

不同光配比对福鼎大白茶叶片生理和主要氨基酸积累的影响

王加真, 刘义富, 肖尧, 周玲艳, 曾一霞, 宋世霞, 赵蛾, 秦中

Effect of Different Light Ratio on Physiology and Main Amino acid Accumulation of Fuding-dabaicha Leaf

WANG Jiazhen, LIU Yifu, XIAO Yao, ZHOU Lingyan, ZENG Yixia, SONG Shixia, ZHAO E, and QING Zhong

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020120156>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

真空厌氧间歇技术富集福鼎大白茶茶鲜叶GABA的参数优化

Optimization of GABA enrichment parameters in Fuding Dabaicha fresh tea leaves by the treatment of batch vacuum technique anaerobic

食品工业科技. 2018, 39(11): 156-160

茶氨酸联合 γ -氨基丁酸改善CUMS大鼠抑郁症状的研究

The Ameliorative Effect of L-theanine Combined with γ -aminobutyric Acid on CUMS-induced Depression in Rats

食品工业科技. 2020, 41(2): 292-297,306

一种酸枣仁提取物、茶氨酸、 γ -氨基丁酸配方产品改善睡眠作用研究

Sleep Improvement Effects of *Semen Ziziphi Spinosae* Extracts, Theanine and γ -Aminobutyric Acid Formula Products

食品工业科技. 2020, 41(20): 303-306

光质萎凋对不同茶树品种红茶品质的影响

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

食品工业科技. 2021, 42(10): 15-21

福鼎白茶风味的电子鼻和电子舌评价

Evaluation of Fuding white tea flavor using electronic nose and electronic tongue

食品工业科技. 2017(12): 25-30

不同红茶中主要氨基酸含量及其对小鼠自主活动的影响研究

Comparison of the main amino acids content in different black tea and its effect on locomotor activity of mice

食品工业科技. 2017(17): 300-304



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

王加真, 刘义富, 肖尧, 等. 不同光配比对福鼎大白茶叶片生理和主要氨基酸积累的影响 [J]. 食品工业科技, 2021, 42(19): 29–35.
doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2020120156

WANG Jiazhen, LIU Yifu, XIAO Yao, et al. Effect of Different Light Ratio on Physiology and Main Amino acid Accumulation of Fuding-dabaicha Leaf[J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 42(19): 29–35. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2020120156

不同光配比对福鼎大白茶叶片生理和主要氨基酸积累的影响

王加真^{1,2}, 刘义富^{1,2,*}, 肖尧¹, 周玲艳¹, 曾一霞¹, 宋世霞¹, 赵蛾¹, 秦中³

(1.遵义师范学院生物与农业科技学院, 贵州遵义 563000;

2.遵义师范学院茶叶研究所, 贵州遵义 563000;

3.遵义师范学院信息工程学院, 贵州遵义 563000)

摘要: 研究不同光比对一年生福鼎大白茶树幼苗叶片生理及主要氨基酸含量的影响。在 LED 光谱可调人工气候箱内, 设置高红光占比光源 L1 (红光占比 71.8%)、高蓝光占比光源 L2 (蓝光占比 62.7%)、红蓝混合光源 L3 (红光占比 43.1%、蓝光占比 29%、绿光占比 27.9%) 和对照白光 L0 (绿光占比 82.1%) 四种光处理, 在 $100 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 光子通量密度、12 h 光周期条件下实施试验, 采用氮平衡指数仪测定叶片生长指数, 氨基酸自动分析仪测定茶氨酸、谷氨酸和天冬氨酸含量。结果表明, 随着处理时间的增加, 各光处理均显著增加了茶树叶片叶绿素指数和氮平衡指数, 与 L0 相比, L1 处理显著提高茶树叶片氮平衡指数 ($P<0.05$), 其次为 L3 处理, 类黄酮指数及茶多酚含量各光处理间无显著差异 ($P>0.05$)。与 L0 相比, L3 和 L2 处理下叶片茶氨酸、谷氨酸、天冬氨酸含量显著提高 ($P<0.05$)。综上, L3 处理 (红光、蓝光、绿光配比均衡) 更有利于茶树叶片生长及氨基酸积累, 能兼顾茶叶产量与品质, 是适宜茶树栽培的 LED 光源。

关键词: 福鼎大白茶, 光配比, 氮平衡指数, 茶氨酸

中图分类号: TS272

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2021)19-0029-07

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2020120156

本文网刊:



Effect of Different Light Ratio on Physiology and Main Amino acid Accumulation of Fuding-dabaicha Leaf

WANG Jiazhen^{1,2}, LIU Yifu^{1,2,*}, XIAO Yao¹, ZHOU Lingyan¹, ZENG Yixia¹, SONG Shixia¹,
ZHAO E¹, QING Zhong³

(1.College of Biology and Agriculture Science and Technology, Zunyi Normal University, Zunyi 563000, China;

2.Tea Research Institute, Zunyi Normal University, Zunyi 563000, China;

3.College of Information Engineering, Zunyi Normal University, Zunyi 563000, China)

Abstract: To explore the effect of different ratio of light on physiological reaction and main amino acid accumulation of annual Fuding-dabaicha leaves. The L1 (red light accounted for 71.8%), L2 (blue light accounted for 62.7%), L3 (red 43.1%, blue 29%, green accounted for 27.9%) and L0 (green light accounted for 82.1%) were set in artificial climate boxes with $100 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ photosynthetic photon flux density and 12 h photo period. The leaf growth index were determined by nitrogen balance index instrument and the theanine, glutamate and aspartate contents were determined by an automatic amino acid analyzer. The results showed that with the increase of treatment time, the chlorophyll index and nitrogen balance index of tea leaves were significantly increased by all light treatments. Compared with L0, L1 significantly increased the nitrogen balance index of tea leaves ($P<0.05$), followed by L3, index of flavonoids and polyphenols content between different light treatment had no significant difference. Compared with L0, the content of theanine, glutamate and aspartate under L3 and

收稿日期: 2020-12-18

基金项目: 贵州省科技支撑计划 (黔科合 2020-1Y071); 贵州省教育厅科研项目 (黔教合 KY 字 2017-023); 遵义市科技局项目 (遵市科人才 2020-2; 遵市科合 HZ 字 2020-15); 博士基金项目 (遵师 138[2019]22 号)。

作者简介: 王加真 (1977-), 男, 博士, 教授, 研究方向: 茶园生态、茶叶品质及功能产品开发, E-mail: 247054993@qq.com。

*** 通信作者:** 刘义富 (1969-), 男, 博士, 副教授, 研究方向: 茶园生态、茶叶品质及功能产品开发, E-mail: 1822144405@qq.com。

L2 treatments increased significantly. In conclusion, L3 (an equilibrium ratio of red, blue and green light) can be considered as a suitable artificial light source for tea leaves growth and to ensure the maximum retention of main amino acid.

