

# 草莓粗酶液促进发酵改善秋季红茶的理化品质

艾仄宜<sup>1,2</sup>, 李荣林<sup>1,2</sup>, 叶禹彤<sup>1,2</sup>, 赵飞<sup>3</sup>, 马圣洲<sup>3</sup>, 庞夫花<sup>2,4</sup>, 穆兵<sup>1,2</sup>, 杨亦扬<sup>1,2</sup>

(1. 江苏省农业科学院休闲农业研究所, 江苏南京 210014)

(2. 江苏省高效园艺作物遗传改良重点实验室, 江苏南京 210014)

(3. 江苏丘陵地区镇江农业科学研究所, 江苏句容 212400)(4. 江苏省农业科学院果树研究所, 江苏南京 210014)

**摘要:** 为了提高秋季红茶品质, 采用草莓粗酶液促进红茶发酵, 并对所制干茶的感官品质、滋味特征、化学成分和香气成分进行了比较分析。感官审评和电子舌结果表明, 草莓粗酶液促进发酵, 改善了秋季红茶的苦涩味, 提升其香气品质。品质和香气成分分析表明, 添加草莓粗酶液对茶多酚、可溶性糖、儿茶素组分、氨基酸含量及香气组分有着较大影响。与对照相比, 草莓粗酶液与揉捻叶的质量比为 10% 时 (CM3), 红茶的茶多酚含量显著降低, 其中 C、ECG 和 EGCG 的含量分别降低了 30.92%、27.34% 和 17.87%, 而可溶性糖、茶黄素含量分别增加了 18.70% 和 15.93%, 香气组分中脱氢芳樟醇、橙花叔醇分别增加了 58.79%、61.67%, 且芳樟醇、橙花醇、苯乙醛、 $\beta$ -蒎烯均在 CM3 时达到峰值, 这些香气成分的增加极大地提高了红茶的香气。此外, CM3 处理的红茶还表现出最强的 DPPH 自由基清除活性 ( $IC_{50}=85.01\pm 0.85 \mu\text{g}/\text{min}$ )。综上所述, 添加草莓粗酶液促进红茶发酵, 能够改善秋季红茶的苦涩味, 提升其香气品质, 且添加比例为 10% 时, 品质改善作用最为明显并增加了红茶的抗氧化活性。

**关键词:** 秋季红茶; 草莓粗酶液; 滋味; 香气

文章编号: 1673-9078(2021)08-184-191

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2021.8.1188

## Crude Enzymatic Solution of Strawberry Promotes Fermentation and Improves the Physicochemical Quality of Autumn Black Tea

AI Ze-yi<sup>1,2</sup>, LI Rong-lin<sup>1,2</sup>, YE Yu-tong<sup>1,2</sup>, ZHAO Fei<sup>3</sup>, MA Sheng-zhou<sup>3</sup>, PANG Fu-hua<sup>2,4</sup>, MU Bing<sup>1,2</sup>, YANG Yi-yang<sup>1,2</sup>

(1. Institute of Leisure Agriculture, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210014, China)

(2. Jiangsu Key Laboratory for Horticultural Crop Genetic Improvement, Nanjing 210014, China)

(3. Zhenjiang Institute of Agricultural Sciences in Hill Area of Jiangsu Province, Jurong 212400, China)

(4. Institute of Pomology, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210014, China)

**Abstract:** In order to improve the quality of autumn black tea, a crude enzymatic solution of strawberry was used to promote the black tea fermentation, and the sensory quality, taste characteristics, main chemical components and aroma compositions of the obtained black teas were investigated for comparison. The results of sensory evaluation and electronic tongue evaluation showed that adding the crude enzymatic solution of strawberry promoted the fermentation process, and alleviated the bitterness and astringency and improved the aroma quality of the autumn black tea. Analysis of quality and aroma components revealed that the addition of the crude enzymatic solution of strawberry had a greater influence on the contents of tea polyphenols, soluble sugars, catechins, amino acids and aroma components. Compared with the control, the tea polyphenol content decreased significantly in black tea at a crude enzymatic solution-to-rolled leaf mass ratio of 10% (CM3), among which the

引文格式:

艾仄宜, 李荣林, 叶禹彤, 等. 草莓粗酶液促进发酵改善秋季红茶的理化品质[J]. 现代食品科技, 2021, 37(8): 184-191, +219

AI Ze-yi, LI Rong-lin, YE Yu-tong, et al. Crude enzymatic solution of strawberry promotes fermentation and improves the physicochemical quality of autumn black tea [J]. Modern Food Science and Technology, 2021, 37(8): 184-191, +219

收稿日期: 2020-12-21

基金项目: 江苏省农业科技自主创新基金项目 (CX(18)3034); 江苏省现代农业产业技术体系 (JATS[2019]243); 江苏省农业重大技术协同推广计划试点项目 (2020-SJ-047-02-1); 江苏省重点研发计划项目 (BE2018435; BE2019437)

作者简介: 艾仄宜 (1987-), 女, 博士, 助理研究员, 研究方向: 茶叶加工与品质形成

通讯作者: 杨亦扬 (1983-), 女, 博士, 副研究员, 研究方向: 茶树生理与营养

contents of C, ECG and EGCG were reduced by 30.92%, 27.34% and 17.87%, respectively, while the contents of soluble sugars and theaflavins in black tea increased by 18.70% and 15.93%, respectively. Among the aroma compositions, the contents of dehydrolinalool and nerolidol increased by 58.79%, 61.67%, respectively, and the contents of linalool, nerol, phenylacetaldehyde and beta-pinene also reached the highest level for the treatment. These aroma components increased greatly the black tea aroma. In addition, the CM3-treated black tea exhibited the strongest DPPH free radical scavenging activity ( $IC_{50}=85.01\pm 0.85 \mu\text{g/mL}$ ). In conclusion, the addition of the crude enzymatic solution of strawberry promoted the fermentation of black tea, alleviated the bitter taste and astringency, and improved the aroma quality of autumn black tea. Moreover, the addition ratio for crude enzymatic solution and tea leave at 10% led to the greatest quality improvement and an increase in the antioxidant activity of black tea.

