

DOI: 10.11829/j.issn.1001-0629.2018-0464

李茂, 字学娟, 刁其玉, 胡海超, 唐军, 周汉林. 添加单宁酸对木薯叶青贮品质和有氧稳定性的影响. 草业科学, 2019, 36(6): 1662-1667.

LI M, ZI X J, DIAO Q Y, HU H C, TANG J, ZHOU H L. Effect of tannic acids on the fermentation quality and aerobic stability of cassava foliage. Pratacultural Science, 2019, 36(6): 1662-1667.

添加单宁酸对木薯叶青贮品质和有氧稳定性的影响

李 茂^{1,2,3}, 字学娟⁴, 刁其玉², 胡海超¹, 唐 军¹, 周汉林¹

(1. 中国热带农业科学院热带作物品种资源研究所/海南省院士工作站, 海南 儋州 571737;

2. 农业农村部饲料生物技术重点实验室, 北京 100081;

3. 西北农林科技大学动物科技学院, 陕西 杨凌 712100; 4. 海南大学热带农林学院, 海南 儋州 571737)

摘要: 为了改善木薯 (*Manihot esculenta*) 叶青贮品质, 本研究分析了单宁非光合酸对木薯叶青贮品质及营养成分的影响, 以确定青贮木薯叶最适合的单宁酸添加量。本研究以华南 7 号木薯幼嫩茎叶为原料进行青贮试验, 设对照组和添加 0.5%、1%、2% 的单宁酸处理组, 30 d 后分析木薯叶青贮饲料发酵品质、有氧稳定性以及主要营养成分含量。结果表明, 木薯叶直接青贮品质较差, 添加单宁酸处理可以提高青贮饲料的乳酸含量, 降低 pH 和丁酸含量 ($P < 0.05$), 提高有氧稳定性, 其中添加 1% 单宁酸处理组 pH 最低、乳酸含量最高、青贮评分最高; 同时可以提高粗蛋白 (crude protein, CP) 含量, 降低中性洗涤纤维 (neutral detergent fiber, NDF) 和酸性洗涤纤维 (acid detergent fiber, ADF) 含量 ($P < 0.05$), 提高了饲料相对值 (relative feed value, RFV), 其中添加 1% 单宁酸处理组 RFV 最高。因此, 添加单宁酸可以提高木薯叶青贮品质和有氧稳定性, 并提高营养价值。综合考虑, 推荐单宁酸适宜添加浓度为 1%。

关键词: 木薯叶; 青贮; 饲料; 单宁酸; 发酵品质; 有氧稳定性; 营养成分

中图分类号: S816.5⁺1 文献标志码: A 文章编号: 1001-0629(2019)06-1662-06

Effect of tannic acids on the fermentation quality and aerobic stability of cassava foliage

LI Mao^{1,2,3}, ZI Xuejuan⁴, DIAO Qiyu², HU Haichao¹, TANG Jun¹, ZHOU Hanlin¹

(1. Tropical Crops Genetic Resources Institute, Academician Workstation of Hainan Province, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences, Danzhou 571737, Hainan, China;

2. Key Laboratory of Feed Biotechnology, The Ministry of Agriculture and Rural Affairs of the People's Republic of China, Beijing 100081, China;

3. College of Animal Science and Technology, Northwest A&F University, Yangling 712100, Shaanxi, China;

4. Institute of Tropical Agriculture and Forestry, Hainan University, Danzhou 571737, Hainan, China)

Abstract: The objective of this study was to evaluate the effects of tannic acids on the fermentation quality, aerobic stability, and nutrient content of cassava (*Manihot esculenta*) foliage silage and to determine the optimal tannic acid addition rate. Experimental treatments included a control (CK) and three treatments of different tannic acid addition ratios (0.5%, 1%, 2% of fresh weight). Silos were opened after 30 days of ensiling and fermentation quality, aerobic stability, and chemical composition were analyzed. Results showed that the addition of tannic acids increased lactic acid content (LA), decreased pH

