

doi:10.12301/spxb202400754

文章编号:2095-6002(2025)05-0155-14

引用格式:杨霁虹,徐玉婕,朱林,等.做形工艺对祁红金针感官品质的影响[J].食品科学技术学报,2025,43(5):155-168.



YANG Jihong, XU Yujie, ZHU Lin, et al. Effect of shaping methods on sensory quality of Keemun black tea-Jinzhen[J]. Journal of Food Science and Technology, 2025,43(5):155-168.

做形工艺对祁红金针感官品质的影响

杨霁虹¹, 徐玉婕¹, 朱林², 周汉琛^{1,*}, 王辉¹, 刘亚芹¹, 雷攀登¹

(1.安徽省农业科学院茶叶研究所,安徽黄山 245000;

2.合肥海关技术中心食品安全分析与检测安徽省重点实验室,安徽合肥 230022)

摘要:为探究做形工艺对祁红金针感官品质的影响,以皖茶4号茶鲜叶为原料,采用相同的萎凋、揉捻、发酵工序,以4种不同的做形工艺制成祁红金针茶叶样品。通过感官审评结合超高效液相色谱-四极杆-静电场轨道阱-质谱、顶空固相微萃取-气相色谱质谱联用等技术,分析关键滋味和香气物质的差异。4种不同的做形工艺分别为初烘后2次机械理条做形(工艺1)、初烘后1次机械理条做形(工艺2)、初烘后1次机械理条加手工做形(工艺3)和直接2次机械理条做形(工艺4)。感官评审结果表明,做形工艺对祁红金针茶叶的外形、滋味、香气均有影响,感官评审得分由高到低依次为工艺3、工艺2、工艺4、工艺1。工艺4样品的外形紧直度、条形较佳,工艺3对外形的显著特征有促进作用;手工做形可提升茶叶的外形品质,初烘后发酵叶含水率降低,不利于茶叶条形的塑造,但有利于香气和滋味品质;工艺3样品香气甜花香较高、较爽,滋味醇厚、较爽,综合得分最高;工艺4样品香气甜花香较高,但滋味醇厚度低于工艺3;工艺2样品的外形得分较低,但是香气的甜花香高,滋味较醇厚。滋味成分测定分析显示,工艺3能较好地保留样品中儿茶素、茶红素、游离氨基酸、可溶性糖、茶黄素-3,3'-双没食子酸酯的含量,工艺2能保留样品中较高含量的茶黄素,但3-O-没食子酰基奎宁酸含量也较高,增强茶汤的涩味,而工艺1样品和工艺4样品中奎宁酸含量较高,不利于茶汤的滋味品质。挥发性化合物分析结果显示,香叶醇、苯甲醇、苯乙醇、芳樟醇、水杨酸甲酯、2-己烯醛是影响不同做形工艺祁红金针香气品质的重要化合物。工艺3样品中呈花果香的挥发性化合物与具有其他味道(如脂肪味、青气等)化合物的气味活度值比值最高,香气品质最好。研究旨在阐明4种做形工艺对祁红金针感官品质的影响,希望为祁红金针的工艺提升提供理论依据与技术参考。

关键词:祁红金针;做形工艺;感官评价;滋味物质;挥发性化合物**中图分类号:** TS272.4**文献标志码:** A

祁门红茶是中国传统十大名茶之一,其汤色红
艳明亮、滋味醇厚、香气似果似蜜,在国内外享有盛

誉。近年来,除传统的祁门工夫红茶外,为了满足消
费者需求,市场中出现了祁门红茶新品类——祁红

收稿日期:2024-11-27

基金项目:安徽省财政农业科技成果转化项目(2024ZH013);安徽省科技特派员项目(2023tpt43);国家茶叶产业技术体系项目(CARS-19)。

Foundation: Anhui Financial Agricultural Science and Technology Achievements Transformation Project (2024ZH013); Anhui Science and Technology Commissioner Project (2023tpt43); National Tea Industry Technology System Project (CARS-19).

第一作者:杨霁虹,女,助理研究员,主要从事茶叶生物化学及分子生物学方面的研究。

*通信作者:周汉琛,女,副研究员,博士,主要从事茶叶生物化学及分子生物学方面的研究。

金针^[1]。祁红金针采用春季早期优质鲜叶原料制作,外形紧细挺直、金毫显露,属于祁门红茶中的高端产品,受到消费者的喜爱。

祁红金针基本加工工艺包括萎凋、揉捻、发酵、做形、干燥,其中做形是影响外形和品质的关键步骤。目前,多数研究集中在探究不同干燥成形方式的红茶品质分析,如 Xu 等^[1]分析了祁门工夫红茶、祁红毛峰、祁红香螺、祁红金针 4 种干燥成形方式的祁门红茶香气品质差异,发现祁门工夫红茶挥发性化合物总量最高,香叶醇、 β -紫罗兰酮、苯乙醛、芳樟醇和苯乙醇是影响祁门红茶整体香气的主要化合物,相同原料不同干燥成形方式可以改变挥发性化合物的比例。李荣林等^[2]分析了卷曲形、毛峰型、扁形、针形 4 种形态的白叶红茶品质特征,发现 4 种红茶色、香、味感官品质总体接近,而足火成形过程使得不同形态白叶红茶香气组成发生一定变化,对具体香型产生了细微影响,4 种红茶基本香型为甜香,卷曲形红茶偏花香、毛峰型红茶略带花香、扁形红茶略带果香、针形红茶甜香显露。也有研究通过引入新设备,探究设备参数对针形红茶品质影响^[3]。

由于祁红金针做形工艺标准不统一,使得该茶类品质不稳定。研究以皖茶 4 号茶鲜叶为原料,对比 4 种不同的做形工艺,使用感官审评、超高效液相色谱-四极杆-静电场轨道阱-质谱 (ultra-high performance liquid chromatography-quadrupole-exactive-mass spectrometry, UPLC-Q-Exactive-MS)、顶空固相微萃取-气相色谱质谱联用法 (headspace-solid phase microextraction-gas chromatography-mass spectrometry, HS-SPME-GC-MS) 等技术,通过对样品的外形、滋味、香气组成的分析,探究不同做形工艺对祁红金针感官品质的影响,以期对祁红金针的生产提供一定的理论依据和指导。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

所用鲜叶为 2024 年 3 月 25 日采摘的皖茶 4 号新梢,采自安徽省祁门县,采摘标准为一芽一叶初展,鲜叶约 15 kg。

儿茶素 (catechin, C, $\geq 97\%$)、表儿茶素 (epicatechin, EC, $\geq 99\%$)、没食子儿茶素 (gallocatechin, GC, $\geq 98\%$)、表没食子儿茶素 (epigallocatechin,

EGC, $\geq 98\%$)、表没食子儿茶素没食子酸酯 (epigallocatechin gallate, EGCG, $\geq 98\%$)、没食子儿茶素没食子酸酯 (gallocatechin gallate, GCG, $\geq 98\%$)、表儿茶素没食子酸酯 (epicatechin gallate, ECG, $\geq 98\%$)、没食子酸 (gallic acid, GA, $\geq 99\%$)、原花青素 B1 ($\geq 97\%$)、原花青素 B2 ($\geq 99\%$)、原花青素 B3 ($\geq 98\%$)、原花青素 B4 ($\geq 98\%$)、杨梅素 ($\geq 97\%$)、奎宁酸 ($\geq 98\%$)、1-没食子酸酐葡萄糖 ($\geq 98\%$)、对-香豆酸 ($\geq 98\%$)、槲皮素 ($\geq 98.5\%$)、槲皮素-3-O-葡萄糖苷 ($\geq 98\%$)、山柰酚 ($\geq 98\%$)、茶黄素 ($\geq 99\%$)、茶黄素-3-没食子酸酯 ($> 98\%$)、上海麦克林生化科技股份有限公司;芦丁 ($\geq 98\%$)、山柰酚 3-O-葡萄糖苷 ($\geq 98\%$)、芹菜素-7-O- β -D-吡喃葡萄糖苷 ($\geq 98\%$)、山柰酚-3-O-芸香苷 ($\geq 98\%$)、茶黄素-3'-没食子酸 ($\geq 98\%$)、茶黄素-3,3'-双没食子酸 ($\geq 98\%$)、山柰酚 3-O-二香豆酰基葡萄糖苷 ($\geq 95\%$)、槲皮素-3-芸香糖苷-7-葡萄糖苷 ($\geq 95\%$)、上海源叶生物科技有限公司;咖啡碱,北京海岸鸿蒙标准物质技术有限责任公司;蒽酮、 β -紫罗兰酮 ($\geq 97\%$)、癸酸乙酯 ($\geq 99\%$)、芳樟醇 ($\geq 98\%$)、苯甲醇 ($\geq 99.5\%$)、苯乙醇 ($\geq 98\%$)、香叶醇 ($\geq 99\%$)、(Z)-丁酸-3-己烯酯 ($\geq 98\%$)、上海阿拉丁生化科技股份有限公司;游离氨基酸标准品,德国 Sykam 公司;正构烷烃 ($C_5 \sim C_{20}$),美国 Sigma-Aldrich 公司;(Z)-3-己烯醇苯甲酸酯 ($\geq 97\%$)、癸醛 ($\geq 97\%$)、橙花醇 ($\geq 98\%$)、(Z)-己酸-3-己烯酯 ($\geq 98\%$)、己酸己酯 ($\geq 98\%$)、(E,E)-2,4-庚二烯醛 ($\geq 90\%$)、苯甲醛 ($\geq 99.5\%$)、顺茉莉酮 ($\geq 92\%$)、水杨酸甲酯 ($\geq 99\%$)、梯希爱(上海)化成工业发展有限公司;(E)-3-己烯基丁酸酯 ($\geq 98\%$)、Adamas-beta 试剂有限公司;硫酸,国药集团化学试剂有限公司。

