

造型工艺对白牡丹茶中主要化学成分的影响

封娇¹, 谭艳婷¹, 庄莉萍¹, 庄加耘¹, 孙志琳¹,
林宏政^{1,2}, 余步贵³, 俞晓敏⁴, 郝志龙^{*1,2}

(1. 福建农林大学 园艺学院, 福建 福州 350002; 2. 茶学福建省高校重点实验室, 福建 福州 350002; 3. 福建政和瑞茗茶业有限公司, 福建 南平 3536003; 4. 福建农林大学 海峡联合研究院, 福建 福州 350002)

摘要: 为研究不同造型工艺对白牡丹茶主要化学成分的影响, 以福安大白为原料, 参照传统白茶加工工艺, 分别对含水率(质量分数)为(40±1)%、(35±1)%、(30±1)%的萎凋叶进行轻揉(QR)或理条(LT)造型, 采用超高效液相色谱串联三重四极杆质谱(UPLC-QqQ-MS)及顶空固相微萃取-气相色谱-飞行时间质谱(HS-SPME-GC-TOF-MS)对茶样主要化学成分进行检测分析。结果表明, 不同造型工艺白牡丹茶感官品质得分随萎凋叶含水率的降低而降低; 相同含水率时, 轻揉造型优于理条造型; 经造型(QR、LT)的白牡丹茶中总氨基酸及总儿茶素的质量分数显著低于传统白牡丹茶(CK) ($P < 0.05$), 总糖的质量分数和醛类挥发性物质相对含量显著高于传统白牡丹茶 ($P < 0.05$); (40±1)%的较高含水率萎凋叶经轻揉造型制得的白牡丹茶茶汤滋味的鲜爽度、浓厚度及甘甜味更好, 甜花香明显。综合而言, (40±1)%的较高含水率萎凋叶经造型制得的白牡丹茶综合品质较好, 轻揉有利于形成甜花香, 理条更利于清香风味的形成, 可为利用造型工艺改善白牡丹茶风味品质提供参考。

关键词: 造型工艺; 白牡丹茶; 品质

中图分类号: TS 272.5 文章编号: 1673-1689(2024)06-0144-11 DOI: 10.12441/spyswjs.20220809004

Effects of Molding Techniques on Main Chemical Components of White Peony Tea

FENG Jiao¹, TAN Yanping¹, ZHUANG Liping¹, ZHUANG Jiayun¹, SUN Zhilin¹,
LIN Hongzheng^{1,2}, YU Bugui³, YU Xiaomin⁴, HAO Zhilong^{*1,2}

(1. College of Horticulture, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China; 2. Key Laboratory of Tea Science in Universities of Fujian Province, Fuzhou 350002, China; 3. Fujian Zhenghe Ruiming Tea Industry Co., Ltd., Nanping 3536003, China; 4. Haixia Institute of Science and Technology, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China)

Abstract: To investigate the effects of different molding techniques on the main chemical components of white peony tea, Fu'an Dabai was used as the raw material and the withered leaves with different moisture content (40±1)%, (35±1)%, and (30±1)% were light rolled (QR) or tidied

收稿日期: 2022-08-09 修回日期: 2022-09-13

基金项目: 福建省现代农业(茶叶)产业技术体系专项项目(闽财指[2021] 637号); 福建农林大学茶产业链科技创新与服务体系建设项目(K1520005A06); 福建张天福茶叶发展基金会科技创新基金项目(FJZTF01)。

* 通信作者: 郝志龙(1979—), 男, 博士, 副教授, 硕士研究生导师, 主要从事茶叶加工工程与装备研究。E-mail: haozhilong@126.com

(LT) referring to the traditional white tea processing technology. The main chemical components of tea samples were detected and analyzed by ultra-high-performance liquid chromatography coupled with triple quadrupole mass spectrometry (UPLC-QqQ-MS) and headspace solid-phase microextraction combined with gas chromatography time-of-flight mass spectrometry (HS-SPME-GC-TOF-MS). The results showed that the sensory quality score of white peony tea with different molding techniques decreased with the decrease of moisture content in the withered leaves. At the same moisture content, the QR molding was superior to the LT molding. The total contents of amino acids and catechins of white peony tea after molding (QR, LT) were significantly lower than those in traditional white peony tea (CK) ($P<0.05$), while the total sugar content and the relative contents of aldehydes were significantly higher than those in traditional white peony tea ($P<0.05$). Tea soup of white peony tea with high moisture content (40 ± 1)% and gently kneaded withered leaves exhibited better freshness, thickness, and sweetness, along with a noticeable sweet floral aroma. Overall, the white peony tea molded with high-moisture (40 ± 1)% withered leaves had better comprehensive quality. QR could facilitate the formation of sweet flower fragrance, while LT could be more conducive to the development of delicate fragrance flavor, providing a technical reference for improving the flavor and quality of white peony tea through molding techniques.

Keywords: molding techniques, white peony tea, quality

白茶为我国特有茶类,因制法天然,不炒不揉,形成了白茶自然的外形及鲜醇滋味,其适口性、药理及保健功能强,深受消费者喜爱^[1-3]。白茶类型多样,根据制茶鲜叶品种及采摘标准,可分为白毫银针、白牡丹、贡眉、寿眉,其中白牡丹茶外形芽叶连枝,两叶抱一芽,叶态自然,形似花朵,滋味甘醇鲜爽、毫香显露。常见的白茶多以形态自然的散茶与紧实的饼茶为主,散茶外形松散,易碎,不易储存和运输,滋味醇和较清淡;白茶饼易储存,便于运输,但口感醇和、鲜味低,叶底破碎多^[4-5]。针对传统白茶存在的问题,周有良在白茶制作过程中加入揉捻工艺,发现造型后的白茶水浸出物含量有效提高^[6];詹冬梅等发现不同压饼方式对寿眉饼的滋味及香气物质有较大的影响^[7];王飞权等研究发现经过摇青的白茶具有花香型白茶的品质特征^[8];周炎花等在传统白茶的基础上进行轻做青及轻揉,制得的白茶花香显,滋味鲜爽^[9]。但是,目前关于不同造型工艺对白茶主要化学成分的影响研究较少。作者以福安大白为原料,按照传统白茶加工工艺,对不同萎凋程度的白牡丹茶萎凋叶进行理条或轻揉造型,分析不同造型工艺对白牡丹茶主要化学成分的影响,以期通过合理的造型工艺改善白茶外形与品质风味,丰富白茶产品,适应市场需求,为白茶加工技术提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

1.1.1 材料 一芽二叶的福安大白茶鲜叶:2021年5月由福建政和瑞茗茶业有限公司提供。

1.1.2 试剂 甲醇、甲酸、乙腈、儿茶素(C)、表没食子儿茶素(EGC)、没食子儿茶素(GC)、表儿茶素没食子酸酯(ECG)、表儿茶素(EC)、表没食子儿茶素没食子酸酯(EGCG)、甲基表没食子儿茶素没食子酸酯(EGCG-CH₃)、 γ -氨基丁酸(GABA)、色氨酸、谷氨酸、赖氨酸、脯氨酸、酪氨酸、精氨酸、缬氨酸、亮氨酸、异亮氨酸、谷氨酰胺、丝氨酸、组氨酸、天冬酰胺、半胱氨酸、天冬氨酸、苯丙氨酸、甘氨酸、 β -丙氨酸、茶氨酸(纯度均 $\geq 95\%$)、葡萄糖、果糖、木糖、核糖醇、岩藻糖、棉子糖、麦芽糖、纤维二糖、乳糖、吡啶、N,O-双(三甲基硅烷基)三氟乙酰胺(BSTFA):美国 Sigma-Aldrich 公司。

