

水葫芦与玉米秸秆混合青贮的研究

庄益芬¹ 陈鑫珠² 廖惠珍¹ 张文昌^{1*}

(1. 福建农林大学动物科学学院, 福州 350002; 2. 华南农业大学农学院, 广州 510642)

摘要: 本试验旨在利用水葫芦(water hyacinth)调制出优质青贮。试验共分 24(2×3×4) 个处理, 每个处理 3 个重复, 以 2 种水分(约 40% 和 50%) 的原料, 按 3 种混合比例(晾晒后的水葫芦与玉米秸秆质量比分别为 9:1、8:2 和 7:3) 制成共 6 种原料混合物, 每种混合物中不添加或分别添加 2 mL/kg 绿汁发酵液、3 mL/kg 蚁酸和 3 mL/kg 四蚁酸铵后进行青贮。常温发酵 60 d, 测定青贮的 pH、氨态氮浓度以及乳酸、乙酸、丙酸和丁酸的含量。结果表明: 降低原料水分显著提高了青贮的 pH($P < 0.05$)、显著减少了乳酸生成($P < 0.05$); 随玉米秸秆比例的升高, 青贮 pH 有不同程度的下降; 3 种添加剂也都不同程度地改善了青贮品质。综合而言, 原料水分 50%、水葫芦与玉米秸秆混合比例 7:3, 并以绿汁发酵液作为添加剂的青贮的品质最优。

关键词: 水葫芦; 玉米秸秆; 混合青贮; 混合比例; 绿汁发酵液

中图分类号: S816.5⁺3

文献标识码: A

文章编号: 1006-267X(2011)09-1615-07

青贮饲料的研究一直备受关注^[1], 尤其是利用添加剂改善青贮发酵品质更是研究的热点。水葫芦(water hyacinth)繁殖生长迅速, 能在入侵区域很快形成单一的优势群体, 从而阻碍水上运输、破坏自然景观、污染水体、减少生物多样性。因此, 控制水葫芦蔓延倍受重视。在对其进行控制的同时, 如果能把其潜在的饲用价值开发出来, 就可以达到一举两得的效果。水葫芦的集中打捞、调制青贮是一条具有可行性的思路。但是, 水葫芦的水溶性碳水化合物短缺, 单独进行常规青贮 pH 难以降至 4.2 以下^[2], 必须采用混合青贮或添加剂青贮等特种青贮的方式。新鲜玉米秸秆的水溶性碳水化合物含量高, 易于青贮, 制作青贮饲料是种极佳利用方法。可见, 调制水葫芦玉米秸秆混合青贮, 既可以综合利用二者的优点, 做到取长补短, 有助于青贮调制, 既可扩大饲料资源, 又可减少环境的污染源。庄益芬等^[3] 在水葫芦中加入

30% 及以上的玉米秸秆调制水葫芦玉米秸秆混合青贮时, 其 pH 下降到了 4.0 以下。但迄今为止, 缺乏多种因素(原料水分、混合比例、添加剂等)对水葫芦玉米秸秆混合青贮品质影响的综合研究。绿汁发酵液是一种纯天然的生物性青贮添加剂, 其显著改善了青贮品质的报道颇多^[4-10]; 蚁酸和四蚁酸铵同属化学性青贮发酵抑制剂, 添加蚁酸^[11] 和四蚁酸铵^[12] 均能显著提高青贮水溶性碳水化合物的存留量。青贮原料水分会影响到发酵过程中乳酸菌的竞争^[13], 因此与青贮成败关系密切。本试验研究不同水分、不同水葫芦与玉米秸秆混合比例及不同添加剂对青贮品质的影响, 以及几种因素间的交互作用对青贮发酵品质的影响, 以期筛选出水分、混合比例和添加剂的最优组合, 为生产优质的水葫芦玉米秸秆混合青贮提供理论依据。

收稿日期: 2011-03-16

基金项目: 福建省教育厅科技项目(JK2009010)资助

作者简介: 庄益芬(1959—), 女, 内蒙古通辽人, 硕士, 教授, 主要从事青贮饲料品质调控研究。E-mail: yfzfz@163.com

* 通讯作者: 张文昌, 教授, 硕士生导师, E-mail: zwcfz@163.com

1 材料与amp;方法

1.1 试验材料

青贮原料:水葫芦为2008年7月3日从福建农林大学校园湖水中打捞的普通水葫芦(*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms.),去根只留叶片和叶柄;玉米秸秆为福建农林大学园艺学院实验基地种植的金菲玉米秸秆,2008年7月4日用镰刀刈割。利用日光晾晒,将2种新鲜原料分别晒制成2种水分的预干原料。