1.2 仪器与设备

6CWD-10 型茶叶萎凋机,祁门县精得利机械设备有限公司;6CR-40 型茶叶揉捻机、6CLZ60-11 型振动理条机、6CGZ65/2 型电炒锅组,浙江上洋机械股份有限公司;6CHM-901 型电热式烘干机,浙江春江茶叶机械有限公司;FSJ-A03D1 型粉碎机,广东小熊电器有限公司;Chromaster 型高效液相色谱仪,日本日立公司;S-433D 型氨基酸分析仪,德国 Sykam 公司;UPLC-Q-Exactive 高效液相色谱-质谱联用系统;Ultimate 3000 型高效液相色谱系统,美国戴安公司;Q-Exactive 型高分辨质谱仪,美国赛默飞

世尔科技公司;GC MS-QP2020 NX 型气相色谱质谱联用仪,日本岛津公司;DB-5MS 型石英毛细管柱(30 m × 250 μm × 0.25 μm),美国安捷伦公司;50/30 μm 二甲基苯/碳分子筛/聚二甲基硅氧烷(divinylbenzene/carboxen/polydimethylsiloxane, DVB/CAR/PDMS)萃取纤维、萃取手柄,美国色谱科公司。

1.3 实验方法

1.3.1 茶样制备

鲜叶室内自然摊放 7 h 后,室温自然萎凋 14 h,热风萎凋(摊叶厚度 8 cm),至含水率约 60%。揉捻机揉捻 60 min,程序为空揉 35 min,轻压 15 min,重压 10 min。揉捻后,人工解块放入温度 25 ℃,相对湿度 85% 的发酵室发酵至适度,再分别采用 4 种不同的做形工艺制作祁红金针红茶样品。

工艺 1 为发酵叶初烘后机械理条做形 2 次。具体操作为 100 ℃ 初烘 4 min,下机摊晾 30 min,随后 150 ℃ 机械理条 4 min,下机摊晾 30 min,再 100 ℃ 机械理条 8 min,最后干燥得到工艺 1 样品。

工艺 2 为发酵叶初烘后机械理条做形 1 次。具体操作为 100 ℃ 初烘 4 min,下机摊晾 30 min,随后 150 ℃ 机械理条 4 min 后,降温至 110 ℃ 机械理条 9 min,最后干燥得到工艺 2 样品。

工艺 3 为传统的发酵叶初烘后机械理条 1 次加手工做形。具体操作为 100 ℃ 初烘 4 min,下机摊晾 30 min,随后 150 ℃ 机械理条 4 min,下机摊晾 30 min,再在放入锅温 150 ℃ 的电炒锅中手工做形 5 min,最后干燥得到工艺 3 样品。

工艺 4 是生产中为了提高生产效率,发酵叶直接机械理条做形。具体操作为 170 ℃ 机械理条 4 min 后,降温至 130 ℃ 机械理条 7 min,下机摊晾 30 min,再 110 ℃ 机械理条 8 min,最后干燥得到工艺 4 样品。

理条做形后干燥方式均为烘干机 80 ℃ 烘 5 min,下机摊晾 30 min 后 70 ℃ 烘 20 min(图 1)。用粉碎机打磨部分 4 种做形工艺制得的祁红金针茶叶样品,过 60 目筛,得到茶粉样品,与茶叶样品一同密封贮藏于 -20 ℃ 冰箱中,用于后续分析。

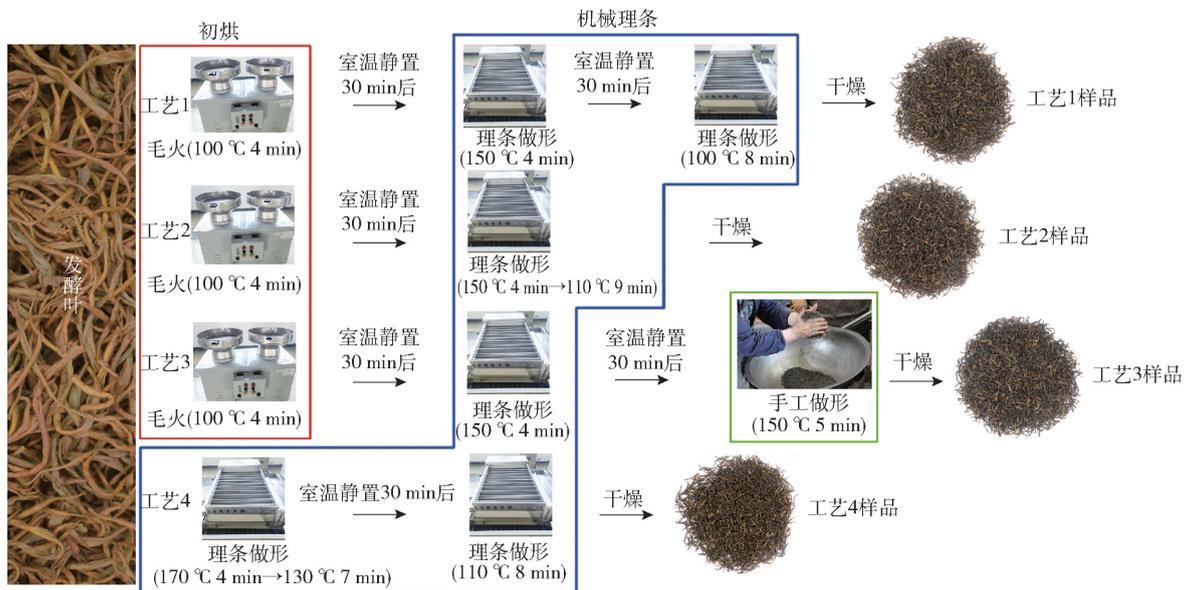


图 1 祁红金针做形工艺流程及干茶样品

Fig. 1 Shaping processing and dry tea samples of Keemun black tea-Jinzhenshen

1.3.2 感官审评

由 5 名专业评审人员组成感官审评小组,参照 GB/T 23776—2018《茶叶感官审评方法》中红茶审评方法进行感官审评。具体步骤:对干茶外形进行评价并按百分制进行评分之后,准确称取 3.0 g 茶样,置于 150 mL 审评杯中,沸水冲泡 5 min 后,按冲泡次序依次将茶汤等速沥入审评碗,对茶汤的汤色、香气、滋

味以及叶底进行评价并按百分制进行评分。审评总分 = 外形得分 × 25% + 香气得分 × 25% + 滋味得分 × 30% + 汤色得分 × 10% + 叶底得分 × 10%。

1.3.3 滋味成分的测定

通过对茶黄素(theaflavins, TFs)、茶红素(thearubigins, TRs)、茶褐素(theabrownine, TB)、可溶性总糖、儿茶素、咖啡碱、游离氨基酸、黄酮等非挥发性

成分含量的测定,分析不同做形工艺对茶叶样品滋味的影响。

TFs、TRs、TB 含量的测定采用系统分析法^[4];可溶性总糖含量的测定采用蒽酮比色法^[4]。

儿茶素、咖啡碱、游离氨基酸的含量的测定参照文献^[5]进行。取 0.25 g 茶粉封入茶包,置于锥形瓶中并加入 8 mL 沸水,90 °C 水浴 10 min 后迅速冷却,转移到 25 mL 容量瓶中,重复 3 次后定容至 25 mL。用稀释液稀释后用 0.45 μm 水系滤膜过滤,分别用于游离氨基酸(稀释 4 倍)和儿茶素(稀释 3 倍)检测。每组样品重复测定 4 次。

黄酮及其他滋味成分含量的测定采用 UPLC-Q-Exactive-MS 方法。称取 60 mg 茶粉,加入 1.8 mL 体积分数 80% 的预冷甲醇溶液,经涡旋 15 s,超声 10 min;10 000 r/min 离心 10 min 后取上清液,重复提取 2 次,合并上清液后摇匀,用 0.22 μm 有机系滤膜过滤样品后上样。色谱柱为 ZORBAX SB-C18 (3 mm × 150 mm × 1.8 μm),流动相及运行梯度与文献^[5]中方法一致。每组样品重复测定 5 次。

1.3.4 气味成分的测定

1.3.4.1 挥发性化合物的测定

采用 HS-SPME-GC-MS 方法对茶叶样品中挥发性化合物进行测定,萃取条件及 GC-MS 条件参考文献^[5]。

HS-SPME 萃取条件。准确称取 0.2 g 茶粉放入顶空瓶,加入 0.15 g 无水氯化钠和 5 mL 沸水,加入转子,立即用锡箔纸密封瓶口,插入萃取纤维,在 60 °C 恒温水浴下恒速搅拌吸附 40 min。每组样品重复测定 4 次。

GC-MS 条件。进样口温度 250 °C,解吸附 5 min。分流比 8:1。色谱柱升温程序:40 °C 保留 5 min;以 3 °C/min 速率升到 85 °C 并停留 2 min;以 3 °C/min 速率升到 110 °C 并停留 1 min;再以 5 °C/min 速率升到 200 °C 并停留 1 min,最后以 15 °C/min 速率升到 260 °C 并停留 3 min。载气为高纯氮气(>99.99%),载气流速为 1 mL/min。

