

白芽奇兰速溶茶粉加工过程中香气的变化

林诗笛¹, 蒋青香^{1,2}, 林琦¹, 许勇泉³, 李利君^{1,4,5,*}, 翁淑焱⁶, 倪辉^{1,4,5}, 李清彪^{1,4,5}

(1.集美大学海洋食品与生物工程学院, 福建 厦门 361021; 2.中国中医科学院中医药健康产业研究所, 江西 南昌 330115; 3.中国农业科学院茶叶研究所, 浙江 杭州 310008; 4.福建省食品微生物与酶工程重点实验室, 福建 厦门 361021; 5.厦门市食品生物工程技术研究中心, 福建 厦门 361021; 6.大闽食品(漳州)有限公司, 福建 漳州 363000)

摘要:以白芽奇兰茶叶制备速溶茶粉为对象, 采用感官评价、气相色谱-质谱联用、香气活性值(odor activity value, OAV)等研究速溶茶粉加工过程中的香气变化规律。结果表明, 白芽奇兰速溶茶粉加工过程中各阶段样品的整体香气轮廓和香气成分类别具有一定相似性, 但在不同加工阶段的香气强度和香气成分含量差异较大; 3-乙基-2,5-二甲基吡嗪、脱氢芳樟醇、水杨酸甲酯、藏花醛、香叶醇、吲哚、 β -大马士酮、顺式茉莉酮、香叶基丙酮、反式橙花叔醇和茉莉酸甲酯是导致香气变化的关键成分。浸提工艺显著增加了藏花醛、香叶醇、吲哚、 β -大马士酮和顺式茉莉酮等成分的OAV, 碟式分离、反渗透浓缩和冷冻干燥显著降低了香叶醇、吲哚、 β -大马士酮、顺式茉莉酮、茉莉酸甲酯、反式橙花叔醇、3-乙基-2,5-二甲基吡嗪和藏花醛等成分的OAV。超滤除去茶多酚复合物, 促进香气成分的释放, 导致香叶醇、吲哚、 β -大马士酮、顺式茉莉酮和茉莉酸甲酯的OAV增加。本研究阐明白芽奇兰速溶茶粉加工过程中香气成分的变化规律, 发现超滤处理促进香气成分的释放, 为改良速溶茶粉的加工工艺提高速溶茶粉的香气品质提供理论依据。

关键词:速溶茶粉; 加工工艺; 香气轮廓; 香气成分; 气相色谱-质谱法

Change of Aroma Components in Instant Baiyaqilan Tea Powder during Processing

LIN Shidi¹, JIANG Qingxiang^{1,2}, LIN Qi¹, XU Yongquan³, LI Lijun^{1,4,5,*}, WENG Shuyi⁶, NI Hui^{1,4,5}, LI Qingbiao^{1,4,5}

(1. College of Ocean Food and Biological Engineering, Jimei University, Xiamen 361021, China; 2. Institute of Traditional Chinese Medicine Health Industry, China Academy of Chinese Medical Sciences, Nanchang 330115, China; 3. Tea Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Hangzhou 310008, China; 4. Fujian Provincial Key Laboratory of Food Microbiology and Enzyme Engineering, Xiamen 361021, China; 5. Research Center of Food Biotechnology of Xiamen City, Xiamen 361021, China; 6. Damin Foodstuff (Zhangzhou) Co. Ltd., Zhangzhou 363000, China)

Abstract: In this study, the change of aroma components in instant Baiyaqilan tea powder during processing was investigated by sensory evaluation, gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) and odor activity value (OAV). The results showed that the over aroma profile and the types of aroma components in instant Baiyaqilan tea powder were similar at different stages of processing, while the aroma intensity and volatile components were significantly different. 3-Ethyl-2,5-dimethylpyrazine, hotrienol, methyl salicylate, safranal, geraniol, indole, β -damascenone, *cis*-jasmonone, geranyl acetone, *trans*-nerolidol and methyl jasmonate were found to make key contributions to aroma changes. The extraction process significantly increased the OAV of safranal, geraniol, indole, β -damascenone and *cis*-jasmonone. Disc separation, reverse osmosis and freeze drying significantly reduced the OAV of geraniol, indole, β -damascenone, *cis*-jasmonone, methyl jasmonate, *trans*-nerolidol, 3-ethyl-2,5-dimethylpyrazine and safranal. Moreover, ultrafiltration treatment removed tea polyphenol complexes, promoting the release of aroma volatile compounds combined with polyphenols and thus increasing the OAV of geraniol, indole, β -damascenone, *cis*-jasmonone and methyl jasmonate. This study clarified the aroma change during the processing of instant Baiyaqilan tea powder and showed that ultrafiltration treatment promoted the release of

收稿日期: 2022-10-11

基金项目: 国家自然科学基金面上项目(31871765); 福建省高校产学研合作项目(2020N5010)

第一作者简介: 林诗笛(1998—)(ORCID: 0000-0001-9227-8971), 女, 硕士研究生, 研究方向为食品科学。

E-mail: 376140145@qq.com

*通信作者简介: 李利君(1973—)(ORCID: 0000-0003-2966-6992), 女, 教授, 博士, 研究方向为食品风味和食品生物技术。

E-mail: ljli@jmu.edu.cn

aromatic volatiles. This study can provide a theoretical basis for improving the processing of instant Baiyaqilan tea powder for improved aroma quality and the processing technology of instant tea.

Keywords: instant Baiyaqilan tea powder; processing technology; aroma profile; aroma components; gas chromatography-mass spectrometry

DOI:10.7506/spkx1002-6630-20221011-105

中图分类号: TS272.5

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630 (2023) 18-0239-10

引文格式:

林诗笛, 蒋青香, 林琦, 等. 白芽奇兰速溶茶粉加工过程中香气的变化[J]. 食品科学, 2023, 44(18): 239-248. DOI:10.7506/spkx1002-6630-20221011-105. <http://www.spkx.net.cn>

LIN Shidi, JIANG Qingxiang, LIN Qi, et al. Change of aroma components in instant Baiyaqilan tea powder during processing[J]. Food Science, 2023, 44(18): 239-248. (in Chinese with English abstract) DOI:10.7506/spkx1002-6630-20221011-105. <http://www.spkx.net.cn>

茶叶是中国重要的农产品, 2021年我国茶园面积为4 896.09万亩, 产量为306.32万t, 综合产值超过5 000亿元, 我国茶园面积、生产总量、消费总量、出口额均位居世界第一。速溶茶粉是茶叶经过浸提、碟式分离、超滤、浓缩、干燥等一系列工艺得到的茶叶深加工产品^[1], 除冲饮外, 还可添加到其他食品中起到改良风味、增加营养和延长贮藏时间等作用^[2], 具有巨大的应用潜力。

相关研究表明^[3-4], 将茶叶加工成速溶茶粉后, 其香气成分由于受到加工过程中蒸发、氧化和热降解等影响, 会发生显著变化, 进而对速溶茶粉的香气品质造成影响。有学者发现在白茶加工成速溶白茶粉的过程中, 真空干燥处理会降低其香气品质^[5]; 郑梦霞等^[6]研究表明, 高温浸提会导致茶叶挥发性酯类和酸类物质大量减少; 吴函殷等^[7]研究表明提取和浓缩工艺使绿茶中醛类、酮类和其他类物质含量显著减少, 导致青草香强度降低。但是, 目前关于速溶茶粉不同加工阶段对其香气品质的影响规律尚不明确。

茶叶香气成分的提取方法有同时蒸馏萃取法、水蒸气蒸馏法、超临界CO₂流体萃取、顶空固相微萃取(headspace-solid phase microextraction, HS-SPME)、液-液萃取、溶剂辅助风味蒸发法等, 其中, HS-SPME具有操作简单、灵敏、经济、无溶剂、萃取效果好等优点。茶叶香气成分的检测方法有气相色谱-质谱(gas chromatography-mass spectrometry, GC-MS)、气相色谱-嗅闻联用法、电子鼻、气相色谱高通量飞行时间质谱等, GC-MS能同时进行定性、定量检测, 是检测香气成分的常用方法。因此, GC-MS等方法为系统对比研究速溶茶粉加工过程中热提取、过滤、浓缩、干燥等对香气的影响提供了方法依据。

白芽奇兰茶是福建漳州的一种特色乌龙茶, 具有独特的兰花香, 同时含有多种活性物质, 具有抗病毒、抗凝血、抗辐射、降血脂、降血压、降血糖和免疫调节等作用^[8]。目前国内外学者已对白芽奇兰茶叶的香气成分进行研究。例如, 刘芯如等^[9]采用GC-MS对白芽奇兰茶的

香气成分进行鉴定, 检测出1-乙基-1-氢吡咯、壬醇、芳樟醇、柠檬烯等36种香气成分; 蒋青香等^[10]采用GC-MS结合Pearson线性相关分析对不同品质的白芽奇兰茶进行香气等级划分, 表明香气成分的含量与可接受程度呈线性相关。本实验在相关研究基础上, 采用感官评价、HS-SPME-GC-MS、香气活性值(odor activity value, OAV)等分析手段, 以白芽奇兰速溶茶粉为对象, 研究速溶茶粉加工过程中香气变化规律, 以期揭示过滤、浓缩、干燥等对香气品质的影响及提高速溶茶粉香气品质提供理论依据。

