

doi:10.11733/j.issn.1007-0435.2026.03.034

引用格式:田浩宇,王思怡,苑明伟,等.副干酪乳杆菌与枯草芽孢杆菌对不同品种杂交狼尾草青贮品质的影响[J].草地学报,2026,34(3):1118–1127

TIAN Hao-yu, WANG Si-yi, YUAN Ming-wei, et al. Effect of Silage Additives on Silage Quality of Different Varieties of Hybrid *Pennisetum*[J]. Acta Agrestia Sinica, 2026, 34(3):1118–1127

副干酪乳杆菌与枯草芽孢杆菌对不同品种杂交狼尾草青贮品质的影响

田浩宇¹, 王思怡¹, 苑明伟¹, 刘奕婷¹, 王连军², 刘宇飞³, 归静³, 杨霞³,
乔江⁴, 张艳芬⁴, 吴哲^{1*}

(1. 中国农业大学草业科学与技术学院, 北京 100193; 2. 榆阳区林草生态修复中心, 陕西 榆林 719000;
3. 榆阳区草原工作站, 陕西 榆林 719000; 4. 榆林市畜牧兽医服务中心, 陕西 榆林 719000)

摘要:本试验旨在研究不同杂交狼尾草品种及添加剂处理对杂交狼尾草青贮品质的影响。试验共6种杂交狼尾草,每个品种设置对照组(CK)、副干酪乳杆菌组(LP)、枯草芽孢杆菌组(BS)及副干酪乳杆菌+枯草芽孢杆菌组合接种组(LP+BS),副干酪乳杆菌、枯草芽孢杆菌的添加量均为 1×10^6 CFU·g⁻¹ FW,发酵30 d后测定营养与发酵指标,并通过弗氏评分和主成分分析综合评价。结果显示:添加剂处理显著提高‘PI_587000’‘536321’两个品种的粗蛋白含量并显著降低‘536321’‘103’两个品种的中性洗涤纤维含量;LP和LP+BS能显著降低‘苏农科二号’‘536321’‘102’和‘103’的NH₃-N:TN($P < 0.05$),但所有品种BS处理的氨态氮:全氮显著高于LP+BS处理($P < 0.05$);‘102’和‘103’两个品种的乳酸含量较高。弗氏评分结合氨态氮:全氮分析显示,‘晚熟狼尾草’发酵效果最好;LP+BS作为青贮添加剂对饲草青贮改善效果最好。主成分分析提取5个主成分,累积贡献率达到86.558%。各品种综合得分最高的是‘晚熟狼尾草’品种,各添加剂处理综合得分最高的是LP+BS。综上,‘晚熟狼尾草’更适合作为杂交狼尾草青贮原料,添加剂LP+BS更适合作为杂交狼尾草的青贮添加剂。

关键词:杂交狼尾草;青贮品质;副干酪乳杆菌;枯草芽孢杆菌

中图分类号:S816.53

文献标识码:A

文章编号:1007-0435(2026)03-1118-10

Effect of Silage Additives on Silage Quality of Different Varieties of Hybrid *Pennisetum*

TIAN Hao-yu¹, WANG Si-yi¹, YUAN Ming-wei¹, LIU Yi-ting¹, WANG Lian-jun²,
LIU Yu-fei³, GUI Jing³, YANG Xia³, QIAO Jiang⁴, ZHANG Yan-fen⁴, WU Zhe^{1*}

(1. College of Grassland Science and Technology, China Agricultural University, Beijing 100193, China; 2. Yuyang District Forestry and Grassland Ecological Restoration Center, Yulin, Shaanxi Province 719000, China; 3. Yuyang District Grassland Work Station, Yulin, Shaanxi Province 719000, China; 4. Yulin Animal Husbandry and Veterinary Service Center, Yulin, Shaanxi Province 719000, China)

Abstract: This study was designed to systematically investigate the effects of different hybrid *Pennisetum* varieties and microbial additive treatments on the silage quality of hybrid *Pennisetum*. A total of six hybrid *Pennisetum* genotypes were employed, with each genotype assigned to a control group (CK), *Lactobacillus paracasei* (LP) group, *Bacillus subtilis* (BS) group, and *Lactobacillus paracasei* + *Bacillus subtilis* (LP+BS) group. The inoculation dosages for both *L. paracasei* and *B. subtilis* were standardized at 1×10^6 CFU·g⁻¹ fresh

收稿日期:2025-03-13;修回日期:2025-06-09

基金项目:财政部和农业农村部:国家现代农业产业技术体系(CARS-34-24);国家重点研发计划“政府间国际科技创新合作”重点专项(2022YFE0111000);生态友好型苜蓿产品加工贮藏技术集成与应用(2022ZY0117);榆林市秸秆与饲草综合利用技术研究与示范资助

作者简介:田浩宇(2002-),男,汉族,湖南邵阳人,硕士研究生,主要从事饲草加工利用研究,E-mail:2728433435@qq.com; *通信作者 Author for correspondence, E-mail: wuzhe@cau.edu.cn

weight (FW). Following a 30-day fermentation period, nutritional parameters and fermentation indices were quantified, with comprehensive evaluation conducted via Flieg scoring system and principal component analysis (PCA). Results demonstrated that probiotic amendments significantly enhanced crude protein (CP) content in 'PI_587000' and '536321' genotypes, while markedly reducing neutral detergent fiber (NDF) content in '536321' and '103' genotypes. Supplementation with LP and LP+BS notably decreased the ammonia nitrogen : total nitrogen ($\text{NH}_3\text{-N}:\text{TN}$) ratio in 'Sunongke No. 2' '536321' '102' and '103' ($P<0.05$), whereas all BS-treated groups exhibited significantly higher $\text{NH}_3\text{-N}:\text{TN}$ ratios than LP+BS treatments ($P<0.05$). Genotypes '102' and '103' showed elevated lactic acid (LA) accumulation. Integrative analysis of Flieg scores and $\text{NH}_3\text{-N}:\text{TN}$ ratios indicated that 'late-maturing *Pennisetum*' displayed optimal fermentation performance, with LP+BS demonstrating the most pronounced improvement in forage silage quality. PCA yielded five principal components with a cumulative contribution rate of 86.558%, confirming 'late-maturing *Pennisetum*' as the top-performing genotypes and LP+BS as the most effective additive treatment. Conclusively, 'late-maturing *Pennisetum*' is preferable as silage substrate for hybrid *Pennisetum*, and the LP+BS consortium represents the optimal probiotic additive for enhancing silage quality.

