



不同含水量和添加剂对辣椒秸秆青贮品质及营养价值的影响

程志泽 伊斯拉依·达吾提 艾比布拉·伊马木 万江春

Effects of different moisture content and additives on the quality and nutritional value of pepper straw silage

CHENG Zhize, Yisilayi · Dawuti, Aibibula · Yimamu, WAN Jiangchun

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2023-0363>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

不同添加剂对菊芋茎叶青贮品质及营养价值的影响

Effects of different additives on the quality and nutritional value of the stem and leaf silage of *Helianthus tuberosus*

草业科学. 2022, 39(4): 770 <https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2021-0140>

呼伦贝尔地区不同添加剂对燕麦青贮品质的影响

Effect of different additives on the quality of oat silage in Hulunbuir area

草业科学. 2022, 39(7): 1487 <https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2021-0622>

有氧暴露下全株玉米青贮饲料品质及微生物动态变化

Dynamic changes in the quality and microorganisms present in whole-plant corn silage under aerobic exposure

草业科学. 2022, 39(8): 1675 <https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2021-0612>

不同添加水平甜菊糖苷对绵羊体外产气参数及瘤胃发酵的影响

Effect of varying levels of stevioside supplementation on *in vitro* gas production and rumen fermentation in sheep

草业科学. 2024, 41(6): 1429 <https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2022-0907>

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>

添加油橄榄果渣对玉米秸秆青贮品质的影响

Effect of olive cake on the fermentation quality of corn stalk silage

草业科学. 2024, 41(3): 762 <https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2023-0063>



关注微信公众号，获得更多资讯信息

DOI: 10.11829/j.issn.1001-0629.2023-0363

程志泽, 伊斯拉依·达吾提, 艾比布拉·伊马木, 万江春. 不同含水量和添加剂对辣椒秸秆青贮品质及营养价值的影响. 草业科学, 2024, 41(10): 2435-2449.

CHENG Z Z, Yisilayi·Dawuti, Aibibula·Yimamu, WAN J C. Effects of different moisture content and additives on the quality and nutritional value of pepper straw silage. Pratacultural Science, 2024, 41(10): 2435-2449.

不同含水量和添加剂对辣椒秸秆青贮品质及营养价值的影响

程志泽, 伊斯拉依·达吾提, 艾比布拉·伊马木, 万江春

(新疆农业大学草业学院, 新疆乌鲁木齐 830000)

摘要: 以末次收获辣椒 (*Capsicum annuum*) 后的新鲜秸秆为原料, 通过预干燥将含水量调整为 73% (H)、65% (M)、55% (L), 添加剂使用 1.0×10^6 cfu·g⁻¹ 植物乳杆菌 (W₁)、 1.0×10^6 cfu·g⁻¹ 植物乳杆菌 + 0.15 g·kg⁻¹ 纤维素酶 (W₂)、 0.5×10^6 cfu·g⁻¹ 植物乳杆菌 + 0.5×10^6 cfu·g⁻¹ 枯草芽孢杆菌 (W₃)、 1.0×10^6 cfu·g⁻¹ 植物乳杆菌 + 4% 糖蜜 (W₄)、0.15 g·kg⁻¹ 纤维素酶 (W₅), 以不加任何添加剂 (W₀) 为对照组, 常温青贮 60 d 后研究不同含水量和添加剂对辣椒秸秆青贮品质和营养价值的影响, 并确定最优水分及添加剂处理条件。结果表明, 含水量、添加剂及其交互作用对辣椒秸秆青贮品质有显著 ($P < 0.05$) 或极显著 ($P < 0.01$) 影响。含水量为 M 时青贮粗蛋白质 (CP)、粗脂肪 (EE)、可溶性碳水化合物 (WSC)、乳酸 (LA) 含量及相对饲用价值 (RFV) 最高, pH、NH₃-N/TN 最低, 青贮效果最好, 其次是 L 含水量; 添加剂使用 W₃、W₄ 时, 青贮的干物质 (DM)、CP、WSC、LA 含量及 RFV 高于其他添加剂, 而 pH、NH₃-N/TN 低于其他添加剂。结合感官评价、综合价值评定、康奈尔净碳水化合物-蛋白质体系 (CNCPS) 和体外试验对辣椒秸秆青贮进行综合评价表明, MW₃ 综合效果最好, 其次为 MW₄。综上, 辣椒秸秆青贮适宜含水量为 M, 添加剂使用 W₃ 或 W₄ 效果最佳, 可在实际生产中推荐使用。

关键词: 有氧稳定性; 辣椒; 发酵品质; 体外产气法; 相对饲用价值; 感官评价

文献标识码: A 文章编号: 1001-0629(2024)10-2435-15

Effects of different moisture content and additives on the quality and nutritional value of pepper straw silage

CHENG Zhize, Yisilayi·Dawuti, Aibibula·Yimamu, WAN Jiangchun

(College of Prataculture, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830000, Xinjiang, China)

Abstract: This experiment used the fresh straw after the last harvest of pepper (*Capsicum annuum*) as raw material. The moisture content was adjusted to 73% (H), 65% (M), or 55% (L) by pre-drying, and the additives used were 1.0×10^6 cfu·g⁻¹ *Lactobacillus plantarum* (W₁), 1.0×10^6 cfu·g⁻¹ *L. plantarum* + 0.15 g·kg⁻¹ cellulase (W₂), 0.5×10^6 cfu·g⁻¹ *L. plantarum* + 0.5×10^6 cfu·g⁻¹ *Bacillus subtilis* (W₃), 1.0×10^6 cfu·g⁻¹ *L. plantarum* + 4% molasses (W₄), 0.15 g·kg⁻¹ cellulase (W₅), or with no additives (W₀) as the control group. After 60 d of silage at room temperature, the effects of different water content and additives on the quality and nutritional value of pepper straw silage were studied, and the optimal moisture content and additive treatment were determined. The results revealed that moisture content, additives, and their interaction had significant

收稿日期: 2023-07-06 接受日期: 2023-09-13

基金项目: 新疆自治区重点研发计划项目“新疆地源性生物发酵饲料调配关键技术研究”(2022B02042-2)

第一作者: 程志泽 (1984-), 男, 甘肃庄浪人, 在读博士生, 主要从事饲草料加工与反刍动物营养研究。E-mail: 15299670836@163.com

通信作者: 艾比布拉·伊马木 (1965-), 男 (维吾尔族), 新疆阿图什人, 教授, 博导, 博士, 主要从事饲草料加工与反刍动物营养研究。

E-mail: aibibula@hotmail.com

($P < 0.05$) or extremely significant ($P < 0.01$) effects on the quality of pepper straw silage. When the moisture content was M, the contents of crude protein (CP), ether extraction, water-soluble carbohydrates (WSC), lactic acid (LA), and relative feed value (RFV) were the highest, pH and $\text{NH}_3\text{-N/TN}$ were the lowest, and the silage quality was the best. The second-best water content was L. When W_3 and W_4 were used as additives, the dry matter, CP, WSC, LA, and RFV contents of the silage were higher than those of the other additives, while the pH and $\text{NH}_3\text{-N/TN}$ were lower. Combined with sensory evaluation, comprehensive value evaluation, Cornell Net carbohydrate protein system and in vitro tests, the MW_3 combination revealed the best comprehensive effect, followed by MW_4 . In summary, the most suitable water content of pepper straw silage is M, and the use of additives W_3 or W_4 had the best effect on silage quality; hence, these can be recommended for actual silage production.

Keywords: aerobic stability; *Capsicum annuum*; fermentation quality; in vitro gas production method; relative feeding value; sensory evaluation

Corresponding author: Aibibula Yimamu E-mail: aibibula@hotmail.com

近年来, 由于我国畜牧业规模化、集约化发展, 以及人们对畜产品质量需求不断增加, 优质饲草料不足缺口越显突出, 已成为制约畜牧业发展的瓶颈因素。而我国非常规饲料资源丰富, 从营养角度考虑具有潜在饲用价值。辣椒秸秆是非常规饲料资源, 由茎、叶和残留辣椒组成, 粗蛋白含量 14.79%~16.72%, 营养成分优于羊草 (*Leymus chinensis*) 和玉米 (*Zea mays*) 秸秆, 与苜蓿 (*Medicago sativa*) 接近^[1]。在我国, 辣椒种植面积超过 $2.1 \times 10^6 \text{ hm}^2$, 秸秆年产量达 $6.9 \times 10^7 \text{ t}$ ^[2], 资源极丰富。尝试将辣椒秸秆青贮处理, 开发为反刍动物饲料, 可同时缓解饲草料短缺和季节供应不平衡问题。

青贮饲料的品质受原料特性、含水量、发酵微生物和发酵时温度等因素影响^[3], 但最终聚焦于水分和添加剂上。原料水分决定青贮品质的优劣, 如过高的含水量能导致原料在压实过程中, 部分营养物质随渗出的汁液流失, 影响青贮品质^[4]; 水分过低, 原料压实困难, 造成有氧稳定性差^[5]。添加剂能改善原料的不足, 提升青贮效果。如植物乳杆菌可补充原料同型发酵乳酸菌数量不足缺点; 枯草芽孢杆菌能分泌纤维素酶、淀粉酶等系列酶^[6], 还可抑制蛋白分解^[7]; 糖蜜富含碳水化合物, 可增加乳酸菌的发酵底物; 纤维素酶可降解青贮原料的纤维素等细胞壁结构性糖类, 为乳酸菌快速繁殖提供可利用的单糖^[8]。

