

## 不同光质光强对远志生长和相关酶活性及成分的影响

彭 亮, 赵 婷, 杨冰月\*, 安衍茹, 黄 涛, 孙 涛, 刘阿萍, 王 媚, 胡本祥\*

陕西中医药大学, 陕西 西安 712046

**摘 要:** **目的** 通过研究远志在不同光质光强下的生长、生理特性及成分变化情况, 为远志的人工栽培, 提高产量、增加目标成分含量提供理论依据。 **方法** 以远志直播苗为实验材料, 光质设置白光、黄光、红光、蓝光 4 种光质, 光强设置 100、300、500  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$  3 个强度梯度, 光照 30 d 后测定远志的株高、根长、叶长、叶宽、丙二醛 (MDA) 含量、抗氧化酶活性及主要活性成分含量。 **结果** 红光下远志的株高、根长、叶长、生物量均达到最大。黄光下 MDA 含量最小, 白光下 MDA 含量最大。红、蓝光下超氧化物歧化酶 (SOD)、过氧化物酶 (POD)、过氧化氢酶 (CAT) 活性显著升高。蓝光下总黄酮、总酚、3,6'-二芥子酰基蔗糖含量最高。不同光质对远志吡啶酮 III 的含量无显著性影响。300  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$  的光照强度下远志株高最高生物量最大, 500  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$  光强下远志根长最长。叶片中的 MDA 含量及 SOD、POD、CAT 活性随着光照强度的增大而逐渐增大。不同光强对总黄酮、总酚及远志吡啶酮 III 含量无显著性影响, 300  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$  下 3,6'-二芥子酰基蔗糖含量最高。 **结论** 红光对远志根的促进作用最强, 红、蓝光可显著提高 POD、SOD、CAT 活性, 蓝光对总黄酮、总酚、3,6'-二芥子酰基蔗糖积累的促进最强。500  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$  的光强对远志根的促进作用最强, 且叶片的 POD、SOD、CAT 活性较高, 不同光强对总黄酮、总酚及远志吡啶酮 III 含量无显著性影响, 300  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$  可促进 3,6'-二芥子酰基蔗糖的积累。

**关键词:** 远志; 光质; 光强; SOD; POD; CAT; 抗氧化酶活性; 总黄酮; 总酚; 3,6'-二芥子酰基蔗糖; 远志吡啶酮 III

**中图分类号:** R282.21 **文献标志码:** A **文章编号:** 0253-2670(2018)21-5004-06

**DOI:** 10.7501/j.issn.0253-2670.2018.21.008

## Effects of light quality and intensity on growth, related enzymes activity, and components of *Polygala tenuifolia*

PENG Liang, ZHAO Ting, YANG Bing-yue, AN Yan-ru, HUANG Tao, SUN Tao, LIU A-ping, WANG Mei, HU Ben-xiang

Shaanxi University of Chinese Medicine, Xi'an 712046, China

**Abstract:** **Objective** To study the growth physiology and components of *Polygala tenuifolia* under different light quality and intensity, and provide theoretical basis for the artificial cultivation, yield improvement, and increasing the target composition of *P. tenuifolia*. **Methods** Using *P. tenuifolia* shoots as the experimental material, four kinds of lights (white, yellow, red, and blue) as light quality, the light intensity was set at 100, 300, and 500  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$  to determinate the plant height, root length, leaf length, leaf width, malondialdehyde (MDA) content, antioxidant enzyme activity, and secondary metabolite content in *P. tenuifolia* after 30 d of illumination. **Results** Under the red light, *P. tenuifolia* had the highest plant height, the longest root length and leaf length, and the largest biomass. Under the yellow light, the MDA content was the lowest, and the MDA content was the highest under white light. The activities of SOD, POD, and CAT were significantly increased under red and blue light. The highest content of total flavonoids, total phenols, and 3,6'-disinapoyl sucrose under blue light. Different light qualities had no significant effect on the content of polygalaxanthone III. The biomass of plant height and the 3,6'-disinapoyl sucrose content were the highest under the light intensity of 300  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ . *P. tenuifolia* had the longest roots under the light intensity of 500  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ , and the content of MDA and the activities of POD, SOD, and CAT increased with the increase of light intensity. **Conclusion** Red light has the strongest promoting effect on the roots of *P. tenuifolia*. Red and blue light significantly increases the activity of POD, SOD, and CAT. Blue light promotes the accumulation of total flavonoids, total phenols, and 3,6'-disinapoyl sucrose. The light intensity of 500  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$  has the strongest promoting effect on the roots of *P. tenuifolia*, and the activities of POD, SOD, and CAT in leaves were higher. Different light qualities had no significant effect on the contents of total flavonoids, total phenols, and polygalaxanthone III. The light intensity of 300  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$  promotes the accumulation of 3,6'-disinapoyl sucrose. **Key words:** *Polygala tenuifolia* Willd.; light quality; light intensity; SOD; POD; CAT; anti-oxidant enzyme activity; total flavonoids; total phenols; 3,6'-disinapoyl sucrose; polygalaxanthone III

