

梁贤智, 骆妍妃, 阳景阳, 等. 不同干燥工艺对金牡丹茶树花品质及挥发性风味成分的影响 [J]. 食品工业科技, 2024, 45(15): 253–263. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2023070167

LIANG Xianzhi, LUO Yanfei, YANG Jingyang, et al. Effects of Different Drying Processes on the Quality and Volatile Flavor Components of Jinmudan Tea (*Camellia sinensis* L.) Flowers[J]. Science and Technology of Food Industry, 2024, 45(15): 253–263. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2023070167

· 分析检测 ·

不同干燥工艺对金牡丹茶树花品质及挥发性风味成分的影响

梁贤智, 骆妍妃, 阳景阳, 农玉琴, 陈 杏, 梁光志, 陈远权*
(广西南亚热带农业科学研究所, 广西龙州 532415)

摘要:为探究不同干燥工艺对金牡丹茶树花品质和挥发性风味成分的影响, 选择真空冷冻干燥(预冻 2 h, 冷冻干燥 6、8、10 h, 冷阱温度 -50°C , 处理 1、2、3)、热风干燥(处理时间 3、4、5 h, 烘焙温度 75°C , 处理 4、5、6)及自然干燥处理(CK) 3 种干燥工艺处理, 分析不同干燥处理方式对茶树花感官品质、内含物及挥发性风味成分的影响。结果表明: 采用真空冷冻干燥工艺所制茶树花感官品质最优, 均能保留花蜜香, 且处理 3 的茶树花感官审评总分最高, 水浸出物、茶多酚及咖啡碱含量较高, 总氨基酸、甜味、鲜味、必需氨基酸含量最高。3 种干燥工艺条件下共鉴定出挥发性成分 107 种, 醇类、烷类及酮类为相对含量较高的挥发性成分。基于主成分分析(PCA)进一步进行聚类分析(HCA)表明, 挥发性物质分为 4 组, 与 3 种干燥工艺相对应。建立偏最小二乘-判别分析(PLS-DA)模型筛选出变量重要性(VIP)值大于 1 的标志差异性挥发性成分 35 个, 而苏合香醇为 CK 特有的挥发性成分。综上所述, 采用真空冷冻干燥工艺处理最能保留茶树花香和内含物, 其中处理 3 综合评价最优。本研究为探究干燥方式对茶树花品质和风味的影响及挥发性成分变化规律提供了理论依据。

关键词:茶树花, 干燥工艺, 感官品质, 氨基酸组分, 挥发性成分

中图分类号: TS272.5

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2024)15-0253-11

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2023070167

本文网刊:



Effects of Different Drying Processes on the Quality and Volatile Flavor Components of Jinmudan Tea (*Camellia sinensis* L.) Flowers

LIANG Xianzhi, LUO Yanfei, YANG Jingyang, NONG Yuqin, CHEN Xing,
LIANG Guangzhi, CHEN Yuanquan*

(Guangxi South Subtropical Agricultural Science Research Institute, Longzhou 532415, China)

Abstract: To explore the effect of different drying methods on the floral quality and volatile flavor compounds of Jinmudan tea flowers, three drying techniques were selected including vacuum freeze-drying (pre-freezing for 2 hours, freeze-dried for 6, 8, 10 hours, cold trap temperature -50°C , which were treatments 1, 2 and 3 respectively), hot air drying (the treatment time was 3, 4 and 5 hours, and the baking temperature was 75°C , which were treatments 4, 5 and 6 respectively), and natural drying (CK). The effects of these drying processes on sensory quality, chemical composition, amino acid profile, and volatile flavor compounds of tea flowers were analyzed. The results revealed that tea flowers dried using the vacuum freeze-drying method exhibited the best sensory quality, with a distinct honey aroma preserved. Among them, the tea flowers subjected to treatment 3 obtained the highest overall sensory evaluation score, along with higher levels of water extract, tea polyphenols, and caffeine content. Furthermore, they exhibited the highest total amino acid content, sweetness amino acid content, freshness amino acid content, and essential amino acid content. A total of 107 volatile compounds were

收稿日期: 2023-07-20

基金项目: 广西重点研发计划(桂科 AB23026086); 广西农业科技创新联盟项目(桂农科盟 202306-1); 广西农科院基本业务费项目(桂农科 2022YM31, 桂农科 2023YM23, 桂农科 2023YM47); 广西农科院农科基本科研业务专项(桂农科 2021YT164)。

作者简介: 梁贤智(1994-), 男, 硕士, 助理研究员, 研究方向: 茶树栽培技术研究, E-mail: 330928107@qq.com。

* 通信作者: 陈远权(1982-), 男, 硕士, 高级农艺师, 研究方向: 茶树育种与栽培技术研究, E-mail: 229189858@qq.com。

identified across the 3 drying processes, with alcohols, alkanes, and ketones comprising the predominant volatile components. Hierarchical cluster analysis (HCA) based on principal component analysis (PCA) further classified the volatile substances into 4 groups corresponding to 3 drying methods. A partial least squares discriminant analysis (PLS-DA) model was established to select 35 volatile components with variable importance in projection (VIP) values greater than 1, indicating differential markers. Additionally, the volatile substance patchoulol was identified as unique to the CK group. In summary, vacuum freeze-drying is the most effective method for preserving the aroma and bioactive compounds of tea flowers, with treatment 3 demonstrating the optimal overall evaluation. This study provides a theoretical basis for exploring the effects of drying methods on the quality and flavor of tea flowers and their corresponding changes in volatile components.

Key words: tea flowers; drying processes; sensory quality; amino acid components; volatile components

茶树(*Camellia sinensis* L.)起源于云贵高原,是一种重要的经济作物,其嫩叶及嫩芽用于制茶^[1-2],在很长一段时间里,茶树花未得到重视,且视为一种与茶叶竞争营养的不良副产品被抛弃。近年来随着对茶树花研究的深入,人们发现茶树花含有与茶叶相似的化学成分(如茶多酚、多糖、儿茶素、咖啡因、氨基酸等),但比例不同^[3-4],且茶树花具有抗氧化、降血糖、血脂的效果^[5-6]。根据《2022 年中国茶叶产销形势报告》,2022 年全国茶园总面积 4995.4 万亩,茶园中茶树花产量为 110.7~185.9 kg/亩^[7],估算全国茶树花产量为 550~925 万 t,具有巨大开发潜力。由于茶树花不易保存,需要采用干燥处理以延长储存期,但不同干燥方式对茶树花的品质有显著影响。

干燥是茶树花加工中最重要的一道工序,干燥方式由于温度、压强及处理时间不同,对茶树花的感官品质、营养成分及挥发性风味成分有不同影响^[8-9],目前花茶干燥方式主要有热风干燥^[10]、微波干燥^[11]、真空冷冻干燥^[12]等。石兴云等^[13]采用 6 种干燥方式加工云南大叶种茶树花,结果发现萎凋发酵烘干处理综合感官品质最优,微波杀青、冷冻干燥主要生化成分含量最高。盛金凤等^[14]以热风、微波、微波-热风联合、真空冷冻干燥方法对茉莉花进行处理,结果发现经过冷冻干燥处理的茉莉花色泽和香气最佳,微波-热风联合处理最具经济价值。黄艳等^[15]以不同干燥方式对茶树品种黄金桂的鲜花进行处理,结果表明冷冻干燥处理的茶树花茶在外观、营养价值与抗氧化活性方面表现最优,而锅式杀青烘干处理滋味最佳。邓宇杰等^[16]采用热风干燥和真空冷冻干燥处理茶树花,结果发现经热风干燥的样品的总酚和总儿茶素含量更高,经真空冷冻干燥的样品黄酮和咖啡碱含量更高。可见不同干燥处理对茶树花感官品质、营养品质及挥发性风味成分有重要影响,然而目前鲜有同时比较热风干燥、真空冷冻干燥、自然干燥工艺下茶树花的感官品质、内含物、氨基酸组分及挥发性风味成分的综合性研究。

本研究拟采用不同干燥工艺对金牡丹茶树花进行处理,比较各处理下茶树花感官品质、内含物、氨基酸组分及挥发性风味成分差异,探讨茶树花的感官风味特征与形成机理,为茶树花开发及利用提供理论依据及技术参考。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

金牡丹茶树花 2020 年 12 月采收于广西龙州县南亚热带农业科学研究所茶园花蕾期及初放期的金牡丹茶树花;十二水磷酸氢钠、磷酸二氢钾、水合茛三酮、茶氨酸、碱式乙酸铅、硫酸、盐酸、咖啡碱、甲醇、碳酸钠、福林酚、没食子酸、EDTA、氯化锂、柠檬酸 以上试剂均为分析纯,购自国药集团化学试剂有限公司。