添加剂:绿汁发酵液参照大岛光昭等^[4]的方法利用金菲玉米秸秆制成;蚁酸为化学纯;四蚁酸铵用蚁酸和氨水配制。

1.2 试验设计

试验共分24(2×3×4)个处理,每个处理3个重复,以2种水分(约40%和50%)的原料,按3种混合比例(晾晒后的水葫芦与玉米秸秆质量比分别为9:1、8:2和7:3)制成共6种原料混合物,每种混合物中不添加或分别添加2 mL/kg绿汁发酵液、3 mL/kg蚁酸和3 mL/kg四蚁酸铵后进行青贮。

1.3 青贮调制

原料水分处理采用日光晾晒;晾晒后水葫芦和玉米秸秆分别切短成1~2 cm,分别混合均匀,按试验设计比例将2种原料充分混合,6种混合物,以600 g为单位装入一次性塑料袋中;用添加剂喷洒(对照组喷洒等体积的蒸馏水),充分混匀后装入容量1 L青贮塑料瓶内,填装、压实、密封。室温发酵60 d后开封,取样分析。

1.4 测定项目与方法

采集的样品65℃干燥48 h、回潮、粉碎。常规法^[14]测定水分和粗蛋白质(CP)含量;中性洗涤纤维(NDF)和酸性洗涤纤维(ADF)含量用文献^[15]中的方法测定;半纤维素(HC)含量为NDF与ADF含量之差;水溶性碳水化合物(WSC)含量用文献^[15]中的方法测定。以上指标均为干物质基础。

使用新鲜青贮的水浸提液测定青贮的pH、有机酸和氨态氮(NH₃-N)含量。pH用pHS-3D型酸度计测定;乳酸(lactic acid, LA)、乙酸(acetic acid, AA)、丙酸(propionic acid, PA)和丁酸(butyric acid, BA)含量测定参照Han等^[16]采用高效液相色谱法[色谱柱KC-811 column, Shodex, 日本岛津;柱温50℃;流速1 mL/min;210 nm处SPD检测器],结果以鲜重基础表示;NH₃-N含量采用苯

酚-次氯酸钠比色法^[17]测定,结果用100 g青贮饲料中的毫克数表示。

1.5 统计分析

采用SPSS 13.0统计软件进行方差统计分析。水分、混合比例、添加剂及两两间和三者间的交互作用对青贮品质的影响采用三因素方差分析;水分、混合比例及添加剂对青贮品质的影响(简单效应)使用单因素方差分析和Duncan氏法进行多重比较。以 $P < 0.05$ 和 $P < 0.01$ 作为差异显著和极显著的判断标准。

2 结果

2.1 青贮原料的常规营养成分

由表1的数据可计算得出:水分50%、混合比例为9:1、8:2和7:3的青贮原料混合物的水分含量分别是49.64%、50.13%和50.63%,WSC含量分别是8.24%、9.82%和11.40%;水分40%、混合比例为9:1、8:2和7:3的青贮原料混合物的水分含量分别是39.27%、39.93%和40.60%,WSC含量分别是7.76%、9.36%和10.95%。由此可知,原料混合物中的水分和WSC含量随玉米秸秆比例的提高而增加。

2.2 原料水分、混合比例和添加剂对青贮品质的影响

由表2可知,水分(除对NH₃-N浓度)、混合比例和添加剂对青贮品质的各指标均有极显著的影响($P < 0.01$);对水分、pH、乳酸、乙酸和丙酸含量的影响,水分与混合比例之间、水分与添加剂之间有极显著($P < 0.01$)或显著($P < 0.05$)的交互作用;对所有指标的影响,混合比例与添加剂均存在极显著的交互作用($P < 0.01$);在对pH、乳酸、乙酸和丙酸含量及NH₃-N浓度的影响上,水分、混合比例与添加剂三者间存在极显著($P < 0.01$)或显著($P < 0.05$)的交互作用。上述结果表明青贮的品质因水分、混合比例及添加剂的不同而有所差异,且三者之间相互影响。

2.2.1 原料水分对青贮品质的影响

所有处理均未产生丁酸,表明所有青贮的品质优良。由表2可知,与水分50%相比,水分40%的所有处理pH显著升高($P < 0.05$),乳酸(除混合比例8:2、四蚁酸铵处理)和丙酸含量较少,影响的程度有所差异。这表明降低原料水分,不利于青贮pH的下降和品质的提升。