收稿日期: 2018-06-02

基金项目: 公益性行业 (中医药) 科研专项经费项目 (201507002-1-08); 国家大学生创新计划 (201710716011)

作者简介: 彭 亮 (1985—), 博士, 研究方向为中药资源评价与开发利用、中药材质量控制研究。E-mail: ppengliang@126.com

\*通信作者 杨冰月 (1983—), 博士, 研究方向为中药品种、质量及资源开发研究。E-mail: 304951774@qq.com

胡本祥 (1960—), 教授, 研究方向为中药品种、质量及资源开发研究。E-mail: hubenxiang@tom.com

光作为植物生长发育最重要的环境因素之一,控制并决定着植物的生长、发育以及分化等过程。同时,光照条件对植物气孔器运动、叶片生长、光合色素以及光合碳同化都有一定的调控作用<sup>[1]</sup>。相关研究报道表明,光质和光强对药材的生长及其有效成分的积累有显著影响,可以通过调控光照条件的手段来提高药材产量及有效成分含量。梁宗锁等<sup>[2]</sup>研究发现,与白光相比,增加蓝光可使丹参株高降低,增加红光使丹参根长、根直径、根鲜质量和干质量显著增加,且有效成分丹酚酸 B 含量在补充蓝光与红光后显著提高,补充蓝光与红光后其酪氨酸氨基转移酶(TAT)和多酚氧化酶(PPO)活性显著增强。苏文华等<sup>[3]</sup>研究表明,增大光照强度能够显著增加灯盏花的生物量和黄酮的含量,与无色塑料膜相比,黄、红、紫和蓝色塑料膜下植株的生物量下降,但蓝色膜下植株的黄酮含量最高。

远志为远志科植物远志 *Polygala tenuifolia* Willd. 或卵叶远志 *P. sibirica* L. 的干燥根,为临床常用中药,始载于《神农本草经》,列为上品。本品味苦、辛,性温,归心、脾、肾经,具有安神益智、祛痰消肿之功效,有“养命之要药”之称,临床上多应用在治疗心肾不交引起的失眠多梦、健忘惊悸等症<sup>[4]</sup>。目前,远志的相关研究多集中于有效成分、药理作用、质量评价等方面<sup>[5-7]</sup>,人工栽培及光照条件对其生长、相关酶活性及代谢产物等的影响研究报道较少。本实验通过设置不同光质和光强下远志的栽培实验,以探讨不同光质和光强对远志生长和有效成分含量的影响,为远志的人工栽培、提高目标成分含量提供理论依据。

## 1 材料与仪器

### 1.1 材料

远志种子采自陕西省淳化县远志规范化栽培基地,经陕西中医药大学胡本祥教授鉴定为远志 *Polygala tenuifolia* Willd. 的种子。对照品芦丁(批号 100080-200707,质量分数 $\geq 92.8\%$ )、没食子酸(批号 110831-201204,质量分数 $\geq 92.5\%$ )、远志卟啉 III(批号 201504,质量分数 $\geq 95.5\%$ )、3,6'-二芥子酰基蔗糖(批号 201504,质量分数 $\geq 98\%$ )均购自中国食品药品检定研究院,色谱纯乙腈、甲醇(赛默飞世尔科技有限公司);纯净水(杭州娃哈哈集团有限公司)。蛋白定量、总超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)、过氧化氢酶(CAT)、丙二醛(MDA)测试盒,购于南京建成生物工程研究所。

