



添加葡萄渣对苜蓿青贮品质及体外消化特征的效果

高诚泽 陈玮 赵璐洁 李颖丽 谢开云 颜安 万江春

Effects of the addition of grape pomace on the quality and *in vitro* digestive characteristics of alfalfa silage

GAO Chengze, CHEN Wei, ZHAO Lujie, LI Yingli, XIE Kaiyun, YAN An, WAN Jiangchun

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2022-0933>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

葡萄渣对育肥羊瘤胃发酵和微生物区系的调控作用

Regulation effect of grape pomace on rumen fermentation and microflora of fattening sheep

草业科学. 2023, 40(2): 530 <https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2021-0599>

辣木籽对奶牛体外产气量、瘤胃发酵以及瘤胃降解特性的影响

Study of *in vitro* gas production, rumen fermentation, and rumen degradation characteristics of *Moringa Oleifera* seed in dairy cows

草业科学. 2022, 39(11): 2442 <https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2021-0668>

甜叶菊秆与玉米秸秆混合青贮品质和体外瘤胃发酵特性

Silage quality and *in vitro* rumen fermentation characteristics of stevia and corn stalks

草业科学. 2023, 40(2): 539 <https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2021-0555>

不同添加剂处理柞树叶青贮对延边黄牛体外发酵瘤胃降解率和微生物菌群的影响

Effects of silage of oak leaves treated with different additives on rumen degradation rate and microbial community of Yanbian cattle in *in vitro* fermentation

草业科学. 2023, 40(9): 2384 <https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2022-0602>

槲皮素对肉牛体外瘤胃发酵及甲烷产量的影响

Effects of quercetin on *in vitro* rumen fermentation and methane production of beef cattle

草业科学. 2023, 40(1): 280 <https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2022-0152>

青贮发酵促进剂和收获期对全株青贮玉米营养品质的影响

Effects of silage fermentation promoter and harvest stage on nutrient quality of whole silage maize

草业科学. 2022, 39(3): 586 <https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2021-0095>



关注微信公众号，获得更多资讯信息

DOI: 10.11829/j.issn.1001-0629.2022-0933

高诚泽, 陈玮, 赵璐洁, 李颖丽, 谢开云, 颜安, 万江春. 添加葡萄渣对苜蓿青贮品质及体外消化特征的效果. 草业科学, 2024, 41(4): 984-994.

GAO C Z, CHEN W, ZHAO L J, LI Y L, XIE K Y, YAN A, WAN J C. Effects of the addition of grape pomace on the quality and *in vitro* digestive characteristics of alfalfa silage. Pratacultural Science, 2024, 41(4): 984-994.



添加葡萄渣对苜蓿青贮品质及 体外消化特征的效果

高诚泽^{1,2}, 陈 玮³, 赵璐洁², 李颖丽⁴, 谢开云², 颜 安², 万江春^{1,2}

(1. 新疆农业大学草学博士后流动站, 新疆 乌鲁木齐 830052; 2. 新疆农业大学草业学院 / 新疆草地资源与生态重点实验室, 新疆 乌鲁木齐 830052; 3. 社旗县中等职业学校, 河南 南阳 473399; 4. 内蒙古优然牧业有限责任公司, 内蒙古 呼和浩特 010070)

摘要: 试验以紫花苜蓿‘新牧4号’(*Medicago sativa* ‘Xinmu No. 4’)和‘赤霞珠’葡萄渣为原料, 分别设置对照组(苜蓿单独青贮)、C₁(添加 100 g·kg⁻¹ 葡萄渣)、C₂(添加 150 g·kg⁻¹ 葡萄渣)、C₃(添加 200 g·kg⁻¹ 葡萄渣)4个处理, 青贮 60 d 后测定各处理的发酵品质、营养成分和体外消化率等相关指标, 旨在研究葡萄渣对苜蓿青贮发酵品质及体外消化率的影响。结果表明: 添加葡萄渣后可增加苜蓿青贮粗蛋白和乳酸含量, 提高 V-Score 评分, 降低苜蓿青贮的 pH 和氨态氮含量, 同时提升苜蓿青贮干物质和粗蛋白质体外消化率, 起到提高苜蓿青贮饲料品质的作用。运用灰色关联度分析法进行综合评价, 青贮品质由高到低依次为 C₂ > C₃ > C₁ > 对照组。综合来看, 葡萄渣可改善苜蓿青贮的发酵品质和体外消化特性, 苜蓿中添加 150 g·kg⁻¹ 的葡萄渣进行青贮效果最佳。

关键词: 紫花苜蓿; 葡萄渣; 发酵品质; 产气参数; 体外消化率; 灰色关联度; 体外发酵

文献标识码: A 文章编号: 1001-0629(2024)04-0984-11

Effects of the addition of grape pomace on the quality and *in vitro* digestive characteristics of alfalfa silage

GAO Chengze^{1,2}, CHEN Wei³, ZHAO Lujie², LI Yingli⁴, XIE Kaiyun², YAN An², WAN Jiangchun^{1,2}

(1. Postdoctoral Station of Grassland Science, Urumqi 830052, Xinjiang, China;

2. Xinjiang Agricultural University of Grassland Science / Xinjiang Agricultural University Laboratory of Grassland Resources and Ecology, Urumqi 830052, Xinjiang, China;

3. Sheqi County Secondary Vocational School, Nanyang 473399, Henan, China;

4. Inner Mongolia Youran Dairy Co., Ltd., Hohhot 010070, Inner Mongolia, China)

Abstract: This study evaluated the effect of grape pomace on the fermentation quality and *in vitro* digestibility of alfalfa silage. Experiments were conducted using alfalfa ‘Xinmu No. 4’ (*Medicago sativa* ‘Xinmu No. 4’) and Cabernet Sauvignon grape pomace as raw materials. A control group (alfalfa silage alone) was analyzed alongside the experimental groups C₁ (with 100 g·kg⁻¹ grape pomace), C₂ (with 150 g·kg⁻¹ grape pomace), and C₃ (with 200 g·kg⁻¹ grape pomace). The fermentation quality, nutrient composition, and *in vitro* digestibility of each treatment were measured after 60 d of silage. The results showed that the addition of grape pomace increased the content of alfalfa silage protein and lactic acid, improved the score of V-Score, reduced the pH and ammonia nitrogen content of alfalfa silage, and increased the *in vitro* digestibility of

收稿日期: 2022-11-30 接受日期: 2023-05-16

基金项目: 新疆维吾尔自治区重点研发任务专项计划 (2022B02003); 优质牧草高效生产与加工关键技术集成示范; 新疆维吾尔自治区自然科学基金面上项目 (2022D01A69)

第一作者: 高诚泽 (1997-), 男, 新疆乌鲁木齐人, 在读硕士生, 研究方向为饲草料加工与利用。E-mail: 2645024183@qq.com

通信作者: 万江春 (1987-), 男, 重庆万州人, 副教授, 博士, 研究方向为饲草料加工与利用。E-mail: xjau_wjc@163.com

alfalfa silage dry matter and crude protein, thus improving the quality of alfalfa silage. The quality of silage was $C_2 > C_3 > C_1$ > control group. Overall, grape pomace was found to improve the fermentation quality and *in vitro* digestion of alfalfa silage. With $150 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ of grape pomace added to alfalfa for silage being the most effective.

