玉米与高丹草间作混贮对营养品质的影响

2.2.1 粗蛋白含量 饲料青贮后的粗蛋白含量表现为玉米单贮大于混合青贮及高丹草青贮, 玉米单贮的粗蛋白含量显著高于高丹草单贮( $P < 0.05$ ), 各混贮处理组的粗蛋白含量均介于玉米和高丹草单贮之间, 混贮处理组 YG6-12、YG4-8 和 YG2-4 较高丹草单贮分别提高了 14.10%、10.68% 和 2.10%(图 1)。

2.2.2 可溶性糖含量 高丹草单独青贮时可溶性糖含量最高(14.65%), 玉米单贮时可溶性糖最低(8.41%), 显著低于高丹草单贮以及各混贮处理组

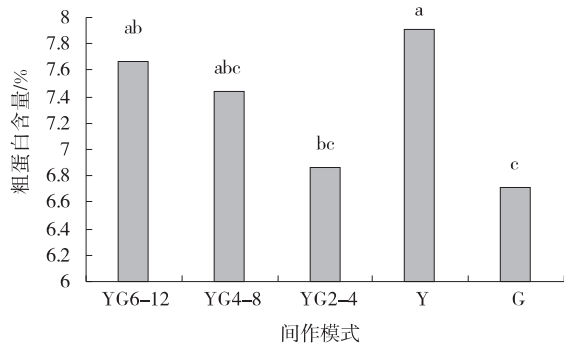


图1 玉米与高丹草间作混贮的粗蛋白含量

Fig. 1 Crude protein content of maize and sorghum intercropping

注:不同小写字母表示处理间差异显著( $P < 0.05$ )。下同

( $P < 0.05$ ),各混贮处理组的可溶性糖含量均介于玉米和高丹草单贮之间, YG6-12、YG6-12和 YG2-4的可溶性糖含量较玉米单贮分别提高了11.60%、14.45%和25.78%(图2)。

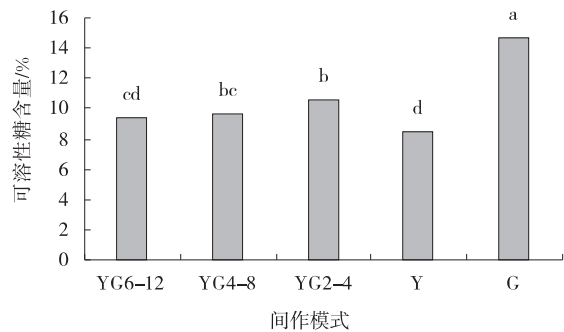


图2 玉米与高丹草间作混贮的可溶性糖含量

Fig. 2 Soluble sugar content of maize and sorghum intercropping

2.2.3 酸性洗涤纤维含量 高丹草单独青贮时酸性洗涤纤维含量最高,为31.71%,玉米单贮时酸性洗涤纤维的含量最低(25.28%),显著低于高丹草单贮以及各混贮处理组( $P < 0.05$ ),各混贮处理组的酸性洗涤纤维含量均介于玉米和高丹草单贮之间, YG6-12、YG4-8和 YG2-4处理组的酸性洗涤纤维含量较高丹草单贮分别显著降低了16.83%、14.65%和3.76% ( $P < 0.05$ )。

2.2.4 中性洗涤纤维含量 高丹草单贮的中性洗涤纤维含量最高,为52.09%(图4),玉米单贮最低(47.93%),显著低于高丹草单贮及混贮处理组 YG6-12、YG4-8和 YG2-4,各混贮处理组的酸性洗涤纤维含量均介于玉米和高丹草单贮之间,且混贮处理组 YG6-12、YG4-8和 YG2-4分别较高丹草单贮显著降低了

