DOI:10.12441/spyswjs.20250428001 [文章编号] 1673-1689(2026)03-0138-13

政和白茶品质特征及挥发性成分研究

王霈菲[1,2] 吕杨俊[1,2] 刘 奇[1,2] 蒋玉兰[1,2] 潘俊娴[1,2] 朱 祥[3] 赵宏博[3] 邹新武[1,4*]

(1. 中华全国供销合作总社杭州茶叶研究所,浙江 杭州 310016; 2. 浙江省茶资源跨界应用技术重点实验室,浙江 杭州 310016; 3. 政和县茶业有限公司,福建 南平 353600; 4. 国家茶叶质量检验检测中心,浙江 杭州 310016)

摘要:【目的】探究政和白茶的主要品质特征及挥发性成分。【方法】以3个白牡丹样品和2个寿眉样品为研究对象,采用感官审评、理化分析、微生物测定、气相色谱-质谱联用(GC-MS)等方法对其进行检测分析。【结果】白牡丹样品香气具有毫香,滋味醇爽,叶底芽头较肥嫩或肥壮;寿眉样品香气清纯,滋味浓郁。所有样品的水分和水浸出物质量分数均符合GB/T 22291—2017《白茶》和GB/T 22109—2008《地理标志产品 政和白茶》的要求。偏最小二乘判别分析(PLS-DA)结果表明,游离氨基酸、茶多酚、水浸出物和咖啡碱是区分白牡丹和寿眉的主要理化成分。所有样品中均未检出致病菌,但不同样品间的菌落总数和霉菌数存在差异,其中寿眉饼茶(BC)的菌落总数和霉菌数较低,白牡丹3号(BMD3)的菌落总数和霉菌数较高。挥发性成分结果表明,白牡丹以醇类和酮类为主,具有甜香、花香、毫香的特点,其中香叶醇、芳樟醇和氧化芳樟醇II的相对含量较高;寿眉以醇类、酮类和酯类为主,香气带有花香、药香和木质香特征,其中水杨酸甲酯、二氢猕猴桃内酯和β-紫罗酮的相对含量较高。主成分分析(PCA)和聚类分析(HCA)结果显示,白牡丹与寿眉的挥发性成分存在显著差异,白牡丹香气浓郁清纯,而寿眉香气较淡且带有闷味。【结论】研究结果可为政和白茶风味品质特征评价和安全性评估提供参考。

关键词:政和白茶;白牡丹;寿眉;品质;微生物;挥发性成分

Quality Characteristics and Volatile Components of Zhenghe White Tea

WANG Peifei[1,2] *LYU Yangjun*[1,2] *LIU Qi*[1,2] *JIANG Yulan*[1,2] *PAN Junxian*[1,2] *ZHU Xiang*[3] *ZHAO Hongbo*[3] *ZOU Xinwu*[1,4*]

(1. Hangzhou Tea Research Institute, CHINA COOP, Hangzhou 310016, China; 2. Zhejiang Key Laboratory of Transboundary Applied Technology for Tea Resources, Hangzhou 310016, China; 3. Zhenghe County Tea Co., Ltd., Nanping 353600, China; 4. National Center for Tea Quality Inspection and Testing, Hangzhou 310016, China)

Abstract: [**Objective**] This study aims to explore the major quality characteristics and volatile components of Zhenghe white tea. [**Method**] Three representative samples of Baimudan tea and two samples of Shoumei tea were chosen and studied by sensory evaluation, physicochemical analysis, microbial determination, and gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS). [**Result**] Baimudan tea samples showed a tip aroma and a fresh and mellow taste, and the leaf residue bud was tender or stout. Shoumei tea samples exhibited a pure aroma and a rich taste. The mass fractions of water and water extracts of all the samples met the requirements of the national standards White Tea (GB/T 22291—2017) and Quality Requirements for Product of Geographical Indication—Zhenghe White Tea (GB/T 22109—2008). The results of partial least squares-discriminant analysis (PLS-DA) showed that free amino acids, tea polyphenols, water extract, and caffeine were the main physicochemical

基金项目:白茶仓储条件及品质变化规律研究与示范应用项目。

通信作者:邹新武(1974—),男,学士,高级工程师,主要从事茶叶感官品质评价研究。E-mail:zouxw139@163.com

收稿日期:2025-04-28 **修回日期:**2025-06-18

components to distinguish between Baimudan tea and Shoumei tea. Pathogens were detected in none of the samples, while there were differences in the total plate count and mold count, which were lower in Shoumei cake tea and higher in Baimudan 3 (BMD3). The analysis of volatile components showed that the volatile components of Baimudan tea were mainly composed of alcohols and ketones, conferring Baimudan tea with a sweet, floral, and tip aroma. In addition, geraniol, linalool, and linalool oxide II had higher relative content in Baimudan tea. The volatile components of Shoumei tea were mainly composed of alcohols, ketones, and esters, which endowed Shoumei tea with a floral, medicinal, and woody aroma. Additionally, Shoumei tea had higher relative content of methyl salicylate, dihydroactinidiolide, and *β*-lonone. The results of principal component analysis (PCA) and hierarchical cluster analysis (HCA) showed that the volatile components were significantly different between Baimudan tea and Shoumei tea. Specifically, Baimudan tea had a strong and pure aroma, while Shoumei tea had a light aroma and a dull taste. [**Conclusion**] This study can provide references for the flavor characteristic and safety evaluation of Zhenghe white tea.

Keywords: Zhenghe white tea; Baimudan tea; Shoumei tea; quality; microorganism; volatile component

白茶发源于福建，历史悠久，是我国六大茶类之一，经萎凋和干燥工艺加工而成[1-2]。按原料等级可分为白毫银针、白牡丹、贡眉、寿眉4类。近年来，由于白茶具有独特的口感与风味以及降血糖、降血脂、抗氧化等健康益处深受消费者青睐[3-7]，市场热度持续攀升，其中白牡丹的产销量和市场份额均处于领先地位[8-9]。有研究表明，白茶的等级越高，水浸出物、茶多酚、游离氨基酸等理化成分的含量也越高，且茶多酚和游离氨基酸对白茶滋味的贡献度最大[10]。白茶中几乎所有的香气化合物都属于内源性生物合成挥发物，主要包括醛类、醇类、酮类、烷烃类、芳烃类、含硫化合物、含氧杂环化合物和酯类[11-13]。其中芳樟醇及其氧化物、香叶醇、水杨酸甲酯、苯甲醛、苯乙醇是白茶清鲜毫香的物质基础，寿眉中*α*-紫罗酮、*β*-紫罗酮、香叶基丙酮等物质含量较高[14]。除挥发性成分外，茶叶的味道还取决于非挥发性成分，即可溶性糖、氨基酸和生物碱等[15]。另外，与散茶相比，压饼后的白茶中叶绿素、水浸出物、茶多酚等含量会显著降低，而氨基酸和可溶性糖含量显著升高[16-17]。

政和白茶作为中国地理标志产品，具有“香高味浓”的品质特点[18]，市场前景广阔。然而，目前关于政和白茶的研究较少，涉及白茶中微生物的研究更是匮乏。因此，作者以政和白茶等级中产量占比较大的白牡丹和寿眉为研究对象，经初步感官审评挑选出3个白牡丹样品和2个寿眉样品，通过测定其感官品质、理化成分、微生物及挥发性成分，全面分析政和白茶的品质特性，以期为政和白茶风味品质特征评价和安全性评估提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

