

引用格式:

曹欣, 吴康乐, 李慧, 向佐湘, 肖润林, 张志飞. 添加葡萄糖对绿狐尾藻与麦麸混合青贮品质的影响[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2022, 48(6): 718–722.

CAO X, WU K L, LI H, XIANG Z X, XIAO R L, ZHANG Z F. Effect of glucose addition on the quality of mixed silage of *Myriophyllum elatinoides* and wheat bran[J]. Journal of Hunan Agricultural University(Natural Sciences), 2022, 48(6): 718–722.

投稿网址: <http://xb.hunau.edu.cn>



添加葡萄糖对绿狐尾藻与麦麸混合青贮品质的影响

曹欣¹, 吴康乐¹, 李慧¹, 向佐湘¹, 肖润林², 张志飞^{1*}

(1.湖南农业大学农学院, 湖南 长沙 410128; 2.中国科学院亚热带农业生态研究所, 湖南 长沙 410125)

摘 要:以鲜质量比 7 : 3 的绿狐尾藻和麦麸为原料混合青贮, 分别添加 0%、2%、4%、6% 的葡萄糖, 固定添加植物乳杆菌, 测定混合青贮饲料的发酵品质、营养品质及有氧稳定性。结果表明: 添加葡萄糖能显著($P < 0.05$)降低混合青贮饲料的 pH 值和氨态氮与总氮质量分数之比, 显著($P < 0.05$)提高乳酸质量分数, 降低丁酸质量分数, 改善青贮发酵品质; 显著($P < 0.05$)降低粗蛋白和粗纤维质量分数, 且显著($P < 0.05$)提高相对饲用价值; 当葡萄糖添加量为 4% 时显著($P < 0.05$)降低中性洗涤纤维和酸性洗涤纤维质量分数; 添加 0%、2%、4%、6% 葡萄糖处理的有氧稳定性分别为 >360、226、>360、62 h。综合评价结果显示, 鲜质量比 7 : 3 的绿狐尾藻和麦麸混合青贮中添加 2% 葡萄糖, 混合青贮有更好的发酵品质和营养品质及有氧稳定性。

关 键 词: 绿狐尾藻; 麦麸; 葡萄糖; 混合青贮; 发酵品质; 营养品质; 有氧稳定性

中图分类号: S816.5+3

文献标志码: A

文章编号: 1007-1032(2022)06-0718-05

Effect of glucose addition on the quality of mixed silage of *Myriophyllum elatinoides* and wheat bran

CAO Xin¹, WU Kangle¹, LI Hui¹, XIANG Zuoxiang¹, XIAO Runlin², ZHANG Zhifei^{1*}

(1.College of Agronomy, Hunan Agricultural University, Changsha, Hunan 410128, China; 2.Institute of Subtropical Agroecology, Chinese Academy of Sciences, Changsha, Hunan 410125, China)

Abstract: In this study, the silage was mixed with *Myriophyllum elatinoides* and wheat bran at the fresh mass ratio of 7 : 3 with addition of certain amount of *Lactobacillus plantarum* and 0%, 2%, 4% and 6% glucose, respectively. The fermentation quality, nutritional quality and aerobic stability of the mixed silage were measured to evaluate the effect of the glucose on the quality of mixed silage. The results showed the addition of glucose could significantly($P < 0.05$) reduce pH, butyric acid, $\text{NH}_3\text{-N/TN}$, crude protein and crude fiber mass fraction of mixed silage, and increase lactic acid mass fraction, further optimized fermentation characteristics. Adding 4% glucose significantly reduced mass fraction of neutral detergent and acid detergent fiber($P < 0.05$). The aerobic stability of the mixed silage treated with 0%, 2%, 4% and 6% glucose was >360, 226, >360 and 62 h, respectively. The comprehensive evaluation results showed that with the combined condition, the fresh mass ratio of 7 : 3, with 2% glucose addition, the mixed silage of *Myriophyllum elatinoides* and wheat bran could achieve the improved fermentation quality, nutritional quality and aerobic stability.

