

doi:10.11733/j.issn.1007-0435.2026.05.035

引用格式:任孟雨,南丽丽,沙凤琴,等.混合比例和贮藏时间对紫花苜蓿与油菜秸秆混贮品质的影响[J].草地学报,2026,34(5):1953—1962

REN Meng-yu, NAN Li-li, GUO Jia-yu, et al. Effects of Mixing Ratio and Storage Time on the Quality of Mixed Silage of Alfalfa and Rapeseed Straw[J]. Acta Agrestia Sinica, 2026, 34(5):1953—1962

混合比例和贮藏时间对紫花苜蓿与油菜秸秆混贮品质的影响

任孟雨¹, 南丽丽^{1*}, 沙凤琴², 郭佳雨¹, 杜亮亮¹, 俞海持¹

(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/农业农村部饲草种质与新品种选育重点实验室(部省共建), 甘肃 兰州 730070; 2. 张家川县畜牧技术推广站, 甘肃 天水 741500)

摘要:为探究紫花苜蓿与油菜秸秆按不同比例混贮对其营养品质和发酵品质的影响,本试验以初花期紫花苜蓿和成熟期油菜秸秆为原料,紫花苜蓿和油菜秸秆分别以10:0(T1),8:2(T2),7:3(T3),6:4(T4),5:5(T5),4:6(T6),3:7(T7),2:8(T8)和0:10(T9)进行混贮,分别发酵5,10,20,40和60 d时开袋,采用感官评价,V-Score评分体系对青贮饲料进行综合评价,并分析营养和发酵特性。结果表明:紫花苜蓿单独青贮(T1)发酵较差,添加油菜秸秆可提升乳酸含量,降低pH值、氨态氮/总氮。油菜秸秆单贮(T9)营养价值较低,随紫花苜蓿比例增加,粗蛋白和粗脂肪含量增加,中性洗涤纤维和酸性洗涤纤维降低。随青贮时间延长,各处理组的干物质、粗蛋白、粗脂肪、中性洗涤纤维、酸性洗涤纤维含量呈下降趋势。感官评价和V-Score均显示,青贮40 d时得分较高。青贮40 d时,各处理的pH值较低。青贮发酵40 d,紫花苜蓿:油菜秸秆为6:4时,混贮效果最佳,其研究结果为确定紫花苜蓿与油菜秸秆的最佳混贮配比与发酵时间,提供了理论依据。

关键词:紫花苜蓿;油菜秸秆;混合青贮;营养品质;发酵品质

中图分类号:S816.5+3

文献标识码:A

文章编号:1007-0435(2026)05-1953-10

Effects of Mixing Ratio and Storage Time on the Quality of Mixed Silage of Alfalfa and Rapeseed Straw

REN Meng-yu¹, NAN Li-li^{1*}, SHA Feng-qin², GUO Jia-yu¹, DU Liang-liang¹, YUN Hai-chi¹

(1. College of Pratacultural Science, Gansu Agricultural University/Key Laboratory of Grassland Ecosystem, Ministry of Education/Key Laboratory of Forage Germplasm Innovation and New Variety Breeding of Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Lanzhou, Gansu Province 730070, China; 2. Zhangjiachuan County Livestock Technology Extension Station, Tianshui, Gansu Province 741500, China)

Abstract: To investigate the effects of mixing alfalfa and rapeseed straw in different ratios on the nutritional and fermentation quality of silage, a study was conducted using alfalfa at the early flowering stage and mature rapeseed straw as raw materials. The materials were mixed in the following ratios: 10:0 (T1), 8:2 (T2), 7:3 (T3), 6:4 (T4), 5:5 (T5), 4:6 (T6), 3:7 (T7), 2:8 (T8), and 0:10 (T9). The silage bags were opened after 5, 10, 20, 40, and 60 days of fermentation. Silage quality was comprehensively evaluated using sensory evaluation and the V-Score system, and its nutritional and fermentation characteristics were analyzed. The results showed that alfalfa alone (T1) exhibited poor fermentation, while the addition of rapeseed straw increased lactic acid content, and decreased pH and ammonia-nitrogen/total nitrogen (NH₃-N/TN). Silage made from rapeseed straw alone (T9) had low nutritional value. As the proportion of alfalfa increased, the contents of crude protein and crude fat increased, while the neutral detergent fiber (NDF) and acid detergent fiber

收稿日期:2025-07-17;修回日期:2025-11-23

基金项目:油菜秸秆与紫花苜蓿混贮效果研究及示范推广(ZC-STK-2024A-013);国家现代农业产业技术体系(CARS-34)共同资助

作者简介:任孟雨(2001-),男,汉族,河北邯郸人,硕士研究生,主要从事牧草栽培方向研究,E-mail: 3021796136@qq.com;*通信作者
Author for correspondence, E-mail: nanll@gsau.edu.cn

(ADF) contents decreased. Prolonging the ensiling time led to decreasing trends in dry matter, crude protein, crude fat, NDF, and ADF contents across all treatments. Both sensory evaluation and V-Score indicated the highest scores at 40 day silage. At this time point, all treatments showed lower pH values. The optimal mixed silage effect was achieved with the alfalfa to rapeseed straw ratio of 6:4 and the fermentation period of 40 day. These findings provide a theoretical basis for determining the best mixing ratio and fermentation duration for alfalfa and rapeseed straw silage.

