

# 不同保鲜处理过程中茶青品质成分含量的变化

胡蝶<sup>1</sup>, 陈维<sup>1</sup>, 马成英<sup>1</sup>, 吕恩利<sup>2</sup>, 苗爱清<sup>1</sup>, 乔小燕<sup>1</sup>

(1. 广东省农业科学院茶叶研究所, 广东省茶树资源创新利用重点实验室, 广东广州 510640)

(2. 华南农业大学工程学院, 广东广州 510642)

**摘要:** 本研究对采后茶鲜叶进行低温(5~8 °C, 10~13 °C, 15~18 °C)和常温(21~23 °C)处理, 通过理化检测分析了茶青品质成分含量在不同保鲜处理过程中的变化情况。结果显示, 相较于对照0h, 可溶性糖含量在低温和常温处理36h中均未发生显著性变化; 游离氨基酸含量在10~13 °C组中维持着与对照相当的水平; 儿茶素(catechin, C)、表儿茶素(epicatechin, EC)和表儿茶素没食子酸酯(epicatechin gallate, ECG)的含量在不同保鲜处理组中均出现了显著下降( $p<0.05$ ); 表没食子儿茶素(epigallocatechin, EGC)、没食子儿茶素(gallocatechin, GC)和表没食子儿茶素没食子酸酯(epigallocatechin gallate, EGCG)的含量在5~8 °C或10~13 °C处理组中无显著性变化。此外, 通过基于可溶糖、游离氨基酸、C、EC、ECG、GC、EGC和EGCG的主成分分析发现, 在处理36h后4组低温样品均能与常温样品进行区分, 且较常温样品更接近0h对照样品。综上所述, 10~13 °C处理能对茶青起到较好的保鲜作用。

**关键词:** 茶青; 保鲜; 品质; 儿茶素类化合物

文章编号: 1673-9078(2021)04-110-115

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2021.4.0916

## Changes in Contents of Quality Related Components of Tea Leaves under Different Preservation

HU Die<sup>1</sup>, CHEN Wei<sup>1</sup>, MA Cheng-ying<sup>1</sup>, LYU En-li<sup>2</sup>, MIAO Ai-qing<sup>1</sup>, QIAO Xiao-yan<sup>1</sup>

(1. Guangdong Key Laboratory of Tea Plant Resources Innovation and Utilization, Tea Research Institute, Guangdong Academy of Agricultural Sciences, Guangzhou 510640, China)

(2. College of Engineering, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

**Abstract:** In this work, the plucked tea leaves were preserved at different temperatures, including a range of refrigeration at 5~8 °C, 10~13 °C, and 15~18 °C, as well as a room temperature storage at 21~23 °C, for 36 hours. Changes of quality-related components of tea leaves were investigated during the process of preservation through detecting biochemical indexes. The content of soluble sugar showed no significant changes in neither refrigeration nor room temperature sample groups after 36 hour treatment. The content of free amino acids maintained at the same level before and after 36 hour refrigeration at 10~13 °C. The catechin (C), epicatechin (EC), and epicatechin gallate (ECG) decreased significantly in all preservation treatments ( $p<0.05$ ). The contents of epigallocatechin (EGC), gallocatechin (GC), and epigallocatechin gallate (EGCG) demonstrated no significant variation after 36 hour refrigeration at neither 5~8 °C nor 10~13 °C. The result of principle component analysis (PCA) suggested all samples of four refrigeration treatments were separated from the room temperature ones on the basis of soluble sugar, free amino acids, C, EC, EGC, GC, EGC, and EGCG. The refrigerated samples also clustered closer to the fresh leaves than the ones of room temperature case. In conclusion, 10~13 °C treatment could be a better choice to store plucked tea leaves.

**Key words:** tea leaves; preservation; quality; catechins

引文格式:

胡蝶,陈维,马成英,等.不同保鲜处理过程中茶青品质成分含量的变化[J].现代食品科技,2021,37(4):110-115

HU Die, CHEN Wei, MA Cheng-ying, et al. Changes in contents of quality related components of tea leaves under different preservation [J]. Modern Food Science and Technology, 2021, 37(4): 110-115

收稿日期: 2020-10-06

基金项目: 广东省省长专项(粤财农(2019)170号); 广东省乡村振兴战略专项资金(农业科技能力提升)(403-2018-XMZC-0002-90); 广东省农业科学院院长专项(201939; 202037)

