

## 做青工艺对云南大叶种红茶滋味和香气的影响

王文富<sup>1</sup>, 易伦朝<sup>1\*</sup>, 胡永丹<sup>1</sup>, 王绍梅<sup>2</sup>

(<sup>1</sup>昆明理工大学食品科学与工程学院 昆明 650500

<sup>2</sup>滇西科技师范学院 生物技术与工程学院 云南临沧 677000)

**摘要** 采用超高效液相色谱-高分辨质谱联用技术、气相色谱-质谱联用技术结合茶叶感官评审分析做青工艺对红茶滋味和香气品质的影响。感官评审结果表明,加入做青工艺茶汤红亮度得分提高了 8.60 分,香气得分提高了 7.00 分,增强了红茶的甜香和花果香气,降低了红茶茶汤的苦涩味,滋味得分提高了 3.80 分。做青红茶鲜味和苦涩味化合物含量均显著降低。多元统计分析表明,表没食子儿茶素、表儿茶素、茶黄素-3'-没食子酸酯、没食子素、儿茶素、表没食子儿茶素没食子酸酯、茶黄素-3,3'-双没食子酸酯等 7 个成分是对滋味产生重要影响的关键化合物。做青红茶中醛类香气成分含量提高 1 160.42 μg/kg、酮类提高 613.88 μg/kg,烯烃类提高 3 365.45 μg/kg,醇类香气成分含量下降 1 152.69 μg/kg,果香和甜香强度显著提升,其中产生了贡献甜香的苯乙醇和 2-苯基乙醛,贡献花香的 3,5-辛二烯-2-酮和 2,4-己二烯醛等香气成分。研究结果可对红茶加工工艺的优化和风味品质改善提供有力支撑。

**关键词** 红茶; 做青工艺; 滋味; 香气

**文章编号** 1009-7848(2025)02-0257-13 **DOI:** 10.16429/j.1009-7848.2025.02.023

红茶是世界上最受欢迎的茶类,是中国六大茶类中最具影响力的茶类之一<sup>[1]</sup>,其产量和消费量均位居世界首位,具有“红汤红叶”的典型特征<sup>[2-3]</sup>。云南是世界茶树的发源地<sup>[4]</sup>,也是我国的产茶大省<sup>[5]</sup>。云南大叶种红茶是我国最具代表性和深受消费者喜爱的红茶之一,具有香气鲜郁高长、滋味浓厚鲜爽、金毫显露的独特品质<sup>[6]</sup>。云南红茶因独特的风味特点而越来越受消费者欢迎。

做青过程中茶叶叶片之间会相互碰撞、摩擦<sup>[7]</sup>,茶叶内含化合物会发生降解、氧化聚合等一系列复杂的生化反应<sup>[8]</sup>,引起茶叶中内含物质的变化<sup>[9]</sup>。研究表明,做青处理可降低茶叶中儿茶素、苦味氨基酸等化合物的含量,降低茶汤的苦涩味<sup>[10]</sup>。引入做青工艺能够显著提高茶叶中酸类、酯类、醛类和酮类香气化合物的含量,增加茶叶中的香气成分,使得香气更加浓郁<sup>[11-13]</sup>。近年来,为了丰富红茶的滋味和香气特点,做青工艺被引入红茶的加工工艺中<sup>[14]</sup>。据报道,将传统红茶加工技术与晒

青、摇青等做青工艺相结合,创制花香、果香型红茶被作为新型红茶产品研发的一个途径<sup>[15-16]</sup>。随着云南大叶种红茶消费需求的转变,消费者对其产品多样性、品质等的要求也越来越高。然而,目前做青工艺对于茶叶品质的影响研究主要集中在乌龙茶上<sup>[17]</sup>,而云南红茶引入做青工艺及其对茶滋味和香气品质的影响鲜见报道。

本研究采用超高效液相色谱-高分辨质谱联用技术(Ultra-high performance liquid chromatography-high resolution mass spectrometry, UPLC-HRMS)、气相色谱-质谱联用技术(Gas chromatography-mass spectrometry, GC-MS)对茶叶中的滋味和香气化合物进行全面的分析,研究引入做青工艺以及不同做青次数对红茶中滋味和香气化合物含量的影响。采用国家标准《茶叶感官审评方法》(GB/T 23776-2018)评价茶汤的感官指标。结合多元统计分析方法分析滋味及香气化合物含量变化与感官评审结果间的关系,以期对云南红茶加工工艺的改进和风味优化提供重要参考。

**收稿日期:** 2024-02-24

**基金项目:** 云南省重大科技项目(202202AG050009);临沧市建设国家可持续发展议程创新示范区科技专项(202204AC100001-A01)

**第一作者:** 王文富,男,硕士生

**通信作者:** 易伦朝 E-mail: yilunzhao@kust.edu.cn

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

茶鲜叶于 2020 年 10 月采摘自临沧章驮乡生态茶园,按一芽三叶标准同批采摘。茶鲜叶经蒸汽

杀青、快速烘干得到蒸青茶;经萎凋、揉捻、发酵、干燥传统加工工艺得到未做青红茶,作为对照红茶;做青红茶由萎凋过程中引入做青工艺制得,做青工艺在竹制摇青机中完成,在萎凋 14.5 h 后进行第 1 次做青,得到做青 1 次红茶,在萎凋 17.5 h 后进行第 2 次做青,得到做青 2 次红茶,每次做青时间为 1 min。

甲醇、乙腈,均为质谱级,德国 Merck 公司;甲酸(质谱级),美国 Honeywell 公司;葛根素(纯度 99%),成都曼思特公司;磺胺醋酐(纯度 99%),阿拉丁公司;正构烷烃(色谱纯级,C8~C20),o2si smart solutions 公司;癸酸乙酯(纯度 98%),Sigma-Aldrich 公司;感官审评试验采用农夫山泉矿泉水;成分检测实验采用去离子水,由 Milli-Q A10 超纯水机制得,德国 Merck 公司;29 种滋味化合物的标准品如下:茶氨酸(3081-61-6,纯度 99%)、儿茶素(154-23-4,纯度 99.96%)、表没食子儿茶素(970-74-1,纯度 98%)、表儿茶素(490-46-0,纯度 99.51%)、没食子儿茶素(3371-27-5,纯度 98.57%)、表儿茶素没食子酸酯(1257-08-5,纯度 99.27%)、没食子儿茶素没食子酸酯(4233-96-9,纯度 98.4%)、表没食子儿茶素没食子酸酯(989-51-5,纯度  $\geq 99\%$ )、茶黄素(4670-05-7,纯度 98.32%)、茶黄素-3'-没食子酸酯(28543-07-9,纯度  $\geq 98\%$ )、对香豆酸(501-98-4,纯度 99.96%)、咖啡酸(331-39-5,纯度 99.99%)、没食子酸(149-91-7,纯度 98.00%)、可可碱(83-67-0,纯度  $>99\%$ )、咖啡因(58-08-2,纯度  $>98\%$ )、成都曼斯特生物科技有限公司;谷氨酸(56-86-0,纯度 99%)、天冬氨酸(56-84-8,纯度 99%)、谷氨酰胺(56-85-9,纯度 99%)、亮氨酸(61-90-5,纯度 99%)、酪氨酸(60-18-4,纯度 98.5%)、苯丙氨酸(63-91-2,纯度 98%)、赖氨酸(56-87-1,纯度 97%),北京伊诺凯科技有限公司;茶黄素-3-没食子酸酯(30462-34-1,纯度  $\geq 98\%$ )、茶黄素-3,3'-双没食子酸酯(33377-72-9,纯度  $\geq 98\%$ )、原花青素 C<sub>1</sub>(37064-30-5,纯度  $>99.0\%$ )、没食子素(17365-11-6,纯度  $\geq 98\%$ )、TCI(Shanghai, China);原花青素 B<sub>1</sub>(20315-25-7,纯度 98%),Herbest Bio-Tech(Baoji,China);原儿茶酸(99-50-3,纯度  $>99.48\%$ ),MUSTBio(Chengdu, Chi-