表 1 青贮原料的常规营养成分(干物质基础)

Table 1 Common nutrient composition of ingredients for silage (DM basis)

%

项目 Items	水分 50% Moisture 50%		水分 40% Moisture 40%	
	水葫芦 Water hyacinth	玉米秸秆 Corn straw	水葫芦 Water hyacinth	玉米秸秆 Corn straw
实测水分 Measured moisture	49.15	54.07	38.61	45.23
水溶性碳水化合物 WSC	6.66	22.46	6.16	22.14
中性洗涤纤维 NDF	56.72	58.54	59.64	60.27
酸性洗涤纤维 ADF	27.17	28.04	28.98	27.87
半纤维素 HC	29.55	30.50	30.66	32.40
粗蛋白质 CP	15.56	9.10	16.88	10.24

表 2 原料水分、混合比例和添加剂对青贮品质的影响

Table 2 Effects of moisture and mixed ratio of ingredient and additives on the quality of silages

处理 Treatments			青贮品质指标 Indices of silages quality					
水分 Moisture/ %	混合比例 Mixed ratio	添加剂 Additive	实测水分 Measured moisture/%	pH	乳酸 LA/%	乙酸 AA/%	丙酸 PA/%	氨态氮 NH ₃ -N/ (mg/dg)
50	9:1		48.50 ±0.00 ^{Aza}	4.62 ±0.01 ^{Bxa}	0.91 ±0.11 ^{Aya}	0.00 ±0.00 ^b	0.18 ±0.01 ^{Ayb}	1.87 ±0.12 ^a
50	9:1	绿汁发酵液 FGJ	47.00 ±0.00 ^{Azb}	4.51 ±0.07 ^{Bxb}	0.95 ±0.11 ^{Aya}	0.10 ±0.01 ^{Axa}	0.16 ±0.06 ^{Azb}	1.38 ±0.18 ^{Byb}
50	9:1	蚁酸 FA	47.33 ±0.58 ^{Ayb}	4.53 ±0.02 ^{Bxb}	0.39 ±0.01 ^{Ab}	0.00 ±0.00 ^b	0.27 ±0.03 ^{Aya}	1.69 ±0.07 ^{Axa}
50	9:1	四蚁酸铵 FOR	47.33 ±0.29 ^{Azb}	4.52 ±0.04 ^{Bxb}	0.29 ±0.00 ^b	0.00 ±0.00 ^b	0.17 ±0.02 ^{Azb}	1.77 ±0.08 ^{Axa}
50	8:2		50.33 ±0.29 ^{Aya}	4.48 ±0.02 ^{Bya}	0.98 ±0.06 ^{Aya}	0.00 ±0.00 ^b	0.24 ±0.01 ^{Ay}	1.74 ±0.08 ^a
50	8:2	绿汁发酵液 FGJ	49.50 ±0.00 ^{Ayb}	4.37 ±0.04 ^{Byc}	1.10 ±0.09 ^{Aya}	0.10 ±0.01 ^{Axa}	0.24 ±0.0 ^y	1.58 ±0.01 ^{xb}
50	8:2	蚁酸 FA	49.83 ±0.76 ^{Axab}	4.42 ±0.01 ^{Byb}	0.29 ±0.08 ^b	0.00 ±0.00 ^b	0.26 ±0.02 ^y	1.25 ±0.07 ^{yc}
50	8:2	四蚁酸铵 FOR	50.00 ±0.00 ^{Ayab}	4.43 ±0.01 ^{Bxb}	0.22 ±0.01 ^b	0.00 ±0.00 ^b	0.25 ±0.04 ^{Ay}	1.25 ±0.03 ^{zc}
50	7:3		52.00 ±0.50 ^{Axa}	4.37 ±0.01 ^{Bza}	1.21 ±0.08 ^{Axb}	0.08 ±0.00 ^{Aa}	0.32 ±0.01 ^{xc}	1.88 ±0.10 ^a
50	7:3	绿汁发酵液 FGJ	50.50 ±0.00 ^{Axb}	4.25 ±0.06 ^{Bzb}	1.42 ±0.08 ^{Axa}	0.08 ±0.01 ^{Aya}	0.36 ±0.02 ^{Axb}	1.69 ±0.07 ^{Axab}
50	7:3	蚁酸 FA	51.17 ±0.76 ^{Axab}	4.30 ±0.01 ^{Bzb}	0.37 ±0.06 ^{Ac}	0.00 ±0.00 ^b	0.47 ±0.01 ^{Axa}	1.55 ±0.20 ^{xb}
50	7:3	四蚁酸铵 FOR	51.50 ±0.50 ^{Axa}	4.30 ±0.02 ^{Byb}	0.42 ±0.01 ^{Ac}	0.00 ±0.00 ^b	0.38 ±0.04 ^{Axb}	1.62 ±0.11 ^{yb}
40	9:1		39.67 ±0.76 ^{Bza}	5.67 ±0.04 ^{Axa}	0.30 ±0.01 ^{Ba}	0.00 ±0.00	0.07 ±0.00 ^{Byab}	1.95 ±0.17 ^{xa}
40	9:1	绿汁发酵液 FGJ	36.37 ±0.29 ^{Bzb}	5.49 ±0.02 ^{Axb}	0.31 ±0.04 ^{Ba}	0.00 ±0.00 ^B	0.08 ±0.00 ^{Bya}	1.73 ±0.05 ^{Axa}
40	9:1	蚁酸 FA	37.17 ±0.76 ^{Bzb}	5.22 ±0.17 ^{Axc}	0.13 ±0.01 ^{Bb}	0.00 ±0.00	0.03 ±0.02 ^{Byc}	1.47 ±0.15 ^{Bybc}

