

不同工艺制作水仙白茶的生化成分及感官品质比较

冯花, 王飞权, 张渤, 郑回, 陈荣冰

(武夷学院茶与食品学院, 福建武夷山 354300)

摘要: 以福建水仙茶树品种开面采鲜叶为原料, 分别采用传统白茶工艺(CK)和萎凋中引入摇青工艺(ST)加工成白茶, 对比分析两种白茶生化成分、香气成分及感官品质的差异, 旨在为高香型水仙白茶的开发提供参考。结果表明: ST较CK显著降低了水仙白茶中茶多酚、黄酮类、咖啡碱的含量及酚氨比、酯型与非酯型儿茶素的比值, 增加了游离氨基酸、茶黄素等的含量($p<0.05$); CK和ST白茶香气成分的种类分别为104和107个, 相对含量分别为79.72%和78.33%, 且均以醇类为主, 其中ST较CK明显降低了水仙白茶中正己醇等清香或青气物质的含量, 增加了香叶醇等花果香物质的含量, 并改善了水仙白茶的香气组成; 感官审评结果显示, ST明显提升了水仙白茶的香气与滋味品质, 所制白茶花果香浓郁、滋味醇厚水中带香, 且感官审评综合得分(93.10)显著高于CK白茶(88.30)($p<0.05$)。综上认为, ST较CK改善了水仙白茶生化成分、香气成分的含量与组成, 进而提升了香气与滋味品质, 所制水仙白茶综合品质优异, 达到高香白茶的品质要求。

关键词: 福建水仙; 白茶; 摇青工艺; 生化成分; 香气成分; 感官品质

文章编号: 1673-9078(2020)12-92-102

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2020.12.0941

Comparison of Biochemical Composition and Sensory Quality of Shuixian White Tea Made by Different Processes

FENG Hua, WANG Fei-quan, ZHANG Bo, ZHENG Hui, CHEN Rong-bing

(College of Tea and Food Science, Wuyi University, Wuyishan 354300, China)

Abstract: The banjhi leaves of Fujian-shuixian tea cultivar were plucked as raw materials to produce white tea using the traditional white tea technology (CK) or the green leaf shaking technology (ST) during the withering process, respectively. The differences in the biochemical components, aroma components and sensory qualities of the two kinds of white tea were compared and analyzed, aiming to provide a reference for the development of high-aroma Shuixian white tea. The results showed that, compared with CK, ST decreased significantly the contents of tea polyphenols, flavonoids and caffeine, as well as the polyphenol-ammonia ratio and ratio of ester catechins to non-ester catechins, were reduced by ST, but increased the contents of free amino acids and theaflavins in Shuixian white tea ($p<0.05$). The types of aroma components in CK white tea and ST white tea were 104 and 107, respectively, with their relative contents as 79.72% and 78.33%, respectively (mainly alcohols). Compared with CK, ST decreased significantly the contents of clean-aroma or green-aroma substances such as hexanol, increased the content of floral -fruit fragrance substances such as geraniol in Shuixian white tea, and improved the aroma composition of Shuixian white tea. The sensory evaluation results showed that, ST could significantly improve the aroma and taste quality of the Shuixian white tea, and the resulting tea had a strong floral and fruity aroma and a mellow taste with fragrance. The comprehensive sensory evaluation score of ST white tea (93.10) was significantly higher than that of CK white tea (88.30) ($p<0.05$). In conclusion, compared with CK, ST increased the biochemical content and the content and composition of aroma components of Shuixian white tea, thereby enhancing the quality of aroma and taste. The

引文格式:

冯花,王飞权,张渤,等.不同工艺制作水仙白茶的生化成分及感官品质比较[J].现代食品科技,2020,36(12):92-102

FENG Hua, WANG Fei-quan, ZHANG Bo, et al. Comparison of biochemical composition and sensory quality of Shuixian white tea made by different processes [J]. Modern Food Science and Technology, 2020, 36(12): 92-102

收稿日期: 2019-12-13

基金项目: 福建省科技厅引导性项目(2019N0023); 福建省教育厅科技项目(JAT160517); 福建省 2011 协同创新中心-中国乌龙茶产业协同创新中心专项(闽教科[2015]75号); 福建省科技厅科技创新平台项目(2018N2004); 南平市科技计划项目(N2017DN04)资助

作者简介: 冯花(1985-), 女, 讲师, 研究方向: 茶叶加工与茶树种质资源

通讯作者: 陈荣冰(1950-), 男, 研究员, 研究方向: 茶树栽培与育种

Shuixian white tea produced by ST has excellent overall quality, which meets the quality requirements of high-aroma white tea.

Key words: Fujian-shuixian; white tea; green tea leaf shaking technology; biochemical composition; aroma components; sensory quality

白茶属轻微发酵茶,其加工工艺简单,仅包括萎凋、干燥两个工序,从而形成了白茶滋味鲜醇、香气清鲜显毫香的品质特点^[1,2]。近几年,白茶因具有良好的保健功效^[3]、可陈放的特点以及收藏价值,广受消费者和投资者的青睐,由此形成了白茶的消费热潮,其产销量和市场占有率逐年递增^[2,4,5]。为充分利用地方或引进的茶树品种资源,迎合消费市场对白茶产量的需求,河南^[6,7]、浙江^[8,9]、广东^[10-13]、广西^[14]、湖南^[15]等省的部分茶区通过研究,筛选出适合当地白茶生产的加工用种和工艺技术,生产出具有地方特色的白茶新产品。然而,与其他茶类相比,传统白茶不炒、不揉、不做青,使得芽叶细胞的破碎率、内含物质的转化程度和浸出率相对偏低,形成了滋味和香气品质均淡薄的特征^[1,2,16],无法满足消费者对于香高、味浓白茶产品的需求。

陈宗懋等^[17]在总结白茶加工研究进展的基础上,指出高香白茶是白茶加工技术需要突破的重点。因此,为开发高香型白茶产品,满足消费者对白茶产品的多样化需求,茶叶科技工作者分别从品种的筛选、工艺的创新进行了相关研究,发现适制乌龙茶或具有高香特性的茶树品种在开发花香白茶方面具有较为明显的内质优势,如黄观音、茗科1号、梅占、奇兰、黄棪白茶花香较显^[18],毛蟹白茶具有清花香^[19],金牡丹白茶香味清甜、花香浓郁^[20],丹霞1号^[10]、丹霞2号^[11]以及从丹霞系列中所筛选的白毛茶新品种(系)^[13]所制白茶花香高长、浓郁;此外,在传统工艺基础上,通过引入轻做青、轻揉捻等方式创制的新工艺白茶,如福安大白^[21]、铁观音^[22]、黄观音^[23]、丹桂^[24]白茶具有明显或浓郁的花香。这些成果的取得,为高香白茶的生产以及茶树品种的多元化利用提供了新思路,是实现白茶产品多样化的有效途径。