1.2 仪器与设备

ACQUITY UPLC I-Class 液相色谱仪、XEVO TQS MS 质谱仪:美国 Waters 公司;7890B 气相色谱仪:美国 Agilent 科技公司;Pegasus HT 飞行时间质谱仪:美国 LECO 公司;KQ-300GDV 恒温数控超声波清洗器:昆山超声仪器公司;7754070 冷冻干燥机:美国 LABCONCO 公司;5430R 台式高速冷冻离

离心机:德国 Eppendorf 公司;G560E 涡旋振荡器:美国 Industrial Industries 公司;MPS 多功能自动进样架:德国 Gerstel 公司;LCJ-25C 冷冻干燥机:北京四环科学仪器有限公司;6CMD-40/5D 名优茶多用机:浙江衢州市微型茶机厂;6CHX-70 烘干机:福建省安溪佳友机械有限公司。

1.3 试验方法

1.3.1 试验方案 参考前人研究,茶叶含水率处于 30%~40% 时,儿茶素、茶黄素、GABA 及可溶性糖含量在白茶萎凋过程得到了一定的积累,且茶叶的柔软性、塑性、弹性较好,适合白茶造型^[10],在保持白茶风味并保证一定含水率能够进行造型的基础上,选取(40±1)%、(35±1)%、(30±1)% 3 个梯度进行后续试验。参照传统白茶加工工艺,将茶鲜叶置于空气能萎凋房进行萎凋,设置萎凋温度为(28±1)℃,相对湿度为(65±5)%。在萎凋过程中每隔 1 h 对萎凋叶含水率进行测定,当萎凋叶含水率达(40±1)%、(35±1)%、(30±1)% 时分别进行轻揉或理条造型,具体试验方案如表 1 所示,传统白牡丹茶(CK)进行室内自然萎凋。待萎凋 48 h 后置于 80℃ 的烘箱内烘至足够干燥,即为成品茶。

表 1 白牡丹茶造型方案

Table 1 Modelling scheme of white peony tea

编号	含水率	造型方式	工艺参数
QR1	(40±1)%	轻揉	手工轻揉 15 min, 压力以不造成芽叶破碎为宜, 然后继续自然萎凋至 48 h
QR2	(35±1)%	轻揉	
QR3	(30±1)%	轻揉	
LT1	(40±1)%	理条	以 100 r/min 的转速理条 15 min, 然后继续自然萎凋至 48 h
LT2	(35±1)%	理条	
LT3	(30±1)%	理条	

1.3.2 测定方法 样品前处理及检测条件参照林冬纯等^[11]的方法,所有试验重复 3 次。

茶叶氨基酸、儿茶素采用超高效液相色谱串联三重四极杆质谱(UPLC-QqQ-MS)进行测定。称取 30 mg 供试样品充分研磨,加入 1 mL 体积分数 70% 甲醇溶液,充分振荡并超声 30 min,在 4℃、12 000 g 条件下离心 10 min 后取上清液,经 0.22 μm 滤膜过滤后稀释至适当倍数,采用 UPLC-QqQ-MS 检测。

茶叶糖组分采用 BSTFA 衍生化与 GC-MS 技

术测定。称取充分研磨好的茶叶样品 30 mg 至 2.0 mL 的离心管,加入 480 μL 的甲醇-水(体积比 3:1)混合溶剂及 20 μL 的 5 mg/mL 香草酸,超声 30 min 后于 12 000 g 条件下离心 10 min,取 150 μL 上清液于 20 mL 的样品瓶中,真空干燥后加入 80 μL 的 20 mg/mL 甲氧胺吡啶溶液,在 80℃ 下保持 20 min,再加入 80 μL 的 BSTFA (含体积分数 1% 的 TMCS),在 70℃ 下保持 1 h。

称取 2 g 充分研磨后的茶粉于 20 mL 顶空瓶中,每个样品重复 3 次,同时等量混合每个样品用于质控样品的制备,并检测仪器的稳定性,采用 HS-SPME-GC-TOF-MS 对茶叶挥发性物质进行检测。

1.3.3 感官审评 感官审评由 5 位审评专家独立进行,参照 GB/T 23776—2018《茶叶感官审评方法》中的白茶审评方法,采用加权平均法,以外形(25%)、汤色(10%)、香气(25%)、滋味(30%)、叶底(10%) 5 项因子的综合评分作为茶叶样品品质的判定依据。

1.4 数据处理与分析

氨基酸、儿茶素数据处理采用标准曲线法,挥发性物质数据采用 ChromaTOF 软件进行解卷积、峰识别、化合物鉴定,并采用峰面积归一化法(用挥发性物质峰面积除以总峰面积)得到各挥发性物质的相对含量。

利用 Microsoft Office 2010 进行图表制作, TBtools 进行热图绘制, SIMCA-P 14.1 软件进行 OPLS-DA 分析, SPSS 17.0 进行显著性分析并进行 Duncan's LSD 检验。

2 结果与分析

2.1 不同造型工艺对白牡丹茶感官品质的影响

造型不仅能塑造优美的茶叶外形,而且影响茶叶内含物的转化,形成不同的品质风味。不同造型工艺白牡丹茶感官品质分析如表 2 所示。7 个茶样根据感官品质综合评分从高到低依次为 QR1、LT1、QR2、LT2、CK、QR3、LT3。相同含水率下,轻揉造型的白牡丹茶感官评分略高于理条造型的白牡丹茶,轻揉造型的白牡丹茶外形偏卷曲,理条造型的白牡丹茶外形偏挺直(见图 1);轻揉造型的白牡丹茶汤色总体深于理条造型;轻揉造型的白牡丹茶香气偏甜香,理条造型的白牡丹茶香气偏清香。相同的造型工艺中,萎凋叶含水率越高,茶叶外形越紧实,

QR1 外形得分高于 QR2、QR3,LT1 外形得分高于 LT2、LT3。茶叶汤色随萎凋叶含水率的降低逐渐变浅,QR1 汤色呈橙黄明,QR2 汤色呈黄尚明,QR3 汤色呈黄尚亮;LT1 汤色呈橙黄亮,LT2 汤色呈黄尚亮,LT3 汤色呈浅黄亮;轻揉造型的白牡丹茶汤色总体略深于理条造型的白牡丹茶,这可能是由于萎凋叶在轻揉过程中摩擦略重,细胞破损较多,使多酚类物质氧化程度加深,形成更多的有色物质,致使颜色更深。茶叶香气得分随萎凋叶含水率的降低而

降低,QR1 香气呈馥郁圆润甜香,香气得分最高;LT1 香气香高鲜爽。萎凋叶含水率越低,制得的白牡丹茶滋味得分逐渐降低,理条造型的白牡丹茶甚至出现涩感,QR1 茶汤滋味顺滑醇爽,LT1 茶汤滋味顺滑鲜爽。随着萎凋叶含水率的降低,经过造型的白牡丹茶叶底红张逐渐变少,叶底破碎增多,QR3 和 LT3 叶底红张最少。综合而言,(40±1)%的较高含水率萎凋叶经轻揉造型制得的白牡丹茶(QR1)感官品质最好。

