

茶鲜叶萎凋时期乙烯利溶液对游离氨基酸组分的影响

李 琴^{1,2}, 戴宇樵², 冉乾松¹, 杨 婷², 刘忠英², 潘 科^{*2}

(1. 贵州大学 茶学院, 贵州 贵阳 550025; 2. 贵州省茶叶研究所, 贵州 贵阳 550006)

摘要: 探究萎凋过程中乙烯利溶液对离体茶鲜叶游离氨基酸含量的影响。以贵州省自主培育品种“黔茶 1 号”为试材, 设置对照组、喷施乙烯利组及喷施乙烯抑制剂组。采用邻苯二甲醛(*o*-phthalaldehyde, OPA)法、9-芴甲基氯甲酸酯(9-fluorenylmethyl chloroformate, FMOC)法进行高效液相色谱在线衍生检测游离氨基酸。结果表明, 鲜爽味氨基酸含量随萎凋时间延长而减少, 甜味、苦味氨基酸含量随时间推移呈上升趋势。3 类呈味氨基酸含量在萎凋期间对喷施乙烯处理响应不同。萎凋期间, 鲜味氨基酸含量受乙烯诱导上调, 差异显著发生在 4、8 h; 甜味氨基酸含量在各处理间总体差异不显著; 各处理组苦味氨基酸含量在 4、8 h 无显著变化, 12、20、24 h 含量有所下降, 差异不显著。鲜味氨基酸以茶氨酸为主, 除谷氨酸含量在 4 h 时各处理间无显著差异外, 茶氨酸、天冬氨酸及谷氨酸含量受乙烯诱导上调。甜味氨基酸中丝氨酸、脯氨酸含量不受乙烯调控, 甘氨酸含量受乙烯诱导上调, 丙氨酸含量不完全受乙烯调控。苦味氨基酸中组氨酸、酪氨酸、缬氨酸、异亮氨酸及亮氨酸含量受乙烯诱导上调。因此, 萎凋期间喷施乙烯利溶液可以显著提高部分游离氨基酸含量。

关键词: 乙烯利; 萎凋; 游离氨基酸

中图分类号: TS 205 文章编号: 1673-1689(2022)09-0085-08 DOI: 10.3969/j.issn. 1673-1689.2022.09.010

Effect of Ethephon Solution on Dynamic Changes of Free Amino Acid Components in Fresh Leaves of Withered Tea

LI Qin^{1,2}, DAI Yuqiao², RAN Qiansong¹, YANG Ting², LIU Zhongying², PAN Ke^{*2}

(1. College of Tea Science, Guizhou University, Guiyang 550025, China; 2. Guizhou Tea Research Institute, Guiyang 550006, China)

Abstract: The effect of ethephon solution on the content of free amino acids in fresh tea leaves during withering was studied. A control group, a liquid-applied ethylene group and an ethylene inhibition group were set using the cultivar 'Qiancha 1' self-cultivated in Guizhou Province as the test material. *o*-phthalaldehyde (OPA) and fluorenylmethyl chloroformate (FMOC) methods were used for online derivatization and detection of free amino acids through high-performance liquid chromatography. The results showed that the content of umami and refreshing amino acids decreased, while the content of sweet and bitter amino acids increased with the prolongation of withering. The contents of three kinds of flavor amino acids had different responses to liquid-applied ethylene treatment during withering. The contents of umami amino acids were up-regulated by

收稿日期: 2021-04-12

基金项目: 贵州省科技计划项目(黔科合服企[2019]4006)。

* 通信作者: 潘 科(1984—), 男, 博士, 副研究员, 硕士研究生导师, 主要从事茶叶加工研究。E-mail: 148450502@qq.com

ethylene during withering, and the difference was significant at 4 h and 8 h. There was insignificant difference in the content of sweet amino acids among all the treatments. The bitter amino acids had no significant change at 4 h and 8 h during withering, but decreased with insignificant difference at 12, 20, 24 h. Theanine was the dominant umami flavor, and the contents of theanine, aspartic acid and glutamic acid were up-regulated by ethylene, except that there was no significant difference in glutamic acid content among all the treatments at 4 h. The contents of serine and proline in sweet amino acids were not regulated by ethylene, while the content of glycine was up-regulated by ethylene. And the content of alanine was incompletely regulated by ethylene. The contents of histidine, tyrosine, valine, isoleucine and leucine in bitter amino acids were up-regulated by ethylene. Therefore, the application of ethephon solution during withering could significantly increase the content of partial free amino acids.