TP-214 型分析天平 美国丹佛公司;CS-6CHZ-9 型茶叶烘干机 江苏长盛公司;XS-6CYQT 型摇青机 翔山机械公司;LGJ-25C 型真空冷冻干燥机 北京四环科学仪器厂有限公司;RS-FS1401 型粉碎机 安徽荣事达公司;CT15RT 型高速冷冻离心机 上海天美公司;H8 型水浴锅 江南仪器;T6 新世纪型紫外分光光度计 北京普析通用公司;dvb/car/pdms 型固相微萃取头(50/30 μm) 美国默克公司;QP2010-Plus 型气相色谱质谱联用仪 日本岛津公司;S-433D 型氨基酸自动检测仪 德国赛卡姆公司。

1.2 实验方法

1.2.1 茶树花加工方法 采摘完将后将茶树花置于簸箕晒青 20 min,静置 75 min。后使用摇青机摇青 15 min,转速 30 r/min。静置 90 min,CK 不作以上处理。之后处理方法如表 1 所示。

表 1 金牡丹茶树花不同处理方法
Table 1 Different treatment methods for Jinmudan tea flowers

处理	方法
1	预冻2 h, 冷冻干燥6 h, 冷阱温度-50 $^{\circ}\text{C}$, 压强0.5 hPa, 后设置升温程序2 h升温至25 $^{\circ}\text{C}$
2	预冻2 h, 冷冻干燥8 h, 冷阱温度-50 $^{\circ}\text{C}$, 压强0.5 hPa, 后设置升温程序2 h升温至25 $^{\circ}\text{C}$
3	预冻2 h, 冷冻干燥10 h, 冷阱温度-50 $^{\circ}\text{C}$, 压强0.5 hPa, 后设置升温程序2 h升温至25 $^{\circ}\text{C}$
4	以75 $^{\circ}\text{C}$ 烘焙3 h, 将花冷却至35 $^{\circ}\text{C}$
5	以75 $^{\circ}\text{C}$ 烘焙4 h, 将花冷却至35 $^{\circ}\text{C}$
6	以75 $^{\circ}\text{C}$ 烘焙5 h, 将花冷却至35 $^{\circ}\text{C}$
CK	将花茶置于簸箕, 在阳光下晒至足干

在经过以上处理后将茶树花置于烘干机以 90 $^{\circ}\text{C}$ 烘焙 20 min。待茶叶冷却至室温后保存于封口袋中。

1.2.2 茶树花感官品质评审 根据 GB/T 23776-2018《茶叶感官审评方法》中茉莉花茶审评方法进行修改变, 其中外形及汤色项评分系数增加至 25% 及 10%, 取消叶底项。审评人由 3 男 2 女具有评茶员资格的人组成。

1.2.3 茶树花内含物成分测定 水分、水浸出物、茶多酚、咖啡碱及游离氨基酸检测分别参考《GB 5009.3-2016 食品安全国家标准 食品中水分的测定》、GB/T 8305-2013《茶 水浸出物测定》、GB/T 8313-2018《茶 茶多酚测定》(紫外分光光度法)及 GB/T 8312-2013《茶 咖啡碱测定》(紫外分光光度法)。

氨基酸组分: 参照 GB/T 5009.124-2016《食品中氨基酸的测定》及毛雅琳等^[17]、张英娜等^[18]的研究方法。茶汤制备: 称取 0.1 g(精确至 0.0001 g)茶样, 倒入 25 mL 离心管中并加入 20 mL 超纯水, 80±1 ℃ 水浴加热 30 min, 1500 r/min 离心 10 min, 取 1 mL 上清液并稀释 5 倍, 混匀, 取 1 mL 稀释液, 用 0.22 μm 滤膜过滤于样品瓶中备用。

氨基酸自动分析仪设置如下: 色谱柱: LCA K07/Li; 流动相 A 为 pH2.90 柠檬酸锂缓冲溶液, 流动相 B 为 pH4.20 柠檬酸锂缓冲溶液, 流动相 C 为 pH8.0 柠檬酸锂缓冲溶液, 流动相 D 为 EDTA 缓冲液; 进样量为 50 μL; 检测波长为 570、440 nm; 茚三酮流速为 0.25 mL·min⁻¹, 流动相流速为 0.45 mL·min⁻¹; 反应器温度为 130 ℃。梯度洗脱条件为: 0 min 为 A:B:C:D=100%:0:0:0; 12 min 为 A:B:C:D=80%:20%:0:0; 22 min 为 A:B:C:D=61%:39%:0:0; 34 min 为 A:B:C:D=43%:57%:0:0; 52 min 为 A:B:C:D=0:100%:0:0; 63 min 为 A:B:C:D=0:0:100%:0; 72 min 为 A:B:C:D=0:0:98%:2%; 79 min 为 A:B:C:D=100%:0:0:0。

1.2.4 茶树花挥发性成分测定 挥发性成分测定参考安会敏等^[19]及 Lin 等^[20]设置, 并进行优化。顶空固相微萃取(HS-SPME)条件如下。萃取头老化: 65 μm PDMS/DVB 萃取头于气相色谱仪的进样口经 250 ℃ 老化 30 min。萃取条件: 称取样品的磨碎茶样 1 g, 放入 15 mL 顶空瓶中。加入 5 mL 沸水后, 迅速拧紧瓶盖, 10 min 后将已老化的 PDMS/DVB 萃

取头插入样品瓶的顶空部分, 推出萃取头离液面 1 cm 处。80 ℃ 萃取 40 min, 600 r/min, 解吸附 5 min, 使样品瓶中的挥发性成分达到气-液和气-固平衡。然后将萃取头插入气相色谱仪的进样口, 250 ℃ 下热解析 5 min, 进行数据采集分析。

气相色谱-质谱(GC-MS)条件: GC 条件: 色谱柱为 HP-5MS(30 m×0.25 mm×0.25 μm), 载气为氦气(纯度> 99.999%), 进样口温度为 250 ℃, 柱流速为 1 mL/min, 分流比为 5:1; 升温程序: 起始温度 80 ℃, 保持 1 min, 以 6 ℃/min 升至 180 ℃, 保持 1 min, 以 3 ℃/min 升至 230 ℃, 保持 2 min, 以 6 ℃/min 升至 250 ℃, 保持 5 min; MS 条件: 离子源 EI, 离子源温度 230 ℃, 接口温度 230 ℃, EI 源能量 70 eV, 电子倍增器电压 2409 V, 质量扫描范围 50~550 u。

定性和定量方法: 根据气相色谱/质谱联用(GC-MS)分析得到挥发性成分的总离子色谱图, 通过计算机检索, 参考标准谱图(NIST14、NIST14s 和 Wiley9), 筛序匹配 SI(Similar Index)值>80, 结合保留时间, 对样品挥发性成分进行定性, 并用峰面积归一化法分析各香气组分相对含量。

1.3 数据处理

试验均设 3 次重复, 数据使用 Excel 2016 及 SPSS 19.0 处理, 采用单因素方差分析进行显著性分析($P<0.05$), 应用 MetaboAnalyst 5.0 进行主成分分析(principle component analysis, PCA)和聚类分析(hierarchical cluster analysis, HCA), SIMCA 14.1 对挥发性成分进行偏最小二乘-判别分析(partial least square discriminant analysis, PLS-DA)和变量重要性(variable importance in projection, VIP>1.0)分析。

2 结果与分析

2.1 不同干燥工艺对金牡丹茶树花感官品质的影响

因处理温度、湿度及压强等条件差异影响, 不同干燥工艺使茶树花呈现不同的外形、汤色、香气及滋味^[21-22]。以表 1 方法对茶树花进行干燥处理, 所得茶树花进行审评得到表 2, 由表 2 可知: 相比于自然干燥处理(CK), 冷冻干燥(处理 1、2、3)和热风干燥(处理 4、5、6)处理后的茶树花外形、汤色、香气、滋味得分及总分均更高。对于外形、汤色、香气, 处理

表 2 不同干燥工艺对金牡丹茶树花感官品质的影响

Table 2 Effect of different drying processes on the sensory quality of Jinmudan tea flowers