na);缬氨酸(7004-03-7,纯度 98%),Sigma。

## 1.2 仪器与设备

UltiMate 3000 超高效液相色谱仪、Q Exactive 台式四极杆-轨道阱高分辨质谱仪,美国 Thermo Scientific 公司;SK5200GT 超声波清洗器,上海科导超声仪器有限公司;Milli-Q A10 超纯水机,德国 Merck 公司;MS105DU 电子分析天平,上海梅特勒-托利多仪器有限公司;QP2010 气相色谱-质谱联用仪,日本岛津公司;MS-H 加热型磁力搅拌器,大龙兴创实验仪器有限公司;SPME-GC 固相微萃取手柄、50/30  $\mu\text{m}$  DVB/CAR/PDMS 萃取针,贞正分析仪器有限公司。

## 1.3 非挥发性成分的检测

1.3.1 样品制备 茶样经粉碎后过 60 目筛。准确称量 0.1 g 茶粉于 5 mL 离心管中,分别加入 50  $\mu\text{L}$  内标溶液(200  $\mu\text{g}/\text{mL}$  葛根素、磺胺醋酐)以及 1 mL 70%甲醇溶液。然后进行涡旋混匀和超声提取(40  $^{\circ}\text{C}$ , 15 min)。此后将样品在 4  $^{\circ}\text{C}$  离心 10 min,转速为 10 000 r/min,收集上清液于离心管中。随后再加入 0.5 mL 70%甲醇于取完上清液的沉淀中,经涡旋混匀,离心后取上清液(重复 2 次)。最后将收集的上清液定容至 2 mL,并倒入棕色瓶,保存于 -20  $^{\circ}\text{C}$  冰箱。在仪器检测分析之前,将茶叶提取液通过 0.22  $\mu\text{m}$  有机膜过滤并注入进样瓶中。

1.3.2 色谱条件 色谱柱:ACQUITY UPLC<sup>®</sup> HSS C18 柱(100 mm $\times$ 2.1 mm,1.8  $\mu\text{m}$ ),柱温 35  $^{\circ}\text{C}$ 。流动相 A:乙腈,流动相 B:0.1%甲酸水溶液;流速 0.2 mL/min,进样量 1  $\mu\text{L}$ 。

洗脱梯度:0~3 min,5%~7% A,95%~93% B;3~4 min,7%~10% A,93%~90% B;4~8 min,10% A,90% B;8~15 min,10%~40% A,90%~60% B;15~18 min,40%~50% A,60%~50% B;18~20 min,50%~5% A,50%~95% B;20~25 min,5% A,95% B。

1.3.3 质谱条件 电喷雾离子源,正负离子扫描模式,喷雾电压:3 500 V(+),4 000 V(-);雾化温度:300  $^{\circ}\text{C}$ ;雾化气(鞘气)流速:30 L/min;辅助气流速:10 L/min;传输毛细管温度:320  $^{\circ}\text{C}$ ;扫描模式:全扫描(Full scan),扫描范围:100~1 500  $m/z$ ,分辨率 35 000;源内诱导裂解电压 0 eV;数据依赖二

级扫描,分辨率 17 500;高能碰撞诱导电压分别为 25,35,45 eV。

### 1.3.4 非挥发性化合物的定性定量分析

1.3.4.1 定性分析 使用 Xcalibur3.0 软件,通过与 29 种化合物标准品的保留时间、一级与二级质谱信息进行匹配得到定性结果。

1.3.4.2 定量分析 采用相对校正因子内标法进行定量分析,正离子模式与负离子模式选用的内标物分别为磺胺醋酰与葛根素。茶样提取液与混标在相同的仪器参数下进行检测分析,并提取峰面积,再根据式(1)和(2)分别计算茶样中待分析物的相对校正因子及含量。

$$F = (A_i/C_s)/(A_r/C_r) \quad (1)$$

式中: $F$ 为相对校正因子; $A_s$ 为标准品混合溶液中内标物的峰面积; $A_r$ 为标准品混合溶液中对照品的峰面积; $C_s$ 为标准品混合溶液中内标物的质量浓度,mg/mL; $C_r$ 为标准品混合溶液中对照品的质量浓度,mg/mL。

$$m_i = (A_i \times m_s / A_s \times m) \times F \quad (2)$$

式中: $m_i$ 为化合物在供试液中的含量, $\mu\text{g}/\text{mL}$ ; $A_i$ 为化合物在供试液中的峰面积; $A_s$ 为内标物在供试液中的峰面积; $m_s$ 为实际测量时内标物的质量, $\mu\text{g}$ ; $m$ 为供试液的体积,mL; $F$ 为相对校正因子,化合物的相对校正因子见表 1。

## 1.4 挥发性成分的检测

1.4.1 样品制备 茶样经粉碎后过 60 目筛。准确称取 0.2 g 茶粉放入 20 mL 顶空瓶中,加入 0.72 g NaCl,加入 10  $\mu\text{L}$  的癸酸乙酯(0.2 mg/mL)作为内标,加入 2 mL 沸水后立即密封顶空瓶,采用顶空固相微萃取法对样品中的挥发性成分进行萃取富集,使用的萃取纤维头型号为 50/30  $\mu\text{m}$  DVB/CAR/PDMS,插入萃取纤维在 80  $^{\circ}\text{C}$ 、300 r/min 下萃取 40 min。萃取完成后,立即拔出固相微萃取纤维,插入 GC 注射口进行脱附(5 min,260  $^{\circ}\text{C}$ )和后续的 GC-MS 分析。

### 1.4.2 挥发性成分 GC-MS 分析

1.4.2.1 色谱条件 色谱柱:HP-5MS 石英毛细管柱(30 m $\times$ 0.25 mm $\times$ 0.25  $\mu\text{m}$ ),进样口温度 260  $^{\circ}\text{C}$ ;载气为高纯氦气(>99.999%),流速为 1 mL/min,进样方式为分流进样,分流比为 5:1;程序升温条件:柱温箱初始温度 50  $^{\circ}\text{C}$ ,然后以 10  $^{\circ}\text{C}/\text{min}$  的速度

表 1 相对校正因子( $F$ )列表

Table 1 List of the relative correction factors ( $F$ )

编号	物质名称	$F$ 值
1	茶氨酸	0.37
2	谷氨酸	0.99
3	天冬氨酸	2.37
4	谷氨酰胺	0.97
5	儿茶素	1.57
6	表儿茶素	0.90
7	表没食子儿茶素	1.08
8	没食子儿茶素	1.40
9	表儿茶素没食子酸酯	1.62
10	没食子儿茶素没食子酸酯	1.92
11	表没食子儿茶素没食子酸酯	2.87
12	茶黄素	1.35
13	茶黄素-3-没食子酸酯	3.57
14	茶黄素-3'-没食子酸酯	3.11
15	茶黄素-3,3'-双没食子酸酯	24.83
16	原花青素 B <sub>1</sub>	3.65
17	原花青素 C <sub>1</sub>	7.53
18	没食子素	2.62
19	原儿茶酸	1.33
20	对香豆酸	1.48
21	咖啡酸	0.69
22	没食子酸	1.46
23	可可碱	0.18
24	咖啡因	0.08
25	缬氨酸	0.37
26	亮氨酸	0.80
27	酪氨酸	0.40
28	苯丙氨酸	0.52
29	赖氨酸	0.20

