



孟嘉晖,王召明,郭玉平,哈斯其其格,陈肖,高智轩,玉柱.甘草提取物和乳酸菌对饲用燕麦青贮饲料品质及消化特性的影响[J].中国农业大学学报,2025,30(09):85-93.

MENG Jiahui, WANG Zhaoming, GUO Yuping, HASI Qiqige, CHEN Xiao, GAO Zhixuan, YU Zhu. The effects of licorice extract and lactic acid bacteria on the quality and chemical characteristics of oat silage for feed[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2025, 30(09): 85-93.

DOI: 10.11841/j.issn.1007-4333.2025.09.08

甘草提取物和乳酸菌对饲用燕麦青贮饲料品质及消化特性的影响

孟嘉晖¹ 王召明² 郭玉平³ 哈斯其其格⁴ 陈肖¹ 高智轩¹ 玉柱^{1*}

(1. 中国农业大学 草业科学与技术学院, 北京 100193;

2. 国家草业技术创新中心(筹), 呼和浩特 010070;

3. 朔州市骏宝宸农业科技股份有限公司, 山西 山阴 036900;

4. 内蒙古锡林郭勒盟镶黄旗林业草原事业发展中心, 内蒙古 镶黄旗 013250)

摘要 为解决高海拔地区饲用燕麦单独青贮发酵弱的问题,本研究旨在探讨添加不同浓度甘草提取物及其和乳酸菌联用对饲用燕麦青贮饲料品质和体外瘤胃消化特性的影响。共设8组处理,分别为对照组CK(添加等量的水),甘草提取物单独添加的处理为GC0.5、GC1、GC2(分别表示添加0.5%、1%和2%鲜草重量的甘草提取物),对照组LP(添加乳酸菌,添加量为0.1g/kg,活菌数为 1×10^5 CFU/g),甘草提取物和乳酸菌联用的处理分别为GCLP0.5、GCLP1和GCLP2。青贮60 d后开罐取样测定饲用燕麦青贮的营养成分、发酵品质和体外消化特性,并利用熵权-TOPSIS法对燕麦青贮饲料品质进行综合评分。结果表明:1)GC和GCLP处理的NDF、ADF、CP和WSC与CK相比均显著差异($P < 0.05$)。2)GC和GCLP处理均会降低青贮燕麦的pH,与CK相比,GC处理的 $\text{NH}_3\text{-N}$ 浓度均显著降低($P < 0.05$),GC和GCLP处理均会提高LA和AA的含量,在各个处理中均未检测出BA。3)GC0.5和GC1的IVDMD显著高于其他处理($P < 0.05$),GCLP处理的IVNDFD均显著高于其他处理($P < 0.05$)。4)使用熵权-TOPSIS法进行综合评价得出GCLP2处理的燕麦青贮饲料品质最佳。综上,2%的甘草提取物和乳酸菌联用饲用燕麦青贮品质最优,体外消化率更高,综合评价得分最高,可以为青海高海拔地区改善饲用燕麦青贮饲料的品质提供参考依据。

关键词 甘草提取物; 饲用燕麦; 青贮品质; 体外瘤胃消化特性

中图分类号 S816.53

文章编号 1007-4333(2025)09-0085-09

文献标志码 A

Effects of licorice extract and lactic acid bacteria on the quality and chemical characteristics of oat silage for feed

MENG Jiahui¹, WANG Zhaoming², GUO Yuping³, HASI Qiqige⁴, CHEN Xiao¹,
GAO Zhixuan¹, YU Zhu^{1*}

(1. College of Grassland Science and Technology, China Agricultural University, Beijing 100193, China;

2. National Central of Pratacultural Technology Innovation (Under Way), Hohhot 010070, China;

3. Junbaochen of Shuozhou City Agricultural Science and Technology Limited-liability Company, Shanyin 036900, China;

4. Forestry and Grassland Business Development Centre, Saihuang Banner, Xilingol League, Inner Mongolia,
Saihuang 013250, China)

收稿日期: 2025-06-04

基金项目: 国家重点研发计划“政府间国际科技创新合作”重点专项(2022YFE0111000); 2023年国家草业技术创新中心(筹)重大创新平台建设专项(CCPTZX2023B07)

第一作者: 孟嘉晖(ORCID:0009-0007-0329-7945), 硕士研究生, E-mail: m13993337993@163.com

通讯作者: 玉柱(ORCID:0000-0003-3271-1272), 教授, 主要从事饲草加工贮藏与利用研究, E-mail: yuzhu33150@sina.com

Abstract To address the issue of weak fermentation in forage oat silage at high-altitude regions, this study aimed to investigate the effects of adding different concentrations of licorice extract (LE) alone or in combination with lactic acid bacteria (LAB) on the quality and *in vitro* ruminal digestion characteristics of oat silage. There are a total of eight treatment groups, namely the control group CK (with the addition of an equal amount of water), the treatment group GC0.5, GC1 and GC2 (with the addition of 0.5%, 1%, and 2% fresh grass weight licorice extract, respectively), the control group LP (with the addition of lactic acid bacteria at a dosage of 0.1 g/kg and a viable bacterial count of 1×10^5 CFU/g), and the treatment group GCLP 0.5, GCLP1 and GCLP2 for the combination of licorice extract and lactic acid bacteria, respectively. After 60 days of ensiling, samples were collected to determine the nutritional composition, fermentation quality, and *in vitro* digestibility of the oat silage. The entropy-weighted TOPSIS method was applied for comprehensive quality evaluation. The results showed that: 1) The NDF, ADF, CP, and WSC treated with GC and GCLP showed significant differences compared to CK ($P < 0.05$). 2) GC and GCLP treatments reduced silage pH. Compared to CK, GC treatments significantly decreased $\text{NH}_3\text{-N}$ concentration ($P < 0.05$), while both GC and GCLP treatments increased LA and AA content. No BA was detected in any treatment. 3) IVDMD was significantly higher in GC0.5 and GC1 than in other treatments ($P < 0.05$), while GCLP treatments exhibited significantly higher IVNDFD ($P < 0.05$). 4) The comprehensive evaluation using entropy weight TOPSIS method showed that the quality of oat silage treated with GCLP2 was the best. In conclusion, the combination of 2% LE and LAB optimized oat silage quality, enhanced *in vitro* digestibility, and achieved the highest comprehensive score. It can provide a reference for the quality of oat silage feed in high-altitude areas of Qinghai.