Keywords: ethephon, withering, free amino acids

乙烯作为重要的植物激素可调控植物各种生物学和非生物学过程,如促进萌发、抑制根系生长、刺激花叶衰老及果实成熟^[1]。植物离体后也与乙烯有着紧密关系,生产中常通过调控乙烯为生产服务^[2]。如采后品质调控,包括色泽、香气、滋味、货架期^[3-5]。乙烯利在 pH>4 时释放乙烯气体,常代替乙烯用于生产^[6]。生产上常运用乙烯利涂抹法、喷施法、浸液法达到生产目的。聂艳喷施 75 mg/L 乙烯利溶液增加簕杜鹃花枝数、花朵数及花序数,提前植株始花期^[7]。Estanis 等通过喷施高浓度乙烯利溶液,在生产中达到低成本疏花的目的^[8]。Kongsuwan 等运用猕猴桃浸渍乙烯利溶液,促使果实软化,改善果实糖酸比^[9]。说明一定浓度乙烯利溶液能够实现乙烯生理调控的作用,施用方法应结合作物及生产特性进行选择。

茶树鲜叶离体后,仍作为生命体进行生理活动,在酶失活前,与采后果蔬存在共性^[10]。仍在进行呼吸作用、水分散失、诱导激素释放等活动,水分散失导致细胞液浓度增加,细胞膜透性改变及内含物质分解与合成^[11]。尤伟平运用气相色谱法检测乌龙茶加工中不同摇青处理后样品的内源乙烯,检测到试样释放乙烯含量顺序为:第 4 次摇青叶>第 3 次摇青叶>第 2 次摇青叶>第 1 次摇青叶>晒青叶>鲜叶,产生机械损伤的摇青工艺是乌龙茶品质形成的关键,说明机械损伤诱导释放的乙烯与乌龙茶品质形成有关联^[12]。因茶类加工工艺存在差异,其他工艺是否与之类似有待进一步研究。

游离氨基酸种类、营养丰富,且可被人体直接吸收,同时作为重要呈味物质体现出鲜、甜、酸、苦

及涩等味感,这些多样味感形成食物丰富的味觉层次^[13]。茶叶中游离氨基酸占氨基酸总质量的 70%,是组成茶汤鲜爽滋味的主要因子,在茶叶品质评估、加工中是不得不考量的品质因子。根据游离氨基酸所带基团不同,可将氨基酸分为鲜爽味氨基酸、甜味氨基酸及苦味氨基酸^[14-16]。在乙烯处理下,活体状态茶鲜叶游离氨基酸如何变化尚未探明,因此结合茶叶萎凋特性,采用喷施法对茶树离体新梢进行处理并定量检测游离氨基酸,旨在探究乙烯利溶液对萎凋期茶叶中游离氨基酸组分的影响,探明茶叶萎凋中乙烯应用的可行性。

1 材料与方法

1.1 实验材料

以贵州省茶叶研究所自主培育品种“黔茶 1 号”为实验材料,2020 年 7 月 23 日于贵州省茶叶研究所种质资源圃采摘一芽二叶。

1.2 实验方法

将采摘材料分为对照组、喷施乙烯利组及喷施乙烯抑制剂组,3 个处理薄摊 2~3 cm 后进行 27 ℃ 恒温萎凋。每个处理间隔 4 h 取一次样,萎凋 24 h。样品装入写好标签的密封袋,经液氮处理后,转存 -80 ℃ 超低温冰箱,经真空冷冻干燥后磨粉待用。

乙烯利液体配制及施用方法:称取 0.5 g 乙烯利,溶于 500 mL 纯水制成乙烯利溶液,均匀喷洒于薄摊 2~3 cm 的茶叶表面,为使溶液均匀附着在叶片表面,可轻轻翻动,喷洒直至液体均匀滴落。为保证样品处理一致性,使用同样方法处理乙烯抑制剂组。

1.2.1 水分含量检测方法 使用快速水分测干仪称取 0.2 g 茶样,在 120 ℃条件下烘干,重复 3 次并记录数显屏数值。

1.2.2 游离氨基酸检测方法 样品制备:参照文献[17]的方法,适当修改。称取 0.1 g 茶样,加入 10 mL 纯水,100 ℃沸水提取 45 min,每隔 10 min 振荡一次。冷却后经 0.45 μm 水系滤头过滤后,备用。取 0.5 mL 待测样加入 0.5 mL 超纯水,制成待测样。

检测方法:使用岛津游离氨基酸试剂包,采用 OPA、FMOC 法进行在线衍生。利用岛津液相色谱仪,色谱柱采用 Durashell-AA 氨基酸分析专用柱(4.6 mm×150 mm,3 mm);流动相 A:精确称量 4.5 g 十二水磷酸氢二钠、4.75 g 十水四硼酸钠,超纯水溶解定容至 1 000 mL,加入 1.5 mL 质量分数 36% 的盐酸调节 pH,过滤备用;流动相 B:乙腈、甲醇、水体积比为 45:45:10。流动相均超声脱气 15 min。洗脱梯度及流量:0 min,5%B,1.6 mL/min;6 min,10%B,1.6 mL/min;8 min,10%B,1.6 mL/min;10 min,16%B,1.3 mL/min;23 min,40%B,1 mL/min;30 min,50%B,1.6 mL/min;31 min,100%B,1.6 mL/min;34 min,