续表 2

处理 Treatments			青贮品质指标 Indices of silages quality					
水分 Moisture/ %	混合比例 Mixed ratio	添加剂 Additive	实测水分 Measured moisture/%	pH	乳酸 LA/%	乙酸 AA/%	丙酸 PA/%	氨态氮 NH ₃ -N/ (mg/dg)
40	9:1	四蚁酸铵 FOR	36.50 ±0.50 ^{Bzb}	5.45 ±0.03 ^{Axb}	0.13 ±0.01 ^b	0.00 ±0.00	0.04 ±0.01 ^{Bxbc}	1.42 ±0.12 ^{Byc}
40	8:2		41.00 ±1.00 ^{Bya}	5.54 ±0.10 ^{Aya}	0.27 ±0.02 ^B	0.00 ±0.00	0.03 ±0.02 ^{Byb}	1.63 ±0.02 ^{ya}
40	8:2	绿汁发酵液 FGJ	40.17 ±0.29 ^{Byab}	5.19 ±0.07 ^{Aybc}	0.30 ±0.03 ^B	0.00 ±0.00 ^B	0.22 ±0.01 ^{xa}	1.56 ±0.01 ^{ya}
40	8:2	蚁酸 FA	39.33 ±1.26 ^{Byb}	5.17 ±0.10 ^{Axc}	0.20 ±0.02	0.00 ±0.00	0.23 ±0.07 ^{xa}	1.30 ±0.05 ^{yb}
40	8:2	四蚁酸铵 FOR	40.17 ±0.29 ^{Bya}	5.35 ±0.07 ^{Ayb}	0.36 ±0.18	0.00 ±0.00	0.00 ±0.00 ^{Byb}	1.34 ±0.04 ^{yb}
40	7:3		46.00 ±0.50 ^{Bxa}	4.91 ±0.05 ^{Aza}	0.23 ±0.03 ^{Ba}	0.00 ±0.00 ^B	0.29 ±0.09 ^{xa}	1.85 ±0.02 ^{xa}
40	7:3	绿汁发酵液 FGJ	43.50 ±0.00 ^{Bxc}	4.66 ±0.04 ^{Azb}	0.22 ±0.02 ^{Ba}	0.00 ±0.00 ^B	0.27 ±0.05 ^{Bxa}	1.53 ±0.05 ^{yc}
40	7:3	蚁酸 FA	45.17 ±0.29 ^{Bxb}	4.73 ±0.07 ^{Ayb}	0.14 ±0.03 ^{Bb}	0.00 ±0.00	0.29 ±0.01 ^{Bxa}	1.70 ±0.01 ^{xb}
40	7:3	四蚁酸铵 FOR	45.33 ±0.29 ^{Bxb}	4.74 ±0.06 ^{Azb}	0.12 ±0.04 ^{Bb}	0.00 ±0.00	0.07 ±0.00 ^{Bxb}	1.74 ±0.02 ^{xb}
	水分 Moisture		* *	* *	* *	* *	* *	
	混合比例 Mixed ratio		* *	* *	* *	* *	* *	* *
	添加剂 Additive		* *	* *	* *	* *	* *	* *
	水分 × 混合比例 Moisture × mixed ratio		* *	* *	* *	* *	*	
交互 作用 Inter- action	水分 × 添加剂 Moisture × additive		* *	* *	* *	* *	* *	
	混合比例 × 添加剂 Mixed ratio × additive		* *	* *	* *	* *	* *	* *
	水分 × 混合比例 × 添加剂 Moisture × mixed ratio × additive			*	* *	* *	* *	* *