升高到 80  $^{\circ}\text{C}$ ;再以 3  $^{\circ}\text{C}/\text{min}$  的速度增加到 90  $^{\circ}\text{C}$ ,保持 3 min;再以 3  $^{\circ}\text{C}/\text{min}$  的速度增加到 120  $^{\circ}\text{C}$ ,保持 3 min;再以 3  $^{\circ}\text{C}/\text{min}$  的速度增加到 170  $^{\circ}\text{C}$ ;最后以 15  $^{\circ}\text{C}/\text{min}$  的速率加热到 230  $^{\circ}\text{C}$ ,保持 4 min。

1.4.2.2 质谱条件 离子源为 EI 源,电子能量 70 eV,接口温度 260  $^{\circ}\text{C}$ ,离子源温度 230  $^{\circ}\text{C}$ ,质量扫描范围 30~540  $m/z$ ,溶剂延迟时间为 4 min,全扫描模式。

### 1.4.3 挥发性化合物的定性定量分析

1.4.3.1 定性分析 与 NIST 2014 Library 数据库进行匹配,筛选出相似度大于 80%的化合物,通过

正构烷烃混合标准品(C<sub>8</sub>~C<sub>20</sub>)的保留时间计算保留指数(Retention index, RI),最后结合NIST 2014 Library数据库与NIST Chemistry WebBook (<https://webbook.nist.gov/chemistry/#Search>)中的RI值进行定性,保留指数的计算方法见式(3)。

$$RI_s = 100n + 100(t_i - t_n) / (t_{n+1} - t_n) \quad (3)$$

式中: $t_i$ 为待测化合物的保留时间,min; $t_n$ 和 $t_{n+1}$ 为碳原子分别为 $n$ 和 $n+1$ 的正烷烃混合标准品的保留时间( $t_n < t_i < t_{n+1}$ )<sup>[18]</sup>,min。

1.4.3.2 定量分析 以癸酸乙酯为内标进行定量分析,计算方法见式(4)。

$$W_i = (A_i / A_s) W_s \quad (4)$$

式中: $W_i$ 为待测化合物的含量, $\mu\text{g}/\text{kg}$ ;  $A_i$ 为待测化合物的峰面积; $A_s$ 为样品内标物的峰面积; $W_s$ 为内标物的含量, $\mu\text{g}/\text{kg}$ <sup>[19]</sup>。

1.4.3.3 气味活度值计算(OAV) 根据文献[20-23]报道总结水溶液中不同挥发性化合物的气味阈值

( $\mu\text{g}/\text{kg}$ ),然后根据定量结果计算各化合物的OAV,计算方法见式(5):

$$OAV = C_i / OT_i \quad (5)$$

式中: $C_i$ 为化合物含量, $\mu\text{g}/\text{kg}$ ;  $OT_i$ 为化合物在水溶液中的气味阈值, $\mu\text{g}/\text{kg}$ 。

### 1.5 茶叶感官审评

参照《茶叶感官审评方法》(GB/T 23776-2018)冲泡茶叶。准确称取5.0 g红茶于250 mL审评杯中,加入250 mL沸水,加盖浸泡5 min,按冲泡次序依次滤出茶汤于评茶碗中。对茶叶外形,茶汤香气、汤色、滋味和叶底进行审评,总分满分为100分,评分标准如表2所示;同时评价苦度、涩度、甜度、鲜度、厚度5个滋味分属性。滋味分属性采用10分制<sup>[24]</sup>(0~2非常弱,3~4弱,4~6中等,7~8强,9~10非常强)。感官评价小组由10名经过茶叶感官审评培训的成员组成(5名男性、5名女性)。

表2 感官审评评分标准

Table 2 Scoring criteria for sensory review

感官指标	评判标准	得分/分	评分系数/%
外形	条索细紧或紧结、匀整、净度好	90~99	25
	条索较细紧或较紧结、尚匀整、净度尚好	80~89	
	条索紧实或壮实、不匀整	70~79	
香气	甜香、花果香浓郁	90~99	25
	有甜香、花果香	80~89	
	香气浓度低	70~79	
汤色	橙红明亮或红明亮	90~99	10
	尚红亮	80~89	
	尚红欠亮	70~79	
滋味	苦涩味适中	90~99	30
	苦涩味偏高	80~89	
	苦涩味严重,非常苦或非常涩	70~79	
叶底	嫩、匀整	90~99	10
	嫩、尚匀整	80~89	
	不匀整	70~79	

### 1.6 数据处理方法

每组试验做3个平行,采用Excel 2010进行数据处理、Origin 2019进行绘图。采用IMB SPSS Statistics 21.0进行统计分析,其中通过LSD法和Duncan法进行显著性分析,通过皮尔逊相关系数进行相关性分析。采用网站(<https://www.metaboanalyst.ca/>)进行多元统计分析中的偏最小二乘-判别分析(Partial least squares-discriminant

analysis, PLS-DA)和变量重要性投影(Variable importance projection, VIP)分析。根据文献[25-29]报道,总结了4种鲜味化合物和26种苦涩味化合物的滋味阈值。

## 2 结果与分析

### 2.1 做青工艺对红茶感官品质的影响

按红茶冲泡标准对样本进行感官审评,结果

见表 3 和图 1, 加入做青工艺对红茶感官品质有显著影响, 香气、汤色和滋味 3 个方面品质显著提升(图 1b), 感官审评总得分提高了 4.00 分。在外形和叶底方面, 得分无明显差异; 在香气方面, 对照红茶中嗅闻到略微香气, 加入做青工艺后出现了明显的甜香和花果香气, 得分提高了 7.00 分, 随做青次数增加, 香气浓度有所减弱。做青 1 次样本香气得分达最高分 86.60 分, 其香气特点是嫩甜香和花果香; 在汤色方面, 加入做青工艺提升了汤色的红亮度, 得分提高了 8.60 分, 随做青次数增加汤色亮度有所下降。做青 1 次样本汤色得分达最高分 88.20 分, 其汤色特点是红明亮; 在滋味方面, 茶汤滋味主要以苦味和涩味为主, 对照红茶中苦涩味偏高、滋味不协调, 加入做青工艺后茶汤苦涩味下降、滋味协调醇和, 滋味得分提高, 且随做青次数增加茶汤苦涩味协调性更好。做青 2 次样本滋味得分达最高 91.40 分, 其滋味特点是醇厚, 苦涩味适中, 协调性好。

滋味分属性审评结果表明(图 1c), 鲜度和甜度仅在蒸青茶中有所体现, 在其余样本中均较弱, 在 2 分以下; 苦涩度和厚度表现出规律性变化, 加入做青工艺苦涩度降低, 厚度升高。滋味分属性审评结果与滋味得分相对应, 苦涩度偏高时厚度不足, 滋味不协调, 滋味评分偏低, 苦涩度为 5 分左右时厚度最高, 滋味协调, 滋味得分最高。茶汤的苦味与涩味相伴而生<sup>[30]</sup>, 同时二者在很大程度上对茶汤的滋味品质产生影响。根据 4 个样本的滋味评分与滋味分属性评分进行相关性分析, 结果(表 4)表明, 苦度、涩度与滋味评分成极显著负相关关系, 厚度与滋味评分呈显著正相关关系, 推测苦涩度以及厚度是影响红茶滋味品质的关键属性因子; 虽然鲜甜度与滋味评分也呈负相关关系, 但未达到显著水平, 研究表明二者在茶汤整体的口感中起到协调作用, 可在一定程度上中和茶汤苦涩感带来的刺激性, 对滋味品质产生积极影响<sup>[27]</sup>。

