

添加甜叶菊异绿原酸对饲用玉米青贮品质的影响

李淑艳,焦婷*,高永权,齐帅,王虎宁

(甘肃农业大学草业学院,草业生态系统教育部重点实验室,甘肃省草业工程实验室,中-美草地畜牧业可持续发展研究中心,甘肃 兰州 730070)

摘要:【目的】研究不同添加水平甜叶菊异绿原酸(Isochlorogenic acid, ICGA)对饲用玉米(*Zea mays*)青贮品质的影响。【方法】在青贮过程中添加0.1、0.3、0.5、0.7和1.0 g/kg的甜叶菊异绿原酸,以未添加作为对照(CK),分别在青贮第3、6、12和40天开袋取样,对青贮玉米营养成分及发酵品质进行分析。【结果】相同添加水平下,青贮40 d较青贮3 d相比青贮玉米中性洗涤纤维(NDF)、酸性洗涤纤维(ADF)及乙酸(AA)含量降低,粗蛋白(CP)含量增加;相同青贮天数下,青贮3、6、12和40 d 0.5 g/kg处理干物质(DM)含量显著高于对照组($P < 0.05$),青贮40 d 0.5 g/kg处理青贮玉米的NDF、pH值、AA及氨态氮($\text{NH}_3\text{-N}$)含量低于对照组,0.5 g/kg和0.7 g/kg处理乳酸(Lactic acid, LA)含量高于对照组。【结论】添加甜叶菊异绿原酸可提高青贮玉米营养价值,促进乳酸产生,降低青贮玉米pH值和 $\text{NH}_3\text{-N}$ 含量,改善青贮品质。本试验条件下,根据青贮玉米的感官评定、发酵品质和营养成分判断,添加0.5 g/kg甜叶菊异绿原酸青贮40 d效果较好。

关键词:甜叶菊;异绿原酸;青贮;玉米;营养成分;发酵品质

中图分类号:S816.53 **文献标志码:**A **文章编号:**1009-5500(2025)02-0115-08

DOI:10.13817/j.cnki.cyycp.2025.02.013



青贮饲料是在厌氧条件下由乳酸菌经过一段时间的发酵,将新鲜饲草制成一种适口性强且消化率高的优质粗饲料^[1]。玉米是重要的青贮原料,青贮玉米单位面积的干物质产量高、适口性好且适宜机械化作业,全世界应用广泛^[2]。我国在2015年启动“粮改饲试点”计划,青贮玉米种植快速发展,试点种植面积在2016年增加到40.9万 hm^2 ,2017年为66.6万 hm^2 ,2019年达到100万 hm^2 ,在较大程度上缓解了畜牧业对于饲料的巨大需求^[3]。但是,青贮玉米在发酵和贮藏过程中容易受到有害微生物的污染^[4]。现有研究表明,适宜的青贮添加剂能够有效改善青贮品质,抑制青贮过程中有害微生物生长与增殖、降低青贮饲料中

霉菌毒素含量、减少营养物质损失^[5]。酚酸类化合物如阿魏酸、单宁酸、绿原酸及异绿原酸等均具有抗菌、抑菌作用,可作为青贮添加剂开发^[6]。张微微等^[7]研究发现阿魏酸对青贮中酵母菌及霉菌具有较为强烈的抑制作用。杨冬梅等^[8]在青贮饲料中添加单宁酸发现可迅速降低青贮饲料pH值,抑制杂菌的繁殖,降低氨态氮和总酸的含量,从而改善青贮饲料的品质。

异绿原酸(Isochlorogenic acid, ICGA)是由咖啡酸(Caffeic acid)与奎尼酸(Quinic acid)生成的缩酚酸,属于二咖啡酰奎宁酸类化合物^[9]。甜叶菊中含有多种酚酸类物质且异绿原酸含量最高^[10]。研究证明,异绿原酸具有良好的抗氧化、抗菌抑菌作用^[11]。侯彩平等^[12]发现异绿原酸对自由基有较好的清除能力,有良好的体内体外抗氧化活性。周志娥等^[13]发现异绿原酸对大肠杆菌的抑制作用强于苯甲酸钠和山梨酸钾。王智勇等^[14]研究发现甜叶菊异绿原酸能够降低饲料中的霉菌数量,可将其作为饲用抗氧化剂或防霉剂进行开发。甜叶菊异绿原酸是否可作为青贮添加剂抑制

收稿日期:2023-04-26; **修回日期:**2023-06-23

基金资助:甘肃省高校创新基金项目(2022B-096)

作者简介:李淑艳(2000-),女,甘肃庄浪人,硕士研究生。

E-mail:1069912273@qq.com

*通信作者,研究方向为反刍动物营养与饲草料加工。E-mail:jiaoting207@126.com

青贮过程中霉菌生长,改善青贮品质,目前尚不清楚。因此,本试验旨在研究添加不同比例甜叶菊异绿原酸对青饲玉米青贮品质的影响,并筛选适宜添加比例,为开发新的青贮添加剂提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 试验材料