实际生产中, 辣椒收获后, 因秸秆收获期不一, 其水分变化幅度较大, 因此, 本研究以辣椒秸秆为研究对象, 研究不同含水量和添加剂对其青贮品质

和营养价值的影响, 并确定最优水分及添加剂处理条件, 旨在为调制品质优良的辣椒秸秆青贮饲料提供理论依据和技术参考, 也为非常规饲料的开发利用提供途径和方法。

1 材料与amp;方法

1.1 试验材料

参试辣椒秸秆取自新疆昌吉州玛纳斯县境内辣椒种植大田, 品种为改良‘陕早红’, 2022年4月9日播种, 期间正常浇水、施肥和除害, 辣椒采摘后收割秸秆, 刈割时留茬 2~3 cm, 秸秆清洁、无泥土夹杂, 其干物质 (dry matter, DM)、粗蛋白质 (crude protein, CP)、中性洗涤纤维 (neutral detergent fiber, NDF)、酸性洗涤纤维 (acid detergent lignin, ADF)、可溶性碳水化合物 (water soluble carbohydrates, WSC) 和粗脂肪 (ether extraction, EE) 含量分别为 26.32%、15.90%、34.97%、29.30%、9.57% 和 2.90%, 辣椒素 (capsaicin) 含量为 $82.29 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ 。苜蓿由新疆玛纳斯县日发新西域畜牧有限公司提供。植物乳杆菌 ($1 \times 10^{11} \text{ cfu}\cdot\text{g}^{-1}$)、枯草芽孢杆菌 ($1 \times 10^{11} \text{ cfu}\cdot\text{g}^{-1}$) 购于潍坊瑞辰生物科技有限公司, 纤维素酶 ($20\,000 \text{ U}\cdot\text{g}^{-1}$) 购于上海如吉生物科技有限公司, 糖蜜购于柳州金黔湾糖蜜有限公司。

1.2 试验设计

试验采用双因素 (含水量 × 添加剂) 完全随机设计。辣椒秸秆收割后在干净的水泥地晾晒并适时翻晒, 期间多点取样, 采用感官评定和微波炉法^[9]相

结合的方式测定含水量,待含水量 73% (刚采摘完辣椒)、65% 和 55% 时,用粉碎机粉碎,分别将 $1.0 \times 10^6 \text{ cfu} \cdot \text{g}^{-1}$ 植物乳杆菌 (W_1)、 $1.0 \times 10^6 \text{ cfu} \cdot \text{g}^{-1}$ 植物乳杆菌 + $0.15 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 纤维素酶 (W_2)、 $0.5 \times 10^6 \text{ cfu} \cdot \text{g}^{-1}$ 植物乳杆菌 + $0.5 \times 10^6 \text{ cfu} \cdot \text{g}^{-1}$ 枯草芽孢杆菌 (W_3)、 $1.0 \times 10^6 \text{ cfu} \cdot \text{g}^{-1}$ 植物乳杆菌 + 4% 糖蜜 (W_4) 和 $0.15 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 纤维素酶 (W_5) 溶于无菌去离子水中,均匀喷洒在粉碎的辣椒秸秆上,对照组 (W_0) 喷洒等量无菌去离子水,共 18 个处理,每个处理 3 个重复,搅拌均匀后装入聚乙烯袋中真空包装并置于室内环境下自然发酵,60 d 后取样测定相关指标。各处理添加剂及添加量如表 1 所列。

1.3 测定指标与方法

1.3.1 辣椒秸秆青贮感官品质评价

青贮品质感官评分标准参照丁成龙等^[10]使用方法,通过辣椒秸秆青贮结构、气味和色泽 3 个方面进行等级评定。

1.3.2 辣椒秸秆青贮营养成分测定

干物质、粗蛋白质、粗灰分 (coarse ash, Ash)、粗脂肪、中性洗涤纤维、酸性洗涤纤维含量的测定参照雒秋江^[11]的方法;可溶性碳水化合物采用硫酸-蒽酮比色法测定^[12];辣椒素含量测定采用高效液相色谱 (HPLC) 法测量^[13]。

1.3.3 辣椒秸秆青贮发酵品质测定

取青贮辣椒秸秆鲜样 20 g 放入 250 mL 锥形瓶中,加入 180 mL 灭菌蒸馏水浸泡 30 min,用搅拌机充分搅拌 30 s,再用 4 层纱布和定量滤纸先后过滤,得浸提液。用 25 型酸度计 (上海雷磁分析仪器厂,

玻璃电极电极) 测量浸提液的 pH。取部分浸提液经高速冷冻离心机 ($6500 \times \text{g}$, $4 \text{ }^\circ\text{C}$) 离心 5 min,再经 $0.22 \text{ }\mu\text{m}$ 滤膜过滤。参照 Cao 等^[14]的方法,采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) 及丁酸 (butyric acid, BA) 含量。 $\text{NH}_3\text{-N}$ 测量采用苯酚-次氯酸钠比色法^[15]。

1.3.4 辣椒秸秆青贮有氧稳定性测定

辣椒秸秆青贮 60 d 后开袋,用干净的纱布盖在袋口,防止辣椒秸秆青贮样品水分流失和污染。使用 CTR-690 多路温度记录仪记录样品温度的变化,每个处理放置 3 个温度探头。同时环境中放置温度计,实时监测环境中温度变化,测量时间间隔设置为 20 min,当样品温度高于环境温度 $2 \text{ }^\circ\text{C}$ 的时间为有氧稳定时间^[16]。

1.3.5 辣椒秸秆青贮相对饲用价值计算

相对饲用价值 (relative feed value, RFV) 的计算公式为如下^[17]:

$$RFV = DMI \times DDM / 1.29.$$

式中: DMI 为干物质采食量, $DMI = 120 / NDF$; DDM 为可消化干物质, $DDM = 88.9 - 0.779 \times ADF$ 。

1.3.6 辣椒秸秆青贮综合评价评定

利用 Fuzzy 数学中隶属函数法对辣椒秸秆青贮品质综合评价。 DM 、 CP 、 WSC 、 RFV 、 LA 和有氧稳定性与辣椒秸秆青贮品质正相关, pH 、 $\text{NH}_3\text{-N/TN}$ 、 NDF 、 ADF 、 AA 、 PA 和 BA 与辣椒秸秆青贮品质负相关,参照王旭哲^[17]使用的方法计算各指标隶属函数值,对所有指标隶属函数值相加,按照值大小排

表 1 辣椒秸秆青贮试验设计

Table 1 Design of the pepper straw silage experiment detailing the treatment types and their content

添加剂 Additive	添加量(鲜重) Addition amount (FM)	水分含量 Moisture content/%		
		73 (H)	65 (M)	55 (L)
对照 Control (W_0)		HW_0	MW_0	LW_0
植物乳杆菌 LP (W_1)	$1.0 \times 10^6 \text{ cfu} \cdot \text{g}^{-1}$	HW_1	MW_1	LW_1
植物乳杆菌 + 纤维素酶 LP + cellulase (W_2)	$1.0 \times 10^6 \text{ cfu} \cdot \text{g}^{-1} + 0.15 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$	HW_2	MW_2	LW_2
植物乳杆菌 + 枯草芽孢杆菌 LP + BS (W_3)	$0.5 \times 10^6 \text{ cfu} \cdot \text{g}^{-1} + 0.5 \times 10^6 \text{ cfu} \cdot \text{g}^{-1}$	HW_3	MW_3	LW_3
植物乳杆菌 + 糖蜜 LP + molasses (W_4)	$1.0 \times 10^6 \text{ cfu} \cdot \text{g}^{-1} + 4\%$	HW_4	MW_4	LW_4
纤维素酶 Cellulase (W_5)	$0.15 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$	HW_5	MW_5	LW_5

LP: *Lactobacillus plantarum*; BS: *Bacillus subtilis*.