## 2.2 做青工艺对红茶滋味成分的影响

### 2.2.1 做青工艺对红茶鲜味化合物含量的影响

氨基酸被认为是茶叶“鲜爽感”的主要物质来源, 根据呈味特性, 将谷氨酸、天冬氨酸、谷氨酰胺和茶氨酸归为鲜味氨基酸<sup>[31]</sup>。茶氨酸不仅是茶汤鲜味的主要贡献者, 对涩味也有一定贡献<sup>[32-33]</sup>。蒸青

茶中鲜味化合物总含量高达 6 356.94 mg/kg (表 5), 加工后红茶中的鲜味化合物含量大幅降低, 总含量下降了 50% 以上。与对照红茶相比, 加入做青工艺的样本中天冬氨酸含量显著上升(表 5); 茶氨酸、谷氨酸、谷氨酰胺含量显著下降, 含量下降范围为 5.65%~39.50%, 鲜味化合物总含量下降了 971.49 mg/kg。随做青次数增加, 鲜味化合物总含量无显著变化。多酚/氨基酸比例(酚氨比)常作为茶叶口感质量的重要指标, 酚氨比的值越低, 口感越好<sup>[34]</sup>, 茶叶具有更好的鲜爽口感<sup>[35]</sup>。以本研究中定量出的多酚类化合物含量总和与氨基酸化合物含量总和计算酚氨比。结果表明(表 5), 加入做青工艺后酚氨比升高, 随做青次数增加酚氨比降低。

综上, 加入做青工艺, 红茶中的大部分鲜味化合物含量显著降低, 酚氨比升高, 可能会减弱茶汤的鲜爽口感, 而做青次数增加对鲜味化合物含量的影响不明显, 酚氨比降低。在感官审评的结果中鲜度很弱, 样本间鲜味感知无显著性差异, 这与鲜味化合物含量变化以及酚氨比的结果并不是完全对应的, 推测茶叶鲜味贡献者除了常见的氨基酸类化合物之外还有其它物质, 如鲜味肽<sup>[36]</sup>。

### 2.2.2 做青工艺对红茶苦涩味化合物含量的影响

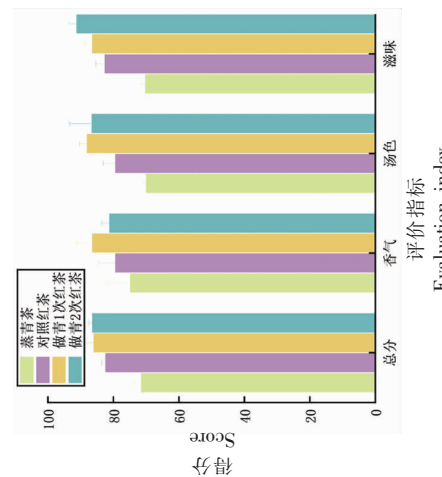
儿茶素是茶叶中多酚类的主体成分, 主要贡献茶的苦味和涩味。酚酸具有较高的水溶性, 常被认为是茶叶的重要滋味成分, 与茶汤的苦涩味有关<sup>[37]</sup>。咖啡因、可可碱作为茶叶最重要的生物碱成分, 是茶汤中苦味的主要呈味物质<sup>[32]</sup>。根据呈味特性, 将缬氨酸、亮氨酸、酪氨酸、苯丙氨酸和赖氨酸归为苦味氨基酸<sup>[30]</sup>。蒸青茶中苦涩味化合物总含量高达 93 383.66 mg/kg(表 6), 加工后总含量下降了 37% 以上。与对照样本相比, 加入做青工艺对红茶苦涩味化合物含量具有显著影响, 有 16 个化合物含量显著下降(表 6), 下降范围为 18.58%~68.69%, 苦涩味化合物总含量下降了 4 493.05 mg/kg。通过做青, 茶叶叶缘摩擦碰撞产生适度的损伤, 促进多酚类化合物的局部氧化, 有效降低苦涩味化合物含量, 同时 4 个茶黄素类化合物含量显著上升。研究表明, 茶黄素类化合物易溶于水, 是决定汤色和口感的重要成分, 是汤色提亮的关键, 也是形成红茶金圈的重要基础<sup>[38]</sup>。茶黄素含量的升高与感官结果茶汤汤色亮度提升结果相吻合。随着做青次

表3 红茶样本感官审评结果  
Table 3 Results of sensory evaluation of black tea samples

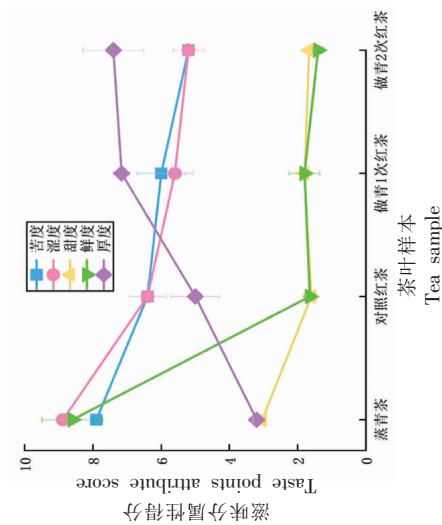
处理	外形(25%)		香气(25%)		汤色(10%)		滋味(30%)		叶底(10%)		总分/分
	评语	评分/分	评语	评分/分	评语	评分/分	评语	评分/分	评语	评分/分	
蒸青茶	条索不匀整	70.20 ± 0.45	青草味	75.00 ± 7.07	淡黄色	70.20 ± 0.45	苦涩味严重、不醇	70.40 ± 0.89	不匀整	72.40 ± 3.91	71.68 ± 1.89
对照红茶	条索匀整、净度高好	85.80 ± 2.39	略微香气	79.60 ± 5.08	尚红欠亮	79.60 ± 3.51	苦涩味偏高、高醇	82.80 ± 2.59	嫩、匀整、尚红亮	84.80 ± 1.10	82.63 ± 0.90
做青1次红茶	条索匀整、净度高好	84.80 ± 1.92	嫩甜香、花果香	86.60 ± 4.67	红明亮	88.20 ± 2.17	苦涩味略偏高、醇和	86.60 ± 2.07	嫩、匀整、尚红亮	85.20 ± 1.92	86.17 ± 1.76
做青2次红茶	条索匀整、净度高好	85.20 ± 1.48	有甜香	82.80 ± 2.59	尚红亮	86.80 ± 6.61	苦涩味协调、醇厚	91.40 ± 2.19	嫩、匀整、尚红亮	84.60 ± 1.14	86.56 ± 1.00



(a) 样本风味轮



(b) 感官审评得分



(c) 滋味分属性得分

图1 红茶样本感官审评结果  
Fig.1 Results of sensory evaluation of black tea samples

表 4 红茶样本滋味评分同滋味分属性评分相关性

Table 4 The taste score of black tea samples was correlated with the score of taste attributes