**Key words:** autumn black tea; crude enzymatic solution of strawberry; taste; aroma

红茶是世界上生产量、消费量、贸易量最大的一类茶叶，红茶的加工工序一般为鲜叶-萎凋-揉捻(切)-发酵-干燥，其中发酵是红茶形成新的风味物质和功能成分的关键过程。为了提高红茶的品质，关于红茶发酵工艺已进行了大量的研究，如曲凤凤<sup>[1]</sup>等对发酵温度进行了优化，认为发酵温度为 28 ℃时红茶的感官品质最好，适当降低发酵温度可以提高红茶的感官质量和生物活性。糜烜<sup>[2]</sup>探究了不同湿度对红茶发酵品质的影响，结果表明，当发酵湿度达到 95%时，整体品质最佳，综合评分最高。近年来，相关研究采用外源酶改善茶叶品质，如在红茶萎凋过程中添加木聚糖酶、纤维素酶和木瓜蛋白酶提高了香气品质和感官得分<sup>[3,4]</sup>，也有研究者采用添加外源物等技术手段提高红茶品质，如添加枇杷叶、蓝莓、砂梨等天然产物促进红茶发酵，提高了茶黄素(TFs)含量并改善了红茶的口感<sup>[5-8]</sup>；王坤波等<sup>[9]</sup>利用砂梨的多酚氧化酶将茶多酚中的儿茶素酶促合成了茶黄素，说明不同来源的多酚氧化酶可以作用于同一底物并合成红茶中的茶黄素等物质。

江苏以生产名优绿茶为主，春茶采摘期短，春季后期及秋季鲜叶因茶多酚含量较高，氨基酸含量较低，所制茶叶苦涩欠鲜爽，导致鲜叶资源浪费严重；同时草莓作为深受人们喜爱的一种水果，在江苏资源丰富，栽培广泛，且富含多酚氧化酶和过氧化物酶等酶类。因此，本研究利用草莓粗酶液处理促进秋季红茶发酵，并对所制干茶的感官品质、滋味、品质成分、香气成

分和抗氧化活性进行了比较分析，旨在为红茶加工和品质提升提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与设备

茶鲜叶原料：2019年9月采摘于句容市龙山茶场基地，以一芽一叶的龙井43品种作为试材。

草莓粗酶液：草莓粗酶液的制备选用草莓品种‘宁玉’的果肉，捣碎匀浆 2 min，4 ℃、8000 r/min 离心 20 min，上清液为草莓粗酶液。

主要设备：6CR-40 茶叶揉捻机，浙江上洋机械有限公司；红茶发酵机，福建佳友茶叶机械智能科技股份有限公司；电子舌感官智能分析系统，日本 INSENT 公司；高效液相色谱系统，美国 Agilent 公司；气相色谱串联质谱分析仪(GC-MS)，美国赛默飞世尔科技公司；紫外可见分光光度计，上海凌光有限公司。

### 1.2 试验设计

按照统一的采摘标准采集鲜叶原料，以鲜叶萎凋-揉捻-添加草莓粗酶液-发酵-干燥为工艺流程，其中，粗酶液与揉捻叶的质量之比依次为 0% (CK)、2% (CM1)、6% (CM2)、10% (CM3) 和 20% (CM4) (如表 1)。加工成的红茶样一部分进行感官审评和电子舌检测，另一部分粉碎，用于生化成分等分析。

表 1 草莓粗酶液促进红茶发酵的试验设计

Table 1 Experimental design for adding strawberry crude enzyme in blacktea fermentation process

处理	萎凋	揉捻	添加草莓粗酶/%	发酵	干燥
CK			0		
CM1			2	温度 28 ℃	初烘 120 ℃, 20 min
CM2	统一室内萎凋 18 h	2 h	6	相对湿度 90%	足干 70 ℃, 1 h
CM3			10	统一发酵 3 h	
CM4			20		

### 1.3 测定项目及方法

#### 1.3.1 草莓品质成分及多酚氧化酶活性

Vc 含量参照 GB/T 5009.86-2003, 2,4-二硝基苯肼法测定。可溶性糖含量采用蒽酮-硫酸比色法测定。植物总酚含量根据植物总酚 (TP) 含量检测试剂盒 (Solarbio) 说明书规定方法测定。多酚氧化酶活性根据 PPO 活性检测试剂盒 (Solarbio) 说明书规定方法测定, 将每 min 每 g 组织在每 mL 反应体系中使 410 nm 处吸光值变化 0.01 定义为一个酶活力单位。

#### 1.3.2 茶叶感官审评

参照国家标准 (GB/T 23776-2018 茶叶感官审评方法) 对不同处理的红茶进行感官审评, 单项审评满分为 100 分, 加权评分按照外形 25%、香气 25%、汤色 10%、滋味 30%、叶底 10% 来计算总得分<sup>[10]</sup>。

#### 1.3.3 电子舌茶汤滋味测定

将茶叶按照 1 g: 50 mL 的茶水比 (GB/T 23776-2018 茶叶感官审评方法) 进行冲泡, 取 80 mL 茶汤置于电子舌测试杯中, 使用电子舌感官智能分析系统分别测定茶汤的苦、涩、甜、鲜、咸、酸等味道<sup>[11]</sup>。