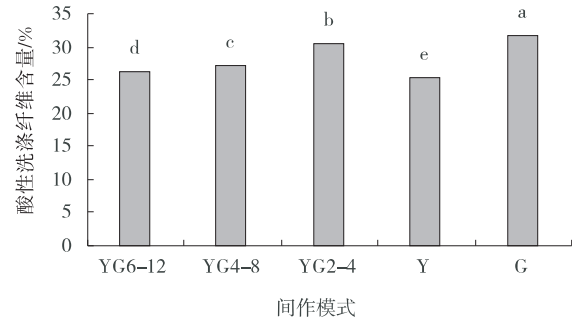


图3 玉米与高丹草间作混贮的酸性洗涤纤维含量

Fig. 3 Acid detergent fiber content of maize and sorghum intercropping mixed storage

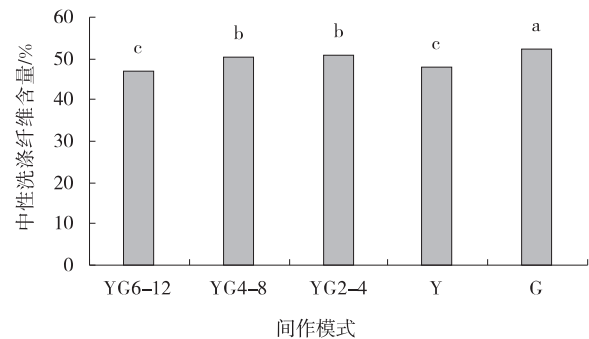


图4 玉米与高丹草间作混贮的中性洗涤纤维含量

Fig. 4 Neutral detergent fiber content of maize and sorghum intercropping mixed storage

9.45%、2.94%和2.64% ( $P < 0.05$ )。

### 2.3 玉米与高丹草间作混贮对发酵品质的影响

高丹草单贮的pH值最低(3.60),玉米单贮时pH值最高(3.90),各混贮处理组的pH值介于玉米与高丹草单贮之间, YG6-12、YG4-8和 YG2-4组的pH值分别较玉米单贮时降低了2.82%、4.87%和7.18%;玉米单贮时的乳酸含量最低(4.30%),高丹草最高(5.84%),各混贮处理组间乳酸含量介于玉米与高丹草单贮之间,且各混贮处理组间差异显著( $P < 0.05$ ), YG6-12、YG4-8和 YG2-4组的乳酸含量分别较玉米单贮提高了2.57%、15.58%、32.79%;乙酸含量则表现为各混贮处理均显著低于玉米与高丹草( $P < 0.05$ );玉米单贮的丙酸含量显著高于高丹草单贮以及混贮( $P < 0.05$ ),高丹草单贮与各混贮处理组之间差异不显著,玉米单贮的氨态氮含量最低,为0.31 mg/dL,显著低于高丹草单贮以及混贮。各混贮处理组的氨态氮含量也介于玉米与高丹草单贮之间。 YG6-12处理组氨态氮含量显著低于其他混贮处理组( $P < 0.05$ ),所有青贮饲料中均未测出丁酸(表5)。

表 5 玉米与高丹草间作混贮的发酵品质

Table 5 Fermentation quality of maize and sorghum intercropping mixed storage

处理	pH 值	乳酸/%	乙酸/%	丙酸/%	丁酸/%	氨态氮/(mg·dL <sup>-1</sup> )
YG6-12	3.79±0.06 <sup>b</sup>	4.41±0.03 <sup>c</sup>	0.71±0.04 <sup>c</sup>	0.23±0.01 <sup>b</sup>	0	0.36±0 <sup>d</sup>
YG4-8	3.71±0.07 <sup>bc</sup>	4.97±0.08 <sup>b</sup>	0.43±0.02 <sup>d</sup>	0.17±0.01 <sup>b</sup>	0	0.39±0.01 <sup>c</sup>
YG2-4	3.62±0.05 <sup>c</sup>	5.71±0.19 <sup>a</sup>	0.65±0.01 <sup>c</sup>	0.26±0.12 <sup>b</sup>	0	0.42±0.01 <sup>b</sup>
Y	3.90±0.03 <sup>a</sup>	4.30±0.17 <sup>c</sup>	0.95±0.02 <sup>a</sup>	0.58±0.00 <sup>a</sup>	0	0.31±0 <sup>e</sup>
G	3.60±0.03 <sup>c</sup>	5.84±0.05 <sup>a</sup>	0.88±0.02 <sup>b</sup>	0.33±0.02 <sup>b</sup>	0	0.53±0.01 <sup>a</sup>