Keywords licorice extract; forage oats; silage fermentation quality; *in vitro* ruminal digestibility

青海高寒牧区主要位于青藏高原的东北部,地势高峻,平均海拔在4 000 m,该地区的经济活动以畜牧业为主。目前,高海拔地区牲畜数量增长过快,草原的生产能力不能维持畜牧业的持续发展需求,因此,草畜矛盾成为亟需解决的突出问题^[1]。饲用燕麦(*Avena sativa* L.)具有产量高、耐寒抗旱、营养成分含量高、适口性好等特点,在维系高海拔地区畜牧业的发展上具有重要作用^[2-3]。新鲜饲用燕麦不利于长期保存,晾晒干草是该地区主要的加工方式^[4]。同干草相比,燕麦青贮能使其长期保持新鲜青绿的状态,可以更好地保持其营养价值,延长贮藏时间,可有效解决季节性饲草供应不平衡的问题^[5-6]。

中草药含有粗脂肪、氨基酸、蛋白质和微量元素等营养物质,富含生物活性化合物,具有抗氧化、抗病毒和抗菌等生物活性,将中草药作为饲料添加剂,可以平衡和提高饲粮营养水平,改善青贮饲料利用率^[7-9]。甘草(*Glycyrrhiza uralensis* Fisch.)是一种常见的药用植物,为豆科甘草属多年生草本植物,具有抗寒、耐旱、耐盐碱等特性,在内蒙古、甘肃和青海等地种植广泛^[10-11]。甘草茎叶部位含有丰富的糖类、氨基酸、矿物质和纤维等营养成分,对动物的生长发育有良好的促进作用^[12]。甘草提取物(Licorice extract, GC)中含有甘草多糖、三萜皂苷

和黄酮类等多种活性物质,可作为新型植物源饲料添加剂应用于畜禽养殖,提高生长性能和免疫性能^[13-14]。

高海拔地区饲用燕麦单独青贮发酵弱,将中草药提取物作为饲料添加剂对饲用燕麦青贮品质影响的相关报道较少。本研究通过探讨添加不同浓度甘草提取物及其和乳酸菌联用对燕麦青贮饲料的品质和体外瘤胃消化特性的影响,以期改善高海拔地区饲用燕麦青贮品质提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

本试验在青海省玉树藏族自治州杂多县昂塞乡年都村进行,此区域位于澜沧江上游扎曲河流域峡谷地带,地理坐标为北纬 $32^{\circ} 79'$,东经 $95^{\circ} 61'$,平均海拔约4 000 m。此地区属于大陆性高原气候,全年气候寒冷,年均温度 0.8°C ,四季不分明,只有冷暖之别,年平均降水量约490.3 mm。

1.2 试验材料与试验设计

本试验共设8组处理,分别为对照组CK(添加等量的水),甘草提取物单独添加的处理为GC0.5、GC1和GC2(分别表示添加0.5%、1%和2%鲜草重量的甘草提取物),对照组LP(添加乳酸菌,添加量为

0.1 g/kg,活菌数为 1×10^5 CFU/g),甘草提取物和乳酸菌联用的处理分别为GCLP0.5、GCLP1和GCLP2。供试饲用燕麦品种为‘青海444’,将其于抽穗期收获,使用铡草机切碎至2 cm左右,与对应浓度的甘草提取物或其与乳酸菌混合均匀放入青贮罐中,每罐700 g,压实后盖上内外盖,用胶带密封,每个处理3个重复。青贮60 d后开罐取样分析。植物乳杆菌由中国农业

大学饲草加工团队提供,甘草提取物在实验室制备。燕麦原料的营养水平见表1。

将甘草(2 kg)粉碎后用10 L的蒸馏水浸提7 d,每天超声1 h,随后用布氏漏斗进行抽滤,将得到的滤液用旋转蒸发仪减压浓缩至浸膏状,重复4次后得到甘草水提取物,冷冻干燥,得到甘草水提取物粉末。

表 1 饲用燕麦原料营养水平
Table 1 Nutritional composition of oat feedstock

原料	干物质/% Dry matter	中性洗涤纤维/% Neutral detergent fiber	酸性洗涤纤维/% Acid detergent fiber	粗蛋白质/% Crude protein	可溶性碳水化合物/% Water-soluble carbohydrate
青海 444	31.44	57.51	54.29	7.06	13.51

1.3 测定指标及方法

1.3.1 营养品质测定

称取饲用燕麦青贮样品150 g,置于65℃烘箱中烘48 h,获得的风干样品用于测定干物质(Dry matter, DM)。将烘干后的样品粉碎,过1 mm筛。参照《饲料分析及饲料质量检测技术》^[15],采用Van Soest法测定中性洗涤纤维(Neutral detergent fiber, NDF)和酸性洗涤纤维(Acid detergent fiber, ADF)含量,采用凯氏定氮法测定粗蛋白质(Crude protein, CP)含量,采用索氏抽提法测定粗脂肪(Ether extract, EE)含量,采用蒽酮-硫酸比色法测定可溶性碳水化合物(Water-soluble carbohydrate, WSC)含量。