福建水仙作为我国国家级无性系茶树良种,具有产量较高、适制性比较广泛等特性,在武夷山、建瓯等闽北茶区有较大面积的种植,是闽北乌龙茶生产的主栽品种之一,也是闽北传统白茶生产的优质用种,制成的水仙白茶品质优异,是构成福建白茶的重要品类^[5,25-27]。但因福建水仙在闽北茶区多用于制作乌龙茶,仅有少量用于制作白茶,造成水仙白茶的产量在福建白茶中的占比明显降低。同时,目前关于水仙白茶加工工艺的研究仍集中在传统工艺的白茶产品^[26-29],鲜见高香水仙白茶加工工艺的研究报道。因此,为充分利用闽北茶区福建水仙茶树品种的鲜叶资源,

改善水仙白茶香气与滋味品质,丰富闽北白茶产品类型,本试验在前期研究的基础上^[23,24],以福建水仙驻芽小开面三、四叶为鲜叶原料,分别采用传统工艺和萎凋中引入摇青工艺进行加工,对比分析两种工艺水仙白茶生化成分、香气成分及感官品质的差异,旨在为闽北茶区生产出香高、味醇厚的水仙白茶产品提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

1.1.1 鲜叶原料

2018年5月9日,在武夷学院茶园基地,以福建水仙(*Camellia sinensis* (L.) O. Kuntze cv. Fujian-shuixian)茶树品种为研究对象,取其驻芽小开面三、四叶的鲜叶为原料。

1.1.2 主要仪器设备

DL-6CHZ-6 茶叶烘焙机,泉州得力农林机械厂;7890A 气相色谱仪(gas chromatograph, GC)、1260 高效液相色谱仪(high performance liquid chromatography, HPLC)、5975C 质谱仪(mass spectrometry, MS),美国安捷伦科技公司;UniCen MR 冷冻离心机,德国 Herolab 公司;UV6100 紫外可见分光光度计,上海元析仪器有限公司。

1.2 试验方法

1.2.1 白茶加工方法

以传统白茶工艺为对照(CK),在此基础上于萎凋中进行适度摇青为处理(ST),具体工艺如下:

CK:鲜叶→摊晾(鲜叶在室内摊凉至室温)→日光萎凋(将摊晾后的鲜叶薄摊于帆布上,置于室外太阳光下晒青 15 min,然后移入室内摊凉至室温,轻翻一次后继续室外晒青 10 min)→室内自然萎凋(将晒青叶均匀不重叠薄摊于水筛上,萎凋至七八成干时并筛,继续萎凋至九成干,总历时约 60 h)→干燥(毛火:115℃、15 min;摊凉 60 min 后进行足火:80℃、120 min)

ST:鲜叶→摊晾、日光萎凋(同 CK)→室内自然萎凋(同 CK,历时约 3.5 h)→摇青(手工摇青 1 次,其中以水筛水平旋转 1 周为 1 转,共计 60 转)→室内自然萎凋(同 CK,总历时约 40 h)→干燥(同 CK)

1.2.2 样品固定与制备

样品固定:鲜叶样品采用高温水蒸气杀青、烘箱

烘干法进行固定^[23], 之后密封、干燥、避光保存备用。成品茶在初制结束经鉴别后直接取样, 密封、干燥、避光保存。

样品制备: 分别取鲜叶与白茶样品各 120 g, 粉碎后过 40 目筛, 取其中 80 g 密封、冷冻保存, 供生化成分分析用; 剩余白茶粉碎样再过 80 目筛, 密封后保存于 -80 °C 超低温冰箱, 供香气成分分析用。

1.2.3 测定方法

1.3.3.1 生化成分

采用 GB/T 8305-2013 中全量法、GB/T8313-2018 中福林酚比色法、GB/T 8314-2013 中茛三酮比色法分别测定茶样中的水浸出物、茶多酚、游离氨基酸总量; 采用三氯化铝比色法^[30]、HPLC 法^[31]分别测定茶样中的黄酮类总量及咖啡碱和儿茶素组分的含量; 采用系统比色法^[32]测定茶黄素、茶红素、茶褐素的含量。

1.3.3.2 香气成分

按照王飞权等^[23]的方法进行水仙白茶香气成分

的萃取、GC-MS 分析及定性与定量。

1.2.4 茶叶感官审评

由 3 位具有评茶师执业资格的专业教师, 分别按照 GB/T23776-2018《茶叶感官审评方法》对各白茶样品的外形、汤色、香气、滋味和叶底五项因子进行密码审评, 给出各因子的评语和得分(百分制法)后, 依次按照 25%、10%、25%、30%和 10%的权重加权平均计算总分。

1.3 数据分析

采用 Microsoft Excel 2010 软件进行数据归类、分析和计算, 利用 IBM SPSS 20.0 软件对不同处理的数据进行方差分析, 方差分析的方法为独立样本 *t* 检验。

2 结果与分析

2.1 鲜叶生化成分分析

表 1 鲜叶和水仙白茶中生化成分的含量

Table 1 The content of biochemical components in fresh leaves and Shuixian white tea

序号	生化成分	鲜叶	CK	ST
1	水浸出物/%	53.58	50.12±0.39 ^a	50.85±0.43 ^a
2	游离氨基酸/%	2.21	2.57±0.01 ^b	2.68±0.14 ^a
3	茶多酚/%	26.01	21.95±0.13 ^a	21.51±0.10 ^b
4	咖啡碱/%	3.26	3.74±0.03 ^a	3.43±0.11 ^b
5	酚氨比	11.82	8.54±0.01 ^a	8.03±0.26 ^b
6	黄酮类/(mg/g)	6.93	10.72±0.09 ^a	9.36±0.12 ^b
7	C/%	0.17	0.14±.003 ^a	0.13±0.01 ^a
8	EC/%	1.66	0.65±0.010 ^a	0.53±0.01 ^a
9	ECG/%	1.72	1.27±0.10 ^a	1.35±0.01 ^a
10	EGC/%	4.54	1.67±0.04 ^b	2.09±0.07 ^a
11	EGCG/%	7.33	4.29±0.06 ^a	4.04±0.29 ^a
12	酯型儿茶素/%	9.06	5.56±0.15 ^a	5.39±0.30 ^a
13	非酯型儿茶素/%	6.37	2.35±0.02 ^b	2.87±0.09 ^a
14	儿茶素总量/%	15.43	7.91±0.17 ^a	8.26±0.39 ^a
15	酯型儿茶素/非酯型儿茶素	1.42	2.37±0.05 ^a	1.88±0.05 ^b
16	茶黄素/%	-	0.35±0.09 ^b	0.45±0.08 ^a
17	茶红素/%	-	3.54±0.53 ^a	4.46±0.32 ^a
18	茶褐素/%	-	5.50±0.40 ^a	5.73±0.15 ^a