100%B,1.6 mL/min;35 min,5%B,1.6 mL/min;38 min,5%B,1.6 mL/min(均为体积分数)。

1.3 数据分析

采用 Excel 2010 进行数据统计。SPSS 软件进行统计分析,采用 ANOVA 单因素方差进行分析($P<0.05$)。采用 Origin 2018 b 绘图软件进行图表制作。所有检测均进行 3 次重复。

2 结果与分析

2.1 水分含量及茶鲜叶物理变化

萎凋过程鲜叶感官特性见表 1,水分含量(均为质量分数)变化见图 1,外观变化见图 2。对照组鲜叶色泽明亮、鲜绿,叶质硬挺,品种香略带青气。4 h 时两个喷施处理组,叶片叶质挺拔,色泽明亮、鲜绿,喷施乙烯利组有花香,而喷施乙烯抑制剂组呈青气,对照组花香显露,叶缘轻微背卷。随着时间推移,鲜叶水分含量逐渐降低,叶色由富有光泽转为暗淡,叶质硬挺转为柔软,直至干边。同一时段不同处理水分含量不同,3 组处理水分含量随时间推移而降低,样品具有相同水分含量时,萎凋时长最长

表 1 萎凋过程中各处理组的感官特性变化

Table 1 Changes of sensory characteristics of each treated group during withering

组别	外形	香气	叶质
A(0 h)	色泽明亮,芽头嫩绿,一叶绿中透黄,二叶绿	品种香略带青气	叶质硬挺
A(4 h)	叶色转暗,芽头显白,绿色渐深	花香显露	叶缘轻微背卷,叶质稍硬
B(4 h)	色泽明亮、鲜绿	花香	叶质硬挺
C(4 h)	色泽明亮、绿	青气重	叶质硬挺
A(8 h)	叶色变深,芽头满布白毫,一叶白毫显,二叶深绿	花香	叶缘背卷 2/3,叶质柔软,僵硬
B(8 h)	叶色转暗,芽头显白	花香浓郁	叶缘轻微背卷
C(8 h)	色泽暗绿,芽头显白毫	花香略带青气	叶缘轻微背卷
A(12 h)	色泽暗绿,芽头满布白毫,一叶白毫显,二叶深绿,梗局部褐变	花香	叶缘稍干,梗柔软
B(12 h)	叶色转暗显鲜绿,芽头显白	花香浓郁	叶缘背卷 2/3,叶质柔软
C(12 h)	色泽暗绿,芽头显白毫	花香	叶缘背卷 2/3,叶质柔软
A(16 h)	叶色深绿,芽头、一叶满布白毫,梗局部褐变	花香低	叶缘稍干,梗出现皱缩
B(16 h)	叶色转暗显鲜绿,芽头显白	花香	叶缘稍干
C(16 h)	叶色暗绿,芽头满布白毫	花香	叶缘稍干
A(20 h)	一芽一叶灰白,二叶深绿且暗	花香低	叶质干,大幅皱缩
B(20 h)	一芽一叶灰绿,二叶深绿且暗	花香	叶质干,大幅皱缩
C(20 h)	一芽一叶灰绿,二叶深绿且暗	花香	叶质干,大幅皱缩
A(24 h)	一芽一叶灰绿,二叶深绿且暗	花香低	叶质干,大幅皱缩
B(24 h)	一芽一叶深绿带灰白,二叶深绿且暗	花香低	叶质干,大幅皱缩
C(24 h)	一芽一叶深绿带灰白,二叶深绿且暗	花香低	叶质干,大幅皱缩