1.3.2 发酵品质测定

开罐后将饲用燕麦青贮样品混匀称取20 g,将其加入180 mL水中,用榨汁机搅碎1 min,然后将匀浆液用4层纱布过滤得到浸出液。使用pH计(Mettler Toledo)测定pH。采用苯酚-次氯酸钠比色法测定氨态氮(Ammonia nitrogen, NH₃-N)浓度^[16]。采用SHIMADZE-10A型高效液相色谱分别测定乳酸(Lactic acid, LA)、乙酸(Acetic acid, AA)、丙酸(Propionic acid, PA)和丁酸(Butyric acid, BA)含量。检测仪器为SPD-M10AVP,色谱柱为Shodex Rspak KC-811S-DVB gel Column 30 mm×8 mm,以3 mmol/L高氯酸为流动相,流速为1 mL/min,检测波长为210 nm,进样量为5 μL^[17]。

1.3.3 体外消化特性测定

采用DAISY II体外模拟培养箱模拟动物胃肠

消化,测定48 h体外干物质消化率(IVDMD)、体外中性洗涤纤维消化率(IVNDFD)及体外酸性洗涤纤维消化率(IVADFD)^[18]。称取饲用燕麦青贮样品0.5 g装入纤维袋并密封。取晨饲前安格斯牛瘤胃液,经4层纱布过滤后,将瘤胃液400 mL、A缓冲液1 330 mL、B缓冲液266 mL加入预先39℃恒温预热的消化罐中,随后放入样品,通入CO₂营造厌氧环境,密封后将消化罐放入体外模拟培养箱中39℃持续培养48 h。培养结束后取出样品,用蒸馏水进行冲洗,然后烘干称量其质量,测定未消化的DM、NDF和ADF含量,计算体外消化率,公式如下:

$$\text{IVDMD}/\%=[\text{样品 DM}-(\text{未消化的 DM}-\text{空白 DM})]/\text{样品 DM}\times 100$$
 (1)

$$\text{IVNDFD}/\%=(\text{样品 NDF}-\text{未消化的 NDF})/\text{样品 NDF}\times 100$$
 (2)

$$\text{IVADFD}/\%=(\text{样品 ADF}-\text{未消化的 ADF})/\text{样品 ADF}\times 100$$
 (3)

1.4 数据统计及分析

试验数据采用Excel 2021 进行整理,采用SPSS 22.0统计软件进行单因素方差分析,分析添加不同浓度甘草提取物及其和乳酸菌对饲用燕麦青贮品质的影响,采用Duncan’s法进行多重比较,以 $P<0.05$ 表示差异显著。采用熵权法对饲用燕麦青贮饲料的营养成分、发酵品质和体外瘤胃消化特性指标计算权重系数,将权重系数与初始矩阵相乘得到加权矩阵,并采用TOPSIS法计算最优和最劣矩阵向量、评价对象与正理想解距离或负理想解距离,结合距离值计算出综合得分,以此排序并进行

综合评价^[19]。

2 结果与分析

2.1 添加不同浓度甘草提取物和乳酸菌对饲用燕麦青贮营养成分的影响

由表2可知,GC和GCLP处理的NDF、ADF、CP和WSC与CK相比均显著差异($P<0.05$),其

中,在对ADF的影响中,GCLP2显著低于除LP和GCLP1的其他处理($P<0.05$);对CP的影响中,GC0.5处理显著高于CK,而GCLP0.5、GCLP1和GCLP2处理显著低于CK($P<0.05$);对WSC的影响中,GCLP0.5、GCLP1和GCLP2均显著高于CK和其他处理($P<0.05$),GC0.5处理的WSC含量最低。

表2 添加不同浓度甘草提取物和乳酸菌对饲用燕麦青贮营养成分的影响

Table 2 Effects of different concentrations of licorice extract and lactic acid bacteria on nutrient composition of forage oat silage

处理 Treatment	干物质/% DM	中性洗涤纤维/% NDF	酸性洗涤纤维/% ADF	粗蛋白质/% CP	水溶性碳水化合物/% WSC
CK	31.47±1.82ab	61.79±0.019a	35.71±0.008a	7.35±0.03c	1.47±0.42b
GC0.5	31.77±2.16ab	58.30±0.009b	33.08±0.007b	8.79±0.06a	0.40±0.05c
GC1	31.64±1.08ab	58.46±0.016b	33.19±0.022b	7.55±0.19bc	1.23±0.09b
GC2	26.70±0.53c	56.29±0.018bc	32.00±0.011b	7.45±0.12bc	1.42±0.05b
LP	30.63±2.88b	53.90±0.008c	31.04±0.012bc	7.89±0.23b	1.08±0.08b
GCLP0.5	34.37±0.44a	54.40±0.036c	32.46±0.015b	6.92±0.12d	4.95±0.52a
GCLP1	34.11±0.56a	53.62±0.006c	30.67±0.013bc	6.60±0.58d	4.66±0.14a
GCLP2	32.52±2.08ab	55.57±0.002bc	28.87±0.013c	6.73±0.10d	4.74±0.35a
P值	0.001	<0.001	0.001	<0.001	<0.001

注:同列数据肩标无字母或相同字母表示差异不显著($P>0.05$),不同字母表示差异显著($P<0.05$)。下同。
Note: In the same column, values with no letter or the same letter superscripts mean no significant difference ($P>0.05$), while with different letter superscripts mean significant difference ($P<0.05$). The same below.

2.2 添加不同浓度甘草提取物和乳酸菌对饲用燕麦青贮发酵品质的影响

由表3可知,GC和GCLP处理均会降低饲用燕麦青贮饲料的pH,其中GCLP2处理后的pH显著低于CK和除LP和GCLP1外的其他处理($P<0.05$);与CK相比,GC处理的NH₃-N浓度均显著降低($P<0.05$);在对有机酸的影响中,GC和GCLP处理均会提高LA和AA的含量,其中GC2处理后的LA含量显著高于CK和其他处理,各个处理的AA含量均显著高于CK($P<0.05$),并且LP和GC1处理的AA含量最高。另外,在各个处理中均未检测出BA。

2.3 添加不同浓度甘草提取物和乳酸菌对饲用燕麦青贮体外瘤胃消化特性的影响

由表4可知,GC0.5和GC1的IVDMD显著高于其他处理($P<0.05$)。GCLP处理的IVDMD均低于其他处理,而IVNDFD均高于其他处理,其中,GCLP2的IVNDFD最高;而GCLP2的IVADFD显

