

复合光源萎凋对信阳红茶品质的影响

马敬宜, 姚衡斌, 周琼琼, 赵仁亮*
(河南农业大学 园艺学院 郑州 450002)

摘要 为了提高信阳红茶的品质,在信阳红茶萎凋工序中加入复合光源(红光、远红光、黄橙光),研究复合光源萎凋对信阳红茶主要生化成分及挥发性成分的影响。结果表明:复合光源萎凋对信阳红茶代谢产物的变化影响显著,其中茶多酚的含量降低了 0.31%,儿茶素的含量降低了 0.06%,总黄酮的含量降低了 0.20%,咖啡碱的含量降低了 0.31%,2-甲氧基咪唑的含量降低了 0.13%,2,5-二甲基吡嗪的含量降低了 0.13%,另外茶黄素的含量增加了 0.02%,氨基酸的含量增加了 0.23%,可溶性糖的含量增加了 0.78%,芳樟醇的含量增加了 0.44%,香叶醇的含量增加了 1.77%,苯乙醛的含量增加了 2.00%,苯甲醛的含量增加了 0.21%,有效降低信阳红茶的苦涩味强度和焙火味,增加鲜甜味强度和花果香。结论:在萎凋工序中添加复合光源可改善信阳红茶的滋味和香气,有效提升信阳红茶的品质。

关键词 信阳红茶;复合光源萎凋;生化成分;香气

文章编号 1009-7848(2023)09-0192-10 DOI: 10.16429/j.1009-7848.2023.09.020

红茶因独特的口感和香气成为世界上消费最多的饮料之一^[1]。红茶具有抗氧化、降血糖、抗炎等保健功效,其健康功能归因于儿茶素、茶黄素、茶红素和黄酮苷类物质^[2]。香气是红茶最重要的品质指标之一,醇类、醛类、酯类等,芳樟醇、 α -法尼烯、水杨酸甲酯等是红茶关键香气物质^[3]。红茶的加工流程为萎凋、揉捻、发酵、干燥。其中,萎凋是红茶加工的首道工序,是红茶香气和滋味形成的基础^[4]。

随着智慧农业的发展,人工光照技术已广泛应用于茶叶的萎凋工序中,在乌龙茶、白茶、红茶、绿茶的加工中均有应用,光可以影响植物中代谢物的含量,新鲜茶叶在离体状态下仍能接收光信号,从而改变体内香气成分和滋味物质的含量,在萎凋过程中加入光照,可极大地提高茶叶的香气品质和滋味品质^[4-5]。Ai 等^[6]探讨不同光源对红茶品质的影响,结果表明:黄光、橙光、红光处理的红茶的茶黄素、氨基酸和香气成分含量最高,显著改善了红茶的香气和口感。黄藩等^[7]采用蓝光、白光、黄光和红光萎凋制作白牡丹,发现红光显著提高白牡丹茶的氨基酸和可溶性糖的含量、降低咖啡

碱的含量,黄光萎凋增加了白牡丹茶 10 种香气物质的数量,提升了茶叶的香气品质。赵飞等^[8]研究发现,经远红外辐射萎凋的红茶 POD 和 PPO 的酶活性提升,氨基酸、茶黄素、茶红素含量提高,茶多酚含量下降。黄光萎凋可使萎凋叶中 β -葡萄糖苷酶基因和 β -樱草糖苷酶基因表达量提高,促进了红茶花香和甜香物质的形成^[9]。经 LED 红光和蓝光处理的茶叶可使萜烯合酶和苯乙醇相关基因上调表达,显著增强芳樟醇、香叶醇、苯乙醇和其它挥发物的含量^[10]。

河南茶叶的主产区在信阳,夏、秋茶的利用及产品开发是信阳地区各级政府制定的发展规划。由夏、秋两季信阳茶鲜叶制得的茶叶苦涩味高,口感欠佳,品质低下,不易被人们接受。提高夏、秋季信阳红茶风味对促进其发展具有重要意义。前人研究多集中于单色光对茶叶萎凋的影响,而复合光源对茶叶萎凋的影响鲜有报道,且关于灯光萎凋技术对信阳红茶品质的影响尚未见报道。鉴于此,本文采用顶空固相微萃取(Headspace-solid phase micro-extraction,HS-SPME)联合气相色谱-串联质谱法(Gas chromatography-mass spectrometry,GC-MS)系统分析复合光源(红光、远红光、黄橙光)对信阳红茶挥发性成分的影响,研究复合光源对信阳红茶生化成分含量的影响,为后续红茶加工工艺优化及品质提升提供科学依据。

收稿日期:2022-09-06

基金项目:河南省高等学校重点科研项目(21A210020);
河南省科技攻关项目(222102110365)

第一作者:马敬宜,女,硕士生

通信作者:赵仁亮 E-mail: zrenliang@henau.edu.cn

1 材料与方法

1.1 材料与处理方法

鲜叶原料:采自信阳市罗山县申林茶业开发有限公司生产基地的藪北种鲜叶,采摘标准一芽二叶,采摘时间6月29日。在自制的光照萎凋槽中进行萎凋,复合光源为红光、远红光、黄橙光,依次排列两组。摊叶厚度5 cm,光照时间12 h,每隔2 h翻动叶子1次,使其光照均匀,室内温度28 ℃,相对湿度70%,每组分别于鲜叶、萎凋4 h、萎凋8 h、萎凋12 h、揉捻、发酵、干燥取样3次,并立即置于液氮速冻,而后放入-80 ℃超低温冰箱保存。茶叶萎凋结束后进行揉捻:空揉15 min,轻揉15 min,重揉15 min,轻揉15 min,重揉15 min,空揉5 min。发酵室发酵4 h,每隔30 min翻动1次,发酵温度30 ℃,湿度95%。毛火110 ℃烘35 min,摊晾1 h,足火90 ℃烘45 min。