注:A 为对照组、B 为喷施乙烯利组、C 为喷施乙烯抑制剂组。

为喷施乙烯利组,喷施乙烯抑制剂组次之,对照组最短。同一萎凋时长水分含量次序为:喷施乙烯利组>喷施乙烯抑制剂组>对照组。

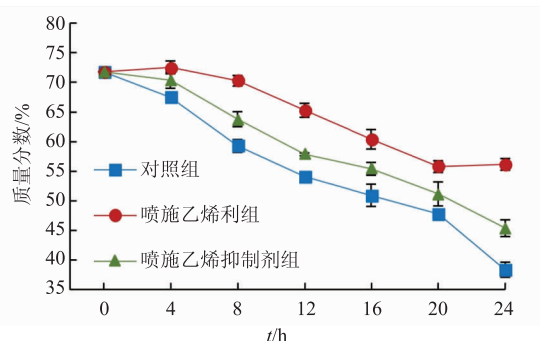


图 1 萎凋过程中各处理组的水分质量分数变化

Fig. 1 Changes of water mass fraction of each treated group during withering



图 2 萎凋过程中样品外观变化

Fig. 2 Appearance change of samples during withering

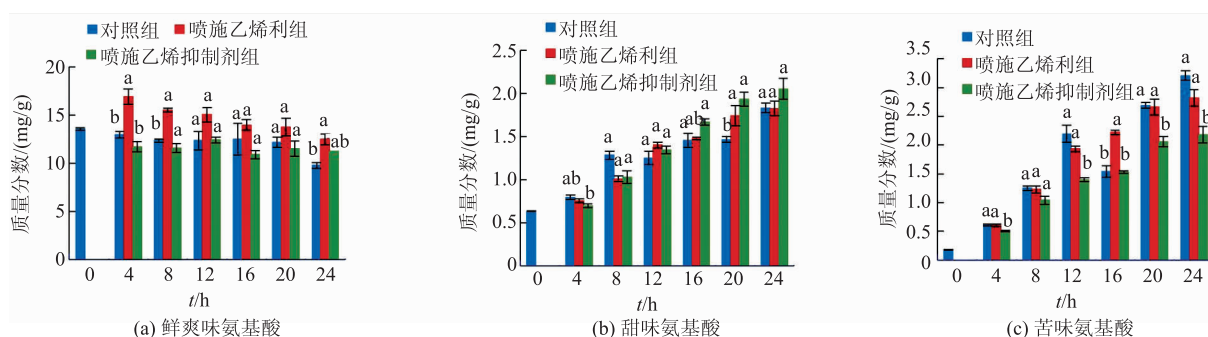


图 3 萎凋过程中呈味氨基酸质量分数变化

Fig. 3 Mass fraction changes of flavor amino acid during withering

2.2.1 鲜爽味氨基酸 茶氨酸、天冬氨酸及谷氨酸构成鲜爽味氨基酸。如图 4 所示,茶氨酸为鲜爽味氨基酸主体,对照组中茶氨酸变化趋势呈现波动性,先降后升再降,喷施乙烯抑制剂组变化趋势总体与对照组一致,两组间无显著差异。萎凋期间喷施乙烯利可提高茶氨酸质量分数,分别在 4、8、12 h 得到显著提高。在整个萎凋期天冬氨酸先升后降,

对照组和喷施乙烯抑制剂组无显著差异,喷施乙烯利可显著提高天冬氨酸质量分数,以 8、12、16 h 最显著。随时间推移谷氨酸降低,喷施乙烯利组在萎凋 4 h 后谷氨酸质量分数显著提高,20 h 后喷施乙烯抑制剂组、喷施乙烯利组与对照组相比,谷氨酸略有提高,但差异不显著。

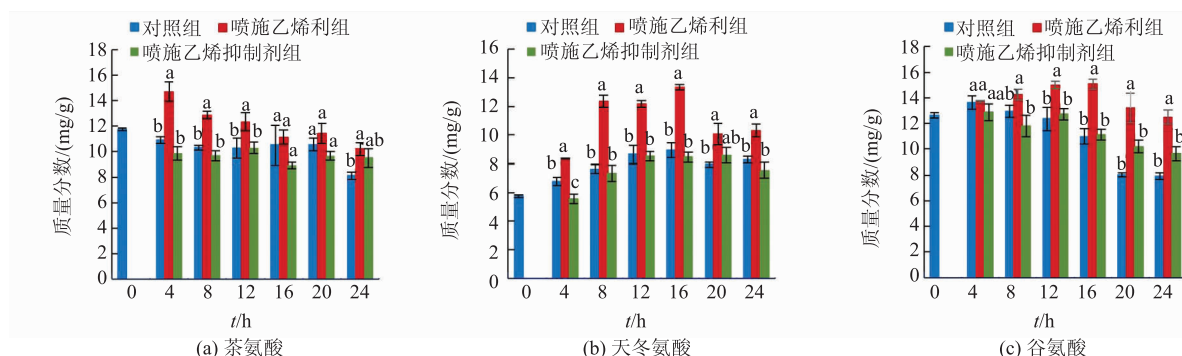


图 4 萎凋过程中鲜爽味氨基酸质量分数变化

Fig. 4 Changes of umami and refreshing amino acid mass fraction during withering

2.2.2 甜味氨基酸 由图 5 可知,丝氨酸、甘氨酸、苏氨酸、丙氨酸及脯氨酸构成甜味氨基酸。各氨基酸质量分数排序为:丝氨酸>苏氨酸、丙氨酸>脯氨酸>甘氨酸。萎凋期间,对照组除苏氨酸变化趋势稳定,其他均随时间推移而增加。丝氨酸在 8 h 受两种

喷施处理显著下调,其他萎凋期质量分数略有不同,无显著差异。喷施乙烯利处理组的甘氨酸高于对照组与喷施乙烯抑制剂组,在 4 h 后差异显著,且对照组和喷施乙烯抑制剂组间无显著差异。萎凋期间,对照组中苏氨酸显著低于喷施乙烯利组和喷施