表 2 不同造型工艺白牡丹茶的感官品质

Table 2 Sensory quality of white peony tea with different molding techniques

茶样	外形(25%)		汤色(10%)		香气(25%)		滋味(30%)		叶底(10%)		综合评分	排名
	评语	分数	评语	分数	评语	分数	评语	分数	评语	分数		
CK	叶态略卷,色泽较灰绿偏暗,较匀净	87	浅黄尚明	86	清香	87	醇和	87	叶张软亮,色泽绿黄,较匀	90	87.20	5
QR1	叶态紧卷,色泽较灰绿,较匀净	91	橙黄明	90	馥郁圆润甜香	92	顺滑醇爽	90	叶张软亮,色泽绿黄较匀,带红张	87	90.45	1
QR2	叶态紧卷,色泽灰绿稍暗,较匀净	88	黄尚明	86	清甜香	88	醇和	87	叶张较软,色泽绿黄较匀,红张较少	88	87.50	3
QR3	叶态较卷,有破张,色泽灰绿偏暗,尚匀净	86	黄尚亮	84	清甜香较显	84	醇和	87	叶张较软,色泽绿黄较匀,红张少,叶底破碎多	85	85.50	6
LT1	叶态挺直,两侧向中心叶脉卷曲,色泽较灰绿,匀净	90	橙黄亮	88	香高鲜爽	90	顺滑鲜爽	90	叶张较软,较匀整,色泽较黄绿,带红张	87	89.50	2
LT2	叶态挺直,两侧向中心叶脉卷曲,色泽较灰绿偏暗,匀净	88	黄尚亮	87	清香	87	醇和	87	叶张尚软,较匀,色泽尚绿黄,红张较少	88	87.35	4
LT3	叶态挺直,两侧向中心叶脉卷曲,有破张,较匀净	85	浅黄亮	84	尚清香	82	醇厚略涩	85	叶张尚软,尚匀,色泽尚绿黄,红张少,叶底破碎多	85	84.15	7

2.2 不同造型工艺对白牡丹茶中氨基酸组分的影响

氨基酸利于茶汤鲜爽滋味的形成,根据氨基酸的呈味特性可分为鲜爽类氨基酸、甜类氨基酸、苦类氨基酸以及酸类氨基酸,氨基酸含量的高低及组成在一定程度上影响茶汤滋味的协调性,鲜爽类氨基酸能在一定程度上减轻茶汤的苦涩^[12-14]。不同造型工艺白牡丹茶中呈味氨基酸质量分数如图 2 所示,经造型的白牡丹茶中总氨基酸的质量分数显著低于传统白牡丹茶($P<0.05$),与王飞权等研究的经揉捻的白茶氨基酸含量显著低于未揉捻^[8]的结果一

致。较高含水率((40±1)%、(35±1)%)的萎凋叶经轻揉造型制得的白牡丹茶中总氨基酸、4 种呈味氨基酸的质量分数显著高于理条造型的白牡丹茶($P<0.05$);较低含水率((30±1)%)的萎凋叶经轻揉造型制得的白牡丹茶中苦类氨基酸、酸类氨基酸的质量分数显著低于理条造型的白牡丹茶($P<0.05$)。轻揉造型的白牡丹茶随着萎凋叶含水率的降低,总氨基酸的质量分数呈先降后升的趋势,其中 QR1 中总氨基酸、鲜爽类氨基酸的质量分数显著高于 QR2 和 QR3 ($P<0.05$),而甜类氨基酸的质量分数显著高于 QR3

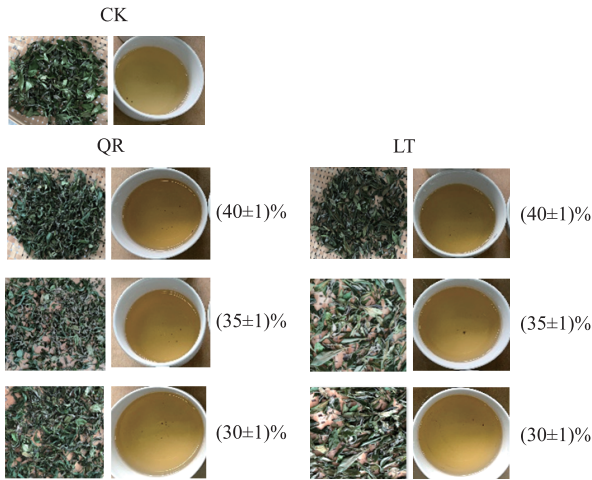


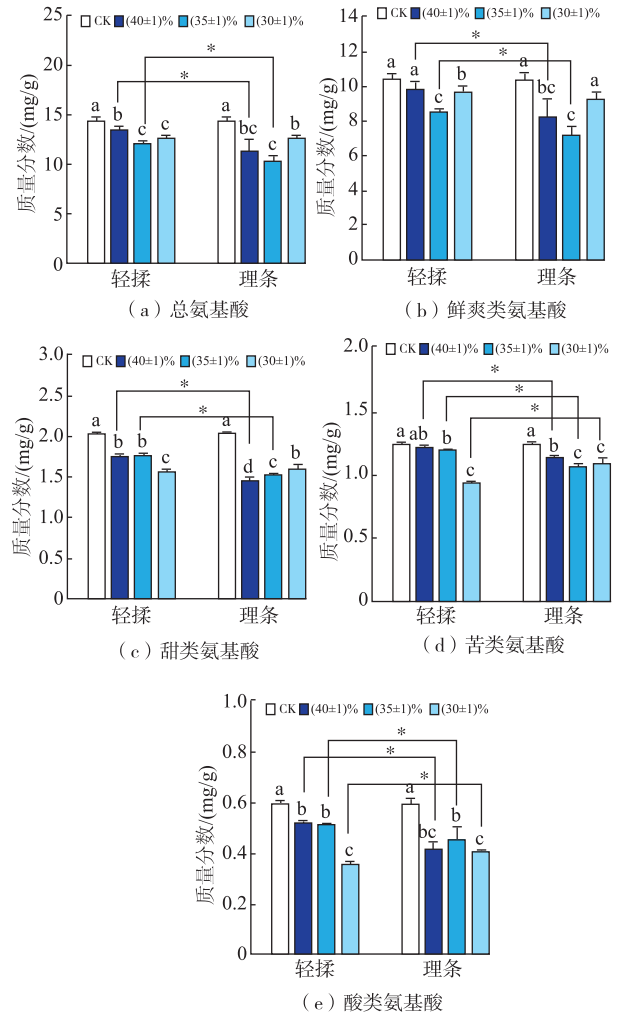
图1 不同造型工艺白牡丹茶的外形及茶汤色泽

Fig. 1 Appearance and infusion color of white peony tea molded by different techniques

($P < 0.05$), QR1 与 QR2 无显著差异 ($P > 0.05$)。理条造型的白牡丹茶随着萎凋叶含水率的降低,总氨基酸的质量分数呈先降后升的变化趋势,其中LT1 中鲜爽类氨基酸的质量分数显著低于 LT3 ($P < 0.05$),但总氨基酸的质量分数无显著差异。这可能是 QR1 和 LT1 茶汤较鲜爽的原因。

2.3 不同造型工艺对白牡丹茶中儿茶素组分的影响

儿茶素是茶多酚的主体成分,是形成茶汤苦味与收敛性的主要物质^[15-16]。不同造型的白牡丹茶中儿茶素组分如图 3 所示,经过造型的白牡丹茶中总儿茶素的质量分数显著低于传统白牡丹茶 ($P < 0.05$),说明造型在一定程度上能减少茶汤的苦涩感,这可能是造型使茶叶细胞适度破碎,茶叶内含物进一步转化的原因^[17]。较低含水率萎凋叶经轻揉造型制得的白牡丹茶中总儿茶素和具有强苦涩味和收敛性的酯型儿茶素的质量分数显著低于理条造型的白牡丹茶 ($P < 0.05$)。茶叶中 EGCG 具有抗氧化、清除自由基等功能^[18],较高及适中含水率下,轻揉造型的白牡丹茶中 EGCG 的质量分数显著高于理条造型的白牡丹茶 ($P < 0.05$)。随着萎凋叶含水率的降低,轻揉造型的白牡丹茶中总儿茶素的质量分数呈降低趋势,其中 QR1 中苦涩味、收敛性弱的非酯型儿茶素及 EGCG 的质量分数显著高于 QR2 和 QR3 ($P < 0.05$),而理条造型的白牡丹茶中总儿茶素的质量分数呈先下降后上升的变化趋势,其中 LT1 中非酯型儿茶素及 EGCG 的质量分数显著高于 LT2 ($P < 0.05$)。可见,QR1 和 LT1 中总儿茶素、非酯型儿