白牡丹、寿眉：品种均为‘福安大白茶’，且均为当年新茶，见表1。十二水磷酸氢二钠、磷酸二氢钾、氯化亚锡、无水碳酸钠、乙二胺四乙酸二钠、抗坏血酸：均为分析纯，国药集团化学试剂有限公司；甲醇、乙腈、乙酸：均为分析纯，上海凌峰化学试剂有限公司；福林酚：上海源叶生物科技有限公司；水合茚三酮：分析纯，华大化学集团有限公司；没食子酸（GA，纯度≥99%）：上海阿拉丁生化科技股份有限公司；表没食子儿茶素（EGC）、儿茶素（C）、表儿茶素（EC）、表没食子儿茶素没食子酸酯（EGCG）、表儿茶素没食子酸酯（ECG）：均为色谱纯，美国Sigma公司；咖啡碱、*L*-茶氨酸标准品：国家茶叶质量检验检测中心。

表1 政和白茶样品信息

Table 1 Information of Zhenghe white tea samples

编号	样品名称	等级	级别	形态
1	BMD1	白牡丹	一级	散茶
2	BMD2	白牡丹	一级	散茶
3	BMD3	白牡丹	一级	散茶
4	SM	寿眉	二级	散茶
5	BC	寿眉	二级	饼茶

注：饼茶采用蒸压工艺压制而成。

1.2 仪器与设备

电子分析天平：AL204型，梅特勒-托利多仪器（上海）有限公司；电热恒温鼓风干燥箱：

DHG-9140A 型，上海精宏实验设备有限公司；电热恒温水浴锅：DK-S24 型，上海精宏实验设备有限公司；双光束紫外-可见分光光度计：TU-1901 型，北京普析通用仪器有限责任公司；低速大容量离心机：LD-IIB 型，无锡市瑞江分析仪器有限公司；高效液相色谱仪：Waters 1525 型，美国 Waters 公司；GC-MS：7890-5975C 型，美国 Agilent 公司；固相微萃取头：Supelco 50/30 μm DVB/Car on PDMS 型，美国 Agilent 公司。

1.3 方法

1.3.1 茶叶感官审评

参照 GB/T 23776—2018《茶叶感官审评方法》进行感官审评。

1.3.2 茶叶理化指标测定

参照 GB 5009.3—2016 中的直接干燥法测定水分质量分数；参照 GB/T 8305—2013 中的方法测定水浸出物质量分数；参照 GB/T 8314—2013 中的方法测定游离氨基酸质量分数；参照 GB/T 23193—2017 中的方法测定茶氨酸质量分数；参照 GB/T 8313—2018 中的方法测定茶多酚、儿茶素和咖啡碱质量分数。

1.3.3 挥发性成分测定

1）样品处理：准确称取 1.0 g 磨碎后的茶样，在 80 ℃水浴中平衡 5 min，插入固相微萃取头顶空萃取 50 min 后上机测试。

2）GC-MS 分析条件：采用 DB-17MS 气相色谱柱，流量 1.2 mL/min，分流体积比 5∶1，进样口温度 250 ℃。初始温度 40 ℃保持 5 min；以 5 ℃/min 升温至 160 ℃；以 10 ℃/min 升温至 250 ℃，保持 10 min；以 20 ℃/min 升温至 280 ℃。

1.3.4 微生物测定

参照 GB 4789.2—2022 中的方法测定菌落总数；参照 GB 4789.3—2025 中的平板计数法测定大肠菌群数；参照 GB 4789.15—2016 中的平板计数法测定霉菌数；参照 GB 4789.4—2016 中的方法测定沙门氏菌数；参照 GB 4789.5—2012 测定志贺氏菌数；参照 GB 4789.10—2016 中的平板计数法测定金黄色葡萄球菌数；参照 GB 4789.11—2014 中的方法测定 β 型溶血性链球菌数。

1.4 数据处理

理化成分和挥发性成分均重复测定 3 次。采用 Origin 9 作图，SPSS 24.0 进行差异性分析，$P<0.05$ 表示差异显著。采用 TBtools 软件绘制韦恩图，利用 SIMCA 14.1 软件进行 PLS-DA、PCA 和 HCA，并通过 200 次随机置换检验判别该模型的有效性与可靠性，以变量投影重要性（variable importance in projection，VIP）值>1 为标准筛选重要变量。通过检索 NIST 标准谱库并参照已发表的质谱相关资料，对 GC-MS 分析得到的质谱数据进行定性分析，并根据面积归一化法计算各挥发性成分的相对含量。

2 结果与讨论

2.1 政和白茶感官品质分析

白茶原料等级越高，所制白茶的毫香越显著，鲜醇味和毫味也越突出[19]。由表 2 可以看出，白牡丹样品在外形、香气和叶底方面差异较小，而在汤色、滋味方面差异较明显。白牡丹外形均表现为毫心肥壮，芽毫显露或显芽，香气均有毫香，滋味醇爽且带有毫味或毫味较明显，叶底芽头较肥嫩或肥壮，均符合 GB/T 22291—2017 中白牡丹一级的感官品质要求。其中，BMD1 色泽灰绿稍褐，汤色黄亮，香气浓纯有毫香、甜香，滋味醇爽较鲜、有毫味；BMD2 色泽黄

表 2 政和白茶感官审评结果

Table 2 Sensory evaluation results of Zhenghe white tea

样品	外形	汤色	香气	滋味	叶底
BMD1	毫心较肥壮、叶张嫩、显芽、灰绿稍褐	黄亮	浓纯有毫香、甜香	醇爽较鲜、有毫味	芽叶较肥嫩、有嫩茎、绿黄较亮
BMD2	毫心较肥壮、芽毫显露、黄绿	黄稍带绿亮	清纯有毫香、嫩香	清甜醇爽、有毫味、带鲜味（青苦味）	芽头较肥嫩、黄绿亮
BMD3	毫心较肥壮、芽毫显露、黄绿鲜活	杏黄亮	清香有嫩香、毫香显	鲜醇爽、毫味较显	芽头较肥壮、黄绿亮
SM	芽毫稀少、叶张多摊张、黄绿夹红、多嫩茎	黄亮	较清纯、稍闷	浓较醇爽、有青味	叶张尚嫩、有嫩茎、绿黄较亮、有红茎叶
BC	松紧适度、伞面稍有芽毫、多黄片、多嫩茎	黄稍深亮	较浓纯	浓较醇、回味稍苦涩	叶张尚嫩、有嫩茎、绿黄尚亮、有红茎叶

注：3 g 茶叶加入 150 mL 热水冲泡 5 min。

绿，汤色黄中稍带绿亮，香气清纯且兼具毫香、嫩香，滋味清甜醇爽、有毫味、带鲜味（青苦味）；BMD3色泽黄绿鲜活，汤色杏黄明亮，达到了白毫银针的汤色品质[20]，香气清香有嫩香、毫香显。这些差异可能与白牡丹的加工工艺有关。封娇等[21]研究发现，在相同含水率条件下，采用轻揉造型工艺制作的白牡丹香气偏甜香，而采用理条造型工艺制作的白牡丹则偏清香。寿眉样品均符合GB/T 22291—2017中寿眉二级的感官品质要求。散茶（SM）汤色黄亮，香气较清纯、稍闷，滋味浓较醇爽、有青味；经压饼工艺处理后（BC），汤色呈黄稍深亮，香气较浓纯，回味稍苦涩。这表明压饼有助于白茶中青味的转化。

2.2　政和白茶品质分析

2.2.1　政和白茶理化成分分析

茶树品种、采收季节、加工工艺等因素均会影响茶叶各理化成分的含量[22-23]。张春花等[24]采用相同加工工艺对比分析了福建茶区‘政和大白茶’‘福安大白茶’‘福鼎大毫茶’‘福建水仙’和‘政和菜茶’5个白茶品种，发现‘福安大白茶’茶多酚含量显著高于其他4个品种，而‘福鼎大毫茶’的氨基酸含量最高。李芬等[23]对比分析了不同季节采收的鲜叶，发现春茶氨基酸含量最高；夏茶水分、咖啡碱、儿茶素、儿茶素总量较高，而氨基酸含量较低；秋茶茶多酚含量最高，而氨基酸和儿茶素总量较低。本研究选用的茶树品种为‘福安大白茶’，采收时间为春季，理化成分检测结果见表3。