青贮原料为优质饲用玉米品种桂青贮1号(*Zea mays* L. cv. Guiqingzhu No. 1);原料营养成分见表1。

表1 青贮玉米原料营养成分

Table 1 Nutrient composition of silage corn raw materials

营养成分	含量/%
干物质	33.35
粗蛋白	7.64
中性洗涤纤维	43.21
酸性洗涤纤维	27.57
粗灰分	5.47

青贮添加剂为甜叶菊异绿原酸(购自晨光生物科技有限责任公司)。

1.2 试验设计

试验采用双因素随机设计,在铡短的青贮原料中分别添加0.1 g/kg、0.3 g/kg、0.5 g/kg、0.7 g/kg和1.0 g/kg的甜叶菊异绿原酸,以不添加为对照(CK),分别在青贮第3、6、12和40天取样,每个时间点3个重复。甜叶菊异绿原酸添加量参考王智勇等^[11]的研究结果。

1.3 青贮方法

试验青贮材料为2/3乳线期全株玉米,水分含量为66.65%,使用青贮收获机对全株玉米进行切割揉丝,长度为1.5 cm。粉碎后,将各处理分别按比例喷洒于144 kg的玉米中(添加量均已青贮鲜重为基础),各处理混合均匀后,称取2 kg样品紧实地装填入青贮袋,每个处理分装12包青贮袋,用真空包装机密封保存。于室温避光发酵,分别在发酵第3、6、12和40天称重开袋取样,取样时将袋中的青贮玉米倒出混合均匀,采用多点随机取样,取样后使用真空包装机真空包装带回实验室测定各处理青贮玉米发酵品质。

1.4 测定指标及方法

1.4.1 感官评定 发酵结束后,采用德国农业协会(Deutsche LandwirtschaftsGesellschaft, DLG)评定法^[15]进行感官评定。各处理在青贮40 d后分别取10 g

新鲜青贮玉米样品邀请3人对其青贮气味、色泽、质地3个方面进行现场评定打分后取平均分。0~4分为腐败变质,5~9分为中等,10~15分为尚好,16~20分为优良。

1.4.2 营养成分 将所取样品的3个重复于65~70℃条件下烘干测定干物质含量,干物质(Dry matter, DM)含量参考张丽英^[16]的方法测定;粗蛋白(Crude protein, CP)含量采用凯氏定氮法^[17]测定中性洗涤纤维(Neutral detergent fiber, NDF)和酸性洗涤纤维(Acid detergent fiber, ADF)含量根据Van Soest等^[18]提出的方法测定。

1.4.3 发酵品质 准确称取20 g混匀青贮玉米,加入180 mL超纯水,4℃浸提24 h后,4层纱布过滤得到浸提液,用于发酵参数的测定。使用酸度计测定pH值,使用气相色谱仪检测青贮玉米中的乳酸(Lactic acid, LA)、乙酸(Acetic acid, AA)的含量^[19],采用苯酚一次氯酸钠比色法测定氨态氮(Ammoniacal nitrogen, NH₃-N)含量^[20]。

1.4.4 综合评价 根据灰色系统理论,将24个处理的8个指标作为一个灰色系统,进行相关分析。

计算公式如下^[21]:

$$\xi_k = \frac{\frac{\min_i \min_k |x_0(k) - x_i(k)| + \rho \frac{\max_i \max_k |x_0(k) - x_i(k)|}{\max_i \max_k |x_0(k) - x_i(k)|}}{\frac{\max_i \max_k |x_0(k) - x_i(k)| + \rho \frac{\min_i \min_k |x_0(k) - x_i(k)|}{\max_i \max_k |x_0(k) - x_i(k)|}}$$

式中: $x_0(k) - x_i(k)$ 表示 x_0 数列与 x_i 数列在第 k 点的

绝对差值,记作 $\Delta_i(k)$;其中 $\frac{\min_i \min_k |x_0(k) - x_i(k)|}{\max_i \max_k |x_0(k) - x_i(k)|}$

为二级最小差, $\frac{\max_i \max_k |x_0(k) - x_i(k)|}{\max_i \max_k |x_0(k) - x_i(k)|}$ 为二级最大

差, ρ 为分辨系数,取值范围为0~1,一般取 $\rho=0.5$ 。

将关联系数 ξ_k 代入公式: $r_i = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \xi_{(k)}$,即得关

联度值。

1.4.5 数据处理与分析 使用Microsoft Excel 2010对数据进行整理,采用SPSS 23.0软件进行双因素方差分析(Two Way ANOVA)检验不同添加水平和不同青贮天数及其相互作用对青贮饲料品质的影响;对相同青贮天数下不同添加水平和相同添加水平下不同青贮天数分别进行单因素方差分析(One Way ANOVA),用LSD法进行多重比较,以 $P<0.05$ 代表差异显著。