定性方法。采用质谱库检索、保留指数(retention index, RI)、标准品比对 3 种方式定性分析。

定量方法。以脱香茶粉为空白茶叶基质,进行定量分析。将红茶样与沸水置于圆底烧瓶中,设置旋转蒸发器水浴条件为 60 °C,200 r/min,旋转蒸发至几乎无水,重复上述操作至无明显气味后,置于 40 °C 的烘箱中干燥。最后通过 GC-MS

检测,挥发性化合物的数量明显减少且丰度均在 5 000 以下,即得脱香茶粉^[6]。以外标准曲线计算每种挥发性成分的含量。将不同质量浓度的标准品(甲醇梯度稀释)分别添加至空白茶叶基质中,采用相同 HS-SPME-GC-MS 参数条件进行萃取及分析,建立相应的标准曲线。对于没有标准品的化合物采用癸酸乙酯的标准曲线进行计算。

1.3.4.2 气味化合物的测定

计算挥发性成分的气味活度值(odor activity value, OAV),OAV 大于 1 的挥发性成分被视为气味成分。OAV 计算方法见式(1)。

$$OAV = \frac{C_i}{T_i} \quad (1)$$

式(1)中, C_i 为挥发性物质质量浓度,μg/L; T_i 为挥发性成分在水中的香气阈值,μg/L^[7]。

1.4 数据处理

GC-MS 数据以平均值 ± 标准差表示;数据差异显著性分析采用 SPSS 20.0 单因素方差分析(ANOVA)中的 Duncan 法, $P < 0.05$ 表示数据具有显著性差异;UPLC-Q-Exactive-MS 数据的峰匹配与峰面积提取采用 Xcalibur 软件;偏最小二乘判别分析(partial least squares-discriminant analysis, PLS-DA)分析、变量权重重要性排序(variable importance in projection, VIP)分析采用 SIMCA14.1 完成,原始数据均采用 pareto scaling(Par)归一化处理;聚类热图采用 Tbtools 完成,用 row scale 进行归一化,归一化方法选择 normalized 并进行 cluster rows 行聚类,其他参数设置为默认值;柱状图绘制采用 GraphPad Prism 9。

2 结果与分析

2.1 做形工艺对祁红金针感官品质的影响

4 种做形工艺制成的祁红金针感官审评结果见表 1。从外形条索来看,工艺 3 和工艺 4 样品更符合祁红金针的外形特征,工艺 3 样品较紧直且多毫,工艺 4 样品紧直、显毫,工艺 1 和工艺 2 样品不够紧直,稍有弯曲,说明发酵叶经过初烘后快速失水,不利于茶叶条形的塑造,而手工做形过程中茶叶的叶温较低,施加适当力度有利于条形的塑造。从香气品质来看,4 组红茶香气类型均为甜花香,但香气强度存在差异,如工艺 2 样品甜花香高,工艺 3 样品香气高且令人愉悦,因此两者得分高。从滋味品质来

看,工艺3样品滋味的厚度和鲜爽度优于其他3种工艺样品。从汤色品质来看,工艺2样品汤色亮度优于其他3种工艺样品。叶底品质差异不大。4种

做形工艺制成的祁红金针感官评分总分高低顺序依次为工艺3(93.37分)、工艺2(92.62分)、工艺4(92.57分)、工艺1(92.20分)。

表1 不同做形工艺祁红金针的感官审评结果

Tab. 1 Sensory evaluation results of different Keemun black tea-Jinzhen with different shaping methods

样品	外形(25%)		香气(25%)		滋味(30%)		汤色(10%)		叶底(10%)		总分/分
	评分/分	评语	评分/分	评语	评分/分	评语	评分/分	评语	评分/分	评语	
工艺1	92.5	尚紧直、乌较润、显毫	92.5	甜花香尚高	91.5	尚醇厚	91.5	较红尚亮	93.5	红匀亮	92.20
工艺2	92.0	尚紧直、稍弯、乌较润、显毫	93.5	甜花香高	92.0	较醇厚	93.5	红亮	93.0	红较匀亮	92.62
工艺3	93.5	较紧直、乌润、多毫	94.0	甜花香较高较爽	93.0	醇厚较爽	93.0	红较亮	93.0	红较匀亮	93.37
工艺4	94.0	紧直、乌较润、显毫	92.5	甜花香较高	91.5	尚醇厚	92.0	较红亮	93.0	红较匀亮	92.57

2.2 做形工艺对祁红金针滋味的影响

红茶滋味是茶汤中多种呈味物质的综合体现。研究检测了4种祁红金针中与红茶滋味品质相关的主要生化成分含量,结果如图2所示。

儿茶素是茶叶中最主要的多酚化合物,与茶汤浓度、强度和收敛性相关^[8]。由图2(a)可知,儿茶素总量在工艺3样品中显著高于其他样品,有利于工艺3样品滋味的浓强度。

茶色素是茶多酚(主要是儿茶素)氧化聚合成的氧化产物,与红茶茶汤的颜色和滋味密切相关^[9]。TFs是影响红茶茶汤亮度、滋味浓强度和鲜爽度的重要物质^[10];TRs是影响红茶汤色红度、滋味浓强度的重要物质^[11-12],而TB则使红茶茶汤发暗、滋味平淡,其含量与红茶品质呈负相关^[13]。由图2(b)可知,TFs含量在工艺2样品和工艺4样品中显著高于工艺1样品和工艺3样品。TRs含量在工艺4样品中最高,其次为工艺3样品,两者间含量呈显著差异。工艺4样品的TB含量最低。由于振动理条机主要靠茶叶与槽壁接触传热,工艺4相对于其他工艺没有初烘阶段直接振动理条,虽然设定温度较高,但存在受热不均的现象,可能出现酶活钝化不均匀,导致儿茶素继续氧化,从而使得儿茶素类保留较少,而TFs、TRs含量较高。研究表明影响茶汤色泽的因素较多,黄酮、黄酮醇及其糖苷类在茶汤中呈现淡黄色至亮黄色,是形成红茶茶汤色泽的主要化合物、茶氨酸等氨基酸和糖类在加热条件下的产物呈现淡黄色或淡粉色,浓度高时呈现橙黄色和橙红色,对茶汤颜色也有一定影响^[14]。

咖啡碱是使茶汤滋味呈苦味的主要因素之一^[15],其含量在前3个样品中无显著差异,在工艺4样品中最低。

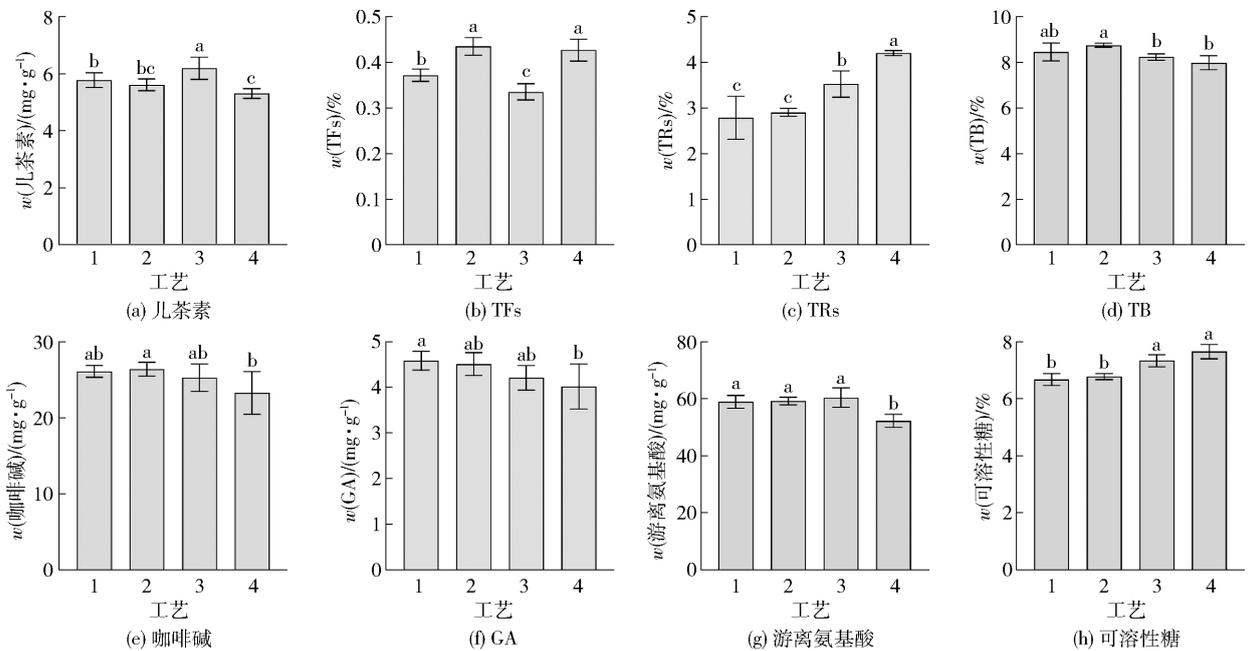
GA被证明是红茶茶汤酸味和涩味的贡献者^[12],也有研究发现没食子酸具有回甘的滋味特征^[16]。由图2(f)可知,GA含量在工艺1样品中最高,工艺4样品中最低,两者间存在显著差异。

游离氨基酸是红茶茶汤鲜爽滋味的重要品质成分,同时参与红茶香气的形成^[8]。由图2(g)可知,游离氨基酸总量在工艺3样品中最高,工艺4样品中最低,两者间存在显著差异,符合审评结果中工艺3样品滋味鲜爽的特征。推测除工艺4外,其他样品在初烘阶段酶活性快速钝化,随着后期茶叶不断失水,叶温逐渐升高,以热化学反应为主^[17],在热的作用下,部分蛋白质、淀粉裂解形成氨基酸,含量增加。