Keywords: *Myriophyllum elatinoides*; wheat bran; glucose; mixed silage; fermentation quality; nutritional quality; aerobic stability

绿狐尾藻(*Myriophyllum elatinoides* Gaudich.)是 小二仙草科(Haloragidaceae)狐尾藻属(*Myriophyllum*)

收稿日期: 2021-08-07

修回日期: 2022-11-20

基金项目: 国家重点研发计划项目(2021YFD1700804)

作者简介: 曹欣(1998—), 男, 湖南衡山人, 硕士研究生, 主要从事饲草学研究, 2806940662@qq.com; *通信作者, 张志飞, 博士, 教授, 主要从事饲草学研究, zhangzf@hunau.edu.cn

多年生沉水或浮水草本植物，在富营养化水体中生长速度快，多次收割条件下其收获的干生物量高达 5.34~13.42 g/(m²·d)^[1]。由绿狐尾藻为主构建的景观生态湿地、生态浮床能有效处理污染物，可使末端出水达到地表水Ⅳ类标准(GB 3838—2002,氨氮 1.5 mg/L，总磷 0.3 mg/L)^[2]。绿狐尾藻营养价值丰富，富含矿物质、维生素等^[3]。净化水体后的大量绿狐尾藻亟需资源化利用，但绿狐尾藻含水量较高(90%左右)，传统晒(烘)制干草的方式易造成营养物质的流失，更适宜的方式是将绿狐尾藻与稻秸、精料等干物质含量高的辅料混合青贮，制成青贮饲料。

麦麸是常见的农副产品，干物质含量高，营养价值高。有研究^[4]表明，麦麸是高水分饲草混合青贮中较适宜的辅料，既能平衡青贮原料含水量，又能提高青贮饲料的营养价值。葡萄糖能在发酵前期为乳酸菌提供发酵底物，使其快速繁殖并产生乳酸，降低 pH 值，进而抑制有害微生物增殖，达到改善牧草青贮品质的目的^[5]。但由于不同原料特性差异大，葡萄糖对发酵品质的作用效果也存在较大

差异，有必要对绿狐尾藻添加葡萄糖的青贮方式进行研究。

课题组在前期研究基础上，确定了混合青贮原料绿狐尾藻与麦麸的适宜质量比为 7 : 3，以此比例进行混合青贮，分别添加 0%、2%、4%和 6%的葡萄糖，对混合青贮发酵品质、营养品质和有氧稳定性等进行评价，筛选出适宜的葡萄糖添加量，以期绿狐尾藻饲料化加工提供依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

供试绿狐尾藻人工采自中国科学院农业环境监测站三级绿狐尾藻表面流人工湿地的第三级湿地，自然株高 50 cm 左右；麦麸购自五得利面粉集团有限公司；植物乳杆菌购自台湾亚芯生物科技有限公司，规格 1×10¹¹ cfu/g，添加量为 1×10⁶ cfu/g；葡萄糖购自国药集团化学试剂有限公司。绿狐尾藻和麦麸化学成分如表 1 所示。

表 1 绿狐尾藻和麦麸的化学成分

Table 1 The chemical component of <i>Myriophyllum elatinoides</i> and wheat bran					%
材料	质量分数				
	干物质	粗蛋白	酸性洗涤纤维	中性洗涤纤维	可溶性碳水化合物
绿狐尾藻	10.00	11.61	29.20	45.53	5.20
麦麸	91.00	14.05	33.57	47.69	17.86

除干物质质量分数外，其他成分质量分数均按干质量计算。

1.2 试验设计及青贮饲料调制

试验采用单因素完全随机设计，葡萄糖添加量分别为 0%(CK)、2%(P2)、4%(P4)、6%(P6)，共 4 个处理，每处理 4 次重复。每重复添加 1×10⁹ cfu/kg 的植物乳杆菌。

将新鲜收割的绿狐尾藻粉碎至 2~3 cm 长，再将绿狐尾藻和麦麸以鲜质量比 7 : 3 的比例混合，将提前用 60 mL 蒸馏水溶解的不同比例葡萄糖和定量植物乳杆菌均匀喷洒在混合原料中，装袋，每袋 500 g 青贮料，抽真空后避光储存。