2 结果与分析

2.1 甜叶菊异绿原酸添加水平对青贮玉米感官评定的影响

青贮 40 d 对照组及各处理组青贮玉米感官评价等级均达到优等,0.5 g/kg 处理青贮玉米的综合评分最高(表 2)。

2.2 甜叶菊异绿原酸添加水平和青贮天数对青贮玉米常规营养成分含量的影响

2.2.1 甜叶菊异绿原酸添加水平和青贮天数对青贮

玉米 DM 含量的影响 添加水平、青贮天数及二者的交互作用对青贮玉米 DM 含量影响极显著($P<0.01$)(表 3)。0.1 g/kg 和 0.3 g/kg 处理青贮 6 d 青贮玉米 DM 含量显著低于青贮 3 d、12 d 和 40 d($P<0.05$),0.7 g/kg 和 1.0 g/kg 处理青贮 3 d 青贮玉米 DM 含量显著低于青贮 6 d、12 d 和 40 d($P<0.05$)。青贮 3、6、12 和 40 d 时 0.5 g/kg 青贮玉米 DM 含量显著高于对照组($P<0.05$)(图 1)。

表 2 青贮 40 d 不同甜叶菊异绿原酸添加水平青贮玉米感官评定

Table 2 Sensory evaluation of silage corn with different steviaisochlorogenic acid supplemental levels at 40 days

添加水平	青贮天数/d	气味	结构	色泽	总分	等级
CK	40	12	4	2	18	优
0.1g•kg ⁻¹	40	12	3	2	17	优
0.3g•kg ⁻¹	40	11	3	2	16	优
0.5g•kg ⁻¹	40	13	4	2	19	优
0.7g•kg ⁻¹	40	11	3	2	16	优
1.0g•kg ⁻¹	40	12	3	2	17	优

表 3 常规营养成分和青贮品质方差分析

Table 3 Analysis of variance of routine nutrient content and silage quality

指标	添加水平	青贮天数	添加水平×青贮天数
干物质	$P<0.01$	$P<0.01$	$P<0.01$
粗蛋白	$P>0.05$	$P<0.01$	$P>0.05$
中性洗涤纤维	$P<0.05$	$P<0.01$	$P>0.05$
酸性洗涤纤维	$P<0.05$	$P<0.01$	$P>0.05$
pH 值	$P>0.05$	$P<0.05$	$P<0.01$
乙酸	$P>0.05$	$P<0.01$	$P>0.05$
乳酸	$P<0.05$	$P<0.01$	$P<0.01$
氨态氮	$P>0.05$	$P>0.05$	$P>0.05$

2.2.2 甜叶菊异绿原酸添加水平和青贮天数对青贮玉米 CP 含量的影响 青贮天数对青贮玉米 CP 含量影响极显著($P<0.01$),添加水平及二者的交互作用对青贮玉米 CP 含量无显著影响(表 3)。各处理青贮玉米 CP 含量均在青贮 40 d 时达到最高。青贮 3 d 时,0.3 g/kg 和 0.5 g/kg 处理青贮玉米 CP 含量显著低于对照组($P<0.05$),其他时间点各处理差异不显著性(图 2)。

2.2.3 甜叶菊异绿原酸添加水平和青贮天数对青贮玉米纤维含量的影响 添加水平对青贮玉米纤维含量影响显著($P<0.05$),青贮天数对青贮玉米纤维含量影响极显著($P<0.01$),二者的交互作用对青贮玉

米纤维含量无显著影响(表 3)。青贮玉米 NDF 和 ADF 在 40 d 时较青贮 3 d 有降低趋势,各处理青贮玉米纤维含量均在青贮 40 d 时含量最低。青贮 3 d 时,各处理青贮玉米 NDF 和 ADF 含量高于对照组,而青贮 12 d 和 40 d 时,0.5 g/kg 处理青贮玉米 NDF 含量低于对照组(表 4)。

2.3 甜叶菊异绿原酸添加水平和青贮天数对青贮玉米发酵品质的影响

2.3.1 甜叶菊异绿原酸添加水平和青贮天数对青贮玉米 pH 值的影响 添加水平对青贮玉米 pH 值无显著影响($P>0.05$),青贮天数对青贮玉米 pH 值影响显著($P<0.05$),二者的交互作用对青贮玉米 pH 值影响极显著($P<0.01$)(表 3)。由表 5 可知,随着青贮时间

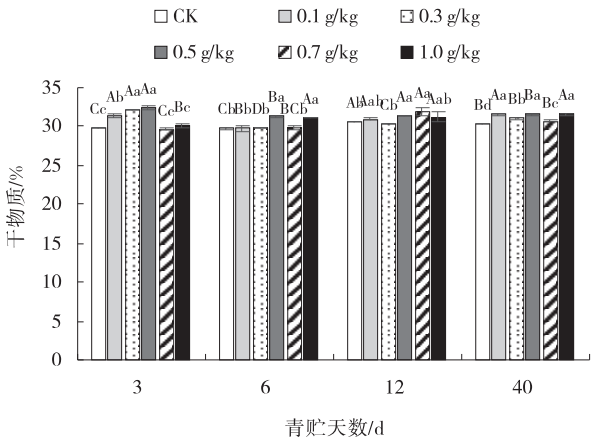


图1 甜叶菊异绿原酸添加水平和青贮天数对青贮玉米DM含量的影响

Fig. 1 The effect of the addition level of stevia isochlorogenic acid and silage days on the DM content of silage corn

