

# 植物乳杆菌添加量对构树叶青贮品质的影响

赵娜<sup>1</sup> 樊启文<sup>1</sup> 魏金涛<sup>1\*</sup> 郭万正<sup>1</sup> 黄少文<sup>1</sup> 杜恩存<sup>1</sup>

陈芳<sup>1</sup> 张巍<sup>1</sup> 谭志平<sup>2</sup>

(1.湖北省农业科学院畜牧兽医研究所,动物胚胎工程及分子育种湖北省重点实验室,武汉 430064;2.湖北省恩施州巴东县信陵镇畜牧兽医服务中心,恩施 444399)

**摘要:** 本研究旨在探讨植物乳杆菌添加量对高水分构树叶青贮后发酵品质和营养价值的影响。本试验设7个组,分别为对照组(晾晒后的构树叶直接青贮)、试验第1~6组(新鲜构树叶中植物乳杆菌添加量分别为 $0$ 、 $1.00 \times 10^5$ 、 $5.00 \times 10^5$ 、 $2.50 \times 10^6$ 、 $1.25 \times 10^7$ 和 $6.25 \times 10^7$  CFU/g)。青贮60 d。结果表明:1)青贮30 d时,各组构树叶均有酸香味,第6组的感官评分显著高于其他各组( $P < 0.05$ );对照组和第1组的pH显著高于其他各组( $P < 0.05$ ),而乳酸含量显著低于其他各组( $P < 0.05$ );随着植物乳杆菌添加量增加,第1~6组的乳酸含量逐渐升高,pH逐渐降低;除第1组外其余各组均未检出含有丁酸;对照组的构树叶相对饲喂价值低于其他各组( $P < 0.05$ )。2)青贮60 d时,各组间感官评分差异不显著( $P > 0.05$ ),第1组出现了轻微臭味;植物乳杆菌高添加量组(第5和6组)构树叶青贮后的pH显著低于未添加组(对照组和第1组)( $P < 0.05$ );对照组和第1组的乳酸含量显著低于其他各组( $P < 0.05$ );第1组丁酸含量为 $0.19$  mg/kg,显著高于其他各组( $P < 0.05$ ),且随着植物乳杆菌添加量的上升,构树叶青贮后丁酸含量逐渐下降。与青贮30 d相比,青贮60 d各组pH下降不明显,相对饲喂价值均有所下降。综上所述,植物乳杆菌能促进高水分构树叶青贮成熟并提高其青贮品质,且随着其添加量的增加青贮品质更佳。构树叶青贮30 d即可达到较好青贮品质。

**关键词:** 植物乳杆菌;高水分;构树叶;青贮品质

**中图分类号:** S816

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1006-267X(2020)05-2298-08

构树(*Broussonetia papyrifera*)属于桑科(Moraceae),构属(*Broussonetia*)的多年生乔木,具有粗蛋白质和氨基酸含量丰富、粗脂肪含量较高、地域适应性强、种植简便、可规模化栽培等特点,2018年4月中国农业农村部将构树列入《饲料原料目录》。构树作为新型高蛋白质饲料原料在缓解我国畜牧业蛋白质饲料资源紧缺、改善畜产品风味、降低养殖成本等方面具有巨大潜力<sup>[1]</sup>。我国已通过传统杂交育种、太空搭载育种和现代分子生物学技术相结合培育出原创有自主知识产权的非转基因丰产型树种——杂交构101<sup>[2]</sup>。截止

到2018年底,仅杂交构树产业扶贫工程在全国种植构树累计达到 $4.49$ 万 $\text{hm}^2$ <sup>[3]</sup>。构树各部位尤其是构树叶的营养价值更为突出<sup>[4-6]</sup>,其粗蛋白质、中性洗涤纤维和酸性洗涤纤维含量优于苜蓿<sup>[7]</sup>。由于气候、加工机械、成本等因素制约,南方地区构树叶难以调制干草,导致其在养殖业的推广应用受到限制。青贮或发酵加工处理可提高构树饲用价值<sup>[8-9]</sup>,是构树饲料化的有效且简便的加工方式。构树青贮发酵调制后柔软多汁,适口性好,动物难以充分消化吸收的复杂蛋白质被降解为氨基酸、小肽等物质,消化吸收率有所提高<sup>[10]</sup>。有报

收稿日期:2019-11-21

基金项目:湖北省科技厅技术创新重大专项(2018ABA106);湖北省农业科技创新中心项目(2019-620-000-001-21)

