

LED 光质对乌饭树幼苗生长及 叶片营养物质含量的影响

黄 婧,周 鹏,李 飞,张 敏*

(江苏省林业科学研究院,江苏 南京 211153)

摘要:为筛选出适宜乌饭树幼苗生产的光质条件,以白光(W)对照,采用红光(R)、蓝光(B)、黄光(Y)和紫外光(UV-A)5种LED光质,研究不同光质对乌饭树幼苗生长及叶片营养物质含量的影响。结果表明,在植株生长方面:红光和黄光处理对乌饭树幼苗的生长有促进作用,幼苗株高和枝条长度显著增加($P<0.05$);红光能够显著增加乌饭树幼苗节间长度($P<0.05$),使株型更舒展;红光和蓝光处理下幼苗的叶片数量都显著增加,红光对叶片生长有显著促进作用,叶面积和叶片长宽比显著增加;红光显著提高了幼苗的干质量和鲜质量,蓝光次之。在叶片营养物质含量积累方面:蓝光对叶片黄酮含量的积累有显著优势,蓝光处理下叶片黄酮含量为45.23 mg/g,比对照提高了49.09%,而红光和黄光处理会显著减少叶片总黄酮含量;蓝光处理叶片游离氨基酸含量比对照提高6.40%,其他光质处理时叶片游离氨基酸含量显著减少;红光和蓝光使得乌饭树叶片可溶性糖含量比对照提高了11.92%和10.37%;蓝光对乌饭树叶片可溶性蛋白的合成无显著影响,但是其他光质会显著降低其含量;通过隶属函数法对乌饭树幼苗叶片的营养品质进行综合比较发现,蓝光处理下叶片综合营养品质最高,白光次之,红光排第3。综合各项指标,红光处理可提高乌饭树幼苗产量,而蓝光处理可提升乌饭树幼苗品质,生产上可根据实际需求进行红蓝光不同比例调控。

关键词:乌饭树;幼苗;LED;光质;生长;类黄酮

中图分类号:Q946;S567.1⁺9;S624.4⁺3;S685.21 **文献标志码:**A **doi:**10.3969/j.issn.1001-7380.2023.01.002

Effects of LED light sources on growth and nutrient contents in leaves of *Vaccinium bracteatum* seedlings

Huang Jing, Zhou Peng, Li Fei, Zhang Min*

(Jiangsu Academy of Forestry, Nanjing 211153, China)

Abstract:In order to screen out the suitable light quality conditions for the production of *Vaccinium bracteatum* seedlings, LED light source was used, five light qualities were set, including white light(W) used as control, red light(R), blue light(B), yellow(Y) and ultraviolet (UV-A), the effects of different light quality on the growth and nutrient contents in leaves of *V. bracteatum* seedlings were investigated. The results showed that red light and yellow light treatments promoted the growth of *V. bracteatum* seedlings, with significant increases in seedling height and branch length ($P<0.05$). Red light could significantly increase the internode length of seedlings ($P<0.05$), making the plant type more stretchy. Under both red and blue light treatments, the number of leaves of seedlings significantly increased, and red light significantly promoted leaf growth, with a significant increase in leaf area and leaf aspect ratio. The fresh and dry weights of the seedlings were discovered the largest when treated by red light, which followed by blue light. In terms of leaf nutrient content accumulation, blue light had a significant advantage in the accumulation of flavonoids in leaves. Under blue light treatment, the flavonoids

收稿日期:2022-10-07;修回日期:2022-10-30

基金项目:江苏省农业科技自主创新资金项目“乌饭树设施栽培光质调控技术研究”(CX(21)3048)