#### 1.3.4 茶叶品质成分分析

茶叶水浸出物含量、茶多酚总量、游离氨基酸总量分别采用全量法 (GB/T 8305-2002 茶水浸出物测定)、福林酚比色法、茚三酮比色法进行测定<sup>[12]</sup>, 儿茶素组分、没食子酸和咖啡碱含量均通过高效液相色谱法进行分析<sup>[13]</sup>, 氨基酸组分通过液质联用色谱法进行分析<sup>[14]</sup>, 茶叶香气组分采用顶空固相微萃取法 (HS-SPME) 于 GC-MS 上检测, 内标使用癸酸乙酯<sup>[15]</sup>。

#### 1.3.5 DPPH 自由基清除活性测定

参照 Chan 等<sup>[16]</sup>的方法进行试验, 取 1.0 mL 不同浓度的茶汤稀释液加入到 2.0 mL 的 0.15 mmol/L 的

DPPH 甲醇溶液中, 在暗处室温下静置 30 min, 于 517 nm 处测定吸光度。根据下式计算不同浓度茶汤对 DPPH 的清除率:

$$\text{清除率} / \% = (1 - \frac{A_1}{A_0}) \times 100\%$$

式中:  $A_0$  为未加样的 DPPH (2.0 mL DPPH+1.0 mL 甲醇) 溶液的吸光度;  $A_1$  为样品与 DPPH 反应后的吸光度。

### 1.4 数据分析

采用 Excel 2019 进行数据计算和作图, 采用 SPSS 软件进行 T 检验和 LSD 显著性检验。

## 2 结果与分析

### 2.1 草莓品质成分及多酚氧化酶活性分析

对草莓品种‘宁玉’的果肉品质成分测定, 结果如表 2 所示, 总糖含量较高, 有利于茶氨酸与糖结合, 形成美拉德反应, 进而产生焦糖香。果实中 Vc 含量为 0.762 mg/g, 多酚总量达到 23.569 mg/g。罗娅等<sup>[17]</sup>研究表明, 总酚是草莓抗氧化作用的重要物质基础, 花青素与 Vc 是草莓抗氧化能力的主要组成参数。草莓果肉中多酚氧化酶活性达到 34.80 U/g, 因此添加草莓粗酶将有利于催化多酚类化合物的氧化, 对红茶品质的形成起到特殊作用。

表 2 草莓品质成分及多酚氧化酶活性

总糖/%	Vc/(mg/g)	总酚/(mg/g)	多酚氧化酶活性/(U/g)
7.384	0.762	23.569	34.80

### 2.2 红茶感官审评结果

表 3 草莓粗酶液促进发酵对红茶感官得分的影响

Table 3 Effect of adding strawberry crude enzyme in fermentation process on sensory evaluation of black

处理	外形 (25%)	汤色 (10%)	香气 (25%)	滋味 (30%)	叶底 (10%)	总分
CK	紧细金毫显 89.0±0.5 <sup>a</sup>	红略亮 82.3±1.5 <sup>c</sup>	甜香尚持久 84.0±1.0 <sup>c</sup>	尚醇厚, 略涩 80.3±0.5 <sup>d</sup>	红匀尚亮 88.0±1.0 <sup>a</sup>	84.4±0.4 <sup>d</sup>
CM1	紧细金毫显 88.0±1.0 <sup>a</sup>	红尚亮 85.7±0.6 <sup>b</sup>	甜香带花香尚持久 87.7±0.6 <sup>b</sup>	醇厚 85.8±0.8 <sup>c</sup>	红匀尚亮 88.0±1.0 <sup>a</sup>	87.0±0.6 <sup>c</sup>
CM2	紧细金毫显 89.7±0.6 <sup>a</sup>	红尚亮 86.0±0.5 <sup>b</sup>	甜香带花香尚持久 88.0±0.9 <sup>b</sup>	醇厚 87.7±0.3 <sup>b</sup>	红匀尚亮 88.0±0.5 <sup>a</sup>	88.1±0.4 <sup>b</sup>
CM3	紧细金毫显 90.3±0.6 <sup>a</sup>	红明亮 89.7±0.6 <sup>a</sup>	甜香带花果香持久 90.3±1.5 <sup>a</sup>	醇厚 89.7±0.6 <sup>a</sup>	红匀尚亮 88.0±0.5 <sup>a</sup>	89.8±0.4 <sup>a</sup>
CM4	紧细金毫显 88.0±1.0 <sup>a</sup>	红明亮 89.8±0.3 <sup>a</sup>	甜香带花果香持久 91.5±0.5 <sup>a</sup>	醇厚, 略涩 85.7±1.2 <sup>c</sup>	红匀尚亮 88.0±0.5 <sup>a</sup>	88.4±0.5 <sup>b</sup>