Key words: *Camellia sinensis* cv., Fuding-dabaicha; light ratio; nitrogen balance index; theanine

中国是茶树栽培和茶叶饮用的起源地,有丰富的茶树野生资源和栽培品种,其中福鼎大白茶(*Camellia sinensis* cv., Fuding-dabaicha)作为国家级良种,种植区域广布全国,且是贵州的主栽茶树品种之一^[1],也是多总量种品牌茶叶的生产原料,含有较高的游离氨基酸^[2]。茶叶中游离氨基酸通过影响叶底、茶汤滋味、香气及汤色而影响茶叶品质^[3-6],同时还具有多种保健功能^[7]。其中茶氨酸被认为是茶树的特征性氨基酸^[8],在嫩叶中约占游离氨基酸总量的40%~70%^[9],具有一定的降压、安神、改善记忆和增强学习能力、抗肿瘤和预防血管疾病等功能^[10-13]。Dias 等^[14]研究结果显示 L-茶氨酸与人体细胞增殖和调节葡萄糖代谢有关。茶氨酸还与茶汤鲜爽味高度相关^[15]。与茶汤鲜爽味有关的氨基酸还有谷氨酸和天冬氨酸等^[16],这两种氨基酸是细胞中多种氨基酸代谢的原料^[17]。谷氨酸为其他氨基酸的合成提供氨基和碳骨架,可合成 γ -氨基丁酸、精氨酸和脯氨酸,并且是叶绿素合成的前体物质^[18]。天冬氨酸是合成赖氨酸、苏氨酸、甲硫氨酸和异亮氨酸的前体物质^[19],这些氨基酸均为有益于人体的氨基酸^[20]。这三种氨基酸含量不仅直接关系到茶叶的品质,还通过代谢途径关联其他氨基酸的合成,从而间接影响茶叶的品质和茶树生理,提高它们的含量,有利于茶叶品质的改善和调节茶树生长。游离氨基酸含量是由多基因控制的数量性状,受光照、温度及土壤养分等环境影响较大^[21-23]。因此可通过选育高含量品种或改善栽培环境来提高茶树叶片中氨基酸含量。但利用育种方法选育高氨基酸含量品种耗时长、成本高,且需要相应的资源,而通过调控环境促进氨基酸含量增长见效快、成本低。

光照通过控制光合作用而影响茶树生理和氨基酸的合成与分解代谢,从而影响茶树生长和氨基酸的含量。光质对植物的新陈代谢和基因表达等有广泛的调节作用,造成植物的多种化学组分含量发生变化,进而影响品质形成^[24]。因此控制光质可以调控作物化学成分的含量和作物品质。茶叶的品质对光质较敏感,蓝紫光影响茶叶中氨基酸及部分香气物质的含量^[25],红光可以降低鲜叶中儿茶素含量,蓝光可以提高鲜叶中氨基酸含量,从而使萎凋后茶叶中儿茶素降低,氨基酸升高^[26]。绿光则参与植物光合作用,影响光合能力^[27-29]。茶树栽培环境研究中以绿光为背景研究不同比例红蓝光对茶树生长动态及主要氨基酸的影响目前尚未有相关报道。近年来随着光电技术的革新,人工光源被广泛用于植物种植及智慧农业领域,其中发光二极管(light emitting diode, LED)因其具有节能、环保、寿命长等特点而成为绿色光源,

在植物生长照明应用中具有较好的前景^[30-33]。

本研究以福鼎大白茶一年生幼苗为材料,研究了不同光照下茶叶叶绿素指数、氮平衡指数、类黄酮指数、花青素指数的变化规律及主要氨基酸积累量的差异,揭示不同红蓝光配比光源对茶树叶片主要氨基酸积累的差异与生理适应机制,以期深入开发基于增加茶叶茶氨酸积累的光质调控技术提供理论依据,为工厂化栽培优质茶树提供技术支撑,促进绿色智慧茶产业的发展。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

试验茶苗 由贵州省湄潭县国家农业科技园区茶树良种繁育中心繁育,选取高度一致的盆栽福鼎大白茶一年生幼苗(株高 (20.0 ± 0.5) cm); 没食子酸、茶氨酸、谷氨酸、天冬氨酸标样 Sigma 公司; 硫酸亚铁、酒石酸钾钠、磷酸氢二钠、磷酸二氢钾、三氯化铝、氯化亚锡、茚三酮 均为分析纯, 国药集团化学试剂有限公司。

AKF-ZWG-V0 高精度光谱可调型人工气候箱 安徽昂科丰光电科技公司; HAAS-2000 高精度快速光谱辐射计 杭州远方光电公司; Dualex4 氮平衡指数测量仪 法国 FORCE-A 公司; LAM-A 叶面积扫描仪 北京恒奥德仪器仪表有限公司; S433D 氨基酸自动分析仪 德国 sykam 公司; Eppendorf MiniSpin 高速离心机 德国艾本德公司; UV-9000S 紫外可见光光度计 上海元析仪器有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 光谱参数测定 将 HAAS-2000 高精度快速光谱辐射计的光纤出光口接入仪器前面板光纤接口处,并将旋钮旋紧,将光纤出光口为圆形的一端连接到积分球,分别将四种试验光源放入积分球中,选择自动积分进行测量后使用 SPIC-200 V1.00 315 软件分析光谱数据,获得光源峰值波长、蓝光占比、绿光占比、红光占比数据。

