

王益, 王学凯, 周玮, 等. 含水量及添加剂对黄梁木叶青贮品质的影响[J]. 华南农业大学学报, 2018, 39(4): 80-86.

含水量及添加剂对黄梁木叶青贮品质的影响

王 益¹, 王学凯², 周 玮¹, 杨富裕², 张 庆¹, 陈晓阳¹

(1 华南农业大学 林学与风景园林学院/广东木本饲料工程技术研究中心/广东省森林植物物种质创新与利用重点实验室, 广东 广州 510642; 2 中国农业大学 动物科学技术学院, 北京 100193)

摘要:【目的】探讨不同含水量及添加剂对黄梁木 *Neolamarckia cadamba* 叶青贮发酵品质的影响。【方法】以黄梁木叶为原料, 晾晒至含水量 (*w*) 为 80% 和 70%, 每个含水量条件下分别添加甲酸 (FA, 3 g·kg⁻¹)、植物乳杆菌 *Lactobacillus plantarum* (LP, 1×10⁶ cfu·g⁻¹)、壮乐美青贮发酵剂 (ZLM, 0.005 g·kg⁻¹), 并以不使用添加剂为对照 (CK) 进行青贮。【结果】黄梁木叶干物质中粗蛋白含量 (*w*) 为 22.89%, 中性洗涤纤维和酸性洗涤纤维含量 (*w*) 分别为 32.84% 和 24.91%。含水量对黄梁木叶青贮品质有显著影响, 随着含水量的降低, 黄梁木叶青贮饲料的干物质和可溶性碳水化合物含量极显著增加 (*P*<0.01), pH 极显著降低 (*P*<0.01)。2 种含水量条件下, LP 和 ZLM 处理的 pH 极显著低于 CK (*P*<0.01)。在含水量 (*w*) 为 70% 条件下, 2 种乳酸菌剂均极显著降低了酵母菌数量 (*P*<0.01), 在含水量 (*w*) 为 80% 条件下, FA 处理的可溶性碳水化合物含量极显著高于 CK 和其他处理 (*P*<0.01)。所有处理的大肠埃希菌数量 (cfu·g⁻¹) 的对数均小于 2.0, 且未检测到丁酸, *w*(NH₄⁺-N)/*w*(TN) 均低于 10%。【结论】黄梁木叶具有较高饲用价值且易于调制青贮饲料, 适当降低含水量和添加剂可在一定程度上改善黄梁木叶的青贮发酵品质。

关键词: 黄梁木; 含水量; 添加剂; 青贮饲料; 发酵品质
中图分类号: S816.53 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-411X(2018)04-0080-07

Effects of moisture content and additive on silage quality of *Neolamarckia cadamba* leaves

WANG Yi¹, WANG Xuekai², ZHOU Wei¹, YANG Fuyu², ZHANG Qing¹, CHEN Xiaoyang¹

(1 College of Forestry and Landscape Architecture, South China Agricultural University/Guangdong Research Center of Woody Forage Engineering Technology/Guangdong Key Laboratory for Innovative Development and Utilization of Forest Plant Germplasm, Guangzhou 510642, China; 2 College of Animal Science and Technology, China Agricultural University, Beijing 100193, China)

Abstract: 【Objective】To investigate the effects of different moisture contents and additives on ensiling fermentation qualities of *Neolamarckia cadamba* leaves. 【Method】The *N. cadamba* leaves were used as raw materials, and air-cured until the moisture contents (*w*) were 80% and 70% respectively. The ensiling processes were conducted through adding formic acid (FA, 3 g·kg⁻¹), *Lactobacillus plantarum* (LP, 1×10⁶ cfu·g⁻¹) and Zhuanglemei silage starter (ZLM, 0.005 g·kg⁻¹) to each moisture content treatment. The treatment without additive was counted as the control (CK). 【Result】The crude protein content (*w*) of *N. Cadamba* leaves without air-curing before ensiling was 22.98%, and the neutral and acid detergent fiber contents (*w*) were

收稿日期: 2017-12-27 网络首发时间: 2018-06-12
网络首发地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/44.1110.S.20180611.1417.028.html>
作者简介: 王 益 (1994—), 女, 硕士研究生, E-mail: x_wangyier@163.com; 通信作者: 张 庆 (1986—), 男, 副教授, 博士, E-mail: zqing1988@126.com; 陈晓阳 (1958—), 男, 教授, 博士, E-mail: xychen@scau.edu.cn
基金项目: 广东省科技计划项目 (2017B020201008); 广东省林业科技创新专项 (2017KJCX029); 广东高校工程技术研究 (开发) 中心建设项目 (GCZX-A1404)

