

## 热研 2 号柱花草和热研 4 号王草混合青贮对其营养成分及发酵品质的影响

韩建成, 吴 群, 蔺红玲, 徐志军, 周汉林\*

中国热带农业科学院湛江实验站, 广东湛江 524091

**摘要:** 为合理开发和利用热带牧草资源, 研究热研 2 号柱花草和热研 4 号王草混合青贮对其营养成分及发酵品质的影响, 以期筛选出适宜的混合青贮比例, 为调制高品质的青贮饲料提供理论依据。本研究将热研 4 号王草和热研 2 号柱花草混合青贮比例分别设置为 100 : 0 (CK)、85 : 15 (A<sub>1</sub>)、70 : 30 (A<sub>2</sub>)、55 : 45 (A<sub>3</sub>) 4 组, 青贮 30 d 后开封取样检测。结果表明: A<sub>2</sub> 组混合青贮感官评价最佳, 随着热研 2 号柱花草比例的升高, pH 和氨态氮/总氮 (NH<sub>3</sub>-N/TN) 值逐渐升高, A<sub>1</sub>、A<sub>2</sub>、A<sub>3</sub> 组与 CK 组差异显著 ( $P < 0.05$ ); 乳酸 (LA) 含量逐渐降低, A<sub>3</sub> 组显著低于 CK 组 ( $P < 0.05$ ); 各试验组乳酸/乙酸 (LA/AA) 值均大于 2.6; 且 A<sub>2</sub> 组丁酸 (BA) 显著低于其他各处理组 ( $P < 0.05$ )。随着热研 2 号柱花草比例升高, 各处理组粗蛋白 (CP)、干物质 (DM) 和粗脂肪 (EE) 含量随之升高, 且显著高于 CK 组 ( $P < 0.05$ ); 水溶性碳水化合物 (WSC) 含量呈上升趋势, 且各试验组差异不显著 ( $P > 0.05$ ); 中性洗涤纤维 (NDF) 逐渐降低, 且各处理组间差异不显著 ( $P > 0.05$ ); 各试验组酸性洗涤纤维 (ADF) 显著降低 ( $P < 0.05$ ); 与 CK 相比, 各处理组粗灰分 (Ash) 有所下降, 且 A<sub>1</sub>、A<sub>2</sub>、A<sub>3</sub> 组之间差异不显著 ( $P > 0.05$ ); 总之, 热研 2 号柱花草和热研 4 号王草混合青贮可提高青贮饲料的发酵品质和营养价值。从发酵品质和营养价值综合考虑, A<sub>2</sub> 组的混合青贮比例最为适宜。

**关键词:** 热研 2 号柱花草; 热研 4 号王草; 混合青贮; 营养成分; 发酵品质

中图分类号: S432.2+2 文献标识码: A

## Effects of Mixed Silage on Its Nutrient Composition and Fermentation Quality of *Stylosanthes guianensis* Reyan No. 2 and *Pennisetum purpureum* × *P. glaucum* cv. Reyan No. 4

HAN Jiancheng, WU Qun, LIN Hongling, XU Zhijun, ZHOU Hanlin\*

Zhanjiang Experimental Station, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences, Zhanjiang, Guangdong 524091, China

**Abstract:** The effects of mixed silage of *Stylosanthes Guianensis* Reyan No. 2 and *Pennisetum purpureum* × *P. glaucum* cv. Reyan No. 4 on fermentation quality and nutrient composition were studied to screen out the appropriate proportion of mixed silage, and provide theoretical basis for the preparation of high-quality silage. The experiment was divided into 4 groups. The mixed silage ratios of Reyan No. 4 and Reyan No. 2 were 100 : 0 (CK), 85 : 15 (A<sub>1</sub>), 70 : 30 (A<sub>2</sub>) and 55 : 45 (A<sub>3</sub>), respectively. Ensilage was unsealed for 30 days and sampled for detection. A<sub>2</sub> had the best sensory evaluation. With the increase of the ratio of Reyan No. 2, pH and NH<sub>3</sub>-N/TN values gradually increased, and there were significant differences between A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub>, A<sub>3</sub> and CK ( $P < 0.05$ ). The lactic acid (LA) content of A<sub>3</sub> was significantly lower than that of CK ( $P < 0.05$ ). The lactic acid/acetic acid (LA/AA) value was greater than 2.6 in all experimental groups. Butyric acid (BA) in A<sub>2</sub> was significantly lower than that in other groups ( $P < 0.05$ ). With the proportion of Reyan No.2 increasing, the content of crude protein (CP), dry matter (DM) and ether extract (EE) in all groups increased, and were significantly higher than those of CK ( $P < 0.05$ ). Water-soluble carbohydrate (WSC) content showed an increasing trend,

收稿日期 2022-05-25; 修回日期 2022-06-14

基金项目 中国热带农业科学院基本科研业务费专项资金项目 (No. 1630102022005, No. 1630102022003)。

作者简介 韩建成 (1982—), 男, 硕士, 副研究员, 研究方向: 热带草畜一体化循环养殖及热带饲料资源开发利用。\*通信作者 (Corresponding author): 周汉林 (ZHOU Hanlin), E-mail: zhouhanlin8@163.com。

and there was no significant difference among groups ( $P>0.05$ ). Neutral detergent fiber (NDF) decreased gradually, and there was no significant difference among all groups ( $P>0.05$ ). Acid detergent fiber (ADF) in all groups was significantly decreased ( $P<0.05$ ). The ash content of each group decreased, and there was no significant difference among  $A_1$ ,  $A_2$  and  $A_3$  compared with CK ( $P>0.05$ ). In conclusion, the mixed silage of Reyan No. 2 and Reyan No. 4 can improve the fermentation quality and nutritional value of silage. Considering the fermentation quality and nutritional value, it is suggested that  $A_2$  is suitable for silage.