注:不同大写字母表示相同异绿原酸添加水平下不同青贮天数之间差异显著($P<0.05$);不同小写字母表示相同青贮天数下不同异绿原酸添加水平之间差异显著($P<0.05$),下同。

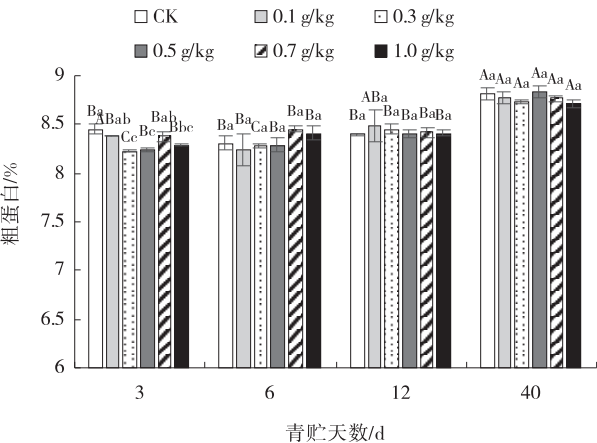


图2 甜叶菊异绿原酸添加水平和青贮天数对青贮玉米CP含量的影响

Fig. 2 Effect of the addition level of stevia isochlorogenic acid and silage days on the CP content of silage corn

的延长,各处理青贮玉米pH值呈降低趋势。青贮40 d时,0.5 g/kg和1.0 g/kg处理青贮玉米pH值低于对照组。

2.3.2 甜叶菊异绿原酸添加水平和青贮天数对青贮玉米AA含量的影响 添加水平对青贮玉米AA含量无显著影响,青贮天数对青贮玉米AA含量影响极显著($P<0.01$),二者的交互作用对青贮玉米AA含量影响显著($P<0.05$)(由表3)。青贮玉米AA在青贮40 d时较青贮3 d有降低趋势,各处理青贮玉米AA含量均在青贮40 d时含量最低($P<0.05$)。青贮3 d时,各处

表4 甜叶菊异绿原酸添加水平和青贮天数对青贮玉米纤维含量的影响

Table 4 Effects of stevia isochlorogenic acid supplemental level and silage days on the contents of fibreofsilage corn

添加水平	青贮天数/d	中性洗涤纤维/%	酸性洗涤纤维/%
CK	3	40.93±1.33 ^{Ab}	26.11±1.12 ^{Aa}
	6	42.08±1.22 ^{Aa}	26.93±0.98 ^{Aa}
	12	40.24±0.19 ^{Aab}	25.53±0.17 ^{Aa}
	40	35.12±0.75 ^{Bb}	20.99±0.12 ^{Bc}
0.1 g•kg ⁻¹	3	42.05±0.15 ^{ABab}	27.06±0.10 ^{ABa}
	6	43.37±2.50 ^{Aa}	27.99±2.03 ^{Aa}
	12	39.84±1.67 ^{ABab}	25.3±1.31 ^{ABa}
	40	36.37±0.81 ^{Bab}	22.47±0.70 ^{Babc}
0.3 g•kg ⁻¹	3	43.69±0.05 ^{Aa}	28.23±0.08 ^{Aa}
	6	41.75±0.25 ^{Ba}	26.53±0.11 ^{Ca}
	12	42.09±0.31 ^{Ba}	26.84±0.06 ^{Ba}
	40	37.81±0.09 ^{Ca}	23.62±0.03 ^{Da}
0.5 g•kg ⁻¹	3	42.10±0.79 ^{Aab}	26.94±0.65 ^{Aa}
	6	40.73±0.86 ^{Aa}	25.83±0.71 ^{Aa}
	12	39.30±0.47 ^{Ab}	24.69±0.37 ^{Aa}
	40	34.83±1.07 ^{Bb}	21.20±0.94 ^{Bbc}
0.7 g•kg ⁻¹	3	41.45±0.70 ^{Aab}	26.50±0.58 ^{Aa}
	6	40.88±0.89 ^{Aa}	26.15±0.71 ^{Aa}
	12	39.70±0.45 ^{Aab}	25.06±0.37 ^{Aa}
	40	36.99±0.64 ^{Bab}	23.07±0.50 ^{Bab}
1.0 g•kg ⁻¹	3	42.20±0.04 ^{Aab}	27.11±0.06 ^{Aa}
	6	39.91±0.04 ^{Ca}	25.46±0.08 ^{Ba}
	12	40.18±0.05 ^{Bab}	25.27±0.20 ^{Ba}
	40	36.21±0.08 ^{Dab}	22.37±0.06 ^{Cabc}

注:不同大写字母表示相同异绿原酸添加水平下不同青贮天数之间差异显著($P<0.05$);不同小写字母表示相同青贮天数下不同异绿原酸添加水平之间差异显著($P<0.05$),下同。

理青贮玉米AA含量高于对照组,青贮40 d时,0.5 g/kg处理青贮玉米AA含量低于对照组(表5)。

2.3.3 甜叶菊异绿原酸添加水平和青贮天数对青贮玉米LA含量的影响 添加水平对青贮玉米LA含量影响显著($P<0.05$),青贮天数及二者的交互作用对青贮玉米LA含量影响极显著($P<0.01$)(表3)。随着青贮时间延长,青贮玉米LA含量呈先降低后升高的趋势。青贮12 d时,0.3 g/kg处理青贮玉米LA含量显著高于对照组($P<0.05$);青贮40 d时,0.1g/kg、0.3g/kg、0.5g/kg和0.7g/kg处理青贮玉米LA含量高于对照组(表5)。