注:同列不同小写字母表示处理间差异显著( $P<0.05$ )。下同

## 2.4 玉米与高丹草间作混贮对体外发酵的影响

高丹草单贮时体外发酵液的 pH 值最高(6.31),混贮处理组 pH 值均低于高丹草单贮,且差异不显著( $P>0.05$ );玉米单贮发酵液的丁酸含量最高(25.78%)、高丹草单贮发酵液的丁酸含量最低(20.41%),各混贮处理组间发酵液的丁酸含量介于玉米和高丹草单贮之间,且各混贮处理组间差异显著

( $P<0.05$ );高丹草单贮时发酵液的乙酸和丙酸含量最高,分别为 53.16% 和 31.96%,玉米单贮时发酵液的乙酸含量最低(44.68%),各混贮处理组间发酵液的乙酸含量介于玉米单贮和高丹草之间;高丹草单贮时发酵液的氨态氮含量最高,为 20.43 mg/dL,各混贮处理组间差异显著( $P<0.05$ )。

表 6 玉米与高丹草间作混贮对体外发酵的影响

Table 6 Effects of intercropping and mixed storage of maize and sorghum on in vitro fermentation

处理	pH 值	丁酸/%	乙酸/%	丙酸/%	氨态氮/(mg·dL <sup>-1</sup> )	乙酸/丙酸
YG6-12	6.28±0.25 <sup>a</sup>	24.42±0.66 <sup>b</sup>	45.58±2.10 <sup>c</sup>	26.56±0.54 <sup>c</sup>	20.03±0.09 <sup>b</sup>	1.71±0.04 <sup>ab</sup>
YG4-8	6.04±0.17 <sup>a</sup>	21.19±0.01 <sup>d</sup>	47.68±0.74 <sup>bc</sup>	29.03±0.45 <sup>bc</sup>	19.64±0.09 <sup>c</sup>	1.64±0.03 <sup>b</sup>
YG2-4	6.14±0.05 <sup>a</sup>	22.32±0.33 <sup>c</sup>	51.25±0.17 <sup>ab</sup>	29.69±0.21 <sup>ab</sup>	20.73±0.04 <sup>a</sup>	1.94±0.01 <sup>a</sup>
Y	6.15±0.05 <sup>a</sup>	25.78±0.07 <sup>a</sup>	44.68±0.31 <sup>c</sup>	26.43±0.16 <sup>c</sup>	19.97±0.11 <sup>bc</sup>	1.51±0.02 <sup>b</sup>
G	6.31±0.05 <sup>a</sup>	20.41±0.17 <sup>d</sup>	53.16±2.32 <sup>a</sup>	31.96±1.79 <sup>a</sup>	20.43±0.18 <sup>a</sup>	1.68±0.16 <sup>b</sup>

## 2.5 综合评价

不同间作模式下玉米与高丹草饲草混贮营养品质和发酵品质的综合关联度值为:YG6-12(0.92)>

YG4-8(0.88)>YG2-4(0.84)>Y(0.83)>G(0.80)(表 7),由此表明,在 YG6-12 间作模式下,玉米与高丹草混合青贮品质较好。

表 7 灰色关联度综合分析

Table 7 Comprehensive analysis of grey relational degree

处理	粗蛋白	中性洗涤纤维	酸性洗涤纤维	可溶性糖	pH 值	乳酸	乙酸	丙酸	氨态氮	关联度值	排序
YG6-12	0.98	1.00	0.97	0.87	0.96	0.83	0.75	0.87	0.89	0.90	1
YG4-8	0.95	0.94	0.94	0.73	0.88	0.80	1.00	1.00	0.80	0.89	2
YG2-4	0.90	0.94	0.85	0.81	1.00	0.98	0.70	0.69	0.77	0.85	3
Y	1.00	0.99	1.00	0.74	0.94	0.82	0.50	0.33	1.00	0.81	4
G	0.89	0.92	0.83	1.00	1.00	1.00	0.54	0.56	0.63	0.82	5