**Keywords:** *Stylosanthes guianensis* Reyan No. 2; *Pennisetum purpureum* × *P. glaucum* cv. Reyan No. 4; mixed silage; nutrient content; fermentation quality

**DOI:** 10.3969/j.issn.1000-2561.2023.04.018

柱花草 (*Stylosanthes* spp.) 是原产于拉丁美洲的热带豆科牧草, 属多年生草本植物。热研 2 号柱花草是中国热带农业科学院热带作物品种资源研究所培育的优良饲草品种, 具有抗旱、耐高温、保持水土、适应性强等优点<sup>[1-2]</sup>, 在我国南方地区广泛种植, 也是目前热带地区种植面积最广、应用最为广泛的热带优良牧草品种之一, 素有“南有柱花, 北有苜蓿”的美称。柱花草自然株高为 0.8~1.5 m, 茎粗为 0.2~0.3 cm, 一般年可刈割 4~5 次, 鲜草产量为 30~80 t/hm<sup>2</sup>; 因其干物质含粗蛋白质为 16.4%~18.6%、富含维生素和多种氨基酸、牧草适口性好等诸多优点, 已经成为发展热区草食动物养殖业的重要粗饲料来源<sup>[3]</sup>。柱花草含糖量低、缓冲能高、青贮饲料 pH 较高、乳酸含量较低, 单独青贮较难成功<sup>[4-5]</sup>, 且单独饲喂易引起热区反刍动物瘤胃臌气及其他消化性疾病<sup>[6]</sup>, 生产中常与其他牧草配合饲喂。

热研 4 号王草 (*P. purpureum* Rich. × *P. americana* King grass cv. Reyan No. 4) 是热带地区重要的优良牧草品种之一, 年可刈割 4~7 次, 鲜草产量达 120~300 t/hm<sup>2</sup>; 拔节期粗蛋白质含量占干物质重的 9.40%, 叶软汁多, 粗纤维含量低, 是鲜饲、青贮、晒制干草或加工草粉的优质高产牧草, 在我国广东、广西、云南、贵州、海南等地广泛种植, 在夏季特别是雨季, 王草生长迅速, 常出现饲草过剩, 但冬春季生长缓慢甚至停止, 易造成季节性青绿饲料供应不足, 严重影响了雷州半岛畜牧业健康持续发展<sup>[7-11]</sup>。

混合青贮饲料具有均衡饲草营养、降低青贮原料有害物质含量、提高饲草发酵品质和消化率等优良特性。利用禾本科和豆科类牧草混合青贮, 既可以解决豆科类牧草单独青贮难以成功的难题, 也可以弥补单独青贮而造成的营养物质不均衡的问题, 同时可以更好地提高混合青贮饲料的

粗蛋白含量, 改善青贮饲料的品质<sup>[12]</sup>。目前, 对雷州半岛热研 2 号柱花草和热研 4 号王草混合青贮方面的研究尚不明确。本研究通过热研 2 号柱花草与热研 4 号王草混合青贮, 分析评价其青贮品质和营养成分, 以期寻找适宜的混合青贮比例, 为优质牧草资源开发与利用提供理论依据和科学指导, 同时为热区草食动物粗饲料全年供应、提高动物生产繁殖性能提供有力的技术支撑。

## 1 材料与amp;方法

### 1.1 材料

供试材料热研 2 号柱花草和热研 4 号王草选自中国热带农业科学院湛江实验站草畜一体化试验基地, 于 2019 年 5 月 10 日刈割。热研 2 号柱花草处于初花期, 热研 4 号王草青贮刈割高度为 2~2.5 m<sup>[13]</sup>。

### 1.2 方法

1.2.1 试验设计 采用完全随机区组设计, 分别将热研 4 号王草与热研 2 号柱花草的混合比例设定为 100:0 (对照组)、85:15 ( $A_1$  组)、70:30 ( $A_2$  组)、55:45 ( $A_3$  组) 4 组, 均以鲜重计, 每组设 5 个重复。按照试验设计, 将热研 2 号柱花草和热研 4 号王草按比例进行揉搓混合, 并利用综合试验基地 IS-18 型全自动牧草青贮机进行装袋密封发酵, 其含水量为 68% 左右, 青贮 30 d 后开袋取样, 去掉上、下各 10 cm 样品, 将其余青贮饲料混匀, 采用四分法取样分析化学成分及发酵品质<sup>[14]</sup>。

1.2.2 样品采集及处理 青贮前, 取一定量切碎的柱花草、王草样品于 65 °C 烘干至恒重, 保存样品, 用于原料常规养分含量测定; 在青贮前和青贮 30 d 取混合青贮饲料 200 g, 65 °C 烘干至恒重, 保存样品, 用于青贮饲料常规养分含量的测定; 另取 20 g 青贮饲料, 加入 180 mL 去离子水, 4 °C

