

不同摇青方式对秋季绿茶香气的影响

李美凤, 杨洪志远, 张金玉, 汪诗颖, 刘建军*

(贵州大学茶学院, 贵阳 550025)

摘 要: **目的** 利用乌龙茶的摇青工艺, 探索改善秋季绿茶风味的最佳摇青参数。**方法** 利用感官审评与定量描述分析, 筛选最佳摇青处理。利用气相色谱-质谱法(gas chromatography-mass spectrometry, GC-MS)获得样品中挥发性物质的组成及含量。利用层次聚类热图分析、偏最小二乘法判别分析(partial least squares-discriminant analysis, PLS-DA), 获得不同处理的特征挥发性物质。**结果** 摇青整体提高了秋茶得分, 明显改善干茶色泽, 总体改善了茶汤和叶底的颜色、明亮度, 增强了大部分茶样的香气和滋味。摇青提高了秋茶的香气, 其中花香和清香的增强、青草气的减弱是关键, 摇青对栗香和嫩香影响较小; 摇青改变了挥发性物质的组成及含量, 水杨酸甲酯、橙花醇、石竹烯等 17 种挥发性物质含量的降低及苯乙烯、柠檬烯等 15 种挥发性物质含量的增加是形成花香型秋茶的关键。**结论** 秋茶鲜叶摊青 6 h 后, 15 r/min 摇青 70 转, 静置 2 h 所制绿茶感官品质最佳。

关键词: 秋茶; 摇青; 感官品质; 品质成分; 特征挥发性物质

Effects of different shaking treatments on the aroma of autumn tea

LI Mei-Feng, YANG Hong-Zhi-Yuan, ZHANG Jin-Yu, WANG Shi-Ying, LIU Jian-Jun*

(College of Tea, Guizhou University, Guiyang 550025, China)

ABSTRACT: Objective To explore the best shaking parameters for improving the flavor of autumn green tea based on the shaking technology of Oolong tea. **Methods** Sensory evaluation and quantitative description analysis were used to screen the optimal shaking treatment. Gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) were carried out to get the volatile compounds of the samples. Hierarchical clustering analysis and partial least squares-discriminant analysis (PLS-DA) analysis were adopted to explore the characteristic volatile compounds. **Results** Shaking treatments decreased the content of the total polyphenol, caffeine, soluble sugar, water extract and ratio of phenol to ammonia, and increased the content free amino acids. Shaking improved the aroma of autumn green tea, among which the enhancement of floral and fresh aroma, and the weakening of grassy odor were the key factors, while shaking treatments had few effects on chestnut and tender aroma. Shaking treatments also changed the amounts and content of volatile compounds in samples, and the decrease of 17 kinds of volatile substances such as methyl salicylate, nerol and caryophyllene, and the increase of 15 kinds of volatile substances such as styrene and limonene, were crucial to form the floral scents of autumn green tea. **Conclusion** The optimal shaking parameter explored in this experiment is as follows:

基金项目: 国家自然科学基金项目(32060701)、贵州大学引进人才科研项目[贵大人基合字(2021)2 号]、大学生“SRT 计划”项目[贵大 SRT 字(2022)28 号]

Fund: Supported by the National Natural Science Foundation of China (32060701), the Guizhou University Dr. Scientific Research Fund [Guidarenjihezi(2021)No.2], and the Project of “SRT Plans” of College Students [GuidaSRT(2022)No.28]

***通信作者:** 刘建军, 副教授, 硕士生导师, 主要研究方向为茶叶加工与深加工。E-mail: junjian.liu@163.com

***Corresponding author:** LIU Jian-Jun, Associate Professor, College of Tea, Guizhou University, No.2708, Huaxi Road, Huaxi District, Guiyang 550025, China. E-mail: junjian.liu@163.com

Before fixing, spreading for 6 h, then shaking at 15 r/min for 70 revolutions, and let stand for 2 h.

KEY WORDS: autumn tea; shaking; sensory quality; quality compounds; characteristic volatile compounds

0 引言

绿茶是我国生产与消费的主要茶类, 占有茶类产量的 60%以上^[1]。由于夏、秋季节光照强、气温高, 茶树生长迅速、生长期短, 导致芽叶瘦小、木质化程度高、叶张单薄, 儿茶素和花青素含量高, 所制茶滋味苦涩、香气粗老^[2]。夏秋茶产量是约占全年总产量的 60%^[3], 改善夏秋茶品质, 提高夏秋季节鲜叶下树率, 是茶叶工作者长期以来重要研究方向。

研究表明, 使用乌龙茶品种鲜叶, 结合乌龙茶的加工工艺, 有利于减少夏茶的苦涩味, 提高香气, 加工出花香绿茶^[4-6]; 夏秋季节覆盖遮荫处理茶树, 能够提高绿茶游离氨基酸总量, 降低酚氨比, 增加挥发性物质的种类和总量, 提高夏秋茶的品质^[7]; 利用红光辐射夏秋摊青叶, 能够显著降低酯型儿茶素含量, 提高非酯型儿茶素和游离氨基酸总量, 增加挥发性物质的种类和总量, 提高夏秋茶的感官风味^[8]。然而, 乌龙茶品种所制绿茶尽管花香明显, 但缺乏绿茶典型的鲜爽味^[5], 栽培过程的遮荫和加工过程的红光辐照效果明显, 却增加了材料和能源成本。加工技术是决定茶叶品质的关键, 因此, 引入乌龙茶的做青工艺已成为茶叶工作者们改善夏秋茶品质的重要手段^[9]。研究表明, 在绿茶加工过程中引入乌龙茶的做青工序, 能够激活内源酶, 降低夏秋绿茶的苦涩味、增强花香味^[10]。毛志方等^[11]以鸠坑种为原料, 引入乌龙茶的晒青、晾青和摇青工序, 显著增加了香气物质的种类和含量, 提高了绿茶品质。郭丽等^[12]以浙农 113 为原料, 在摊青过程中 3 次摇青, 增加了游离氨基酸总量, 降低了茶多酚含量, 成品茶滋味浓醇、花香浓郁。贺麟等^[13]以碧香早为原料, 在传统绿茶摊放工序中引入摇青工艺, 显著增加了香草醇、橙花醇的相对含量, 加工出的夏季绿茶花香显露, 滋味醇正, 苦涩味降低。摇青是乌龙茶做青工序的关键步骤, 对促进鲜叶理化性质转变、形成乌龙茶品质具有关键作用^[14-15]。研究显示, 安徽地区生长的乌龙茶鲜叶, 开面 2~4 叶, 摇青 6 次处理, 茶叶综合品质最优^[16]; 湖南地区一芽一叶碧香早, 第一次 10 r/min 摇青 10 转、静置 1 h, 第二次 15 r/min 摇青 60 转的综合品质最佳, 表明茶鲜叶品种、级别及摇青次数均对茶叶综合品质产生重要影响^[13]。

本研究以贵州最普遍种植的福鼎大白茶夏季鲜叶为原料, 探究不同摇青处理对秋季绿茶香气的影响, 为改善贵州秋茶品质、提高茶鲜叶利用率提供数据参考。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

贵州主栽茶树品种福鼎大白茶(*Camellia sinensis* var. Fuding dabaicha)一芽二叶至一芽三叶, 2021 年 8 月 3 日(晴, 21~33℃)采摘于贵州贵茶集团茶叶基地。新鲜四季豆、新鲜去壳板栗、新鲜嫩豆芽均为市售。

磷酸氢二钠、磷酸二氢钾(纯度 99%)、磷酸缓冲液(pH 8.0)、甲醇、碳酸钠、癸酸乙酯(纯度 98%)(上海泰坦科技股份有限公司); 氯化钠(纯度 99.5%)、芳樟醇、顺-3-己烯醇(纯度 98%)(上海麦克林生化科技有限公司); 癸酸乙酯(纯度≥98%, 北京索莱宝科技有限公司)。