1.2 试剂

磷酸氢二钠(Na_2HPO_4)、磷酸二氢钾(KH_2PO_4)、水和茚三酮、氯化亚锡($\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)、甲醇、碳酸钠(Na_2CO_3)、福林酚试剂均为国产分析纯,甲醇、乙腈均为色谱纯。标准品:表没食子儿茶素(EGC)、表没食子儿茶素没食子酸酯(EGCG)、没食子酸(GA)、阿拉丁;儿茶素(C)、表儿茶素(EC)、表儿茶素没食子酸酯(ECG),贵州迪大公司。

1.3 设备与仪器

6CFJ-8B茶叶发酵机,泉州长盛茶叶机械有限公司;JY-6CHZ-7B型茶叶烘干机,福建佳友机械有限公司;6CR55型揉捻机,信阳市华阳工贸;6CWL-90乌龙茶摇青机,安溪顺心茶叶机械有限公司;U3000高效液相色谱系统、Acclaim PA2分析色谱柱(4.6 mm×150 mm,5 μm),Thermo公司;AE240电子天平,METTLER公司;UV-9000S紫外可见分光光度计,上海元析仪器有限公司;7890B-7000D(GC-MS/MS),美国Agilent公司;DB-5MS(30 m×0.25 mm×0.25 μm)色谱柱,美国Agilent公司;MM400球磨仪,德国Retsch公司;50/30 μm DVB/CAR/PDMS萃取头,美国Agilent公司;固相微萃取装置,瑞士CTC Analytics AG公司等。

1.4 茶样的生化成分检测方法

茶多酚含量的测定采用福林酚比色法,参照

GB/T 8313-2018;游离氨基酸采用茚三酮显色法,参照GB/T 8314-2013;测定水浸出物含量用茶水浸出物烘干法,根据GB/T 8305-2013;水分含量测定采用快速法,根据GB/T 8304-2013;儿茶素和咖啡碱含量采用高效液相色谱法,参照GB/T 8313-2018。

1.5 挥发性代谢物分析

1.5.1 样品制备 将茶叶样品从-80 ℃冰箱中取出,样品进行液氮磨样,涡旋混合均匀,每个样品称取1 g于顶空瓶中,分别加入饱和氯化钠溶液和10 μL(50 μg/mL)内标溶液,然后使用HS-SPME进行样本萃取,以供GC-MS分析。

1.5.2 HS-SPME萃取条件 在100 ℃恒温条件下,振荡5 min,50/30 μm DVB/CAR/PDMS萃取头插入样品顶空瓶,顶空萃取15 min,于250 ℃下解析5 min,然后进行GC-MS分离鉴定。采样前萃取头250 ℃下老化5 min。

1.5.3 香气组分检测分析 色谱条件:DB-5MS毛细管柱(30 m×0.25 mm×0.25 μm, Agilent J&W Scientific, Folsom, CA, USA),载气为高纯氦气(纯度不小于99.999%),恒流流速1.2 mL/min,进样口温度250 ℃,不分流进样。程序升温:40 ℃保持3.5 min,以10 ℃/min升至100 ℃,再以7 ℃/min升至180 ℃,最后以25 ℃/min升至280 ℃,保持7 min。质谱条件:电子轰击离子源(EI),离子源温度230 ℃,四级杆温度150 ℃,质谱接口温度280 ℃,电子能量70 eV,扫描方式为选择离子检测模式(SIM),定性、定量离子精准扫描。将检索得到的质谱图与MWGCSIM1.0数据库对照,结合保留时间对挥发性物质进行鉴定。

1.6 数据处理

采用IBM SPSS Statistics 26软件对茶样进行单因素ANOVA分析,使用Excel2016软件进行试验数据的基本统计分析,采用Origin 2018软件进行作图分析。

2 结果与分析

2.1 复合光源萎凋对信阳红茶非挥发性物质的影响

2.1.1 复合光源萎凋对信阳红茶茶多酚含量的影响 多酚类物质也是构成茶叶苦涩味的主体,对

茶叶品质影响很大^[1],茶多酚在红茶加工过程中呈降低趋势。在对照组中,干燥后茶多酚的含量与鲜叶相比减少了10.62%,复合光源萎凋的信阳红茶茶多酚含量与鲜叶相比减少了10.93%,高于对照组中茶多酚含量的减少率。由图1所示,两种工艺萎凋处理后萎凋叶片中茶多酚含量相差不大,由此可知复合光源处理对信阳红茶萎凋叶中茶多酚含量影响不大,但是复合光源处理可使萎凋后序工艺揉捻、发酵和干燥叶片中的茶多酚含量降低。

2.1.2 复合光源萎凋对信阳红茶游离氨基酸含量的影响 游离氨基酸类物质是构成茶汤滋味的重要化学成分,可以增强茶汤的鲜爽度^[12]。氨基酸类物质是香气的关键前体物质,在加工过程中可通过各种反应生成醇类、醛类等香气物质^[13]。由图2可知,在信阳红茶加工过程中游离氨基酸含量均呈先升高后降低的变化趋势,从萎凋过程开始至加工过程结束,复合光源萎凋处理的游离氨基酸含量高于对照组处理。对照组中信阳红茶游离氨基酸含量为4.43%,复合光源萎凋的信阳红茶游离氨基酸含量为4.20%,复合光源萎凋使信阳红茶游离氨基酸含量提升了0.23%。

2.1.3 复合光源萎凋对信阳红茶咖啡碱的影响 咖啡碱具有提神抗疲劳、利尿等功效,呈苦涩味,是茶汤“冷后浑”的主要原因。同时在茶汤中也会起到协调滋味的作用,它能够在加工过程中和茶黄素缔合成具有鲜爽味的络合化合物,提高茶叶的口感和滋味。由图3可知,萎凋8h时,复合光源萎凋的咖啡碱含量明显低于对照组,但萎凋结束后复合光源萎凋的咖啡碱含量略有升高;对照组信阳红茶咖啡碱的含量为4.51%,复合光源萎凋后信阳红茶咖啡碱的含量为4.20%,复合光源萎凋使咖啡碱含量降低了0.31%。在加工过程中咖啡碱的含量变化不大,这可能是由咖啡碱的高稳定性所致。