Key words: Alfalfa; Rapeseed straw; Mixed silage; Silage quality; Fermentation quality

青贮技术通过发酵过程保存青绿饲料,为畜牧业中的牲畜(如奶牛、肉牛、羊等)提供长期稳定的高营养饲料。在厌氧环境下,青贮原料中附着的乳酸菌等微生物分解原料中的糖分,产生乳酸并降低 pH 值,从而实现新鲜植物材料的长期保存^[1]。但青贮时间过长,微生物会大量消耗青贮原料中的可溶性糖和蛋白质,不仅导致青贮饲料营养价值降低,更可能导致青贮失败^[2]。因此,发酵时间在青贮过程中至关重要。合适的发酵时长既能确保乳酸菌充分发酵产酸,营造抑制有害微生物生长的酸性环境,又能避免青贮过程中的二次发酵,从而保障青贮饲料品质优良,为畜牧养殖提供优质的饲料来源。而乳酸菌作为青贮发酵过程中重要的菌群,其能够在青贮初期厌氧环境下通过代谢可溶性糖产生乳酸,快速降低 pH 值;另一方面,乳酸菌快速增殖可以与有害菌(霉菌、酵母菌)竞争,青贮过程中的腐败风险^[3-5]。

紫花苜蓿(*Medicago sativa*)作为优质的豆科牧草,因其富含蛋白质、矿物质及维生素,成为青贮的重要原料。青贮可长期保存植物营养,降低粗纤维含量,提升适口性及消化率,并兼具生态效应^[6-7]。然而,紫花苜蓿碳水化合物含量较低,导致紫花苜蓿发酵困难,需要添加乳酸菌等促进酸化。此外,因附着在紫花苜蓿叶片上的乳酸菌数量较少,其单独青贮的成功率较低^[8]。油菜(*Brassica napus*)隶属十字花科芸薹属,具备较强的环境适应性,是我国第一大油料作物^[9],其秸秆具有营养保持较为平衡,矿物质元素相对丰富等特点^[10]。然而,在油菜全株利用过程中,秸秆综合利用率不足 40%^[11],大量秸秆未被合理利用,被露天焚烧,污染环境;或直接还

田,引发病虫害。这不仅造成了资源浪费,也埋下了生态隐患。如何利用油菜秸秆成为当下草业工作者亟待解决的问题。

采用混贮技术能有效解决这一难题。紫花苜蓿富含蛋白质,其与油菜秸秆混合青贮时,能有效弥补油菜秸秆蛋白含量的不足,从而提高混合饲料的整体营养价值^[12]。此外,紫花苜蓿与油菜秸秆的收获期相同,这为二者的协同混贮和提升青贮效果提供了实践基础^[13]。刘彦培等^[14]研究发现,青贮后油菜秸秆的纤维含量降低,粗蛋白含量提升,其饲用价值提高。目前,关于油菜秸秆的青贮研究多集中于添加剂种类或干物质含量等单一因素的调控作用,而青贮时间与混贮比例二者之间的互作效应如何系统影响混贮品质形成,仍是尚未明确的关键问题。为此,本研究通过设置不同青贮时间与 9 种混贮比例,系统解析时间与比例互作对紫花苜蓿-油菜秸秆混贮发酵品质与营养特性的影响,旨在筛选出最优配比与青贮周期,为油菜秸秆的高效饲料化利用提供理论与技术支撑。

1 材料与方法

1.1 试验材料

紫花苜蓿和油菜秸秆收获于 2023 年 6 月,由天水市张家川县畜牧技术推广站提供。试验地点位于甘肃省兰州市甘肃农业大学牧草实验室,其中油菜品种为‘天油 1 号’(*Brassica rapa* ‘Tianyou No. 1’),成熟期刈割;紫花苜蓿品种为种植第二年的‘甘农 3 号’(*Medicago sativa* L. ‘Gannong No. 3’),初花期刈割。各青贮原料的营养成分见表 1。

表 1 青贮原料营养成分
Table 01 Silage raw material nutrient

青贮材料 Ensilage material	干物质 DM/ (%FW)	粗蛋白 CP/ (%DM)	粗脂肪 EE/ (%DM)	中性洗涤纤维 NDF/ (%DM)	酸性洗涤纤维 ADF/ (%DM)	可溶性糖 WSC/ (%DM)
紫花苜蓿 Alfalfa	39.40±0.57	18.54±0.64	2.98±0.42	43.69±1.75	32.14±0.27	8.48±0.02
油菜秸秆 Rapeseed straw	77.22±0.34	6.21±0.79	2.18±0.06	65.18±1.12	55.16±0.63	2.94±0.16

1.2 试验设计

使用铡刀将晾晒的油菜秸秆和紫花苜蓿切至2~3 cm的小段。按照鲜重比,将紫花苜蓿与油菜秸秆分别以10:0(T1),8:2(T2),7:3(T3),6:4(T4),5:5(T5),4:6(T6),3:7(T7),2:8(T8)和0:10(T9)的比例充分混合,每个处理添加 $5\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 的玉米粉和 $0.005\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 的乳酸菌制剂(益加益)。取300 g混合饲料装入 $20\text{ cm}\times 30\text{ cm}$ 的聚乙烯真空青贮袋中,并使用真空机(鼎盛日DZ-350-II)真空压缩。在室温(25°C)下分别发酵5 d,10 d,20 d,40 d和60 d,发酵结束后开袋测量相关指标,本试验共设置45个处理。

1.3 主要测定指标与方法

1.3.1 发酵指标 青贮饲料均匀取样20 g,添加180 mL去离子水,用榨汁机(九阳L6-L621)将青贮料打成匀浆,用4层纱布和定性滤纸过滤,得到青贮混合液。使用pH计测定pH值。使用高效液相色谱仪测定乳酸(Lactic acid, LA)、乙酸(Acetic acid, AA)、丙酸(Propionic acid, PA)、丁酸(Butyric acid, BA)^[15]。使用苯丙-次氯酸钠的方法测定氨态氮($\text{NH}_3\text{-N}$)^[16]。

1.3.2 营养指标 青贮饲料均匀取样100 g,放置于烘箱内, 65°C 恒温烘干48 h,烘干至恒重,测定干物质(Dry matter, DM)。然后将烘干样品粉碎,过20目筛板。使用凯氏定氮法(GB/T 6432-2018)测定粗蛋白(Crude protein, CP),使用索氏提取法(GB/T 6432-2018)测定粗脂肪(Crude fat, EE)。中性洗涤纤维(Neutral detergent fiber, NDF)、酸性洗涤纤维(Acid detergent fiber, ADF)采用滤袋法(GB/T 20806-2022)测定。可溶性糖(Water soluble carbohydrate, WSC)使用蒽酮硫酸法测定^[17]。以上各指标均重复3次。

1.3.3 感官评价 根据德国农业协会(Deutsche Lan Dirtschafts Geseutschaft)标准法进行评定^[18]。其中根据青贮饲料的气味、质地和色泽分别评定为优等(16~20)、良好(10~15)、中等(5~9)和劣质(0~4)。