著低于其他处理($P<0.05$),并且其他各处理间的IVADFD没有显著差异($P>0.05$)。

2.4 熵权法对添加不同浓度甘草提取物和乳酸菌饲用燕麦青贮品质的综合评价

由表5可知,根据熵权法计算得出的GC和GCLP处理的饲用燕麦青贮饲料品质各项指标在使用TOPSIS法进行综合评价时所占的权重为4.848%~14.135%。由此计算得到的青贮饲料品质综合评价排序见表6,GCLP处理的饲用燕麦青贮品质均比GC处理的品质好,其中GCLP2处理的饲用燕麦青贮饲料的品质最佳,GC1处理的品质最差。

3 讨论

3.1 添加不同浓度甘草提取物和乳酸菌对饲用燕麦青贮营养成分的影响

燕麦青贮饲料的营养成分变化是判定青贮品质的重要指标之一。本研究中,GC0.5和GC1的

表 3 添加不同浓度甘草提取物和乳酸菌对饲用燕麦青贮发酵品质的影响

Table 3 Effects of different concentrations of licorice extract and lactic acid bacteria on the fermentation quality of forage oat silage

处理 Treatment	pH	氨态氮/总氮/% NH ₃ -N/TN	乳酸/%DM LA	乙酸/%DM AA	丙酸/%DM PA	丁酸/%DM BA
CK	4.71±0.02a	2.68±0.08a	1.65±0.14d	0.43±0.05c	0.03±0.02	-
GC0.5	4.00±0.02b	1.93±0.02b	4.35±0.66b	0.81±0.23ab	0.09±0.07	-
GC1	3.94±0.01c	1.97±0.24b	4.38±0.44b	0.97±0.10a	0.06±0.02	-
GC2	3.87±0.02d	1.63±0.04c	5.57±0.56a	0.91±0.16ab	0.04±0.03	-
LP	3.77±0.03f	1.07±0.10e	4.65±0.27b	1.00±0.03a	0.03±0.03	-
GCLP0.5	3.82±0.01e	1.29±0.10d	3.33±0.39c	0.80±0.04ab	0.04±0.02	-
GCLP1	3.79±0.01ef	1.55±0.16c	4.17±0.17b	0.67±0.02b	0.02±0.02	-
GCLP2	3.77±0.02f	1.21±0.07de	4.46±0.42b	0.88±0.21ab	0.01±0.01	-
P 值	<0.001	<0.001	<0.001	0.002	>0.05	

表 4 添加不同浓度甘草提取物和乳酸菌对饲用燕麦青贮体外瘤胃消化特性的影响

Table 4 Effects of different concentrations of licorice extract and lactic acid bacteria on *in vitro* rumen digestion characteristics of forage oat silage

处理 Treatment	体外干物质消化率/% IVDMD	体外中性洗涤纤维消化率/% IVNDFD	体外酸性洗涤纤维消化率/% IVADFD
CK	43.46±0.001c	46.49±0.008ab	52.4±0.032a
GC0.5	46.32±0.017b	45.34±0.011ab	46.3±0.051ab
GC1	49.91±0.009a	42.71±0.052b	41.4±0.081b
GC2	43.12±0.002c	46.09±0.015ab	49.3±0.025ab
LP	42.41±0.007c	47.49±0.007ab	50.3±0.055ab
GCLP0.5	36.43±0.000e	49.48±0.033a	52.7±0.049a
GCLP1	37.37±0.003de	47.59±0.012a	47.7±0.039ab
GCLP2	38.21±0.011d	49.99±0.027a	44.5±0.126ab
P 值	<0.001	0.058	0.005

DM 含量高于 CK, 而 GC2 低于 CK, 其原因可能是甘草提取物本身 DM 含量较高, 添加适量的甘草提取物提高了饲用燕麦青贮饲料的 DM 含量^[20]。GCLP 处理组的 DM 含量均高于 CK, 这可能是因为乳酸菌的添加降低了饲用燕麦青贮饲料的 pH, 抑制了大多数有害微生物的生长, 并且甘草提取物可以为 LP 繁殖提供更多的发酵底物, 从而使 LP 成为优势菌, 有助于减少 DM 的损失^[21]。本研究中, GC 处

理和 GCLP 处理均会降低饲用燕麦青贮饲料中的 NDF 和 ADF 含量, 且 GCLP 处理降低的更显著, 这与石亚奇等^[22]在紫花苜蓿 (*Medicago sativa* L.) 青贮时添加连翘的结果相似。这可能是由于甘草提取物中的甘草多糖可以促进酸性水解酶或溶解纤维蛋白酶的产生, 使饲用燕麦青贮饲料中的纤维含量降低^[23]; 而 GCLP 处理组的 NDF 和 ADF 更低, 可能是由于甘草多糖可以进一步促进 LP 产生降解纤

表 5 熵权法权重计算结果

Table 5 Entropy weight method weight calculation results

处理 Treatment	信息熵值 Information entropy	信息效用值 Information utility value	权重/% Weight
DM	0.923	0.077	5.591
CP	0.824	0.176	12.818
WSC	0.806	0.194	14.135
LA	0.924	0.076	5.568
AA	0.92	0.080	5.823
IVDMD	0.833	0.167	12.216
IVNDFD	0.909	0.091	6.623
IVADFD	0.900	0.100	7.268
pH	0.934	0.066	4.848
NDF	0.911	0.089	6.462
ADF	0.908	0.092	6.729
NH3-N	0.917	0.083	6.085
PA	0.920	0.080	5.834

表 6 添加不同浓度甘草提取物和乳酸菌的饲用燕麦青贮品质的综合评价

Table 6 Comprehensive evaluation of the quality of silage forage oat supplemented with different concentrations of licorice extract and lactic acid bacteria