32.84% and 24.91% respectively. The moisture content had significant effects on silage qualities of *N. cadamba* leaves. With the decrease of moisture content, the dry matter and water soluble carbohydrate contents increased extremely significantly ($P<0.01$), pH decreased extremely significantly ($P<0.01$). Under the two moisture contents, the pH of the treatments adding LP and ZLM were extremely significantly lower than CK ($P<0.01$). While the moisture content was 70%, two *lactobacillus* starters (LP and ZLM) extremely significantly reduced the numbers of yeast ($P<0.01$). The water soluble carbohydrate content in the treatment adding FA under 70% moisture content was extremely significantly higher than those in CK and other treatments ($P<0.01$). The logarithm values of *Escherichia coli* numbers in all treatments were less than 2.0, no butyric acid was detected, and all rations of $w(\text{NH}_4^+-\text{N})$ to $w(\text{TN})$ were below 10%. 【Conclusion】 *N. cadamba* leaves have high feeding value and are liable to produce silage. Reducing moisture content properly and applying additives can partly improve the ensiling fermentation qualities of *N. cadamba* leaves.

Key words: *Neolamarckia cadamba*; moisture content; additive; silage; fermentation quality

黄梁木 *Neolamarckia cadamba* 又名团花树, 属茜草科 Rubiaceae 团花属 *Neolamarckia* 树种, 常绿或半落叶高乔木, 为我国亚热带和热带乡土阔叶树种。黄梁木生长速度快, 10 年左右即可成材, 被誉为“奇迹树”^[1-2]。其树干通直、圆满, 材质良好, 可用作门窗、天花板等轻型建筑材料, 也是纤维板、胶合板和人造纤维、造纸等木材工业的理想原料^[3]。黄梁木叶具有叶片大、粗蛋白含量高、营养成分丰富、饲料生物量高等特点, 是一种潜在的饲料资源。鲜黄梁木叶水分含量高, 在自然干燥时对天气条件要求高, 尤其在南方多雨季节更不易实现, 因此, 青贮是最适宜的贮藏方式。青贮是将青绿饲料经乳酸菌发酵从而达到长期保存饲料营养成分的技术, 其发酵过程复杂, 青贮品质受到多种因素的影响^[4-5]。研究表明, 在青贮过程中合理使用添加剂可以改善青贮效果, 获得优质的青贮饲料^[6-7]。乳酸菌、甲酸是目前国内外普遍使用的高效添加剂^[8]。添加乳酸菌能大大提高青贮发酵初期的乳酸菌基数, 促进发酵速度, 有效降低青贮饲料的 pH 和氨态氮含量, 增加乳酸含量; 添加甲酸能抑制不良微生物的生长, 有效保存可溶性糖, 同时降低氨态氮的含量^[9]。除添加剂外, 青贮原料本身的含水量也是影响青贮品质的重要因素, 含水量太高, 青贮过程中会产生大量渗出液, 易引起梭菌发酵; 含水量太低, 不利于压实, 引起好氧霉变, 使营养物质大量损失^[10-11]。目前, 国内外开展的青贮研究多集中于苜蓿、燕麦、玉米等常规饲料上, 对黄梁木叶的青贮研究鲜见报道。

本文通过黄梁木叶青贮试验, 研究了 2 种含水量条件下 3 种添加剂青贮对其化学成分和青贮品

质的影响, 探索黄梁木叶作为青贮原料的可行性, 旨在为调制品质优良的青贮饲料提供理论依据和技术参考, 并为木本饲料资源的开发利用提供途径和方法。

1 材料与方法

1.1 试验材料

植物材料: 于 2016 年 5 月在华南农业大学增城试验基地的黄梁木饲用试验林采集鲜叶, 自然晾晒 3 和 12 h, 含水量 (w) 分别降至 80% 和 70%, 剪短为 1~2 cm 备用。

添加剂: 植物乳杆菌 *Lactobacillus plantarum* (LP), 添加量为 1×10^6 cfu·g⁻¹, 由中国农业大学青贮实验室研发, 从青贮饲料中分离; 壮乐美青贮发酵剂 (ZLM), 主要成分有 *L. plantarum* 550、*L. plantarum* 360、*L. sbuchneri* 225 和纤维素酶, 添加量为 $0.005\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$, 由四川高福记食品有限公司提供; 甲酸 (FA), 添加量为 $3\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。