1.3.4 V-Score评分 V-Score评分参考Rezende等^[19]方法对青贮饲料的发酵品质进行评定,根据

$\text{NH}_3\text{-N}/\text{TN}$ 、乙酸+丙酸和丁酸将饲料评定为良好(≥ 80)、尚可(60~80)和不良(≤ 60)。

1.4 数据处理

用Excel 2019对数据进行整理,用SPSS 20.0进行二因素ANOVA分析,用Duncan's法进行多重比较,用模糊数学隶属函数法作为综合评价,Origin 2022作图。

隶属函数计算公式:

$$U_{ij} = (X_{ij} - X_{j\min}) \div (X_{j\max} - X_{j\min})$$

负相关隶属函数为:

$$U_{ij} = 1 - (X_{ij} - X_{j\min}) \div (X_{j\max} - X_{j\min})$$

综合评价: $D = \sum_j^n U_i$

式中: U_{ij} 为第*i*个处理第*j*个因子得分值得隶属函数值; X_{ij} 为第*i*个处理第*j*个因子得分值; $X_{j\max}$ 和 $X_{j\min}$ 分别为第*i*个处理*j*个因子得分值的最大值和最小值; D 为某个处理的最终得分。

2 结果与分析

2.1 不同比例和青贮时间对紫花苜蓿和油菜秸秆混贮发酵品质的影响

由图1可知,随青贮时间增加,除10 d的T2,T3和60 d的T3外,各处理组的乳酸(图1a)含量在5~40 d均呈升高趋势,40~60 d均呈降低趋势。乙酸(图1b)含量则随时间呈先增加后降低的趋势,在5 d和10 d时,T8含量最高,其显著高于T3,T4,T5和T6;20 d与40 d时,T1的乙酸含量最高,并显著高于其他处理组。丙酸(图1c)含量随青贮时间延长而增高,除了T3和T8,其余处理均在60 d时最高。丁酸(图1d)含量相对较低,在0%~0.16%FW之间,在5 d和10 d的各处理,40 d的T4和T6处理和60 d的T4,T6,T7,T8和T9处理均未检测出丁酸。随青贮时间延长,各处理组pH(图1e)值在5~40 d均呈下降趋势,在40~60 d时升高,其中40 d时T4,T5和T6处理的pH值最低,且显著低于其他处理($P < 0.05$)。 $\text{NH}_3\text{-N}/\text{TN}$ (图1f)含量则随着青贮时间的延长而增加,青贮饲料随着紫花苜蓿含量增加而增高,T1和T2均显著高于其他组处理。

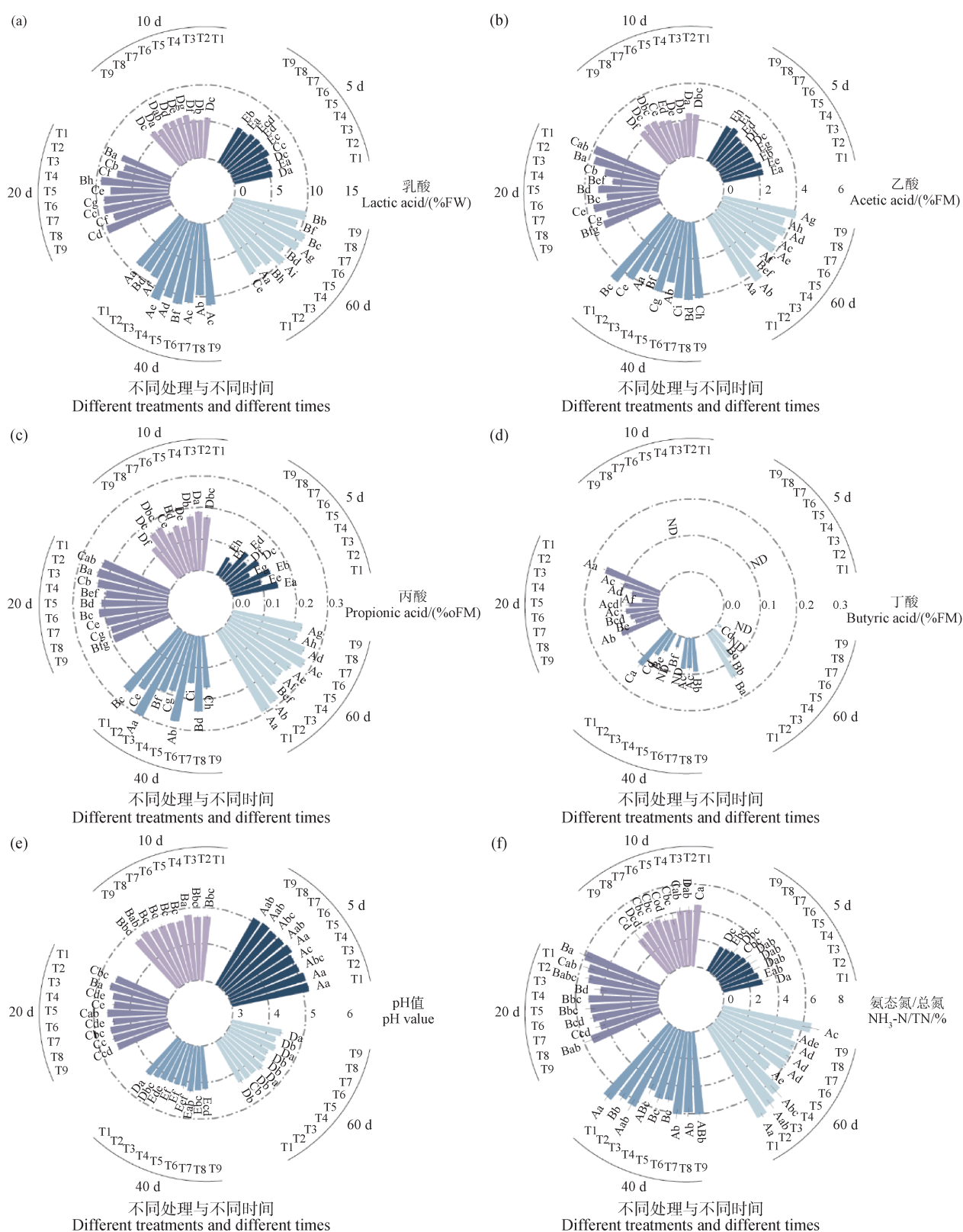


图 1 混贮比例和青贮时间对发酵品质的影响

Fig. 1 Effects of mixed storage ratio and silage time on fermentation quality

注:不同小写字母表示同一时间不同处理下在 0.05 水平上差异显著 ($P < 0.05$);大写字母表示同一处理下不同时间在 0.05 水平上差异显著 ($P < 0.05$),下同