作者简介:赵娜(1981—),女,河南驻马店人,助理研究员,硕士,主要从事饲料资源开发研究。E-mail: hnzona@sina.com

\* 通信作者:魏金涛,副研究员,E-mail: jintao001@163.com

道称,杂交构树青贮后饲喂山羊取得良好的生产效果<sup>[11-14]</sup>。青贮时加入乳酸菌,能促进单糖物质转化为乳酸,使物料 pH 迅速降低,促进青贮尽快进入成熟阶段。构树为较难青贮的原料,新鲜构树叶水分、粗蛋白质含量高,可溶性糖含量低,缓冲能值高<sup>[15]</sup>,因此常与稻草、玉米粉、糖蜜等混合青贮<sup>[16]</sup>,但是青贮后常出现丁酸含量高等问题<sup>[7]</sup>。物料含水量和添加乳酸菌对牧草青贮品质有重要影响,高水分构树叶青贮急需开展相关研究。本试验研究不同添加量的植物乳杆菌对构树叶青贮品质和饲用价值的影响,旨在建立构树叶高水分青贮技术,为调制优质构树青贮饲料提供依据,促进杂交构树的综合利用。

1 材料与方法

1.1 试验材料

研究选用的构树品种为杂交构 101,种植于湖

北省黄冈市浠水县。构树苗长至株高约 1.5 m 左右,人工摘取叶片。新鲜构树叶片含水量为 76.4%,构树叶经晾晒后含水量为 65.3%。

1.2 试验设计与青贮处理

试验设 7 个组,每组含有 8 个重复样本。对照组为构树叶经晾晒后青贮;第 1~6 组为试验组,在新鲜摘取的构树叶中分别添加不同量的植物乳杆菌( $0$ 、 $1.00\times 10^5$ 、 $5.00\times 10^5$ 、 $2.50\times 10^6$ 、 $1.25\times 10^7$  和  $6.25\times 10^7$  CFU/g)后青贮,各组处理情况详见表 1。

按照试验设计,对照组和第 1 组将晾晒后的或新鲜构树叶切碎揉丝后直接进行装袋,第 2~6 组称取切碎揉丝后的新鲜构树叶再根据添加量称取植物乳杆菌粉(活菌数为  $2\times 10^{12}$  CFU/g),将构树叶与菌粉多次搅拌混匀后分装 8 袋,每袋装 1 kg,层层压实,抽真空后密封,置室温下自然青贮 60 d。

表 1 试验设计与分组  
Table 1 Test design and group

项目 Item	对照组 CK group	第 1 组 Group 1	第 2 组 Group 2	第 3 组 Group 3	第 4 组 Group 4	第 5 组 Group 5	第 6 组 Group 6
处理 Treatment	晾干 构树叶	新鲜构树叶, 不添加植物 乳杆菌	新鲜构树 叶+ $1.00\times$ $10^5$ CFU/g 植物乳杆菌	新鲜构树 叶+ $5.00\times$ $10^5$ CFU/g 植物乳杆菌	新鲜构树 叶+ $2.50\times$ $10^6$ CFU/g 植物乳杆菌	新鲜构树 叶+ $1.25\times$ $10^7$ CFU/g 植物乳杆菌	新鲜构树 叶+ $6.25\times$ $10^7$ CFU/g 植物乳杆菌

1.3 样品采集

在青贮第 30、60 天每个组分别剪开 4 个青贮袋,随机取样约 100 g,请 6 位研究人员按照德国农业协会(DLG)<sup>[17]</sup>的青贮质量感官评定标准从色泽、气味、质地等方面对青贮构树叶进行感观评定。准确称取 10 g 青贮构树叶,加入 90 mL 蒸馏水,组织捣碎机捣 1.5 min,滤液用于测定 pH、有机酸含量。另采用四分法取青贮饲料样品 65 ℃烘干,粉碎后进行理化分析。

1.4 指标测定方法

水分、粗蛋白质、粗脂肪、粗灰分、有机质等含量参照张丽英<sup>[18]</sup>的方法测定;中性洗涤纤维和酸性洗涤纤维含量按照 Van Soest 等<sup>[19]</sup>的方法测定。用 PHS-3D 型 pH 计测定 pH。有机酸含量参照和立文<sup>[20]</sup>方法测定。参照 Rohweder 等<sup>[21]</sup>的方法计算干物质随意采食量(DMI)、可消化干物质(DDM)、相对饲喂价值(RFV)。

1.5 数据处理与分析

试验数据使用 Excel 2016 进行预处理,使用 SPSS 18.0 软件进行单因素方差分析,并采用 Duncan 氏法进行多重比较。结果以平均值±标准差表示, $P<0.05$  为差异显著。

2 结果与分析

2.1 不同植物乳杆菌添加量对构树叶青贮后感官品质的影响

由表 2 可知,各组构树叶青贮 30 d 后均有很强的酸香味,茎叶结构保持完整,质地柔软,颜色呈黄绿色;青贮 30 d 时,第 1 组的感官评分最低,第 6 组的感官评分显著高于其他各组( $P<0.05$ );青贮 60 d 时,第 1 组出现了轻微臭味,第 6 组的感官评分略有下降,其他各组的感官评分均有所上升,各组间感官评分差异不显著( $P>0.05$ )。

