

黄 藩,唐晓波,罗 凡,等. LED 光照萎凋对三花 1951 白茶香气的影响[J]. 江苏农业科学,2022,50(4):148–155.
doi:10.15889/j.issn.1002–1302.2022.04.025

LED 光照萎凋对三花 1951 白茶香气的影响

黄 藩,唐晓波,罗 凡,尧 渝,刘东娜,龚雪蛟,李兰英

(四川省农业科学院茶叶研究所,四川成都 610011)

摘要:以茶树品种三花 1951 制作白茶,采用感官审评法、顶空固相微萃取法结合气相色谱-质谱(HS-SPME-GC-MS)联用技术,以及气味活度值(OAV),对比自然萎凋,系统研究发光二极管(LED)红光(630 nm)、黄光(570 nm)、蓝光(430 nm)对白茶香气品质的影响。结果表明,黄光、蓝光、红光萎凋均可显著提高三花 1951 白茶的香气得分,且 3 种光质间差异显著($P < 0.05$),黄光组香气得分最高,蓝光次之。4 个处理的样品中共检测出 69 种香气成分,其中各处理共有成分 56 种,主要是醛类化合物、醇类化合物、酮类化合物以及酯类化合物。黄光组白茶香气类型为花香,香气物质数量和含量均为最高,其芳樟醇及其氧化物、橙花醇、香叶醇、异香叶醇、 β -紫罗酮、水杨酸甲酯、罗勒烯、长叶烯和柠檬烯等的含量高于其他处理。蓝光组和红光组的白茶香气呈现清香,与自然萎凋相比,其香气总量均有提高。共检测到 14 种 OAV > 1 的关键香气物质,其中 β -紫罗酮 OAV 最大,芳樟醇 OAV 次之,故所有茶样均具有清香或花香香气,与感官审评结果一致。综合认为,黄光萎凋对三花 1951 白茶的香气提高最有益。

关键词:三花 1951 白茶;发光二极管(LED);光照萎凋;香气成分;气味活度值

中图分类号:TS272.5⁺9 **文献标志码:**A **文章编号:**1002–1302(2022)04–0148–07

香气是评价白茶品质和市场销售定价的重要指标,白茶具有毫香、清香、嫩香、花香以及陈香等多种风格特征^[1]。萎凋是白茶加工的第一步,随着鲜叶水分的散失,叶片物理特性和生理结构发生改变,呼吸作用以及外在的环境条件促使鲜叶的内在品质发生转化,细胞液浓度和酶活性不断提高,引起一系列的生化反应,为白茶香气、滋味、汤色等品质的形成奠定基础^[2]。萎凋过程中的光照条件,与茶鲜叶内香气成分的生物合成有重要关联,对白茶的香气特征有重要影响^[3]。随着精准农业和智慧农业的快速发展,大量文献报道了针对阴雨天气的补光萎凋技术以及增香降涩的人工光萎凋创新技术的相关研究。因发光二极管(LED)具有波谱控制精准、可选择为中心波长广、节能、环保、寿命长和高光效等优点^[4],LED 光源逐渐应用于茶叶生产加工中。LED 黄橙光萎凋对小叶种红茶、福建乌龙

茶、广东单枞茶及福建白茶的香气品质有改善作用,可增加香气种类,提高橙花叔醇、吲哚、 β -紫罗酮和紫罗兰酮等香气的含量^[5]。LED 蓝光萎凋可以提高铁观音的 α -法呢烯相对质量分数,提高感官审评香气因子得分^[6];LED 红光萎凋能促进金观音红茶的长叶烯、橙花叔醇及其异构体的生成,形成花香的风格特征^[7]。绿光、紫光及紫外线,在红茶^[8]和白茶^[9]萎凋试验中效果不佳。但不同 LED 光质对白茶香气物质的种类、数量、含量以及感觉阈值等的影响,缺乏系统研究。三花 1951 是从四川省蒲江县成佳镇四川中小叶群体茶园中发现的优良单株,通过系统选育而成的茶树品种(审定编号:川茶审 2015001)。其芽叶肥壮,满披白毫,外形性状极为适合加工制作白茶^[10],且发芽早、采摘期长、生长旺盛、抗虫性强,具有良好的推广前景。四川茶区春季阴雨天气较多,难以达到白茶制作需要的日光萎凋条件,LED 光照萎凋技术为三花 1951 的白茶加工提供了思路。本研究通过顶空固相微萃取和气相色谱-质谱联用法,测定不同光质萎凋后的三花 1951 白茶香气组成,同时采用气味活度值(OAV),讨论 LED 光照萎凋对三花 1951 白茶香气品质的影响,以期在三花 1951 茶树品种的白茶机械化生产及智能控制提供理论支持。

收稿日期:2021–05–24

基金项目:四川省科技计划(编号:2020NZJ035);现代农业产业技术体系建设专项资金(编号:No. CARS–19);四川省农业科学院中试熟化项目(编号:CGZH2019FPZC01)。

作者简介:黄 藩(1989–),女,山东德州人,硕士,助理研究员,主要研究茶叶加工与审评。E-mail:474844276@qq.com。

通信作者:罗 凡,博士,研究员,主要从事茶树育种及栽培的研究。E-mail:361114727@qq.com。

1 材料与方法

1.1 试验材料

鲜叶原料:采自乐山市马边县劳动乡的三花 1951 茶鲜叶,无雨水叶,嫩度为标准一芽一叶。鲜叶于 2020 年 5 月 10 日采摘,当日 12:00 进厂付制。

制茶设备:LED 灯管式光源(广州诚汇装备农业科技有限公司),照度计(希玛 AS803),茶叶提香机(6CHX-70,安溪佳友机械有限公司)。

检测仪器:手动固相微萃取(SPME)进样器和 50/30 μm DVB/CAR/PDMS 固相微萃取头(美国 Supelco 公司),7890 A/5975 C 气相色谱-质谱联用分析(GC-MS)仪(美国安捷伦公司)。

