

· 中药农业 ·

不同 LED 光质对陕产重楼生理特性和成分积累的影响[△]李铂^{1,2}, 唐志书^{1,2*}, 王楠^{1,2}, 孙晓春^{1,2}, 黄文静^{1,2}, 宋忠兴^{1,2}, 杨新杰³, 程虎印³, 黄柯朝³

1. 陕西中医药大学 陕西省中药资源产业化协同创新中心, 陕西 咸阳 712083;

2. 秦药特色资源研究与开发国家重点实验室(培育), 陕西 咸阳 712083;

3. 陕西中医药大学 药学院, 陕西 咸阳 712046

[摘要] 目的: 探究发光二极管(LED)不同光质对陕产重楼生理特性和成分积累的影响, 初步揭示陕产重楼生长和次生代谢物积累所需最佳光质配比, 为合理指导重楼人工种植提供理论依据。方法: 以基质栽培的陕产重楼为试验材料, 分别设置红光、蓝光、红光/蓝光4:1、红光/蓝光2:1、白光5种光质, 考察不同光质处理对重楼生物量、叶绿素含量、蛋白质含量、超氧化物歧化酶(SOD)活性、总多糖和总皂苷含量的影响, 初步揭示陕产重楼响应不同LED光质的生理机制。结果: 与白光相比, 红光/蓝光2:1(2R1B)能够显著提高重楼叶片中叶绿素a、b含量, 促进叶片蛋白质积累。2R1B处理30d, 叶片SOD酶活性相对对照组降低55.40%; 2R1B处理20d的重楼根茎中总多糖含量最高, 为对照组的2.165倍。蓝光处理30d的重楼根茎中总皂苷含量最高, 为对照组的1.595倍。结论: 综合多项指标, 红光/蓝光2:1对陕产重楼叶片中叶绿素含量、蛋白质含量和根茎中总多糖的积累具有显著的促进作用, 重楼总皂苷的积累则以蓝光处理的效果为好。实际生产中应根据获取目标成分的不同合理选择最适LED光质处理。

[关键词] 重楼; 光质; 生理特性; 成分

[中图分类号] R282.71; R284 [文献标识码] A [文章编号] 1673-4890(2019)10-1386-06

doi:10.13313/j.issn.1673-4890.20190131001

Effects of Different LED Light Quality on Physiological Characteristics and Component Accumulation of *Paris polyphylla* in Shaanxi Province

LI Bo^{1,2}, TANG Zhi-shu^{1,2*}, WANG Nan^{1,2}, SUN Xiao-chun^{1,2}, HUANG Wen-jing^{1,2}, SONG Zhong-xing^{1,2}, YANG Xin-jie³, CHENG Hu-yin³, HUANG Ke-chao³

1. Shaanxi University of Chinese Medicine, Shaanxi Collaborative Innovation Center of Chinese Medicinal Resources Industrialization, Xianyang 712083, China;

2. State Key Laboratory of Research & Development of Characteristic Qin Medicine Resources(Cultivation), Xianyang 712083, China;

3. College of Pharmacy, Shaanxi University of Chinese Medicine, Xianyang 712046, China

[Abstract] **Objective:** To investigate the effects of different light quality of light-emitting diodes on the physiological characteristics and component accumulation of *Paris polyphylla* in Shaanxi, reveal the optimal light-quality ratio for the growth and secondary metabolites accumulation in *P. polyphylla*, and provide reasonable guidance for its artificial cultivation. **Methods:** The red, blue, red: blue 4:1, red: blue 2:1, and white light quality were used to treat *P. polyphylla* cultured in the substrate, and investigate the biomass, chlorophyll content, superoxide dismutase activity, total polysaccharide and total saponin contents of *P. polyphylla*, reveal the physiological mechanism of *P. polyphylla* response to different LED light

[△] [基金项目] 国家中药标准化项目(ZYBZH-C-QIN-45); 中央本级重大增减支项目(2060302); 陕西省科技厅重点研发计划一般项目(2018SF-286); 国家现代农业产业技术体系建设专项(CARS-21); 2017年中医药公共卫生服务补助专项(财社[2017]66号); 陕西省教育厅专项科学研究计划项目(18JK0214); 咸阳市重大科技专项计划项目(2017k01-26)