表 2 构树叶青贮后的感官品质

Table 2 Sensory quality of *Broussonetia papyrifera* leaves after silage

项目 Items	对照组 CK group	第 1 组 Group 1	第 2 组 Group 2	第 3 组 Group 3	第 4 组 Group 4	第 5 组 Group 5	第 6 组 Group 6	P 值 P-value
青贮 30 d Silage 30 d								
感官评价 Sensory evaluation	黄绿色, 酸香 味, 茎叶 结构良好	黄绿色, 酸 香味, 茎叶 结构良好	黄绿色, 酸 香味, 茎叶 结构良好	黄绿色, 酸 香味, 茎叶 结构良好	黄绿色, 酸 香味, 茎叶 结构良好	黄绿色, 酸 香味, 茎叶 结构良好	黄绿色, 酸 香味, 茎叶 结构良好	
评分 Score	15.50 ±2.18 <sup>bc</sup>	14.83 ±1.04 <sup>c</sup>	15.50 ±0.87 <sup>bc</sup>	15.92 ±1.23 <sup>bc</sup>	15.83 ±0.29 <sup>bc</sup>	16.83 ±2.25 <sup>b</sup>	18.92 ±0.88 <sup>a</sup>	0.037
青贮 60 d Silage 60 d								
感官评价 Sensory evaluation	黄绿色, 酸 味, 茎叶结 构良好	黄绿色, 酸 味, 略带丁 酸臭味, 茎叶 结构良好	黄绿色, 酸 香味, 茎叶 结构良好	黄绿色, 酸 香味, 茎叶 结构良好	黄绿色, 酸 香味, 茎叶 结构良好	黄绿色, 酸 香味, 茎叶 结构良好	黄绿色, 酸 香味, 茎叶 结构良好	
评分 Score	16.58 ±1.42	16.33 ±1.61	17.00 ±1.76	16.50 ±0.87	16.33 ±0.76	17.33 ±0.58	17.67 ±0.58	0.642

同行数据肩标不同字母表示差异显著 ( $P<0.05$ )。下表同。  
In the same row, values with different letter superscripts mean significant difference ( $P<0.05$ ). The same as below.

2.2 不同植物乳杆菌添加量对构树叶青贮后 pH 和有机酸含量的影响

由表 3 可知,青贮 30 d 时,对照组和第 1 组的 pH 显著高于其他各组 ( $P<0.05$ ),随着植物乳杆菌添加量增加,第 1~6 组的 pH 逐渐降低,第 6 组的 pH 显著低于其他各组 ( $P<0.05$ )。对照组和第 1

组的乳酸含量显著低于其他各组 ( $P<0.05$ );随着植物乳杆菌添加量增加,第 1~6 组的乳酸含量逐渐升高,第 6 组的乳酸含量显著高于其他各组 ( $P<0.05$ )。对照组的乙酸含量显著低于其他各组 ( $P<0.05$ )。第 3 和 4 组的丙酸含量显著高于其他各组 ( $P<0.05$ )。除第 1 组外其余各组均未检出丁酸。

表 3 构树叶青贮 30 d 后 pH 和有机酸含量

Table 3 pH and organic acid content on 30 days of *Broussonetia papyrifera* leaves silage

项目 Items	对照组 CK group	第 1 组 Group 1	第 2 组 Group 2	第 3 组 Group 3	第 4 组 Group 4	第 5 组 Group 5	第 6 组 Group 6	P 值 P-value
pH	5.63±0.08 <sup>a</sup>	5.67±0.25 <sup>a</sup>	5.36±0.05 <sup>b</sup>	5.34±0.06 <sup>b</sup>	5.31±0.08 <sup>b</sup>	5.02±0.06 <sup>b</sup>	4.65±0.10 <sup>c</sup>	0.043
乳酸 Lactic acid/ (mg/g)	7.47±1.70 <sup>c</sup>	7.14±1.33 <sup>c</sup>	10.43±2.03 <sup>b</sup>	11.16±0.89 <sup>b</sup>	11.09±0.56 <sup>b</sup>	11.27±2.28 <sup>b</sup>	14.55±1.09 <sup>a</sup>	<0.01
乙酸 Acetic acid/ (mg/g)	2.02±0.17 <sup>c</sup>	4.18±0.11 <sup>ab</sup>	3.48±0.40 <sup>b</sup>	4.33±0.23 <sup>a</sup>	4.37±0.48 <sup>a</sup>	3.12±0.42 <sup>b</sup>	3.12±0.55 <sup>b</sup>	0.030
丙酸 Propionic acid/ (mg/g)	0.04±0.01 <sup>bc</sup>	0.02±0.01 <sup>cd</sup>	0.02±0.01 <sup>cd</sup>	0.09±0.01 <sup>a</sup>	0.10±0.01 <sup>a</sup>	0.06±0.01 <sup>b</sup>	0.03±0.01 <sup>c</sup>	<0.01
丁酸 Butyric acid/ (mg/g)	ND	0.05±0.00	ND	ND	ND	ND	ND	