1.2 试验方法

利用 LED 光源设置不同波长的单色光质,进行不同光质萎凋的单因素试验。试验分 4 个处理:自然萎凋(对照)、LED 红光(630 nm)萎凋、LED 黄光(570 nm)萎凋、LED 蓝光(430 nm)萎凋。根据当地生产习惯,自然萎凋组鲜叶在采摘当日 18:00、次日 08:00 及 16:00,进行日光萎凋 40 min,其他时间与对照组在相同环境中进行萎凋。当日 18:00、次日 08:00 及 16:00 时的环境温度分别为 $(23 \pm 0.5)^\circ\text{C}$ 、 $(22 \pm 1.0)^\circ\text{C}$ 、 $(26 \pm 0.5)^\circ\text{C}$,相对湿度分别为 $(60 \pm 1)\%$ 、 $(65 \pm 2)\%$ 、 $(52 \pm 1)\%$ 。

不同光质萎凋试验进行 36 h,关闭光源,将 4 个处理的白茶在制品进行并筛(2 个单位面积的在制品合并为 1 个单位面积,摊匀)。4 个处理均置于无光条件下,其他环境条件不变,再萎凋 12 h 后进入烘干工序,将萎凋叶 75°C 烘至足干(含水率 $< 5\%$),即得到贡眉毛茶。

每个处理 3 次重复,每次重复由 4 个 1 m^2 萎凋盘组成,萎凋盘上叶层厚度为 $(2.5 \pm 0.2)\text{ cm}$ 。红、黄、蓝光源位于萎凋叶层上方 20 cm 处,用照度计测定萎凋盘中不同位置的叶片表面光强,光照强度为 $(1\,000 \pm 50)\text{ lx}$ 。萎凋间通风条件良好,用空调和加湿器控制环境条件,温度为 $(28 \pm 2)^\circ\text{C}$,相对湿度为 $(70 \pm 5)\%$ 。

1.3 感官审评方法

根据 GB/T 23776—2018《茶叶感官审评方法》中名优白茶审评法,由 5 名具有评茶资格的评茶员进行密码审评,分别审评香气和滋味,满分各为 100 分。

1.4 香气测定方法

香气测定方法采用顶空固相微萃取法结合气

相色谱-质谱联用技术(HS-SPME-GC-MS)^[11],准确称取 5 g 样品放入 100 mL 顶空瓶中,加入 50 mL 沸水,加入 20 $\mu\text{g/L}$ 内标物(90 mg/L 癸酸乙酯),然后将装有 50/30 μm DVB/CAR/PDM 萃取头的 SPME 手持器通过瓶盖的橡皮垫插入到萃取瓶中,在 60°C 水浴中平衡 10 min,推出纤维头,吸附 50 min 后插入气相色谱仪的进样口中,解吸附 3 min。

气相色谱-质谱联用分析的主要参数。GC 条件:安捷伦 DB-5MS($30\text{ m} \times 0.25\text{ mm} \times 0.25\text{ }\mu\text{m}$)弹性石英毛细管柱。进样口温度为 240°C ,载气为高纯氦气,流速为 1.0 mL/min 。柱温程序: 50°C 保持 5 min,以 3°C/min 升至 180°C 保持 2 min,然后以 10°C/min 升至 250°C 保持 3 min。MS 条件:电子能量为 70 eV,质量扫描范围(质荷比)为 50 ~ 550,离子源温度为 230°C ,四极杆温度为 150°C 。

利用美国国家标准与技术研究院(NIST)谱库对得到的质谱图进行串联检索和人工解析。采用内标法定量,得到各组分的含量。以癸酸乙酯作为内标物,每个香气成分质量浓度按公式(1)计算:

$$C_i = (C_{is} \times A_i) / A_{is} \quad (1)$$

式中: C_i 为成分 i 的质量浓度, $\mu\text{g/L}$; C_{is} 为内标质量浓度, $\mu\text{g/L}$; A_i 为成分 i 的峰面积; A_{is} 为内标峰面积。

OAV 是香气化合物浓度与阈值之比,能确切地评价单一香气组分对整体香气的贡献度。OAV 按公式(2)计算:

$$OAV_i = C_i / T_i \quad (2)$$

式中: C_i 为成分 i 的质量浓度, $\mu\text{g/L}$; T_i 为成分 i 的气味阈值, $\mu\text{g/L}$ 。

1.5 数据处理

采用 Excel 及 SPSS 19.0 统计软件进行数据处理。

2 结果与分析

2.1 光照对感官审评结果的影响

对不同光质萎凋后的白茶样品进行感官审评,香气和滋味因子的审评结果见表 1。相比自然萎凋,黄光、蓝光、红光萎凋均可以显著提高三花 1951 白茶的香气得分($P < 0.05$),且 3 种光质间差异显著($P < 0.05$),黄光组香气最优,蓝光次之。黄光组白茶香气类型是花香,且香气的持久度最好,其他处理主要呈现清香。

表 1 不同光质萎凋对三花 1951 感官品质的影响

处理	香气	
	评语	得分(分)
自然萎凋	清香略带毫香,欠持久	87.5±0.5d
蓝光萎凋	清香带花香,较持久	91.3±1.1b
黄光萎凋	花香显,香气馥郁,持久度好	93.8±0.7a
红光萎凋	清香带甜香,较持久	89.8±0.7c