1.2.2 生长指数测定 采用 Dualex 4 氮平衡指数测量仪分别于光照处理后 0、7、14、21 d 原位测定茶苗第一片叶的叶绿素指数(chlorophyll index, CHI)、氮平衡指数(nitrogen balance index, NBI)、花青素指数(anthocyanin index, Anth)、类黄酮指数(flavonoids index, Flav),每个光处理选取 6 片叶,每片叶选取分布均匀的 8 个测定点。分别在光照处理开始(0 d)、结束(21 d)时用叶面积扫描仪(LAM-A)原位测量上述对应叶的面积,计算不同光处理下的茶树叶面积增加量。

1.2.3 叶片生化成分测定 于处理后 21 d,每个处理

摘取 1.2.2 实验中的对应叶片, 称其鲜重, 蒸汽杀青 3 min, 于 80 ℃ 条件下烘干至恒重并称重, 计算叶片含水量, 磨碎样品。采用酒石酸铁比色法(GB/T 8313-2008 茶叶中茶多酚和儿茶素类含量的检测方法)测定茶多酚含量; 采用茚三酮显色法(GB/T 8314-2002 茶游离氨基酸总量测定)测定总游离氨基酸含量; 混合氨基酸标准溶液和样品测定液分别注入 S433D 氨基酸自动分析仪, 测定条件: 磺酸型阳离子树脂色谱柱(4.6 mm×60.0 mm), 柱温 57.0 ℃; 反应器温度 130 ℃; 泵 A(洗脱溶液)流速为 0.40 mL/min, 泵 B(茚三酮溶液)流速为 0.35 mL/min, 进样量为 20 μL; 检测波长为 570 nm 和 440 nm, 以外标法通过峰面积计算样品测定液中茶氨酸、谷氨酸、天冬氨酸的浓度。

1.3 数据统计分析

采用 SPSS18.0 软件进行方差显著性分析。图表采用 Excel2013 软件进行制作, 并采用 Adobe Photoshop CS5 处理后输出。

2 结果与分析

2.1 不同光源的光谱特征分析

为研究光质对茶叶生理及品质的影响, 实验选择了不同颜色的 LED 灯为光源, 其光的组成如表 1 所示, 白光源(L0)的峰值波长为 454 nm, 其中蓝光占比 5.2%, 绿光占比 82.1%, 红光占比 12.7%; 高红光占比光源(L1)的峰值波长为 659 nm, 红光占比 71.8%, 蓝光占比 1.1%, 绿光占比 27.1%; 高蓝光占比光源(L2)的峰值波长为 447 nm, 蓝光占比 62.7%, 红光占比 3.7%, 绿光占比 33.6%; 红蓝组合光源(L3)的峰值波长为 449 nm, 红光占比 43.1%, 蓝光占比 29%, 绿光占比 27.9%。四种光源中均有绿光背景, 且绿光占比都在 25% 以上。白光源中由于红光占比低, 绿光占比高, 所以峰值波长接近蓝光和红蓝光的峰值波长; 红光与蓝光峰值波长相差较大, 白光中蓝光和红光的占比均较小, 凸显绿光背景, 能满足实验对光质差异的要求, 光谱见图 1。

表 1 实验用不同 LED 光谱参数
Table 1 Spectral parameters for different LEDs in this experiment

光质	峰值波长 (nm)	蓝光占比 (%)	绿光占比 (%)	红光占比 (%)
白光源L0	454	5.2	82.1	12.7
高红光占比光源L1	659	1.1	27.1	71.8
高蓝光占比光源L2	447	62.7	33.6	3.7
红蓝组合光源L3	449	29	27.9	43.1

2.2 不同红蓝光比对茶树叶片生长指数的影响

Dulax4 氮平衡指数测量仪具有快速、非破坏性、多指数测定的特点, 可在植株上同时测定茶叶氮平衡指数、叶绿素指数、类黄酮指数、花青素指数^[34-35]。氮平衡指数(NBI)是叶绿素与类黄酮的比值, 反映作