名, 值越大表明青贮品质越好。

1.4 CNCPS 蛋白组分测量试验

1.4.1 CNCPS 组分测量方法

中性洗涤不溶性粗蛋白质 (neutral detergent insoluble protein, NDIP) 和酸性洗涤不溶性粗蛋白质 (acid detergent insoluble protein, ADIP) 按照 Van Soest 等^[18]的方法测定; 可溶性蛋白质 (soluble protein, SOLP) 按照 Krishnamoorth 等^[19]的方法测定; 非蛋白氮 (non-protein nitrogen, NPN) 按照 AACC (1976 年) 方法^[20]进行测定。

1.4.2 CNCPS 蛋白组分计算方法

根据上述指标测定结果, 按照 Sniffen 等^[21]提出的方法计算 CNCPS 蛋白组分, 指标包括 CP 中 NPN 含量 (PA)、CP 中不可利用蛋白质含量 (PC) 及 CP 中快速、中速、慢速降解真蛋白质含量 (分别为 PB1、PB2、PB3)。同时测算苜蓿干草的相应指标。

1.5 体外产气试验

1.5.1 瘤胃液的采集

选用 3 只 12 月龄, 体质量 (45.0 ± 1.52) kg 绵羊为瘤胃液供体, 做好驱虫、免疫等预防措施, 日粮组成及营养水平参照 NRC 育肥羊标准设计。将供体羊屠宰后立即取瘤胃内容物, 用 4 层纱布过滤后迅速混匀, 装入充满 CO₂ 的预热达 39 °C 的保温瓶内, 立即盖严瓶口带回实验室。

1.5.2 培养液的配制

参照 Menke 和 Steingass^[22]的方法准备培养液。微量元素溶液 (A 液): CaCl₂·2H₂O 13.2 g, MnCl₂·4H₂O 10.0 g, CoCl₂·6H₂O 1.0 g, FeCl₃·6H₂O 8.0 g, 加蒸馏水至 100 mL。缓冲溶液 (B 液): NH₄HCO₃ 4.0 g, NaHCO₃ 5.0 g, 加蒸馏水至 1 000 mL。常量元素溶液 (C 液): Na₂HPO₄ 5.7 g, KH₂PO₄ 6.2 g, MgSO₄·7H₂O 0.6 g, 加蒸馏水至 1 000 mL。还原剂溶液 (D 液): 1 mol·L⁻¹ NaOH 4.0 mL, Na₂S·9H₂O 0.625 g, 加蒸馏水至 100 mL。取 400 mL 蒸馏水, 加入 0.1 mL A 液、200 mL B 液、200 mL C 液和 40 mL D 液配制成培养液。将预先用 39 °C 恒温水浴锅保温的瘤胃液与培养液按体积比 1:5 配成混合培养液, 备用。

1.5.3 体外产气试验方法

准确称取样品 0.2 g (精确至 0.002 g, 设 3 个重复) 放入孔径 37 μm 的尼龙袋 (2.0 cm × 2.0 cm) 中,

然后将尼龙袋放入 100 mL 的注射器中, 准确抽取混合培养液 30 mL (设 3 个空白), 放入 39 °C 水浴摇床上, 记录 3、6、9、24、33 和 48 h 的体外发酵产气量 (gas production, GP), 并注意适时放气。48 h 产气结束后, 将各注射器迅速放入冰水浴中终止发酵, 转移出发酵液, 测定发酵参数 [发酵液 pH 和氨态氮 (NH₃-N) 含量] 和 48 h 体外干物质 (DM) 降解率。

1.5.4 测定指标及计算方法

1) 发酵参数: pH 和 NH₃-N 的测定同 1.3.3。

2) DM 降解率:

DM 降解率 =

$$\frac{\text{放入注射器底物的DM} - \text{发酵残留的DM}}{\text{放入注射器底物的DM}} \times 100\%。$$

3) 产气量: 某时间点 GP = 该段时间样品 GP - 该段时间空白样 GP。

4) 产气动力学参数:

GP 数据拟合方程为指数方程^[23]。

$$GP_t = a \times \{1 - \exp^{-c \times (t - lag)}\}。$$

式中: GP_t 为 t 时刻累积产气量 (mL), a 为理论最大产气量 (mL), c 为产气速率常数 (mL·h⁻¹), lag 为产气开始时的延迟时间 (h), t 为读数时间点。用该方程计算产气动力学参数 a 、 c 和 lag 。

1.6 统计分析

数据经 Excel 2010 进行汇总和整理后, 使用 SPSS 20.0 一般线性模型 (GLM) 对数据进行方差分析, 采用 Duncan 氏法多重比较检验。

2 结果与分析

2.1 辣椒秸秆青贮感官评价

M 含水量辣椒秸秆青贮感官平均评分 (16.17) 最高, 其次是 L (15.33), H (11.33) 含水量最低 (表 2)。同一含水量下, 添加剂处理组感官评分均高于对照组, 且 W₃ 和 W₄ 添加剂效果优于其余添加剂。含水量和添加剂互交效果看, MW₃、MW₄、LW₃、LW₄、MW₁、MW₂ 和 HW₃ 7 个处理的辣椒秸秆青贮等级达到优良, 其中 MW₃ 和 MW₄ 感官评分最高, 分别达到 19 分和 18 分。

2.2 辣椒秸秆青贮品质

含水量和添加剂对辣椒秸秆青贮 pH、LA、AA、

表 2 含水量和添加剂处理对辣椒秸秆青贮感官品质评价
Table 2 Sensory quality evaluation of pepper straw silage treated with water content and additives combinations

处理 Treatment	得分标准 Scoring criteria			总分 Total score	等级 Level
	气味 Odor	结构 Structure	色泽 Color		
HW ₀	6	1	0	7	中等 Medium
HW ₁	9	2	1	12	尚好 Fine
HW ₂	9	2	1	12	尚好 Fine
HW ₃	11	3	2	16	优良 Excellent
HW ₄	9	2	1	12	尚好 Fine
HW ₅	8	1	0	9	中等 Medium
平均值 Average	8.67	1.83	0.83	11.33	尚好 Fine
MW ₀	10	2	1	13	尚好 Fine
MW ₁	12	3	1	16	优良 Excellent
MW ₂	11	3	2	16	优良 Excellent
MW ₃	13	4	2	19	优良 Excellent
MW ₄	12	4	2	18	优良 Excellent
MW ₅	11	3	1	15	尚好 Fine
平均值 Average	11.50	3.17	1.50	16.17	优良 Excellent
LW ₀	11	2	1	14	尚好 Fine
LW ₁	11	3	1	15	尚好 Fine
LW ₂	11	2	1	14	尚好 Fine
LW ₃	12	3	2	17	优良 Excellent
LW ₄	12	3	2	17	优良 Excellent
LW ₅	11	2	2	15	尚好 Fine
平均值 Average	11.33	2.50	1.50	15.33	尚好 Fine

处理编号参见表1, 下同。

The code of treatments refer to Table 1, this is applicable for the following tables and figures as well.

PA 和 NH₃-N/TN 影响达到显著 ($P < 0.05$) 或极显著 ($P < 0.01$), 含水量和添加剂间有极显著 ($P < 0.01$) 的交互效应 (表 3)。M 处理组 pH、PA 和 NH₃-N/TN 最低, LA 含量高于其他两组含水量。相较于 H 含水量处理组, L 处理组除 LA 含量高外, pH、AA、PA 和 NH₃-N/TN 等指标均低于 H 处理组, 除 H 含水量的 W₀ 和 W₅ 处理检测到少量 BA 外, 其余处理均未检测到。添加剂方面, 使用添加剂处理的辣椒秸

秆青贮 pH、PA 和 NH₃-N/TN 含量均低于对照组, LA 高于对照组。LA 含量由高到低依次是 W₃ > W₄ > W₂ > W₁ > W₅ > W₀, 其中 MW₃ 的 LA 含量最高。

2.3 辣椒秸秆青贮营养成分和相对饲用价值

含水量对辣椒秸秆青贮 DM、NDF、EE、WSC 和辣椒素影响极显著 ($P < 0.01$), 对 CP 和 RFV 影响显著 ($P < 0.05$) (表 4); 添加剂对辣椒秸秆青贮 DM、CP、NDF、ADF、EE、WSC、辣椒素和 RFV 有极显著影响 ($P < 0.01$), 二者互交效应对 DM 和辣椒素含量影响极显著 ($P < 0.01$)。DM 随含水量降低而增大。M 处理组 CP、EE、WSC、辣椒素和 RFV 最高, NDF 和 ADF 含量最低。L 处理组 NDF、ADF、EE、WSC 和辣椒素含量高于 H 处理组, RFV 低于 H 处理组。CP 含量由高到低表现为 W₃ > W₄ > W₁ > W₂ > W₅ = W₀, RFV 由高到低顺序为 W₃ > W₄ > W₁ > W₂ > W₅ > W₀。

2.4 辣椒秸秆青贮有氧稳定性

M 处理组辣椒秸秆青贮有氧稳定性最好, 平均为 148.50 h, 其次是 L 处理组 (141.67 h), H 处理组 (115.33 h) 最低 (图 1)。与对照组相比, 使用添加剂辣椒秸秆青贮有氧稳定性显著提高 ($P < 0.05$) L 处理组下的 W₅ 除外。全部处理辣椒秸秆青贮有氧稳定性由高到低依次为 MW₂ > MW₃ / MW₄ > LW₁ > MW₁ > LW₃ > LW₂ > LW₄ > HW₂ > HW₁ / HW₃ > HW₄ > MW₅ > LW₀ > MW₀ > LW₅ > HW₅ > HW₀。