同一项目,相同混合比例和添加剂的数据肩标不同字母(A、B)、相同水分和添加剂的数据肩标不同字母(x、y、z)、相同水分和混合比例数据肩标不同字母(a、b、c)表示差异显著($P < 0.05$),相同或无字母肩标表示差异不显著($P > 0.05$)。

In the same item, values of the same mixed ratio and additive with different letter (A and B) superscripts, values of the same moisture and additive with different letter (x, y and z) superscripts and values of the same moisture and mixed ratio with different letter (a, b and c) superscripts mean significant difference ($P < 0.05$), while with the same or no letter superscripts mean no significant difference ($P > 0.05$).

2.2.2 原料混合比例对青贮品质的影响

由表 2 可知,2 种水分的青贮有一致性变化规律,即:随玉米秸秆比例增加,发酵后的水分上升、pH 下降,并且均在混合比例为 7:3 时丙酸含量最高。不一致的是:水分 50% 的青贮中,添加绿汁发酵液和无添加剂的青贮乳酸含量随玉米秸秆的增多有增加的趋势;而水分 40% 青贮中,混合比例对

乳酸含量无显著影响($P < 0.05$),但添加绿汁发酵液、混合比例 9:1 中的青贮 NH₃-N 浓度显著高于其他 2 种混合比例的青贮($P < 0.05$),无添加剂、添加蚁酸和四蚁酸铵的青贮在混合比例 8:2 中时最低。可见,水分 50% 的青贮中,混合比例 7:3 青贮的品质较优;水分 40% 的青贮中,混合比例 8:2 和 7:3 的青贮品质优于混合比例 9:1。

2.2.3 添加剂对青贮品质的影响

由表 2 可知,相同水分和混合比例青贮中,无添加剂的青贮水分、pH 和 $\text{NH}_3\text{-N}$ 浓度均呈最高值;与无添加剂青贮相比,添加绿汁发酵液、蚁酸和四蚁酸铵的青贮 pH 均显著降低 ($P < 0.05$);在所有添加绿汁发酵液的青贮中, $\text{NH}_3\text{-N}$ 浓度不同程度的减少,除水分 40%、混合比例 8:2 外水分显著降低 ($P < 0.05$),在水分 50%、混合比例 7:3 的青贮乳酸含量显著提高 ($P < 0.05$);在所有添加蚁酸和四蚁酸铵的青贮中,除水分 40%、混合比例 8:2 外乳酸含量均显著减少 ($P < 0.05$),除水分 50%、混合比例 9:1 外 $\text{NH}_3\text{-N}$ 浓度均显著减少 ($P < 0.05$);此外,除水分 40%、混合比例 8:2 外,添加绿汁发酵液的青贮乳酸含量显著高于添加蚁酸或四蚁酸铵 ($P < 0.05$);在水分 50% 和混合比例 9:1、水分 50% 和混合比例 7:3、水分 40% 和混合比例 8:2 以及水分 40% 和混合比例 7:3 的处理中,添加四蚁酸铵的青贮丙酸含量显著低于添加蚁酸 ($P < 0.05$);在水分 40% 和混合比例 9:1、水分 40% 和混合比例 8:2 的处理中,添加四蚁酸铵的青贮 pH 显著高于添加蚁酸 ($P < 0.05$)。

所有青贮中,水分 50%、混合比例 7:3 和绿汁发酵液的青贮 pH 最低、乳酸含量最高,水分 50%、混合比例 8:2 和蚁酸以及水分 50%、混合比例 8:2 和四蚁酸铵的 2 种青贮 $\text{NH}_3\text{-N}$ 浓度最低。

3 讨论

本试验中水分、混合比例和添加剂 3 个因素对青贮品质均有显著的影响,并且任两两间及三者间均存在显著的交互作用,提示兼顾 3 个因素及相互影响,可选择出水分、混合比例和添加剂的最优组合,有利于指导生产。