* [通信作者] 唐志书, 教授, 研究方向: 中药剂型理论与新技术应用、中药资源生产与循环利用; Tel: (029)38182201, E-mail: tzs6565@163.com

quality preliminary. **Results:** The contents of chlorophyll a, b and proteins in the leaves of *P. polyphylla* treated by red: blue 2:1 (2R1B) were promoted significantly compared with the white light. The SOD activity was decreased by 55.40% compared with the control treated by 2R1B for 30 d, the total polysaccharide content in the rhizome was the highest treated by 2R1B for 20 d, up to 2.165 fold compared with the control. However, the total saponin content in the rhizome reached its maximum treated by blue light for 30 d, which was up to 1.595 fold compared with the control. **Conclusion:** The red: blue 2:1 light quality promotes the chlorophyll content, protein and total polysaccharides accumulation in *P. polyphylla* significantly. The accumulation of total saponins is better with blue light treatment. In actual production, the optimal light quality should be reasonably selected according to the different target components.

[**Keywords**] *Paris polyphylla*; light quality; physiological characteristics; components

光是植物生长发育最重要的生态因子和调节因子之一^[1], 适宜的光质能够影响药用植物的初生代谢, 调控不同次生代谢产物的积累和分配, 从而影响药材的产量和品质^[2]。发光二极管(LED)作为新型光源, 广泛应用于设施农业、园艺作物、植物工厂等领域, 在药用植物人工栽培方面具有良好的应用前景, 无论是作为唯一光源或补充光源, 可以通过精准控制光照强度、混合光质组合, 提高药用植物的产量和质量。

七叶一枝花 *Paris polyphylla* Smith 为百合科重楼属多年生草本, 又名重楼、蚤休、灯台七、螺丝七^[3], 主要分布于陕西南部、云南、四川、广西、贵州等地, 为特色秦药之一^[4]。重楼根和根茎入药, 富含皂苷类、多糖、三萜类、黄酮类等多种化合物, 具有清热解毒、消肿止痛等功效^[5-6]。秦岭地区气候环境适宜, 植被类型丰富, 分布有七叶一枝花、宽叶重楼、柄叶重楼、北重楼等多种重楼属植物^[7-8]。重楼常生长于疏林下或灌丛阴湿处, 喜凉爽、阴湿的环境, 因此对光照强度和光质的选择较为敏感。

重楼作为传统中药, 随着市场需求不断增加, 野生资源遭到极度破坏, 重楼人工种植技术的突破和改进迫在眉睫, 研究光质对重楼药材产量和品质的影响具有重要的指导意义。本研究通过设置5种不同光质处理基质栽培的陕产重楼, 通过测定不同生长期重楼生物量、叶绿素含量、蛋白质含量、超氧化物歧化酶(SOD)活性、总多糖和总皂苷含量, 综合多项指标, 评价陕产重楼对不同LED光质的响应机制, 为重楼药材规范化种植过程中最适光质的选择提供技术指导。

1 材料与方法

1.1 仪器

Multiskan GO 全波长酶标仪(美国 Thermo Scientific

公司); UV-2600 紫外可见分光光度计(日本 Shimadzu 公司); 万分之一电子天平(日本 Shimadzu 公司); 101 型电热鼓风干燥箱(北京科伟永兴仪器公司)。

1.2 试剂

葡萄糖(批号: 180519)、重楼皂苷 I(批号: 180607)购自陕西乐博生化有限公司; BCA 蛋白浓度测定试剂盒(P0010S)、总 SOD 活性检测试剂盒(S0101)购自上海碧云天生物科技公司; 其余试剂均为国产分析纯。