Keywords: *Medicago sativa*; grape pomace; fermentation quality; gas production parameter; *in vitro* digestibility; grey correlation; *in vitro* fermentation

Corresponding author: WAN Jiangchun E-mail: xjau_wjc@163.com

新疆位于全球酿酒葡萄 (*Vitis vinifera*) 黄金种植带上, 作为我国主要的优质酿酒葡萄主产区, 其种植面积居全国第二, 约 2.34 万 hm^2 , 产量居全国第一, 约 22.18 万 t , 种植面积与产量均占全国总量的 25% 左右^[1]。葡萄渣是葡萄酒酿造生产过程中的副产品, 主要由葡萄皮、葡萄籽和葡萄果梗 3 部分构成, 其产出占葡萄加工量的 20%~30%^[2]。当前, 仅有少量的葡萄渣被回收利用以花青素提取等精深加工利用, 而绝大多数的葡萄渣都被用作肥料或垃圾随意堆弃。解决葡萄渣资源的循环利用, 是实现葡萄酒产业可持续发展的重要现实问题。葡萄渣中有着丰富的多糖、多酚、蛋白质、油脂及矿物质等功能成分^[3], 将其作为反刍动物的日粮来加以利用, 是提高葡萄渣利用率的重要途径。

多年生豆科牧草紫花苜蓿 (*Medicago sativa*) 是一种营养丰富、产草量高、家畜喜食的优质蛋白质饲草。新疆北疆大部分地区, 在当年刈割最后一茬苜蓿时, 由于气温下降等不利因素的影响, 调制的苜蓿干草品质较差, 将苜蓿制作成青贮饲料是解决此问题的方法之一。苜蓿青贮饲料不但营养价值高, 而且可以长期保存, 但苜蓿含糖量低, 缓冲能高, 常规青贮不易成功, 且青贮过程中蛋白损失严重^[4]。葡萄渣含有的缩合单宁有着多种生物活性^[5-6]。单宁可以与蛋白质结合, 形成单宁蛋白质复合物对蛋白质起到一定的保护作用^[7]; 单宁还具有一定的抑菌性, 在青贮饲料中添加单宁可以抑制饲料有害微生物的活性, 并减少乳酸向乙酸和丁酸的转换^[8]。此外, 缩合单宁对反刍动物瘤胃氮代谢、微生物调控以及对反刍动物的健康和生产都有着一定的积极作用^[9-11]。董文成等^[12]研究发现, 将葡萄渣按一定比例与苜蓿进行混合青贮, 可以降低苜蓿青贮 pH, 改善青贮发酵品质, 提高青贮有氧稳定性。也有研究报道青贮中添加葡萄渣, 可快速降低青贮 pH, 提高青贮发酵品质和不饱和脂

肪酸含量^[13]。以上研究表明将葡萄渣与苜蓿进行混合青贮, 即可合理的利用酿酒副产品葡萄渣, 也可弥补苜蓿青贮发酵过程中的不足, 但目前关于添加葡萄渣对苜蓿青贮体外消化特征的研究报道还较少。

基于此, 针对苜蓿单独青贮营养损失严重, 质量较差等问题, 本试验以葡萄渣 3 种不同添加比例与苜蓿进行混合青贮, 探讨葡萄渣不同添加量对苜蓿青贮营养发酵品质的影响, 并利用瘤胃体外产气法结合产气动力学模型, 研究葡萄渣添加对苜蓿青贮瘤胃降解利用的影响, 为葡萄渣的饲料化利用提供理论参考。

1 材料与方法

1.1 原料与添加剂

葡萄渣原料采自新疆中信国安葡萄酒业有限公司玛纳斯县分公司, 品种为‘赤霞珠’, 原料取回前已风干; 苜蓿采自新疆农业大学三坪农场, 为当年第 3 茬收获的新鲜紫花苜蓿 (‘新牧 4 号’), 切碎后待用。青贮所用的添加剂为乳酸菌、纤维分解菌等构成的复合微生物菌剂, 由新疆农业科学院提供, 活菌数 $> 1 \times 10^8 \text{ cfu} \cdot \text{g}^{-1}$, 按青贮复合菌剂使用方法配置, 装入 100 mL 喷壶中均匀喷洒至物料中。

1.2 青贮试验设计

本试验采用单因素完全随机设计, 对照组为紫花苜蓿单独青贮; 处理 1 组 (C_1) 为添加 $100 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 的葡萄渣; 处理 2 组 (C_2) 为添加 $150 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 的葡萄渣; 处理 3 组 (C_3) 为添加 $200 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 的葡萄渣。试验共计 4 个处理, 每个处理重复 3 次。将处理好的苜蓿与葡萄渣按制作比例混合均匀, 按 $(1\ 000 \pm 100) \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 的密度装填入 1 L 的塑料广口瓶中压实并密封, 放置在避光室温处发酵 60 d, 取样进行相关指标的测定与分析。

1.3 测定项目及方法

1.3.1 青贮饲料营养品质的测定分析

将原料和青贮样在 65 ℃ 烘箱中干燥 48 h 至恒重, 粉碎过筛 (0.425 mm) 待用。处理好的原料和青贮样品参考 Zhang 和 Zhao^[14] 描述的方法进行以下指标的测定: 干物质 (dry matter, DM) (烘干法), 粗脂肪 (ether extract, EE) 采用索氏抽提法, 粗蛋白质 (crude protein, CP) 采用凯氏定氮法, 中性洗涤纤维 (neutral detergent fiber, NDF) 和酸性洗涤纤维 (acid detergent fiber, ADF) 采用 Van Soest 洗涤纤维素分析法^[15], 粗灰分 (crude ash, CA) 采用灰化法。利用分光光度法测定可溶性碳水化合物 (water soluble carbohydrates, WSC) 含量, 并利用公式计算非纤维性碳水化合物 (non-fiber carbohydrates, NFC) 含量, $NFC = 100 - CP - EE - NDF - Ash$ 。参考蒋慧^[16] 的方法测定青贮原料乳酸菌、酵母菌和霉菌的数量。利用盐酸-正丁醇法测定葡萄渣单宁含量^[17]。

1.3.2 青贮饲料发酵品质的测定分析

取 50 g 青贮原料, 加 150 mL 蒸馏水, 用榨汁机粉碎 1 min, 汁液经 4 层纱布过滤后用于后续指标测定。发酵品质中的 pH 利用酸度计进行测定; 采用高效液相色谱法^[18] 测定乳酸 (lactic acid, LA)、乙酸 (acetic acid, AA)、丙酸 (propionic acid, PA) 和丁酸 (butyric acids, BA); 采用苯酚-次氯酸比色法^[19] 测定氨态氮 (ammonia nitrogen, NH₃-N); 青贮发酵品质评价采用 V-Score 评分方法参考日本粗饲料评定手册^[20], 具体评分标准如表 1 所列。

1.3.3 青贮饲料体外产气特征相关指标的测定分析

瘤胃液取自 3 头装有瘤胃瘘管、体重年龄相似、第 2 胎次的泌乳初期荷斯坦母牛, 将瘤胃液与人工瘤胃缓冲液按 1 : 2 比例混合均匀, 参考王永力^[21] 的方法进行体外发酵试验。称取 0.4 g 青贮饲料样品装入尼龙袋并放于升温至 39 ℃ 的发酵瓶中, 然后加入 30 mL 的培养液, 再向发酵瓶中通入 CO₂ 气体至饱和, 封口后在 39 ℃ 恒温培养箱中培养 48 h, 每个处理设 3 个重复, 1 个空白对照。测定发酵各时间点 (2、4、8、12、24、36、48 h) 的产气量 (gas production, GP)。在瘤胃体外发酵 48 h 结束后, 取出尼龙袋, 并用蒸馏水冲洗干净, 放置于 105 ℃ 烘箱中干燥 3 h, 测定 DM、CP、NDF 和 ADF 残留量, 后分别计算出体外干物质消化率 (*in vitro* dry matter digestibility, IVDMD)、体外粗蛋白消化率 (*in vitro* crude protein digestibility, IVCPD)、体外中性洗涤纤维消化率 (*in vitro* neutral detergent fibre digestibility, IVNDFD) 和体外酸性洗涤纤维消化率 (*in vitro* acid detergent fibre digestibility, IVADFD)。剩余发酵液参考张艳玲和张力莉^[22] 方法测定微生物蛋白 (microbial crude protein, MCP)。

