

罗红玉, 王奕, 吴全, 等. 光质萎凋对不同茶树品种红茶品质的影响 [J]. 食品工业科技, 2021, 42(10): 15–21. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2020070278

LUO Hongyu, WANG Yi, WU Quan, et al. Effect of Withering Light-wave Bands on Different Varieties Black Tea Quality[J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 42(10): 15–21. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2020070278

· 研究与探讨 ·

光质萎凋对不同茶树品种红茶品质的影响

罗红玉^{1,2,3}, 王奕^{1,2,3}, 吴全^{1,2,3}, 袁林颖^{1,2,3}, 杨娟^{1,2,3}, 张莹^{1,2,3}, 王杰^{1,2,3}, 邬秀宏^{1,2,3}, 钟应富^{1,2,3,*}

(1.重庆市农业科学院茶叶研究所, 重庆永川 402160;

2.重庆市茶叶工程技术研究中心, 重庆永川 402160;

3.国家茶叶产业技术体系重庆综合试验站, 重庆永川 402160)

摘要: 本文以室内自然萎凋为对照, 比较红光、黄光、蓝光的不同光强 (1000、1500、2000 lx) 对不同品种红茶感官品质和主要成分的影响。结果表明, 与对照相比, 光质萎凋能保持或提升福鼎大白茶、蜀永 1 号萎凋叶游离氨基酸含量, 保持或提高了四川中小叶种红茶茶黄素含量; 蓝光可提升蜀永 1 号、四川中小叶种红茶可溶性糖含量, 还可降低福鼎大白茶、蜀永 1 号红茶茶褐素含量。黄光光强与福鼎大白茶红茶可溶性糖含量呈显著正相关, 与四川中小叶种茶褐素含量存在极显著正相关, 与蜀永 1 号萎凋叶和红茶茶多酚含量呈较大负相关, 但不显著, 而蓝光光强与四川中小叶种红茶可溶性糖含量呈较大正相关, 但不显著。综合感官品质, 福鼎大白茶红茶最佳的萎凋光质为 1500 lx 黄光、2000 lx 黄光, 茶红素含量较高, 分别为 2.211%、2.049%, 而茶褐素含量较低, 分别为 3.081%、3.025%; 蜀永 1 号红茶最佳的萎凋光质为 1500 lx 黄光, 游离氨基酸含量最高, 为 2.8%; 四川中小叶种红茶最佳的萎凋光质为 1500 lx 黄光、1500 lx 蓝光, 前者游离氨基酸含量较高, 为 3.4%, 后者茶黄素含量较高, 为 0.280%, 茶褐素含量较低, 为 2.937%。所以 1500 lx 黄光有利于提升所选品种红茶品质。

关键词: 茶树品种, 红茶, 光质萎凋, 光强, 品质

中图分类号: TS272.5

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2021)10-0015-07

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2020070278

Effect of Withering Light-wave Bands on Different Varieties Black Tea Quality

LUO Hongyu^{1,2,3}, WANG Yi^{1,2,3}, WU Quan^{1,2,3}, YUAN Linying^{1,2,3}, YANG Juan^{1,2,3}, ZHANG Ying^{1,2,3},
WANG Jie^{1,2,3}, WU Xiuhong^{1,2,3}, ZHONG Yingfu^{1,2,3,*}

(1. Tea Research Institute, Chongqing Academy of Agricultural Sciences, Yongchuan 402160, China;

2. Chongqing Engineering Research Center for Tea, Yongchuan 402160, China;

3. National Tea Industry Technical System Chongqing Comprehensive Experimental Station, Yongchuan 402160, China)

Abstract: The natural withering indoor was used as the control, the effect of different intensity (1000、1500、2000 lx) of red light, yellow light and blue light on the sensory assessment quality and main components of different varieties of black tea were compared in the study. The results showed that, compared with the control, the amino acids content in fuding-dabaicha and No. 1 of shuyong withered leaf together with the theaflavins (TFs) content in sichuan-zhongxiaoyezhong black tea would be kept or promoted under all light withering, and soluble sugar content in No. 1 of shuyong and sichuan-zhongxiaoyezhong black tea would be promoted under blue light withering, while the theabrownine (TB) content in fuding-dabaicha and No. 1 of shuyong black tea would be decreased under this condition. Correlation analysis showed the soluble sugar content of fuding-dabaicha black tea, and the TB content in sichuan-zhongxiaoyezhong black tea were significantly and positively correlated with yellow light intensity, while the tea polyphenols content in No. 1 of shuyong withered leaf and its black tea were great degree negatively correlated with yellow light intensity, and the soluble sugar content in sichuan-zhongxiaoyezhong black tea was great positively correlated with blue light intensity, both were not significant.

收稿日期: 2020-07-23

基金项目: 重庆市科技局技术创新与应用发展专项重点项目 (cstc2019jsex-dxwtBX0030); 重庆市委现代山地特色高效农业茶叶产业技术体系创新团队建设 (2020【6】号); 重庆市永川区科学技术局技术创新与应用发展面上项目 (红茶光质萎凋工艺技术创新与示范)。

作者简介: 罗红玉 (1985-), 女, 硕士, 助理研究员, 主要从事茶叶化学与制茶工程方面的研究, E-mail: roye2008324@126.com。

* **通信作者:** 钟应富 (1974-), 男, 本科, 研究员, 主要从事茶叶加工工艺、加工装备、新产品开发方面的研究, E-mail: cqtea1999@163.com。

Considered the sensory assessment, the optimum withering light and intensity for fuding-dabaicha black tea was 1500 lx and 2000 lx yellow light, which would keep higher content of thearubigins (TRs) that were 2.211% and 2.049%, and lower content of TB that were 3.081% and 3.025% in tea. The 1500 lx yellow light was the optimum selection for No. 1 of shuyong black tea with the highest content of amino acids which was 2.8%. The 1500 lx yellow light and 1500 lx blue light were the best choices for sichuan-zhongxiaoyezhong black tea, the amino acids content reached to 3.4% in the former, the TFs content reached to 0.280% and the TB content was as low as 2.937% in the latter. So the 1500 lx yellow light was beneficial to promote the quality of these three kinds of black tea.