三年生重楼幼苗采自陕西省商洛市镇安县云盖寺镇, 经陕西中医药大学王继涛教授鉴定为百合科重楼属植物七叶一枝花 *P. polyphylla*。取 30 cm × 25 cm 塑料盆, 装入适量基质(PindStrup, Denmark, 粒径 0 ~ 6 mm, pH 6.0); 挑选大小一致的重楼幼苗, 洗净, 栽植于基质内, 使芽尖露出基质表面, 置于组织培养间培养(20 ℃, 12 h 光照/12 h 黑暗, 相对湿度 55% ~ 60%), 待叶片完全展开, 用于不同光质处理。

1.3 方法

1.3.1 LED 光源设置 分别设置 LED 红光、蓝光、红光/蓝光 4:1、红光/蓝光 2:1 不同光质, 不同颜色灯珠按比例均匀交叉排布, 以白色荧光灯为对照(FL, T5, 飞利浦照明工业有限公司), 调整光源数量和高度, 使距离重楼叶片处的平均光照强度为 80 $\mu\text{mol} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{s})^{-1}$ 。每个处理设 3 次重复, 每重复 30 株苗, 光周期: 12 h 光照/12 h 黑暗(20 ℃、相对湿度 55% ~ 60%), 分别于处理 10、20、30 d 时取样, 新鲜样品经液氮速冻, 存于 -80 ℃ 冰箱, 用于叶绿素含量、蛋白含量和 SOD 酶活性测定; 另取不同处理的重楼根茎洗净, 40 ℃ 烘干, 粉碎过筛, 用于多糖和总皂苷含量测定。LED 光源由广东伟照业光电节能有限公司制造, 单支 LED 光源的相关参数

见表1。

表1 LED光源相关参数

光处理	光质配比	峰值波长/nm	功率/W
CK	荧光灯(白)	—	28.0
R	红光	660	13.9
B	蓝光	455	14.8
4R1B	红光/蓝光4:1	660/455	12.6
2R1B	红光/蓝光2:1	660/455	14.8

注:峰值波长代表不同LED光源的光强达到最大时对应的波长;—表示白光为全波长;组合光质的该值为两种LED光源各自的峰值波长。

1.3.2 生物量测定 不同光质处理30 d后取样一次,各处理随机取样3株,洗净,拭干水分,分别测定并记录地上部分与根茎的质量,根据公式(1)计算根冠比。

$$\text{根冠比} = \text{地下部分(g)} / \text{地上部分(g)} \quad (1)$$

1.3.3 叶绿素含量测定 精密称取处理30 d的新鲜重楼叶片各0.1 g,洗净,擦干,剪碎,加入适量80%丙酮,研磨至组织变白,过滤至25 mL容量瓶,定容,每个处理重复3次。分别在663、646 nm处测定提取液吸光值,按照文献描述方法计算叶绿素a和叶绿素b含量^[9]。

1.3.4 总蛋白含量与SOD酶活性测定 分别取不同光质处理10、20、30 d的新鲜重楼叶片,洗净杂质,吸干水分,精确称取0.5 g,加入5.0 mL磷酸缓冲液(0.05 mol·L⁻¹, pH 7.8),冰上迅速研磨成匀浆,4 ℃、10 000 r·min⁻¹离心10 min,上清液用于蛋白含量测定和SOD酶活性测定。利用BCA蛋白浓度测定试剂盒测定叶片中蛋白含量,蛋白含量以mg·g⁻¹ FW(鲜质量)表示;利用总SOD活性检测试剂盒测定叶片中超氧化物歧化酶活性,SOD酶活力以U·mg⁻¹蛋白含量表示。

1.3.5 总多糖含量测定

1.3.5.1 重楼粗多糖的制备 精密称取重楼样品0.250 g,置于锥形瓶中,加入10 mL蒸馏水,60 ℃超声20 min,滤取上清液,向沉淀中加入10 mL蒸馏水,重复上述操作。合并两次水提液,加入无水乙醇,使乙醇终浓度为80%。4 ℃静置24 h,10 000 r·min⁻¹离心5 min,弃去上清液,40 ℃烘箱内烘干至恒质量,得到重楼粗多糖粉末。向烘干的粗多糖粉末中加入25 mL蒸馏水,充分溶解,备用。