1.3 测定项目及方法

1.3.1 感官品质的测定

青贮饲料开包后进行感官质量评价。参照德国农业协会评分法^[6]，对气味、结构和色泽分别进行打分，再计算综合感官质量得分，根据得分评定优、

良、中、下 4 个等级。

1.3.2 发酵品质的测定

青贮饲料开包后，每重复用四分法取 20 g 青贮鲜料加 180 mL 去离子水，用榨汁机(九阳 JYL-C012 型多功能搅拌机)榨碎 2 min，并用 4 层纱布过滤后得到青贮饲料浸提液，用于测定 pH 值、氨态氮、乳酸、乙酸、丙酸、丁酸。采用 pH 计(SI400, Spectrum)测定 pH 值；采用高效液相色谱(Agilent 1260)法^[7]测定乳酸、乙酸、丙酸、丁酸质量分数；采用苯酚-次氯酸钠比色法^[8]测定氨态氮质量分数。参照费氏评分法^[9]，以青贮饲料中乳酸、乙酸、丁酸占总酸的比例计算混合青贮饲料的发酵品质得分。

1.3.3 营养品质测定

采用四分法从青贮袋中取 200 g 样品，于 105 ℃烘箱中杀青 15 min 后，65 ℃烘干至恒重，测定干

物质质量分数后用于营养品质测定。采用凯氏定氮法^[10]测粗蛋白质量分数;采用范氏法^[10]测酸性洗涤纤维和中性洗涤纤维质量分数;采用滤袋技术法^[10]测粗纤维质量分数;采用蒽酮比色法^[11]测可溶性碳水化合物质量分数。参照文献[12]的方法,计算相对饲用价值(RFV)。

1.3.4 有氧稳定性分析

将发酵指标和营养指标测定取样后的剩余青贮料充分混合,用四分法取 200 g 青贮饲料放入 2.5 L 的塑料桶中,运用 MDL-1048A 高精度温度记录仪记录青贮料温度变化。当青贮饲料内部温度升高 2 °C 时结束试验。

1.3.5 青贮综合质量评价

依据秩和比(RSR)法^[13]对不同处理组的混合青贮综合效果进行评价。以感官评价等级、费氏评分、粗蛋白质量分数、RFV 和有氧稳定性为高优指标,pH 和氨态氮与总氮质量分数之比为低优指标,对数值分别从小到大、从大到小进行排序,计算 RSR 值。RSR 值越接近 1,表明综合评价越好。

1.4 数据分析

试验数据采用 Excel 2010 进行初步整理;运用

DPS 数据处理系统对不同处理组的青贮饲料发酵品质和营养品质的各项指标进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 供试青贮的感官品质

青贮开袋后进行感官评价。发现青贮有较强的酸味,芳香味弱,茎叶结构均保持良好,色泽由绿色转为黄绿色,感官评价等级皆为良好。

2.2 供试青贮的发酵品质

从表 2 可知,添加葡萄糖对混合青贮的 pH 值、氨态氮与总氮质量分数之比、乳酸、乙酸、丁酸质量分数均有显著($P<0.05$)影响;CK 的 pH 值、氨态氮与总氮质量分数之比和乙酸质量分数均最高,葡萄糖处理组的均显著($P<0.05$)下降,其中 P6 的氨态氮与总氮质量分数之比和乙酸质量分数均最低;CK 的乳酸质量分数最低,葡萄糖处理组的均显著($P<0.05$)高于 CK 的,其中 P2 的最高;随葡萄糖添加量增加,乳酸与乙酸质量分数之比显著($P<0.05$)增加,P6 处理组的乳酸与乙酸质量分数之比最高。P2、P6 的丁酸质量分数显著($P<0.05$)低于 CK 的。葡萄糖处理组的费氏评分均远高于 CK,达到满分。

表 2 添加葡萄糖的绿狐尾藻与麦麸混合青贮的发酵品质

处理	pH	氨态氮/总氮/%	乳酸/(g·kg ⁻¹)	乙酸/(g·kg ⁻¹)	乳酸/乙酸	丙酸/(g·kg ⁻¹)	丁酸/(g·kg ⁻¹)	费氏评分
CK	(4.50±0.03)a	(10.19±0.06)a	(22.68±0.03)c	(37.43±0.97)a	(0.61±0.01)c	0.60±0.00	(0.31±0.02)a	57
P2	(3.79±0.01)b	(6.61±0.44)c	(88.35±4.30)a	(15.00±1.22)b	(5.90±0.19)b	0.64±0.05	(0.25±0.01)bc	100
P4	(3.81±0.00)b	(7.18±0.13)b	(75.38±0.17)b	(12.72±0.17)b	(5.93±0.09)b	0.61±0.04	(0.30±0.03)ab	100
P6	(3.80±0.01)b	(6.19±0.30)c	(77.64±2.51)b	(9.70±0.53)c	(8.01±0.18)a	0.62±0.02	(0.22±0.00)c	100