Note: Different lowercase letters indicate that there was a significant difference of different treatments at the same time at the 0.05 level ($P < 0.05$), Upper-case letters indicate that there was a significant difference among different times under the same treatment at the 0.05 level ($P < 0.05$), the same as below

2.2 不同比例和青贮时间对紫花苜蓿和油菜秸秆混贮营养品质的影响

如图2可知,DM(图2a)随青贮时间延长呈先降低后升高再降低趋势,当青贮10~20 d缓慢降低,

40 d时含量增加,在60 d时降低;随紫花苜蓿比例增加DM呈降低趋势,与5 d相比,前20 d的T1,T2,T5和T9处理显著降低($P<0.05$),40 d时T4,T5和T9显著高于20 d($P<0.05$)。CP(图2b)和EE

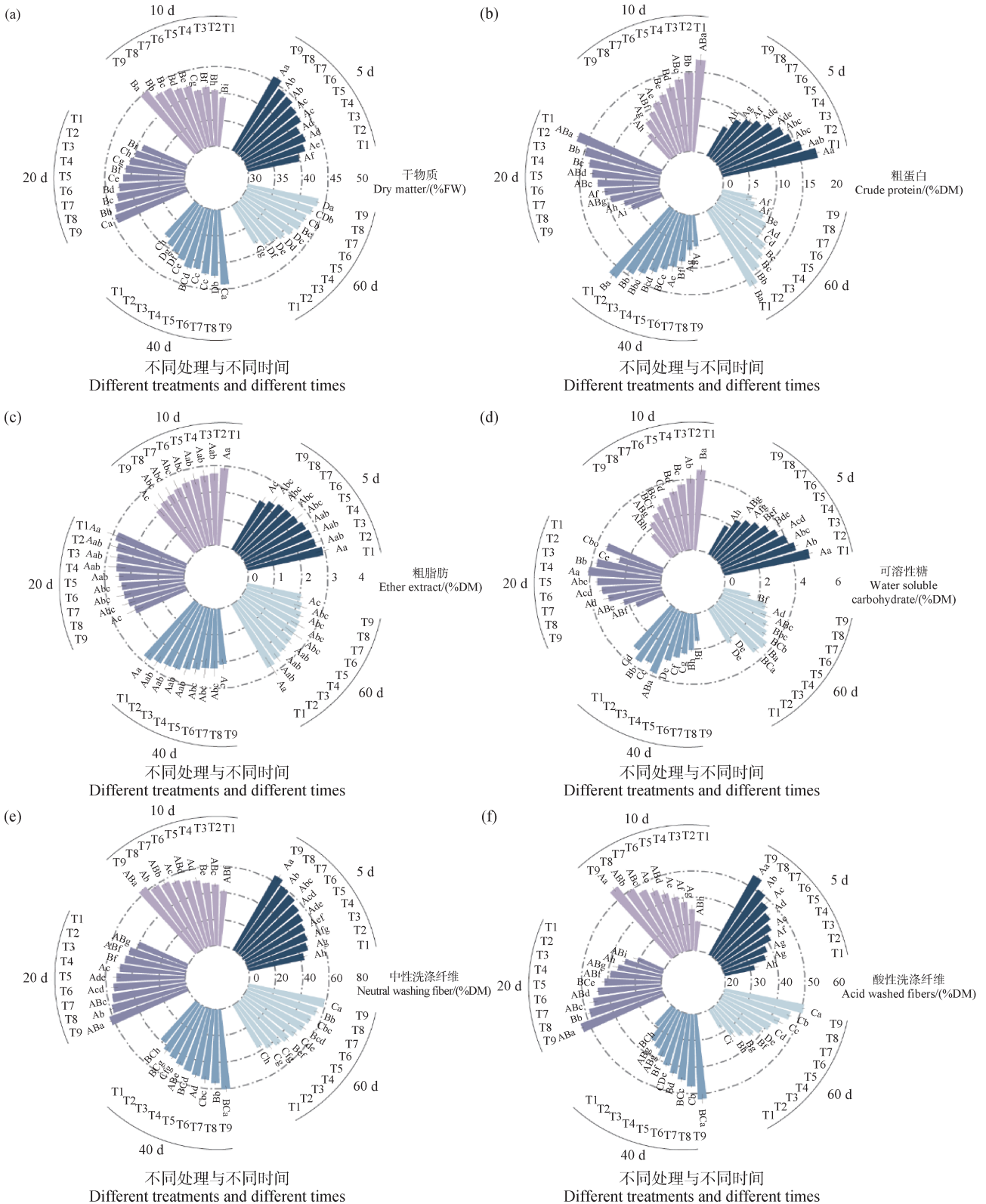


图2 混贮比例和青贮时间对营养品质的影响

Fig. 2 Effects of mixing ratio and silage time on nutritional quality

(图2c)含量随青贮时间延长呈降低趋势,在60 d时最低,与5 d相比,降低幅度分别为4.06%~7.82%和3.16%~6.68%,T3~T9的CP含量显著低于T1,而T8和T9的EE均显著低于T1($P<0.05$)。NDF(图2e)与ADF(图2f)在青贮前10 d降低速率较慢,与5 d相比,降低范围分别为0.45%~3.65%和0.49%~2.69%;与5 d相比,在60 d时各处理组NDF与ADF均显著降低($P<0.05$),降低幅度分别为8.96%~13.63%和6.65%~12.27%。T1的WSC(图2-d)显著高于其他处理,5~10 d的WSC