可溶性糖是使茶汤呈现甜味的重要成分,能缓解茶汤中咖啡碱带来的苦涩味^[18]。由图2(h)可知,工艺3样品和工艺4样品的可溶性糖含量显著高于工艺1样品和工艺2样品。研究发现茶氨酸和可溶性糖之间存在鲜甜味的协同作用^[18],也有利于工艺3样品滋味品质的形成。

利用UPLC-Q-Exactive-MS技术检测黄酮醇及其他滋味成分,共鉴定出50种非挥发性物质,包括12种儿茶素二聚体、24种黄酮醇及黄酮(醇)苷、1种有机酸、7种酚酸以及6种水解单宁类物质。

对这50种化合物进行单因素方差分析,共筛选出46种差异化合物($P < 0.05$),采用聚类热图对这些差异成分进行分析,结果见图3。由图3可知,46种差异化合物大致可以分为3类。第1类化合物为工艺1样品中相对含量较低,其他工艺样品中相对含量较高的化合物。主要包括二聚儿茶素(茶黄素-3'-没食子酸酯、原花青素B4、表儿茶素-表儿茶素没食子酸酯、聚酯型儿茶素B)、水解单宁类(没食子儿茶素葡萄糖苷、二没食子酰葡萄糖)、酚酸类(3-



不同小写字母表示不同工艺间差异显著 ($P < 0.05$)。

图2 不同做形工艺祁红金针中主要滋味化合物含量分析

Fig. 2 Content analysis of main taste compounds in Keemun black tea-Jinzhen with different shaping methods

对香豆酰奎宁酸、3-咖啡酰奎宁酸、绿原酸)、黄酮(槲皮素、杨梅素)等。第2类为工艺1样品中相对含量高于其他样品的化合物,主要包括黄酮/黄酮醇苷类(山柰酚糖苷)等。第3类为工艺3样品中相对含量低于其他工艺样品的化合物,主要包括黄酮醇苷类(杨梅素糖苷、槲皮素糖苷)、奎宁酸、山柰酚等。

PLS-DA 是一种有监督的模式识别方法,是用来判断研究数据分类的常用统计分析方法^[19]。基于50种化合物对4组样品进行PLS-DA分析,结果见图4。由图4(a)所示,工艺1样品与其他3组样品间距离较远,说明物质差异较大。VIP值被作为多维模型差异元素选择的指标。一般情况下认为,VIP值大于1的组分为贡献变量,VIP值大于1.5的组分为极显著的贡献变量^[20]。对4个样品的黄酮醇及其他滋味成分做了变量投影重要性排序,结果见图4(b)。由图4(b)可知,VIP值大于1的化合物共9种,这9种物质可被认为是受做形方式影响较大的化合物。其中VIP值大于1.5的化合物组分共4种,分别为3-O-没食子酰基奎宁酸、顺-5-对香豆酰奎宁酸、奎宁酸、茶黄素-3,3'-双没食子酸酯。其中3-O-没食子酰基奎宁酸(茶没食子素)属于酚酸类化合物,影响茶汤的涩味^[21],其含量在工艺1样品和工艺2样品中较高。顺-5-对香豆酰奎宁酸属于酚

酸类化合物,在工艺2样品中含量较高。研究证明4-对香豆酰奎宁酸在红茶中具有涩味属性^[22],而顺-5-对香豆酰奎宁酸与4-O-对香豆酰基奎宁酸结构相似,都含有酚羟基等能够与唾液蛋白发生缩合反应,引起口腔的收敛和皱缩的官能团,从而产生涩感^[23-24]。推测顺-5-对香豆酰奎宁酸可能也具有一定的涩味。但这只是基于结构相似性的推测,还需要更多的实验研究来证实。奎宁酸是茶叶中主要的有机酸,能够影响茶汤的pH。Zhuang等^[25]研究表明,奎宁酸的增加不仅使红茶的茶汤酸味凸显,还能使茶汤产生涩味。工艺1样品和工艺4样品中奎宁酸含量较高,降低了茶汤的甜度和醇度,对茶汤滋味不利。茶黄素-3,3'-双没食子酸酯属于茶黄素类化合物^[26],在工艺2样品和工艺3样品含量较高,影响红茶滋味的浓强度。

综上,不同的做形工艺传热方式和热作用时间不同,导致滋味成分含量的差异,使得样品具有不同的滋味品质。

2.3 做形工艺对祁红金针气味的影响

2.3.1 不同做形工艺祁红金针挥发性成分鉴定及差异分析

通过HS-SPME-GC-MS分析4种做形工艺祁红金针样品的挥发性化合物,共鉴定出56种挥发性成分,包括醇类18种、醛类17种、酯类8种、碳氢类

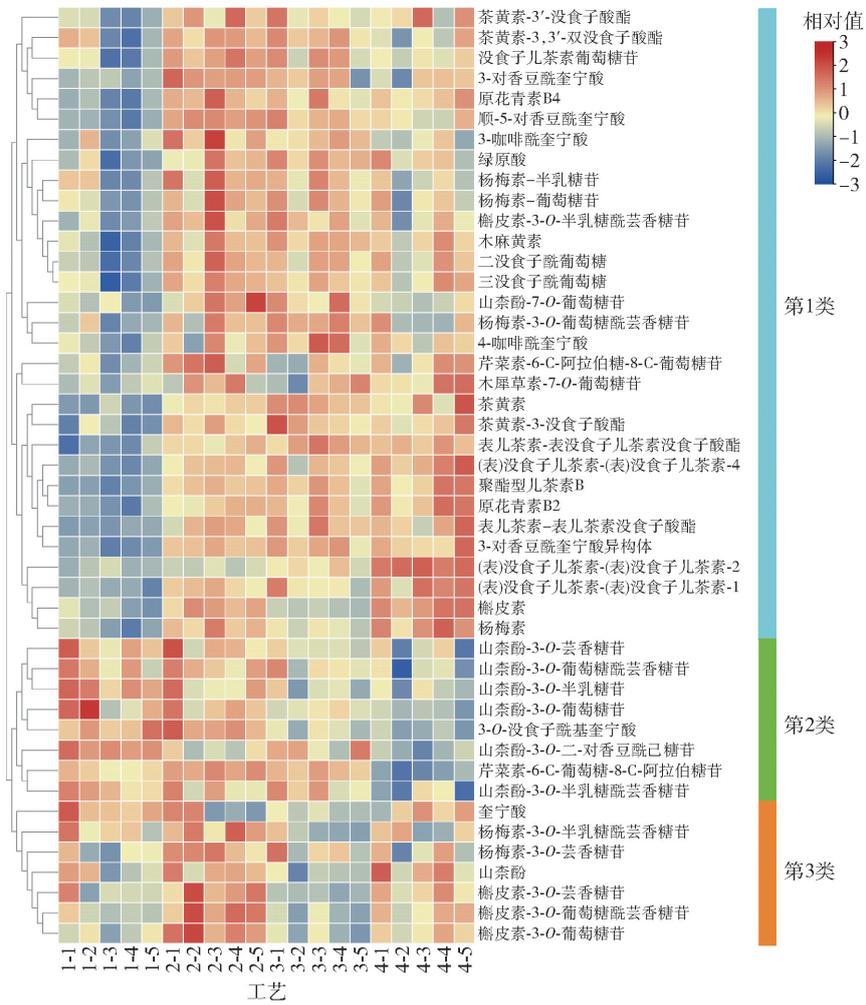
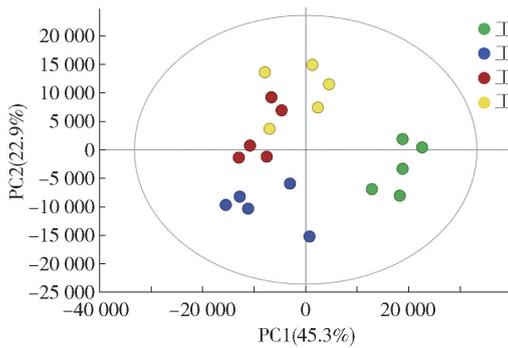
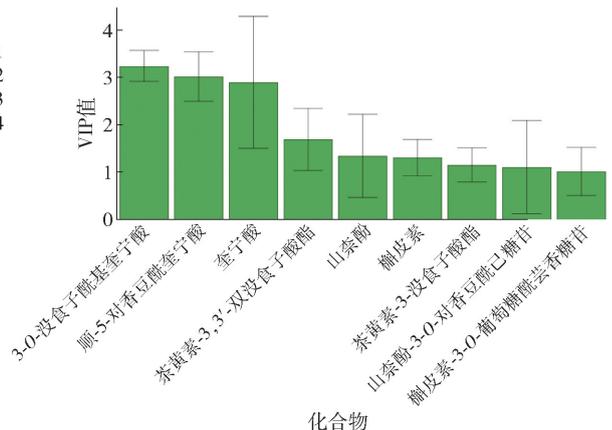


图3 不同做形工艺祁红金针中黄酮醇及其他滋味成分差异热图

Fig. 3 Heat maps of differences of flavonol and other taste component in Keemun black tea-Jinzhen with different shaping methods



(a) PLS-DA聚类



(b) 变量投影重要性排序

图4 不同做形工艺祁红金针黄酮醇及其他滋味成分的偏最小二乘判别分析及主要成分的变量贡献度

Fig. 4 Partial least squares-discriminant analysis and variable importance projection score of flavonol and other taste component in Keemun black tea-Jinzhen with different shaping methods