同列不同字母处理间的差异有统计学意义($P<0.05$)。

2.3 供试青贮的营养品质

从表 3 可知,添加葡萄糖对混合青贮的干物质、

可溶性碳水化合物、粗蛋白、粗纤维质量分数及 P4 的中性洗涤纤维和酸性洗涤纤维质量分数均有显

表 3 添加葡萄糖的绿狐尾藻与麦麸混合青贮的营养品质及有氧稳定性

处理	质量分数/%						RFV	有氧稳定性/h
	干物质	可溶性碳水化合物	粗蛋白	酸性洗涤纤维	中性洗涤纤维	粗纤维		
CK	(39.07±0.21)d	(3.15±0.27)c	(14.89±0.13)a	(14.84±0.74)a	(26.33±1.12)a	(20.84±0.39)a	(273.24±12.62)c	>360
P2	(39.73±0.06)c	(10.12±0.45)b	(13.63±0.02)b	(13.34±1.29)ab	(24.29±2.22)ab	(12.96±0.78)c	(300.66±27.59)b	226
P4	(40.70±0.10)b	(10.28±0.58)b	(13.45±0.02)bc	(12.43±0.69)b	(22.04±1.15)b	(15.25±0.30)b	(334.35±18.00)a	>360
P6	(41.87±0.12)a	(14.87±0.26)a	(13.26±0.13)c	(13.96±0.69)ab	(24.43±1.06)ab	(13.84±0.30)c	(297.10±13.79)b	62

除干物质质量分数外,其他成分质量分数均按干质量计算;同列不同字母处理间的差异有统计学意义($P<0.05$)。

著($P<0.05$)影响;葡萄糖添加组的干物质和可溶性碳水化合物质量分数均显著高于 CK 的,且随葡萄糖添加量的增加而升高;葡萄糖添加组的粗蛋白质量分数均显著低于 CK 的,且随葡萄糖添加量的增加而下降;葡萄糖处理组的粗纤维质量分数均显著($P<0.05$)低于 CK 的,其中 P2、P6 的最低;P4 的酸性洗涤纤维和中性洗涤纤维质量分数均显著($P<0.05$)低于 CK 的。葡萄糖添加组的 RFV 均显著($P<0.05$)高于 CK 的,且 P4 处理的最高,显著($P<0.05$)

高于其他处理的。

2.4 供试青贮的有氧稳定性

CK、P2、P4、P6 各处理的有氧稳定性分别为 >360、226、>360、62 h,其中 P6 的有氧稳定性相对较差。

2.5 供试青贮的秩和比排序结果

从表 4 可知,葡萄糖添加组的综合排名均比 CK 的靠前,其中 P2 的综合排名第一。

表 4 添加葡萄糖的绿狐尾藻与麦麸混合青贮的秩和比排序

Table 4 The RSR order of mixed silage of <i>Myriophyllum elatinoides</i> and wheat bran with glucose									
组别	单项指标排序							RSR 值	综合排序
	感官评价	费氏评分	粗蛋白	RFV	有氧稳定性	pH	氨态氮/总氮		
CK	1	1	4	1	3	1	1	0.43	4
P2	1	2	3	3	2	4	3	0.64	1
P4	1	2	2	4	3	2	2	0.57	2
P6	1	2	1	2	1	3	4	0.50	3