3.1 水分对青贮品质的影响

原料适宜的水分是青贮乳酸发酵的重要条件。水分过高会引起酪酸菌等不良微生物的繁殖,致使青贮品质不良甚至腐烂。适度地降低水分,可有效抑制青贮的不良发酵,有利于调制优良青贮。本试验所设的 2 种原料水分均为低水分青贮范畴^[18],所有青贮均无丁酸产生。表明植物细胞的呼吸和不良微生物的繁殖作用得到了有效抑制。与水分 50% 相比,水分 40% 的相对应混合比例和添加剂的青贮的 pH 普遍升高,而乳酸普遍降低。这表明水分 40% 青贮因原料水分的进一步降

低,也在一定程度上抑制了乳酸菌的繁殖发酵。当原料干物质含量高于 45% 时,乳酸菌的繁殖率、代谢能力会明显减弱^[13]。本试验原料的干物质含量均高于 45%,这是所有青贮 pH 未能下降到 4.2 的主要原因。

3.2 混合比例对青贮品质的影响

本试验结果表明随青贮中玉米秸秆比例的增加,相同的水分和添加剂的青贮 pH 均呈降低趋势,水分 50%、无添加或添加绿汁发酵液的青贮乳酸含量有增多的趋势。提示在这 2 种水分基础上,WSC 含量对青贮品质仍然是很重要的。WSC 是青贮中乳酸菌繁殖发酵的基质,在一定范围内提高青贮原料 WSC 含量,可确保乳酸菌快速地、大量地形成乳酸,促使 pH 迅速下降,有效地抑制不良发酵和蛋白质的降解,提高青贮的品质和成功率^[2,19]。

3.3 添加剂对青贮品质的影响

本试验中,无添加剂的 pH、水分和 $\text{NH}_3\text{-N}$ 浓度均呈最高值。与此相比,添加绿汁发酵液则不同程度的降低了青贮 pH、水分和 $\text{NH}_3\text{-N}$ 浓度,特别是在水分 50%、混合比例 7:3 的青贮中,它的添加还显著提高了乳酸含量,这同诸多已有研究结果一致^[10,13,20-21]。当青贮原料 WSC 充足时,绿汁发酵液作为乳酸发酵的启动因子^[8],在青贮发酵初期能使乳酸菌快速地、旺盛地繁殖,产生大量乳酸,加快 pH 的下降,有效抑制不良微生物的活动,显著提高青贮品质。此外,在乳酸产量的提高和 pH 下降的效果上,绿汁发酵液优于其他 2 种添加剂,证实了绿汁发酵液具有更高的乳酸发酵有效性^[9]。蚁酸在显著降低了除水分 40%、混合比例 8:2 外的青贮乳酸含量的同时,还显著降低了青贮 pH 以及除水分 50%、混合比例 9:1 外的青贮 $\text{NH}_3\text{-N}$ 浓度。这与常规的青贮变化规律不同,常规青贮往往是在提高乳酸含量的条件下才能降低 pH 和 $\text{NH}_3\text{-N}$ 浓度。但在增子孝義等^[22-23]和郭金双等^[24]的试验中也得到了类似的结果,增子孝義等^[22-23]报道在青贮中添加蚁酸降低了青贮 pH、减少了乳酸和酪酸以及 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的产量,得出充足的蚁酸可抑制青贮原料的自然发酵。四蚁酸铵能抑制真菌、霉菌等生长,是一种较理想的青贮保鲜剂^[25]。Cai 等^[12]证实了四蚁酸铵可抑制玉米青贮好气菌的不良发酵。在水分 50% 的 3 种混合比例青贮中,添加四蚁酸铵与蚁酸除在混合比例 9:1 和

混合比例 7:3 中的丙酸上有显著差异外,在其他项目上均无显著差异,即青贮品质基本相同。这 2 种添加剂同属发酵抑制剂,它们均可有效抑制青贮的自然发酵,甚至在一定程度上抑制了乳酸菌发酵。作用效果是在减少青贮乳酸产生的同时也会减少抗 pH 下降产物的产生。但是,添加四蚁酸铵与蚁酸在水分 40% 的 3 种混合比例的青贮中,在丙酸含量上有显著差异,在混合比例 9:1 和 8:2 中的 pH 为添加四蚁酸铵的青贮显著高于添加蚁酸。这 2 种添加剂的化学性质不同,它们抑制青贮自然发酵的作用效果受原料水分、混合比例的影响也会不同。