1 材料与amp;方法

1.1 材料与试剂

白芽奇兰茶购于福建平和县品冠源茶业有限公司, 产地为福建平和, 茶叶原料采收于2019年4月, 为春茶, 冲泡后具有独特的兰花香, 主体香型为兰花香; 白芽奇兰茶浸提液、碟式分离液、超滤液、反渗透浓缩液和冷冻干燥速溶茶粉于2019年11月在大闽食品(漳州)有限公司由白芽奇兰春茶加工而成。

标准品环己酮、C₈~C₂₀正构烷烃、2,5-二甲基吡嗪、葫芦巴内酯、6-甲基-5-庚烯-2-酮、苯乙醛、1-乙基吡咯、顺式-芳樟醇氧化物、反式-芳樟醇氧化物、芳樟醇、苯乙酮、吡啶、β-大马士酮、脱氢芳樟醇、β-环柠檬醛、柠檬醛、反式-α-紫罗兰酮、反式-β-紫罗兰酮、反式橙花叔醇、邻苯二甲酸二异丁酯(均为色谱纯) 美国Sigma-Aldrich公司; 乙醇、顺式-3-己烯醇、苯甲醛、水杨酸甲酯、藏花醛、香叶醇、香叶基丙酮(均为色谱纯) 英国Alfa-Aesar公司; 苯乙腈、α-松油醇、α-法尼烯、顺式己酸-3-己烯酯(均为色谱纯) 上海阿拉丁生化科技股份有限公司; 二氢猕猴桃内酯(色谱纯) 上海源叶生物技术公司; 茶多酚标准品(分析纯) 北京索莱宝科技有限公司。

1.2 仪器与设备

浸提机由大闽食品（漳州）有限公司自组；SE101HEIV-Q3P1碟式分离机 美国SPX（斯必克）公司；UF040/1-01超滤机 天津新康水处理有限公司；20M3/D反渗透浓缩机 太仓华辰净化设备有限公司；FNLY-2冷冻干燥机 上海菲诺医药设备有限公司；HH-4数显恒温水浴锅 国华电器有限公司；BS223S电子分析天平 赛多利斯科学仪器厂；QP-2020 Plus GC-MS联用仪 日本岛津公司；HH-157330-U手动SPME进样器、50/30 μm DVB/CAR/PDMS萃取头 美国Supelco公司；Rtx-5MS毛细管色谱柱（30 m \times 0.25 mm，0.25 μm ）美国Restek公司。

1.3 方法

1.3.1 样品的制备

采用福建大闽食品（漳州）有限公司通用的速溶茶粉加工工艺流程和工艺参数对白芽奇兰茶叶（记为OT）进行加工，主要包括提取、过滤、浓缩、冷冻干燥等工艺过程。具体如下：

白芽奇兰茶叶与水比例为1:15（kg/L）放至浸提机中，采用逆流提取（未装载超声波），加水点在二级槽末端，水线加水温度（95 \pm 2） $^{\circ}\text{C}$ ，提取槽中进行温度补偿，补偿后槽内温度为（70 \pm 5） $^{\circ}\text{C}$ ，一级、二级提取时间各为15 min，得到浸提液（记为EOT）。对EOT采用碟式分离法进行过滤，取冷却至低于40 $^{\circ}\text{C}$ 的浸提液放入碟式分离机，每小时需自检一次分离效果，分离后无明显颗粒，得到碟式分离液（记为SOT）。将SOT进行超滤处理，超滤机采用孔径0.2 μm 中空纤维膜（有机膜），工作压力不大于1.2 MPa，温度不大于40 $^{\circ}\text{C}$ ，得到出液浓度为2.0 $^{\circ}\text{Brix}$ 的超滤液（记为UOT）。采用反渗透浓缩工艺，将UOT放入反渗透浓缩设备中，在闭路中循环导致温度上升，冷凝装置将温度控制在（20 \pm 3） $^{\circ}\text{C}$ 之内，得到出液浓度为12.0 $^{\circ}\text{Brix}$ 的反渗透浓缩液（记为COT）。将COT装入托盘置入速冻库内冷冻至浓缩液的共晶点以下，托盘中液体厚度控制在10~15 mm范围内，再将速冻好的浓缩液进行真空冷冻干燥，得到冷冻干燥速溶茶粉（记为IOT），得率约为20%。

1.3.2 定量描述分析

在进行定量描述分析之前，12名感官评价小组成员（7名女性和5名男性）讨论得出白芽奇兰速溶茶粉加工过程中浸提、碟式分离、超滤、反渗透浓缩和冷冻干燥阶段水溶液的香气特征，分别为烘烤香、青草香、焦糖香、花香、木香、甜香，并配制一系列不同浓度的香气标准品（表1）。小组成员按表1评价标准进行3周培训后，对白芽奇兰速溶茶粉加工过程中各阶段样品进行定量描述分析，其中1分表示香气强度较低，5分表示香气强度中等，9分表示香气强度较高。根据ISO 8589: 2007

《感官分析——试验室设计的一般指南》，评价过程始终保持室温为（25 \pm 2） $^{\circ}\text{C}$ ，室内无其他气味干扰。

表1 定量描述分析的香气特征及标准

Table 1 Aroma characteristics and standards for the sensory evaluation

香气特征	标准品	标准溶液质量浓度/ $\mu\text{g/L}$		
		1分	5分	9分
烘烤香	2,5-二甲基吡嗪	20.0	100.0	180.0
青草香	顺式-3-己烯醇	70.0	350.0	630.0
焦糖香	葫芦巴内酯	18.0	90.0	162.0
花香	芳樟醇	10.0	50.0	90.0
木香	反式- α -紫罗酮	0.4	2.0	3.6
甜香	苯乙醛	4.0	20.0	36.0

1.3.3 GC-MS定性定量分析

HS-SPME：分别量取30 mL浸提液、30 mL碟式分离液、30 mL超滤液、5 mL反渗透浓缩液，并加入100 μL 环己酮（1 mg/mL）作为内标物，分别称取3.0 g白芽奇兰春茶和2.0 g冷冻干燥速溶茶粉于60 mL顶空瓶中，加入29.9 mL纯水和100 μL 环己酮（1 mg/mL），放入80 $^{\circ}\text{C}$ 水浴锅中平衡10 min，平衡结束后将老化过的固相微萃取头插入顶空瓶中吸附30 min，吸附完成后将其插入GC进样口解吸附3 min，进行GC-MS分析。

萃取头老化程序：载气流量为3 mL/min。升温程序：进样口温度250 $^{\circ}\text{C}$ ；初始温度75 $^{\circ}\text{C}$ ，保持6 min后以6 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升温至120 $^{\circ}\text{C}$ ，保持2 min后以20 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升温至240 $^{\circ}\text{C}$ 并保持5 min。在此程序下解吸附3 min，总老化时长为25 min。

GC条件：载气为纯度99.999%的高纯氦气；柱流量为3 mL/min，不分流进样。升温程序：进样口温度230 $^{\circ}\text{C}$ ；初始温度50 $^{\circ}\text{C}$ ，保持5 min后以3 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升温至200 $^{\circ}\text{C}$ ，并在200 $^{\circ}\text{C}$ 保持1 min。

MS条件：电子电离源；离子源温度200 $^{\circ}\text{C}$ ；电离能量70 eV；质谱接口温度250 $^{\circ}\text{C}$ ；质谱扫描方式为全扫描模式，质量扫描范围 m/z 35~500；溶剂延迟时间为1.5 min。

定性分析：根据质谱数据库（NIST08、NIST08s、FFNSC1.3）进行相似度检索，根据不同物质的基峰、质荷比和特征离子相对峰度作串连检索与人工解析，质谱匹配度大于80%作为物质鉴定标准；通过正构烷烃计算待测组分的保留指数（retention index, RI），与文献报道的RI进行对比定性，其中RI计算参照Vandendool等^[11]的方法，按下式计算：

$$RI = 100n + 100 \times \frac{t_x - t_n}{t_{n+1} - t_n}$$

式中： t 为保留时间/min； x 为待测组分； n 和 $n+1$ 分别为待测组分出峰前后相邻的2个正构烷烃的碳原子数。

定量分析：配制一系列不同浓度的香气成分标准品混合溶液，在选择离子监测模式下采用HS-SPME分析

混合标准品溶液，建立不同香气成分的标准曲线，并采用该标准曲线计算含量。对于没有标准品的香气成分，采用已知浓度的环己酮溶液作为内标加入样品中进行定量分析，得到待测样品和环己酮的峰面积计算待测组分含量。

1.3.4 OAV分析

将单位质量白芽奇兰茶叶中所含香气成分的质量(mg/kg)统一换算为单位体积溶液中所含香气成分的质量浓度($\mu\text{g/L}$)，OAV是指各香气成分的浓度与其在水溶液中的气味阈值的比值。