注: “-”表示未测定; 当 CK 与 ST 处理间达 0.05 差异显著水平时用不同字母标示, 下同。

由表 1 可知, 福建水仙茶树品种开面采鲜叶中水浸出物、咖啡碱和 EGC 的含量较高, 游离氨基酸、茶多酚、黄酮类、C、EC、ECG、非酯型儿茶素的含量及酚氨比大小适中, 儿茶素总量、EGCG 和酯型儿茶素的含量及酯型与非酯型儿茶素比值较低^[33]。与周炎花等^[22]利用乌龙茶品种一芽一叶嫩梢进行花香白

茶研究不同, 本试验选取的鲜叶原料是相对成熟的开面采新梢, 两种采摘标准的茶树鲜叶在理化性状上必然存在显著差异, 从而形成不同品质的白茶产品^[34,35]。此外, 乌龙茶品种开面采的鲜叶具有形成滋味醇厚、香气馥郁的生化基础及特殊的物理性状^[33], 可以为香高、味醇厚茶叶品质的形成及摇青中物质有节奏的转

化提供条件。经分析发现,本试验选取的鲜叶原料水浸出物、咖啡碱的含量较高,茶多酚与游离氨基酸的含量及酚氨比值适中,儿茶素总量、EGCG、酯型儿茶素的含量及酯型与非酯型儿茶素的比值较低,可为白茶优异品质的形成奠定物质基础。

2.2 不同工艺水仙白茶生化成分的对比如

不同工艺水仙白茶各生化成分的含量见表1。与鲜叶相比,CK与ST白茶中水浸出物、茶多酚、儿茶素的总量及C、EC、ECG、EGC、EGCG、酯型与非酯型儿茶素的含量均有减少,而游离氨基酸、黄酮类、咖啡碱的含量均有增加,从而降低了酚氨比,形成一定含量的茶黄素、茶红素和茶褐素类物质,这与刘谊健等^[36]、游小妹等^[37]、陈常颂等^[38]、Dai等^[39]关于白茶加工过程中生化成分变化的总体趋势一致。说明水仙茶树开面采鲜叶在不同工艺作用下,其生化成分的转化与积累符合白茶品质形成的基本要求。

两种工艺所制白茶相比,ST白茶中茶多酚、黄酮类、咖啡碱的含量及酚氨比、酯型与非酯型儿茶素的比值显著低于CK白茶($p < 0.05$),而游离氨基酸、EGC、非酯型儿茶素、茶黄素的含量则显著高于CK白茶($p < 0.05$)。这与不同工艺铁观音白茶主要生化成分对比结果一致,即摇青处理所制白茶的茶多酚和咖啡碱含量明显低于传统工艺白茶,而氨基酸含量则相反^[22]。研究认为,传统白茶加工过程中蛋白质、多肽、RNA的降解是白茶中游离氨基酸、核苷与核苷酸含量增加的主要原因,其中核苷与核苷酸的累积又为咖啡碱的生物合成提供了丰富的先质,从而增加了咖啡碱的含量,并且随着萎凋过程中细胞膜的降解,让较多的茶多酚与多酚氧化酶接触而被氧化为茶黄素类物质,导致茶多酚类减少而茶黄素类物质增加^[40,41]。这在本试验的结果中也得到证实,但与传统工艺(CK)相比,萎凋中进行摇青处理(ST)较大幅度破坏了茶树叶片的叶缘细胞结构,使得较多的茶多酚、蛋白质、多肽等与氧化酶和水解酶发生接触而被氧化或水解,从而形成和积累较多的茶黄素类和游离氨基酸;同时,摇青处理明显缩短了萎凋时间(40 h),减少了氨基酸的降解及咖啡碱的生物合成,进而降低了酚氨比值。这与不同工艺桂热2号白茶茶多酚和咖啡碱含量的对比结果不同^[14],摇青后的桂热2号白茶这两个成分的含量均高于传统工艺,这可能与试验所用鲜叶原料的品种特性和采摘标准不同有关,桂热2号单芽摇青中细胞的破损程度可能较叶片轻。

2.3 不同工艺水仙白茶香气成分与组成

2.3.1 香气成分

图1为水仙白茶香气成分的GC-MS总离子流色谱图,从中共鉴定出110个香气成分。其中,CK和ST白茶分别鉴定出104和107个香气成分,总的相对含量分别为79.72%和78.33%,二者共有香气成分有101个(表2),表明水仙白茶香气成分的数量和相对含量均较丰富,尤其在香气成分的数量上明显多于汝城白毛茶(45个)^[15]、福安大白茶(40个)、政和大白茶(39个)、福鼎大白茶(35个)^[20]、福鼎大毫茶(54个)^[42]等白茶,与黄观音白茶(103个)^[23]接近,这可能与茶树品种或鲜叶原料的嫩度不同有关,体现出水仙等乌龙茶品种开面采鲜叶原料具有加工高香白茶的潜质。

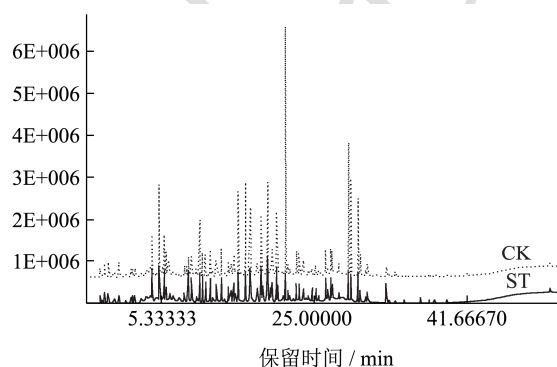


图1 水仙白茶香气成分总离子色谱图

Fig.1 Total ion chromatogram of aroma components in Shuixian white tea

茶叶中已分离鉴定出的香气成分约700种,其中仅有数十种是形成茶叶香气的重要因子^[33,43]。本试验结果显示,CK和ST白茶中主要的香气成分(相对含量 $\geq 1\%$ 的成分)分别有21和23个,其相对含量之和分别占到香气总量的76.38%和71.25%,构成了两种水仙白茶赋香的物质基础;同时,一些特征性香气成分在两种水仙白茶中的相对含量差异明显,如在CK白茶中正己醇、反-2-己烯醇、苯乙醛等清香或青气类物质的相对含量分别高出ST白茶的24%、75%和68%,而在ST白茶中香叶醇(甜玫瑰花气息)、反式-橙花叔醇(花香带轻微木质香)、壬醛(玫瑰、柑橘等香气)、庚醛(甜杏和坚果香)、茉莉内酯(茉莉花香)、二氢海葵内酯(甜桃香)、己酸-顺-3-己烯酯等花果香类物质^[44,45]的相对含量分别高出CK白茶的7%、103%、12%、18%、480%、50%和239%,其中部分特征性香气成分虽然相对含量较低,但其阈值也低^[43],从而对茶叶香气具有重要影响。因此,CK和ST白茶在主要香气成分和特征性香气成分上的差异可能是其香气品质产生差异的重要因素。