指标	苦度	涩度	甜度	鲜度	厚度
滋味总分	-0.997**	-0.992**	-0.902	-0.931	0.959*

注:\*. 显著相关( $P<0.05$ ), \*\*. 极显著相关( $P<0.01$ )。

表 5 红茶样本鲜味化合物定量结果

Table 5 Quantitative results of umami compounds in in black tea samples

物质名称	鲜味阈值/(mg/kg)	含量/(mg/kg)			
		蒸青茶	对照红茶	做青 1 次红茶	做青 2 次红茶
茶氨酸	4 180.75	5 104.04 ± 99.37 <sup>a</sup>	2 596.18 ± 404.08 <sup>b</sup>	1 570.64 ± 46.97 <sup>c</sup>	1 396.27 ± 43.24 <sup>c</sup>
谷氨酸	29.43	548.82 ± 13.25 <sup>a</sup>	182.56 ± 11.91 <sup>b</sup>	167.70 ± 3.94 <sup>c</sup>	142.20 ± 3.19 <sup>d</sup>
天冬氨酸	998.27	536.52 ± 6.92 <sup>a</sup>	103.26 ± 9.17 <sup>d</sup>	172.66 ± 4.62 <sup>c</sup>	188.53 ± 5.84 <sup>b</sup>
谷氨酰胺	-	167.56 ± 2.60 <sup>a</sup>	79.78 ± 5.33 <sup>b</sup>	79.30 ± 2.29 <sup>b</sup>	75.27 ± 1.88 <sup>c</sup>
总含量		6 356.94 ± 97.96 <sup>a</sup>	2 961.78 ± 422.74 <sup>b</sup>	1 990.29 ± 51.73 <sup>c</sup>	1 802.27 ± 46.82 <sup>c</sup>
酚氨比		11.19 ± 0.31 <sup>c</sup>	13.00 ± 2.00 <sup>b</sup>	19.50 ± 0.55 <sup>a</sup>	14.13 ± 0.37 <sup>b</sup>

注:同一行不同字母表示差异显著( $P<0.05$ );“-”表示无相关阈值。

数增加,有 17 个化合物含量显著下降,含量下降范围为 5.48%~80.78%,总含量下降了 18 611.07 mg/kg。

综上,加入做青工艺会降低红茶中的苦涩味化合物含量,且随做青次数增加红茶苦涩味化合物含量越低。在感官审评结果中,加入做青工艺后苦涩味显著下降,滋味得分提升,且随做青次数增加,苦涩味协调性越好,二者结果一致。

2.2.3 做青工艺对红茶滋味影响的关键化合物筛选 4 类样本的 PLS-DA 判别模型如图 2a 所示,  $R^2$ 、 $Q^2$  和准确率分别为 0.99, 0.99, 1.00, 表明模型具有良好的判别能力。以显著性  $P<0.05$  和  $VIP>1$  为标准共筛选出表没食子儿茶素、表儿茶素、茶黄素-3'-没食子酸酯、没食子素、儿茶素、表没食子儿茶素没食子酸酯、茶黄素-3,3'-双没食子酸酯 7 个关键化合物(图 2b),均为苦涩味化合物。对 7 个关键化合物的含量与苦涩度进行相关性分析,结果(表 7)表明,没食子素、儿茶素和表没食子儿茶素没食子酸酯的含量变化与苦涩度和涩度成显著正相关关系,这 3 个化合物有望成为红茶加工过程中滋味预测的靶标物质,定向调控红茶做青工艺对滋味的影响。

### 2.3 做青工艺对红茶香气成分的影响

本研究共对 90 种挥发性化合物进行了注释,主要分为 9 类,包括 15 种醇(16.9%)、3 种酚(3.4%),

22 种醛(24.7%), 10 种酮(11.2%)、7 种酸(7.9%), 10 种酯(11.2%)、13 种烯烃(14.6%)、5 种烷烃(5.6%)和 4 种其它化合物(4.5%)。不同样品中检测到的挥发性化合物的种类和含量(结果文中未显示)。做青红茶挥发性化合物总量分别达到 14 596.38, 12 935.66  $\mu\text{g}/\text{kg}$ , 显著高于对照红茶(10 278.30  $\mu\text{g}/\text{kg}$ )。图 3a 显示,与对照红茶相比,加入做青工艺,醇类香气成分含量显著下降,醛类、酮类和烯烃类香气成分含量显著提高。

挥发性化合物对茶叶香气的贡献不仅与化合物含量有关,还与气味阈值有关。目前 OAV 值常用于评估挥发性化合物对茶叶香气的贡献,通常认为 OAV 值越大,对香气的贡献越大,  $OA\text{V}>1$  的化合物通常被认为是茶叶香气的主要贡献者<sup>[39-40]</sup>。在本研究中,筛选出了  $OA\text{V}>1$  的 19 种香气化合物,如表 8 所示,包括 6 种醇、3 种酮、6 种醛、1 种酸、1 种酯和 2 种烯烃,利用 19 种化合物的香气特征构建了红茶香气特征雷达图(图 3b)。结果表明,样本主要呈现出甜香、果香、花香和薄荷香的香气特征。对照红茶中薄荷香和木香较为突出,加入做青工艺后薄荷香和木香减弱,花香略微增强,果香和甜香显著增强,其中贡献甜香的苯乙醇和 2-苯基乙醛、贡献花香的 3,5-辛二烯-2-酮和 2,4-己二烯醛在对照红茶中未检出,加入做青工艺后产生。

表6 红茶样本苦涩味化合物定量结果  
Table 6 Quantitative results of astringent compounds in black tea samples

物质名称	含量/(mg/kg)			
	苦味阈值/ (mg/kg)	涩味阈值/ (mg/kg)	蒸青茶	对照红茶
儿茶素	249.63	119.01	18 753.80 ± 566.51 <sup>a</sup>	6 305.68 ± 505.92 <sup>c</sup>
表儿茶素	269.95	269.95	10 005.93 ± 378.81 <sup>a</sup>	4 030.04 ± 47.88 <sup>b</sup>
表没食子儿茶素	-	159.26	4 720.76 ± 220.90 <sup>a</sup>	224.78 ± 6.60 <sup>c</sup>
没食子儿茶素	-	165.38	2 439.35 ± 104.02 <sup>a</sup>	75.49 ± 2.42 <sup>c</sup>
表儿茶素没食子酸酯	115.02	79.63	9 298.17 ± 355.54 <sup>a</sup>	5 324.62 ± 73.36 <sup>b</sup>
没食子儿茶素没食子酸酯	178.77	178.77	824.53 ± 35.07 <sup>a</sup>	2.46 ± 0.39 <sup>b</sup>
表没食子儿茶素没食子酸酯	174.18	87.09	14 945.01 ± 589.73 <sup>a</sup>	2 038.93 ± 67.13 <sup>c</sup>
茶黄素	9.03	-	23.48 ± 1.41 <sup>d</sup>	246.35 ± 3.66 <sup>c</sup>
茶黄素-3-没食子酸酯	10.75	-	15.21 ± 1.56 <sup>d</sup>	893.58 ± 36.89 <sup>c</sup>
茶黄素-3'-没食子酸酯	10.57	-	11.48 ± 1.16 <sup>c</sup>	1 446.66 ± 26.69 <sup>b</sup>
茶黄素-3,3'-双没食子酸酯	11.29	-	144.57 ± 18.69 <sup>c</sup>	19 855.34 ± 435.78 <sup>a</sup>
原花青素 B <sub>1</sub>	231.41	138.84	295.47 ± 18.57 <sup>b</sup>	306.08 ± 6.72 <sup>b</sup>
原花青素 C <sub>1</sub>	346.71	260.03	891.13 ± 41.67 <sup>a</sup>	219.57 ± 31.92 <sup>b</sup>
没食子素	-	30.98	9 848.10 ± 338.57 <sup>a</sup>	3 769.15 ± 99.96 <sup>c</sup>
原儿茶酸	31.75	-	5.99 ± 0.88 <sup>d</sup>	13.25 ± 0.24 <sup>c</sup>
对香豆酸	22.82	-	6.65 ± 0.57 <sup>d</sup>	11.63 ± 0.31 <sup>c</sup>
咖啡酸	2.88	-	3.35 ± 0.16 <sup>c</sup>	4.17 ± 0.20 <sup>b</sup>
没食子酸	34.02	-	250.30 ± 14.89 <sup>d</sup>	801.25 ± 12.02 <sup>b</sup>
可可碱	144.13	-	3 079.82 ± 37.75 <sup>a</sup>	413.21 ± 10.41 <sup>c</sup>
咖啡因	97.10	-	11 631.04 ± 125.78 <sup>a</sup>	4 455.24 ± 125.56 <sup>b</sup>
茶氨酸	-	1 045.19	5 104.04 ± 99.37 <sup>a</sup>	1 570.64 ± 46.97 <sup>c</sup>
缬氨酸	2 460.07	-	935.14 ± 27.55 <sup>c</sup>	173.12 ± 3.38 <sup>c</sup>
亮氨酸	1 574.08	-	56.67 ± 1.52 <sup>b</sup>	49.93 ± 2.50 <sup>b,c</sup>
酪氨酸	905.95	-	39.20 ± 1.51 <sup>d</sup>	126.61 ± 4.69 <sup>b</sup>
苯丙氨酸	9 580.96	-	41.50 ± 0.59 <sup>d</sup>	265.01 ± 6.87 <sup>b</sup>
赖氨酸	-	-	12.95 ± 1.32 <sup>d</sup>	33.07 ± 0.77 <sup>b</sup>
总含量	-	-	93 383.66 ± 2472.61 <sup>a</sup>	54 317.30 ± 780.82 <sup>c</sup>