2.1.4 复合光源萎凋对信阳秋季红茶茶色素含量的影响 在发酵过程中儿茶素在多酚氧化酶(PPO)的作用下发生氧化,形成茶黄素、茶红素和茶褐素。茶黄素(TFs)对茶汤鲜爽度和强度起着重要作用,同时也是汤色发“亮”,出现“金圈”的主要因素,茶黄素还具抗炎、抗菌、抗氧化等功

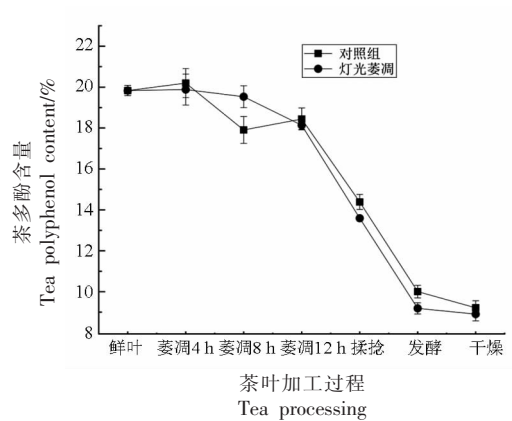


图1 不同处理茶多酚相对含量的变化

Fig.1 Changes of relative content of tea polyphenols under different treatments

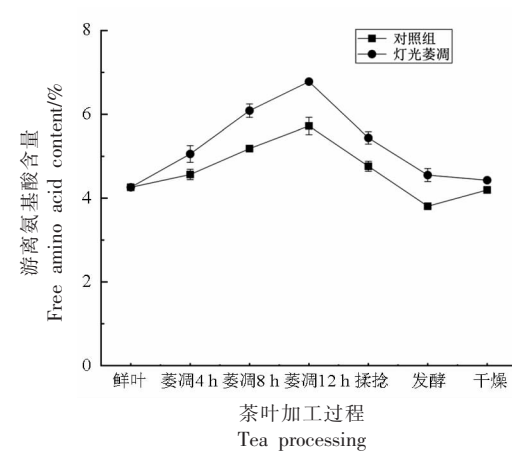


图2 不同处理游离氨基酸相对含量的变化

Fig.2 Changes of relative contents of free amino acids in different treatments

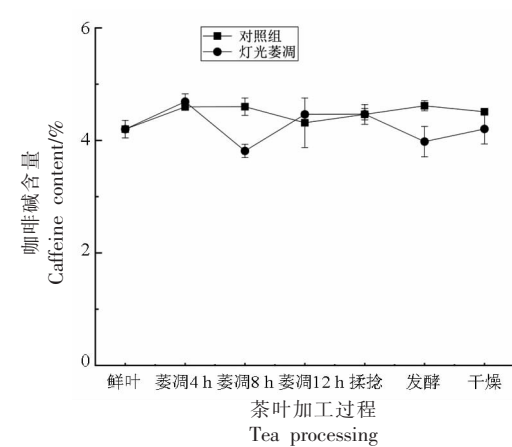


图3 不同处理咖啡碱相对含量的变化

Fig.3 Change of theine relative content in different treatments

效。茶黄素含量越高,红茶品质越好^[6]。茶红素(TRs)是影响红茶滋味强度的重要成分,与茶汤红浓有关,茶褐素(TBs)颜色为暗褐色,是茶汤无收敛性的重要因素,与红茶汤色呈负相关^[7]。对照组茶黄素含量为 0.25%,复合光源萎凋后茶黄素含量为 0.27%,复合光源萎凋使茶黄素含量提高了 0.02%;对照组茶红素含量为 4.94%,复合光源萎凋后茶红素含量为 4.94%,复合光源萎凋对茶红素含量无影响;对照组的茶褐素含量为 6.27%,复合光源萎凋后茶褐素含量为 6.18%,复合光源萎凋使茶褐素含量降低了 0.09%。

2.1.5 复合光源萎凋对信阳红茶儿茶素和没食子酸含量的影响 儿茶素是茶叶中最重要的一类有效成分,本研究中共检测了 5 种儿茶素类物质,在不同工艺加工的信阳红茶中 ECG 含量最高,儿茶素中的酯型儿茶素是引起茶汤苦涩味的主体物质^[8]。由表 1 可知,对照组中酯型儿茶素的相对含量为 1.10%,复合光源萎凋后酯型儿茶素的含量

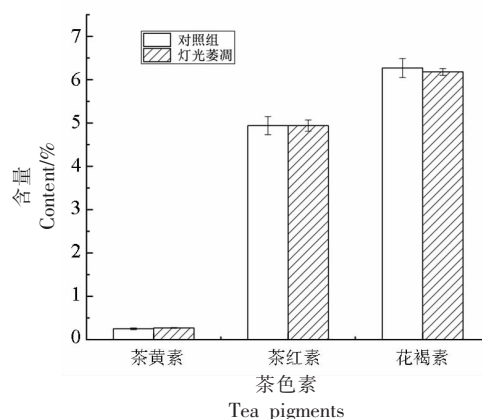


图 4 不同加工工艺茶色素含量分析

Fig.4 Analysis of pigment content of tea with different processing technology

降低至 1.06%。另外复合光源萎凋也使 GA、EGC、EGCG、非酯型儿茶素和儿茶素总量含量降低,使 C、EC、ECG 含量升高。

表 1 不同萎凋处理对儿茶素类物质和没食子酸的影响 (%)

Table 1 Effects of different withering treatments on catechins and gallic acid (%)