1.2 仪器与设备

6CWL-90 型调速滚青机(福建佳友茶叶机械智能科技有限公司); 6CST-400 型滚筒杀青机(贵州双木农机有限公司制造); 6CR-30 型揉捻机(浙江上洋机械股份有限公司); HP-5 弹性石英毛细管柱(30 m×320 μm, 0.25 μm)、7890B-7000D 气相色谱-质谱联用仪(美国安捷伦科技有限公司); 手动 SPME 进样器、50/30 μm DVB/CAR/PDMS 萃取头(美国 Supelco 公司); DF-101S 恒温磁力搅拌器(郑州豫华仪器制造有限公司)。

1.3 实验方法

1.3.1 样品制备方法

传统绿茶茶样(CK): 鲜叶→摊放(8 h)→杀青(180℃, 3 min)→揉捻(30 min)→干燥(80℃, 2 h)。

花香型绿茶茶样加工步骤: 以上述绿茶对照样加工工艺为基础, 在摊放工序中引入乌龙茶摇青步骤, 保持其他工艺及参数不变, 即采用鲜叶→摊放→摇青→杀青→揉捻→干燥的工艺技术, 详细参数见表 1。所得成品茶分为两份, 一份用作感官审评与定量描述分析(quantitative descriptive analysis, QDA), 一份研磨后用于挥发性物质的检测, 每个茶样重复 3 次。所有样品均密封, -20℃保存。

1.3.2 茶叶感官审评

茶叶感官审评参照 GB/T 23776—2018《茶叶感官审评方法》进行。由 9 名茶叶感官审评经验丰富的茶学专业教师(3 名)和硕士研究生(6 名)组成专业评审小组, 绿茶感官审评各因子占比为外形(15%)、香气(30%)、汤色(10%)、滋味(35%)、叶底(10%), 加权得出总分。

表 1 不同摇青工艺处理参数

Table 1 Different processing parameters of shaking treatments					
处理	摇青	编号	第 1 次 摇青	第 2 次 摇青	第 3 次 摇青
处理 1	15 r/min 摇青	O1	第 0 h	/	/
处理 2		O2	第 2 h	/	/
处理 3		O3	第 4 h	/	/
处理 4		O4	第 6 h	/	/
处理 5		O5	第 8 h	/	/
处理 6	15 r/min 摇青	T1	第 0 h	第 3 h	/
处理 7		T2	第 1 h	第 4 h	/
处理 8		T3	第 2 h	第 5 h	/
处理 9		T4	第 3 h	第 6 h	/
处理 10		T5	第 4 h	第 7 h	/
处理 11	15 r/min 摇青	R1	第 0 h	第 2 h	第 4 h
处理 12		R2	第 1 h	第 3 h	第 5 h
处理 13		R3	第 2 h	第 4 h	第 6 h
处理 14		R4	第 3 h	第 5 h	第 7 h

注：以处理 14 为例：摊青 3 h 后进行第 1 次摇青，结束后静置；第 5 h 开始第 2 次摇青，结束后静置；第 7 h 开始第 3 次摇青，结束后静置，直至 8 h 后结束。

1.3.3 茶叶香气 QDA 分析

QDA 是一种通过建立精准的评价尺度和描述语来评价食品的风味质量，以获得较为客观的食品风味特征信息的手段，广泛应用于食品行业。参照 LEE 等^[16]和汪蓓等^[17]方法略有改动：确定茶叶 QDA 的描述词和尺度，配制 5 个阶梯浓度的香气标准液，香气强度范围为 0~5，0 代表无香气，5 代表香气极强；邀请 9 名经验丰富的茶学专业师生(同感官审评)对香气溶液进行嗅闻，根据嗅闻结果将出现次数最多的尺度定为该浓度溶液下的评价尺度；最后建立 QDA 香气属性及参比物表(表 2)，审评人员根据表 2 对茶样进行香气感官评价。采用五点强度法对 9 名评价小组成员进行强化训练，确保小组成员对香气描述词以及尺度熟记，可以准确使用参比体系。以评价员打分平均值为茶样感官香气属性定量分析得分。

1.3.4 挥发性化合物的检测

样品前处理：先将纤维头在气相色谱仪的进样口 230℃老化 5 min。采用手动固相微萃取(solid phase microextraction, SPME)进样器和 50/30 μm DVB/CAR/PDMS 纤维头萃取茶样香气物质。称取 0.5 g 茶样，放入 40 mL 顶空萃取瓶中，加入 1 g NaCl，充分混合后加入煮沸的去离子水 5 mL，迅速加盖

密封置于 60℃水浴锅中。平衡 5 min 后，将萃取头插入萃取瓶中萃取 50 min。萃取结束后取出萃取头，插入气相色谱进样口，在 250℃条件下解析 5 min。

GC 条件：色谱柱为 HP-5 弹性石英毛细管柱(30 m×320 μm, 0.25 μm)；进样口温度为 250℃；柱温 50℃保持 2 min，以 3℃/min 升至 90℃，保持 2 min，然后以 3℃/min 升至 110℃，保持 2 min，再以 4℃/min 升至 160℃，保持 2 min，最后以 8℃/min 升至 230℃，保持 2 min。MS 条件：接口温度 250℃；离子源温度 230℃；电子能量 70 eV；质量扫描范围 33~450 u，溶剂延迟时间 2 min。

1.3.5 定性与定量分析

通过 Mass Hunter 未知物分析程序，经 NIST17 标准谱库检索进行比对分析，按相似度大于 80% 的原则筛选化合物并与谱库中的数值比对，以保留指数相差 30 以内为标准再次筛选化合物。参考张铭铭等^[18]的内标法，根据公式 $\rho_i = \rho_{is} \times A_i / A_{is}$ 计算各物质的质量浓度， ρ_i 为任一组分 i 的质量浓度(μg/L)； ρ_{is} 为癸酸乙酯(内标)的质量浓度(μg/L)； A_i 为任一组分的色谱峰面积； A_{is} 为内标的色谱峰面积。

1.3.6 统计分析

数据分析软件采用 IBM SPSS Statistics 26 进行单因素方差分析和 Excel 2016 进行数据统计分析，作图软件采用 Origin 2021、Graph Pad Prism 8.3.0、TB tools 1.098746。

2 结果与分析

2.1 不同摇青处理对秋茶感官风味的影响

茶叶品质由色、香、味、形 4 个重要因素组成，感官审评可以较好地反映茶叶品质的优劣，结果见表 3~4。摇青明显提高了绿茶的感官风味，总分最高的是 O4 (92.56)。其中，摇青使样品的外形(色泽和油润度)得到改善，以 O4 (94.00)最佳；除 T1 和 T4 外的所有绿茶汤色也得到改善，O5 (93.50)最为嫩绿、明亮；除 O5、T1、R1 和 R3 外，不同摇青处理总体增强了秋季绿茶的香气，R4 花香味最浓(94.50)；除 O5、T2、T5 和 R4 外，不同程度的摇青总体增强了滋味的浓醇度，以 O4 最为醇厚鲜爽(92.75)；除 T3、R2 和 R3 外，摇青改善了叶底的明亮度，以 O5 最佳(92.50)。将感官审评各项得分进行热图分析(图 1a)，发现外形、香气和滋味与总分相关性最大，表明秋季绿茶品质受到滋味、香气和外形的强烈影响。