### 1.2 仪器

VQ-GLT8020 型 LED 灯管(规格 T8 1.2M 20WLED)购于深圳市泛科科技有限公司。有机质购买于凯吉拉爱沙尼亚泥炭栽培介质,内含全氮 1.0%、有机质 93.6%、水分 8.1%、pH 5.6、电导度 0.2 dS/m。花盆购买于花卉市场,外口直径 25 cm,内口直径 21.5 cm,高 16.5 cm,底部直径 13 cm。Waters-2695 高效液相色谱仪,KQ-200DE 型数控超声波清洗器(昆山市超声仪器有限公司),FA2104 型电子分析天平(上海民桥精密科学仪器有限公司),752N 型紫外-可见分光光度计(上海仪电分析仪器有限公司)。

## 2 方法

### 2.1 不同光质光强处理

将远志种子直播于花盆内(内置有机质,深约 12 cm),用自来水充分浸润后置于温室大棚同等条件下培养。待远志长至 6~8 片真叶时,进行间苗,每盆 30 株,并将其置于温度为 25 °C,光照时间为 12 h/d 的光照架中,分别进行不同的光质光强处理,每个处理重复 6 盆。本实验光质设置 4 个处理,分别为白光、黄光、红光和蓝光,光照强度为 100  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ 。以白光为光质,光强设置 3 个处理,分别为 100、300、500  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ 。

### 2.2 生长指标的测定

每个处理组分别在光照的第 30 天随机取样,测定远志的株高、根长、叶长、叶宽,并以 50 株为一组,60 °C 干燥至恒定质量后,测量干质量,粉碎过筛,置于室内干燥器备用。

### 2.3 抗氧化酶活性的测定

MDA 含量测定采用 TBA 法,SOD 活性测定采用羟胺法,POD 活性测定采用愈创木酚法,CAT 活性测定采用可见光法,具体操作方法参照试剂盒说明书。

### 2.4 总黄酮和总酚的提取与测定

#### 2.4.1 总黄酮的测定

(1) 对照品溶液的制备:准确称取芦丁对照品 10.90 mg,用 80%乙醇溶解定容至 10 mL 量瓶中,摇匀,即得质量浓度为 1.09 mg/mL 的芦丁对照品溶液。

(2) 供试品溶液的制备:精密称定每个处理组的远志粉末 0.1 g 于具塞锥形瓶中,加入 60%乙醇 3 mL,超声 40 min,1 500 r/min 离心 10 min,取上清液,药渣再加 3 mL 的 60%乙醇提取,提取 3

次, 合并上清液, 定容至 10 mL 量瓶中。

(3) 标准曲线的绘制: 精密吸取上述对照品溶液 100、200、300、400、500  $\mu\text{L}$  分别置于 10 mL 的离心管中, 各加 80% 的乙醇溶液至 2.6 mL, 加 5% 的  $\text{NaNO}_2$  溶液 0.6 mL, 摇匀, 放置 6 min, 再加 10% 的  $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$  溶液 0.6 mL, 摇匀, 再放置 6 min, 加 4% 的  $\text{NaOH}$  溶液 4.2 mL, 摇匀, 放置 20 min, 在 510 nm 波长处测定吸光度 ( $A$ ) 值, 以  $A$  值为纵坐标 ( $Y$ ), 芦丁质量浓度为横坐标 ( $X$ ), 绘制标准曲线方程为  $Y=1.4986X-0.005$ ,  $r=0.9995$ 。

(4) 样品测定: 取供试品溶液各 2.6 mL 加入 10 mL 的离心管中, 按“2.4.1 (3)”项下方法操作, 测定  $A$  值, 计算芦丁含量。

#### 2.4.2 总酚的测定

(1) 对照品溶液的制备: 精密称取没食子酸对照品 12.40 mg, 加纯净水定容至 100 mL 的量瓶中, 制成质量浓度为 0.124 mg/mL 的没食子酸对照品溶液。