编号	外形		汤色		香气		滋味		总分
	评语	得分	评语	得分	评语	得分	评语	得分	
1	浅棕黄, 尚油润	85.80±1.72 ^b	浅棕黄, 亮	85.40±1.36 ^{bc}	蜜香, 尚持久	85.40±1.36 ^{bc}	清香, 甘醇	89.20±1.17 ^a	86.64±1.10 ^b
2	浅棕黄, 尚油润	85.60±1.36 ^b	浅棕黄, 亮	87.60±1.50 ^{ab}	蜜香	87.60±1.36 ^{ab}	花香带清香	85.40±1.96 ^b	86.44±0.85 ^b
3	浅棕黄, 油润	91.00±2.28 ^a	浅棕黄, 亮	88.20±2.32 ^a	蜜香带糯香	89.00±1.10 ^a	花香, 甘醇	85.60±1.74 ^b	88.40±0.52 ^a
4	浅棕黄, 油润	87.20±1.33 ^b	浅棕黄, 亮	85.20±2.04 ^{bc}	熟香	85.60±1.36 ^{bc}	清香带甜香	84.40±1.36 ^b	85.60±0.88 ^{bc}
5	浅棕黄, 尚油润	84.40±1.36 ^b	浅棕黄, 尚明亮	83.40±1.20 ^c	熟香	83.20±2.14 ^c	熟香, 浓厚	84.80±1.47 ^b	84.00±1.06 ^c
6	浅棕黄, 尚油润	84.80±2.14 ^b	浅棕黄, 尚明亮	84.00±1.26 ^c	熟香	83.60±1.85 ^c	熟香, 浓厚	85.00±1.41 ^b	84.36±1.23 ^c
CK	黄褐, 欠油润	81.00±1.90 ^c	浅棕黄, 欠明亮	80.00±2.45 ^d	青草香	78.60±2.87 ^d	青涩, 有回甘	79.00±2.28 ^c	79.46±1.66 ^d

注: 同列不同小写字母(a、b、c、d)表示在 $P<0.05$ 水平差异显著, 表3同。

3 得分及总分均最高且显著高于 CK($P<0.05$), 具有色泽浅棕黄、油润的外形, 汤色浅棕黄、亮, 香气为蜜香带糯香特点。对于滋味, 处理 1 得分最高且显著高于 CK($P<0.05$), 具有清香, 甘醇特点。此外, 冷冻干燥工艺感官审评总分均高于热风烘干工艺, 与张凌云等^[23]经冷冻干燥工艺的桂花感官品质优于热风干燥工艺结果类似。冷冻干燥工艺具有色泽浅棕黄的外形, 汤色亮, 香气以蜜香, 滋味以花香、甘醇为主, 能较大程度保留新鲜茶树花的香气; 热风干燥工艺具有色泽浅棕黄的外形, 汤色尚明亮, 香气以熟香, 滋味以熟香、浓厚为主; 而 CK 具有色泽黄褐的外形, 汤色欠明亮, 具青草香, 滋味青涩有回甘, 不能完全去除茶树花中的青涩味。黄潇等^[24]使用冻干及烘干方法处理茶树花, 感官审评得出冻干处理呈花蜜香, 滋味甜醇有麻涩感, 烘干处理呈甜香, 滋味甜麻涩感轻。由上可知, 冷冻干燥在保留花蜜香同时, 较热风干燥香气易带青味, 滋味带涩^[25], 但本试验采摘茶树花后经晒青、摇青, 高温提香, 可去除冷冻干燥工艺的青味、麻涩味, 且能保留茶树花中的花蜜香。

2.2 不同干燥工艺对金牡丹茶树花内含物的影响

由表 3 可知: 干燥工艺对水分影响显著, 但对水浸出物、茶多酚及咖啡碱则相反。对于水分, 处理

6 含量最低, 仅为 5.39%, CK 最高, 达 9.72%, 所有处理的水分均显著低于 CK($P<0.05$), 且低于邓宇杰等^[16]的试验结果(10.6%~15.63%), 推测试验中高温提香步骤使水分进一步减少。对于水浸出物、咖啡碱, 处理 6 含量最高, 茶多酚处理 5 含量最高, 而其次均为处理 3, 且 CK 最低。由表 4 可知, 在 7 个处理中共检测出 23 种氨基酸, 包括 7 种必需氨基酸及 16 种非必需氨基酸, 其中有 12 个氨基酸组分含量差异显著($P<0.05$), 说明茶花各处理氨基酸组分丰富度和含量受不同干燥工艺的影响; 相比于 CK, 冷冻干燥处理后总氨基酸、甜味氨基酸、必需氨基酸更高, 其中

表 3 不同干燥工艺对金牡丹茶树花内含物的影响
Table 3 Effect of different drying processes on the inclusions of Jinmudan tea flowers

处理	水分(%)	水浸出物(%)	茶多酚(%)	咖啡碱(mg/g)
1	5.88±0.45 ^b	34.70±2.01 ^a	3.17±0.32 ^{ab}	1.68±0.16 ^a
2	5.55±0.23 ^b	35.65±1.79 ^a	3.64±0.12 ^{ab}	1.69±0.15 ^a
3	5.50±0.20 ^b	36.97±1.15 ^a	3.78±0.37 ^a	1.75±0.17 ^a
4	6.11±0.15 ^b	36.05±3.70 ^a	3.45±0.46 ^{ab}	1.72±0.22 ^a
5	5.76±0.30 ^b	36.86±3.71 ^a	3.82±0.49 ^a	1.71±0.21 ^a
6	5.39±0.43 ^b	38.01±3.97 ^a	3.46±0.74 ^{ab}	1.77±0.15 ^a
CK	9.72±0.19 ^a	32.23±1.85 ^a	2.87±0.30 ^b	1.61±0.20 ^a

表 4 不同干燥工艺对金牡丹茶树花氨基酸组分的影响(mg/g)
Table 4 Effects of different drying processes on amino acid components of Jinmudan tea flowers (mg/g)