1.3.5.2 重楼多糖含量测定 重楼多糖含量采用苯

酚-硫酸法进行测定^[10]。精密量取0.2 mg·mL⁻¹葡萄糖对照品溶液0、25、50、150、250、300 μL,蒸馏水补体积至300 μL,加入5%苯酚溶液1 mL,混匀;加入浓硫酸5 mL,摇匀并静置10 min,40 ℃水浴15 min;取出后冰浴10 min,测定490 nm处吸光值。以葡萄糖对照品浓度为横坐标,以吸光值为纵坐标,得到如下线性回归方程: $Y = 9.9418X + 0.0155$, $r = 0.9955$ ($n = 3$)。分别吸取1.3.5.1项中待测样品300 μL,按相同方法测定490 nm处吸光值,依据标准曲线计算多糖含量,多糖含量以mg·g⁻¹ DW(干质量)表示。

1.3.6 总皂苷含量测定 精密称取重楼根茎粉末0.2 g,置于具塞锥形瓶中,加入25 mL甲醇,超声提取15 min,用甲醇补足减少的质量。参考杨骁等^[11]的方法进行测定,以重楼皂苷I作为对照品,重楼皂苷I含量为横坐标,吸光度值为纵坐标,得到如下线性回归方程: $Y = 3.0268X - 0.0137$, $r = 0.9967$ ($n = 3$),表明重楼皂苷I在0~0.023 mg·mL⁻¹线性关系良好。总皂苷含量以mg·g⁻¹ DW(干质量)表示。

1.4 数据分析

数据分析采用Excel 2013和SPSS 22.0软件,采用单因素方差分析结合多重比较进行多组样本间的差异显著性分析。

2 结果与分析

2.1 不同LED光质对重楼生物量的影响

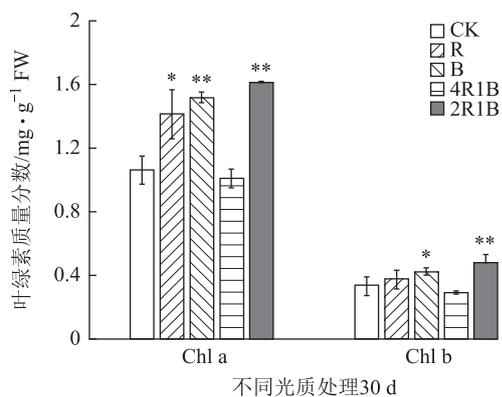
由表2可知,不同光质处理重楼植株30 d后,地上部分与根茎的生物量略有变化,2R1B处理的重楼地上部分生物量达到最大,地下部分生物量以4R1B处理为最高,但不同处理组与对照组相比均未达到显著差异。同时,蓝光和红光/蓝光2:1处理的重楼根冠比减小,表明其对重楼地上部分生长的促进作用高于地下部分。

表2 不同LED光质对重楼生物量的影响

处理	地上部分/g	地下部分/g	根冠比
CK	3.892	5.614	1.442
R	5.774	8.538	1.479
B	4.172	4.278	1.025
4R1B	7.217	8.746	1.212
2R1B	7.351	7.372	1.003

2.2 不同 LED 光质对重楼叶绿素含量的影响

重楼叶片中叶绿素含量在不同光质处理后变化明显。叶绿素 a 含量在 R、B 与 2R1B 光质处理后均显著增加,分别为对照组的 1.331 倍($P < 0.05$)、1.432 倍($P < 0.01$)和 1.521 倍($P < 0.01$)。不同处理组叶片中叶绿素 b 含量均低于叶绿素 a, B 与 2R1B 处理组叶绿素 b 含量均显著高于白光处理(CK),分别为对照组的 1.269 倍($P < 0.05$)和 1.445 倍($P < 0.01$),见图 1。结果表明,蓝光和红光/蓝光 2:1 处理均可显著提高陕产重楼叶片中两种叶绿素含量,以后者的处理效果为佳,其对重楼植株光合的影响有待进一步研究,以探明叶绿素含量增加与光合作用变化之间的关系。