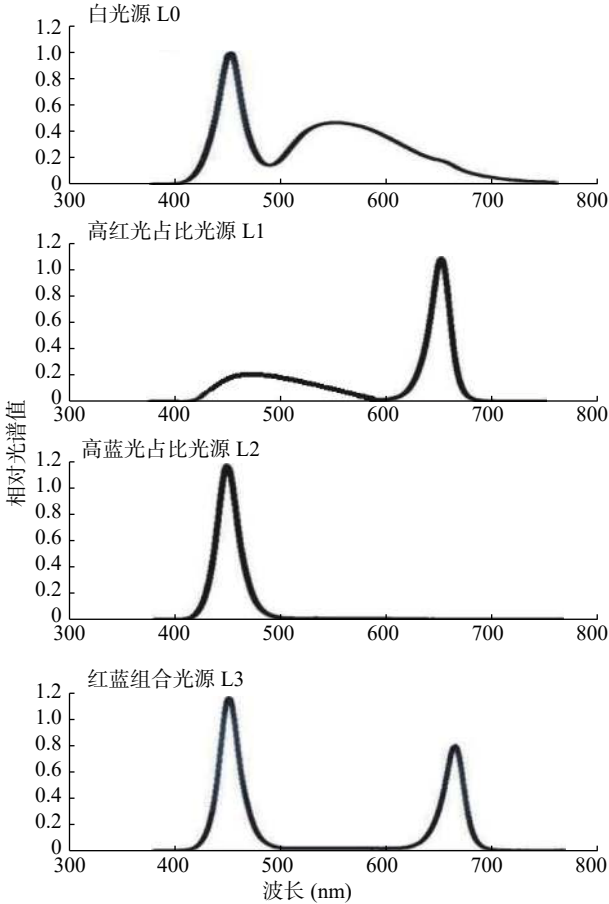


图 1 四种 LED 光谱图

Fig.1 Four kinds of LED spectra

物长势, 可用来评估叶片氮素营养状况, NBI 低, 说明叶片缺氮, NBI 过高, 表明氮素过多^[36-37]。

如图 2A 所示, 所有光质处理下氮平衡指数均随处理时间延长呈现增长的趋势。与 0 d 相比, L0、L1 和 L3 处理在 7 d 时 NBI 均出现显著增加($P<0.05$), L2 处理在 14 d 时出现显著性增加($P<0.05$)。处理 14 d 时 L1 和 L3 处理的 NBI 与对照有显著性差异($P<0.05$)。处理 21 d 时, L1 处理下的 NBI 与其他三种处理存在显著差异($P<0.05$), 说明红光可提高茶树氮素的利用效率。如图 2B 所示, 叶绿素指数同样随光照处理时间延长呈现增长的趋势。L0、L2 处理在 7 d 时叶绿素指数出现显著增加, L1、L3 处理在 14 d 时叶绿素指数出现显著性增加($P<0.05$)。四种不同组合光处理下到 14 d 时, L1 处理下叶绿素含量显著低于其他处理($P<0.05$), 随时间延长有升高而与其他处理间无显著差异($P>0.05$)。该结果与闫萌萌等^[38]的研究结果不一致, 可能是由于实验中采用的光不是单一色光导致的。如图 2C 所示, 所有光处理随处理时间延长类黄酮指数变化均无显著差异($P>0.05$)。在处理 14 d 时, L1 处理与其他三种处理对类黄酮指数的影响存在显著差异($P<0.05$), 但在处理 21 d 时, L1 处理与其他三种处理对类黄酮指数的影响无显著差异($P>0.05$)。可以看出, 类黄酮指数对试验光照时长不敏感, 但在处理 14 d 后, L1 处理下

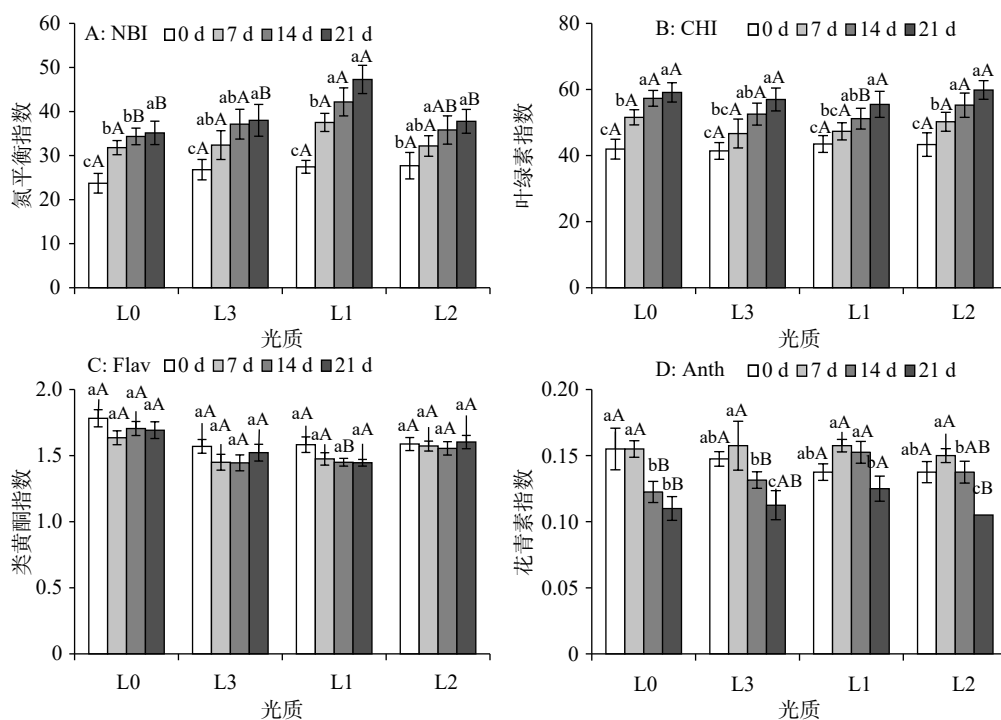


图2 不同光处理下茶树叶生长指数的变化

Fig.2 variations of tea leaf growth index under different light treatments

注: 不同小写字母表示相同光照条件下不同处理时间处理差异显著, $P < 0.05$; 不同大写字母表现在相同处理时间下不同光照处理差异显著, $P < 0.05$ 。

类黄酮指数显著低于其他光照处理,说明在一定的时间范围内,增加红光比例,降低蓝光比例有助于降低类黄酮含量。

花青素是一类水溶性的类黄酮,不仅赋予植物叶、花和果的颜色,同时也与植物的逆境生理有关^[39],光质是影响其含量高低的因素之一。如图2D所示,本实验中,与0 d相比,L0处理在14 d时花青素指数显著下降($P < 0.05$),L3和L2处理在21 d显著下降($P < 0.05$),处理14 d时,L1处理与L0和L3处理有显著差异($P < 0.05$)。处理21 d时,L1处理显著高于L0、L2处理($P < 0.05$),但与L3处理无显著差异($P > 0.05$)。

2.3 不同红蓝光配比对茶树叶片含水量、叶面积增加的影响

不同红蓝光配比处理茶树叶片含水量和单叶叶面积增加量如表2所示。L2能促进茶叶含水量增加,但叶片面积显著低于其他几种处理,说明叶片的生长速率减缓,降低茶叶的产量。L2处理21 d后叶片含水量明显高于L0和L1处理($P < 0.05$),但与

L3处理无显著性差异($P > 0.05$)。L2处理21 d后叶面积增加量明显低于L0、L1和L3处理($P > 0.05$)。L3处理叶面积增加量最多,显著增加了叶片生长速率,与其他处理存在显著差异($P < 0.05$)。增加红光比例叶片面积增加可能源于红光有利于叶绿素总量的增加^[40],光合效率增强,所以叶面积增加明显。但比L3处理下低,说明红光占比在一定的范围内促进叶绿素总量的增加。