2.3.4 甜叶菊异绿原酸添加水平和青贮天数对青贮玉米 $\text{NH}_3\text{-N}$ 含量的影响 添加水平、青贮天数及二者的交互作用对青贮玉米 $\text{NH}_3\text{-N}$ 含量无显著影响(表 3)。青贮玉米 $\text{NH}_3\text{-N}$ 在青贮 40 d 时含量低于青

贮 3 d; 青贮 40 d 时, 0.3 g/kg 处理青贮玉米 $\text{NH}_3\text{-N}$ 含量显著高于对照组 ($P<0.05$), 0.5 g/kg、0.7 g/kg 和 1.0 g/kg 处理青贮玉米 $\text{NH}_3\text{-N}$ 含量低于对照组(表 5)。

表 5 甜叶菊异绿原酸添加水平和青贮天数对青贮玉米发酵品质的影响

Table 5 Effects of stevia isochlorogenic acid supplemental level and silage days on fermentation quality of silage corn

添加水平	青贮天数/d	pH 值	乙酸/%	乳酸/%	氨态氮/%
CK	3	4.13±0.06 ^{Aa}	3.79±0.21 ^{Ab}	3.43±0.18 ^{Aa}	0.039 5±0.001 7 ^{Aa}
	6	4.01±0.02 ^{Bab}	4.06±0.14 ^{Aa}	3.06±0.11 ^{Aa}	0.039 4±0.009 1 ^{Aa}
	12	4.05±0.01 ^{ABa}	3.88±0.02 ^{Aa}	2.45±0.15 ^{Bb}	0.035 5±0.001 8 ^{Aa}
	40	3.96±0.01 ^{Bab}	2.78±0.11 ^{Bab}	3.07±0.04 ^{ABab}	0.038 8±0.000 5 ^{Ab}
0.1 g·kg ⁻¹	3	4.02±0.11 ^{ABab}	3.96±0.10 ^{ABab}	3.43±0.19 ^{Aa}	0.046 2±0.001 7 ^{ABa}
	6	4.01±0.04 ^{Aa}	4.24±0.45 ^{Aa}	3.13±0.06 ^{Aa}	0.050 6±0.004 2 ^{Aa}
	12	3.99±0.15 ^{Aa}	3.73±0.33 ^{ABa}	2.79±0.29 ^{ABab}	0.037 8±0.001 4 ^{Ba}
	40	3.96±0.18 ^{ABab}	2.80±0.18 ^{Bab}	3.36±0.18 ^{Aa}	0.038 8±0.000 2 ^{Bb}
0.3 g·kg ⁻¹	3	4.08±0.03 ^{Aa}	4.38±0.05 ^{Aa}	3.18±0.05 ^{ABab}	0.049 4±0.000 9 ^{Aa}
	6	4.00±0.02 ^{ABa}	4.01±0.03 ^{Ba}	2.66±0.05 ^{Cab}	0.033 2±0.007 5 ^{Ba}
	12	3.97±0.05 ^{ABab}	3.93±0.05 ^{Ba}	3.06±0.03 ^{Ba}	0.045 5±0.00 7 ^{Aa}
	40	3.91±0.05 ^{Bc}	3.26±0.04 ^{Ca}	3.24±0.03 ^{ABab}	0.045 6±0.002 5 ^{Aa}
0.5 g·kg ⁻¹	3	4.05±0.03 ^{Aa}	4.26±0.17 ^{Aa}	2.45±0.04 ^{Bc}	0.040 8±0.000 6 ^{Aa}
	6	4.02±0.00 ^{Aa}	4.02±0.16 ^{Aa}	2.19±0.23 ^{Bb}	0.034 1±0.005 1 ^{ABa}
	12	3.99±0.04 ^{ABab}	3.73±0.08 ^{Aa}	2.39±0.08 ^{Bb}	0.028 6±0.002 7 ^{Ba}
	40	3.88±0.00 ^{Bb}	2.51±0.26 ^{Bb}	3.22±0.07 ^{ABab}	0.032 8±0.001 5 ^{ABb}
0.7 g·kg ⁻¹	3	4.12±0.04 ^{Aa}	3.97±0.09 ^{ABab}	2.94±0.04 ^{Ab}	0.036 8±0.007 6 ^{Aa}
	6	3.99±0.07 ^{ABab}	3.95±0.10 ^{Aa}	2.79±0.26 ^{Aa}	0.041 3±0.004 3 ^{Aa}
	12	3.94±0.05 ^{Aa}	3.75±0.13 ^{Aa}	2.52±0.23 ^{ABab}	0.034 7±0.008 6 ^{Aa}
	40	3.93±0.05 ^{ABab}	2.92±0.01 ^{Bab}	3.29±0.17 ^{ABab}	0.036 8±0.002 9 ^{Ab}
1.0 g·kg ⁻¹	3	4.09±0.01 ^{ABab}	4.17±0.03 ^{ABab}	2.9±0.02 ^{ABb}	0.041 2±0.009 4 ^{Aa}
	6	3.95±0.08 ^{ABab}	3.97±0.04 ^{Ba}	2.82±0.04 ^{Ca}	0.034 4±0.000 8 ^{Aa}
	12	3.99±0.01 ^{ABa}	3.72±0.04 ^{Ca}	2.89±0.03 ^{ABab}	0.036 9±0.014 2 ^{Aa}
	40	3.88±0.03 ^{Bb}	2.99±0.03 ^{Dab}	2.96±0.04 ^{Ab}	0.034 4±0.000 4 ^{Ab}