物质	对照组	灯光萎凋
GA	0.42 ± 0.01	0.33 ± 0.04
EGC	0.19 ± 0.00	0.12 ± 0.01
C	0.06 ± 0.00	0.07 ± 0.01
EC	0.09 ± 0.00	0.13 ± 0.02
EGCG	0.27 ± 0.01	0.13 ± 0.01
ECG	0.83 ± 0.01	0.93 ± 0.13
酯型儿茶素(EGCG+ECG)	1.10 ± 0.01	1.06 ± 0.13
非酯型儿茶素(EGC+C+EC)	0.34 ± 0.01	0.32 ± 0.01
儿茶素总量	1.44 ± 0.01	1.38 ± 0.12

2.1.6 复合光源萎凋对信阳红茶可溶性糖和总黄酮含量的影响 可溶性糖是红茶中主要的甜醇成分,可直接影响茶叶的滋味和香气,提高其含量可以控制适度的羰氨反应以及焦糖化作用,有利于红茶品质的提升^[9]。由图 5 可知,复合光源萎凋对萎凋前期(鲜叶~萎凋 4 h)茶样的可溶性糖含量影响不大,但在萎凋中期及萎凋后期(萎凋 4~12 h),复合光源萎凋使茶样中可溶性糖的含量提升。对照组成品茶中可溶性糖含量为 3.11%,复合光源萎凋成品茶中可溶性糖含量为 3.89%,复合光

源萎凋使成品茶中可溶性糖含量提升了 0.78%。黄酮醇苷类物质对涩味有贡献,而且能增加咖啡碱在茶汤中的苦涩味强度^[20],在加工过程中总黄酮含量呈上升趋势,与余鹏辉等^[21]的研究结果一致,在萎凋过程中,复合光源萎凋的茶样总黄酮含量高于对照组萎凋样的总黄酮含量,在萎凋后续工艺(揉捻、发酵、干燥)中,对照组茶样中总黄酮含量均高于复合光源萎凋茶样中总黄酮含量,复合光源萎凋使成品茶样中总黄酮的含量降低了 0.20%。

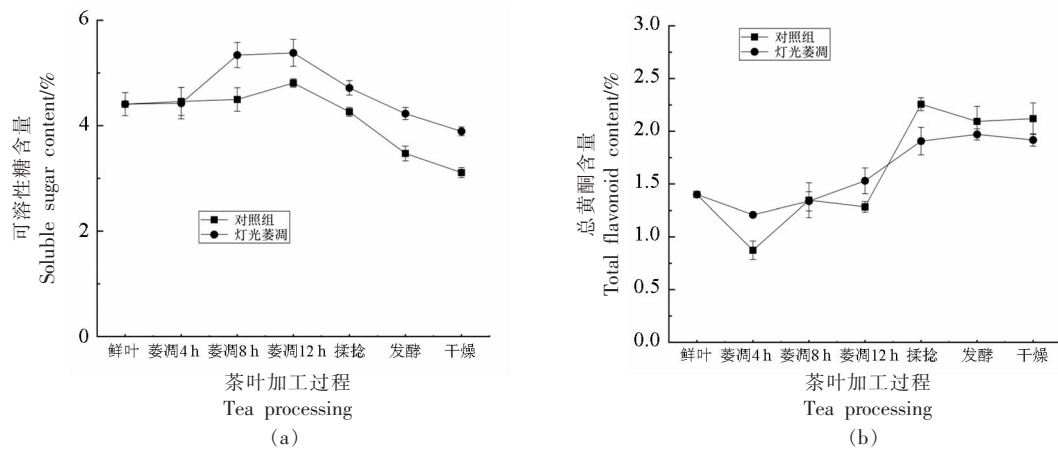


图5 不同处理可溶性糖和总黄酮相对含量的变化

Fig.5 Changes of relative contents of soluble sugar and total flavone under different treatments

2.2 复合光源萎凋对信阳红茶挥发性物质的影响

2.2.1 复合光源萎凋对红茶挥发性种类的影响

在不同萎凋方式下共鉴定出 92 种挥发性物质,包括 25 种萜类、7 种醇类、7 种酮类、4 种芳烃、11 种杂环化合物、8 种醛类、3 种酸、8 种烷烃、18 种酯类和 1 种其它。其中萜类(21.37%~24.20%)、醛类(19.57%~22.28%)和醇类(21.65%~21.75%)的相对含量较高。苯乙醛(18.10%~16.10%)、2-苯乙醇(8.60%~8.83%)、苯甲醇(7.43%~7.72%)、香叶醇(5.41%~7.18%)等挥发性化合物的相对含量较高。

2.2.2 萜类化合物分析 复合光源萎凋使萜类化合物相对含量由 21.93% 明显提升至 24.78%, 萜类物质中香叶醇的相对含量最高, 占总量的 5.41%~7.18%, 其次是月桂烯和芳樟醇, 分别占总量的 2.83%~3.54% 和 2.54%~2.69%。复合光源萎凋处理后含量提升最大的物质为香叶醇(玫瑰花香), 提升了 1.77%; 月桂烯(花香)的相对含量经复合光源萎凋处理后提升了 0.71%; 芳樟醇(铃兰、百合、玉兰花香)的相对含量经复合光源萎凋处理后提升了 0.44%; 对照组的植物醇(弱花香)相对含量为 1.14%, 经过复合光源萎凋处理后相对含量提升了 0.47%。

2.2.3 醇类化合物分析 醇类物质经过复合光源萎凋后含量略有降低, 在醇类物质中 2-苯乙醇、苯甲醇的相对含量最高, 分别占总量的 8.60%~

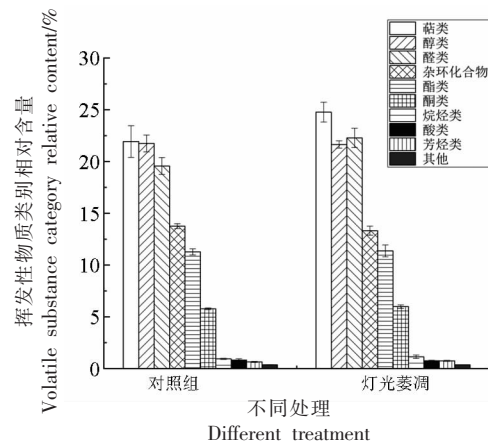


图6 不同处理对红茶挥发性种类的影响

Fig.6 Effects of different treatments on volatile species of black tea

8.83% 和 7.43%~7.72%。复合光源萎凋使具有花香的 2-苯乙醇相对含量提升了 0.23%, 使具有果香的苯甲醇相对含量降低了 0.30%; (*E*)-3-己烯醇(青草气)经复合光源萎凋后相对含量降低了 0.20%; 3,7-二甲基-1,5,7-辛三烯-3-醇(高档水果香)经复合光源萎凋后相对含量提升了 0.37%。