表 2 QDA 香气属性及参比物
Table 2 QDA of odor substances and reference samples

香气属性	定义	参比物	质量浓度	强度
花香	类似花的香气，如茉莉花、玫瑰花	芳樟醇	1.44×10 ⁻⁶ g/mL	3
清香	清新的味道，如煮新鲜蔬菜的气味	煮四季豆汁水	10 g 于 200 mL 水中蒸煮 15 min	3
青草气	类似青草带的青臭气	顺-3-己烯醇	1.27×10 ⁻⁴ g/mL	3
栗香	似煮板栗的香气	煮板栗	5 g 于 200 mL 水中煮 20 min	3
嫩香	煮嫩蔬菜气味	水煮嫩豆芽汁水	10 g 于 200 mL 水中煮 15 min	3

注：芳樟醇和顺-3-己烯醇分别溶于少量甲醇，用超纯水稀释至目的质量浓度，置于 100 mL 带塞锥形瓶；四季豆、嫩豆芽分别加 200 mL 水打汁，取 100 mL 汁水分别置于 100 mL 带塞锥形瓶；熟板栗粉碎后置于 100 mL 带塞锥形瓶。

表 3 不同摇青处理秋季绿茶感官审评评语
Table 3 Sensory evaluation reviews of autumn green tea under different shaking treatments

处理	外形 (25%)	汤色 (10%)	香气 (30%)	滋味 (25%)	叶底 (10%)
CK	嫩绿油润	绿明亮	清香	尚醇浓涩	肥厚软亮
O1	嫩绿油润	绿明亮	花香	醇厚	肥厚软亮
O2	墨绿较油润	尚绿明亮	略有花香	尚醇厚	肥厚软亮
O3	墨绿较油润	尚绿明亮	略有花香	尚醇厚	肥厚软亮
O4	嫩绿油润	绿明亮	花香浓郁	醇厚鲜爽	较软亮
O5	绿油润	嫩绿明亮	清香	鲜醇	肥厚软亮
T1	绿油润	嫩绿较明亮	清香	鲜醇	较软亮
T2	黄绿较油润	黄绿明亮	略有花香	清爽	较软亮
T3	墨绿较油润	尚绿明亮	略有花香	醇厚鲜爽	较软亮
T4	墨绿较油润	尚绿明亮	略有花香	尚醇厚	肥厚软亮
T5	黄绿较油润	黄绿明亮	略有花香	清爽	肥厚软亮
R1	黄绿较油润	黄绿明亮	略有花香	清爽	肥厚软亮
R2	嫩绿油润	绿明亮	花香	醇厚鲜爽	较软亮
R3	黄绿较油润	黄绿明亮	略有花香	清爽	较软亮
R4	黄绿油润	黄明亮	略有花香	清爽	较软亮

2.2 不同摇青处理对秋茶香气特征的影响

茶样香气 QDA 结果见表 5。15 个样品在花香和栗香特征上表现出显著差异, 在清香、青草气、嫩香特征上差异不显著。摇青处理改变了茶样的香气特征强度(图 1b), 增强了花香(T5 和 R4 除外)、清香、栗香和嫩香, 减轻了青草气。其中, O4 花香最显著, R4 清香最明显, O1、O5、T4、T5 和 R3 的青草气最弱, R2 的栗香最强, O5、T1、T3、T4 和 R1 的嫩香最佳(表 5)。图 1b 纵向聚类显示, O4 和 R2 聚为一支, 花香、清香最强, 青草气较弱; 横向聚类显示, 栗香和嫩香相关性较大, 与青草气呈负相关; 花香和清香相关性较大, 与青草气相关性较小。香气 QDA 结果表明, 花香和清香强

度的增加, 青草气的减少, 是秋茶样品感官评价高的主要因素, 栗香和嫩香是次要因素(如 O4 和 R2), 青草气是造成茶样感官评价低的主要因素(如 CK、O2、T2 和 R4)。

对香气 QDA 结果进行主成分分析(图 1c), 结果发现花香和栗香在 PC1 上的载荷系数较大(投影长度大, 下同), 清香和嫩香在 PC2 轴上的载荷系数较大, 青草气在 PC2 负向轴上的载荷系数较大。O4 与 R2 在 PC1 正向轴上的得分较高, 结合 PC1 主要反映茶样的栗香和花香, 则 O4 与 R2 在花香和栗香上特征明显, 这与 QDA 结果一致(表 5)。CK、O2、T2 在 PC2 负向轴上的得分较高, 表明这些处理与茶样的青草气存在较高的相关。T4 与 O5 在 PC2 正向轴上的得分较高, 表明 T4 与 O5 与茶样的嫩香和清香存在较高的相关性。R1、R3、R4 在 PC1 的负向轴上得分较高, 表明 R1、R3、R4 的花香和栗香较低。O1 在 PC1、PC2 两条正向轴上得分相近, 表明 O1 的嫩香、清香、花香和栗香特征均较明显。

2.3 不同摇青处理下花香型绿茶关键呈香物质结果分析

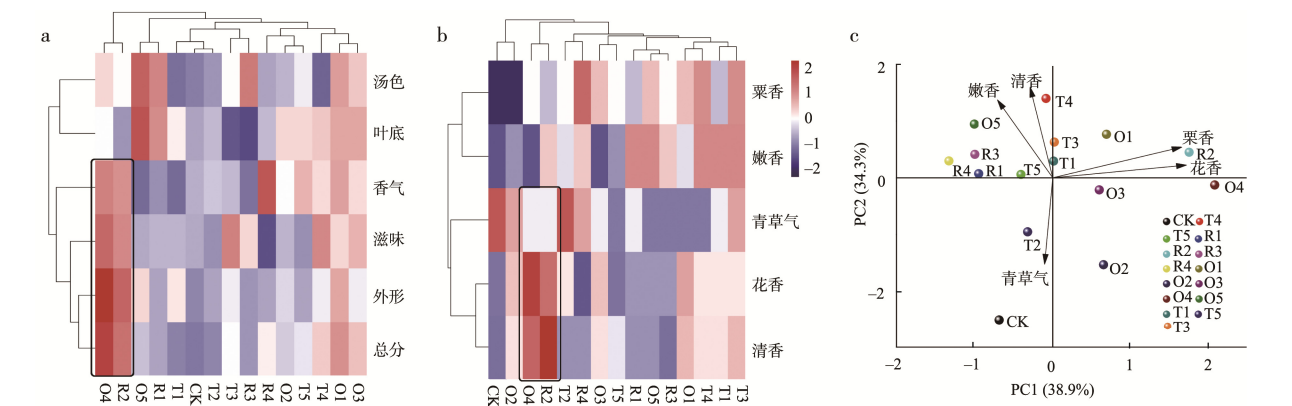
GC-MS 检测感官评价总分最高的 3 个样品(O1、O4 和 R2)与 CK 的挥发性物质, 共检测出 63 种物质(表 6), 主要包括酚类、醇类、烷类、酯类、酮类、烯类。CK、O1、O4 和 R2 中分别检测出 33、32、32、36 种挥发性物质, 总浓度平均为 106.38、90.62、115.09 和 106.33 $\mu\text{g/g}$ 。

热图聚类结果表明(图 2a), 在 63 种挥发性物质中, 苯乙烯、柠檬烯等 15 种物质(Group 2-1, 2-2)是 O1、O4 和 R2 样品中的共有物质, 浓度显著高于 CK, 水杨酸甲酯、橙花醇、石竹烯等 17 种物质(Group 4)为 CK 特有或浓度显著高于摇青处理样品的物质, 推测这 34 种挥发性物质的增加和减少对秋

表 4 不同摇青处理秋季绿茶感官审评评分(n=9)
Table 4 Sensory evaluation scores of autumn green tea under different shaking treatments (n=9)