浸提 24 h, 过滤、留取浸提液置于 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 冷冻保存<sup>[15]</sup>, 用于发酵指标的测定。

**1.2.3 青贮饲料原料化学成分分析** 粗蛋白 (crude protein, CP) 的测定按照《饲料中粗蛋白测定方法》(GB/T 6432—94) 进行操作, 粗脂肪 (ether extract, EE) 的测定参照《饲料中粗脂肪测定方法》(GB/T 6433—2006), 粗灰分 (crude ash, Ash) 的测定参照《饲料中粗灰分测定方法》(GB/T 6438—2007), 干物质 (DM) 的测定采用烘箱烘干法, 水溶性碳水化合物 (water soluble carbohydrate, WSC) 含量的测定采用蒽酮-硫酸比色法, 中性洗涤纤维 (neutral detergent fiber, NDF) 和酸性洗涤纤维 (acid detergent fiber, ADF) 含量的测定采用范氏纤维法。上述指标的测定均以干重计。

乳酸菌和酵母菌数量分别采用 MRS 琼脂培养基和马铃薯葡萄糖琼脂培养基培养计数; 乳酸菌用厌氧培养箱,  $37\text{ }^{\circ}\text{C}$  培养 3 d; 酵母菌用生化培养箱,  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$  培养 3 d<sup>[16]</sup>。2 个指标的测定均以鲜重计。

**1.2.4 青贮饲料的感官评价** 根据德国农业协会 (Deutsche Lan Dirtschafts Geseutschaft) 青贮饲料的感官评价方法, 对青贮饲料的颜色、气味和质感等进行感官分析评价, 可将青贮饲料分为 4 个等级, 即优良、尚好、中等和腐败, 满分为 20 分, 16~20 分为优良, 10~15 分为尚好, 5~9 分为中等, 0~4 分为腐败。

**1.2.5 青贮饲料的发酵品质分析** 将各组的浸提液用 5 mL 的无菌 EP 管进行分装, 分别测定浸提液中 pH、氨态氮 ( $\text{NH}_3\text{-N}$ )、乳酸 (lactic acid, LA)、乙酸 (acetic acid, AA)、丙酸 (propionic acid, PA) 及丁酸 (butyric acid, BA) 含量。

pH 用 FE320pH 计[梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司]测定; 氨态氮含量采用苯酚-次氯酸钠比色法测定; 乳酸、乙酸、丙酸与丁酸含量采用高效液相色谱仪(日本岛津 SHIMADZU-LC 20A)测定, 测定条件: 色谱柱为 Agilent5TC-C18 250 mm $\times$ 4.6 mm; 紫外检测器, 检测波长为 210 nm, 流动相为 3 mmol/L 高氯酸溶液, 流速为 0.8 mL/min, 柱温为  $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; 进样量为 10  $\mu\text{L}$ <sup>[17-18]</sup>。参照日本草地畜产协会(2001)制定的青贮饲料发酵品质 V-score 评分标准, 以氨态氮/总氮 ( $\text{NH}_3\text{-N}/\text{TN}$ )、乙酸、丙酸及丁酸含量作为评定指标, 根据此评分标准将青贮饲料品质分为优

(100~80)、良好(80~60)、不良( $<60$ ) 3 个评分等级。

### 1.3 数据处理

用 IBM SPSS stastitics 20.0 软件的 ANOVA 程序对所测数据进行统计分析, 差异显著性采用 Duncan's 法进行比较分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 热研2号柱花草和热研4号王草青贮化学成分及 pH 分析

由表 1 可知, 热研 2 号的干物质、粗蛋白、粗脂肪和酸性洗涤纤维含量均显著高于热研 4 号 ( $P<0.05$ ), 其中, 热研 2 号的粗蛋白含量是热研 4 号的 1.32 倍; 热研 2 号的 pH 高于热研 4 号; 热研 4 号的水溶性碳水化合物、中性洗涤纤维、酵母菌和乳酸菌数量显著高于热研 2 号 ( $P<0.05$ ), 热研 4 号的水溶性碳水化合物含量是热研 2 号的 1.61 倍, 乳酸菌数量是热研 2 号的 1.81 倍, 酵母菌数量是热研 2 号的 1.5 倍多。

表 1 热研 2 号与热研 4 号化学成分及 pH  
Tab. 1 Chemical composition and pH of Reyan No. 2 and Reyan No. 4

项目 Item	热研 2 号 Reyan No. 2	热研 4 号 Reyan No. 4
干物质/(g·kg <sup>-1</sup> )	340.27 <sup>a</sup>	196.20 <sup>b</sup>
粗蛋白/(g·kg <sup>-1</sup> )	156.12 <sup>a</sup>	118.00 <sup>b</sup>
粗脂肪/(g·kg <sup>-1</sup> )	28.60 <sup>a</sup>	20.60 <sup>b</sup>
粗灰分/(g·kg <sup>-1</sup> )	69.81 <sup>b</sup>	114.32 <sup>a</sup>
水溶性碳水化合物/(g·kg <sup>-1</sup> )	43.80 <sup>b</sup>	70.54 <sup>a</sup>
中性洗涤纤维/(g·kg <sup>-1</sup> )	445.12 <sup>b</sup>	596.65 <sup>a</sup>
酸性洗涤纤维/(g·kg <sup>-1</sup> )	292.32 <sup>a</sup>	156.03 <sup>b</sup>
pH	5.91 <sup>a</sup>	5.03 <sup>b</sup>
酵母菌/[lg(CFU·g <sup>-1</sup> )]	2.03 <sup>b</sup>	3.10 <sup>a</sup>
乳酸菌/[lg(CFU·g <sup>-1</sup> )]	2.26 <sup>b</sup>	4.06 <sup>a</sup>

注: 不同小写字母表示差异显著 ( $P<0.05$ )。

Note: Different lowercase letters indicate significant difference ( $P<0.05$ ).