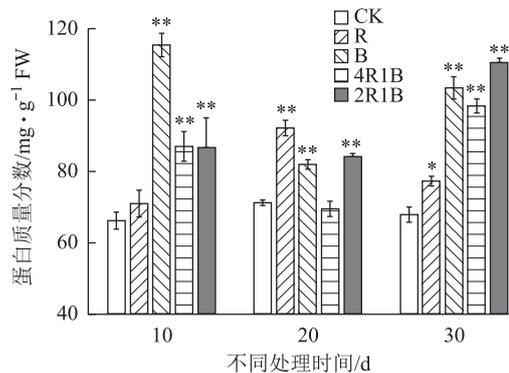


注: Chl a. 叶绿素 a; Chl b. 叶绿素 b; 分别以白光处理作为对照, * $P < 0.05$; ** $P < 0.01$ 。

图1 不同 LED 光质对重楼叶片中叶绿素含量的影响

2.3 不同 LED 光质对重楼叶片蛋白含量和 SOD 酶活性的影响

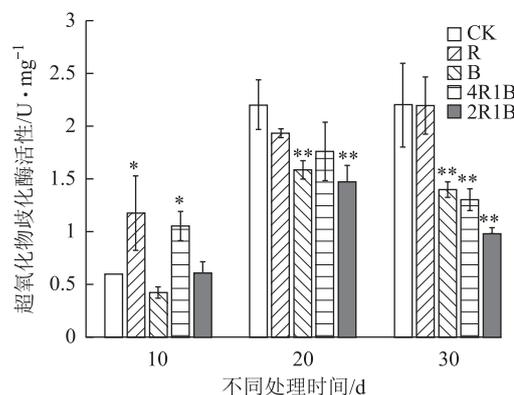
不同光质处理重楼植株,叶片中总蛋白含量相比对照组显著增加。B、4R1B 和 2R1B 处理 10 d 后叶片中蛋白含量均显著增加,分别为对照组(白光)的 1.741 倍、1.312 倍和 1.313 倍;不同光质处理重楼植株 20 d,各处理组叶片蛋白质量分数在 $(69.579 \pm 2.100) \sim (92.171 \pm 2.286) \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1} \text{ FW}$; 处理 30 d 后,不同光质处理的叶片中蛋白含量均显著高于对照组,以红/蓝 2:1 处理的蛋白含量为最高,是对照组的 1.628 倍($P < 0.01$),蓝光处理的重楼叶片蛋白含量为对照组的 1.523 倍,亦达到显著差异(图 2)。因此,单色光以蓝光处理的重楼叶片蛋白含量增加明显,不同比例光质以红光/蓝光 2:1 处理对重楼叶片蛋白积累的促进作用显著。实际生产中可通过调整红蓝光质配比,提高重楼叶片中的蛋白质含量。



注: 分别以白光处理作为对照, * 代表 $P < 0.05$; ** 代表 $P < 0.01$ 。

图2 不同 LED 光质对重楼叶片蛋白含量的影响

由图 3 可知,不同光质处理初期(10 d),红光和红光/蓝光 4:1 处理的重楼叶片中 SOD 酶活性相比对照组(白光)有所上升。随着处理时间的增加,各处理组叶片 SOD 酶活性相比对照均有所下降,以蓝光和红/蓝 2:1 处理组酶活性下降幅度明显。处理 30 d 时, B、4R1B 和 2R1B 处理的叶片中 SOD 活性均显著降低,分别为 (1.398 ± 0.077) 、 (1.301 ± 0.104) 、 $(0.979 \pm 0.058) \text{ U} \cdot \text{mg}^{-1}$,均低于对照组叶片中 SOD 酶活性,以红光/蓝光 2:1 处理的叶片 SOD 酶活性降幅为最大,相比对照组降低 55.40% ($P < 0.01$)。