Key words: *Pennisetum americanum*×*P. purpureum*; silage quality; *Lactobacillus paracasei*; *Bacillus subtilis*

杂交狼尾草(*Pennisetum americanum*×*P. purpureum*)为暖季型禾本科牧草,具有适应性广、产量高、生长期无病虫害、再生能力强、可多次刈割等很多优良特性,但其草质较为粗硬,适口性较差^[1]。目前,我国杂交狼尾草的种植主要集中在南方的热带和亚热带地区,而仅有少数品种适应北方的温带和寒冷地区^[2]。北方秋冬季饲草料缺乏,青鲜饲草料尤为短缺。青贮饲料青鲜、适口,可有效缓解秋冬饲草匮乏的困扰,而杂交狼尾草因其独特的优势可作为青贮饲料的重要原料之一^[3]。青贮是杂交狼尾草调制加工最有效的方法之一,不仅可以较好地保留其营养成分,还能提高饲料的适口性和利用率^[4-6]。然而,由于杂交狼尾草的糖分含量偏低、水分含量高,且新鲜牧草表面自然附着的微生物较为复杂,往往有害的好氧菌数目远多于乳酸菌,导致青贮发酵进程缓慢,易发生腐败变质^[7-8]。因此,开发优质的青贮饲料添加剂对提升杂交狼尾草青贮发酵品质至关重要。

副干酪乳杆菌(*Lactobacillus paracasei*)是一种革兰氏阳性同型发酵乳酸菌,主要通过增强有氧稳定性来提高青贮品质。王琦等^[9]研究表明,青贮苜蓿接种副干酪乳杆菌可改善短期有氧暴露青贮品质,提高其有氧稳定性,减缓有氧变质。枯草芽孢杆菌(*Bacillus subtilis*)作为一种微生物青贮添加剂,在近年研究中被广泛验证可通过抑制有害微生物活动改善青贮品质^[10]。李珏等^[11]研究表明,接种枯草芽孢杆菌可提高杂交狼尾草青贮的营养品质和发酵品质,并抑制有氧暴露后有害菌生长。朱佳文等^[12-13]研究表明,在桑叶发酵中加入枯草芽孢杆菌及其与地衣芽孢杆菌复合菌后降低了中性洗涤

纤维和酸性洗涤纤维含量。黄光云等^[14]研究表明,在桑枝叶青贮中加入枯草芽孢杆菌提高了粗蛋白质含量,纤维含量降低。青贮饲料的产量和营养含量因品种不同存在差异,李冰洋^[15]研究表明不同杂交狼尾草品种的生产性能及青贮品质有明显的不同,在重庆地区种植‘邦得1号’与耐寒杂交狼尾草以每年2次刈割方式提高了牧草产量,与酒糟进行混合青贮提高了青贮品质。

目前对杂交狼尾草组合接种微生物添加剂的研究较少,本研究以6个代表性杂交狼尾草品种为材料,通过在不同品种杂交狼尾草中单独接种或组合接种植物乳杆菌和枯草芽孢杆菌,探究其对不同品种杂交狼尾草青贮营养成分、发酵品质的影响,比较不同品种的杂交狼尾草的青贮效果,为提高杂交狼尾草加工利用效率提供一定的科学依据和技术支持。

1 材料与方法

1.1 试验材料

6个品种的杂交狼尾草(‘晚熟狼尾草’‘苏农科二号’‘PI_587000’‘536321’‘102’‘103’)原料来自北京市小汤山狼尾草种植基地,抽穗期收获。试验菌剂副干酪乳杆菌、枯草芽孢杆菌均来自中国农业大学草业科学与技术学院青贮课题组。

1.2 试验设计

试验采用双因素设计。采用6个杂交狼尾草品种:‘晚熟狼尾草’‘苏农科二号’‘PI_587000’‘536321’‘102’及‘103’进行青贮。每个品种设置

三个添加剂处理组,分别为接种枯草芽孢杆菌的BS组(枯草芽孢杆菌添加量为 1.0×10^6 CFU $\cdot$ g $^{-1}$ FW)、接种副干酪乳杆菌的LP组(副干酪乳杆菌添加量为 1.0×10^6 CFU $\cdot$ g $^{-1}$ FW)、组合接种处理的LP+BS组(副干酪乳杆菌和枯草芽孢杆菌添加量分别为 5.0×10^5 CFU $\cdot$ g $^{-1}$ FW和 5.0×10^5 CFU $\cdot$ g $^{-1}$ FW)及用于对照的CK组(添加等量无菌水)。菌剂添加量参考了课题组的青贮添加剂相关研究^[16-17]。

1.3 试验方法

选用无破损、厚度为0.8~1 mm的透明塑料封口袋制作青贮发酵袋。按试验设计将菌液或无菌水喷施于各组样品上。混合均匀后迅速装入青贮袋中,每袋约300 g。将青贮袋抽真空密封后在室温下存放发酵,每袋做好标记。每组设3个重复。将封好口的杂交狼尾草青贮集中存放,20℃下发酵30 d后开袋取样测定营养成分含量及发酵品质。

1.4 测定指标

1.4.1 营养成分测定 杂交狼尾草青贮料营养成分主要测定干物质(Dry matter, DM)、粗蛋白(Crude protein, CP)、水溶性碳水化合物(Water soluble carbohydrate, WSC)、中性洗涤纤维(Neutral detergent fiber, NDF)、酸性洗涤纤维(Acid detergent fiber, ADF)。青贮30 d后开封,每袋取200 g于65℃烘箱中烘至恒重后,称重计算DM含量。将烘干的样品进行粉碎,过40目筛后用于营养成分含量的测定。使用KDN-103F凯氏定氮仪(GB/T6432—2018)测定CP含量,使用硫酸蒽酮法^[18]测定WSC含量,采用范氏分析法^[19]测定NDF和ADF含量。

1.4.2 发酵指标测定 青贮发酵参数主要测定pH、氨态氮(Ammonia nitrogen, NH₃-N)、乳酸(Lactic acid, LA)、乙酸(Acetic acid, AA)、丙酸(Propionic acid, PA)、丁酸(Butyric acid, BA)。每袋青贮分别取10 g混匀样品,加90 mL蒸馏水,使用组织破碎机匀浆,4层纱布过滤后即浸提液,用于测定pH、NH₃-N和有机酸含量。pH值采用AB33PH-F精密pH计测定。NH₃-N含量采用苯酚-次氯酸钠比色法^[20]测定。LA, AA, PA和BA的含量采用SHIMADZE-10A型高效液相色谱仪进行分析,色谱柱为ShodexRspak KC-811S-DVB gel Column 300 mm $\times$ 8 mm,检测器为SPD-M10AVP,

其流动相为3 mmol $\cdot$ L $^{-1}$ 高氯酸,流速为1 mL $\cdot$ min $^{-1}$,进样量设置为5 μ L,柱温50℃,检测波长为210 nm^[21]。

1.4.3 弗氏评分方案 为了评价不同品种杂交狼尾草青贮的发酵质量,以弗氏评分法(Flieg score, FS)^[22]和所测青贮饲料中LA, AA和BA分别占总酸(Total acid, TA)的比例为依据,并根据评分结果将青贮品质分为以下4个等级:很好(81~100分)、好(61~81分)、合格(21~40分)和失败(0~20分)^[23]。

1.5 数据统计分析

利用Excel 2019软件进行基础数据统计与初步分析。使用SPSS 26.0软件对数据进行单因素方差分析、双因素方差分析和主成分分析,采用Duncan氏法对数据进行多重比较,结果用平均值 $\pm$ 标准差表示, $P < 0.05$ 为差异显著。