Key words: tea varieties; black tea; light withering; light intensity; quality

红茶是我国六大茶类中重要组成部分。2019年,我国红茶产量30.72万吨,同比增长17.29%,占茶叶总产量11%^[1]。萎凋是红茶加工的第一道工序,即将采回的茶鲜叶进行薄摊,散失一部分水分的工艺处理过程^[2],萎凋与后续的制茶工序以及茶叶品质关系密切,在萎凋过程中,发生一系列代谢物质变化,为红茶品质的形成奠定了物质基础。研究表明,以迎霜1芽2叶为原料加工红茶,控制光强2000 lx,红光萎凋组的茶氨酸、酯型儿茶素含量低于蓝光组,但均低于无光组,红光、蓝光分别对茶叶香气、滋味有促进作用,以红光萎凋品质最优^[3]。而以福鼎大白茶1芽1、2叶为原料,控制黄光强度(1266.7±155.7) lx,处理后红茶游离氨基酸含量提高6.8%,提高了香气的甜度以及滋味的鲜爽度和甜度^[4]。以白光为光源,6000 lx光照强度下茶鲜叶的柔软性及弹性最好、干茶外形以及汤色佳^[5]。

以上研究由于所选茶树品种不同,导致最佳萎凋光质不同,使得红茶光质萎凋生产上光源的选择难以确定。为了明确不同茶树品种具体的萎凋光质,本实验以重庆具代表性的茶树品种福鼎大白茶、蜀永1号以及四川中小叶种茶鲜叶为原料加工红茶,系统比较不同的光质、光强萎凋对所制红茶感官品质和理化品质的影响,分析光质、光强与萎凋叶及红茶品质间的相关性,以期明确不同茶树品种红茶最佳的光质萎凋工艺。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

茶鲜叶 福鼎大白茶(*Camellia sinensis* cv. 'Fuding-dabaicha')、蜀永1号、四川中小叶种茶鲜叶1芽2叶开展,茶鲜叶于2019年6月采自重庆市农业科学院茶叶研究所实验茶园(北纬29°75',东经105°71',海拔440 m);硫酸亚铁、酒石酸钾钠、磷酸二氢钾、磷酸氢二钠、水合茛菪三酮、氯化亚锡、蒽酮、硫酸、乙酸乙酯、乙醇、碳酸氢钠、草酸、正丁醇 均为分析纯,均购于重庆寰卫化工有限责任公司。

LED灯(红光660 nm、黄光585 nm、蓝光460 nm)

厦门鑫宝亮光电有限公司;光质萎凋槽 自制;6CR-25揉捻机 四川省名山县山峰茶机厂;JY-6CFJ-4B茶叶全自动发酵机 福建佳友茶叶机械智能科技有限公司;6CH-54茶叶烘焙箱 福建安溪兴民茶叶机械厂;HB43-S水分测定仪 梅特勒-托利多国际股份有限公司;TU1901紫外-可见分光光

度计 北京普析通用仪器有限责任公司。

1.2 实验方法

1.2.1 工艺流程 茶鲜叶→萎凋→揉捻→发酵→干燥。具体工艺参数为:萎凋——叶层厚度3~5 cm,室内温度28℃,时间12~16 h;揉捻——2.5 kg/桶、50 r/min,空揉15 min、轻揉20 min、中揉35 min、重揉20 min;发酵——温度28℃、相对空气湿度98%、时间3~5 h;干燥——热风干燥厚度1~2 cm、90℃烘至水分含量7%以下。

1.2.2 萎凋方法 在28℃条件下,采用3种不同的LED光源(红光660 nm、黄光585 nm、蓝光460 nm,光强分别为1000、1500、2000 lx)进行茶鲜叶萎凋处理,对照为室内自然萎凋处理。被照射叶量2.5 kg、摊叶厚度3~5 cm。

1.2.3 样品处理 按照上述萎凋方法,在萎凋结束时,取150 g萎凋叶,经蒸汽杀青2 min、80℃烘干,用于测定萎凋叶中的主要生化成分。萎凋结束后,按照上述加工方法制作红茶,用于检测红茶感官品质和红茶中的主要生化成分。主要生化成分测定包括茶多酚、游离氨基酸、可溶性糖、茶黄素、茶红素、茶褐素。

1.2.4 检测方法 茶叶感官评价参考GB/T 23776-2018,由3位高级评茶员分别计分,再计算出平均分;茶多酚测定参考GB/T 8313-2002;氨基酸测定采用GB/T 8314-2013,游离氨基酸标准曲线方程为 $y=1.8x-0.0498$, $R^2=0.9638$;可溶性糖测定采用硫酸-蒽酮比色法^[6],可溶性糖标曲方程为 $y=3.1137x-0.0841$, $R^2=0.9979$;茶黄素、茶红素、茶褐素测定采用分光光度法^[7]。

1.3 数据处理

采用SPASS 17.0软件进行单因素方差分析,用最小显著差异法(LSD)比较同一品种不同光质、光强处理下各平均值的差异显著性,用Pearson相关分析检验光质、光强与红茶品质的相关显著性,测定结果以“平均数±标准差”表示。