表3　政和白茶理化检测结果

Table 3　Physicochemical test results of Zhenghe white

样品	水分质量分数/%	水浸出物质量分数/%	茶多酚质量分数/%	儿茶素质量分数/%	GA质量分数/%	EGC质量分数/%	C质量分数/%	EC质量分数/%	EGCG质量分数/%	ECG质量分数/%	酯型儿茶素质量分数/%	简单儿茶素质量分数/%	游离氨基酸质量分数/%	茶氨酸质量分数/%	咖啡碱质量分数/%	酚氨比
BMD1	5.89±0.02^{c}	45.06±0.53^{c}	18.9±0.7^{b}	8.05±0.21^{c}	0.15±0.00^{a}	0.86±0.01^{bc}	0.45±0.02^{b}	0.09±0.00^{c}	5.28±0.19^{b}	1.37±0.03^{d}	6.65±0.22^{b}	1.41±0.01^{b}	4.02±0.02^{d}	1.38	4.12±0.11^{ab}	4.69
BMD2	6.24±0.09^{a}	48.46±0.46^{ab}	19.8±0.2^{ab}	9.95±0.29^{a}	0.07±0.00^{b}	1.24±0.03^{a}	0.63±0.05^{a}	0.26±0.03^{ab}	6.16±0.22^{a}	1.66±0.05^{ab}	7.82±0.27^{a}	2.13±0.04^{a}	4.92±0.05^{a}	1.71	4.25±0.13^{a}	4.02
BMD3	5.95±0.02^{c}	48.11±0.12^{ab}	20.6±0.3^{a}	9.90±0.53^{a}	0.06±0.00^{b}	1.14±0.28^{ab}	0.64±0.05^{a}	0.25±0.03^{b}	6.08±0.21^{a}	1.80±0.10^{a}	7.88±0.31^{a}	2.03±0.28^{a}	4.46±0.09^{b}	2.08	3.86±0.12^{bc}	4.61
SM	6.08±0.04^{b}	48.84±0.23^{a}	20.1±0.0^{a}	9.31±0.72^{ab}	0.06±0.01^{b}	0.93±0.26^{abc}	0.21±0.07^{c}	0.30±0.01^{a}	6.33±0.33^{a}	1.54±0.15^{bc}	7.87±0.47^{a}	1.44±0.32^{b}	3.93±0.04^{d}	1.36	3.62±0.11^{cd}	5.10
BC	4.45±0.01^{d}	47.90±0.15^{b}	19.7±0.7^{ab}	8.81±0.54^{bc}	0.06±0.02^{b}	0.81±0.22^{bc}	0.16±0.04^{c}	0.26±0.03^{ab}	6.12±0.38^{a}	1.46±0.03^{cd}	7.58±0.41^{a}	1.23±0.26^{b}	4.27±0.07^{c}	1.16	3.51±0.25^{d}	4.61

注：酚氨比为茶多酚质量分数与游离氨基酸质量分数的比值；同列不同字母代表差异显著（P<0.05）。

在白牡丹样品中，3个白牡丹样品的游离氨基酸质量分数存在显著差异（P<0.05），而水分、水浸出物、茶多酚、儿茶素、咖啡碱质量分数仅部分存在显著差异。BMD1的水浸出物质量分数较低，这可能与其叶底感官品质（有嫩茎、绿黄较亮）相对较差有关[10]。整体而言，白牡丹样品的酚氨比较低，且游离氨基酸和茶氨酸质量分数较高，可能滋味较鲜。

在寿眉样品中，水分、水浸出物和游离氨基酸质量分数存在显著差异。有研究表明，白牡丹散茶经压饼后，水浸出物含量显著下降，氨基酸含量显著升高[16]；而寿眉散茶经压饼后，水浸出物和茶多酚含量显著增加，氨基酸含量显著减少[25]。另有研究表明，“先压后藏”和“先藏后压”2种压饼方式会对寿眉品质产生影响，其中“先压后藏”寿眉饼茶的茶多酚含量随贮藏年份增加而逐渐减少，非酯型儿茶素含量有所上升[26]。在本研究中，寿眉样品经过压饼工艺处理后，水分和水浸出物质量分数显著降低，游离氨基酸质量分数显著升高，茶多酚、儿茶素和咖啡碱质量分数无显著变化，这可能与压饼工艺相关，压饼方式及参数不同均可能导致茶样理化品质存在差异[27]。另外，压饼后的寿眉回味稍带苦涩，有研究表明，在茶叶主要滋味物质中，EGCG含量与苦味回味呈正相关[28]，因

此推测饼茶回味苦涩可能是由于其酯型儿茶素在儿茶素总量中的占比更高。对来自同一厂家的白牡丹（BMD3）和寿眉（SM）进行对比发现，2 个样品在游离氨基酸质量分数上存在显著差异，且白牡丹的游离氨基酸质量分数显著高于寿眉（P<0.05）。

综上，本研究中所有政和白茶样品的水分和水浸出物质量分数均符合 GB/T 22291—2017《白茶》和 GB/T 22109—2008《地理标志产品 政和白茶》的相关要求。

2.2.2 政和白茶理化成分 PLS-DA 结果

基于政和白茶样品主要理化成分数据构建 PLS-DA 模型，见图 1（a）。结果表明，白牡丹样品聚集于第 3、4 象限，寿眉样品聚集于第 1、2 象限，模型拟合参数为 R_Y^2=0.933、Q^2=0.739。置换检验可用于判别该模型的预测能力，见图 1（b）。结果显示，回归直线 Q^2 与 Y 轴的截距<0，表明构建的 PLS-DA 判别模型不存在过度拟合现象，具有较好的预测能力。该模型可有效区分政和白茶样品等级（白牡丹和寿眉），并筛选出 VIP 值>1 的关键理化成分。关键理化成分包括游离氨基酸、茶多酚、水浸出物和咖啡碱等，见图 1（c）。陈志达等[29]对福鼎白茶进行研究，发现白牡丹中的茶多酚、氨基酸和咖啡碱含量均显著高于寿眉，这与本研究筛选的差异性理化指标结果相符。

2.3 政和白茶微生物分析

目前，我国尚未制定茶叶微生物检测的国家标准，在现行推荐性国家标准中，仅 GB/T 22111—2008《地理标志产品 普洱茶》明确规定了茶叶中微生物的检测指标，包括沙门氏菌、志贺氏菌、金黄色葡萄球菌、溶血性链球菌。涉及大肠菌群检测指标的推荐性国家标准有 GB/T 18745—2006《地理标志产品 武夷岩茶》、GB/T 20354—2006《地理标志产品 安吉白茶》、GB/T 20360—2006《地理标志产品 乌牛早茶》，上述标准中规定的大肠菌群数均为≤300 个/100 g。

政和白茶的微生物检测结果见表 4，5 个茶样均未检出致病菌。在菌落总数方面，以 BMD3 和 SM 样品的菌落总数最高，BC 样品最低，且 3 个白牡丹样品的菌落总数差异较大；在大肠菌群方面，各样品均<10 CFU/g；霉菌数量与菌落总数趋势类似，BMD3 和 SM 霉菌数最高，BC 最低，这可能是由于在压饼工艺中热蒸汽起到了杀菌作用，从而使茶叶中的微生物数量大幅减少。