处理	外形(25%)	汤色(10%)	香气(30%)	滋味(25%)	叶底(10%)	总分
CK	88.25±2.22 ^c	88.50±1.00 ^{ef}	88.00±2.06 ^d	88.00±1.41 ^{cd}	88.50±1.73 ^{bc}	88.16±0.25 ^d
O1	91.25±1.50 ^{ab}	92.00±1.41 ^{abcd}	91.75±1.26 ^{bc}	90.00±2.16 ^{abc}	90.75±1.50 ^{ab}	91.11±0.80 ^{ab}
O2	89.50±1.73 ^{bc}	89.50±1.73 ^{cdef}	89.50±1.91 ^{bc}	88.25±1.50 ^{bcd}	90.00±1.63 ^{ab}	89.24±0.65 ^{bc}
O3	89.75±3.30 ^{bc}	91.25±0.5 ^{abcde}	90.25±1.89 ^{bc}	90.75±2.22 ^{abc}	90.75±1.50 ^{ab}	90.40±0.57 ^{ab}
O4	94.00±1.41 ^a	91.00±1.15 ^{abcdef}	92.75±1.83 ^b	92.75±2.87 ^a	89.50±2.08 ^{ab}	92.56±1.706 ^a
O5	90.50±1.00 ^{ab}	93.50±1.29 ^a	86.25±1.29 ^f	88.00±1.41 ^{cd}	92.50±1.91 ^a	89.10±3.03 ^c
T1	90.25±2.22 ^{ab}	88.25±1.71 ^{ef}	86.25±2.22 ^f	88.25±0.50 ^{bcd}	89.75±3.30 ^{ab}	88.30±1.57 ^{cd}
T2	88.75±2.63 ^{bc}	89.00±2.94 ^{def}	88.50±2.22 ^d	87.50±1.73 ^{cd}	88.75±2.87 ^{bc}	88.39±0.59 ^{cd}
T3	89.75±2.87 ^{bc}	90.50±1.73 ^{abcdef}	88.25±1.26 ^d	92.00±2.31 ^a	87.25±1.26 ^c	89.69±1.87 ^b
T4	89.75±0.50 ^{bc}	88.00±2.94 ^f	90.25±1.50 ^{bc}	91.75±2.06 ^{ab}	90.25±1.26 ^{ab}	90.28±1.35 ^{ab}
T5	88.75±1.50 ^{bc}	90.25±1.26 ^{bcddef}	91.25±0.96 ^{bc}	87.50±1.91 ^{cd}	90.00±1.83 ^{ab}	89.46±1.45 ^{bc}
R1	88.75±2.87 ^{bc}	92.50±1.29 ^{abc}	87.25±1.89 ^{de}	88.25±1.26 ^{bcd}	91.25±1.89 ^{ab}	88.80±2.19 ^e
R2	92.75±2.22 ^{ab}	90.50±1.00 ^{abcdef}	92.25±0.96 ^b	91.75±3.95 ^{ab}	88.25±0.96 ^{bc}	91.68±1.80 ^a
R3	88.50±1.73 ^c	92.75±2.06 ^{ab}	86.50±0.58 ^f	90.00±2.16 ^{abc}	87.00±1.83 ^c	88.55±2.53 ^{cd}
R4	88.75±3.30 ^{bc}	89.25±3.10 ^{def}	94.50±1.89 ^a	86.00±2.00 ^d	88.75±1.71 ^{bc}	89.84±3.10 ^b

注: 同列不同字母表示差异显著($P<0.05$), 下同。



注: a 为不同摇青处理对秋茶感官风味的影响; b 为不同摇青处理样品的香气定量描述热图; c 为香气定量描述分析结果的主成分分析图。

图 1 不同摇青处理对秋季绿茶感官风味的影响

Fig.1 Effects of different shaking treatments on the sensory perception of autumn tea

表 5 15 个样品的香气 QDA 结果(n=9)
Table 5 Aroma QDA results for 15 samples (n=9)

处理	花香/分	清香/分	青草气/分	栗香/分	嫩香/分
CK	1.25±1.26 ^{bc}	1.50±0.96 ^a	1.00±0.82 ^a	1.25±0.50 ^{bc}	1.50±0.50 ^a
O1	2.75±1.29 ^b	2.75±0.50 ^a	0.25±0.50 ^a	2.50±0.58 ^{abc}	2.00±0.82 ^a
O2	2.50±0.58 ^{abc}	1.50±0.58 ^a	0.75±0.96 ^a	2.25±0.96 ^{abc}	1.75±0.50 ^a
O3	2.50±0.58 ^{abc}	2.75±0.96 ^a	0.50±1.00 ^a	2.25±0.96 ^{abc}	1.50±1.00 ^a
O4	3.75±0.96 ^a	2.50±1.00 ^a	0.50±1.00 ^a	3.25±0.50 ^a	1.50±0.58 ^a
O5	1.50±0.58 ^{bc}	2.75±1.26 ^a	0.25±0.50 ^a	1.50±0.58 ^c	2.50±1.00 ^a
T1	2.25±1.5 ^{abc}	2.25±1.26 ^a	0.50±1.00 ^a	2.25±0.96 ^{abc}	2.50±0.58 ^a
T2	2.25±1.71 ^{abc}	2.50±1.00 ^a	1.00±1.41 ^a	1.50±1.00 ^c	2.00±0.20 ^a
T3	2.25±0.96 ^{abc}	3.00±0.82 ^a	0.75±0.50 ^a	2.50±1.00 ^{abc}	2.50±1.00 ^a
T4	2.25±0.96 ^{abc}	3.00±1.15 ^a	0.25±0.50 ^a	2.25±0.96 ^{abc}	2.50±1.29 ^a
T5	1.25±0.96 ^{bc}	2.50±1.73 ^a	0.25±0.50 ^a	2.00±1.41 ^{bc}	1.75±1.71 ^a
R1	1.50±0.58 ^{bc}	2.25±1.26 ^a	0.50±0.58 ^a	1.50±1.73 ^c	2.50±1.00 ^a
R2	3.25±0.50 ^a	2.25±0.50 ^a	0.50±0.58 ^a	3.75±0.50 ^a	2.25±0.50 ^a
R3	1.50±0.58 ^{bc}	2.50±1.29 ^a	0.25±0.50 ^a	1.25±0.96 ^c	2.25±0.96 ^a
R4	1.00±0.82 ^c	3.25±0.96 ^a	0.75±0.96 ^a	1.50±0.58 ^c	2.25±0.96 ^a

茶香气的改善具有重要作用。此外,反式- β -紫罗兰酮、香叶异戊酸酯等 8 种挥发性物质(Group 3)在 O4 中特有或浓度显著高于其他处理,2,3,5,8-四甲基癸烷、 γ -蒎品烯等 4 种物质(Group 1)在 O1 中特有或浓度较高,吡嗪、苯甲醛等 6 种物质(Group 5)在 R2 中特有或浓度较高,而样品 O1 和 O4 仅在第 1 次摇青前的摊放时间分别为 0 和 6 h,摇青结束后的静置时间分别约为 7 h 55 min 和 1 h 55 min,表明摇青次数、摊放和静置时间均对特征性香气物质的形成具有重要影响。

对不同摇青处理的秋茶挥发性物质进行偏最小二乘法判别分析(partial least squares-discriminant analysis, PLS-DA),建立有监督模式的 PLS-DA 模型,设置分类 Y 矩阵变量随机排列 200 次做置换检验,建立模型对不同样品的挥发性物质进行判别分析。得分矩阵图(图 2b)结果表明,PLS-DA 模型中所有数据点均在 95%置信区间内,聚类良好,组间区分明显,说明不同摇青处理对秋茶的挥发性物质组成和含量的影响具有显著差异性。将