1.2 试验设计与处理

试验采用 2×4 双因素完全随机设计, 一个因素是含水量, 设 2 个水平, 即 w 分别为 80% 和 70%, 另一因素为添加剂处理。将 2 个含水量条件下的黄梁木叶分别进行无添加 (对照, CK)、FA、LP 和 ZLM 处理, 将其充分混匀后, 取 170 g 左右装入聚乙烯真空包装袋中, 用真空包装机真空封口, 每个处理设置 3 个重复, 共 24 袋, 室温青贮 60 d 后开袋, 对其化学成分、发酵品质进行测定分析。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 发酵品质分析 开袋后, 取代表性青贮样品 20 g, 加入 180 mL 蒸馏水, 混合均匀, 经家用榨汁

机榨汁 1 min, 依次用 4 层纱布和中速定性滤纸过滤, 得到浸提液, 采用 pH 计 (PHS-3C, 上海雷磁) 测量 pH^[12]。缓冲能值 (Buffering capacity) 采用滴定法测定, 利用乳酸进行标定^[13]。浸提液经 0.22 μm 孔径的滤膜过滤得到滤液, 采用岛津 GC-14 型高效液相色谱仪 (色谱柱: Shodex Rspak KC-811 s-DVB gel column, 日本; 检测器: SPD-M10AVP) 测定乳酸、乙酸、丙酸和丁酸含量, 流动相为 3 mmol·L⁻¹ 高氯酸, 流速 1 mL·min⁻¹; 柱温 50 °C; 检测波长 210 nm, 进样量 5 μL^[14]。采用苯酚-次氯酸比色法测定氨态氮 (NH₄⁺-N) 含量^[15]。

1.3.2 化学成分分析 称取 130 g 左右的鲜样, 利用鼓风干燥箱在 65 °C 恒温条件下, 干燥 48 h, 冷却, 称质量, 计算干物质含量; 利用 FOSS 8400 全自动凯氏定氮仪测定粗蛋白和总氮 (TN) 含量, 结果用质量分数表示^[16]; 采用蒽酮-硫酸比色法测定可溶性碳水化合物含量; 配制中性洗涤剂 (*w* 为 3% 的十二烷基硫酸钠) 和酸性洗涤剂 (*w* 为 2% 的十六烷三甲基溴化铵) 以及 ϕ 为 72% 的硫酸溶液, 利用 Ankom 220 型纤维分析系统测定中性洗涤纤维、酸性洗涤纤维、纤维素、半纤维素和酸性洗涤木质素含量, 结果用质量分数表示^[16-17]。

1.3.3 主要微生物类群数量分析 取代表性样品 20 g, 加入 180 mL 灭菌的生理盐水, 均匀混合后逐级稀释。微生物数量采用平板计数法测定, 以 cfu·g⁻¹ 表示, 乳酸菌、大肠埃希菌和酵母菌分别采用 MRS 琼脂培养基、结晶紫中性红胆盐琼脂培养基 (VRBA) 和孟加拉红培养基 (虎红琼脂) 进行培养^[18]。

1.4 数据分析

应用 Excel 2007 对数据进行初步整理, 再以 SAS 9.3 软件对试验结果进行双因素方差分析和 Duncan's 多重比较。

2 结果与分析

2.1 黄梁木叶青贮原料化学成分

青贮进行前, 取未晾晒的黄梁木叶测定原料中的化学成分含量, 结果见表 1。由表 1 可知, 黄梁木叶中的干物质质量分数为 28.22%。干物质中, 粗蛋白、可溶性碳水化合物、中性洗涤纤维和酸性洗涤纤维的质量分数分别为 22.89%、4.76%、32.84% 和 24.91%。黄梁木叶青贮原料缓冲能为 29.28 g·kg⁻¹。

2.2 不同处理对黄梁木叶发酵品质的影响

如表 2 所示, 双因素方差分析表明, 含水量和

表 1 黄梁木叶青贮原料化学成分
Table 1 The chemical compositions of *Neolamarckia cadamba* leaves before ensiling

化学成分	w ¹⁾ /%
粗蛋白	22.89±1.06
可溶性碳水化合物	4.76±0.61
中性洗涤纤维	32.84±3.63
酸性洗涤纤维	24.91±3.81
纤维素	11.91±0.57
半纤维素	7.92±0.40
木质素	11.26±3.25
w(干物质)/%	28.22±3.18
缓冲能/(g·kg ⁻¹)	29.28±1.18