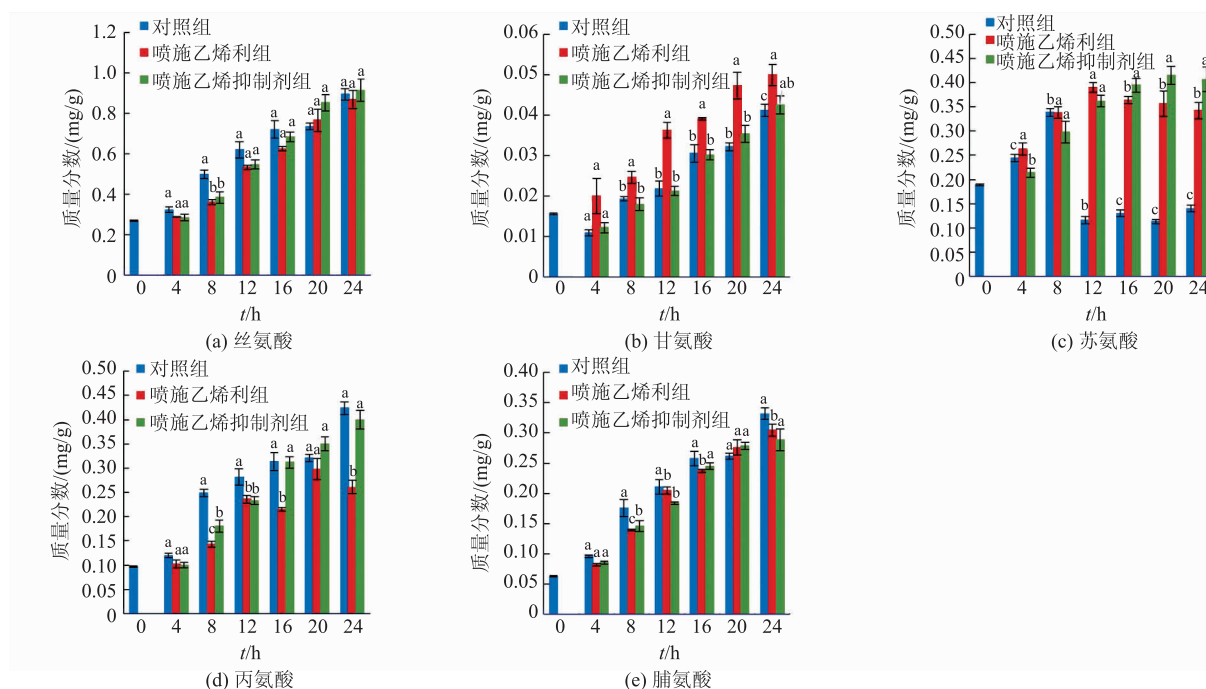


图 5 萎凋过程中甜味氨基酸质量分数变化

Fig. 5 Changes of sweet amino acid mass fraction during withering

乙烯抑制剂组,4 h 时,喷施乙烯利组苏氨酸高于喷施乙烯抑制剂组及对照组;8 h 和 12 h 时喷施乙烯利组和喷施乙烯抑制剂组无显著差异;16、20、24 h 时,喷施乙烯利组低于喷施乙烯抑制剂组。喷施乙烯利组降低了丙氨酸质量分数,对照组和喷施乙烯抑制剂组分别在 8 h 和 12 h 时差异显著,其余萎凋期并不存在显著差异。喷施乙烯利组在 8 h 显著降低脯氨酸质量分数,其余时间各处理间差异较小。

2.2.3 苦味氨基酸 由图 6 可知,组氨酸、精氨酸、酪氨酸、缬氨酸、甲硫氨酸、异亮氨酸、苯丙氨酸及亮氨酸组成苦味氨基酸。组氨酸、缬氨酸、异亮氨酸、苯丙氨酸及亮氨酸随着时间推移增高。4 h 时喷施乙烯利与喷施乙烯抑制剂组均可提高组氨酸且显著高于对照组,12 h 和 16 h 对照组和喷施乙烯抑制剂组无显著差异。在 4 h 时,喷施乙烯利组精氨酸质量分数显著降低,喷施乙烯抑制剂组和对照组无明显差异;16 h 时对照组降低,其余两处理组显著