作者简介: 胡蝶(1991-), 女, 博士, 研究方向: 茶叶加工; 通讯作者: 乔小燕(1982-), 女, 博士, 副研究员, 研究方向: 茶叶加工

茶树是我国重要的经济作物之一,其芽叶制成的饮品因具有独特的香气与滋味,深受消费者的喜爱<sup>[1]</sup>。目前茶树已在全球广泛种植,茶日均消耗量超两百万杯,是仅次于水的第二大饮料<sup>[2]</sup>。茶青原料的好坏是影响成品茶质量的重要因素之一。在茶叶生产旺季,受到加工厂产能限制的影响,茶青原料极易积压、变质<sup>[3,4]</sup>;此外,在茶叶集约化生产过程中,不当的贮运也会引起茶青劣变,进而降低成品茶品质,造成经济效益下降<sup>[4]</sup>。

茶树芽叶经采摘离体后仍为有机活体,生命代谢活动并未停止。呼吸作用通过消耗营养物质释放能量<sup>[5]</sup>,该过程产生的热量会使叶堆内部温度上升,增强茶青内源酶活性,加速内含物转化。冷藏是常见的农产品采后保鲜手段之一<sup>[6-8]</sup>,可以降低呼吸作用的强度<sup>[9]</sup>,减缓有机体的内含物质损耗。张竹正等研究发现,茶鲜叶经微波杀青、低温去湿及真空包装后,可于-5至-20℃的环境中进行长期保存,且不会影响所制绿茶的品质<sup>[10,11]</sup>。该方法利用低温和缺氧条件,钝化了茶鲜叶内源酶的活性,从而降低了多酚类物质的氧化速率<sup>[11]</sup>,但是操作繁琐、所需成本较高,且不适用于需要内源酶参与加工过程的红茶、乌龙茶和白茶的茶青原料保存。此外,Katsuno等表示,相较于常温保存,经15℃低温保存16h的茶青,其所制绿茶的香气化合物含量更高<sup>[12]</sup>;Yu等发现,在绿茶加工过程中运用低温萎凋,可以显著提高蛋白质氨基酸的含量,而且低温环境能降低多酚氧化酶的活性,有利于减缓多酚类物质的氧化<sup>[13]</sup>。

本研究以红茶适制品种英红九号为试材,对不同保鲜温度处理下茶青品质相关内含物的含量变化进行分析,以期茶青保鲜贮运的相关研究提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

选取茶树品种英红九号为材料,于2019年11月按一芽二叶标准采摘自广东省农业科学院茶叶研究所英德基地。

### 1.2 试验设备

YS-XCAB气调实验箱,杭州屹石科技有限公司;高速粉碎机,天津市泰斯特仪器有限公司;HWS28型电热恒温水浴锅,上海一恒科学仪器有限公司;SC-3616离心机,安徽中科中佳科学仪器有限公司;752N紫外可见分光光度计,上海菁华科技仪器有限公司;Agilent 1200高效液相色谱仪,美国安捷伦科技公

司;ZORBAX Eclipse Plus C18色谱柱(4.6×250 mm, 5 μm),美国安捷伦科技公司等。

### 1.3 试验方法

#### 1.3.1 保鲜处理及样品固定

参照现有农产品采后保鲜的研究成果<sup>[12,14,15]</sup>及茶树对低温的响应情况<sup>[16,17]</sup>,设置了不同的茶青保鲜温度(具体处理流程及参数见图1),并分别于处理0、6、12、24、36h后采集样品(重复三次)。将样品进行微波固样2 min,于100℃的烘箱中放置2 h或直至烘干,经粉碎后保存于干燥器中。



图1 试验流程示意图

Fig.1 Schematic of the experimental workflow

#### 1.3.2 可溶性糖和游离氨基酸含量测定

称取茶粉0.100 g±0.005 g于50 mL离心管中,并记录重量;加入蒸馏水20 mL,拧好离心管盖;将装有样品的离心管进行沸水浴45 min,期间每10 min晃动震荡一次;4200 r/min离心20 min,上清液即为试验所需茶汤。可溶性糖含量测定方法参照试剂盒(苏州科铭生物技术有限公司)说明书,游离氨基酸含量测定方法参照GB/T 8314-2013<sup>[18]</sup>。

#### 1.3.3 茶多酚总量和儿茶素类化合物含量测定

茶多酚总量的测定及儿茶素类化合物的提取参照GB/T 8313-2018<sup>[19]</sup>进行。儿茶素类化合物通过高效液相色谱法(high performance liquid chromatography, HPLC)测定,进样量为5 μL,柱温35℃,紫外检测器波长设定为280 nm,流动相A为0.05%(V/V)85%磷酸水溶液,流动相B为纯乙腈,流速为1 mL/min。梯度洗脱程序为:0.0~30.0 min,6.5% B~16.0% B;30.0~34.0 min,16.0% B~20.0% B;34~39 min,20.0% B;39~40 min,20.0% B~6.5% B;40~45 min,6.5% B。