注: 不同小写字母表示不同处理间存在显著差异 ( $p < 0.05$ )。下表同。

表4 草莓粗酶液促进发酵对红茶滋味特征的影响

**Table 4 Effect of adding strawberry crude enzyme in fermentation process on the taste characteristics of black tea**

处理	甜味	苦味	涩味	涩味回味	鲜味	丰度	苦味回味	酸味	咸味
CK	4.50±0.00 <sup>a</sup>	7.79±0.00 <sup>a</sup>	1.64±0.00 <sup>b</sup>	0.59±0.00 <sup>a</sup>	14.83±0.00 <sup>a</sup>	4.50±0.00 <sup>a</sup>	<0	<-13	<-6
CM1	4.45±0.05 <sup>a</sup>	7.59±0.16 <sup>ab</sup>	1.60±0.04 <sup>b</sup>	0.56±0.10 <sup>a</sup>	14.83±0.05 <sup>a</sup>	4.57±0.11 <sup>a</sup>	<0	<-13	<-6
CM2	4.40±0.08 <sup>a</sup>	7.51±0.15 <sup>ab</sup>	1.51±0.09 <sup>bc</sup>	0.52±0.05 <sup>a</sup>	14.60±0.12 <sup>a</sup>	4.41±0.25 <sup>a</sup>	<0	<-13	<-6
CM3	4.42±0.07 <sup>a</sup>	7.36±0.27 <sup>b</sup>	1.37±0.04 <sup>c</sup>	0.51±0.05 <sup>a</sup>	14.62±0.10 <sup>a</sup>	4.38±0.07 <sup>a</sup>	<0	<-13	<-6
CM4	4.58±0.02 <sup>a</sup>	6.85±0.11 <sup>c</sup>	1.99±0.01 <sup>a</sup>	0.62±0.12 <sup>a</sup>	14.13±0.06 <sup>b</sup>	4.36±0.33 <sup>a</sup>	<0	<-13	<-6

由表 3 可知, 添加草莓粗酶液促进发酵后, 红茶感官品质总得分均显著高于无添加的对照组 CK (84.4), 得分顺序依次为 CM3>CM4>CM3>CM2>CK。相关性分析表明, 草莓粗酶液与揉捻叶的质量比在 0% 至 10% 的范围内, 随着草莓粗酶添加量的升高, 秋季红茶品质也明显改善 ( $r=0.954$ ,  $p=0.046$ ), 且添加比例为 10% 时 (CM3), 红茶感官品质总得分最高 (89.8), 品质改善作用最为明显, 汤色红艳明亮, 香气持久甜香带花果香, 滋味醇厚。但当添加比例继续增加到 20% 时 (CM4), 尽管红茶的汤色、香气得分均最高, 但因略带涩味, 滋味得分较低。

### 2.3 红茶电子舌分析结果

不同草莓粗酶促进发酵后红茶的滋味特征见表 4, 可以看出, 红茶的味觉指标丰富, 除苦味回味、酸味、咸味对应的值均在无味点以下, 其他味觉指标均在无味点以上。因此, 除苦味回味、酸味、咸味外, 其他味觉指标均可以作为评价红茶的有效味觉指标。红茶的滋味主要由鲜味、苦味、甜味、涩味和涩味回味组成。随着草莓粗酶添加量的升高, 苦味强度依次减弱, 呈现显著性负相关 ( $r=-0.990$ ,  $p=0.001$ ), 表明添加草莓粗酶液促进发酵有利于改善秋季红茶的苦味。同时, 草莓粗酶液与揉捻叶的质量比在 0% 至 10% 范围时, 红茶茶汤的涩味指标也逐渐降低 ( $r=-0.992$ ,  $p=0.008$ ), 且添加比例为 10% 时 (CM3) 达到最低值, 但当添加比例继续增加到 20% 时 (CM4), 涩味反而增加, 与感官审评结果一致。鲜味作为红茶重要的味觉指标, 在草莓粗酶液添加量较低时 (0% 至 10%), 并未表现出显著的变化, 但当添加量达到 20% 时 (CM4), 鲜味强度反而降低。此外, 添加草莓粗酶液促进发酵对红茶的甜味、涩味回味没有显著性影响。

### 2.4 红茶品质成分分析

秋季鲜叶茶多酚含量较高, 且多酚氧化酶和过氧化酶的活性有限, 在最适发酵温度和湿度下, 发酵终点很难判别, 发酵时间较短时, 茶色素组成比例合适茶汤品质红亮, 但因残留较多的茶多酚类物质, 滋味

容易苦涩; 发酵时间较长时, 尽管大部分茶多酚类物质已经过酶促氧化转化为茶色素类物质, 苦涩味降低, 但同时也会产生较多的 TB 从而导致茶汤发暗, 不够红艳明亮, 因此秋季红茶品质较差, 需进一步优化发酵, 提升红茶品质。

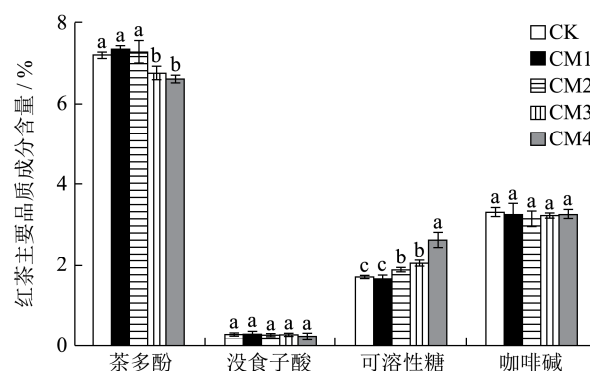


图1 草莓粗酶促进发酵对红茶主要品质成分的影响

**Fig.1 Effect of adding strawberry crude enzyme in fermentation process on chemical components in black teas**

注: 不同小写字母表示不同处理间显著差异 ( $p<0.05$ )。下同。

由图 1 可知, 草莓粗酶促进发酵对红茶咖啡碱和没食子酸的含量无显著影响, 但能显著影响红茶的茶多酚和可溶性糖含量, 随着草莓粗酶添加比例的升高, 红茶中可溶性糖的含量逐渐升高, 且在 20% 的添加量 (CM4) 时达到最高为 2.66%, 显著高于对照组 (CK) 的 1.71%, 而当草莓添加量达到 10% 和 20% 时, 红茶的茶多酚总量显著降低。