综合而言,在青贮的 pH、乳酸含量 2 个指标上,以水分 50% 混合比例 7:3 绿汁发酵液的效果最好。原料适宜的水分和充足的 WSC 含量是青贮乳酸发酵的重要条件。提示绿汁发酵液作为乳酸发酵的启动因子,要在适宜水分和充足 WSC 含量的条件下才能发挥最佳的有效性,水分过高或过低以及 WSC 含量不足均无法保证绿汁发酵液的添加效果。此外,同水分 50%、混合比例 7:3 中添加蚁酸和四蚁酸铵与绿汁发酵液的 pH 无显著差异。这说明蚁酸、四蚁酸铵与绿汁发酵液在水分 50%、混合比例 7:3 的青贮中对 pH 的影响一致。水分 50%、混合比例 8:2 和蚁酸处理以及水分 50%、混合比例 8:2 和四蚁酸铵处理的 $\text{NH}_3\text{-N}$ 浓度最低、与水分 40%、混合比例 8:2 和蚁酸处理以及水分 40%、混合比例 8:2 和四蚁酸铵处理的差异不显著。 $\text{NH}_3\text{-N}$ 浓度越低,说明被不良发酵和植物呼吸作用分解的蛋白质越少,青贮的品质越好,营养价值也越高。也说明蚁酸和四蚁酸铵在 2 种水分、混合比例 8:2 的青贮中对不良发酵和植物呼吸的抑制作用较强。另外,如果玉米秸秆水分过低,外皮坚硬、内部松软,在青贮装填时则不利于空气排除^[3],混合比例 7:3 较其他 2 种混合比例的青贮的玉米秸秆多,青贮装填时设备中残留空气相对较多,对不良发酵和植物呼吸的抑制作用相对较差。综合考察得出:原料水分 50%、水葫芦与玉米秸秆混合比例 7:3,并以绿汁发酵液作为添加剂的青贮的品质最优。

4 结 论

- ① 水分 50% 青贮的品质优于水分 40% 青贮。
- ② 随玉米秸秆比例的增加,青贮 pH 有显著

降低的趋势。

③ 绿汁发酵液、蚁酸和四蚁酸铵对改善青贮品质均有显著效果。

④ 本试验条件下,原料水分 50%、水葫芦与玉米秸秆混合比例 7:3,并以绿汁发酵液作为添加剂的青贮的品质最优。

参考文献:

- [1] 韩吉雨,侯先志,杨凯,等. PCR-DGGE 方法分析内蒙古不同地区青贮玉米中乳酸菌群多样性[J]. 动物营养学报,2009,21(6):974-981.
- [2] 庄益芬,张文昌,陈鑫珠,等. 绿汁发酵液、纤维素酶及其混合物对水葫芦青贮品质的影响[J]. 中国农学通报,2008,24(5):35-38.
- [3] 庄益芬,张文昌,陈鑫珠,等. 混合比例对水葫芦与玉米秸秆混合青贮效果的影响[J]. 中国农学通报,2010,26(18):32-34.
- [4] 大島光昭,木村英司,横田浩臣,等. 搾汁発酵液あるいは乳酸菌の添加がアルファルファサイレージの品質に及ぼす影響[J]. 日本草地学会誌,1996,42:280-281.
- [5] OHSHIMA M, OHSHIMA Y, KIMURA E, et al. Fermentation quality of alfalfa and Italian ryegrass silages treated with previously fermented juices prepared from both the herbage [J]. *Animal Science and Technology*, 1997, 68(1):41-44.
- [6] OHSHIMA M, KIMURA E, YOKOTA H. A method of making good quality silage from direct cut alfalfa by spraying previously fermented juice [J]. *Animal Feed Science and Technology*, 1997, 66(1):129-137.
- [7] OHSHIMA M, CAO L M, KIMURA E, et al. Influence of addition of previously fermented juice to alfalfa ensiled at different moisture contents [J]. *Grassland Science*, 1997, 43(1):56-68.
- [8] 田瑞霞,安渊,梁金凤,等. 添加剂对紫花苜蓿青贮品质的影响[J]. 中国草地,2005,27(4):10-14.
- [9] 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.
- [10] BAI C S, YU Z, WANG C J. Effects of different additives on the fermentation quality of alfalfa silage [J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2009, 21(5):755-762.
- [11] HENDERSON A R, ANDERSON D H, NEILSON D, et al. The effect of a high rate of application of formic acid during ensilage of ryegrass on silage dry matter intake of sheep and cattle [J]. *Animal Production*, 1986, 48:663-664.