### 1.4 数据分析

使用软件SPSS 19.0对数据进行单因素方差分析和Tukey多重比较,以MetaboAnalyst 4.0<sup>[20]</sup>进行主成

分析, 并利用 Microsoft Excel 2016 进行图像绘制。

## 2 结果与讨论

### 2.1 不同保鲜处理下茶青中可溶性糖和游离氨基酸的含量变化

可溶性糖含量是评价茶叶品质的重要指标之一, 在茶叶加工过程中, 可溶性糖可于加热条件下发生羰氨反应和焦糖化反应, 产生部分香气物质和有色物质, 影响成品茶品质<sup>[21]</sup>。对不同保鲜处理下的茶青进行可溶性糖含量测定, 结果发现, 五组茶青的可溶性糖含量在处理 36 h 内, 均与对照 0 h 间不存在显著差异(图 2)。由此可见, 在处理 36 h 内, 低温、常温以及增湿与否均不会对茶青的可溶性糖含量产生较大影响。

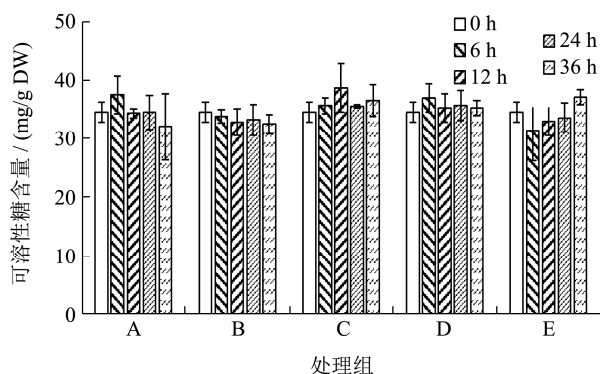


图 2 不同保鲜处理下茶青中可溶性糖的含量变化

Fig.2 Changes in soluble sugar content of tea leaves under different preservation

注: A: 5~8 °C; B: 10~13 °C (80~90% RH); C: 10~13 °C; D: 15~18 °C; E: 20~23 °C。

氨基酸是茶汤鲜爽味的呈味物质<sup>[22]</sup>, 此外也参与了美拉德反应, 在茶叶加工中影响香气物质的形成<sup>[21]</sup>。对茶青中游离氨基酸含量进行测定, 结果显示, 处理 36 h 后, A、B、C 三组的含量分别为 34.37 mg/g DW、35.49 mg/g DW 和 36.35 mg/g DW, 均与对照 0 h 间不存在显著差异( $p>0.05$ ); D、E 两组的含量为 36.98 mg/g DW 和 38.64 mg/g DW, 均与对照 0 h 间存在显著差异( $p<0.05$ ); 此外, 在整个处理过程中, A 组呈现先下降后回升的变化趋势, B、C 两组变化不大, 而 D、E 两组则表现为存在先下降后上升的变化情况(图 3)。有研究发现, 在黑暗条件下对采后茶青进行低温处理, 14 h 后氨基酸含量不会发生显著变化<sup>[13]</sup>。这说明, 适当的低温能在一定时间内保持茶青中氨基酸含量的稳定。

此外, 可溶性糖和游离氨基酸还是植物体内的渗透调节物, 参与了低温、干旱等多种逆境响应过程

<sup>[23-25]</sup>。田野等通过监测不同季节气温变化, 并测定可溶性糖、脯氨酸和游离氨基酸的含量, 结果发现可溶性糖含量与低温的相关性更大<sup>[26]</sup>。但薄晓培等表示, 可溶性糖、脯氨酸和游离氨基酸均能敏感地响应低温变化<sup>[27]</sup>。由此可见, 本研究所采用的保鲜处理未对采后茶鲜叶造成严重的低温胁迫。

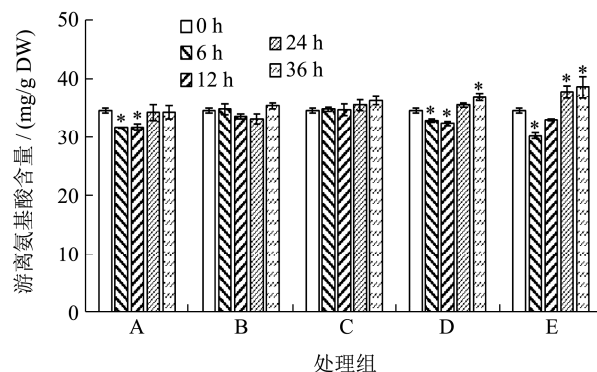


图 3 不同保鲜处理下茶青中游离氨基酸的含量变化

Fig.3 Changes in free amino acid content of tea leaves under different preservation