(2) 供试品溶液的制备: 按“2.4.1 (2)”项方法。

(3) 标准曲线的绘制: 精密吸取上述对照品溶液 100、200、300、400、500  $\mu\text{L}$  分别置于 10 mL 量瓶中, 用纯净水定容。分别取不同质量浓度的对照品溶液 200  $\mu\text{L}$  加入 10 mL 干燥的离心管中, 再分别加入 3.8 mL 的纯净水, 1 mL 的 1 mol/L 福林酚试剂和 3 mL 的 7.5%  $\text{NaCO}_3$  溶液, 混匀, 40  $^{\circ}\text{C}$  水浴下恒温 1 h, 摇匀, 在 765 nm 处测定其  $A$  值, 以  $A$  值为纵坐标 ( $Y$ ), 没食子酸质量浓度为横坐标 ( $X$ ), 绘制标准曲线方程为  $Y=14.242X+0.014$ ,  $r=0.9991$ 。

(4) 总酚的测定: 取供试品溶液各 200  $\mu\text{L}$  加入干燥的 10 mL 离心管中, 按“2.4.2 (3)”项下方法操作, 测定其  $A$  值。

#### 2.5 远志卟酮 III 和 3,6'-二芥子酰基蔗糖的测定

测定方法参照《中国药典》2015 年版的远志成分测定。

**2.5.1 供试品溶液的制备** 精密称取每个处理组的远志粉末 1.0 g 于具塞锥形瓶中, 加入 70% 的甲醇 25 mL, 称定质量, 水浴加热回流 1.5 h, 放凉, 用 70% 的甲醇补足质量, 摇匀滤过, 取滤液即得。

**2.5.2 对照品溶液的制备** 精密称取远志卟酮 III、3,6'-二芥子酰基蔗糖对照品适量, 分别加甲醇制成含远志卟酮 III 0.15 mg/mL、3,6'-二芥子酰基蔗糖 0.2 mg/mL 的对照品溶液, 即得。

**2.5.3 色谱条件** 色谱柱 Agilent 5 TC- $\text{C}_{18}$  (2) (250

mm $\times$ 4.6 mm, 5  $\mu\text{m}$ ), 以乙腈-0.05%磷酸溶液 (20:80) 为流动相, 检测波长为 320 nm, 柱温 30  $^{\circ}\text{C}$ , 进样量为 10  $\mu\text{L}$ , 色谱图见图 1。

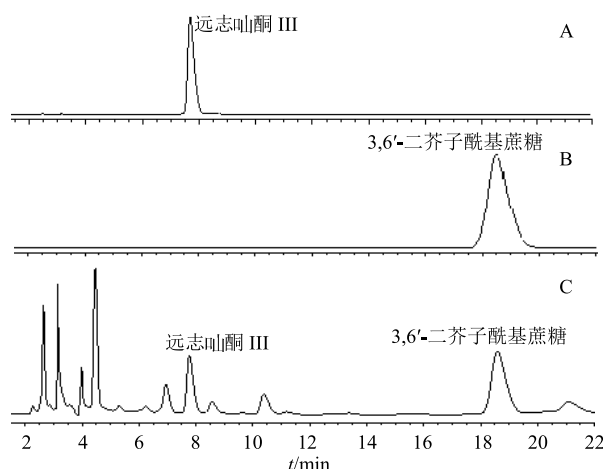


图 1 远志卟酮 III (A)、3,6'-二芥子酰基蔗糖 (B) 对照品及远志样品 (C) HPLC 图

Fig. 1 HPLC of reference substance of polygalaxanthone III (A), 3,6'-disinapoyl sucrose (B), and *P. tenuifolia* samples (C)

#### 2.6 数据处理

采用 Excel 2010 对数据进行绘图分析, SPSS 19.0 数据统计软件进行数据分析, 用单因素方差分析 (one-way ANOVA) 和最小显著差异法 (LSD 法) 进行数据显著性分析。

#### 3 结果与分析

##### 3.1 光质对远志生长的影响

由表 1 可知, 不同光质对远志的株高、根长、叶长、叶宽具有显著影响。远志株高在红光下最高, 白光下最低, 黄、蓝光介于两者之间, 不同光质下远志株高的顺序为红光>黄光>蓝光>白光。不同光质对远志根长的影响与株高一致, 在红光下最长, 白光下最短。远志的叶长在红、蓝、白光下无显著性差异, 相较于黄光对远志的叶长有显著的促进作用。叶宽在白光和蓝光下无显著性差异, 均显著大于黄、红光, 对叶宽有显著的促进作用, 黄光下远志叶宽最小。生物量在红光下最大, 黄光下最小, 白、蓝光介于两者之间且无显著性差异。综合而言, 红光下远志的株高、根长、叶长、生物量均达到最大值, 对远志茎、根、叶长的生长、生物量的积累均具有较显著的促进作用。白光下远志的株高最低, 根长最短, 叶长、叶宽较大, 对远志茎、根的生长具有显著的抑制作用, 但有利于远志叶的

