

不同管理方式的武夷水仙岩茶品质差异及其形成的物质基础

吴全金¹, 周 喆², 林馥茗², 漆思雨², 周明帅³, 彭良清⁴, 孙威江^{2*}

1. 福建开放大学文经学院, 福建福州 350003; 2. 福建农林大学园艺学院, 福建福州 350002; 3. 武夷山市明慧岩茶厂, 福建武夷山 354300; 4. 厚夷岩茶厂, 福建武夷山 354300

摘 要: 福建水仙属于小乔木型茶树, 是加工武夷岩茶的主要品种之一。目前, 武夷山茶园管理过程中存在水仙茶树自然生长的现象(不修剪), 其制茶品质与修剪水仙有明显区别。为明确自然生长和修剪条件下, 武夷水仙岩茶的香气和呈味物质基础及其差异, 本研究采用气相色谱-质谱联用(gas chromatography-mass spectrometry, GC-MS)和高效液相色谱(high performance liquid chromatography, HPLC)技术, 结合多元统计分析, 探寻自然生长和修剪下武夷水仙岩茶在焙火前(毛茶)和焙火后(成品茶)香气物质、滋味成分与品质的内在联系。结果表明: 利用 GC-MS 技术共鉴定出 261 种挥发物; 通过主成分分析(principal component analysis, PCA)与正交偏最小二乘判别分析(orthogonal partial least squares discriminant analysis, OPLS-DA)可知, 自然生长水仙茶树和修剪水仙茶树制成的毛茶和成品茶的香气物质差异明显。与修剪水仙毛茶相比, 自然生长水仙毛茶有 41 种挥发性物质存在显著差异(筛选差异标准: VIP>1, 且 FC $\geq$ 1.5 或 FC $\leq$ 0.67), 己酸己酯、植物醇、异植醇、反式-橙花叔醇等花果香物质的相对含量更高; 而 β -雪松烯、 γ -杜松烯、2-甲氧基呋喃等相对含量更低。与修剪水仙成品茶相比, 自然生长水仙成品茶有 71 种挥发性物质存在显著差异, 呈果香型的己酸己酯、己酸甲酯、反式-橙花叔醇、(Z)- β -法呢烯、1-庚醇、2-庚酮等挥发物, 呈烘烤香型的 3-乙基-1H-吡咯、2-甲酰基-4,5-二甲基吡咯、乙基甲基吡嗪等挥发物的相对含量更高。修剪水仙和自然生长水仙茶焙火前后的香气物质也存在很大差异, 分别有 91 和 70 种差异物质。通过香气活性值(aroma activity value, OAV)分析表明, (E)-3-己烯醇、吡嗪、反式-橙花叔醇、环氧- β -紫罗兰酮、(E)-芳樟醇氧化物、2-苯乙醇、水杨酸甲酯可能是自然生长水仙香气形成的重要物质。主要呈味物质分析表明, 自然生长和修剪水仙茶的儿茶素组分和咖啡碱存在明显差异。感官审评结果与理化检测结果一致, 表现为自然生长水仙茶花果香浓郁, 滋味醇厚, 品质更佳。本研究对科学管理茶园和茶叶品质调控有指导作用。

关键词: 武夷水仙; 自然生长; 修剪; 毛茶; 成品茶

中图分类号: S476.2 文献标识码: A

Quality Difference and Its Forming Material Basis of Wuyi Shuixian Rock Tea with Different Management Methods

WU Quanjin¹, ZHOU Zhe², LIN Fuming², QI Siyu², ZHOU Mingshuai³, PENG Liangqing⁴, SUN Weijiang^{2*}

1. College of Law, Chinese Studies & Economics, Open University of Fujian, Fuzhou, Fujian 350003, China; 2. College of Horticulture, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou, Fujian 350002, China; 3. Wuyi Mountain Minghui Rock Tea Factory, Wuyishan, Fujian 354300, China; 4. Houyi Rock Tea Factory, Wuyishan, Fujian 354300, China

Abstract: Fujian Shuixian belongs to the semi-tree form of tea plant (*Camellia sinensis*), which is the main variety for processing Wuyi Rock Tea (WRT). At present, there is a widely phenomenon that Shuixian grows naturally (no-pruning) in the management of tea gardens of Wuyishan, and its quality is obviously different from that of pruned Shuixian. In order to clarify the basis and differences of aroma and flavor substances WRT under natural growth and pruning condi-

收稿日期 2022-12-07; 修回日期 2022-12-28

基金项目 国家重点研发计划专项课题(No. 2019YFD1001601); 2022 年度福建开放大学校内科研项目(FK22A01); 2020 年福建省中青年教育科研项目(科技类)(No. JAT201519)。

作者简介 吴全金(1986—), 女, 博士, 讲师, 研究方向: 茶树生理生化与茶叶品质化学。*通信作者(Corresponding author): 孙威江(SUN Weijiang), E-mail: swj8103@126.com。

tions, this study used gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) and high performance liquid chromatography (HPLC) technology, combined with multivariate statistical analysis, to explore the internal relationship among aroma substances, flavor components and quality of WRT before baking (raw tea) and after baking (finished tea) under natural growth and pruning conditions. The results showed that 261 volatile compounds were identified by GC-MS technology. It reveals that there are obvious differences in aroma substances between raw tea and finished tea of the natural growth Shuixian and pruned Shuixian with the help of principal component analysis (PCA) and orthogonal partial least squares discriminant analysis (OPLS-DA). Compared with the raw tea of pruning Shuixian, the raw tea of natural growth Shuixian showed significant differences in 41 volatile substances (Selection standard: $VIP > 1$, and the $FC \geq 1.5$ or the $FC \leq 0.67$), in which the relative content of hexyl hexanoate, plant alcohol, isophytol, trans-nerolidol are higher, however, the relative content of β -cedrene, γ -junitene and 2-methoxyfuran are lower. Compared with the finished tea of pruning Shuixian, the finished tea of natural growth Shuixian showed significant differences in 71 volatile substances, such as hexyl hexanoate, methyl caproate, trans-nerolidol, (Z)- β -farnesene, 1-heptanol, 2-heptanone with fruity aroma, and 3-ethyl-1H-pyrrole, 2-formyl-4with baking aroma, whose relative content are higher. There are also great differences in aroma substances between natural growth Shuixian and pruned Shuixian before and after baking, with 91 and 70 different substances respectively. The analysis of aroma activity value (OAV) showed that (E)-3-hexenol, indole, trans-nerolidol, epoxy- β -ionone, (E)-linalool oxide, 2-phenylethanol and methyl salicylate may be important substances for the aroma formation of natural growth Shuixian. Analysis of the main flavor substances showed that there were obvious differences in catechin components and caffeine between natural growth Shuixian and pruned Shuixian. The results of sensory evaluation are consistent with the results of physical and chemical test, showing that natural growth Shuixian with rich fruit fragrance, mellow taste and better quality. This study has a guiding role in scientific management of tea gardens and tea quality control.

Keywords: Wuyi Shuixian; natural growth; pruning; raw tea; finished tea

DOI: 10.3969/j.issn.1000-2561.2024.03.015

武夷岩茶属于半发酵茶类, 具有独特的香气、滋味和保健功效, 品质表现为“岩骨花香”和“香清甘活”^[1-2], 深受广大消费者的青睐。一杯香高味醇的好茶需要具备优良的茶树品种、优越的生长环境和精湛的加工工艺, 三者缺一不可。香气和滋味是构成茶叶品质的重要因素, 与茶叶品种、生长环境及茶园栽培措施和加工工艺密切相关。有研究表明, 武夷岩茶香气不仅受生长地域的显著影响, 茶园管理措施如施肥、修剪也直接影响茶青基础香气的形成^[2-4]。修剪是茶树栽培中常用的栽培方式之一, 与未修剪的茶树相比具有代谢差异。目前, 茶园管理过程中存在水仙茶树自然生长的现象(不修剪)。传统认为, 茶树修剪与不修剪模式影响岩茶香气的形成。

香气和滋味是衡量武夷岩茶品质的重要指标, 分别占茶叶感官审评的 30%和 35%^[5]。茶叶香气和滋味取决于内含物的种类和含量。目前, 基于 GC-MS 技术, 主要研究了不同地域^[2]、栽培措施^[6]和加工工艺^[7-9]对武夷岩茶产量和品质的影响, 及不同品种制成的武夷岩茶香气和滋味物质存在的差异, 探寻影响武夷岩茶品质的关键因素, 为客观评价和提升茶叶品质提供技术支撑。刘扬等^[2]通过对高山、正岩、半岩、洲茶产区的

水仙茶树进行研究, 采用气相色谱飞行时间质谱仪测定茶青香气代谢物, 证实岩茶“地域香”的存在。王瑜等^[10]对不同配比施肥的茶青进行香气代谢物研究, 表明适当降低施肥过程中磷、钾肥的比例, 能显著提高武夷岩茶的产量和品质。詹宝珍等^[11]研究炭焙时间对武夷肉桂岩茶香气的影 响, 表明炭焙前后的肉桂挥发性香气成分差异大; 随焙火时间延长, 多数醇类的相对含量有所降低, 而多数酯类的相对含量则增加; 具有焙火香的吡嗪类和吡咯类化合物在炭焙 12 h 后出现。GUO 等^[12]通过 GC-MS 技术测定了武夷岩茶加工过程中的挥发性化合物, 发现 2-乙基-3,5-二甲基吡嗪是岩茶中具有烘烤香气的芳香活性化合物。林燕萍等^[5]以大红袍为材料, 研究焙火程度对武夷岩茶品质、茶汤呈味物质以及香气成分的影响, 轻火产品的香气表现为碳氢类、醇类、含氮类的相对含量高于中火产品。此外, 研究者们采用 GC-MS 技术研究了焙火对武夷岩茶水仙^[13]、白鸡冠^[14]、瑞香^[15]的香气及其主要呈味物质的影响。

福建水仙属于小乔木型、大叶种茶树, 是加工武夷岩茶的主要品种, 其种植和推广面积大, 香气清雅, 似天然兰花香。目前, 茶园管理过程中有 2 种水仙生长形态, 一种是自然生长成长为

小乔木型,一种是常年修剪矮化的类型。水仙生长到 30 a 以上,被称为高枞,有独特的气息。根据制茶师多年的审评经验表明,自然生长高枞的品质更佳,香气更加清幽,水感更绵柔,同时形成与修剪水仙茶树不同的品质特征,推测水仙香气可能受修剪模式的影响较大。因此,本研究以相同环境和栽培条件下自然生长和修剪的水仙茶树品种加工的武夷岩茶作为研究对象,对毛茶和成品茶的挥发性物质和理化成分进行检测,并结合感官审评,解析自然生长和修剪水仙茶树的品质特征,探究二者在理化和品质上的差异,为科学管理茶园、茶叶品质调控提供理论依据,对武夷岩茶的栽培、加工和品鉴具有重要意义。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 供试材料 供试材料由武夷山市明慧岩茶厂提供。于 2021 年 5 月采摘水仙茶树鲜叶,采摘标准为中开面二、三叶,并按武夷岩茶加工工艺进行制作。材料为 20 世纪 90 年代种植的水仙茶树,在相同的生长环境和栽培条件下,自然生长成小乔木的水仙茶树加工的毛茶(G1)和焙火后的成品茶(G2),以及每年修剪的矮化水仙茶树加工的毛茶(D1)和焙火后的成品茶(D2)。样品分为 3 份,分别用于挥发性物质检测、茶汤呈味物质检测和茶叶感官审评。