注: A: 5~8 °C; B: 10~13 °C (80~90% RH); C: 10~13 °C; D: 15~18 °C; E: 20~23 °C; \*表示该处理时间点与相应对照 0 h 之间存在显著性差异 ( $p<0.05$ )。

### 2.2 不同保鲜处理下茶青中茶多酚的含量变化

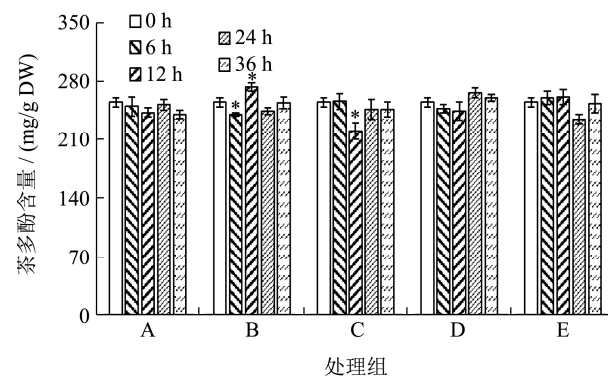


图 4 不同保鲜处理下茶青中茶多酚的含量变化

Fig.4 Changes in tea polyphenols content of tea leaves under different preservation

注: A: 5~8 °C; B: 10~13 °C (80~90% RH); C: 10~13 °C; D: 15~18 °C; E: 20~23 °C; \*表示该处理时间点与相应对照 0 h 之间存在显著性差异 ( $p<0.05$ )。

茶多酚是茶树中多酚类化合物的总称, 影响着茶汤色泽和滋味等品质特征<sup>[28]</sup>。对不同保鲜处理下的茶青进行茶多酚含量测定, 结果如图 4 所示。相较于对照 0 h, A、D、E 组的茶多酚含量在处理 36 h 内均不存在显著性差异 ( $p>0.05$ )。在 B 组中, 处理 6 h 的茶多酚含量较

对照 0 h 显著降低 ( $p < 0.05$ ), 处理 12 h 的茶多酚含量较 0 h 显著上升 ( $p < 0.05$ ); 而在 C 组中, 仅处理 12 h 的茶多酚含量较对照 0 h 发生了显著变化 ( $p < 0.05$ )。尽管如此, 在处理 36 h 后, B、C 两组的茶多酚含量均与对照 0 h 间不存在显著差异 ( $p > 0.05$ )。夏兴莉等也有类似发现, 他们表示, 采后茶鲜叶在 4 °C 的低温环境中放置 3~6 h, 其茶多酚含量未发生显著变化<sup>[29]</sup>。

### 2.3 不同保鲜处理下茶青中儿茶素类化合物的含量变化

儿茶素类化合物是茶树重要的次生代谢产物, 也是茶多酚的主要组成成分<sup>[21]</sup>。由于该类物质具有抗氧化和抑菌等作用, 目前已被运用于食品保鲜<sup>[30-32]</sup>。

茶鲜叶经采摘离体后, 养料与水分断供, 生命活

动受到胁迫。逆境条件下, 植物细胞会产生大量活性氧自由基, 导致细胞膜脂过氧化水平升高, 损伤膜系统<sup>[33]</sup>。儿茶素苯环上的酚羟基具有较强的供氢能力, 可发挥清除自由基的作用<sup>[30]</sup>。干旱胁迫下, 茶树叶片中的儿茶素类化合物含量显著降低<sup>[34]</sup>; 而在冷害胁迫下, 仅有 GC 含量降低, 其余儿茶素类化合物的含量变化不大<sup>[35]</sup>。利用 HPLC 对保鲜处理下采后茶鲜叶中六种主要儿茶素类化合物进行测定, 结果如表 1。相较于 0 h, C、EC 和 ECG 的含量在五个保鲜处理组中均出现了显著下降 ( $p < 0.05$ ); EGC 含量在 A、C 两处理组中无显著性变化 ( $p > 0.05$ ), 而 GC 的含量仅在 A 处理组中无显著性变化 ( $p > 0.05$ ), EGCG 的含量仅在 C 处理组中无显著性变化 ( $p > 0.05$ )。这说明低温环境下离体叶片中儿茶素类化合物的代谢, 与干旱、冷害胁迫下茶树叶片中儿茶素类化合物的代谢存在不同。