收稿日期: 2018-08-10 接受日期: 2018-10-30

基金项目: 国家重点研发计划课题 (2018YFD0501903); 农业农村部中央级公益性科研院所基本科研业务 (1630032018003、1630032019047、1630032017033、1630032016020); 农业农村部农业国际交流与合作项目 (SYZ2018-05); 农业农村部新饲料资源质量安全评价分析项目; 海南省重点研发计划 (ZDYF2019046); 海南省重大科技项目 (ZDKJ2016017); 农业农村部饲料生物技术重点实验室开放课题

第一作者: 李茂 (1984-), 男, 四川盐亭人, 副研究员, 在读博士生, 主要从事热带粗饲料与动物营养研究。E-mail: limao@163.com

通信作者: 字学娟 (1984-), 女 (彝族), 云南凤庆人, 副教授, 硕士, 主要从事草业科学教学与科研。E-mail: zixuejuan@163.com

共同通信作者: 周汉林 (1971-), 男, 湖北浠水人, 研究员, 硕士, 主要从事热带畜禽健康养殖研究。E-mail: zhouhanlin8@163.com

and butyric acid content ($P < 0.05$), and improved aerobic stability relative to the control. In the 1% addition treatment, pH was lower and LA content and silage scores were higher than in other treatments. Additionally, fiber content decreased ($P < 0.05$), and crude protein (CP) and relative feed value (RFV) of tannic acid treatments increased. We found that the RFV of the 1% addition treatment was significantly higher than in other treatments. In conclusion, tannic acid addition improves the fermentation quality, aerobic stability, and nutrient value of cassava foliage silage, and results suggest that a 1% tannic acid addition is the most appropriate treatment.

Keywords: cassava foliage; ensiling; feed; tannic acids; fermentation quality; aerobic stability; nutrient composition

Corresponding author: ZI Xuejuan E-mail: zixuejuan@163.com

ZHOU Hanlin E-mail: zhouhanlin8@163.com

木薯 (*Manihot esculenta*) 是我国南方热带地区重要的淀粉和生物能源作物^[1]。木薯叶是木薯生产的副产物, 年产量约 300 万 t^[2]。中国热带农业科学院热带饲料作物与特色畜牧产业技术创新团队前期研究发现木薯叶饲用价值很高, 可作为草食畜禽的优质粗饲料开发利用^[3-6]。由于木薯叶富含生氰糖苷, 实际生产中利用较少, 大量研究表明, 通过青贮可以降解饲草中的氢氰酸^[7-9]。通过青贮木薯叶既能脱毒生氰糖苷又能满足饲草均衡供应, 因此进行木薯叶青贮技术研究十分必要。有研究表明, 木薯叶含水量大、蛋白质含量高且碳水化合物含量较低, 这些特性导致其直接青贮品质较低, 因此有必要使用合适的青贮添加剂提高青贮发酵品质^[10]。单宁酸能够与蛋白质形成复合物, 抑制微生物的蛋白酶水解活性, 降低蛋白质分解, 还能够抑制微生物的氧化磷酸化, 影响微生物代谢, 具有杀菌作用^[11-13]。青贮时添加单宁酸能降低 pH, 改善青贮品质, 被应用于苜蓿 (*Medicago sativa*)、象草 (*Pennisetum purpureum*)、黑麦草 (*Lolium perenne*) 等青贮调制^[11-14]。单宁酸在木薯叶青贮中的应用还鲜有报道, 其作用效果尚不明确。本研究探讨添加不同水平的单宁酸对木薯叶青贮饲料青贮发酵品质、有氧稳定性以及化学成分的影响, 旨在为木薯叶饲料化利用提供理论依据。

1 材料与方 法

1.1 试验材料

试验材料为华南 7 号木薯幼嫩茎叶, 营养成分含量为干物质 16.11%, 粗蛋白质 17.33%, 粗脂肪 9.07%, 酸性洗涤纤维 36.59%, 中性洗涤纤维 45.83%。试验地点位于海南省儋州市的中国热带农