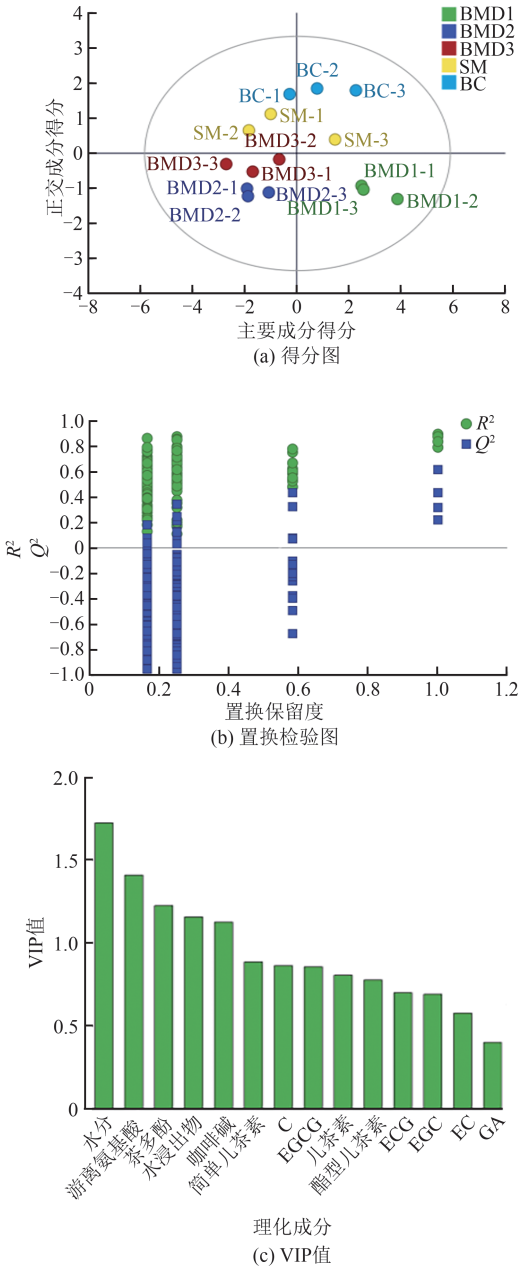


图 1 政和白茶主要理化成分的 PLS-DA

Fig. 1 PLS-DA of major physiochemical components in Zhenghe white tea

2.4 政和白茶挥发性成分分析

2.4.1 政和白茶挥发性成分总离子图分析

不同等级政和白茶的挥发性成分总离子图见图 2。可以看出，不同政和白茶样品的总离子图在出峰时间上基本一致，但峰面积存在明显差异，这表明不同等级政和白茶的挥发性成分种类大体相同，但含量存在一定差异。

表4　政和白茶微生物检测结果

Table 4　Microbiological test results of Zhenghe white tea

样品	菌落总数/（CFU/g）	大肠菌群数/（CFU/g）	霉菌数/（CFU/g）	沙门氏菌数/（CFU/25 g）	志贺氏菌数/（CFU/25 g）	金黄色葡萄球菌数/（CFU/g）	β型溶血性链球菌数/（CFU/25 g）
BMD1	1.4×10^2	<10	1.9×10^2	—	—	<10	—
BMD2	8.6×10^4	<10	2.3×10^3	—	—	<10	—
BMD3	3.5×10^5	<10	2.7×10^4	—	—	<10	—
SM	4.1×10^5	<10	1.3×10^4	—	—	<10	—
BC	20	<10	15	—	—	<10	—

注：“—”表示未检出。

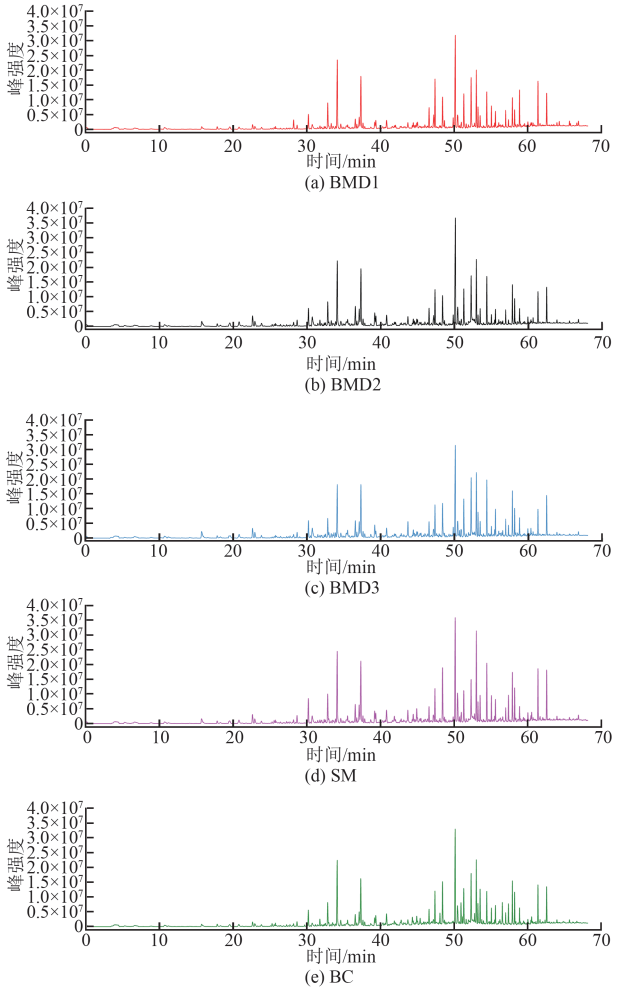


图2　政和白茶挥发性成分总离子图

Fig. 2　Total ion chromatogram of volatile components in Zhenghe white tea

2.4.2　政和白茶挥发性成分种类和相对含量比较

5个政和白茶样品共检出121种挥发性成分，包括27种醇类、25种醛类、19种酯类、16种酮类、11种酸类、11种烯烃类及12种其他类，见表5。傅海峰等[30]采用GC-MS对6种不同香型的白茶进行分析，结果表明，醇类化合物在香气组成中的占比均最高。本研究中，醇类同样是白茶样品的主要挥发性成分。其中，相对含量较高的主要挥发性组分包括香叶醇、芳樟醇、氧化芳樟醇II、β-紫罗酮及苯乙醇，分别呈现玫瑰花香、柑橘香、铃兰花香、花果香及紫罗兰花香和果香等香气特征。

2.4.3　政和白茶挥发性成分韦恩图

5个政和白茶样品的挥发性成分韦恩图见图3。结果显示，5个样品共有挥发性成分62种，其中BMD1特有11种、BMD2特有3种、BMD3特有8种、BC特有4种、SM特有5种。表明不同政和白茶样品在拥有共有挥发性成分的基础上，还具有一定的独特性。

各类挥发性成分的占比见图4。政和白茶挥发性成分主要为醇类、醛类、酯类、酸类、酮类、烯烃类、其他类，5个茶样中醇类占比均在40%以上，与相关文献报道结果一致[21,30]。醇类物质大多具有花香和甜香，高比例的醇类物质有助于白茶清鲜香气特征的形成[31-32]，其中香叶醇、氧化芳樟醇II、芳樟醇、苯乙醇、氧化芳樟醇IV、苯甲醇、氧化芳樟醇I占比较高。除醇类外，醛类、酸类、酮类和酯类占比也较高。烯烃类与醇类化合物在白牡丹中的占比高于寿眉，而酸类、酯类化合物在白牡丹中的占比低于寿眉，这一差异可能与白牡丹和寿眉的香气类型不同有关。

2.4.4　政和白茶PCA和HCA结果

对挥发性物质进行PCA和HCA，见图5。结果表明，主成分1（PC1）与主成分2（PC2）的累计贡献率达71.8%，能有效表征5个政和白茶样品的挥发性成分信息。PCA与HCA均能将白牡丹样品（BMD1、BMD2、BMD3）聚为一类，寿眉样品（SM、BC）聚为另一类，这表明白牡丹与寿眉的香