2 结果与分析

2.1 青贮添加剂对不同品种杂交狼尾草青贮营养成分的影响

由表1可知,杂交狼尾草品种对除ADF之外的各营养成分均有极显著影响($P < 0.01$)。添加剂处理对于这六个品种的DM含量影响不显著。品种和添加剂处理的交互作用对CP, NDF和WSC含量均有显著影响($P < 0.05$)。6个杂交狼尾草品种中,‘晚熟狼尾草’‘PI_587000’和‘536321’三个品种的DM含量较高,平均含量在30%以上。‘苏农科二号’和‘103’两个品种的CP含量较高,添加剂处理对于‘PI_587000’和‘536321’两个品种的CP含量具有显著影响($P < 0.05$),组合接种处理均能显著提高CP含量($P < 0.05$)。‘晚熟狼尾草’和‘102’两个品种的NDF和ADF含量较低。相比对照,组合接种处理显著降低了‘536321’‘103’两个品种的NDF和ADF含量($P < 0.05$),且该处理在除‘晚熟狼尾草’外的其余品种中皆有降低NDF、ADF的作用。对于‘苏农科二号’,接种BS处理使ADF含量显著低于对照($P < 0.05$),组合接种影响不显著。对于‘晚熟狼尾草’‘苏农科二号’和‘536321’三个品种,接种LP处理的WSC含量最高,显著高于其他处理($P < 0.05$),但‘103’品种组合接种处理显著高于其他处理($P < 0.05$),‘PI_587000’和‘102’两个品种添加剂处理对WSC含量影响不显著。

表 1 青贮添加剂对不同品种杂交狼尾草青贮营养成分的影响

Table 1 Effects of silage additives on silage nutrient components of different varieties of hybrid *Pennisetum*

品种 Variety	处理 Treatments	DM/%FM	CP/%DM	NDF/%DM	ADF/%DM	WSC/%DM
晚熟狼尾草	CK	31.68±0.09 ^B	3.36±0.58 ^{BC}	51.92±1.35 ^B	31.76±0.90 ^B	1.84±0.10 ^{ABb}
	LP	31.00±1.88 ^B	3.58±0.27 ^{BC}	52.05±3.40 ^C	32.49±4.96 ^B	2.26±0.17 ^{ABa}
	BS	30.42±4.49 ^B	3.59±0.41 ^{AB}	53.99±0.38 ^B	32.44±0.56	1.52±0.23 ^{Cb}
	LP+BS	31.71±0.67 ^B	3.66±0.21 ^{CD}	52.08±2.02 ^{BC}	33.18±1.16 ^{AB}	0.90±0.21 ^{DEc}
苏农科二号	CK	27.60±0.19 ^C	4.18±0.25 ^A	59.15±3.43 ^A	39.06±3.70 ^{Aa}	0.15±0.09 ^{Cc}
	LP	29.54±1.18 ^{BC}	5.23±1.45 ^A	57.04±3.41 ^{AB}	35.88±1.86 ^{Bab}	1.23±0.04 ^{Ba}
	BS	28.09±0.34 ^{BC}	4.16±0.34 ^A	52.15±4.21 ^B	33.24±1.84 ^b	0.23±0.07 ^{Ebc}
	LP+BS	27.53±1.53 ^C	5.10±0.39 ^A	56.22±2.05 ^{AB}	36.43±0.86 ^{ABab}	0.32±0.03 ^{Eb}
PI_587000	CK	36.56±2.28 ^A	1.62±0.25 ^{Dc}	60.32±1.82 ^A	37.29±0.36 ^{AB}	2.39±0.49 ^A
	LP	35.13±1.74 ^A	3.05±0.04 ^{Ca}	55.54±0.05 ^{ABC}	34.63±1.58 ^B	1.72±0.97 ^B
	BS	35.16±2.57 ^A	2.21±0.10 ^{Cb}	57.82±4.29 ^{AB}	36.14±2.81	2.79±0.12 ^A
	LP+BS	36.54±2.12 ^A	2.79±0.15 ^{Ea}	57.61±3.22 ^A	35.80±4.16 ^A	2.30±0.13 ^B
536321	CK	33.70±2.92 ^B	3.03±0.18 ^{Cb}	57.25±3.56 ^{ABa}	37.20±3.98 ^{ABa}	1.79±0.64 ^{ABb}
	LP	34.77±1.98 ^A	3.02±0.38 ^{Cb}	59.66±2.16 ^{Aa}	36.52±0.35 ^{ABab}	3.11±0.87 ^{Aa}
	BS	35.83±0.85 ^A	3.74±0.17 ^{ABa}	56.50±1.14 ^{Ba}	34.73±0.74 ^{ab}	0.97±0.15 ^{Db}
	LP+BS	34.34±1.44 ^{AB}	4.22±0.42 ^{Ba}	50.89±2.60 ^{Cb}	32.96±0.93 ^{ABb}	1.43±0.44 ^{CDb}
102	CK	26.54±0.68 ^{CD}	3.66±0.16 ^{AB}	52.94±2.54 ^B	31.70±3.93 ^B	1.48±0.36 ^B
	LP	26.79±1.55 ^{CD}	3.44±0.42 ^{BC}	53.45±2.80 ^{BC}	32.65±2.19 ^B	1.11±0.04 ^B
	BS	25.10±1.89 ^C	3.09±0.46 ^B	51.05±3.64 ^B	30.91±2.58	2.01±0.45 ^B
	LP+BS	25.64±2.45 ^C	3.19±0.07 ^{DE}	50.72±1.70 ^C	31.61±1.96 ^B	1.67±0.70 ^{BC}
103	CK	24.32±0.90 ^D	4.14±0.21 ^A	62.08±4.29 ^{Aa}	40.93±3.20 ^{Aa}	0.09±0.01 ^{Cc}
	LP	25.23±0.70 ^D	4.51±0.54 ^{AB}	59.05±2.28 ^{Aab}	39.65±1.21 ^{Aab}	2.08±0.77 ^{ABb}
	BS	24.40±0.86 ^C	4.06±0.34 ^A	63.79±1.85 ^{Aa}	35.74±5.55 ^{ab}	0.17±0.04 ^{Ec}
	LP+BS	24.38±2.47 ^C	4.05±0.12 ^{BC}	53.12±2.90 ^{ABCb}	33.85±1.60 ^{ABb}	3.57±0.42 ^{Aa}
<i>P</i> -Value						
品种 Variety		<i>P</i> <0.01	<i>P</i> <0.01	<i>P</i> <0.01	<i>P</i> >0.05	<i>P</i> <0.01
处理 Treatments		<i>P</i> >0.05	<i>P</i> <0.01	<i>P</i> <0.01	<i>P</i> <0.01	<i>P</i> <0.01
品种×添加剂处理 Variety×Treatments		<i>P</i> >0.05	<i>P</i> <0.01	<i>P</i> <0.05	<i>P</i> >0.05	<i>P</i> <0.01

注:DM,干物质;FM,鲜样;CP,粗蛋白;NDF,中性洗涤纤维;ADF,酸性洗涤纤维;WSC,水溶性碳水化合物;CK,对照组;LP,副干酪乳杆菌;BS,枯草芽孢杆菌;LP+BS,副干酪乳杆菌+枯草芽孢杆菌。同列数据肩标不同小写字母表示相同品种不同处理间差异显著($P<0.05$),不同大写字母表示相同处理不同品种间差异显著($P<0.05$),相同或无字母表示差异不显著($P>0.05$)

Note: DM, dry matter; FM, fresh matter; CP, crude protein; NDF, neutral detergent fiber; ADF, acid detergent fiber; WSC, water-soluble carbohydrates; CK, control group; LP, *Lactobacillus paracasei*; BS, *Bacillus subtilis*; LP+BS, *Lactobacillus paracasei* + *Bacillus subtilis*. For data in the same column, different lowercase letters as superscripts indicate significant differences among different treatments for the same variety ($P<0.05$); different uppercase letters as superscripts indicate significant differences among different varieties for the same treatment ($P<0.05$); identical superscripts or no superscripts indicate no significant difference ($P>0.05$)