作者简介:黄 婧(1987-),女,江苏镇江人,助理研究员,博士。研究方向:观赏植物繁育与种质创新。E-mail:694286338@qq.com

* 通信作者:张 敏(1980-),女,内蒙古乌海人,研究员,博士。研究方向:观赏植物繁育与种质创新。E-mail:29157510@qq.com

content in leaves was 45.23 mg/g, 49.09% higher than the CK. However, red and yellow light treatments significantly reduced the total flavonoids content in leaves. The content of free amino acids in leaves under blue light treatment increased by 6.40% compared to CK, while other light quality treatments were significantly reduced. Red light and blue light were beneficial to the synthesis of soluble sugar in leaves, increasing 11.92% and 10.37% compared with that of the control. Blue light had no significant effect on the synthesis and accumulation of soluble protein in leaves, but other light quality could significantly reduce its content. Through the method of membership function, the comprehensive nutritional quality of the leaves of the blue-light treatment was the highest, followed by the white light, with the red light in third. Above all, red light treatment could improve the yield of *V. bracteatum* seedlings, while blue light treatment could improve the quality of *V. bracteatum* seedlings. The red and blue light could be adjusted according to the actual demand in production.

Key words: *Vaccinium bracteatum*; Seedling; LED; Light quality; Growth; Flavonoid

乌饭树(*Vaccinium bracteatum* Thunb.)为杜鹃花科越桔属常绿小乔木,广泛分布于我国长江以南地区。乌饭树叶中含有多种黄酮类化合物,具有抗氧化、抑菌等多种药理活性^[1],不仅可以直接食用,也可提纯后制成药物,具有极高的经济价值。随着人们生活水平的提高,乌饭树作为天然功能性食品越来越受到市场的喜爱^[2],种苗需求量与日俱增。

乌饭树新叶萌发一般在每年5月下旬和9月中旬,但是企业生产乌饭树相关产品对产量需求很大,需要由传统的1 a 1次的采摘逐渐向1 a 多次采摘的设施栽培转变,为此,只有依赖于科学的环境调控,才能保证乌饭树的优质高产。其中,光质调控设施栽培环境是提高植物产量、提升营养品质的主要措施之一^[3]。

发光二极管(light-emitting diodes, LED)的波谱宽度小于(± 30) nm,可根据需要获取特定峰值的纯正单色光或复合光谱^[4],为光质调控提供了极大的便利性和精确性。近年来,设施农业上采用单色光或复合光谱LED对小白菜^[5]、丝瓜^[6]、番茄^[7]等蔬菜进行光环境调控,有效提高了作物的产量和品质。同时,许多研究表明,光质是影响黄酮类物质合成的主要环境因子,其原理可能是通过对黄酮合成过程中的关键酶产生作用^[8],从而影响黄酮的合成代谢。因此,探究LED光质对设施栽培乌饭树生长与叶片营养物质含量的影响,可以为乌饭树叶片高产高质生产提供技术支持。

前人关于不同LED光质对不同植物品种的应用研究显示,不同植物品种对光质的响应差异较大。目前有关光质对乌饭树幼苗影响的研究甚少,本研究采用4种LED单色光质为测试光源,以白光为对照,研究不同光质条件对乌饭树幼苗生长及叶片营养物质含量的影响,为乌饭树工厂化优质高效生产光环境调控提高理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

供试材料取自江苏省林业科学院内选育和保存的乌饭树单株,种质资源来自江苏溧阳。

1.2 试验设计

试验于2022年在江苏省林业科学院组织培养室进行,设置5种光质处理,即对照白光(W)、红光(R)、黄光(Y)、蓝光(B)和紫外光(UV-A)处理,具体参数见表1,每个处理重复3次,随机区组排列。选用乌饭树优良组织培养苗,将组织培养苗扦插生根后置于28℃的光照培养架培养,待长出第2片真叶后,移栽至育苗盘内(穴上口直径4 cm、深度4 cm、下口直径1.2 cm),每个处理幼苗50株,置于不同LED光照下培养30 d,光照时长12 h/d,温度20—25℃,相对湿度75%—80%。

表1 试验光质参数

处理	光质	峰值波长/ nm	波长半宽/ nm	光照强度/ [$\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$]
R	红	660	20	100
Y	黄	590	20	100
B	蓝	470	20	100
UV-A	紫外光	390	20	100
W	白	460	—	100

1.3 数据测定及方法

1.3.1 生长指标的测定 培养30 d后,每处理随机选择苗10株测量生长情况,重复3次。用直尺测量株高和新生枝条长度;用游标卡尺测量叶长和叶宽;采用画纸称重法测量叶面积;采用万分之一天平测定鲜、干质量,先称植株鲜质量,再将植株置于105℃的杀青20 min后,在80℃条件下烘干至恒重,称干质量。