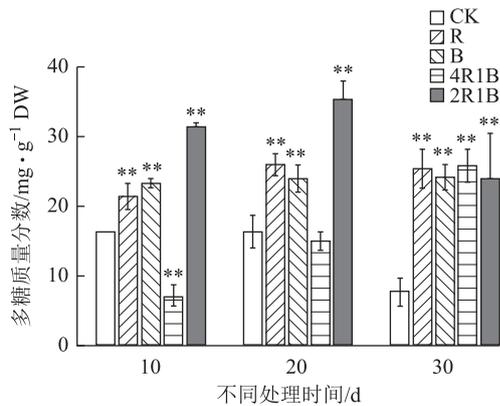
注: 分别以白光处理作为对照, * $P < 0.05$; ** $P < 0.01$ 。

图3 不同 LED 光质对重楼叶片 SOD 酶活性的影响

2.4 不同 LED 光质对重楼总多糖含量的影响

本研究中,不同光质不同时间处理的陕产重楼根茎中多糖含量相比对照组(白光)明显升高。不同处理时间 R、B 和 2R1B 处理的重楼根茎中,多糖含量均在较高水平,以红光/蓝光 2:1 处理的促进作用最为显著,分别为对照组的 1.918 倍(10 d)、2.165 倍(20 d)和 3.151 倍(30 d)。随着红光/蓝光 4:1 处理时间的延长,对重楼根茎中多糖含量的积累由抑制转变为促进,处理 30 d 后根茎中多糖含量达

(25.738 ± 2.362) $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1} \text{DW}$, 显著高于对照组 ($P < 0.01$, 图4)。综合考虑, 以红光/蓝光2:1为提高陕产重楼根茎中多糖含量的最佳LED光质处理组合。

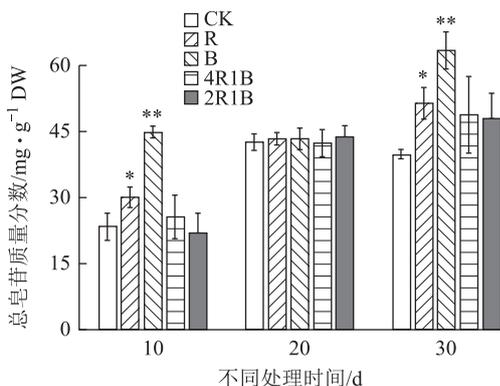


注: 分别以白光处理作为对照, ** $P < 0.01$ 。

图4 不同LED光质对重楼根茎中多糖含量的影响

2.5 不同LED光质对重楼总皂苷含量的影响

由图5可知, 不同光质处理的重楼根茎中, 重楼总皂苷含量随处理时间的延长总体表现为逐渐升高的趋势。红光和蓝光处理10 d, 重楼根茎中总皂苷含量均显著高于对照(白光), 以蓝光处理的效果为好, 达到(44.766 ± 1.445) $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1} \text{DW}$, 相比对照组提高91.20% ($P < 0.01$)。处理20 d时不同处理之间总皂苷含量无显著差异。不同光质处理30 d时, 总皂苷含量相比对照组均有所增加, 以蓝光处理的促进作用为最强, 达到(63.343 ± 4.269) $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1} \text{DW}$, 是对照组的1.595倍 ($P < 0.01$)。因此, 蓝光对陕产重楼根茎中总皂苷积累的促进作用最为显著。



注: 分别以白光处理作为对照, * $P < 0.05$; ** $P < 0.01$ 。

图5 不同LED光质对重楼根茎中总皂苷含量的影响

3 讨论

光是药用植物积累同化产物的能量来源, 次生代谢产物的合成与积累则依赖于植物体内的初生代

谢。研究表明, 不同光质的LED光源能够影响植物的生长^[12-13]、光合作用^[14]、保护酶系统^[15], 以及次生代谢产物的积累与转化^[16-17]。陕产重楼是秦巴山区特色秦药之一, 随着市场需求的不断增加, 解决重楼人工栽培过程中的关键性问题迫在眉睫。本研究利用LED发光二极管, 设置不同单色光质及混合光质组合, 处理基质栽培的陕产重楼, 分别考察植株生长、叶绿素含量、蛋白含量、超氧化物歧化酶活性、多糖含量和总皂苷积累对不同光质的响应。结果表明, 红光/蓝光2:1处理对重楼生长和生物量积累具有一定的促进作用, 并能够显著提高叶片中叶绿素a、b的含量。叶绿素含量水平与植物的光合作用密切相关, 黄希等^[18]研究发现, 橙光/蓝光4:1有利于促进滇重楼叶片的光合作用, 本研究中红光/蓝光2:1对陕产重楼光合作用的影响有待进一步探究。同时, 本研究结果显示, 红光/蓝光2:1处理对重楼叶片蛋白质含量具有显著的促进作用, 并能够显著降低叶片超氧化物歧化酶活性。