## 3 讨论

### 3.1 玉米与高丹草间作混贮对感官评价的影响

感官评定是一种根据青贮饲料气味、结构、颜色等特性评价其品质的有效方法,本研究以德国农业部

会(DLG)评定法为依据,对不同间作模式下玉米与高丹草混合青贮饲料进行分级评价,评价结果表明:玉米与高丹草间作行比为 2:4 时,混贮品质为“2 级良好”,其余均为“1 级优等”,这说明玉米与高丹草混合青贮有利于增加青贮饲料中乳酸菌的数量,达到快速

降低青贮饲料pH值的目的是抑制了有害微生物的繁殖,从而保证青贮饲料的感官质量<sup>[19]</sup>。

### 3.2 玉米与高丹草间作混贮对营养品质的影响

可溶性糖作为乳酸菌发酵产生乳酸的底物,一般可溶性糖含量高,产生的乳酸多<sup>[20]</sup>。本研究中高丹草单作单贮时可溶性糖含量最高(14.65%),间作混贮后高于玉米单贮,说明高丹草自身含有较高的可溶性碳水化合物,为青贮提供了可发酵糖,使发酵达到稳定阶段后残余可溶性糖含量较高<sup>[21]</sup>。粗蛋白含越高,酸性洗涤纤维和中性洗涤纤维含量越低,可供动物吸收的成分就越多<sup>[22]</sup>。赵心月等<sup>[2]</sup>研究发现,青贮玉米与油菜间混贮其营养品质较单作单贮丰富,且玉米与油菜混贮比例为1:2时粗蛋白含量最高;张欢等<sup>[14]</sup>发现,增加高丹草在一定程度上降低了粗蛋白含量,提高酸性洗涤纤维和中性洗涤纤维含量。本研究中玉米单贮时的粗蛋白含量最高,间作混贮后介于玉米与高丹草单贮之间,高丹草单贮的酸性洗涤纤维和中性洗涤纤维的含量最高,混贮介于玉米单贮和高丹草单贮之间,这与上述研究结果一致。这是因为高丹草自身有较高的纤维含量,且青贮初期细胞呼吸以及乳酸菌迅速生长繁殖使青贮饲料中的可溶性糖大量被消耗,导致青贮饲料的酸性洗涤纤维和中性洗涤纤维的比例增加<sup>[22]</sup>。因此,将二者混贮既能改善高丹草纤维高适口性差的现状,又能合理利用玉米来均衡青贮营养成分。

### 3.3 玉米与高丹草间作混贮对发酵品质的影响

pH值、挥发性脂肪酸、氨态氮含量等是评价青贮饲料发酵品质优劣的重要指标,一般认为pH值越低,乳酸含量占总酸的比例越大,氨态氮含量越低,青贮品质越好<sup>[23]</sup>。柳茜<sup>[23]</sup>通过对玉米与高粱混贮的研究发现,混贮后乳酸含量均高于玉米单贮,混贮各处理随着高粱的增加,且乳酸占总酸的比例也逐渐增高。本研究通过对玉米与高丹草间作混贮对其发酵品质的影响也得出了类似结果:单作单贮、间作混贮各处理组pH值均达到最优青贮饲料的标准,间作混贮后pH值均低于玉米单作单贮,乳酸含量均高于玉米单作单贮,未检测到酸,这是因为玉米与高丹草混合青贮时,其可溶性碳水化合物含量高,从而为乳酸菌的繁殖提供了足够的底物,促进乳酸发酵,产生大量的乳酸,降低pH值快速造成酸性环境,阻止杂菌分解蛋白