表 1 光质对远志生长的影响

Table 1 Effects of light quality on growth of *P. tenuifolia*

| 光质 | 株高/cm        | 根长/cm        | 叶长/cm       | 叶宽/cm       | 生物量/g        |
|----|--------------|--------------|-------------|-------------|--------------|
| 白  | 29.38±0.99 d | 48.02±1.10 c | 8.94±0.56 a | 3.32±0.52 a | 0.365±0.06 b |
| 黄  | 37.58±1.22 b | 53.16±1.53 b | 6.16±0.33 b | 1.48±0.80 c | 0.140±0.03 c |
| 红  | 38.76±0.86 a | 62.40±1.64 a | 9.02±0.94 a | 2.28±0.49 b | 0.435±0.03 a |
| 蓝  | 32.60±1.84 c | 52.04±1.80 b | 9.02±0.38 a | 3.14±0.78 a | 0.380±0.05 b |

同列不同小写字母表示处理间差异显著 ( $P<0.05$ )

Different lowercases within column indicate significant differences between treatments ( $P<0.05$ )

生长。黄光下远志的叶长、叶宽、生物量最小,对远志叶长、叶宽的生长,生物量的积累有显著的抑制作用。

### 3.2 光质对远志叶片 MDA 含量、保护酶系统的影响

由表 2 可知,黄光下 MDA 含量最小,白光下 MDA 含量最大,不同光质下 MDA 含量增大的顺序为黄光<红光<蓝光<白光。黄光下 MDA 含量最小,SOD、POD 活性最小,CAT 活性较小。随着 MDA 含量的增大,膜脂过氧化作用增强,其保护酶系统活性增大,加快细胞清除自由基的速度,减轻膜系统的受损程度。红光下 POD 活性增至最大,

为黄光的 158.12%。SOD、CAT 活性增大为黄光的 101.72%、129.07%。蓝光下 SOD、CAT 活性增至最大,分别为黄光的 105.49%、138.59%。白光下的 SOD、POD、CAT 相对红、蓝光均显著降低,分别为黄光的 101.13%、113.15%、90.99%。

### 3.3 光质对远志总黄酮、总酚、远志呔酮 III、3,6'-二芥子酰基蔗糖含量的影响

由图 2 可知,不同光质对远志中总黄酮、总酚含量的影响趋势一致。蓝光下总黄酮、总酚含量最大,白光下最小,黄、红光介于两者之间且两者无显著性差异。白光下远志中的远志呔酮 III 含量最高,黄光、

表 2 光质对远志叶片 MDA 含量及 SOD、POD、CAT 活性的影响

Table 2 Effects of light quality on contents of MDA and SOD, POD, and CAT activities in leaves of *P. tenuifolia*

| 光质 | MDA/(nmol·mg <sup>-1</sup> ) | SOD/(U·mg <sup>-1</sup> ) | POD/(U·mg <sup>-1</sup> ) | CAT/(U·mg <sup>-1</sup> ) |
|----|------------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| 白  | 20.69±1.34 a                 | 495.18±0.87 c             | 65.91±1.28 c              | 24.76±0.46 d              |
| 黄  | 11.22±1.97 d                 | 489.65±1.56 d             | 58.25±0.49 d              | 27.21±1.12 c              |
| 红  | 12.23±0.59 c                 | 498.08±1.28 b             | 92.11±1.17 a              | 35.12±1.06 b              |
| 蓝  | 14.53±1.05 b                 | 516.55±0.68 a             | 75.65±0.35 b              | 37.71±0.84 a              |

同列不同小写字母表示处理间差异显著 ( $P<0.05$ )

Different lowercases within column indicate significant differences between treatments ( $P<0.05$ )