产气动力学模型^[23] 如下:

$$GP_t = A \times \left\{ 1 - \exp[-c \times (t - Lag)] \right\}.$$

式中: GP_t 为在 t 时刻的累积产气量 (mL·g⁻¹), A 为理论最大产气量 (mL), c 为产气速率常数 (mL·h⁻¹), t 为产气时间 (h), Lag 为产气延滞时间 (h)。

表 1 V-Score 评分标准
Table 1 Calculation of the V-Score

氨态氮 Ammonia nitrogen/%		乙酸 + 丙酸 Acetic acid + propionic acid/%		丁酸及以上挥发性脂肪酸 Butyric acid and above volatile fatty acid/%		V-Score
X_N	计算式 Formula (Y_N)	X_A	计算式 Formula (Y_A)	X_B	计算式 Formula (Y_B)	
≤ 5	$Y_N = 50$	≤ 0.2	$Y_A = 10$	0~0.5	$Y_B = 40 - 80X_B$	$Y = Y_N + Y_A + Y_B$
5~10	$Y_N = 60 - 2X_N$	0.2~1.5	$Y_A = (150 - 100X_A)/13$	> 0.5	0	
10~20	$Y_N = 80 - 4X_N$	1.5 <	$Y_A = 0$			
> 20	$Y_N = 0$					

X_N 、 X_A 、 X_B 分别为氨态氮、乙酸 + 丙酸和丁酸及以上挥发性脂肪酸的含量; Y_N 、 Y_A 、 Y_B 分别为氨态氮、乙酸 + 丙酸和丁酸及以上挥发性脂肪酸的得分; Y 为总得分。

X_N , X_A , and X_B are the content of ammonia nitrogen, acetate acid + propionate acid and butyric acid and above volatile fatty acid, respectively; Y_N , Y_A , and Y_B are the scores of ammonia nitrogen, acetate acid + propionate acid, and butyric acid and above volatile fatty acid, respectively; Y is the total score.

平均产气速率 (average gas production rate, AGPR) 的计算^[24] 公式如下:

$$AGPR = \frac{A \times c}{2 \times (\ln 2 + c \times Lag)}。$$

1.4 数据分析

利用 Excel 2016 进行数据的初步处理, 然后用 SPSS 26 对数据进行方差分析, 通过 Duncan 法和 *T* 检验对测定数据进行多重比较, 并利用正交多项式对比分析, 对苜蓿青贮添加不同比例葡萄渣进行线性和二次曲线拟合。试验数据用平均值 $\pm$ 标准差表示, $P < 0.05$ 表示差异显著, $P > 0.05$ 表示差异不显著。图表的绘制由 Origin 2021 完成。

根据灰色系统理论, 将 DM、CP、NDF、ADF、pH、V-Score、IVDMD、IVCPD、MCP、48 h 体外产气量 (gas production at 48 h, GP₄₈)、达到产气量 1/2 所需时间 (half time)、APGR 共 12 项指标作为一个灰色系统, 使用灰色关联度分析法对青贮进行综合评价^[25]。以 12 个指标的最理想值构成理想的参考数列: $X_0(k) = \{X_0(1), X_0(2), X_0(3), \dots, X_0(n)\}$; 以各指标的测定值构成比较数列: $X_i(k) = \{X_i(1), X_i(2), X_i(3), \dots, X_i(n)\}$ 。其中 $k = 1, 2, 3, \dots, n$, n 为测定指标数 ($n = 12$), $i = 1, 2, 3, \dots, m$, m 为测定的不同青贮处理组 ($m = 4$)。将各指标测定值用 $X'_i(k) = X_i(k)/X_0(k)$ 进行无量纲化处理转化为评价值, 并计算与各指标之间的关联系数 (ρ 为分辨系数, 取值介于 0~1, 本研究取 0.5)。

关联系数 $[\xi_i(k)]$:

$$\xi_i(k) = \frac{\min_i \min_k |\Delta_i(k)| + \rho \max_i \max_k |\Delta_i(k)|}{|\Delta_i(k)| + \rho \max_i \max_k |\Delta_i(k)|}。$$

由于各指标对青贮品质的重要度不同, 在评价不同处理的好坏时还应根据其重要程度赋予不同的权重系数, 并以加权关联度对各青贮处理进行评价。根据加权关联度的大小, 可评价各青贮处理的优劣。

等权关联度 (γ_i):

$$\gamma_i = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \xi_i(k);$$

权重系数 (ω_i):

$$\omega_i = \frac{\gamma_i}{\sum \gamma_i};$$

加权关联度 (γ'_i):

$$\gamma'_i = \sum_{k=1}^n \omega_i(k) \times \xi_i(k)。$$

2 结果与分析

2.1 青贮原料的营养特性

葡萄渣和苜蓿的常规营养成分及微生物数量表明, 与新鲜的苜蓿原料 (pH 6.00) 相比, 葡萄渣有着较低的 pH (3.68) (表 2)。葡萄渣中的 DM、WSC、NDF、ADF、EE 和 CA 含量均显著高于苜蓿 ($P < 0.05$), 而 CP 和 NFC 含量要显著低于苜蓿 ($P < 0.05$); 葡萄渣表面附着的乳酸菌和酵母菌数量均高于苜蓿, 但表面附着的霉菌数量低于苜蓿。

2.2 葡萄渣对苜蓿青贮营养品质的影响

与对照相比, 添加葡萄渣对苜蓿青贮的 DM 和 EE 影响显著 ($P < 0.05$) (表 3); C₁、C₂ 和 C₃ 组的 DM 含量显著高于对照组 ($P < 0.05$), 较对照处理分别增加了 18.88%、22.02% 和 20.83%, 但 3 组处理间无显著差异 ($P > 0.05$); C₃ 组的 CP 含量显著高于对照组 ($P < 0.05$), 提高了 7.73%; 添加葡萄渣对苜蓿青贮的 NDF、ADF、CA 和 NFC 含量没有显著影响 ($P > 0.05$)。此外, 随着葡萄渣比例的增加, 苜蓿混合青贮的 DM 和 EE 呈线性升高 ($P < 0.05$), 同时, 也存在显著的二次曲线效应 ($P < 0.05$)。

2.3 葡萄渣对苜蓿青贮发酵品质的影响

苜蓿单独青贮时 pH 为 5.06 (表 4), 添加葡萄渣混合青贮处理的 pH 均降至 4.52 以下, 其中 C₃ 组的 pH 最低, 为 4.16; 对照组的 NH₃-N 含量显著高于其他处理组 ($P < 0.05$); C₃ 组的 LA 含量最高, AA 含量最低, 均显著高于或低于其他处理 ($P < 0.05$); C₃ 组的 PA 含量显著低于对照组和 C₁ 组 ($P < 0.05$), 与 C₂ 组无显著差异 ($P > 0.05$); 4 个处理组中仅对照组检测出了极少量的 BA 含量, 其他 3 个处理均没有 BA 产生。在 V-Score 评分体系中对照组的得分为 87.92 分, 其余 3 个处理组评分均大于等于 90 分。此外, 随着葡萄渣比例的增加, 苜蓿混合青贮的 pH、AA、PA、和 NH₃-N 呈线性下降 ($P < 0.05$), LA 和 V-Score 得分呈线性升高 ($P < 0.05$), 其中除 V-Score 得分以外都存在显著的二次曲线效应 ($P < 0.05$)。