1.3.5 超滤工序促进香气成分释放的机制

配制质量浓度为150 mg/L的茶多酚溶液(记为TP)、香气成分(分别含500 $\mu\text{g/L}$ 香叶醇、吲哚和 β -大马士酮)混合标准溶液(记为MSS)、以及含150 mg/L茶多酚的香气成分混合标准品溶液(记为TP-MSS)。分别取30.0 mL TP、MSS和TP-MSS于60 mL顶空瓶中，采用上述的HS-SPME-GC-MS方法分析测定香气成分的含量差异。

1.4 数据统计

使用Excel 2019对香气成分进行统计分析，计算实验数据的均值、误差，制作雷达图、柱状图；使用SPSS 26.0进行显著性分析；使用ChemDraw 20.0绘制化合物结构式。

2 结果与分析

2.1 白芽奇兰速溶茶粉不同加工工序对香气轮廓的影响规律

蒋青香^[10]研究表明白芽奇兰茶叶溶液的整体香气轮廓为花香、青草香、甜香、烘烤香、木香和焦糖香；王彩楠等^[12]研究表明武夷岩茶在沸水浸提下呈现花果香、甜香、焦糖香、木香。Zhang Liangzhen等^[13]研究表明将乌龙茶加工为速溶乌龙茶粉后，其甜香、果香和烘烤香强度增加，而青草香和花香强度降低。如图1所示，其整体香气轮廓相似，但不同香气属性的香气强度有所差异，OT主要呈现烘烤香、青草香和花香，EOT主要呈现烘烤香、焦糖香、花香和木香，SOT主要呈现烘烤香、焦糖香和木香，UOT主要呈现青草香、焦糖香、花香和甜香，COT主要呈现烘烤香、焦糖香和甜香，IOT主要呈现青草香、焦糖香、花香和甜香。白芽奇兰速溶茶粉加工过程中各阶段样品的整体香气轮廓主要呈现兰花香。由图1可知，OT经浸提工艺处理后，其花香和木香的强度显著增强($P<0.05$)；EOT经碟式分离工艺处理后，其花香和木香强度显著减弱($P<0.05$)；SOT经超滤工艺处理后，其烘烤香强度显著减弱、青草香和甜香强度显著增强($P<0.05$)；UOT经反渗透浓缩工艺处理

后，其青草香和强度显著减弱($P<0.05$)；COT经冷冻干燥工艺处理后，其花香强度显著增强($P<0.05$)。将本研究与国内外同类研究进行对比发现，白芽奇兰速溶茶粉加工过程中各阶段样品的整体香气轮廓与蒋青香^[10]和王彩楠^[12]等的研究结果相似。但是，本研究白芽奇兰茶叶加工成冻干速溶茶粉后，烘烤香和木香强度显著减弱，甜香强度显著增强，与Zhang Liangzhen等^[13]研究结果不同，其原因可能是由于样品速溶茶粉制备过程中的干燥方式及采用HS-SPME进行吸附时的温度不同(本研究采用真空冷冻干燥、HS-SPME吸附温度为80 $^{\circ}\text{C}$ ，而Zhang Liangzhen等^[13]采用喷雾干燥、吸附温度为40 $^{\circ}\text{C}$)。

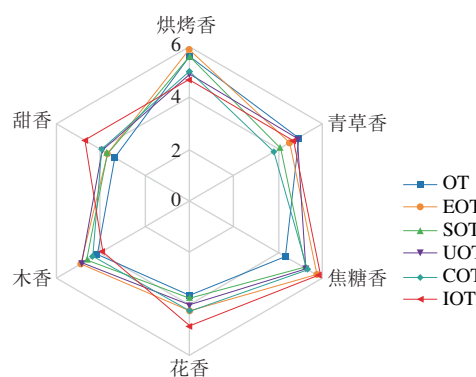


图1 白芽奇兰速溶茶粉加工过程中各阶段样品的感官评价雷达图
Fig. 1 Sensory evaluation radar map of samples at each stage of processing of Baiyaqilan instant tea

2.2 白芽奇兰速溶茶粉不同加工工序对挥发性成分的影响规律

蒋青香^[10]和刘芯如^[9]等研究表明白芽奇兰茶叶中的香气成分主要有酯类、醛类、酮类、醇类、氧化物类、烯炔类等。范远景等^[3]研究表明红茶加工成速溶红茶粉后，香气成分含量损失比较严重；靳巧丽^[4]表明乌龙茶加工成速溶茶粉后，香气成分的总含量大量损失，且总香气强度值减小。于欣洋^[14]研究表明乌龙茶经反渗透浓缩后醇类、酮类、酯类物质含量减少。蒋青香^[15]研究表明乌龙茶叶经冷冻干燥处理后醛类、烯炔类物质含量减少，醇类、酮类、酯类、氧化物类、其他类物质含量增加。吴函殷等^[7]发现随着蒸青绿茶浓缩液加工过程的进行，各加工阶段香气组分的种类无变化，但含量出现较大差异。本研究对白芽奇兰速溶茶粉加工过程中各阶段样品的香气成分进行GC-MS分析，得到其总离子流图(图2)，依据质谱数据库的相似度检索及基峰、特征离子碎片和RI对比分析，共鉴定出38种香气成分(表2)，包括酯类11种、醛类5种、酮类7种、烯炔类2种、醇类4种、氧化物类3种、其他类6种。定量分析结果(表3)对比(图3)表明，经浸提、碟式分离、超滤、反渗透浓缩和冷冻干燥处理后，其香气成分总

含量分别为2 801.80、3 105.24、2 094.17、2 849.45、1 816.76 mg/kg和1 379.60 mg/kg。除了浸提工艺和超滤工艺外，不同加工阶段香气成分总含量随着加工过程的进行呈现逐渐降低的规律，与范远景等^[3]和靳巧丽^[4]的研究结果相似，表明茶叶加工成速溶茶粉后，总香气成分含量降低，导致香气品质降低。OT经浸提工艺处理后（EOT），醛类、酮类、烯炔类、醇类、氧化物类和其他类物质含量显著增加（ $P<0.05$ ）；EOT经碟式分离工艺处理后（SOT），酯类、酮类、烯炔类、醇类、氧化物类和其他类物质含量显著降低（ $P<0.05$ ）；SOT经超滤工艺处理后（UOT），酯类、酮类、烯炔类和其他类物质含量显著增加（ $P<0.05$ ）；UOT经反渗透浓缩工艺处理后（COT），酯类、酮类、烯炔类、醇类、氧化物类和其他类物质含量显著减少（ $P<0.05$ ）；COT经冷冻干燥工艺处理后，酯类、醛类、酮类和其他类物质含量显著减少（ $P<0.05$ ），而醇类物质含量显著增加（ $P<0.05$ ）。将定性定量结果与国内外同类研究对比

发现，白芽奇兰速溶茶粉不同加工阶段水溶液中含量都较高的香气成分主要为1-乙基-2-甲酰基吡咯、水杨酸甲酯、藏花醛、吡啶、顺式茉莉酮、顺式茉莉内酯、茉莉酸甲酯等（表3），与相关研究^[5,9-10,15]结果类似。速溶茶粉加工各阶段不同香气成分含量变化结果与于欣洋^[14]和吴函殷等^[7]研究结果相似。

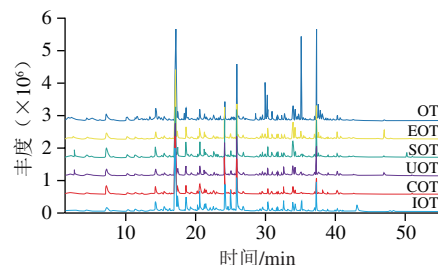


图2 白芽奇兰速溶茶粉加工过程中香气成分的总离子流图
Fig.2 Total ion flow diagram of aroma components of Baiyaqilan instant tea during processing process

表2 白芽奇兰速溶茶粉加工过程中香气成分的定性结果及标准曲线

Table 2 Qualitative analysis and standard curves of aroma components in Baiyaqilan instant tea during processing process