2.5 辣椒秸秆青贮综合价值评价

隶属函数综合分析 (表 5) 表明, 辣椒秸秆含水量为 M, 添加剂使用 W₃ 和 W₄ 效果最好, 且 W₃ 优于 W₄。辣椒秸秆含水量为 H, 未使用添加剂的青贮综合评价最低。各处理辣椒秸秆青贮综合营养价值由高到低依次为 MW₃ > MW₄ > LW₃ > HW₃ > LW₄ > MW₂ > MW₁ > LW₂ > LW₁ > HW₄ > HW₂ > HW₁ > MW₅ > LW₅ > MW₀ > LW₀ > HW₅ > HW₀。

2.6 辣椒秸秆青贮和苜蓿 CNCPS 蛋白组分

4 个处理的辣椒秸秆青贮与苜蓿相比, PA、PB3 显著高于苜蓿 ($P < 0.05$), PB1、PB2 和 PC 显著低于苜蓿; 不同处理的辣椒秸秆青贮相互比较, MW₃ 的 PA 显著高于 LW₃ 和 HW₃, 与 MW₄ 差异不显著 ($P > 0.05$), MW₃ 的 PC 显著低于其他 3 个处理 (表 6)。

表 3 含水量和添加剂对辣椒秸秆青贮品质影响
Table 3 Effect of water content and additives on the quality of pepper straw silage

项目 Item	添加剂 Additives (AD)	含水量 Moisture content (MC)			平均值 Average	SEM	显著性 Significance		
		H	M	L			MC	AD	MC × AD
pH	W ₀	4.65a	4.27a	4.22ab	4.38				
	W ₁	4.14c	4.11bc	4.15b	4.13				
	W ₂	4.10c	4.11bc	4.15b	4.12				
	W ₃	4.12c	4.09c	4.17b	4.13	0.14	*	**	**
	W ₄	4.08c	4.12bc	4.17b	4.12				
	W ₅	4.29b	4.17b	4.25a	4.24				
	平均值 Average		4.23	4.15	4.19				
乳酸 Lactic acid (LA)/%	W ₀	1.71d	2.10e	3.23b	2.35				
	W ₁	2.62ab	3.81c	3.54a	3.32				
	W ₂	2.84a	4.83b	3.22b	3.63				
	W ₃	2.32c	5.74a	3.33b	3.80	1.02	**	**	**
	W ₄	2.76a	4.96b	3.23b	3.65				
	W ₅	2.33c	2.61d	2.32c	2.42				
	平均值 Average		2.43	4.01	3.31				
乙酸 Acetic acid (AA)/%	W ₀	0.60d	0.64d	0.64bc	0.63				
	W ₁	0.63d	0.75a	0.85a	0.74				
	W ₂	0.76b	0.73ab	0.53d	0.67				
	W ₃	0.62d	0.70abc	0.60c	0.64	0.09	**	**	**
	W ₄	0.93a	0.69bcd	0.60c	0.74				
	W ₅	0.69c	0.67cd	0.70b	0.69				
	平均值 Average		0.71	0.70	0.65				
丙酸 Propionic acid (PA)/%	W ₀	0.18a	0.10a	0.12a	0.13				
	W ₁	0.07b	0.04bc	0.04b	0.05				
	W ₂	0.06b	0.05bc	0.06b	0.06				
	W ₃	0.04b	0.03c	0.04b	0.04	0.03	**	**	**
	W ₄	0.06b	0.04bc	0.05b	0.05				
	W ₅	0.07b	0.06b	0.06b	0.06				
	平均值 Average		0.08	0.05	0.06				
丁酸 Butyric acid (BA)/%	W ₀	0.11	ND	ND	0.11				
	W ₁	ND	ND	ND	ND				
	W ₂	ND	ND	ND	ND				
	W ₃	ND	ND	ND	ND				
	W ₄	ND	ND	ND	ND				
	W ₅	0.09	ND	ND	0.09				
	平均值 Average		0.10	0.00	0.00				

续表 3

Table 3 (Continued)

项目 Item	添加剂 Additives (AD)	含水量 Moisture content (MC)			平均值 Average	SEM	显著性 Significance		
		H	M	L			MC	AD	MC × AD
氨态氮/总氮 NH ₃ -N/TN/%	W ₀	11.90a	9.92a	9.92a	10.58	3.44	**	**	**
	W ₁	5.04c	3.05b	3.14d	3.74				
	W ₂	4.89c	3.04b	4.66b	4.20				
	W ₃	2.63d	1.72d	3.94c	2.76				
	W ₄	5.34c	2.59c	4.61b	4.18				
	W ₅	9.98b	9.38a	9.35a	9.57				
平均值 Average		6.63	4.95	5.94					

同一含水量下列不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$), 相同或无字母表示差异不显著($P > 0.05$)。***表示差异极显著($P < 0.01$), **表示差异显著($P < 0.05$), “NS”表示无显著差异($P > 0.05$)。ND表示未检测到。表4同。

Different lowercase letters within the same column along with the same water content indicate significant difference at the 0.05 level, whereas the same letters or no letters indicate no significant difference at the 0.05 level. *** indicates highly significant difference at the 0.01 level, ** indicates significant difference at the 0.05 level, whereas “NS” indicates there was no significant difference at the 0.05 level. This is applicable for Table 4 as well.

2.7 辣椒秸秆青贮和苜蓿体外产气量及消化特性

2.7.1 不同处理辣椒秸秆青贮和苜蓿体外产气特性

4个不同处理辣椒秸秆青贮和苜蓿的产气量随发酵时间延长增加,在20 h内产气量增加较快,产气速率较大,该时间段产气速率由高到低依次为苜蓿 > MW₄ > MW₃ > LW₃ > HW₃,20 h后产气速率趋于平稳,且MW₃产气速率最高,超过MW₄和苜蓿(图2)。48 h累积产气量从高到低依次为MW₃ > 苜蓿 > MW₄ > LW₃ > HW₃。

2.7.2 不同处理辣椒秸秆青贮和苜蓿体外发酵参数及DM降解率

4个处理理论最大产气量和DM降解率由高到低依次为MW₃ > MW₄ > LW₃ > HW₃(表7),且差异显著($P < 0.05$),发酵液NH₃-N在MW₃与MW₄之间差异不显著,但显著低于LW₃和HW₃($P < 0.05$),LW₃和HW₃之间产气速率和发酵液pH均差异不显著($P > 0.05$)。4个处理辣椒秸秆青贮与苜蓿相比较,它们的产气速率和发酵液pH差异不显著;苜蓿理论最大产气量介于MW₃与MW₄,两者差异不显著,发酵液NH₃-N介于LW₃和MW₄,两者差异不显著;DM降解率低于MW₃、MW₄和LW₃,显著高于HW₃。

3 讨论

3.1 辣椒秸秆作为青贮原料特点

本研究中辣椒秸秆原料CP质量分数为15.90%,

与苜蓿(18.59%)接近,NDF和ADF质量分数分别为34.97%和29.30%,均低于苜蓿(48.14%、35.54%)^[24],因此,辣椒秸秆有较高的RFV。研究认为,要调制优质的青贮饲料,需原料含水量适宜,缓冲能较低,并有高于5%的WSC^[25]。本研究中,辣椒秸秆的WSC质量分数为9.57%,虽低于全株玉米(11.06%)^[26],但达到优质青贮原料对WSC要求水平,而且末次辣椒采摘后,辣椒秸秆鲜嫩,含水量约73%,有大量残留辣椒(约占全株秸秆10%),加之辣椒秸秆自身含有一定量辣椒素,有着与常规饲料不同的特性。在本研究中,发现辣椒秸秆不使用任何添加剂直接青贮,pH为4.22~4.65,NH₃-N/TN为9.92%~11.90%,且在73%水分梯度下产生少量BA,品质低于使用添加剂的青贮品质,说明辣椒秸秆直接青贮效果不佳,使用添加剂效果更好,这可能是由于辣椒秸秆含辣椒素的特性或自身携带乳酸菌量少所致。

3.2 含水量对辣椒秸秆青贮品质的影响

原料含水量直接影响饲料青贮的发酵品质,过高的含水量导致LA发酵临界pH更低,无法有效抑制不良微生物的生长,另外水分含量过高,在压实过程中造成营养物质渗出流失,从而降低青贮质量^[4],水分过低,实际生产中原料不易压实,原料中留有较多的空气,导致青贮有氧稳定性差,易引发二次氧化^[5]。

本研究发现,含水量对辣椒秸秆青贮质量有显

表4 含水率和添加剂对辣椒秸秆青贮营养成分影响
Table 4 Effects of moisture content and additives on the nutritional components of pepper straw silage