武夷水仙茶加工工艺流程:鲜叶→晒青→做青→炒青→揉捻→毛火→足火→毛茶。毛茶制作完成,经手工拣剔后,进行焙火处理并取样。焙火工艺:毛茶经 110~120 °C 焙火 7 h 制作成轻火型水仙。

1.1.2 试剂 实验试剂主要包括氯化钠(分析纯,国药)、正己烷(色谱纯,Merck)。标准品用正己烷进行配制,于-20 °C 保存。儿茶素标准品:表没食子儿茶素没食子酸酯(epigallocatechin gallate, EGCG)、表儿茶素没食子酸酯(epicatechin gallate, ECG)、表儿茶素(epicatechin, EC)、表没食子儿茶素(epigallocatechin, EGC)、儿茶素(catechin, C)、没食子酸(gallic acid, GA)和咖啡碱,上述标准品均购自 Sigma 公司。

1.1.3 仪器与设备 实验仪器主要包括气相色谱质谱联用仪(Agilent, 8890-5977B),球磨仪(Retsch, MM400),电子天平(METTLER TOLEDO, MS105DU),高效液相色谱仪(Water Alliance,

E2695)。萃取头(Agilent, 120 μm DVB/CAR/PDMS),固相微萃取装置(CTC Analytics, AG SPME AllowCond)。

1.2 方法

1.2.1 茶叶挥发性物质富集 挥发性物质的检测参照文献[16-17]的方法。采用顶空-固相微萃取(headspace-solid phase microextraction, HS-SPME)法富集香气物质,运用 GC-MS 进行香气图谱采集和成分分析。茶叶样品研磨成粉末。称取 1 g 粉末立即转移到 20 mL 顶空小瓶中,加入 NaCl 饱和溶液,加入 10 μL 内标溶液;全自动顶空固相微萃取 HS-SPME 进行样本萃取,以供 GC-MS 分析。以正己烷为内标,配制浓度为 50 μg/mL。HS-SPME 萃取条件:采样前萃取头在 250 °C 下老化 5 min。在 100 °C 恒温条件下,顶空萃取 15 min,于 250 °C 下解析 5 min,然后进行 GC-MS 分离鉴定。

1.2.2 茶叶挥发性物质质谱质谱采集条件 GC 条件:色谱柱 DB-5MS 毛细管柱(30 m×0.25 mm×0.25 μm, Agilent J&W Scientific, Folsom, CA, USA),载气为高纯氦气(纯度不小于 99.999%),恒流流速为 1.2 mL/min,进样口温度为 250 °C,不分流进样,溶剂延迟 3.5 min。程序升温:40 °C 保持 3.5 min,以 10 °C/min 升至 100 °C,再以 7 °C/min 升至 180 °C,最后以 25 °C/min 升至 280 °C,保持 5 min。MS 条件:参照王莎等^[16]的方法进行。

1.2.3 茶叶挥发性物质多元化统计分析 挥发性物质定性分析:基于 MWGC 数据库(该数据库来源于 NIST 库,与标准品共同构建而成),对样本的挥发性物质进行质谱定性定量分析。分析时样本的指纹质谱图与数据库中的参考质谱图进行匹配对比,进行定性打分,并且参考保留指数信息,增加定性的准确度,排除假阳性物质的干扰。用 MassHunter 定量软件处理样本的下机质谱数据,选择定量离子进行色谱峰的积分和校正工作,增强定量的准确性。

挥发性物质定量分析:根据检测出的各挥发性物质的峰面积与内标(正己烷)的峰面积进行相对定量,按文献[18]和公式(1)计算:

$$C_i = \frac{V \times C_{is}}{s_m} \times \frac{S_i}{S_{is}} \quad (1)$$

公式(1)中, C_i 为待测挥发性物质的浓度,单位为 μg/g; C_{is} 为内标正己烷的浓度; V 为内标的体积, m 为茶叶质量, S_i 为待测组分的色谱峰面积;

S_{is} 为内标正己烷的色谱峰面积。其中, $V=10\text{ }\mu\text{L}$, $C_{is}=50\text{ }\mu\text{g/mL}$, $m=1\text{ g}$ 。

差异物质筛选:根据 OPLS-DA 模型的变量重要性投影 VIP 值 ($VIP>1$), 且 $FC\geq 1.5$ 或 $FC\leq 0.67$, 筛选出差异化合物^[19-20]。

OAV 计算: 在各种挥发性成分定量的基础上, 根据参考文献中各挥发性物质在水中的风味阈值和属性描述^[21-27], 按公式 (2) 计算各个挥发性成分的 OAV^[22]。

$$OAV=\frac{C_i}{OT_i}$$

(2)

公式 (2) 中, C_i 为根据公式 (1) 计算出的浓度, 单位为 $\mu\text{g/g}$; OT_i 为该化合物的香气阈值, 单位为 $\mu\text{g/kg}$ 。

1.2.4 茶汤主要呈味物质检测 茶多酚、儿茶素组分和咖啡碱的测定: 参照 GB/T 8313—2018 茶叶中茶多酚和儿茶素类含量的检测方法。

1.2.5 茶叶感官审评 参照 GB/T23776—2018 《茶叶感官审评方法》对武夷岩茶水仙进行感官审评。评茶员 5 人, 均是评茶员技师, 审评项目分为外形 (20%)、汤色 (5%)、香气 (30%)、滋味 (35%) 和叶底 (10%), 按权重法进行打分。

1.3 数据处理

采用 R 软件进行主成分分析 (PCA)、正交偏最小二乘判别分析 (OPLS-DA)、对差异挥发性成分进行热图分析, 采用 SPSS 26.0 软件对主要呈味物质和审评结果进行差异显著性分析。

2 结果与分析

2.1 GC-MS 原始数据的分析和处理

武夷水仙的 GC-MS 色谱峰基线平稳, 且色谱峰被有效分离, 保留时间和峰强度一致, 表明仪

器稳定性高、数据重复性和可靠性有保障。对样本的挥发性物质进行了质谱定性定量分析, 鉴定出 261 个挥发性物质, 共分为 14 类。自然生长和修剪水仙茶, 其挥发性成分的种类和数量均保持高度一致, 但在相对含量上差异显著。

化合物一级分类结果表明, 挥发性成分中, 萜类、酯类、烃类数量占绝对优势, 分别达 37 个、34 个和 29 个 (未知物除外), 3 个类别的挥发性物质的个数占总数超过 38.12%。而挥发性成分的相对含量分析表明, 占比前五的类别分别为杂环化合物、萜类、酯类、酮类和醇类 (未知物除外), 这 5 个类别在样品中相对含量的占比均在 6% 以上 (图 1)。

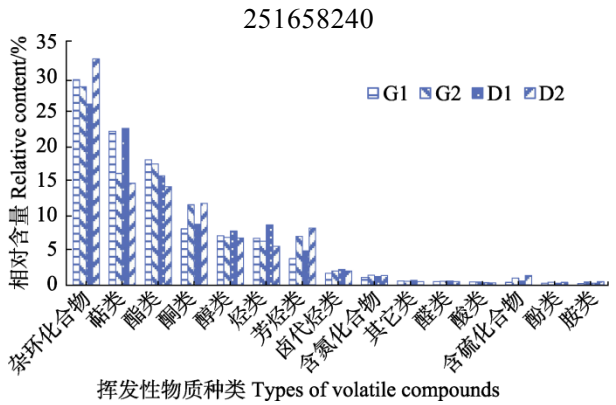


图 1 挥发性化合物相对含量
Fig. 1 Relative content of volatile compounds

表 1 检测结果表明, 通过对 G1 (自然生长水仙毛茶) 的挥发性物质的相对含量由大到小进行排序, 占比较高的前 60 个挥发性物质中, 含有吲哚 (橙子和茉莉花香)、反式-橙花叔醇 (花香)、香叶醇 (花香、果香、甜香)、植物醇 (花香和香脂香气)、己酸己酯 (果香)、月桂烯 (甜橘

表 1 前 60 个挥发性化合物相对含量
Tab. 1 Relative contents of top 60 volatile compounds

		$\mu\text{g/g}$			
编号 No.	化合物 Compounds	G1	G2	D1	D2
1	吲哚	48.32±3.90	49.88±4.29	35.19±0.81	38.44±4.93
2	反式-橙花叔醇	35.17±2.60	23.99±3.07	20.36±0.29	15.46±1.83
3	(Z)-3-己烯己酸酯	30.29±2.20	28.78±2.80	19.39±1.23	14.78±1.13
4	(Z,E)-3,7,11-三甲基-1,3,6,10-十二碳烯	23.11±1.90	15.13±1.85	29.35±0.71	18.55±2.30
5	醋酸植物醇	22.55±3.46	15.08±1.19	18.32±0.99	17.63±2.31
6	(Z)-四氢-6-(2-戊烯基)-2H-吡喃-2-酮	20.04±1.86	22.98±2.84	12.09±0.53	14.96±1.25
7	顺己烯基辛炔碳酸酯	19.63±3.83	15.54±2.73	13.03±1.25	24.96±3.91
8	7,9-二甲基-十六烷	16.66±1.75	18.12±2.43	15.45±0.54	14.31±1.54
9	2,5-二羟基-4-异丙基-2,4,6-环庚三烯-1-酮	15.61±4.66	33.27±1.23	19.53±1.18	46.77±7.80
10	香叶醇	14.33±0.70	9.40±0.98	12.29±0.24	11.20±1.35

续表 1 前 60 个挥发性化合物相对含量
Tab. 1 Relative contents of top 60 volatile compounds (continued) μg/g