### 2.2 混合青贮的化学成分分析

由表 2 可知, 随着柱花草比例的升高, 各处理组的干物质、粗蛋白、粗脂肪和水溶性碳水化合物含量随之升高; A<sub>1</sub>、A<sub>2</sub> 和 A<sub>3</sub> 组粗蛋白和粗脂肪含量显著高于对照组 ( $P<0.05$ ), 各试验组的水溶性碳水化合物含量差异不显著; 与 CK 相比, 各处理组的粗灰分含量有所降低, 但差异不显著, 其中 A<sub>2</sub> 组的粗灰分含量最低; 与 CK 相比, A<sub>1</sub>、A<sub>2</sub> 和 A<sub>3</sub> 组的酸性洗涤纤维显著降低 ( $P<0.05$ )。

与 CK 相比, 各处理组的中性洗涤纤维呈降低趋势, 但各处理组间差异不显著。

随着柱花草比例的升高, 乳酸菌和酵母菌的数量逐渐降低, A<sub>1</sub>、A<sub>2</sub> 和 A<sub>3</sub> 组显著低于对照组 ( $P<0.05$ ), 且乳酸菌数量均大于  $1 \times 10^4$  CFU/g。

表 2 热研 2 号柱花草和热研 4 号王草混合青贮的化学成分  
Tab. 2 Chemical composition of mixed silage *Stylosanthes* No. 2 and King grass Reyan No. 4

项目 Item	组别 Group				SEM
	CK	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	
干物质/(g·kg <sup>-1</sup> )	196.90 <sup>c</sup>	205.28 <sup>bc</sup>	214.84 <sup>ab</sup>	216.62 <sup>a</sup>	2.39
粗蛋白/(g·kg <sup>-1</sup> )	116.23 <sup>d</sup>	124.23 <sup>c</sup>	133.90 <sup>b</sup>	142.30 <sup>a</sup>	3.14
粗脂肪/(g·kg <sup>-1</sup> )	19.90 <sup>d</sup>	21.70 <sup>c</sup>	22.93 <sup>b</sup>	24.00 <sup>a</sup>	0.38
粗灰分/(g·kg <sup>-1</sup> )	114.56 <sup>a</sup>	102.24 <sup>b</sup>	100.78 <sup>b</sup>	103.80 <sup>b</sup>	1.79
水溶性碳水化合物/(g·kg <sup>-1</sup> )	7.03 <sup>a</sup>	7.11 <sup>a</sup>	7.13 <sup>a</sup>	7.14 <sup>a</sup>	0.61
中性洗涤纤维/(g·kg <sup>-1</sup> )	603.14 <sup>a</sup>	598.12 <sup>ab</sup>	600.95 <sup>ab</sup>	601.75 <sup>b</sup>	3.36
酸性洗涤纤维/(g·kg <sup>-1</sup> )	477.11 <sup>a</sup>	455.35 <sup>b</sup>	447.04 <sup>c</sup>	422.93 <sup>d</sup>	7.39
酵母菌/[lg(CFU·g <sup>-1</sup> )]	1.36 <sup>a</sup>	1.21 <sup>b</sup>	1.03 <sup>c</sup>	0.99 <sup>c</sup>	0.01
乳酸菌/[lg(CFU·g <sup>-1</sup> )]	4.96 <sup>a</sup>	4.51 <sup>b</sup>	4.36 <sup>c</sup>	4.19 <sup>d</sup>	0.07

注: 不同小写字母表示处理间差异显著 ( $P<0.05$ )。

Note: Different lowercase letters indicate significant difference among treatments ( $P<0.05$ ).

### 2.3 混合青贮的感官评价

由表 3 可知, 混合青贮柱花草和王草可明显提高青贮饲料的感官品质, 随着柱花草添加比例的增加, 青贮饲料品质有所改善。CK 组总分为 10 分, 评价等级为中等; A<sub>1</sub> 组总分为 13 分, 评定等级为尚好; A<sub>2</sub> 组总分为 20 分, 评价等级为优良; A<sub>3</sub> 组总分为 9 分, 评价等级为中等。

### 2.4 混合青贮的发酵品质

由图 1 可知, 随着柱花草比例的增加, pH 和 NH<sub>3</sub>-N/TN 值逐渐升高, A<sub>1</sub>、A<sub>2</sub>、A<sub>3</sub> 组与 CK 组差异显著 ( $P<0.05$ ), A<sub>2</sub> 组与 A<sub>1</sub>、A<sub>3</sub> 组差异显著 ( $P<0.05$ ); LA 含量逐渐降低, A<sub>1</sub>、A<sub>2</sub>、A<sub>3</sub> 组显著低于 CK 组 ( $P<0.05$ ); AA 含量呈增加趋势,