儿茶素类物质是茶多酚中最主要的呈味物质, 为进一步分析草莓粗酶促进发酵对红茶关键品质成分的影响, 分别对儿茶素的八种单体进行了检测, 结果如图 2 所示, 红茶中检测出五种儿茶素单体, 而没食子儿茶素 (GC)、没食子儿茶素没食子酸酯 (GCG) 和儿茶素没食子酸酯 (CG) 均未检出。草莓粗酶促进发酵后, 表没食子儿茶素 (EGC) 的含量在添加草莓粗酶促进发酵后显著升高, 这可能与草莓自身含有较高的 EGC 有关; 而儿茶素 (C)、表儿茶素 (EC)、表儿茶素没食子酸酯 (ECG)、表没食子儿茶素没食子酸酯 (EGCG) 及儿茶素总量 (Total) 均随着草莓粗酶

添加比例的升高而显著降低, 添加比例为 20% 时 (CM4), 儿茶素总量最低, 与对照 (CK) 相比降幅达到了 22.21%。特别是苦涩味阈值较低的酯型儿茶素 ECG (115.02  $\mu\text{g/mL}$ ) 和 EGCG (87.09  $\mu\text{g/mL}$ )<sup>[18]</sup> 分别降低了 36.98% 和 21.25% (CM4), 这与电子舌分析中苦味强度的结果一致, 表明红茶苦味的降低可能是由于儿茶素含量的降低。

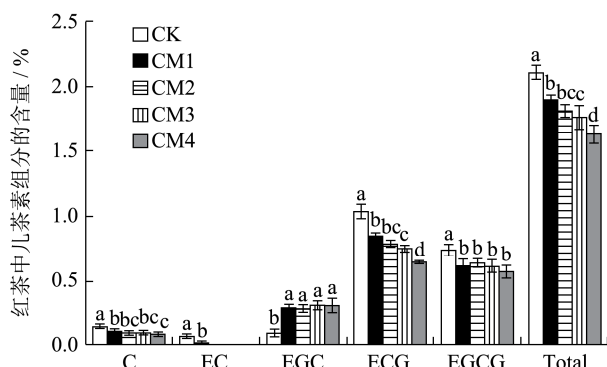


图2 草莓粗酶促进发酵对红茶儿茶素组分的影响

Fig.2 Effect of adding strawberry crude enzyme in fermentation process on catechins components in black teas

注: C: 儿茶素; EC: 表儿茶素; EGC: 表没食子儿茶素; ECG: 表儿茶素没食子酸酯; EGCG: 表没食子儿茶素没食子酸酯; Total = C+EC+EGC+ECG+ EGCG。

红茶发酵是以多酚类化合物氧化为核心的过程, 儿茶素类、黄酮类等茶多酚类物质在多酚氧化酶和过氧化物酶等酶的催化下发生强烈的酶促氧化反应, 生成茶黄素、茶红素和茶褐素等水溶性色素, 从而形成红茶“红汤红叶”的独特品质<sup>[19,20]</sup>。茶黄素和茶红素具有一定的收敛性, 不仅是茶汤色“亮”、泛“金圈”和“红”的主要形成因素, 也是茶汤浓强度和鲜爽度等内在品质的主要贡献物质, 草莓粗酶处理后红茶的茶色素组成如图 3 所示, 红茶中茶黄素的含量首先随着草莓粗酶添加比例的升高而升高, 当添加比例为 6% (CM2) 时达到最高, 随后保持不变, 而茶红素含量仅在添加比例为 20% (CM4) 时表现出显著升高, 其他添加比例与对照无显著性差异。因此认为草莓粗酶能够催化儿茶素合成茶黄素, 有利于改善茶汤的亮度, 增加滋味的浓烈度。但当多酚氧化酶和过氧化物酶活性较高时, 为维持反应的平衡, 儿茶素氧化生成茶黄素的同时, 茶黄素也会迅速降解并转化为茶红素, 因此 CM4 中较高的茶红素含量可能由于添加了较多的草莓粗酶, 酶活性过强导致的。茶红素也具有一定的收敛性, 呈涩味, 因此推测电子舌结果中 CM4 处理具有较高的涩味可能是由于含有较高含量的茶红素。此外, 茶褐素作为一类非透析性的高聚合褐色物质, 是导致红茶汤色暗、收敛性不足的主要因素, 结果表明草莓粗

酶处理对 TB 的含量无显著影响。

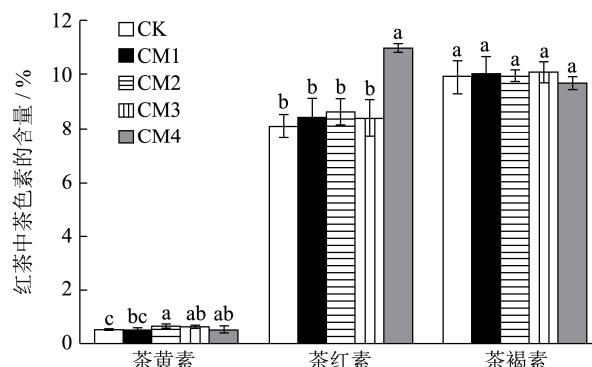


图3 草莓粗酶促进发酵对红茶茶色素的影响

Fig.3 Effect of adding strawberry crude enzyme in fermentation process on tea pigments in black teas

草莓粗酶促进发酵对红茶氨基酸组分的影响如表 5, 其中含量较高的呈味氨基酸依次是茶氨酸 (鲜味)、谷氨酸 (鲜味)、天冬酰胺 (鲜味), 其他氨基酸的含量均较低, 由于人对味道的感知是由呈味物质的量及其味道阈值共同决定的, 因此游离氨基酸是茶汤鲜味的重要组成部分, 而对甜味、苦味的贡献较小。鲜味氨基酸中, 随着草莓粗酶添加比例的升高, 仅天冬酰胺表现出升高的趋势, 而茶氨酸、谷氨酸、谷氨酰胺、天冬氨酸均表现出降低的趋势, 这与电子舌分析中 CM4 处理 (20% 添加量) 鲜味强度较低的结果一致。由于发酵过程中氨基酸可与茶多酚、糖类、茶黄素、茶红素等结合形成醌、醛、酸、醇、色素等物质<sup>[21]</sup>, 因此添加草莓粗酶促进发酵后, 更多的氨基酸参与到发酵过程中, 氨基酸含量呈现降低的趋势。