业科学院热带作物品种资源研究所畜牧实验基地。单宁酸由国药集团生产, 为分析纯试剂。

1.2 试验设计

对照组 (CK) 为直接青贮; 参考文献 [11-12] 中单宁添加水平并结合木薯叶饲料特性, 设置单宁酸添加水平为 0.5%、1%、2% (原料鲜重) 3 个处理, 分别记为 TA₁、TA₂、TA₃, 每个处理 3 个重复。

1.3 试验方法

1.3.1 青贮饲料的调制

木薯叶收获后用铡草机切短至 2 cm, 称取约 200 g 装入专用青贮袋中, 加入相应比例的单宁酸混匀, 用真空包装机抽气密封, 室温 (约 25 °C) 下保存 30 d 后开袋, 进行取样分析。

1.3.2 样品分析

木薯叶青贮前和开袋后分别取样, 在 65 °C 下烘干 48 h, 粉碎制样待测。营养成分分析: 干物质 (dry matter, DM) 采用烘干法测定, 粗蛋白 (crude protein, CP) 采用凯氏定氮法测定, 中性洗涤纤维 (neutral detergent fiber, NDF)、酸性洗涤纤维 (acid detergent fiber, ADF) 采用滤袋法, 具体参考张丽英^[15]的方法。饲料相对值 (relative feed value, RFV) 计算方法参照文献 [16], 公式: $RFV = (DMI \times DDM) / 1.29$, 其中 $DMI = 120 / NDF$, $DDM = 88.9 - 0.779ADF$ 。青贮品质分析: 取青贮饲料 20 g, 加入 80 mL 去离子水, 在 4 °C 下浸提 24 h, 经双层纱布和滤纸过滤, pH 用雷磁 PHS-3C 型 pH 计测定。乳酸、乙酸、丙酸、丁酸含量用岛津 LC-20A 型液相色谱仪测定, 测定条件参考张磊^[11]的方法, 青贮饲料评分参照刘建新^[17]的方法, 有氧稳定性测定参照刘秦华^[18]的方法。

1.4 数据分析

试验数据采用 SAS9.0 软件包和 Excel 软件进行处理和统计分析, 处理间采用邓肯氏 (Duncan) 多重比较检验, 用 SAS 程序对单宁酸水平与青贮发酵指标、营养成分进行线性、二次、三次相关分析, 显著水平为 $P < 0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 木薯叶青贮饲料品质

单宁酸处理组木薯叶青贮饲料的 pH 显著低于对照组 ($P < 0.05$), 其中 TA₂ 组最低, 但不同单宁酸处理之间差异不显著 ($P > 0.05$); 单宁酸处理组

木薯叶青贮饲料的乳酸含量高于对照组, 其中 TA₂ 组最高 ($P < 0.05$), 而对照组和 TA₁ 组、TA₃ 组乳酸含量无显著差异 ($P > 0.05$); TA₁ 组乙酸含量最高 ($P < 0.05$), 对照组乙酸含量最低, 而对照组和 TA₂ 组、TA₃ 组乙酸含量无显著差异 ($P > 0.05$); 丙酸含量对照组低于其他各组, 但各组间无显著差异 ($P > 0.05$); 3 个单宁酸处理组均未检出丁酸; 单宁酸处理组总酸含量显著高于对照组 ($P < 0.05$), 3 个单宁酸处理组间无显著差异 ($P > 0.05$) (表 1)。单宁酸处理与发酵品质指标无显著相关关系 ($P > 0.05$)。综上, 木薯叶添加单宁酸能提高乳酸、总酸含量, 降低青贮饲料 pH 和丁酸含量, 明显改善木薯叶青贮发酵品质。

表 1 添加单宁酸对木薯叶青贮饲料发酵品质的影响
Table 1 Effects of tannic acids on fermentation quality of cassava foliage