PLS-DA 模型中投影重要变量(variables important in projection, VIP)>1 的物质作为差异标志物^[16],结果显示,吡嗪、 β -罗勒烯、苯甲醛等 26 种物质是引起不同样品香气品质存在差异的主要标志性成分(图 2d)。PLS-DA 因子载荷图(图 2c)结合 GC-MS 定量分析,发现对伞花烃、石竹烯、 δ -榄香烯、顺-3-己烯基丁酯、顺式芳樟醇氧化物(吡喃类)、橙花叔醇、长叶薄荷酮、柠檬醛、顺-3-己烯基丁酯、3-己烯-1-醇乙酸酯、别罗勒烯、马鞭草烯醇是 CK 组特有差异性代谢产物,归入图 2a 的 CK 特征性产物(Group 5);刺柏烯醇、柏木烯醇、 γ -松油烯、2,3,5,8-四甲基癸烷是 O1 组区别于其他样本的标志性成分,与 O1 的特征性产物一致(Group 1);顺式芳樟醇氧化物(吡喃类)、对二甲苯、3-甲基-5-丙基壬烷和 2-甲基十二烷,聚类于 Group 3,是 O4 样品特征性挥发性成分;2-甲基庚烷、 β -香草醛、(3E)-4,8-二甲基-1,3,7-壬三烯聚为 Group 6 组,是 R2 样品特征性挥发性成分。

表 6 不同摇青处理对秋季绿茶 O1、O4 和 R2 样品的挥发性物质影响(n=3)

Table 6 Effects of different shaking treatments on the volatile compounds of the O1, O4 and R2 autumn green tea samples of (n=3)

中文名	保留指数	保留时间 /min	CAS	CK	O1	O4	R2
醇类							
反式-芳樟醇氧化物(呋喃类)	1066	13.106	37267-80-4	1.50±0.32 ^a	0.76±0.04 ^a	1.22±0.21 ^b	0.58±0.09 ^b
顺式-芳樟醇氧化物(呋喃类)	1086	13.787	5989-33-3	4.45±0.73 ^a	2.54±0.25 ^b	3.91±0.41 ^a	1.70±0.43 ^b
芳樟醇	1099	14.303	78-70-6	11.47±2.82 ^a	6.37±0.36 ^b	9.36±0.26 ^a	4.01±1.00 ^b
小茴香醇	1113	15.244	1632-73-1	/ ^b	/ ^b	2.23±0.61 ^a	/ ^b
苯乙醇	1116	15.637	60-12-8	0.62±0.12 ^b	0.84±0.03 ^a	/ ^c	0.83±0.12 ^a
1-(对甲苯基)乙醇	1118	15.791	536-50-5	0.73±0.10 ^a	/ ^b	/ ^b	/ ^b
马鞭草烯醇	1144	17.799	5416-53-5	0.63±0.02 ^a	/ ^b	/ ^b	/ ^b
顺式芳樟醇氧化物(吡喃类)	1173	18.041	39028-58-5	0.75±0.13 ^a	/ ^b	/ ^b	/ ^b
芳樟醇氧化物(吡喃)	1178	18.070	14049-11-7	/ ^c	1.90±0.27 ^a	0.98±0.27 ^b	1.07±0.29 ^b
顺式芳樟醇氧化物(呋喃类)	1186	18.534	37267-80-4	/ ^b	/ ^a	2.87±0.47 ^b	/ ^b
橙花醇	1228	21.122	106-25-2	0.58±0.07 ^b	/ ^c	2.87±0.34 ^a	/ ^c
2,6,6-三甲基-双环(3.1.1)庚烷	1244	21.845	53404-49-2	/ ^c	1.02±0.00 ^a	/ ^c	0.68±0.15 ^b
-2,3-二醇							
香叶醇	1255	22.520	106-24-1	4.84±1.18 ^a	/ ^b	/ ^b	/ ^b
2-己基-1-癸醇	1504	33.920	2425-77-6	/ ^c	/ ^c	2.60±0.41 ^a	1.72±0.20 ^b
橙花叔醇	1564	35.271	40716-66-3	0.68±0.08 ^a	/ ^b	/ ^b	/ ^b
雪松醇	1598	37.294	77-53-2	/ ^b	/ ^b	1.99±0.58 ^a	1.85±0.19 ^a
柏木烯醇	1610	38.614	28231-03-0	/ ^b	0.71±0.02 ^a	/ ^b	/ ^b
刺柏烯醇	1617	39.062	472-07-1	/ ^b	0.51±0.03 ^a	/ ^b	/ ^b
酚类							
2,4-二叔丁基苯酚	1519	34.417	96-76-4	1.70±0.56 ^c	25.31±1.46 ^b	28.38±0.28 ^a	23.83±0.75 ^b
其他							
对二甲苯	865	5.947	106-42-3	/ ^b	/ ^b	5.61±1.54 ^a	/ ^b
间伞花烃	1023	11.189	535-77-3	/ ^b	/ ^b	1.03±0.51 ^a	0.86±0.13 ^a
对伞花烃	1025	11.496	99-87-6	0.66±0.06 ^a	/ ^b	/ ^b	/ ^b
3-甲基-5-丙基壬烷	1052	12.421	31081-18-2	/ ^b	/ ^b	1.05±0.36 ^a	/ ^b
萘	1182	18.487	91-20-3	/ ^b	0.92±0.24 ^a	/ ^b	0.85±0.19 ^b
4-甲基十二烷	1259	23.751	6117-97-1	/ ^c	1.69±0.46 ^b	/ ^c	3.67±0.81 ^a
2-甲基十二烷	1264	24.519	1560-97-0	/ ^b	/ ^b	1.16±0.64 ^a	/ ^b
吡啶	1295	24.924	120-72-9	10.08±0.45 ^b	0.98±0.15 ^c	1.74±0.52 ^c	24.64±2.56 ^a
2,3,5,8-四甲基癸烷	1318	25.244	192823-15-7	/ ^b	0.94±0.22 ^a	/ ^b	/ ^b
2,6,10-三甲基十二烷	1366	27.394	3891-98-3	/ ^c	0.85±0.18 ^b	2.09±1.14 ^b	1.31±1.11 ^a
2,6,10-三甲基十四烷	1539	34.984	14905-56-7	/ ^c	1.93±0.66 ^a	1.16±0.24 ^b	0.76±0.13 ^b
5,8-二乙基-十二烷	1572	35.609	24251-86-3	/ ^b	2.13±0.65 ^a	1.47±0.21 ^a	1.49±0.50 ^a
2-甲基-庚烷	1765	40.204	1560-89-0	/ ^b	/ ^b	/ ^b	1.39±0.33 ^a
醛类							
苯甲醛	962	9.769	100-52-7	0.69±0.09 ^b	/ ^b	/ ^b	1.31±0.18 ^a
正壬醛	1104	14.522	124-19-6	0.75±0.10 ^b	2.37±0.19 ^a	2.79±0.26 ^a	2.84±0.62 ^a
癸醛	1206	19.768	112-31-2	/ ^b	0.87±0.16 ^a	/ ^b	0.64±0.26 ^a
柠檬醛	1276	24.815	5392-40-5	0.64±0.04 ^a	/ ^b	/ ^b	/ ^b
β-香草醛	1649	39.066	28400-11-5	/ ^b	/ ^b	/ ^b	0.51±0.17 ^a
酮类							
长叶薄荷酮	1237	21.364	89-82-7	0.57±0.06 ^a	/ ^b	/ ^b	/ ^b
α-异甲基紫罗兰酮	1480	33.104	127-51-5	/ ^c	1.40±0.28 ^b	2.71±0.69 ^a	1.25±0.43 ^b
反式-β-紫罗兰酮	1486	33.422	14901-07-6	0.63±0.08 ^c	0.95±0.15 ^b	1.62±0.13 ^a	0.53±0.15 ^c
烯烃类							
苯乙烯	893	7.188	100-42-5	/ ^b	1.45±0.47 ^a	2.73±1.12 ^a	1.37±0.37 ^a
β-蒎烯	979	10.311	2437-95-8	0.69±0.17 ^a	/ ^b	/ ^b	/ ^b
月桂烯	991	10.466	123-35-3	0.90±0.42 ^a	/ ^b	/ ^b	/ ^b
3-(2-甲基丙基)-1-环己烯	1001	10.487	4104-56-7	/ ^b	0.66±0.03 ^a	/ ^b	0.47±0.12 ^a
柠檬烯	1030	11.551	138-86-3	0.61±0.03 ^c	2.94±0.90 ^a	1.63±0.23 ^b	1.68±0.23 ^b