序号	香气成分	RIx ^a	RIx ^b	保留时间/min	特征离子碎片 (m/z)		鉴定依据	标准曲线	R ²	线性范围/(μg/L)
					定性	定量				
1	1-乙基吡咯	812	815	4.550	80, 95, 39	80	MS, Std, RI	Y=8.666 77X+1.726 75	0.993 9	20~2 000
2	苯甲醛	959	959	10.260	77, 106, 51	106	MS, Std, RI	Y=19.852 18X-0.021 42	0.998 5	20~5 000
3	6-甲基-5-庚烯-2-酮	985	985	11.455	43, 108, 69	43	MS, Std, RI	Y=34.692 42X-0.170 12	0.994 3	5~500
4	苯乙醛	1 040	1 040	14.150	91, 120, 65	91	MS, Std, RI	Y=9.480 563X-0.016 56	0.990 7	10~500
5	1-乙基-2-甲酰基吡咯	1 044	1 046	14.350	123, 94, 39		MS, RI			
6	苯乙酮	1 069	1 069	15.230	105, 77, 51	105	MS, Std, RI	Y=29.440 62X+0.152 13	0.998 5	2~100
7	顺式芳樟醇氧化物	1 069	1 069	15.585	59, 43, 94	59	MS, Std, RI	Y=6.516 554X-0.078 44	0.993 6	10~500
8	3-乙基-2,5-二甲基吡嗪	1 075	1 077	15.860	135, 42, 67		MS, RI			
9	反式芳樟醇氧化物(呋喃型)	1 085	1 085	16.370	59, 43, 94	59	MS, Std, RI	Y=4.608 412X-0.054 30	0.993 8	10~500
10	脱氢芳樟醇	1 103	1 103	17.270	71, 82, 43	71	MS, Std, RI	Y=77.125 75X-0.031 22	0.996 1	5~3 000
11	苯乙腈	1 133	1 135	18.720	117, 90, 63	117	MS, Std, RI	Y=26.482 84X-0.099 51	0.994 9	10~500
12	2-甲基-3,5-二乙基吡嗪	1 150	1 151	19.540	149, 39, 122		MS, RI			
13	顺式芳樟醇氧化物(吡喃类)	1 168	1 173	20.370	68, 59, 94		MS, RI			
14	水杨酸甲酯	1 188	1 187	21.345	120, 92, 152	120	MS, Std, RI	Y=1.078 351X-0.052 96	0.996 9	10~10 000
15	α-松油醇	1 192	1 192	21.535	59, 93, 121	93	MS, Std, RI	Y=22.134 53X+0.269 04	0.999 4	5~500
16	藏花醛	1 194	1 196	21.665	107, 121, 150	107	MS, Std, RI	Y=21.733 44X+0.151 66	0.996 8	2~100
17	β-环柠檬醛	1 217	1 217	22.635	137, 123, 152	137	MS, Std, RI	Y=204.931 7X-0.142 77	0.990 7	1~50
18	香叶醇	1 250	1 251	24.270	41, 69, 93	69	MS, Std, RI	Y=13.488 61X+1.350 25	0.996 2	10~15 000
19	柠檬醛	1 266	1 269	24.975	69, 41, 84	69	MS, Std, RI	Y=74.783 08X-0.366 95	0.991 2	50~5 000
20	吡啶	1 287	1 287	25.970	117, 90, 63	117	MS, Std, RI	Y=0.874 951 6X-0.024 05	0.998 1	50~15 000
21	1,1,6-三甲基-1,2-二氢萘	1 348	1 349	28.655	137, 142, 115		MS, RI			
22	β-大马士酮	1 375	1 376	29.820	69, 121, 105	69	MS, Std, RI	Y=1.296 851X-0.052 18	0.996 8	5~1 000
23	顺式己酸-3-己烯酯	1 379	1 380	30.030	82, 99, 43	82	MS, Std, RI	Y=445.227 3X-0.022 93	0.998 8	1~50
24	己酸己酯	1 385	1 385	30.270	43, 117, 84		MS, RI			
25	顺式茉莉酮	1 388	1 385	30.395	79, 164, 93		MS, RI			
26	反式-α-紫罗兰酮	1 420	1 420	31.665	121, 93, 192	121	MS, Std, RI	Y=286.453 2X-0.012 33	0.998 8	1~50
27	2-苯乙基丁酸酯	1 435	1 439	32.395	104, 43, 71		MS, RI			
28	邻苯二甲酸二甲酯	1 442	1 445	32.665	164, 77, 135		MS, RI			
29	香叶基丙酮	1 445	1 446	32.800	43, 69, 107	43	MS, Std, RI	Y=239.598 4X-0.018 07	0.998 7	1~50
30	反式-β-紫罗兰酮	1 474	1 477	33.995	177, 43, 135	177	MS, Std, RI	Y=474.730 1X-0.035 75	0.998 0	1~50
31	顺式茉莉内酯	1 485	1 518	34.320	99, 71, 55		MS, RI			
32	α-法尼烯	1 503	1 503	35.160	93, 41, 69	69	MS, Std, RI	Y=1.897 83X-0.003 21	0.974 8	100~500
33	二氢猕猴桃内酯	1 517	1 519	35.720	111, 43, 137	111	MS, Std, RI	Y=4.591 894X-0.053 38	0.998 7	1~500
34	反式橙花叔醇	1 560	1 546	37.390	69, 41, 93	69	MS, Std, RI	Y=116.978 7X-0.020 01	0.995 4	5~500
35	顺式-3-苯甲酸己烯酯	1 567	1 568	37.650	82, 67, 51		MS, RI			
36	苯甲酸己酯	1 575	1 576	37.970	123, 105, 77		MS, RI			
37	茉莉酸甲酯	1 637	1 638	40.310	83, 151, 224		MS, RI			
38	邻苯二甲酸二异丁酯	1 947	1 954	50.985	149, 41, 205	149	MS, Std, RI	Y=5.890 413X+0.003 27	0.995 5	10~500

注：RI为Rtx-5MS色谱柱结果，RIx^a为本研究计算值，RIx^b为文献报道值；MS为质谱库搜索结果，Std为标准品对比结果，RI为保留指数对比结果，文献参考RI来源网站<https://webbook.nist.gov/chemistry/>。

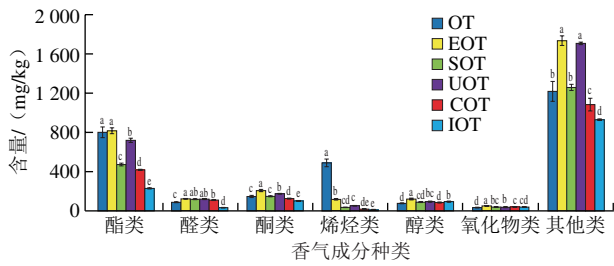


图3 白芽奇兰速溶茶粉加工过程中不同香气成分的含量比较

Fig. 3 Comparison of volatile component content in Baiyaqilan instant tea during processing process

2.3 白芽奇兰速溶茶粉不同加工工序对关键香气贡献成分的影响规律

OAV是评价单个香气成分对样品香气特征贡献程度的指标，OAV不小于1的香气成分被认为是具有香气活性的化合物，对其香气特征有重要影响^[16]。蒋青香^[15]研究表明白芽奇兰茶叶及其速溶茶粉的关键香气活性化合物为3-乙基-2,5-二甲基吡嗪、藏花醛、香叶醇、吡啶、反式-β-大马士酮、顺式-香叶基丙酮、反式-β-紫罗兰酮等。Zhu Jiancai等^[17]研究表明乌龙茶水溶液中OAV较大的成分为2-甲基丙醛、3-甲基丁醛、己醛、辛醛、反式-2-

表3 白芽奇兰速溶茶粉加工过程中香气成分的定量结果

Table 3 Quantitative results of aroma components in Baiyaqilan instant tea during processing process