单宁酸添加量 Tannic acid addition	pH	乳酸 Lactic acid/%	乙酸 Acetic acid/%	丙酸 Propionic acid/%	丁酸 Butyric acid/%	总酸 Total acid/%
0(CK)	5.08 ± 0.05a	5.24 ± 0.22b	0.83 ± 0.08b	1.70 ± 0.22a	0.41 ± 0.04a	8.18 ± 0.43b
0.5%(TA ₁)	4.21 ± 0.12b	5.40 ± 0.14b	1.48 ± 0.10a	1.82 ± 0.25a	0.00b	8.71 ± 0.38a
1%(TA ₂)	4.04 ± 0.09b	6.02 ± 0.30a	0.97 ± 0.06b	1.74 ± 0.19a	0.00b	8.73 ± 0.27a
1.2%(TA ₃)	4.17 ± 0.20b	5.54 ± 0.11b	1.16 ± 0.13b	1.90 ± 0.18a	0.00b	8.60 ± 0.33a
<i>P</i>	< 0.01	< 0.05	< 0.05	> 0.05	< 0.01	< 0.05
Linear	> 0.05	> 0.05	> 0.05	> 0.05	> 0.05	> 0.05
Quad	> 0.05	> 0.05	> 0.05	> 0.05	> 0.05	> 0.05
Cubic	> 0.05	> 0.05	> 0.05	> 0.05	> 0.05	> 0.05

同列不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$); 数据计算基于干物质基础。下同。

Different lowercase letters within in the same column indicate significant differences between different treatments at the 0.05 level. Linear: linear responses of tannic acids addition. Calculations were based on dry matter, similarly for the following tables.

2.2 木薯叶青贮饲料评分

对照组乳酸、乙酸、丁酸的 Flieg 氏得分和总分均显著低于单宁酸处理组 ($P < 0.05$), 总分为 75.13, 等级为“良”, 表明对照组青贮品质较差; 3 个单宁酸处理组评分总分均显著高于对照组 ($P < 0.05$), 总分均高于 90, 等级为“优”, 表明单宁酸处理能提高木薯叶青贮品质, 不同浓度间青贮评分无显著差异 ($P > 0.05$) (表 2)。另外, 单宁酸处理对青贮评分均无线性、二次和三次相关 ($P > 0.05$)。

2.3 木薯叶青贮饲料有氧稳定性

木薯叶青贮饲料开封后 pH 逐渐上升, 其中 3 个单宁酸处理组上升缓慢, 对照组上升较快 (图 1)。各组有氧稳定的时间分别是对照组 72 h, TA₁ 组 144 h, TA₂ 和 TA₃ 组 216 h。单宁酸处理组的有氧