2.4 光质对茶树叶片茶多酚、游离氨基酸含量和酚氨比的影响

茶多酚、氨基酸是决定茶叶品质的重要成分,其中茶多酚和氨基酸的比值(酚氨比)与绿茶茶汤的滋味鲜度、醇度呈负相关^[41]。不同配比光源处理21 d后叶片茶多酚含量并无显著差异($P > 0.05$)。图2C中类黄酮指数也表现出相同的结果,类黄酮是茶多酚中最大的一类,说明试验中的光质对茶多酚含量的影响不大。与L0相比,L2和L3处理后叶片游离氨基酸含量显著增加、酚氨比显著下降($P < 0.05$),根据类黄酮类化合物的生物合成途径^[42],可能是蓝光能阻止

表2 不同光处理21 d后福鼎大白茶叶片的生理指标的比较(平均值±标准差, n=6)

Table 2 Comparison of the biochemical index of Fuding-dabaicha leaves after 21 d under different light treatments (mean±SD, n=6)

光处理	含水量(%)	单叶叶面积增加(cm ²)	游离氨基酸(%)	茶多酚(%)	酚氨比
L0	64.25±0.59 ^b	0.85±0.04 ^b	1.36±0.21 ^b	21.50±1.48 ^a	16.96±0.98 ^a
L1	64.90±0.73 ^b	0.79±0.06 ^b	1.41±0.06 ^b	24.01±1.61 ^a	15.78±1.86 ^{ab}
L2	68.74±0.44 ^a	0.49±0.05 ^c	1.70±0.06 ^a	23.21±0.80 ^a	13.52±0.83 ^b
L3	66.63±3.28 ^{ab}	1.09±0.09 ^a	1.77±0.10 ^a	22.41±2.29 ^a	14.70±1.65 ^b

注: 同列不同小写字母表示不同处理间差异显著, $P < 0.05$; 表3同。

表 3 不同光质处理 21 d 后对福鼎大白茶叶片主要氨基酸积累的影响(%)
Table 3 Amino acid contents of leaves under 4 different artificial lights for 21 days(%)

光处理	茶氨酸		谷氨酸		天门冬氨酸	
	含量	比例	含量	比例	含量	比例
L0	0.4256±0.0176 ^b	30.69±0.45 ^b	0.3185±0.0406 ^b	23.42±2.98 ^a	0.1730±0.0214 ^{bc}	12.72±1.57 ^{bc}
L1	0.2912±0.0218 ^c	20.15±1.17 ^c	0.2470±0.0331 ^c	17.52±2.35 ^b	0.1287±0.0236 ^c	9.13±1.67 ^c
L2	0.5792±0.0441 ^a	35.27±0.99 ^a	0.4044±0.0459 ^a	23.79±2.70 ^a	0.2226±0.0318 ^b	13.10±1.87 ^b
L3	0.6379±0.0249 ^a	35.50±0.90 ^a	0.4186±0.0334 ^a	23.65±1.89 ^a	0.3354±0.0309 ^a	18.95±1.75 ^a

注: 比例为各氨基酸占总游离氨基酸的比例。

氨基酸向多酚转化的结果。L2 处理和 L3 处理之间氨基酸含量无显著差异($P>0.05$)。L1 处理与 L0 处理的叶片游离氨基酸含量之间无显著差异($P>0.05$)。

2.5 光质对茶叶叶片游离氨基酸组分的影响

茶叶中游离氨基酸多达 28 种, 其种类及含量对光质的响应存在较大的差异^[21]。本实验中对茶氨酸、谷氨酸、天冬氨酸三种氨基酸含量进行了测定。如表 3 所示, 将表 3 中三种氨基酸含量的和除以表 2 中游离氨基酸总量得 3 种氨基酸含量占总游离氨基酸的比例, 其次序为 L3(78.64%)>L2(70.95%)>L0(67.43%)>L1(47.30%); 3 种氨基酸含量的次序为 L3(1.3921%)>L2(1.2062%)>L0(0.9171%)>L1(0.6669%); 茶氨酸是茶树中特有游离氨基酸, 其含量的次序为 L3(0.6379%)>L2(0.5792%)>L0(0.4256%)>L1(0.2912%); 谷氨酸含量的次序为 L3(0.4186%)>L2(0.4044%)>L0(0.3185%)>L1(0.2470%); 天冬氨酸含量的次序为 L3(0.3354%)>L2(0.2226%)>L0(0.1730%)>L1(0.1287%)。结果表明, 茶氨酸、谷氨酸、天冬氨酸 3 种主要氨基酸的积累高度依赖蓝光, 与 L1 相比, L2 更有利于茶叶叶片茶氨酸、谷氨酸、天冬氨酸的积累。红蓝复合光的效果更佳, 复合光中蓝光比例越高, 越有利于 3 种氨基酸的积累。尽管 L0 与 L1 处理总游离氨基酸无差异, 但茶氨酸、谷氨酸、天冬氨酸三种氨基酸 L1 处理下都要偏低。由于实验中未测定 0 d 的叶片氨基酸含量, 结合 2.4 的结果, 可能蓝光有利于三种主要氨基酸的积累。L2 和 L3 处理对总游离氨基酸积累无差异, 但 L3 处理下三种主要氨基酸积累都要大于 L2 处理下, 说明复合光是有利于三种主要氨基酸积累。

3 结果与讨论

植物叶绿素主要存在于叶片中, 所以茶叶叶是接受光照的主要部位, 叶片的面积及叶绿素含量直接影响植物的光合能力, 进而影响茶叶的品质。植物体内不同的光敏色素和隐花色素吸收的光谱波长不同, 因此不同光质的光对植物的生长发育的影响不同^[43]。光合色素吸收的光谱波长主要在红光区和蓝光区, 这两种光对植物的光合作用影响最大^[44]。本研究中, 高红光占比光源比高蓝光占比光源更有利于提高茶叶叶片光合能力, 增加叶面积, 但红蓝组合光的促进作用更强, 在组合光作用下叶面积增加量、游离氨基酸积累量均显著高于高红光占比。这表明对于茶树的