闻永慧等^[19]利用不同光质LED处理白及二倍体与四倍体组培苗, 发现红/蓝1:1最有利于白及组培苗中多糖的积累; 红蓝LED复合光照有利于铁皮石斛叶绿素与多糖含量的增加, 蓝光则有利于种苗的增粗与生物碱的积累^[16]。张勤涛等^[20]利用蓝光处理滇重楼, 重楼产量及根茎中皂苷含量达到最高。重楼主要以根茎入药, 皂苷和多糖为根茎的主要成分。本研究结果显示, 红光/蓝光2:1处理可显著提高陕产重楼根茎中多糖的含量, 而总皂苷含量的提高以LED蓝光处理的效果为佳, 这与上述文献报道的结果基本一致。

LED光源是设施农业常用的技术手段之一, 具有高效、节能、环保等优点, 随着珍稀药用植物人工种植规模的扩大, 充分利用LED光源在植株生长和有效成分积累关键期进行处理, 可为提高药材产量和品质提供参考。同时, 进一步研究不同LED光质处理药用植物后体内初生代谢与次生代谢之间的转化, 以及关键酶基因的表达、调控过程, 阐明不同光质影响药用植物生长和药材品质形成的分子机制, 可为合理利用LED光源指导药材生产提供理论和实践依据。

参考文献

- [1] 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.
- [2] 李强, 赵瑜, 张燕, 等. 光对药用植物影响的研究进展及其对生态种植的启示[J]. 现代中药研究与实践, 2017,

- 31(4):80-83.
- [3] 中国科学院中国植物志编辑委员会. 中国植物志:第15卷[M]. 北京:科学出版社,1978:92.
- [4] 中国科学院西北植物研究所. 秦岭植物志[M]. 北京:科学出版社,1976:354.
- [5] 黄贤校,高文远,满淑丽,等. 重楼属药用植物皂苷类化学成分及其生源途径的研究进展[J]. 中草药,2009,40(3):483-489.
- [6] 王跃虎,牛红梅,张兆云,等. 重楼属植物的药用价值及化学物质基础[J]. 中国中药杂志,2015,40(5):833-839.
- [7] 程虎印,程江雪,王艳,等. 陕产宽叶重楼的生药学研究[J]. 中国现代中药,2019,21(1):1480-1485.
- [8] 程虎印,徐进,颜永刚,等. 陕产重楼属药用植物的研究进展[J]. 陕西中医药大学学报,2017,40(1):107-111.
- [9] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京:高等教育出版社,2000:134-137.
- [10] 钟方晓,任海华,李岩. 多糖含量测定方法比较[J]. 时珍国医国药,2007,18(8):1916-1917.
- [11] 杨骁,张振秋. 重楼中总皂苷的含量测定[J]. 中华中医药学刊,2007,25(11):2420-2422.
- [12] GUPTA S D, JATOTHU B. Fundamentals and applications of light-emitting diodes (LEDs) *in vitro* plant growth and morphogenesis[J]. Plant Biotechnol Rep, 2013, 7(3): 211-220.
- [13] 魏灵玲,杨其长,刘水丽. LED在植物工厂中的研究现状与应用前景[J]. 中国农学通报,2007,23(11):408-411.
- [14] DARKO E, HEYDARIZADEH P, SCHOEFS B, et al. Photosynthesis under artificial light: the shift in primary and secondary metabolism[J]. Phil Trans R Soc B Biol Sci, 2014, 369(1640):20130243.
- [15] 彭亮,赵婷,杨冰月,等. 不同光质光强对远志生长和相关酶活性及成分的影响[J]. 中草药,2018,49(21):5004-5009.
- [16] 高亭亭,斯金平,朱玉球,等. 光质与种质对铁皮石斛种苗生长和有效成分的影响[J]. 中国中药杂志,2012,37(2):198-201.
- [17] 梁宗锁,李倩,徐文晖. 不同光质对丹参生长及有效成分积累和相关酶活性的影响[J]. 中国中药杂志,2012,37(14):2055-2060.
- [18] 黄希,梁社往,蔡虎铭,等. 不同LED橙蓝光质配比对滇重楼叶片光合特性和叶绿素荧光参数的影响[J]. 中国农学通报,2016,32(22):98-103.
- [19] 闻永慧,孟英,李慧敏,等. LED不同光质对白及组培苗生长及可溶性糖含量的影响[J]. 北方园艺,2014,38(15):58-62.
- [20] 张勤涛,梁社往,曹嘉芮,等. LED不同光质对滇重楼生长、光合特性、皂苷含量及产量的影响[J]. 照明工程学报,2018,29(4):45-49.