2.4 青贮玉米常规营养成分和青贮品质灰色关联度分析

青贮 40 d 对照组及各处理青贮玉米的青贮品质好于青贮 3 d、6 d 和 12 d, 且 0.5 g/kg 处理青贮品质最优(表 6)。

3 讨论

3.1 甜叶菊异绿原酸添加水平和青贮天数对青贮玉米常规营养成分含量的影响

营养成分是评价青贮饲料品质和利用价值的重要指标之一^[22]。青贮过程中 DM 含量下降是造成青贮品质降低的主要原因, 使用青贮添加剂可减少营养物质损失, 提高 DM 含量, 改善发酵品质^[23]。本试验中, 青贮各时间点 0.5 g/kg 处理 DM 含量显著高于对

照组 ($P<0.05$)。这可能与甜叶菊异绿原酸的体外抑菌作用有关, 青贮中的霉菌会利用糖和乳酸分解纤维素等细胞壁的成分从而使青贮玉米腐败变质, 甜叶菊异绿原酸能够抑制饲料中的霉菌和食源性致病菌生长, 杀灭部分杂菌从而使得 DM 含量高于对照组^[24]。本试验中, 0.1、0.3 和 0.5 g/kg 处理青贮 6 d 的 DM 含量较青贮 3 d 相比呈下降趋势, 此过程乳酸菌大量繁殖, 其活动需要消耗大量 WSC, 从而导致 DM 减少; 随着青贮时间增加 DM 含量开始缓慢上升可能是由于 LA 的大量产生导致 pH 值降低, 使青贮料中微生物的分布结构发生变化, 通过某些微生物的活动使得 DM 含量上升^[25]。青贮饲料的 NDF、ADF 和 CP 含量是影响青贮营养价值和草食动物消化、吸收的关键性指

表 6 灰色关联度分析
Table 6 Grey relational analysis

添加水平	青贮天数/d	关联度	排序
CK	3	0.661 3	9
	6	0.612 8	18
	12	0.619 0	16
	40	0.806 5	2
0.1 g•kg ⁻¹	3	0.671 0	8
	6	0.590 6	23
	12	0.643 2	13
	40	0.794 3	3
0.3 g•kg ⁻¹	3	0.634 1	15
	6	0.608 6	21
	12	0.618 9	17
	40	0.714 4	6
0.5 g•kg ⁻¹	3	0.611 9	19
	6	0.635 5	14
	12	0.697 7	7
	40	0.888 9	1
0.7 g•kg ⁻¹	3	0.607 5	22
	6	0.611 4	20
	12	0.660 2	10
	40	0.767 7	5
1.0 g•kg ⁻¹	3	0.590 5	24
	6	0.657 3	11
	12	0.650 2	12
	40	0.775 9	4

标,优质青贮饲料一般具有较高的CP含量和较低ADF与NDF含量^[26]。而蛋白质容易被分解是制作青贮饲料面临的技术难点之一,青贮过程中蛋白质被水解主要是由植物蛋白酶引起的^[27]。本试验中,添加水平对青贮玉米CP含量无显著影响,但青贮40 d的CP含量较青贮3 d相比含量增加。青贮40 d青贮玉米pH值最低,pH值的降低导致植物蛋白酶迅速失活,有效地抑制蛋白水解^[28]。而CP含量增加可能是因为乳酸菌在青贮发酵过程中消耗了部分营养物质,DM含量逐渐减少,表现出CP含量相对增加^[29]。在青贮的过程中,微生物除了会消耗蛋白质之外,还会消耗大量的结构性碳水化合物,本试验中,青贮40 d时,0.5 g/kg处理青贮玉米NDF含量低于对照组,可能是甜叶菊异绿原酸的添加使得秸秆软化,纤维结构松散,有利于纤维降解^[30]。