4种、酮类4种、氧杂环类4种和其他化合物1种。采用外标曲线的定量方法对化合物进行定量分析，

定量分析结果见表2。化合物外标定量的线性方程、相关系数、线性范围见表3。由表2可知,这些

挥发性化合物种类相同,以醇类和醛类化合物为主。

为了进一步探究不同做形工艺的祁红金针样品间香气差异的主要原因,基于挥发性化合物的含量,对鉴定出的56种挥发性成分进行多元统计分析,结果见图5。由图5(a)可知,4组样品可以被区分,其中工艺1样品和工艺2样品较为接近,说明工艺1样品和工艺2样品间挥发性化合物差异相对较小,香气特征较为相似。而工艺1样品和工艺2样品与

工艺3样品和工艺4样品相距较远,说明工艺1样品和工艺2样品与工艺3样品和工艺4样品之间挥发性化合物相差较大。基于VIP>1与P<0.05的原则,由图5(b)可知,香叶醇、苯甲醇、苯乙醇、芳樟醇、水杨酸甲酯、2-己烯醛共6种挥发性化合物对4种做形工艺祁红金针香气品质的区分起重要作用。香叶醇、苯乙醇含量在工艺3样品中最高,其余4种化合物在工艺4样品中含量最高。

表2 不同做形工艺祁红金针茶汤中挥发性成分的组成及浓度分析

Tab.2 Analysis of volatile component composition and concentration in the tea infusion of Keemun black tea-Jinzhen with different shaping methods

序号	化合物名称	CAS号	RI ^a	RI ^b	$\rho/(\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1})$			
					工艺1	工艺2	工艺3	工艺4
醇类								
1	(Z)-2-戊烯-1-醇	1576-95-0	766	763	2.06 ± 0.01 ^a	2.13 ± 0.06 ^a	1.75 ± 0.03 ^b	1.68 ± 0.09 ^b
2	3-己烯-1-醇	544-12-7	853	856	15.38 ± 0.36 ^a	15.86 ± 0.07 ^a	13.17 ± 0.76 ^b	11.61 ± 0.58 ^c
3	(Z)-2-己烯-1-醇	928-94-9	864	862	6.12 ± 0.26 ^a	6.09 ± 0.27 ^a	4.86 ± 0.30 ^b	5.62 ± 0.58 ^a
4	正己醇	111-27-3	868	869	5.46 ± 0.22 ^a	5.55 ± 0.23 ^a	4.29 ± 0.18 ^b	5.25 ± 0.25 ^a
5	正庚醇	111-70-6	970	969	1.86 ± 0.07 ^a	1.87 ± 0.03 ^a	1.68 ± 0.06 ^a	1.86 ± 0.18 ^a
6	1-辛烯-3-醇	3391-86-4	980	983	1.61 ± 0.05 ^{ab}	1.74 ± 0.06 ^a	1.53 ± 0.09 ^b	1.77 ± 0.14 ^a
7	苯甲醇	100-51-6	1030	1031	4001.49 ± 65.91 ^{bc}	4234.72 ± 381.90 ^b	3630.26 ± 93.78 ^c	4678.84 ± 262.52 ^a
8	正辛醇	111-87-5	1068	1070	3.92 ± 0.20 ^a	3.94 ± 0.13 ^a	3.97 ± 0.18 ^a	4.53 ± 0.65 ^a
9	芳樟醇	78-70-6	1100	1097	833.53 ± 40.01 ^{ab}	894.65 ± 48.57 ^{ab}	792.6 ± 110.01 ^b	998.00 ± 127.84 ^a
10	脱氢芳樟醇	20053-88-7	1102	1101	3.60 ± 0.32 ^a	3.61 ± 0.11 ^a	3.48 ± 0.12 ^a	3.88 ± 0.42 ^a
11	苯乙醇	60-12-8	1111	1109	1970.44 ± 170.42 ^b	1882.18 ± 126.65 ^b	2449.99 ± 132.42 ^a	2061.03 ± 76.40 ^b
12	(E)-松香芹醇	547-61-5	1138	1139	3.71 ± 0.15 ^a	4.03 ± 0.29 ^a	3.80 ± 0.37 ^a	3.93 ± 0.64 ^a
13	(Z)-3-壬烯-1-醇	10340-23-5	1153	1156	3.43 ± 0.20 ^a	3.48 ± 0.09 ^a	3.62 ± 0.24 ^a	3.75 ± 0.47 ^a
14	1-壬醇	143-08-8	1172	1172	9.90 ± 1.32 ^a	9.83 ± 0.35 ^a	11.53 ± 0.96 ^a	12.02 ± 1.62 ^a
15	α -松油醇	98-55-5	1192	1190	45.12 ± 0.81 ^b	48.41 ± 1.29 ^{ab}	49.32 ± 1.14 ^a	46.35 ± 3.77 ^{ab}
16	橙花醇	106-25-2	1224	1228	26.46 ± 2.10 ^c	27.65 ± 1.28 ^{bc}	31.55 ± 3.20 ^{ab}	31.87 ± 1.90 ^a
17	香叶醇	106-24-1	1259	1256	16158.91 ± 1452.08 ^b	16602.91 ± 1081.44 ^b	19624.1 ± 1577.97 ^a	19461.03 ± 1172.57 ^a
18	反式橙花叔醇	40716-66-3	1561	1560	1.71 ± 0.11 ^b	1.69 ± 0.07 ^b	2.02 ± 0.17 ^a	1.84 ± 0.06 ^{ab}
醇类化合物总量					23094.72 ± 1634.69 ^c	23750.33 ± 1506.15 ^{bc}	26633.55 ± 1815.96 ^{ab}	27334.85 ± 1591.66 ^a
醛类								
1	3-甲基丁醛	590-86-3	646	655	3.96 ± 0.31 ^b	3.96 ± 0.34 ^b	2.55 ± 0.87 ^c	5.01 ± 0.51 ^a
2	2-甲基丁醛	96-17-3	656	659	3.83 ± 0.25 ^b	3.89 ± 0.41 ^b	2.40 ± 0.75 ^c	5.06 ± 0.45 ^a
3	正己醛	66-25-1	799	801	30.06 ± 0.33 ^a	28.69 ± 0.34 ^a	27.47 ± 1.64 ^a	28.03 ± 3.25 ^a
4	2-己烯醛	505-57-7	850	854	70.51 ± 1.70 ^a	77.40 ± 0.75 ^a	74.81 ± 5.80 ^a	55.53 ± 6.56 ^b
5	正庚醛	111-71-7	901	901	12.64 ± 0.51 ^a	14.29 ± 0.85 ^a	13.84 ± 1.48 ^a	14.69 ± 1.69 ^a
6	(E)-2-庚烯醛	18829-55-5	955	955	1.95 ± 0.07 ^b	1.90 ± 0.04 ^b	1.94 ± 0.10 ^b	2.29 ± 0.21 ^a
7	苯甲醛	100-52-7	958	959	304.86 ± 7.32 ^a	315.43 ± 18.17 ^a	310.63 ± 5.62 ^a	301.44 ± 22.57 ^a
8	正辛醛	124-13-0	1002	1001	3.99 ± 0.09 ^d	4.31 ± 0.02 ^c	4.64 ± 0.25 ^b	5.17 ± 0.17 ^a
9	(E,E)-2,4-庚二烯醛	4313-03-5	1008	1008	20.41 ± 2.75 ^{ab}	17.54 ± 4.77 ^b	25.48 ± 1.36 ^a	24.10 ± 0.93 ^a
10	苯乙醛	122-78-1	1037	1039	33.82 ± 1.38 ^b	36.35 ± 1.38 ^{ab}	38.88 ± 1.99 ^a	38.45 ± 3.16 ^a
11	(E)-2-辛烯醛	2548-87-0	1053	1049	4.16 ± 0.26 ^b	4.11 ± 0.19 ^b	4.60 ± 0.42 ^{ab}	4.92 ± 0.35 ^a