表 5　政和白茶挥发性成分

Table 5　Volatile components in Zhenghe white tea

类别	挥发性成分	相对含量/%				
		BMD1	BMD2	BMD3	SM	BC
醇类	芳樟醇	6.842	7.126	6.712	6.278	5.828
	1-壬醇	—	0.169	0.215	0.165	0.142
	正辛醇	0.230	0.274	0.387	0.365	0.432
	1-辛烯-3-醇	0.230	0.317	0.466	0.318	0.304
	正戊醇	—	0.241	0.267	0.173	0.154
	2,5-二甲基环己醇	1.201	1.474	1.273	1.425	1.608
	3,7-二甲基-2,6-辛二烯-1-醇	—	0.551	—	—	—
	2,2,6-三甲基-6-乙烯基四氢吡喃-3-醇	1.633	1.720	1.521	1.283	1.383
	顺式-2-戊烯-1-醇	—	—	0.126	—	0.175
	2,6-二甲基-3,7-辛二烯-2,6-二醇	0.320	0.229	0.218	0.377	0.628
	苯甲醇	3.200	3.205	3.426	2.340	3.308
	雪松醇	0.615	0.340	0.842	1.756	1.670
	表苹澄茄油烯醇	—	0.099	0.097	—	—
	香叶醇	9.859	11.511	8.132	8.109	8.578
	1-己醇	—	0.314	—	0.696	—
	氧化芳樟醇IV	5.058	3.345	2.950	2.619	3.182
	氧化芳樟醇 I	3.136	2.726	2.188	2.747	2.812
	氧化芳樟醇 II	8.939	7.364	6.316	7.370	7.905
	甘露糖醇	0.263	—	—	—	—
	橙花醇	0.659	0.360	0.283	0.321	0.326
	苯乙醇	4.703	4.061	4.913	2.792	4.131
	植醇	—	—	—	0.095	0.156
	反式-2-己烯-1-醇	—	—	—	—	0.124
	反式-3-己烯-1-醇	—	—	—	1.568	—
	反式-橙花叔醇	1.661	0.704	0.671	1.633	1.197
	α-苹澄茄醇	—	0.168	0.246	—	—
	α-蒎品醇	0.590	0.501	0.463	0.298	0.324
醛类	2,4-癸二烯醛	—	—	0.191	—	—
	2-丁基-2-辛烯醛	0.639	0.953	1.721	1.111	0.634
	反式-2-辛烯醛	0.195	0.276	0.363	0.253	0.258
	2,4-己二烯醛	—	—	0.071	—	—
	(*Z*)-3,7-二甲基-2,6-辛二烯醛	—	0.444	0.364	0.248	—
	壬醛	1.006	1.991	2.128	1.348	0.686
	2,4-二甲基苯甲醛	0.093	0.067	0.070	0.097	0.152
	反式-2,4-庚二烯醛	0.378	0.591	0.719	0.590	0.593
	2-十一烯醛	—	—	—	0.583	—
	反式-2-癸烯醛	—	0.274	0.384	0.325	0.711
	4-乙基苯甲醛	—	—	0.063	—	—
	苯甲醛	1.452	2.033	1.919	1.876	1.782
	β-环柠檬醛	0.304	0.392	0.354	0.653	0.527
	巴豆醛	—	—	0.165	—	—
	癸醛	—	—	0.601	—	—
	5-甲基-2-糠醛	0.086	—	—	—	0.069

续表

类别	挥发性成分	相对含量/%				
		BMD1	BMD2	BMD3	SM	BC
醛类	庚醛	0.560	1.067	0.887	0.750	—
	己醛	0.549	0.959	1.454	0.888	0.447
	正辛醛	—	—	0.210	—	—
	苯乙醛	—	0.219	—	0.180	0.344
	吡咯-2-甲醛	0.099	—	—	—	—
	反式-2,4-癸二烯醛	—	0.132	—	0.138	—
	反式-2,4-壬二烯醛	—	0.260	0.252	0.228	0.090
	反式-2-庚烯醛	—	—	0.230	—	—
	反式-2-己烯醛	0.699	1.659	1.541	1.151	0.690
酯类	二氢猕猴桃内酯	2.990	3.044	3.426	3.575	3.129
	2,2,4-三甲基-1,3-戊二醇二异丁酸酯	0.217	0.220	0.435	0.303	1.864
	γ-己内酯	0.089	—	0.162	0.153	0.186
	氯乙酸苯乙酯	—	—	0.049	—	—
	苯甲酸顺式-3-己烯-1-基酯	0.045	—	—	—	—
	马来酸二丁酯	—	—	—	—	1.622
	邻苯二甲酸二乙酯	—	—	—	—	0.237
	邻苯二甲酸二异丁酯	0.475	—	—	0.205	0.307
	邻苯二甲酸二甲酯	0.060	0.075	0.098	—	—
	γ-戊基丁内酯	0.379	0.373	0.512	0.353	0.335
	甲酸香叶酯	0.146	0.209	0.185	0.212	0.176
	棕榈酸甲酯	2.974	0.439	0.855	0.417	0.775
	水杨酸甲酯	3.121	2.809	3.147	4.565	4.182
	香叶酸甲酯	0.493	0.549	0.430	1.064	0.799
	茉莉酸甲酯	—	—	—	0.251	0.283
	亚油酸甲酯	0.391	—	—	—	—
	亚麻酸甲酯	0.221	—	—	—	—
	乙酸-2-苯基乙酯	—	0.054	—	—	—
	δ-辛内酯	0.063	—	—	—	—
酸类	冰乙酸	0.259	0.299	0.338	0.297	0.447
	苯甲酸	0.164	0.076	0.097	0.107	0.118
	月桂酸	0.269	—	—	0.246	0.267
	正庚酸	0.525	1.102	0.938	0.963	0.865
	己酸	—	—	—	—	1.653
	正癸酸	0.345	0.497	0.482	0.498	0.352
	壬酸	2.234	2.946	3.495	3.176	3.320
	正辛酸	1.255	1.115	2.013	1.365	1.474
	反式-2-己烯酸	1.028	1.261	1.137	1.820	2.998
	反式-3-己烯酸	—	0.381	—	0.684	1.190
	香叶酸	3.617	2.322	1.924	3.314	2.986
酮类	金合欢基丙酮	—	—	—	0.148	—
	Z-四氢-6-(2-戊烯基)-2*H*-吡喃-2-酮	0.167	—	—	0.538	0.565
	2-十五烷酮	0.197	0.258	0.271	—	—
	植酮	1.309	1.083	1.260	0.904	0.932
	4-(2,6,6-三甲基-1,3-环己二烯-1-基)-3-丁烯-2-酮	0.100	—	—	—	—