表 6(续)

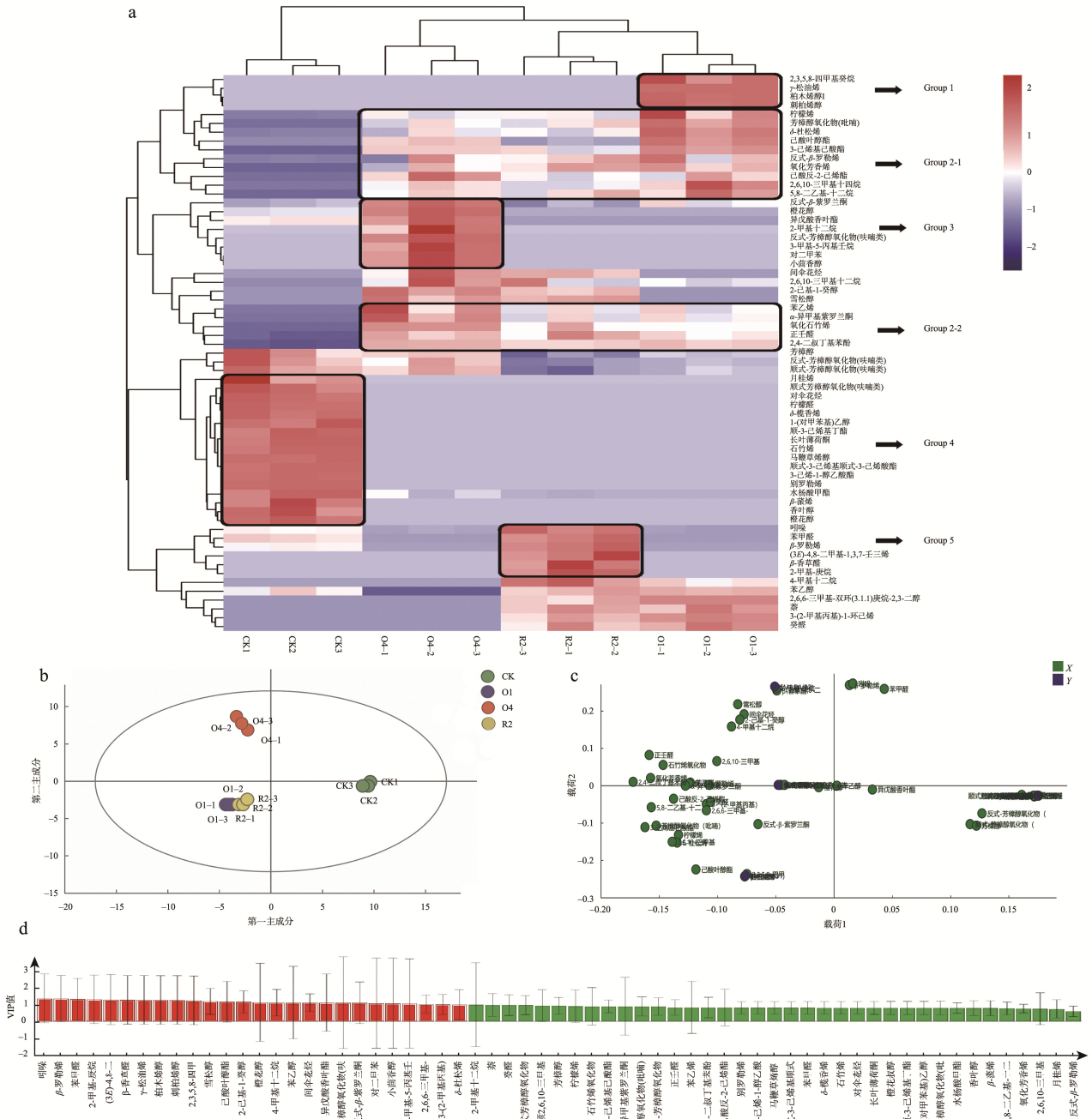
中文名	保留指数	保留时间	CAS	CK	O1	O4	R2
β -罗勒烯	1037	11.854	13877-91-3	0.58±0.07 ^b	/ ^c	/ ^c	1.59±0.22 ^a
反式- β -罗勒烯	1049	12.090	3779-61-1	0.62±0.02 ^b	1.25±0.34 ^a	1.04±0.43 ^{ab}	1.21±0.17 ^a
γ -松油烯	1060	12.680	99-85-4	/ ^b	0.72±0.000 ^a	/ ^b	/ ^b
别罗勒烯	1131	16.357	7216-56-0	0.60±0.01 ^a	/ ^b	/ ^b	/ ^b
(3E)-4,8-二甲基-1,3,7-壬三烯	1140	16.573	19945-61-0	/ ^b	/ ^b	/ ^b	3.24±0.95 ^a
δ -榄香烯	1338	27.391	20307-84-0	0.65±0.05 ^a	/ ^b	/ ^b	/ ^b
石竹烯	1419	32.287	6753-98-6	0.59±0.05 ^a	/ ^b	/ ^b	/ ^b
δ -杜松烯	1524	34.681	483-76-1	0.58±0.04 ^c	4.22±0.51 ^a	1.96±0.65 ^b	2.08±0.42 ^b
石竹烯氧化物	1581	36.169	1139-30-6	/ ^c	0.82±0.01 ^b	1.47±0.01 ^a	1.00±0.29 ^b
氧化芳香烯	1672	39.335	94020-95-8	/ ^b	10.44±1.87 ^a	7.22±3.26 ^a	10.26±2.16 ^a
酯类							
3-己烯-1-醇乙酸酯	1005	11.075	3681-82-1	0.59±0.02 ^a	/ ^b	/ ^b	/ ^b
顺-3-己烯基丁酯	1187	18.732	16491-36-4	0.58±0.07 ^a	/ ^b	/ ^b	/ ^b
水杨酸甲酯	1192	18.945	119-36-8	55.55±7.32 ^a	1.70±0.48 ^b	10.25±8.01 ^b	1.56±0.71 ^b
己酸叶醇酯	1380	29.196	31501-11-8	0.68±0.08 ^c	7.76±0.86 ^a	5.26±0.31 ^b	1.38±0.41 ^c
3-己烯基己酸酯	1386	29.439	84434-19-5	/ ^d	2.66±0.17 ^a	1.98±0.01 ^b	1.45±0.38 ^c
顺式-3-己烯基顺式-3-己烯酸酯	1389	29.537	61444-38-0	0.61±0.03 ^a	/ ^b	/ ^b	/ ^b
己酸反-2-己烯酯	1391	29.614	53398-86-0	/ ^b	1±0.39 ^a	1.41±0.42 ^a	0.73±0.16 ^a
异戊酸香叶酯	1606	38.269	109-20-6	0.58±0.04 ^b	/ ^c	1.28±0.23 ^a	/ ^c
总量				106.38±4.15 ^b	90.62±6.03 ^d	115.09±1.54 ^a	106.33±4.53 ^c