类别	香气成分	保留时间/min	香气成分含量/(mg/kg)					
			OT	EOT	SOT	UOT	COT	IOT
酯类	水杨酸甲酯	21.345	105.20±3.03 ^c	162.76±10.03 ^a	129.89±5.54 ^b	124.74±6.63 ^b	90.50±0.30 ^d	72.28±0.01 ^e
	顺式己酸-3-己烯酯	30.030	0.80±0.04 ^a	0.26±0.07 ^b	0.08±0.01 ^d	0.17±0.08 ^c	0.08±0.02 ^d	0.07±0.01 ^d
	己酸己酯	30.270	198.23±40.75 ^a	35.71±3.35 ^b	7.86±0.39 ^{bc}	18.76±3.54 ^{bc}	4.92±0.21 ^{bc}	2.14±0.06 ^e
	2-苯乙基丁酸酯	32.395	50.79±0.18 ^b	73.91±3.20 ^a	45.14±2.09 ^c	48.53±2.87 ^{bc}	31.46±2.41 ^d	13.00±0.17 ^e
	邻苯二甲酸二甲酯	32.665	5.59±0.47 ^f	9.96±0.66 ^e	57.70±0.76 ^c	133.03±1.60 ^a	89.06±0.94 ^b	49.33±0.82 ^d
	顺式茉莉内酯	34.320	126.71±9.02 ^c	206.47±2.30 ^a	84.73±0.99 ^d	171.10±9.19 ^b	93.19±1.55 ^d	44.21±0.09 ^e
	二氢猕猴桃内酯	35.720	2.53±0.03 ^c	10.86±0.07 ^a	2.81±0.17 ^e	6.67±0.26 ^b	2.58±0.84 ^c	1.66±0.01 ^d
	顺式-3-苯甲酸己烯酯	37.650	114.91±1.51 ^b	153.39±11.65 ^a	64.40±3.50 ^d	81.92±1.26 ^c	34.91±3.65 ^e	4.88±0.26 ^f
	苯甲酸己酯	37.970	101.69±0.34 ^a	53.64±0.20 ^b	14.50±1.28 ^d	32.35±1.60 ^c	9.50±0.38 ^e	ND
	茉莉酸甲酯	40.310	87.00±0.58 ^b	99.26±3.53 ^a	52.83±2.53 ^c	88.31±3.25 ^b	48.16±1.05 ^d	33.23±0.32 ^e
邻苯二甲酸二异丁酯	50.985	ND	1.91±0.44 ^d	0.96±0.07 ^a	1.93±0.39 ^b	1.80±0.17 ^a	ND	
合计			793.45	808.13	460.90	707.51	406.16	220.75
醛类	苯甲醛	10.260	7.81±0.54 ^a	7.82±0.93 ^a	6.35±0.48 ^b	6.65±0.09 ^b	3.99±0.19 ^c	2.81±0.01 ^d
	苯乙醛	14.150	5.71±0.25 ^a	2.66±0.22 ^c	2.89±0.25 ^{bc}	3.18±0.05 ^b	1.88±0.03 ^d	0.42±0.01 ^e
	藏花醛	21.665	66.09±0.14 ^d	99.59±0.34 ^a	98.92±0.50 ^b	98.80±0.21 ^b	98.13±0.05 ^c	21.33±0.03 ^e
	β-环柠檬醛	22.635	0.47±0.01 ^b	0.57±0.02 ^a	0.33±0.01 ^e	0.41±0.01 ^c	0.37±0.02 ^d	0.30±0.02 ^e
	柠檬醛	24.975	0.23±0.01 ^b	0.20±0.01 ^c	0.17±0.02 ^e	0.07±0.02 ^d	0.09±0.01 ^d	0.29±0.01 ^a
合计			80.31	110.84	108.66	109.11	104.46	25.15
酮类	6-甲基-5-庚烯-2-酮	11.455	1.39±0.10 ^d	1.97±0.14 ^{ab}	1.75±0.16 ^{bc}	1.83±0.14 ^{bc}	1.67±0.10 ^c	2.04±0.01 ^a
	苯乙酮	15.230	1.57±0.08 ^c	2.98±0.11 ^a	1.54±0.11 ^c	2.37±0.16 ^b	1.67±0.18 ^c	1.16±0.05 ^d
	β-大马士酮	29.820	9.84±0.61 ^d	24.99±0.67 ^a	12.68±0.61 ^c	16.55±0.25 ^b	12.83±0.21 ^c	12.47±0.07 ^e
	顺式茉莉酮	30.395	126.71±9.02 ^c	166.75±12.22 ^a	121.38±3.65 ^c	142.26±0.48 ^b	97.48±3.96 ^d	74.55±2.68 ^e
	反式-α-紫罗兰酮	31.665	0.12±0.01 ^c	0.28±0.02 ^{ab}	0.14±0.02 ^{bc}	0.20±0.02 ^{bc}	0.13±0.01 ^{bc}	0.08±0.01 ^a
	香叶基丙酮	32.800	0.25±0.02 ^b	0.30±0.04 ^d	0.17±0.03 ^e	0.30±0.01 ^a	0.21±0.02 ^e	0.11±0.01 ^d
	反式-β-紫罗兰酮	33.995	0.44±0.05 ^{bc}	0.77±0.17 ^a	0.41±0.06 ^{bc}	0.48±0.06 ^b	0.32±0.01 ^c	0.17±0.01 ^d
合计			140.32	198.04	138.07	163.99	114.31	90.77
烯炔类	1,1,6-三甲基-1,2-二氢萘	28.655	61.12±0.27 ^a	24.74±1.36 ^b	10.79±0.96 ^d	16.73±1.31 ^c	8.27±0.16 ^e	1.96±0.07 ^f
α-法尼烯	35.160	417.75±42.59 ^a	81.01±8.64 ^b	15.91±0.03 ^c	28.74±2.35 ^c	ND	ND	
合计			478.87	105.75	26.70	45.47	8.27	1.96
醇类	脱氢芳樟醇	17.270	23.52±0.98 ^c	35.56±1.47 ^b	30.96±2.15 ^c	28.14±1.57 ^d	27.16±2.21 ^d	39.72±0.26 ^a
	α-松油醇	21.535	2.76±0.09 ^d	5.00±0.13 ^a	3.89±0.48 ^b	3.92±0.07 ^b	3.36±0.12 ^c	3.70±0.03 ^{bc}
	香叶醇	24.270	22.27±0.13 ^d	53.92±3.91 ^a	35.76±0.78 ^c	43.26±0.43 ^b	37.45±2.23 ^c	42.77±0.70 ^b
	反式橙花叔醇	37.390	22.01±0.31 ^a	18.70±0.19 ^b	6.09±0.10 ^e	7.74±0.28 ^c	6.84±0.73 ^d	2.79±0.16 ^f
合计			70.56	113.18	76.70	83.06	74.81	88.99
氧化物类	顺式芳樟醇氧化物	15.585	12.86±0.77 ^d	19.78±0.11 ^a	15.79±0.88 ^{bc}	16.58±0.55 ^b	15.38±0.12 ^c	13.47±0.19 ^d
	反式芳樟醇氧化物(吡喃型)	16.370	7.64±0.06 ^c	8.83±1.01 ^b	7.99±0.53 ^c	7.52±0.69 ^d	7.65±0.12 ^d	7.48±0.23 ^a
	顺式芳樟醇氧化物(吡喃类)	20.370	5.54±0.37 ^e	9.61±0.51 ^a	6.65±0.05 ^{cd}	7.99±0.70 ^b	6.32±0.36 ^d	7.36±0.28 ^{bc}
合计			26.04	38.22	30.43	32.09	29.35	28.31
其他类	1-乙基吡咯	4.550	10.14±0.22 ^a	5.46±2.77 ^{bc}	5.20±0.26 ^{bc}	6.77±0.63 ^b	4.04±0.10 ^c	3.79±0.19 ^c
	1-乙基-2-甲酰基吡咯	14.350	456.05±25.95 ^a	327.34±4.90 ^b	287.62±1.90 ^c	257.94±2.07 ^d	235.48±4.22 ^e	190.11±6.62 ^f
	3-乙基-2,5-二甲基吡嗪	15.860	30.23±0.25 ^c	34.74±0.54 ^b	28.50±0.60 ^d	35.83±1.31 ^b	37.66±0.97 ^a	22.36±0.09 ^e
	苯乙腈	18.720	8.02±0.27 ^b	14.04±0.77 ^d	10.92±0.37 ^a	11.08±0.49 ^a	7.34±0.18 ^c	7.71±0.04 ^{bc}
	2-甲基-3,5-二乙基吡嗪	19.540	7.64±0.03 ^c	16.10±0.26 ^c	20.62±0.40 ^b	24.79±0.51 ^a	20.95±1.78 ^b	13.69±0.05 ^d
	吡啶	25.970	700.17±75.21 ^{cd}	1333.4±41.88 ^a	899.84±31.36 ^b	1371.7±6.65 ^a	773.93±57.02 ^c	686.01±2.16 ^d
合计			1212.25	1731.08	1252.71	1708.22	1079.40	923.68

注：为便于对比，将白芽奇兰速溶茶粉不同加工阶段中的香气成分含量统一换算为单位质量白芽奇兰茶叶中所含香气成分的质量；ND.未检出，表4、5同；同行不同字母差异显著(P<0.05)；顺式芳樟醇氧化物(吡喃类)的含量根据顺式-芳樟醇氧化物的标准曲线计算。

庚醛、橙花醇、吡啶等。如表4所示,本研究在OT、EOT、SOT、UOT、COT和IOT中分别检测出22、25、21、21、20种和20种OAV不小于1的关键香气成分。在白芽奇兰速溶茶粉加工过程各阶段样品中,3-乙基-2,5-二甲基吡嗪(烘烤香、焦糖香)、脱氢芳樟醇(花香、甜香)、水杨酸甲酯(薄荷、青草香)、藏花醛(木香)、香叶醇(花香)、吡啶(烧焦、樟脑味)、 β -大马士酮(甜香、蜂蜜)、顺式茉莉酮(花香、甜香)、香叶基丙酮(花香)、反式橙花叔醇(花香、青草香)和茉莉酸甲酯(茉莉花香)OAV大于10,说明这些成分在白芽奇兰茶叶及其速溶茶粉的关键香气活性成分,与蒋青香^[15]的研究结果相似。