成品茶叶中大多数香气成分是在加工过程中由

前体产生的^[43,46]。本试验结果显示,水仙白茶中由糖苷、脂肪酸和游离芳香前体氨基酸产生的香气成分,其相对含量之和分别占 CK 和 ST 白茶香气总量的 74.27%和 70.02% (表 2),说明水仙白茶主要的香气成分是由这三个前体在加工过程中产生的,这与 Feng 等^[47]、Chen 等^[48]的研究结果基本一致。两种工艺水仙白茶比较发现,由糖苷和游离芳香前体氨基酸产生的香气成分,其相对含量在 CK 白茶中的占比(分别为 27.55%和 16.70%)高于 ST 白茶(分别为 26.65%

和 11.24%),由脂肪酸产生的香气成分则在 ST 白茶中的占比(32.13%)高于 CK 白茶(30.02%)。结果表明,两种工艺在促进水仙白茶香气前体的转化上有所不同,其中 ST 工艺因较大程度破坏了茶树叶片叶缘细胞的结构,引起了较多的脂肪酸发生酶促或非酶促的氧化降解,而 CK 工艺则因较长时间的萎凋引起较多的游离氨基酸和苷类发生降解和水解,具体香气成分的形成机理还有待进一步研究。

表 2 水仙白茶香气成分的相对含量

Table 2 The relative content of aroma components in shuixian white tea

序号	化合物	保留时间/min	化学式	相对含量/%	
				CK	ST
1	乙醚	1.80	C ₄ H ₁₀ O	0.01	0.01
2	乙醛 ³	1.95	C ₂ H ₄ O	0.10	0.08
3	二甲硫 ³	2.14	C ₂ H ₆ S	0.22	0.20
4	(E)-2-甲基-1,3 戊二烯	2.43	C ₆ H ₁₀	0.04	0.04
5	2,4-二甲基庚烷	2.56	C ₉ H ₂₀	0.07	0.09
6	乙酸甲酯	2.61	C ₃ H ₆ O ₂	0.01	0.01
7	2,5-二氢吡喃	2.75	C ₄ H ₆ O	0.00	0.01
8	丙烯醛	2.76	C ₃ H ₄ O	0.01	0.01
9	2-甲基吡喃	3.04	C ₅ H ₆ O	0.02	0.02
10	4-甲基辛烷	3.15	C ₉ H ₂₀	0.05	0.05
11	乙酸乙酯	3.25	C ₄ H ₈ O ₂	0.50	0.55
12	2-甲基丁醛 ³	3.63	C ₅ H ₁₀ O	0.61	0.37
13	3-甲基丁醛 ³	3.70	C ₅ H ₁₀ O	0.42	0.29
14	异丙醇	3.89	C ₃ H ₈ O	0.08	0.08
15	乙醇	3.97	C ₂ H ₆ O	0.03	0.03
16	2-乙基吡喃	4.43	C ₆ H ₈ O	0.15	0.21
17	2,3-丁二酮	4.91	C ₄ H ₆ O ₂	0.14	0.22
18	戊醛 ¹	5.02	C ₅ H ₁₀ O	0.53	0.48
19	2-甲基-3-戊酮	5.55	C ₆ H ₁₂ O	0.05	0.06
20	癸烷	6.25	C ₁₀ H ₂₂	0.07	0.10
21	甲苯	6.71	C ₆ H ₆	0.21	0.22
22	2,4,6-三甲基癸烷	7.32	C ₁₃ H ₂₈	0.88	1.03
23	正己醛 ¹	8.10	C ₆ H ₁₂ O	2.97	2.93
24	十一烷	8.66	C ₁₁ H ₂₄	0.15	0.15
25	4-乙基辛烷	8.95	C ₁₀ H ₂₂	0.08	0.08
26	(E)-2-戊烯醛	9.57	C ₅ H ₈ O	0.28	0.40
27	1-(1-环己烯-1-基)-乙酮	9.64	C ₈ H ₁₂ O	0.07	0.07
28	4-甲基-3-戊烯-2-酮	9.73	C ₆ H ₁₀ O	0.09	0.09
29	5-甲基十一烷	10.12	C ₁₂ H ₂₆	0.00	0.05
30	2,5,6-三甲基癸烷	10.32	C ₁₃ H ₂₈	0.11	0.13
31	3-甲基十一烷	10.62	C ₁₂ H ₂₆	0.05	0.05