1) 表中数据为平均值±标准误; 各化学成分均为占干物质的质量分数

添加剂对黄梁木叶青贮后的 pH 和乙酸含量有极显著影响 ($P<0.01$), 但对乳酸含量和 $w(\text{NH}_4^+-\text{N})/w(\text{TN})$ 影响不显著 ($P>0.05$); 两者的交互作用对乳酸、乙酸和丙酸含量影响极显著 ($P<0.01$), 但对 pH 和 $\text{NH}_3\text{-N}/\text{TN}$ 比值无显著影响 ($P>0.05$)。在 80% 含水量条件下, 3 种添加剂对乳酸含量无显著影响 ($P>0.05$), 但极显著降低了黄梁木叶的 pH ($P<0.01$), 其中 LP 处理的 pH 最低, 同时, LP 处理下未检测到乙酸; 3 种添加剂处理组的丙酸含量与 CK 相比差异极显著 ($P<0.01$)。在 70% 含水量条件下, LP 和 ZLM 处理均显著降低了黄梁木叶的 pH 以及乳酸和丙酸含量, 其中 LP 处理对 pH 的影响极显著 ($P<0.01$); FA 处理下, pH 和乳酸含量较 CK 增加, 但差异不显著 ($P>0.05$); FA 和 ZLM 处理组的乙酸含量较 CK 极显著增加 ($P<0.01$)。所有处理条件下均未检测到丁酸, 且对 $w(\text{NH}_3\text{-N})/w(\text{TN})$ 无显著影响 ($P>0.05$)。

由表 3 可知, 含水量、添加剂及两者的交互作用对乳酸菌和酵母菌的数量均有极显著影响 ($P<0.01$)。2 种含水量条件下, 3 种添加剂处理的乳酸菌数量较 CK 降低, 其中 FA 和 ZLM 处理组均达到极显著水平 ($P<0.01$)。在 80% 含水量条件下, FA 和 LP 处理的酵母菌数量较 CK 极显著和显著降低, ZLM 处理的酵母菌数量较 CK 极显著增加。在 70% 含水量条件下, 3 种添加剂处理的乳酸菌数量 (cfu·g⁻¹) 的对数均低于 3.00, 均极显著低于 CK, 酵母菌和大肠埃希菌数量的对数均低于 2.00, 且前者也极显著低于 CK。

表 2 不同处理黄梁木叶青贮饲料的 pH、有机酸含量和 $w(\text{NH}_4^+\text{-N})/w(\text{TN})$ ¹⁾

Table 2 pH values, organic acid contents and ammonia nitrogen/total nitrogen ratios of *Neolamarckia cadamba* leaf silage in different treatments

处理		pH	$w_{\text{干}}/\%$				$w(\text{NH}_4^+\text{-N})/w(\text{TN})$
含水量(w)/%	添加剂		乳酸	乙酸	丙酸	丁酸	
80	CK	4.18±0.03Aa	5.37±1.12ABab	0.88±0.23Aa	0.17±0.02Bb	...	0.21±0.01a
	FA	4.06±0.04Bb	4.02±0.56Bb	0.81±0.05Aa	0.10±0.01Cc	...	0.15±0.11a
	LP	3.92±0.04Cc	5.56±1.23ABab	...	0.26±0.02Aa	...	0.28±0.12a
	ZLM	4.00±0.04BCb	5.92±2.44Aa	0.88±0.26Aa	0.24±0Aa	...	0.37±0.19a
70	CK	4.19±0.07ABa	6.87±1.74ABa	...	0.28±0.04Aa	...	0.21±0.02a
	FA	4.21±0.03Aa	8.04±0.31Aa	0.65±0.14Aa	0.16±0ABa	...	0.31±0.13a
	LP	3.99±0.03Cc	4.85±0.25Bb	...	0.16±0.09ABa	...	0.35±0.19a
	ZLM	4.08±0.03BCb	4.86±0.29Bb	0.38±0.13Bb	...	...	0.22±0.03a
变异来源 ²⁾	含水量	**	NS	**	NS	...	NS
	添加剂	**	NS	**	**	...	NS
	含水量×添加剂	NS	**	**	**	...	NS

1) 表中数据为平均值±标准误; 同列数据后凡是具有一个相同小写字母或大写字母者, 分别表示在0.05或0.01水平差异不显著(Duncan's法); ...表示未检出; 2) *和**分别表示0.05和0.01水平差异显著, NS表示差异不显著(双因素方差分析)

表 3 不同处理黄梁木叶青贮饲料的主要微生物类群数量¹⁾

Table 3 Major microorganism group quantities of *Neolamarckia cadamba* leaf silage in different treatments

含水量(w)/%	添加剂	lg(菌群数量)		
		乳酸菌	酵母菌	大肠埃希菌
80	CK	5.79±0.17Aa	2.88±0.17Bb	<2.00
	FA	<2.00Bb	<2.00Cd	<2.00
	LP	3.54±0.33Aa	2.59±0.16Bc	<2.00
	ZLM	<2.00Bb	3.39±0.07Aa	<2.00
70	CK	5.20±0.44Aa	3.34±0.34Aa	<2.00
	FA	<3.00Bb	<2.00Bb	<2.00
	LP	<3.00Bb	<2.00Bb	<2.00
	ZLM	<3.00Bb	<2.00Bb	<2.00
变异来源 ²⁾	含水量	**	**	...
	添加剂	**	**	...
	含水量×添加剂	**	**	...