2 结果与分析

2.1 不同萎凋光质、光强对红茶感官品质的影响

如图1~图3所示,在三种光质萎凋条件下,随光强增加,福鼎大白茶所制的红茶综合感官品质呈升高趋势,蜀永1号所制红茶黄光组先升后降,红光、蓝光组无显著变化($P>0.05$),四川中小叶种所制红茶感官品质在黄光组、蓝光组先升后降,红光组逐渐降

低。其中,福鼎大白茶所制红茶中,2000 lx 黄光组感官品质最好,得分最高为 91.3 分,与 1500 lx 黄光组、1500 和 2000 lx 蓝光组无显著差异,但显著高于其余组($P<0.05$),其干茶外形乌黑、润、有金毫,汤色红、明亮,甜香中带花香,滋味甜醇、爽口,叶底红、明亮,1500 lx 黄光组甜香中带花香,且叶底红匀、明亮。

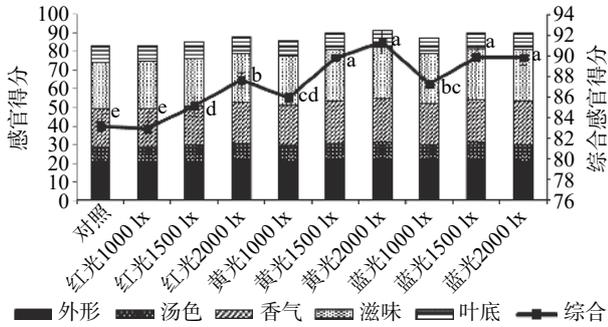


图 1 不同光质、光强萎凋对福鼎大白茶感官品质影响

Fig.1 Effect of different light quality and intensity withering on the sensory assessment of fuding-dabaicha black tea

注:字母不同表示差异显著($P<0.05$);图 2~图 7 同。

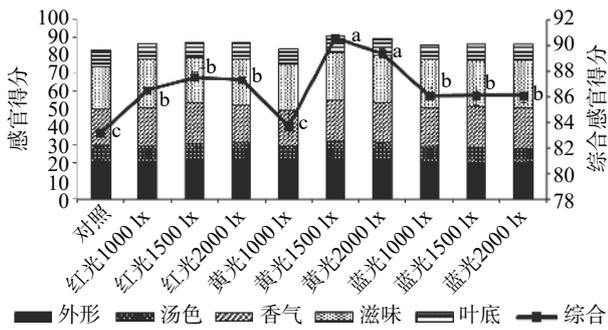


图 2 不同光质、光强萎凋对蜀永 1 号感官品质影响

Fig.2 Effect of different light quality and intensity withering on the sensory assessment of No.1 of shuyong black tea

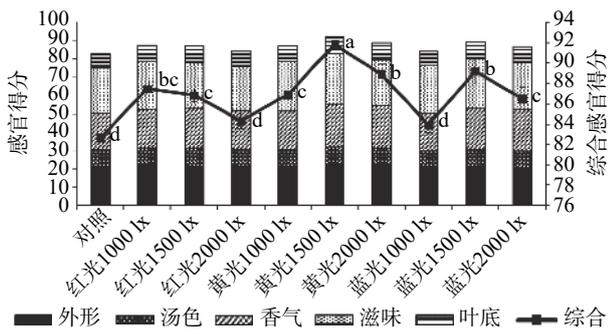


图 3 不同光质、光强萎凋对四川中小叶种感官品质影响

Fig.3 Effect of different light quality and intensity withering on the sensory assessment of sichuan-zhongxiaoyezhong black tea

蜀永 1 号所制红茶中,1500 和 2000 lx 黄光组感官品质最好,得分最高分别为 90.6 和 89.4 分,干茶外形乌褐、润、有金毫,汤色红浓、明亮,甜香明显,滋味较浓、醇,叶底红、亮。四川中小叶种所制红茶中,1500 lx 黄光组感官品质最好,得分最高,91.8 分,干茶乌黑、油润、有金毫,汤色红浓、明亮,甜香高锐,滋味甜醇、爽口,叶底红、较匀、明亮,1500 lx 蓝光组红茶感官品质较好,干茶乌褐、较油

润、有金毫,汤色红、明亮,甜香高锐,滋味甜醇、爽口,叶底红匀、明亮。三个品种所制红茶的对照组得分均最低,干茶润度、汤色红度、香气甜度、滋味醇度和叶底红度均较差。与张贝贝^[8]研究结果一致,即不同光质对红茶香气和滋味影响显著,而且红光、黄光和蓝光有利于提升红茶感官品质,可能是由于光照促进了萎凋叶光合作用,一定程度上提高了萎凋叶的逆境耐受力^[9],更有利于促进生化成分的转化所致。

2.2 不同萎凋光质、光强对红茶及萎凋叶茶多酚含量的影响

如图 4 所示,在三种光质萎凋条件下,随光强增加,三个品种红茶中茶多酚含量呈降低趋势或无明显变化,四川中小叶种红茶对照组的茶多酚含量最低,而福鼎大白茶和蜀永 1 号红茶对照组茶多酚含量则较高;光照对于萎凋叶中茶多酚含量的影响规律不尽一致。其中,福鼎大白茶所制红茶中,1000 lx 蓝光组