2.2 青贮添加剂对不同品种杂交狼尾草青贮发酵品质的影响

由表 2 可知,杂交狼尾草品种对除 PA、BA 之外的各发酵品质指标均有极显著影响($P<0.01$)。添加剂处理对除 AA 之外的各发酵品质指标均有显著影响($P<0.05$)。品种和添加剂处理的交互作用对 pH、LA 和 $\text{NH}_3\text{-N}$:TN 均有显著影响($P<0.05$)。6 个杂交狼尾草品种中,‘晚熟狼尾草’和‘PI_587000’两个品种 pH 值各处理均低于 4。对于‘苏农科二号’‘536321’‘102’和‘103’四个品种,与对照相比,各添加剂处理均能降低 pH 值,接种 LP 和

组合接种处理的青贮 pH 值显著低于对照($P<0.05$),但两种处理之间无显著差异。‘晚熟狼尾草’的 $\text{NH}_3\text{-N}$:TN 值较低,组合接种处理的 $\text{NH}_3\text{-N}$:TN 值显著低于对照($P<0.05$)。6 种杂交狼尾草接种 LP 处理的 $\text{NH}_3\text{-N}$:TN 值无显著差异。接种 LP 和组合接种能显著降低‘苏农科二号’‘536321’‘102’和‘103’的 $\text{NH}_3\text{-N}$:TN 值($P<0.05$),但所有品种接种 BS 的 $\text{NH}_3\text{-N}$:TN 值显著高于组合接种处理($P<0.05$)。6 个杂交狼尾草品种中,‘苏农科二号’‘102’和‘103’三个品种的 LA 含量较高,添加剂处理对‘PI_587000’的 LA 含量影响不显著,而在其余

5个品种中,除‘晚熟狼尾草’外接种LP和组合接种处理的LA含量显著高于对照($P<0.05$)。接种BS能显著提高‘晚熟狼尾草’的AA含量($P<0.05$),其

余5个品种各处理无显著影响。相比对照,添加剂处理提高了‘102’品种PA含量。所有品种均检测到BA。

表 2 青贮添加剂对不同品种杂交狼尾草青贮发酵品质的影响

Table 2 Effects of silage additives on silage fermentation quality of different varieties of hybrid *Pennisetum*

品种 Variety	处理 Treatments	pH	LA/%DM	AA/%DM	PA/%DM	BA/%DM	NH ₃ -N:TN/%
晚熟狼尾草	CK	3.83±0.08 ^B	5.45±0.15 ^{Ab}	0.72±0.05 ^{Bc}	0.44±0.10 ^{AB}	0.12±0.02	2.95±1.07 ^{Ca}
	LP	3.76±0.12	5.95±0.44 ^{Bab}	0.61±0.08 ^c	0.41±0.08 ^B	0.12±0.02	1.63±0.37 ^{ab}
	BS	3.86±0.09 ^C	5.75±0.30 ^{BCb}	1.41±0.05 ^a	0.55±0.11	0.12±0.03	2.82±0.95 ^{Ca}
	LP+BS	3.72±0.02 ^B	6.95±0.77 ^a	1.02±0.30 ^b	0.58±0.05	0.13±0.05	1.22±0.23 ^{Cb}
苏农科二号	CK	4.22±0.10 ^{Aa}	5.28±0.61 ^{Ab}	1.62±0.12 ^A	0.52±0.09 ^A	0.13±0.05	7.41±1.06 ^{Aa}
	LP	3.81±0.02 ^b	7.00±0.34 ^{Aa}	1.35±0.24	0.79±0.31 ^A	0.09±0.08	2.50±0.79 ^c
	BS	4.11±0.11 ^{ABa}	6.64±0.17 ^{Ba}	1.31±0.49	0.39±0.08	0.06±0.01	5.71±0.99 ^{ABb}
	LP+BS	3.82±0.03 ^{Ab}	6.78±0.30 ^a	1.36±0.12	0.41±0.07	0.10±0.07	3.10±0.25 ^{Ac}
PI_587000	CK	3.75±0.03 ^B	5.71±0.07 ^A	1.06±0.06 ^B	0.37±0.10 ^{AB}	0.06±0.02	3.40±0.80 ^{BCb}
	LP	3.75±0.05	6.11±0.74 ^B	1.18±0.05	0.48±0.05 ^B	0.06±0.01	1.83±0.54 ^c
	BS	3.85±0.06 ^C	5.18±0.21 ^{CD}	0.98±0.09	0.51±0.13	0.06±0.01	5.34±0.47 ^{Ba}
	LP+BS	3.76±0.04 ^B	5.48±0.19	0.99±0.06	0.39±0.15	0.04±0.01	3.65±0.49 ^{Ab}
536321	CK	4.28±0.32 ^{Aa}	3.76±0.92 ^{Bb}	1.03±0.17 ^B	0.30±0.03 ^B	0.05±0.01	8.04±2.16 ^{Aa}
	LP	3.73±0.03 ^b	5.92±0.33 ^{Ba}	0.92±0.09	0.51±0.07 ^{AB}	0.04±0.01	1.97±0.21 ^c
	BS	4.01±0.04 ^{B^{Cab}}	4.98±0.27 ^{Da}	0.78±0.04	0.56±0.08	0.07±0.03	5.03±0.55 ^{Bb}
	LP+BS	3.74±0.01 ^{Bb}	5.84±0.22 ^a	1.01±0.07	0.56±0.23	0.08±0.06	1.53±0.27 ^{Bc}
102	CK	4.16±0.09 ^{Aa}	5.52±0.50 ^{Ab}	0.95±0.46 ^B	0.32±0.08 ^{Bb}	0.09±0.06	6.05±0.49 ^{ABa}
	LP	3.78±0.02 ^c	7.81±0.58 ^{Aa}	0.99±0.24	0.55±0.31 ^{ABab}	0.08±0.05	2.13±0.36 ^b
	BS	4.02±0.11 ^{BCb}	7.78±0.72 ^{Aa}	1.17±0.12	0.65±0.18 ^a	0.06±0.03	7.18±1.31 ^{Aa}
	LP+BS	3.73±0.01 ^{Bc}	8.51±2.25 ^a	1.58±0.57	0.79±0.08 ^a	0.13±0.11	2.10±0.48 ^{Bb}
103	CK	4.27±0.23 ^{Aa}	5.40±1.21 ^{Ab}	0.99±0.42 ^B	0.49±0.07 ^A	0.08±0.04	7.03±2.59 ^{Aa}
	LP	3.87±0.03 ^b	7.53±0.48 ^{Aa}	0.98±0.53	0.57±0.08 ^{AB}	0.07±0.02	1.98±0.32 ^b
	BS	4.24±0.21 ^{Aa}	5.54±0.80 ^{BCDb}	1.16±0.32	0.46±0.24	0.06±0.04	6.14±0.78 ^{ABa}
	LP+BS	3.85±0.02 ^{Ab}	8.47±0.97 ^a	1.22±0.70	0.60±0.43	0.14±0.10	3.21±0.64 ^{Ab}
P-Value							
品种 Variety		$P<0.01$	$P<0.01$	$P<0.01$	$P>0.05$	$P>0.05$	$P<0.01$
处理 Treatments		$P<0.01$	$P<0.01$	$P>0.05$	$P<0.05$	$P<0.05$	$P<0.01$
品种×添加剂处理 Variety×Treatments		$P<0.01$	$P<0.05$	$P>0.05$	$P>0.05$	$P>0.05$	$P<0.01$