转下页

接上页					
32	1-戊烯-3-醇 ¹	10.80	C ₅ H ₁₀ O	1.13	1.24
33	2,5-二甲基十三烷	10.90	C ₁₅ H ₃₂	0.00	0.04
34	吡啶	11.25	C ₅ H ₅ N	1.84	3.94
35	2-庚酮	11.50	C ₇ H ₁₄ O	0.30	0.33
36	庚醛 ¹	11.59	C ₇ H ₁₄ O	0.55	0.65
37	3-甲基-2-丁烯醛	11.79	C ₅ H ₈ O	0.12	0.09
38	柠檬烯 ²	12.07	C ₁₀ H ₁₆	0.18	0.15
39	2-甲基丁醇 ³	12.31	C ₅ H ₁₂ O	0.13	0.06
40	3-甲基丁醇 ³	12.34	C ₅ H ₁₂ O	0.01	0.01
41	(E)-2-己烯醛 ¹	12.46	C ₆ H ₁₀ O	1.60	2.67
42	十二烷	12.73	C ₁₂ H ₂₆	1.28	1.19
43	2-戊基呋喃	13.15	C ₉ H ₁₄ O	1.78	1.80
44	2,7,10-三甲基十二烷	13.38	C ₁₅ H ₃₂	0.08	0.05
45	1-戊醇 ¹	13.65	C ₅ H ₁₂ O	1.04	1.03
46	1-癸烯	13.96	C ₁₀ H ₂₀	0.04	0.03
47	乙酸己酯 ¹	14.46	C ₈ H ₁₆ O ₂	0.06	0.09
48	辛醛	14.88	C ₈ H ₁₆ O	0.36	0.44
49	顺-2-戊烯-1-醇 ¹	15.58	C ₅ H ₁₀ O	0.61	0.73
50	乙酸-4-己烯酯	15.70	C ₈ H ₁₄ O ₂	0.17	0.34
51	顺-2-庚烯醛	15.71	C ₇ H ₁₂ O	0.10	0.12
52	2,3-辛二酮	15.90	C ₈ H ₁₄ O ₂	0.16	0.17
53	6-甲基-5-庚烯-2-酮	16.16	C ₈ H ₁₄ O	0.14	0.17
54	正己醇 ¹	16.69	C ₆ H ₁₄ O	4.06	3.28
55	顺-3-己烯醇 ¹	17.48	C ₆ H ₁₂ O	3.67	4.83
56	壬醛	17.93	C ₉ H ₁₈ O	0.51	0.57
57	反-2-己烯醇 ¹	18.08	C ₆ H ₁₂ O	3.81	2.18
58	3-辛烯-2-酮	18.17	C ₈ H ₁₄ O	0.14	0.12
59	丁酸己酯	18.70	C ₁₀ H ₂₀ O ₂	0.12	0.28
60	反-2-辛烯醛	18.71	C ₈ H ₁₄ O	0.27	0.27
61	十四烷	18.81	C ₁₄ H ₃₀	0.43	0.78
62	乙酸	18.96	C ₂ H ₄ O ₂	0.00	0.29
63	2-甲基-丁酸己酯 ¹	19.11	C ₁₁ H ₂₂ O ₂	0.72	0.49
64	顺- α,α -5-三甲基-5-乙基四氢化呋喃-2-甲醇	19.18	C ₁₀ H ₁₈ O ₂	0.72	0.52
65	呋喃甲醛	19.30	C ₅ H ₄ O ₂	0.12	0.13
66	1-辛烯-3-醇 ¹	19.36	C ₈ H ₁₆ O	1.08	1.19
67	甲酸庚酯	19.51	C ₈ H ₁₆ O ₂	0.27	0.31
68	丁酸-顺-3-己烯酯 ¹	19.82	C ₁₀ H ₁₈ O ₂	0.11	0.35
69	反式-芳樟醇氧化物(呋喃型) ²	19.92	C ₁₀ H ₁₈ O ₂	4.07	3.33
70	异戊酸叶酯 ¹	20.21	C ₁₁ H ₂₀ O ₂	0.36	0.52
71	(E,E)-2,4-庚二烯醛 ¹	20.28	C ₇ H ₁₀ O	0.83	0.82
72	2-乙基己醇	20.42	C ₈ H ₁₈ O	1.80	1.41
73	癸醛	20.80	C ₁₀ H ₂₀ O	0.09	0.00
74	苯甲醛 ³	20.89	C ₇ H ₆ O	2.85	1.96

转下页

接上页					
75	反-3,反-5-辛二烯-2-酮	21.01	C ₈ H ₁₂ O	0.95	0.90
76	芳樟醇 ²	21.85	C ₁₀ H ₁₈ O	2.29	1.69
77	辛醇	22.12	C ₈ H ₁₈ O	0.28	0.32
78	6-甲基-3,5-庚二烯-2-酮	22.81	C ₈ H ₁₂ O	0.12	0.11
79	3,7-二甲基-1,5,7-辛三烯-3-醇	23.29	C ₁₀ H ₁₆ O	0.66	0.52
80	β-环柠檬醛 ²	23.57	C ₁₀ H ₁₆ O	0.15	0.16
81	己酸己酯 ¹	23.67	C ₁₂ H ₂₄ O ₂	0.22	0.22
82	苯乙醛 ³	23.80	C ₈ H ₈ O	1.98	1.18
83	苯乙酮	24.03	C ₈ H ₈ O	0.07	0.07
84	糠醇	24.19	C ₅ H ₆ O ₂	0.01	0.02
85	己酸-顺-3-己烯酯 ¹	24.71	C ₁₂ H ₂₂ O ₂	0.31	1.05
86	己酸-反-2-己烯酯 ¹	25.04	C ₁₂ H ₂₂ O ₂	0.33	0.47
87	4-己内酯	25.18	C ₆ H ₁₀ O ₂	0.61	1.17
88	乙酸苯甲酯 ²	25.93	C ₉ H ₁₀ O ₂	0.03	0.00
89	(3R,6S)-2,2,6-三甲基-6-乙基四氢-2H-吡喃-3-醇	26.80	C ₁₀ H ₁₈ O ₂	1.18	1.10
90	水杨酸甲酯 ³	26.95	C ₈ H ₈ O ₃	0.26	0.18
91	橙花醇 ²	27.67	C ₁₀ H ₁₈ O	0.37	0.24
92	乙酸苯乙酯 ³	27.90	C ₁₀ H ₁₂ O ₂	0.01	0.02
93	香叶醇 ²	28.68	C ₁₀ H ₁₈ O	9.92	10.65
94	苯甲醇 ²	28.99	C ₇ H ₈ O	4.66	3.99
95	N-乙基琥珀酰亚胺	29.10	C ₇ H ₁₂ O ₂ N ₂	0.07	0.08
96	苯乙醇 ³	29.77	C ₈ H ₁₀ O	6.62	4.21
97	苯乙腈	30.01	C ₈ H ₇ N	1.26	0.51
98	2,6-二甲基-3,7-辛二烯-二醇[2,6]	30.58	C ₁₀ H ₁₈ O ₂	0.27	0.25
99	苯酚	31.53	C ₆ H ₆ O	0.00	0.02
100	5,6-环氧-β-紫罗酮	31.80	C ₁₃ H ₂₀ O ₂	0.33	0.00
101	4-庚内酯	32.33	C ₇ H ₁₂ O ₂	0.08	0.10
102	反式-橙花叔醇 ²	32.80	C ₁₅ H ₂₆ O	0.31	0.63
103	苯甲酸-顺-3-己烯酯 ¹	34.37	C ₁₃ H ₁₆ O ₂	0.02	0.02
104	茉莉内酯	36.60	C ₁₀ H ₁₆ O ₂	0.05	0.29
105	2,4-二叔丁基苯酚	37.57	C ₁₄ H ₂₂ O	0.01	0.02
106	二氢海葵内酯	38.05	C ₁₁ H ₁₆ O ₂	0.08	0.12
107	吡嗪 ³	39.47	C ₈ H ₇ N	0.11	0.24
108	香豆素 ²	39.65	C ₉ H ₆ O ₂	0.00	0.02
109	邻苯二甲酸二异丁酯	41.57	C ₁₆ H ₂₂ O ₄	0.29	0.42
110	邻苯二甲酸二丁酯	43.95	C ₁₆ H ₂₂ O ₄	0.16	0.21

注：右上角 1、2、3 表示香气前体物质分别为脂肪酸、香气糖苷、游离芳香前体氨基酸^[33,45,46]。

2.3.2 香气组成

由表 3 可知,水仙白茶的香气成分由醇类、醛类、酯类、内酯类、酮类、杂氧类、碳氢类、酚类及其衍生物、含硫类、酸类、吡咯类及其衍生物等 11 大类物质组成,与黄观音^[23]和福鼎大毫白茶(10 类)比较接近^[42],但明显多于其他茶树品种白茶(6-8 类)^[15,20],