红光、蓝光下的远志呔酮 III 含量均小于白光,但不同光质间不存在显著性差异。不同光质对远志的 3,6'-二芥子酰基蔗糖含量影响显著,蓝光下的 3,6'-二芥子酰基蔗糖含量最高,与白光无显著性差异,红光、黄光下的 3,6'-二芥子酰基蔗糖含量均较小,其中黄光下的 3,6'-二芥子酰基蔗糖含量最低。

### 3.4 光强对远志生长的影响

由表 3 可知,不同光照强度对远志的株高、根长、叶长、叶宽、生物量有显著的影响。300  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$  下远志株高和生物量最大,最适宜远志茎的生长和生物量的积累,增大或减小光照强度,远志的株高和生物量均显著降低。根在 500  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$  下最长,随着光强的减小,远志根长显著降低。叶长在 100  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$  下最长,随着光强的增大,叶长逐渐减小。叶宽在 100  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$  下最大,300  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$  下最小。

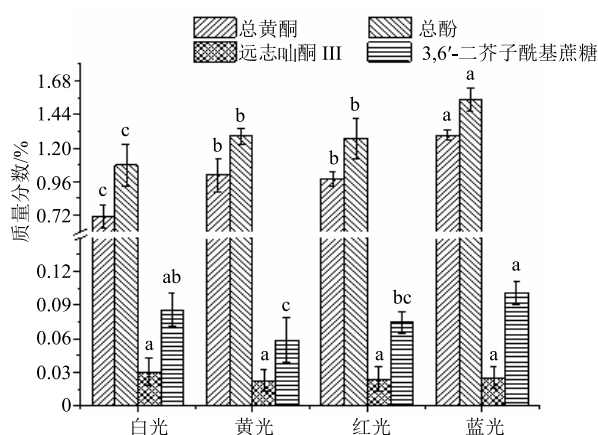


图 2 光质对远志总黄酮、总酚、远志呔酮 III、3,6'-二芥子酰基蔗糖含量的影响

Fig. 2 Effects of light quality on content of total flavonoids and total phenol, polygalaxanthone III, and 3,6'-disinapoyl sucrose of *P. tenuifolia*

### 3.5 光强对远志叶片 MDA 含量、保护酶系统的影响

由表 4 可知,不同光强对 MDA 含量, SOD、POD、CAT 活性均有显著的影响。100  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$  下远志叶片中 MDA 含量最小,随着光照强度的增大,MDA 含量逐渐增加。表明 LED 光照强度越大远志叶片的膜脂过氧化作用越强,降低远志的抗逆性。随着光照强度的增大,叶片中 SOD、POD、CAT 活性也逐渐增强,500  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$  时 SOD、POD、CAT 活性分别增长至 100  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$  光强下的 148.89%、166.35%、186.76%,加快细胞清除自由基的速度,减轻膜系统的受损程度。

### 3.6 光强对总黄酮、总酚、远志呔酮 III、3,6'-二芥子酰基蔗糖含量的影响

由图 3 可知,100  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$  下远志中总黄酮、总酚的含量最高,300  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$  下含量最低,但不同光强间总黄酮、总酚的含量无显著性差异,光强对总黄酮、总酚的含量无显著性影响。不同光强下远志呔酮 III 的含量大小顺序为 100  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s}) > 300 \mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s}) > 500 \mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ ,但不同的光强间不存在显著性差异。不同光照强度对远志的 3,6'-二芥子酰基蔗糖含量影响较为显著,其中 300  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$  下 3,6'-二芥子酰基蔗糖含量最高,500  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$  下量最低。

表 3 光强对远志生长的影响

Table 3 Effects of light intensity on growth of *P. tenuifolia*

| 光强/ $(\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1})$ | 株高/cm              | 根长/cm              | 叶长/cm             | 叶宽/cm             | 生物量/g               |
|-----------------------------------------------------------|--------------------|--------------------|-------------------|-------------------|---------------------|
| 100                                                       | 38.20 $\pm$ 0.87 b | 48.02 $\pm$ 0.24 c | 9.56 $\pm$ 0.17 a | 4.58 $\pm$ 1.51 a | 0.390 $\pm$ 0.050 c |
| 300                                                       | 39.50 $\pm$ 1.51 a | 61.02 $\pm$ 0.53 b | 8.44 $\pm$ 0.63 b | 2.80 $\pm$ 1.62 c | 0.525 $\pm$ 0.030 a |
| 500                                                       | 31.38 $\pm$ 0.77 c | 68.60 $\pm$ 1.72 a | 7.56 $\pm$ 1.93 c | 3.28 $\pm$ 0.27 b | 0.485 $\pm$ 0.040 b |