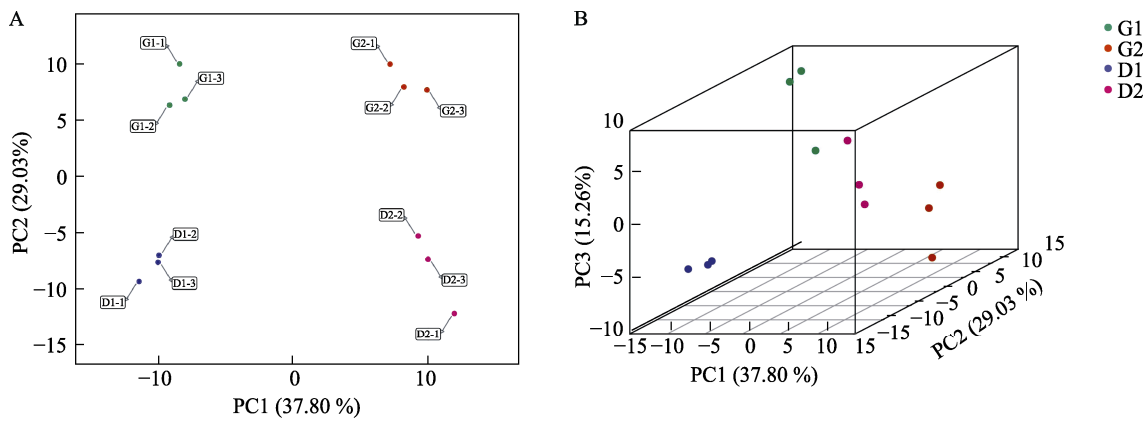
编号 No.	化合物 Compounds	G1	G2	D1	D2
11	(E)-己酸,2-己烯基酯	13.32±0.94	12.21±1.20	8.39±0.56	6.53±0.52
12	植物醇	11.21±3.09	4.35±0.54	6.18±0.72	7.09±0.67
13	(Z)-β-法呢烯	11.12±0.39	8.55±0.87	8.19±0.48	4.58±0.61
14	己酸己酯	10.40±0.85	10.04±1.18	5.65±0.36	4.20±0.35
15	3,7-二甲基-1,5,7-辛三烯-3-醇	9.76±0.51	18.33±1.15	11.96±0.50	18.30±1.72
16	异植醇	8.35±1.67	4.95±0.57	5.53±0.41	6.32±0.58
17	未知物	7.94±0.64	6.71±0.35	8.59±0.09	10.10±1.43
18	未知物	7.81±0.45	10.24±2.11	9.28±0.43	12.19±2.83
19	Z,Z,Z-1,5,9,9-四甲基-1,4,7,-环三烯	6.98±0.36	5.41±0.58	5.13±0.33	2.82±0.35
20	月桂烯	5.92±0.29	4.82±0.25	6.83±0.32	4.84±0.58
21	未知物	5.79±1.64	8.82±0.81	6.51±0.17	11.06±1.30
22	2-糠酸己酯	5.63±1.25	7.52±0.78	6.03±0.08	9.28±1.00
23	未知物	5.47±0.30	6.06±0.64	5.37±0.16	6.55±0.69
24	十五烷	5.31±0.79	4.53±0.61	8.31±0.52	5.51±0.52
25	2-苯乙醇	5.20±0.23	4.87±0.32	3.92±0.14	4.65±0.68
26	芳樟醇	5.09±0.19	4.16±0.22	5.14±0.43	4.42±0.39
27	未知物	5.08±0.90	6.91±0.70	5.72±0.06	8.44±0.94
28	未知物	4.72±2.00	21.75±1.65	4.69±1.87	27.94±4.96
29	未知物	4.39±0.34	6.01±0.50	3.75±0.12	5.05±0.78
30	未知物	3.73±1.22	5.35±0.60	3.82±0.11	7.20±1.25
31	未知物	3.59±0.93	5.09±0.53	3.87±0.10	6.63±0.77
32	十六酸甲酯	3.48±0.40	6.35±0.89	1.93±0.06	5.86±0.40
33	未知物	3.36±0.88	7.62±0.31	4.68±0.27	10.13±1.76
34	顺式-α-香柠檬烯	3.31±0.15	2.71±0.20	3.18±0.23	2.00±0.21
35	未知物	3.08±0.16	2.68±0.16	3.25±0.21	2.41±0.22
36	十七烷	2.69±0.50	2.51±0.47	4.73±0.21	4.07±0.51
37	(Z)-芳樟醇氧化物	2.60±0.04	4.38±0.18	2.58±0.14	3.97±0.38
38	水杨酸甲酯	2.47±0.02	2.98±0.20	1.96±0.08	2.39±0.29
39	(Z)-3-己烯基酯辛酸	2.39±0.23	1.89±0.40	0.99±0.08	0.94±0.09
40	(E)-芳樟醇氧化物	2.15±0.04	2.79±0.11	2.09±0.09	2.53±0.24
41	苯甲醛	2.07±0.33	2.43±0.16	2.05±0.02	2.35±0.24
42	未知物	2.05±0.34	5.96±0.30	2.79±0.25	9.04±1.03
43	未知物	2.05±0.13	2.08±0.14	1.96±0.00	2.27±0.29
44	过氢法呢基丙酮	1.94±0.25	1.24±0.25	1.29±0.07	2.06±0.10
45	(Z)-3-甲基-2-(2-戊烯基)-2-环戊烯-1-酮	1.94±0.10	1.93±0.16	0.82±0.02	0.85±0.10
46	未知物	1.83±0.12	1.72±0.18	1.19±0.08	0.88±0.02
47	未知物	1.79±0.09	2.46±0.27	0.61±0.04	1.33±0.06
48	(3R,6S)-2,2,6-三甲基-6-乙烯基四氢-2H-吡喃-3-醇	1.73±0.08	1.54±0.07	1.65±0.04	1.60±0.15
49	环氧-β-紫罗兰酮	1.72±0.08	1.61±0.16	1.45±0.06	1.55±0.13
50	未知物	1.69±0.08	1.50±0.10	1.96±0.10	1.46±0.15
51	十四烷	1.64±0.23	1.82±0.30	1.57±0.10	2.13±0.53
52	乙酸异丁香酚酯	1.59±0.15	1.57±0.18	1.20±0.05	1.46±0.12
53	顺-3-己烯基酯-正戊酸	1.56±0.12	1.30±0.08	2.40±0.24	1.38±0.04
54	(E)-3-己烯醇	1.48±0.04	1.30±0.01	1.14±0.08	0.96±0.08
55	3,7,11,15-四甲基-2-十六烯-1-醇	1.41±0.20	0.86±0.08	1.37±0.09	0.95±0.12
56	3,7,11,15-四甲基-1-十六烷基-3-醇	1.40±0.18	0.72±0.06	1.03±0.09	1.13±0.11
57	丁酸 2-甲基-己酯	1.38±0.10	1.10±0.08	2.10±0.22	1.17±0.04
58	(Z)-3-己烯基丁酸酯	1.31±0.02	1.14±0.04	0.64±0.08	0.42±0.02
59	β-红没药烯	1.31±0.06	1.03±0.11	0.99±0.06	0.56±0.04
60	5-戊基 1,3-苯二酚	1.29±0.02	1.25±0.24	0.89±0.03	1.57±0.16

味和香脂气)、2-苯乙醇(蜜香、花香)、芳樟醇(花香、甜香)、(Z)-芳樟醇氧化物(花香)、(E)-芳樟醇氧化物(花香、奶香、焦糖香)、苯甲醛(杏仁香)、环氧-β-紫罗兰酮(果香)等具有花果香的成分,及水杨酸甲酯(青草味、药味)、(Z)-β-法呢烯(青草香)等具有青草香的成分,以及(E)-3-己烯醇等具有清香的成分,这些物质共同构成了水仙茶的基础香型。

2.2 水仙毛茶和成品茶挥发性物质的多元统计分析

主成分分析是一种常用的“线性降维”方法,可初步了解样品间的相似性或差异性。本研究通过对所有样品的香气组分进行主成分分析(PCA),得到拟合了 2 个主成分的 PCA 模型。

第一主成分(PC1)和第二主成分(PC2)占总方差的 66.83%,其中 PC1 和 PC2 解释率分别为 37.80%和 29.03%,自然生长水仙毛茶(G1)和成品茶(G2)均位于 PC2 正半轴,修剪水仙毛茶(D1)和成品茶(D2)均位于 PC2 负半轴,二者分离明显,存在可视化差异,说明自然生长水仙和修剪水仙样品在挥发性化合物的组成上有明显差异(图 2A)。同时,自然生长水仙毛茶(G1)和修剪水仙毛茶(D1)均在 PC1 负半轴,自然生长水仙成品茶(G2)和修剪水仙成品茶(D2)均位于 PC1 正半轴,说明焙火前后在挥发性化合物的组成上有明显差异。三维主成分分析也表明(图 2B),自然生长水仙的毛茶和成品茶与修剪水仙相比均存在可视化差异。



A: 二维主成分分析; B: 三维主成分分析。
A: Two-dimensional principal component analysis diagrams; B: Three-dimensional principal component analysis diagrams.

图 2 水仙样品 PCA 得分
Fig. 2 PCA score plot of the Shuixian samples

从 OPLS-DA 模型的置换验证结果发现,建立的 D1 对比 G1 (D1 vs G1) 的 OPLS-DA 模型共得到 2 个主成分, $R^2X=0.716$, $R^2Y=1.000$, $Q^2=0.986$, 这 3 个模型参数均大于 0.5, OPLS-DA 模型拟合准确较好(表 2)。 R^2X 、 R^2Y 、 Q^2 三个指标越接近 1, 模型越稳定可靠。同样地,建立的 D2 vs G2、D1 vs D2、G1 vs G2 的 OPLS-DA 模型均是最优,其 R^2Y 分别为 0.998、0.999、0.999, 均非常接近 1, 模型的解释能力强,同时其 Q^2 分别为 0.981、0.993、0.969, 均为有效的模型。因此本研究所建立的 OPLS-DA 模型构建良好,预测性可靠且有意义,能够有效解释修剪水仙与自然生长水仙之间、焙火前后的挥发性物质差异,并可根据 VIP 值分析筛选差异挥发性物质。

表 2 OPLS-DA 模型评价参数			
Tab. 2 Parameters of OPLS-DA			
样品 Sample	R^2X	R^2Y	Q^2
D1 vs G1	0.716	1.000	0.986
D2 vs G2	0.866	0.998	0.981
D1 vs D2	0.791	0.999	0.993
G1 vs G2	0.866	0.999	0.969

注： R^2X 和 R^2Y 分别表示所建模型对 X 和 Y 矩阵的解释率； Q^2 ：模型的预测能力。
Note: R^2X and R^2Y represent respectively the interpretation rate of the built model to the X and Y matrices; Q^2 : The predictive ability of the model.