将白芽奇兰速溶茶粉各加工阶段的样品进行对比(表4),发现相比OT, EOT中除苯乙醛、顺式己酸-3-己烯酯、己酸己酯、 α -法尼烯和反式橙花叔醇的OAV减少1以上外,有14种成分的OAV增加1以上,其中脱氢芳樟醇、藏花醛、香叶醇、吡啶、 β -大马士酮、顺式茉莉酮和茉莉酸甲酯的OAV增加100以上,这些成分主要呈现花香、甜香和木香,可以较好地解释感官评价中OT经浸提工艺处理后花香、甜香和木香强度增加的现象;与EOT相比, SOT中除苯乙醛的OAV增加1以上外,有17种成分的OAV降低1以上,其中香叶醇、吡啶、 β -大马士酮、顺式茉莉酮及茉莉酸甲酯的OAV降低100以上,这些成分主要呈现花香、甜香、青草香,较好地解释感官评价中EOT经碟式分离工艺处理后,花香、青草香、甜香强度降低的现象;与SOT相比, UOT中除脱氢芳樟醇、水杨酸甲酯和藏花醛的OAV降低1以上外,有13种成分的OAV增加1以上,其中3-乙基-2,5-二甲基吡嗪、香叶醇和香叶基丙酮的OAV增加50以上,吡啶、 β -大马士酮、顺式茉莉酮和茉莉酸甲酯的OAV增加100以上,这些成分主要呈现花香、甜香,可较好地解释感官评价中SOT经超滤处理后,花香和甜香强度增加现象;与UOT相比, COT中除3-乙基-2,5-二甲基吡嗪的OAV增加1以上外,有14种成分的OAV降低1以上,其中水杨酸甲酯、藏花醛、香叶醇的OAV降低50以上,吡啶、 β -大马士酮、顺式茉莉酮及茉莉酸甲酯的OAV降低100以上,这些成分主要呈现青草香、花香、木香、甜香,可较好地解释感官评价中UOT经反渗透浓缩处理后,青草香、花香、木香、甜香强度降低的现象;与COT相比, IOT中有13种成分的OAV降低1以上,其中3-乙基-2,5-二甲基吡嗪、藏花醛、 β -大马士酮、顺式茉莉酮及茉莉酸甲酯的OAV降低100以上,这些成分主要呈现烘烤香、焦糖香、木香、甜香、花香,而脱氢芳樟醇和香叶醇的OAV增加1以上,其主要呈现花香,可较好地解释感官评价中COT经冷冻干燥后,烘烤香和木香强度降低、花香强度增加的现象。

表4 白芽奇兰速溶茶粉加工过程中香气成分的OAV分析

Table 4 OAV analysis of aroma components in Baiyaqilan instant tea during processing process

香气成分	阈值/ ($\mu\text{g}/\text{kg}$)	气味描述	OAV						
			OT	EOT	SOT	UOT	COT	IOT	
1-乙基吡咯	10 000 ^[18]	甜香、烘烤香 ^[18]	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
苯甲醛	750 ^[17]	杏仁、焦糖香 ^[16]	0.7	0.7	0.6	0.6	0.4	0.2	
6-甲基-5-庚烯-2-酮	50 ^[17]	青草香、蘑菇 ^[17]	1.9	2.6	2.3	2.4	2.2	2.7	
苯乙醛	4 ^[19]	甜香、花香 ^[20]	95.2	44.4	48.2	53.0	31.4	7.0	
1-乙基-2-甲酰基吡咯	NF	烘烤香、焦糖香 ^[21]							
苯乙酮	200 ^[22]	香草味、櫻桃味	0.5	1.0	0.5	0.8	0.6	0.4	
顺式芳樟醇氧化物	320 ^[23]	茶香、花香 ^[23]	2.7	4.1	3.3	3.5	3.2	2.8	
3-乙基-2,5-二甲基吡嗪	8.6 ^[24]	烘烤香、焦糖香 ^[24]	234.3	269.3	220.9	277.8	291.9	173.3	
反式芳樟醇氧化物(吡喃型)	320 ^[23]	花香 ^[23]	1.6	1.8	1.7	1.6	1.6	1.6	
脱氢芳樟醇	110 ^[25]	花香、甜香 ^[25]	14.3	21.5	18.8	17.1	16.5	24.1	
苯乙腈	60 ^[26]	腌制、辛辣	8.9	15.6	12.1	12.3	8.2	8.6	
2-甲基-3,5-二乙基吡嗪	NF								
顺式芳樟醇氧化物(吡喃类)	320 ^[23]	木香、茶香	1.2	2.0	1.4	1.7	1.3	1.5	
水杨酸甲酯	40 ^[17]	薄荷、青草香 ^[17]	175.3	271.3	216.5	207.9	150.8	120.5	
α -松油醇	330 ^[17]	木香 ^[17]	0.6	1.0	0.8	0.8	0.7	0.7	
藏花醛	0.7 ^[18]	木香 ^[18]	6 294.3	9 485.2	9 421.4	9 409.3	9 345.5	2 031.4	
β -环柠檬醛	3 ^[17]	甜香、草药	10.4	12.7	7.3	9.1	8.2	6.7	
香叶醇	7.5 ^[25]	花香 ^[25]	198.0	479.3	317.9	384.5	332.8	380.2	
柠檬醛	150 ^[25]	蜂蜜香、玫瑰香	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.1	
吡啶	100 ^[23]	烧焦、樟脑味	466.8	888.9	599.9	914.5	516.0	457.3	
1,1,6-三甲基-1,2-二氢萘	NF								
β -大马士酮	0.05 ^[27]	甜香、蜂蜜 ^[28]	13 120.0	33 321.5	16 912.7	22 060.3	17 111.6	16 626.7	
顺式己酸-3-己烯酯	12.1 ^[25]	果香、西梅干	4.4	1.4	0.5	0.9	0.4	0.4	
己酸己酯	40 ^[25]	果香	330.4	59.5	13.1	31.3	8.2	3.6	
顺式茉莉酮	1.9 ^[17]	花香、甜香 ^[25]	4 446.0	5 850.8	4 259.1	4 991.7	3 420.5	2 615.8	
反式- α -紫罗兰酮	76 ^[26]	花香、木香 ^[25]	0.1	0.2	0.1	0.2	0.1	0.1	
2-苯乙基丁酸酯	NF								
邻苯二甲酸二甲酯	NF								
香叶基丙酮	0.186 ^[17]	花香、清香 ^[17]	89.6	107.7	61.5	108.3	74.5	39.4	
反式- β -紫罗兰酮	76 ^[26]	花香、木香 ^[26]	0.4	0.7	0.4	0.4	0.3	0.1	
顺式茉莉内酯	2 000	花香、奶香、甜香	4.2	6.9	2.8	5.7	3.1	1.5	
α -法尼烯	87 ^[18]	甜香 ^[18]	320.1	62.1	12.2	22.0	0.0	0.0	
二氢猕猴桃内酯	500 ^[17]	木香、麝香 ^[17]	0.3	1.4	0.4	0.9	0.3	0.2	
反式橙花叔醇	10 ^[17]	花香 ^[23] 、青草香 ^[17]	146.7	124.6	40.6	51.6	45.6	18.6	
顺式-3-苯甲酸己烯酯	NF								
苯甲酸己酯	NF							ND	
茉莉酸甲酯	3 ^[17]	茉莉花香 ^[25]	1 933.3	2 205.7	1 173.9	1 962.5	1 070.3	738.4	
邻苯二甲酸二异丁酯	NF							ND	

注: 阈值参考文献中挥发性化合物在水中的阈值, 气味特征及阈值来源于对应的参考文献, 未在文献中提及的化合物的阈值来自网站<http://www.leffingwell.com/odourthre.htm>; NF未在参考文献中查找到该挥发性化合物的阈值。

加工过程中关键香气成分会发生变化, 机理见图4。速溶茶粉加工过程中, 浸提工艺将茶叶内物质溶出且溶入溶剂中, 高温断裂香叶醇、水杨酸甲酯等糖苷类香气物质的糖苷键使香气成分释放^[31], 同时在热物理化学的作用下也会形成一些新的特殊香气^[32], 而高温处理还会加快香气成分的挥发及降解, 且水杨酸甲酯会部分水解游离出水杨酸; 碟式分离工艺通过离心处理去除了浸提液中的大颗粒杂质及沉淀^[33], 而香叶醇、 β -大马士酮、吡啶、顺式茉莉酮等挥发性成分的溶解度较大, 离心处