ND 未检出 Not detected。

由表4可知,青贮60 d时,随着植物乳杆菌添加量的上升,构树叶青贮后pH在逐渐下降。第6组pH为4.51,显著低于其他各组( $P<0.05$ );添加高剂量植物乳杆菌组(第5和6组)构树叶青贮后的pH显著低于未添加组(对照组和第1组)( $P<0.05$ );第4、5、6组的乳酸含量显著高于其他各组( $P<0.05$ ),对照组和第1组的乳酸含量显著低于其他各组( $P<0.05$ );对照组的乙酸含量显著低于

其他各组( $P<0.05$ );第1组丁酸含量显著高于其他各组( $P<0.05$ ),且随着植物乳杆菌添加量的上升,构树叶青贮后丁酸含量逐渐下降。与青贮30 d相比,各组的pH下降不明显;除第1组外,各组构树叶青贮过程中乙酸含量均有所增加,丙酸、丁酸含量增长缓慢。青贮构树叶中添加植物乳杆菌能更好地促进发酵进程。

表4 构树叶青贮60 d后pH和有机酸含量  
Table 4 pH and organic acid content on 60 days of *Broussonetia papyrifera* leaves silage

项目 Items	对照组 CK group	第1组 Group 1	第2组 Group 2	第3组 Group 3	第4组 Group 4	第5组 Group 5	第6组 Group 6	P值 P-value
pH	5.57±0.24 <sup>a</sup>	5.61±0.26 <sup>a</sup>	5.32±0.13 <sup>ab</sup>	5.33±0.18 <sup>ab</sup>	5.27±0.09 <sup>ab</sup>	5.03±0.11 <sup>b</sup>	4.51±0.02 <sup>c</sup>	0.042
乳酸 Lactic acid/ (mg/g)	8.19±0.27 <sup>c</sup>	6.19±0.72 <sup>d</sup>	10.02±2.17 <sup>b</sup>	10.33±1.12 <sup>b</sup>	13.82±2.01 <sup>a</sup>	13.42±2.91 <sup>a</sup>	13.28±2.27 <sup>a</sup>	<0.01
乙酸 Acetic acid/ (mg/g)	2.47±0.55 <sup>c</sup>	3.84±0.21 <sup>b</sup>	3.93±0.84 <sup>b</sup>	3.98±0.41 <sup>b</sup>	4.61±1.22 <sup>a</sup>	4.54±0.52 <sup>a</sup>	4.09±0.67 <sup>ab</sup>	0.035
丙酸 Propionic acid/ (mg/g)	0.15±0.03 <sup>a</sup>	0.09±0.03 <sup>b</sup>	0.10±0.02 <sup>ab</sup>	0.10±0.00 <sup>ab</sup>	0.14±0.03 <sup>a</sup>	0.10±0.01 <sup>ab</sup>	0.08±0.04 <sup>b</sup>	0.039
丁酸 Butyric acid/ (mg/g)	0.08±0.00 <sup>b</sup>	0.19±0.04 <sup>a</sup>	0.10±0.02 <sup>b</sup>	0.08±0.02 <sup>b</sup>	0.07±0.03 <sup>b</sup>	0.07±0.01 <sup>b</sup>	0.02±0.01 <sup>c</sup>	<0.01

2.3 不同植物乳杆菌添加量对构树叶青贮后营养品质的影响

由表5和表6可知,对照组构树叶青贮后粗蛋白质含量低于其他各组,中性洗涤纤维和酸性洗涤纤维含量则较高,添加植物乳杆菌组的中性洗涤纤维、酸性洗涤纤维含量都有所下降,但这种差异未达到显著水平( $P>0.05$ )。添加植物乳杆菌组构树叶的粗蛋白质含量比第1组高,但是这一趋

势也未达到显著水平( $P>0.05$ )。青贮30 d时,对照组的构树叶相对饲喂价值显著低于其他各组( $P<0.05$ ),第1~6组间的相对饲喂价值差异不显著( $P>0.05$ );青贮60 d时,第4、5、6组构树叶相对饲喂价值显著高于对照组和第1组( $P<0.05$ )。与青贮30 d相比,青贮60 d各组构树叶的相对饲喂价值均有所下降。

表5 构树叶青贮30 d后营养成分含量及饲喂价值(干物质基础)  
Table 5 Contents of nutrients and feeding value on 30 days of *Broussonetia papyrifera* leaves silage (DM basis)

项目 Items	对照组 CK group	第1组 Group 1	第2组 Group 2	第3组 Group 3	第4组 Group 4	第5组 Group 5	第6组 Group 6	P值 P-value
营养成分含量 Contents of nutrients/%								
粗蛋白质 CP	20.55 ±2.09	21.21 ±0.61	20.82 ±3.21	21.38 ±0.92	21.73 ±1.26	21.38 ±0.39	21.82 ±1.01	0.797
粗灰分 Ash	15.99 ±0.51	13.98 ±0.15	13.82 ±0.33	14.34 ±0.46	14.77 ±0.14	14.63 ±0.30	14.69 ±0.88	0.803