2.3 水仙毛茶和成品茶的香气组分差异分析
2.3.1 修剪和自然生长水仙毛茶的香气组分差异
基于 OPLS-DA 结果,采用将差异倍数值 Fold Change 与 OPLS-DA 模型的变量重要性投影 VIP

值相结合的方法，筛选修剪和自然生长水仙茶的差异挥发性物质。从 D1 和 G1 毛茶中共筛选出 71 种差异挥发性物质（图 3）。其中，有 41 种挥发性物质在自然生长水仙茶的相对含量高于修剪水仙茶。

前 20 种差异物质表明（图 4A），发现未知

物 1、4-己酸的相对含量，G1 远高于 D1，分别高出 913.9 倍（ $\log_2$ FC 为 9.84）和 25.1 倍（ $\log_2$ FC 为 4.65）。另外，己酸己酯（果香）、植物醇、异植醇（花香，药草和青香）、反式-橙花叔醇等具有花果香属性的物质 G1 也高于 D1（图 3）。而 β -雪松烯、 γ -杜松烯、2,5-二甲基嘧啶 G1 低于 D1。

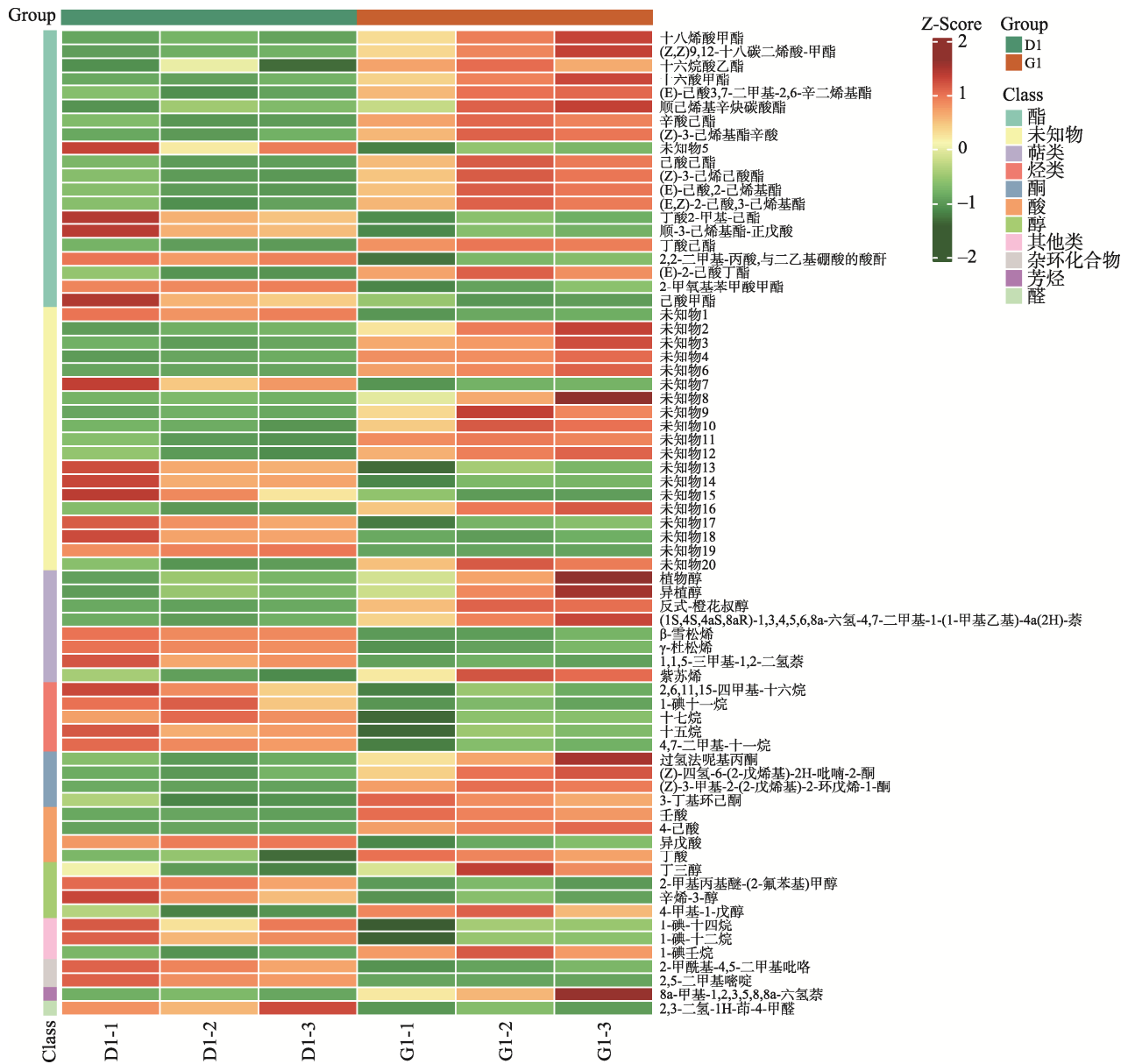
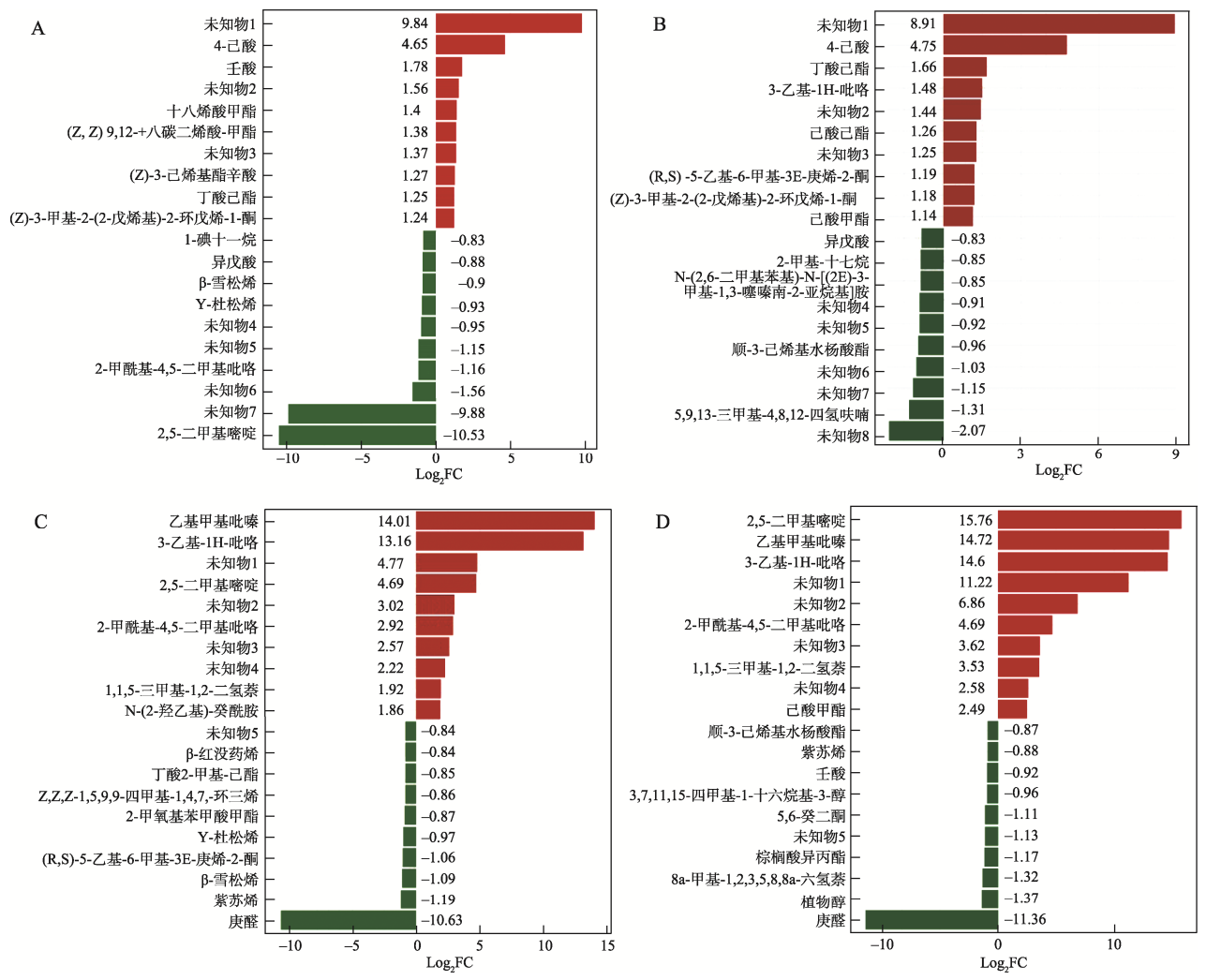


图 3 D1 vs G1 的差异挥发性化合物

Fig. 3 Differential volatile compounds of D1 vs G1

2.3.2 修剪和自然生长水仙成品茶的香气组分差异分析 从 D2 和 G2 共筛选出 71 种差异挥发性物质（图 5）。其中，G2 有 41 种挥发性物质的相对含量高于 D2，30 个挥发性物质的相对含量低于 D2。通过对比发现，未知物 1、4-己酸的相对含量，G2 远高于 D2，这与 2 种水仙毛茶的结果一致（图 4B）。除萜类外，酯类、酮类化合物大多也具备花果香。呈果香型的己酸己酯、己酸甲酯、反式-橙花叔醇、(Z)- β -法呢烯、2-庚酮（柑橘味）、1-庚醇（果香）等挥发物，呈烘烤香型的 2-甲酰基-4,5-二甲基吡咯、乙基甲基吡嗪、3-乙基-1H-吡咯等挥发物，G2 也高于 D2（图 5）。

果一致（图 4B）。除萜类外，酯类、酮类化合物大多也具备花果香。呈果香型的己酸己酯、己酸甲酯、反式-橙花叔醇、(Z)- β -法呢烯、2-庚酮（柑橘味）、1-庚醇（果香）等挥发物，呈烘烤香型的 2-甲酰基-4,5-二甲基吡咯、乙基甲基吡嗪、3-乙基-1H-吡咯等挥发物，G2 也高于 D2（图 5）。



A: D1 vs G1; B: D2 vs G2; C: D1 vs D2; D: G1 vs G2。

图 4 前 20 种差异挥发性物质

Fig. 4 Top 20 differential volatile substances

2.3.3 修剪对水仙茶香气成分的影响 自然生长水仙和修剪水仙毛茶对比组（D1 vs G1）和成品茶对比组（D2 vs G2）共有差异 35 个（图 6A），其中，反式-橙花叔醇、4-甲基-1-戊醇、己酸己酯、丁酸己酯、紫苏烯、未知物 1、4-己酸、丁酸在 2 个对比组中都是自然生长水仙更高。其中值得关注的是，未知物 1 和 4-己酸在 2 种水仙焙火前后均有较高含量，同时也是差异比较大的物质。这些物质可能是修剪水仙与自然生长水仙茶叶香气品质差异的重要成分。

2.3.4 焙火对水仙茶香气成分的影响 在焙火过程中发生氧化、脱水、糖化等作用，提高茶叶香气，降低了苦涩味，使其独具风韵^[28]。从修剪水仙毛茶（D1）和成品茶（D2）共筛选出 91 种差异挥发性物质（图 7）。其中，D2 有 64 种挥发性物质的相对含量高于 D1。其中，前 20 种差异