表 2 青贮原料的化学成分
Table 2 Chemical composition of silage materials

指标 Item	苜蓿 Alfalfa	葡萄渣 Grape pomace
干物质 Dry matter (DM)/(g·kg ⁻¹)	334.07 ± 7.00b	947.52 ± 0.58a
pH	6.00 ± 0.02a	3.68 ± 0.06b
可溶性碳水化合物 Water soluble carbohydrate (WSC)/(g·kg ⁻¹)	14.06 ± 1.70b	61.80 ± 1.90a
粗蛋白 Crude protein (CP)/(g·kg ⁻¹)	156.50 ± 8.50a	130.83 ± 1.53b
粗脂肪 Ether extract (EE)/(g·kg ⁻¹)	19.50 ± 0.85b	138.13 ± 2.00a
中性洗涤纤维 Neutral detergent fiber (NDF)/(g·kg ⁻¹)	334.13 ± 5.00b	360.52 ± 2.52a
酸性洗涤纤维 Acid detergent fiber (ADF)/(g·kg ⁻¹)	271.24 ± 2.52b	286.72 ± 4.51a
粗灰分 Crude ash (CA)/(g·kg ⁻¹)	70.20 ± 1.45b	90.50 ± 1.20a
非纤维性碳水化合物 Non-fiber carbohydrate (NFC)/(g·kg ⁻¹)	420.10 ± 12.9a	280.51 ± 2.20b
乳酸菌 Lactic acid bacteria (LAB)/(log ₁₀ cfu·g ⁻¹)	3.30 ± 0.31b	5.60 ± 0.37a
酵母菌 Yeast/(log ₁₀ cfu·g ⁻¹)	6.21 ± 0.67b	10.10 ± 0.22a
霉菌 Mould/(log ₁₀ cfu·g ⁻¹)	2.53 ± 0.21	< 1.00
单宁含量 Tannin content/(g·kg ⁻¹)	—	43.5 ± 0.60

同行不同小写字母表示相同指标不同原料间差异显著($P < 0.05$)。“—”表示含量极低未检测出。
Different lowercase letters in the same row indicate significant differences between different silage materials at the 0.05 level; “—” indicates very low levels (not detected).

表 3 葡萄渣对苜蓿青贮营养品质的影响
Table 3 Effect of grape pomace on the nutritional quality of alfalfa silage

指标 Item	处理 Treatment				<i>P</i>		
	对照 Control	C ₁	C ₂	C ₃	组间 Group	线性 Linear	二次 Quadratic
干物质 Dry matter (DM)/(g·kg ⁻¹)	392.00 ± 10.52b	466.00 ± 8.89a	478.33 ± 3.06a	473.67 ± 6.66a	< 0.01	< 0.01	< 0.01
粗蛋白 Crude protein (CP)/(g·kg ⁻¹)	151.00 ± 2.65b	161.33 ± 2.08ab	157.33 ± 9.71ab	162.67 ± 4.04a	0.12	0.06	0.46
中性洗涤纤维 Neutral detergent fiber (NDF)/(g·kg ⁻¹)	354.67 ± 11.21	353.67 ± 7.37	351.67 ± 3.51	353.67 ± 8.33	0.97	0.82	0.76
酸性洗涤纤维 Acid detergent fiber (ADF)/(g·kg ⁻¹)	285.00 ± 8.54	284.00 ± 7.55	282.33 ± 9.02	283.33 ± 8.08	0.98	0.76	0.84
粗灰分 Crude ash (CA)/(g·kg ⁻¹)	100.80 ± 2.31	94.33 ± 4.66	103.50 ± 8.26	100.33 ± 7.54	0.38	0.64	0.66
粗脂肪 Ether extract (EE)/(g·kg ⁻¹)	22.91 ± 0.67c	72.50 ± 3.90b	74.17 ± 2.61ab	78.10 ± 2.20a	< 0.01	< 0.01	< 0.01
非纤维性碳水化合物 Non-fiber carbohydrate (NFC)/(g·kg ⁻¹)	305.20 ± 13.12	318.17 ± 13.22	313.33 ± 17.80	305.23 ± 21.91	0.97	0.92	0.31

同行不同小写字母表示相同指标不同处理间差异显著($P < 0.05$); C₁: 添加100 g·kg⁻¹葡萄渣; C₂: 添加150 g·kg⁻¹葡萄渣; C₃: 添加200 g·kg⁻¹葡萄渣。下表同。
Different lowercase letters in the same row indicate significant difference between different treatment at the 0.05 level; C₁: addition of 100 g·kg⁻¹ grape pomace, C₂: addition of 150 g·kg⁻¹ grape pomace, C₃: addition of 200 g·kg⁻¹ grape pomace. This is applicable for the following tables as well.

2.4 葡萄渣对苜蓿青贮体外消化 pH 和氨态氮及微生物蛋白的影响

随着葡萄渣添加量增加, pH 呈逐渐降低的趋势(表 5)。C₃ 组 pH 最低, 但与其他各处理间无显著

差异($P > 0.05$); 体外发酵 48 h, C₂ 组的 MCP 含量显著高于其他 3 个处理($P < 0.05$), NH₃-N 含量显著高于对照和 C₁ 组($P < 0.05$), 与 C₃ 组差异不显著($P > 0.05$); C₃ 组的 MCP 含量显著低于其他 3 个处理($P < 0.05$)。此外, 随着葡萄渣比例的增加, 苜蓿混合青

表 4 葡萄渣对苜蓿青贮发酵品质的影响
Table 4 Effect of grape pomace on the fermentation quality of alfalfa silage

指标 Item	处理 Treatment				P		
	对照 Control	C ₁	C ₂	C ₃	组间 Group	线性 Linear	二次 Quadratic
pH	5.06 ± 0.05a	4.52 ± 0.04b	4.43 ± 0.07b	4.16 ± 0.05c	< 0.01	< 0.01	< 0.01
乳酸 Lactic acid (LA)/(g·kg ⁻¹)	23.37 ± 0.95d	41.20 ± 1.95c	50.07 ± 1.31b	56.53 ± 0.91a	< 0.01	< 0.01	< 0.01
乙酸 Acetic acid (AA)/(g·kg ⁻¹)	34.77 ± 1.67a	23.27 ± 1.77b	16.30 ± 0.92c	11.80 ± 0.90d	< 0.01	< 0.01	< 0.01
丙酸 Propionic acid (PA)/(g·kg ⁻¹)	0.84 ± 0.08a	0.37 ± 0.05b	0.28 ± 0.03bc	0.22 ± 0.04c	< 0.01	< 0.01	< 0.01
丁酸 Butyric acid (BA)/(g·kg ⁻¹)	0.05 ± 0.02	—	—	—	< 0.01	< 0.01	< 0.01
氨态氮 NH ₃ -N/(g·kg ⁻¹)	58.40 ± 1.81a	32.70 ± 0.35b	24.27 ± 0.96c	18.30 ± 1.25d	< 0.01	< 0.01	< 0.01
V-Score	87.92 ± 0.52c	90.00 ± 0.00b	90.00 ± 0.00b	92.29 ± 0.67a	< 0.01	< 0.01	0.68