注:同列数据后不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。

2.2 光照对香气成分的影响

4 个处理的样品中共检测出 69 种香气成分,包括醛类 22 种、醇类 16 种、酮类 8 种、烯炔类 6 种、萜类 3 种、烷烃 1 种、酯类 8 种、含硫化合物 1 种,其中各处理共有成分 56 种。黄光萎凋白茶样品的香气成分数量最多(67 种),蓝光组次之(63 种),而红光组的香气成分数量(57 种)少于自然萎凋组(61

种)。黄光组白茶的香气数量多,提高了感官审评中香气的丰富度,在表 1 中评语描述为“馥郁”。4 个处理检测出的醛类化合物、醇类化合物、酮类化合物以及酯类化合物是主要的香气类型,其数量见图 1,占香气总量的比例见表 2。对各类香气物质进行对比发现,4 个处理白茶样品均为醇类化合物的占比最高(60.098%~61.692%),醛类化合物次之(15.840%~18.863%),含硫化合物最低(0.229%~0.358%)。对不同光质萎凋的白茶样品进行对比发现,蓝光组的烯炔类、杂氧类和萜类化合物的相对含量高于其他处理,黄光组的酮类化合物的相对含量高于其他处理,红光组的醇类和酯类化合物的相对含量高于其他处理,而 3 种光质组的醛类和含硫化合物的相对含量低于自然萎凋组。

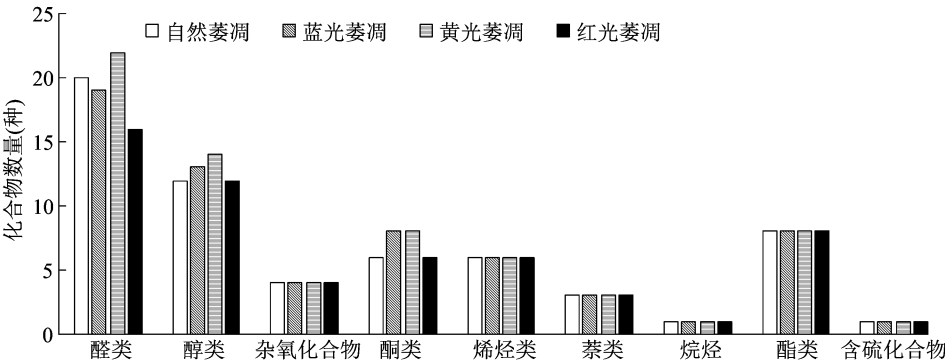


图 1 不同处理下三花 1951 白茶各类型香气化合物的数量

表 2 不同处理下三花 1951 白茶香气化合物类型及占比

指标	自然萎凋		蓝光萎凋		黄光萎凋		红光萎凋	
	含量(μg/L)	占比(%)	含量(μg/L)	占比(%)	含量(μg/L)	占比(%)	含量(μg/L)	占比(%)
醛类	90.486	18.863	89.475	17.254	88.203	16.578	77.617	15.840
醇类	288.297	60.098	314.224	60.595	323.741	60.848	302.292	61.692
杂氧类	4.980	1.038	5.800	1.118	5.538	1.041	4.935	1.007
酮类	38.868	8.102	42.588	8.213	47.232	8.877	40.514	8.268
烯炔类	18.153	3.784	21.704	4.185	20.329	3.821	17.372	3.545
萜类	7.998	1.667	9.633	1.858	8.263	1.553	7.712	1.574
烷烃	4.653	0.970	4.259	0.821	3.611	0.679	5.193	1.060
酯类	24.559	5.120	29.337	5.657	33.916	6.375	33.016	6.738
含硫化合物	1.718	0.358	1.548	0.299	1.218	0.229	1.353	0.276
总量	479.712	100.000	518.568	100.000	532.051	100.000	490.004	100.000

在香气成分差异上,各处理的茶样均检测到不同于对照组的香气成分。由表 3 可知,相比自然萎凋的白茶样品,黄光组新增了 1-戊烯-3-醇、戊醛、2,6,6-三甲基环己烷酮、3-壬烯-2-酮、α-萜品醇、反,反-2,4-壬二烯醛、异香叶醇共 7 种香

气成分,缺少 3,6-亚壬基-1-醇。其中,1-戊烯-3-醇、戊醛、反,反-2,4-壬二烯醛为黄光特有物质。蓝光组新增了 2,6,6-三甲基环己烷酮、3-壬烯-2-酮、α-萜品醇、异香叶醇共 4 种香气成分,缺少 2-辛烯-1-醛和 3,6-亚壬基-1-

醇。红光萎凋新增了庚醇,缺少正丁醛、反-2-戊烯醛、2-辛烯-1-醛、藏红花醛、橙花醇共 5 种香气成分。

白茶样品的香气成分在总量上,相比自然萎凋(479.712 μg/L),蓝光、黄光 and 红光萎凋均有提高,其中黄光组最高(532.051 μg/L),所以表 1 中黄光组的香气描述为“持久度好”。芳樟醇及其氧化物具有铃兰和百合花香,是白茶的重要特征香气之一,芳樟醇在各处理中均为含量最高的香气成分,且黄光组[(162.362 ± 8.097) μg/L]最高,自然萎凋组最低[(140.318 ± 7.502) μg/L],但是以上 2 组白茶中,芳樟醇占香气总量的比例分别为 30.516%、29.250%,在相对含量上差别不大。具有玫瑰花香的香叶醇,在各处理中均为含量第二的香气成分,黄光组含量最高[(63.549 ± 5.257) μg/L],自然萎凋组含量最低[(50.200 ± 4.210) μg/L],占香气总量的比例分别为 11.944%、10.465%。黄光组的顺-氧化芳樟醇、反-氧化芳樟醇、橙花醇和异香叶醇等醇类的含量也高于其他处理。蓝光组的苯乙醇、α-萜品醇、反-橙花叔醇、α-雪松醇的含