(收稿日期:2019-01-31 编辑:王笑辉)

(上接第1371页)

参考文献

- [1] 郭玉婷,景玉霞,吴燕妮,等. 新疆和田地区不同产地昆仑雪菊的质量评价[J]. 新疆医科大学学报,2013,36(10):1459-1462.
- [2] 孙亚东,梁燕,吴江敏,等. 番茄种质资源的遗传多样性和聚类分析[J]. 西北农业学报,2009,18(5):297-301.
- [3] 刘新龙,马丽,蔡青,等. 云南甘蔗品种表型性状的遗传多样性分析[J]. 植物遗传资源学报,2010,11(6):703-708.
- [4] GLASZMANN J C, KILIAN B, UPADHYAYA H D, et al. Accessing genetic diversity for crop improvement[J]. Curr Opin Plant Biol, 2010, 13(2):167-173.
- [5] 周延清. DNA分子标记技术在植物研究中的应用[M]. 北京:化学工业出版社,2005:15-17.
- [6] XU L, LU Y, QIAN Y, et al. Biogeographical Variation and Population Genetic Structure of *Sporisorium scitamineum* in Mainland China: Insights from ISSR and SP-SRAP Markers[J/OL]. Scientific World J, 2014. <http://dx.doi.org/10.1155/2014/296020>.
- [7] 王果平,樊丛照,李晓瑾,等. 基于ISSR的新疆贝母属植物遗传多样性研究[J]. 中草药,2013,44(7):887-890.
- [8] SZENEJKO M, ŚMIETANA P, STĘPIEŃ E. Genetic diversity of *Poa pratensis* L. depending on geographical origin and compared with genetic markers[J]. PeerJ, 2016, 4(9):1-22.
- [9] 郎乾坤,樊丛照,朱军,等. 维吾尔药茶昆仑雪菊ISSR分子标记体系的建立[J]. 生物资源, 2017, 39(1):36-41.
- [10] 范李萍,吴鹏昊,王莉萍,等. 基于遗传和表型特征的海岛棉遗传多样性分析[J]. 植物遗传资源学报,2016,17(2):197-208.
- [11] 邵清松,郭巧生,张志远. 药用菊花种质资源遗传多样性的ISSR分析[J]. 中草药,2009,40(12):1971-1975.
- [12] 陈刚,帕丽达,朱军,等. 立地条件对昆仑雪菊品质的影响[J]. 中国现代中药,2013,15(12):1060-1063.
- [13] 孙自增,毕肯·阿不都克力木,张彦丽,等. 不同产地雪菊化学成分含量测定及模式识别研究[J]. 中国实验方剂学杂志,2012,18(24):174-178.
- [14] 解梦,于晶,郭水良. 植物核DNA含量在全球尺度上的纬度变异式样及其气候适应意义——以菊科植物为例[J]. 生态学报,2018,38(10):3453-3461.

(收稿日期:2019-04-22 编辑:王丽英)