续表 2

序号	化合物名称	CAS 号	<i>RI</i> ^a	<i>RI</i> ^b	$\rho/(\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1})$			
					工艺 1	工艺 2	工艺 3	工艺 4
12	壬醛	124-19-6	1 103	1 102	26.05 ± 3.06 ^c	28.82 ± 1.46 ^{bc}	31.81 ± 2.21 ^{ab}	32.87 ± 0.87 ^a
13	(<i>E,Z</i>)-2,6-壬二烯醛	557-48-2	1 151	1 154	2.10 ± 0.11 ^b	2.18 ± 0.08 ^{ab}	2.35 ± 0.17 ^a	2.07 ± 0.12 ^b
14	(<i>E</i>)-壬烯醛	18829-56-6	1 159	1 156	3.10 ± 0.29 ^b	3.18 ± 0.10 ^{ab}	3.54 ± 0.17 ^a	3.24 ± 0.18 ^{ab}
15	癸醛	112-31-2	1 205	1 205	2.42 ± 0.27 ^{ab}	2.12 ± 0.11 ^b	2.41 ± 0.21 ^{ab}	2.79 ± 0.36 ^a
16	橙花醛	106-26-3	1 237	1 235	26.55 ± 1.36 ^b	29.44 ± 1.3 ^{ab}	32.28 ± 2.31 ^a	29.4 ± 1.85 ^{ab}
17	柠檬醛	5392-40-5	1 269	1 267	44.94 ± 3.33 ^b	47.83 ± 2.03 ^b	53.68 ± 3.30 ^a	44.98 ± 3.39 ^b
醛类化合物总量					587.53 ± 20.20 ^a	613.60 ± 24.36 ^a	628.37 ± 20.91 ^a	589.97 ± 40.84 ^a
酯类								
1	(<i>Z</i>)-丁酸-3-己烯酯	16491-36-4	1 185	1 186	6.62 ± 0.77 ^a	6.39 ± 0.20 ^a	7.43 ± 0.43 ^a	7.53 ± 0.79 ^a
2	水杨酸甲酯	119-36-8	1 190	1 191	630.90 ± 48.96 ^b	646.38 ± 30.93 ^b	704.29 ± 45.92 ^b	792.69 ± 53.76 ^a
3	香叶酸甲酯	1189-09-9	1 321	1 321	6.44 ± 0.78 ^a	6.98 ± 0.25 ^a	7.45 ± 0.58 ^a	7.57 ± 0.66 ^a
4	乙酸橙花酯	141-12-8	1 378	1 381	7.46 ± 1.24 ^b	10.98 ± 0.64 ^a	10.19 ± 1.03 ^a	8.11 ± 0.76 ^b
5	(<i>Z</i>)-己酸-3-己烯酯	31501-11-8	1 380	1 376	8.21 ± 1.09 ^a	8.23 ± 0.32 ^a	9.67 ± 1.05 ^a	9.06 ± 0.97 ^a
6	己酸己酯	6378-65-0	1 386	1 385	2.20 ± 0.22 ^a	2.22 ± 0.09 ^a	2.50 ± 0.29 ^a	2.43 ± 0.12 ^a
7	(<i>E</i>)-2-己烯基己酸	53398-86-0	1 388	1 391	4.94 ± 0.49 ^b	4.95 ± 0.14 ^b	5.81 ± 0.46 ^a	5.57 ± 0.36 ^{ab}
8	(<i>Z</i>)-3-己烯醇苯甲酸酯	25152-85-6	1 571	1 568	2.33 ± 0.23 ^c	2.35 ± 0.16 ^c	3.59 ± 0.17 ^a	3.17 ± 0.25 ^b
酯类化合物总量					669.10 ± 53.58 ^b	688.49 ± 32.35 ^b	750.93 ± 48.15 ^{ab}	836.13 ± 54.32 ^a
碳氢类								
1	月桂烯	123-35-3	989	989	24.68 ± 0.68 ^a	23.97 ± 0.42 ^a	24.13 ± 0.87 ^a	23.45 ± 0.65 ^a
2	柠檬烯	138-86-3	1 026	1 024	7.23 ± 0.09 ^a	7.23 ± 0.24 ^a	7.19 ± 0.33 ^a	6.80 ± 0.36 ^a
3	(<i>Z</i>)- β -罗勒烯	3338-55-4	1 033	1 034	8.70 ± 1.54 ^b	7.43 ± 0.12 ^b	12.61 ± 0.87 ^a	8.02 ± 0.43 ^b
4	(<i>E</i>)- β -罗勒烯	13877-91-3	1 043	1 046	8.87 ± 0.26 ^c	8.94 ± 0.40 ^{bc}	9.75 ± 0.57 ^a	9.64 ± 0.31 ^{ab}
碳氢类化合物总量					49.48 ± 2.27 ^b	47.57 ± 1.01 ^b	53.68 ± 1.03 ^a	47.91 ± 1.11 ^b
酮类								
1	6-甲基-5-庚烯-2-酮	110-93-0	984	986	3.90 ± 0.09 ^{ab}	4.12 ± 0.08 ^a	3.69 ± 0.06 ^b	4.14 ± 0.41 ^a
2	顺茉莉酮	488-10-8	1 390	1 392	33.80 ± 5.26 ^b	34.35 ± 4.84 ^b	47.72 ± 3.66 ^a	39.51 ± 2.11 ^b
3	香叶基丙酮	689-67-8	1 448	1 452	2.35 ± 0.20 ^b	2.47 ± 0.20 ^{ab}	2.71 ± 0.20 ^{ab}	2.91 ± 0.36 ^a
4	β -紫罗兰酮	79-77-6	1 479	1 475	9.99 ± 1.83 ^b	10.35 ± 1.07 ^b	13.72 ± 1.13 ^a	11.14 ± 0.60 ^b
酮类化合物总量					50.04 ± 7.13 ^b	51.29 ± 6.05 ^b	67.85 ± 4.92 ^a	57.70 ± 2.77 ^b
氧杂环化合物								
1	(<i>E</i>)-呋喃型芳樟醇氧化物	34995-77-2	1 066	1 066	26.82 ± 1.94 ^a	28.20 ± 1.18 ^a	24.88 ± 2.47 ^a	26.46 ± 3.49 ^a
2	(<i>Z</i>)-呋喃型芳樟醇氧化物	5989-33-3	1 084	1 082	61.48 ± 3.48 ^a	63.97 ± 2.52 ^a	61.07 ± 6.55 ^a	64.16 ± 8.19 ^a
3	(<i>E</i>)-吡喃型芳樟醇氧化物	14009-71-3	1 170	1 168	6.47 ± 0.42 ^a	6.41 ± 0.11 ^a	6.89 ± 0.60 ^a	6.25 ± 0.41 ^a
4	(<i>Z</i>)-吡喃型芳樟醇氧化物	39028-58-5	1 175	1 173	19.79 ± 1.14 ^{ab}	19.37 ± 1.04 ^{ab}	21.94 ± 1.95 ^a	18.9 ± 1.90 ^b
氧杂环化合物总量					114.56 ± 4.16 ^a	117.96 ± 2.94 ^a	114.77 ± 10.95 ^a	115.76 ± 13.16 ^a
其他								
1	二甲基硫	75-18-3	546	565	3.39 ± 0.03 ^b	3.55 ± 0.11 ^b	3.20 ± 0.40 ^b	4.33 ± 0.18 ^a
挥发性物质总量					24 573.77 ±	25 277.74 ±	28 258.15 ±	28 992.24 ±
					1 713.72 ^c	1 558.33 ^{bc}	1 898.92 ^{ab}	1 688.94 ^a

a. *RI* 值来源于 NIST 数据库 (<https://webbook.nist.gov/chemistry/>), 以非极性柱 DB-5MS 为基准; b. *RI* 表示通过正构烷烃 ($C_5 \sim C_{20}$) 出峰时间计算得到的化合物 *RI* 值; 不同小写字母表示同行数据差异显著 ($P < 0.05$)。

表3 16种挥发性化合物的外标定量的线性方程、系数和线性范围

Tab.3 Linear equations, coefficients, and linear ranges for external standard quantification of 16 volatile compounds

序号	化合物名称	CAS	线性方程	R^2	线性范围/ $(\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1})$
1	(Z)-3-己烯醇苯甲酸酯	25152-85-6	$y = 1 \times 10^{-8}x - 0.0002$	0.9998	0.000125 ~ 0.00400
2	癸醛	112-31-2	$y = 3 \times 10^{-9}x + 0.0005$	0.9638	0.00025 ~ 0.00400
3	橙花醇	106-25-2	$y = 5 \times 10^{-9}x - 0.0007$	0.9989	0.00025 ~ 0.00800
4	(Z)-己酸-3-己烯酯	31501-11-8	$y = 7 \times 10^{-9}x + 0.0001$	0.9992	0.00025 ~ 0.00800
5	己酸己酯	6378-65-0	$y = 5 \times 10^{-9}x + 0.0003$	0.9983	0.00025 ~ 0.00800
6	β -紫罗兰酮	79-77-6	$y = 2 \times 10^{-8}x - 0.0004$	0.9999	0.00025 ~ 0.00800
7	(E,E)-2,4-庚二烯醛	4313-03-5	$y = 6 \times 10^{-8}x - 0.0023$	0.9963	0.0005 ~ 0.0160
8	(Z)-丁酸-3-己烯酯	16491-36-4	$y = 5 \times 10^{-9}x + 3 \times 10^{-5}$	0.9885	0.001 ~ 0.032
9	苯甲醛	100-52-7	$y = 7 \times 10^{-8}x - 0.0009$	0.9934	0.0025 ~ 0.0400
10	癸酸乙酯	110-38-3	$y = 5 \times 10^{-9}x + 0.0009$	0.9991	0.0025 ~ 0.0800
11	顺茉莉酮	488-10-8	$y = 6 \times 10^{-8}x - 0.0191$	0.9978	0.025 ~ 0.800
12	芳樟醇	78-70-6	$y = 3 \times 10^{-8}x - 0.2935$	0.9902	0.075 ~ 1.200
13	苯甲醇	100-51-6	$y = 2 \times 10^{-6}x - 1.5386$	0.9619	0.25 ~ 8.00
14	苯乙醇	60-12-8	$y = 7 \times 10^{-7}x - 0.54$	0.9830	0.25 ~ 4.00
15	水杨酸甲酯	119-36-8	$y = 3 \times 10^{-8}x - 0.7333$	0.9864	0.625 ~ 5.000
16	香叶醇	106-24-1	$y = 1 \times 10^{-7}x - 1.906$	0.9988	0.625 ~ 20.000

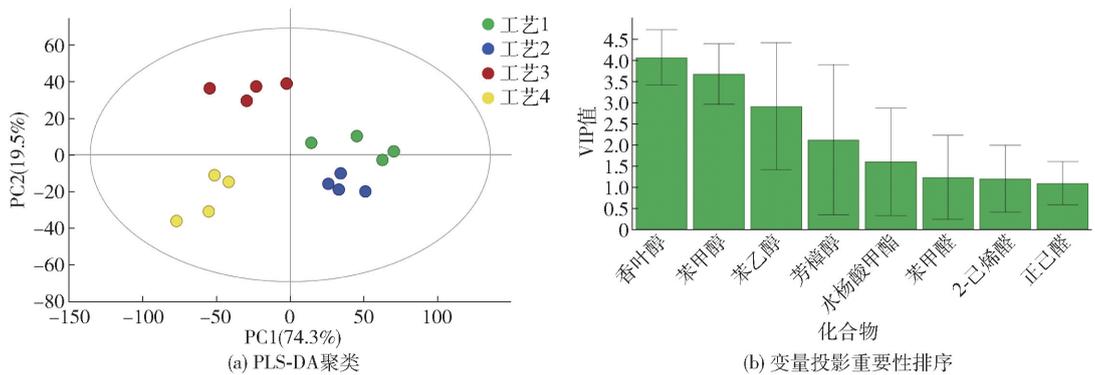


图5 不同做形工艺祁红金针挥发性成分的偏最小二乘判别分析及主要成分的变量贡献度

Fig.5 Partial least squares-discriminant analysis and variable importance projection score of volatile compounds in Keemun black tea-Jinzhen with different shaping methods