注:同一行不同字母表示差异显著( $P < 0.05$ );“-”表示无相关阈值。



表 7 关键滋味化合物含量同苦涩度相关性

Table 7 The content of key flavor compounds was correlated with bitterness

指标	苦度	涩度
表没食子儿茶素	0.931	0.976*
表儿茶素	0.958*	0.948
茶黄素-3'-没食子酸酯	-0.841	-0.933
没食子素	0.988*	0.956*
儿茶素	0.978*	0.968*
表没食子儿茶素没食子酸酯	0.972*	0.997**
茶黄素-3,3'-双没食子酸酯	-0.883	-0.949

注:\*. 显著相关( $P<0.05$ ),\*\*. 极显著相关( $P<0.01$ ).

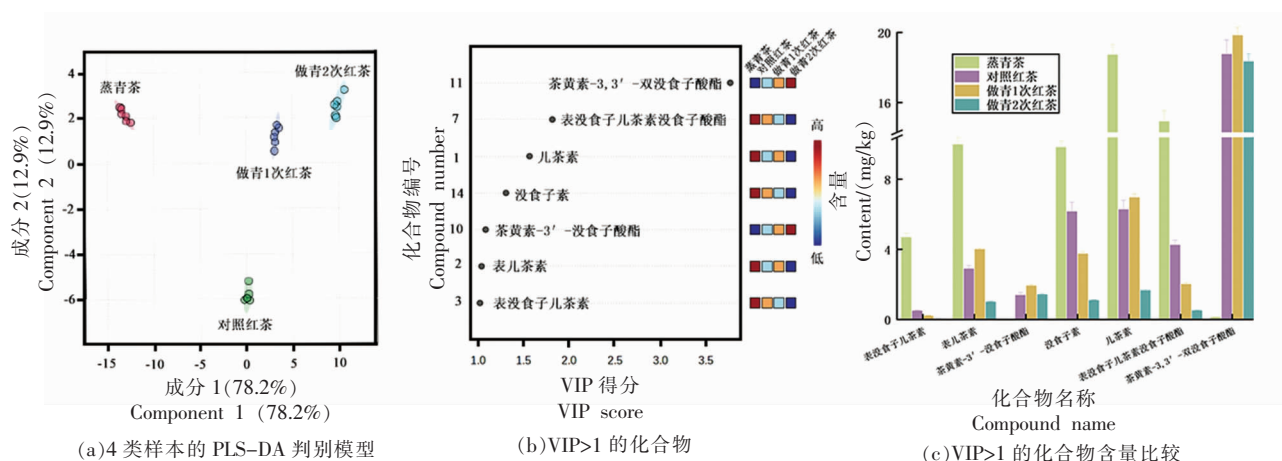


图 2 红茶样本多元统计分析结果及关键化合物含量变化

Fig.2 Results of multivariate statistical analysis of black tea samples and content changes of key compounds

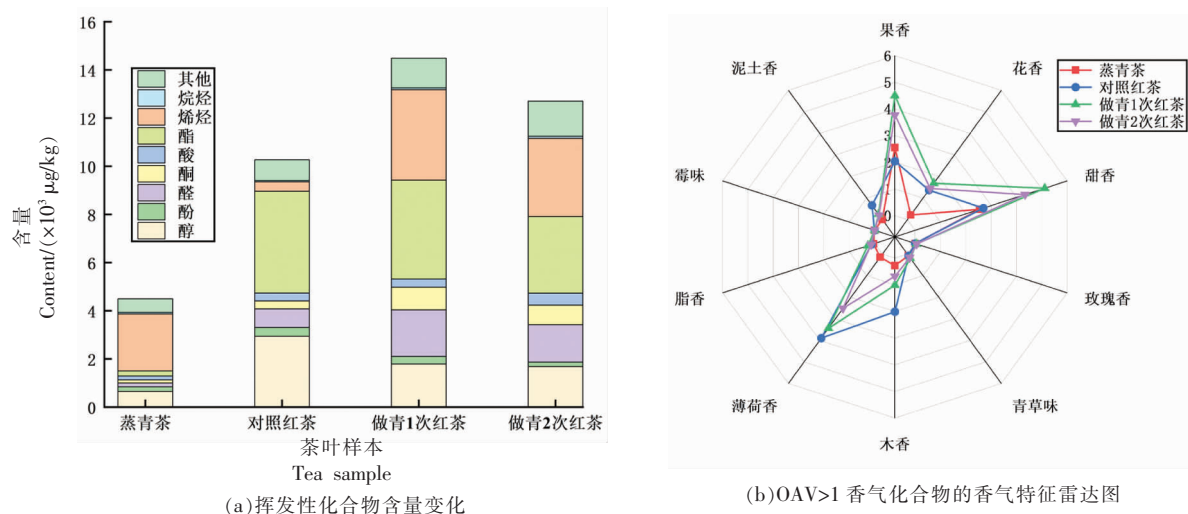


图 3 红茶样本的挥发性化合物含量及香气特征变化

Fig.3 Changes of volatile compounds content and aroma characteristics in black tea samples

综上, 加入做青工艺, 香气化合物总含量升高, 香气化合物呈香中果香和甜香强度增强, 随做

青次数增加香气化合物总含量有所下降, 香气强度有所减弱, 与感官审评结果一致。

表8 红茶样本香气化合物的气味活度值

Table 8 Aroma compounds' OAV of black tea samples

物质名称	气味活度阈值/ ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ )	香气特征描述	气味活度值			
			蒸青茶	对照红茶	做青1次红茶	做青2次红茶
芳樟醇	6.00	果香、甜香、木香	46.31	213.65	119.10	71.70
香叶醇	7.50	甜香、花香、果香	11.92	62.03	46.68	38.21
芳樟醇氧化物	60.00	木香、泥土香、甜香、花香	n.d.	11.03	4.16	3.50
4-松油醇	0.20	果香、木香	n.d.	32.28	63.45	38.27
苯乙醇	4.00	甜香	n.d.	n.d.	22.43	30.17
雪松醇	0.50	木香	n.d.	121.02	73.90	57.20
$\alpha$ -紫罗兰酮	0.40	花香	18.70	100.52	330.43	246.25
$\beta$ -紫罗兰酮	0.20	花香	242.56	626.53	1 505.27	1 636.96
3,5-辛二烯-2-酮	0.50	花香	n.d.	n.d.	387.47	283.55
癸醛	0.10	甜香、果香	298.95	305.93	234.39	295.44
2,4-壬二烯醛	0.16	玫瑰香、青草味	n.d.	n.d.	352.58	381.47
2-辛烯醛	3.00	脂香	n.d.	2.83	14.22	10.70
2-苯基乙醛	4.00	甜香	n.d.	n.d.	73.76	61.81
2,4-己二烯醛	2.56	花香	n.d.	n.d.	11.87	17.13
茶吡咯	2.00	烘烤香	36.90	29.29	30.96	41.66
正壬酸	1.50	脂香	28.83	75.74	147.81	69.81
水杨酸甲酯	40.00	薄荷香	3.55	97.44	85.96	62.86
$\beta$ -月桂烯	13.00	花香、青草味	5.23	6.15	10.41	7.18
柠檬烯	10.00	甜香、果香	215.15	25.59	339.48	301.94