1.3.2 叶片营养物质含量指标测定 采用三氯化铝显色法测定叶片总黄酮含量^[9],茚三酮显色法检测叶片游离氨基酸总含量^[10],蒽酮比色法测定叶片可溶性糖含量^[11],考马斯亮蓝 G-250 染色法测定叶片可溶性蛋白含量^[12]。

1.4 数据处理

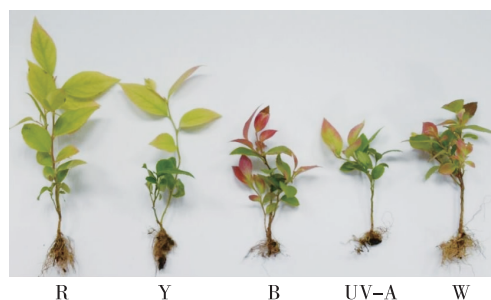
所得数据采用 Excel 进行统计处理,SPSS 16.0 进行方差分析和 Duncan 多重比较($P<0.05$)。以总黄酮、游离氨基酸、可溶性糖、可溶性蛋白含量为指标,采用模糊数学隶属函数法^[13]对不同光质培养的乌饭树幼苗叶片的营养品质进行综合比较,各光质处理下的每个营养指标的隶属函数值按公式 $R(X_i) = (X_i - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min})$ 计算,并由此得出平均隶属函数值。

2 结果与分析

2.1 不同 LED 光质对乌饭树幼苗生长量的影响

长波长的红光和黄光对幼苗的生长有促进作用,幼苗株高和枝条长度显著高于白光(对照)($P<0.05$)。相比对照,红光和黄光处理下幼苗株高分别提高了 53.43%和 37.09%,枝条长度分别增加了

71.19%和 48.90%。其中,红光能够显著增加枝条节间长度($P<0.05$),株型更舒展,其他光质处理时,枝条节间长度与对照无显著差异。短波长的蓝光和紫外光对幼苗的枝条生长无显著影响,幼苗株高和枝条长度与白光(对照)处理无显著差异。



注:R 代表红光,Y 代表黄光,B 代表蓝光,UV-A 代表紫外光,W 代表白光

图 1 不同 LED 光质处理下乌饭树幼苗生长状况

红光和蓝光处理下幼苗的叶片生长有显著促进作用。红光和蓝光显著增加了叶片数量,分别比对照增加 25.85%和 40.37%,叶片长宽比显著增大,叶面积显著大于白光对照,其中,红光处理时叶面积最大,为 4.04 mm^2 。

表 2 不同 LED 光质对乌饭树幼苗生长的影响

处理	株高/mm	枝条长/mm	节间长/mm	叶片数/片	叶长/叶宽	叶面积/ mm^2
R	$84.36 \pm 8.11 \text{ a}$	$57.76 \pm 14.19 \text{ a}$	$6.56 \pm 0.97 \text{ a}$	$13.00 \pm 0.58 \text{ a}$	$2.21 \pm 0.12 \text{ a}$	$4.04 \pm 0.63 \text{ a}$
Y	$79.93 \pm 5.14 \text{ a}$	$56.23 \pm 1.76 \text{ a}$	$4.50 \pm 0.12 \text{ b}$	$10.67 \pm 1.20 \text{ b}$	$1.97 \pm 0.03 \text{ ab}$	$3.42 \pm 0.88 \text{ ab}$
B	$61.52 \pm 4.15 \text{ b}$	$50.24 \pm 4.85 \text{ ab}$	$4.57 \pm 0.44 \text{ b}$	$14.50 \pm 0.29 \text{ a}$	$2.00 \pm 0.09 \text{ ab}$	$3.12 \pm 0.37 \text{ ab}$
UV-A	$51.13 \pm 4.31 \text{ b}$	$36.93 \pm 2.70 \text{ ab}$	$4.81 \pm 0.18 \text{ b}$	$9.67 \pm 0.33 \text{ b}$	$1.89 \pm 0.06 \text{ b}$	$2.84 \pm 0.11 \text{ bc}$
W	$62.83 \pm 6.19 \text{ b}$	$33.74 \pm 3.79 \text{ b}$	$4.08 \pm 0.42 \text{ b}$	$10.33 \pm 0.67 \text{ b}$	$1.84 \pm 0.04 \text{ b}$	$2.25 \pm 0.32 \text{ c}$