光合作用及生长发育仅有红光是不能满足的。与吴庆东^[45]研究的结果红色膜滤光利于茶叶中茶多酚的积累不同, 本试验中红光对茶叶叶片茶多酚含量并无显著性影响。不仅如此, 其他光源对茶多酚含量均无影响, 可能原因是本试验中的光质并非单色光, 每种光处理都含有一定比例的绿光。

本实验在相同的光合有效的光子通量密度($100\text{ }\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)条件下进行。当降低绿光比例, 增加红光比例游离氨基酸含量比对照(白光)显著降低($P<0.05$), 增加蓝光比例游离氨基酸含量显著增加($P<0.05$), 同时增加红光和蓝光比例, 能显著增加叶面积和游离氨基酸含量, 显著降低酚氨比。蓝光占比高明显促进茶叶氨基酸含量, 尽管高蓝光占比光源处理与红蓝光处理对茶叶游离氨基酸含量并无显著性差异($P>0.05$), 但红蓝光处理下三种主要氨基酸的量占总游离氨基酸的比例(78.64%)较高蓝光占比光源处理下(67.43%)更高。这与 Sander 等^[46]的研究结果一致, 其研究表明红蓝组合光中叶片光合能力随着蓝光比例从 0 到 50% 增加而提高, 而蓝光超过 50% 后光合能力降低。

绿光在生菜的研究中表明能降低叶片中叶绿素的分解, 促进生长, 提高品质^[27,47]。Kevin 等^[48]研究认为绿光超过 50% 时抑制植物生长, 而在绿光比例低于 24% 时则加强植物生长。本实验中的光照处理绿光比例均大于 24%, 白光中的绿光比例高达 82.1%, 并未出现抑制茶树生长的现象, 且白光发挥了与高红光占比光源同样的效应, 对茶叶生长及品质形成而言, 高红光占比光源与白光之间无显著性差异, 可能归因于白光中有一定比例的红光(5.2%)和蓝光(12.7%), 产生红蓝光双光增益效应。红蓝光中红光占比 43.1%、蓝光占比 29%、绿光占比 27.9%, 红蓝光增益效应更为显著, 明显促进了茶叶叶面积增加及氨基酸积累。光合辅助色素类胡萝卜素可以吸收绿光并且传递给叶绿素, 用于光合作用。绿光对蓝光促进的气孔开放有影响, 但对红光促进的气孔开放没有影响^[49]。实际生产中, 绿光有潜力作为茶树光环境优化的光因子之一, 本研究结果可为茶树供光策略优化和供光模型的建立提供一定的理论依据。

参考文献

[1] 侯双双, 古书鸿, 谷晓平, 等. 贵州茶树主栽品种福鼎大白茶冷害指标研究[J]. 福建农业学报, 2019, 34(12): 1397-1403.