2.3.2 不同做形工艺祁红金针关键香气活性化合物的筛选

挥发性成分在样品中含量的高低不能直接作为判断该物质对整体气味贡献程度的依据^[27]。OAV是气味化合物含量和阈值的比值,可以代表单一气味成分对整体气味的贡献程度,在食品风味研究中得到广泛应用^[28]。OAV ≥ 1 的成分很大程度上对样品整体气味有重要作用。共计算出24种OAV > 1的气味化合物,计算结果如表4所示。以VIP > 1, $P < 0.05$ 从24种关键气味成分(OAV > 1)中筛选出

6种关键差异挥发性成分,包括香叶醇、苯甲醇、苯乙醇、芳樟醇、水杨酸甲酯、2-己烯醛,这些化合物对祁门红茶的香气有重要贡献^[1,29],说明这6种关键差异挥发性成分是导致不同做形工艺祁红金针香气差异的关键物质。

香叶醇、 β -紫罗兰酮和芳樟醇的OAV超过了1000,说明这些挥发性物质对样品的香气品质有重要贡献。计算具有花果香的挥发性化合物与具有其他味道(如脂肪味、青气等)的化合物的OAV比值,4组样品间比值分别为272.04、292.81、346.25和

299.10。结合感官评价,工艺3样品呈现甜花香较高较爽,可能由于花果香挥发性化合物比例较高。其中 β -紫罗兰酮阈值低(0.007 $\mu\text{g/L}$),且呈现类似紫罗兰的花香,被认为是决定红茶特性的关键香气^[7,30],其OAV在4组样品间相差较大。在红茶干

燥阶段,由于酶在高温下失活,香气物质主要通过美拉德反应、类胡萝卜素的热降解等非酶促氧化反应生成^[31]。工艺3样品中 β -紫罗兰酮含量较高,可能是由于手工理条的热传导方式促进类胡萝卜素的热降解。

表4 不同做形工艺的祁红金针气味化合物的OAV

Tab.4 OAV values of odor compounds for Keemun black tea-Jinzhen with different shaping methods

序号	化合物名称	香气类型	阈值/ ($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)	工艺1	工艺2	工艺3	工艺4
花果香							
1	2-甲基丁醛	可可味、坚果味	1	3.83	4.08	2.4	5.06
2	苯甲醇	花香、果香	2 546.21	1.57	1.66	1.43	1.84
3	芳樟醇	花香、甜香	0.22	3 788.77	4 066.60	3 602.72	4 536.36
4	苯乙醇	果香、玫瑰香、甜香	564.23	3.49	3.34	4.34	3.65
5	香叶醇	玫瑰香	1.1	14 689.90	15 093.60	17 840.10	17 691.90
6	苯乙醛	花香、蜂蜜香、坚果香	6.3	5.37	5.77	6.17	6.10
7	壬醛	花香、果香	1.1	23.68	26.20	28.91	29.88
8	柠檬醛	柠檬香	28	1.60	1.71	1.92	1.61
9	正辛醛	新鲜、柑橘香	0.587	6.80	7.34	7.91	8.80
10	水杨酸甲酯	薄荷香、冬青油味	40	15.77	16.16	17.61	19.82
11	β -月桂烯	花果香	1.2	20.57	19.98	20.11	19.54
12	(Z)-呋喃型芳樟醇氧化物	花香	6	4.47	4.70	4.15	4.41
13	(E)-呋喃型芳樟醇氧化物	花香、甜香、木香	6	10.25	10.66	10.18	10.69
14	β -紫罗兰酮	花香、紫罗兰香	0.007	1 427.31	1 479.11	1 960.38	1 591.04
青香、其他							
15	二甲基硫	卷心菜味、硫黄味、汽油味	0.12	28.29	29.61	26.68	36.08
16	3-甲基丁醛	麦芽香、烧焦味	1.1	3.60	3.77	2.31	4.55
17	正己醛	脂肪味、青气	5	6.01	5.74	5.49	5.61
18	2-己烯醛	苹果香、木质香、青气	30	2.35	2.58	2.49	1.85
19	正庚醛	脂肪味、青气	2.8	4.52	5.10	4.94	5.25
20	1-辛烯-3-醇	蘑菇味、泥土味、青气	1.5	1.07	1.16	1.02	1.18
21	(E,E)-2,4-庚二烯醛	脂肪味、坚果味	15.4	1.33	1.14	1.65	1.57
22	(E)-2-辛烯醛	脂肪味、水果香、青气	3	1.39	1.37	1.53	1.64
23	(E,Z)-2,6-壬二烯醛	黄瓜味、青气	0.8	2.62	2.73	2.94	2.58
24	(E)-壬烯醛	黄瓜味、青气	0.19	16.34	16.75	18.61	17.07

香气描述来源于 <https://www.femaflavor.org/flavor-library> 和 <https://www.flavornet.org/flavornet.htm>;挥发性化合物阈值为该物质在水中的香气阈值,来源于文献[11]。

3 结论

综合分析了4种做形工艺对祁红金针感官品质的影响。结果表明,做形工艺影响了祁红金针茶叶

的外形、滋味和香气。初烘后理条做形与发酵叶直接理条做形对祁红金针外形的影响较大,发酵叶直接理条做形的样品条形较好,手工做形施加适当力度也有利于茶叶条形的塑造,而初烘后发酵叶含水率降低,不利于茶叶条形的塑造,但有利于香气和滋

味品质。滋味成分测定分析显示,工艺3样品中儿茶素、茶红素、游离氨基酸、可溶性糖、茶黄素-3,3'-双没食子酸酯的含量较高,有利于醇厚较爽的滋味品质;工艺2样品中茶黄素含量较高,但3-O-没食子酰基奎宁酸含量也较高,影响了茶汤的涩味,而工艺1样品和工艺4样品中奎宁酸含量较高,不利于茶汤的滋味品质。不同的做形工艺传热方式和热作用时间不同,从而导致滋味成分含量的差异,使样品具有不同的滋味品质。

挥发性化合物分析结果显示,不同做形工艺的祁红金针样挥发性化合物种类相同,但组分比例不同。高气味活度值的芳樟醇、香叶醇和 β -紫罗兰酮对样品的甜花香有重要贡献。香叶醇、苯甲醇、苯乙醇、芳樟醇、水杨酸甲酯和2-己烯醛可作为影响4种做形工艺祁红金针香气品质差异的重要化合物。工艺3样品中花果香挥发性化合物与具有其他味道(如脂肪味、青气等)挥发性化合物的OAV比值较高,可能是其甜花香较高、较爽的原因。研究结果表明,工艺3更有利于祁红金针感官品质的形成,在实际生产中,可依据茶叶品质和加工效率,选择符合生产需求的加工方式。

参考文献:

- [1] XU Y J, LIU Y Q, YANG J H, et al. Manufacturing process differences give Keemun black teas their distinctive aromas [J]. *Food Chemistry*: X, 2023, 19: 100865.
- [2] 李荣林, 艾仄宜, 穆兵, 等. 不同干燥成形方式的白叶红茶品质分析[J]. *食品安全质量检测学报*, 2022, 13(19): 6230-6237.
LI R L, AI Z Y, MU B, et al. Quality analysis on black tea made from albinos tea leaves under different drying-shaping ways [J]. *Journal of Food Safety & Quality*, 2022, 13(19): 6230-6237.
- [3] 沈强, 罗金龙, 梁建祥, 等. 针形红茶精揉做形工艺参数优化[J]. *贵州农业科学*, 2022, 50(12): 155-162.
SHEN Q, LUO J L, LIANG J X, et al. Optimization of shaping process parameters for needle-shaped black tea [J]. *Guizhou Agricultural Sciences*, 2022, 50(12): 155-162.
- [4] 张正竹. 茶叶生物化学实验教程[M]. 北京: 中国农业出版社, 2009.
ZHANG Z Z. Tea biochemistry experimental tutorial [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2009.
- [5] 徐玉婕, 周汉琛, 张晓磊, 等. 贮藏对祁门红茶风味品质及化学成分的影响[J]. *食品与发酵工业*, 2025, 51(4): 177-187.
XU Y J, ZHOU H C, ZHANG X L, et al. Differences in flavor quality and chemical composition of 1-year-stored Keemun black tea [J]. *Food and Fermentation Industries*, 2025, 51(4): 177-187.
- [6] 王梦琪. 基于SBSE-GC-MS的“清香”绿茶挥发性成分及其关键呈香成分研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2020: 29.
WANG M Q. Study on volatiles and key aroma compounds of “Fresh Scent” green tea based on SBSE-GC-MS [D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences Thesis, 2020: 29.
- [7] VAN GEMERT L J. Compilations of odour threshold values in air, water and other media[M]. The Netherlands: Oliemans, Punter & Partners BV, 2011: 207-359.
- [8] ZHANG L, CAO Q Q, GRANATO D, et al. Association between chemistry and taste of tea: a review[J]. *Trends in Food Science & Technology*, 2020, 101: 139-149.
- [9] ZHANG S R, JIANG X F, LI C, et al. Effect of fermentation humidity on quality of Congou black tea [J]. *Foods*, 2023, 12(8): 1726.
- [10] SCHARBERT S, HOFMANN T. Molecular definition of black tea taste by means of quantitative studies, taste reconstitution, and omission experiments [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2005, 53(13): 5377-5384.
- [11] LONG P P, RAKARIYATHAM K, HO C T, et al. Thearubigins: formation, structure, health benefit and sensory property [J]. *Trends in Food Science & Technology*, 2023, 133: 37-48.
- [12] ZHANG S, WU S M, YU Q Y, et al. The influence of rolling pressure on the changes in non-volatile compounds and sensory quality of congou black tea: the combination of metabolomics, E-tongue, and chromatic differences analyses [J]. *Food Chemistry*: X, 2023, 20: 100989.
- [13] GAO Y, CAO Q Q, CHEN Y H, et al. Effects of the baking process on the chemical composition, sensory quality, and bioactivity of Tieguanyin oolong tea [J]. *Frontiers in Nutrition*, 2022, 9: 881865.
- [14] CUI Y Q, LAI G P, WEN M C, et al. Identification of low-molecular-weight color contributors of black tea infusion by metabolomics analysis based on UV-visible spec-