续表

类别	挥发性成分	相对含量/%				
		BMD1	BMD2	BMD3	SM	BC
酮类	3-乙基-4-甲基-吡咯-2,5-二酮	0.278	0.295	0.563	0.288	0.313
	3-辛烯-2-酮	—	0.247	0.278	0.197	0.191
	4-[2,2,6-三甲基-7-氧杂二环[4.1.0]庚-1-基]-3-丁烯-2-酮	3.131	4.109	4.804	4.201	2.771
	β-紫罗酮	4.973	5.164	4.981	6.524	5.156
	6-甲基-5-乙基-3-庚烯-2-酮	0.306	0.447	0.535	0.367	0.198
	6-甲基-5-庚烯-2-酮	1.131	0.443	0.417	0.317	0.285
	香叶基丙酮(*E*)	1.002	1.171	1.043	1.729	1.379
	6-甲基-3,5-庚二烯-2-酮	0.123	0.143	—	0.153	0.173
	顺式-茉莉酮	1.679	0.584	1.770	0.816	0.761
	6,10-二甲基-3,5,9-十一三烯-2-酮	0.058	0.077	—	—	—
	α-紫罗酮	0.947	1.157	1.129	1.426	1.061
烯烃类	*α*-荜澄茄油烯	0.619	0.558	0.381	0.136	0.304
	1-戊烯	0.142	—	—	—	—
	3-蒈烯	0.193	0.291	0.116	0.121	0.119
	α-二去氢菖蒲烯	0.182	0.200	0.168	0.089	—
	卡达烯	0.082	0.077	0.098	—	—
	δ-杜松烯	1.145	0.734	0.502	0.329	0.278
	去氢白菖烯	0.936	0.888	0.838	0.393	0.275
	α-蒎烯	0.175	0.194	0.157	0.172	0.117
	(*D*)-柠檬烯	0.088	0.095	—	—	0.050
	月桂烯	0.549	0.752	0.654	0.478	0.456
	α-依兰油烯	0.303	0.281	0.238	0.146	—
其他类	2,4-二叔丁基苯酚	0.237	0.400	0.253	0.160	0.106
	2-丙基呋喃	—	0.130	0.134	—	—
	1,3,4,5,6,8a-六氢-4,7-二甲基-1-(1-甲基乙基)-萘酚	0.353	0.343	0.356	0.122	0.101
	乙酰苯	—	—	—	0.044	—
	2-(2-戊烯基)呋喃	0.081	0.158	0.126	0.082	—
	甲硫醚	0.324	0.445	0.319	0.514	0.361
	二甲基亚砜	0.167	0.145	—	—	0.166
	2-戊基呋喃	0.406	0.695	0.819	0.537	0.390
	吲哚	—	—	—	0.061	—
	3,5-二羟基戊苯	1.340	1.914	2.137	2.148	2.468
	丙酸酐	0.094	0.168	0.192	0.146	0.109
	2-甲基吡嗪	0.081	—	—	—	—

注:“—”表示未检出。

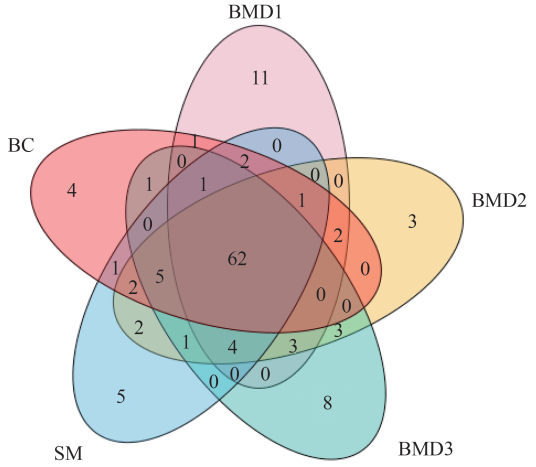


图 3 政和白茶挥发性成分韦恩图

Fig. 3 Venn diagram of volatile components in Zhenghe white tea

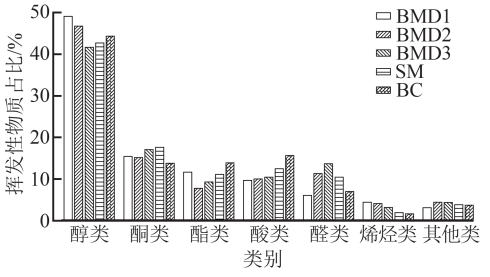
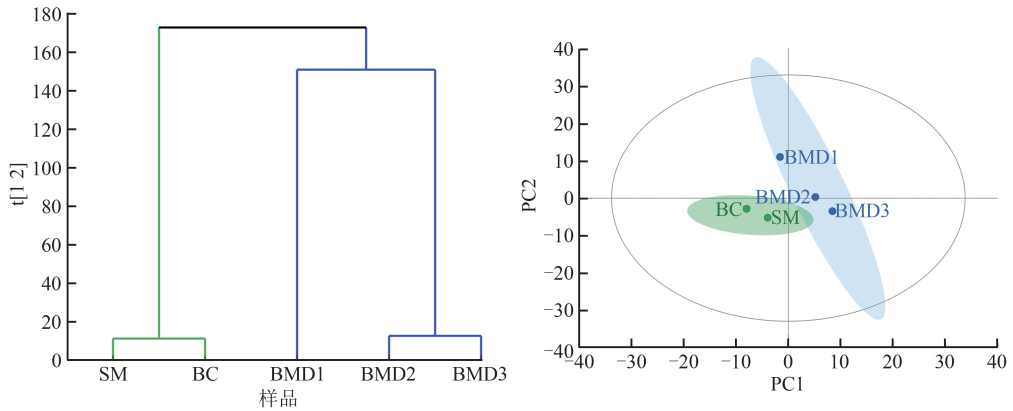