物质表明，乙基甲基吡嗪、3-乙基-1H-吡咯、2,5-二甲基嘧啶等香气物质 D2 远高于 D1（图 4C）；此外，D2 相比于 D1，呈花香的(Z)-芳樟醇氧化物（花香）、香叶酸、顺式香叶基丙酮（花香、玫瑰），呈烘烤香型的 2-甲酰基-4,5-二甲基吡咯等挥发物也较高；β-雪松烯、(Z)-β-法呢烯、γ-杜松烯、癸醛（青气）、庚醛（青味）、己醛（清香、青草香、青气）等物质较低（图 7）。

从 G1 和 G2 共筛选出 70 种差异挥发性物质（图 8）。其中，有 46 种挥发性物质在 G2 的相对含量高于 G1。其中，前 20 种差异物质表明，2,5-二甲基嘧啶、乙基甲基吡嗪、3-乙基-1H-吡咯、己酸甲酯等烘烤和果香型的挥发性物质，G2 均远远高于 G1，庚醛 G2 远远低于 G1（图 4D）。另外（图 8），G2 相比于 G1，2-甲酰基-4,5-二甲基吡咯、乙基甲基吡嗪、2,5 二甲基嘧啶、3-乙基-1H-

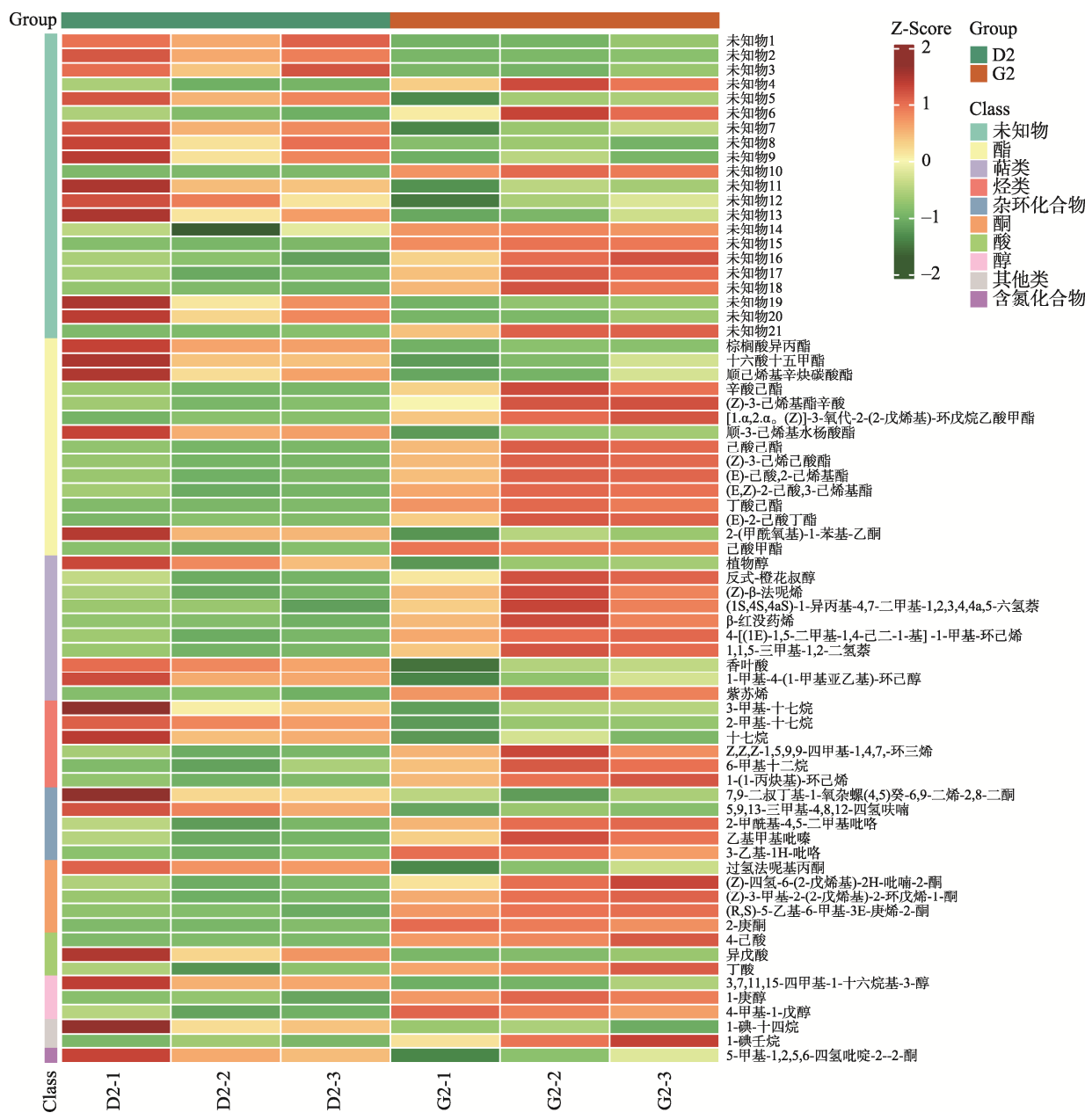


图 5 D2 vs G2 的差异挥发性化合物
Fig. 5 Differential volatile compounds of D2 vs G2

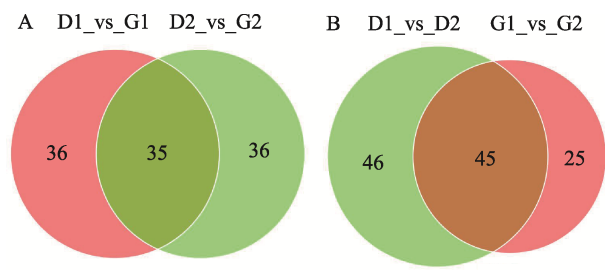
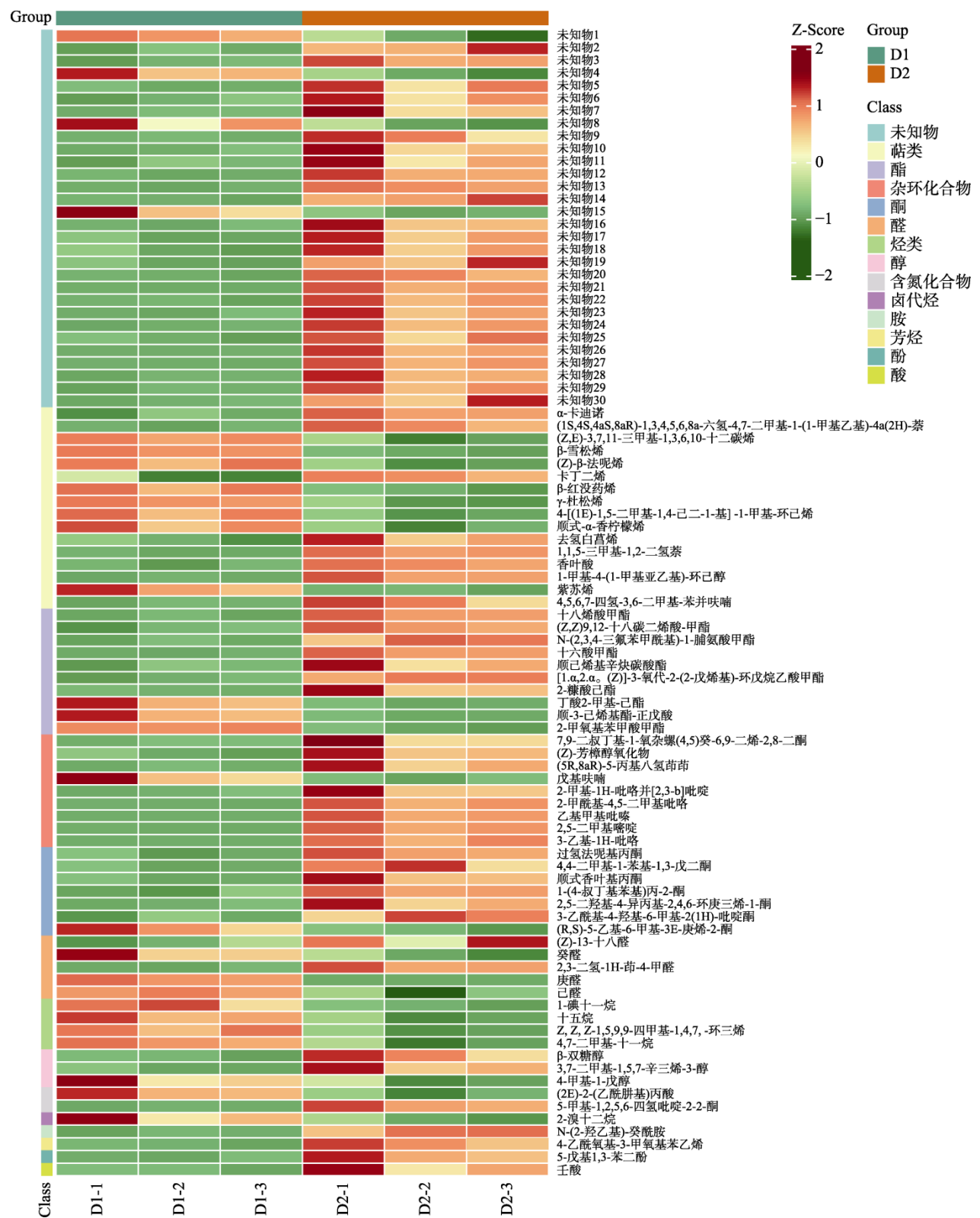


图 6 维恩图
Fig. 6 Venn diagram

吡咯更高, 植物醇、异植醇、香叶醇、紫苏烯、
癸醛、己醛等青草香、清香和花香型的成分略有

下降。
修剪水仙毛茶与成品茶对比组 (D1 vs D2) 和自然生长水仙毛茶与成品茶对比组 (G2 vs G2) 共有差异物质 45 个 (图 6B), 分别为(Z)-芳樟醇氧化物、2-甲酰基-4,5-二甲基吡咯、3-乙基-1H-吡咯、乙基甲基吡嗪、2,5-二甲基嘧啶等呈果香与烘烤物质均呈上升趋势。癸醛、紫苏烯、庚醛、己醛等物质的相对含量均呈下降趋势, 这些物质主要呈现青草气, 其含量在水仙成品茶中均下降。
2.3.5 基于 OAV 值进行水仙主要呈香物质分析
采用 OAV 值来评价单个香气组分对茶叶整体香