3 讨论与结论

摇青是乌龙茶花香散发的关键工序，也是改善夏秋茶味苦涩、香气粗老的重要手段^[9,13,19-20]。摇青工序已广泛使用于夏秋绿茶的加工。郭丽等^[12]增加夏茶的摇青次数，发现茶叶的外形色泽和香气得到改善，总评得分提高，但是汤色和叶底变黄。本研究发现，尽管摇青总体提高了秋茶的外形、汤色、滋味、香气和叶底的感官评价，然而，与摇青次数没有紧密相关，例如，摇青 1 次(O1~O5，平均分 91.00)的外形审评平均得分高于摇青 3 次(T1~T5，平均分 89.69)和 2 次(R1~R4，平均分 89.45)，相同摇青次数组内评分也具有差异性。夏秋茶的感官品质受摊青(萎凋)时间、鲜叶失水率和摇青次数的共同作用^[21]，这可能是本研究不同摇青处理感官评价差异性较大的原因。

香气是茶叶品质的重要贡献因素，摇青是乌龙茶形成花香的重要工序^[22]。庞月兰等^[6]以金萱为原料，夏茶摇青 1 次，摊放、做青 9 h 香气最佳，秋茶不摇青，摊放 9 h 香气最佳。王飞权等^[23]以黄观音为原料加工白茶，在萎凋过程中引入 1 次摇青，显著提高了白茶的香气。本研究以一芽二、三叶福鼎大白茶为原料，R4(摊放 3 h，摇青 3 次，间隔 2 h，末次摇青后静置 1 h)香气品质最好，其次是 O4(摊放 6 h，摇青 1 次，静置 2 h)和 R2(摊放 1 h，摇青 3 次，间隔 2 h，末次摇青后静置 3 h)，不同于庞月兰等^[6]和王飞权等^[23]的研究结果，可能是本研究的原料比乌龙茶开面采鲜叶幼嫩，与其鲜叶含水量、香气前体物质差异较大有关。本研究感官审评结果发现，摇青不同程度改善了茶叶秋茶香气(图 1a)，清香和花香强度的增加，以及青草气的减少，是形成花香型秋茶的关键(图 1b)，

然而，该结果与摇青次数没有明显相关性，表明香气的改善与多种因素有关。绿茶加工过程中，摊放工序是形成花香绿茶特征香气和香型的关键因素之一^[24]。本研究感官审评发现，摇青 1 次的 O4 感官评分高于 O1，表明茶样的摊放、静置时间影响了茶叶挥发性物质的形成和积累，可能是摊放、静置过程“走水”时水分的重新分布影响了茶叶内部酶促反应，进而影响了香气物质的形成^[25]。层次聚类表明，不同摇青处理茶样中，花香、清香强度的增加、青草气强度的降低，可能是秋茶呈现花香型的主要因素，而栗香和嫩香与茶叶的花香特征相关性较小(图 1b)，因此，加工花香型秋茶应关注青草气的减少和花香、清香物质的增加。短链不饱和醇、醛具有典型青草气^[26]，茶叶中短链醇与某些有机酸形成的酯类化合物、某些具有脂肪族取代基的芳香族化合物和杂环化合物也具有青草气^[27]。本研究 GC-MS 检测结果发现，CK 中具有青草气物质典型结构的挥发性产物，如 1-(对甲苯基)乙醇、顺-3-己烯基丁酯、顺式-3-己烯基顺式-3-己烯酸酯、3-己烯-1-醇乙酸酯和水杨酸甲酯等，在 O1、O4 和 R2 中显著降低或未检出，表明摇青处理有助于减轻令人不愉悦的青气(图 2a Group 4，图 2c)。柠檬烯是表征乌龙茶花果味的重要香气物质^[28]；苯乙烯是香料的重要成分^[29]；反式 β 罗勒烯是具有花香的挥发性物质^[30]。本研究中，苯乙烯、柠檬烯、反式 β 罗勒烯、氧化芳香烯和芳樟醇氧化物等 15 种物质(图 2a Group 2-1，2-2)是感官审评最佳的样品中的共同挥发性物质，表明这 15 种物质可能时形成花香型秋茶的关键物质。不同的摇青次数、摊放与静置时间，对各样品的特征性香气物质形成具有重要影响(表 6，图 2a，c)，下一步有必要进行摊放和静置时间对香气物质影响的研究。综上，O4(摊青 6 h 后，以 15 r/min 摇青 70 转，静置 2 h)处理，对改善秋季绿茶滋味和香气最佳。



注: a 为不同摇青处理茶样挥发性物质热图; b 为 PLS-DA 对不同样品的聚类图; c 为 PLS-DA 结合 GC-MS 定量分析特征挥发性物质的载荷矢量图, X 为物质, Y 为样本; d 为标志性差异代谢产物分析图。

图 2 不同摇青处理对秋季绿茶挥发性物质的影响

Fig.2 Effects of different shaking treatments on volatile compounds of autumn green tea

参考文献

- [1] 梅宇, 梁晓. 2021 年中国茶叶生产与内销形势分析[J]. 中国茶叶, 2022, 44(4): 17-22.
MEI Y, LIANG X. Analysis of China's tea production and domestic sales in 2021 [J]. China Tea, 2022, 44(4): 17-22.
- [2] 毕彩虹. 夏秋绿茶的发展及前景探讨[J]. 茶业通报, 2007, 29(3): 109-111.
BI CH. Prospect and development of summer-autumn green tea [J]. J Tea Bus, 2007, 29(3): 109-111.
- [3] 李建华, 丁清平, 陈元良, 等. 夏秋茶的增值利用途径研究[J]. 中国茶
- 叶加工, 2009, (3): 20-21.
- LI JH, DING QP, CHEN YL, *et al.* Research on value-added utilization of summer-autumn tea [J]. China Tea Process, 2009, (3): 20-21.
- [4] 王小云, 杨春, 谭少波, 等. 乌龙花香型绿茶加工技术初探[J]. 广西农学报, 2008, 23(4): 47-48.
WANG XY, YANG C, TAN SB, *et al.* A study on processing technology of oolong floral perfume green tea [J]. J Guangxi Agric, 2008, 23(4): 47-48.
- [5] 谢文钢, 陈智雄, 刘阳, 等. 贵州珠形绿茶“金牡丹”和“铁观音”品质研究[J]. 食品工业科技, 2021, 42(9): 245-250.
XIE WG, CHEN ZX, LIU Y, *et al.* Study on the Guizhou beaded green tea quality of “Jingmudan” and “Tieguanyin” [J]. Sci Technol Food Ind, 2021,