1) 表中数据为平均值±标准误; 同列数据后凡是具有一个相同小写字母或大写字母者, 分别表示在0.05或0.01水平差异不显著(Duncan's法); 2) *和**分别表示0.05和0.01水平差异显著, NS表示差异不显著(双因素方差分析); ...表示未检出

2.3 不同处理对黄梁木叶化学成分的影响

含水量和添加剂对黄梁木叶青贮饲料化学成分的影响见表 4。双因素方差分析表明, 含水量对干物质、中性洗涤纤维、酸性洗涤木质素和酸性洗涤纤维的影响达到极显著 ($P<0.01$) 或显著 ($P<0.05$) 水平; 添加剂除对酸性洗涤木质素和可溶性碳水化合物含量分别有显著和极显著影响外, 对其他指标均无显著影响 ($P>0.05$); 两者的交互作用对干物质和可溶性碳水化合物含量影响极显著 ($P<0.01$),

对其他指标无显著影响 ($P>0.05$)。2 种含水量条件下, FA 处理的黄梁木叶可溶性碳水化合物含量显著或极显著高于 CK 及其他处理组。在 80% 含水量条件下, FA 处理显著增加了半纤维素含量 ($P<0.05$), ZLM 处理显著降低了干物质含量 ($P<0.05$)。在 70% 含水量条件下, FA 处理的干物质、粗蛋白和酸性洗涤木质素含量较 CK 显著降低 ($P<0.05$), 其他指标无显著变化; LP 和 ZLM 处理对所有化学指标无显著影响 ($P>0.05$)。

表 4 黄梁木叶青贮饲料的化学成分¹⁾

Table 4 The chemical composition of *Neolamarckia cadamba* leaf silage

w/%

含水量/%	添加剂	干物质	粗蛋白	可溶性碳水化合物	中性洗涤纤维
80	CK	21.46±0.78Aa	21.81±0.62Aa	1.87±0.27Bb	28.79±1.65a
	FA	22.29±1.31Aa	20.12±0.80Aa	4.60±0.58Aa	31.21±1.80a
	LP	18.92±1.83Aab	20.50±1.95Aa	1.45±0.57Bb	28.31±1.46a
	ZLM	17.88±2.69Ab	19.09±2.65Aa	1.74±0.02Bb	28.95±1.87a
70	CK	30.80±2.23Aa	21.23±0.97Aa	3.44±0.41ABb	32.99±1.92a
	FA	25.37±3.88Ab	18.96±1.47Ab	5.15±1.22Aa	33.24±2.10a
	LP	29.91±0.07Aab	20.91±0.79Aa	2.10±0.43Bb	34.71±2.81a
	ZLM	32.03±2.94Aa	21.38±0.29Aa	2.26±0.35Bb	32.16±2.14a
变异来源 ²⁾	含水量	**	NS	NS	**
	添加剂	NS	NS	**	NS
	含水量×添加剂	**	NS	**	NS

含水量/%	添加剂	酸性洗涤纤维	纤维素	半纤维素	酸性洗涤木质素
80	CK	22.43±2.35a	10.17±0.6Aa	6.36±0.89ABb	11.46±1.78Aa
	FA	22.67±1.97a	10.69±1.06Aa	8.54±0.44Aa	10.26±2.32Aa
	LP	21.31±1.39a	11.99±1.13Aa	7.00±0.34ABb	8.51±1.30Aa
	ZLM	22.88±1.95a	11.15±2.91Aa	6.08±1.14Bb	11.00±1.88Aa
70	CK	25.59±1.94a	8.27±0.58Aab	7.40±2.59Aa	16.31±2.41Aa
	FA	24.10±2.55a	12.92±2.93Aa	9.14±3.52Aa	9.71±1.37Ab
	LP	25.58±0.70a	10.21±1.46Aab	9.13±2.20Aa	16.50±4.48Aa
	ZLM	23.53±2.52a	7.24±2.94Ab	8.63±1.25Aa	17.10±3.21Aa
变异来源 ²⁾	含水量	*	NS	NS	**
	添加剂	NS	NS	NS	*
	含水量×添加剂	NS	NS	NS	NS