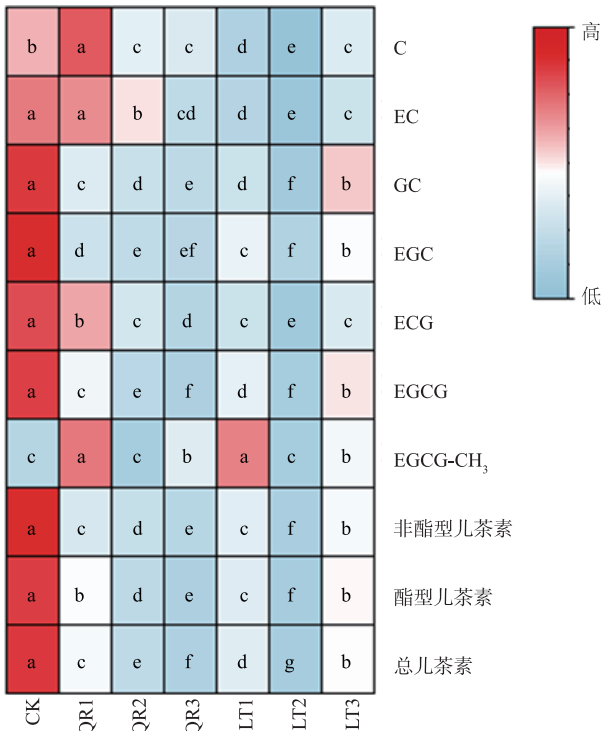
不同小写字母代表同一造型处理组内(轻揉或理条)不同含水率间差异显著 ($P < 0.05$), * 代表同一含水率下不同造型工艺间(轻揉与理条)差异显著 ($P < 0.05$)。

图2 不同造型工艺白牡丹茶中呈味氨基酸的质量分数
Fig. 2 Mass fraction of flavor amino acids in white peony tea molded by different techniques

茶素及 EGCG 的质量分数较高,茶汤较醇厚;QR2、QR3 及 LT2 中总儿茶素的质量分数低,茶汤滋味较淡薄;LT3 中总儿茶素的质量分数高,茶汤滋味略涩。

2.4 不同造型工艺对白牡丹茶中糖组分的影响

糖类物质是茶汤浓度和甘甜滋味的物质基础^[19-20]。不同造型工艺白牡丹茶中共检测出 9 种糖类物质,包含 5 种单糖(葡萄糖、果糖、木糖、核糖醇、岩藻糖)、3 种双糖(麦芽糖、纤维二糖、乳糖)、1 种三糖(棉子糖)。不同造型工艺白牡丹茶中糖类物质的质量分数如图 4 所示,经过造型的白牡丹茶中总糖的质量分数显著高于传统白牡丹茶 ($P < 0.05$)。含水率

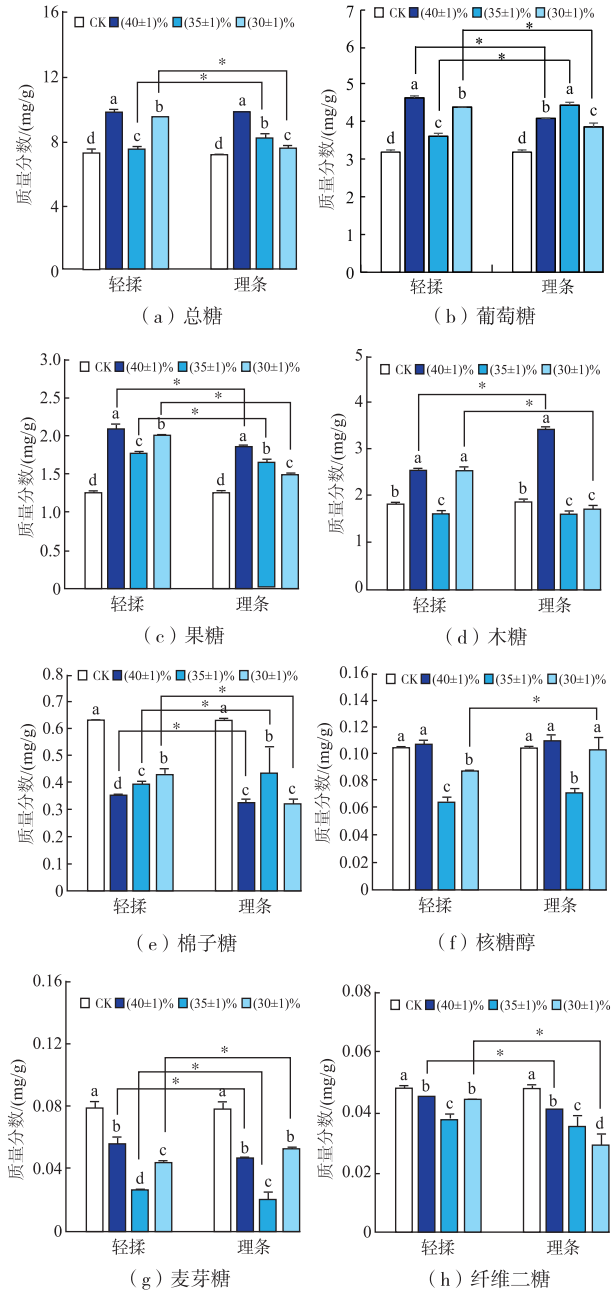


不同小写字母代表差异显著($P<0.05$)。

图 3 不同造型工艺白牡丹茶中儿茶素的质量分数

Fig. 3 Mass fraction of catechins in white peony tea molded by different techniques

为(40±1)%的萎凋叶经轻揉造型制得的白牡丹茶中葡萄糖、果糖、棉子糖、麦芽糖、纤维二糖的质量分数显著高于理条造型的白牡丹茶($P<0.05$);含水率为(35±1)%的萎凋叶经轻揉造型制得的白牡丹茶中果糖、麦芽糖的质量分数显著高于理条造型的白牡丹茶($P<0.05$);含水率为(30±1)%的萎凋叶经轻揉造型制得的白牡丹茶中葡萄糖、果糖、木糖、棉子糖、纤维二糖的质量分数显著高于理条造型的白牡丹茶($P<0.05$)。随着萎凋叶含水率的降低,轻揉造型的白牡丹茶中总糖的质量分数呈先降后增的变化趋势,其中 QR1 中葡萄糖、果糖、核糖醇、麦芽糖的质量分数显著高于 QR2 和 QR3($P<0.05$),而木糖、纤维二糖的质量分数显著高于 QR2($P<0.05$),QR1 与 QR3 无显著差异($P>0.05$)。理条造型的白牡丹茶中总糖的质量分数呈降低的趋势,其中 LT1 中果糖、木糖、纤维二糖的质量分数显著高于 LT2 和 LT3($P<0.05$),核糖醇和麦芽糖的质量分数显著高于 LT2($P<0.05$),LT1 与 LT3 无显著差异($P>0.05$)。综上,QR1 和 LT1 中糖类物质的质量分数最高,更有利于提高茶汤的浓度和甜度。