与 CK 组相比, A<sub>2</sub>、A<sub>3</sub> 组的 AA 含量显著增加 ( $P<0.05$ ); 各试验组的 LA/AA 含量比值均大于 2.6; 与 CK 组相比, 各处理组的 PA 含量有所降低, 但各处理组间差异不显著; 各试验组均有 BA 检出, 且 A<sub>2</sub> 组的 BA 含量最低。

表 3 热研 2 号柱花草和热研 4 号王草混合青贮的感官评价  
Tab. 3 Sensory evaluation of mixed silage *Stylosanthes* No. 2 and King grass Reyan No. 4

处理 Treatment	气味/得分 Smell/ score	质地/得分 Texture/ score	色泽/得分 Color/ score	总分 Total score	等级 Level
CK	刺鼻酸味/7 分	较松散/2 分	黄褐色/1 分	10 分	中等
A <sub>1</sub>	微弱酸味/10 分	较松散/2 分	黄褐色/1 分	13 分	尚好
A <sub>2</sub>	芳香味/14 分	松散/4 分	淡褐色/2 分	20 分	优良
A <sub>3</sub>	刺鼻味/7 分	较松散/2 分	褐色/0 分	9 分	中等

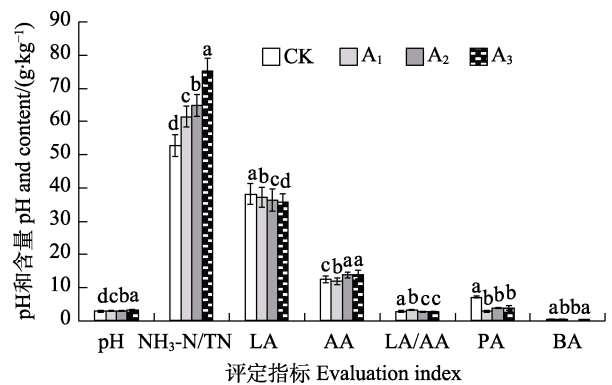


图 1 热研 2 号柱花草和热研 4 号王草混合青贮的发酵品质

Fig. 1 Fermentation quality of mixed silage *Stylosanthes* No. 2 and King grass Reyan No. 4

根据混合青贮有机酸评定标准<sup>[19]</sup>, 由表 4 可知, A<sub>3</sub> 组分值最低 (79 分); CK 组和 A<sub>1</sub> 组分别为 90 分; A<sub>2</sub> 组的丁酸含量最低, A<sub>2</sub> 组的总酸分值最高 (94 分), 与感官评价和 pH 变化一致; 综合有机酸评定标准、pH 变化和感官评价, A<sub>2</sub> 组符合优质青贮饲料的标准。

表 4 不同处理下有机酸所占比例及 V-scores

Tab. 4 Proportion and V-scores of organic acids under different treatments

项目 Item	CK		A <sub>1</sub>		A <sub>2</sub>		A <sub>3</sub>	
	占比 Proportion/%	分值 Score	占比 Proportion/%	分值 Score	占比 Proportion/%	分值 Score	占比 Proportion/%	分值 Score
乳酸	65.12	23	67.54	24	66.57	24	66.37	24
乙酸	21.92	24	24.07	23	25.64	22	25.91	22
丁酸	0.97	43	1.31	43	0.39	48	0.65	45
V-scores		90		90		94		79

注: 分值根据评分标准得出。

Note: The score is based on the scoring criteria.

### 3 讨论

#### 3.1 混合青贮对饲料营养成分的影响

经过30 d的发酵,各处理组营养成分均有所改善,随着柱花草比例的升高,DM逐渐升高,而Ash降低,表明在柱花草和王草混合青贮过程中营养物质流失较少。A<sub>1</sub>、A<sub>2</sub>和A<sub>3</sub>组中的DM、CP和EE含量随着柱花草添加比例的增加而升高,且显著高于CK组( $P<0.05$ ),说明混合青贮饲料的营养价值有所提高。与CK组相比,各处理组的NDF均显著下降,说明混合青贮有利于改善饲料的适口性,提高饲料的利用度,这与MUSTAFA等<sup>[20]</sup>的研究结果一致。ADF是评价饲料能量高低的关键指标,ADF降低与发酵过程中青贮饲料纤维素、半纤维素、木质素的部分降解有关<sup>[21-22]</sup>,各处理组的ADF含量有所越低,表明柱花草与王草混合青贮有利于提高饲料的消化率和饲用价值,这也与崔鑫等<sup>[23]</sup>的研究结果一致。

#### 3.2 混合青贮对饲料发酵品质的影响

良好的青贮饲料品质,与牧草的种类、含水量、WSC、附着的乳酸菌和酵母菌数量以及压实程度等均有关。在本研究中,柱花草和王草混合青贮经过30 d发酵,CK组与各处理组均表现出了较好的发酵品质,这可能与青贮前原料水分含量在60%~70%之间,附着乳酸菌数量超过 $1\times 10^4$  CFU/g,酵母菌数量超过 $1\times 10^2$  CFU/g,发酵温度30℃左右等有关。随着混合青贮饲料中柱花草比例的上升,A<sub>1</sub>、A<sub>2</sub>组感官品质有所改善,其中A<sub>2</sub>组感官评价品质最佳,评定为优良。