1) 表中数据为平均值±标准误,除了干物质以外,均为占干物质的质量分数;同列数据后,凡是具有一个相同小写字母或大写字母者,分别表示在0.05或0.01水平上差异不显著(Duncan’s法);2) *和**分别表示0.05和0.01水平差异显著,NS表示差异不显著(双因素方差分析)

3 讨论与结论

3.1 黄梁木叶作为青贮饲料的特点

优质蛋白饲料需要有较高的粗蛋白含量和合适的纤维含量。Zayed 等^[19]研究认为,与苜蓿 *Medicago* sp. 和银合欢 *Leucaena leucocephala* 相比,黄梁木具有更高的饲料质量。本研究黄梁木叶原料中的粗蛋白质量分数为 22.89%,高于盛花期紫花苜蓿 *Medicago sativa*(14%~15%)^[20],中性洗涤纤维和酸性洗涤纤维质量分数分别为 32.84% 和 24.91%,均低于热带木本饲用灌木中性(38.83%)、酸性(33.67%)洗涤纤维的平均含量^[21]。因此,黄梁木叶具有较高饲用价值。调制青贮优质饲料,要求原料有适宜的含水量,较低的缓冲能以及一定量的以可溶性碳水化合物形式存在的可供乳酸菌发酵的底物^[22]。研究表明,可溶性碳水化合物是影响青

贮发酵品质的重要因素,只有充足的可溶性碳水化合物才能在发酵初期为乳酸菌提供足够的碳源,使其产生大量乳酸,迅速降低 pH 并抑制其他杂菌的生长。一般认为,可溶性碳水化合物的质量分数高于 5% 才能保证良好的发酵效果^[23]。本研究中,黄梁木叶的可溶性碳水化合物质量分数为 4.76%,未达到优质青贮所需要的底物水平,但与苜蓿、红三叶 *Trifolium pretense* 相比其缓冲能较低,与玉米接近^[24],为 29.28 g·kg⁻¹,直接青贮,其 pH 可降到 4.18, w(NH₃-N)/w(TN) 仅为 0.21%,且无丁酸产生,说明黄梁木叶可直接青贮。

3.2 含水量对黄梁木叶青贮品质的影响

原料含水量对青贮发酵过程有重要影响,过高的含水量不利于青贮,适当降低含水量可提高青贮发酵品质^[25-26]。本研究结果表明,原料含水量对黄

梁木叶青贮品质有显著影响。随着含水量的降低,黄梁木叶青贮饲料的可溶性碳水化合物含量极显著增加,粗蛋白含量变化不大,这与关皓等^[27]、周娟娟等^[4]研究结果一致。成功的青贮要求 pH 达到 4.2 以下,这样才能为乳酸菌生长提供一个稳定的环境^[28]。本研究中,除 70% 含水量条件下 FA 处理的 pH 略高于 4.2,其他添加剂处理的 pH 均小于 4.2, pH 随着含水量的降低而增加,差异达到极显著水平 ($P<0.01$),这与 Haigh 等^[29]的研究结果一致。有机酸含量随着含水量的降低变化不一^[11,25]。本研究中,含水量对乳酸含量无显著影响,且乳酸含量明显高于乙酸、丙酸和丁酸,说明青贮发酵以乳酸发酵为主,同时随着含水量降低,乙酸含量极显著降低,这可能是因为适当降低含水量在一定程度上抑制了乙酸菌的活动。丁酸含量和 $w(\text{NH}_3\text{-N})/w(\text{TN})$ 是衡量青贮饲料优劣的关键,一般认为优质青贮饲料的丁酸含量应低于 1%, $w(\text{NH}_3\text{-N})/w(\text{TN})$ 应低于 10%^[22]。本研究中,2 种含水量下均未检测到丁酸,且 $w(\text{NH}_3\text{-N})/w(\text{TN})$ 远低于 10%,这可能是由于黄梁木叶本身缓冲能较低,在青贮初期,乳酸菌大量繁殖并迅速降低了青贮原料的 pH,形成了一个良好的乳酸发酵条件,一定程度上抑制了其他好氧微生物的生长,减少了蛋白质的分解;另一方面,黄梁木叶富含单宁等多酚类物质^[30],可与青贮饲料中的蛋白质结合形成络合物,减少青贮过程中蛋白质的分解^[31]。