说明水仙白茶香气物质的组成丰富多样。其中,CK 和 ST 水仙白茶中醇类物质的相对含量明显高于他类型,分别占香气总量的 79.34%和 73.01%,是水仙白茶的主要香气类型,这与其他茶树品种白茶香气主要类型表现一致^[15,20,23,24,42],说明醇类物质是形成水仙白茶香气品质的主要物质基础。

表3 水仙白茶香气成分的组成

Table 3 The composition of aroma components of Shuixian white tea

类别	CK 白茶		ST 白茶	
	个数	相对含量/%	个数	相对含量/%
醇类	25	48.82	25	43.55
醛类	20	14.43	19	13.64
酯类	18	3.94	17	5.54
内酯类	4	0.81	5	1.70
酮类	12	2.55	11	2.31
杂氧类	4	1.95	5	2.05
碳氢类	15	3.71	17	4.24
酚类及其衍生物	1	0.01	2	0.04
含硫类	1	0.22	1	0.20
酸类	0	0.00	1	0.29
吡咯类及其衍生物	4	3.28	4	4.77
总计	104	79.72	107	78.33

表4 水仙白茶感官审评结果

Table 4 The results of organoleptic evaluation of Shuixian white tea

工艺类型	评语 得分					综合得分
	外形 (25%)	香气 (25%)	汤色 (10%)	滋味 (30%)	叶底 (10%)	
CK	色泽灰绿, 叶缘垂卷 90	清香带花香 88	杏黄明亮 91	较醇厚 85	软匀黄亮 92	88.30±0.14 ^b
ST	色泽灰绿略带红边, 叶缘垂卷 90	花果香浓郁 96	黄较亮 88	醇厚、水中带香 96	软匀黄较亮红边显 90	93.10±0.28 ^a

两个工艺水仙白茶香气组成的比较结果显示(表3), CK白茶中除了醇类、醛类、酮类、含硫类相对含量高于ST白茶外,其他类型香气物质的相对含量均低于ST白茶,说明二者在香气组成上具有明显的差异,尤其是多具花果香型的酯类和内酯类物质在ST白茶中的相对含量要高出CK白茶的40.61%和109.88%。结果表明,在鲜叶原料一致的情况下,摇青工艺能够明显改善水仙白茶的香气组成。

2.4 不同工艺水仙白茶感官品质的对比

由表4可知,ST白茶在香气与滋味品质得分上(均为96分)明显高于CK白茶(分别为88和85分),表现为花果香浓郁、滋味醇厚水中带香的品质特征,但在汤色与叶底品质得分上(分别为88和90)略低于CK白茶(分别为91和92分),表现为黄较亮和软匀黄较亮红边显的品质特征,在外形的品质得分上二者相同(均为90分)。对两种工艺水仙白茶的综合品质比较发现,ST白茶的综合得分(93.10)显著高于CK白茶(88.30)($p < 0.05$)。这与周炎花等^[22]、王飞权等^[23]利用乌龙茶品种进行花香白茶研究的结果基本一致,说明摇青工艺可以明显提升白茶的香气与滋味品质,但对其他因子影响不明显,从而提升白

茶的综合品质;与罗莲凤等^[14]的研究有所不同,摇青工艺后的桂热2号单芽白茶毫香高、滋味醇厚,品质较传统工艺优异,但并未形成花香特征,这可能与该品种的特性及单芽鲜叶原料有关。同时,分析发现,水仙白茶的感官品质与其生化成分和香气成分分析的结果比较一致:一方面,ST白茶水浸出物、游离氨基酸、非酯型儿茶素、茶黄素、茶红素等的含量较高,茶多酚、咖啡碱、黄酮类、酯型儿茶素等的含量及酚氨比、酯型与非酯型儿茶素的比值较低,并具有相对含量比较高的花果香物质,而CK白茶则相反,从而形成水仙白茶不同的滋味与香气品质;另一方面,由于ST工艺较大程度的破坏了叶缘细胞结构,促使茶多酚氧化形成较多的茶黄素、茶红素类物质,这些色素一部分与蛋白质结合沉淀到叶底形成红边,一部分溶于茶汤形成黄较亮的汤色与叶底品质^[33],所以对水仙白茶外形、汤色与叶底品质的提升不明显,甚至降低了相关因子的品质得分。因此,通过上述分析认为,若想通过摇青工艺改善白茶品质,应根据茶树品种特性、鲜叶原料理化性状,以及目标品质来选择合适的摇青参数。

3 结论

3.1 福建水仙茶树品种开面采鲜叶中水浸出物、咖啡碱的含量较高,茶多酚与游离氨基酸的含量及酚氨比值适中,儿茶素总量、EGCG、酯型儿茶素的含量及酯型与非酯型儿茶素的比值较低,具有加工优质水仙白茶的生化基础。

3.2 与传统白茶工艺(CK)相比,萎凋阶段进行适度摇青处理(ST)显著降低了水仙白茶茶多酚、黄酮类、咖啡碱的含量及酚氨比、酯型与非酯型儿茶素的比值,增加了游离氨基酸、非酯型儿茶素、茶黄素的含量($p<0.05$),从而改善了水仙白茶生化成分的含量与组成。

3.3 不同工艺水仙白茶香气成分的数量(104和107个)与组成(11类)丰富多样,香气类型以醇类为主,香气成分主要由糖苷、脂肪酸和游离芳香前体氨基酸在加工中产生的。与CK相比,ST工艺明显降低了正己醇、反-2-己烯醇、苯乙醛等清香或青气类物质的含量,增加了香叶醇、反式-橙花叔醇、壬醛、庚醛、茉莉内酯、二氢海葵内酯、己酸-顺-3-己烯酯等花果香类物质的含量,并改善了水仙白茶的香气组成。

3.4 以福建水仙茶树品种春茶驻芽小开面三、四叶为原料,采用ST工艺制得的水仙白茶,其感官品质综合得分(93.10)显著高于CK工艺(88.30)($p<0.05$),尤其在滋味与香气品质方面表现优异:香气花果香浓郁、滋味醇厚水中带香,达到高香白茶的品质要求。