青贮后饲料pH的大小是决定青贮是否成功的重要指标,优良的青贮饲料pH应小于4.0,低pH有利于青贮饲料的保存<sup>[24]</sup>。本研究随着混合青贮饲料中柱花草比例的升高,各处理组pH逐渐升高,其中,A<sub>1</sub>组和A<sub>2</sub>组pH均降到3.6以下,符合良好青贮饲料的要求;CK组具有较低的pH和较高的乳酸含量,这与CK组发酵原料具有较高的WSC含量和较多的乳酸菌数量有关,大量的WSC为乳酸菌的生长提供了足够的发酵底物,有利于乳酸的产生,从而更有利于降低发酵饲料的pH。

有机酸含量是评估青贮饲料品质的主要参数。各试验组中乳酸含量较高,说明青贮过程中,乳酸菌是优势菌,这也与研究中所测乳酸菌数量

较高的结果一致。良好的青贮饲料乳酸/乙酸值应大于2<sup>[25]</sup>,在本研究中,各试验组乳酸/乙酸值均大于2.6,且CK组乳酸含量最高,这与CK组中测得较低的pH和数量较多的乳酸菌结果一致。在各试验组中仅发现有少量的丙酸和丁酸,这可能是由于较低的pH抑制了有害微生物的繁殖,从而降低了丙酸和丁酸的含量;A<sub>2</sub>组与其他处理组相比,其丁酸含量最少,表明其有害微生物繁殖少,饲料中有害物质少,这可能与饲料中含有一定数量的梭菌有关,研究发现梭菌可利用乳酸和糖类产生丁酸<sup>[26]</sup>,也可能是由于A<sub>2</sub>组的高浓度乳酸菌抑制了丁酸的产生,这与王奇等<sup>[27]</sup>和贾春旺等<sup>[28]</sup>的研究报道一致。

青贮饲料中NH<sub>3</sub>-N/TN值可反映蛋白质和氨基酸的分解程度,比值越大,说明蛋白质和氨基酸分解越多,青贮品质越差<sup>[29]</sup>。良好的青贮饲料NH<sub>3</sub>-N/TN值应小于100 g/kg。在本研究中,各试验组的NH<sub>3</sub>-N/TN值均小于100 g/kg,符合良好青贮饲料的标准。随着柱花草添加比例的增加,NH<sub>3</sub>-N/TN值逐渐升高,这与豆科类牧草中WSC含量低,单独青贮会产生大量的氨态氮和丁酸有关,该结果与JACOBS等<sup>[30]</sup>的研究结果一致。但张丁华等<sup>[31]</sup>研究多花黑麦草与紫花苜蓿混合青贮,结果发现随着紫花苜蓿含量增加,NH<sub>3</sub>-N/TN值却逐渐降低。在本研究中,A<sub>2</sub>组的NH<sub>3</sub>-N/TN值与各处理组差异显著,A<sub>3</sub>组最高,说明A<sub>3</sub>组蛋白质或者氨基酸分解程度最高,青贮饲料含氮类物质营养流失最多。随着柱花草比例的增加,混合青贮饲料的WSC含量逐渐升高,这可能与豆科类牧草较低的水分活度抑制了发酵饲料中乳酸菌的活性,降低了乳酸的含量,从而导致WSC消耗减少有关。

### 4 结论

综上所述,热研2号柱花草和热研4号王草混合青贮可提高饲料的营养价值和发酵品质。随着柱花草比例的增加,混合青贮饲料的粗蛋白和粗脂肪含量显著提高,当混合青贮中热研2号柱花草比例达到30%时,pH较低,乳酸含量较高,丁酸含量最低,感官评价优良,发酵品质最佳,符合优质青贮饲料的标准,但要完全消除丁酸的产生,还需进一步增加产酸能力更强的乳酸菌。从发酵品质和营养价值的角度考虑,建议以30%