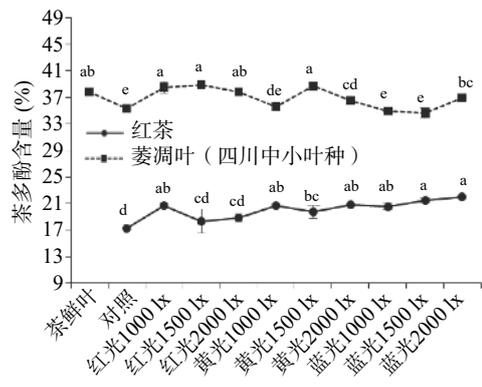
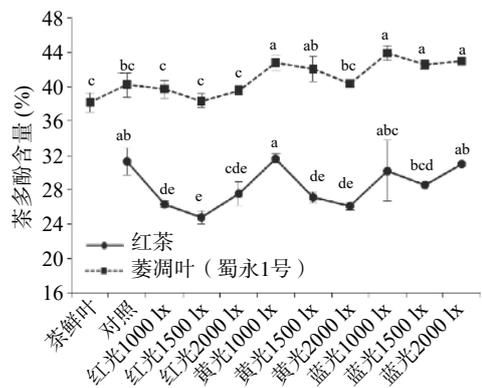
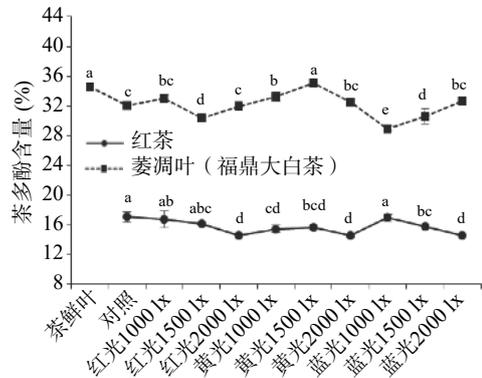


图 4 不同光质、光强萎凋所制红茶及萎凋叶茶多酚含量
Fig.4 Tea polyphenol content of black tea and withered leaf under different light quality and intensity withering

茶多酚含量最高,为 16.9%,但在对应的萎凋叶中,含量则最低,为 29.0%,显著低于其余组($P<0.05$);而黄光组、2000 lx 红光组、2000 lx 蓝光组红茶的茶多酚含量最低,其中,黄光组茶多酚含量分别为 15.5%、15.6%、14.5%,而在对应的萎凋叶中,茶多酚含量则较高。

蜀永 1 号红茶中,1000 lx 黄光组茶多酚含量最高,为 31.7%,其次是 1000 和 2000 lx 蓝光组,三者无显著差异,且在对应的萎凋叶中,茶多酚含量也最高;而红光组、1500 和 2000 lx 黄光组红茶最低,其中,1500 lx 黄光组含量为 27.2%,且在对应的萎凋叶中,茶多酚含量也较低,表现出与福鼎大白茶实验组截然相反的变化趋势。

四川中小叶种红茶中,1500、2000 lx 红光组以及 1500 lx 黄光组茶多酚含量相对较低,但其对应的萎凋叶则较高,表现出与福鼎大白茶实验组相似的变化趋势。而张贝贝^[8]研究表明,不同的光质萎凋对红茶茶多酚含量无显著影响,与本实验结果有所不同,可能是所选茶树品种、光强不同的原因导致存在差异。茶多酚含量的升降,可能与光质激发了多酚氧化酶(PPO)活性^[10]以及 PPO 活性具有光敏性有关^[11]。

2.3 不同萎凋光质、光强对红茶及萎凋叶游离氨基酸含量的影响

如图 5 所示,三种光质对所试品种红茶以及萎凋叶中游离氨基酸含量的影响规律存在明显差异,但经萎凋后,萎凋叶中的游离氨基酸含量均显著高于茶鲜叶,这与多数研究结果一致^[4,10-11]。福鼎大白茶实验组中,光质萎凋能较好保持或提升萎凋叶游离氨基酸含量,红茶中游离氨基酸含量经光质萎凋后则有升有降;其中,1500 lx 蓝光组红茶氨基酸含量最高,为 3.7%,与对照组、1000 lx 红光组、1000 lx 黄光组红茶无显著差异,但显著高于其余组($P<0.05$),1500 lx 红光组红茶最低,为 3.2%;而 1000 lx 黄光组萎凋叶最低,为 3.4%,其余组之间无显著差异($P>0.05$)。

蜀永 1 号实验组中,随光强增加,对应的红茶与萎凋叶中,黄光组、蓝光组的游离氨基酸含量先升后降,而红光组红茶降低、萎凋叶却先升后降;各组红茶的氨基酸含量无显著差异,对照组、2000 lx 红光组、2000 lx 蓝光组萎凋叶的氨基酸含量最低,其余组萎凋叶差异不显著,但 1500 lx 黄光组红茶和萎凋叶相对较高,分别为 2.8%、3.2%。

四川中小叶种实验组中,随光强增加,各组红茶及萎凋叶中的游离氨基酸含量总体呈降低趋势;1500 lx 红光组、1500 lx 蓝光组红茶的氨基酸含量较低,分别为 3.0%、3.1%,其余组红茶无显著差异;对照组、2000 lx 红光组、2000 lx 蓝光组萎凋叶的氨基酸含量较低,其余组萎凋叶则较高;而黄光组红茶及萎凋叶的氨基酸含量相对保持较高,三种光强所制红茶氨基酸含量分别为 3.4%、3.4%、3.3%。栽培上认为蓝光会降低茶鲜叶碳氮比,促进蛋白质、氨基酸的