质、葡萄糖和乳酸而生成丁酸<sup>[24]</sup>。少量的乙酸含量也是作为优质青贮饲料的一项认定指标,乙酸含量越低,适口性越好<sup>[25]</sup>。本研究中玉米与高丹草以间作混贮时乙酸含量均低于玉米与高丹草单贮,可能是玉米与高丹草混贮时含有较低的异型发酵型乳酸菌,抑制乙酸产生,降低青贮饲料乙酸含量<sup>[26]</sup>。这与王红梅等<sup>[21]</sup>研究结果一致。少量的丙酸也是优质青贮饲料的一项重要指标,有助于改善青贮环境<sup>[25]</sup>,本研究中混合处理组中丙酸的含量均低于玉米和高丹草单独青贮。氨态氮含量作为反映青贮饲料中蛋白质和氨基酸分解程度的主要指标之一,其值越大说明蛋白质和氨基酸分解越多,青贮质量越差<sup>[23]</sup>;本研究中高丹草单独青贮时的氨态氮含量最高,玉米单独青贮时氨态氮含量最低,各混贮处理组中氨态氮均介于玉米与高丹草单贮之间,这与柳茜等<sup>[23]</sup>研究结果一致,这说明,高丹草与玉米混合青贮时,可降低高丹草氨态氮含量,提高青贮发酵品质。

### 3.4 玉米与高丹草间作混贮对体外发酵的影响

瘤胃液pH值是反映瘤胃内部环境及饲料在瘤胃内发酵程度的主要指标,瘤胃pH值的最适范围为5.5~7.5,过高或过低均会影响反刍动物瘤胃微生物的正常发酵<sup>[16]</sup>。本研究中,各试验组瘤胃液的pH值为6.04~6.31,均处于正常的范围,混贮各处理组的pH值均低于高丹草单贮,这说明与玉米混贮可以促进高丹草青贮饲料在瘤胃内的发酵。

挥发性脂肪酸是反刍动物的主要能量来源,提供的能量占反刍动物总能的70%~80%。乙酸是反刍动物合成脂肪和乳脂肪的重要来源,丙酸转化能量的效率最高,因此提高丙酸含量是提高饲料转化效率的途径之一<sup>[27]</sup>。本研究中,玉米单作单贮瘤胃液的乙酸、丙酸含量最低,高丹草反之,各混贮处理组的乙酸含量均介于玉米与高丹草单贮之间,且YG2-4模式下瘤胃液的乙酸、丙酸含量大于其他混贮组,这与高丹草含有丰富的碳水化合物,在青贮过程中产生了较多的乳酸有关,乳酸可以在瘤胃内可进一步转化为丙酸,青贮饲料乳酸含量越高,其在瘤胃内转化成的丙酸浓度就越高<sup>[28]</sup>。瘤胃液中得氨态氮是衡量瘤胃氮代谢和利用的一个重要指标,同时也是反刍动物瘤胃微生物合成微生物菌体蛋白和机体蛋白质的主要原料<sup>[29]</sup>。已有研究表明,胃中最适NH<sub>3</sub>-N浓度在6.3~

27.5 mg/dL之间,其浓度过高或过低均不利于瘤胃微生物的生长繁殖, $\text{NH}_3\text{-N}$ 浓度过高则会造成日粮中氮源浪费,过低则会影响微生物蛋白产量<sup>[30]</sup>。本研究中各处理瘤胃液氨态氮含量均在正常的范围内(19.64~20.93 mg/dL)。

## 4 结论

在玉米与高丹草混合青贮中提高高丹草比例可改善发酵品质,增加玉米比例可提升营养价值。综合营养成分、发酵品质及瘤胃发酵的分析,建议玉米与高丹草适宜间作行比为6:12后混贮。