## 2.5 红茶香气组分分析

发酵过程中, 伴随着多酚类的氧化, 也发生着一系列的儿茶素邻醌的偶联氧化作用, 在脂肪酶和  $\beta$ -葡萄糖苷酶的作用下, 胡萝卜素、氨基酸、糖苷类物质水解氧化生产醇、醛等挥发性物质, 其中以萜烯类和芳香醇类及其衍生物为形成红茶特征香气的主要贡献成分<sup>[22]</sup>。

感官审评结果中认为草莓粗酶促进发酵的成品茶香气得到了明显的改善, 进行香气组分分析, 其中相对含量最高的 15 种香气成分如表 6 所示, 结果表明草莓促进发酵对红茶主要香气成分影响较大, 特别是含量相对最高的萜烯醇类物质有较大的影响。经过草莓粗酶处理后, 红茶中具有花果香的芳樟醇及其衍生物总量明显升高, 其中的脱氢芳樟醇的含量分别增加了 18.21%, 33.55%, 58.79% 和 252.76%; 顺式-芳樟醇氧化物 (呋喃型)、反式-芳樟醇氧化物 (呋喃型)、芳樟醇的含量随着草莓粗酶添加比例的增加先升后降, 均

在添加比例为 10%达到最高, 推测 CM4 时, 芳樟醇及其呋喃型氧化物被转化成脱氢芳樟醇, 导致芳樟醇含量的大量降低, 脱氢芳樟醇的大量升高; 而顺式-

芳樟醇氧化物(吡喃型)和反式-芳樟醇氧化物(吡喃型)则随着草莓粗酶的添加明显降低。

表 5 草莓粗酶促进发酵对红茶氨基酸组分的影响

Table 5 Effect of adding strawberry crude enzyme in fermentation process on amino acids composition in black teas

氨基酸	滋味贡献	味觉阈值/(mg/mL)	CK/(mg/g)	CM1/(mg/g)	CM2/(mg/g)	CM3/(mg/g)	CM4/(mg/g)
茶氨酸	鲜(+)	4.18	6.13	5.50	4.77	5.09	4.30
谷氨酸	鲜(+)	0.05	1.21	0.92	0.84	1.65	0.87
谷氨酰胺	鲜/甜(+)	2.50	0.09	0.09	0.09	0.10	0.07
天冬氨酸	鲜(+)	0.03	0.16	0.19	0.10	0.26	0.12
天冬酰胺	鲜(+)	1.00	1.38	1.59	1.36	1.56	2.15
丙氨酸	甜(+)	0.60	0.23	0.24	0.27	0.24	0.25
丝氨酸	甜(+)	1.50	0.46	0.36	0.50	0.44	0.50
脯氨酸	甜(+)	3.00	0.34	0.36	0.30	0.29	0.23
苏氨酸	甜(+)	2.60	0.22	0.21	0.22	0.20	0.21
精氨酸	苦/甜(+)	0.50	0.43	0.30	0.43	0.41	0.43
组氨酸	甜/苦(-)	0.20	0.30	0.29	0.29	0.26	0.26
赖氨酸	甜/苦(-)	0.50	0.61	0.33	0.52	0.52	0.53
缬氨酸	甜/苦(-)	0.40	0.46	0.38	0.44	0.40	0.45
组氨酸	苦(-)	0.20	0.09	0.09	0.11	0.08	0.09
苯丙氨酸	苦(-)	0.90	0.20	0.16	0.21	0.19	0.17
亮氨酸	苦(-)	1.90	0.38	0.27	0.37	0.32	0.35
色氨酸	苦(-)	0.90	0.15	0.10	0.13	0.11	0.14
络氨酸	苦(-)	ND	0.16	0.14	0.15	0.17	0.17
呈味氨基酸总量			13.00	11.52	11.10	12.29	11.29

注: “+”为滋味总体愉悦, “-”为滋味总体不愉悦; “ND”为未检测到。

表 6 草莓粗酶促进发酵对红茶香气成分的影响

Table 6 Effect of adding strawberry crude enzyme in fermentation process on aroma components of black teas

保留时间/min	香气成分	CK	CM1	CM2	CM3	CM4
4.30	己醛	0.53	0.55	0.57	1.89	0.59
7.82	苯甲醛	0.21	0.24	0.25	0.35	0.24
8.54	$\beta$ -蒎烯	1.34	1.58	1.53	2.42	1.63
9.88	苯乙醛	0.66	0.81	1.75	2.23	0.79
10.61	顺式-芳樟醇氧化物(呋喃型)	2.25	2.64	2.58	3.74	3.35
11.01	反式-芳樟醇氧化物(呋喃型)	4.41	5.25	6.16	8.55	5.73
11.30	芳樟醇	9.36	9.70	9.50	13.52	7.72
11.40	脱氢芳樟醇	3.13	3.70	4.18	4.97	11.01
11.80	顺式-芳樟醇氧化物(吡喃型)	1.84	0.97	1.08	0.76	0.58
13.25	反式-芳樟醇氧化物(吡喃型)	3.36	2.50	2.71	2.56	2.60
13.76	水杨酸甲酯	6.52	8.26	8.92	12.45	10.23
14.44	己烯醇	0.44	0.33	0.29	0.52	0.61
15.10	橙花醇	12.62	11.95	12.39	15.51	12.03
17.79	香叶醇	0.74	0.44	0.38	0.57	0.44
21.61	橙花叔醇	2.27	2.18	2.67	3.67	2.58