参考文献

- [1] 黄艳,刘菲,孙威江.白茶产品与加工技术研究进展[J].中国茶叶加工,2015,6: 5-9, 19
HUANG Yan, LIU Fei, SUN Wei-jiang. Research progress in white tea products and processing technology [J]. China Tea Processing, 2015, 6: 5-9, 19
- [2] 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,2018,20(4):79-91
LIU Dong-nan, LUO Fan, LI Chun-hua, et al. Research progress on quality chemistry of Chinese white tea [J]. Journal of Agricultural Science and Technology, 2018, 20(4): 79-91
- [3] 郑思梦,赵峥山,武慧慧,等.白茶药理作用及保健功效研究进展[J].粮食与油脂,2020,33(3): 16-18
ZHENG Si-meng, ZHAO Zheng-shan, WU Hui-hui, et al. Research progress on pharmacological action and health efficacy of white tea [J]. Cereals & Oils, 2020, 33(3): 16-18
- [4] 周子维,李磊磊,孙云.白茶加工工艺及其新品种适应性研究进展[J].中国茶叶加工,2016,2: 64-68
ZHOU Zi-wei, LI Lei-lei, SUN Yun. Research advance on processing craft and productive character of new tea varieties of white tea [J]. China Tea Processing, 2016, 2: 64-68
- [5] 梅宇,林璇.2017 中国白茶产销形势分析报告[J].福建茶叶,2017,9: 3-5
MEI Yu, LIN Xuan. 2017 White tea production and marketing situation analysis report [J]. Tea in Fujian, 2017, 9: 3-5
- [6] 王子浩,刘威,尹鹏,等.不同加工工艺对信阳群体种白茶品质及成分的影响[J].食品科技,2017,42(1): 86-89
WANG Zi-hao, LIU Wei, YIN Peng, et al. Effects on quality and biochemical components of different treatments on white tea from Xinyang species [J]. Food Science and Technology, 2017, 42(1): 86-89
- [7] 王子浩,尹鹏,刘威,等.信阳地区栽种的9种茶树品种加工白茶成分及品质分析[J].食品研究与开发,2018,39(6): 143-145,168
WANG Zi-hao, YIN Peng, LIU Wei, et al. Effects on quality and biochemical components of white tea processing from nine varieties of tea plants planted in Xinyang area [J]. Food Research and Development, 2018, 39(6): 143-145, 168
- [8] 龚淑英,谷兆骥,范方媛,等.浙江省主栽茶树品种工艺白茶的滋味成分研究[J].茶叶科学,2016,36(3): 277-284
GONG Shu-ying, GU Zhao-qi, FAN Fang-yuan, et al. Research on taste compounds in white tea processed from cultivars in Zhejiang province [J]. Journal of Tea Science, 2016, 36(3): 277-284
- [9] 范方媛,陈萍,罗文文,等.浙江“春雨2号”品种白茶加工工艺初探[J].浙江大学学报(农业与生命科学版),2017,43(2): 229-238
FAN Fang-yuan, CHEN Ping, LUO Wen-wen, et al. Preliminary study on processing technology of white tea “Chunyu 2” from Zhejiang Province [J]. Journal of Zhejiang University (Agric. & Life Sci.), 2017, 43(2): 229-238
- [10] 陈栋,王金焕,吴华玲,等.高香型红(白)茶兼用新品种丹霞1号的选育[J].广东农业科学,2010,37(11): 39-45
CHEN Dong, WANG Jin-huan, WU Hua-ling, et al. Breeding of Danxia 1, a new cultivar of high-flavor black (white) tea [J]. Guangdong Agricultural Sciences, 2010, 37(11): 39-45
- [11] 陈栋,李家贤,卓敏,等.高香型红(白)茶兼用新品种丹霞2号的选育[J].广东农业科学,2010,37(11): 46-52,56
CHEN Dong, LI Jia-xian, ZHUO Min, et al. Breeding of Danxia 2, a new cultivar of high-flavor black (white) tea [J]. Guangdong Agricultural Sciences, 2010, 37(11): 46-52, 56
- [12] 赵崇真,陈海强,胡海涛,等.萎凋对不同茶树品种加工白茶

- 的品质影响初探[J].广东茶业,2020,3: 16-21
ZHAO Chong-zhen, CHEN Hai-qiang, HU Hai-tao, et al. A preliminary study on the effect of withering on the quality of white tea processed by different tea plant varieties [J]. Guangdong Tea Industry, 2020, 3: 16-21
- [13] 卓敏,乔小燕,操君喜,等.丹霞系列白毛茶新品种(系)加工白茶的感官品质比较[J].广东农业科学,2013,40(16): 98-100
ZHUO Min, QIAO Xiao-yan, CAO Jun-xi, et al. Comparative study of sensory qualities of new Danxia series white-hair tea species (families) processed white tea [J]. Guangdong Agricultural Sciences, 2013, 40(16): 98-100
- [14] 罗莲凤,马仙花,梁光志,等.不同加工工艺对桂热 2 号白茶品质的影响[J].南方农业学报,2012,43(6):847-850
LUO Lian-feng, MA Xian-hua, LIANG Guang-zhi, et al. Impacts of different processing techniques on quality of Guire 2 white tea [J]. Journal of Southern Agriculture, 2012, 43(6): 847-850
- [15] 粟本文,黄怀生,钟兴刚,等.汝城白毛茶白茶品质特征分析[J].茶叶通讯,2018,45(3): 21-26
SU Ben-wen, HUANG Huai-sheng, ZHONG Xing-gang, et al. Analysis on the quality characteristics of Rucheng Baimaocha white tea [J]. Journal of Tea Communication, 2018, 45(3): 21-26
- [16] 李凤娟.白茶的滋味、香气和加工工艺研究[D].杭州:浙江大学,2012
LI Feng-juan. Studies on the taste aroma and processing of white tea [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2012
- [17] 陈宗懋,刘仲华,杨亚军,等.2019 年中国茶叶科技进展[J].中国茶叶,2020,42(5):1-12,20
CHEN Zong-mao, LIU Zhong-hua, YANG Ya-jun, et al. Progress of tea science and technology in China in 2019 [J]. China Tea, 2020, 42(5): 1-12, 20
- [18] 陈林,张应根,项丽慧,等.‘茗科 1 号’等 5 个福建乌龙茶品种的白茶适制性鉴定[J].茶叶学报,2019,60(2): 64-68
CHEN Lin, ZHANG Ying-yin, XIANG Hui-hui, et al. Quality appraisal on white teas processed from Fujian oolong cultivars (*Camellia sinensis*) [J]. Acta Tea Sinica, 2019, 60(2): 64-68
- [19] 卢莉,程曦,叶国盛,等.4 种乌龙茶树鲜叶适制绿茶、黄茶、白茶、红茶可行性研究[J].食品工业科技,2020,41(2):33-38
LU Li, CHENG Xi, YE Guo-sheng, et al. Feasibility of green tea, yellow tea, white tea and black tea made from the fresh leaves of four oolong tea varieties [J]. Science and Technology of Food Industry, 2020, 41(2): 33-38
- [20] 黄赞.福建白茶化学成分与感官品质研究初报[D].福州:福建农林大学,2013
HUANG Yun. Studies on chemical components and sensory qualities of Fujian white teas [D]. Fuzhou: Fujian Agriculture & Forestry University, 2013
- [21] 张磊,吴民亿,杨如兴.不同加工工艺对白茶品质的影响初报[J].茶叶科学技术,2010,3: 20-23
ZHANG Lei, WU Min-yi, YANG Ru-xing. Preliminary report on the influence of different processing technology on the quality of white tea [J]. Tea Science and Technology, 2010, 3: 20-23
- [22] 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,2017,6(9): 17-22
ZHOU Yan-hua, CAI Lie-wei, YANG Shuang-xu, et al. Technology and quality research of white tea processed from Tieguanyin tea cultivars [J]. Journal of Wuyi University, 2017, 6(9): 17-22
- [23] 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 Fei-quan, FENG Hua, ZHU Xiao-yan, 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
- [24] 冯花,王飞权,纪子翔,等.不同工艺对丹桂秋季白茶品质的影响[J].食品研究与开发,2020,41(13): 80-88
FENG Hua, WANG Fei-quan, JI Zi-xiang, et al. The influence of different process on the quality of autumn white tea of Dangui [J]. Food Research and Development, 2020, 41(13): 80-88
- [25] 刘宝顺,戈佩贞,陈桦,等.国家级茶树优良品种-福建水仙[J].茶业通报,2016,38(4): 187-190
LIU Bao-shun, GE Pei-zhen, CHEN Hua, et al. National tea plant excellent variety-Fujian-shuixian [J]. Journal of Tea Business, 2016, 38 (4): 187-190
- [26] 傅永兴.浅谈建阳水仙白品质特征及制作技艺要点[J].福建茶叶,2019,41(10): 9
FU Yong-xing. A brief discussion on the quality characteristics and key points of production techniques of Jianyang Shuixian white [J]. Tea in Fujian, 2019, 41(10): 9
- [27] 杨丰.闽北主要茶树品种的白茶传统工艺适制性研究[J].福建茶叶,2014,36(4): 39-42
YANG Feng. Study on the traditional process suitability of white tea of the main tea varieties in northern Fujian [J]. Tea in Fujian, 2014, 36(4): 39-42