3.2 异绿原酸添加水平和青贮天数对青贮玉米发酵品质的影响

pH值是衡量青贮饲料发酵品质的一个重要指标,pH值降低,会使发酵环境中的有害微生物活力下降,同时也会抑制乙酸、丁酸等物质的生成,延长青贮饲料的保存时期^[31]。Guan等^[32]研究表明,pH<4.2为青贮最佳pH值范围。本试验中,青贮40 d时青贮玉米pH值达到最低,且pH值均小于4.2。有机酸的含量是衡量青贮饲料发酵品质的一项关键指标,其中LA和AA在青贮发酵过程中发挥着非常重要的作用^[33]。一般认为,青贮饲料中的LA含量越高,饲料中的pH值越低^[34]。在本试验中,青贮40 d时,0.5 g/kg处理青贮玉米LA含量高于对照组,pH值及AA浓度低于对照组。添加甜叶菊异绿原酸可能提高了厌氧环境下乳酸菌的绝对优势,使发酵快速进入乳酸菌发酵期,减弱了此过程中与不良微生物对发酵底物的竞争,从而提高LA含量,降低pH值和AA浓度^[30]。本试验中,青贮40 d时,0.5、0.7和1.0 g/kg处理青贮玉米NH₃-N含量低于对照组,表明添加甜叶菊异绿原酸能够抑制青贮过程中不良微生物对蛋白质的利用,改善青贮品质。这与谢小米等^[35]研究发现添加单宁酸可有效抑制青贮过程中NH₃-N的形成的结果类似。

4 结论

添加甜叶菊异绿原酸可提高青贮玉米营养价值,促进乳酸产生,降低青贮玉米pH值和NH₃-N含量,抑制霉菌繁殖,改善青贮品质。本试验条件下,根据青贮玉米的感官评定、发酵品质和营养成分判断,以0.5 g/kg甜叶菊异绿原酸添加量青贮40 d效果较好。

参考文献:

[1] 张莓,王昌洲,叶兴腾,等. 有氧暴露下全株玉米青贮饲料品质及微生物动态变化[J]. 草业科学,2022,39(8): 1675—1685.

[2] 王辉,代微然,孙璇,等. 晾晒时间和青贮时间对青贮玉米发酵品质的影响[J]. 畜牧与饲料科学,2022,43(4): 25—32.

[3] 钱寅森,武启迪,季中亚,等. 我国青贮玉米生产与加工研究进展[J]. 江苏农业科学,2021,49(23):41—46.

[4] 张鸣珠,黄媛,吴长荣,等. 青贮原料表面微生物研究进展[J]. 中国饲料,2022(19):1—8.

- [5] 田吉鹏,刘蓓一,顾洪如,等. 乳酸菌及丙酸钙对全株玉米和燕麦青贮饲料发酵品质和霉菌毒素含量的影响[J]. 草业学报,2022,31(8):157—166.
- [6] 张适,常杰,胡宗福,等. 青贮饲料有害微生物及其抑制措施[J]. 动物营养学报,2017,29(12):4308—4314.
- [7] 张微微,马莹,袁媛,等. 阿魏酸对青贮主要有害微生物作用效果及机理研究[J]. 中国饲料,2021(7):28—32.
- [8] 杨冬梅,李俊年,陶双伦. 添加单宁酸对青贮葛藤有氧稳定性和霉菌毒素含量的影响[J]. 草业学报,2021,30(8):164—170.
- [9] 马磊,石岩. 甜叶菊的综合开发利用[J]. 中国糖料,2009(1):68—69+72.
- [10] 王智勇,曾建国,刘薇. 异绿原酸生物活性及提取工艺研究进展[J]. 饲料工业,2021,42(8):54—59.
- [11] 王智勇. 源自甜叶菊总异绿原酸提取工艺及饲料添加剂开发研究[D]. 长沙:湖南农业大学,2021.
- [12] 侯彩平. 利用斑马鱼模型研究异绿原酸A的抗氧化和抗炎作用[C]//中国毒理学会中药与天然药物毒理专业委员会第一次(2016年)学术交流大会论文集[C]. 中国毒理学会中药与天然药物毒理专业委员会:中国毒理学会,2016:2.
- [13] 周志娥,罗秋水,熊建华,等. 绿原酸、异绿原酸A对大肠杆菌的抑菌机制[J]. 食品科技,2014,39(3):228—232.
- [14] 王智勇,刘斌,徐美利,等. 甜叶菊总异绿原酸抗氧化、抑菌及防霉功能评价[J]. 饲料研究,2021,44(3):101—105.
- [15] 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(4):100—106.
- [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,2003.
- [17] 刘逸超,司强,刘明健,等. 装填密度对羊草和苜蓿青贮品质及有氧稳定性的影响[J/OL]. 草地学报,2023,31(1):263—271.
- [18] 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]. J Dairy Sci, 1991,74(10):3583—3597.
- [19] 李茂,字学娟,刁其玉,等. 添加单宁酸对木薯叶青贮品质和有氧稳定性的影响[J]. 草业科学,2019,36(6):1662—1667.
- [20] 琚泽亮,赵桂琴,覃方铨,等. 添加玉米粉和乳酸菌制剂对燕麦与箭筈豌豆混播捆裹青贮发酵品质的影响[J]. 草原与草坪,2016,36(2):59—65.
- [21] 任丽娟,陈雅坤,单丽燕,等. 基于主成分和灰色关联度对全株玉米青贮综合品质的分析[J]. 中国畜牧兽医,2021,48(4):1211—1221.
- [22] 郝丽红,王彦平,王勇,等. 不同青贮饲料添加剂组合对饲料桑营养价值和发酵品质的影响[J]. 饲料研究,2022,45(20):83—87.
- [23] 鲍家乐,王奇,鲁守敏,等. 甜高粱添加量对杂交构树青贮发酵品质、营养成分和微生物数量的影响[J]. 饲料研究,2023,46(3):106—110.
- [24] 李玉萌,张志恒,朱亦朴,等. 没食子酸对全株玉米青贮品质的影响[J]. 动物营养学报,2023,35(5):3390—3400.
- [25] 郑美. 青贮时间对不同品种玉米饲用品质及微生物多样性的影响[D]. 呼和浩特:内蒙古大学,2021.
- [26] 陈亚飞,郁万瑞,王芳芳,等. 不同比例芦苇与甘草茎叶混合青贮效果研究[J]. 动物营养学报,2023,35(1):460—468.
- [27] Ding W R, Long R J, Guo X S. Effects of plant enzyme inactivation or sterilization on lipolysis and proteolysis in alfalfa silage[J]. Journal of Dairy Science, 2013,96(4):2536—2543.
- [28] 洗振宇,李苏敏,池宙,等. 葡萄糖和苹果酸对杂交狼尾草青贮发酵品质和营养成分的影响[J]. 中国草地学报,2022,44(2):116—120.
- [29] 郝俊峰,于浩然,贾玉山,等. 青贮密度和青贮时间对紫花苜蓿发酵品质及营养成分的影响[J]. 草地学报,2022,30(9):2492—2496.
- [30] 张娟,史文娇,韩雪林,等. 苹果酸和嗜酸乳杆菌对圆叶决明青贮品质及微生物多样性的影响[J]. 动物营养学报,2021,33(12):6941—6952.
- [31] 王永珍,刘小莉,薛莉萍,等. 不同混合比例和青贮制剂组合对紫花苜蓿与甜高粱裹包青贮饲料营养成分与发酵品质的影响[J]. 黑龙江畜牧兽医,2022(22):100—106.
- [32] Guan H. Microbial communities and natural fermentation of corn silages prepared with farm bunker—silo in Southwest China [C]//中国畜牧兽医学会动物微生态学分会第五届第十三次全国学术研讨会论文集. 中国畜牧兽医学会动物微生态学分会. 北京:中国畜牧兽医学会,2018:1.
- [33] 潘敏慧,黄小乘,田怡豪,等. 不同发酵添加剂对青贮柞树叶品质的影响[J/OL]. 饲料工业,2023,44(6):65—70.