不同小写字母代表同一造型处理组内(轻揉或理条)不同含水率间差异显著($P<0.05$),*代表同一含水率下不同造型工艺间(轻揉与理条)的差异显著($P<0.05$)。

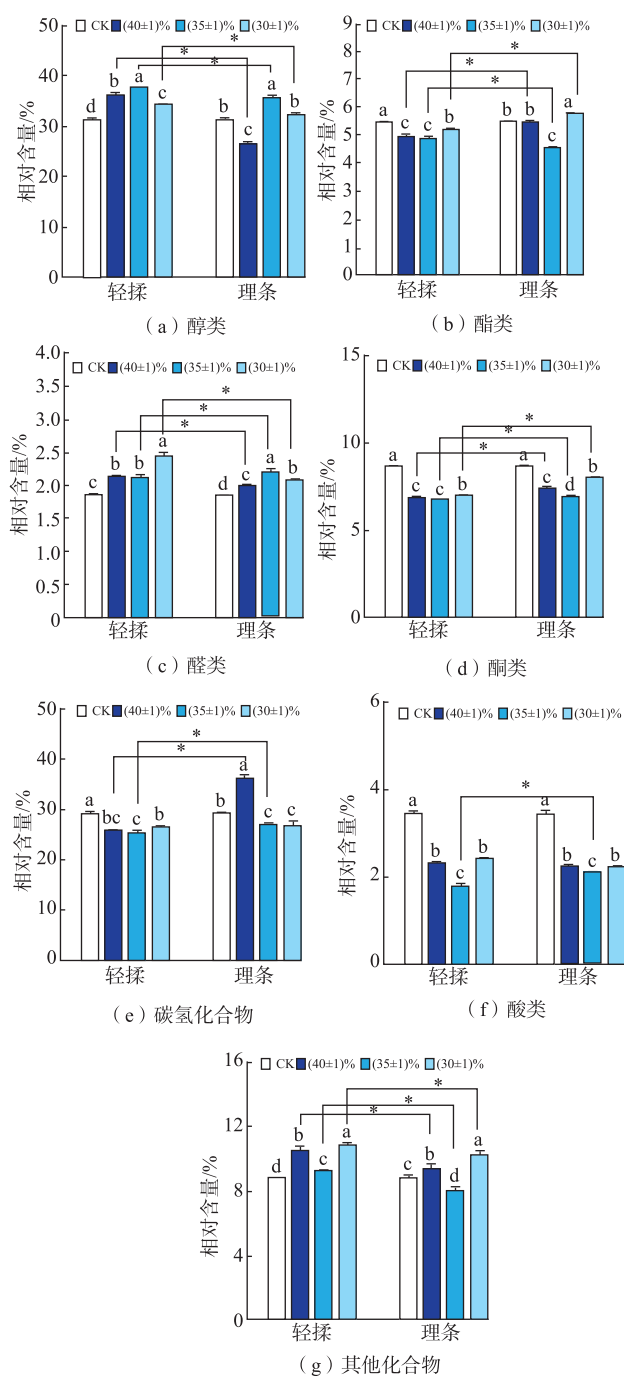
图 4 不同造型工艺白牡丹茶中糖类物质的质量分数
Fig. 4 Mass fraction of sugars in white peony tea molded by different techniques

2.5 不同造型工艺对白牡丹茶中挥发性物质的影响

2.5.1 不同造型工艺白牡丹茶中挥发性物质的鉴定
茶叶香气物质是影响茶叶风味、品质及等级评定的重要指标之一^[21-22]。不同造型工艺制得的白牡丹茶

中共检出挥发性物质 795 种,其中已知挥发性物质 288 种(醇类 31 种、酯类 33 种、醛类 19 种、酮类 33 种、碳氢化合物 116 种、酸类 21 种、其他化合物 35 种),占检出挥发性物质总量的 95.01%。不同造型工艺白牡丹茶中挥发性物质种类基本相同,但相对含量存在一定差异。不同造型工艺白牡丹茶中挥发性物质种类及相对含量如图 5 所示。不同造型工艺白牡丹茶中挥发性物质相对含量最高的是醇类,是构成造型白牡丹茶香气的成分,其次为碳氢化合物、酮类、酯类、醛类及酸类,与傅海峰等^[23]的研究结果一致。轻揉造型的白牡丹茶中醇类、醛类挥发性物质相对含量显著高于传统白牡丹茶 ($P<0.05$),理条造型的白牡丹茶中醛类挥发性物质相对含量显著高于传统白牡丹茶($P<0.05$)。较高含水率和较低含水率的萎凋叶经轻揉造型制得的白牡丹茶中醇类、醛类挥发性物质相对含量显著高于理条造型的白牡丹茶($P<0.05$);适中含水率的萎凋叶经轻揉造型制得的白牡丹茶中醇类、酯类挥发性物质相对含量显著高于理条造型的白牡丹茶($P<0.05$)。轻揉造型的白牡丹茶 QR1 中醇类挥发性物质相对含量显著高于 QR3($P<0.05$);理条造型的白牡丹茶 LT1 中酯类、酮类、碳氢化合物、酸类挥发性物质相对含量显著高于 LT2($P<0.05$)。可见,轻揉造型的白牡丹茶中挥发性香气物质的相对含量更高,可能是其香气更加馥郁的原因。

2.5.2 不同造型工艺白牡丹茶中挥发性物质差异分析 进一步对不同造型工艺白牡丹茶中挥发性物质进行 OPLS-DA 分析,结果如图 6 所示。各茶样在 95%置信区间内能较好地地区分开,说明不同造型工艺白牡丹茶的挥发性物质差异较大。筛选出 VIP>1,且组间差异性显著($P<0.05$)的已知挥发性物质 40 种,根据 VIP 值大小排列(见表 3),较高含水率萎凋叶经轻揉造型制得的白牡丹茶中呈花香和柑橘类香气^[24]的芳樟醇、呈玫瑰花香^[25]的苯乙醇和苯甲醇的相对含量显著高于理条造型的白牡丹茶($P<0.05$)。橙花醇具有花果香^[26],反-A,A-5-三甲基-5-四氢化乙基-2-呋喃甲醇具有木香、花香^[27],反式-3-己烯-1-醇具有青香^[28]。较高含水率萎凋叶经轻揉造型制得的白牡丹茶中橙花醇、反-A,A-5-三甲基-5-四氢化乙基-2-呋喃甲醇、苯乙醛、反式-3-己烯-1-醇的相对含量显著高于理条造型的白牡丹茶,较低含水率萎凋叶经轻揉造型制得的白牡丹茶中苯



不同小写字母代表同一造型处理组内(轻揉或理条)不同含水率间差异显著($P<0.05$),*代表同一含水率下不同造型方式间(轻揉与理条)的差异显著($P<0.05$)。

图 5 不同造型工艺白牡丹茶中挥发性物质相对含量
Fig. 5 Relative content of volatiles in white peony tea molded by different techniques