注:n.d.表示未检出。

### 3 结论

在红茶萎凋过程中引入做青工艺等于加重了萎凋程度,改变了茶叶中化学成分的反应与转化环境,实质在于做青使叶片局部损伤,利用酶促发酵促进茶叶内含化合物的转化进而导致滋味、香气品质的深刻改变,做青不足或过度均不利于茶叶品质的形成。本研究将红茶感官审评、UHPLC-HRMS 技术对滋味成分的分析、GC-MS 技术对香气成分的分析三者相结合,研究做青工艺对云南大叶种红茶品质的影响。结果表明,做青红茶苦涩味物质总含量显著下降,红茶茶汤的苦涩味显著降低,红茶的滋味品质得到改善;香气物质总含量升高,果香和甜香强度显著提升,红茶香气品质明显改善。随做青次数增加,苦涩味物质含量降低,苦涩味协调性更好,滋味口感更醇,香气物质总含量下降,香气强度有所减弱。研究结果揭示了做青工艺对于红茶滋味和香气品质影响的物质基础,可为红茶加工工艺的优化和风味品质改善提供有

力支撑。

### 参 考 文 献

- [1] 吴新林. 中国茶叶生产区域布局变化及其影响因素分析[D]. 南京: 南京农业大学, 2020.  
WU X L. Analysis of regional layout changes and influencing factors of tea production in China [D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2020.
- [2] LEE M, KIM H, LEE S, et al. Characterization of catechins, theaflavins, and flavonols by leaf processing step in green and black teas (*Camellia sinensis*) using UPLC-DAD-QTOF/MS[J]. European Food Research and Technology, 2019, 245 (5): 997-1010.
- [3] 施丽娟, 陈宁, 王丹, 等. 超高效液相色谱-三重四极杆串联质谱法定量分析云南大叶种茶酚类成分[J]. 食品科学, 2022, 43(8): 271-280.  
SHI L J, CHEN N, WANG D, et al. Quantitative

- analysis of phenolic compounds in Yunnan *Macrophylla* species by ultra-high performance liquid chromatography-triple quadrupole tandem mass spectrometry[J]. Food Science, 2022, 43(8): 271-228.
- [4] XIN Z Q, MA S S, REN D B, et al. UPLC-Orbitrap-MS/MS combined with chemometrics establishes variations in chemical components in green tea from Yunnan and hunan origins [J]. Food Chemistry, 2018, 266(15): 534-544.
- [5] FENG Z H, LI Y F, LI M, et al. Tea aroma formation from six model manufacturing processes [J]. Food Chemistry, 2019, 285: 347-354.
- [6] 彭功明, 袁赛艳. 滇红工夫红茶加工技术[J]. 现代食品, 2022, 28(10): 78-81.  
PENG G M, YUAN S Y. Processing technology of Congou black tea[J]. Modern Food, 2022, 28(10): 78-81.
- [7] ZHOU Y, ZENG L T, LIU X Y, et al. Formation of (*E*)-nerolidol in tea (*Camellia sinensis*) leaves exposed to multiple stresses during tea manufacturing [J]. Food Chemistry, 2017, 231: 78-86.
- [8] 金心怡, 王秀萍, 吉克温, 等. 气流对做青环境及乌龙茶品质形成的影响[J]. 茶叶科学, 2003, 23(1): 41-45.  
JIN X Y, WANG X P, JI K W, et al. Effect of air flow on green environment and quality formation of Oolong tea[J]. Journal of Tea Science, 2003, 23(1): 41-45.
- [9] XUE J J, LIU P P, GUO G Y, et al. Profiling of dynamic changes in non-volatile metabolites of shaken black tea during the manufacturing process using targeted and non-targeted metabolomics analysis[J]. Food Science and Technology, 2022, 156: 113010.
- [10] 黄福平. 乌龙茶做青过程中生理生化的变化及其香气形成[D]. 福州: 福建农林大学, 2001.  
HUANG F P. Physiological and biochemical changes and aroma formation of oolong tea during green-making[D]. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, 2001.
- [11] 游小妹, 陈常颂, 张全婢. 乌龙茶工艺在绿茶加工中的初探[J]. 茶叶科学技术, 2006(4): 25-26.  
YOU X M, CHEN C S, ZHANG Q B. Preliminary study on Oolong tea technology in green tea processing[J]. Tea Science and Technology, 2006(4): 25-26.
- [12] 杨娟, 齐桂年, 陈盛相, 等. 花香型绿茶品种适制性及加工工艺研究进展[J]. 福建茶叶, 2010, 32(7): 5-6.  
YANG J, QI G N, CHEN S X, et al. Research progress on varietal suitability and processing technology of floral-scented green tea[J]. Fujian Tea, 2010, 32(7): 5-6.
- [13] 雷攀登, 周汉琛, 吴琼, 等. 做青工艺对夏季祁门红茶品质形成影响[J]. 食品工业科技, 2017, 38(8): 108-112, 117.  
LEI P D, ZHOU H C, WU Q, et al. The quality of summer Keemen black tea was influenced by the green-making technology[J]. Science and Technology of Food Industry, 2017, 38(8): 108-112, 117.
- [14] 黄磊, 夏小欢, 付杰, 等. 不同做青程度对绍兴红茶品质的影响[J]. 现代农业科技, 2022(13): 153-155, 163.  
HUANG L, XIA X H, FU J, et al. Effect of different degree of green-making on quality of Shaoxing black tea[J]. Modern Agricultural Science and Technology, 2022(13): 153-155, 163.
- [15] 李慧, 聂枫宁, 熊丙全, 等. 摇青工艺对“崇庆枇杷茶”加工红茶的香气品质的影响[J]. 食品与发酵工业, 2021, 47(2): 188-195.  
LI H, NIE Z N, XIONG B Q, et al. Effect of shaking green technology on aroma quality of black tea processed from Chongqing Loquat Tea[J]. Food and Fermentation Industry, 2021, 47(2): 188-195.
- [16] 滑金杰, 袁海波, 江用文. 我国红茶产业现状、加工进展及前景展望[J]. 华中农业大学学报, 2022, 41(5): 16-23.  
HUA J J, YUAN H B, JIANG Y W. Status quo, processing progress and prospect of black tea industry in China[J]. Journal of Huazhong Agricultural University, 2022, 41(5): 16-23.
- [17] 蒋丹, 杨清, 边金霖, 等. 四川乌龙茶做青程度对品质形成的影响[J]. 食品科学, 2014, 35(11): 66-71.  
JIANG D, YANG Q, BIAN J L, et al. Effect of green-making on quality formation of Sichuan Oolong tea[J]. Food Science, 2014, 35(11): 66-71.
- [18] VAN DEN DOOL H, DEN KRATZ P D. A generalization of the retention index system including linear temperature programmed gas-liquid partition chromatography[J]. Journal of Chromatography A, 1963, 11: 463-471.