降低幅度较为稳定,为6.25%~9.68%。

2.3 青贮发酵后饲料感官评定

青贮后感官评定见表2,其中T1和T2处理,青贮料色泽发黑,茎叶保持较差,表面有明显霉菌,评定为中等。T4与T5处理,发酵后具有芳香味,颜色为淡绿色,茎叶结构保持较好,评定为优良。其他5个混合组(T3,T6,T7,T8和T9),其色泽和气味均优于T1和T2,且无霉变,评定为尚好。

表2 不同处理对青贮饲料感官评价的影响

Table 2 Effects of different treatments on sensory evaluation of silage

组别 Group	气味 Smell		质地 Quality of material		颜色 Color		综合评价 Comprehensive score	
	描述 Describe	平均得分 Average score	描述 Describe	平均得分 Average score	描述 Describe	平均得分 Average score	总分 Total score	等级 Grade
T1	有丁酸味	4	颜色发黑,有霉变	1	带褐色,部分呈黑色	1	6	三级(中等)
T2	有丁酸味	4	有霉菌	1	带褐色	1	6	三级(中等)
T3	有微弱的丁酸臭味	10	茎叶结构保护较差	2	淡黄色	1.5	13.5	二级(尚好)
T4	无丁酸臭味,有面包香味	12	茎叶结构保持良好	4	与原料颜色接近	2	18	一级(优良)
T5	无丁酸臭味,有芳香果味	12	茎叶结构保持较好	3	与原料颜色接近	2	17	一级(优良)
T6	有微弱的丁酸臭味	10	结构保持较差	1.5	与原料颜色接近	2	13.5	二级(尚好)
T7	有微弱的丁酸臭味	10	结构保存较差	1.5	与原料颜色接近,部分带褐色	1.5	13	二级(尚好)
T8	有明显的酸味	10	结构保持良好	2	与原料颜色接近	2	14	二级(尚好)
T9	有明显的酸味	10	结构保持良好	2	淡黄色	1	13	二级(尚好)

注:T1-T9分别为紫花苜蓿与油菜秸秆按照10:0,8:2,7:3,6:4,5:5,4:6,3:7,2:8和0:10进行混合青贮,下同

Note: T1-T9 represent the mixed silage of alfalfa and rapeseed straw in blending ratios of 10:0,8:2,7:3,6:4,5:5,4:6,3:7,2:8, and 0:10, respectively, the same as below

2.4 青贮饲料V-Score评分

由表3可知,所有处理均为良好。其中NH₃-N/TN和丁酸的得分随着油菜秸秆占比的增加而增加,

且各处理间乙酸+丙酸含量大于0.5%,得分为0。丁酸的范围为33.28~39.33。其中T4的V-Score评分最高,为88.17,T1的V-Score评分最低,为81.16。

表3 V-Score评分

Table 3 V-score evaluation

处理 Treatment	氨态氮/总氮 NH ₃ -N/TN	乙酸+丙酸 AA+PA	丁酸 BA	得分 Score	评价 Value
T1	47.88	0.00	33.28	81.16	良好
T2	48.48	0.00	35.85	84.33	良好
T3	48.67	0.00	37.26	85.93	良好
T4	48.84	0.00	39.33	88.17	良好
T5	49.23	0.00	38.08	87.31	良好
T6	49.28	0.00	38.61	87.89	良好
T7	49.58	0.00	37.43	87.00	良好
T8	49.77	0.00	37.62	87.38	良好
T9	49.95	0.00	36.72	86.66	良好

2.5 隶属函数综合排名

由图3可知,利用隶属函数及权重客观赋权法对不同混贮时间与混贮比例青贮饲料进行综合评价,计算出45个处理的隶属值(D值)在0.35~

0.64之间,其中发酵指标的D值在0.16~0.38之间,营养指标的D值在0.11~0.38之间。其中40 d T4,60 d T4和20 d T4居于前3,综合评价最好。

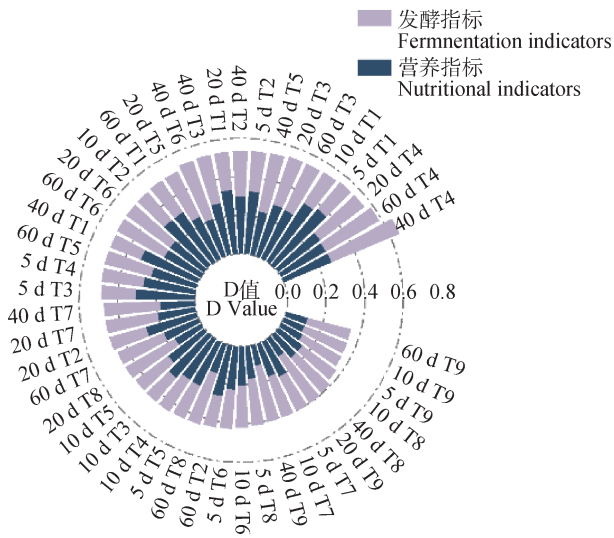


图3 隶属函数综合排名

Fig. 3 The rank of membership function

注:营养指标为干物质、粗蛋白、粗脂肪、中性洗涤纤维、酸性洗涤纤维、可溶性糖的隶属值总和。发酵指标为pH值、乳酸、乙酸、丙酸、丁酸和氨态氮/总氮的隶属值总和

Note: The nutritional indicators comprise the sum of the membership values of dry matter, crude protein, crude fat, neutral detergent fiber, acid detergent fiber, and soluble sugars. The fermentation indicators consist of the sum of the membership values of pH, lactic acid, acetic acid, propionic acid, butyric acid, and $\text{NH}_3\text{-N/TN}$

3 讨论

3.1 不同混贮比例和青贮时间对青贮饲料发酵品质的影响

pH值、有机酸和氨态氮是衡量青贮发酵的重要指标。青贮发酵过程中,乳酸菌快速增殖,代谢产生大量有机酸,有机酸可降低青贮环境的pH值,抑制有害菌生长,从而达到保存饲料的作用^[20]。优质青贮饲料的pH值 ≤ 4.2 ,且较低的pH值可以抑制蛋白水解酶的活性,并有效保存青贮饲料中蛋白质^[21]。本研究中,随青贮时间延长pH呈降低趋势,青贮40 d后pH值低于4.2,满足优质青贮饲料的pH范围。这可能是因为青贮前期乳酸菌含量较低,随青贮时间逐渐增加,乳酸菌含量趋于稳定^[22]。相较于单贮,草本植物与秸秆混贮可提高乳酸和乙酸的含量^[23],这与本试验结果一致。而混贮下,乳酸和乙酸的含量随青贮时间延长呈先升高后降低趋势,这可能是因为紫花苜蓿和油菜秸秆的WSC含量较低,青贮后期乳酸菌没有足够发酵底物,导致有机酸停滞或降低。Kung等^[24]认为,当豆科青贮原料干物质质量为30%~45%时,丙酸的含量会低于0.5%DM,而添加油菜秸秆后,其丙酸含量降低,这