续表 5

项目 Items	对照组 CK group	第 1 组 Group 1	第 2 组 Group 2	第 3 组 Group 3	第 4 组 Group 4	第 5 组 Group 5	第 6 组 Group 6	P 值 P-value
有机物 OM	84.01 ±0.51	86.02 ±0.15	86.18 ±0.33	85.66 ±0.46	85.23 ±0.14	85.37 ±0.30	85.31 ±0.88	0.803
中性洗涤纤维 NDF	31.67 ±1.36	31.58 ±1.06	30.14 ±1.77	30.99 ±0.98	30.90 ±1.95	30.15 ±1.87	30.73 ±2.90	0.846
酸性洗涤纤维 ADF	14.56 ±2.08	14.43 ±0.58	13.29 ±0.63	14.13 ±1.81	13.05 ±0.94	13.18 ±0.63	12.79 ±0.18	0.223
干物质随意 采食量 DMI/% BW	3.79 ±0.17	4.07 ±0.26	3.99 ±0.23	3.87 ±0.12	3.89 ±0.25	3.99 ±0.24	3.93 ±0.37	0.857
可消化干物质 DDM/% DM	77.56 ±1.62	78.18 ±1.73	78.55 ±0.49	77.89 ±1.41	78.74 ±0.73	78.63 ±0.49	78.94 ±0.14	0.846
相对饲喂价值 RFV	228.09 ±10.04 <sup>b</sup>	246.31 ±10.55 <sup>a</sup>	242.90 ±12.72 <sup>a</sup>	233.98 ±8.73 <sup>ab</sup>	237.64 ±13.9 <sup>ab</sup>	243.18 ±13.42 <sup>a</sup>	240.33 ±22.40 <sup>a</sup>	0.046

表 6 构树叶青贮 60 d 后营养成分含量及饲喂价值 (干物质基础)

Table 6 Contents of nutrients and feeding value on 60 days of *Broussonetia papyrifera* leaves silage (DM basis)

项目 Items	对照组 CK group	第 1 组 Group 1	第 2 组 Group 2	第 3 组 Group 3	第 4 组 Group 4	第 5 组 Group 5	第 6 组 Group 6	P 值 P-value
营养成分含量 Contents of nutrients/%								
粗蛋白质 CP	20.81 ±2.46	21.54 ±3.64	22.13 ±2.03	21.32 ±1.22	21.89 ±0.26	21.57 ±0.28	22.34 ±1.13	0.347
粗灰分 Ash	14.32 ±1.23	14.10 ±0.89	14.07 ±0.12	14.87 ±0.37	14.77 ±0.11	14.64 ±0.28	14.49 ±0.53	0.904
有机物 OM	85.68 ±1.23	85.90 ±0.89	85.93 ±0.12	85.13 ±0.37	85.23 ±0.11	85.36 ±0.28	85.51 ±0.53	0.927
中性洗涤纤维 NDF	32.69 ±3.15	32.27 ±0.68	32.63 ±3.22	31.65 ±1.69	31.52 ±2.12	30.63 ±1.56	31.15 ±3.43	0.368
酸性洗涤纤维 ADF	14.96 ±1.74	15.43 ±0.88	14.14 ±0.73	14.65 ±1.58	13.38 ±2.07	13.59 ±1.88	13.22 ±1.72	0.104
干物质随意 采食量 DMI/% BW	3.69 ±0.36	3.72 ±0.08	3.70 ±0.35	3.80 ±0.20	3.82 ±0.25	3.92 ±0.20	3.88 ±0.41	0.732
可消化干物质 DDM/% DM	77.25 ±1.36	76.88 ±0.69	77.89 ±0.57	77.49 ±1.23	78.48 ±1.61	78.31 ±1.47	78.60 ±1.34	0.562
相对饲喂价值 RFV	220.98 ±18.02 <sup>b</sup>	221.68 ±6.65 <sup>b</sup>	223.30 ±19.52 <sup>ab</sup>	228.03 ±8.50 <sup>ab</sup>	232.47 ±19.66 <sup>a</sup>	238.30 ±14.85 <sup>a</sup>	236.81 ±28.80 <sup>a</sup>	0.048

3 讨 论

3.1 水分含量对构树叶青贮品质的影响

牧草中的含水量对青贮发酵品质有重要影响<sup>[22-23]</sup>。高水分青贮是将刈割的牧草不经过田间

晾晒干燥即进行贮存,具有作业简单、效率高、减少了气候影响和田间损失的优点,物料含水量一般大于 70%。高水分青贮往往不能获得高品质青贮料<sup>[24]</sup>。一般来讲,青贮原料的水分应该控制在 60%~70%<sup>[25]</sup>。如果青贮原料水分含量过高不利