理后样品的挥发性物质更容易扩散挥发^[34]；超滤工艺能够滤去茶叶提取液中蛋白质和茶多酚类物质^[35]；反渗透浓缩工艺利用有机高分子膜的选择透过性，在浓度差或外力压差的作用下克服渗透压差截留不溶解的物质导致香气成分的损耗^[36]，吲哚、 β -大马士酮、顺式茉莉酮和茉莉酸甲酯具有较高的疏水性，它们对膜的亲和性和高挥发性使其通过膜后由于蒸发和扩散而挥发^[37]；冷冻干燥工艺利用高真空使化合物的沸点降低至其冰点后瞬间升华，3-乙基-2,5-二甲基吡嗪、顺式茉莉酮和茉莉酸甲酯等香气物质随水蒸气挥发^[38]，同时类胡萝卜素含量显著降低^[39]，因此藏花醛和 β -大马士酮等由类胡萝卜素降解形成的香气物质含量随之降低，而物料在真空低温状态下放置较长时间，可能会促成物料中香气前体物质的转化导致香气物质的生成^[40]。对比各工序关键香气成分的OAV发现，浸提、碟式分离、干燥等工序会导致藏花醛、香叶醇、吲哚、 β -大马士酮、顺式茉莉酮和茉莉酸甲酯等关键香气成分总OAV降低，说明速溶茶粉提取过程中加热、分子截留、干燥等因素会显著降低藏花醛、香叶醇、吲哚、 β -大马士酮、顺式茉莉酮和茉莉酸甲酯等成分的香气强度，该结果与范远景等^[3]和靳巧丽^[4]的研究结果相似。此外，本研究发现超滤工艺会导致香叶醇、吲哚、 β -大马士酮、顺式茉莉酮和茉莉酸甲酯等关键香气成分的OAV增加，根据Ma Lijuan^[41]和Guo Jing^[42]等研究表明茶多酚类物质能抑制茶叶和苹果酒中挥发性化合物释放，推测其可能的原因是超滤截留了茶叶中茶多酚类物质，降低了茶多酚等成分对香气成分的吸附作用，促进了香气成分的释放。为验证这一设想，本研究选取经超滤处理后OAV变化较大的香叶醇、吲哚和 β -大马士酮作为代表性香气成分，以茶多酚溶液和3种代表性成分配制的混合溶液为对照，分别对比这3种成分经茶多酚处理前后峰面积的变化情况。由表5可知，TP中未检测出香叶醇、吲哚和 β -大马士酮，而TP-MSS中香叶醇、吲哚和 β -大马士酮的峰面积积极显著低于MSS ($P < 0.01$)；该结果证实了茶多酚类物质对挥发性香气成分的吸附作用，间接证明了超滤去除茶多酚复合物，促进了香气成分的释放。对于香气成分与酚类物质相互作用力，Ma Lijuan^[41]和Guo Jing^[42]等研究表明香气成分与酚类物质的苯环之间形成 π - π 堆积、氢键和疏水效应^[43]；Jung等^[44]利用核磁共振氢光谱谱研究发现了香气化合物与多酚类物质通过非共价键实现超分子组装。本研究结果及相关报道说明，香叶醇、吲哚和 β -大马士酮等香气分子与茶多酚复合物之间通过氢键和疏水作用相结合（图5），从而使香气成分更稳定；该结果预示着保留茶多酚复合物的形态，有利于减少茶叶香气成分的损失，为后续通过工艺改进提升速溶茶粉香气质量提供了思路参考。

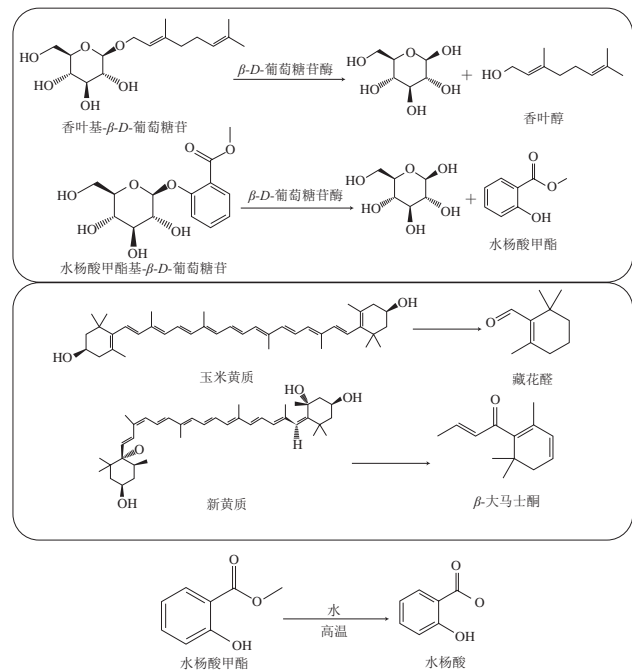


图4 速溶茶粉加工过程部分关键香气成分变化机理

Fig. 4 Change mechanism of some key aroma components in instant tea during the processing process

表5 茶多酚验证模型的定性及峰面积对比结果

Table 5 Qualitative and peak area comparison results of validation model of tea polyphenols

香气成分	TP	MSS	TP-MSS
香叶醇	ND	40 107 408 ± 90 543	24 777 240 ± 58 191**
吲哚	ND	4 778 523 ± 20 070	2 888 280 ± 19 139**
β -大马士酮	ND	2 513 539 ± 21 181	1 357 992 ± 14 687**

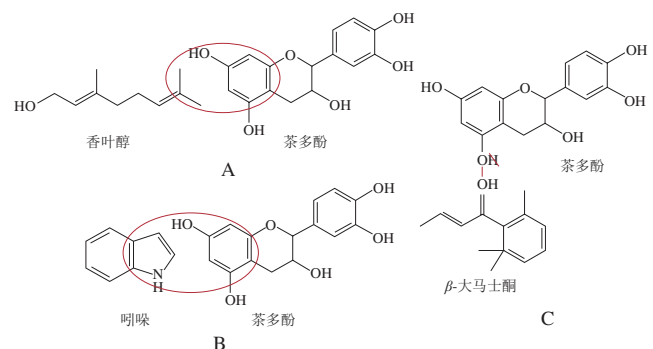
注：**.差异极显著 ($P < 0.01$)。A. 茶多酚的芳香环与香叶醇羟基间的疏水作用；B. 茶多酚的芳香环与吲哚杂环间的疏水作用；C. 茶多酚与 β -大马士酮间的氢键作用。

图5 茶多酚主要活性成分与香气成分间的非共价作用

Fig. 5 Non-covalent interaction between major active components of tea polyphenols and aroma components

3 结论

白芽奇兰速溶茶粉加工过程中各阶段样品的整体香气轮廓和成分种类类似，但香气强度、香气成分浓度显

著不同。引起白芽奇兰速溶茶粉加工过程中香气变化的关键成分为3-乙基-2,5-二甲基吡嗪、脱氢芳樟醇、水杨酸甲酯、藏花醛、香叶醇、吡嗪、 β -大马士酮、顺式茉莉酮、香叶基丙酮、反式橙花叔醇和茉莉酸甲酯。浸提工艺使脱氢芳樟醇、藏花醛、香叶醇、吡嗪、 β -大马士酮、顺式茉莉酮和茉莉酸甲酯等香气成分的OAV增加；碟式分离工艺使香叶醇、吡嗪、 β -大马士酮、顺式茉莉酮及茉莉酸甲酯等香气成分的OAV降低；超滤工艺使吡嗪、 β -大马士酮、顺式茉莉酮和茉莉酸甲酯等香气成分的OAV增加；反渗透浓缩使水杨酸甲酯、藏花醛、香叶醇、吡嗪、 β -大马士酮、顺式茉莉酮及茉莉酸甲酯等香气成分的OAV降低；冷冻干燥工艺使3-乙基-2,5-二甲基吡嗪、藏花醛、 β -大马士酮、顺式茉莉酮及茉莉酸甲酯等香气成分的OAV降低。本研究阐明了白芽奇兰速溶茶粉加工过程中的香气成分变化规律，有助于人们深入了解速溶茶粉香气品质形成机理及提高白芽奇兰速溶茶粉的香气品质。