注: 相对含量 ( $\mu\text{g/g}$ ) 根据与内标峰面积的比值计算, 此处仅列出相对含量最高的十五种香气成分。



同时,经过草莓粗酶处理后,红茶中香叶醇的含量明显下降,其异构体橙花醇含量除 CM3 处理时显著升高,其他处理也有略微的下降,而橙花叔醇的含量则表现出升高的趋势,且在 CM3 处理时含量最高,增幅达到 61.67%。此外,含量较高的水杨酸甲酯、苯乙醛、 $\beta$ -蒎烯、苯甲醛、己醛也随着草莓粗酶添加比例的增加先升后降,在 CM3 时达到峰值,这些香气成分的增加极大地提高了红茶的香气,推测草莓富含的半乳糖苷酶、葡萄糖苷酶、纤维素酶和果胶酶等,也能促进红茶发酵过程中的香气成分的形成。

## 2.6 红茶清除 DPPH 自由基的活性分析

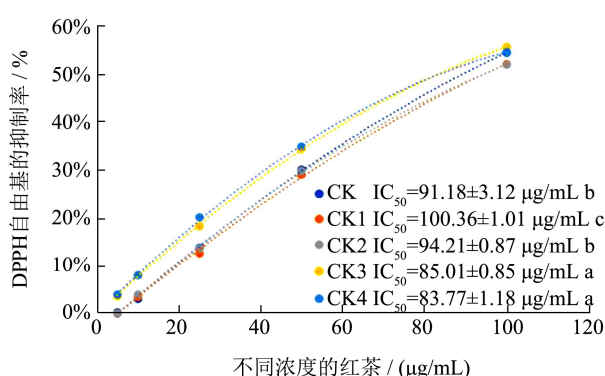


图4 草莓粗酶促进发酵对红茶清除 DPPH 能力的影响

Fig.4 Effect of adding strawberry crude enzyme in fermentation process on DPPH free radical scavenging activity of black teas

红茶中含有丰富的次生代谢产物,具有较强的抗氧化活性。1,1-二苯基苦基苯肼(1,1-Diphenyl-2-picryl-hydrazyl, DPPH)是一种稳定的有机自由基,通过检测抗氧化剂对 DPPH 自由基的清除能力可以表示其抗氧化性的强弱,且不受葡萄糖等物质的干扰<sup>[23]</sup>。从图 4 可知,不同处理的红茶均含有较强的清除 DPPH 自由基的活性,且对 DPPH 自由基的清除率随着红茶浓度升高而增加。添加草莓粗酶促进发酵后,红茶清除 DPPH 自由基的活性存在着一定差异,当添加比例为 2% 时 (CM1),红茶对 DPPH 自由基的清除活性反而减弱,但随着草莓粗酶添加比例的不断增加,半抑制浓度  $IC_{50}$  也逐渐降低,且在 10% (CM3) 和 20% (CM4) 时均显著低于对照 (CK),分别为 85.01  $\mu\text{g/mL}$  和 83.77  $\mu\text{g/mL}$ ,表明添加 10% 和 20% 的草莓粗酶还能增加红茶的抗氧化活性。

## 3 结论

为了提高秋季红茶品质,本研究利用草莓自身富含的多酚氧化酶和过氧化物酶来促进秋季红茶发酵,结果表明草莓粗酶能够促进红茶发酵,显著影响红茶

的品质成分和香气成分,秋季红茶品质得到了明显的提高,感官审评和电子舌分析显示,添加比例为 10% 时 (CM3),苦涩味显著降低,滋味醇厚爽口,汤色红艳明亮,香气持久甜香带花果香,红茶品质改善作用最为明显。品质和香气成分分析表明,添加草莓粗酶液促进发酵对茶多酚、可溶性糖、儿茶素组分、氨基酸含量及香气组分有着较大影响。与对照相比,草莓粗酶液与揉捻叶的质量比为 10% 时 (CM3),红茶的茶多酚含量显著降低,其中 C、ECG 和 EGCG 的含量分别降低了 30.92%、27.34% 和 17.87%,而可溶性糖、茶黄素含量分别增加了 18.70% 和 15.93%,香气组分中脱氢芳樟醇、橙花叔醇分别增加了 58.79%、61.67%,且芳樟醇、橙花醇、苯乙醛、 $\beta$ -蒎烯均在 CM3 时达到峰值,这些香气成分的增加极大地提高了红茶的香气。此外,CM3 处理的红茶还表现出最强的 DPPH 自由基清除活性 ( $IC_{50}=85.01 \mu\text{g/mL}$ )。综上所述,添加草莓粗酶液促进红茶发酵,能够改善秋季红茶的苦涩味,提升其香气品质,且添加比例为 10% 时,品质改善作用最为明显并增加了红茶的抗氧化活性。

## 参考文献

- [1] QU Feng-feng, ZENG Wei-chao, TONG Xin, et al. The new insight into the influence of fermentation temperature on quality and bioactivities of black tea [J]. LWT - Food Science and Technology, 2019, 117: 108646
- [2] 糜烜.安源工夫红茶加工工艺及品质特点研究[D].杭州:中国农业科学院,2013  
MI Xuan. Study on processing technology and quality characteristics of Anyuan congou black tea [D]. Hangzhou: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2013
- [3] 罗晶晶,王登良,魏青.不同外源酶对金观音红茶香气组分的影响[J].食品安全质量检测学报,2015,6(4):1257-1264  
LUO Jing-jing, WANG Deng-liang, WEI Qing. Effects of enzymatic treatments on the aromatic components of Jinguanyin black tea [J]. Journal of Food Safety and Quality, 2015, 6(4): 1257-1264
- [4] 罗晶晶,王登良,魏青.外源酶对英红九号红茶品质的影响研究[J].广东农业科学,2015,4:9-13  
LUO Jing-jing, WANG Deng-liang, WEI Qing. Effects of exogenous enzymes on quality of Yinghong NO.9 black tea [J]. Guangdong Agricultural Sciences, 2015, 4: 9-13
- [5] Tanaka Takashi, Miyata Yuji, Tamaya Kei, et al. Increase of theaflavin gallates and thearubigins by acceleration of catechin oxidation in a new fermented tea product obtained by the tea-rolling processing of loquat (*Eriobotrya japonica*)