表 1 不同保鲜处理下茶青中儿茶素类化合物的含量变化

Table 1 Changes in catechins content of tea leaves under different preservation treatments

处理组	时间/h	儿茶素类化合物/(mg/g DW)					
		C	GC	EC	ECG	EGC	EGCG
A	0	10.42±0.19 <sup>b</sup>	3.95±0.09 <sup>a</sup>	26.25±0.87 <sup>a</sup>	48.30±0.66 <sup>a</sup>	15.78±0.72 <sup>a</sup>	40.35±1.29 <sup>a</sup>
	6	10.54±0.75 <sup>b</sup>	3.90±0.13 <sup>a</sup>	24.22±0.73 <sup>bc</sup>	42.46±0.47 <sup>bc</sup>	14.92±0.47 <sup>a</sup>	35.39±0.17 <sup>b</sup>
	12	9.34±0.48 <sup>bc</sup>	3.98±0.05 <sup>a</sup>	22.88±1.04 <sup>c</sup>	43.85±1.22 <sup>b</sup>	14.82±0.41 <sup>a</sup>	38.14±1.18 <sup>a</sup>
	24	12.02±0.13 <sup>a</sup>	4.11±0.06 <sup>a</sup>	25.92±0.34 <sup>ab</sup>	47.31±0.44 <sup>a</sup>	15.10±0.07 <sup>a</sup>	40.43±0.53 <sup>a</sup>
	36	8.38±0.69 <sup>c</sup>	4.04±0.06 <sup>a</sup>	22.77±0.06 <sup>c</sup>	41.74±0.81 <sup>c</sup>	15.57±0.31 <sup>a</sup>	38.43±0.53 <sup>a</sup>
B	0	10.42±0.19 <sup>ab</sup>	3.95±0.09 <sup>a</sup>	26.25±0.87 <sup>a</sup>	48.30±0.66 <sup>a</sup>	15.78±0.72 <sup>a</sup>	40.35±1.29 <sup>ab</sup>
	6	8.57±1.54 <sup>bc</sup>	3.63±0.10 <sup>b</sup>	20.19±0.60 <sup>c</sup>	40.46±0.98 <sup>b</sup>	14.49±0.32 <sup>b</sup>	36.79±1.12 <sup>c</sup>
	12	7.52±0.57 <sup>c</sup>	3.66±0.11 <sup>b</sup>	21.82±0.34 <sup>c</sup>	41.79±2.17 <sup>b</sup>	14.63±0.15 <sup>b</sup>	37.14±0.85 <sup>bc</sup>
	24	12.47±0.19 <sup>a</sup>	4.15±0.08 <sup>a</sup>	26.52±0.43 <sup>a</sup>	48.08±0.92 <sup>a</sup>	15.82±0.25 <sup>a</sup>	40.94±0.67 <sup>a</sup>
	36	8.32±0.54 <sup>bc</sup>	3.58±0.08 <sup>b</sup>	23.78±0.83 <sup>b</sup>	44.79±2.96 <sup>ab</sup>	14.36±0.22 <sup>b</sup>	37.17±1.90 <sup>bc</sup>
C	0	10.42±0.19 <sup>a</sup>	3.95±0.09 <sup>a</sup>	26.25±0.87 <sup>a</sup>	48.30±0.66 <sup>a</sup>	15.78±0.72 <sup>a</sup>	40.35±1.29 <sup>a</sup>
	6	7.51±0.43 <sup>bc</sup>	3.69±0.02 <sup>b</sup>	22.09±0.57 <sup>b</sup>	42.87±1.19 <sup>b</sup>	15.37±0.63 <sup>a</sup>	37.34±0.58 <sup>a</sup>