稳定性比对照组好, 其中 TA₂ 组 pH 一直维持在较低水平, 有氧稳定性最好。

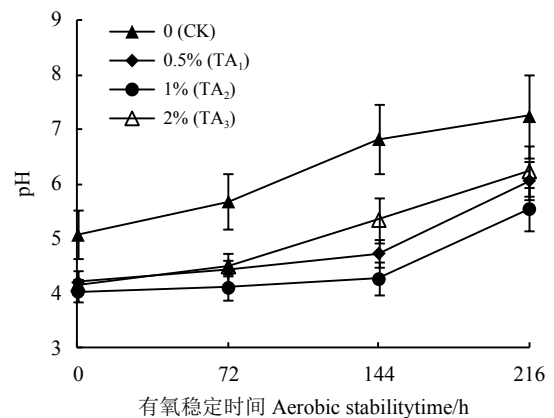


图 1 木薯叶青贮饲料的有氧稳定性
Figure 1 The aerobic stability of cassava foliage silage

表 2 木薯叶青贮 Flieg 氏青贮评分
Table 2 Flieg grades of cassava foliage silage

单宁酸添加量 Tannic acid addition	乳酸 Lactic acid	乙酸 Acetic acid	丁酸 Butyric acid	总分 Scores	等级 Grade
0(CK)	16.82 ± 2.14b	21.21 ± 1.72b	37.10 ± 2.77b	75.13 ± 1.33b	良 Good
0.5%(TA ₁)	22.13 ± 2.35a	24.65 ± 2.46a	49.63 ± 3.44a	96.41 ± 0.40a	优 Excellent
1%(TA ₂)	24.77 ± 1.88a	24.73 ± 2.69a	50.44 ± 4.12a	99.94 ± 0.65a	优 Excellent
1.2%(TA ₃)	25.08 ± 2.03a	25.20 ± 1.83a	49.71 ± 2.10a	100.00 ± 0.72a	优 Excellent
<i>P</i>	< 0.01	< 0.05	< 0.05	< 0.05	—
Linear	> 0.05	> 0.05	> 0.05	> 0.05	—
Quad	> 0.05	> 0.05	> 0.05	> 0.05	—
Cubic	> 0.05	> 0.05	> 0.05	> 0.05	—

2.4 木薯叶青贮饲料营养成分

对照组 DM 含量最低 ($P < 0.05$), TA₂ 组 DM 含量最高 ($P < 0.05$), TA₁ 组、TA₃ 组 DM 含量无显著差异 ($P > 0.05$); 对照组 CP 含量最低 ($P < 0.05$), TA₁ 组 CP 含量最高, 3 个单宁酸处理组间差异不显著 ($P > 0.05$); 对照组 NDF 和 ADF 含量最高 ($P <$

0.05), TA₂ 组 NDF 和 ADF 含量最低 ($P < 0.05$); 与对照组相比, 3 个单宁酸处理组均显著提高青贮饲料的 RFV 值 ($P < 0.05$), 其中对照组 RFV 值最低 ($P < 0.05$), TA₂ 组 RFV 值最高 ($P < 0.05$)(表 3)。单宁酸处理对 NDF 和 ADF 有线性相关 ($P < 0.05$), 无二次和三次相关 ($P > 0.05$)。

表 3 木薯叶青贮饲料营养成分含量
Table 3 Nutrition contents of cassava foliage silage

单宁酸添加量 Tannic acid addition	干物质 DM	粗蛋白质 CP	中性洗涤纤维 NDF	酸性洗涤纤维 ADF	饲料相对值 RFV
0(CK)	15.90 ± 1.20c	16.66 ± 1.70b	45.60 ± 1.38a	35.21 ± 2.25a	125.40 ± 5.36d
0.5%(TA ₁)	17.13 ± 0.67b	18.21 ± 1.54a	38.91 ± 4.42b	28.24 ± 2.91b	159.94 ± 8.21c
1%(TA ₂)	18.71 ± 1.25a	17.76 ± 1.31a	34.11 ± 3.69c	24.69 ± 2.13c	189.99 ± 7.13a
1.2%(TA ₃)	17.31 ± 1.02b	17.73 ± 0.97a	35.13 ± 2.58c	32.73 ± 2.17a	167.89 ± 7.70b
<i>P</i>	< 0.05	< 0.05	< 0.01	< 0.05	< 0.01
Linear	> 0.05	> 0.05	< 0.05	< 0.05	> 0.05
Quad	> 0.05	> 0.05	> 0.05	> 0.05	—
Cubic	> 0.05	> 0.05	> 0.05	> 0.05	—

DM: dry matter; CP: crude protein; NDF: neutral detergent fiber; ADF: acid detergent fiber; RFV: relative feed value.