量高于其他处理。庚醇仅在红光组检出,且橙花醇在红光组未检出。

β-紫罗酮具有木香、果香、花香,与自然萎凋组[(24.090 ± 1.418) μg/L]相比,3 种光质萎凋组均提高了其含量,从高到低为黄光组、红光组、蓝光组,而 3 种光质组均降低了反-香叶基丙酮的含量。水杨酸甲酯具有冬青油草药香气,且是酯类中含量最高的组分,占酯类总量的 60% 以上,4 个处理的白茶中水杨酸甲酯含量从高到低依次为黄光、红光、蓝光、自然萎凋。而 3 种光质均降低了二氢猕猴桃内酯和肉豆蔻酸异丙酯的含量。具有甜香的罗勒烯、具有木香的长叶烯和具有柠檬香的柠檬烯,均以黄光组含量最高。2-乙基呋喃、2,6-二叔丁基苯醌、丁香酚等杂氧类化合物含量,以及萘、1-甲基萘、2-甲基萘的含量,均以蓝光组最高。二甲硫与茶叶的清香味有关,自然萎凋组其含量及占香气总量的比例均高于 3 种光质处理。直链烷烃类成分对茶叶香气贡献较少,含量也相对较少,但对茶叶香气的呈现不可缺少,在 4 个处理的白茶中均有检出,红光组含量最高,黄光组含量最低。

表 3 不同处理下三花 1951 白茶的香气成分

保留时间 (min)	成分	含量(μg/L)			
		自然萎凋	蓝光萎凋	黄光萎凋	红光萎凋
1.863	二甲硫	1.718 ± 0.185	1.548 ± 0.323	1.218 ± 0.266	1.353 ± 0.338
1.974	正丁醛	0.855 ± 0.132	0.648 ± 0.025	0.518 ± 0.045	nd
2.519	3-甲基丁醛	1.290 ± 0.300	1.034 ± 0.253	0.680 ± 0.131	0.703 ± 0.181
2.603	2-甲基丁醛	3.133 ± 0.334	2.273 ± 0.083	1.142 ± 0.108	1.105 ± 0.237
2.808	1-戊烯-3-醇	nd	nd	0.390 ± 0.035	nd
2.969	戊醛	nd	nd	0.318 ± 0.057	nd
2.982	2-乙基呋喃	0.465 ± 0.102	0.617 ± 0.053	0.366 ± 0.049	0.414 ± 0.105
3.910	反-2-戊烯醛	0.431 ± 0.061	0.465 ± 0.042	0.242 ± 0.031	nd
4.914	己醛	6.918 ± 0.912	7.060 ± 0.731	7.347 ± 0.743	6.521 ± 0.434
6.733	反-2-己烯醛	7.064 ± 0.546	6.661 ± 0.614	6.877 ± 0.653	6.605 ± 0.507
6.851	3-己烯-1-醇	3.841 ± 0.828	3.597 ± 0.159	4.839 ± 0.145	3.949 ± 0.768
7.369	己醇	1.764 ± 0.328	1.529 ± 0.207	2.096 ± 0.175	2.189 ± 0.145
8.193	苯乙烯	0.795 ± 0.067	0.853 ± 0.016	0.801 ± 0.097	0.698 ± 0.098
8.265	2-庚酮	0.824 ± 0.172	0.759 ± 0.151	0.838 ± 0.141	0.844 ± 0.061
8.698	庚醛	0.794 ± 0.171	0.633 ± 0.081	0.722 ± 0.104	0.654 ± 0.082
11.278	反-2-庚烯醛	0.376 ± 0.074	0.382 ± 0.126	0.326 ± 0.057	0.285 ± 0.052
11.950	庚醇	nd	nd	nd	0.574 ± 0.099
11.352	苯甲醛	18.486 ± 1.209	18.037 ± 0.473	18.117 ± 1.377	18.100 ± 1.163
12.387	1-辛烯-3-醇	1.321 ± 0.145	1.554 ± 0.201	1.449 ± 0.081	1.266 ± 0.171
12.645	2-甲基-3-辛酮	0.544 ± 0.061	0.576 ± 0.077	0.575 ± 0.022	0.725 ± 0.045
12.772	6-甲基-5-庚烯-2-酮	1.945 ± 0.218	1.973 ± 0.080	2.122 ± 0.093	1.866 ± 0.187
13.424	反-2-(2-戊烯基)呋喃	1.770 ± 0.199	1.770 ± 0.297	2.030 ± 0.115	1.566 ± 0.244

表 3(续)