氨基酸种类	1	2	3	4	5	6	CK
β-丙氨酸	0.02±0.01 ^b	0.02±0.01 ^b	0.03±0.01 ^b	0.03±0.02 ^b	0.01±0.01 ^b	0.02±0.01 ^b	0.06±0.01 ^a
γ-氨基丁酸	0.88±0.14 ^{bc}	0.90±0.12 ^{bc}	1.14±0.35 ^{ab}	0.99±0.29 ^{abc}	0.71±0.13 ^{bc}	0.62±0.12 ^c	1.42±0.08 ^a
苯丙氨酸 ³	0.05±0.03 ^a	0.05±0.01 ^a	0.05±0.02 ^a	0.05±0.02 ^a	0.05±0.01 ^a	0.03±0.01 ^{ab}	0.00±0.00 ^b
丙氨酸 ¹	0.07±0.03 ^{ab}	0.09±0.02 ^a	0.09±0.01 ^a	0.06±0.01 ^{ab}	0.07±0.02 ^{ab}	0.04±0.02 ^b	0.09±0.01 ^a
茶氨酸 ²	4.70±1.47 ^a	4.31±0.60 ^a	4.73±0.70 ^a	4.12±0.34 ^a	3.57±0.45 ^a	3.64±0.87 ^a	4.02±0.17 ^a
蛋氨酸	0.00±0.00 ^a	0.50±0.22 ^a	0.00±0.00 ^a	0.29±0.05 ^a	0.49±0.07 ^a	0.46±0.07 ^a	0.00±0.00 ^a
谷氨酸 ²	0.89±0.24 ^a	0.95±0.09 ^a	1.10±0.23 ^a	1.10±0.11 ^a	0.93±0.11 ^a	0.92±0.13 ^a	1.16±0.15 ^a
瓜氨酸	2.77±0.77 ^a	2.70±0.23 ^a	2.95±0.35 ^a	2.36±0.27 ^{ab}	2.20±0.29 ^{ab}	1.74±0.13 ^b	2.55±0.31 ^{ab}
精氨酸	2.27±0.09 ^a	1.90±0.17 ^a	1.91±0.18 ^a	2.02±0.21 ^{ab}	1.70±0.17 ^{ab}	1.68±0.10 ^b	1.69±0.17 ^{ab}
赖氨酸 ³	0.10±0.03 ^{abc}	0.14±0.02 ^{ab}	0.15±0.02 ^a	0.14±0.03 ^{ab}	0.07±0.01 ^c	0.05±0.01 ^c	0.09±0.01 ^{bc}
酪氨酸	0.09±0.01 ^a	0.06±0.03 ^{ab}	0.08±0.02 ^{ab}	0.05±0.01 ^{ab}	0.07±0.02 ^{ab}	0.05±0.02 ^b	0.00±0.00 ^b
亮氨酸 ³	0.14±0.06 ^{ab}	0.13±0.02 ^{ab}	0.22±0.04 ^a	0.16±0.05 ^{ab}	0.15±0.02 ^{ab}	0.12±0.02 ^b	0.09±0.02 ^b
磷酸丝氨酸	0.04±0.02 ^a	0.06±0.01 ^a	0.04±0.01 ^a	0.06±0.02 ^a	0.06±0.01 ^a	0.05±0.01 ^a	0.05±0.01 ^a
鸟氨酸	0.00±0.00 ^a	0.00±0.00 ^a	0.01±0.01 ^a	0.00±0.00 ^a	0.00±0.00 ^a	0.00±0.00 ^a	0.01±0.01 ^a
脯氨酸 ¹	2.63±0.49 ^a	2.79±0.29 ^a	3.08±0.35 ^a	3.02±0.16 ^a	3.13±0.25 ^a	2.41±0.18 ^a	1.54±0.35 ^b
色氨酸 ³	0.11±0.05 ^a	0.11±0.03 ^a	0.07±0.02 ^a	0.07±0.02 ^a	0.07±0.01 ^a	0.06±0.01 ^a	0.08±0.01 ^a
丝氨酸 ¹	0.88±0.30 ^a	1.00±0.09 ^a	1.09±0.17 ^a	1.05±0.22 ^a	0.93±0.23 ^a	0.76±0.17 ^a	1.05±0.08 ^a
苏氨酸 ¹³	0.22±0.11 ^a	0.21±0.03 ^a	0.23±0.06 ^a	0.20±0.05 ^a	0.19±0.04 ^a	0.16±0.04 ^a	0.20±0.02 ^a
天冬氨酸 ²	0.25±0.04 ^{bc}	0.26±0.06 ^{bc}	0.29±0.04 ^{ab}	0.34±0.04 ^a	0.25±0.02 ^{bc}	0.28±0.03 ^b	0.20±0.03 ^c
天冬酰胺 ²	0.46±0.25 ^a	0.43±0.04 ^a	0.44±0.11 ^a	0.44±0.05 ^a	0.40±0.05 ^a	0.36±0.06 ^a	0.57±0.05 ^a
缬氨酸 ¹³	0.09±0.03 ^a	0.10±0.03 ^a	0.11±0.02 ^a	0.10±0.02 ^a	0.10±0.02 ^a	0.08±0.02 ^a	0.10±0.02 ^a
异亮氨酸 ³	0.13±0.05 ^a	0.14±0.03 ^a	0.12±0.04 ^a	0.12±0.02 ^a	0.07±0.02 ^a	0.06±0.01 ^a	0.08±0.02 ^a
组氨酸	0.14±0.02 ^a	0.14±0.03 ^a	0.15±0.04 ^a	0.14±0.02 ^a	0.14±0.02 ^{ab}	0.09±0.03 ^b	0.09±0.02 ^b
总氨基酸	16.93±0.51 ^{ab}	16.99±0.97 ^{ab}	18.07±1.82 ^a	16.92±1.56 ^{ab}	15.36±1.86 ^{bc}	13.68±1.65 ^c	15.16±0.39 ^{bc}
甜味氨基酸	3.00±0.60 ^a	3.19±0.25 ^a	3.50±0.40 ^a	3.39±0.17 ^a	3.49±0.31 ^a	2.69±0.25 ^{ab}	1.94±0.39 ^b
鲜味氨基酸	6.30±1.52 ^a	5.95±0.74 ^a	6.56±1.06 ^a	5.99±0.43 ^a	5.15±0.62 ^a	5.19±1.03 ^a	5.96±0.14 ^a
必需氨基酸	0.84±0.06 ^a	0.88±0.13 ^a	0.95±0.08 ^a	0.84±0.07 ^a	0.70±0.10 ^b	0.56±0.10 ^c	0.64±0.05 ^{bc}

注: 1为甜味氨基酸, 2为鲜味氨基酸, 3为必需氨基酸; 同行不同小写字母(a、b、c)表示在 $P<0.05$ 水平差异显著。

处理 3 总氨基酸、甜味氨基酸、鲜味氨基酸及必需氨基酸含量均最高且显著高于 CK ($P<0.05$), 分别为 18.07、3.50、6.56 和 0.95 mg/g, 比 CK 高 19.19%、80.41%、10.07%、48.44%, 而热风干燥处理与 CK 比较, 其甜味氨基酸更高。因而可知, 冷冻干燥处理较热风干燥及自然干燥能更大程度保留总氨基酸、甜味氨基酸及必需氨基酸, 但鲜味氨基酸无显著差异。综上可知对于内含物, 处理 3 及 5 表现最优, CK 最差。

茶树花水分是影响其保存时间长短的重要因素, 根据《GH/T 1091-2014 代用茶花类》代用茶水分应低于 13%, 所有处理的水分均符合标准, 且自然干燥处理的水分与陈思颖等^[26]自然干燥处理牡丹花结果相似, 均在 9.5% 左右。水浸出物含量与细胞损伤程度成正比^[14], 虽然冷冻干燥与热风干燥相比对细胞损伤更小, 但本试验中晒青、摇青与高温提香过程也会造成细胞损伤, 因此细胞因加工工艺累积损伤析出的可溶性成分即水浸出物无显著差异。石兴云等^[13]的研究表明: 经热风处理及冻干处理后茶树花水浸出物、茶多酚及咖啡碱含量无显著差异, 与本试验结果相似, 与盛金凤等^[14]对双瓣茉莉花进行干燥处理后, 热风干燥处理的水浸出物含量显著高于冻干处理结果不同, 而 CK 茶多酚均低于其他组合, 推测晒干处理茶多酚氧化酶活性较其余处理高, 加速茶多酚分解^[13]。氨基酸不仅是参与生命活动的重要物质, 也是食品中呈味物质的重要来源, 根据呈味效果可分为甜味氨基酸及鲜味氨基酸^[27-28], 其含量变化会对食品风味产生一定影响^[29]。在感官品质评价中冷冻干燥工艺滋味带有甘醇, 而热风干燥却无明显甜味。冷冻干

燥工艺氨基酸组分多随处理时间增加而增加, 热风干燥工艺处理则相反, 这与杜孺哲^[30]使用热风干燥处理安化千两茶的结果相同, 说明冷冻干燥较热风干燥更能保存氨基酸^[31]。本试验中应用晒青、摇青, 提香步骤, 但大部分处理间内含物无显著差异。

2.3 不同干燥工艺对金牡丹茶树花挥发性成分的影响

由表 5 及图 1 可知, 所有处理茶树花共筛选鉴定出 107 种挥发性成分, 包括 18 种醇类, 14 种醛类, 7 种酮类, 15 种酯类, 12 种烯类, 7 种酸类, 5 种芳香烃类, 22 种烷类及 7 种其他类。在所有分类中, 醇类 (18.35%~58.22%), 烷类 (9.07%~40.46%), 酮类 (0.79%~20.84%) 相对含量较高, 其他类 (2.46%~10.14%), 酯类 (2.00%~5.92%), 醛类 (1.27%~3.60%), 烯类 (0.34%~6.44%) 次之, 酸类 (0.39%~3.92%), 芳香烃类 (0~2.68%) 相对含量最低。而相对含量较高的成分为苯乙醇、芳樟醇、(E)-芳樟醇氧化物(吡喃型)、香叶醇、 α -紫罗兰酮、 β -紫罗兰酮、苯乙酮、十六烷、十七烷、二十一烷、二十五烷、植烷。此外, 处理 1~6 及 CK 依次鉴定出 52、45、47、38、47、51 及 33 种挥发性成分, 其中共有的挥发性成分有 7 种, 占挥发性成分的 6.54%, 说明不同处理间的挥发性成分差异较大。从图 1 还可知, 冻干工艺挥发性成分种数变化不大, 而热风工艺处理随处理时间增加挥发性成分种数增加。

挥发性成分是决定茶叶感官品质优劣的重要因素^[32]。醇类具有特殊的花果香及清香^[33], 在本试验中占比最高, CK 相对含量达 58.22%, 冷冻干燥为 20.13%~34.10%, 热风干燥为 18.35%~30.57%, 推测

表 5 不同干燥工艺对金牡丹茶树花挥发性成分相对含量的影响
Table 5 Effects of different drying processes on the relative content of volatile components in Jinmudan tea flowers