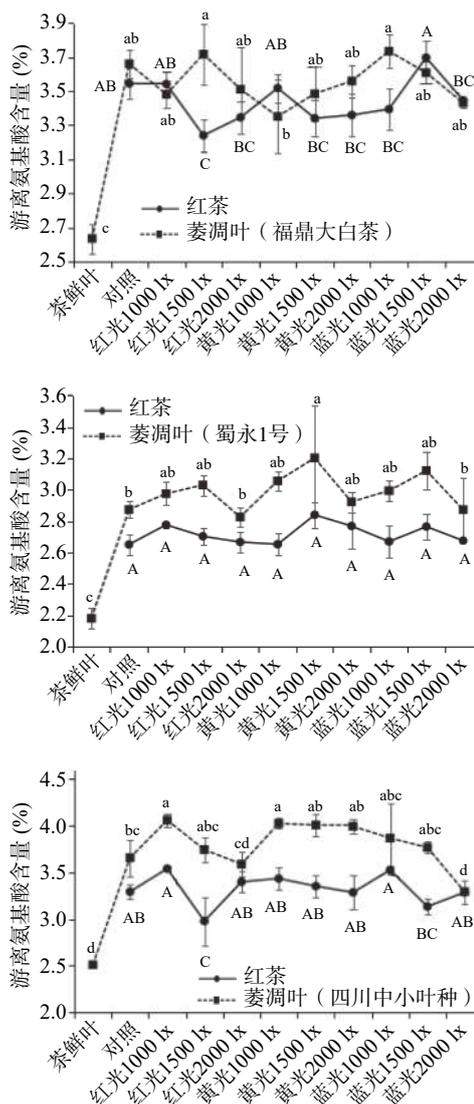


图 5 不同光质、光强萎凋所制红茶及萎凋叶游离氨基酸含量

Fig.5 Amino acids content of black tea and withered leaf under different light quality and intensity withering

合成^[12-13],与本实验结果存在差异,可能是所选的光强不同造成的。研究发现,蛋白水解、氨基酸合成途径均对茶叶萎凋叶游离氨基酸的积累有贡献作用,其中,蛋白水解途径的贡献作用更大^[13-15]。

2.4 不同萎凋光质、光强对红茶及萎凋叶可溶性糖含量的影响

如图 6 所示,三种光质对所试品种红茶以及萎凋叶中可溶性糖含量的影响规律存在明显差异。福鼎大白茶实验组中,与对照组相比,光质萎凋对红茶中可溶性糖含量无显著影响,但能提升萎凋叶中可溶性糖含量;2000 lx 红光组、2000 lx 黄光组红茶最高,均为 5.2%;2000 lx 红光组萎凋叶最高,为 4.9%,对照组萎凋叶最低,为 4.3%,其余组无显著差异($P>0.05$)。

蜀永 1 号实验组中,与对照组相比,光质萎凋能保持或提升红茶中可溶性糖含量,能保持或降低萎凋叶中可溶性糖含量;1000 lx 黄光组以及各蓝光组红茶可溶性糖含量最高,分别为 5.2%、5.0%、5.2%、

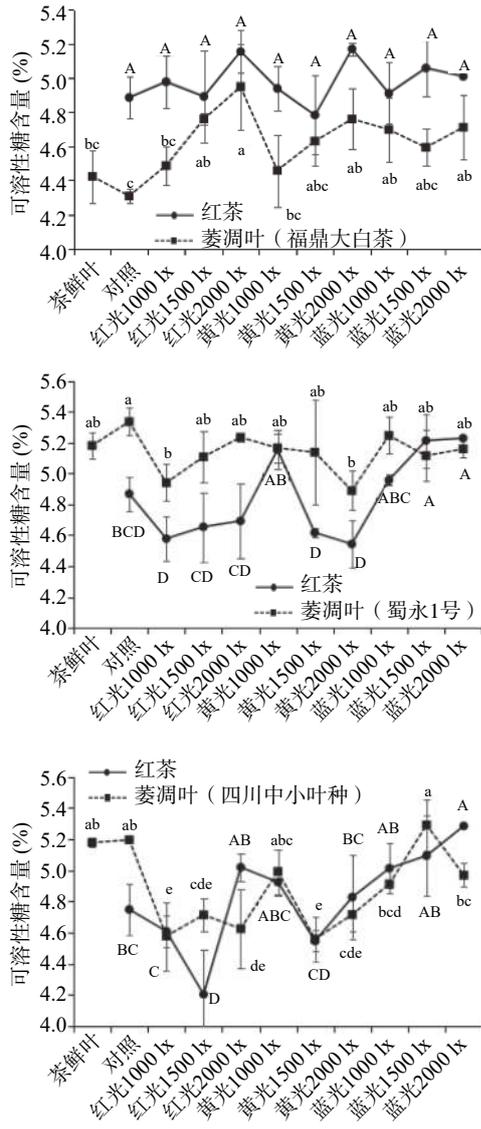


图 6 不同光质、光强萎凋所制红茶及萎凋叶可溶性糖含量
Fig.6 Soluble sugar content of black tea and withered leaf under different light quality and intensity withering

5.2%, 其余组间无显著差异; 1000 lx 红光组以及 2000 lx 黄光组萎凋叶最低, 均为 4.9%, 其余组间无显著差异($P>0.05$)。

四川中小叶种实验组中, 与对照组相比, 光质萎凋能保持或降低萎凋叶中可溶性糖含量, 红茶中的可溶性糖含量则有升有降, 随光强增加, 红光组、黄光组红茶中可溶性糖含量先降后升, 蓝光组红茶逐渐升高; 蓝光组红茶可溶性糖含量高于其余组, 以 2000 lx 蓝光组最高, 为 5.3%, 1500 lx 红光组红茶最低, 为 4.2%; 蓝光组萎凋叶高于其余组萎凋叶, 以 1500 lx 蓝光组最高, 为 5.3%, 1000 lx 黄光组、对照组萎凋叶较高, 分别为 5.0%、5.2%, 其余均较低。有研究表明, 光照萎凋可以促进可溶性糖的积累^[8,16]。在萎凋过程中, 可溶性糖含量的动态变化是糖类分解和呼吸作用, 以及光合作用的共同结果。