3 讨论

3.1 添加单宁酸对木薯叶青贮品质和营养成分的影响

本研究中木薯叶直接青贮品质较差, pH 高于 5.0, 添加单宁酸青贮后饲料 pH 降至 4.20 以下, 与添加单宁酸的象草 (*Pennisetum purpureum*)、葛藤 (*Pueraria lobata*) 青贮效果一致^[11, 19]。有机酸是反映青贮饲料发酵品质的另一重要指标, 乳酸占有机

酸总量比值越大, 丁酸比值越小, 或者不含丁酸, 青贮饲料的品质越好^[17]。本研究中单宁酸处理提高了木薯叶青贮饲料乳酸含量, 呈现先增后降趋势, 与紫花苜蓿 (*Medicago sativa*)、木薯叶青贮中研究结果一致^[12-13]。而葛藤茎叶、豌豆 (*Pisum sativum*) / 小麦 (*Triticum aestivum*) 混合青贮中添加单宁酸处理组乳酸含量却低于对照组, 可能与原料特性和添加浓度有关^[19-20]。在本研究中单宁酸处理增加了乙酸含量, 苜蓿、象草和木薯青贮中均有相似结果^[11-12, 21],

其原因可能是发酵初期单宁酸延缓了乳酸发酵,使好氧微生物可利用底物较多,进而增加了乙酸含量。本研究中单宁酸处理组均未检出丁酸,与张磊^[11]、Syahniar等^[13]、杨冬梅等^[19]的结果相似。说明单宁酸对丁酸菌等梭菌有很好的杀灭作用,抑制好氧腐败作用显著。总之,单宁酸的添加降低了木薯叶青贮 pH,有利于乳酸生成,抑制丁酸产生,改善了青贮发酵品质。

本研究中添加单宁酸的木薯叶青贮饲料干物质和蛋白质损失降低,保留了较多的营养成分。前人在黑麦草(*Lolium perenne*)、象草、葛藤和木薯叶中添加单宁酸也增加了青贮饲料的 DM、CP 含量,与本研究结果相类似^[11, 13, 19, 22]。青贮过程中微生物除了消耗蛋白质外还需要消耗大量结构性碳水化合物,青贮原料中主要是以纤维成分形式存在,随着发酵进行,纤维成分随之降低。本研究中单宁酸处理降低了纤维成分含量,提高了木薯叶饲料营养价值, Syahniar 等^[13]也报道了类似的结果。而 Adesogan 等^[20]、Nascimento 等^[21]则发现单宁酸对纤维成分无显著影响,这可能与添加单宁酸的种类和结构不同,对微生物作用存在差异以及青贮原料纤维成分含量和结构差异有关,针对不同单宁酸对不同原料青贮效果,需要进一步研究。

3.2 添加单宁酸对木薯叶青贮饲料有氧稳定性的影响

青贮饲料开封后,暴露在空气中的有氧稳定性也是评价青贮饲料好坏的重要指标。本研究中单宁酸处理组有氧稳定性好于对照组,随着添加量增加,有氧稳定性有变差的趋势。张磊^[11]、Oliveira 等^[23]在象草和高粱(*Sorghum bicolor*)青贮中也发现了相似的结果。这说明单宁酸抑制了腐败微生物,如酵母菌和霉菌的生长繁殖,从而降低了对饲料营养物质的消耗利用,这可能与单宁酸与蛋白质的络合反应有关。另外,本研究中单宁酸处理组乙酸、丙酸含量均高于对照组,挥发性脂肪酸对好氧微生物可能也有一定的抑制作用,有利于提高青贮饲料有氧稳定性。

4 结论

木薯叶添加单宁酸青贮提高乳酸含量,降低 pH 值和丁酸含量,改善青贮发酵品质,提高有氧稳定性;还可以有效减少青贮过程干物质和蛋白质的损失,降低中性洗涤纤维和酸性洗涤纤维含量,提高木薯叶青贮饲料的饲料相对值。综合考虑青贮发酵品质、有氧稳定性和营养成分,推荐木薯叶青贮单宁酸适宜添加浓度为 1%。

参考文献 References:

- [1] 中国热带农业科学院.中国热带作物产业可持续发展研究.北京:科学出版社,2014.
CHINESE ACADEMY OF TROPICAL AGRICULTURAL SCIENCES. Research on Sustainable Development of Chinese Tropical Crops Industry. Beijing: Science Press, 2014.
- [2] 徐缓,林立铭,王琴飞,陈常女,张振文.木薯嫩茎叶饲料化利用品质分析与评价.饲料工业,2016,37(23):18-22.
XU H, LIN L M, WANG Q F, CHEN C N, ZHANG Z W. Analytic and evaluation of tender stalk and frondage on cassava. Feed Industry, 2016, 37(23): 18-22.
- [3] LI M, ZHOU H L, PAN X Y, XU T S, ZHANG Z W, ZI X J, JIANG Y. Cassava foliage affects the microbial diversity of Chinese indigenous geese caecum using 16S rRNA sequencing. *Scientific Reports*, 2017, 7: 45697.
- [4] 李茂,字学娟,徐铁山,周汉林.木薯叶粉对鹅生长性能和血液生理生化指标的影响. *动物营养学报*, 2016, 28(10): 3168-3174.
LI M, ZI X J, XU T S, ZHOU H L. Effects of cassava leaf meal on growth performance and blood physiological and biochemical indexes of geese. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2016, 28(10): 3168-3174.
- [5] 胡琳,王定发,李韦,周璐丽,李茂,周汉林.日粮中添加不同比例木薯茎叶对海南黑山羊生长性能、血清生化指标和养分表观消化率的影响. *中国畜牧兽医*, 2016, 43(12): 3193-3199.
HU L, WANG D F, LI W, ZHOU L L, LI M, ZHOU H L. Effects of different proportions of cassava stem and leaf in diets on growth performance, serum biochemistry index and nutrient apparent digestibility of hainan black goat. *China Animal Husbandry & Veterinary Medicine*, 2016, 43(12): 3193-3199.
- [6] 周璐丽,王定发,张振文,陈松笔.华南7号木薯茎叶营养价值评价. *热带作物学报*, 2016(12): 2245-2249.
ZHOU L L, WANG D F, ZHANG Z W, CHEN S B, ZHOU H L. Nutritional value of stems and leaves of *Manihot esculenta* Crantz