表 5 葡萄渣对苜蓿青贮体外消化 pH、氨态氮及微生物蛋白的影响
Table 5 Effect of grape pomace on the *in vitro* digestion of pH, ammonia nitrogen, and microbial protein of alfalfa silage

指标 Item	处理 Treatment				P		
	对照 Control	C ₁	C ₂	C ₃	组间 Group	线性 Linear	二次 Quadratic
pH	6.58 ± 0.07	6.56 ± 0.05	6.54 ± 0.04	6.52 ± 0.04	0.47	0.14	0.86
氨态氮 NH ₃ -N/(mg·mL ⁻¹)	0.13 ± 0.00b	0.13 ± 0.00b	0.14 ± 0.00a	0.14 ± 0.00ab	0.03	0.02	0.54
微生物蛋白 Microbial crude protein (MCP)/(mg·mL ⁻¹)	0.53 ± 0.00b	0.53 ± 0.00b	0.54 ± 0.00a	0.49 ± 0.00c	< 0.01	< 0.01	< 0.01

贮体外消化 NH₃-N 和 MCP 呈线性升高 ($P < 0.05$), 其中, MCP 存在显著的二次曲线效应 ($P < 0.05$)。

2.5 葡萄渣对苜蓿青贮体外产气量和体外消化率的影响

4 个处理组的累计产气量随着体外发酵时间的增加而增加 (图 1), 在发酵初期增长速度最快, 后期逐渐缓慢; 48 h 的 GP 排序为 C₂ > C₃ > C₁ > 对照组。

C₂ 组的 IVDMD 显著高于其他 3 个处理 ($P < 0.05$) (表 6); IVCPD 显著高于对照组和 C₁ 组; C₃ 组的 IVNDFD 显著高于对照组, 与 C₁ 组和 C₂ 组无显著差异 ($P > 0.05$); 4 个处理的 IVADFD 无显著差异。产气参数方面, 向苜蓿青贮中添加葡萄渣均可显著增加 A、c 和 AGPR ($P < 0.05$), 同时显著降低 Half time ($P < 0.05$), C₂ 组的 A、c 和 AGPR 显著高于其他 3 个处理, Half time 显著低于其他 3 个处理 ($P < 0.05$)。此外, 随着葡萄渣比例的增加, 苜蓿混合青贮 IVDMD、IVCPD、GP₄₈、A、c 和 AGPR 都呈线性升高 ($P < 0.05$), 并且 IVDMD、GP₄₈、A、c 和 AGPR 存

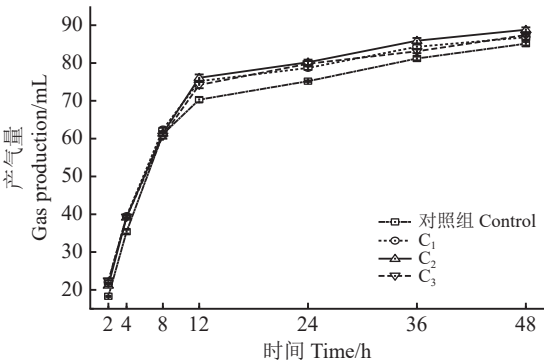


图 1 葡萄渣对苜蓿青贮体外发酵 48 h 的产气动态曲线
Figure 1 Dynamics of gas production from grape pomace on alfalfa silage fermented *in vitro* for 48 h

在显著的二次曲线效应 ($P < 0.05$)。

2.6 不同处理下青贮评价指标的加权关联度和排序结果

对 4 个处理 12 个指标的加权关联度值进行排序得出, 将葡萄渣与苜蓿进行混合青贮后, 青贮饲料综合品质由高到低依次是 C₂ > C₃ > C₁ > 对照组 (表 7)。

表 6 葡萄渣对苜蓿青贮 48 h 体外消化率和产气参数的影响
Table 6 Effect of grape pomace on 48 h *in vitro* digestibility and gas production parameters of alfalfa silage

指标 Item	处理 Treatment				P		
	对照 Control	C ₁	C ₂	C ₃	组间 Group	线性 Linear	二次 Quadratic
体外干物质消化率 <i>In vitro</i> dry matter digestibility (IVDMD)/%	62.70 ± 0.40b	62.60 ± 0.26b	65.60 ± 0.70a	63.33 ± 0.71b	< 0.01	< 0.01	< 0.01
体外粗蛋白消化率 <i>In vitro</i> crude protein digestibility (IVCPD)/%	0.50 ± 0.02c	0.54 ± 0.02b	0.57 ± 0.01a	0.55 ± 0.01ab	< 0.01	< 0.01	0.02
体外中性洗涤纤维消化率 <i>In vitro</i> neutral detergent fibre digestibility (IVNDFD)/%	0.50 ± 0.01b	0.51 ± 0.00ab	0.51 ± 0.00ab	0.52 ± 0.01a	0.08	0.03	0.26
体外酸性洗涤纤维消化率 <i>In vitro</i> acid detergent fibre digestibility (IVADFD)/%	0.29 ± 0.02	0.30 ± 0.01	0.30 ± 0.02	0.29 ± 0.02	0.93	0.93	0.56
48 h 体外产气量 Gas production at 48 h (GP ₄₈)/(mL·g ⁻¹)	85.13 ± 0.31c	86.80 ± 0.56b	88.77 ± 0.31a	87.40 ± 1.05b	< 0.01	< 0.01	< 0.01
理论最大产气量 Asymptotic gas production (A)/mL	85.14 ± 0.31c	86.79 ± 0.59b	88.79 ± 0.31a	87.39 ± 1.05b	< 0.01	< 0.01	< 0.01
产气速率 Rate of gas production (c)/(mL·h ⁻¹)	0.45 ± 0.00c	0.46 ± 0.00b	0.47 ± 0.00a	0.46 ± 0.01b	< 0.01	< 0.01	< 0.01
产气延滞时间 The time delay to the start of gas production (Lag)/h	0.01 ± 0.00	0.01 ± 0.00	0.01 ± 0.00	0.01 ± 0.00			
达到产气量 1/2 所需时间 Half time/h	3.96 ± 0.07a	3.65 ± 0.12b	3.33 ± 0.09c	3.64 ± 0.08b	< 0.01	< 0.01	< 0.01
平均产气速率 Average gas production rate (AGPR)/(mL·h ⁻¹)	27.44 ± 0.19c	28.53 ± 0.41b	29.86 ± 0.20a	28.94 ± 0.72b	< 0.01	< 0.01	< 0.01

表 7 不同处理下青贮评价指标的加权关联度和排序结果
Table 7 Weighted correlations and ranking results of silage evaluation indicators under different treatments

处理 Treatment	加权关联度 Weighted incidence degree	综合排序 Comprehensive ranking
C ₂	0.937 4	I
C ₃	0.848 9	II
C ₁	0.790 4	III
对照 Control	0.651 9	IV

3 讨论

3.1 葡萄渣对苜蓿青贮营养品质的影响

CP 含量是评估青贮饲料营养品质的重要指标之一, CP 含量越高表明青贮的饲用价值越高^[26], 在本研究中, 添加 200 g·kg⁻¹ 葡萄渣的苜蓿青贮 CP 含量显著高于苜蓿单独青贮, 这可能是葡萄渣中的缩合单宁抑制了蛋白水解酶的活性, 从而降低了苜蓿青贮蛋白水解的程度, 提高了 CP 含量^[12]。