- 42(9): 245–250.
- [6] 庞月兰, 廖勤明, 杨春, 等. “金萱”品种花香绿茶的加工工艺研究[J]. 广西农学报, 2016, 31(4): 26–29.
PANG YL, LIAO QM, YANG C, *et al.* The study on processing technology of fragrance green tea for Jinxuan variety [J]. J Guangxi Agric, 2016, 31(4): 26–29.
- [7] 方奇挺, 金晶, 朱雨梦, 等. 覆盖遮荫及生产季节对蒸青绿茶滋味和香气物质的影响[J]. 茶叶, 2021, 47(3): 131–137.
FANG QT, JIN J, ZHU YM, *et al.* Effect of shade treatment and harvest season on the taste and aroma-related components in steamed green tea [J]. J Tea, 2021, 47(3): 131–137.
- [8] 刘建军, 张金玉, 彭叶, 等. 不同光质摊青对夏秋茶树鲜叶挥发性物质及其绿茶品质影响研究[J]. 茶叶科学, 2022, (42): 1–16.
LIU JJ, ZHANG JY, PENG Y, *et al.* Effects of light waves on the aroma substances of tea shoots during withering and the final quality of green tea [J]. J Tea Sci, 2022, (42): 1–16.
- [9] 叶飞, 郑鹏程, 高士伟, 等. “三青”工艺改善夏秋绿茶品质的研究[J]. 湖南农业科学, 2010, (23): 113–116.
YE F, ZHENG PC, GAO SW, *et al.* Effect of “San Tsing” technology on the quality of green-tea in the summer and autumn [J]. Hunan Agric Sci, 2010, (23): 113–116.
- [10] 欧伊伶. 楠叶齐夏秋乌龙茶加工工艺及香味品质形成机理研究[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2019.
OU YL. Study on the processing technology and quality formation mechanism of Zhuyeqi summer Oolong tea [D]. Changsha: Hunan Agricultural University, 2019.
- [11] 毛志方, 涂云飞, 施海根, 等. 做青过程中香气物质的变化研究初报[J]. 中国茶叶加工, 2008, (1): 17–19.
MAO ZF, TU YF, SHI HG, *et al.* An initial research on the changes of aroma substances in the process of blue-making [J]. China Tea Process, 2008, (1): 17–19.
- [12] 郭丽, 谭俊峰, 王力, 等. 花香型绿茶加工工艺的研究[J]. 浙江农业科学, 2009, (5): 946–948.
GUO L, TAN JF, WANG L, *et al.* Study on the processing technology of floral-flavored green tea [J]. J Zhejiang Agric Sci, 2009, (5): 946–948.
- [13] 贺麟, 李宗琼, 张拓, 等. 夏季茶鲜叶加工花香型绿茶工艺技术研究[J]. 食品与机械, 2019, 35(6): 195–200.
HE L, LI ZQ, ZHANG T, *et al.* Study on the processing of flower-scented green tea with fresh tea leaves in summer [J]. Food Mach, 2019, 35(6): 195–200.
- [14] 尤伟平. 乌龙茶摇青叶内源乙烯生物合成途径与影响因素的探讨[J]. 茶叶科学简报, 1989, (2): 27–31.
YOU WP. Study on the endogenous ethylene biosynthesis pathway and influencing factors in shaken leaves of Oolong tea [J]. Acta Tea Sin, 1989, (2): 27–31.
- [15] 郑鹏程, 宁井铭, 赵常锐, 等. 不同摇青工艺对乌龙茶品质的影响[J]. 安徽农业大学学报, 2009, 36(1): 110–115.
ZHENG PC, NING JM, ZHAO CR, *et al.* Effects of green tea leaf shaking technique on Oolong tea quality [J]. J Anhui Agric Univ, 2009, 36(1): 110–115.
- [16] LEE LC, LIONG CY, JEMAIN AA. Partial least squares-discriminant analysis (PLS-DA) for classification of high-dimensional (HD) data: A review of contemporary practice strategies and knowledge gaps[J]. Analyst, 2018, 143(15): 3526–3539.
- [17] 汪蓓, 舒娜, 陆安霞, 等. 不同杀青温度对绿茶香型形成的影响[J]. 食品与发酵工业, 2020, 46(4): 197–203.
WANG B, SHU N, LU ANX, *et al.* Aroma formation of green tea effected by different pan-fire temperature [J]. Food Ferment Ind, 2020, 46(4): 197–203.
- [18] 张铭铭, 江用文, 滑金杰, 等. 干燥方式对绿茶栗香的影响[J]. 食品科学, 2020, 41(15): 115–123.
ZHANG MM, JIANG YW, HUA JJ, *et al.* Effect of drying methods on chestnut-like aroma of green tea [J]. Food Sci, 2020, 41(15): 115–123.
- [19] 马淳沂, 蒋向东. 一种利用夏秋茶原料加工花香翠螺绿茶的制作方法: 中国, CN201110328806.X[P]. 2013-05-01.
MA CY, JIANG XD. A processing method for flowery and round green tea by using summer-autumn tea leaves: China, CN201110328806.X [P]. 2013-05-01.
- [20] 王婕珊, 罗龙新, 何群仙. 一种降低夏秋茶叶苦涩味的绿茶加工方法: 中国, CN201210432609.7[P]. 2014-03-12.
WANG JS, LUO LX, HE QX. A green tea processing method for reducing the bitterness and astringency of summer-autumn tea: China, CN201210432609.7 [P]. 2014-03-12.
- [21] 蒋平利, 欧伊玲, 何加兴, 等. 夏茶鲜叶加工新型清花香特种茶的工艺研究[J]. 茶叶通讯, 2020, 47(4): 647–653.
JIANG PL, OU YL, HE JX, *et al.* Study on the processing technology of clear flower fragrance special tea with fresh leaves of summer tea [J]. J. Tea Commun, 2020, 47(4): 647–653.
- [22] FENG Y, WANG J, ZHAO Y, *et al.* Biosynthesis of orchid-like volatile methyl jasmonate in tea (*Camellia sinensis*) leaves in response to multiple stresses during the shaking process of Oolong tea [J]. LWT, 2021, 143: 111184.
- [23] 王飞权, 冯花, 朱晓燕, 等. 摇青和揉捻工艺对白茶生化成分和感官品质的影响[J]. 热带作物学报, 2019, 40(11): 2236–2245.
WANG FQ, FENG H, ZHU XY, *et al.* Effects of rolling and rocking green on the sensory quality and biochemical compounds of white tea [J]. Chin J Trop Crops, 2019, 40(11): 2236–2245.
- [24] 周春明, 袁海波, 秦志荣, 等. 花香型绿茶的香气成分分析[J]. 现代食品科技, 2004, 20(2): 101–104.
ZHOU CM, YUAN HB, QIN ZR, *et al.* Analysis on aromatic constituents of fragrance green teas [J]. Mod Food Sci Technol, 2004, 20(2): 101–104.
- [25] 林学诗. 乌龙茶做青过程叶、梗水分变化动向[J]. 茶叶科学简报, 1990, 120: 41–43.
LIN XS. Dynamic changes of water content in leaf and stem during blue-making of Oolong tea [J]. Acta Tea Sin, 1990, 120: 41–43.
- [26] BECERRA M, BOUTEFNOUCHET S, CORDOBA O, *et al.* Antileishmanial activity of fucosterol recovered from *Lessonia vadosa* Searles (Lessoniaceae) by SFE, PSE and CPC [J]. Phytochem Lett, 2015, 11: 418–423.
- [27] 高远. 翠绿茶芽茶生青气味特征成分及制茶品质研究[D]. 成都: 四川农业大学, 2018.
GAO Y. Green aroma characteristic substance of emerald bud tea and its processing quality study [D]. Chengdu: Sichuan Agricultural University, 2018.
- [28] GUO YQ, ZHU C, ZHAO SS, *et al.* De novo transcriptome and phytochemical analyses reveal differentially expressed genes and characteristic secondary metabolites in the original Oolong tea (*Camellia sinensis*) cultivar ‘Tieguanyin’ compared with cultivar ‘Benshan’ [J]. BMC Genomics, 2019, 20(1): 1–24.
- [29] API AM, BELSITO D, BOTELHO D, *et al.* RIFM fragrance ingredient safety assessment, styrene, CAS Registry Number 100-42-5 [J]. Food Chem Toxicol, 2022, 165(2): 113138.
- [30] DÖTTERL S. Importance of floral scent compounds for the interaction between *Silene latifolia* (Caryophyllaceae) and the nursery pollinator *Hadena bicruris* (Lepidoptera: Noctuidae) [D]. Bavaria: University of Bayreuth, 2004.

(责任编辑: 郑 丽 于梦娇)

作者简介



李美凤, 博士, 讲师, 主要研究方向为茶树品质调控、茶叶加工。

E-mail: iamlimeifeng@126.com



刘建军, 副教授, 硕士生导师, 主要研究方向为茶叶加工与深加工。

E-mail: junjian.liu@163.com