气的贡献度。前人研究表明，当 OAV>1 时，认为该挥发性物质对茶叶香气具有一定的影响，当 OAV>10 时，认为该挥发性物质对香气贡献极大^[21]。

通过已报道的挥发性物质的阈值计算 OAV，本研究筛选计算出 30 个重要挥发性成分的 OAV（表 3），结果表明修剪和自然生长水仙的香气成分

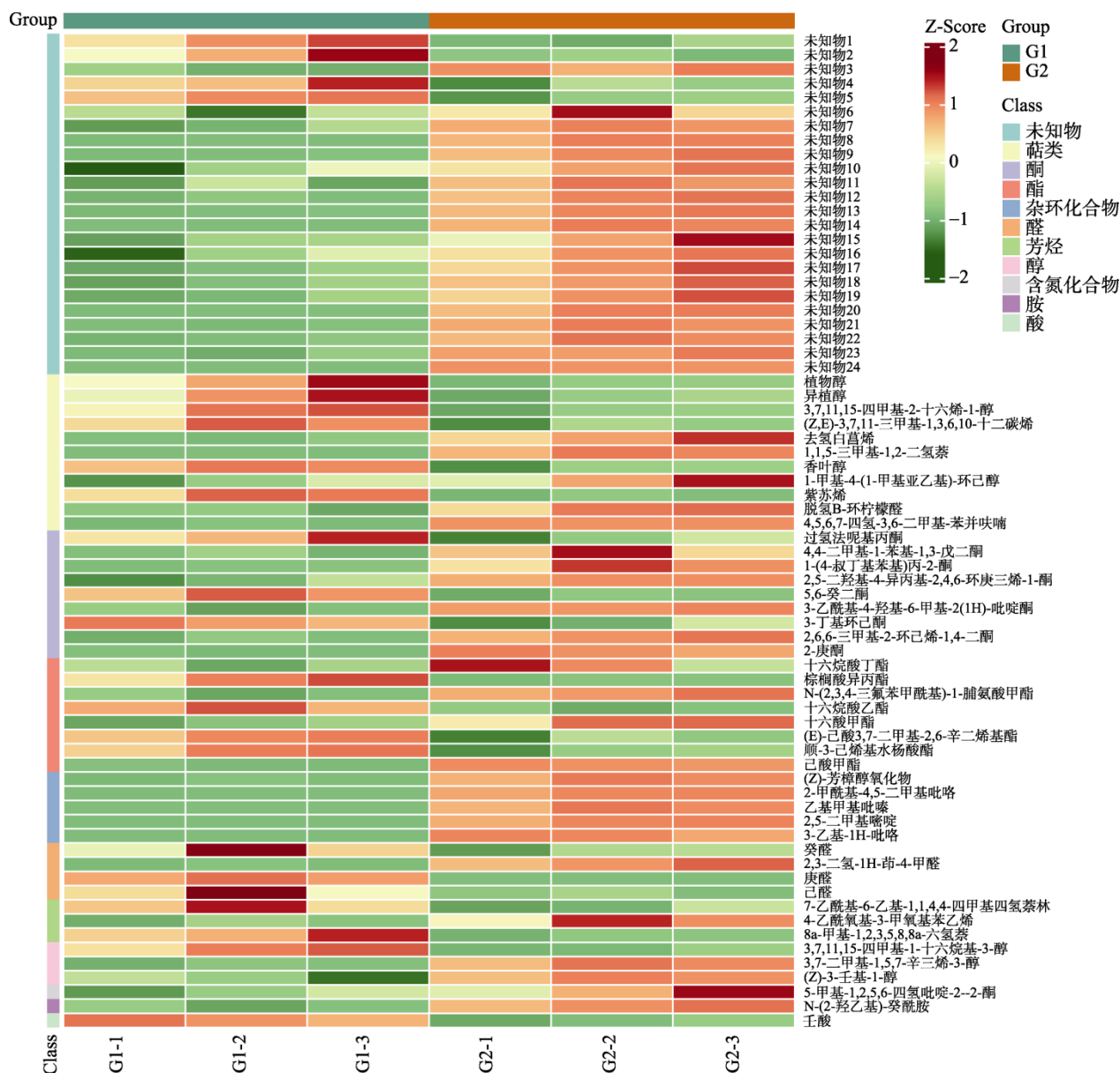


图 8 G1 vs G2 的差异挥发性化合物
Fig. 8 Differential volatile compounds of G1 vs G2

OAV 值存在较大差异。其中(E)-3-己烯醇(清香)、香豆素(药草香)、吡啶的 OAV>10 000, 芳樟醇、反式-橙花叔醇、月桂烯的 OAV>1000, 香叶醇、4-甲基-1-戊醇、辛烯-3-醇、癸醛、环氧-β-紫罗兰酮、(E)-芳樟醇氧化物、戊基呋喃的 OAV>100, 这些成分在相对含量和香气强度上表现都很突出, 并且大多呈现出清香和花果香类型的气味。此外, 2-苯乙醇、水杨酸甲酯、(+)-柠檬烯、β-环柠檬醛、己醛、顺式香叶基丙酮、3-辛烯-2-酮、2-庚酮、萘的 OAV>10。其中, (E)-3-己烯醇、吡啶、芳樟醇、月桂烯、反式-橙花叔醇、环氧-β-紫罗兰酮、2-苯乙醇、水杨酸甲酯这些挥发性成分的相

对含量均排在前 60 (表 1); 另外, 通过对比发现(表 3), 自然生长水仙毛茶和成品茶的(E)-3-己烯醇、吡啶、反式-橙花叔醇、环氧-β-紫罗兰酮、(E)-芳樟醇氧化物、2-苯乙醇、水杨酸甲酯均比修剪水仙更高, 因此, 推测这些物质可能是自然生长水仙香气形成的重要物质, 尤其是反式-橙花叔醇在修剪水仙和自然生长水仙的毛茶(D1 vs G1)和成品茶(D2 vs G2)的差异物质分析中均存在较大差异。庚醛只在毛茶中检测到, OAV 为 0.00~20.00, 其对香气呈现青气有较大贡献。乙基甲基吡嗪只存在于水仙成品茶, OAV 为 0~119.38, 推测它对水仙火功香的形成有重要作用。

表 3 挥发性成分 OAV 值和香气描述
Tab. 3 OAV value and aroma description of volatile compounds

编号 No.	化合物 Compounds	香型 Aroma type	$C_i/(\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1})$				$OT_i/(\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1})$	OAV
			G1	G2	D1	D2		
1	香叶醇	花香、果香、甜香	14.33±0.70	9.40±0.98	12.29±0.24	11.20±1.35	20.00	470.00~716.50
2	L- α -松油醇	花香	0.37±0.02	0.39±0.02	0.43±0.04	0.44±0.04	300.00	1.23~1.47
3	芳樟醇	花香、甜香	5.09±0.19	4.16±0.22	5.14±0.43	4.42±0.39	3.80	1094.74~1352.63
4	反式-橙花叔醇	花香	35.17±2.60	23.99±3.07	20.36±0.29	15.46±1.83	10.00	1546.00~3517.00
5	4-甲基-1-戊醇	果香	0.67±0.04	0.53±0.03	0.43±0.06	0.29±0.05	0.70	414.29~957.14
6	(E)-3-己烯醇	清香	1.48±0.04	1.30±0.01	1.14±0.08	0.96±0.08	0.07	13 714.29~21 142.86
7	辛烯-3-醇	蘑菇香、泥土气	0.52±0.04	0.57±0.12	0.85±0.07	0.83±0.14	4.50	115.56~188.89
8	2-苯乙醇	蜜香、花香	5.20±0.23	4.87±0.32	3.92±0.14	4.65±0.68	60.00	65.33~86.67
9	1-庚醇	柑橘味	0.17±0.01	0.18±0.01	0.12±0.00	0.08±0.01	200.00	0.40~0.90
10	水杨酸甲酯	青草味、药味	2.47±0.02	2.98±0.20	1.96±0.08	2.39±0.29	40.00	49.00~74.50
11	己酸甲酯	果香	0.06±0.01	0.35±0.01	0.11±0.02	0.16±0.01	70.00	0.86~5.00
12	月桂烯	甜橘味和香脂气	5.92±0.29	4.82±0.25	6.83±0.32	4.84±0.58	2.46	1959.35~2776.42
13	(+)-柠檬烯	果香、柠檬	0.79±0.04	1.01±0.05	0.98±0.07	0.92±0.08	10.00	79.00~101.00
14	β -环柠檬醛	果香	0.36±0.01	0.39±0.02	0.40±0.03	0.41±0.03	5.00	72.00~82.00
15	癸醛	青气	0.05±0.01	0.03±0.01	0.06±0.01	0.04±0.01	0.10	300.00~600.00
16	己醛	清香、青草香、青气	0.27±0.05	0.18±0.01	0.27±0.01	0.16±0.03	2.50	64.00~108.00
17	庚醛	青味	0.20±0.02	0.00±0.00	0.15±0.01	0.00±0.00	10.00	0.00~20.00
18	苯甲醛	杏仁香	2.07±0.33	2.43±0.16	2.05±0.02	2.35±0.24	750.90	2.73~3.24
19	环氧- β -紫罗兰酮	果香	1.72±0.08	1.61±0.16	1.45±0.06	1.55±0.13	3.50	414.29~491.43
20	顺式香叶基丙酮	花香、玫瑰	0.82±0.02	0.94±0.14	0.72±0.02	1.09±0.10	60.00	12.00~18.17
21	3-辛烯-2-酮		0.27±0.01	0.30±0.01	0.36±0.02	0.27±0.03	20.00	13.50~18.00
22	2-庚酮	果香	0.19±0.00	0.42±0.02	0.21±0.02	0.20±0.01	10.00	19.00~42.00
23	4-己酸		1.14±0.10	1.26±0.16	0.05±0.01	0.05±0.01	5000.00	0.01~0.25
24	(Z)-芳樟醇氧化物	花香	2.60±0.04	4.38±0.18	2.58±0.14	3.97±0.38	500.00	5.16~8.76
25	(E)-芳樟醇氧化物	花香、奶香、焦糖香	2.15±0.04	2.79±0.11	2.09±0.09	2.53±0.24	6.00	348.33~465.00
26	香豆素	药草香	0.77±0.14	0.71±0.10	0.57±0.08	0.77±0.10	0.025	22 800.00~30 800.00
27	戊基呋喃	泥土和蔬菜气味	0.97±0.05	1.14±0.17	1.36±0.19	0.82±0.03	6.00	136.67~226.67
28	乙基甲基吡嗪	烘烤香、坚果香	0.00±0.00	1.91±0.21	0.00±0.00	1.13±0.14	16.00	0.00~119.38
29	吡嗪	低浓度时有花香	48.32±3.90	49.88±4.29	35.19±0.81	38.44±4.93	0.69	51 000.00~72 289.86
30	萘	焦油味, 辛辣味	0.75±0.03	0.83±0.05	0.74±0.03	0.99±0.09	50.00	14.80~19.80

本研究筛选的其中 22 个挥发性物质（OAV>10）对自然生长水仙茶香气的形成具有较大作用。

2.4 修剪和自然生长水仙毛茶和成品茶呈味物质差异分析

通过检测修剪和自然生长水仙毛茶和成品茶的呈味物质，结果表明（表 4），G1 对比 D1，EGCG、酯型儿茶素、咖啡碱（caffeine, CAF）含量显著更高；EGC、EC、ECG 含量显著更低，儿茶素总量（total catechin, TC）和茶多酚总量（total

tea polyphenols, TP）无显著差异。自然生长水仙成品茶（G2）对比修剪水仙成品茶（D2），EGCG、酯型儿茶素、儿茶素总量显著更高；咖啡碱（CAF）含量显著更低；EGC、EC、简单儿茶素和茶多酚总量无显著差异。