于乳酸菌发酵,乳酸产生速率较低,pH下降缓慢,容易引起致病菌和腐败菌的生长繁殖,造成营养物质的大量损失,青贮品质较差<sup>[24,26]</sup>。本研究中,第1组新鲜构树叶青贮后感官评分较低,青贮30 d时有丁酸含量检出,青贮60 d时丁酸含量偏高,出现了轻微臭味的现象,可能是青贮时含水量偏高造成了异常发酵。对照组的构树叶经晾晒后降低了水分含量,青贮后感官评分和乳酸含量高于第1组,而乙酸、丁酸含量低于第1组,这说明较高的水分含量不利于构树叶的青贮发酵。

晾晒处理是牧草收割后降低含水量的简便方法,但易受气候条件制约,且晾晒过程中呼吸作用、光学作用均会造成原料中营养成分的大量流失<sup>[27-30]</sup>;本研究中对照组的晾干构树叶中的粗蛋白质含量低于新鲜构树叶组,而且相对饲喂价值也比较低主要就是这一原因造成的。

### 3.2 植物乳杆菌对构树叶青贮品质的影响

乳酸菌是青贮有益微生物菌群,饲草青贮时原料表面乳酸菌数量有限,青贮时加入乳酸菌制剂可提高青贮发酵初期乳酸菌基数,产生大量乳酸,迅速降低pH,促进青贮初期尽快进入乳酸发酵阶段。乳酸菌依其对糖发酵产酸的能力分为同型乳酸菌(代谢产物只有乳酸)和异型乳酸菌(代谢产物有乳酸,同时可分解利用乳酸生成乙醇和乙酸等)<sup>[31]</sup>;植物乳杆菌属于同型发酵乳酸菌,作为青贮添加剂可以促进饲草青贮成熟<sup>[32]</sup>。关皓等<sup>[33]</sup>研究表明,在75%水分条件下添加植物乳杆菌改善多花黑麦草青贮品质优于甲酸和布氏乳杆菌。刘晓婧等<sup>[34]</sup>也报道,杂交构树中添加植物乳杆菌青贮效果最好。本研究在构树叶中添加植物乳杆菌,提高了青贮后的乳酸含量和感官评分;植物乳杆菌高添加量组的乳酸含量高、丁酸含量较低,说明植物乳杆菌在青贮发酵过程中利用底物生成乳酸,大量的乳酸降低了青贮pH,抑制了产丁酸的微生物。司华哲等<sup>[35]</sup>报道,青贮时添加植物乳杆菌可以显著抑制多种挥发性脂肪酸如丙酸、正丁酸等的生成量,并提高乙酸生成量,这与本研究结果略有不同,本研究中第1组乳酸含量低、乙酸含量高,添加植物乳杆菌组乳酸含量升高但乙酸含量与第1组差别不大,说明除了添加的植物乳杆菌外,新鲜构树叶中还存在异型乳酸菌。陶兴无<sup>[36]</sup>曾报道,构树叶接种乳酸菌青贮可提高pH的下降速度,青贮料最终pH较低,品质更优,

这与本研究的结果是一致的。本研究中各组青贮后pH均在4.50以上,这是由于构树缓冲能值较高<sup>[34]</sup>,不利于pH降低导致的。

青贮过程中添加乳酸菌可加快发酵速度,同时有效抑制有害微生物的繁殖,减少各种好氧腐败菌繁殖对青贮干物质、粗蛋白质和水溶性碳水化合物化合物的损耗,降低乙酸和丁酸含量<sup>[32,37-38]</sup>,在同一含水量下,随乳酸菌添加量的增加,粗蛋白质含量增加,酸性洗涤纤维含量下降<sup>[39]</sup>。本研究中呈现了相似的规律,与第1组相比,添加植物乳杆菌组构树叶的粗蛋白质含量增加,酸性洗涤纤维含量下降,但是这一趋势未达到显著水平。

晾晒后的构树叶由于未添加有益微生物产生乳酸少,未能有效抑制有害菌对蛋白质的分解,造成蛋白质分解较强,青贮效果也不太好。

李君临等<sup>[39]</sup>曾报道,当含水量为74.70%时,添加乳酸菌组的青贮品质优于未添加组,且随着添加量的增加青贮品质更佳;刘秦华等<sup>[25]</sup>报道,乳酸菌在改善高、中水分王草的发酵品质上效果并不显著。本研究结果表明,含水量为76.4%的新鲜构树叶中添加植物乳杆菌比直接青贮效果佳。