同列不同小写字母表示处理间差异显著 ( $P < 0.05$ )

Different lowercases within column indicate significant differences between treatments ( $P < 0.05$ )

表 4 光强对远志叶片 MDA 含量及 SOD、POD、CAT 活性的影响

Table 4 Effects of light intensity on MDA, SOD, POD, and CAT activities in leaves of *P. tenuifolia*

| 光强/ $(\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1})$ | MDA/ $(\text{nmol}\cdot\text{mg}^{-1})$ | SOD/ $(\text{U}\cdot\text{mg}^{-1})$ | POD/ $(\text{U}\cdot\text{mg}^{-1})$ | CAT/ $(\text{U}\cdot\text{mg}^{-1})$ |
|-----------------------------------------------------------|-----------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| 100                                                       | 15.49 $\pm$ 0.58 c                      | 495.61 $\pm$ 0.76 c                  | 38.49 $\pm$ 1.14 c                   | 62.17 $\pm$ 1.65 c                   |
| 300                                                       | 17.39 $\pm$ 0.74 b                      | 658.47 $\pm$ 1.09 b                  | 61.62 $\pm$ 0.69 b                   | 96.19 $\pm$ 0.85 b                   |
| 500                                                       | 23.51 $\pm$ 1.35 a                      | 737.90 $\pm$ 0.32 a                  | 64.03 $\pm$ 1.23 a                   | 116.11 $\pm$ 0.96 a                  |

同列不同小写字母表示处理间差异显著 ( $P < 0.05$ )

Different lowercases within column indicate significant differences between treatments ( $P < 0.05$ )

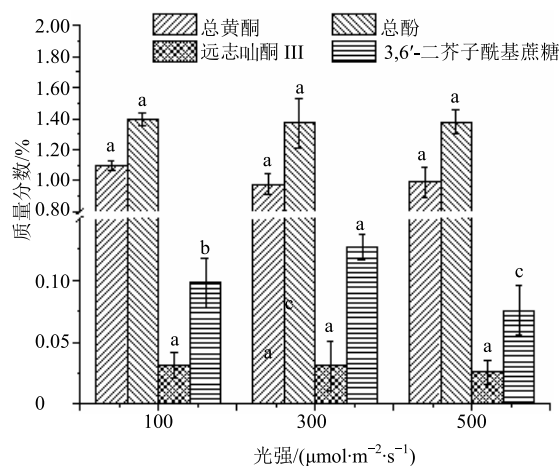


图 3 光强对远志总黄酮、总酚、远志呔酮 III、3,6'-二芥子酰基蔗糖含量的影响

Fig. 3 Effects of light intensity on content of total flavonoids and total phenol, polygalaxanthone III, 3,6'-disinapoyl sucrose of *P. tenuifolia*

## 4 讨论

光照作为植物生长发育最重要的环境因素之一,通过光质和光强 2 个方面来影响植物生长,植物接受光强不同直接影响其光合反应速率、抗氧化酶活性、生物量及主要成分的积累。而光质主要是通过植物体内的光敏色素来调控植物的光合作用、生长发育及次生代谢产物的积累<sup>[8]</sup>。本实验采用不同的光质和光强条件调控远志的生长,对远志的株高、根长、叶长、叶宽、生物量、相关酶活性及主要成分的积累进行了研究,结果表明,红光对远志茎、根、叶的生长及生物量积累的促进作用最强,白光对远志茎、根的生长有显著的抑制作用,但其有利于远志叶长及叶宽的生长,黄光对远志叶长、叶宽生长及生物量的积累有显著的抑制作用。综合而言,相较于白光、黄光及蓝光,红光最适宜用于远志药材的栽培,能够显著促进远志茎及根的生

长,且能显著促进远志生物量的积累。在黄瓜、番茄等植物中均有发现红光能够促进植物的茎及根的生长<sup>[9]</sup>。这可能与红光促进赤霉素的积累,抑制生长素的生长,从而促进茎叶伸长有关。而红光对根的促进作用曾在菊花中发现,可能与长波光对碳代谢的促进作用有关<sup>[10]</sup>。