研究表明, NDF 和 ADF 的含量分别与动物的采食量和消化率负相关, 是判断饲料中纤维好坏的

重要标准^[27]。在本研究中, 添加葡萄渣苜蓿混合青贮的 NDF 和 ADF 含量均低于对照组, 这可能与葡萄渣中含有脲酶有关, 在青贮发酵前期, 葡萄渣中的脲酶能在青贮中产生氨, 氨又与水结合成氨水, 氨水电离出的氢氧根离子可以断裂木质素和纤维素之间的酯键, 溶解半纤维素和部分木质素, 从而降低 NDF 和 ADF 的含量^[28]。

3.2 葡萄渣对苜蓿青贮发酵品质的影响

青贮饲料中 pH、NH₃-N 和有机酸的含量是评价青贮发酵品质的关键指标^[29]。在青贮饲料中, pH 越低, 表明青贮发酵品质越好, 当青贮饲料 pH 低于 4.2 时视为发酵良好^[30]。在本研究中, 向苜蓿青贮中添加不同量的葡萄渣, 能使混合青贮 pH 显著下降, 并能提高混合青贮的 LA 含量, 这与柯文灿等^[31] 研究结果一致。葡萄渣中的单宁有着抑菌活性, 在低 pH 环境下其抑菌性更强, 而 LAB 可以耐受更低的 pH, 从而成为青贮发酵中的主导菌群^[32]。本研究中, 添加葡萄渣处理组青贮 LA 含量显著高于苜蓿单独青贮处理组, 其中 C₃ 组的 pH 最低, LA 含量最高, 与上述研究结果一致。

V-Score 青贮发酵品质评价系统是利用青贮中有机酸和 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的含量来反映青贮的发酵品质,一般品质较好的青贮饲料中 BA 和 $\text{NH}_3\text{-N}$ 含量应分别低于 0.1% 和 10% [33], 在青贮饲料中 $\text{NH}_3\text{-N}$ 含量越高表明蛋白质的降解越严重,从而直接影响到动物的采食量和饲草利用率 [34], 在本研究中各处理的 BA 和 $\text{NH}_3\text{-N}$ 含量均分别低于 0.1% 和 $0.14 \text{ mg}\cdot\text{mL}^{-1}$, V-Score 评分也均高于 80 分,都达到良好等级以上,且添加 $200 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 葡萄渣的苜蓿混合青贮评分最高,为 92.29 分。其中添加葡萄渣处理组的 $\text{NH}_3\text{-N}$ 含量显著低于对照组,这可能与葡萄渣原料自身附着较多乳酸菌有关,乳酸菌可促进 LA 的发酵进程,快速降低 pH,抑制蛋白质水解,降低 $\text{NH}_3\text{-N}$ 含量。

3.3 葡萄渣对苜蓿青贮体外消化特征的影响

瘤胃内 pH 是反映瘤胃发酵水平的一个综合性指标,瘤胃 pH 一般介于 5.5~7.5 [35], 当 pH 不在此范围内,无论过高或过低都会影响瘤胃内微生物的活性,从而影响到瘤胃的发酵性能。本研究各处理组的瘤胃 pH 均介于 6.52~6.58, 适合瘤胃微生物的生长和瘤胃发酵,瘤胃 pH 与前人研究适合瘤胃消化纤维和干物质的最适 pH (6.5) 相同 [36]。本研究结果表明葡萄渣苜蓿混合青贮在瘤胃内发酵效果良好,对瘤胃内发酵环境无不利影响,适合瘤胃发酵。

瘤胃 $\text{NH}_3\text{-N}$ 含量可以反映青贮中蛋白质在瘤胃中的消化情况 [37], 影响着 MCP 的合成, MCP 的合成需要瘤胃 $\text{NH}_3\text{-N}$ 维持在适宜的含量范围内 [38], 本研究的 $\text{NH}_3\text{-N}$ 含量介于 $0.13\sim 0.14 \text{ mg}\cdot\text{mL}^{-1}$, 与韩正康和陈杰 [39] 研究的瘤胃内 $\text{NH}_3\text{-N}$ 含量应该在 $0.1\sim 0.5 \text{ mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ 范围的结果一致。在本研究中随着葡萄渣的加入, $\text{NH}_3\text{-N}$ 含量也有着增加的趋势,这可能与葡萄渣本身蛋白含量较高有关。

反刍动物瘤胃内的厌氧微生物可以将蛋白质水

解为游离氨基酸、小肽和氨,并以挥发性脂肪酸和二氧化碳为碳架生成 MCP, 因此 MCP 含量的多少,也可反映瘤胃发酵的好坏 [40]。葡萄渣富含缩合单宁,有研究表明在奶牛日粮中添加缩合单宁会降低 MCP 的合成效率 [41], 在本研究中, C_2 组的 MCP 含量最高,并且显著高于对照组,表明合适的葡萄渣添加量可以提高苜蓿青贮发酵液中 MCP 的含量,这与张艳玲和张力莉 [22] 等结果一致。

GP 与瘤胃降解率有着密切的关系, GP 的多少能够直观反映饲料在瘤胃中的降解程度 [42]。而 GP 与产气速率成正比,产气速率越快,累计产气量越高,从而饲料的消化率就越高,表明饲料中可利用的营养成分也就越多。张力莉等 [43] 研究表明,随着葡萄残渣添加量的增加, GP 也不断上升,与本研究结果一致。在本研究中,添加葡萄渣苜蓿青贮组的 GP_{48} 、A、c 和 AGPR 均显著高于对照组。IVDMD 的高低,可以反映饲料在反刍动物体内消化的难易程度 [44]。IVDMD 越高,表明饲料品质越好。在本研究中 C_2 组显著提高了苜蓿青贮 IVDMD 和 IVCPD,这可能是添加葡萄渣后,苜蓿混合青贮营养品质提升,促使瘤胃微生物活动增加,从而提高了降解率,也可能是葡萄渣中缩合单宁抑制了有害微生物的生长,从而抑制了蛋白质的水解,减少了植物细胞内容物的损失,保留了营养物质,从而提高了 IVDMD 和 IVCPD。结果表明,在苜蓿青贮中添加一定含量的葡萄渣可以提高苜蓿青贮的消化效率。

4 结论

向苜蓿青贮中添加葡萄渣可显著降低青贮饲料的 pH、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 含量,提高了 V-Score 评分、CP 和 LA 含量,提升 DM 和 CP 体外消化率。同时增加体外产气量,改善体外消化率。其中以添加 $150 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 葡萄渣与苜蓿进行混合青贮效果最佳。

参考文献 References:

- [1] 关于印发《新疆维吾尔自治区葡萄酒产业“十四五”发展规划》的通知.新疆维吾尔自治区人民政府公报,2021-10-29(第一版). Notice on the Issuance of the “14th Five-Year Plan” for the Development of the Wine Industry in the Xinjiang Uygur Autonomous Region. Gazette of the People’s Government of Xinjiang Uygur Autonomous Region, 2021-10-29(The first page).
- [2] 高巧仙, 朱万清, 李晓梅, 洪晓珍, 马润生, 脱征军, 辛国省. 添加纤维素酶和布氏乳杆菌对葡萄渣全混合日粮发酵品质及有氧稳定性的影响. 中国饲料, 2022(13): 28-33.
GAO Q X, ZHU W Q, LI X M, HONG X Z, MA R S, TUO Z J, XIN G S. Effects of adding cellulose and *Lactobacillus buchneri*