2.5 不同萎凋光质、光强对红茶色素含量的影响

如图 7 所示, 三种光质对所试品种红茶色素含

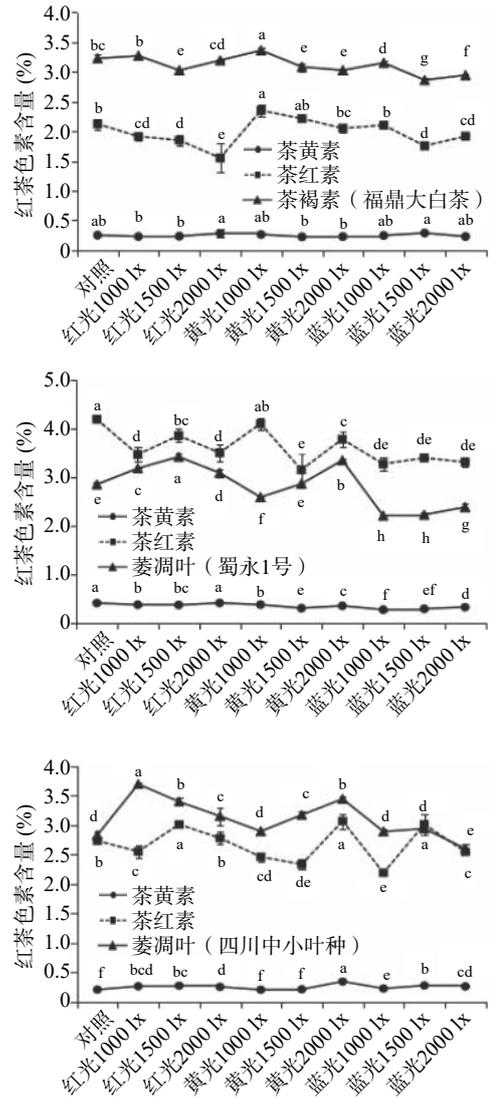


图 7 不同光质、光强萎凋所制红茶茶色素含量
Fig.7 Pigment content of black tea under different light quality and intensity withering

量的影响规律存在明显差异。福鼎大白茶实验组中, 与对照组相比, 光质萎凋能保持或提升茶黄素含量, 其中黄光能保持或提升茶红素含量, 蓝光能降低茶褐素含量; 2000 lx 红光组、1500 lx 蓝光组的茶黄素含量最高, 分别为 0.283%、0.288%, 二者无显著差异, 其茶红素、茶褐素含量相对较低, 茶黄素与茶红素比值分别高达 0.182、0.164, 茶黄素与茶褐素比值分别高达 0.089、0.101; 1500、2000 lx 黄光组茶黄素、茶红素含量较高, 茶黄素含量分别为 0.225%、0.229%, 茶红素含量分别为 2.211%、2.049%; 茶褐素含量较低分别为 3.081%、3.025%。

蜀永 1 号试验组中, 与对照组相比, 光质萎凋能保持或降低茶黄素、茶红素含量, 蓝光能降低茶褐色含量; 2000 lx 红光组和对照组的茶黄素含量最高, 分别为 0.410%、0.408%, 明显高于其余组, 2000 lx 红光组茶黄素与茶红素的比值最高为 0.118, 1000 lx 黄光组茶黄素、茶红素含量较高, 分别为 0.375%、4.091%, 而茶褐素含量则较低, 为 2.582%, 明显低于

对照,茶黄素与茶褐素、茶红素与茶褐素的比值最高,分别为0.145、1.584。

四川中小叶种实验组中,与对照组相比,光质萎凋能保持或提升茶黄素含量,这与张贝贝^[8]的研究结果一致,但红光和黄光同时也会促进茶褐素的生成;2000 lx 黄光组的茶黄素含量最高,为0.348%,显著高于其余处理,其茶红素含量最高,为3.064%,与1500 lx 红光组、1500 lx 蓝光组无显著差异,但显著高于其余组($P<0.05$),其茶黄素与茶红素比值最高,为0.114,茶黄素与茶褐素比值最高,为0.101,而1500 lx 蓝光组茶黄素含量较高,为0.280%,与1000、1500 lx 红光组无显著差异,但显著高于其余组,其茶褐素含量较低,为2.937%,茶红素与茶褐素比值最高,为1.025。茶黄素、茶红素、茶褐素是茶多酚经多酚氧化酶以及过氧化物酶催化而成,三种光质对所试品种红茶色素含量的影响不同,与品种间酶活性大小以及酶对光质的敏感性有关。

2.6 萎凋光质、光强与红茶品质的相关性

由于不同的萎凋光质、光强对红茶及其萎凋叶品质的影响规律存在差异,为进一步探寻光质萎凋对红茶品质的影响规律,本文分析了光质萎凋与红茶品质的相关性。

从表1可知,对于福鼎大白茶,红光、黄光光强与萎凋叶、红茶中的茶多酚含量均呈负相关,但不显著,而蓝光光强则与萎凋叶中茶多酚含量呈显著正相关,相关系数为0.998,与红茶茶多酚含量呈显著负相关,相关系数为-0.999;黄光光强与萎凋叶、红茶中的游离氨基酸含量之间的相关系数分别为0.991、-0.811,而蓝光光强则与萎凋叶中的游离氨基酸呈较大负相关,相关系数为-0.993;红光光强与萎凋叶中的可溶性糖含量呈较大正相关,相关系数为0.994,黄光光强与萎凋叶、红茶中的可溶性糖含量相关系数分别为-0.92、0.997;红光光强与茶黄素含量具有较大正相关、与茶红素含量具有较大负相关,相关系数分别为0.906、-0.939,而黄光、蓝光光强则与三种茶色素之间具有较大负相关,其中,黄光光强与茶红素含量具有显著负相关,系数为-0.999。