与白光相比,蓝、红、黄光下的远志叶片中MDA含量显著降低,其膜脂过氧化作用显著减弱,且红、蓝光下SOD、POD、CAT活性显著升高,能够显著加快细胞清除自由基的速度,减轻膜系统的受损程度,提高其抗氧化能力,增加抗逆性。这与蒲高斌等<sup>[11]</sup>在番茄中的研究结果一致。

次生代谢作为植物某些细胞特有的生理现象,其产物含量受到环境的影响显著。黄光、红光、蓝光下远志的总酚总黄酮含量均显著高于白光,其中蓝光对总黄酮总酚积累的促进作用最强。且蓝光下3,6'-二芥子酰基蔗糖含量最高,对3,6'-二芥子酰基蔗糖的积累有促进作用。不同光质对远志吡啶酮III的含量无显著性影响。Thwe等<sup>[12]</sup>研究不同光质对苦荞的影响,对黄酮代谢途径中基因的表达量进行了测定,发现蓝光主要通过促进黄酮合成上游基因的表达来促进黄酮类化合物的积累。故推测光质对远志中总黄酮总酚及远志吡啶酮III、3,6'-二芥子酰基蔗糖含量的影响与其上游的基因表达有关。

在同一光质下,100、300、500  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$  的光照强度对远志茎及根的生长、叶长、叶宽、生物量积累均具有不同程度的促进作用。其中300  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$  的光照强度下远志株高最高生物量最高,500  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$  光强下远志根长最长,100  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$  光强下远志的叶长及叶宽较大。对于远志的抗逆性,远志叶片中的MDA含量随着光照强度的增大而逐渐增大,说明光照强度增大,导致远志叶片中吸收光能过剩,产生氧自由基,叶片中的POD、SOD、CAT活性增高来分解细胞产生的氧自由基,保护细胞免受活性氧的伤害。对于远志的代谢产物,100  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$  下远志中总黄酮、总酚及远志吡啶酮III含量最高,但不同光强对其含量无显

著性影响。光照强度对远志的3,6'-二芥子酰基蔗糖含量影响较为显著,其中300  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$  下对其积累的促进作用最强。

#### 参考文献

- [1] 郑洁,胡美君,郭延平.光质对植物光合作用的调控及其机理[J].应用生态学报,2008,19(7):1619-1624.
- [2] 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.
- [3] 苏文华,张光飞,李秀华,等.光质和光强对灯盏花生长与总黄酮量影响的研究[J].中草药,2006,37(8):1244-1247.
- [4] 中国药典[S].一部.2015.
- [5] 刘筱筱,夏忠庭,何毅,等.远志UPLC多指标成分的测定及指纹图谱研究[J].中草药,2016,47(12):2167-2174.
- [6] 巴寅颖,姜艳艳,刘洋,等.基于远志吡啶酮在记忆障碍模型大鼠体内药代动力学特性的远志及开心散药物属性研究[J].北京中医药大学学报,2012,35(8):549-553.
- [7] 王雪洁,李震宇,薛水玉,等.基于植物代谢组学技术的远志不同炮制品质量控制研究[J].中草药,2012,43(9):1727-1737.
- [8] 胡阳,江莎,李洁,等.光强和光质对植物生长发育的影响[J].内蒙古农业大学学报,2009,30(4):296-303.
- [9] 崔瑾,马志虎,徐志刚,等.不同光质补光对黄瓜、辣椒和番茄幼苗生长及生理特性的影响[J].园艺学报,2009,36(5):663-670.
- [10] 邸秀茹,焦学磊,崔瑾,等.新型光源LED辐射的不同光质配比光对菊花组培苗生长的影响[J].植物生理学通讯,2008,44(4):661-667.
- [11] 蒲高斌,刘世琦,张珍.不同光质对番茄幼苗生长及抗氧化酶活性的影响[J].安徽农业科学,2004,32(5):971-972.
- [12] Thwe A A, Kim Y B, Li X, et al. Effects of light-emitting diodes on expression of phenylpropanoid biosynthetic genes and accumulation of phenylpropanoids in *Fagopyrum tataricum* sprouts [J]. *J Agric Food Chem*, 2014, 62(21): 4839-4845.