- [34] Muck R E. Dry Matter Level Effects on Alfalfa Silage Quality I. Nitrogen Transformations [J]. Transactions of the Asae, 1987, 30(1): 7—14.
- [35] 谢小来, 马逢春, 焦培鑫, 等. 添加单宁酸对紫花苜蓿青贮品质及瘤胃体外产气量的影响[J]. 东北农业大学学报, 2021, 52(8): 48—56.

Effects of stevia isochlorogenic acid supplementation on the quality of green feed corn silage

LI Shu-yan, JIAO Ting*, GAO Yong-quan, QI Shuai, WANG Hu-ning

(College of Grassland Science, Gansu Agricultural University, Key Laboratory for Grassland Ecosystem, Ministry of Education, Grassland Engineering Laboratory of Gansu Province, Sino-U. S. Centers for Grazing Land Ecosystem Sustainability, Lanzhou 730070, China)

Abstract: 【Objective】 This experiment aimed to investigate the effects of different concentrations of stevia isochlorogenic acid (ICGA) on the fermentation quality and nutritional value of *Zea mays* silage. 【Method】 During ensiling, 0.1 g/kg, 0.3 g/kg, 0.5 g/kg, 0.7 g/kg, and 1.0 g/kg of stevia isochlorogenic acid were added, with no ICGA addition as the control (CK). Silage samples were collected at the 3 d, 6 d, 12 d, and 40 d of fermentation. Silage nutritional components and fermentation quality were analyzed. 【Result】 Compared with silage fermented for 3 days, samples fermented for 40 days at the same ICGA concentration reshown decreased neutral detergent fiber (NDF), acid detergent fiber (ADF), and acetic acid (AA) content, and increased crude protein (CP) content ($P > 0.05$). The silage dry matter (DM) content of 3 d, 6 d, 12 d, and 40 d samples were significantly higher than that of the control ($P < 0.05$). At 40 days, the 0.5 g/kg treatment showed lower NDF, pH, AA, and ammoniacal nitrogen ($\text{NH}_3\text{—N}$) compared to the control ($P > 0.05$). While the lactic acid (LA) content of 0.5 g/kg and 0.7 g/kg treatment were higher than in the control ($P > 0.05$). 【Conclusion】 The addition of stevia isochlorogenic acid can improve the nutritional value of silage corn, promote lactic acid production, reduce silage pH value and $\text{NH}_3\text{—N}$ content, and improve the overall quality of silage fermentation quality. According to the silage sensory evaluation, fermentation quality, and nutritional content, adding 0.5 g/kg stevia isochlorogenic acid to silage for 40 days was better under the conditions of this experiment.

Key words: stevia; isochlorogenic acid; silage; corn; nutritional components; fermentation quality

(责任编辑: 康宇坤)