序号	化合物名称	保留时间 (min)	相对含量(%)						CK
			1	2	3	4	5	6	
醇类									
1	苯乙醇	7.24	4.55±0.17	5.06±0.22	4.88±0.24	5.24±0.40	6.78±1.17	3.61±0.40	5.25±0.62
2	α -松油醇	11.81	0.79±0.25	0.51±0.06	0.75±0.06	0	2.05±0.19	0.29±0.03	0
3	芳樟醇	6.79	9.16±0.63	11.69±0.59	16.28±1.02	13.75±0.47	13.70±1.92	9.51±0.54	17.00±0.63
4	10-十一炔-1-醇	10.46	1.03±0.35	—	—	—	—	—	—
5	反-2-十一烯醇	20.10	0.83±0.14	—	—	—	0.20±0.04	—	0.36±0.09
6	1-十四醇	14.37	0	—	—	—	—	0.09±0.02	—
7	2-丁基辛醇	17.68	0.67±0.20	—	—	—	—	—	—
8	2-己基-1-癸醇	17.67	1.69±0.47	—	1.27±0.12	0.75±0.09	0.86±0.09	2.05±0.28	0.63±0.09
9	β -桉叶醇	17.91	1.51±0.18	—	1.40±0.14	1.24±0.23	0.79±0.19	—	1.29±0.20
10	白千层醇	18.76	2.16±0.50	—	0.61±0.07	—	0.23±0.07	1.25±0.08	2.16±0.36
11	苯甲醇	5.74	—	—	—	—	—	—	2.13±0.15
12	橙花醇	10.15	—	1.18±0.04	0.53±0.05	1.29±0.13	—	—	—
13	金合欢醇	15.68	—	—	—	1.29±0.15	—	—	—
14	糠醇	12.12	0.52±0.09	—	—	—	—	—	0.90±0.22
15	苏合香醇	6.21	—	—	—	—	—	—	19.86±1.05
16	香叶醇	10.31	—	1.70±0.14	5.41±0.37	0.65±0.06	3.47±0.61	1.55±0.09	6.30±0.49
17	愈创醇	18.54	4.72±0.67	—	2.96±0.35	4.30±0.32	2.48±0.11	—	3.78±0.44
18	紫苏醇	5.64	—	—	—	0.57±0.08	—	—	—
总计			27.64±0.57	20.13±1.19	34.10±2.09	29.08±1.95	30.57±4.26	18.35±1.17	58.22±3.47

续表 5

序号	化合物名称	保留时间 (min)	相对含量(%)						
			1	2	3	4	5	6	CK
醛类									
1	十一醛	11.24	0.08±0.03	0.10±0.02	0.15±0.02	0	0.29±0.16	0.10±0.02	—
2	2-十一烯醛	12.52	—	—	0.25±0.02	0.50±0.12	0.14±0.03	0.13±0.02	—
3	十二醛	20.09	—	—	0.08±0.02	—	—	—	—
4	(Z)-7-十六碳烯醛	15.01	—	—	—	—	—	1.00±0.11	—
5	十八醛	17.80	0.66±0.08	—	—	—	—	—	—
6	β-环柠檬醛	9.45	0.28±0.05	0.28±0.05	0.42±0.08	0.21±0.05	—	0.10±0.01	0.35±0.05
7	苯甲醛	4.46	0.32±0.05	0.13±0.02	0.37±0.03	0	—	0.15±0.04	2.33±0.41
8	苯乙醛	5.81	0.38±0.07	—	—	0.85±0.06	0.76±0.17	—	—
9	橙花醛	10.47	—	—	—	—	1.51±0.55	—	—
10	癸醛	8.98	0.38±0.04	—	—	—	—	—	—
11	柠檬醛	10.44	—	1.45±0.18	—	—	—	1.33±0.15	—
12	肉豆蔻醛	22.60	0.08±0.03	—	—	—	0.47±0.11	—	0.05±0.02
13	椰子醛	12.57	—	—	—	—	—	—	0.45±0.10
14	月桂醛	13.53	—	—	—	—	—	—	0.42±0.17
	总计		2.18±0.27	1.96±0.22	1.27±0.13	1.56±0.16	3.17±0.66	2.81±0.34	3.60±0.6
酮类									
1	甲基紫罗兰酮	14.91	0.27±0.05	—	0.22±0.04	—	—	—	—
2	2-羟基-5-甲基苯乙酮	11.46	—	0.22±0.02	—	—	—	0.07±0.02	—
3	α-紫罗兰酮	14.03	2.21±0.46	2.62±0.12	1.76±0.11	5.29±0.63	3.33±0.37	1.05±0.07	0.79±0.31
4	β-紫罗兰酮	15.29	3.17±0.28	2.35±0.22	1.65±0.23	—	2.93±0.57	1.02±0.07	—
5	苯乙酮	6.23	9.72±0.49	12.79±0.34	11.84±0.36	10.85±0.40	12.77±1.10	7.56±0.41	—
6	香叶基丙酮	14.48	0.66±0.11	0.57±0.08	0.54±0.10	—	0.57±0.13	0.29±0.02	—
7	植酮	23.33	—	1.40±0.08	—	1.78±0.17	1.25±0.13	1.25±0.18	—
	总计		16.04±1.09	19.96±0.33	16.01±0.64	17.92±0.86	20.84±0.72	10.95±0.63	0.79±0.31
酯类									
1	苯甲酸苄酯	21.53	0.68±0.11	0.29±0.05	0.54±0.07	0.89±0.24	0.19±0.04	—	0.45±0.08
2	丙位辛内酯	12.37	—	—	—	—	—	—	0.34±0.07
3	二氢猕猴桃内酯	16.36	—	1.11±0.09	0.82±0.31	—	0.77±0.13	—	—
4	甲酸香叶酯	4.90	—	—	—	—	—	0.66±0.11	—
5	邻茴香酸甲酯	11.99	0.36±0.06	0.39±0.04	0.93±0.14	0.53±0.10	0.48±0.10	0.13±0.03	—
6	肉豆蔻酸异丙酯	22.80	0.08±0.03	0.14±0.03	—	—	0.07±0.02	0.30±0.11	—
7	水杨酸甲酯	8.85	—	1.23±0.09	1.56±0.09	—	—	0.88±0.11	2.31±0.25
8	薰衣草异戊酸酯	15.70	—	—	—	—	0.58±0.18	—	—
9	乙酸橙花酯	12.48	—	0.68±0.16	—	—	—	—	—
10	乙酸桂酯	14.35	—	—	—	0.33±0.07	—	—	—
11	乙酸异龙脑酯	10.92	—	1.56±0.09	—	—	—	—	—
12	异戊酸香叶酯	15.71	—	0.41±0.05	0.35±0.06	—	—	0.72±0.09	—
13	油酸丙酯	18.73	—	—	—	—	0.54±0.10	—	—
14	月桂酸乙酯	17.39	—	—	0.56±0.14	—	0.50±0.13	—	—
15	棕榈酸甲酯	25.45	0.12±0.03	0.11±0.02	0.20±0.03	0.25±0.06	0.11±0.03	0.16±0.04	—
	总计		1.24±0.20	5.92±0.45	4.98±0.52	2.00±0.41	3.24±0.31	2.84±0.38	3.10±0.38
烯类									
1	1,7,7-三甲双环[2.2.1]庚-2-烯	9.64	0.18±0.04	0.24±0.03	0.46±0.13	—	0.58±0.15	0.15±0.01	—
2	α-柏木烯	13.85	—	—	—	—	—	0.03±0.01	—
3	α-蒎烯	5.80	—	0.90±0.10	—	—	—	—	—
4	α-香柠檬烯	14.24	0.84±0.15	—	—	—	—	—	—
5	β-倍半水芹烯	14.21	—	—	—	0.80±0.16	—	—	—
6	β-没药烯	15.76	1.75±0.11	—	—	—	—	—	—
7	巴伦西亚橘烯	15.24	—	—	—	—	—	—	0.83±0.12
8	丙位依兰油烯	15.98	3.23±0.36	—	—	—	—	—	—
9	茴香烯	10.88	—	—	—	1.97±0.29	—	—	—
10	柠檬烯	5.88	0.23±0.09	—	—	—	—	—	—