保留时间 (min)	成分	含量(μg/L)			
		自然萎凋	蓝光萎凋	黄光萎凋	红光萎凋
13.870	反,反-2,4-庚二烯醛	5.991 ± 0.679	6.547 ± 0.708	6.692 ± 0.429	4.546 ± 0.076
14.697	柠檬烯	2.485 ± 0.219	2.525 ± 0.385	3.280 ± 0.529	2.624 ± 0.338
15.000	2,6,6-三甲基环己烷酮	nd	1.781 ± 0.422	2.144 ± 0.409	nd
15.470	苯乙醛	10.435 ± 1.108	8.552 ± 0.962	7.976 ± 0.550	6.879 ± 0.932
15.773	罗勒烯	2.608 ± 0.275	3.059 ± 0.465	3.537 ± 0.628	2.520 ± 0.478
16.240	2-辛烯-1-醛	2.444 ± 0.113	nd	2.921 ± 0.256	nd
16.926	顺-氧化芳樟醇	19.171 ± 1.854	21.705 ± 1.388	21.716 ± 0.262	19.617 ± 1.426
17.749	反-氧化芳樟醇	11.473 ± 1.636	11.159 ± 1.567	12.183 ± 0.641	10.961 ± 1.428
18.559	芳樟醇	140.318 ± 7.502	149.832 ± 11.946	162.362 ± 8.097	160.699 ± 19.827
18.642	壬醛	8.096 ± 1.112	6.519 ± 1.103	7.061 ± 0.570	9.628 ± 1.330
19.049	苯乙醇	42.626 ± 5.732	46.663 ± 3.906	36.797 ± 5.179	39.460 ± 4.111
20.300	3-壬烯-2-酮	nd	0.914 ± 0.141	1.112 ± 0.077	nd
20.982	3,6-亚壬基-1-醇	2.367 ± 0.257	nd	nd	1.283 ± 0.312
21.129	反-2-壬烯醛	1.713 ± 0.169	5.765 ± 7.453	1.557 ± 0.183	1.545 ± 0.182
22.123	萘	3.991 ± 0.485	4.740 ± 0.232	4.476 ± 0.598	4.005 ± 0.221
22.700	α-萜品醇	nd	1.542 ± 0.212	1.518 ± 0.097	nd
22.814	水杨酸甲酯	15.297 ± 1.857	19.753 ± 2.798	24.514 ± 1.277	23.858 ± 1.801
23.064	藏红花醛	1.281 ± 0.214	1.358 ± 0.311	1.345 ± 0.275	nd
23.419	癸醛	2.298 ± 0.076	2.660 ± 0.244	2.625 ± 0.310	2.371 ± 0.306
23.778	反,反-2,4-壬二烯醛	nd	nd	1.447 ± 0.179	nd
24.042	β-环柠檬醛	6.037 ± 0.177	6.252 ± 0.483	6.063 ± 0.488	5.344 ± 0.484
24.332	壬酸甲酯	0.382 ± 0.039	0.476 ± 0.069	0.497 ± 0.103	0.635 ± 0.103
24.457	橙花醇	3.097 ± 0.503	3.204 ± 0.485	3.531 ± 0.420	nd
24.700	异香叶醇	nd	1.373 ± 0.113	1.469 ± 0.178	nd
25.043	顺-柠檬醛	3.736 ± 0.357	3.327 ± 0.875	3.010 ± 0.204	2.988 ± 0.252
25.811	香叶醇	50.200 ± 4.210	57.977 ± 5.830	63.549 ± 5.257	52.791 ± 6.961
26.420	3,7-二甲基-2,6-二辛烯醛	5.873 ± 0.424	7.043 ± 0.637	7.693 ± 0.528	6.023 ± 0.933
27.217	1-甲基萘	2.222 ± 0.218	2.861 ± 0.145	2.310 ± 0.563	2.245 ± 0.244
27.955	2-甲基萘	1.785 ± 0.021	2.032 ± 0.201	1.477 ± 0.169	1.463 ± 0.281
28.790	香叶酸甲酯	2.603 ± 0.394	2.962 ± 0.545	3.119 ± 0.435	2.630 ± 0.527
29.839	α-葑烯茄油烯	1.274 ± 0.161	1.830 ± 0.343	1.436 ± 0.266	1.476 ± 0.525
30.187	丁香酚	0.766 ± 0.119	1.118 ± 0.066	1.047 ± 0.285	0.947 ± 0.330
30.410	4-壬内酯	1.681 ± 0.218	1.434 ± 0.263	1.468 ± 0.218	1.570 ± 0.360
30.870	2-丁基-2-辛烯醛	4.091 ± 0.353	4.906 ± 0.146	4.041 ± 0.485	4.322 ± 0.570
32.158	长叶烯	3.380 ± 0.557	4.004 ± 0.375	4.428 ± 0.804	3.777 ± 0.911
33.163	α-紫罗酮	4.285 ± 0.288	4.550 ± 0.356	4.425 ± 0.953	4.308 ± 0.405
34.215	反-香叶基丙酮	7.179 ± 0.360	6.989 ± 0.539	6.282 ± 0.590	5.904 ± 0.674
34.727	2,6-二叔丁基苯醌	1.980 ± 0.225	2.295 ± 0.246	2.095 ± 0.724	2.008 ± 0.063
35.573	β-紫罗酮	24.090 ± 1.418	25.044 ± 1.138	29.734 ± 3.502	26.867 ± 1.219
36.100	十五烷	4.653 ± 0.221	4.259 ± 0.556	3.611 ± 1.240	5.193 ± 1.014
37.090	δ-杜松烯	7.610 ± 0.782	9.432 ± 0.639	6.848 ± 1.458	6.278 ± 0.296
37.167	二氢猕猴桃内酯	2.882 ± 0.095	2.647 ± 0.176	2.856 ± 0.794	2.734 ± 0.211
38.578	反-橙花叔醇	3.585 ± 0.115	4.114 ± 0.655	3.399 ± 0.656	3.930 ± 0.081
39.946	α-雪松醇	8.534 ± 0.726	9.976 ± 0.634	8.443 ± 0.642	5.572 ± 0.176