## 4 结 论

植物乳杆菌能促进高水分构树叶青贮成熟并提高其青贮品质,且随着添加量的增加青贮品质更佳。构树叶青贮30 d即可达到较好青贮品质。

## 参考文献:

- [1] 杨富裕.木本草概念与产业发展[J].草学,2017(增刊):1-4.
- [2] 沈世华.揭秘杂交构树的身世[J].生命世界,2018(10):4-5.
- [3] 左鑫,陈哲,谢强,等.不同产地构树叶粉和构树枝叶粉营养成分及其鹅代谢能的测定[J].动物营养学报,2018,30(7):2823-2830.
- [4] 侯改凤,李瑞,陈达图,等.构树叶的生物学功能及其在畜禽生产中的应用[J].中国饲料,2013(12):11-13,17.
- [5] 屠焰,刁其玉,张蓉,等.杂交构树叶的饲用营养价值分析[J].草业科学,2009,26(6):136-139.
- [6] 姜富贵,成海建,刘栋,等.山东省杂交构树生产与应用现状的调查分析[J].山东农业科学,2019,51(8):138-142.
- [7] 彭皓,赵婉雨.杂交构树产业技术分析报告[J].高科

- 技与产业化,2019(4):48-66.
- [8] 陶兴无,柳志杰,张求学,等.构树叶发酵工艺及饲喂生长猪试验[J].武汉工业学院学报,2006,25(3):5-7.
- [9] 邳植,沈世华.构树作为新兴的蛋白饲料原料的研究[J].饲料工业,2018,39(11):23-28.
- [10] 成启明,贾玉山,李平,等.构树加工利用研究进展[J].草学,2018(1):1-6.
- [11] 司丙文,徐文财,郭江鹏,等.杂交构树青贮对杜寒杂交肉羊生产性能、血清指标及背最长肌脂肪酸组成的影响[J].畜牧兽医学报,2019,50(7):1424-1432.
- [12] 苏应玉,陈国顺,武宏斌,等.构树发酵饲料对荷斯坦奶牛产奶性能的影响[J].中国草食动物科学,2018,38(1):71-73.
- [13] 杨旸,杨嘉麟.构树作为青贮饲料投喂黑山羊的应用效果研究[J].畜禽业,2019,30(5):19.
- [14] 林萌萌,郑爱华,刘玉,等.青贮杂交构树替代蛋白饲料对肉羊粪污排放和表观消化率的影响[J].中国草食动物科学,2018,38(6):33-35.
- [15] 司丙文,徐文财,张小利,等.不同添加剂对杂交构树青贮发酵品质的影响[J].动物营养学报,2018,30(11):4670-4675.
- [16] 付锦涛,倪奎奎,杨富裕.添加不同比例稻草对构树青贮品质的影响[J].草学,2019(4):28-33.
- [17] 张子仪.中国饲料学[M].北京:中国农业出版社,2000.
- [18] 张丽英.饲料分析及饲料质量检测技术[M].4版.北京:中国农业大学出版社,2016.
- [19] VAN SOEST P J, ROBERTSON J B, LEWIS B A. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition[J]. Journal of Dairy Science, 1991, 74(10):3583-3597.
- [20] 和立文.全株玉米青贮品质评价及其对肉牛育肥性能和牛肉品质的影响[D].博士学位论文.北京:中国农业大学,2017.
- [21] ROHWEDER D A, BARNES R F, JORGENSEN N. Proposed hay grading standards based on laboratory analyses for evaluating quality[J]. Journal of Animal Science, 1978, 47(3):747-759.
- [22] 崔棹茗.农作物秸秆青贮饲料中耐低温乳酸菌的筛选、鉴定及验证研究[D].硕士学位论文.南京:南京农业大学,2015.
- [23] CHARMLEY E, WINTER K A, MCRAE K B, et al. Effect of inoculation on silage quality and performance of steers fed grass and cereal silages either alone or in combination[J]. Canadian Journal of Animal Science, 1996, 76(4):571-577.
- [24] 白史且,李平.中国南方牧草青贮进展[J].草学,2017(增刊):5-17,22.
- [25] 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[J].草业学报,2009,18(4):131-137.
- [26] 史卉玲,刘慧,马春晖.晾晒时间对初花期紫花苜蓿青贮发酵品质的影响[J].草业科学,2013,30(8):1278-1283.
- [27] 董宽虎,王常慧,牧原.干燥方法对苜蓿草粉营养价值的影响[J].草地学报,2003(4):334-337.
- [28] 杨苏茂,熊康宁,刘兴宜,等.晾晒方式对构树失水速率及饲用价值的影响[J].草业科学,2018,35(5):1170-1178.
- [29] COBLENTZ W K, COFFEY K P, YOUNG A N, et al. Storage characteristics, nutritive value, energy content, and *in vivo* digestibility of moist, large rectangular bales of alfalfa-orchardgrass hay treated with a propionic acid-based preservative[J]. Journal of Dairy Science, 2013, 96(4):2521-2535.
- [30] XU W, SHI S L, QI J, et al. Effect of different processing methods on the quality of alfalfa hay[J]. Journal of Animal and Veterinary Advances, 2013, 12(6):689-693.
- [31] SCHMIDT R J, EMARA M G, KUNG L, Jr. The use of a quantitative real-time polymerase chain reaction assay for identification and enumeration of *Lactobacillus buchneri* in silage[J]. Journal of Applied Microbiology, 2008, 105(3):920-929.
- [32] 司华哲,刘哈璐,南韦肖,等.不同发酵类型乳酸菌对低水分粳稻秸秆青贮发酵品质及有氧稳定性的影响[J].草地学报,2017,25(6):1294-1299.
- [33] 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.
- [34] 刘晓婧,张颖超,杨富裕.乳酸菌添加剂对3种典型木本饲料青贮效果的影响[J].饲料工业,2019,40(2):16-21.
- [35] 司华哲,李志鹏,南韦肖,等.添加植物乳杆菌对低水分稻秸青贮微生物组成影响研究[J].草业学报,2019,28(3):184-192.
- [36] 陶兴无.接种乳酸菌对构树叶青贮品质的影响[J].饲料研究,2005(12):25-27.
- [37] 庄益芬,安宅一夫,张文昌.生物添加剂和含水率对紫花苜蓿和猫尾草青贮发酵品质的影响[J].畜牧兽医学报,2007,38(12):1394-1400.