处理 Treatment	综合评价 Comprehensive evaluation	排名 Ranking
CK	0.325	8
GC0.5	0.506	6
GC1	0.474	7
GC2	0.528	5
LP	0.643	2
GCLP0.5	0.640	3
GCLP1	0.596	4
GCLP2	0.651	1

维素的酶(如阿魏酸酯酶),可进一步促进发酵过程中纤维素的分解^[24]。CP和WSC被认为是评价牧草营养价值的重要指标,一般来说CP和WSC含量越高牧草的营养价值就越高^[25-26]。本研究中,GC处理组的CP含量均高于CK,这可能是由于甘草提取物中含有甘草酸二胺能够较好地抑制丁酸梭菌的繁殖,减少CP的分解^[27-28]。GCLP处理组的CP含量均低于其他处理,可能是甘草提取物和乳酸菌联

用对真蛋白和以肽氮保留的降解比例均较高,导致CP含量减少^[29-30]。GC处理组的WSC含量低于CK,且甘草提取物浓度越大,WSC含量越高,这可能是因为添加的提取物浓度越高,甘草多糖的含量越高,并且甘草多糖经发酵后可以降解成更易吸收的小分子糖类物质,以满足发酵底物的需要^[31]。GCLP处理组的WSC含量显著高于其他处理,可能是由于在添加LP降低pH的基础上,甘草多糖可以抑制肠杆菌等不良微生物的繁殖,因此可以保留更多的WSC^[32]。

3.2 添加不同浓度甘草提取物和乳酸菌对饲用燕麦青贮发酵品质的影响

pH是反映青贮饲料发酵品质好坏最直接的指标,优质的青贮饲料pH一般在3.6~4.2^[33]。本研究中,各处理的pH均低于4.2,说明燕麦青贮饲料发酵良好。GC处理组的pH显著低于CK,这可能是由于甘草提取物对金黄色葡萄球菌等不良微生物有一定的抑制作用,促进乳酸菌繁殖,从而产生更多的LA降低燕麦青贮饲料的pH^[34]。乳酸菌是主导青贮发酵的优势菌群,本研究中GCLP处理组的pH显著低于其他处理,可能是因为在燕麦青贮饲料中添加LP可以直接或间接改变青贮发酵进程,并且甘草提取物中的一些活性成分可以为LP的生长提供良好的生存环境^[35-36],因此甘草提取物

和LP联用对pH降低的效果更显著。优质青贮饲料的有机酸组成主要以LA为主,AA、PA和BA等含量较少^[37]。本研究中,各处理的LA含量均高于CK,并且随着甘草提取物浓度的增加,LA含量呈上升趋势,这与Ke等^[38]研究结果一致。青贮过程中的BA主要来源于梭菌,有研究发现,甘草提取物中因含有黄酮类等物质,能够起到一定的抑菌作用,本研究中各处理中均未检测到BA,可能是因为黄酮类化合物可以破坏细菌细胞壁及细胞膜的完整性,导致膜的电子传递、营养吸收及ATP活性等功能障碍从而抑制细菌繁殖^[39-40]。氨态氮含量反映了青贮饲料中蛋白质分解的程度,在低pH条件下植物蛋白酶的活性会受到抑制^[41]。本研究中,GC处理的NH₃-N含量显著低于CK,可能是在燕麦青贮饲料的低pH条件下,抑制蛋白酶活性,降低了NH₃-N含量。

3.3 添加不同浓度甘草提取物和乳酸菌对饲用燕麦青贮体外消化特性的影响

已有研究表明,青贮饲料中的化学成分与瘤胃营养物质消化率之间存在相关性,IVDMD和IVNDFD与CP含量呈正相关,与NDF含量呈负相关^[20]。本研究中,GC0.5和GC12个处理的IVDMD高于CK,这可能与甘草提取物中含有三萜皂苷相关,Liu等^[42]研究发现在羔羊日粮中添加的苜蓿皂苷对羔羊干物质表观消化率具有显著的提升作用;而GCLP处理组的IVDMD普遍偏低,与毕庆悦等^[43]研究结果相似,可能是因为GCLP处理下中性洗涤纤维含量较高,营养物质比例不当,从而对干物质消化率造成负面影响^[19]。GCLP处理组的IVNDFD均高于其他处理,这可能是由于LP在发酵初期快速降低燕麦青贮饲料的pH,营造了长时间的酸性环境,破坏了燕麦细胞壁的纤维结构,使各营养物质更易于被反刍动物消化,进而提高了燕麦的IVNDFD^[5,41]。

3.4 熵权法对添加不同浓度甘草提取物和乳酸菌青贮饲用燕麦青贮品质的综合评价

熵权—TOPSIS法利用熵权法确定指标权重,减少主观性影响,综合考虑各指标的优劣,得出全面评价结果^[44]。本研究运用熵权—TOPSIS法对添加不同浓度甘草提取物及其和乳酸菌联用的饲用燕麦青贮的营养成分、发酵品质以及体外消化特性进行综合评价,从综合得分来看:GCLP2>LP>

GCLP0.5>GCLP1>GC2>GC0.5>GC1>CK,结合各项指标来看,GCLP处理的青贮品质及瘤胃体外消化特性优于其他处理,其中GCLP1的青贮品质最好,体外消化率较高。

4 结 论

添加适量的甘草提取物及其和乳酸菌联用可以改善饲用燕麦青贮的品质,且甘草提取物和乳酸菌联用的改善效果更好,其中2%的甘草提取物和乳酸菌联用的综合评价得分最高,可以为青海高海拔低地区高质量饲用燕麦青贮饲料生产提供参考依据。