热研 2 号柱花草和 70%热研 4 号王草混合青贮较为适宜。

## 参考文献

- [1] 张瑜, 严琳玲, 虞道耿, 杨虎彪, 刘国道. 5 个柱花草品种苗期对于旱胁迫的响应[J]. 种子, 2019, 38(2): 100-104.  
ZHANG Y, YAN L L, YU D G, YANG H B, LIU G D. Response of five *Stylosandii* cultivars to drought stress at seedling stage[J]. Seeds, 2019, 38(2): 100-104. (in Chinese)
- [2] 邹璇, 王成, 陈晓阳, 张庆. 桉叶油和迷迭香油对柱花草青贮品质的影响[J]. 中国草地学报, 2022, 44(2): 89-97.  
ZOU X, WANG C, CHEN X Y, ZHANG Q. Effects of eucalyptus oil and rosemary oil on silage quality of stylo[J]. Chinese Journal of Grassland, 2022, 44(2): 89-97. (in Chinese)
- [3] 王仁华, 刘晓兰, 王琤, 赵薇娜. 柱花草的饲用价值及其影响因素[J]. 饲料与畜牧, 2013(6): 8-9.  
WANG R H, LIU X L, WANG C, ZHAO W N. Feed value and influencing factors of *Stylosanthes cylindrica*[J]. Feed & Animal Science, 2013(6): 8-9. (in Chinese)
- [4] 周莉. 苜蓿发酵品质的影响因素研究[J]. 饲料研究, 2019(9): 118-121.  
ZHOU L. Study on factors affecting fermentation quality of alfalfa[J]. Feed Research, 2019(9): 118-121. (in Chinese)
- [5] 张亚格, 李茂, 周汉林, 胡琳, 李韦, 徐铁山. 3 个品种柱花草的营养成分和产气特征[J]. 草业科学, 2017, 34(1): 165-172.  
ZHANG Y G, LI M, ZHOU H L, HU L, LI W, XU T S. Nutrient composition and gas production characteristics of three stylosanthus cultivars[J]. Pratacultural Science, 2017, 34(1): 165-172. (in Chinese)
- [6] PACIULLO D S, PIRES M F, AROEIRA L J, MORENZ M J, MAURICIO R M, GOMIDE C A, SILVEIRA S R. Sward characteristics and performance of dairy cows in organic grass-legume pastures shaded by tropical trees[J]. Animal, 2014, 8(8): 1264-1271.
- [7] 张继友. 中国王草种质资源经济价值研究[D]. 海口: 海南大学, 2014.  
ZHANG J Y. Study on the economic value of Chinese king grass germplasm resources[D]. Haikou: Hainan University, 2014. (in Chinese)
- [8] 侯冠彧, 李茂, 字学娟, 周汉林, 刘国道. 王草茎秆物理特性与饲用价值相关性研究[J]. 家畜生态学报, 2016, 37(11): 68-73.  
HOU G Y, LI M, ZI X J, ZHOU H L, LIU G D. Study on the correlation between physical characteristics and feeding value of culm of *Pennisetum sinense*[J]. Journal of Animal Ecology, 2016, 37(11): 68-73. (in Chinese)
- [9] 杨峰, 李笑春. 王草青贮过程中乳酸菌及青贮品质动态变化的研究[J]. 饲料研究, 2015(19): 7-10, 61.  
YANG F, LI X C. Study on lactic acid bacteria and dynamic change of silage quality during Silage of king grass[J]. Feed Research, 2015(19): 7-10, 61. (in Chinese)
- [10] LI F, KE W, DING Z, BAI J, ZHANG Y, XU D, LI Z, GUO X. Pretreatment of *Pennisetum sinense* silages with ferulic acid esterase-producing lactic acid bacteria and cellulase at two dry matter contents: fermentation characteristics, carbohydrates composition and enzymatic saccharification[J]. Bioresource Technol, 2019, 295: 122261.
- [11] LI J, YUAN X, DONG Z, MUGABE W, SHAO T. The effects of fibrolytic enzymes, cellulolytic fungi and bacteria on the fermentation characteristics, structural carbohydrates degradation, and enzymatic conversion yields of *Pennisetum sinense* silage[J]. Bioresource Technology, 2018, 264: 123-130.
- [12] CHEN L, GUO G, YUAN X J, ZHANG J, WEN A Y, SUN X H, SHAO T. Effect of ensiling whole crop oat with lucerne in different ratios on fermentation quality, aerobic stability and *in vitro* digestibility on the Tibetan plateau[J]. Journal Animal Physiology and Animal Nutrition, 2017, 101(5): 144-153.
- [13] 马健, 毛江, 刘艳芳, 李胜利, 余雄, 杨基, 李锐. 不同刈割高度对禾王草干草和青贮品质的影响[J]. 饲料研究, 2016(5): 52-56.  
MA J, MAO J, LIU Y F, LI S L, YU X, YANG J, LI R. Effects of different cutting heights on hay and silage quality of *Pennisetum sinense*[J]. Feed Research, 2016(5): 52-56. (in Chinese)
- [14] 李茂, 字学娟, 白昌军, 周汉林, 王坚. 不同贮藏温度对王草青贮发酵品质的影响[J]. 中国畜牧兽医, 2014, 41(10): 91-94.  
LI M, ZI X J, BAI C J, ZHOU H L, WANG J. Effects of different storage temperatures on fermentation quality of silage of king grass[J]. China Animal Husbandry and Veterinary Medicine, 2014, 41(10): 91-94. (in Chinese)
- [15] 傅彤, 刘庆生, 范志影, 刁其玉. 应用离子色谱测定青贮饲料中有机酸含量的研究[J]. 中国畜牧兽医, 2005, 32(5): 16-17.  
FU T, LIU Q S, FAN Z Y, DIAO Q Y. Determination of organic acids in silage by ion chromatography[J]. China Animal Husbandry & Veterinary Medicine, 2005, 32(5): 16-17. (in Chinese)
- [16] ZHANG H, KE W, JING P, ZHANG J, CHEN M, YU Y, GUO X. Effect of lactic acid bacteria isolated from Tibetan plateau on silage fermentation quality of *Elms nutans*[J].