表 3(续)

保留时间 (min)	成分	含量(μg/L)			
		自然萎凋	蓝光萎凋	黄光萎凋	红光萎凋
47.998	肉豆蔻酸异丙酯	1.044 ± 0.127	0.908 ± 0.042	0.580 ± 0.151	0.852 ± 0.101
51.489	十六酸甲酯	0.440 ± 0.112	0.823 ± 0.087	0.659 ± 0.205	0.474 ± 0.056
53.072	棕榈酸乙酯	0.230 ± 0.043	0.332 ± 0.129	0.223 ± 0.036	0.264 ± 0.033
总量		479.712	518.568	532.051	490.004

注:nd 表示未检测到。

2.3 光照对香气化合物 OAV 的影响

香气化合物的气味阈值对茶叶呈香有重要影响,OAV 是综合考虑香气化合物的含量和气味阈值,避免仅以香气物质含量反映其对香气贡献大小的误区,是评价各化合物对样品风味贡献重要性的方法^[12]。OAV > 1,说明这种成分对茶叶香气有贡献;OAV > 10,则可能对茶叶香气类型有显著影响^[13]。本研究参照相关文献^[14]中部分化合物在水中的阈值计算出各化合物的 OAV,从表 4 可以看出,在所有茶样中共检测到 14 种 OAV > 1 的关键香

气物质,主要以花香、果香和清香为主。其中β-紫罗酮 OAV 在 4 个处理的白茶中均为最大(3 441.444 ~ 4 247.728),虽然含量比芳樟醇等物质少,但阈值极低,有可能是白茶呈香的特征物质。4 个处理中白茶的癸醛、芳樟醇和α-紫罗酮的 OAV 均大于 10。LED 黄光萎凋的β-紫罗酮和芳樟醇的 OAV 高于其他处理,增加了其香气中的花香和甜香,具有果香味的反,反-2,4-壬二烯醛仅在黄光组检出,且 OAV > 10。蓝光组的反-2-壬烯醛和萘的 OAV 均大于 10,且高于其他处理。

表 4 不同处理下三花 1951 白茶主要香气化合物的 OAV

香气化合物	气味描述	气味阈值 (μg/L)	OAV			
			自然萎凋	蓝光萎凋	黄光萎凋	红光萎凋
二甲硫	清香	1.1	1.561	1.408	1.107	1.230
3-甲基丁醛	青草味	0.5	2.580	2.068	1.359	1.405
2-甲基丁醛	青草味	1.0	3.133	2.273	1.142	1.105
芳樟醇	铃兰和百合花香	6	23.386	24.972	27.060	26.783
壬醛	青草味,脂肪味	1.0	8.096	6.519	7.061	9.628
癸醛	香蕉味,油脂味	0.1	22.976	26.600	26.254	23.709
反-2-壬烯醛	黄瓜味	0.4	4.281	14.413	3.894	3.862
反,反-2,4-壬二烯醛	果香味	0.062	0.000	0.000	23.339	0.000
β-环柠檬醛	柠檬味	5.0	1.207	1.250	1.213	1.069
苯乙醛	玫瑰味	4.0	2.608	2.138	1.994	1.720
香叶醇	玫瑰花香	40.0	1.255	1.449	1.589	1.320
β-紫罗酮	紫罗兰,甜果香	0.007	3 441.444	3 577.713	4 247.728	3 838.162
α-紫罗酮	紫罗兰,甜果香	0.4	10.713	11.375	11.061	10.770
萘	樟脑味	0.44	9.071	10.773	10.173	9.102

3 讨论

由香气检测和感官审评可知,采用 LED 黄光、蓝光和红光萎凋,对比自然萎凋,均可以提高三花 1951 白茶的香气品质得分,且黄光和蓝光效果较优。同时,黄光萎凋使香气物质总含量增加 10.91%,蓝光萎凋增加 8.10%,红光萎凋增加 2.15%。有文献报导,对比完全遮光萎凋,蓝光萎凋可以使福建白茶的香气物质总量增加 47.10%,黄

光萎凋增加 19.36%,红光萎凋增加 16.13%^[15]。本研究中光照萎凋的香气提升效果略差于上述报道,可能是自然萎凋中有日光晒青的处理,较完全遮光萎凋,日光晒青可以一定程度提高茶叶香气品质^[5]。因此本研究选用自然萎凋作为对照组,更能真实反映 LED 光照萎凋在生产实践上的工艺效果,证明黄光萎凋技术优于传统白茶制作工艺。