与本研究结果一致。Kung^[25]等研究发现,当丁酸浓度 $>0.5\%$ DM时,青贮饲料正在经历梭菌发酵,本试验中丁酸含量均低于0.5%DM,表明青贮饲料的丁酸含量均处于可控范围,并且混贮可降低丁酸含量。T1的 $\text{NH}_3\text{-N/TN}$ 显著高于T9,这是因为紫花苜蓿原料CP含量高,蛋白在分解过程中 $\text{NH}_3\text{-N}$ 含量提升。罗欢等^[26]认为,害菌分解CP能力越弱,其 $\text{NH}_3\text{-N/TN}$ 含量越低,青贮品质越高。 $\text{NH}_3\text{-N/TN}$ 比值随青贮时间增加而上升,这与荣辉等^[27]在象草(*Pennisetum purpureum*)中的研究结果一致。贾海阔等^[28]发现, $\text{NH}_3\text{-N/TN}$ 随青贮时间呈先上升后降低趋势,这与本研究结果不一致,可能是因为本研究贮存时间为8~9月份,青贮环境温度略高,微生物活性高,分解过程较长。

3.2 不同混贮比例和青贮时间对青贮饲料营养品质的影响

适当的DM可以保证青贮饲料品质。青贮过程中,DM的损失主要由微生物活动所引起^[29]。本研究在60 d时,T1的DM损失率(12.08%)显著高于T9处理(9.34%),这与青贮原料含量有关,紫花苜蓿因高缓冲能力需消耗更多WSC产酸以降低pH,导致干物质损失显著;而油菜秸秆虽缓冲能力差且发生产酸效率低的异型发酵(伴随 CO_2 损失),但因可发酵底物有限,干物质降幅反而较小^[30],这与王娇等^[31]在苜蓿青贮中WSC降低的研究一致。CP是评价青贮原料的重要指标。本研究中,添加紫花苜蓿显著提升饲料CP含量,除5 d外,T1的CP显著高于其他处理。这是因为紫花苜蓿蛋白质主要由叶绿体蛋白和细胞质蛋白组成,在初花期时紫花苜蓿保持较高的蛋白水平,而油菜秸秆的蛋白质由结构蛋白组成,且风干过程中蛋白易流失^[32-33]。同时,随青贮时间延长,CP呈降低趋势,这是因为青贮过程中乳酸菌快速增殖,乳酸菌本身需要一定的氮源,会分解一部分蛋白质用于菌群代谢^[34]。EE可提供能量、改善适口性、提供维生素等,随青贮时间延长,EE呈下降趋势,其中紫花苜蓿的EE含量降幅大于油菜秸秆,这可能是因为初花期紫花苜蓿中亚麻油酸含量最高,易受脂酶水解,造成脂质组成的分化,使紫花苜蓿EE含量降低^[35];而油菜秸秆的脂肪族化合物分布在油菜秸秆的蜡质层,这些基团不易被分解^[36]。本研究中,NDF和ADF含量随青贮时间延长呈降低趋势,这与微生物发酵有关,乳

酸菌等优势微生物通过分泌纤维素酶和半纤维素酶,逐步分解植物细胞壁的纤维素和半纤维素,因此通过一定的发酵时间可以降低青贮饲料的纤维素含量,这与何立超等^[12]的研究一致。

3.3 青贮饲料的评价

对青贮饲料的评价方式有很多,包括感官评价、V-Score 评价和隶属函数等。感官评价主要应用于现场快速评价,但缺点在于结果主观性强和评价过程无法量化等。V-Score 评分侧重于青贮饲料的发酵因素,但未考虑营养指标,因此需要将感官评价与 V-Score 评分结合使用进行综合评价。通过感官评价发现,油菜秸秆与紫花苜蓿混贮后,T4 和 T5 处理均达到一等品质标准,其表现优于 T1 和 T2。本研究 V-Score 评分也显示,T1-T9 均为良好,但 T1 与 T2 的评分低于 T4 和 T5,这表明混贮饲料中增加油菜秸秆的比例可显著提升青贮效果,混贮效果大于单贮,丁霞等^[37]研究也显示紫花苜蓿的混贮效果大于单贮。混贮效果改善的原因在于,紫花苜蓿初始干物质质量较低,单独青贮时,乳酸菌发酵较慢,青贮饲料干物质质量过低引发腐败^[38-39]。Chen 等^[40]研究发现,添加油菜秸秆后可提高其干物质质量,提升青贮饲料的发酵品质。隶属函数分析表明,饲料中紫花苜蓿含量较高的混贮饲料其得分较高,而油菜秸秆单贮效果较差。因此,紫花苜蓿油菜秸秆混合青贮中,添加一定量的紫花苜蓿可以提高饲料价值。

4 结论

紫花苜蓿与油菜秸秆在混合青贮过程中具有显著的营养与发酵互补效应:油菜秸秆可有效促进乳酸菌发酵,改善紫花苜蓿单独青贮时发酵品质较差的问题;而紫花苜蓿则能够弥补油菜秸秆蛋白质含量的不足,提升混合饲料的营养价值。通过综合评价体系,本研究确定紫花苜蓿与油菜秸秆以 6:4 (鲜重比)比例混合,发酵 40 天为最佳青贮参数。该组合在发酵品质与营养品质间取得了良好平衡,为实现两种粗饲料资源的高效利用提供了理论依据与实践参考。