注:pH,酸碱度;LA,乳酸;AA,乙酸;PA,丙酸;BA,丁酸;NH₃-N:TN,氨态氮:总氮;CK,对照组;LP,副干酪乳杆菌;BS,枯草芽孢杆菌;LP+BS,副干酪乳杆菌+枯草芽孢杆菌。同列数据肩标不同小写字母表示相同品种不同处理间差异显著($P<0.05$),不同大写字母表示相同处理不同品种间差异显著($P<0.05$),相同或无字母表示差异不显著($P>0.05$)

Note: pH, potential of hydrogen; LA, lactic acid; AA: acetic acid; PA, propionic acid; BA, butyric acid; NH₃-N: TN, ammonia nitrogen: total nitrogen; CK, control group; LP, *Lactobacillus paracasei*; BS, *Bacillus subtilis*; LP+BS, *Lactobacillus paracasei* + *Bacillus subtilis*. For data in the same column, different lowercase letters as superscripts indicate significant differences among different treatments for the same variety ($P<0.05$); different uppercase letters as superscripts indicate significant differences among different varieties for the same treatment ($P<0.05$); identical superscripts or no superscripts indicate no significant difference ($P>0.05$)

2.3 不同品种杂交狼尾草青贮发酵品质弗氏分析

由表3可知,6个品种杂交狼尾草青贮的LA,AA和BA含量评分差异较小。根据弗氏评分表对6种杂交狼尾草青贮品质评价的总分说明,6个品种青贮都成功,仅‘晚熟狼尾草’和‘苏农科二号’的

部分处理获得“好”的评价(61~80分),其余的品种青贮质量都为很好(81~100分)。仅从不同青贮原料进行评价时,‘102’青贮的各处理评分均为100分,青贮品质较好。仅从不同青贮添加剂进行评价时,组合接种平均评分最高;接种LP次之。

表 3 不同品种杂交狼尾草青贮发酵品质弗氏分析

Table 3 Scores of fermentation quality of silage of different varieties of hybrid *Pennisetum*

品种 Variety	处理 Treatments	LA:TA		AA:TA		BA:TA		总评分 Total score	等级 Grade
		含量	得分	含量	得分	含量	得分		
		Content/%	Score	Content/%	Score	Content/%	Score		
晚熟狼尾草	CK	86.65	30	11.45	20	1.91	30	80	好
	LP	89.07	30	9.13	20	1.80	30	80	好
	BS	78.98	27	19.37	18	1.65	30	75	好
	LP+BS	85.80	30	12.59	20	1.60	50	100	很好
苏农科二号	CK	75.11	24	23.04	17	1.85	30	71	好
	LP	82.94	30	16.00	20	1.07	50	100	很好
	BS	82.90	30	16.35	19	0.75	50	99	很好
	LP+BS	82.28	30	16.50	19	1.21	50	99	很好
PI_587000	CK	83.60	30	15.52	20	0.88	50	100	很好
	LP	83.13	30	16.05	19	0.82	50	99	很好
	BS	83.28	30	15.76	20	0.96	50	100	很好
	LP+BS	84.18	30	15.21	20	0.61	50	100	很好
536321	CK	77.69	27	21.28	18	1.03	50	95	很好
	LP	86.05	30	13.37	20	0.58	50	100	很好
	BS	85.42	30	13.38	20	1.20	50	100	很好
	LP+BS	84.27	30	14.57	20	1.15	50	100	很好
102	CK	84.15	30	14.48	20	1.37	50	100	很好
	LP	87.95	30	11.15	20	0.90	50	100	很好
	BS	86.35	30	12.99	20	0.67	50	100	很好
	LP+BS	83.27	30	15.46	20	1.27	50	100	很好
103	CK	83.46	30	15.30	20	1.24	50	100	很好
	LP	87.76	30	11.42	20	0.82	50	100	很好
	BS	81.95	30	17.16	19	0.89	50	99	很好
	LP+BS	86.16	30	12.41	20	1.42	50	100	很好

注:LA:TA,乳酸:总酸;AA:TA,乙酸:总酸;BA:TA,丁酸:总酸;CK,对照组;LP,副干酪乳杆菌;BS,枯草芽孢杆菌;LP+BS,副干酪乳杆菌+枯草芽孢杆菌,根据评分结果将青贮品质分为以下 4 个等级:很好(81~100 分)、好(61~81 分)、合格(21~40 分)和失败(0~20 分)

Note: LA:TA, lactic acid:total acids; AA:TA, acetic acid:total acids; BA:TA, butyric acid:total acids; CK, control group; LP, *Lactobacillus paracasei*; BS, *Bacillus subtilis*; LP+BS, *Lactobacillus paracasei* + *Bacillus subtilis*; according to the scoring results, silage quality is classified into the following four grades: Excellent (81-100 points), Good (61-81 points), Qualified (21-40 points) and Failed (0-20 points)

2.4 不同品种杂交狼尾草的主成分分析

6 个品种杂交狼尾草青贮品质主成分分析结果见表 4。前 5 个主成分特征值(λ) ≥ 0.723 ,累计贡献率为 86.558%,即原有指标 86.558%的信息被保留,因此只提取对杂交狼尾草青贮品质影响较大的前 5 个综合因子进行分析已足以对青贮品质特性进行评价。第 1 主成分在 pH 和 NH₃-N:TN 上载荷值较大,权重系数分别为 0.923 和 0.950;第 2 主成分在 NDF,ADF 和 BA 上载荷值较大,权重系数分别为 0.929,0.930 和 -0.494;第 3 主成分在 DM,LA 和 PA 上载荷值较大,权重系数分别为 -0.800,

0.806 和 -0.545;第 4 主成分在 CP 和 WSC 上载荷值较大,权重系数为 -0.855 和 0.772;第 5 主成分在 AA 上载荷值较大,权重系数为 0.912。

2.5 不同品种杂交狼尾草主成分得分和综合得分

由表 5 可知,根据综合评价模型得出最后的综合得分,6 个杂交狼尾草品种中,103 平均综合得分最低,晚熟狼尾草平均综合得分最高。将各添加剂处理综合得分进行单因素方差分析,得出各添加剂处理组综合得分高于对照,且组合接种综合得分显著高于对照,得分最高。

表 4 不同品种杂交狼尾草的主成分分析

Table 4 Principal component analysis of different varieties of hybrid *Pennisetum*

项目 Items	主成分 Principal component				
	1	2	3	4	5
DM	0.385	-0.073	-0.800	0.386	-0.093
CP	0.035	-0.075	0.356	-0.855	0.031
NDF	0.199	0.929	0.115	-0.002	0.002
ADF	0.105	0.930	0.066	0.135	-0.032
WSC	0.368	0.071	0.170	0.772	-0.229
pH	0.923	0.220	0.012	0.253	0.029
LA	0.357	0.271	0.806	0.011	0.250
AA	-0.132	-0.014	0.188	-0.189	0.912
PA	-0.393	-0.084	-0.545	0.049	-0.518
BA	-0.194	-0.494	-0.259	0.452	-0.205
NH ₃ -N:TN	0.950	0.176	0.085	-0.047	-0.079
特征值 Eigenvalue	3.583	2.923	1.352	0.941	0.723
贡献率 Contribution rate/%	32.57	26.57	12.292	8.551	6.576
累积贡献值 Accumulative contribution rate/%	32.57	59.14	71.432	79.982	86.558