续表 5

序号	化合物名称	保留时间 (min)	相对含量(%)						
			1	2	3	4	5	6	CK
11	新植二烯	23.17	0.21±0.04	0.19±0.03	—	0.12±0.02	0.20±0.03	0.17±0.03	0.15±0.07
12	月桂烯	4.93	0	1.19±0.11	1.38±0.12	—	—	—	1.94±0.21
	总计		6.44±0.62	2.51±0.26	1.84±0.12	2.89±0.44	0.78±0.17	0.34±0.05	2.92±0.29
	酸类								
1	二十二酸	8.02	—	—	—	—	—	0.20±0.03	—
2	肉豆蔻酸	21.12	—	—	0.14±0.03	—	0.16±0.04	—	—
3	十一烷酸	12.42	—	—	—	—	0.16±0.04	—	—
4	香叶酸	12.17	—	—	—	0.52±0.06	0.56±0.09	0.19±0.01	—
5	硬酯酸	21.22	—	—	—	0.73±0.10	—	—	—
6	油酸	7.86	1.87±0.11	1.32±0.07	0.23±0.10	2.67±0.14	—	—	0.65±0.05
7	棕榈酸	8.05	0.45±0.09	—	0.51±0.13	—	0.68±0.16	—	0.18±0.07
	总计		2.32±0.17	1.32±0.07	0.88±0.11	3.92±0.29	1.57±0.24	0.39±0.03	0.83±0.11
	芳香烃类								
1	1,3,5-三甲氧基苯	13.57	0.15±0.04	0.57±0.10	0.50±0.07	—	0.63±0.27	0.29±0.05	—
2	4-异丙-1,6-二甲萘	19.44	1.47±0.32	—	—	—	—	—	—
3	α -姜黄烯	15.22	—	—	—	1.96±0.49	—	—	—
4	苯醚	5.78	—	—	0.82±0.05	—	—	—	—
5	榄香素	16.65	—	—	0.45±0.07	0.73±0.07	—	—	—
	总计		1.62±0.36	0.57±0.10	1.76±0.17	2.68±0.55	0.63±0.27	0.29±0.05	—
	烷类								
1	十二烷	16.74	—	—	—	—	—	1.13±0.08	—
2	十三烷	13.26	—	0.13±0.02	1.3±0.10	—	0.12±0.04	0.06±0.02	—
3	十四烷	15.43	—	—	—	—	0.73±0.10	—	—
4	十五烷	15.42	—	1.64±0.09	—	—	—	1.83±0.20	—
5	十六烷	15.61	2.08±0.20	—	1.97±0.09	2.59±0.21	1.63±0.30	4.12±0.20	1.52±0.17
6	十七烷	19.69	2.21±0.40	1.90±0.27	0.72±0.14	—	0.61±0.12	2.05±0.27	—
7	十八烷	22.14	0.63±0.08	—	—	0.61±0.06	0.15±0.05	0.61±0.06	0.22±0.08
8	十九烷	16.31	0.12±0.07	—	—	0.22±0.04	—	2.06±0.21	—
9	二十烷	24.74	—	0.08±0.02	0.21±0.03	—	—	—	—
10	二十一烷	25.17	1.45±0.16	1.75±0.10	1.60±0.32	0.56±0.09	2.79±0.57	5.80±0.19	2.19±0.36
11	二十二烷	19.99	—	1.42±0.08	0.24±0.13	4.15±0.48	—	5.19±0.36	—
12	二十三烷	35.86	—	—	—	—	9.25±0.46	—	—
13	二十四烷	41.33	0.78±0.08	—	—	—	0.87±0.25	—	0.60±0.12
14	二十五烷	35.84	6.33±0.55	9.33±0.65	7.66±0.35	—	—	4.42±0.18	—
15	三十二烷	19.40	—	—	—	—	—	0.96±0.20	—
16	四十四烷	17.34	—	—	—	—	0.23±0.07	1.41±0.15	—
17	3-甲基十五烷	16.90	0.55±0.05	0.51±0.05	0.43±0.06	—	—	0.73±0.08	—
18	2,6,10-三甲基十五烷	18.53	—	—	—	—	—	3.50±0.28	—
19	3-甲基十七烷	21.41	—	0.15±0.03	—	—	—	—	—
20	2-甲基二十四烷	19.39	—	0.08±0.02	0.45±0.06	0.41±0.15	—	1.47±0.13	—
21	姥鲛烷	19.86	1.32±0.25	—	—	0.29±0.04	—	—	1.15±0.20
22	植烷	22.38	2.66±0.37	2.11±0.12	1.73±0.12	0.51±0.16	1.09±0.21	5.13±0.53	3.38±0.61
	总计		20.36±1.88	19.08±1.31	16.30±1.04	12.22±1.42	17.48±1.06	40.46±1.53	9.07±1.28
	其他类								
1	芳樟醇氧化物 I	6.63	—	1.61±0.09	—	—	—	—	—
2	环氧芳樟醇	8.50	—	—	—	—	—	2.72±0.23	—
3	咖啡因	23.59	0.39±0.09	0.47±0.05	0.50±0.10	0.43±0.06	0.43±0.08	0.33±0.07	0.18±0.03
4	芳樟醇氧化物 II	6.61	0.94±0.11	—	—	—	—	—	—
5	(E)-芳樟醇氧化物(吡喃型)	6.59	2.50±0.32	3.92±0.22	1.73±0.17	9.71±0.48	6.83±0.29	1.15±0.15	5.61±0.68
6	石竹烯氧化物	16.83	0.54±0.11	—	—	—	—	—	—
7	呋喃	11.05	0.07±0.01	0.18±0.02	0.23±0.04	—	0.20±0.09	0.06±0.02	—
	总计		4.54±0.19	6.18±0.12	2.46±0.33	10.14±0.36	7.46±0.27	4.44±0.21	5.79±0.03
	所有总计		80.97±4.04	77.63±2.38	79.60±3.81	82.41±4.36	85.74±4.56	80.07±2.12	84.32±5.04

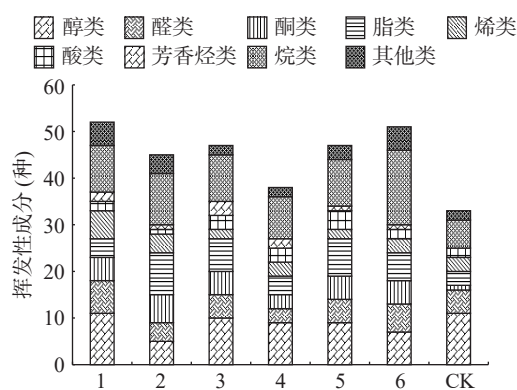


图1 不同干燥工艺处理对金牡丹茶花挥发性成分种类的影响

Fig.1 Effect of different drying processes on the types of volatile components in Jinmudan tea flowers

因醇类占比较高造成 CK 有青气,而冷冻干燥及热风干燥均无青气;酮类主要呈花果香及甜香且阈值低^[34],在冷冻干燥及热风干燥工艺中酮类相对含量占比均先增高后降低,最主要的酮为呈甜香、果香的苯乙酮,且 CK 仅含 α -紫罗兰酮(0.79%),说明冷冻干燥和热风干燥工艺对酮类的影响相似,与 CK 相比差异显著,推测自然干燥因处理时间长影响酮类物质的分解,这与刘真等^[35]对玫瑰花进行 120 h 的常温干燥处理后玫瑰花酮类含量占比显著低于热风干燥及冷冻干燥处理结果相同;酯类具有木香、乳香及蜡香等风味^[36-37],在热风干燥及冷冻干燥工艺中酯类均先升高后降低,其中除 CK 外所有处理均含具有脂肪味的棕榈酸甲酯,具有木香的邻茴香酸甲酯,但感官审评中均无脂肪味及木香,说明冷冻干燥和热风干燥工艺对酯类影响相似,且未明显影响其感官品质;醛类呈花果香及清香且阈值低,是茶香的主要组成部分^[34],在冷冻干燥工艺中醛类随着处理时间增加而降低,在热风干燥工艺中先增高后降低,CK 在所有处理中最高,主要为呈花香的苯甲醛;酸类多呈酸味、蜡味和奶香味^[38],主要有呈油味的油酸及呈蜡味的棕榈酸,但感官审评中均无油味或蜡味,可见其影响不大。烃类阈值较高且一般无香气,仅对茶的香气组成起间接作用^[38],同样影响不大。

综上所述,真空冷冻干燥及热风干燥工艺均可适度留住呈花香及甜香的挥发性物质,但因处理温度不同造成冷冻干燥工艺感官风味偏向花香、热风干燥工艺则偏向甜香,自然干燥工艺因呈花果香及清香的风味物质较多,进而呈现出青草香。