甲醇、反式-3-己烯-1-醇的相对含量显著低于理条造型的白牡丹茶($P<0.05$)。同一含水率萎凋叶经轻揉造型制得的白牡丹茶中具有花果香^[29]的 2-正戊

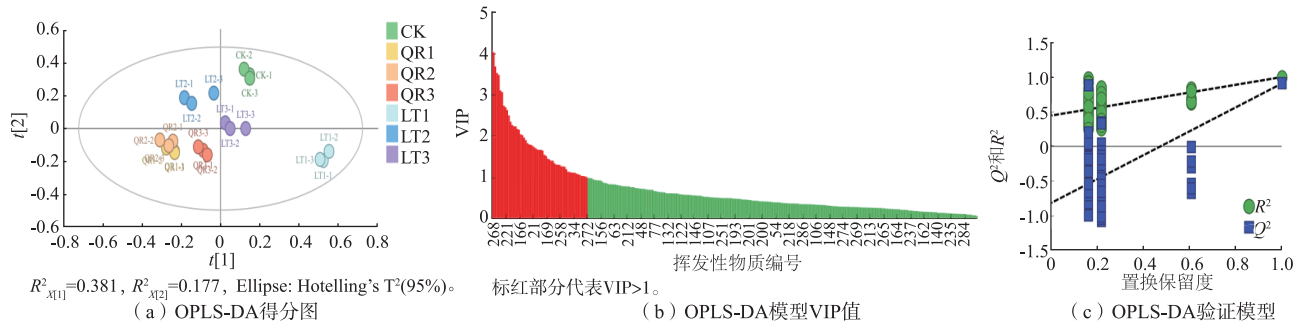


图 6 不同造型工艺白牡丹茶中各挥发性物质多元统计分析

Fig. 6 Multivariate statistical analysis of volatile substances in white peony tea molded by different techniques

表 3 不同造型工艺白茶牡丹茶中主要差异挥发性物质

Table 3 Major differential volatile components in white peony tea molded by different techniques

编号	名称	相对含量/%						
		CK	QR1	QR2	QR3	LT1	LT2	LT3
1	十六烯	1.72±0.06 ^c	1.04±0.03 ^f	1.98±0.03 ^d	2.56±0.06 ^b	1.87±0.07 ^d	2.18±0.08 ^c	2.77±0.12 ^a
2	芳樟醇	6.09±0.28 ^c	7.06±0.42 ^a	7.58±0.60 ^a	6.41±0.33 ^{bc}	3.33±0.06 ^c	7.00±0.33 ^{ab}	5.13±0.21 ^d
3	苯乙醇	11.81±0.43 ^d	12.65±0.12 ^{bc}	14.05±0.17 ^a	11.82±0.39 ^d	10.57±0.15 ^c	13.10±0.60 ^b	12.27±0.60 ^{cd}
4	十四烷	4.87±0.21 ^b	4.15±0.23 ^c	3.31±0.10 ^d	4.14±0.30 ^c	5.50±0.17 ^a	4.52±0.62 ^{bc}	3.27±0.38 ^d
5	十一烷	2.80±0.29 ^b	2.79±0.12 ^b	1.67±0.15 ^c	2.87±0.25 ^{ab}	3.35±0.09 ^a	3.10±0.51 ^{ab}	1.86±0.25 ^c
6	乙酰丙酸甲酯	2.14±0.05 ^d	1.72±0.04 ^e	2.26±0.11 ^{cd}	2.37±0.07 ^{bc}	2.73±0.12 ^a	1.58±0.01 ^e	2.45±0.10 ^b
7	橙花醇	1.51±0.05 ^e	3.03±0.11 ^a	3.02±0.06 ^a	2.85±0.02 ^b	1.48±0.03 ^e	2.38±0.05 ^c	1.73±0.07 ^d
8	反-A,A-5-三甲基-5-四氢化乙炔基-2-呋喃甲醇	3.12±0.13 ^d	4.18±0.09 ^a	4.19±0.17 ^a	3.72±0.11 ^b	2.06±0.05 ^c	3.43±0.17 ^c	3.10±0.03 ^d
9	香叶基丙酮	3.35±0.22 ^a	2.80±0.05 ^{bc}	2.97±0.06 ^b	2.61±0.07 ^c	2.94±0.16 ^b	2.79±0.03 ^{bc}	2.97±0.10 ^b
10	呋喃	1.91±0.06 ^{cd}	2.38±0.07 ^a	2.37±0.13 ^a	2.20±0.09 ^b	1.07±0.04 ^e	1.93±0.10 ^c	1.78±0.03 ^d
11	癸烷	1.03±0.18 ^{bc}	1.09±0.02 ^{bc}	0.56±0.07 ^d	0.96±0.10 ^c	1.33±0.06 ^a	1.22±0.16 ^{ab}	0.64±0.02 ^d
12	十四烯	1.72±0.09 ^b	1.38±0.12 ^c	1.46±0.05 ^c	1.40±0.10 ^c	2.43±0.09 ^a	1.13±0.13 ^d	1.67±0.09 ^b
13	2,7,10-三甲基-十二烷	0.78±0.02 ^b	0.64±0.01 ^c	0.58±0.00 ^c	0.86±0.07 ^b	0.88±0.02 ^b	0.98±0.09 ^a	0.86±0.09 ^b
14	己酸叶醇酯	0.19±0.00 ^d	0.60±0.01 ^a	0.23±0.00 ^c	0.22±0.00 ^c	0.12±0.00 ^c	0.25±0.01 ^b	0.22±0.01 ^c
15	2-乙基己醇	1.51±0.08 ^{cd}	1.27±0.05 ^e	1.06±0.06 ^c	1.78±0.06 ^b	1.93±0.08 ^a	1.40±0.10 ^{de}	1.79±0.10 ^b
16	3-甲基十三烷	1.39±0.15 ^{ab}	1.30±0.10 ^{bc}	1.23±0.06 ^{bcd}	1.01±0.08 ^c	1.57±0.07 ^a	1.18±0.20 ^{cd}	1.07±0.04 ^{de}
17	4,8-二甲基-1,7-壬二烯-4-醇	1.36±0.08 ^b	1.06±0.02 ^f	1.12±0.03 ^{ef}	1.22±0.03 ^{cd}	1.16±0.03 ^{de}	1.27±0.04 ^c	1.52±0.06 ^a
18	苯甲醇	1.92±0.06 ^b	2.27±0.06 ^a	2.15±0.01 ^a	1.97±0.07 ^b	1.89±0.05 ^b	1.92±0.11 ^b	2.15±0.12 ^a
19	N-乙基琥珀酰亚胺	0.74±0.03 ^e	0.93±0.06 ^c	0.82±0.04 ^{de}	1.21±0.02 ^a	1.29±0.07 ^a	0.86±0.05 ^{cd}	1.02±0.06 ^b
20	3,7-二甲基-1,5,7-辛三烯-3-醇	0.37±0.02 ^{cde}	0.58±0.03 ^b	0.45±0.08 ^c	0.67±0.03 ^a	0.36±0.01 ^e	0.32±0.03 ^{de}	0.44±0.08 ^{cd}
21	反式-紫罗兰酮	1.18±0.04 ^a	0.76±0.04 ^d	0.74±0.04 ^d	0.79±0.01 ^d	0.73±0.03 ^d	0.92±0.03 ^c	1.00±0.02 ^b
22	3,5-二叔丁基甲苯	0.64±0.10 ^b	0.75±0.05 ^{ab}	0.35±0.06 ^c	0.69±0.06 ^b	0.87±0.03 ^a	0.72±0.15 ^b	0.38±0.06 ^c
23	2,6,10-三甲基十二烷	0.93±0.05 ^a	0.42±0.01 ^e	0.44±0.01 ^e	0.42±0.02 ^c	0.67±0.02 ^b	0.58±0.02 ^c	0.52±0.04 ^d
24	2-正戊基呋喃	0.74±0.05 ^a	0.31±0.02 ^e	0.34±0.02 ^e	0.43±0.03 ^d	0.41±0.02 ^d	0.49±0.01 ^c	0.61±0.03 ^b