注:DM,干物质;FM,鲜样;CP,粗蛋白;NDF,中性洗涤纤维;ADF,酸性洗涤纤维;WSC,水溶性碳水化合物;pH,酸碱度;LA,乳酸;AA,乙酸;PA,丙酸;BA,丁酸;NH₃-N:TN,氨态氮:总氮;CK,对照组;LP,副干酪乳杆菌;BS,枯草芽孢杆菌;LP+BS,副干酪乳杆菌+枯草芽孢杆菌

Note: DM, dry matter; FM, fresh matter; CP, crude protein; NDF, neutral detergent fiber; ADF, acid detergent fiber; WSC, water-soluble carbohydrates; pH, potential of hydrogen; LA, lactic acid; AA, acetic acid; PA, propionic acid; BA, butyric acid; NH₃-N:TN, ammonia nitrogen: total nitrogen; CK, control group; LP, *Lactobacillus paracasei*; BS, *Bacillus subtilis*; LP+BS, *Lactobacillus paracasei* + *Bacillus subtilis*

表 5 不同品种杂交狼尾草主成分得分和综合得分

Table 5 Principal component score and comprehensive score of different varieties of hybrid *Pennisetum*

品种 Variety	处理 Treatments	F_1	F_2	F_3	F_4	F_5	F	排序 Ranking
晚熟狼尾草	CK	1.965	1.897	-0.120	0.610	-0.442	1.331	7
	LP	2.302	1.914	0.010	0.665	-0.576	1.477	4
	BS	1.844	1.701	0.250	0.280	0.345	1.306	8
	LP+BS	2.469	1.968	0.367	0.235	0.131	1.618	3
苏农科二号	CK	0.168	0.451	0.224	-0.553	0.670	0.230	21
	LP	2.072	1.121	0.800	-0.101	0.598	1.273	9
	BS	0.680	1.289	0.164	-0.010	0.140	0.685	19
	LP+BS	1.520	1.077	0.439	-0.353	0.296	0.952	14
PI_587000	CK	1.846	0.527	-0.824	1.479	-0.380	0.856	16
	LP	2.166	1.159	-0.330	0.938	-0.093	1.209	10
	BS	1.550	0.722	-0.600	1.367	-0.329	0.830	17
	LP+BS	1.816	0.712	-0.763	1.298	-0.462	0.887	15
536321	CK	0.005	0.226	-1.009	0.765	-0.505	-0.035	23
	LP	2.232	0.624	-0.390	1.360	-0.429	1.078	12
	BS	1.276	0.867	-0.551	0.553	-0.335	0.697	18
	LP+BS	2.373	1.730	-0.058	0.528	-0.108	1.460	5
102	CK	0.601	1.471	0.018	0.274	-0.335	0.682	20
	LP	2.050	1.711	0.634	0.403	0.042	1.430	6
	BS	1.064	1.769	0.807	0.630	0.260	1.140	11
	LP+BS	2.471	2.364	1.369	0.227	0.937	1.943	1
103	CK	-0.065	-0.158	0.137	-0.363	0.000	-0.089	24
	LP	1.795	0.574	0.740	0.223	-0.009	0.978	13
	BS	0.061	0.139	0.129	-0.188	0.056	0.070	22
	LP+BS	2.147	1.960	1.318	0.372	0.335	1.659	2

注:CK,对照组;LP,副干酪乳杆菌;BS,枯草芽孢杆菌;LP+BS,副干酪乳杆菌+枯草芽孢杆菌

Note: CK, control group; LP, *Lactobacillus paracasei*; BS, *Bacillus subtilis*; LP+BS, *Lactobacillus paracasei* + *Bacillus subtilis*

3 讨论

3.1 青贮添加对不同品种杂交狼尾草青贮营养成分的影响

杂交狼尾草品种不同导致青贮饲料营养成分含量存在差异,CP、NDF和ADF是反映饲草营养品质的重要指标,CP含量越高营养品质越好^[24]。本研究中,‘苏农科二号’和‘103’两个品种的CP含量较高,添加剂能够提高‘PI_587000’和‘536321’两个品种的CP含量,组合接种能使CP含量显著增加。NDF含量高会降低家畜对饲草的采食量,ADF含量高会导致饲草消化率下降^[25]。本研究中,‘晚熟狼尾草’和‘102’两个品种的NDF和ADF含量较低,但添加剂的使用对两个品种的NDF和ADF含量无显著影响。组合接种能够显著降低‘536321’和‘103’两个品种的NDF和ADF含量。接种BS和组合接种可以降低ADF含量,其中接种BS后‘苏农科二号’ADF含量显著降低。除个别品种外,本研究中CP、NDF和ADF含量的结果与大部分研究者的研究结果基本一致^[26-28]。

3.2 青贮添加对不同品种杂交狼尾草青贮发酵品质的影响

Santos等^[29]研究发现,青贮饲料pH值的最适宜范围是3.80~4.20。本研究中,除‘苏农科二号’和‘536321’两个品种的对照组的pH大于4.20,本试验其余各品种杂交狼尾草的各处理组的pH范围与该范围一致,说明本试验所使用的菌剂产酸性较强,能有效降低发酵青贮的pH值。万荣等^[30]研究发现布氏乳杆菌的产酸能力和提升粗蛋白质含量的能力均明显强于BS,本研究中接种LP的pH值均低于接种BS,但组合接种能显著降低pH值,说明BS与LP组合接种能消除其产酸能力弱这一缺点。BS可以产生抗菌物质,抑制好氧微生物和腐败微生物的增殖,从而为乳酸菌的生长创造环境,促进乳酸积累^[31]。本研究中,除‘PI_587000’品种外,其余品种组合接种能显著增加LA含量。王林等^[32]研究发现,在青贮饲料质量评定中,氨态氮是一个重要的参考指标,氨态氮占总氮的比例越高,说明青贮饲料蛋白分解就越严重,青贮饲料的品质也就越差。黄峰^[33]发现在甘蔗尾青贮中将BS、LP和米曲霉联合接种后显著降低了青贮料的pH和氨态氮浓度,不良菌群的活动及蛋白质的降解受到抑制,保

证了青贮饲料的发酵品质。本研究中除‘PI_587000’,其余品种的组合接种处理相比对照均能显著降低 $\text{NH}_3\text{-N}:\text{TN}$ 值,但单独接种枯草芽孢杆菌不能有效降低 $\text{NH}_3\text{-N}:\text{TN}$ 值,说明副干酪乳杆菌和枯草芽孢杆菌联合使用抑制了不良微生物的发酵,对于减少青贮过程中粗蛋白的损失有较好的效果。黄秀声等^[34]研究不同乳酸菌添加量对狼尾草和花生秧混合青贮的影响,结果表明添加乳酸菌可显著降低pH值,显著提高乳酸、乳酸乙酸比等指标,与本研究基本一致。