参考文献

[1] MUCK R E, NADEAU E M G, MCALLISTER T A, et al. *Silage review: Recent advances and future uses of silage addi-*

tives[J]. *Journal of Dairy Science*, 2018, 101(5): 3980-4000

[2] 包健, 赵牧其尔, 王志军, 等. 青贮添加剂和青贮时间对饲用谷子青贮品质的影响[J]. *中国草地学报*, 2023, 45(5): 88-95

BAO J, ZHAO M, WANG Z J, et al. Effect of Silage additives and ensiling duration on forage millet silage quality[J]. *Chinese Journal of Grassland*, 2023, 45(5): 88-95

[3] 王思然, 刘蓓一, 田吉鹏, 等. 复合乳酸菌添加剂对低温环境下意大利黑麦草青贮发酵品质的影响[J]. *草业学报*, 2025, 34(5): 159-170

WANG S R, LIU B Y, TIAN J P, et al. Improvement in the fermentation quality of Italian ryegrass silage by ensiling with combined lactic acid bacteria inoculants at low temperature[J]. *Acta Prataculturae Sinica*, 2025, 34(5): 159-170

[4] 高文婧, 罗雪宁, 张佳俊, 等. 不同添加菌剂对油菜与水稻秸秆混合青贮发酵品质的影响[J]. *中国草地学报*, 2025, 47(1): 141-148

GAO W J, LUO X N, ZHANG J J, et al. Effects of different bacterial additives on the fermentation quality of mixed silage of oilseed rape and rice straw[J]. *Chinese Journal of Grassland*, 2025, 47(1): 141-148

[5] 匡宗洋, 穆麟, 魏岚, 等. 不同混合比例和乳酸菌添加对全株玉米和大豆混合青贮品质及有氧稳定性的影响[J]. *草业学报*, 2025, 34(6): 227-238

KUANG Z Y, MU L, WEI L, et al. Effects of different mixture ratios and lactic acid bacteria on the quality and aerobic stability of mixed silage made from whole maize (*Zea mays*) and soybean (*Glycine max*) plants[J]. *Acta Prataculturae Sinica*, 2025, 34(6): 227-238

[6] WANG S Y, HE Z N, JIANG H, et al. Assessing the impact of silage inoculants on the quality of *Adina* alfalfa silage[J]. *Microorganisms*, 2025, 13(4): 841

[7] 孙小龙, 周禾, 李平, 等. 苜蓿与玉米秸秆混贮研究[J]. *草业学报*, 2009, 18(5): 86-92

SUN X L, ZHOU H, LI P, et al. A study on mixed silage of alfalfa and maize straw[J]. *Acta Prataculturae Sinica*, 2009, 18(5): 86-92

[8] DAVIES D R, MERRY R J, WILLIAMS A P, et al. Proteolysis during ensilage of forages varying in soluble sugar content[J]. *Journal of Dairy Science*, 1998, 81(2): 444-453

[9] GUO Q, YUE X F, QI X, et al. A study of the pesticide residues in rapeseeds in China: levels, distribution and health risk assessment[J]. *Environmental Research*, 2024, 246: 118110

[10] 柳家雯, 张昌爱, 陈翔, 等. 油菜秸秆基料化利用现状与展望[J/OL]. <https://link.cnki.net/doi/10.19802/j.issn.1007-9084.2025026>, 2025-06-20/2025-11-23

LIU J W, ZHANG C A, CHEN X, et al. Current situation and prospects of rapeseed straw-based material utilization[J/OL]. <https://link.cnki.net/doi/10.19802/j.issn.1007-9084.2025026>, 2025-06-20/2025-11-23

[11] 刘璐. 半农半牧区秸秆饲料化利用的载畜潜力与资源生态效应研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2024: 10-20