项目 Item	添加剂 Additives (AD)	含水量 Moisture content (MC)			平均值 Average	SEM	显著性 Significance		
		H	M	L			MC	AD	MC × AD
干物质 Dry matter (DM)/%	W ₀	25.91ab	37.52b	38.11c	33.85	6.65	**	**	**
	W ₁	24.24c	38.57a	39.98b	34.26				
	W ₂	24.87bc	36.68b	40.64b	34.06				
	W ₃	26.73a	37.70ab	40.70ab	35.04				
	W ₄	25.44b	37.01b	41.96a	34.80				
	W ₅	24.14c	36.65b	37.14c	32.64				
	平均值 Average	25.22	37.36	39.76					
粗蛋白 Crude protein (CP)/%	W ₀	13.22c	13.97c	13.51c	13.57	0.98	*	**	NS
	W ₁	14.34b	15.08b	14.89abc	14.77				
	W ₂	14.37b	14.86bc	14.59abc	14.61				
	W ₃	15.96a	16.33a	15.77a	16.02				
	W ₄	15.13ab	15.68ab	15.01ab	15.27				
	W ₅	13.11c	13.84c	13.77bc	13.57				
	平均值 Average	14.36	14.96	14.59					
中性洗涤纤维 Neutral detergent fiber (NDF)/%	W ₀	35.48a	35.21a	35.91a	35.53	2.49	**	**	NS
	W ₁	33.75b	33.16b	33.43bc	33.45				
	W ₂	33.55b	33.11b	33.73bc	33.46				
	W ₃	28.33d	28.19d	28.51d	28.34				
	W ₄	31.27c	30.28c	32.31c	31.29				
	W ₅	35.17a	34.61a	34.71ab	34.83				
	平均值 Average	32.93	32.43	33.10					
酸性洗涤纤维 Acid detergent fiber (ADF)/%	W ₀	29.09a	29.14a	29.33a	29.19	1.42	NS	**	NS
	W ₁	27.76b	27.66b	27.91a	27.78				
	W ₂	27.84b	27.73b	28.06a	27.88				
	W ₃	26.14c	25.21c	26.44b	25.93				
	W ₄	25.76c	25.66c	25.91b	25.78				
	W ₅	29.08a	28.76ab	29.11a	28.98				
	平均值 Average	27.61	27.36	27.79					
可溶性碳水化合物 Water soluble carbohydrates (WSC)/%	W ₀	3.12b	4.84a	4.44a	4.13	0.72	**	**	NS
	W ₁	4.77a	5.33a	5.02a	5.04				
	W ₂	4.78a	5.21a	4.91a	4.97				
	W ₃	4.93a	5.69a	5.10a	5.24				
	W ₄	5.01a	5.68a	4.97a	5.22				
	W ₅	3.15b	5.02a	4.39a	4.19				
	平均值 Average	4.29	5.30	4.81					

续表 4
Table 4 (Continued)

项目 Item	添加剂 Additives (AD)	含水量 Moisture content (MC)			平均值 Average	SEM	显著性 Significance		
		H	M	L			MC	AD	MC × AD
粗脂肪 Crude protein (EE)/%	W ₀	2.41a	2.52c	2.48c	2.47	0.40	**	**	NS
	W ₁	2.43a	3.31a	2.76bc	2.83				
	W ₂	2.23a	3.16ab	3.12ab	2.84				
	W ₃	2.89a	3.50a	3.22a	3.20				
	W ₄	2.56a	2.67bc	2.63c	2.62				
	W ₅	2.34a	3.06ab	2.86abc	2.75				
	平均值 Average	2.48	3.04	2.85					
辣椒素 Capsaicin/(μg·g ⁻¹)	W ₀	53.39d	61.99d	60.21c	58.53	7.09	**	**	**
	W ₁	64.08b	71.76b	70.33b	68.72				
	W ₂	55.27cd	66.40c	61.41c	61.03				
	W ₃	67.06a	79.23a	73.41a	73.23				
	W ₄	55.18cd	58.37e	57.22d	56.92				
	W ₅	57.21c	60.12de	59.09cd	58.81				
	平均值 Average	58.70	67.55	63.61					
相对饲用价值 Relative feed value (RFV)	W ₀	173.70d	174.90d	171.13d	173.24	18.53	*	**	NS
	W ₁	185.45c	188.95c	186.92bc	187.11				
	W ₂	186.39c	189.12c	184.93c	186.81				
	W ₃	225.08a	228.57a	222.95a	225.53				
	W ₄	204.78b	211.72b	197.75b	204.75				
	W ₅	175.22d	178.76d	177.50cd	177.16				
	平均值 Average	191.77	195.34	190.20					

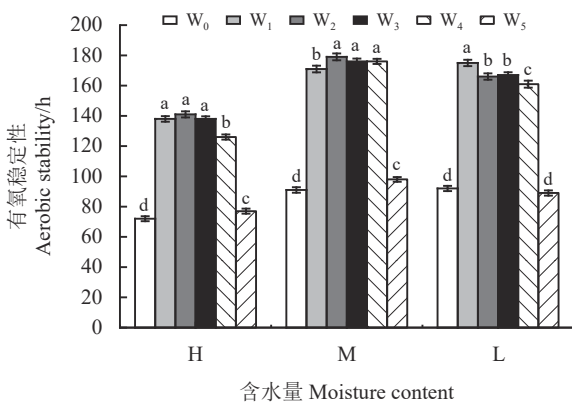


图 1 不同处理辣椒秸秆青贮有氧稳定性

Figure 1 Aerobic stabilization of pepper straw silage with different treatments

不同小写字母表示同一水分条件下不同添加剂处理的辣椒秸秆青贮差异显著 ($P < 0.05$)。

Different lowercase letters indicate significant difference in the silage of pepper straw treated with different additives under the same moisture condition at the 0.05 level.

著或极显著的影响, 在 3 个含水量下, 除 DM 随水分的降低而增大, AA 随水分的降低而减小外, 其余各指标相比较, M 含水量的青贮辣椒秸秆感官评价等级、CP、EE、辣椒素、RFV、LA 和有氧稳定性最高, 其次是 L 和 H 处理组。M 处理组 NDF、ADF、pH、PA 和 NH₃-N/TN 最低, 其次是 L 和 H 处理组。除 H 处理组条件下 HW₀ 和 HW₅ 检测到微量 BA 外, 其余处理均未检测到, 说明辣椒秸秆青贮最适宜含水量为 65%, 这与刘辉^[27] 研究结果相同, 而与周娟娟等^[28] 研究结果有差异, 可能是辣椒秸秆品种及使用添加剂不同造成。在 L 处理组下, 各处理辣椒秸秆青贮 DM、NDF 和 ADF 含量最高, AA 最低, 原因可能是原料低含水量导致其细胞液浓度增大, 渗透压增高, 从而抑制了不良发酵、酶的作用和秸秆细胞呼吸作用所致^[27]。

表 5 不同含水量和添加剂对辣椒秸秆青贮效果的综合价值评定
 Table 5 Comprehensive evaluation of different moisture content and additives on the effect of pepper straw silage

指标 Indicator	HW ₀	HW ₁	HW ₂	HW ₃	HW ₄	HW ₅	MW ₀	MW ₁	MW ₂	MW ₃	MW ₄	MW ₅	LW ₀	LW ₁	LW ₂	LW ₃	LW ₄	LW ₅	
干物质 Dry matter	0.10	0.01	0.04	0.15	0.07	0.00	0.75	0.81	0.70	0.76	0.72	0.70	0.78	0.89	0.93	0.93	1.00	1.00	0.73
粗蛋白 Crude protein	0.03	0.38	0.39	0.89	0.63	0.00	0.27	0.61	0.54	1.00	0.80	0.23	0.12	0.55	0.46	0.83	0.59	0.20	0.20
可溶性碳水化合物 Water soluble carbohydrates	0.00	0.64	0.65	0.70	0.74	0.01	0.67	0.86	0.81	1.00	1.00	0.74	0.51	0.74	0.70	0.77	0.72	0.49	0.49
相对饲用价值 Relative feed value	0.04	0.25	0.27	0.94	0.59	0.07	0.07	0.31	0.31	1.00	0.71	0.13	0.00	0.27	0.24	0.90	0.46	0.11	0.11
中性洗涤纤维 Neutral detergent fiber	0.06	0.28	0.31	0.98	0.60	0.10	0.09	0.36	0.36	1.00	0.73	0.17	0.00	0.32	0.28	0.96	0.47	0.16	0.16
酸性洗涤纤维 Acid detergent fiber	0.06	0.38	0.36	0.77	0.87	0.06	0.05	0.41	0.39	1.00	0.89	0.14	0.00	0.34	0.31	0.70	0.83	0.05	0.05
pH	0.00	0.89	0.96	0.93	1.00	0.63	0.67	0.95	0.95	0.98	0.93	0.84	0.75	0.88	0.88	0.84	0.84	0.70	0.70
乳酸 Lactic acid	0.00	0.23	0.28	0.15	0.16	0.15	0.10	0.52	0.77	1.00	0.68	0.22	0.38	0.45	0.37	0.40	0.35	0.15	0.15
乙酸 Acetic acid	0.83	0.75	0.43	0.78	0.00	0.60	0.73	0.45	0.50	0.58	0.60	0.65	0.73	0.20	1.00	0.83	0.83	0.58	0.58
丙酸 Propionic acid	0.00	0.73	0.80	0.93	0.80	0.73	0.53	0.93	0.87	1.00	0.93	0.80	0.40	0.93	0.80	0.93	0.87	0.80	0.80
丁酸 Butyric acid	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.18	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
氨态氮/总氮 NH ₃ -N/TN	0.00	0.63	0.83	0.85	0.60	0.18	0.18	0.81	1.00	0.94	0.86	0.23	0.18	0.81	0.78	0.73	0.67	0.23	0.23
有氧稳定性 Aerobic stability	0.00	0.62	0.64	0.62	0.50	0.05	0.18	0.93	1.00	0.97	0.97	0.24	0.19	0.96	0.88	0.89	0.83	0.16	0.16
总隶属度 Total membership degree	1.12	6.79	6.96	9.69	7.56	2.76	5.27	8.95	9.21	12.23	10.82	6.10	5.05	8.36	8.62	10.71	9.45	5.37	5.37
排序 Rank	18	12	11	4	10	17	15	7	6	1	2	13	16	9	8	3	5	5	14