注:数据为平均值±标准误;同列数字后的不同字母表示差异显著($P<0.05$)。

LED 单色光质处理均有利于提高乌饭树幼苗鲜质量和干质量,总体而言,红光、蓝光和紫外光对乌饭树幼苗的干质量及鲜质量促进作用明显,其中,红光全株鲜质量和干质量最大,分别是白光(对照)的 2.66 倍和 2.57 倍;蓝光次之,紫外光也显著高于白光(对照)。

表 3 不同 LED 光质对乌饭树幼苗生长量的影响

处理	鲜质量/g	干质量/g	干质量/鲜质量/%
R	$0.48 \pm 0.08 \text{ a}$	$0.18 \pm 0.03 \text{ a}$	36.61
Y	$0.35 \pm 0.03 \text{ ab}$	$0.12 \pm 0.01 \text{ ab}$	34.38
B	$0.46 \pm 0.07 \text{ a}$	$0.17 \pm 0.02 \text{ a}$	36.42
UV-A	$0.40 \pm 0.07 \text{ a}$	$0.15 \pm 0.03 \text{ a}$	35.64
W	$0.18 \pm 0.04 \text{ b}$	$0.07 \pm 0.01 \text{ b}$	40.18

注:数据为平均值±标准误;同列数字后的不同字母表示差异显著($P<0.05$)

2.2 不同 LED 光质对乌饭树叶片营养物质含量的影响

由图 2-a 所示,黄酮化合物是乌饭树叶片中含量最丰富的活性物质,本试验中乌饭树幼苗叶片总黄酮含量在蓝光和紫外光处理下含量分别为 45.23, 33.02 mg/g,相比白光(对照)增幅为 49.08%和 8.83%,可见蓝光对叶片黄酮含量的积累有显著优势;在红光和黄光处理时,叶片总黄酮含量显著降低,分别为 22.64, 26.06 mg/g,与白光(对照)相比降低了 25.38%和 14.11%。

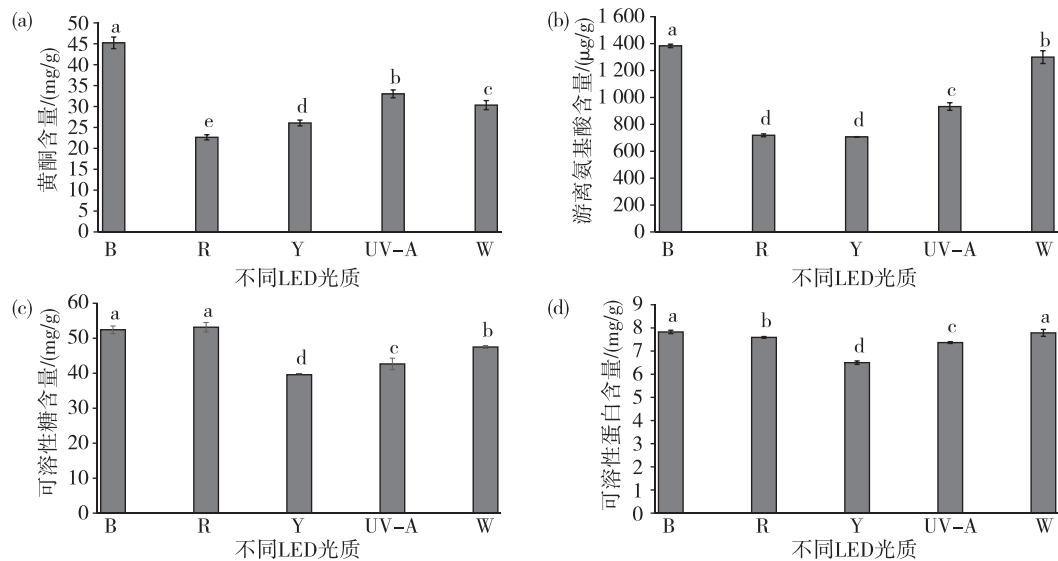
由图 2-b 所示,游离氨基酸可被人体直接吸收,其含量能够反映出食物的营养价值,乌饭树叶片中游离氨基酸含量在蓝光处理时显著增加,含量达到 $1\,382.71 \mu\text{g/g}$,在其他 LED 光质处理时显著减少,