参考文献 References

- [1] 刚永和, 张海博. 燕麦在青海高寒地区草原畜牧业可持续发展中的地位 and 作用[J]. 草原与草业, 2019, 31(3): 12-15
Gang Y H, Zhang H B. The position and function of oats in the sustainable development of grassland animal husbandry in Qinghai alpine region[J]. *Grassland and Prataculture*, 2019, 31(3): 12-15 (in Chinese)
- [2] 叶雪玲, 甘圳, 万燕, 向达兵, 邹晓勇, 吴琪, 刘长英, 范昱, 邹亮. 饲用燕麦育种研究进展与展望[J]. 草业学报, 2023, 32(2): 160-177
Ye X L, Gan Z, Wan Y, Xiang D B, Wu X Y, Wu Q, Liu C Y, Fan Y, Zou L. Advances and perspectives in forage oat breeding[J]. *Acta Prataculturae Sinica*, 2023, 32(2): 160-177 (in Chinese)
- [3] 刚永和, 张海博. 燕麦在青海高寒地区草地畜牧业可持续发展中的地位 and 作用[J]. 青海草业, 2020, 29(1): 54-57
Gang Y H, Zhang H B. The position and function of oats in the sustainable development of grassland animal husbandry in Qinghai alpine region[J]. *Qinghai Prataculture*, 2020, 29(1): 54-57 (in Chinese)
- [4] 周青平, 胡晓炜, 汪辉, 陈有军. 燕麦在维护国家粮食安全中的重要作用[J]. 草业学报, 2024, 33(10): 171-182
Zhou Q P, Hu X W, Wang H, Chen Y J. The important role of oat in reinforcing the foundation of food security[J]. *Acta Prataculturae Sinica*, 2024, 33(10): 171-182 (in Chinese)
- [5] 魏杰. 不同添加剂对燕麦草青贮品质和体外消化率的影响[J]. 饲料研究, 2023, 46(5): 113-117
Wei J. Effect of different additives on quality and *in vitro* digestibility of oat grass silage[J]. *Feed Research*, 2023, 46(5): 113-117 (in Chinese)
- [6] 王昊然, 高凤芹, 薛艳林, 蒋恒, 娜娜, 王娇, 孙乐. 不同乳酸菌添加剂对燕麦青贮品质和微生物多样性的影响[J]. 中国草地学报, 2024, 46(11): 82-90
Wang H R, Gao F Q, Xue Y L, Jiang H, Na N, Wang J, Sun L. Effects of different lactic acid bacteria additives on the quality and microbial diversity of oat silage[J]. *Chinese Journal of Grassland*, 2024, 46(11): 82-90 (in Chinese)
- [7] 崔芝燕, 周宁强, 黄自军, 伍洁丽, 罗雪辉, 马现永, 余苗. 中草药在改善猪肉品质中的应用研究进展[J]. 广东畜牧兽医科技, 2025, 50(1): 59-66
Cui Y Y, Zhou N Q, Huang Z J, Wu J L, Luo X H, Ma X Y, Yu M. Research progress on the application of Chinese herbal medicine in pork quality[J]. *Guangdong Journal of Animal and Veterinary Science*, 2025, 50(1): 59-66 (in Chinese)
- [8] Li X Y, Rao Z L, Xie Z Q, Qi H, Zeng N. Isolation, structure and bioactivity