- [12] CAI Y M, OGAWA M H. Effect of ammonium tetraformate on the aerobic deterioration of corn silage [J]. *Grassland Science*, 1998, 44(1):90-92.
- [13] 张涛,崔宗均,高丽娟,等. 绿汁发酵液和乳酸菌剂 MMD3 在不同含水率苜蓿青贮中的添加试验[J]. 中国农业大学学报,2004,9(5):32-37.
- [14] 杨胜. 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,1993:19-33.
- [15] 森本宏. 家畜荣养实验法[M]. 东京:養賢堂発行,1971.
- [16] HAN K J, COLLINS M, VANZANT E S, et al. Bale density and moisture effects on alfalfa round bale silage[J]. *Crop Science*, 2004, 44(3):914-919.
- [17] BRODERICA G A, KANG J H. Automated simultaneous determination of ammonia and amino acids in ruminal fluid and *in vitro* media[J]. *Journal of Dairy Science*, 1980, 33:64-75.
- [18] 王成章,王恬. 饲料学[M]. 北京:中国农业大学出版社,2003.
- [19] 庄益芬,张文昌,张丽,等. 添加剂对水葫芦青贮品质的影响[J]. 中国农学通报,2007,23(9):32-35.
- [20] MASUKO T, KODAMA I, OHTA N. Effects of addition of formic acid or mixture of bacterial inoculant and enzyme on fermentation of orchardgrass (*Dactylis glomerata* L.), timothy (*Phleum pratense* L.) and alfalfa (*Medicago sativa* L.) silages [J]. *Grassland Science*, 1996, 42(1):L3-L9.
- [21] 大島光昭,曹力曼,木村英司,等. 前发酵液的添加が水分含量の異なるアルファルファサイレージの品質に及ぼす影響[J]. 日本草地学会誌,1997,43(1):56-58.
- [22] 増子孝義,藤田希,円井更織,等. 蟻酸、乳酸菌製剤および乳酸菌製剤と酵素剤の混合物の添加が無予乾グラスサイレージの発酵品質に及ぼす影響[J]. 日本草地学会誌,1997,43(3):278-287.
- [23] 増子孝義,円井更織,藤田希,等. 蟻酸、乳酸菌製剤および乳酸菌製剤と酵素剤の混合物の添加が予乾グラスサイレージの発酵品質に及ぼす影響[J]. 日本草地学会誌,1999,44(3):347-355.
- [24] 郭金双,赵广永,冯仰廉,等. 甲酸对大麦青贮品质及中酸性洗涤纤维瘤胃降解率的影响[J]. 中国畜牧杂志,2000,36(6):21-22.
- [25] 杨庆武,赵吉生,张星,等. 利用四甲酸铵青贮饲料进行奶牛饲喂试验[J]. 山东畜牧兽医,2002,23(6):3.

Use of Mixed Silage of Water Hyacinth and Corn Straw as Feed Sources

ZHUANG Yifen¹ CHEN Xinzhu² LIAO Huizhen¹ ZHANG Wenchang^{1*}

(1. College of Animal Science, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China;

2. South China Agriculture University, Guangzhou 510642, China)

Abstract: The study was conducted to produce high quality silage with water hyacinth. It consisted of 24 (2 × 3 × 4) treatments with 3 replicates in each, six kinds of mixture were made from ingredients with two moistures (about 40% and 50%) according to three mixed ratios (mass of water hyacinth and corn straw after dried in the sun were 9:1, 8:2 and 7:3). After supplemented with no additive, 2 mL/kg fermented green juice, 3 mL/kg formic acid and 3 mL/kg foraform, respectively, the mixture were fermented. The fermentation lasted for 60 d in normal temperature. Silages were determined for pH, ammoniacal nitrogen (NH₃-N) concentration, contents of lactic acid, acetic acid, propionic acid and butyric acid. The results showed as follows: the decreasing of moisture of ingredients significantly increased the pH ($P < 0.05$), but significantly decreased the production of lactic acid ($P < 0.05$) in silages; with the increasing of corn straw's rate, the pH of silage decreased at different levels; supplementation of the three additives also improved the quality of silages in varying degrees. In conclusion, the mixed silage with 50% moisture, 7:3 mass ratios of water hyacinth to corn straw and supplemented with 2 mL/kg fermented green juice has the best silage quality. [*Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2011, 23(9):1615-1621]

Key words: water hyacinth; corn straw; mixed silage; mixed ratio; fermented green juice