### 参考文献:

- [1] 岳丽,山其米克,再吐尼古丽·库尔班等. 刈割期及添加剂对甜高粱青贮发酵品质的影响[J]. 新疆农业科学, 2018, 55(8):1428-1435.
- [2] 赵心月. 青贮玉米与油菜间作混收混贮技术研究[D]. 张家口:河北北方学院, 2021.
- [3] 黄田田. 饲用油菜高丹草间作结合施肥对饲草产质量及土壤有机碳组分的影响[D]. 呼和浩特:内蒙古农业大学, 2020.
- [4] 瓮巧云,黄新军,许翰林等. 玉米/大豆种植模式对青贮玉米产量、品质及土壤营养、根际微生物的影响[J]. 核农学报, 2021, 35(2):462-470.
- [5] 董文成,张桂杰,张欢,等. 宁夏黄灌区不同高丹草品种的生产性能和饲用价值研究[J]. 中国草地学报, 2019, 41(1):45-50.
- [6] 秦伟娜,焦婷,师尚礼等. 不同水热资源条件下10个青贮玉米品种的青贮品质评价[J]. 草地学报, 2021, 29(5):1070-1079.
- [7] 刘欢欢,罗伟珊,唐龙,等. 不同品种玉米和甜高粱的产能比较[J]. 草业科学, 2021, 38(7):1373-1379.
- [8] 郭晖. 不同比例紫花苜蓿与高丹草混贮饲料的发酵品质和营养成分分析[J]. 河南农业科学, 2021, 50(6):149-155.
- [9] 卫莹莹,玉柱. 不同添加剂对高丹草青贮的影响[J]. 草地学报, 2016, 24(3):658-662.
- [10] 梁欢,刘贵波,吴佳海,等. 混贮模式对高丹草青贮发酵品质及体外产气动力学特性的影响[J]. 草业学报, 2016, 25(4):188-196.
- [11] 张树攀,陈铮,刘大林. 不同添加剂对高丹草青贮性能及体外降解特性的影响[J]. 中国畜牧杂志, 2010, 46(11):65-69.
- [12] 邓荟芬,刘艳,揭红东,等. 添加不同浓度黑曲霉菌液对饲用苕麻混合青贮品质影响[J]. 草地学报, 2021, 29(1):189-194.
- [13] 尤思涵,都帅,周忠义,等. 高丹草与黑麦草适宜混贮比例研究[J]. 草地学报, 2021, 29(04):821-827.
- [14] 张欢,雷晓青,朱鸿福,等. 宁夏黄灌区紫花苜蓿与高丹草适宜混贮比例研究[J]. 中国草地学报, 2020, 42(5):136-142.
- [15] Broderick G A, Kang J H. Automated simultaneous determination of ammonia and total amino acids in ruminal fluid and in vitro media[J]. Journal of Dairy Science, 1980, 63(1):64-75.
- [16] 陈雷,暴雪艳,郭刚,等. 单尿酸和乳酸菌对紫花苜蓿青贮品质和体外瘤胃发酵的影响[J]. 草地学报, 2021, 29(8):1853-1858.
- [17] 王雨,张庆,玉柱. 青贮中有机化学添加剂及其作用效果的研究进展[J]. 中国畜牧杂志, 2014, 50(7):93-97.
- [18] 赵晶云,王长春,吕新云,等. 添加玉米粉对牧草大豆青贮品质的影响[J]. 山西农业科学, 2020, 48(10):1676-1678+1700.
- [19] 任昱鑫,代寒凌,田新会,等. 添加剂对甘肃省高寒牧区不同刈割期小黑麦青贮饲料营养品质和青贮品质的影响[J]. 草业学报, 2020, 29(3):197-206.
- [20] 夏洪泽,张琳琳,王银梦,等. 体外产气法评价不同分级指数玉米青贮-苜蓿干草组合发酵特性[J]. 草地学报, 2020, 28(4):1136-1144.
- [21] 王红梅,陶雅,孙启忠,等. 呼伦贝尔草原六种牧草青贮特性研究[J]. 中国草地学报, 2014, 36(1):58-63.
- [22] 魏晓斌,殷国梅,薛艳林,等. 添加乳酸菌和纤维素酶对紫花苜蓿青贮品质的影响[J]. 中国草地学报, 2019, 41(6):86-90.
- [23] 柳茜,程晓,孙启忠,等. 玉米与高粱混合青贮的研究[J]. 中国奶牛, 2016(5):1-4.
- [24] 代寒凌,田新会,杜文华等. 不同青贮添加剂对小黑麦和黑麦的营养品质及青贮品质的影响[C]//中国草学会. 2018中国草学会年会论文集. 北京:中国草学会, 2018:61-67.
- [25] 王家豪. 玉米/苜蓿间作对土壤养分、酶活性及植物生长的影响[D]. 贵阳:贵州大学, 2019.
- [26] 徐创军,杨立中,唐家良,等. 紫色土地坡不同种植模式生态经济效益综合评价[J]. 中国生态农业学报, 2008, 16(1):196-199.
- [27] 卢冬亚. 组合添加剂对全株玉米青贮饲料品质、奶牛瘤