此外，G2 对比 G1，EGC、EGCG、ECG、简单儿茶素、酯型儿茶素、儿茶素总量、茶多酚总量、咖啡碱含量显著降低。D2 对比 D1，咖啡碱无显著差异，其他成分均与自然生长水仙成品茶

表 4 修剪和自然生长水仙毛茶和成品茶的主要呈味物质差异分析

Tab. 4 Analysis on the differences of main flavor substances between pruning and natural growth Shuixian between the raw tea and finished tea

样品 Sample	EGC	C	EC	EGCG	ECG	简单儿茶素 Simple catechins	酯型儿茶素 Ester catechins	TC	TP	CAF
G1	2.41±0.05 ^b	0.40±0.01 ^a	0.59±0.02 ^b	5.69±0.03 ^a	0.44±0.01 ^b	3.40±0.05 ^b	6.13±0.04 ^a	9.53±0.08 ^a	15.63±0.19 ^a	4.21±0.02 ^a
G2	2.17±0.03 ^c	0.39±0.01 ^a	0.54±0.02 ^c	5.21±0.03 ^c	0.39±0.01 ^c	3.10±0.03 ^c	5.60±0.04 ^c	8.70±0.07 ^b	14.21±0.41 ^b	3.99±0.01 ^b
D1	2.57±0.03 ^a	0.36±0.04 ^a	0.67±0.02 ^a	5.47±0.03 ^b	0.49±0.01 ^a	3.59±0.04 ^a	5.96±0.02 ^b	9.55±0.02 ^a	15.56±0.31 ^a	4.05±0.03 ^b
D2	2.14±0.04 ^c	0.33±0.04 ^a	0.58±0.02 ^{bc}	4.77±0.07 ^d	0.38±0.02 ^c	3.05±0.02 ^c	5.15±0.08 ^d	8.20±0.10 ^c	14.92±0.16 ^b	4.10±0.06 ^b

注：不同小写字母表示处理间差异显著（ $P<0.05$ ）。简单儿茶素：EGC+C+EC；酯型儿茶素：EGCG+ECG。
Note: Different small letters indicate significant difference among treatments ($P<0.05$). Simple catechins: EGC+C+EC; Ester catechins: EGCG+ECG.

和毛茶对比组（G2 vs G1）呈现相同的变化趋势。自然生长和修剪水仙焙火前后的儿茶素组分和总量、茶多酚变化趋势一致，呈下降趋势。

2.5 修剪和自然生长水仙毛茶和成品茶的感官品质分析

感官审评结果表明（表 5），自然生长水仙毛茶和成品茶的品质均显著优于修剪水仙，其综合评分结果均更高；与修剪水仙毛茶和成品茶相比，自然生长水仙香气均更加馥郁持久、似有花果香，汤感更加醇厚、水中香显。成品茶的品质均显著优于毛茶，其综合评分结果也更高。水仙成品茶与毛茶相比，外形更加油润；汤色由金黄转为橙黄色，这是由于焙火增加引起茶黄素和茶红素进一步氧化聚合，导致茶汤汤色加深^[29]；修剪水仙香气由毛茶略带青气，转为清香显，滋味浓醇度也进一步加强。

3 讨论

在茶园栽培过程中，茶树管理方式可能通过调节茶鲜叶内一系列的生理生化变化来影响茶树

的香气物质。茶青的质量直接影响成品茶香气和滋味的形成。BORA 等^[30]采用宏基因组学方法，对修剪和非修剪条件下茶树土壤微生物群落结构和功能特征进行了解析和比较，研究表明长期修剪茶园会降低土壤中微生物的丰度。RUBEL MOZUMDER 等^[31]研究了连续 3 a 在不同采摘季节和特定采摘时间采集的修剪后和未修剪茶树叶片的代谢特征，其代谢组学结果表明，修剪后和未修剪的茶树具有不同的代谢产物，存在显著的代谢差异。本研究表明，修剪水仙和自然生长水仙的香气物质、儿茶素及其组分等呈味物质、感官品质都存在较大差异，推测可能是由于自然生长水仙的物质代谢区别于修剪水仙。

乌龙茶香气是由茶树品种、加工工艺和生长环境共同决定，是呈香物质对人体产生的生物、物理和心理的刺激^[32-33]。武夷水仙的香气物质主要由酯类、萜类、杂环化合物、烃类、芳烃类、酮类、醇类等组成。殷丽琼等^[3]研究表明，春茶后轻修剪可提高茶树鲜叶产量，改善春茶品质，显著提升春季烘青和晒青的香气和滋味。本研究

表 5 修剪和自然生长水仙毛茶和成品茶的感官审评结果对比

Tab. 5 Comparison of results of sensory evaluation of pruning and natural growth Shuixian between raw tea and finished tea

样品 Sam- ple	外形（20%） Shape (20%)	汤色（5%） Colour of tea (5%)	香气（30%） Aroma (30%)	滋味（35%） Taste (35%)	叶底（10%） Leaf base (10%)	综合评分 Comprehen- sive score
G1	条索较肥壮扭曲，色泽青褐，匀整	金黄较亮	香浓似有花果香、持久	醇厚、水中香显	肥厚软亮、匀齐、红边显	91.40±0.50 ^b
G2	条索紧结稍扭曲，色泽青褐、较油润，匀整	橙黄较亮	香浓似花果香、持久	醇厚、水中香显	肥厚软亮、匀齐、红边显	93.60±0.50 ^a
D1	条索紧结扭曲，色泽青褐、欠油润，匀净	金黄稍深	香浓，略带青气	较浓醇	肥厚软亮、匀齐、红边显	90.40±0.50 ^c
D2	条索紧结稍扭曲，色泽青褐、稍润，较匀整	橙黄	香浓，清香显	浓醇	较肥厚软亮、红边显，稍有断张	92.00±0.70 ^b

注：不同小写字母表示处理间差异显著（ $P<0.05$ ）。
Note: Different small letters indicate significant difference among treatments ($P<0.05$).

发现, 感官审评中, 自然生长水仙毛茶和成品茶的香气均表现为馥郁的天然花果香型, 这与香气差异分析结果一致。对比修剪水仙的毛茶和成品茶, 自然生长水仙的毛茶和成品茶均具有多种更高含量的花果香属性的挥发性物质。

茶汤滋味品质是茶汤中茶多酚、儿茶素组分、咖啡碱等呈味物质对人体感官综合作用的结果。本研究结果表明, 修剪和自然生长水仙的儿茶素组分、咖啡碱含量存在显著差异。有研究表明, 矮化修剪铁观音春茶茶多酚和咖啡碱含量均显著低于对照(对照茶树更高)^[4], 本研究中咖啡碱的含量, 也是自然生长的水仙极显著高于修剪水仙。感官审评结果中, 自然生长水仙的滋味多呈醇厚型。修剪水仙茶汤滋味浓厚, 其滋味浓度的呈现可能与修剪后茶树的微域环境有很大关系。

综合武夷水仙香气成分、茶汤呈味物质和感官审评结果表明, 自然生长水仙产品的品质优于修剪水仙产品。此外, 基于 OAV 值对水仙的香气化合物进行分析, 筛选出部分重要的特征香气物质, 但由于已鉴定的挥发性物质中有部分化合物阈值缺乏, 存在一定局限性; 且对主要呈味物质的研究集中于儿茶素和茶多酚; 后续研究可结合高灵敏度的电子鼻和高通量的代谢组学等技术对自然生长和修剪水仙的主要呈香和呈味物质进行分析, 为进一步探究自然生长水仙的香型和滋味类型提供参考依据。本研究可为武夷岩茶茶园管理和品质调控提供理论和实践指导。

参考文献

- [1] 赵峰. 武夷岩茶“岩韵”品质构成机理及质评技术研究[D]. 福州: 福建农林大学, 2014.
ZHAO F. Studies on rock taste composition and corresponding instrumental assessment of Wuyi rock tea[D]. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, 2014. (in Chinese)
- [2] 刘扬, 卓座品, 石晨, 刘贝, 薛俊鹏, 梁丽妮, 王瑜, 许锐能, 刘宝顺, 徐茂兴, 叶江华, 孙丽莉, 廖红. 闻香识茶: 武夷岩茶地域香代谢组及离子组基础[J]. 中国科学: 生命科学, 2022, 52(2): 273-284.
LIU Y, ZHUO Z P, SHI C, LIU B, XUE J P, LIANG L N, WANG Y, XU R N, LIU B S, XU M X, YE J H, SUN L L, LIAO H. Scent of tea: metabonomic and ionic basis of regional aroma of Wuyi rock tea[J]. *Scientia Sinica Vitae*, 2022, 52(2): 273-284. (in Chinese)
- [3] 殷丽琼, 肖星, 刘德和, 孙云南, 邓少春, 罗琼仙, 夏丽飞, 杨琼, 梁名志. 不同时期的轻修剪对云南大叶种茶叶产量及品质的影响[J]. 西南农业学报, 2019, 32(5): 1034-1038. (in Chinese)
YIN L Q, XIAO X, LIU D H, SUN Y N, DENG S C, LUO Q X, XIA L F, YANG Q, LIANG M Z. Effect of light pruning in different period on tea yield and quality of Yunnan big-leaf varieties[J]. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 2019, 32(5): 1034-1038. (in Chinese)
- [4] 陈芝芝, 张磊, 吴民亿, 杨如兴. 不同矮化修剪技术对铁观音产量和品质的影响[J]. 茶叶科学技术, 2012(3): 9-12.
CHEN Z Z, ZHANG L, WU M Y, YANG R X. Effects of different dwarfing and pruning techniques on the yield and quality of Tie-guanyin[J]. *Tea Science and Technology*, 2012(3): 9-12. (in Chinese)
- [5] 林燕萍, 刘宝顺, 黄毅彪, 占仕权, 张见明, 陈荣冰. 焙火程度对武夷岩茶“大红袍”品质的影响[J]. 食品研究与开发, 2020, 41(22): 49-54.
LIN Y P, LIU B S, HUANG Y B, ZHAN S Q, ZHANG J M, CHEN R B. Effect of baking degrees on the quality of Wuyi rock tea “Dahongpao”[J]. *Food Research And Development*, 2020, 41(22): 49-54. (in Chinese)
- [6] AREFIN R, AHMED T, HOSSEN M I. Effect of different types of pruning operations on yield and quality of tea[J]. *Asian Plant Research Journal*, 2021: 44-51.
- [7] 张丽, 张蕾, 罗理勇, 潘从飞, 曾亮. 焙火工艺对武夷岩茶挥发性组分和品质的影响[J]. 食品与发酵工业, 2017, 43(7): 186-193.
ZHANG L, ZHANG L, LUO L Y, PAN C F, ZENG L. Effects of baking technics on the volatile components and aroma characteristics of Wuyi mountain tea[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2017, 43(7): 186-193. (in Chinese)
- [8] 黄毅彪, 林燕萍, 刘宝顺, 占仕权, 陈荣冰, 张见明, 黄娇丽. 武夷岩茶“肉桂”与其副产品黄片香气品质差异分析[J]. 食品研究与开发, 2021, 42(6): 155-161.
HUANG Y B, LIN Y P, LIU B S, ZHAN S Q, CHEN R B, ZHANG J M, HUANG J L. Difference analysis of aroma quality between Wuyi rock tea “Rougui” and its by product old leaves[J]. *Food Research and Development*, 2021, 42(6): 155-161. (in Chinese)
- [9] 洪翠云, 林廷好, 高建设, 林曦, 王国英, 郑明芬. 武夷岩茶炭焙工艺对肉桂乌龙茶挥发性组分的影响[J]. 亚热带植物科学, 2021, 50(6): 421-429.
HONG C Y, LIN T H, GAO J S, LIN X, WANG G Y, ZHENG M F. Effects of Wuyi charcoal baking process on the volatile components of Rougui oolong tea[J]. *Subtropical Plant Science*, 2021, 50(6): 421-429. (in Chinese)
- [10] 王瑜, 刘扬, 卓座品, 薛俊鹏, 许锐能, 孙丽莉, 廖红. 高氮低磷中钾配比对武夷岩茶产量及品质的影响[J]. 南方农业学报, 2022, 53(2): 391-400.