- Acta Microbiologica Sinica, 2015, 55 (10): 1291-1297.
- [17] 曹雨莉, 刘瑞芳, 苏利红. 应用高效液相色谱法测定青贮饲料中有机酸含量的研究[J]. 黑龙江畜牧兽医, 2013(21): 86-87, 91.  
CAO Y L, LIU R F, SU L H. Determination of organic acids in silage by high performance liquid chromatography[J]. Heilongjiang Animal Husbandry and Veterinary Medicine, 2013(21): 86-87, 91. (in Chinese)
- [18] 徐玉涛, 李珂珂, 王贺新, 陈丽荣, 弓晓杰. 高效液相色谱法对蓝莓果实中8个有机酸含量的测定[J]. 食品科学, 2015, 36(18): 127-131.  
XU Y T, LI K K, WANG H X, CHEN L R, GONG X J. Determination of eight organic acids in blueberry fruits by high performance liquid chromatography[J]. Food Science, 2015, 36(18): 127-131. (in Chinese)
- [19] 刘建新, 杨振海, 叶均安, 史占全, 吴跃明. 青贮饲料的合理调制与质量评定标准(续)[J]. 饲料工业, 1999(4): 3-5.  
LIU J X, YANG Z H, YE J A, SHI Z Q, WU Y M. Rational preparation and quality evaluation standard of silage (continued)[J]. Feed Industry, 1999(4): 3-5. (in Chinese)
- [20] MUSTTAF A F, CHRISTENSEN D A, MCKINNON J J. Effect of pea, barely, and alfalfa silage on ruminal nutrient degradability and performance of dairy cows[J]. Journal of Dairy Science, 2000, 83(12): 2859-2865.
- [21] LI J, YUAN X, DONG Z, MUGABE W, SHAO T. The effects of fibrolytic enzymes, cellulolytic fungi and bacteria on the fermentation characteristics, structural carbohydrates degradation, and enzymatic conversion yields of *Pennisetum sinense* silage[J]. Bioresource Technology, 2018, 264: 123-130.
- [22] 张立冬, 字学娟, 李茂, 吕仁龙, 胡海超, 唐军, 周汉林. 纤维素酶对柱花草青贮品质和营养成分的影响[J]. 黑龙江畜牧兽医, 2021(7): 118-121.  
ZHANG L D, ZI X J, LI M, LYU R L, HU H C, TANG J, ZHOU H L. Effects of cellulase on silage quality and nutrient composition of *Stylosanthes cylindrica*[J]. Heilongjiang Animal Husbandry and Veterinary Medicine, 2021(7): 118-121. (in Chinese)
- [23] 崔鑫, 刘信宝, 李志华. 紫花苜蓿与多花黑麦草不同质量比青贮饲料的品质分析[J]. 草地学报, 2015, 23(2): 394-400.  
CUI X, LIU X B, LI Z H. Quality analysis of silage with different mass ratios of alfalfa and ryegrass[J]. Acta Agrestia Sinica, 2015, 23(2): 394-400. (in Chinese)
- [24] AMER S, HASSANAT F, BERTHIAUME R, SEGUIN P, MUSTAFA A F. Effects of water soluble carbohydrate content on ensiling characteristics, chemical composition and *in vitro* gas production of forage millet and forage sorghum silages[J]. Animal Feed Science and Technology, 2012, 177(1-2): 23-29.
- [25] MCDONALD P, EDWARDS R A, GREENHALGH J F D. Animal nutrition: 6th eds[M]. UK: Pearson Education Limited, 2002.
- [26] PAOLA P, MIRIAM M, MARCO Z, MAURO M, MARIANNA V. Electro-fermentation and redox mediators enhance glucose conversion into butyric acid with mixed microbial cultures[J]. Bio-electrochemistry, 2019, 130: 1-9.
- [27] 王奇, 余成群, 李志华, 赵庆杰, 下条雅敬, 邵涛. 添加酶和乳酸菌制剂对西藏苇状羊茅和箭豌豆混合青贮发酵品质的影响[J]. 草业学报, 2012, 21(4): 186-191.  
WANG Q, YU C Q, LI Z H, ZHAO Q J, MASATAKA S M J, SHAO T. Effects of microbial enzymes and microbial preparation on fermentation quality of common vetch silage [J]. Acta Prataculturae Sinica, 2012, 21(4): 186-191. (in Chinese)
- [28] 贾春旺, 原现军, 李君凤, 闻爱友, 白晰, 肖慎华, 郭刚, 魏化敬, 邵涛. 青稞酒糟对紫花苜蓿和多年生黑麦草混合青贮发酵品质的影响[J]. 南京农业大学学报, 2016, 39(2): 275-280.  
JIA C W, YUAN X J, LI J F, WEN A Y, BAI X, XIAO S H, GUO G, WEI H J, SHAO T. Effects of barley lees on fermentation quality of mixed silage of alfalfa and *Perennial ryegrass*[J]. Journal of Nanjing Agricultural University, 2016, 39(2): 275-280. (in Chinese)
- [29] MOSELHY M A, BORBA J P, BORBA A E S. Improving the nutritive value, *in vitro* digestibility and aerobic stability of *Hedychium gardenianum* silage through application of additives at ensiling time[J]. Animal Feed Science and Technology, 2015, 206: 8-18.
- [30] JACOBS J L, WARD G N. Effect of cereal and pea monocultures and combinations and silage additives on whole crop cereal silage nutritive and fermentation characteristics[J]. Animal Production Science, 2013, 53(5): 427-436.
- [31] 张丁华, 王艳丰, 刘健, 王书丽, 陈付英. 多花黑麦草与紫花苜蓿混合青贮发酵品质和体外消化率的研究[J]. 动物营养学报, 2019, 31(4): 1725-1732.  
ZHANG D H, WANG Y F, LIU J, WANG S L, CHEN F Y. Study on fermentation quality and *in vitro* digestibility of mixed silage of ryegrass and alfalfa[J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2019, 31(4): 1725-1732. (in Chinese)