其中红光和黄光处理时最低,相比白光(对照)减少了 44.70%和 45.62%。

由图 2-c 所示,叶片可溶性糖是叶片的主要水浸出物之一,乌饭树幼苗叶片的可溶性糖含量受到红光和蓝光的诱导显著增加,分别为 53.15,52.42 mg/g,比白光处理时增加了 11.92%和 10.38%;在黄光和紫外光处理下叶片可溶性糖含量显著减少,

与对照相比减少了 16.70%和 10.19%。

由图 2-d 所示,叶片可溶性蛋白是植物重要的营养物质和渗透调节物质,乌饭树幼苗的叶片可溶性蛋白含量在蓝光和白光处理时含量最高,分别为 7.83,7.79 mg/g,2 者间无显著差异;在其他单色 LED 光质处理下叶片可溶性蛋白含量显著下降,其中黄光处理时含量最低,为 6.50 mg/g。



注:各图中不同小写字母表示存在显著性($P<0.05$)。

图 2 不同 LED 光质处理下乌饭树幼苗叶片营养物质含量情况

不同 LED 光质能够显著影响叶片营养物质含量($P<0.05$),为了综合分析不同光质对叶片营养的影响效果,采用隶属函数法对乌饭树幼苗叶片的营养品质进行综合比较。结果显示隶属函数平均值

排名为: B>W>R>UV-A>Y,这表示乌饭树叶片综合营养品质在蓝光处理下最高,白光次之,红光排第 3,紫外光和黄光位列最后。

表 4 不同 LED 光质对乌饭树幼苗叶片营养品质的影响

处理	总黄酮/(mg/g)	游离氨基酸/(μg/g)	可溶性糖/(mg/g)	可溶性蛋白/(mg/g)	隶属函数平均值	排名
R	22.64±0.61 e	718.67±10.57 e	53.15±1.34 a	7.59±0.04 b	0.46	3
Y	26.06±0.70 d	706.62±2.02 d	39.56±0.31 d	6.50±0.08 d	0.04	5
B	45.23±1.38 a	1 382.71±12.92 a	52.42±1.09 a	7.83±0.07 a	0.99	1
UV-A	33.02±0.94 b	932.09±28.47 c	42.65±1.64 c	7.37±0.04 c	0.42	4
W	30.34±1.09 c	1 299.53±47.63 b	47.49±0.41 b	7.79±0.15 a	0.69	2

注:数据为平均值±标准误;同列数字后的不同字母表示差异显著($P<0.05$)。

3 小结

本试验采用 4 种单色 LED 光质红光(R)、黄光(Y)、蓝光(B)和紫外光(UV-A)对乌饭树幼苗进行生长培养,以白光(W)作为对照,对比了不同 LED 光质对乌饭树幼苗生长和叶片营养物质含量的影响。根据试验结果可知,波长较长的红光和黄光能

够有效促进乌饭树幼苗的生长,使株高和枝条长度显著增加($P<0.05$),其中,红光处理下的乌饭树株型更舒展,茎段的节间长度显著增加($P<0.05$);波长较短的蓝光和紫外光对植物的株高和茎段生长无显著影响。红光和蓝光最有利于乌饭树叶片生长和植株生物量增加,叶片数量都显著增加,叶面积和叶片长宽比显著增加($P<0.05$),红光显著提高