- of polysaccharides from *Atractylodes macrocephala*: A review[J]. *Journal of Ethnopharmacology*, 2022, 296: 115506
- [9] Liu Y X, Song X M, Dan L W, Tang J M, Jiang Y, Deng C, Zhang D D, Li Y Z, Wang W. Astragali Radix: Comprehensive review of its botany, phytochemistry, pharmacology and clinical application[J]. *Archives of Pharmacol Research*, 2024, 47(3):165-218
- [10] 郭清爱, 梁华. 甘草及其活性成分在衰老过程中的多效性作用[J/OL]. 辽宁中医药大学学报, 1-17[2025-05-01]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/21.1543.R.20250307.1356.024.html>
- Guo Q A, Liang H. Multifunctional roles of *Glycyrrhiza* and its constituents in aging[J/OL]. *Journal of Liaoning University of Traditional Chinese Medicine*, 1-17[2025-05-01]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/21.1543.R.20250307.1356.024.html> (in Chinese)
- [11] 曲雪洁, 王晨, 刘长利. 近十年甘草栽培研究进展[J]. 天津中医药大学学报, 2021, 40(1): 5-14
- Qu X J, Wang C, Liu C L. Research progress of *Glycyrrhiza uralensis* cultivation technology in recent ten years[J]. *Journal of Tianjin University of Traditional Chinese Medicine*, 2021, 40(1): 5-14 (in Chinese)
- [12] 姚华, 沈海涛. 基于甘草茎叶的禽畜饲料应用研究进展[J]. 中国饲料, 2024, (20): 1-5
- Yao H, Shen H T. Research progress on the application of licorice stem and leaf as animal feed[J]. *China Feed*, 2024, (20): 1-5 (in Chinese)
- [13] 屈平, 李涛, 张雪丽, 高静, 曹雷, 朱伟, 郭梦尧. 甘草提取物对哺乳犊牛生长性能、腹泻率及血液指标的影响[J]. 饲料研究, 2024, 47(24): 5-10
- Qu P P, Li T, Zhang X L, Gao J, Cao L, Zhu W, Guo M Y. Effects of licorice extract on growth performance, diarrhea rate, and blood indexes of suckling calves[J]. *Feed Research*, 2024, 47(24): 5-10 (in Chinese)
- [14] 张建国, 张志杰. 甘草茎叶对羔羊生长性能和血清生化指标的影响[J]. 云南畜牧兽医, 2024(3): 11-14
- Zhang J M, Zhang Z J. Effects of *Glycyrrhiza uralensis* fish stems and leaf on growth performance and serum biochemical indexes of lambs[J]. *Yunnan Journal of Animal Science and Veterinary Medicine*, 2024(3): 11-14 (in Chinese)
- [15] 张丽英. 饲料分析及饲料质量检测技术[M]. 5版 北京: 中国农业大学出版社, 2021
- Zhang L Y. *Feed analysis and feed quality test technology*[M]. 5th ed. Beijing: China Agricultural University Press, 2021 (in Chinese)
- [16] Broderick G A, Kang J H. Automated simultaneous determination of ammonia and total amino acids in ruminal fluid and *in vitro* media 1[J]. *Journal of Dairy Science*, 1980, 63(1): 64-75
- [17] 许庆方, 玉柱, 韩建国, 白春生, 薛艳林, 荀桂荣. 高效液相色谱法测定紫花苜蓿青贮中的有机酸[J]. 草原与草坪, 2007, (2): 63-65, 67
- Xu Q F, Yu Z, Han J G, Bai C S, Xue Y L, Xun G R. Determining organic acid in alfalfa silage by HPLC[J]. *Grassland and Turf*, 2007, (2): 63-65, 67 (in Chinese)
- [18] 王莹. 内蒙古荒漠草原主要植物营养成分、体外消化及产气特征研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2019
- Wang Y. Study on nutrient content, *in vitro* digestion and gas production characteristics of main plants in desert grassland of Inner Mongolia[D]. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2019 (in Chinese)
- [19] 李雨嘉, 吉方财, 秦子阳, 郝迎辰, 王召明, 王磊, 孙志强, 玉柱. 全株玉米与大豆混合比例对青贮品质和体外消化特性的影响[J]. 动物营养学报, 2025, 37(1): 627-636
- Li Y J, Ji F C, Qin Z Y, Hao Y C, Wang Z M, Wang L, Sun Z Q, Yu Z. Effects of whole-plant corn and soybean mixture ratios on silage quality and digestion characteristics *in vitro*[J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2025, 37(1): 627-636 (in Chinese)
- [20] 周小栋. 甘草多糖对苜蓿青贮品质、抗氧化活性及体外瘤胃发酵特性的影响[D]. 银川: 宁夏大学, 2024
- Zhou X D. Effects of *Glycyrrhiza* polysaccharide on silage quality, antioxidant activity and *in vitro* ruminal fermentation properties of alfalfa silage[D]. Yinchuan: Ningxia University, 2024(in Chinese)
- [21] Chen L, Guo G, Yuan X J, Shimojo M, Yu C Q, Shao T. Effect of applying molasses and propionic acid on fermentation quality and aerobic stability of total mixed ration silage prepared with whole-plant corn in Tibet[J]. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 2014, 27(3): 349-356
- [22] 石亚奇, 樊文娜, 史鹏飞, 张梦瑶, 杨怡欣. 添加连翘对紫花苜蓿青贮品质的影响[J/OL]. 草地学报, 1-11[2025-05-01]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.3362.s.20250305.1717.010.html>
- Shi Y Q, Fan W N, Shi P F, Zhang M Y, Yang Y X. Effect of forsythia fuspensa Addition on the quality of alfalfa silage[J/OL]. *Acta Agrestia Sinica*, 1-11[2025-05-01]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.3362.s.20250305.1717.010.html> (in Chinese)
- [23] Chen L Y, Qu H, Bai S Q, Yan L J, You M H, Gou W L, Li P, Gao F Q. Effect of wet sea buckthorn pomace utilized as an additive on silage fermentation profile and bacterial community composition of alfalfa[J]. *Bioresource Technology*, 2020, 314: 123773
- [24] 李福厚. 产阿魏酸酯酶乳酸菌对青贮饲料纤维降解、家畜消化及健康的影响及作用机制研究[D]. 兰州: 兰州大学, 2021
- Li F H. Effects of lactic acid bacteria producing feruloyl esterase on silage fiber degradation, livestock digestion and health and its mechanism[D]. Lanzhou: Lanzhou University, 2021 (in Chinese)
- [25] 李海萍, 关皓, 贾志锋, 刘文辉, 陈仕勇, 徐美玲, 陈生翠, 严东海, 蒋永梅, 甘丽, 张珈敏, 周青平. 添加麦麸和乳酸菌对川西北高寒地区燕麦裹包青贮品质和有氧稳定性的影响[J]. 草地学报, 2023, 31(1): 302-310
- Li H P, Guan H, Jia Z F, Liu W F, Chen S Y, Xu M L, Chen S C, Yan D H, Jiang Y M, Gan L, Zhang J M, Zhou Q P. Effects of wheat bran and lactic acid bacteria on baled oat silage quality and aerobic stability in the alpine region of northwest Sichuan[J]. *Acta Agrestia Sinica*, 2023, 31(1): 302-310 (in Chinese)
- [26] Dong Z H, Yuan X J, Wen A Y, Desta S T, Shao T. Effects of calcium propionate on the fermentation quality and aerobic stability of alfalfa silage[J]. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 2017, 30(9): 1278-1284
- [27] Li Y, Hou H Q, Wang X L, Dai X, Zhang W R, Tang Q, Dong Y, Yan C, Wang B M, Li Z X, Cao H L. Diammonium glycyrrhizinate ameliorates obesity through modulation of gut microbiota-conjugated BAs-FXR signaling[J]. *Frontiers in Pharmacology*, 2021, 12: 796590
- [28] 黑梦琴, 曹正宇, 王志远, 代春辉, 陈程, 张文举. 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, Dai C H, Chen C, Zhang W J. 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 (in Chinese)
- [29] Fijałkowska M, Pysera B, Lipiński K, Strusińska D. Changes of nitrogen compounds during ensiling of high protein herbages-a review[J]. *Annals of Animal Science*, 2015, 15(2): 289-305
- [30] 李旭娇. 紫花苜蓿青贮饲料蛋白降解机制与调控研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2018
- Li X J. Study on protein degradation mechanism and regulation of alfalfa silage[D]. Beijing: China Agricultural University, 2018 (in Chinese)
- [31] 马晓娟, 谢有发, 余银芳, 李谔光. 发酵枸杞原浆中多糖、活菌数的变化规律[J]. 食品安全导刊, 2019(28): 62-65
- Ma X J, Xie Y F, Yu Y F, Li Y G. Changes of polysaccharide and viable bacteria in fermented *Lycium barbarum* pulp[J]. *China Food Safety*