LIU L. Research on the livestock carrying potential and

- resource ecological effects of straw feed utilization in semi-agricultural and semi-pastoral areas [D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2024:10-20
- [12] 何立超,唐佳新,卢娜,等. 添加剂对紫花苜蓿和油菜秸秆混合青贮品质及维生素含量的影响[J]. 中国油料作物学报, 2025,47(1):234-242
- HE L C, TANG J X, LU N, et al. Effects of additives on quality and vitamin content of alfalfa and rape straw mixed silage [J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 2025, 47(1): 234-242
- [13] 陈孝善,南丽丽,夏静,等. 施肥对河西走廊豆禾混播草地根际土壤生物学特性的影响[J]. 中国草地学报, 2024, 46(12): 75-84
- CHEN X S, NAN L L, XIA J, et al. Effects of fertilization on biological properties of rhizosphere soil in legume-Gramineae mixtures in Hexi Corridor [J]. Chinese Journal of Grassland, 2024, 46(12): 75-84
- [14] 刘彦培,黄必志,刘建勇,等. 结实期全株油菜及油菜秸秆青贮技术研究[J]. 草食家畜, 2017(6):22-26
- LIU Y P, HUANG B Z, LIU J Y, et al. The research on nutrients value and silage technology of whole rape plant at fruiting stage [J]. Grass-Feeding Livestock, 2017(6): 22-26
- [15] HE L W, ZHOU W, WANG Y, et al. Effect of applying lactic acid bacteria and cellulase on the fermentation quality, nutritive value, tannins profile and *in vitro* digestibility of *Neolamarckia cadamba* leaves silage [J]. Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition, 2018, 102(6): 1429-1436
- [16] 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
- [17] ALBRECHT K A, MUCK R E. Proteolysis in ensiled forage legumes that vary in tannin concentration [J]. Crop Science, 1991, 31(2): 20048x
- [18] ZHU Y, NISHINO N, KISHIDA Y, et al. Ensiling characteristics and ruminal degradation of Italian ryegrass and lucerne silages treated with cell wall-degrading enzymes [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 1999, 79(14): 1987-1992
- [19] DE REZENDE A V, RABELO C H S, DA SILVA M R M, et al. Wasted cabbage (*Brassica oleracea*) silages treated with different levels of ground corn and silage inoculant [J]. Revista Brasileira de Zootecnia, 2015, 44(8): 296-302
- [20] JOO Y H, KIM D H, LEE H J, et al. Effects of microbial and organic additives on fermentation quality and aerobic stability of barley silage [J]. Journal of Agriculture & Life Science, 2020, 54(1): 35-44
- [21] FIJAŁKOWSKA M, PYSER A, LIPÍŃSKI K, et al. Changes of nitrogen compounds during ensiling of high protein herbages—a review [J]. Annals of Animal Science, 2015, 15(2): 289-305
- [22] 杨琪,苏嘉琪,张思琦,等. 2种乳酸菌添加剂对全株玉米青贮品质及其微生物区系的影响[J]. 动物营养学报, 2025, 37(4): 2772-2787
- YANG Q, SU J Q, ZHANG S Q, et al. Effects of two lactic acid bacteria additives on quality and microflora of whole plant corn silage [J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2025, 37(4): 2772-2787
- [23] JAKHMOLA R C. Studies on ensiling of grass and straw mixtures [D]. United Kingdom: University of Aberdeen, 1989: 15-30
- [24] 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
- [25] KUNG L, SHAVER R. Interpretation and use of silage fermentation analysis reports [J]. Focus on Forage, 2001, 3(13): 1-5
- [26] 罗欢,罗皎兰,梁琼,等. 不同复合菌种对热研4号王草青贮饲料发酵品质及营养价值的影响[J]. 中国草食动物科学, 2023(2): 59-63
- LUO H, LUO J L, LIANG Q, et al. Effects of different compound strains on fermentation quality and nutritional value of reyan No. 4 wangcaoqing storage feed [J]. China Herbivore Science, 2023(2): 59-63
- [27] 荣辉,余成群,李志华,等. 添加糖蜜和尿素对象草青贮发酵品质的影响[J]. 草地学报, 2012, 20(5): 940-946
- RONG H, YU C Q, LI Z H, et al. Effects of adding molasses and urea on fermentation quality of Napier grass silage [J]. Acta Agrestia Sinica, 2012, 20(5): 940-946
- [28] 贾海阔,吴春会,祖晓伟,等. 不同添加剂和贮藏时间对苜蓿青贮品质和霉菌数量的影响[J]. 饲料研究, 2025, 48(1): 163-169
- JIA H K, WU C H, ZU X W, et al. Effects of different additives and storage time on quality and mold quantity of alfalfa silage [J]. Feed Research, 2025, 48(1): 163-169
- [29] COSTA D M, CARVALHO B F, BERNARDES T F, et al. New epiphytic strains of lactic acid bacteria improve the conservation of corn silage harvested at late maturity [J]. Animal Feed Science and Technology, 2021, 274: 114852
- [30] 塔娜,魏日华,德庆哈拉,等. 对禾草源同型发酵和/或异型发酵乳酸菌发酵无芒雀麦青贮有氧稳定性的评价[J]. 动物营养学报, 2017, 29(4): 1301-1311
- TA N, WEI R H, DE Q, et al. Evaluation of aerobic stability of *Bromus inermis* Leyss. Silage fermented by homofermentative and/or heterofermentative lactic acid bacteria from grass [J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2017, 29(4): 1301-1311
- [31] 王娇,景媛媛,蒋恒,等. 复合乳酸菌对不同含水量紫花苜蓿青贮品质的影响[J]. 中国草地学报, 2024, 46(10): 144-150
- WANG J, JING Y Y, JIANG H, et al. Effect of compound lactic acid bacteria on the quality of alfalfa silage with different moisture content [J]. Chinese Journal of Grassland, 2024, 46(10): 144-150
- [32] 王静,刘晓静,程甜甜,等. 不同氮效率紫花苜蓿叶特征及其产量效应研究[J]. 草地学报, 2021, 29(9): 1941-1949
- WANG J, LIU X J, CHENG T T, et al. Study on leaf characteristics and yield effect of alfalfa with different nitrogen effi-

- ciency[J]. *Acta Agrestia Sinica*, 2021, 29(9): 1941-1949
- [33] WANG X L, YANG Z L, LIU X, et al. The composition characteristics of different crop straw types and their multivariate analysis and comparison[J]. *Waste Management*, 2020, 110: 87-97
- [34] 李志鹏. 同型异型发酵乳酸菌添加剂及浓度对玉米-苜蓿混合青贮效果的影响[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2022: 15-18
- LI Z P. Effects of homofermentative and heterofermentative lactic acid bacteria additives and concentrations on the quality of corn-alfalfa mixed silage[D]. Yangling: Northwest A & F University, 2022: 15-18
- [35] 郭楠, 刘建, 王云玲, 等. 不同补播量和施肥量对退化草地牧草营养品质和产量的影响[J]. *中国草地学报*, 2025, 47(2): 70-79
- GUO N, LIU J, WANG Y L, et al. Effects of reseeding rates and fertilization levels on nutritional quality and yield of forage in a degraded grassland [J]. *Chinese Journal of Grassland*, 2025, 47(2): 70-79
- [36] CHEN Y N, HUANG J X, LI Y P, et al. Study of the rice straw biodegradation in mixed culture of *Trichoderma viride* and *Aspergillus niger* by GC-MS and FTIR[J]. *Environmental Science and Pollution Research*, 2015, 22(13): 9807-9815
- [37] 丁霞, 肖燕子, 孙林, 等. 苜蓿与羊草混合比例对青贮饲草品质的影响[J]. *干旱区资源与环境*, 2024, 38(1): 155-160
- DING X, XIAO Y Z, SUN L, et al. Effect of mixed *Medicago sativa* and *Leymus chinensis* with different ratios on quality of silages[J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2024, 38(1): 155-160
- [38] LIAO Z H, CHEN S S, ZHANG L L, et al. Microbial assemblages in water hyacinth silages with different initial moistures[J]. *Environmental Research*, 2023, 231: 116199
- [39] 黑梦琴, 曹正宇, 王志远, 等. 添加复合乳酸菌和糖蜜对不同水分含量苜蓿青贮品质的影响[J]. *草地学报*, 2024, 32(5): 1601-1609
- HEI M Q, CAO Z Y, WANG Z Y, et al. Effects of adding compound *Lactobacillus* and molasses on the quality of alfalfa silage with different moisture contents [J]. *Acta Agrestia Sinica*, 2024, 32(5): 1601-1609
- [40] CHEN S W, WAN C, MA Y J, et al. Study on the quality of mixed silage of rapeseed with alfalfa or *Myriophyllum* [J]. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2023, 20(5): 3884

(责任编辑 彭露茜)