	12	6.51±0.48 <sup>c</sup>	3.38±0.09 <sup>c</sup>	21.21±1.50 <sup>b</sup>	41.29±2.44 <sup>b</sup>	14.07±0.42 <sup>a</sup>	36.25±2.34 <sup>a</sup>
	24	8.00±0.53 <sup>b</sup>	3.61±0.14 <sup>bc</sup>	23.51±1.60 <sup>ab</sup>	45.64±3.02 <sup>ab</sup>	15.53±0.74 <sup>a</sup>	40.68±2.47 <sup>a</sup>
	36	7.03±0.68 <sup>bc</sup>	3.48±0.03 <sup>bc</sup>	21.85±0.75 <sup>b</sup>	42.92±1.33 <sup>b</sup>	13.44±1.56 <sup>a</sup>	36.86±1.23 <sup>a</sup>
D	0	10.42±0.19 <sup>a</sup>	3.95±0.09 <sup>a</sup>	26.25±0.87 <sup>a</sup>	48.30±0.66 <sup>a</sup>	15.78±0.72 <sup>a</sup>	40.35±1.29 <sup>a</sup>
	6	7.63±0.30 <sup>b</sup>	3.40±0.02 <sup>c</sup>	22.78±0.24 <sup>c</sup>	41.73±0.81 <sup>c</sup>	14.18±0.37 <sup>a</sup>	33.92±0.48 <sup>c</sup>
	12	10.57±1.84 <sup>a</sup>	3.73±0.17 <sup>ab</sup>	24.81±1.08 <sup>ab</sup>	45.13±2.06 <sup>b</sup>	14.63±0.49 <sup>a</sup>	36.64±1.42 <sup>b</sup>
	24	7.98±0.06 <sup>b</sup>	3.50±0.01 <sup>bc</sup>	23.15±0.14 <sup>bc</sup>	44.14±0.19 <sup>bc</sup>	14.79±0.22 <sup>a</sup>	36.72±0.12 <sup>b</sup>
	36	8.71±0.07 <sup>ab</sup>	3.66±0.06 <sup>b</sup>	23.98±0.47 <sup>bc</sup>	46.14±0.93 <sup>ab</sup>	13.25±1.42 <sup>b</sup>	38.27±0.47 <sup>ab</sup>
E	0	10.42±0.19 <sup>a</sup>	3.95±0.09 <sup>a</sup>	26.25±0.87 <sup>a</sup>	48.30±0.66 <sup>a</sup>	15.78±0.72 <sup>a</sup>	40.35±1.29 <sup>a</sup>
	6	8.59±0.29 <sup>ab</sup>	3.62±0.16 <sup>b</sup>	24.34±1.36 <sup>ab</sup>	45.32±2.13 <sup>ab</sup>	15.55±0.55 <sup>a</sup>	38.49±1.81 <sup>ab</sup>
	12	9.76±1.64 <sup>a</sup>	3.77±0.14 <sup>ab</sup>	24.11±1.66 <sup>ab</sup>	45.55±2.15 <sup>ab</sup>	15.17±1.24 <sup>a</sup>	39.44±1.93 <sup>ab</sup>
	24	9.23±0.70 <sup>ab</sup>	3.54±0.06 <sup>b</sup>	23.11±0.14 <sup>bc</sup>	43.78±0.73 <sup>b</sup>	14.59±0.21 <sup>a</sup>	35.84±0.48 <sup>bc</sup>
	36	7.13±0.14 <sup>b</sup>	3.17±0.06 <sup>c</sup>	20.44±0.38 <sup>c</sup>	42.26±0.15 <sup>b</sup>	10.33±0.22 <sup>b</sup>	33.08±0.64 <sup>c</sup>