- [28] 周世须,赖丽红,王秀萍.鲜叶原料及造型方法对水仙有机白茶品质的影响探讨[J].福建茶叶,2019,41(3):13-14
ZHOU Shi-xu, LAI Li-hong, WANG Xiu-ping. The influence of fresh leaf raw materials and molding method on the quality of organic shuixian white tea [J]. Tea in Fujian, 2019, 41(3): 13-14
- [29] 叶飞龙,叶素娟.试分析建阳白茶的品质特征与加工工艺[J].福建茶叶,2020,42(8): 37-38
YE Fei-long, YE Su-juan. The quality characteristics and processing technology of Jianyang white tea were analyzed [J]. Tea in Fujian, 2020, 42(8): 37-38
- [30] 黄意欢,叶银芳,包先进.茶学实验技术[M].北京:中国农业出版社,1997: 111-113
HUANG Yi-huan, YE Yin-fang, BAO Xian-jin. Tea Experimental Technology [M]. Beijing: China Agriculture Press, 1997: 111-113
- [31] Guo X, Long P, Meng Q, et al. An emerging strategy for evaluating the grades of Keemun black tea by combinatory liquid chromatography-orbitrap mass spectrometry-based untargeted metabolomics and inhibition effects on α -glucosidase and α -amylase [J]. Food Chemistry, 2018(246): 74-81
- [32] 张正竹.茶叶生物化学实验教程[M].北京:中国农业出版社,2009:30-70
ZHANG Zheng-zhu. Tea biochemistry experiment course [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2009: 30-70
- [33] 宛晓春.茶叶生物化学[M].第3版,北京:中国农业出版社,2003
WAN Xiao-chun. Tea Biochemistry [M]. 3rd edition, Beijing: China Agriculture Press, 2003
- [34] Yang C, Hu Z, Lu M, et al. Application of metabolomics profiling in the analysis of metabolites and taste quality in different subtypes of white tea [J]. Food Research International, 2018, 106: 909-919
- [35] Yue W, Sun W, Shyama PR, et al. Non-targeted metabolomics reveals distinct chemical compositions among different grades of Bai Mudan white tea [J]. Food Chemistry, 2019, 277: 289-297
- [36] 刘谊健,郭玉琼,詹梓金.白茶制作过程主要化学成分转化与品质形成探讨[J].福建茶叶,2003,4: 13-14
LIU Yi-jian, GUO Yu-qiong, ZHAN Zi-jin. Transformation of major chemical compositions in white tea production and its quality analysis [J]. Tea in Fujian, 2003, 4: 13-14
- [37] 游小妹,陈常颂,钟秋生,等.丹桂白茶加工过程主要生化成分的变化[J].福建农林大学学报(自然科学版),2009,38(6): 639-643
YOU Xiao-mei, CHEN Chang-song, ZHONG Qiu-sheng, et al. The dynamics of main biochemical components of white tea Danguai during processing [J]. Journal of Fujian Agriculture and Forestry University (Natural Science Edition), 2009, 38(6): 639-643
- [38] 陈常颂,游小妹,王秀萍,等.优510白茶加工过程主要生化成分变化研究[J].福建农业学报,2012,27(12): 1323-1327
CHEN Chang-song, YOU Xiao-mei, WANG Xiu-ping, et al. Major biochemical changes of You 510 tea leaves during processing [J]. Fujian Journal of Agricultural Sciences, 2012, 27(12): 1323-1327
- [39] Dai W, Xie D, Lu M, et al. Characterization of white tea metabolome: Comparison against green and black tea by a nontargeted metabolomics approach [J]. Food Research International, 2017, 96: 40-45
- [40] Chen Q, 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
- [41] Zhao F, Ye N, Qiu X, et al. Identification and comparison of oligopeptides during withering process of white tea by ultra-high pressure liquid chromatography coupled with quadrupole-orbitrap ultra-high resolution mass spectrometry [J]. Food Research International, 2019, 121: 825-834
- [42] 王力,蔡良绥,林智,等.顶空固相微萃取-气质联用法分析白茶的香气成分[J].茶叶科学,2010,30(2): 115-123
WANG Li, CAI Liang-sui, LIN Zhi, et al. Analysis of aroma compounds in white tea using headspace solid-phase micro-extraction and GC-MS [J]. Journal of Tea Science, 2010, 30(2): 115-123
- [43] Yang Z, Baldermann S, Watanabe. Recent studies of the volatile compounds in tea [J]. Food Research International, 2013,53(2): 585-599
- [44] 钟秋生,陈常颂,张应根,等.SDE-GC/MS分析丹桂品种乌龙茶香气成分[J].福建农业学报,2012,27(5):498-506
ZHONG Qiu-sheng, CHEN Chang-song, ZHANG Ying-yin, et al. Analyses of aromatic compounds in Danguai oolong tea with simultaneous distillation extraction and GC-MS [J]. Fujian Journal of Agricultural Sciences, 2012, 27(5): 498-506

(下转第21页)