表 6 不同处理辣椒秸秆青贮和苜蓿 CNCPS 蛋白组分含量
Table 6 The content of CNCPS protein components in different treatments of pepper straw silage and alfalfa

项目 Project	辣椒秸秆青贮 Pepper straw silage				苜蓿 Alfalfa
	HW ₃	MW ₃	MW ₄	LW ₃	
PA	44.11 ± 0.55c	46.72 ± 0.61a	46.01 ± 0.54a	45.11 ± 0.40b	40.52 ± 0.39d
PB1	12.53 ± 0.22c	13.23 ± 0.27bc	14.00 ± 0.18b	12.66 ± 0.31c	15.85 ± 0.25a
PB2	28.49 ± 0.39b	26.16 ± 0.87c	25.32 ± 0.56c	27.89 ± 0.63b	29.30 ± 0.66a
PB3	6.29 ± 0.39ab	6.79 ± 0.43a	6.56 ± 0.33ab	6.18 ± 0.29b	5.12 ± 0.55c
PC	8.58 ± 0.41b	7.10 ± 0.31c	8.11 ± 0.39b	8.16 ± 0.51b	9.21 ± 0.41a

PA: 非蛋白氮; PB1: 快速降解真蛋白质; PB2: 中速降解真蛋白质; PB3: 慢速降解真蛋白质; PC: 不可利用蛋白质。同行不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$)。

PA: non-protein nitrogen; PB1: fast degradation of true protein; PB2: medium-speed degradation of true protein; PB3: slow degradation of true protein; PC: unavailable proteins. Different lowercase letters within same row indicate significant difference at the 0.05 level.

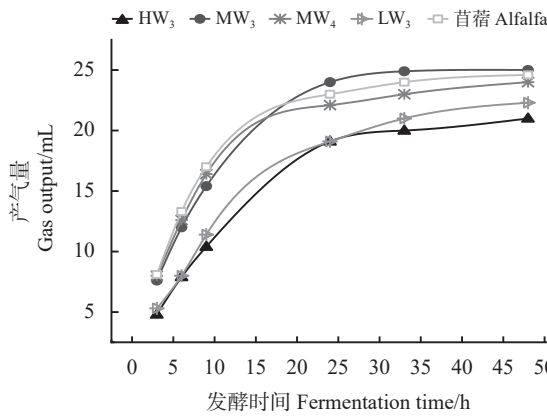


图 2 4 个不同处理辣椒秸秆青贮和苜蓿的体外产气量
Figure 2 In vitro gas production of four different treatments of pepper straw silage and alfalfa

3.3 各处理添加剂对辣椒秸秆青贮品质的影响

青贮的作用是原料在密闭缺氧条件下, 通过厌氧乳酸菌发酵作用抑制各种杂菌繁殖, 减少养分损失, 从而改善原料品质。但有些原料因自身条件不足或为尽可能地改善原料质量, 会选择合适的添加剂为乳酸菌创造理想的发酵环境。本研究表明, 添加剂对辣椒秸秆发酵效果有极显著的影响。与 W₀ 相比, 各添加剂处理组 pH 约为 4.20, NH₃-N/TN 低于 10%, 达到优质青贮饲料的标准^[29]。在相同水分条件下, 使用添加剂组之间相比较, W₃ 添加剂辣椒秸秆青贮 CP、EE、WSC、辣椒素和 RFV 最高, NDF、ADF 和 PA 最低, 未检测到

表 7 不同处理辣椒秸秆青贮和苜蓿体外发酵参数及干物质降解率
Table 7 In vitro fermentation parameters and dry matter digestibility of pepper straw silage and alfalfa under different treatments

处理 Treatment	产气参数 Gas production parameter			pH	氨态氮 NH ₃ -N/(mg·L ⁻¹)	干物质降解率 Dry matter degradation rate/%
	A/mL	C/(mL·h ⁻¹)	lag/h			
HW ₃	21.20 ± 0.41d	0.10 ± 0.03a	0.38 ± 0.09	6.87 ± 0.16a	0.033 ± 0.03a	53.00 ± 0.96e
MW ₃	25.04 ± 0.31a	0.13 ± 0.02a	0.31 ± 0.07	6.84 ± 0.21a	0.019 ± 0.02c	64.05 ± 1.33a
MW ₄	24.21 ± 0.52b	0.11 ± 0.02a	0.68 ± 0.03	6.85 ± 0.19a	0.023 ± 0.04bc	61.65 ± 2.01b
LW ₃	22.99 ± 0.55c	0.10 ± 0.03a	0.63 ± 0.05	6.88 ± 0.24a	0.027 ± 0.02b	56.64 ± 2.36c
苜蓿 Alfalfa	24.73 ± 0.26ab	0.12 ± 0.02a	0.65 ± 0.03	6.89 ± 0.18a	0.025 ± 0.02bc	54.06 ± 1.55d

A: 理论最大产气量; C: 产气速率常数; lag: 产气开始时的延迟时间。同列不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$)。

A: theoretical maximum gas production; C: gas production rate constant; lag: the time delay to the start of gas production. Different lowercase letters within the same column indicate significant difference at the 0.05 level.

BA, 综合价值评价最高, 说明植物乳杆菌和枯草芽孢杆菌一起添加效果最好, 这与穆胜龙等^[6]研究相同。可能是 W_3 中植物乳杆菌增加了辣椒秸秆青贮初期乳酸菌的数量, 快速产生大量乳酸抑制梭菌等不良微生物增殖, 从而减少 CP 等营养成分分解, 另外大量乳酸等有机酸会酸解辣椒秸秆细胞壁, 使 NDF 含量降低^[30], 同时枯草芽孢杆菌能够分泌纤维素酶、淀粉酶等多种酶系^[6], 可分解辣椒秸秆中纤维素和淀粉等成分为可溶性糖, 既达到分解细胞壁 NDF 和 ADF 的作用, 还为乳酸菌发酵补充了底物。相比 W_1 , 使用 W_4 添加剂青贮效果更好, 说明同时添加植物乳杆菌和糖蜜效果优于单独添加植物乳杆菌, 可能是在辣椒秸秆原料中同时使用植物乳杆菌和糖蜜, 既迅速增加了乳酸菌数量, 又为其快速增殖和发酵提供充足的底物, 这与刘辉^[27]的研究结果一致。本研究中, 使用 W_2 添加剂青贮效果优于 W_1 和 W_5 , 说明在辣椒秸秆青贮时, 植物乳杆菌和纤维素酶协同作用效果优于两者单独使用, 原因可能是纤维素酶能进一步将辣椒秸秆细胞壁结构性多糖降解为单糖, 为乳酸发酵提供更多的可溶性糖, 通过乳酸菌发酵改善了青贮品质。同时使用 W_2 添加剂的辣椒秸秆青贮有氧稳定性最高, 可能是因添加的纤维素酶抑制了腐败菌的增殖所致^[31]。

3.4 各处理辣椒秸秆青贮 CNCPS 蛋白体系分析

PA、PB1 易降解于瘤胃, PB2 少量在瘤胃内降解, 大部分过瘤胃进入后肠段, PB3 可在酸性洗涤剂中降解, PC 则难以被反刍动物或瘤胃微生物消化利用^[32]。本研究 4 个不同处理辣椒秸秆青贮和苜蓿 PA 含量均在 33% 以上, 说明 NPN 含量较高, 而 NPN 可被反刍动物利用, 由于辣椒秸秆青贮 PA 显著高于苜蓿, 说明辣椒秸秆青贮可提供反刍动物更多可利用 NPN, 辣椒秸秆 PB3 显著高于苜蓿, 而 PC、PB1 和 PB2 含量低于苜蓿, 说明辣椒秸秆青贮的蛋白消化利用率高于苜蓿, 其蛋白主要通过后肠段消化, 瘤胃易消化蛋白比苜蓿较低。4 个处理比较, MW_3 和 MW_4 的 PA、PB1 显著高于 LW_3 和 HW_3 , 而 PC 低于 LW_3 和 HW_3 , 说明 MW_3 和 MW_4 瘤胃易消化蛋白和蛋白利用率高于 LW_3 和 HW_3 。而 MW_3 与 MW_4 比较, 除 MW_3 的 PC 显著低于 MW_4 外, 其余指标差异不显著, 说明 MW_3 可消化蛋白含量更高。