3.3 不同品种杂交狼尾草青贮品质的弗氏分析和主成分分析综合评定

中国农业部1996年发布的《青贮饲料质量评定标准(试行)》将LA、AA、BA和 $\text{NH}_3\text{-N}:\text{TN}$ 值作为青贮评分指标^[35]。本研究根据弗氏评分法对青贮后的饲料中LA、AA和BA进行了评分,再结合 $\text{NH}_3\text{-N}:\text{TN}$ 值对青贮饲料品质进行评价。‘102’品种的平均弗氏评分较高,其LA含量6个品种中最高,但其 $\text{NH}_3\text{-N}:\text{TN}$ 值较高。‘晚熟狼尾草’平均弗氏评分低于102品种,但其 $\text{NH}_3\text{-N}:\text{TN}$ 值最低,不良微生物发酵弱。仅从不同青贮添加剂进行评价时,组合接种处理的平均弗氏评分最高,除‘PI_587000’组合接种均能显著降低 $\text{NH}_3\text{-N}:\text{TN}$ 值。主成分分析是指将多个指标减少为少数几个代表性较好的综合指标,对综合指标进行分析,常用主成分分析进行动植物综合性状评价和优良品质选择^[36-38]。本研究中,6个品种杂交狼尾草的11个指标经过主成分分析,综合为5个独立因子,反映了86.558%的原始变量信息,能够较为全面地对测定指标进行概括。综合得分排名靠前的品种是‘晚熟狼尾草’,使用添加剂后,各品种处理组综合得分均高于对照组,且组合接种综合得分最高,说明同时接种副干酪乳杆菌和枯草芽孢杆菌可以有效改善青贮品质。因此,‘晚熟狼尾草’更适合作为优质青贮饲料加工原料,副干酪乳杆菌和枯草芽孢杆菌组合接种可作为高效青贮添加剂。

4 结论

本试验结果表明,6种杂交狼尾草品种中‘晚熟狼尾草’品种更具有加工调制成优质草产品的潜在优势,副干酪乳杆菌和枯草芽孢杆菌组合接种能

有效改善杂交狼尾草青贮的发酵品质及营养价值,更适合作为杂交狼尾草的青贮添加剂。

参考文献

- [1] 杨运生,洪汝兴,李荣,等. 狼尾草的杂交种引进及其特性研究[J]. 江苏农业科学,1984,12(2):35-37
YANG Y S, HONG R X, LI R, et al. Introduction of *Pennisetum* hybrid and its characteristics[J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 1984, 12(2): 35-37
- [2] 侯新村,滕珂,郭强,等. 狼尾草属牧草研究进展[J]. 植物学报,2022,57(6):814-825
HOU X C, TENG K, GUO Q, et al. Research advances in forage *Pennisetum* resource[J]. Bulletin of Botany, 2022, 57(6): 814-825
- [3] 范美超,格根图,贾玉山,等. 高粱等9个品种饲草生产力及其青贮品质的对比分析[J]. 中国草地学报,2020,42(2):175-180
FAN M C, GE G T, JIA Y S, et al. Comparative analysis of forage productivity and silage quality of nine sorghum and other forage varieties[J]. Chinese Journal of Grassland, 2020, 42(2): 175-180
- [4] 郑丹,下条雅敬,邵涛. 凋萎和添加绿汁发酵液对杂交狼尾草青贮发酵品质的影响[J]. 草地学报,2011,19(2):273-276
ZHENG D, XIA T, SHAO T. Effect of wilting and adding PFJ on fermentation quality of hybrid *Pennisetum* (*Pennisetum americanum* × *P. purpureum*) silage[J]. Acta Agrestia Sinica, 2011, 19(2): 273-276
- [5] 刘丽丹. 优质牧草杂交狼尾草的利用研究初探[J]. 内蒙古农业科技,2009,37(5):86-87
LIU L D. Utilization of the high quality hybrid *Pennisetum*[J]. Inner Mongolia Agricultural Science and Technology, 2009, 37(5): 86-87
- [6] 咸育龙,王玉培,曾宪竟,等. 杂交狼尾草生长过程中营养成分含量与生物量变化规律的研究[J]. 中国奶牛,2009(10):16-19
XIAN Y L, WANG Y P, ZENG X J, et al. Studies on the changes of nutrient contents and biomass of *Pennisetum* hybrid during growing period[J]. China Dairy Cattle, 2009(10): 16-19
- [7] 路桂聪,许辉,王永雄,等. 不同添加物和密度对杂交狼尾草青贮效果的影响[J]. 草业科学,2021,38(11):2191-2199
LU G C, XU H, YU Y X, et al. Effects of different additives and densities on silage quality of hybrid *Pennisetum*[J]. Prata-cultural Science, 2021, 38(11): 2191-2199
- [8] 李小铃,关皓,闫艳红,等. 狼尾草属牧草青贮优良乳酸菌的筛选及生理生化特性研究[J]. 草学,2018(4):27-35
LI X L, GUAN H, YAN Y H, et al. Screening and physiological-biochemical characteristics of good lactic acid bacteria from *Pennisetum* rich. silage[J]. Journal of Grassland and Forage Science, 2018(4): 27-35
- [9] 王琦,武之绚,陈钟玲,等. 副干酪乳杆菌对青贮苜蓿有氧暴露品质和细菌多样性的影响[J]. 生物技术通报,2021,37(9):77-85
WANG Q, WU Z X, CHEN Z L, et al. Effects of *Lactobacillus paracasei* on the quality and bacterial diversity of silage alfalfa after aerobic exposure[J]. Biotechnology Bulletin, 2021, 37(9): 77-85
- [10] 陈国旺,南景东,张建胜,等. 枯草芽孢杆菌和乳酸菌对青贮饲料发酵效果的研究进展[J]. 中国饲料,2025(1):157-161
CHEN G W, NAN J D, ZHANG J S, et al. Research progress on the fermentation effect of *Bacillus subtilis* and lactic acid bacteria on silage[J]. China Feed, 2025(1): 157-161
- [11] 李珏,韩雪林,冯启贤,等. 益生菌添加剂对紫花苜蓿和杂交狼尾草以及二者混合青贮营养品质、发酵品质的影响[J]. 动物营养学报,2023,35(6):4057-4069
LI J, HAN X L, FENG Q X, et al. Effects of probiotic additives on nutritional quality and fermentation quality of alfalfa and hybrid *Pennisetum* and their mixed silage[J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2023, 35(6): 4057-4069
- [12] 朱佳文,李峪鹏,许祯莹,等. 添加枯草芽孢杆菌对桑青贮发酵品质的研究[J]. 中国饲料,2020(3):82-86
ZHU J W, LI Y P, XU Z Y, et al. Research on fermentation quality of mulberry silage of adding *Bacillus subtilis*[J]. China Feed, 2020(3): 82-86
- [13] 朱佳文,邱时秀,李峪鹏,等. 复合芽孢杆菌对桑叶发酵品质的影响[J]. 中国饲料,2021(3):122-125
ZHU J W, QIU S X, LI Y P, et al. Effect of *Bacillus* mixture on the fermentation quality of mulberry[J]. China Feed, 2021(3): 122-125
- [14] 黄光云,何仁春,罗鲜青,等. 不同微生物添加组合对桑枝叶青贮效果的影响[J]. 中国牛业科学,2020,46(4):16-20
HUANG G Y, HE R C, LUO X Q, et al. Effects of different microbial addition combinations of mulberry branches and leaves silage[J]. China Cattle Science, 2020, 46(4): 16-20
- [15] 李冰洋. 不同品种(系)杂交狼尾草的生产性能及高效生产与青贮技术研究[D]. 重庆:西南大学,2024:44-45
LI B Y. Study on production performance, efficient production and silage technology of different varieties (lines) of hybrid *Pennisetum*[D]. Chongqing: Southwest University, 2024: 44-45
- [16] 刘奕婷,冯雪莹,耿嘉良,等. 不同调制方式及添加剂处理对山茱萸青贮品质及能量的影响[J]. 中国畜牧杂志,2025,61(1):311-316
LIU Y T, FENG X Y, GENG J L, et al. Effects of different modulation methods and additives on the quality and energy of *Anisodus tanguticus*[J]. Chinese Journal of Animal Science, 2025, 61(1): 311-316
- [17] 占文源,冯雪莹,刘奕婷,等. 不同乳酸菌添加剂对谷子青贮品质及CNCPS组分的影响[J]. 饲料研究,2024,47(6):106-110
ZHAN W Y, FENG X Y, LIU Y T, et al. Effects of different lactic acid bacteria additives on quality and CNCPS components of millet silage[J]. Feed Research, 2024, 47(6): 106-110
- [18] 张述伟,宗营杰,方春燕,等. 蒽酮比色法快速测定大麦叶片中可溶性糖含量的优化[J]. 食品研究与开发,2020,41(7):196-200
ZHANG S W, ZONG Y J, FANG C Y, et al. Optimization of