高于对照组,且喷施乙烯利组显著低于喷施乙烯抑制剂组,16 h 及以后对照组精氨酸保持较低水平,两处理组均显著高于对照组,但两处理间不存在显著差异。喷施乙烯抑制剂组和对照组酪氨酸较低,喷施乙烯利提高酪氨酸作用显著。16、20、24 h 时,喷施乙烯抑制剂组中缬氨酸略高于对照组,差异不显著,喷施乙烯利组显著高于其余组。在 4 h 和 8 h 时,对照组和喷施乙烯利组甲硫氨酸不存在显著差异,12 h 起存在显著差异,在 4~12 h,喷施乙烯抑制剂组显著高于其余组。在 4 h 时各处理间异亮氨酸不存在显著差异,8 h 起喷施乙烯利组较其他组显著增高。喷施乙烯利组中苯丙氨酸分别在 20 h 和 24 h 略高于其余组,其余萎凋时期,两处理组显著低于对照组。喷施乙烯抑制剂组中亮氨酸分别在 4 h 和 8 h 时显著低于其余组,12 h 起喷施乙烯利组显著高于其余组,且其余组间无显著差异。

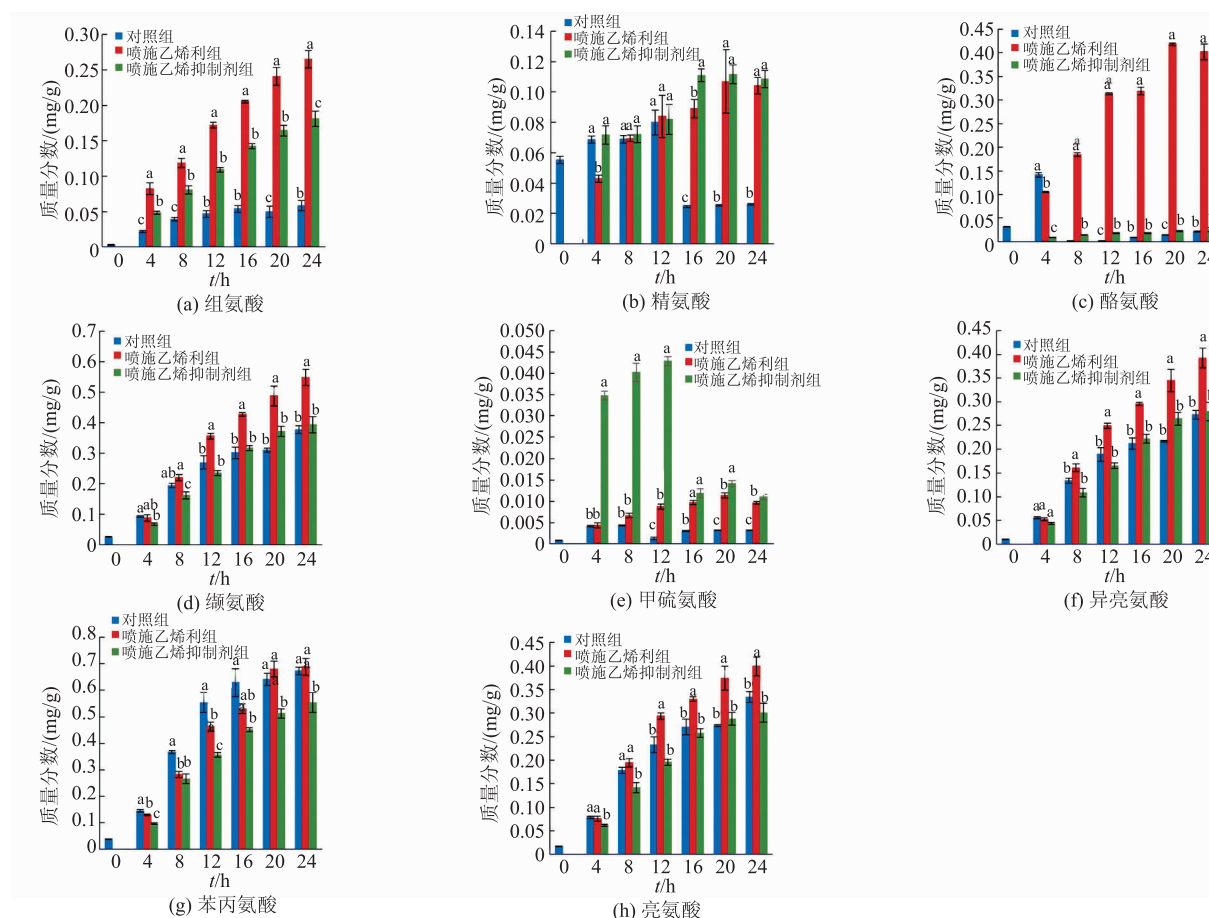


图 6 萎凋过程中苦味氨基酸质量分数变化

Fig. 6 Changes of bitter amino acid mass fraction during withering

3 结 语

研究表明适度萎凋对干茶与茶汤色泽形成有益,同时叶质变软增加茶叶可塑性,可减少加工中断碎叶的产生^[2]。该研究表明,萎凋期间对照组、喷施乙烯利组及喷施乙烯抑制剂组叶色由亮绿转为暗绿直至灰绿,叶质由硬挺转向柔软直至干边,对照组中萎凋叶于4 h开始叶色转暗,喷施处理补充水分使得萎凋叶持绿时间变长,同时香气呈现出“青草气逐渐消失,花香渐显转向浓郁,直至转低”的变化。喷施乙烯利组花香显露时间早于对照组,喷施乙烯抑制剂组青气持续时间长于对照组及喷施乙烯利组,8 h时仍带有青气,花香持续时间短。可依据这一实验现象对绿茶、白茶等需要保持茶叶绿色的茶类进行加工。