[ 38 ] 蔡义民,熊井清雄,廖芷,等.乳酸菌剂对青贮饲料发酵品质的改善效果[ J ]. 中国农业科学, 1995, 28 ( 2 ): 73-82.

[ 39 ] 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.

Effects of Addition Amount of *Lactobacillus plantarum* on Quality of *Broussonetia papyrifera* Leaves Silage

ZHAO Na<sup>1</sup> FAN Qiwen<sup>1</sup> WEI Jintao<sup>1\*</sup> GUO Wanzheng<sup>1</sup> HUANG Shaowen<sup>1</sup> DU Encun<sup>1</sup>  
CHEN Fang<sup>1</sup> ZHANG Wei<sup>1</sup> TAN Zhiping<sup>2</sup>

( 1. Hubei Key Laboratory of Animal Embryo Engineering and Molecular Breeding, Institute of Animal Science and Veterinary Medicine, Hubei Academy of Agricultural Sciences, Wuhan 430064, China; 2. Badong County Xinling Town Animal Husbandry and Veterinary Service Center, Enshi 444399, China)

**Abstract:** The purpose of this study was to investigate the effects of addition amount of *Lactobacillus plantarum* on the fermentation quality and nutritional value of high-moisture *Broussonetia papyrifera* leaves silage. In this experiment, 7 groups were set up, which were the control group ( CK group, directly silage of *Broussonetia papyrifera* leaves after drying ) and the test groups 1 to 6 ( the amount of *Lactobacillus plantarum* in the fresh *Broussonetia papyrifera* leaves were 0,  $1.00 \times 10^5$ ,  $5.00 \times 10^5$ ,  $2.50 \times 10^6$ ,  $1.25 \times 10^7$  and  $6.25 \times 10^7$  CFU/g ). Silage lasted for 60 d. The results showed as follows: 1 ) at silage 30 d, the leaves of each group had acidity and aroma. The sensory score of group 6 was significantly higher than that of other groups (  $P < 0.05$  ). The pH of the CK group and group 1 was significantly higher than that of other groups (  $P < 0.05$  ), but the lactic acid content was significantly lower than that of other groups (  $P < 0.05$  ). With the increase of the amount of *Lactobacillus plantarum*, the lactic acid content of groups 1 to 6 gradually increased, and the pH gradually decreased; except for group 1, no butyric acid was detected; the relative feeding value ( RVF ) of the CK group was lower than that of other groups (  $P < 0.05$  ). 2 ) At silage 60 d, there was no significant difference in sensory scores among groups (  $P > 0.05$  ), and slight odor appeared in group 1. The pH of the leaves of the *Lactobacillus plantarum* high addition groups ( groups 5 and 6 ) after silage was lower than that of the non-added groups ( CK group and group 1 ) (  $P < 0.05$  ); the lactic acid content of CK group and group 1 was significantly lower than that of the other groups (  $P < 0.05$  ); the content of butyric acid of group 1 was 0.19 mg/kg, which was significantly higher than that of the other groups (  $P < 0.05$  ). With the increase of the amount of *Lactobacillus plantarum*, the content of butyric acid gradually decreased after silage. Compared with silage 30 d, the pH of each group did not decrease significantly, and the RFV was decreased at silage 60 d. In summary, the addition of *Lactobacillus plantarum* can promote the silage maturation of the *Broussonetia papyrifera* leaves and improve the silage quality; the *Broussonetia papyrifera* leaves silage can be fermented and matured in 30 days. [ *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2020, 32 ( 5 ): 2298-2305 ]

**Key words:** *Lactobacillus plantarum*; high moisture; *Broussonetia papyrifera* leaves; silage quality

\* Corresponding author, associate professor, E-mail: jintao001@163.com