- [Hou S S, Gu S H, Gu X P, et al. Cold-injury indicator for *Camellia sinensis* cv. fuding-dabaicha in Guizhou Province[J]. *Fujian Journal of Agricultural Sciences*, 2019, 34(12): 1397–1403.]
- [2] 俞燎远, 邵宗清, 张育青, 等. 基于茶树品种筛选的甜香型红茶适制性研究[J]. *浙江农业科学*, 2017, 58(11): 2034–2038. [Yu L Y, Shao Z Q, Zhang Y Q, et al. Study on the suitability of sweet flavor black tea based on tea tree variety screening[J]. *Journal of Zhejiang Agricultural Sciences*, 2017, 58(11): 2034–2038.]
- [3] Chen L, Zhou Z X. Variations of main quality components of tea genetic resources [*Camellia sinensis* (L.) O. Kuntze] preserved in the chinanational germplasm tea repository[J]. *Plant Foods Hum Nut.*, 2005, 60: 31–35.
- [4] Zhu M, Li N, Zhao M, et al. Metabolomic profiling delineate taste qualities of tea leaf pubescence[J]. *Food Research International*, 2017, 94: 36–44.
- [5] 乔小燕, 吴华玲, 韩雪文, 等. 仁化白毛茶生化成分与成品白茶品质的相关性研究[J]. *核农学报*, 2015, 29(12): 2327–2333. [Qiao X Y, Wu H L, Han X W, et al. Correlation on biochemical components and made-tea quality of renhuabaimaocha[J]. *Journal of Nuclear Agricultural Sciences*, 2015, 29(12): 2327–2333.]
- [6] Guo X Y, Song C K, Ho C T, et al. Contribution of L-theanine to the formation of 2, 5-dimethylpyrazine, a key roasted peanutty flavor in oolong tea during manufacturing processes[J]. *Food Chemistry*, 2018, 263: 18–28.
- [7] Han W Y, Huang J G, Li X, et al. Altitudinal effects on the quality of green tea in east China: Acclimate change perspective[J]. *Eur Food Res Technol*, 2017, 243: 323–330.
- [8] 袁新跃, 江和源, 张建勇. 茶叶功能成分提取制备专题(三): 茶氨酸的提取制备技术[J]. *中国茶叶*, 2009, 31(3): 4–6. [Yuan X Y, Jiang H Y, Zhang J Y. Extraction and preparation of functional components of tea (3): Extraction and preparation of theanine[J]. *China Tea*, 2009, 31(3): 4–6.]
- [9] Dong C X, Li F, Yang T Y, et al. Theanine transporters identified in tea plants (*Camellia sinensis* L.)[J]. *The Plant Journal*, 2020, 101: 57–70.
- [10] Kakuda T, Nozawa A, Unno T, et al. Inhibiting effects of theanine on caffeine stimulation evaluated by EEG in the rat[J]. *Bioscience Bio-technology and Biochemistry*, 2000, 64(2): 287–293.
- [11] Zhao Y, Zhao B. The neuroprotective effect of L-Theanine and its inhibition on nicotine dependence[J]. *Chinese Science Bulletin*, 2014, 59(31): 4014–4019.
- [12] Haskell C F, Kennedy D O, Milne A L, et al. The effects of L-thea-nine, caffeine and their combination on cognition and mood[J]. *Bio-logical Psychology*, 2008, 77(2): 113–122.
- [13] 林伟东, 孙成江, 郭义红, 等. 茶叶中茶氨酸的研究与利用[J]. *食品研究与开发*, 2016, 37(20): 201–206. [Lin W D, Sun W J, Guo Y H, et al. The research and utilization of theanine in Tea[J]. *Food Research and Development*, 2016, 37(20): 201–206.]
- [14] Dias T R, Bernardino R L, Alves M G, et al. L-Theanine promotes cultured human Sertoli cells proliferation and modulates glucose metabolism[J]. *European Journal of Nutrition*, 2019, 58(7): 2961–2970.
- [15] 段联勃, 徐丹, 杨丽蓉, 等. 36份茶树种质资源所制武夷岩茶毛茶的内含成分分析[J]. *中国茶叶*, 2021, 43(1): 54–58, 63. [Duan L B, Xu D, Yang L R, et al. Analysis of quality components in Wuyi Rock Tea processed with 36 tea germplasm resources[J]. *China Tea*, 2021, 43(1): 54–58, 63.]
- [16] 武彦文, 欧阳杰. 氨基酸和肽在食品中的呈味作用[J]. *中国调味品*, 2001, 26(1): 21–24. [Wu Y W, Ou Y J. The function of amino acids and peptides in food taste[J]. *China Condiment*, 2001, 26(1): 21–24.]
- [17] 阮元勇, 瞿小青, 宋奇超. 谷氨酸调节根系形态建成的研究进展[J]. *中国农业科技导报*, 2011, 13(1): 34–43. [Gong Y Y, Qu X Q, Song Q C. Research progress on formation of regulative root system morphology by glutamate[J]. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 2011, 13(1): 34–43.]
- [18] Yaronskaya E, Vemhilovskaya I, Poem Y, et al. Cytokinin effects on tetrapyrrole biosynthesis and photosynthetic activity in barley seedlings[J]. *Planta*, 2006, 224: 700–709.
- [19] Viola R E. The central enzymes of the aspartate family of amino acid biosynthesis[J]. *Accts Chem Res*, 2001, 34: 339–349.
- [20] 于妍, 宋万坤, 刘春燕, 等. 植物天冬氨酸代谢途径关键酶基因研究进展[J]. *生物技术通报*, 2008, S1: 7–11. [Yu Y, Song W K, Liu C Y, et al. Research development of key enzymes gene on aspartic acid metabolic pathway in plants[J]. *Biotechnology Bulletin*, 2008, S1: 7–11.]
- [21] 方开星, 姜晓辉, 秦丹丹, 等. 高氨基酸和高茶氨酸茶树资源筛选[J]. *核农学报*, 2019, 33(9): 1724–1733. [Fang K X, Jiang X H, Qin D D, et al. Selection of tea germplasm with high contents of amino acid and theanine[J]. *Journal of Nuclear Agricultural Sciences*, 2019, 33(9): 1724–1733.]
- [22] 王雪萍, 滕靖, 郑琳, 等. 不同鲜叶嫩度名优绿茶氨基酸组分差异分析[J]. *食品研究与开发*, 2019, 40(14): 166–170. [Wang X P, Teng J, Zheng L, et al. Varianceanalysis of amino acid composition of famous green tea with different tenderness of fresh leaves[J]. *Food Research and Development*, 2019, 40(14): 166–170.]
- [23] 刘盼盼, 邓余良, 尹军峰, 等. 绿茶滋味量化及其与化学组分的相关性研究[J]. *中国食品学报*, 2014, 14(12): 173–181. [Liu P P, Deng Y L, Yin J F, et al. Quantitative analysis of the taste and its correlation research of chemical constitutes of green tea[J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2014, 14(12): 173–181.]
- [24] 许大全, 高伟, 阮军. 光质对植物生长发育的影响[J]. *植物生理学报*, 2015, 51(8): 1217–1234. [Xu D Q, Gao W, Ruan J. Effects of light quality on plant growth and development[J]. *Plant Physiology Journal*, 2015, 51(8): 1217–1234.]
- [25] 岳翠男, 王治会, 石旭平, 等. 光质对茶叶香气代谢物的影响研究进展[J]. *食品科学*, 2020, 41(5): 299–305. [Yue C N, Wang Z H, Shi X P, et al. Effects of light quality on aroma metabolites in tea: A review of recent literature[J]. *Food Science*, 2020, 41(5): 299–305.]
- [26] 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. [Huang F, Chen L, Zhou X F, et al. Effect of red

and blue light exposure during withering on amino acid and catechin contents of congou black tea[J]. *Fujian Journal of Agricultural Sciences*, 2015, 30(5): 509–515.]

[27] 王晓晶, 陈晓丽, 郭文忠, 等. LED 绿光对生菜生长和品质的影响[J]. *中国农业气象*, 2019, 40(1): 25–32. [Wang X J, Chen X L, Guo W Z, et al. Effects of LED green light on growth and quality of lettuce[J]. *Chinese Journal of Agrometeorology*, 2019, 40(1): 25–32.]

[28] Materrova Z, Sobotka R, Zdvihlova B, et al. Monochromatic green light induces an aberrant accumulation of geranylgeranylated chlorophylls in plants[J]. *Plant Physiology and Biochemistry*, 2017, 116: 48–56.

[29] Terashima I, Fujita T, Inoue T, et al. Green light drives leaf photosynthesis more efficiently than red light in strong white light: Revisiting the enigmatic question of why leaves are green[J]. *Plant and Cell Physiology*, 2009, 50(4): 684–697.