参考文献：

- [1] KRAUJALYTĚ V, PELVAN E, ALASALVAR C. Volatile compounds and sensory characteristics of various instant teas produced from black tea[J]. Food Chemistry, 2016, 194: 864-872. DOI:10.1016/j.foodchem.2015.08.051.
- [2] 刘智强, 燕飞, 王昕, 等. 超微茶粉在食品中应用的研究进展[J]. 食品科技, 2020, 45(7): 82-87. DOI:10.13684/j.cnki.spkj.2020.07.015.
- [3] 范远景, 王林, 董万领, 等. SPME-GC/MS法测定红茶及红茶粉中的挥发性[J]. 现代食品科技, 2012, 28(9): 1231-1235. DOI:10.13982/j.mfst.1673-9078.2012.09.017.
- [4] 靳巧丽. 速溶乌龙茶粉加工过程中挥发性成分变化研究[D]. 厦门: 集美大学, 2015: 12-37.
- [5] 王伟伟, 张建勇, 陈琳, 等. 安吉白茶速溶茶粉加工技术研究[J]. 食品科技, 2020, 45(7): 76-81. DOI:10.13684/j.cnki.spkj.2020.07.014.
- [6] 郑梦霞, 李会娟, 陈淑娜, 等. 冠突散囊菌发酵对茶汤香气成分的影响[J]. 食品科学, 2019, 40(18): 223-228. DOI:10.7506/spkx1002-6630-20181022-230.
- [7] 吴函殷, 刘晓辉, 罗龙新. 蒸青绿茶浓缩液加工过程中香气成分变化研究[J]. 食品安全质量检测学报, 2019, 10(13): 4227-4233. DOI:10.3969/j.issn.2095-0381.2019.13.034.
- [8] 陈文娟, 陈建福, 卢惠婷, 等. 蜗牛酶辅助提取白芽奇兰茶多糖及其抗氧化活性[J]. 安徽农业大学学报, 2018, 45(6): 996-1003. DOI:10.13610/j.cnki.1672-352x.20190102.005.
- [9] 刘芯如, 李利君, 倪辉, 等. 白芽奇兰茶叶特征风味成分的分析鉴定[J]. 现代食品科技, 2020, 36(4): 268-276. DOI:10.13982/j.mfst.1673-9078.2020.4.035.
- [10] 蒋青香, 李慧雪, 李利君, 等. 基于感官检验和气相色谱-质谱联用对白芽奇兰茶叶香气分级[J]. 食品科学, 2021, 42(20): 98-106. DOI:10.7506/spkx1002-6630-20201022-224.
- [11] VANDENDOOL H, KRATZ P D. A generalization of the retention index system including linear temperature programmed gas-liquid partition chromatography[J]. Journal of Chromatography, 1963, 11: 463. DOI:10.1016/S0021-9673(01)80947-X.
- [12] 王彩楠, 何理琴, 陈福城, 等. 武夷岩茶挥发性香气组成及沸水浸提下的释放规律[J]. 中国食品学报, 2018, 18(12): 309-318. DOI:10.16429/j.1009-7848.2018.12.038.
- [13] ZHANG L Z, NI H, ZHU Y B, et al. Characterization of aromas of instant oolong tea and its counterparts treated with two crude enzymes from *Aspergillus niger*[J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2017, 42(2): e13500. DOI:10.1111/jfpp.13500.
- [14] 于欣洋. 浓缩茶汁的香气分析[D]. 福州: 福建农林大学, 2010: 24-36.
- [15] 蒋青香. 白芽奇兰茶叶关键香气成分的鉴定及其茶粉香气品质的研究[D]. 厦门: 集美大学, 2020: 12-27.
- [16] DENG X J, HUANG G H, TU Q, et al. Evolution analysis of flavor-active compounds during artificial fermentation of Pu-erh tea[J]. Food Chemistry, 2021, 357: 129783. DOI:10.1016/j.foodchem.2021.129783.
- [17] ZHU J C, CHEN F, WANG L Y, et al. Comparison of aroma-active volatiles in oolong tea infusions using GC-olfactometry, GC-FPD, and GC-MS[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2015, 63(34): 7499-7510. DOI:10.1016/j.foodchem.2020.128136.
- [18] GUO X Y, HO C, WAN X C, et al. Changes of volatile compounds and odor profiles in Wuyi rock tea during processing[J]. Food Chemistry, 2021, 341: 128230. DOI:10.1016/j.foodchem.2020.128230.
- [19] WEN Y Q, HE F, ZHU B Q, et al. Free and glycosidically bound aroma compounds in cherry (*Prunus avium* L.)[J]. Food Chemistry, 2014, 152: 29-36. DOI:10.1016/j.foodchem.2013.11.092.
- [20] KANG S Y, YAN H, ZHU Y, et al. Identification and quantification of key odorants in the world's four most famous black teas[J]. Food Research International, 2019, 121: 73-83. DOI:10.1016/j.foodres.2019.03.009.
- [21] 陆晨浩, 王曦如, 仲梦涵, 等. 基于GC-MS和电子感官技术分析发芽对黑麦茶风味的影响[J]. 食品科学, 2020, 41(10): 192-197. DOI:10.7506/spkx1002-6630-20190617-174.
- [22] PINO J A, MESA J. Contribution of volatile compounds to mango (*Mangifera indica* L.) aroma[J]. Flavour and Fragrance Journal, 2006, 21(2): 207-213. DOI:10.1002/ffj.1703.
- [23] HO C, ZHENG X, LI S. Tea aroma formation[J]. Food Science and Human Wellness, 2015, 4(1): 9-27. DOI:10.1016/j.fshw.2015.04.001.
- [24] GUO X Y, HO C, SCHWAB W, et al. Effect of the roasting degree on flavor quality of large-leaf yellow tea[J]. Food Chemistry, 2021, 347: 129016. DOI:10.1016/j.foodchem.2021.129016.
- [25] NIE C N, ZHONG X X, HE L, et al. Comparison of different aroma-active compounds of Sichuan Dark brick tea (*Camellia sinensis*) and Sichuan Fuzhuan brick tea using gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) and aroma descriptive profile tests[J]. European Food Research and Technology, 2019, 245(9): 1963-1979. DOI:10.1007/s00217-019-03304-1.
- [26] ZHOU Q, JIA X, YAO Y Z, et al. Characterization of the aroma-active compounds in commercial fragrant rapeseed oils via monolithic material sorptive extraction[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2019, 67(41): 11454-11463. DOI:10.1021/acs.jafc.9b05691.
- [27] AN K J, LIU H C, FU M Q, et al. Identification of the cooked off-flavor in heat-sterilized lychee (*Litchi chinensis* Sonn.) juice by means of molecular sensory science[J]. Food Chemistry, 2019, 301: 125282. DOI:10.1016/j.foodchem.2019.125282.
- [28] ZHU Y, LÜ H P, SHAO C Y, et al. Identification of key odorants responsible for chestnut-like aroma quality of green teas[J]. Food Research International, 2018, 108: 74-82. DOI:10.1016/j.foodres.2018.03.026.
- [29] XU Y Q, WANG C, LI C W, et al. Characterization of aroma-active compounds of Pu-erh tea by headspace solid-phase microextraction (HS-SPME) and simultaneous distillation-extraction (SDE) coupled with GC-olfactometry and GC-MS[J]. Food Analytical Methods, 2016, 9(5): 1188-1198. DOI:10.1007/s12161-015-0303-7.

- [30] DU X F, FINN C E, QIAN M C. Volatile composition and odour-activity value of thomless 'Black Diamond' and 'Marion' blackberries[J]. Food Chemistry, 2010, 119(3): 1127-1134. DOI:10.1016/j.foodchem.2009.08.024.
- [31] 程东伟. 香叶醇糖苷的化学合成、热降解机理及在烟草中应用研究[D]. 湛江: 广东海洋大学, 2016: 34-36.
- [32] WANG L, DENG W L, WANG P, et al. Degradations of aroma characteristics and changes of aroma related compounds, PPO activity, and antioxidant capacity in sugarcane juice during thermal process[J]. Journal of Food Science, 2020, 85(4): 1140-1150. DOI:10.1111/1750-3841.15108.
- [33] 沈雨思. 苹果浊汁云状颗粒果胶组分与特征风味化合物相互作用研究[D]. 锦州: 渤海大学, 2021: 13-15.
- [34] 商滢, 郑茗源, 房玉林, 等. 不同萃取条件对“媚丽”葡萄酒挥发性风味物质释放的影响[J]. 中外葡萄与葡萄酒, 2021(6): 35-41. DOI:10.13414/j.cnki.zwpp.2021.06.005.
- [35] RAO L, HAYAT K, LÜ Y, et al. Effect of tiltrafiltration and fining adsorbents on the clarification of green tea[J]. Journal of Food Engineering, 2011, 102(4): 321-326. DOI:10.1016/j.jfoodeng.2010.09.007.
- [36] POZDEROVIĆ A, MOSLAVAC T, PICHLER A. Influence of processing parameters and membrane type on permeate flux during solution concentration of different alcohols, esters, and aldehydes by reverse osmosis[J]. Journal of Food Engineering, 2007, 78(3): 1092-1102. DOI:10.1016/j.jfoodeng.2005.12.039.
- [37] LONGO R, BLACKMAN J W, TORLEY P J, et al. Changes in volatile composition and sensory attributes of wines during alcohol content reduction[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2017, 97(1): 8-16. DOI:10.1002/jsfa.7757.
- [38] 李红, 倪辉, 姜泽东, 等. 真空冷冻干燥对速溶乌龙茶粉香味特征的影响[J]. 现代食品科技, 2016, 32(8): 309-316. DOI:10.13982/j.mfst.1673-9078.2016.8.047.
- [39] 傅秀敏, 唐劲驰, 杨子银. 茶叶类胡萝卜素合成、代谢调控研究进展[J]. 广东农业科学, 2021, 48(5): 18-27. DOI:10.16768/j.issn.1004-874X.2021.05.003.
- [40] 吴琼, 刘奕, 吴庆园, 等. 不同干燥方式对葛根全粉抗氧化性能和香气成分的影响[J]. 食品科学, 2017, 38(6): 202-208. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201706032.
- [41] MA L J, PENG Y X, DU L P, et al. Effect of main taste compounds on the release of methoxyphenolic compounds in Pu-erh tea[J]. LWT-Food Science and Technology, 2022, 160: 113293. DOI:10.1016/j.lwt.2022.113293.
- [42] GUO J, YUE T L, YUAN Y H. Impact of polyphenols on the headspace concentration of aroma compounds in apple cider[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2019, 99(4): 1635-1642. DOI:10.1002/jsfa.9345.
- [43] MCRAE J M, FALCONER R J, KENNEDY J A. Thermodynamics of grape and wine tannin interaction with polyproline: implications for red wine astringency[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2010, 58(23): 12510-12518. DOI:10.1021/jf1030967.
- [44] JUNG D M, DE ROPP J S, EBELER S E. Study of Interactions between food phenolics and aromatic flavors using one- and two-dimensional ¹H NMR spectroscopy[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2000, 48(2): 407-412. DOI:10.1021/jf9906883.