注: 不同小写字母间代表存在显著性差异 ( $p < 0.05$ ), 相同小写字母间代表不存在显著性差异 ( $p > 0.05$ )。

## 2.4 主成分分析

以 0 h 和 36 h 处所测得的可溶性糖、游离氨基酸和儿茶素类化合物含量数据, 进行主成分分析。得分图(图 5a)显示, 第一主成分(PC1)和第二主成分(PC2)的累计贡献率为 84.8%, 表明前两个主成分已涵盖原数据的大部分信息。对照 0 h、四个保鲜处理组的 36 h 与常温组的 36 h 在 PC1 方向上区分为三个区域, 而且四个保鲜处理组更靠近对照 0 h, 这说明不同程度的低温处理均能对茶青起到保鲜作用。根据载荷图(图 5b)可知, PC1 与游离氨基酸和可溶性糖的含量呈正相关, 与儿茶素类化合物含量呈负相关。此外, 依据 PC1 载荷值的绝对值大小, 以及得分图中对照 0 h 和常温组 36 h 在 PC1 轴上的位置, 推测儿茶素类化合物的含量可在一定程度上指征茶青原料的新鲜度。

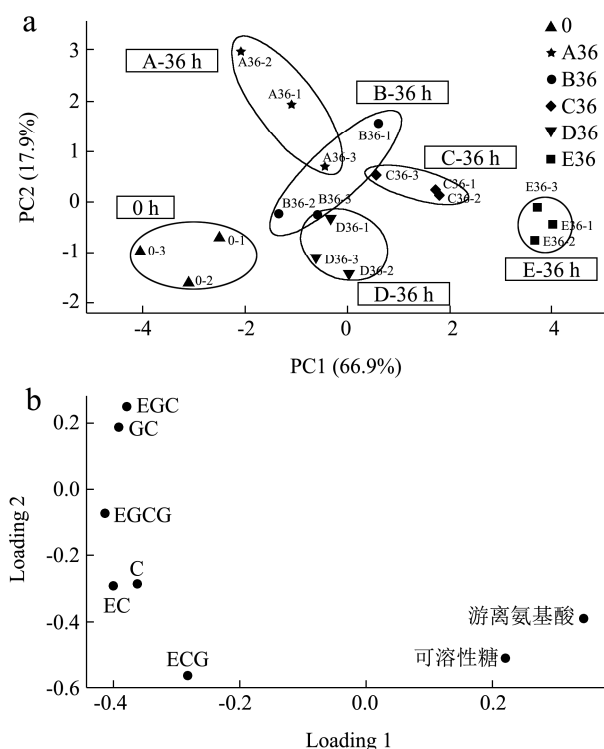


图5 基于可溶性糖、游离氨基酸和儿茶素类化合物含量的主成分分析

Fig.5 Principle component analysis based on contents of soluble sugar, free amino acid and catechins

注: A: 5~8 °C; B: 10~13 °C (80~90% RH); C: 10~13 °C; D: 15~18 °C; E: 20~23 °C。

## 3 结论

本文以红茶适制品种英红九号茶青为材料, 研究了不同采后保鲜处理对其品质相关化合物含量的影响。结果显示, 在处理 36 h 内, 低温、常温以及增湿

与否均不会对茶青的可溶性糖含量产生较大影响, 而游离氨基酸的含量仅在 10~13 °C 组中维持着与对照组相当的水平; EGC、GC 及 EGCG 的含量在 5~8 °C 或 10~13 °C 处理组中无显著性变化, C、EC 和 ECG 的含量则在五个保鲜处理组中均出现了显著下降。此外, 利用主成分分析发现, 儿茶素类化合物的含量可用于指征茶青原料的新鲜度。考虑到实际生产过程中的成本控制问题, 采用 10~13 °C 处理即可对茶青起到较好的保鲜作用。

## 参考文献

- [1] Xia E, Tong W, Wu Q, et al. Tea plant genomics: achievements, challenges and perspectives [J]. Horticulture Research, 2020, 7(1): 7
- [2] Drew L. The growth of tea [J]. Nature, 2019, 566(7742): S2-S4
- [3] Yu X, Hu S, He C, et al. Chlorophyll metabolism in postharvest tea (*Camellia sinensis* L.) leaves: variations in color values, chlorophyll derivatives, and gene expression levels under different withering treatments [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2019, 67(38): 10624-10636
- [4] 郭嘉明,陈劲,张敏,等. 茶鲜叶保鲜贮运技术研究现状及展望[J].中国茶叶,2020,42(7):11-15  
GUO Jia-ming, CHEN Jing, ZHANG Min, et al. Research status and prospect of storage and transportation technology of fresh tea leaves [J]. China Tea, 2020, 42(7): 11-15
- [5] Dusenge M, Duarte A, Way D. Plant carbon metabolism and climate change: elevated CO<sub>2</sub> and temperature impacts on photosynthesis, photorespiration and respiration [J]. New Phytologist, 2019, 221(1): 32-49
- [6] Kashash Y, Holland D, Porat R. Molecular mechanisms involved in postharvest chilling tolerance of pomegranate fruit [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2019, 99(13): 5617-5623
- [7] Habib M, Bhat M, Dar B, et al. Sweet cherries from farm to table: a review [J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2017, 57(8): 1638-1649
- [8] Galani J, Patel J, Patal N, et al. Storage of fruits and vegetables in refrigerator increases their phenolic acids but decreases the total phenolics, anthocyanins and vitamin C with subsequent loss of their antioxidant capacity [J]. Antioxidants, 2017, 6(3): 59
- [9] Shin S, Park M, Choi J, et al. Gene network underlying the response of harvested pepper to chilling stress [J]. Journal of