- and green tea leaves [J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry, 2009, 57(13): 5816-5822
- [6] Tanaka Takashi, Matsuo Yosuke, Kouno Isao. Chemistry of secondary polyphenols produced during processing of tea and selected foods [J]. International Journal of Molecular Sciences, 2010, 11(1): 14-40
- [7] 叶飞,高士伟,龚自明.砂梨多酚氧化酶处理对夏秋红茶品质的影响[J].食品科学,2013,34(23):92-95  
YE Fei, GAO Shi-wei, GONG Zi-ming. Effects of *Pyrus pyrifolia* Nakai polyphenol oxidase treatment on the quality of black tea in summer and autumn [J]. Food Science, 2013, 34(23): 92-95
- [8] 叶飞,高士伟,龚自明,等.不同品种砂梨多酚氧化酶改善夏暑宜红茶的理化品质[J].现代食品科技,2020,36(5):231-237, 251  
YE Fei, GAO Shi-wei, GONG Zi-ming, et al. Improvement of Yihong black tea in summer by polyphenol oxidase from different *Pyrus Pyrifolia* Nakai [J]. Modern Food Science and Technology, 2020, 36(5): 231-237, 251
- [9] 王坤波.茶黄素的酶促合成、分离鉴定及功能研究[D].长沙:湖南农业大学,2007  
WANG Kun-bo. Enzymatic synthesis, purification, identification and bioactivity of theaflavins [D]. Changsha: Hunan Agricultural University, 2007
- [10] 中国农业科学院农业质量标准与检测技术研究所.农产品质量安全检测手册:茶叶卷[M].北京:中国标准出版社, 2008:37-42  
Institute of Agricultural Quality Standards and Testing Technology, Chinese Academy of Agricultural Sciences. Handbook for Inspecting and Testing Quality and Safety of Agro-foods: Tea Volume [M]. Beijing: China Standards Press, 2008: 37-42
- [11] 魏明香.基于电子舌技术的红茶滋味品质检测研究[D].杭州:浙江大学,2015  
WEI Ming-xiang. Taste quality detection of black tea based on electronic tongue techniques [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2015
- [12] 商业部杭州茶叶加工研究所.茶树品质理化分析[M].上海:上海科学技术出版社,1989  
Hangzhou Tea Processing Research Institute of the Ministry of Commerce. Physical and Chemical Analysis of Tea Tree Quality [M]. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 1989
- [13] 杨亦扬,张佳,王川丕,等.茶树鲜叶品质成分浸提方法比较及应用[J].茶叶科学,2014,34(2):137-143  
YANG Yi-yang, ZHANG Jia, WANG Chuan-pi, et al. Evaluation of methods for extraction of quality-related constituents in fresh tea leaves [J]. Journal of Tea Science, 2014, 34(2): 137-143
- [14] 吴琴燕,马圣洲,张文文,等.柱前衍生高效液相色谱法检测红茶中  $\gamma$ -氨基丁酸含量[J].江苏农业学报,2014,30(6):1534-1536  
WU Qin-yan, MA Sheng-zhou, ZHANG Wen-wen, et al. Determination of  $\gamma$ -aminobutyric acid in black tea by high performance liquid chromatography with precolumn derivatization [J]. Jiangsu Journal of Agricultural Sciences, 2014, 30(6): 1534-1536
- [15] Ai Zeyi, Zhang Beibei, Chen Yuqiong, et al. Impact of light irradiation on black tea quality during withering [J]. Journal of Food Science & Technology, 2017, 54(5): 1-16
- [16] Chan Ewc, Lim Y Y, Chew Y L. Antioxidant activity of *Camellia sinensis* leaves and tea from a lowland plantation in Malaysia [J]. Food Chemistry, 2007, 102(4): 1214-1222
- [17] 罗娅,唐勇,冯珊,等.6个草莓品种营养品质与抗氧化能力研究[J].食品科学,2011,32(7):52-56  
LUO Ya, TANG Yong, FENG Shan, et al. Comparison on nutritional quality and antioxidant capacity of six different strawberry cultivars [J]. Food Science, 2011, 32(7): 52-56
- [18] Shih Yuen, Lin Yuchih, Chung Tesyu, et al. *In vitro* assay to estimate tea astringency via observing flotation of artificial oil bodies sheltered by caleosin fused with histatin 3 [J]. Journal of Food and Drug Analysis, 2017, 25(4): 828-836
- [19] 夏涛.制茶学[M].北京:中国农业出版社,2016,204-235  
XIA Tao. Manufacture of Tea [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2016, 204-235
- [20] Li Shiming, Lo Chihyu, Pan Minhsiung, et al. Black tea: chemical analysis and stability [J]. Food & Function, 2013, 4(1): 10-18
- [21] 陶琳琳,张娅楠,闫振,等.红茶加工过程中发酵技术研究进展[J].广东茶业,2020,1:2-6  
TAO Lin-lin, ZHANG Ya-nan, YAN Zhen, et al. Research progress of fermentation technology in black tea processing [J]. Guangdong Tea Industry, 2020, 1: 2-6

(下转第 219 页)