本研究中黄光组的香气成分数量最多,尤其是增加了醇类和醛类的成分数量,有利于提高感官品

质的香气丰富度,且香气的总含量较其他光质有所增加,提高了感官品质的香气持久度,此结果与黄光萎凋对福建铁观音^[6]、广东乌龙茶^[16]和湖北红茶^[17]的影响效果一致。同时,本研究中蓝光萎凋可以一定程度提高香气含量,改善茶叶的感官品质,与文献报道的研究结果^[6,15]一致。可能是黄光和蓝光萎凋对茶叶香气的提升作用,与相关酶活性变化有关。项丽慧发现黄光萎凋中鲜叶的 β -葡萄糖苷酶基因(*CsBG1*、*CsBG2*)、 β -樱草糖苷酶基因(*CsBP*)的相对表达量上调^[18],在萎凋后期调控 β -葡萄糖苷酶活性提高,有助于后续工艺中茶叶香气品质的形成。在香气品质作为主要特征指标的奇楠沉香(*Aquilaria crassna* Pierre.)上发现,黄光处理的组培苗的过氧化物酶活性最高,推测黄光也可能通过对茶鲜叶过氧化物酶的作用进而影响香气物质的形成^[19]。而蓝光也通过提高磷酸烯醇式丙酮酸(PEP)羧化酶和过氧化氢酶(CAT)的活性,进而提高果蔬的胡萝卜素、蛋白质、氨基酸^[20]、可滴定酸、抗坏血酸的含量^[21],以及原儿茶酸、绿原酸、芦丁、对羟基苯甲酸、阿魏酸、没食子酸、咖啡酸等酚类物质含量^[22],为白茶香气最终形成打下物质基础。在光质对植物生理影响的研究中发现,纯蓝光下生长的番茄叶片在光合诱导期间的瞬时非光化学淬灭系数比其他处理高 15%,说明在动态蓝光照下的鲜叶光破坏防御能力增强^[23],这为研究蓝光萎凋对茶鲜叶生理机制的影响提供了参考。

比较不同 LED 光质萎凋白茶香气物质的 OAV,发现共 14 种关键香气物质的 OAV > 1, β -紫罗酮、芳樟醇、癸醛、 α -紫罗酮、壬醛及萘对白茶香气贡献较大。本研究中 OAV 最高的 β -紫罗酮是胡萝卜素派生类化合物,具有紫罗兰香,它的气味感知阈值不高,对茶叶香气品质贡献明显^[24-25]。LED 光照处理白茶的 β -紫罗酮绝对含量均比自然萎凋组高,说明光照促进了 β -紫罗酮的上游来源物质 β -胡萝卜素的分解,而黄光促进作用最强烈。蓝光萎凋白茶的香气中,油脂味的癸醛^[26]、黄瓜味的反-2-壬烯醛^[27]、柠檬味的 β -环柠檬醛、花香味的 α -紫罗酮和樟脑味的萘^[28] OAV 大于其他处理,以上物质主要呈现花果香,而呈现青香味的二甲硫、3-甲基丁醛、2-甲基丁醛、壬醛的 OAV 小于自然萎凋,所以蓝光萎凋可以一定程度上减少新制白茶的青气。结合香气阈值,研究香气特征及对其贡献的化合物,对于探索 LED 光照萎凋下白茶的呈

香机制,客观预测产品风格及特色有重要意义。

4 结论

本研究发现采用 LED 红光(630 nm)、LED 黄光(570 nm)、LED 蓝光(430 nm)萎凋照射,对三花 1951 白茶的香气品质有明显的提升作用,样品的香气得分表现为黄光萎凋 > 蓝光萎凋 > 红光萎凋 > 对照,且各处理的得分差异显著($P < 0.05$)。黄光组白茶香气类型为花香,香气化合物数量和含量均为最高,其芳樟醇及其氧化物、橙花醇、香叶醇、异香叶醇、 β -紫罗酮、水杨酸甲酯、罗勒烯、长叶烯和柠檬烯等的含量高于其他处理,即黄光萎凋对三花 1951 白茶的香气提高最有益。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] 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,2013:15-16.
- [3] 陈宗懋,杨亚军. 中国茶经[M]. 修订版. 上海:上海文化出版社,2011:565-573.
- [4] 王婷婷,俞少娟,李鑫磊,等. LED 光源对植物生理生化及品质影响研究进展[J]. 北方园艺,2016(2):189-193.
- [5] 黄藩,刘飞,唐晓波,等. 光照对茶叶萎凋的影响研究进展[J]. 茶叶通讯,2019,46(4):402-408.
- [6] 陈寿松,金心怡,林宏政,等. 乌龙茶 LED 补光萎凋品质特性研究[J]. 农业机械学报,2016,47(7):282-289.
- [7] 孟慧,王登良,罗晶晶,等. 不同光质萎凋对金观音红茶香气组分的影响[J]. 食品安全质量检测学报,2019,10(13):4234-4241.
- [8] 张贝贝,艾仄宜,曲凤凤,等. 黄光萎凋对红茶品质的影响[J]. 华中农业大学学报,2016,35(2):108-114.
- [9] 罗玲娜,林永胜,周子维,等. 不同 LED 光质萎凋对白茶品质的影响[J]. 福建农林大学学报(自然科学版),2016,45(3):262-268.
- [10] 罗凡,王云,廖长力,等. 优质高产型多茶类兼制新品种三花 1951 的选育研究[J]. 湖北农业科学,2018,57(20):113-117.
- [11] 刘盼盼,郑鹏程,龚自明,等. 青砖茶的香气成分分析[J]. 食品科学,2017,38(8):164-170.
- [12] 马林龙,刘艳丽,曹丹,等. 湖北优良茶树品系绿茶香气成分分析[J]. 食品科学,2019,40(10):251-256.
- [13] Zhu L, Wang X L, Song X B, et al. Evolution of the key odorants and aroma profiles in traditional Laowuzeng baijiu during its one-year ageing[J]. Food Chemistry,2020,310:125898.
- [14] 孙圳,韩东,张春晖,等. 定量卤制鸡肉挥发性风味物质剖面分析[J]. 中国农业科学,2016,49(15):3030-3045.
- [15] 罗玲娜. 白茶连续化生产线及 LED 光质萎凋工艺与品质的研究[D]. 福州:福建农林大学,2015:20-21.
- [16] 覃玉,熊忠平,厉进山,等. 黄橙光晒青对岭头单丛茶香气成分的影响[J]. 食品科学,2012,33(8):137-141.