鲜爽味氨基酸包括谷氨酸、天冬氨酸及茶氨酸,对照组中,其随萎凋时间延长略有减少,Li等研究表明茶氨酸质量分数与萎凋时间呈负相关^[23],该研究中对照组的变化趋势与其研究结果一致,但喷施乙烯利组茶氨酸显著上调。虞昕磊研究表明相较于鲜叶,摊放后谷氨酸明显下降^[24]。该研究对照组中谷氨酸随时间推移下降,喷施乙烯利则提高了谷氨酸。可见,喷施乙烯利可以显著提高鲜爽味氨基酸质量分数。

甜味氨基酸随时间推移呈上升趋势。乙烯可显著降低甜味氨基酸中脯氨酸质量分数,前人研究表明,脯氨酸参与细胞渗透压调节来增强植物抗性^[25],脯氨酸高与提高植物抗逆性存在相关性。该研究可能由于喷施补充的水分,减少了茶鲜叶遭受的水分胁迫,使得其下降。乙烯可显著提高甘氨酸、苏氨酸,丙氨酸在不同萎凋时期对各处理响应不同。脯

氨酸不受乙烯调控,甘氨酸受乙烯诱导上调,丙氨酸不完全受乙烯调控。

总体而言,鲜爽味氨基酸和苦味氨基酸中的组氨酸、酪氨酸、缬氨酸、异亮氨酸及亮氨酸受乙烯诱导上调,据虞昕磊研究结果推测液施处理可补充茶鲜叶水分,延长萎凋时间使蛋白质水解反应更为充分,从而提高游离氨基酸^[24]。将喷施乙烯抑制剂组与喷施乙烯利组相比较,发现喷施乙烯利组对部分游离氨基酸发挥调控作用,结合前人研究可以理解为乙烯和水共同存在,一方面水使萎凋时间延长,使蛋白质水解更加充分,从而增加游离氨基酸质量分数,另一方面乙烯发挥作用提高了游离氨基酸质量分数,尤其是鲜爽味氨基酸。

食品安全成为人类关注焦点,欧洲食品安全局基于农业实践报告称乙烯利在烘焙、煮沸、酿造等过程中主要降解为乙烯气体,对人体无毒害^[26]。茶鲜叶萎凋是茶叶加工第一个环节,后续还需经过高温加工,因此茶鲜叶萎凋期间喷施乙烯利对人体健康无毒害。鲜叶采摘后,呼吸作用释放热量,茶叶生产高峰期,若不能及时投产会致使茶鲜叶品质降低影响成茶品质,喷施乙烯利可降低茶鲜叶叶温,延长茶叶萎凋时间,减缓茶厂生产压力。显著提高的游离氨基酸能中和夏秋茶苦涩口感,同时喷施乙烯利对叶色有保护作用。后续可在该研究基础上进行成茶加工,通过茶叶感官审评进一步评估成茶品质。另外,香气是衡量茶叶品质的重要指标之一,茶树鲜叶在采后的萎凋、做青过程中受到的高温、机械损伤等非生物胁迫,诱导了不饱和脂肪酸的脂氧合酶代谢途径从而产生脂肪族类香气物质^[27]。而萎凋期间喷施乙烯利,萎凋叶表现出良好的香气品质,其原因有待进一步研究。

参考文献:

- [1] ZHANG W Q, HU Y X, LIU J, et al. Progress of ethylene action mechanism and its application on plant type formation in crops [J]. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 2020, 27(6): 1667-1673.
- [2] HU H L, ZHAO H H, ZHANG L G, et al. The application of 1-methylcyclopropene preserves the postharvest quality of cabbage by inhibiting ethylene production, delaying chlorophyll breakdown and increasing antioxidant capacity [J]. *Scientia Horticulturae*, 2021, 281(30): 1-11.
- [3] LU L, ZUO W F, WANG C C, et al. Analysis of the postharvest storage characteristics of the new red-fleshed apple cultivar 'meihong' [J]. *Food Chemistry*, 2021, 354: 1-11.
- [4] HU B X, SUN D W, PU H B, et al. Recent advances in detecting and regulating ethylene concentrations for shelf-life extension and maturity control of fruit: a review [J]. *Trends in Food Science and Technology*, 2019, 91: 66-82.