了幼苗的干质量和鲜质量,蓝光次之。由此说明,红光和蓝光对乌饭树幼苗的生长具有显著促进作用。

光质不仅影响植物的生长状态,还对其营养品质具有较大影响。乌饭树叶富含黄酮类化合物,是其防病治病的关键成分,蓝光能够显著提高叶片黄酮含量,蓝光处理下叶片黄酮含量为 45.23 mg/g,相比白光(对照)增幅为 49.08%;短波长的蓝光和紫外光处理都能够提高叶片黄酮含量,长波长的红光和黄光处理会显著减少叶片总黄酮含量。游离氨基酸是叶片渗出物的主要营养物质之一,乌饭树叶片游离氨基酸含量在蓝光处理时比对照提高 6.40%,其他光质处理时含量显著减少,说明该类营养物质的积累受光质影响显著。可溶性糖和可溶性蛋白是植物生长发育的必需物质,也是叶片的重要营养成分,红光和蓝光有利于乌饭树叶片可溶性糖的合成,蓝光对叶片可溶性蛋白的含量无显著影响,但是其他光质会显著降低其含量。采用隶属函数法综合分析乌饭树幼苗叶片的营养品质,发现蓝光处理下叶片综合营养品质最高,白光次之,红光排第 3。结果显示,蓝光能够显著提高乌饭树叶片的营养品质,而其他单色 LED 光质处理会降低叶片营养品质。

本试验结果表明,不同 LED 光质对乌饭树幼苗生长和叶片营养物质积累会产生不同的影响,红光处理可提高乌饭树幼苗产量,蓝光处理可提升乌饭树叶片的营养物质含量,该结果可以为乌饭树的工厂化生产光质调控提供参考依据。

参考文献:

- [1] WANG L, ZHANG Y, XU M C, et al. Anti-diabetic activity of *Vaccinium bracteatum* Thunb. leaves' polysaccharide in STZ-induced diabetic mice[J]. International Journal of Biological Macromolecule, 2013, 61:317-321.
- [2] 王 立,练伟佳,李 言,等.乌饭树资源开发利用研究进展[J].中草药,2018,49(17):4197-4204.
- [3] 邵 丽,杨小龙,王 蕊,等.设施栽培蔬菜光环境及调控研究进展[J].中国蔬菜,2018(8):19-26.
- [4] 王佳淇,韦晓桐,何莹钰.LED 补光系统对设施园艺作物的影响[J].浙江农业科学,2020,61(5):950-954.
- [5] 蔡淑芳,刘 现,吴敬才,等.LED 光质对小白菜生长及品质影响的研究进展[J].福建农业科技,2019(7):65-69.
- [6] 蒋晓婷,梁双贤,林碧英,等.不同光质补光对丝瓜幼苗生长及生理生化特性的影响[J].福建农林大学学报(自然科学版),2015,44(3):250-255.
- [7] 陈同强,张天柱,王晓卓.光照对番茄果实中番茄红素生物合成的调控研究进展[J].园艺学报,2022,49(4):907-923.
- [8] GAM D T, KHOI P H, NGOC P B, et al. LED lights promote growth and flavonoid accumulation of *Anoectochilus roxburghii* and are linked to the enhanced expression of several related genes[J]. Plants, 2020, 9(10):1344.
- [9] 王 立,姚惠源,张 晖.乌饭树黑色素中黄酮类单体的提取、分离、纯化及鉴定:中国,1844116[P]. 2006-10-11.
- [10] 陈 凯,窦 月,田 源,等.板蓝根中总氨基酸含量测定方法的改进[J].食品与药品,2012,14(1):25-28.
- [11] 张志良,瞿伟菁.植物生理学实验指导[M].北京:中国高等教育出版社,2003.127-128.
- [12] 王学奎.植物生理生化实验原理和技术[M].北京:高等教育出版社,2006.
- [13] 高 峰,颀振东,吕 剑,等.基于模糊数学隶属函数法综合评价黄瓜生物物质栽培基质[J].甘肃农业大学学报,2019,54(6):93-101.

· 简讯 ·

《江苏林业科技》入编 2023 年科学引文数据库

本刊讯 《江苏林业科技》入编 2023 年科学引文数据库(Science Citation Database,简称 SCD),欢迎广大高校师生订阅、踊跃投稿。