- WANG Y, LIU Y, ZHUO Z P, XUE J P, XU R N, SUN L L, LIAO H. Effects of NPK ratios on the yield and quality of Wuyi tea[J]. Journal of Southern Agriculture, 2022, 53(2): 391-400. (in Chinese)
- [11] 詹宝珍, 吴志锋, 马春华, 林志銓, 林河通. 焙火时间对武夷岩茶肉桂香气品质的影响[J]. 食品安全质量检测学报, 2022, 13(3): 811-819.
- ZHAN B Z, WU Z F, MA C H, LIN Z L, LIN H T. Effects of roasting time on the aroma quality of Wuyi rock tea Rougui[J]. Journal of Food Safety and Quality, 2022, 13(3): 811-819. (in Chinese)
- [12] GUO X, HO C T, WAN X, ZHU H, LIU Q, WEN Z. Changes of volatile compounds and odor profiles in Wuyi rock tea during processing[J]. Food Chemistry, 2021, 341(Pt 1): 128230. (in Chinese)
- [13] 翁睿. 不同炭焙程度对武夷水仙茶的品质影响[D]. 福州: 福建农林大学, 2016.
- WENG R. Study on effect of characteristics of Wuyi narcissus with different roasting degree[D]. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, 2016. (in Chinese)
- [14] 林燕萍, 龙乐, 张见明, 王飞权, 陈荣冰, 刘宝顺, 黄毅彪. 不同火功处理的武夷岩茶“白鸡冠”品质差异探究[J]. 食品研究与开发, 2020, 41(17): 90-95.
- LIN Y P, LONG L, ZHANG J M, WANG F Q, CHEN R B, LIU B S, HUANG Y B. Study on the quality differences of Wuyi rock tea “Baijiguan” treated with different baking[J]. Food Research and Development, 2020, 41(17): 90-95. (in Chinese)
- [15] 黄毅彪, 林燕萍, 张见明, 陈荣冰. 焙火方式对武夷岩茶瑞香品质的影响[J]. 食品研究与开发, 2020, 41(11): 124-128.
- HUANG Y B, LIN Y P, ZHANG J M, CHEN R B. The influence of baking method on the quality of Wuyi rock tea Ruixiang[J]. Food Research and Development, 2020, 41(11): 124-128. (in Chinese)
- [16] 王莎, 杜致辉, 陈之林. 基于 GC-MS 代谢组学技术 2 种香型美花石斛代谢物的对比分析[J]. 分子植物育种, 2021, 19(9): 3081-3089.
- WANG S, DU Z H, CHEN Z L. Comparison of metabolites of two aromatic *Dendrobium loddigesii* species based on GC-MS metabonomics[J]. Molecular Plant Breeding, 2021, 19(9): 3081-3089. (in Chinese)
- [17] GUO X Y, SCHWAB W, HO C Y, SONG C K, WAN X C. Characterization of the aroma profiles of oolong tea made from three tea cultivars by both GC-MS and GC-IMS[J]. Food Chemistry, 2022, 376: 131933.
- [18] WANG H, HUA J, YU Q, LI J, WANG J, DENG Y, YUAN H, JIANG Y. Widely targeted metabolomic analysis reveals dynamic changes in non-volatile and volatile metabolites during green tea processing[J]. Food Chemistry, 2021, 363: 130131.
- [19] 林燕萍, 黄毅彪, 张渤, 张见明, 陈荣冰. 梅占红茶、白茶品质差异分析[J]. 食品工业科技, 2022, 43(3): 260-267.
- LIN Y P, HUANG Y B, ZHANG B, ZHANG J M, CHEN R B. Quality difference analysis of Meizhan black tea and Meizhan white tea[J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(3): 260-267. (in Chinese)
- [20] 黄毅彪, 林燕萍, 张见明, 陈孙友, 陈荣冰. 浦城丹桂红茶与红茶坯香气成分差异分析[J]. 食品研究与开发, 2022, 43(18): 137-144.
- HUANG Y B, LIN Y P, ZHANG J M, CHEN S Y, CHEN R B. Difference analysis of aroma components between Pucheng Danguai black tea and black tea dhool[J]. Food Research and Development, 2022, 43(18): 137-144. (in Chinese)
- [21] 邵淑贤, 王淑燕, 王丽, 赵峰, 陈潇敏, 吴秀秀, 叶乃兴. 基于 ATD-GC-MS 技术的不同品种白牡丹茶香气成分分析[J]. 食品工业科技, 2022, 43(1): 261-268.
- SHAO S X, WANG S Y, WANG L, ZHAO F, CHEN X M, WU X X, YE N X. Analysis of aroma components of different cultivars of White Peony tea based on ATD-GC-MS[J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(1): 261-268. (in Chinese)
- [22] 金友兰, 黄甜, 蒋容港, 黄芳芳, 刘仲华, 黄建安, 李勤. 不同类型发花砖茶特征香气成分研究[J]. 食品与发酵工业, 2021, 47(3): 188-196.
- JIN Y L, HUANG T, JIANG R G, HUANG F F, LIU Z H, HUANG J A, LI Q. Characteristic volatile components of different types of fermented brick tea[J]. Food and Fermentation Industries, 2021, 47(3): 188-196. (in Chinese)
- [23] 欧阳珂, 张成, 廖雪利, 坤吉瑞, 童华荣. 基于感官组学分析玉米香型南川大茶树工夫红茶特征香气[J]. 茶叶科学, 2022, 42(3): 397-408.
- OUYANG K, ZHANG C, LIAO X L, KUN J R, TONG H R. Characterization of the key aroma in corn-scented Congou black tea manufactured from *Camellia nanchuanica* by sensory omics techniques[J]. Journal of Tea Science, 2022, 42(3): 397-408. (in Chinese)
- [24] 张韵, 李蕙蕙, 周圣弘. 基于 OAV 对 3 种高香种工夫红茶的香气特征分析[J]. 食品研究与开发, 2020, 41(21): 184-191.
- ZHANG Y, LI H H, ZHOU S H. Analysis of fragrance characteristics in three Congou black teas of highly fragrant species using odor active values[J]. Food Research and Development, 2020, 41(21): 184-191. (in Chinese)
- [25] ZHU J, NIU Y, XIAO Z. Characterization of the key aroma compounds in Laoshan green teas by application of odour

- activity value (OAV), gas chromatography-mass spectrometry-olfactometry (GC-MS-O) and comprehensive two-dimensional gas chromatography mass spectrometry (GC $\times$ GC-qMS)[J]. Food Chemistry, 2021, 339: 128136.
- [26] 舒畅, 余远斌, 肖作兵, 徐路, 牛云蔚, 朱建才. 新、陈龙井茶关键香气成分的 SPME/GC-MS/GC-O/OAV 研究[J]. 食品工业, 2016, 37(9): 279-285.
- SHU C, SHE Y B, XIAO Z B, XU L, NIU Y W, ZHU J C. Investigations on the aroma active compounds in fresh and aged Longjing tea by SPME/GC-MS/GC-O/OAV[J]. The Food Industry, 2016, 37(9): 279-285. (in Chinese)
- [27] 肖作兵, 王红玲, 牛云蔚, 朱建才, 马宁. 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, ZHU J C, MA N. 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. (in Chinese)
- [28] 卢莉, 王飞权, 林秀国, 李诗涵, 许嘉慧, 王惠珊, 张志伟, 陈荣冰. 传统炭焙工艺过程中武夷岩茶品质变化规律研究[J]. 食品科技, 2018, 43(5): 77-82.
- LU L, WANG F Q, LIN X G, LI S H, XU J H, WANG H S, ZHANG Z W, CHEN R B. The change of quality during Wuyi rock tea traditional charcoal baking process[J]. Food Science and Technology, 2018, 43(5): 77-82. (in Chinese)
- [29] 宛晓春. 茶叶生物化学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2003.
- WANG X C. Tea biochemistry[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2003. (in Chinese)
- [30] BORA S S, HAZARIKA D J, GOGOI R, DULLAH S, GOGOI M, BAROOAH M. Long-term pruning modulates microbial community structure and their functional potential in tea (*Camellia sinensis* L.) soils[J]. Applied Soil Ecology, 2016, 176: 104483.
- [31] RUBEL MOZUMDER N H M, HWANG KYEONG H, LEE M S, KIM E H, HONG Y S. Metabolomic understanding of the difference between unpruning and pruning cultivation of tea (*Camellia sinensis*) plants[J]. Food Research International, 2021, 140: 109978.
- [32] HE C, LI Y, ZHOU J, YU X, ZHANG, CHEN Y, NI D, YU Z. Study on the suitability of tea cultivars for processing oolong tea from the perspective of aroma based on olfactory sensory, electronic nose, and GC-MS data correlation analysis[J]. Foods, 2022, 11(18): 2880.
- [33] 庄明珠, 李代胜, 涂育东, 李鹏春, 闫佳伟, 何春梅, 陈美霞, 金珊. 不同茶树品种制作美人茶的品质评价[J]. 热带作物学报, 2022, 43(5): 1076-1084.
- ZHUANG M Z, LI D S, TU Y D, LI P C, YAN J W, HE C M, CHEN M X, JIN S. Quality evaluation of beauty tea produced by different tea varieties[J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2022, 43(5): 1076-1084. (in Chinese)