2.2.4 醛类化合物分析 醛类化合物与红茶香型的形成有关, 经复合光源萎凋后醛类化合物含量由 19.57% 提升至 22.28%, 醛类化合物含量的增加可能与醇类化合物的氧化有关^[2], 醛类物质中相对含量最高的物质为苯乙醛(风信子香气和水果香气), 占总量的 16.10%~18.10%, 且经过复合光源萎凋后相对含量提升了 2.00%; 苯甲醛(杏仁

香)的相对含量经复合光源萎凋处理后提升了0.21%;己醛(脂肪味、青草或苹果味)的相对含量经复合光源萎凋处理后提升了0.03%,这些香气化合物对信阳红茶果香的形成有重要贡献。

2.2.5 杂环化合物分析 杂环类化合物占总量的13.32%~13.76%,复合光源萎凋使杂环类化合物含量降低了0.44%。杂环类化合物以(*Z*)-芳樟醇氧化物(花香)的相对含量最高,占总量的3.38%~3.45%,复合光源萎凋使其相对含量降低了0.07%;复合光源萎凋使2-甲氧基咪喃(烘烤香)、2,5-二甲基吡嗪(巧克力、奶油味)、甲基吡嗪(烤香、坚果香)、3-乙酰基-1*H*-吡咯啉(面包香、坚果香)、乙基甲基吡嗪(烘焙香)和2,6-二乙基吡嗪(烘焙香)的相对含量降低。

2.2.6 对其它化合物的影响 复合光源萎凋可提升酮类化合物的相对含量,对照组的酮类化合物

相对含量为5.78%,经复合光源萎凋后酮类化合物相对含量提升至5.99%;相对含量最高的酮类化合物为2,5-二羟基-4-异丙基-2,4,6-环庚三烯-1-酮,占总量的4.93%~5.12%,经复合光源萎凋后其相对含量提升了0.18%;顺式香叶基丙酮(清淡的花香味)经复合光源萎凋后相对含量提升了0.02%。酯类化合物占总量的11.27%~11.37%,经复合光源萎凋后相对含量提升了0.09%;相对含量最高的酯类化合物为水杨酸甲酯(冬青油香味)占总量的1.88%~1.90%,经复合光源萎凋后相对含量提升了0.02%,水杨酸甲酯对信阳红茶的清甜香有一定的贡献;(*Z*)-3-己烯己酸酯(甜美果香、苹果-梨样香气)为相对含量较高的酯类,占总量的1.67%~1.82%,经复合光源萎凋后相对含量降低了0.15%。

表2 不同萎凋处理挥发性成分分析(%)

Table 2 Analysis of volatile components from different withering treatments (%)

物质	物质分类	对照组	灯光萎凋
(<i>Z</i>)-3-己烯己酸酯	酯	1.82 ± 0.22	1.67 ± 0.20
(<i>E</i>)-己酸-2-己烯酯	酯	0.73 ± 0.15	0.65 ± 0.11
己酸己酯	酯	0.36 ± 0.07	0.34 ± 0.07
顺-3-己烯基水杨酸酯	酯	0.06 ± 0.01	0.06 ± 0.01
反-2-己烯基异戊酸酯	酯	0.21 ± 0.04	0.22 ± 0.04
苯甲酸己酯	酯	0.12 ± 0.02	0.14 ± 0.02
顺-3-己烯基戊酸酯	酯	0.38 ± 0.06	0.41 ± 0.06
水杨酸甲酯	酯	1.88 ± 0.04	1.90 ± 0.04
邻苯二甲酸二丁酯	酯	0.40 ± 0.03	0.43 ± 0.03
2-糠酸己酯	酯	2.70 ± 0.02	2.67 ± 0.02
3-己烯醇苯甲酸酯	酯	0.58 ± 0.01	0.69 ± 0.00
十六酸甲酯	酯	1.44 ± 0.00	1.54 ± 0.04
顺-正戊酸-3-己烯酯	酯	0.38 ± 0.02	0.41 ± 0.01
苯甲酸己酯	酯	0.12 ± 0.00	0.14 ± 0.01
2-甲氧基咪喃	杂环化合物	0.46 ± 0.03	0.33 ± 0.02
2,5-二甲基吡嗪	杂环化合物	0.99 ± 0.01	0.86 ± 0.06
甲基吡嗪	杂环化合物	0.80 ± 0.99	0.68 ± 0.14
3-乙酰基-1 <i>H</i> -吡咯啉	杂环化合物	1.44 ± 0.07	1.33 ± 0.02
乙基甲基吡嗪	杂环化合物	0.48 ± 0.01	0.41 ± 0.03
3-苯基咪喃	杂环化合物	0.31 ± 0.02	0.30 ± 0.01
香豆素	杂环化合物	0.09 ± 0.1	0.08 ± 0.10
(<i>Z</i>)-芳樟醇氧化物	杂环化合物	3.45 ± 0.01	3.38 ± 0.01
2,6-二乙基吡嗪	杂环化合物	0.31 ± 0.01	0.28 ± 0.01
(3 <i>R</i> ,6 <i>S</i>)-2,2,6-三甲基-6-乙基四氢-2 <i>H</i> -吡喃-3-醇	杂环化合物	5.13 ± 0.01	5.38 ± 0.01
3-苯基咪喃	杂环化合物	0.31 ± 0.01	0.30 ± 0.01