- on fermentation quality and aerobic stability of total mixed diets containing grape pomace. *China Feed*, 2022(13): 28-33.
- [3] 李建科, 孟永宏, 刘柳, 王晓宇, 王晓龙, 吴晓霞, 骆莹. 我国食品工业副产物资源化利用现状. *食品科学技术学报*, 2021, 39(6): 1-13.
- LI J K, MENG Y H, LIU L, WANG X Y, WANG X L, WU X X, LUO Y. Utilization of food industry by-products in China. *Journal of Food Science and Technology*, 2021, 39(6): 1-13.
- [4] MUSTAFA A F, CHRISTENSEN D A, MCKINNON J J. Effects of pea, barley, and alfalfa silage on ruminal nutrient degradability and performance of dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 2000, 83(12): 2859-2865.
- [5] ALMAJANO M P, CARBO R, JIMENEZ J, GORDON M H. Antioxidant and antimicrobial activities of tea infusions. *Food Chemistry*, 2008, 108(1): 55-63.
- [6] MIN B R, ATTWOOD G T, MCNABB W C, BARRY T N. The effect of condensed tannins from *Lotus corniculatus* on the proteolytic activities and growth of rumen bacteria. *Animal Feed Science & Technology*, 2005, 121(1-2): 45-58.
- [7] 任建存. 单宁的营养特性及其对反刍动物的影响研究. *饲料研究*, 2021, 44(20): 146-150.
- REN J C. Research on the nutritional properties and effect on ruminants of tannins. *Feed Research*, 2021, 44(20): 146-150.
- [8] HUANG R Z, ZHANG F F, WANG T. Effect of intrinsic tannins on the fermentation quality and associated with the bacterial and fungal community of sainfoin silage. *Microorganisms*, 2022, 10(5): 844.
- [9] JIN L, WANG Y, IWAASA A D, XU Z, SCHELLENBERG M P, ZHANG Y G, LIU X L, MCALLISTER T A. Effect of condensed tannins on ruminal degradability of purple prairie clover (*Dalea purpurea* Vent.) harvested at two growth stages. *Animal Feed Science & Technology*, 2012, 176(1-4): 17-25.
- [10] WAGHORN G C, SHELTON I D. Effect of condensed tannins in *Lotus pedunculatus* on the nutritive value of ryegrass (*Lolium perenne*) fed to sheep. *The Journal of Agricultural Science*, 1995, 125(2): 291-297.
- [11] 董春晓, 张金龙, 郭晓飞, 李义海, 杨晶, 张效生. 单宁对反刍动物生产性能、瘤胃发酵及微生物区系影响的研究进展. *畜牧兽医学报*, 2020, 51(2): 234-242.
- DONG C X, ZHANG J L, GUO X F, LI Y H, YANG J, ZHANG X S. Advances in research on the effects of tannins on ruminant production performance, rumen fermentation and microflora. *Acta Veterinaria et Zootechnica Sinica*, 2020, 51(2): 234-242.
- [12] 董文成, 林语梵, 朱鸿福, 张欢, 张桂杰. 不同品种葡萄渣对苜蓿青贮品质和有氧稳定性的影响. *草业学报*, 2020, 29(4): 129-137.
- DONG W Z, LIN Y F, ZHU H F, ZHANG H, ZHANG G J. Effects of different grape variety on proteolysis and aerobic stability of alfalfa silage made with added grape pomace. *Acta Prataculturae Sinica*, 2020, 29(4): 129-137.
- [13] KE W C, YANG F Y, UNDERSANDER D J, GUO X S. Fermentation characteristics, aerobic stability, proteolysis and lipid composition of alfalfa silage ensiled with apple or grape pomace. *Animal Feed Science and Technology*, 2015, 202(1): 12-19.
- [14] ZHANG Q, ZHAO X. Lactic acid bacteria strains for enhancing the fermentation quality and aerobic stability of *Leymus chinensis* silage. *Grass and Forage Science*, 2016, 71(3): 472-481.
- [15] VAN S, PETER J, JAMES B, ROBERTSON, BETTY A. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and non-starch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science*, 1991, 74(10): 3583-3597.
- [16] 蒋慧. 骆驼刺与苜蓿混合青贮饲用价值综合评价. 北京: 中国农业大学博士学位论文, 2017.
- JIANG H. The comprehensive evaluation of feed value of *Alhagi sparsifolia* Shap. and alfalfa mix-silage. PhD Thesis. Beijing: China Agricultural University, 2017.
- [17] 王旭娟. 高粱单宁测定方法研究. 郑州: 河南工业大学硕士学位论文, 2020.
- WANG X J. Study on the determination method of sorghum tannin. Master Thesis. Zhengzhou: Henan University of Technology, 2020.
- [18] 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. *草原与草坪*, 2007(2): 63-65, 67.
- XU Q F, Yuzhu, HAN J G, BAI C S, XUE Y L, XUN G R. Determining organic acid in alfalfa silage by HPLC. *Grassland and Turf*, 2007(2): 63-65, 67.
- [19] WANG L Z, LIU K Z, WANG Z S, BAI X, PENG Q H, JIN L. Bacterial community diversity associated with different utilization efficiencies of nitrogen in the gastrointestinal tract of goats. *Frontiers in Microbiology*, 2019, 20(10): 239.