3.3 添加剂对黄梁木叶青贮品质的影响

青贮中选择合适的添加剂可为乳酸菌创造理想的发酵环境,减少养分损失,可显著改善青贮的发酵品质。乳酸菌剂作为发酵促进型添加剂添加到青贮饲料中后,可保证青贮初期发酵所需的乳酸菌数量,加快乳酸菌繁殖,产生大量乳酸,使 pH 迅速降低。本研究中,添加了 LP 和 ZLM 这 2 种乳酸菌剂后,黄梁木叶的 pH 极显著降低,其中 LP 处理的 pH 最低,这与 Yuan 等^[32]、Ando 等^[33]的研究结果一致。但 2 种乳酸菌剂处理组均未能降低中性洗涤纤维、酸性洗涤纤维和酸性洗涤木质素含量,说明乳酸菌在降低纤维含量方面作用有限,原因可能是乳酸菌青贮处理缺少相关的纤维素降解酶,不能对木质素-纤维素-半纤维素复合结构产生实质影响,尽管 ZLM 添加剂中含有纤维素酶,但添加效果可能受到酶的添加量、原料成熟度等的影响^[16]。此外,2 种含水量条件下添加 2 种乳酸菌剂后,乳酸菌的数量较 CK 均减少,这可能是添加的乳酸菌与黄梁木叶本身附着的乳酸菌存在相互竞争,相互抑制的

缘故^[32]。在 80% 含水量条件下,LP 处理的青贮饲料中酵母菌数量较 CK 显著减少,在 70% 含水量条件下,2 种乳酸菌剂均能显著降低酵母菌数量,这表明 2 种添加剂均能在一定程度上抑制好氧微生物的生长繁殖,且 LP 添加效果更好。甲酸具有强烈的抗菌作用,在青贮饲料中被广泛应用。侯美玲等^[8]将甲酸添加到天然牧草的青贮中,发现加入甲酸的青贮饲料的乳酸含量和 $w(\text{NH}_3\text{-N})/w(\text{TN})$ 显著下降,可溶性碳水化合物含量显著增加,王永新等^[34]在红三叶中添加甲酸后也得到相同结果。本研究中,在 80% 含水量条件下添加 FA 后,黄梁木叶的 pH 显著降低,70% 含水量下 pH 较 CK 增加,但差异不显著,同时 2 个含水量条件下可溶性碳水化合物含量显著高于 CK 和其他处理,且未影响干物质、粗蛋白等成分,说明 FA 抑制了不良微生物的发酵以及植物呼吸活动对可溶性碳水化合物的损耗,在一定程度上改善了黄梁木叶的青贮发酵品质。

参考文献:

[1] 阙青敏. 黄梁木遗传变异与优良种源/家系早期选择 [D]. 广州: 华南农业大学, 2016.

[2] 黄浩, 周祥斌, 欧阳昆唏, 等. 黄梁木种源抗寒性综合评价[J]. 华南农业大学学报, 2016, 37(1): 82-88.

[3] 邓小梅, 詹艳玲, 张倩, 等. 黄梁木组培快繁技术研究 [J]. 华南农业大学学报, 2012, 33(2): 216-219.

[4] 周娟娟, 魏巍, 秦爱琼, 等. 水分和添加剂对辣椒秸秆青贮品质的影响[J]. 草业学报, 2016, 25(2): 231-239.

[5] 李剑楠. 青贮技术及其应用的研究进展[J]. 饲料广角, 2014(24): 30-33.

[6] VENDRAMINI J M, AGUIAR A D, ADESOGAN A T, et al. Effects of genotype, wilting, and additives on the nutritive value and fermentation of bermudagrass silage[J]. J Anim Sci, 2016, 94(7): 3061-3071.

[7] LIU Q, ZHANG J, SHI S, et al. The effects of wilting and storage temperatures on the fermentation quality and aerobic stability of stylo silage[J]. Anim Sci J, 2011, 82(4): 549-553.

[8] 侯美玲, 格根图, 孙林, 等. 甲酸、纤维素酶、乳酸菌剂对典型草原天然牧草青贮品质的影响[J]. 动物营养学报, 2015, 27(9): 2977-2986.

[9] 张静, 玉柱, 邵涛. 丙酸、乳酸菌添加对多花黑麦草青贮发酵品质的影响[J]. 草地学报, 2009, 17(2): 162-165.

[10] SHAO T, OHBA N, SHIMOJO M, et al. Fermentation quality of forage oat (*Avena sativa* L.) silages treated with pre-fermented juices, sorbic acid, glucose and encapsulated-glucose[J]. J Fac Agric Kyushu Univ, 2003, 47(2): 341-349.

[11] 万里强, 李向林, 张新平, 等. 苜蓿含水量与添加剂组分浓度对青贮效果的影响研究[J]. 草业学报, 2007, 16(2): 40-45.