(续表 2)

物质	物质分类	对照组	灯光萎凋
顺式香叶基丙酮	酮	0.26 ± 0.01	0.28 ± 0.00
2,5-二羟基-4-异丙基-2,4,6-环庚三烯-1-酮	酮	4.93 ± 0.01	5.12 ± 0.04
2,2,6-三甲基环己酮	酮	0.17 ± 0.01	0.16 ± 0.01
(E)-8-甲基-3,7-壬二烯-2-酮	酮	0.16 ± 0.11	0.20 ± 0.10
2,2,6-三甲基环己酮	酮	0.17 ± 0.15	0.16 ± 0.20
正十六碳烷	烃类	0.13 ± 0.56	0.13 ± 0.62
正十四碳烷	烃类	0.20 ± 0.36	0.25 ± 0.29
正十二碳烷	烃类	0.10 ± 0.83	0.18 ± 0.72
2,6,10-三甲基十三烷	烃类	0.24 ± 0.03	0.26 ± 0.01
3,5-二甲基-十一烷	烃类	0.14 ± 0.00	0.16 ± 0.00
α-法尼烯	萜类	1.30 ± 0.00	0.73 ± 0.01
去二氢菖蒲烯	萜类	0.47 ± 0.02	0.42 ± 0.01
脱氢 B-环柠檬醛	萜类	0.32 ± 0.06	0.28 ± 0.05
1,2,4a,5,6,8a-六氢-4,7-二甲基-1-(1-甲基乙基)萜	萜类	0.10 ± 0.04	0.08 ± 0.02
(Z)-β-法呢烯	萜类	0.86 ± 0.36	0.82 ± 0.16
α-紫罗兰酮	萜类	0.20 ± 0.01	0.19 ± 0.00
橙花醇 2	萜类	0.05 ± 0.04	0.05 ± 0.05
β-紫罗兰酮	萜类	0.52 ± 0.00	0.51 ± 0.00
β-环柠檬醛	萜类	0.30 ± 0.00	0.31 ± 0.01
2,6-二甲基-2,4,6-辛三醇	萜类	0.12 ± 0.00	0.14 ± 0.01
反式-橙花叔醇	萜类	1.70 ± 0.00	1.74 ± 0.02
芳樟醇	萜类	2.25 ± 0.04	2.69 ± 0.03
植物醇	萜类	1.14 ± 0.00	1.61 ± 0.03
月桂烯	萜类	2.83 ± 0.29	3.54 ± 0.09
香叶醇	萜类	5.41 ± 0.06	7.18 ± 0.02
δ-卡丁烯	萜类	1.02 ± 0.01	0.84 ± 0.01
去氢白菖烯	萜类	0.27 ± 0.06	0.24 ± 0.05
卡丁二烯	萜类	0.22 ± 0.01	0.20 ± 0.01
3-甲基-6-(1-甲基亚乙基)-环己烯	萜类	1.63 ± 0.00	1.89 ± 0.01
3,7,11,15-四甲基-2-十六烯-1-醇	萜类	0.37 ± 0.02	0.43 ± 0.03
4-己酸	酸	0.14 ± 0.02	0.14 ± 0.02
己酸	酸	0.61 ± 0.05	0.54 ± 0.15
壬酸	酸	0.08 ± 0.09	0.08 ± 0.21
苯乙醛	醛	16.1 ± 0.12	18.1 ± 0.11
3-甲醛	醛	0.9 ± 0.02	1.37 ± 0.04
苯甲醛	醛	1.99 ± 0.05	2.20 ± 0.07
己醛	醛	0.13 ± 0.01	0.17 ± 0.00
4-甲基-2-苯基-2-戊烯醛	醛	0.23 ± 0.06	0.23 ± 0.04
2,5-二甲基苯甲醛	醛	0.08 ± 0.12	0.06 ± 0.08
2,6,6-三甲基-1-环己烯基乙醛	醛	0.11 ± 0.03	0.13 ± 0.04
1,2-二氢-1,1,5-三甲基-萜	芳烃	0.55 ± 0.22	0.58 ± 0.05
1-甲基-3-(1-甲基乙基)-萜	芳烃	0.28 ± 0.06	0.34 ± 0.06
1-甲基-3-(1-甲基亚乙基)-萜	芳烃	0.28 ± 0.02	0.34 ± 0.02
4-甲基-1-戊醇	醇	0.72 ± 0.02	0.47 ± 0.02
(E)-3-己烯醇	醇	0.81 ± 0.02	0.61 ± 0.02
苯甲醇	醇	7.72 ± 0.02	7.43 ± 0.02
3,7,11,15-四甲基-1-十六烷基-3-醇	醇	0.16 ± 0.02	0.19 ± 0.02
3,7-二甲基-1,5,7-辛三烯-3-醇	醇	3.66 ± 0.03	4.03 ± 0.02
2-苯乙醇	醇	8.6 ± 0.09	8.84 ± 0.03