- [20] 自给饲料品质评价研究会. 粗饲料品质评价手册. 东京: 日本草地畜产种子协会, 2001: 82-87.
The Evaluation Council of Self-feed Quality. The Evaluation Manual of Crude Feed. Tokyo: The Association of Grassland and Livestock Products in Japan, 2001: 82-87.
- [21] 王永力. 新疆乌拉尔甘草茎叶饲料特性及饲喂效果研究. 乌鲁木齐: 新疆农业大学硕士学位论文, 2015.
WANG Y L. Study on the characteristics and feeding effect of the stems and leaves of Ural licorice in Xinjiang. Master Thesis. Urumqi: Xinjiang Agricultural University, 2015.
- [22] 张艳玲, 张力莉. 不同比例葡萄渣和苜蓿组合的体外产气效果试验. 饲料研究, 2022, 45(6): 82-85.
ZHANG Y L, ZHANG L L. Effect of different proportions of grape dregs and alfalfa on gas production *in vitro*. Feed Research, 2022, 45(6): 82-85.
- [23] FRANCE J, DIJKSTRA J, DHANOA M, LOPEZ S, BANNINK A. Estimating the extent of degradation of ruminant feeds from a description of their gas production profiles observed *in vitro*: Derivation of models and other mathematical considerations. [British Journal of Nutrition](#), 2000, 83(2): 143-150.
- [24] CARRO M, RANILLA M, TEJIDO M. Using an *in vitro* gas production technique to examine feed additives: Effects of correcting values for different blanks. *Animal Feed Science and Technology*, 2005, 123(1): 173-184.
- [25] 杨秀芳, 陈玲玲, 乌艳红, 娜日苏, 吕宁, 梁庆伟. 应用灰色关联度综合评价 26 个青贮玉米的生产性能. 草业科学, 2012, 29(1): 105-111.
YANG X F, CHEN L L, WU Y H, Narisu, LYU N, LIANG Q W. A comprehensive evaluation of the growth performance of 26 silage maize genotypes using grey correlative degree analysis. *Pratacultural Science*, 2012, 29(1): 105-111.
- [26] 路桂聪, 许辉, 王永雄, 蒋曹德. 不同添加物和密度对杂交狼尾草青贮效果的影响. 草业科学, 2021, 38(11): 2191-2199.
LU G C, XU H, YU Y X, JIANG C D. Effects of different additives and densities on silage quality of hybrid *Pennisetum*. [Pratacultural Science](#), 2021, 38(11): 2191-2199.
- [27] 贾存辉, 钱文熙, 吐尔逊阿依·赛买提, 敖维平, 古力皮叶木·阿布都克然木. 粗饲料营养价值指数及评定方法. 草业科学, 2017, 34(2): 415-427.
JIA C H, QIAN W X, Tuerxunayi·Saimaiti, AO W P, Gulipiyemu·Abudukeranmu. Roughage nutritional value evaluation indices and research methods. [Pratacultural Science](#), 2017, 34(2): 415-427.
- [28] 苏玲玲, 王文奇. 葡萄渣在反刍动物发酵饲料中应用前景探讨. 中国奶牛, 2016(11): 10-13.
SU L L, WANG W Q. Application research of grape pomace fermentation in ruminants feed. *China Dairy Cattle*, 2016(11): 10-13.
- [29] 蔡观容, 董臣飞, 田吉鹏, 许能祥, 程云辉, 于怀华, 顾洪如. 混合青贮对西兰花尾菜青贮发酵品质的影响. 江苏农业科学, 2020, 48(22): 190-196.
CAI G R, DONG C F, TIAN J P, XU N X, CHENG Y H, YU H H, GU H R. Influence of mixed silage on fermentation quality of broccoli tail vegetables. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2020, 48(22): 190-196.
- [30] 赵苗苗, 王显国, 玉柱. 苜蓿与全株玉米的混合青贮. 中国畜牧杂志, 2015, 51(21): 20-24.
ZHAO M M, WANG X G, Yuzhu. Silage scoring of mixed alfalfa and corn silages. [Chinese Journal of Animal Science](#), 2015, 51(21): 20-24.
- [31] 柯文灿, 陈明, 荆佩欣, 张娟, 郭旭生. 果渣对紫花苜蓿青贮脂肪酸和蛋白降解的影响. 草学, 2017(1): 21-28.
KE W C, CHEN M, JING P X, ZHANG J, GUO X S. Studies on the characteristics of lipolysis and proteolysis in ensiled alfalfa (*Medicago sativa* L.) treated with pomace. [Journal of Grassland and Forage Science](#), 2017(1): 21-28.
- [32] 董文成, 林语梵, 朱鸿福, 张桂杰. 植物单宁调控乳酸菌特性的研究进展及其在生产中的应用. 动物营养学报, 2019, 31(5): 2063-2068.
DONG W C, LIN Y F, ZHU H F, ZHANG G J. Research progress of regulation of plant tannins on lactic acid bacteria characteristics and its application in production. [Chinese Journal of Animal Nutrition](#), 2019, 31(5): 2063-2068.
- [33] 谢小来, 马逢春, 焦培鑫, 扈光辉, 陈明明, 孙海霞. 添加单宁酸对紫花苜蓿青贮品质及瘤胃体外产气量的影响. 东北农业大学学报, 2021, 52(8): 48-56.
XIE X L, MA F C, JIAO P X, HU G H, CHEN M M, SUN H X. Effects of tannins on quality of alfalfa silage and gas production *in vitro*. [Journal of Northeast Agricultural University](#), 2021, 52(8): 48-56.
- [34] 王旭哲, 贾舒安, 张凡凡, 鲁为华, 张前兵, 马春晖. 紧实度对青贮玉米有氧稳定期发酵品质、微生物数量的效应研究. 草业学

- 报, 2017, 26(9): 156-166.
- WANG X Z, JIA S A, ZHANG F F, LU W H, ZHANG Q B, MA C H. Fermentation quality and microbial quantity during aerobic storage of corn silage. *Acta Prataculturae Sinica*, 2017, 26(9): 156-166.
- [35] 刘哲, 张昌吉, 郝正里, 李发弟. 饲喂含不同秸秆的全日粮颗粒料对绵羊瘤胃及血液代谢参数的影响. *中国饲料*, 2005(11): 12-14.
- LIU Z, ZHANG C J, HAO Z L, LI F D. Effects of total pellet feed diet with different straws on the rumen and blood metabolism parameters for sheep. *China Feed*, 2005(11): 12-14.
- [36] HOOVER W H, STOKES S R. Balancing carbohydrates and proteins for optimum rumen microbial yield. *Journal of Dairy Science*, 1991, 74(10): 3630-3644.
- [37] 彭婉婉, 王彦, 许贵善, 马忠杰, 冯昕炜, 高帆, 袁国宏. 不同比例葡萄籽饲料对多浪羊瘤胃内环境和菌群结构的影响. *动物营养学报*, 2022, 34(3): 1754-1767.
- PENG W W, WANG Y, XU G S, MA Z J, FENG X W, GAO F, YUAN G H. Effects of different proportions of grape seed diets on rumen environment and bacterial flora structure of Duolang Sheep. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2022, 34(3): 1754-1767.
- [38] 吴璇, 张正帆, 郭春华, 李鑫, 刘尚群. 杂交构树、玉米秸秆青贮和燕麦青干草不同配比的体外消化特性及组合效应. *中国饲料*, 2020(1): 29-3540.
- WU X, ZHANG Z F, GUO C H, LI X, LIU S Q. In vitro digestion characteristics and combined effects of different ratios of hybrid *Broussonetia papyrifera* Linn, corn stalk silage and oat green hay. *China Feed*, 2020(1): 29-3540.
- [39] 韩正康, 陈杰. 反刍动物瘤胃的消化和代谢. 北京: 科学出版社, 1988.
- HAN Z K, CHEN J. Ruminant Digestion and Metabolism in Ruminants. Beijing: Science Press, 1988.
- [40] 胡丹丹, 郭婷婷, 金亚东, 徐晓锋. 体外法研究不同功能性低聚糖时瘤胃发酵与微生物蛋白合成的影响. *饲料工业*, 2017, 38(19): 44-49.
- HU D D, GUO T T, JIN Y D, XU X F. Effect of different functional oligosaccharides on rumen fermentation and microbial synthesis in vitro. *Feed Industry*, 2017, 38(19): 44-49.
- [41] 殷磊, 沈维军, 万发春, 王祚, 兰欣怡. 单宁酸在瘤胃中的代谢特性及其在反刍动物生产中的应用. *饲料研究*, 2022, 45(7): 128-131.
- YIN L, SHEN W J, WAN F C, WANG Z, LAN X Y. Rumen metabolic characteristics of tannin acid and application in ruminant production. *Feed Research*, 2022, 45(7): 128-131.
- [42] 李德勇. 体外法评价肉牛饲料净蛋白质利用率和瘤胃降解率. 北京: 中国农业大学博士学位论文, 2016.
- LI D Y. Evaluation of net utilization efficiency and rumen degradation of crude protein of beef cattle feedstuffs based on *in vitro* methods. PhD Thesis. Beijing: China Agricultural University, 2016.
- [43] 张力莉, 王琳, 田有娟, 丁良龙, 史鑫, 黎明, 柯小荣. 葡萄残渣对体外瘤胃发酵与甲烷生成的影响. *草食家畜*, 2017(5): 33-37.
- ZHANG L L, WANG L, TIAN Y J, DING L L, SHI X, LI M, KE X R. Effects of grape residue on rumen fermentation parameters, gas parameters and rumen microbial protein synthesis. *Grass-Feeding Livestock*, 2017(5): 33-37.
- [44] 陈晓琳, 刘志科, 孙娟, 王月超, 李艳玲, 姜成刚, 屠焰, 刁其玉. 不同牧草在肉羊瘤胃中的降解特性研究. *草业学报*, 2014, 23(2): 268-276.
- CHEN X L, LIU Z K, SUN J, WANG Y C, LI Y L, JIANG C G, TU Y, DIAO Q Y. Ruminant degradability characteristics of different forages in sheep. *Acta Prataculturae Sinica*, 2014, 23(2): 268-276.

(责任编辑 张瑾)