[12] 王鹏, 白春生, 刘林, 等. 低温条件下混合乳酸菌制剂对

- 芦苇发酵品质的影响[J]. 草地学报, 2011, 19(1): 127-131.
- [13] PLAYNE M J, MCDONALD P. The buffering constituents of herbage and of silage[J]. J Sci Food Agric, 1966, 17(6): 264-268.
- [14] 许庆方, 玉柱, 韩建国, 等. 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.
- [15] BRODERICK G A, KANG J H. Automated simultaneous determination of ammonia and total amino acids in ruminal fluid and *in vitro* media[J]. J Dairy Sci, 1980, 63(1): 64-75.
- [16] 张丽英. 饲料分析及饲料质量检测技术[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2007: 46-47.
- [17] 李静, 高兰阳, 沈益新. 乳酸菌和纤维素酶对稻草青贮品质的影响[J]. 南京农业大学学报, 2008, 31(4): 86-90.
- [18] 李君凤, 孙肖慧, 原现军, 等. 添加乙酸对西藏燕麦和紫花苜蓿混合青贮发酵品质和有氧稳定性的影响[J]. 草业学报, 2014, 23(5): 271-278.
- [19] ZAYED M Z, ZAKI M A, AHMAD F B, et al. Comparison of mimosine content and nutritive values of *Neolamarckia cadamba* and *Leucaena leucocephala* with medicago sativa as forage quality index[J]. Int J Sci Technol Res, 2014, 3(8): 146-150.
- [20] 张晓庆, 吴秋珏, 郝正里, 等. 不同品种苜蓿营养成分及体外消化率动态研究[J]. 草业科学, 2005, 22(12): 48-51.
- [21] 李茂, 字学娟, 周汉林, 等. 海南省部分热带灌木饲用价值评定[J]. 动物营养学报, 2012, 24(1): 85-94.
- [22] LI J, SHEN Y, CAI Y. Improvement of fermentation quality of rice straw silage by application of a bacterial inoculant and glucose[J]. Asian-Aust J Anim Sci, 2010, 23(7): 901-906.
- [23] NI K, WANG F, ZHU B, et al. Effects of lactic acid bacteria and molasses additives on the microbial community and fermentation quality of soybean silage[J]. Bioresour Technol, 2017, 238: 706-715.
- [24] HERRMANN C, IDLER C, HEIERMANN M. Improving aerobic stability and biogas production of maize silage using silage additives[J]. Bioresour Technol, 2015, 197: 393-403.
- [25] 刘辉, 卜登攀, 吕中旺, 等. 凋萎和不同添加剂对紫花苜蓿青贮品质的影响[J]. 草业学报, 2015, 24(5): 126-133.
- [26] 李君临, 张新全, 玉柱, 等. 含水量和乳酸菌添加剂对多花黑麦草青贮品质的影响[J]. 草业学报, 2014, 23(6): 342-348.
- [27] 关皓, 郭旭生, 干友民, 等. 添加剂对不同含水量多花黑麦草青贮发酵品质及有氧稳定性的影响[J]. 草地学报, 2016, 24(3): 669-675.
- [28] SHAO T, ZHANG Z X, SHIMOJO M, et al. Comparison of fermentation characteristics of Italian ryegrass (*Lolium multiflorum* Lam.) and guineagrass (*Panicum maximum* Jacq.) during the early stage of ensiling[J]. Asian-Aust J Anim Sci, 2005, 18(12): 1727-1743.
- [29] HAIGH P M, PARKER J W G. Effect of silage additives and wilting on silage fermentation, digestibility and intake, and on liveweight change of young cattle[J]. Grass Forage Sci, 1985, 40(4): 429-436.
- [30] PANDEY A, NEGI P S. Traditional uses, phytochemistry and pharmacological properties of *Neolamarckia cadamba*: A review[J]. J Ethnopharmacol, 2016, 181: 118-135.
- [31] 杨冬梅, 陶双伦, 梁静, 等. 添加单宁酸对青贮葛藤茎叶品质的影响[J]. 草地学报, 2012, 20(4): 784-787.
- [32] YUAN X, GUO G, WEN A, et al. The effect of different additives on the fermentation quality, *in vitro* digestibility and aerobic stability of a total mixed ration silage[J]. Anim Feed Sci Technol, 2015, 207: 41-50.
- [33] ANDO S, ISHIDA M, OSHIO S, et al. Effects of isolated and commercial lactic acid bacteria[J]. Asian-Aust J Anim Sci, 2006, 19(3): 386-389.
- [34] 王永新, 许庆方, 玉柱, 等. 凋萎和添加剂对红三叶青贮的影响[J]. 农学学报, 2011, 1(1): 60-63.

【责任编辑 李晓卉】