对于蜀永1号,三种光质的光强与萎凋叶中茶多酚含量间存在不同程度的负相关,其中,黄光光强与萎凋叶、红茶中茶多酚含量之间的负相关程度较大,系数分别为-0.969、-0.944;三种光质的光强与萎凋叶中游离氨基酸含量间存在不同程度的负相关,其中,红光光强与萎凋叶、红茶中游离氨基酸含量之间的负相关程度较大,系数分别为-0.721、-0.967;红光光强与萎凋叶及红茶中的可溶性糖含量间存在较大正相关,系数分别为0.995、0.988,而黄光光强则与萎凋叶及红茶中的可溶性糖含量间存在较大负相关,系数分别为-0.911、-0.920;红光、蓝光光强与红茶茶黄素含量间存在一定正相关,后两者间相关系数较大为0.987,黄光、蓝光光强与红茶茶褐素含量间存在较大正相关,系数分别为0.987、0.911。

对于四川中小叶种,红光光强与萎凋叶、红茶中的茶多酚含量间存在一定负相关,系数分别为-0.629、-0.773,而黄光、蓝光则与之存在一定程度正相关,其中蓝光光强与萎凋叶、红茶中的茶多酚含量间的相关系数较大,分别为0.803、0.987;三种光质的光强与萎凋叶、红茶中的游离氨基酸含量间均存在负相关,与萎凋叶中的游离氨基酸含量间的负相关性较大,系数分别为-0.979、-1、-0.935,其中,黄光光强与红茶中的游离氨基酸含量间存在较大负相关,系数为-0.997;黄光光强与萎凋叶、红茶中的可溶性糖含量间存在一定负相关,蓝光光强与红茶中的可溶性糖含量间存在较大正相关,系数为0.973;红光光强与茶黄素、茶褐素含量均存在负相关,其中,与茶褐素含量存在较大负相关,系数为-0.998,而黄光光强则与三种色素含量间存在正相关,其中,与茶褐素含量间存在极显著正相关,系数为1,蓝光光强与茶褐素含量间存在负相关,系数为-0.791。

3 讨论

茶鲜叶在采后未经过杀青时,仍然具有一定生理活性,其光合、呼吸作用仍在继续,光敏色素和酶可以在不同光质条件下响应应激反应^[17]。光作为一种能源物质和信号分子,为茶叶生产提供能量需求和传导物质代谢信号,光照处理对茶鲜叶的生理特征和

表1 光质、光强与萎凋叶及红茶品质间的相关性

Table 1 Correlation analysis between the quality and intensity of light and the quality of withered leaf and black tea

品种	光强	萎凋叶茶多酚	红茶茶多酚	萎凋叶游离氨基酸	红茶游离氨基酸	萎凋叶可溶性糖	红茶可溶性糖	红茶茶黄素	红茶茶红素	红茶茶褐素
福鼎大白茶	红光	-0.39	-0.957	0.115	-0.626	0.994	0.644	0.906	-0.939	-0.309
	黄光	-0.313	-0.822	0.991	-0.811	-0.92	0.997*	-0.814	-0.999*	-0.934
	蓝光	0.998*	-0.999*	-0.993	0.182	0.075	0.655	-0.298	-0.536	-0.694
蜀永1号	红光	-0.069	0.427	-0.721	-0.967	0.995	0.988	0.792	0.081	-0.275
	黄光	-0.969	-0.944	-0.5	0.624	-0.911	-0.92	-0.342	-0.331	0.987
	蓝光	-0.676	0.327	-0.48	0.091	-0.676	0.897	0.987	0.308	0.911
四川中小叶种	红光	-0.629	-0.773	-0.979	-0.24	0.381	0.5	-0.549	0.495	-0.998*
	黄光	0.282	0.091	-1**	-0.997	-0.621	-0.233	0.888	0.774	1.000**
	蓝光	0.803	0.987	-0.935	-0.596	0.147	0.973	0.687	0.431	-0.791

注:红色越深表示负相关性越大,越浅表示正相关性越大;*表示差异显著, $P<0.05$;**表示差异极显著, $P<0.01$ 。

化学特征以及茶叶感官品质和化学品质影响显著^[10]。项目组前期通过检测叶绿素荧光参数发现,红光、黄光、蓝光可以提高萎凋叶逆境耐受力,蓝光效果最好,黄光效果居中^[9]。已有研究表明,光质萎凋能显著提高茶叶中蛋白酶活性以及游离氨基酸含量,并调控游离氨基酸组成^[3,18],主要是因为蛋白水解导致氨基酸的积累和组分的变化^[13-15]。光质萎凋可改变茶叶挥发性香气物质种类,提高香气总量,促进 β -葡萄糖苷酶活性,从而促进具有花香、甜香物质的形成,进而提升茶叶品质^[19-23]。而光质萎凋对可溶性糖含量、茶多酚的影响规律不尽一致^[10-11,24],但光质萎凋可以降低酯型儿茶素含量^[16]。