- Plant Biology, 2017, 219: 112-122
- [10] 张正竹,童宗寿,邓娅莉.绿茶原料保鲜技术研究[J].安徽农业大学学报,2000,27(2):161-163  
ZHANG Zheng-zhu, TONG Zong-shou, DENG Ya-li. Studies on the fresh care techniques of green tea materials [J]. Journal of Anhui Agricultural University, 2000, 27(2): 161-163
- [11] 张正竹,童宗寿.绿茶原料低温保鲜技术研究[J].保鲜与加工,2002,2(1):16-18  
ZHANG Zheng-zhu, TONG Zong-shou. Study on preserve freshness techniques of green tea materials [J]. Storage and Process, 2002, 2(1): 16-18
- [12] Katsuno T, Kasuga H, Kusano Y, et al. Characterisation of odorant compounds and their biochemical formation in green tea with a low temperature storage process [J]. Food Chemistry, 2014, 148: 388-395
- [13] Yu X, Li Y, He C, et al. Nonvolatile metabolism in postharvest tea (*Camellia sinensis* L.) leaves: effects of different withering treatments on nonvolatile metabolites, gene expression levels, and enzyme activity [J]. Food Chemistry, 2020, 327: 126992
- [14] 杨冲,谢晶.贮藏温度对空心菜保鲜效果的影响[J].食品与机械,2018,34(2):138-142,190  
YANG Chong, XIE Jing. Study on effect of different storage temperatures on *Ipomoea aquatica* [J]. Food & Machinery, 2018, 34(2): 138-142, 190
- [15] Fratianni F, Cefola M, Pace B, et al. Changes in visual quality, physiological and biochemical parameters assessed during the postharvest storage at chilling or non-chilling temperatures of three sweet basil (*Ocimum basilicum* L.) cultivars [J]. Food Chemistry, 2017, 229: 752-760
- [16] 陈芳,刘宇鹏,谷晓平,等.低温对茶树光合特性及产量的影响[J].作物杂志,2018,34(3):155-161  
CHEN Fang, LIU Yu-peng, GU Xiao-ping, et al. Effects of low temperature on photosynthetic characteristics and yield of tea (*Camellia sinensis* L.) [J]. Crops, 2018, 34(2): 155-161
- [17] 胡家敏,侯双双,古书鸿,等.贵州福鼎大白茶低温冻害指标研究[J].贵州农业科学,2019,47(6):102-106  
HU Jia-min, HOU Shuang-shuang, GU Shu-hong, et al. Freezing damage indexes of fortin white tea in Guizhou province [J]. Guizhou Agricultural Sciences, 2019, 46(6): 102-106
- [18] GB/T 8314-2013,茶游离氨基酸总量的测定[S]  
GB/T 8314-2013, Tea - Determination of Free Amino Acids Content [S]
- [19] GB/T 8313-2018,茶叶中茶多酚和儿茶素类含量的检测方法[S]  
GB/T 8313-2018, Determination of Total Polyphenols and Catechins Content in Tea [S]
- [20] Chong J, Wishart D, Xia J. Using Metabo Analyst 4.0 for comprehensive and integrative metabolomics data analysis [J]. Current Protocols in Bioinformatics, 2019, 68(1): e86
- [21] 宛晓春.茶叶生物化学(第三版)[M].北京:中国农业出版社, 2003  
WAN Xiao-chun. Tea Biochemistry (The Third Edition) [M]. Beijing: China Agricultural Press, 2003
- [22] Yu Z, Yang Z. Understanding different regulatory mechanisms of proteinaceous and non-proteinaceous amino acid formation in tea (*Camellia sinensis*) provides new insights into the safe and effective alteration of tea flavor and function [J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2020, 60(5): 844-858
- [23] 喻方圆,徐锡增.植物逆境生理研究进展[J].世界林业研究, 2003,16(5):6-11  
YU Fang-yuan, XU Xi-zeng. A review on plant stress physiology [J]. World Forestry Research, 2003, 16(5): 6-11
- [24] Zahoor R, Zhao W, Abid M, et al. Potassium application regulates nitrogen metabolism and osmotic adjustment in cotton (*Gossypium hirsutum* L.) functional leaf under drought stress [J]. Journal of Plant Physiology, 2017, 215(1): 30-38
- [25] Tisarum R, Theerawitaya C, Samphumphuang T, et al. Foliar application of glycinebetaine regulates soluble sugars and modulates physiological adaptations in sweet potato (*Ipomoea batatas*) under water deficit [J]. Protoplasma, 2020, 257(1): 197-211
- [26] 田野,王梦馨,王金和,等.茶鲜叶可溶性糖和氨基酸含量与低温的相关性[J].茶叶科学,2015,35(6):567-573  
TIAN Ye, WANG Meng-xin, WANG Jin-he, et al. Correlation of low temperature with soluble sugar and amino acid content in fresh tea leaves [J]. Journal of Tea Science, 2015, 35(6): 567-573
- [27] 薄晓培,王梦馨,崔林,等.茶树 3 类渗透调节物质与冬春低温相关性及其品种间的差异评价[J].中国农业科学,2016, 49(19):3807-3817  
BO Xiao-pei, WANG Meng-xin, CUI Lin, et al. Evaluation on correlations of three kinds of osmoregulation substances in tea fresh leaves with low temperature during winter and spring respectively and their difference among cultivars [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2016, 49(19): 3807-3817