- 胃代谢特性及分子结构的影响[D]. 天津:天津农学院, 2020.
- [28] 李占明. 不同添加剂对东方野豌豆青贮品质影响的研究[D]. 延边:延边大学, 2016.
- [29] 雒瑞瑞. 马铃薯茎叶和玉米秸/甜高粱混合青贮料的制备及其对瘤胃发酵特性的影响[D]. 兰州:甘肃农业大学, 2018.
- [30] 阿依古丽·艾买尔, 王娇, 张苏江. 不同品种甜高粱青贮体外产气量及瘤胃降解特性比较[J]. 甘肃农业大学学报, 2020, 55(1): 7-12+19.

## Quality and rumen fermentation characteristics of mixed silage intercropping with corn and sorghum hybrid sudan grass

WANG Xiao-juan, QI Juan\*, CHE Mei-mei, YANG Juan-di, JIA Yan-wei,  
SAI Ning-gang

(College of Pratacultural Science, Gansu Agricultural University, Key Laboratory Pratacultural Ecosystem, Ministry of Education, Pratacultural Engineering Laboratory of Gansu Province, Sino-US Center for Grazingland Ecosystem Sustainability, Lanzhou 730070, China)

**Abstract:** [Objective] To explore the effects of maize and sorghum intercropping on silage quality and rumen fermentation characteristics. [Method] Three intercropping modes of maize and sorghum row ratio of 6:12 (YG6-12), 4:8 (YG4-8) and 2:4 (YG2-4), as well as silage quality under maize (Y) and sorghum (G) monoculture, were studied. [Result] The results showed that the crude protein content was higher, the content of neutral detergent fiber and acid detergent fiber was lower, indicating poor nutritional quality of sorghum. In YG6-12, YG4-8 and YG2-4 treatment groups, the content of crude protein was higher than that in sorghum, increased by 14.14%, 10.71% and 2.08%, respectively. The content of acid detergent fiber and neutral detergent fiber were lower than those in sorghum, decreased by 16.84%, 14.63%, 3.63% and 9.44%, 2.94% and 2.65%, respectively. Notably, the nutritional quality of YG6-12 was superior to that of other mixed storage treatment groups. In terms of fermentation quality, sorghum had the highest lactic acid content in both single cropping and single storage, followed by mixed storage, and maize had the lowest. Mixed storage reduced the ammonia nitrogen content of sorghum, with YG6-12 being lower than other mixed storage treatment groups. Sorghum single storage reduced ammonia nitrogen content by 32.08%, effectively improving the silage fermentation quality. The acetic acid content of mixed storage was lower than that of maize and sorghum, enhancing the palatability of silage. The contents of butyric acid, acetic acid and propionic acid in mixed storage rumen fermentation were intermediate between maize and sorghum. [Conclusion] Mixed Silage improves the silage quality and rumen fermentation characteristics of feed. The optimal row ratio of maize to sorghum is 6:12, resulting in better silage quality compared to other mixed silage treatment groups.

**Key words:** intercropping; mixed storage; nutritional quality; fermentation quality; rumen fermentation; maize; sorghum hybrid sudan grass