- troscopy and mass spectrometry [J]. *Food Chemistry*, 2022, 386: 132788.
- [15] 宛晓春. 茶叶生物化学[M]. 3版. 北京: 中国农业出版社, 2003:39.
WAN X C. *Tea Biochemistry* [M]. 3rd ed. Beijing: China Agriculture Press, 2003:39.
- [16] CAO Q Q, FU Y Q, WANG J Q, et al. Sensory and chemical characteristics of Tieguanyin oolong tea after roasting[J]. *Food Chemistry*: X, 2021, 12: 100178.
- [17] 欧伊伶. 楮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: 32.
OU Y L. Study on the processing technology and quality formation mechanism of Zhuyeqi summer oolong tea [D]. Changsha: Hunan Agricultural University, 2019: 32.
- [18] ZHANG Y N, YIN J F, CHEN J X, et al. Improving the sweet aftertaste of green tea infusion with tannase [J]. *Food Chemistry*, 2016, 192: 470–476.
- [19] 张牵, 韩颖颖, 孟繁宇, 等. 化学计量学在食品风味领域的应用进展[J]. *食品科学*, 2024, 45(21): 307–315.
ZHANG Q, HAN H Y, MENG F Y, et al. Progress in the application of chemometrics in the field of food flavor [J]. *Food Science*, 2024, 45(21): 307–315.
- [20] 李良好, 孟士皓, 景思, 等. 基于 GC × GC/TOF MS 对不同等级食用酒精挥发性成分的判别分析[J]. *食品科学技术学报*, 2022, 40(5): 71–81.
LI L H, MENG S H, JING S, et al. Discriminant analysis of volatile components of different quality grades of edible alcohol based on GC × GC/TOF MS [J]. *Journal of Food Science and Technology*, 2022, 40(5): 71–81.
- [21] KANEKO S, KUMAZAWA K, MASUDA H, et al. Molecular and sensory studies on the umami taste of Japanese green tea [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2006, 54(7): 2688–2694.
- [22] WEN M C, HAN Z S, CUI Y Q, et al. Identification of 4-*O-p*-coumaroylquinic acid as astringent compound of Keemun black tea by efficient integrated approaches of mass spectrometry, turbidity analysis and sensory evaluation [J]. *Food Chemistry*, 2022, 368: 130803.
- [23] COLONNA A E, ADAMS D O, NOBLE A C. Comparison of procedures for reducing astringency carry-over effects in evaluation of red wines [J]. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 2004, 10(1): 26–31.
- [24] CALA O, PINAUD N, SIMON C, et al. NMR and molecular modeling of wine tannins binding to saliva proteins: revisiting astringency from molecular and colloidal prospects [J]. *The FASEB Journal*, 2010, 24(11): 4281–4290.
- [25] ZHUANG J H, DAI X L, ZHU M Q, et al. Evaluation of astringent taste of green tea through mass spectrometry-based targeted metabolic profiling of polyphenols [J]. *Food Chemistry*, 2020, 305: 125507.
- [26] 黎煌. 夏秋季寿眉茶的新工艺研究与品质分析[D]. 福州: 福建农林大学, 2024: 53.
LI H. Research on new technology and quality analysis of summer and autumn Shou Mei tea [D]. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, 2024: 53.
- [27] WANG Q S, QIN D D, HUANG G Z, et al. Identification and characterization of the key volatile flavor compounds in black teas from distinct regions worldwide [J]. *Journal of Food Science*, 2022, 87(8): 3433–3446.
- [28] 任卫威, 张宇航, 郑玉成, 等. 不同香型安溪黄金桂风味品质解析[J]. *食品科学*, 2025, 46(5): 263–271.
REN W W, ZHANG Y H, ZHENG Y C, et al. Flavor quality of different aroma types of Anxi Huangjingui tea [J]. *Food Science*, 2025, 46(5): 263–271.
- [29] 雷攀登, 黄建琴, 丁勇, 等. 不同区域祁门红茶品质特点分析[J]. *食品科学*, 2015, 36(10): 144–149.
LEI P D, HUANG J Q, DING Y, et al. Quality characteristics of Keemun black tea from various regions [J]. *Food Science*, 2015, 36(10): 144–149.
- [30] 刘亚芹, 王辉, 朱林, 等. 茶树品种对祁门红茶挥发性代谢谱及关键呈香物质的影响[J]. *食品科学*, 2025, 46(8): 211–220.
LIU Y Q, WANG H, ZHU L, et al. Effect of tea cultivars on the volatile metabolite profile and key odorants of Keemun black tea [J]. *Food Science*, 2025, 46(8): 211–220.
- [31] 冯智慧. 茶香的分子感官研究: 加工与香气形成、白茶香和兰花香[D]. 合肥: 安徽农业大学, 2020: 8.
FENG Z H. Molecular sensory studies on tea aroma: formation during processing, white tea and orchid-like aroma [D]. Hefei: Anhui Agricultural University, 2020: 8.

Effect of Shaping Methods on Sensory Quality of Keemun Black Tea-Jinzhen

YANG Jihong¹, XU Yujie¹, ZHU Lin², ZHOU Hanchen^{1,*}, WANG Hui¹, LIU Yaqin¹, LEI Pandeng¹

(1. Tea Research Institute, Anhui Academy of Agricultural Sciences, Huangshan 245000, China;

2. Anhui Provincial Key Laboratory of Food Safety Analysis and Testing, Hefei Customs Technology Center, Hefei 230022, China)

Abstract: In order to explore the effect of shaping methods on the sensory quality of Keemun black tea-Jinzhen, fresh shoots of “Wancha 4” tea variety were used as raw material. The same manufacturing stages of withering, rolling and fermentation were adopted. Then, Keemun black tea-Jinzhen samples were produced by four different shaping modes. Sensory evaluation, ultra-high performance liquid chromatography-quadrupole-exactive-mass spectrometry and headspace-solid phase microextraction-gas chromatography-mass spectrometry were used to analyze the differences of key taste and aroma compounds. Four shaping modes were twice mechanical shaping after a first-drying (mode 1), single mechanical shaping after a first-drying (mode 2), single mechanical shaping with an additional manual shaping after a first-drying (mode 3), and twice mechanical shaping without a first-drying (mode 4). The results of sensory evaluation showed that the shaping mode affected the appearance, taste and aroma of Keemun black tea-Jinzhen. The scores of sensory evaluation in high to low order for shaping mode were mode 3, mode 2, mode 4 and mode 1. Sample prepared by mode 4 had a straighter and better appearance than others. Mode 3 enhanced tea samples with a more trichome character. Manual shaping could improve the shape quality of tea. The moisture content of fermented leaves decreased after first-drying, which was not conducive to the shaping of tea strips, but was conducive to the aroma and taste quality. Keemun black tea-Jinzhen made by mode 3 obtained a stronger sweet floral fragrance and the taste was mellow and fresh, and the comprehensive score was the highest. The samples of mode 4 had stronger sweet floral aroma, but lower mellow and thick taste than those of mode 3. The sample of mode 2 had a lower appearance score, but had strong sweet floral and mellow taste. The analysis of taste components showed that mode 3 could better retained the content of catechin, thearubigins, free amino acids, soluble sugar and theaflavin-3,3'-digallate in the sample. Mode 2 retained a higher content of theaflavins, but the content of 3-O-galloylquinic acid was also higher, which increased the astringent taste of tea infusion. However, the higher quinic acid content in mode 1 and mode 4 samples was not conducive to the taste quality of the tea infusion. The results of volatile compounds analysis showed that geraniol, benzyl alcohol, phenylethanol, linalool, methyl salicylate, and 2-hexenal were important compounds affecting the aroma quality of Keemun black tea-Jinzhen with different shaping methods. The ratio of odor activity values of volatiles with a flowery and fruity character and volatiles with other odors (such as fat, green, etc.) was highest in mode 3 sample, with best aroma quality. The results of this study elucidated the effect of four shaping methods on the flavor quality of Keemun black tea-Jinzhen, which could provide theoretical basis and technical reference for the improvement of the process of Keemun black tea-Jinzhen.

Keywords: Keemun black tea-Jinzhen; shaping mode; sensory evaluation; taste substance; volatile compounds

(责任编辑:李 宁)