续表 3

编号	名称	相对含量/%						
		CK	QR1	QR2	QR3	LT1	LT2	LT3
25	2-甲基癸烷	0.94±0.06 ^a	0.63±0.03 ^{bc}	0.39±0.34 ^c	0.49±0.02 ^c	0.83±0.05 ^{ab}	0.63±0.01 ^{bc}	0.56±0.02 ^c
26	(3r,6s)-2,2,6-三甲基-6-乙基四氢-2h-吡喃-3-醇	1.23±0.05 ^c	1.50±0.03 ^a	1.37±0.02 ^b	1.42±0.03 ^{ab}	1.20±0.01 ^c	1.23±0.07 ^c	1.40±0.06 ^b
27	苯乙醛	0.47±0.00 ^d	0.68±0.04 ^b	0.56±0.02 ^c	0.76±0.04 ^a	0.48±0.01 ^d	0.68±0.03 ^b	0.56±0.01 ^c
28	反式-3-己烯-1-醇	0.64±0.03 ^b	0.54±0.03 ^c	0.57±0.02 ^c	0.45±0.01 ^d	0.26±0.00 ^c	0.72±0.02 ^a	0.56±0.04 ^c
29	2-乙基-2-己烯醇	0.28±0.01 ^b	0.10±0.00 ^f	0.21±0.00 ^c	0.13±0.00 ^c	0.31±0.02 ^a	0.16±0.00 ^d	0.14±0.00 ^c
30	5-甲基-1,2,5,6-四氢吡啶-2-酮	0.36±0.06 ^d	0.62±0.09 ^{ab}	0.45±0.03 ^{cd}	0.64±0.11 ^{ab}	0.68±0.05 ^a	0.44±0.04 ^{cd}	0.53±0.02 ^{bc}
31	γ-己内酯	0.39±0.01 ^a	0.29±0.01 ^c	0.26±0.01 ^{de}	0.27±0.01 ^{cd}	0.24±0.01 ^c	0.32±0.02 ^b	0.41±0.03 ^a
32	茉莉酮	0.32±0.01 ^a	0.28±0.02 ^c	0.21±0.00 ^{de}	0.22±0.01 ^{de}	0.20±0.01 ^c	0.22±0.01 ^d	0.30±0.01 ^b
33	二氢猕猴桃内酯	0.62±0.03 ^a	0.40±0.03 ^c	0.42±0.03 ^c	0.48±0.02 ^b	0.49±0.01 ^b	0.49±0.02 ^b	0.63±0.04 ^a
34	辛烷	0.27±0.04 ^c	0.46±0.07 ^a	0.32±0.01 ^{bc}	0.46±0.10 ^a	0.49±0.05 ^a	0.35±0.03 ^{bc}	0.39±0.02 ^{ab}
35	γ-壬内酯	0.37±0.00 ^a	0.19±0.01 ^c	0.17±0.00 ^f	0.19±0.01 ^c	0.21±0.01 ^d	0.24±0.00 ^c	0.29±0.00 ^b
36	5-甲基-5-己烯-2-酮	0.33±0.02 ^a	0.10±0.00 ^e	0.12±0.00 ^d	0.13±0.00 ^c	0.12±0.01 ^{cd}	0.22±0.01 ^b	0.21±0.01 ^b
37	壬醛	0.32±0.02 ^d	0.40±0.02 ^c	0.46±0.01 ^b	0.49±0.02 ^a	0.45±0.02 ^b	0.41±0.02 ^c	0.42±0.02 ^c
38	丁位辛内酯	0.09±0.00 ^d	0.22±0.01 ^{ab}	0.13±0.04 ^c	0.24±0.01 ^a	0.24±0.00 ^a	0.12±0.01 ^c	0.20±0.01 ^b
39	2-十四酮	0.27±0.00 ^b	0.23±0.01 ^c	0.17±0.02 ^d	0.25±0.02 ^{bc}	0.27±0.02 ^b	0.18±0.00 ^d	0.31±0.01 ^a
40	3,4-二甲基-2-己烯	0.54±0.02 ^b	0.40±0.03 ^c	0.38±0.02 ^c	0.39±0.02 ^c	0.67±0.02 ^a	0.38±0.02 ^c	0.55±0.03 ^b

注:不同小写字母代表差异显著($P<0.05$)。

基呋喃和呈奶香的二氢猕猴桃内酯的相对含量显著低于理条造型的白牡丹茶($P<0.05$),这可能是轻揉造型的白牡丹茶偏甜花香,理条造型的白牡丹茶偏清香的原因,而轻揉造型的白牡丹茶花香高可能是由于轻揉造成适度细胞破损,生化反应更复杂,使得香气物质更丰富^[30]。

轻揉造型的白牡丹茶 QR1 中茉莉酮的相对含量显著高于 QR2、QR3($P<0.05$),呈花果香及青香的芳樟醇、橙花醇、反-A,A-5-三甲基-5-四氢化乙基-2-呋喃甲醇、苯甲醇、反式-3-己烯-1-醇的相对含量显著高于 QR3 ($P<0.05$),与 QR2 无显著差异($P>0.05$)。随着含水率的降低,理条造型的白牡丹茶中呈青香、果香的 2-乙基-2-己烯醇的相对含量呈减少趋势,其中 LT1 中 2-乙基-2-己烯醇的相对含量显著高于 LT2 和 LT3($P<0.05$)。可见,较高含水率萎凋叶经轻揉造型制得的白牡丹茶(QR1)中花果香物质的相对含量更高,香气更馥郁,而 LT1 中清香

类物质的相对含量更高,香气更清新。

3 结语

不同造型工艺对白牡丹茶中儿茶素、氨基酸、糖类及挥发性物质的影响表明,与传统白牡丹茶相比,经造型的白牡丹茶中总氨基酸及总儿茶素的质量分数显著降低,总糖的质量分数、醛类挥发性物质相对含量显著增加。且较高含水率萎凋叶经轻揉造型制得的白牡丹茶中氨基酸、儿茶素的质量分数显著高于相同含水率理条造型的白牡丹茶。可见,对较高含水率萎凋叶进行轻揉造型有利于提高茶汤滋味的鲜爽度、浓厚度及甘甜度。各造型工艺白牡丹茶中主要挥发性物质总体相近,但相对含量存在差异,轻揉利于形成甜花香,理条利于形成清香风味。综合而言,较高含水率萎凋叶经造型制得的白牡丹茶综合品质更好,可为利用造型工艺改善白牡丹茶风味品质提供技术参考。

参考文献:

- [1] 危赛明. 白茶的产品特征与新的工艺创始[J]. 中国茶叶加工, 2019(4):85-86.
WEI S M. Product characteristics of white tea and the founding of new technology[J]. **China Tea Processing**, 2019(4):85-86. (in Chinese)
- [2] 戴伟东, 解东超, 林智. 白茶功能性成分及保健功效研究进展[J]. 中国茶叶, 2021, 43(4):1-8.
DAI W D, XIE D C, LIN Z. Research progress of white tea's functional ingredients and health benefits[J]. **China Tea**, 2021, 43(4):1-8. (in Chinese)
- [3] 王丽萍. 我国福鼎白茶的保健功能及其发展研究[J]. 福建茶叶, 2020, 42(6):43-44.
WANG L P. Study on the health function and development of Fuding white tea in China[J]. **Tea in Fujian**, 2020, 42(6):43-44. (in Chinese)
- [4] 陈林, 吉克温. 茶叶造型与品质关系研究进展[J]. 福建茶叶, 2000, 22(1):2-4.
CHEN L, JI K W. Research progress on the relationship between tea modeling and quality[J]. **Tea in Fujian**, 2000, 22(1):2-4. (in Chinese)
- [5] 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)
- [6] 周有良. 萎凋、造型工艺对白茶化学成分含量及品质的影响[D]. 福州: 福建农林大学, 2010.
- [7] 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)
- [8] 王飞权, 冯花, 朱晓燕, 等. 摇青和揉捻工艺对白茶生化成分和感官品质的影响[J]. 热带作物学报, 2019, 40(11):2236-2245.
WANG F Q, FENG H, ZHU X Y, et al. Effects of rolling and rocking green on the sensory quality and biochemical components of white tea[J]. **Chinese Journal of Tropical Crops**, 2019, 40(11):2236-2245. (in Chinese)
- [9] 周炎花, 蔡烈伟, 杨双旭, 等. 铁观音加工白茶的工艺及品质研究[J]. 武夷学院学报, 2017, 36(9):17-22.
ZHOU Y H, CAI L W, YANG S X, et al. Technology and quality research of white tea processed from Tieguanyin tea cultivars [J]. **Journal of Wuyi University**, 2017, 36(9):17-22. (in Chinese)
- [10] ZHOU C Z, ZHU C, LI X Z, et al. Transcriptome and phytochemical analyses reveal the roles of characteristic metabolites in the taste formation of white tea during the withering process[J]. **Journal of Integrative Agriculture**, 2022, 21(3):862-877.
- [11] 林冬纯, 魏子淳, 谭艳娉, 等. 不同干燥温度对萎凋叶压制白茶饼品质的影响[J]. 食品科学, 2022, 43(15):109-116.
LIN D C, WEI Z C, TAN Y P, et al. Effect of drying temperature on the quality of pressed white tea cake from withered leaves[J]. **Food Science**, 2022, 43(15):109-116. (in Chinese)
- [12] 童慧霖, 范方媛, 田宇倩, 等. 白茶感官滋味特征属性及相关贡献组分研究[J]. 食品工业科技, 2022, 43(7):286-293.
TONG Y L, FAN F Y, TIAN Y Q, et al. Taste-characteristic attributes and related contribution compounds of white tea [J]. **Science and Technology of Food Industry**, 2022, 43(7):286-293. (in Chinese)
- [13] 郭颖, 陈琦, 黄峻榕, 等. 茶叶滋味与其品质成分的关系[J]. 茶叶通讯, 2015, 42(3):13-15.
GUO Y, CHEN Q, HUANG J R, et al. The tea flavor quality and its ingredients[J]. **Journal of Tea Communication**, 2015, 42(3):13-15. (in Chinese)
- [14] 蒲晓亚, 袁毅君, 王廷璞, 等. 茶叶的主要呈味物质综述[J]. 天水师范学院学报, 2011, 31(2):40-44.
PU X Y, YUAN Y J, WANG T P, et al. The review on the main sapidity materials of tea [J]. **Journal of Tianshui Normal University**, 2011, 31(2):40-44. (in Chinese)
- [15] 张英娜, 嵇伟彬, 许勇泉, 等. 儿茶素呈味特性及其感官分析方法研究进展[J]. 茶叶科学, 2017, 37(1):1-9.
ZHANG Y N, JI W B, XU Y Q, et al. Review on taste characteristic of catechins and its sensory analysis method[J]. **Journal of Tea Science**, 2017, 37(1):1-9. (in Chinese)
- [16] 王若娴, 黄翔翔, 李勤, 等. 不同类型白茶儿茶素、香气成分与感官品质比较[J]. 食品工业科技, 2022, 43(5):315-321.
WANG R X, HUANG X X, LI Q, et al. Comparison of catechins, aroma components and sensory quality of different types of white tea[J]. **Science and Technology of Food Industry**, 2022, 43(5):315-321. (in Chinese)

- [17] 银霞,赵熙,黄浩,等. 揉捻对夏茶内含成分浸出特性及苦涩味影响[J]. 中国茶叶加工,2016(6):21-27.
YIN X,ZHAO X,HUANG H,et al. Impacts of different rolling processes upon extracting characteristics of containing ingredients and their bitter and astringent taste in summer tea[J]. **China Tea Processing**,2016(6):21-27. (in Chinese)
- [18] 费文静,诸晨,许纪锋,等. 不同茶叶中表没食子儿茶素没食子酸酯的含量测定[J]. 食品安全质量检测学报,2015,6(6):2209-2213.
FEI W J,ZHU C,XU J F,et al. Determination of epigallocatechin gallate in different tea[J]. **Journal of Food Safety & Quality**,2015,6(6):2209-2213. (in Chinese)
- [19] 周金沙,常晓途,汪辉,等. 茶叶中果糖、葡萄糖和蔗糖含量及蔗糖来源分析[J]. 茶叶通讯,2021,48(2):311-318.
ZHOU J S,CHANG X T,WANG H,et al. Content of fructose,glucose and sucrose in tea and source analysis of sucrose[J]. **Journal of Tea Communication**,2021,48(2):311-318. (in Chinese)
- [20] 陈丽,陆安霞,刘飞,等. 茶多糖结构特征研究进展[J]. 食品科学,2022,43(17):389-397.
CHEN L,LU A X,LIU F,et al. Progress in research on the structural characteristics of tea polysaccharides[J]. **Food Science**,2022,43(17):389-397. (in Chinese)
- [21] 冯花,王飞权,张渤,等. 不同茶树品种白牡丹茶香气成分的 HS-SPME-GC-MS 分析[J]. 现代食品科技,2021,37(12):252-264.
FENG H,WANG F Q,ZHANG B,et al. Analysis of aroma components of Baimudan tea from different tea plant varieties using HS-SPME-GC-MS[J]. **Modern Food Science and Technology**,2021,37(12):252-264. (in Chinese)
- [22] FENG Z H,LI Y F,LI M,et al. Tea aroma formation from six model manufacturing processes[J]. **Food Chemistry**,2019,285:347-354.
- [23] 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)
- [24] 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.
- [25] GUO X Y,HO C T,SCHWAB W,et al. Aroma profiles of green tea made with fresh tea leaves plucked in summer[J]. **Food Chemistry**,2021,363:130328.
- [26] ZHU J C,ZHU Y,WANG K,et al. Characterization of key aroma compounds and enantiomer distribution in Longjing tea[J]. **Food Chemistry**,2021,361:130096.
- [27] LYU H P,ZHONG Q S,LIN Z,et al. Aroma characterisation of Pu-erh tea using headspace-solid phase microextraction combined with GC/MS and GC-olfactometry[J]. **Food Chemistry**,2012,130(4):1074-1081.
- [28] QI D D,MIAO A Q,CHEN W,et al. Characterization of the volatile compounds profile of the innovative broken oolong-black tea in comparison with broken oolong and broken black tea[J]. **Food Control**,2021,129:108197.
- [29] NI H,JIANG Q X,LIN Q,et al. Enzymatic hydrolysis and auto-isomerization during β -glucosidase treatment improve the aroma of instant white tea infusion[J]. **Food Chemistry**,2021,342:128565.
- [30] 刘伟,金心怡,郝志龙,等. 两种不同造型工艺对铁观音乌龙茶香气的影响[J]. 茶叶科学技术,2013,54(1):5-9.
LIU W,JIN X Y,HAO Z L,et al. Effect of two different forming technology on the aroma of Tieguanyin oolong tea[J]. **Tea Science and Technology**,2013,54(1):5-9. (in Chinese)

(责任编辑:许艳超)