2.4 挥发性成分主成分分析

主成分分析结果见图 2 所示,茶树花样品的挥发性成分 PC1、PC2 分别为 56.6%、18.8%,累积贡献率达到 75.4%。主成分分析可比较各处理挥发性成分的相似度,其中处理 1、2、3,处理 4、5 距离较小,证明这些处理挥发性成分差异较小,而处理 1、2、3,处理 4、5,处理 6,CK 间距离较大,说明不同工艺(热风干燥工艺、冷冻干燥工艺、自然干燥工艺)对

挥发性成分有较大影响,同时处理 6 因其烷类相对含量达 40.46%,与其他处理间距离较大,说明热风干燥在一定处理时间后挥发性成分的相对含量会发生变化。在 PCA 基础上进行 HCA 分析结果见图 3,同时结合感官审评中的香气评价可知,处理 4、5 归为第 I 类群(熟香)且对应热风工艺,处理 1、2、3 为第 II 类群(蜜香)且对应冷冻干燥工艺,处理 6 为第 III 类群(熟香)且对应热风干燥工艺,CK 为第 IV 类群(青草香),与 PCA 分析结果一致。因此干燥工艺是影响茶树花香气成分的重要因素。

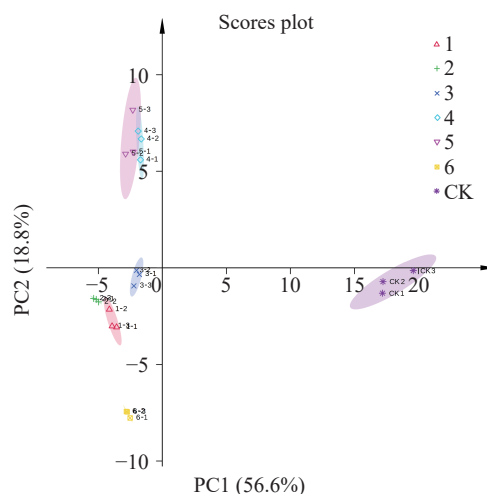


图2 不同干燥工艺处理金牡丹茶树花样品的挥发性成分主成分分析

Fig.2 Principal component analysis of volatile components in Jinmudan tea flowers samples with different drying processes

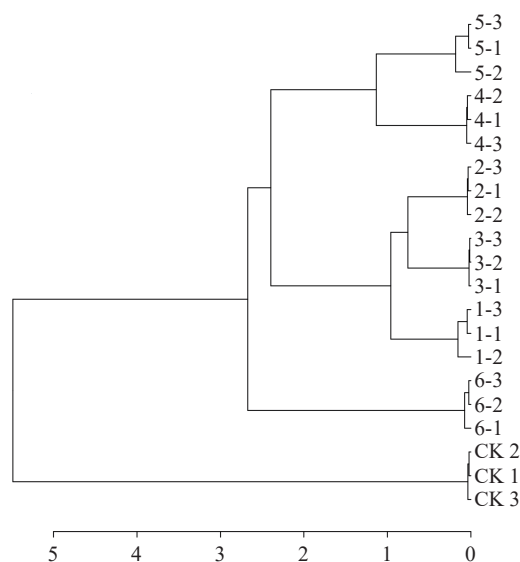


图3 不同干燥处理金牡丹茶树花样品的挥发性成分聚类分析

Fig.3 Cluster analysis of volatile components in Jinmudan tea flowers samples with different treatments

2.5 差异代谢物筛选分析

对不同处理茶树花样品的挥发性成分建立起 PLS-DA 模型,得出图 4,可看出该模型对茶树花样

© The Author(s) 2024. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

参考文献

- [1] CAO H. Polysaccharides from Chinese tea: Recent advance on bioactivity and function[J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2013, 62(11): 76–79.
- [2] CHEN Y Y, FU X M, MEI X, et al. Characterization of functional proteases from flowers of tea (*Camellia sinensis*) plants[J]. *Journal of Functional Foods*, 2016, 25: 149–159.
- [3] YANG Z, TU Y, BALDERMANN S, et al. Isolation and identification of compounds from the ethanolic extract of flowers of the tea (*Camellia sinensis*) plant and their contribution to the antioxidant capacity[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2009, 42(8): 1439–1443.
- [4] CHEN Y Y, ZHOU Y, ZENG L, et al. Occurrence of functional molecules in the flowers of tea (*Camellia sinensis*) plants: Evidence for a second resource[J]. *Molecules*, 2018, 23(4): 790.
- [5] JOSHI R, POONAM, GULATI A. Biochemical attributes of tea flowers (*Camellia sinensis*) at different developmental stages in the Kangra region of India[J]. *Scientia Horticulturae*, 2011, 130(1): 266–274.
- [6] MATSUDA H, NAKAMURA S, MORIKAWA T, et al. New biofunctional effects of the flower buds of *Camellia sinensis* and its bioactive acylated oleanane-type triterpene oligoglycosides[J]. *Journal of Natural Medicines*, 2016, 70(4): 689–701.
- [7] 王静, 石杨, 张艳, 等. 摘除茶花对白茶茶树春茶产量及生化成分的影响研究[J]. *茶叶通讯*, 2022, 49(4): 464–471. [WANG J, SHI Y, ZHANG Y, et al. Effects of flower removal on the yield and biochemical components of spring albino tea[J]. *Journal of Tea Communication*, 2022, 49(4): 464–471.]
- [8] JENI K, YAPA M, RATTANADECHO P. Design and analysis of the commercialized drier processing using a combined unsymmetrical double-feed microwave and vacuum system (case study: tea leaves)[J]. *Chemical Engineering and Processing*, 2010, 49(4): 389–395.
- [9] ZHAO L, FAN H, ZHANG M, et al. Edible flowers: Review of flower processing and extraction of bioactive compounds by novel technologies[J]. *Food Research International*, 2019, 126: 108660.
- [10] 张文斌, 王长雷, 史斌斌, 等. 干燥方式与贮藏时间对铁核桃雄花营养成分及抗氧化活性的影响[J]. *食品科学*, 2016, 37(9): 105–110. [ZHANG W E, WANG C L, SHI B B, et al. Effects of drying method and storage time on nutritional quality and antioxidant activity of walnut male flowers[J]. *Food Science*, 2016, 37(9): 105–110.]
- [11] DONG J, MA X, FU Z, et al. Effects of microwave drying on the contents of functional constituents of *Eucommia ulmoides* flower tea[J]. *Industrial Crops & Products*, 2011, 34(1): 1102–1110.
- [12] SIRIAMORNPNUN S, KAISOON O, MEESO N. Changes in colour, antioxidant activities and carotenoids (lycopene, β -carotene, lutein) of marigold flower (*Tagetes erecta* L.) resulting from different drying processes[J]. *Journal of Functional Foods*, 2012, 4(4): 757–766.
- [13] 石兴云, 刘伊琦, 念波, 等. 云南茶树花茶加工工艺与化学成分研究[J]. *保鲜与加工*, 2019, 19(3): 70–77, 83. [SHI X Y, LIU Y Q, NIAN B, et al. Study on processing technology and chemical compounds of flower tea of *Camellia sinensis* in Yunnan[J]. *Storage and Process*, 2019, 19(3): 70–77, 83.]
- [14] 盛金凤, 陈坤, 唐雅园, 等. 不同干燥方式茉莉花理化性质及挥发性成分分析[J]. *现代食品科技*, 2022, 38(8): 247–259, 34. [SHENG J F, CHEN K, TANG Y Y, et al. Analysis of physico-chemical properties and volatile components of jasmine under different drying methods[J]. *Modern Food Science and Technology*, 2022, 38(8): 247–259, 34.]
- [15] 黄艳, 商虎, 朱嘉威, 等. 加工工艺对茶树花品质及抗氧化活性的影响[J]. *食品科学*, 2020, 41(11): 165–170. [HUANG Y, SHANG H, ZHU J W, et al. Effects of processing treatments on quality and antioxidant activity of tea plant flower[J]. *Food Science*, 2020, 41(11): 165–170.]
- [16] 邓宇杰, 罗理勇, 田小军, 等. 干燥方式对不同品种茶树花主要生化成分的影响[J]. *食品工业科技*, 2017, 38(7): 356–360, 364. [DENG Y J, LUO L Y, TIAN X J, et al. Effects of drying methods on the principal biochemical components of different cultivars of tea flower[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2017, 38(7): 356–360, 364.]
- [17] 毛雅琳, 汪芳, 尹军峰, 等. 不同茶树品种碾茶的品质分析[J]. *茶叶科学*, 2020, 40(6): 782–794. [MAO Y L, WANG F, YIN J F, et al. Quality analysis of tencha made from different tea cultivars[J]. *Journal of Tea Science, Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2020, 40(6): 782–794.]
- [18] 张英娜, 陈根生, 刘阳, 等. 烘青绿茶苦涩味及其滋味贡献物质分析[J]. *茶叶科学*, 2015(4): 377–383. [ZHANG Y N, CHEN G S, LIU Y, et al. Analysis of the bitter and astringent taste of baked green tea and their chemical contributors[J]. *Journal of Tea Science*, 2015(4): 377–383.]
- [19] 安会敏, 欧行畅, 熊一帆, 等. 茉莉花茶特征香气成分研究[J]. *茶叶科学*, 2020, 40(2): 225–237. [AN H M, OU X C, XIONG Y F, et al. Study on the characteristic aroma components of jasmine tea[J]. *Journal of Tea Science*, 2020, 40(2): 225–237.]
- [20] LIN J, CHEN Y, ZHANG P, et al. A novel quality evaluation index and strategies to identify scenting quality of jasmine tea based on headspace volatiles analysis[J]. *Food Ence and Biotechnology*, 2013, 22: 331–340.
- [21] ZHENG M Y, XIA Q L, LU S M. Study on drying methods and their influences on effective components of loquat flower tea[J]. *Food Science and Technology*, 2015, 63: 14–20.
- [22] 李云捷, 付华军, 于博, 等. 中国花茶营养成分分析及主要加工工艺研究进展[J]. *保鲜与加工*, 2019, 19(5): 207–210. [LI Y J, FU H J, YU B, et al. Nutritional function analysis of Chinese scented tea and research progress on its main processing technology[J]. *Storage and Process*, 2019, 19(5): 207–210.]
- [23] 张凌云, 杨春, 刘玉芳. 低温真空干燥技术在花茶加工上的应用研究[J]. *现代农业科技*, 2013(2): 284–285. [ZHANG L Y, YANG C, LIU Y F. Study on the application of low temperature vacuum drying technology in flower tea processing[J]. *Modern Agricultural Science and Technology*, 2013(2): 284–285.]
- [24] 黄潇, 王丙武, 冯巩, 等. 不同干燥方式对茶树花品质的影响[J]. *食品科技*, 2017, 42(12): 82–87. [HUANG X, WANG B W, FENG G, et al. Nutritional function analysis of Chinese scented tea and research progress on its main processing technology[J]. *Food Science and Technology*, 2017, 42(12): 82–87.]
- [25] 罗小梅, 林国轩, 覃榆茏, 等. 冷冻真空-热风联合干燥技术对金花茶花朵品质的影响[J]. *中国热带农业*, 2021(3): 67–72. [LUO X M, LIN G X, QIN Y L, et al. Effects of freeze vacuum combining with hot blast drying technology on the quality of *Camellia nitidissima* flowers[J]. *China Tropical Agriculture*, 2021(3): 67–