- anthrone colorimetric method for rapid determination of soluble sugar in barley leaves[J]. Food Research and Development, 2020,41(7):196-200
- [19] 张丽英. 饲料分析及饲料质量检测技术[M]. 3版. 北京:中国农业大学出版社,2007:48-171
- ZHANG L Y. Feed analyses and quality test[M]. 3 edition. Beijing:China Agricultural University Press,2007:48-171
- [20] KUNG L, SHAVER R D, GRANT R J, et al. Silage review: Interpretation of chemical, microbial, and organoleptic components of silages[J]. Journal of Dairy Science, 2018, 101(5): 4020-4033
- [21] 白杰,李德芳,陈安国,等. HPLC法测定红麻青贮饲料中的有机酸[J]. 中国麻业科学,2016,38(3):105-110
- BAI J, LI D F, CHEN A G, et al. Determination of organic acids in kenaf silage by HPLC [J]. Plant Fiber Sciences in China,2016,38(3):105-110
- [22] 冯骁骋,曾洁,李伟军,等. 天然草原牧草青贮饲料评级体系进展研究[J]. 草原与草业,2016,28(1):48-52
- FENG X C, ZENG J, LI W J, et al. Research on the progress of rating system of natural grassland forage silage[J]. Grassland and Prataculture,2016,28(1):48-52
- [23] 冀红芹,孟令楠,于明,等. 青贮饲料的质量评价[J]. 现代畜牧兽医,2021,(6):92-96
- Ji H Q, MENG L N, YU M, et al. Quality evaluation of silages[J]. Modern Journal of Animal Husbandry and Veterinary Medicine, 2021(6):92-96
- [24] 李艳琴,徐敏云,王振海,等. 牧草品质评价研究进展[J]. 安徽农业科学,2008,36(11):4485-4486
- LI Y Q, XU M Y, WANG Z H, et al. Research advances in evaluation of forage quality[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences,2008,36(11):4485-4486
- [25] 徐玉鹏. 7个青贮玉米品种的产量及品质比较[J]. 河北农业科学,2009,13(6):12-13,36
- XU Y P. Comparison of the yield and quality of seven silage maize varieties [J]. Journal of Hebei Agricultural Sciences, 2009,13(6):12-13,36
- [26] 李伟,韩永胜,孙芳,等. 复合益生菌对甜玉米秸秆青贮品质的影响[J]. 现代畜牧科技,2023(9):49-52
- LI W, HAN Y S, SUN F, et al. Effects of compound probiotics on silage quality of sweet corn stalk[J]. Modern Animal Husbandry Science & Technology,2023(9):49-52
- [27] 赵庆枫,王泽仁,李勇,等. 复合益生菌对巨菌草发酵饲料品质的影响[J]. 饲料研究,2022,45(22):116-119
- ZHAO Q F, WANG Z R, LI Y, et al. Effect of compound probiotics on quality of fermented feed of giant fungus [J]. Feed Research,2022,45(22):116-119
- [28] 万里,吴国芳,王磊,等. 复合益生菌发酵饲料发酵条件优化及品质鉴定[J]. 动物营养学报,2022,34(5):3358-3375
- WAN L, WU G F, WANG L, et al. Fermentation condition optimization and quality evaluation of feed fermented by compound probiotics [J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2022,34(5):3358-3375
- [29] SANTOS A O, ÁVILA C L S, SCHWAN R F. Selection of tropical lactic acid bacteria for enhancing the quality of maize silage[J]. Journal of Dairy Science,2013,96(12):7777-7789
- [30] 万荣,黄剑,苏桂梅,等. 添加不同益生菌对桑枝叶发酵品质的影响[J]. 中国饲料,2022(8):25-28
- WAN R, HUANG J, SU G M, et al. Effects of *Lactobacillus buchneri* and *Bacillus subtilis* on fermentation quality of the branch and leaf of mulberry[J]. China Feed,2022(8):25-28
- [31] WITKIEWICZ S, KORELESKI J, ARCZEWSKA A. Laying performance and eggshell quality in laying hens fed diets supplemented with prebiotics and organic acids [J]. Czech Journal of Animal Science,2010,55(7):294-306
- [32] 王林,孙启忠,张慧杰. 苜蓿与玉米混贮质量研究[J]. 草业学报,2011,20(4):202-209
- WANG L, SUN Q Z, ZHANG H J. A study on quality of mixed silage of alfalfa and corn [J]. Acta Prataculturae Sinica, 2011,20(4):202-209
- [33] 黄峰. 不同添加剂组合对甘蔗尾青贮品质和肉牛生长性能及瘤胃微生物群落的影响[D]. 南宁:广西大学,2020:10-17
- HUANG F. Effects of different additive combinations on silage quality of sugarcane tail, growth performance and rumen microbial community of beef cattle [D]. Nanning: Guangxi University,2020:10-17
- [34] 黄秀声,游小凤,黄小云,等. 狼尾草和花生秧混合青贮效果研究[J]. 家畜生态学报,2017,38(10):58-63
- HUANG X S, YOU X F, HUANG X Y, et al. Effect of silage with different proportions of Pennisetum and peanut vine [J]. Journal of Domestic Animal Ecology,2017,38(10):58-63
- [35] 郭旭生,丁武蓉,玉柱. 青贮饲料发酵品质评定体系及其新进展[J]. 中国草地学报,2008,30(4):100-106
- GUO X S, DING W R, YU Z. The evaluation system of fermentation quality of ensiled forage and its improvement [J]. Chinese Journal of Grassland,2008,30(4):100-106
- [36] 任丽娟,陈雅坤,单丽燕,等. 基于主成分和灰色关联度对全株玉米青贮综合品质的分析[J]. 中国畜牧兽医,2021,48(4):1211-1221
- REN L J, CHEN Y K, SHAN L Y, et al. Analysis of comprehensive quality of whole plant corn silage based on principal component and grey correlation degree [J]. China Animal Husbandry & Veterinary Medicine,2021,48(4):1211-1221
- [37] 徐清宇,余静,朱大伟,等. 基于主成分分析和聚类分析的不同水稻品种营养品质评价研究[J]. 中国稻米,2022,28(6):1-8
- XU Q Y, YU J, ZHU D W, et al. Nutritional quality evaluation of different rice varieties based on principal component analysis and cluster analysis [J]. China Rice,2022,28(6):1-8
- [38] 侯明. 小麦农艺性状与品质特性的多元分析与评价[J]. 新农业,2018(17):19-20
- HOU M. Multivariate analysis and evaluation of agronomic traits and quality characteristics in wheat [J]. New Agriculture, 2018(17):19-20