图 4 政和白茶各类挥发性物质占比

Fig. 4 Proportions of various volatile components in Zhenghe white tea

气存在显著差异。结合感官审评结果可知,白牡丹香气浓、清纯,有毫香、嫩香、甜香;而寿眉的香气浓度及特征均不及白牡丹,且带有闷味。



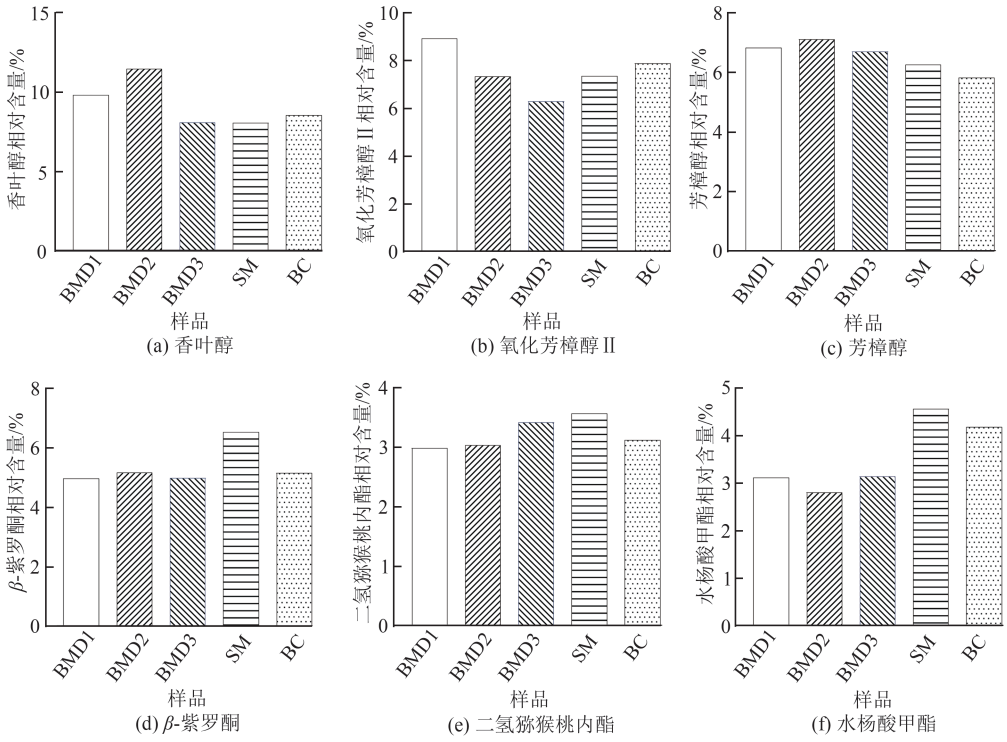
(a) HCA图　　(b) PCA图

图 5　政和白茶挥发性成分 PCA 与 HCA 结果

Fig. 5　PCA and HCA results of volatile components in Zhenghe white tea

2.4.5　政和白茶关键挥发性成分分析

白牡丹的挥发性成分以醇类和酮类为主，寿眉以醇类、酮类、酯类为主。查阅相关文献并选取相对含量较高的关键挥发性成分进行分析，发现寿眉中水杨酸甲酯、二氢猕猴桃内酯、β-紫罗酮相对含量高于白牡丹，而香叶醇、芳樟醇、氧化芳樟醇II相对含量低于白牡丹。水杨酸甲酯是一种具有类似冬青、薄荷类清凉香气的物质，在白茶中主要呈药香[33]。由图 6 可知，2 个寿眉样品中水杨酸甲酯的相对含量明显高于 3 个白牡丹样品，这可能与寿眉香气中含有的花香、药香相关。二氢猕猴桃内酯是类胡萝卜素降解途径中的相关产物[34]，具有木质香、果香。有研究表明，二氢猕猴桃内酯可作为区分福鼎白茶等级的依据[29]。寿眉中二氢猕猴桃内酯相对含量稍高于 3 个白牡丹样品，这可能与寿眉所具有的木质香有关。β-紫罗酮同样是类胡萝卜素降解途径的产物，具有木香和紫罗兰花香[35]，寿眉中β-紫罗



(a) 香叶醇　(b) 氧化芳樟醇 II　(c) 芳樟醇

(d) β-紫罗酮　(e) 二氢猕猴桃内酯　(f) 水杨酸甲酯

图 6　政和白茶主要挥发性成分相对含量

Fig. 6　Relative content of major volatile components in Zhenghe white tea

酮相对含量明显高于3个白牡丹样品。香叶醇主要呈类似玫瑰花香，芳樟醇及氧化芳樟醇II主要呈铃兰香，这3种物质均是白茶的典型香气组分[36]，也是白茶毫香的特征挥发性成分[37]。另有研究表明，香叶醇和芳樟醇是白牡丹花香、甜香特征的主要香气来源[38]。此外，这3种物质在白牡丹中的相对含量高于寿眉，这可能与白牡丹香气兼具甜香、花香、毫香的特质有关。随着贮藏年份的增加，白牡丹和寿眉的香型也会发生转变[30]，这一变化值得后续深入研究。

3 结论

作者从感官、理化、挥发性物质、微生物等多个维度对政和白茶的品质进行了分析。在所选取的政和白茶样品中，白牡丹和寿眉均符合GB/T 22291—2017《白茶》中规定的感官品质、水分、水浸出物要求，且安全性较高，无致病菌检出。白牡丹的挥发性物质以醇类和酮类为主，其香气具有甜香、花香、毫香的特点；寿眉的挥发性物质以醇类、酮类和酯类为主，其香气特征表现为兼具花香、药香和木质香。综上所述，本研究可为政和白茶风味品质特征和安全性提供参考，而政和白茶在贮藏过程中品质及挥发性成分的变化仍有待进一步研究。

参考文献

[1] 陈志达，黎攀，陈兴华，等. 压饼处理对白茶陈化香气的影响[J]. 食品工业科技，2020，41(5)：63-69.
CHEN Z D，LI P，CHEN X H，et al. Effect of compressed processing on the aroma of aged white tea[J]. Science and Technology of Food Industry，2020，41(5)：63-69.(in Chinese)

[2] HAO Z L，FENG J，CHEN Q L，et al. Comparative volatiles profiling in milk-flavored white tea and traditional white tea Shoumei *via* HS-SPME-GC-TOFMS and OAV analyses[J]. Food Chemistry，2023，18：100710.

[3] SHANG A，LI J H，ZHOU D D，et al. Molecular mechanisms underlying health benefits of tea compounds[J]. Free Radical Biology and Medicine，2021，172：181-200.

[4] 崔宏春，余继忠，周铁峰，等. 白茶主要生化成分比较及药理功效研究进展[J]. 食品工业科技，2011，32(4)：405-408.
CUI H C，YU J Z，ZHOU T F，et al. Research progress in main biochemical composition comparasion and pharmacological efficacy of white tea[J]. Science and Technology of Food Industry，2011，32(4)：405-408.(in Chinese)

[5] 黄媛，于娟，任玲，等. 不同品种白茶品质及抗氧化活性研究[J]. 食品科技，2023，48(7)：64-70.
HUANG Y，YU J，REN L，et al. Study on the quality and antioxidant activity of different varieties of white tea[J]. Food Science and Technology，2023，48(7)：64-70.(in Chinese)

[6] LI C，HE J C，YANG Y，et al. White tip silver needle (slightly fermented white tea) flavonoids help prevent aging *via* antioxidative and anti-inflammatory effects[J]. Drug Design，Development and Therapy，2021，15：1441-1457.

[7] ZHAO C N，TANG G Y，CAO S Y，et al. Phenolic profiles and antioxidant activities of 30 tea infusions from green，black，oolong，white，yellow and dark teas[J]. Antioxidants，2019，8(7)：215.

[8] 傅海峰. 陈年白茶压饼与贮藏研究[D]. 福州：福建农林大学，2019.

[9] 沈瑜，朱海燕. 仓储1~8年间政和白牡丹茶感官品质及理化成分变化[J]. 食品工业科技，2025，46(14)：371-380.
SHEN Y，ZHU H Y. Study on the sensory quality and physicochemical components changes of Zhenghe Baimudan white tea during a storage period of 1~8 years[J]. Science and Technology of Food Industry，2025，46(14)：371-380.(in Chinese)

[10] 王光华. 政和白茶感官品质和理化性质的相关性研究[J]. 食品安全导刊，2023(29)：99-102.
WANG G H. Study on the correlation between sensory quality and physicochemical properties of Zhenghe white tea[J]. China Food Safety Magazine，2023(29)：99-102.(in Chinese)

[11] CHEN Q C，ZHU Y，DAI W D，et al. Aroma formation and dynamic changes during white tea processing[J]. Food Chemistry，2019，274：915-924.

[12] CHEN Q C，SHI J，MU B，et al. Metabolomics combined with proteomics provides a novel interpretation of the changes in nonvolatile compounds during white tea processing[J]. Food Chemistry，2020，332：127412.

[13] ZHOU S，ZHANG J M，MA S C，et al. Recent advances on white tea：manufacturing，compositions，aging characteristics and bioactivities[J]. Trends in Food Science & Technology，2023，134：41-55.

[14] 刘琳燕，周子维，邓慧莉，等. 不同年份白茶的香气成分[J]. 福建农林大学学报(自然科学版)，2015，44(1)：

27-33.
LIU L Y，ZHOU Z W，DENG H L，et al. Analysis of the aromatic components in white tea produced in different years[J]. Journal of Fujian Agriculture and Forestry University（Natural Science Edition），2015，44（1）：27-33.（in Chinese）

[15] LIN Y P，HUANG Y B，ZHOU S，et al. A newly-discovered tea population variety processed Bai Mu Dan white tea：flavor characteristics and chemical basis[J]. Food Chemistry，2024，446：138851.