- [5] 王佳慧,顾凯迪,王楚堃,等. 苹果乙烯响应因子 MdERF72 对非生物胁迫的响应[J]. 中国农业科学,2019,52(23):4374-4385.
- [6] 郭西智,陈锦永,顾红,等. 乙烯利在果蔬生产中的安全应用[J]. 湖北农业科学,2018,57(8):5-8.
- [7] 聂艳. 乙烯利和多效唑对筋杜鹃观赏性状调控的生理基础及花芽分化进程研究[D]. 北京:中国林业科学研究院,2017.
- [8] ESTANIS T, JORDI G B, LUIS A. Thinning flat peaches with ethephon and its effect on endogenous ethylene production and fruit quality[J]. **Scientia Horticulturae**, 2021, 278: 1-13.
- [9] KONGSUWAN A, TAKANORI S, KATSUYA O, et al. Effects of ethephon and abscisic acid application on ripening-related genes in 'Kohi' kiwifruit (*Actinidia chinensis*) on the Vine[J]. **Horticultural Plant Journal**, 2017(1):31-35.
- [10] MARITIM T K, KAMUNYA S M, MIREJI P, et al. Physiological and biochemical response of tea [*Camellia sinensis* (L.) O. Kuntze] to water-deficit stress[J]. **Journal of Horticultural Science and Biotechnology**, 2015, 90(4):395 - 400.
- [11] NYARUKOWA C, KOECH R, LOOTS T, et al. SWAPDT: a method for short-time withering assessment of probability for drought tolerance in *Camellia sinensis* validated by targeted metabolomics[J]. **Journal of Plant Physiology**, 2016, 198:39-48.
- [12] 尤伟平. 乌龙茶摇青叶内源乙烯的测定[J]. 茶叶科学技术, 1989(1):30-32.
- [13] KIRIMURA J, SHIMIZU A, KIMIZUKA A, et al. Contribution of peptides and amino acids to the taste of foods[J]. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 1969, 17(4):689-695.
- [14] CO H, SANDERSON G W. Biochemistry of tea fermentation: conversion of amino acids to black tea aroma constituents[J]. **Journal of Food Science**, 2010, 35(2):160-164.
- [15] DAI W D, XIE D C, LU M L, et al. Characterization of white tea metabolome: comparison against green and black tea by a nontargeted metabolomics approach[J]. **Food Research International**, 2017, 96:40-45.
- [16] 云金虎, 江皓, 韩文学, 等. 不同品种海棠叶茶游离氨基酸组成分析与评价[J]. 食品与发酵工业, 2020, 46(19):237-243.
- [17] WANG Y, ZHENG P C, LIU P P, et al. Novel insight into the role of withering process in characteristic flavor formation of teas using transcriptome analysis and metabolite profiling[J]. **Food Chemistry**, 2019, 272:313-322.
- [18] JABEEN S, ALAM S, SALEEM M, et al. Withering timings affect the total free amino acids and mineral contents of tea leaves during black tea manufacturing[J]. **Arabian Journal of Chemistry**, 2019, 12(8):2411-2417.
- [19] YE Y L, YAN J N, CUI J L, et al. Dynamic changes in amino acids, catechins, caffeine and gallic acid in green tea during withering[J]. **Journal of Food Composition and Analysis**, 2018, 66:98-108.
- [20] HOU Z W, WANG Y J, XU S S, et al. Effects of dynamic and static withering technology on volatile and nonvolatile components of Keemun black tea using GC-MS and HPLC combined with chemometrics[J]. **LWT-Food Science and Technology**, 2020, 130:1-34.
- [21] 袁弟顺, 林丽明, 岳文杰, 等. 自然萎凋白茶的品质形成机理研究[C]. 2008 茶学青年科学家论坛论文集.[出版地不详]: 中国茶叶学会, 2008:141-149.
- [22] 叶玉龙. 萎凋 / 堆放对茶叶在制品主要理化特性的影响[D]. 重庆: 西南大学, 2018.
- [23] LI D, LI C Y, HU C J, et al. Study on the accumulation mechanism of amino acids during bruising and withering treatment of oolong tea[J]. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 2020, 68(47):14071-14080.
- [24] 虞昕磊. 鲜叶堆放方式对绿茶色、香、味品质成分代谢的影响研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2020.
- [25] 黄伟超, 范宇博, 王泳超. 低温胁迫对玉米幼苗抗氧化系统及渗透调节物质的影响[J]. 中国农学通报, 2018, 34(24):6 - 12.
- [26] BRANCATO A, BROCCA D, LENTDECKER D, et al. Modification of the existing maximum residue level for ethephon in kaki/Japanese persimmons[J]. **EFSA Journal**, 2017, 15(3):1-17.
- [27] 周子维, 刘宝顺, 武清扬, 等. 基于 LOX-HPL 途径的武夷肉桂加工中香气物质的形成与调控[J]. 食品与生物技术学报, 2021, 40(1):100-111.