- cv. south China 7. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 2016(12): 2245-2249.
- [7] 冯巧娟,朱琳,吴安琪,张建国. 青贮时间和温度对木薯块根和叶发酵品质及氢氰酸含量的影响. *草业科学*, 2018, 35(5): 1293-1298.
FENG Q J, ZHU L, WU A Q, ZHANG J G. Effect of ensiling time and temperature on the fermentation quality and content of hydrocyanic acid in cassava roots and leaves. *Pratacultural Science*, 2018, 35(5): 1293-1298.
- [8] 田静,朱琳,董朝霞,王晓亚,张建国. 处理方法对木薯块根氢氰酸含量和营养成分的影响. *草地学报*, 2017, 25(4): 875-879.
TIAN J, ZHU L, DONG Z X, WANG X Y, ZHANG J G. Effects of treatment methods on the hydrocyanic acid content and nutrient composition of cassava roots. *Acta Agrestia Sinica*, 2017, 25(4): 875-879.
- [9] MAN N V, WIKTORSSON H. Effect of molasses on nutritional quality of cassava and *Gliricidia* tops silage. *Asian Australasian Journal of Animal Sciences*, 2002, 15(15): 1294-1299.
- [10] NAPASIRTH V, NAPASIRTH P, SULINTHON T, PHOMMACHANH K, CAI Y. Microbial population, chemical composition and silage fermentation of cassava residues. *Animal Science Journal*, 2015, 86(9): 842-848.
- [11] 张磊. 添加剂对象草和意大利黑麦草青贮发酵品质及有氧稳定性影响的研究. 南京: 南京农业大学博士学位论文, 2010.
ZHANG L. Study of effects of additives on Napier grass and Italian ryegrass fermentation quality and aerobic stability. PhD Thesis. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2010.
- [12] TABACCOE, BORREANIG, CROVETTO GM, GALASSI G, COLOMBOD, CAVALLARIN L. Effect of chestnut tannin on fermentation quality, proteolysis, and protein rumen degradability of alfalfa silage. *Journal of Dairy Science*, 2006, 89(12): 4736-4746.
- [13] SYAHNIAR T M, RIDLA M, JAYANEGARA A. Effects of glycerol and chestnut tannin addition in cassava leaves (*Manihot esculenta* Crantz) on silage quality and in vitro rumen fermentation profiles. *Journal of Applied Animal Research*, 2018, 46(1): 1207-1213.
- [14] GETACHEW G, PITTROFF W, PUTNAM D H, DANDEKAR A, GOYAL S, DEPETERS E J. The influence of addition of gallic acid, tannic acid, or quebracho tannins to alfalfa hay on in vitro, rumen fermentation and microbial protein synthesis. *Animal Feed Science & Technology*, 2008, 140(3): 444-461.
- [15] 张丽英. 饲料分析及饲料质量检测技术. 第3版. 北京: 中国农业大学出版社, 2007.
ZHANG L Y. Feed Analysis and Quality in Inspection Technology. The 3rd edition. Beijing: China Agricultural University Press, 2007.
- [16] ROHWEDER D A, BARNES R F, JORGENSEN N. Proposed hay grading standards based on laboratory analyses for evaluating quality. *Journal of Animal Science*, 1978, 47: 747-759.
- [17] 刘建新, 杨振海, 叶均安, 史占全, 吴跃明. 青贮饲料的合理调制与质量评定标准. *饲料工业*, 1999, 20(4): 3-5.
LIU J X, YANG Z H, YE J A, SHI Z Q, WU Y M. Reasonable processing and quality assessment standard for silage. *Feed Industry*, 1999, 20(4): 3-5.
- [18] 刘秦华, 张建国, 卢小良. 乳酸菌添加剂对王草青贮发酵品质及有氧稳定性的影响. *草业学报*, 2009, 18(4): 131-137.
LIU Q H, ZHANG J G, LU X L. The effects of lactic acid bacteria inoculation on the fermentation quality and aerobic stability of king grass silage. *Acta Prataculturae Sinica*, 2009, 18(4): 131-137.
- [19] 杨冬梅, 陶双伦, 梁静, 李俊年. 添加单宁酸对青贮葛藤茎叶品质的影响. *草地学报*, 2012, 20(4): 784-787.
YANG D M, TAO S L, LIANG J, LI J N. Effects of tannic acid additive on the quality of Kudzu stem and leaf silage. *Acta Agrestia Sinica*, 2012, 20(4): 784-787.
- [20] ADESOGAN A T, SALAWU M B. The effect of different additives on the fermentation quality, aerobic stability and in vitro digestibility of pea/wheat bi-crop silages containing contrasting pea to wheat ratios. *Grass & Forage Science*, 2002, 57(1): 25-32.
- [21] NASCIMENTO T V C, BEZERRA L R, MENEZES D R, LUCENA A R F, QUEIROZ M A Á, TRAJANO J S, OLIVEIRA R L. Condensed tannin-amended cassava silage: Fermentation characteristics, degradation kinetics and in-vitro gas production with rumen liquor. *Journal of Agricultural Science*, 2017, 156(1): 1-9.
- [22] SALAWU M B, ACAMOVIC T, STEWART C S, HVELPLUND. The use of tannins as silage additives: Effects on silage composition and mobile bag disappearance of dry matter and protein. *Animal Feed Science & Technology*, 1999, 82: 243-259.
- [23] OLIVEIRA S G D, BERCHIELLI T T, REIS R A, VECHETINI M E, MÁRCIO DOS SANTOS PEDREIRA. Fermentative characteristics and aerobic stability of sorghum silages containing different tannin levels. *Animal Feed Science & Technology*, 2009, 154: 1-8.

(责任编辑 武艳培)