3 结论与讨论

光作为一种能源物质和信号分子,能为离体茶鲜叶提供能量需求、传导物质代谢信号,光照处理对茶叶的生理化学特性以及化学品质影响显著^[23]。在本研究中,复合光源萎凋有利于改善信阳红茶茶汤的滋味,与无光萎凋的对照组相比,复合光源萎凋使成品茶中具有苦涩味的茶多酚相对含量由 9.21%降低至 8.90%,萎凋过程中儿茶素呈下降趋势,儿茶素的下降通常是由于多酚氧化酶将儿茶素氧化为茶黄素和茶红素所致,复合光源萎凋使儿茶素总量降低了 0.06%,可能是因为复合光源促进了多酚氧化酶的氧化^[24]。目前已有研究证实酯型儿茶素和咖啡碱均是引起茶汤苦涩味的物质,在本研究中复合光源萎凋使成品茶中酯型儿茶素和咖啡碱相对含量均降低。游离氨基酸含量的增加主要来自于蛋白质的水解^[25],复合光源萎凋使游离氨基酸含量增加,可能是因为复合光源萎凋促进了蛋白质的水解。红光可诱导光敏色素对糖代谢的调控,提高与糖代谢有关的酶的活性^[26],本研究中复合光源萎凋使成品茶中具有甜醇味的可溶性糖相对含量由 3.11%提升至 3.89%,可能是红光作用的结果。黄酮类物质具有较低的阈值(0.0015~19.8 $\mu\text{mol/L}$)远低于儿茶素的阈值(190~930 $\mu\text{mol/L}$),黄酮类物质对红茶苦涩味的贡献被认为高于儿茶素,在成品红茶中黄酮类物质含量降低了 0.20%,黄酮类物质的减少可以降低信阳红茶的苦涩味强度,另外黄酮类物质水解产生的糖类物质也能增加茶汤的甜味强度^[1]。另外,复合光源萎凋使成品茶中茶褐素的相对含量降低,使具有鲜爽味的茶黄素相对含量升高。

本研究采用 HS-SPME-GC-MS 技术,对加入复合光源萎凋和未加入复合光源萎凋的对照组信阳红茶进行了挥发性成分的分析。在两种茶叶中共检测出挥发性成分 92 种,包括萜类、醇类、酮类、芳烃类、杂环化合物、醛类、酸类、烷烃类、酯类等。其中萜类、醛类、和醇类的相对含量较高。相比于对照组,复合光源萎凋提升了萜类、醛类和酮类化合物的相对含量。前人研究表明:芳樟醇、香叶醇、月桂烯、水杨酸甲酯、苯甲醇、2-苯乙醇、苯乙醛、 β -紫罗兰酮等是不同类型红茶中主要的呈香成分^[27],在本研究中均检测到这些挥发性物质。复

合光源萎凋使具有花香、果香属性的水杨酸甲酯、顺势香叶基丙酮、 β -环柠檬醛、反式-橙花叔醇、芳樟醇、香叶醇、苯乙醛、苯甲醛、2-苯乙醇等物质的相对含量升高,降低了具有焙火香属性的 2-甲氧基咪喃、2,5-二甲基吡嗪、甲基吡嗪、3-乙酰基-1H-吡咯啉、乙基甲基吡嗪等物质的相对含量。本研究为提高信阳红茶品质提供了一定的参考,并为生产中增加信阳红茶花果香、降低苦涩味提升鲜甜味等方面提供了指导。

参 考 文 献

- [1] CHEN L, LIU F, YANG Y F, et al. Oxygen-enriched fermentation improves the taste of black tea by reducing the bitter and astringent metabolites[J]. *Food Research International*, 2021, 148(1): 110613.
- [2] ZHOU J T, YU X L, HE C, et al. Withering degree affects flavor and biological activity of black tea: A non-targeted metabolomics approach[J]. *LWT*, 2020, 130(1): 109535.
- [3] KRAUJALVTE V, PELVAN E, ALASALVAR C. Volatile compounds and sensory characteristics of various instant teas produced from black tea[J]. *Food Chemistry*, 2016, 194(1): 864-72.
- [4] LI Y C, HE C, YU X L, et al. Effects of red-light withering on the taste of black tea as revealed by non-targeted metabolomics and transcriptomics analysis[J]. *LWT*, 2021, 147(1): 111620.
- [5] LI Y C, HE C, YU X L, et al. Study on improving aroma quality of summer-autumn black tea by red-light irradiation during withering[J]. *LWT*, 2022, 154(1): 112597.
- [6] AI Z Y, ZHANG B B, CHEN Y Q, et al. Impact of light irradiation on black tea quality during withering[J]. *Journal of Food Science and Technology*, 2017, 54(5): 1212-1227.
- [7] 黄藩, 唐晓波, 张成, 等. 不同光质萎凋对白牡丹茶品质的影响[J]. *热带作物学报*, 2021, 42(6): 1735-1744.
- [8] HUANG F, TANG X B, ZHANG C, et al. Effects of different light quality wilting on quality of *Paeonia sinensis*[J]. *Journal of Tropical Crops*, 2021, 42(6): 1735-1744.
- [8] 赵飞, 李园莉, 杨亦扬, 等. 远红外辐射对萎凋叶