- 72.]
- [26] 陈思颖, 李云捷, 于博, 等. 牡丹花冠茶加工工艺[J]. 食品工业科技, 2018, 39(22): 175–179. [CHEN S Y, LI Y J, YU B, et al. Research of processing technology about the peony corolla tea[J]. Science and Technology of Food Industry, 2018, 39(22): 175–179.]
- [27] 侯娜, 赵莉莉, 魏安智, 等. 不同种质花椒氨基酸组成及营养价值评价[J]. 食品科学, 2017, 38(18): 113–118. [HOU N, ZHAO L L, WEI A Z, et al. Amino acid composition and nutritional quality evaluation of different germplasms of Chinese prickly ash (*Zanthoxylum bungeanum* Maxim)[J]. Food Science, 2017, 38(18): 113–118.]
- [28] 刘伟, 张群, 李志坚, 等. 不同品种黄花草游离氨基酸组成的主成分分析及聚类分析[J]. 食品科学, 2019, 40(10): 243–250. [LIU W, ZHANG Q, LI Z J, et al. Principal component analysis and cluster analysis for evaluating free amino acids of different cultivars of daylily buds[J]. Food Science, 2019, 40(10): 243–250.]
- [29] 赵金梅, 孙蕊, 巩丽莉, 等. 干燥方式对沙枣花品质和挥发性风味成分的影响[J]. 食品科学, 2020, 41(22): 265–270. [ZHAO J M, SUN R, GONG L L, et al. Effects of different drying methods on nutritional and volatile aroma components in flowers of *Elaeagnus angustifolia*[J]. Food Science, 2020, 41(22): 265–270.]
- [30] 杜哲儒. 加工工艺对安化千两茶品质的影响研究[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2021. [DU R Z. Research on the effect of processing technology on the quality of Anhua Qianliang tea[D]. Changsha: Hunan Agricultural University, 2021.]
- [31] 杨双喜, 马尧, 张海红, 等. 干燥方式对黄花草粉营养、色泽及氨基酸含量的影响[J]. 中国食品学报, 2022, 22(10): 232–241. [YANG S X, MA Y, ZHANG H H, et al. Effects of drying methods on the nutrition, color and amino acid content of daylily powder[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2022, 22(10): 232–241.]
- [32] 邓见田, 晏美红, 尚铂昊, 等. 基于 HS-SPME-GC-MS 技术分析不同种类黑茶香气成分[J]. 食品工业科技, 2023, 44(18): 378–386. [DENG J T H, YAN M H, SHANG B H, et al. Study on aroma components in different types of dark tea based on HS-SPME-GCMS[J]. Science and Technology of Food Industry, 2023, 44(18): 378–386.]
- [33] 彭云, 李果, 刘学艳, 等. 不同产地红茶香气品质的 SPME/GC-MS 分析[J]. 食品工业科技, 2021, 42(9): 228–235. [PENG Y, LI G, LIU X Y, et al. SPME/GC-MS analysis of aroma quality of black tea from different producing areas[J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 42(9): 228–235.]
- [34] 朱文政, 严顺阳, 徐艳, 等. 顶空固相微萃取-气质联用分析不同烹制时间红烧肉挥发性风味成分[J]. 食品与发酵工业, 2021, 47(2): 247–253. [ZHU W Z, YAN S Y, XU Y, et al. Analysis of volatile flavor components of braised pork with different cooking time by SPME-GC-MS[J]. Food and Fermentation Industries, 2021, 47(2): 247–253.]
- [35] 刘真, 汤晓娟, 王彬, 等. 基于风味成分分析的不同干燥方式玫瑰花茶鉴别技术研究[J]. 食品安全质量检测学报, 2022, 13(12): 3842–3849. [LIU Z, TANG X J, WANG B, et al. Study on identification technology of rose tea with different drying methods based on flavor compounds analysis[J]. Journal of Food Safety and Quality, 2022, 13(12): 3842–3849.]
- [36] 夏红玲, 苗爱清, 陈维, 等. 闷黄对黄茶香气特征及关键香气化合物的影响[J]. 食品工业科技, 2023, 44(7): 28–37. [XIA H L, MIAO A Q, CHEN W, et al. Effects of sealed yellowing on aroma characteristic and key aroma compounds of yellow tea[J]. Science and Technology of Food Industry, 2023, 44(7): 28–37.]
- [37] 张杏民, 陈宏宇, 王超, 等. 茯砖茶独特香气形成的物质基础及评价方法研究进展[J]. 食品科学, 2023, 44(3): 296–305. [ZHANG X M, CHEN H Y, WANG C, et al. Research progress on the material basis and evaluation methods for the unique aroma of fu brick tea[J]. Food Science, 2023, 44(3): 296–305.]
- [38] 曾桥, 唐文洁, 温谨瑞, 等. 顶空固相微萃取-气相色谱-质谱法分析杜仲叶茯砖茶加工过程中挥发性成分[J]. 食品工业科技, 2023, 44(1): 96–108. [ZENG Q, TANG W J, WEN J R, et al. Analysis of volatile components in the manufacturing process of *Eucommia ulmoides* leaves Fuzhuan tea based on headspace solid phase microextraction/gas chromatography-mass spectrometry method[J]. Science and Technology of Food Industry, 2023, 44(1): 96–108.]
- [39] SU D, HE J J, ZHOU Y Z, et al. Aroma effects of key volatile compounds in Keemun black tea at different grades: HS-SPME-GC-MS, sensory evaluation, and chemometrics[J]. Food Chemistry, 2021, 136: 109355.]