[30] 于海业, 孔丽娟, 刘爽, 等. 植物生产的光环境因子调控应用综述[J]. *农机化研究*, 2018, 40(8): 1–9. [Yu H Y, Kong L J, Liu S, et al. The application of lighting environment control technology in plant production[J]. *Journal of Agricultural Mechanization Research*, 2018, 40(8): 1–9.]

[31] Mitchell A, Both A J, Bourget C M, et al. LEDs: The future of greenhouse lighting[J]. *Chronica Horticulturae*, 2012, 52(1): 7–12.

[32] Devesh S, Chandrajit B, Merve M W, et al. LEDs for energy efficient greenhouse lighting[J]. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2015, 49: 139–147.

[33] 王建平, 王纪章, 周静, 等. 光照对农林植物生长影响及人工补光技术研究进展[J]. *南京林业大学学报(自然科学版)*, 2020, 44(1): 215–222. [Wang J P, Wang J Z, Zhou J, et al. Recent progress of artificial lighting technique and effect of light on plant growth[J]. *Journal of Nanjing Forestry University (Natural Science Edition)*, 2020, 44(1): 215–222.]

[34] Goulas Y, Cerovic Z G, Cartelat A, et al. Dualx: A new instrument for field measurements of epidermal ultraviolet absorbance by chlorophyll fluorescence[J]. *Applied Optics*, 2004, 43(23): 4488–4496.

[35] Cerovic Z G, Masdoumier G, Ghazlen N I B, et al. A new optical leaf-clip meter for simultaneous non-destructive assessment of leaf chlorophyll and epidermal flavonoids[J]. *Physiologia Plantarum*, 2012, 146(3): 251–260.

[36] 朱娟娟. 玉米氮素营养无损诊断及水氮效应[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2012. [Zhu J J. The Non-destructive diagnosis of corn nitrogen status and the effects of soil moisture and nitrogen supply on corn[D]. Yangling: Northwest A & F University, 2012.]

[37] 宋森楠, 宋晓宇, 陈立平, 等. 冬小麦氮平衡指数与籽粒蛋白质含量空间结构及关系[J]. *农业工程学报*, 2013, 29(15): 91–97. [Song S N, Song X Y, Chen L P, et al. Spatial structure and relationships of nitrogen balance index and protein content of grain in winter wheat[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2013, 29(15): 91–97.]

[38] 闫萌萌, 王铭伦, 王洪波, 等. 光质对花生幼苗叶片光合色素含量及光合特性的影响[J]. *应用生态学报*, 2014, 25(2):

483–487. [Yan M M, Wang M L, Wang H B, et al. Effects of light quality on photosynthetic pigment contents and photosynthetic characteristics of peanut seedling leaves[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2014, 25(2): 483–487.]

[39] Robin J, Ajay R, Vinay K, et al. Anthocyanins enriched purple tea exhibits antioxidant, immunostimulatory and anticancer activities[J]. *J Food Sci Technol*, 2017, 54(7): 1953–1963.

[40] 刘亚丽, 岳树松, 王珺. 红光对蚕豆叶片气孔开度及生理作用的影响[J]. *湖北农业科学*, 2005(5): 39–42. [Liu Y L, Yue S S, Wang J. Effects of red light on the stomatal opening and physiological characteristics of *Vicia Faba* L.[J]. *Hubei Agricultural Sciences*, 2005(5): 39–42.]

[41] 王海利, 黄海铃, 崔燕, 等. 不同品种绿茶的酚氨值与茶滋味相关性分析[J]. *食品工业科技*, 2018, 39(16): 208–212. [Wang H L, Huang H L, Jiao Y, et al. Correlation between the phenolic ammonia ratio and taste of different kinds of green tea[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2018, 39(16): 208–212.]

[42] 赵莹, 杨欣宇, 赵晓丹, 等. 植物类黄酮化合物生物合成调控研究进展[J/OL]. *食品工业科技*: 1–15[2021-08-18]. <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020100095>. [Zhao Y, Yang X Y, Zhao X D, et al. Research progress on regulation of plant flavonoids biosynthesis[J/OL]. *Science and Technology of Food Industry*: 1–15[2021-08-18]. <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020100095>.]

[43] Takeshi K, Izumi K. A phytochrome/phototropin chimeric photoreceptor of fern functions as a blue/far-red light-dependent photoreceptor for phototropism in *Arabidopsis*[J]. *The Plant Journal*, 2015, 83(3): 480–488.

[44] 余意, 杨其长, 赵姣姣, 等. 三种叶色生菜光谱吸收特性及营养品质差异研究[J]. *华北农学报*, 2013, 28(增刊): 188–191.

[Yu Y, Yang Q C, Zhao J J, et al. Interspecific variation in spectral absorbance and nutritional quality of three leaf-color lettuce cultivars[J]. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 2013, 28(Suppl.): 188–191.]

[45] 吴庆东. 滤光处理对茶树光合效率及光合产物分配的影响[J]. *茶叶科学*, 1987, 7(1): 29–34. [Wu Q D. Effects of light filtering on the photosynthetic efficiency and the photosynthate distribution of tea plant[J]. *Journal of Tea Science*, 1987, 7(1): 29–34.]

[46] Hogewoning S W, Trouwborst G, Maljaars H, et al. Blue light dose-responses of leaf photosynthesis, morphology, and chemical composition of *Cucumis sativus* grown under different combinations of red and blue light[J]. *Journal of Experimental Botany*, 2010, 61: 3107–3117.

[47] Kim H H, Wheeler R M, Sager J C, et al. Evaluation of lettuce growth using supplemental green light with red and blue light-emitting diodes in a controlled environment: A review of research at Kennedy Space Center[J]. *Acta Horticulture*, 2006, 711: 111–119.

[48] Folta K M, Maruhnich S. Greenlight: A signal to slow down or stop[J]. *Journal of Experimental Botany*, 2007, 58(12): 3099–3111.

[49] Frechilla S, Talbott L D, Bogomolni R A, et al. Reversal of blue light-stimulated stomatal opening by green light[J]. *Plant Cell Physiology*, 2000, 41: 171–176.