3.5 各处理辣椒秸秆青贮和苜蓿体外产气特性及发酵参数

产气量可反映饲料有机物被瘤胃中微生物利用的情况, 研究表明, 饲料体外产气量越高, 则其所含易发酵有机物越多^[33]。本研究发现, 4 个不同处理辣椒秸秆青贮和苜蓿体外产气量由高到低依次是 $MW_3 > \text{苜蓿} > MW_4 > LW_3 > HW_3$, 说明 MW_3 易发酵成分高于苜蓿, 而苜蓿高于其余 3 个处理, 但与 MW_4 差异不显著。

pH 是反刍动物瘤胃最直观、重要的一项发酵指标, 健康动物瘤胃 pH 6~7, 原因是适宜的 pH 能维持瘤胃微生物正常发酵, 如果 pH 过低, 瘤胃中氨基酸易被分解, 导致微生物所需氮源降低而抑制瘤胃正常发酵并影响机体健康^[34]。本研究中瘤胃 pH 都处于正常范围, 说明瘤胃发酵正常。

NH_3-N 是含氮化合物在瘤胃中降解的最终产物, 同时也是瘤胃微生物合成菌体蛋白的原料, 两者共同决定着瘤胃内 NH_3-N 浓度。机体健康情况下, 从能氮平衡角度调控可促进菌体蛋白合成速率, 使瘤胃内 NH_3-N 浓度降低。本研究中, 4 个处理的辣椒秸秆青贮和苜蓿体外发酵 48 h 后, 发酵液 pH 在正常范围内, 说明体外发酵正常, 而 HW_3 、 HW_4 和苜蓿发酵液的 NH_3-N 浓度差异不显著, 但显著低于 LW_3 和 HW_3 , 说明更优的能氮平衡提高了 HW_3 、 HW_4 和苜蓿合成菌体蛋白速率, NH_3-N 利用率高, 所以发酵液 NH_3-N 浓度相对较低。

DM 降解率能反映出饲料的消化性能, 其值越高表示消化性越好, 本研究测得 4 个处理辣椒秸秆青贮和苜蓿 DM 消化率由高到低为 $MW_3 > MW_4 > LW_3 > \text{苜蓿} > HW_3$, 且差异显著, 说明 MW_3 、 MW_4 和 LW_3 辣椒秸秆青贮消化性能显著高于苜蓿, 饲喂更有利于反刍动物健康及稳定生产, 这可能与辣椒秸秆青贮含有一定量辣椒素有关。

4 结论

辣椒秸秆青贮质量受含水量、添加剂及其交互作用的影响, 含水量为 65%, 添加剂使用植物乳杆菌 + 枯草芽孢杆菌效果最好, 其次为植物乳杆菌 + 糖蜜, 可在生产实际中推荐使用。另外辣椒秸秆青贮含有一定量辣椒素 (各处理的青贮平均值为 $63.29 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$), 有着与常规饲料不同的特性。

参考文献 References:

- [1] 陆相龙, 董青, 邵涛, 王亚琴, 赵鑫, 郑会超, 姚宏霏, 周卫东. 辣椒秸秆辣椒素和营养成分含量测定. *中国草食动物科学*, 2012, 32(5): 24-27.
LU X L, DONG Q, SHAO T, WANG Y Q, ZHAO X, ZHENG H C, YAO H F, ZHOU W D. Determination of capsaicin and nutrients in pepper straw. *Chinese Herbivore Science*, 2012, 32(5): 24-27.
- [2] 尹乐斌, 雷志明, 杨莹, 张臣飞. 辣椒加工副产物的综合利用现状. *农产品加工*, 2016, 419(11): 59-61.
YIN L B, LEI Z M, YANG Y, ZHANG C F. Comprehensive utilization of byproducts in capsicum processing. *Processing of Agricultural Products*, 2016, 419(11): 59-61.
- [3] 许庆方. 影响苜蓿青贮品质的主要因素及苜蓿青贮在奶牛日粮中应用效果的研究. 北京: 中国农业大学博士学位论文, 2005.
XU Q F. Studies of the factors of affecting alfalfa silage quality and the utilization of alfalfa silage in dairy cows diet. PhD Thesis. Beijing: China Agricultural University, 2005.
- [4] BRODERICK G A, WALGENBACH R P, STERRENBURRING E. Performance of lactating dairy cows fed alfalfa or red clover silage as the sole forage. *Dairy Science*, 2000, 83: 1543-1551.
- [5] 李荣荣, 郑猛虎, 崔欣雨, 王妍, 徐春城. 优良乳酸菌的筛选及对苜蓿青贮发酵品质的影响. *中国草地学报*, 2021, 43(11): 69-75.
LI R R, ZHENG M H, CUI X Y, WANG Y, XU C C. Screening of excellent lactic acid bacteria and its effect on the fermentation quality of alfalfa silage. *Chinese Journal of Grassland*, 2021, 43(11): 69-75.
- [6] 穆胜龙, 周波, 甘书灏, 杨冉冉, 武婷婷, 宋明杰, 邹彩霞, 何仁春. 枯草芽孢杆菌与植物乳杆菌对甘蔗尾青贮品质的影响. *饲料工业*, 2017, 38(21): 27-31.
MU S L, ZHOU B, GAN S J, YANG R R, WU T T, SONG M J, ZOU C X, HE R C. Effects of *Bacillus subtilis* and *Lactobacillus plantarum* on the quality of sugarcane top silage. *Feed Industry*, 2017, 38(21): 27-31.
- [7] BAI J, XU D M, XIE D M, WANG M S, LI Z Q, GUO X S. Effects of antibacterial peptide-producing *Bacillus subtilis* and *Lactobacillus buchneri* on fermentation, aerobic stability, and microbial community of alfalfa silage. *Bioresource Technology*, 2020, 315: 123881.
- [8] 张立冬, 字学娟, 李茂, 吕仁龙, 胡海超, 唐军, 周汉林. 纤维素对柱花草青贮品质和营养成分的影响. *黑龙江畜牧兽医*, 2021(7): 118-121.
ZHANG L D, ZI X J, LI M, LYU R L, HU H C, TANG J, ZHOU H L. Effect of cellulase on the quality and nutrient composition of *Stylosanthes guianensis* silage. *Heilongjiang Animal Science and Veterinary Medicine*, 2021(7): 118-121.
- [9] 陈鹏飞, 戎郁萍, 玉柱, 韩建国. 微波炉测定紫花苜蓿含水量的初步研究. *中国草地学报*, 2006, 28(3): 53-55.
CHEN P F, RONG Y P, Yuzhu, HAN J G. Preliminary study on determination of moisture content of alfalfa by microwave oven. *Chinese Journal of Grassland*, 2006, 28(3): 53-55.
- [10] 丁成龙, 牟林林, 宦海琳, 顾洪如. 凋萎时间对多花黑麦草青贮品质及微生物动态变化的影响. *南方农业学报*, 2019, 50(12): 2771-2777.
DING C L, MU L L, HUAN H L, GU H R. Effects of withering time on silage quality and microbial dynamics of Italian ryegrass. *Journal of Southern Agriculture*, 2019, 50(12): 2771-2777.
- [11] 雒秋江. 动物营养与饲养. 北京: 科学出版社, 2022.
LUO Q J. *Animal Nutrition and Feeding*. Beijing: Science Press, 2022.
- [12] THOMAS T A. An automated procedure for the determination of soluble carbohydrates in herbage. *Journal of the Science of Food & Agriculture*, 2010, 28(7): 639-642.
- [13] 霍瑞春, 王国泽, 姚慧静, 袁鹤, 周刚, 程立坤. 19 种加工辣椒辣椒素提取、纯化及其含量测定. *中国调味品*, 2022, 47(4): 167-172.
HUO R C, WANG G Z, YAO H J, YUAN H, ZHOU G, CHENG L K. Extraction, purification and determination of capsaicin in 19 kinds of processed capsicum. *Chinese Condiments*, 2022, 47(4): 167-172.
- [14] CAO Y, CAI Y M, HIRAKUBO T. Fermentation characteristics and microorganism composition of total mixed ration silage with local food by-products indifferent seasons. *Animal Science Journal*, 2011, 82(2): 259-266.
- [15] 罗颖洁, 穆麟, 胡龙兴, 陈桂华, 张志飞, 高帅, 魏仲珊. 稻秸、玉米粉与紫花苜蓿混合青贮研究. *中国草地学报*, 2020, 42(4): 139-144.