- 氧化酶活性及红茶品质的影响[J]. 中国农学通报, 2021, 37(7): 119-125.
- ZHAO F, LI Y L, YANG Y Y, et al. Effects of far infrared radiation on enzyme activity of wisteria leaf and quality of black tea[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2021, 37(7): 119-125.
- [9] 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.
- XIANG L H, LIN F M, SUN W J, et al. Effects of LED yellow light on gene expression and activity of aroma-related enzymes in Congou black tea wilting process[J]. Tea Science, 2015, 35(6): 559-566.
- [10] FU X M, CHEN Y Y, MEI X, et al. Regulation of formation of volatile compounds of tea (*Camellia sinensis*) leaves by single light wavelength[J]. Scientific Reports, 2015, 5(1): 16858.
- [11] TAN J F, DAI W D, LU M L, et al. Study of the dynamic changes in the non-volatile chemical constituents of black tea during fermentation processing by a non-targeted metabolomics approach[J]. Food Research International, 2016, 79(1): 109535.
- [12] 黄亚辉, 陈建华, 周筠, 等. 不同年代茯砖茶感官品质和化学成分的差异性[J]. 食品科学, 2010, 31(2): 228-232.
- HUANG Y H, CHEN J H, ZHOU J, et al. Sensory quality and chemical composition of Fuzhuan tea in different ages[J]. Food Science, 2010, 31(2): 228-232.
- [13] 宋晓东, 赵瑶, 罗晓英, 等. 发酵处理对宜红茶品质影响的研究[J]. 中国茶叶加工, 2017, 1(Z2): 44-47.
- SONG X D, ZHAO Y, LUO X Y, et al. Effects of fermentation on quality of Yi Black tea[J]. China Tea Processing, 2017, 1(Z2): 44-47.
- [14] 陈义. 不同加工工艺对信阳红茶品质影响初探[J]. 河南农业, 2016, 1(1): 51-52.
- CHEN Y. Preliminary study on the influence of different processing technology on Xinyang black tea quality[J]. Henan Agriculture, 2016, 1(1): 51-52.
- [15] QU F F, QIU F F, ZHU X J, et al. Effect of different drying methods on the sensory quality and chemical components of black tea[J]. LWT, 2018, 99(1): 112-118.
- [16] DUTTA R, STEIN A, BHAGAT R M. Integrating satellite images and spectroscopy to measuring green and black tea quality[J]. Food Chemistry, 2011, 127(2): 866-874.
- [17] 马伟, 夏丽飞, 宋维希, 等. 不同加工工艺对云抗10号红茶品质的影响[J]. 西南农业学报, 2017, 30(12): 2693-2697.
- MA W, XIA L F, SONG W X, et al. Effects of different processing techniques on quality of Yunkang 10 black tea[J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2017, 30(12): 2693-2697.
- [18] 刘淑娟, 杨拥军, 钟兴刚, 等. 引进晒青、摇青工艺降低夏秋红茶苦涩味的研究[J]. 江西农业学报, 2014, 26(6): 102-105.
- LIU S J, YANG Y J, ZHONG X G, et al. Study on reducing bitter taste of black tea in summer and autumn by sun-drying and shaking[J]. Acta Agriculture Jiangxi, 2014, 26(6): 102-105.
- [19] 王近近, 袁海波, 滑金杰, 等. 足火工艺参数对工夫红茶热风干燥特性和品质的影响[J]. 农业工程学报, 2020, 36(10): 287-296.
- WANG J J, YUAN H B, HUA J J, et al. Effects of foot fire process parameters on drying characteristics and quality of Congou black tea[J]. Transactions of the Csa, 2020, 36(10): 287-296.
- [20] 刘盼盼, 郑鹏程, 龚自明, 等. 工夫红茶品质分析与综合评价[J]. 食品科学, 2021, 42(12): 195-205.
- LIU P P, ZHENG P C, GONG Z M, et al. Quality analysis and comprehensive evaluation of Congou black tea[J]. Food Science, 2021, 42(12): 195-205.
- [21] 余鹏辉, 陈盼, 黄浩, 等. 保靖黄金茶1号工夫红茶加工工序对主要滋味物质形成的影响[J]. 食品科学, 2020, 41(10): 185-191.
- YU P H, CHEN P, HUANG H, et al. Effects of processing procedures on the formation of main flavor substances in Baojing gold tea No. 1 Congou black tea[J]. Food Science, 2020, 41(10): 185-191.
- [22] 宁井铭, 方骏婷, 朱小元, 等. 基于代谢谱分析的祁门红茶加工过程中儿茶素及芳香类物质变化[J]. 食品工业科技, 2016, 37(9): 127-133, 138.
- NING J M, FANG J T, ZHU X Y, et al. Changes of catechins and aromatic compounds in Qimen black tea during processing based on metabolic spectrum analysis[J]. Science and Technology of Food Industry, 2016, 37(9): 127-133, 138.

- [23] 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.
HUANG F, LIU F, TANG X B, et al. Research progress on the effect of light on the withering of tea[J]. Tea Communications, 2019, 46(4): 402-408.
- [24] YU X L, LI Y, HE C, et al. Nonvolatile metabolism in postharvest tea (*Camellia sinensis* L.) leaves: Effects of different withering treatments on nonvolatile metabolites, gene expression levels, and enzyme activity[J]. Food Chemistry, 2020, 327(1): 126992.
- [25] LONG P P, WEN M C, ZHOU J, et al. Untargeted and targeted metabolomics reveal the chemical characteristic of Pu-erh tea (*Camellia assamica*) during pile-fermentation [J]. Food Chemistry, 2020, 311(1): 125895
- [26] BIANCHETTI R E, CRUE A B, OLIVEIRA B S, et al. Phytochromobilin deficiency impairs sugar metabolism through the regulation of cytokinin and auxin signaling in tomato fruits[J]. Scientific Reports, 2017, 7(1): 7822.
- [27] 王梦琪, 朱荫, 张悦, 等. 茶叶挥发性成分中关键呈香成分研究进展[J]. 食品科学, 2019, 40(23): 341-349.
WANG M Q, ZHU Y, ZHANG Y, et al. Research progress of key aroma components in volatile components of tea[J]. Food Science, 2019, 40(23): 341-349.

Effects of Compound Light Source Withering on the Quality of Xinyang Black Tea

Ma Jingyi, Yao Hengbin, Zhou Qiongqiong, Zhao Renliang*

(College of Horticulture, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002)

Abstract In order to improve the quality of Xinyang black tea, compound light source (red light, far-red light, yellow orange light) was added in the withering process of Xinyang black tea to study the effects of compound light source withering on the main biochemical components and volatile components of Xinyang black tea. The results show that: The content of tea polyphenols decreased by 0.31%, the content of catechin decreased by 0.06%, the content of total flavonoids decreased by 0.20%, the content of caffeine decreased by 0.31%, the content of 2-methoxy-furan decreased by 0.13%, and the content of 2, 5-dimethylpyrazine decreased by 0.13%. In addition, theaflavin content increased by 0.02%, amino acid content increased by 0.23%, soluble sugar content increased by 0.78%, linalool content increased by 0.44%, geraniol content increased by 1.77%, phenylacetaldehyde content increased by 2.00%, benzaldehyde content increased by 0.21%. It can effectively reduce the intensity of bitterness and baking flavor of Xinyang black tea, and increase the intensity of fresh sweetness and flower fruit flavor. Conclusion: Adding compound light source in the withering process can improve the taste and aroma of Xinyang black tea, and effectively improve the quality of Xinyang black tea.

Keywords Xinyang black tea; compound light source withering; biochemical components; the aroma