3 结论与讨论

李茂等^[5]分别添加 0、5、10、20 和 40 g/kg 葡萄糖对木薯叶青贮的研究发现,葡萄糖能显著降低木薯叶青贮饲料 pH 值、丁酸质量分数,能明显改善木薯叶发酵品质,其中添加 20、40 g/kg 葡萄糖的发酵品质较好。蒋向君等^[14]分别添加 0%、1%、2%、3% 的葡萄糖对苜蓿青贮的研究发现,添加葡萄糖能显著增加青贮饲料中的乳酸质量分数,显著降低 pH 值和氨态氮与总氮质量分数之比,且随着葡萄糖添加水平的提高,呈显著下降的趋势。李茂等^[15]研究发现,王草青贮中添加葡萄糖,对降低青贮饲料 pH 没有明显影响,但能显著提高王草青贮饲料乳酸质量分数,添加 20 g/kg 葡萄糖的发酵品质最佳。本研究中,添加葡萄糖使 pH 和氨态氮与总氮质量分数之比显著降低,乳酸质量分数显著提高,且降低了丁酸质量分数,费氏评分均高于 CK 的,说明添加葡萄糖能使绿狐尾藻的青贮发酵品质得到改善,且添加 2% 的葡萄糖即可达到较好的发酵品质,添加更高葡萄糖对 pH 和费氏评分均没有显著影响。

青贮饲料中乳酸与乙酸质量分数之比高于 3.0 属于同型乳酸发酵,低于 3.0 属于异型乳酸发酵^[16]。本研究中,葡萄糖处理组的乳酸质量分数显著高于 CK 的,乳酸与乙酸质量分数之比显著高于 CK 的且均高于 3.0,可见添加葡萄糖促进了同型发酵乳

酸菌繁殖;葡萄糖处理组的 pH、氨态氮与总氮质量分数之比和乙酸质量分数显著低于 CK 的,这可能是由于葡萄糖使乳酸菌快速繁殖并产生大量乳酸,促进了 pH 值的下降,进而抑制了青贮过程中植物蛋白酶的活性,降低对蛋白质的水解,减少了氨态氮的产生^[17]。

添加葡萄糖能改善青贮饲料的发酵品质,但对营养品质的影响效果不一。饲料中粗蛋白含量是评价饲料营养价值的重要指标。本研究中,葡萄糖添加组的粗蛋白质量分数显著($P<0.05$)低于 CK 的,可能是由于在乳酸菌利用葡萄糖快速繁殖时,有害细菌同时也在利用葡萄糖进行繁殖,使得更多的蛋白被分解利用,从而降低了粗蛋白质量分数。董志浩等^[18]对桑叶青贮和朱春娟等^[19]对四倍体刺槐青贮的研究结果中发现,添加葡萄糖处理组的粗蛋白含量降低。与之相反,LI 等^[20]对王草青贮和刘艳芳等^[21]对籽粒苋青贮的研究结果中发现,添加葡萄糖处理提高了粗蛋白含量。添加适量葡萄糖可改善青贮饲料的纤维品质。中性洗涤纤维和酸性洗涤纤维含量是反映植物纤维质量的最直接指标,同时也是反映反刍动物消化率及饲用价值的有效指标。在桑叶^[18]、四倍体刺槐^[19]与籽粒苋^[21]青贮中亦发现添加葡萄糖会降低中性洗涤纤维和酸性洗涤纤维含量,说明添加葡萄糖后能一定程度降低纤维含量。本研

究中,葡萄糖添加也降低了中性洗涤纤维和酸性洗涤纤维质量分数。粗纤维含量高低是概略养分析中评估饲料原料营养价值的重要指标。本研究中,添加葡萄糖显著($P<0.05$)降低了粗纤维质量分数,混合青贮饲料的粗纤维素和粗蛋白质质量分数达到能量饲料指标(干物质中粗纤维质量分数小于 18%、粗蛋白质量分数小于 20%),后续试验可考虑进行生猪等畜禽的替代日粮饲喂试验,以评价绿狐尾藻的饲用价值和益生效果。

孙茜等^[22]添加不同的乳酸菌剂对绿狐尾藻进行青贮,发现乳酸菌剂可改善绿狐尾藻的青贮品质和营养价值,且添加菌剂处理组的粗蛋白含量高于 25%,可作为动物饲料中蛋白质来源的重要补充。本研究中发现,在鲜质量比为 7:3 的绿狐尾藻与麦麸混合青贮中添加 2%葡萄糖,可制备发酵品质、营养品质及有氧稳定性均较好的青贮饲料,是可利用的优质非常规饲料。

参考文献:

- [1] LUO P, LIU F, LIU X L, et al. Phosphorus removal from lagoon-pretreated swine wastewater by pilot-scale surface flow constructed wetlands planted with *Myriophyllum aquaticum*[J]. Science of the Total Environment, 2017, 576: 490–497.
- [2] 孙宏, 李宁, 汤江武, 等. 狐尾藻在养殖污水净化中的作用原理及相关应用进展[J]. 中国畜牧杂志, 2020, 56(3): 37–42.
- [3] 孙婉婧, 杨颖姿, 罗晶晶, 等. 绿狐尾藻生物学特性及其在养殖业中的应用[J]. 饲料研究, 2017(15): 37–40.
- [4] 李顺, 陈东, 穆麟, 等. 添加剂对籽粒苋与麦麸混合青贮品质的影响[J]. 中国草地学报, 2019, 41(4): 173–178.
- [5] 李茂, 字学娟, 胡海超, 等. 添加葡萄糖对木薯叶青贮品质和营养成分的影响[J]. 家畜生态学报, 2019, 40(7): 34–37.
- [6] 张子仪. 中国饲料学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [7] 穆麟, 李顺, 曾宁波, 等. 添加糖蜜、乳酸菌制剂对籽粒苋与稻秸混合青贮品质的影响[J]. 草地学报, 2019, 27(2): 482–487.
- [8] BRODERICK G A, KANG J H. Automated simultaneous determination of ammonia and total amino acids in ruminal fluid and in vitro media[J]. Journal of Dairy Science, 1980, 63(1): 64–75.
- [9] 郭旭生, 丁武蓉, 玉柱. 青贮饲料发酵品质评定体系及其新进展[J]. 中国草地学报, 2008, 30(4): 100–106.
- [10] 张丽英. 饲料分析及饲料质量检测技术[M]. 3 版. 北京: 中国农业大学出版社, 2007.
- [11] 陈建勋, 王晓峰. 植物生理学实验指导[M]. 广州: 华南理工大学出版社, 2015.
- [12] 董德宽. 饲草的相对饲料值[J]. 中国奶牛, 1990(4): 28–29.
- [13] 吴清平, 张丹. 秩和比法和几种常用评价方法在医疗质量评价中应用的比较[J]. 中国医院统计, 2003, 10(1): 3–5.
- [14] 蒋向君, 章跃树, 孙法军, 等. 乳酸菌和葡萄糖对紫花苜蓿青贮发酵品质的影响[J]. 粮食与饲料工业, 2015(8): 44–46.
- [15] 李茂, 字学娟, 周汉林. 葡萄糖对王草青贮品质的影响[J]. 南方农业学报, 2012, 43(11): 1779–1782.
- [16] ALI N, WANG S R, ZHAO J, et al. Microbial diversity and fermentation profile of red clover silage inoculated with reconstituted indigenous and exogenous epiphytic microbiota [J]. Bioresource Technology, 2020, 314: 123606.
- [17] 田静, 唐国建, 彭建宗, 等. 旋扭山绿豆的营养成分及青贮发酵品质[J]. 草业科学, 2020, 37(2): 370–376.
- [18] 董志浩, 原现军, 闻爱友, 等. 添加乳酸菌和发酵底物对桑叶青贮发酵品质的影响[J]. 草业学报, 2016, 25(6): 167–174.
- [19] 朱春娟, 原现军, 董志浩, 等. 添加剂对饲料型四倍体刺槐青贮发酵品质和体外消化率的影响[J]. 南京农业大学学报, 2017, 40(4): 725–731.
- [20] LI M, ZI X J, ZHOU H L, et al. Effects of sucrose, glucose, molasses and cellulase on fermentation quality and *in vitro* gas production of king grass silage[J]. Animal Feed Science and Technology, 2014, 197: 206–212.
- [21] 刘艳芳, 邱昊日, 余雄, 等. 不同处理方式对籽粒苋青贮品质的影响[J]. 草业学报, 2017, 26(9): 214–220.
- [22] 孙茜, 张旭坡, 徐圣君, 等. 添加不同乳酸菌剂对绿狐尾藻青贮品质的影响[J]. 中国农学通报, 2018, 34(4): 131–136.

责任编辑: 邹慧玲
英文编辑: 柳 正