- LUO Y J, MU L, HU L X, CHEN G H, ZHANG Z F, GAO S, WEI Z S. Study on mixed silage of rice straw with corn meal and alfalfa. *Chinese Journal of Grassland*, 2020, 42(4): 139-144.
- [16] 贾春旺, 原现军, 肖慎华, 李君凤, 白晰, 闻爱友, 郭刚, 邵涛. 青稞秸秆替代苇状羊茅对全混合日粮青贮早期发酵品质及有氧稳定性的影响. *草业与畜牧*, 2016, 25(4): 179-187.
- JIA C W, YUAN X J, XIAO S H, LI J F, BAI X, WEN A Y, GUO G, SHAO T. Effects of highland barley straw replacing tall fescue on early fermentation quality and aerobic stability of total mixed ration silage. *Grass Industry and Animal Husbandry*, 2016, 25(4): 179-187.
- [17] 王旭哲. 紧实度及收获期对全株玉米青贮品质及霉菌毒素的影响研究. 石河子: 石河子大学博士学位论文, 2019.
- WANG X Z. Effects of compaction and harvest time on the quality and mycotoxins of whole-plant corn silage. PhD Thesis. Shihezi: Shihezi University, 2019.
- [18] VAN SOEST P J, SNIFFEN C J, MERTENS D R. A net protein system for cattle: The rumen submodel for nitrogen//OWENS F N. Protein requirements for cattle: Proceedings of an international symposium. Stillwater: Oklahoma State University, 1981: 265.
- [19] KRISHNAMOORTHY U, SNIFFEN C J, STERN M D. Evaluation of a mathematical model of rumen digestion and an in vitro simulation of rumen proteolysis to estimate the rumen-undegraded nitrogen content of feedstuffs. *British Journal of Nutrition*, 1983, 50(3): 555-568.
- [20] AACC. Approved Methods of the AACC. Saint Paul: American Association of Cereal Chemistry, 1976.
- [21] SNIFFEN C J, O'CONNOR J D, VAN SOEST P J. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: II. carbohydrate and protein availability. *Journal of Animal Science*, 1992, 70(11): 3562-3577.
- [22] MENKE K H, STEINGASS H. Estimation of the energetic feed value obtained from chemical analysis and in vitro gas production using rumen fluid. *Animal Research Development*, 1988, 28(1): 7-55.
- [23] FRANCE J, DHANOA M S, THEODOROU M K. A model to interpret gas accumulation profiles associated with in vitro degradation of ruminant feeds. *Journal of Theoretical Biology*, 1993, 163(1): 99-111.
- [24] 李菲菲. 不同茬次、刈割期对苜蓿干草/青贮 CNCPS 蛋白组分和品质的影响. 石河子: 石河子大学硕士论文, 2019.
- LI F F. Effects of different stubbles and cutting times on the protein composition and quality of alfalfa hay / silage CNCPS. Master Thesis. Shihezi: Shihezi University, 2019.
- [25] NI K, WANG F, ZHU B. Effects of lactic acid bacteria and molasses additives on the microbial community and fermentation quality of soybean silage. *Bioresource Technol*, 2017, 238: 706-715.
- [26] 李玉萌, 张志恒, 朱亦朴, 李湘, 孙赛祎, 李元晓, 赵凌平. 没食子酸对全株玉米青贮品质的影响. *动物营养学报*, 2023, 35(5): 3390-3400.
- LI Y M, ZHANG Z H, ZHU C P, LI X, SUN S Y, LI Y X, ZHAO L P. Effects of gallic acid on the quality of whole-plant corn silage. *Journal of Animal Nutrition*, 2023, 35(5): 3390-3400.
- [27] 刘辉. 优质紫花苜蓿青贮调制技术及其品质评定研究. 兰州: 甘肃农业大学博士论文, 2015.
- LIU H. Study on the modulation technology and quality evaluation of high quality alfalfa silage. PhD Thesis. Lanzhou: Gansu Agricultural University, 2015.
- [28] 周娟娟, 魏巍, 秦爱琼, 陈本建. 水分和添加剂对辣椒秸秆青贮品质的影响. *草业学报*, 2016, 25(2): 231-239.
- ZHOU J J, WEI W, QIN A Q, CHEN B J. Effects of moisture and additives on the quality of pepper straw silage. *Acta Prataculturae Sinica*, 2016, 25(2): 231-239.
- [29] 荣辉, 余成群, 李志华, 下条雅敬, 邵涛. 添加糖蜜和尿素对象草青贮发酵品质的影响. *草地学报*. 2012, 20 (5): 940-946.
- RONG H, YU C Q, LI Z H, XIATIAO Y J, SHAO T. Effects of molasses and urea on fermentation quality of forage grass silage. *Grassland Journal*, 2012, 20 (5): 940-946.
- [30] 周昕, 黄秋生, 王健, 张嘉宾, 曹阳. 添加乳酸菌剂和糖蜜对不同含水量食叶草青贮发酵品质及体外干物质消失率的影响. *动物营养学报*, 2021, 33(3): 1594-1606.
- ZHOU X, HUANG Q S, WANG J, ZHANG J B, CAO Y. Effects of adding lactic acid bacteria and sugar density on fermentation quality and in vitro dry matter disappearance rate of edible leaf grass silage with different water contents. *Annals of Animal Nutrition*, 2021, 33(3): 1594-1606.

- [31] LI M, ZHOU H L, ZI X J, CAI Y M. Silage fermentation and ruminal degradation of stylo prepared with lactic acid bacteria and cellulase. *Animal Science Journal*, 2017, 88(10): 1531-1537.
- [32] 佟明昊, 潘港, 孙娟娟, 薛艳林, 玉柱, 白春生. 混合比例对苜蓿和高丹草混合青贮品质及 CNCPS 蛋白组分的影响. *中国草地学报*, 2022, 44(2): 75-81.
- DONG M H, PAN G, SUN J J, XUE Y L, Yuzhu, BAI C S. Effects of mixing ratio on quality and protein components of CNCPS of mixed silage of alfalfa and galdendron grass. *Chinese Journal of Grassland*, 2022, 44(2): 75-81.
- [33] 芦岩, 张伶俐, 罗远琴, 魏利, 薛雪, 孙新文, 向春和, 毛胜勇, 王新峰, 张文举. 不同比例棉秆和甜菜渣混合发酵产物的体外产气特性及发酵参数的研究. *草业学报*, 2020, 29(5): 58-66.
- LU Y, ZHANG L L, LUO Y Q, WEI L, XUE X, SUN X W, XIANG C H, MAO S Y, WANG X F, ZHANG W J. In vitro gas production characteristics and fermentation parameters of feedstuffs with varying proportions of cotton stalks and beet pulp. *Acta Prataculturae Sinica*, 2020, 29(5): 58-66.
- [34] 冯雷雨. 构树、苜蓿和燕麦营养价值的综合评定. 杨凌: 西北农林科技大学硕士论文, 2021.
- FENG L Y. Comprehensive evaluation of nutritional value of *Broussonetia papyrifera*, alfalfa and oat. Master Thesis. Yangling: Northwest A & F University, 2021.

(责任编辑 魏晓燕)

2024 年 9 月国际市场主要畜产品与饲料价格分析

9 月份国际饲料价格除玉米、大豆和豆粕外, 其他价格均下降; 畜产品价格除牛奶和鸡肉外, 其他价格均下降。

一、国际饲料价格除玉米、大豆和豆粕外, 其他价格均下降

9 月份, 玉米、大豆和豆粕的平均价格分别为 147.18、371.52 和 353.74 USD·t⁻¹, 环比分别上涨 8.07%、2.76% 和 3.17%。高粱、菜籽、豆粉、棉籽饼和苜蓿粉的平均价格分别为 177.87、446.10、349.43、370.84 和 363.34 USD·t⁻¹, 环比分别下降 4.74%、0.84%、0.32%、2.40% 和 0.13%。

二、畜产品价格除牛奶和鸡肉外, 其他价格均下降

9 月份, 牛奶和鸡肉的平均价格分别为 0.44 和 3.66 USD·kg⁻¹, 环比分别上涨 2.72% 和 1.61%; 瘦肉猪和育肥牛的平均价格分别为 1.79 和 5.33 USD·kg⁻¹, 环比分别下降 4.05% 和 0.79%。

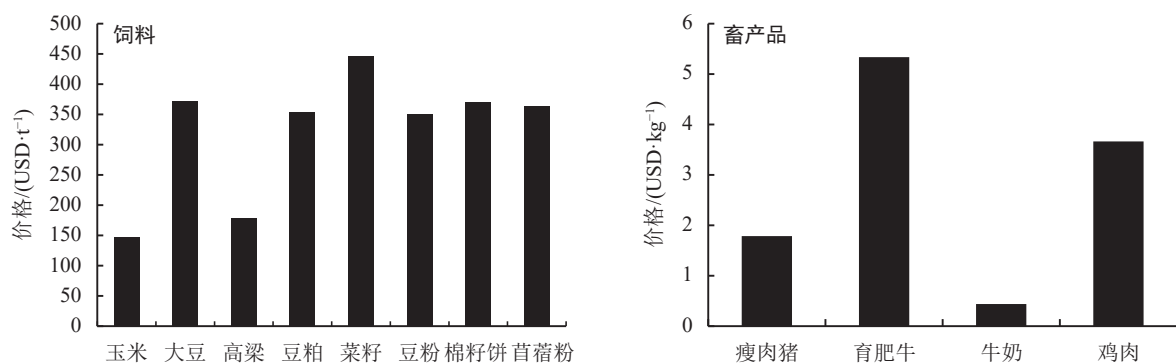


图 1 2024 年 9 月国际市场主要饲料与畜产品价格

数据来源: 国际市场商品价格网 <http://price.mofcom.gov.cn/>; 鸡肉 <http://www.indexmundi.com/>; 货币汇率 <http://qq.ip138.com/hl.asp>。

(兰州大学草地农业科技学院 谢凯丽 整理)