4 结论

实验表明,与对照相比,光质萎凋能保持或提升福鼎大白茶、蜀永 1 号萎凋叶游离氨基酸含量,但过强的光照则会降低四川中小叶种萎凋叶游离氨基酸含量;蓝光可提升蜀永 1 号、四川中小叶种红茶可溶性糖含量,还可降低福鼎大白茶、蜀永 1 号红茶茶褐素含量,光质可保持或提升四川中小叶种茶黄素含量,但红光和黄光会促进其茶褐素的生成。相关分析表明,黄光光强与福鼎大白茶红茶可溶性糖含量呈显著正相关,与四川中小叶种茶褐素含量存在极显著正相关,与蜀永 1 号萎凋叶和红茶茶多酚含量呈较大负相关,但不显著,而蓝光光强与四川中小叶种红茶可溶性糖含量呈较大正相关,但不显著。综合感官品质发现,福鼎大白茶红茶最佳的萎凋光质为 1500 lx 黄光、2000 lx 黄光,两者红茶茶多酚含量较低,分别为 15.6%、14.5%,茶红素含量较高,分别为 2.211%、2.049%,而茶褐素含量较低分别为 3.081%、3.025%;蜀永 1 号红茶最佳的萎凋光质为 1500 lx 黄光,红茶游离氨基酸含量最高为 2.8%;四川中小叶种红茶最佳的萎凋光质为 1500 lx 黄光、1500 lx 蓝光,前者游离氨基酸含量较高,为 3.4%,后者茶黄素含量较高,为 0.280%,茶褐素含量较低,为 2.937%。故 1500 lx 黄光有利于提升所选品种红茶品质。本实验仅比较了不同光质、光强对不同茶树品种红茶感官品质及主要理化品质的影响,缺少对多酚、氨基酸组分以及香气组分的检测分析。在萎凋过程中,茶鲜叶内部发生着系列代谢物质变化。采用蛋白组学、代谢组学、转录组学等多组学技术研究可从整体水平上研究采后茶鲜叶对光照的响应,可找准代谢的关键调控位点,为改进制茶工艺、提升茶叶品质提供更准确的理论依据。

参考文献

[1] 梅宇,梁晓. 2019 年中国茶叶产销形势报告[J]. 茶世界, 2020, Z1: 1-14.
 [2] 宛晓春. 茶叶生物化学(第三版)[M]. 北京: 中国农业出版社, 2003: 8, 34, 104, 173.
 [3] 黄藩,陈琳,周小芬,等. 蓝光、红光对工夫红茶萎凋中鲜叶氨基酸和儿茶素组分含量的影响[J]. 福建农业学报, 2015, 30(5): 509-515.
 [4] 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.

[5] 滑金杰,袁海波,江用文,等. 萎凋光照强度对鲜叶物理特性及呼吸特性影响的研究[J]. 茶叶科学, 2014, 34(3): 288-296.
 [6] 傅博强,谢明勇,聂少平,等. 茶叶中多糖含量的测定[J]. 食品科学, 2001, 22(11): 69-73.
 [7] 黄意欢. 茶学实验技术[M]. 北京: 中国农业出版社, 2002: 135-136.
 [8] 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.
 [9] 罗红玉,唐敏,翟秀明,等. 不同光质对红茶萎凋叶叶绿素荧光参数及生化品质的影响[J]. 茶叶科学, 2019, 39(2): 131-138.
 [10] 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.
 [11] 金雨青. 基于光复合技术改进工夫红茶工艺参数的研究[D]. 杭州: 浙江农林大学, 2017.
 [12] Wang Y, Zheng P C, Liu P P, et al. Novel insight into the role of withering process in characteristic flavor formation of teas using transcriptome analysis and metabolite profiling[J]. *Food Chemistry*, 2019, 272: 313-322.
 [13] 珂茜. 基于转录组的红茶红光萎凋过程中氨基酸含量变化的机理[D]. 武汉: 华中农业大学, 2016.
 [14] 陈勤操. 代谢组学联合蛋白组学解析白茶的品质形成机理[D]. 武汉: 华中农业大学, 2019.
 [15] Wu Z J, Ma H Y, Zhuang J. iTRAQ-based proteomics monitors the withering dynamics in postharvest leaves of tea plant (*Camellia sinensis*)[J]. *Molecular Genetics & Genomics Mgg*, 2017, 293 (1): 45-59.
 [16] 黄藩. 工夫红茶光补偿萎凋技术工艺研究[D]. 杭州: 中国农业科学院茶叶研究所, 2015.
 [17] Wang D, Kubota K, Kobayashi A, et al. Analysis of glycosidically bound aroma precursors in tea leaves. 3. change in the glycoside content of tea leaves during the Oolong tea manufacturing process[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2001, 49(4): 5391-5396.
 [18] 王奕,罗红玉,钟应富,等. 不同光质处理对萎凋叶水解蛋白酶活性及含氮成分的影响[C]// 第十届海峡两岸暨港澳茶业学术研讨会论文集. 山东: 中国茶叶学会, 2018, 182-184.
 [19] 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.
 [20] 王登良,张灵枝,毛明辉. 不同光照强度晒青对单枞茶香气成分的影响[J]. 园艺学报, 2005, 32(4): 669-672.
 [21] 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.
 [22] Fu Xiumin, Chen Yiyong, Mei Xin, et al. Regulation of formation of volatile compounds of tea (*Camellia sinensis*) leaves by single light wavelength[J]. *Scientific Reports*, 2015, 5: 1-11.
 [23] Ai Zeyi, Zhang Beibei, ChenYuqiong, et al. Impact of light irradiation on black tea quality during withering[J]. *Journal of Food Science and Technology*, 2017, 54(5): 1212-1227.
 [24] 王婷婷,陈寿松,俞少娟,等. LED 光萎凋对乌龙茶雨水青的光响应及其品质的影响[J]. 热带作物学报, 2016, 37(1): 47-52.