[16] 林宏政，李鑫磊，周泳锋，等. 白茶散茶与茶饼在色泽、滋味及香气组分上的差异研究[J]. 食品工业科技，2019，40（15）：207-214.
LIN H Z，LI X L，ZHOU Y F，et al. Study on the differences of color，taste and aroma constituents in white loose tea and white tea pine[J]. Science and Technology of Food Industry，2019，40（15）：207-214.（in Chinese）

[17] 陈林，陈键，宋振硕，等. 白茶风味品质形成与调控技术研究进展[J]. 中国茶叶加工，2023（4）：22-35.
CHEN L，CHEN J，SONG Z S，et al. Advancements in the formation and regulation techniques of white tea flavor quality[J]. China Tea Processing，2023（4）：22-35.（in Chinese）

[18] 周师清. 试论政和白茶品质特征与政和县自然环境条件的关系[J]. 福建茶叶，2006，28（3）：39.
ZHOU S Q. On the relationship between the quality characteristics of Zhenghe white tea and the natural environmental conditions in Zhenghe County[J]. Tea in Fujian，2006，28（3）：39.（in Chinese）

[19] 周一鸣，蔡望秋，朱思怡，等. 福建白茶的风味物质与特征香气分析研究进展[J]. 农产品加工，2023（19）：84-89，95.
ZHOU Y M，CAI W Q，ZHU S Y，et al. Research progress on the analysis of flavor compounds and characteristic aroma of Fujian white tea[J]. Academic Periodical of Farm Products Processing，2023（19）：84-89，95.（in Chinese）

[20] 黄琳洁，徐凯，周承哲，等. 不同海拔政和白茶品质差异分析[J]. 食品科学，2023，44（16）：274-283.
HUANG L J，XU K，ZHOU C Z，et al. Quality differences of Zhenghe white tea from different altitudes[J]. Food Science，2023，44（16）：274-283.（in Chinese）

[21] 封娇，谭艳娉，庄莉萍，等. 造型工艺对白牡丹茶中主要化学成分的影响[J]. 食品与生物技术学报，2024，43（6）：144-154.
FENG J，TAN Y P，ZHUANG L P，et al. Effects of molding techniques on main chemical components of white peony tea[J]. Journal of Food Science and Biotechnology，2024，43（6）：144-154.（in Chinese）

[22] 李晶，林馥茗，戴浩民，等. 不同茶树品种芽型工夫红茶的品质特征[J]. 食品与生物技术学报，2024，43（7）：35-46，55.
LI J，LIN F M，DAI H M，et al. Quality characteristics of bud-type Congou black tea from different tea cultivars[J]. Journal of Food Science and Biotechnology，2024，43（7）：35-46，55.（in Chinese）

[23] 李芬，陈春林，田玉萍，等. 云南不同品种大叶种茶树生化成分季节变化特征分析[J]. 食品与生物技术学报，2022，41（3）：88-95.
LI F，CHEN C L，TIAN Y P，et al. Seasonal variation of biochemical components of different cultivars of *Camellia sinensis* var. *assamica* in Yunnan[J]. Journal of Food Science and Biotechnology，2022，41（3）：88-95.（in Chinese）

[24] 张春花，李灿香，颜学行，等. 福建茶区不同茶树品种“白牡丹”茶的品质差异分析[J]. 茶叶通讯，2023，50（1）：76-82.
ZHANG C H，LI C X，YAN X X，et al. Effects of volatile aroma components in white peony tea by post-fermented of the raw tea with bifenthrin pesticide residues[J]. Journal of Tea Communication，2023，50（1）：76-82.（in Chinese）

[25] 张丹，任苧，李博，等. 压饼及湿热工艺对白茶品质和抗氧化活性的影响[J]. 茶叶，2017，43（1）：19-23.
ZHANG D，REN N，LI B，et al. Effect of compressing and heat-moisture treatment on the quality and antioxidation capability of white tea[J]. Journal of Tea，2017，43（1）：19-23.（in Chinese）

[26] 詹冬梅，傅海峰，周承哲，等. 贮藏年份及压饼方式对寿眉风味品质的影响[J]. 食品与生物技术学报，2022，41（5）：81-89.
ZHAN D M，FU H F，ZHOU C Z，et al. Effect of storage years and pressing methods on the flavor quality of Shoumei [J]. Journal of Food Science and Biotechnology，2022，41（5）：81-89.（in Chinese）

[27] 张应根，王秀萍，陈泉宾，等. 不同压饼方式对白茶饼品质的影响[J]. 茶叶学报，2023，64（6）：64-72.
ZHANG Y G，WANG X P，CHEN Q B，et al. Sensory quality of compressed white tea[J]. Acta Tea Sinica，2023，64（6）：64-72.（in Chinese）

[28] 宋晓月，吴志锋，邱慕涛，等. 不同年份武夷岩茶水仙主要滋味物质分析与感官评价[J]. 食品与机械，2024，40（6）：170-175，191.
SONG X Y，WU Z F，QIU M T，et al. Analysis of main

taste substances and sensory evaluation of Shuixian Wuyi rock tea *Narcissus* in different years [J]. Food & Machinery, 2024, 40(6): 170-175, 191. (in Chinese)

[29] 陈志达，周辉，陈兴华，等. 福鼎白茶滋味品质的量化评价[J]. 浙江大学学报（农业与生命科学版），2020，46（3）：334-343.
CHEN Z D, ZHOU H, CHEN X H, et al. Taste quantitative evaluation of Fuding white tea[J]. Journal of Zhejiang University (Agriculture and Life Sciences), 2020, 46(3): 334-343. (in Chinese)

[30] 傅海峰，林琼珍，朱晨，等. 6种不同香型白茶香气成分的GC-MS分析[J]. 食品与生物技术学报，2020，39（10）：91-97.
FU H F, LIN Q Z, ZHU C, et al. GC-MS analysis of aroma components of white tea with six different aroma types[J]. Journal of Food Science and Biotechnology, 2020, 39(10): 91-97. (in Chinese)

[31] 封娇. 多组学联合分析萎凋环境气流对白茶品质的影响机制[D]. 福州：福建农林大学，2024.

[32] 武珊珊，杨雪梅，舒娜，等. 基于HS-SPME-GC-MS的云南白茶关键香气组分及特征分析[J]. 食品研究与开发，2024，45（16）：170-180.
WU S S, YANG X M, SHU N, et al. Detection and characterization of key volatile components of white tea in Yunnan based on HS-SPME-GC-MS[J]. Food Research and Development, 2024, 45(16): 170-180. (in Chinese)

[33] 张灵枝. 白茶产地溯源与年份鉴别研究[D]. 福州：福建农林大学，2023.

[34] 尤秋爽，黄亮，岳建冬，等. 景谷大白茶挥发性成分及其关键呈香成分分析[J]. 中国茶叶，2023，45（11）：48-57.
YOU Q S, HUANG L, YUE J D, et al. Analysis of volatile compounds and key aroma-active compounds in Jinggu dabai tea[J]. China Tea, 2023, 45(11): 48-57. (in Chinese)

[35] 陈林，张应根，陈键，等. 乌龙茶品种鲜叶加工白茶过程中香气成分动态变化规律[J]. 茶叶科学，2020，40（6）：771-781.
CHEN L, ZHANG Y G, CHEN J, et al. Aroma profiling of fresh leaves of oolong tea cultivars during white tea processing[J]. Journal of Tea Science, 2020, 40(6): 771-781. (in Chinese)

[36] 游小妹，李鑫磊，陈志辉，等.‘一路香’和‘叶来香’茶树品系多茶类适制性鉴定及香气特征[J]. 西北植物学报，2024，44（12）：1-12.
You X M, Li X L, Chen Z H, et al. Identification and aroma characteristics of various tea types produced from ‘Yiluxiang’ and ‘Ye laixiang’ tea varieties [J]. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2024, 44(12): 1-12. (in Chinese)

[37] 刘东娜，罗凡，李春华，等. 白茶品质化学研究进展[J]. 中国农业科技导报（中英文），2018，20（4）：79-91.
LIU D N, LUO F, LI C H, et al. Research progress on quality chemistry of Chinese white tea[J]. Journal of Agricultural Science and Technology, 2018, 20(4): 79-91. (in Chinese)

[38] 张孟聪. 不同林地环境对小白茶品质影响差异研究[D]. 福州：福建农林大学，2024.