- [19] FAN X W, CHEN N, CAI F, et al. Effects of manufacturing on the volatile composition of raw Pu-erh tea with a focus on de-enzyming and autoclaving-compressing treatments[J]. Food Science and Technology, 2020, 137: 110461.
- [20] DENG X J, HUANG G H, TU Q, et al. Evolution analysis of flavor-active compounds during artificial fermentation of Pu-erh tea [J]. Food Chemistry, 2021, 357: 129783.
- [21] WANG J, ZHANG X Y, XIAO Q M, et al. Analysis of volatile substances of different grades of Pu-erh ripe tea[J]. Food Industry Science and Technology, 2022, 43(3): 19-28.
- [22] MA J Y, YAO H B, ZHAO R L. Analysis of key aroma compounds in spring Xinyang black tea based on HS-SPME/GC-MS and OAV[J]. Food Research and Development, 2022, 43(14): 189-198.
- [23] 王梦琪, 朱荫, 张悦, 等. “清香”绿茶的挥发性成分及其关键香气成分分析[J]. 食品科学, 2019, 40(22): 219-228.
- WANG M Q, ZHU Y, ZHANG Y, et al. Analysis of volatile components and key aroma components of fragrant green tea[J]. Food Science, 2019, 40(22): 219-228.
- [24] YIN J F, ZHANG Y N, DU Q Z, et al. Effect of  $Ca^{2+}$  concentration on the tastes from the main chemicals in green tea infusions[J]. Food Research International, 2014, 62: 941-946.
- [25] KANEKO S, KUMAZAWA K, MASUDA H, et al. Molecular and sensory studies on the umami taste of Japanese green tea[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2006, 54(7): 2688-2694.
- [26] YE J H, YE Y, YIN J F, et al. Bitterness and astringency of tea leaves and products: Formation mechanism and reducing strategies [J]. Trends in Food Science & Technology, 2022, 123: 130-143.
- [27] ZHANG L, CAO Q Q, GRANATO D, et al. Association between chemistry and taste of tea: A review [J]. Trends in Food Science & Technology, 2020, 101: 139-149.
- [28] SCHARBERT S, HOFMANN T. Molecular definition of black tea taste by means of quantitative studies, taste reconstitution, and omission experiments [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2005, 53(13): 5377-5384.
- [29] HUFNAGEL J C, HOFMANN T. Orosensory-direct identification of astringent mouthfeel and bitter-tasting compounds in red wine[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2008, 56(4): 1376-1386.
- [30] 岳翠男. 绿茶滋味物质研究及审评参考物模型的建立[D]. 重庆: 西南大学, 2017.
- YUE C N. Research on taste substances of green tea and establishment of reference material model for review[D]. Chongqing: Southwest University, 2017.
- [31] YE Z, SHANG Z X, LI M Q, et al. Evaluation of the physiochemical and aromatic qualities of pickled Chinese pepper and their influence on consumer acceptability by using targeted and untargeted multivariate approaches[J]. Food Research International, 2020, 137(109535): 1-11.
- [32] JIANG H, YU F, QIN L, et al. Dynamic change in amino acids, catechins, alkaloids, and gallic acid in six types of tea processed from the same batch of fresh tea (*Camellia sinensis* L.) leaves[J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2019, 77: 28-38.
- [33] YU P, YEO A S L, LOW M Y, et al. Identifying key non-volatile compounds in ready-to-drink green tea and their impact on taste profile[J]. Food Chemistry, 2014, 155: 9-16.
- [34] 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.
- [35] LIU X B, LIU Y W, LI P, et al. Chemical characterization of Wuyi rock tea with different roasting degrees and their discrimination based on volatile profiles[J]. Royal Society of Chemistry, 2021, 11(20): 12074-12085.
- [36] HUTASINGH N, CHUNTAKARUK H, TUBTIMRATTANA A, et al. Metabolite profiling and identification of novel umami compounds in the chaya leaves of two species using multiplatform metabolomics[J]. Food Chemistry, 2023, 404(PA): 134564.
- [37] 张燕红. 典型酚酸类化合物的呈味特性及对绿茶茶汤苦涩味的影响[D]. 合肥: 安徽农业大学, 2019.
- ZHANG Y H. Taste characteristics of typical phenolic acids and their effects on bitter taste of green tea soup[D]. Hefei: Anhui Agricultural University,

- 2019.
- [38] 马梦君, 程繁杨, 涂修亮. 高茶黄素含量红茶的创新工艺研究进展[J]. 湖北农业科学, 2016, 55(10): 2453-2458.
- MA M J, CHENG F Y, TU X L. Research progress on innovative technology of black tea with high theaflavin content[J]. Hubei Agricultural Sciences, 2016, 55(10): 2453-2458.
- [39] USAMI A, KASHIMA Y, MARUMOTO S, et al. Characterization of aroma active compounds in dry flower of *Malva sylvestris* L. by GC-MS-O analysis and OAV calculations[J]. Journal of Oleo Science, 2013, 62(8): 563-570.
- [40] 肖作兵, 王红玲, 牛云蔚, 等. 基于 OAV 和 AEDA 对工夫红茶的 PLSR 分析[J]. 食品科学, 2018, 39(10): 242-249.
- XIAO Z B, WANG H L, NIU Y W, et al. Analysis of aroma components in four Chinese congou black teas by odor active values and aroma extract dilution analysis coupled with partial least squares regression[J]. Food Science, 2018, 39(10): 242-249.

### Effect of Green-making Technology on the Taste and Aroma Quality of Yunnan Black Tea

WANG Wenfu<sup>1</sup>, YI Lunzhao<sup>1\*</sup>, HU Yongdan<sup>1</sup>, WANG Shaomei<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Faculty of Food Science and Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650500

<sup>2</sup>School of Biotechnology and Engineering, West Yunnan Normal University of Science and Technology, Lincang 677000, Yunnan)

**Abstract** In this study, ultra-high performance liquid chromatography-high resolution mass spectrometry and gas chromatography-mass spectrometry combined with sensory evaluation were used to investigate the effects of green-making technology on the taste and aroma quality of black tea. The results of sensory evaluation showed that the process of green-making tea increased the brightness of red tea score by 8.60 points and the aroma score by 7.00 points, enhanced the sweet and fruit aroma of black tea, and reduced the bitter taste of black tea infusion, and increased the taste score by 3.80 points. The contents of umami and bitter compounds in black tea were significantly reduced. Multivariate statistical analysis showed that seven components, including epigallocatechin, epicatechin, theaflavin-3'-gallate, theogallin, catechin, epigallocatechin gallate and theaflavin-3,3'-gallate, were the key compounds that had important effects on taste. The content of aldehydes increased by 1 160.42  $\mu\text{g}/\text{kg}$ , ketones by 613.88  $\mu\text{g}/\text{kg}$ , alkenes by 3 365.45  $\mu\text{g}/\text{kg}$ , the content of alcohols decreased by 1 152.69  $\mu\text{g}/\text{kg}$ , and the intensity of fruity and sweet flavors were significantly increased, resulting in phenylethyl alcohol and 2-phenylacetaldehyde contributing to sweetness, 3,5-octanediene-2-ketone, 2,4-hexadienal and other aroma compounds contributing to flowers. The research results could provide strong support for the optimization of black tea processing technology and the improvement of flavor quality.

**Keywords** black tea; green-making technology; taste; aroma