曲红盼,郝 晴,韩雅蕾,等. 甘草毛状根总黄酮提取条件优化及 3 种甘草毛状根提取液成分和活性比较[J]. 江苏农业科学,2022,50(4):155-162.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2022.04.026

甘草毛状根总黄酮提取条件优化 及 3 种甘草毛状根提取液成分和活性比较

曲红盼¹,郝 晴¹,韩雅蕾²,刘 蕾¹,成志伟¹

(1. 北京工商大学化学与材料工程学院/北京市植物资源研究开发重点实验室,北京 100048;2. 航天中心医院,北京 100049)

摘要:以乌拉尔甘草毛状根为材料、总黄酮含量为指标,采用超声法提取,分别以提取溶剂、料液比、超声温度、超声时间为单因素,确定影响提取率的因素与水平,通过正交法优化,确定提取工艺的最佳条件。采用比色法测定比较 3 种甘草毛状根中总黄酮的含量,通过高效液相色谱法分析比较 3 种甘草毛状根中甘草苷、异甘草苷和光甘草定的含量。通过红细胞溶血和鸡胚绒毛尿囊膜试验、DPPH 自由基与 ABTS 自由基清除试验和酪氨酸酶酶活抑制试验,分别比较 3 种甘草(乌拉尔甘草、光果甘草和胀果甘草)毛状根提取液的刺激性、体外抗氧化和抑制酪氨酸酶酶活的能力。结果表明,在溶剂为 75% 丙二醇、料液比 1 g : 15 mL、超声温度 50 ℃、超声时间 40 min 条件下,乌拉尔甘草毛状根总黄酮提取率最高,为 1.25%。在 3 种甘草毛状根中,乌拉尔甘草毛状根中异甘草苷的含量最高,光果甘草毛状根中总黄酮、甘草苷和光甘草定的含量均最高;3 种甘草毛状根提取液(浓度 ≤ 625 mg/L)对红细胞及鸡胚绒毛尿囊膜均无刺激性;3 种甘草毛状根提取液清除 DPPH 自由基的半抑制浓度(IC₅₀)依次为 1 100、570、540 mg/L,清除 ABTS 自由基的 IC₅₀ 依次为 740、230、590 mg/L;3 种甘草毛状根提取液(浓度为 625 mg/L)对酪氨酸酶活性抑制率依次为(49.5 ± 2.3)%、(76.6 ± 3.5)%、(17.95 ± 4.5)%。在 3 种甘草毛状根中提取液光果甘草的抗氧化及美白护肤活性最好。

关键词:甘草;毛状根;总黄酮;刺激性;抗氧化;酪氨酸酶

中图分类号:R284 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2022)04-0155-08

甘草是豆科甘草属多年生草本植物,收录于 2020 年版《中国药典》(简称《药典》)的有 3 个品

收稿日期:2021-10-07

基金项目:北京市教育委员会科技面上项目(编号:SQKM201710011010)。

作者简介:曲红盼(1994—),女,河北武邑人,硕士研究生,主要从事甘草中次生代谢物的合成机制研究。E-mail:13146918700@163.com。

通信作者:成志伟,博士,副教授,主要从事植物次生代谢物的合成机制研究。E-mail:chengzhiwei@bttu.edu.cn。

种:乌拉尔甘草、光果甘草和胀果甘草^[1]。甘草中的活性成分主要有黄酮类、三萜类及多酚类等化合物^[2],它们被广泛应用在工业产品中。在医药领域,甘草苷具有抗抑郁和降血糖等作用^[3],异甘草苷具有促进血管生成的作用^[4],光甘草定具有抗肿瘤转移的作用^[5]等;在烟草行业中,甘草根提取液可改善烟草的吸味与口感^[6-7];在日化领域,甘草提取液及其化合物(光甘草定、甘草酸二钾和甘草亭

[17]张贝贝. 不同光质萎凋对红茶品质的影响[D]. 武汉:华中农业大学,2013:14-15.

[18]项丽慧,林馥茗,孙威江,等. LED 黄光对工夫红茶萎凋过程香气相关酶基因表达及活性影响[J]. 茶叶科学,2015,35(6):559-566.

[19]李湘阳,曾炳山. 奇楠沉香组培苗在不同光质下的增殖效率及光保护反应[J]. 分子植物育种,2021,19(1):291-298.

[20]杨有新,王 峰,蔡加星,等. 光质和光敏色素在植物逆境响应中的作用研究进展[J]. 园艺学报,2014,41(9):1861-1872.

[21]刘 怡. 不同光质对草莓生理特性及果实品质的影响[D]. 雅安:四川农业大学,2019:11-12.

[22]梁文静. LED 光质对西兰花芽苗菜生长及代谢的影响[D]. 南昌:南昌大学,2020:7-8.

[23]张玉琪. 番茄幼苗动态光合特性及其对设施环境因子的响应研

究[D]. 北京:中国农业科学院,2020:17-18.

[24]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.

[25]马士成,王梦琪,刘春梅,等. 六堡茶挥发性成分中关键香气成分分析[J]. 食品科学,2020,41(20):191-197.

[26]刘登勇,周光宏,徐幸莲. 确定食品关键风味化合物的一种新方法:“ROAV”法[J]. 食品科学,2008,29(7):370-374.

[27]宋焕禄,杨成对. 固始鸡/A-A 鸡鸡汤中香味物质的比较[J]. 精细化工,2001,18(12):691-692,698.

[28]Yang C, Luo L P, Zhang H J, et al. Common aroma-active components of propolis from 23 regions of China[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2010, 90(7):1268-1282.