- Magazine*, 2019(28): 62-65 (in Chinese)
- [32] Zeng T R, Li X L, Guan H, Yang W Y, Liu W G, Liu J, Du Z C, Li X M, Xiao Q Y, Wang X C, Zhang X Q, Huang L K, Xiang Q J, Peng Q H, Yan Y H. Dynamic microbial diversity and fermentation quality of the mixed silage of corn and soybean grown in strip intercropping system[J]. *Bioresource Technology*, 2020, 313: 123655
- [33] Ni K, Wang X, Lu Y, Guo L N, Li X M, Yang F Y. Exploring the silage quality of alfalfa ensiled with the residues of *Astragalus* and hawthorn[J]. *Bioresource Technology*, 2020, 297: 122249
- [34] 区梓聪, 何秋星, 陈佩, 方电力. 8种中药提取物在膏霜类化妆品中的抑菌效能研究[J]. *日用化学工业*, 2017, 47(3): 148-152, 158
- Ou Z C, He Q X, Chen P, Fang D L. Bacterium inhibition efficacy of eight kinds of herbal extract in cream type cosmetics[J]. *China Surfactant Detergent & Cosmetics*, 2017, 47(3): 148-152, 158 (in Chinese)
- [35] 刘伟, 贾玉山, 格根图, 王志军, 刘明健, 司强, 包健, 刘逸超, 孙鹏波. 燕麦青贮研究进展[J]. *草地学报*, 2022, 30(12): 3175-3183
- Liu W, Jia Y S, Ge G T, Wang Z J, Liu M J, Si Q, Bao J, Liu Y C, Sun P B. Research advance of oat silage[J]. *Acta Agrestia Sinica*, 2022, 30(12): 3175-3183 (in Chinese)
- [36] Romero J J, Zhao Y, Balseca-Paredes M A, Tiezzi F, Gutierrez-Rodriguez E, Castillo M S. Laboratory *Silo* type and inoculation effects on nutritional composition, fermentation, and bacterial and fungal communities of oat silage[J]. *Journal of Dairy Science*, 2017, 100(3): 1812-1828
- [37] Kung L, Shaver R D, Grant R J, Schmidt R J. Silage review: interpretation of chemical, microbial, and organoleptic components of silages[J]. *Journal of Dairy Science*, 2018, 101(5): 4020-4033
- [38] Ke W, Yang F, Undersander D, Guo X. Fermentation characteristics, aerobic stability, proteolysis and lipid composition of alfalfa silage ensiled with apple or grape pomace[J]. *Animal Feed Science and Technology*, 2015, 202: 12-19
- [39] 张培芬, 林晓铎, 陆楚文, 黄乐裕, 易运红. 四种植物提取物及复配的抑菌效果[J]. *广州化工*, 2021, 49(15): 89-92
- Zhang P F, Lin X H, Lu C W, Huang L Y, Yi Y H. Antibacterial effects of four plant extracts and their complexes[J]. *Guangzhou Chemical Industry*, 2021, 49(15): 89-92 (in Chinese)
- [40] Song L Y, Hu X, Ren X M, Liu J, Liu X Y. Antibacterial modes of herbal flavonoids combat resistant bacteria[J]. *Frontiers in Pharmacology*, 2022, 13: 873374
- [41] 贾婷婷, 吴哲, 玉柱. 不同类型乳酸菌添加剂对燕麦青贮品质和有氧稳定性的影响[J]. *草业科学*, 2018, 35(5): 1266-1272
- Jia T T, Wu Z, Yu Z. Effect of different lactic acid bacteria additives on the fermentation quality and aerobic stability of oat silage[J]. *Pratacultural Science*, 2018, 35(5): 1266-1272 (in Chinese)
- [42] Liu C, Qu Y H, Guo P T, Xu C C, Ma Y, Luo H L. Effects of dietary supplementation with alfalfa (*Medicago sativa* L.) saponins on lamb growth performance, nutrient digestibility, and plasma parameters[J]. *Animal Feed Science and Technology*, 2018, 236: 98-106
- [43] 毕庆悦, 张敏, 金楚砚, 耿春银, 金英海. 添加不同浓度尿素的富硒乳酸菌秸秆对体外瘤胃发酵的影响[J/OL]. *饲料工业*, [2025-07-14]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/21.1169.S.20240929.1040.005.html>
- Bi Q Y, Zhang M, Jin C Y, Geng C Y, Jin Y H. Effect of selenium-enriched *Lactobacillus* straw added at different urea concentrations on rumen fermentation *in vitro*[J/OL]. *Feed Industry*, [2025-07-14]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/21.1169.S.20240929.1040.005.html> (in Chinese)
- [44] 丁泽民, 熊辉, 洪霞, 赵胜男, 李艳荣, 王玥玥. 基于熵权法的灰色关联法-TOPSIS法对不同产地山楂及其炮制品质量的评价研究[J/OL]. *中华中医药学刊*, [2025-07-09]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/21.1546.R.20250522.1546.073.html>
- Ding Z M, Xiong H, Hong X, Zhao S N, Li Y R, Wang Y Y. Evaluation of quality of *Crataegus pinnatifida* Bge from different origin and its products by grey correlation method and TOPSIS method based on entropy weight method[J]. *Chinese Archives of Traditional Chinese Medicine*, [2025-07-09]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/21.1546.R.20250522.1546.073.html> (in Chinese)

责任编辑: 秦梅



第一作者简介: 孟嘉晖, 硕士研究生, 主要从事饲草加工与利用研究。



通讯作者简介: 玉柱, 教授, 博士生导师。主要从事饲草加工贮藏与利用方面的研究, 侧重于饲草青贮技术研发与产品研制的相关内容。主持国家或省部级课题 10 余项, 获得省部级科技成果奖 21 项, 制定国家、行业地方、地方和团体标准 30 项, 授权专利 7 项, 主编或参编出版著作 25 部, 其中主(副)编 14 部。发表科研论文 250 余篇, 其中 SCI 收录 40 余篇。