

· 资源与鉴定 ·

# 不同光质对茅苍术生长、抗氧化酶活性及挥发油含量的影响

李强<sup>1,2</sup>, 姚霞<sup>3</sup>, 孙楷<sup>2</sup>, 郭兰萍<sup>2</sup>, 杨全<sup>1</sup>, 张燕<sup>2\*</sup>, 黄璐琦<sup>1,2\*</sup>

(1. 广东药科大学 中药学院, 广州 510006;

2. 中国中医科学院 中药资源中心 道地药材国家重点实验室培育基地, 无限极中草药品质研究联合实验室, 北京 100700; 3. 中国中药有限公司, 北京 100195)

**[摘要]** 目的: 基于茅苍术在林下栽培优于露地栽培, 开展不同光照试验, 研究不同光质对茅苍术生长发育及挥发油成分含量的影响。方法: 分别设置 CK(空白组), 红光, 蓝光, 红光-蓝光(9:1)[简称红蓝(9:1)], 红蓝(6:1), 红蓝(3:1)共6个不同光质组, 生长9个月后采样分析。结果: 红蓝(9:1)光照条件下茅苍术的生物量(23.18 g)及4种挥发油成分(苍术素、苍术酮、苍术醇和 $\beta$ -桉叶醇)总量(3.74%)最高; 其次是红蓝(6:1)组, 生物量18.32 g, 4种成分总量2.97%。红蓝(9:1)光照条件下净光合速率、蒸腾速率、气孔导度和胞间CO<sub>2</sub>浓度等光合参数均高于其他处理组, 且大部分具有显著性差异。不同光质处理组下超氧化物歧化酶、过氧化物酶、还原型谷胱甘肽、还原型抗坏血酸和过氧化氢酶等抗氧化酶活性均高于空白组, 且大部分具有显著性差异; 红蓝(9:1)光照下丙二醛含量显著低于空白组。结论: 综合各项指标结果发现, 红蓝(9:1)光照条件最适合茅苍术的生长发育, 为茅苍术产量及质量的提升提供新的种植模式。

**[关键词]** 茅苍术; 光质; 生物量; 挥发油; 抗氧化酶; 苍术醇;  $\beta$ -桉叶醇

**[中图分类号]** R22; R282; R93; R284; R285.5 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1005-9903(2018)10-0027-06

**[doi]** 10.13422/j.cnki.syfjx.20181005

**[网络出版地址]** <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.3495.R.20180309.1028.016.html>

**[网络出版时间]** 2018-03-09 11:00

## Effect of Different Light Quality on Growth, Anti-oxidative Enzyme Activities and Volatile Oil Content of *Atractylodes lancea*

LI Qiang<sup>1,2</sup>, YAO Xia<sup>3</sup>, SUN Kai<sup>2</sup>, GUO Lan-ping<sup>2</sup>, YANG Quan<sup>1</sup>,  
ZHANG Yan<sup>2\*</sup>, HUANG Lu-qi<sup>1,2\*</sup>

(1. School of Traditional Chinese Medicine, Guangdong Pharmaceutical University, Guangzhou 510006, China; 2. State Key Laboratory of Dao-di Herbs Breeding Base, Joint Laboratory of Infinitus (China) Herbs Quality Research, National Resource Center for Chinese Materia Medica, China Academy of Chinese Medical Sciences, Beijing 100700, China;  
3. China National of Traditional & Herbal Medicine Co. Ltd., Beijing 100195, China)

**[Abstract]** **Objective:** Based on the cultivation under the crown of *Atractylodes lancea* was better than the open field cultivation, different light experiments were carried out to investigate effect of different light qualities on the growth and the volatile oil content of *A. lancea*. **Method:** Six different light quality groups were set up, which included CK (blank group), red light group, blue light group, red-blue (9:1) group, red-blue (6:1) group

**[收稿日期]** 20171218(006)

**[基金项目]** 国家自然科学基金项目(81503194); 中国中医科学院重点领域项目(ZZ10-27); 国家质量基础的共性关键研究与应用重点专项(2016YFF0202802); 国家重点研发计划项目(SQ2017YFC170295, 2017YFC1700700)

**[第一作者]** 李强, 在读硕士, 从事中药资源与栽培研究, E-mail: 1159757947@qq.com

**[通信作者]** \* 黄璐琦, 博士, 研究员, 从事分子药理学研究, E-mail: huangluqi01@126.com;

\* 张燕, 副研究员, 从事中草药规范化栽培的理论与技术研究, E-mail: zhangyan8669@126.com

and red-blue (3:1) group, 9 months later, sampling analysis was carried out. **Result:** The biomass (23.18 g) and total content of four essential oil components (3.74%) of *A. lancea* were the highest under red-blue (9:1) light conditions; followed by red-blue (6:1), the biomass was 18.32 g and the total content of four essential oil components was 2.97%. In addition, the net photosynthetic rate ( $P_n$ ), transpiration rate ( $T_r$ ), stomatal conductance ( $G_s$ ) and intercellular CO<sub>2</sub> concentration ( $C_i$ ) of red-blue (9:1) group were higher than those in other treatments, and most of them had significant differences. The activities of antioxidant enzyme [superoxide dismutase (SOD), peroxidase (POD), reduced glutathione (GSH), reductive ascorbic acid (AsA) and catalase (CAT)] under different light quality groups were higher than those in the blank group, and most of them had significant differences. The malondialdehyde (MDA) content in red-blue (9:1) group was significantly lower than in the blank group. **Conclusion:** The results show that red-blue (9:1) illumination condition is most suitable for the growth and development of *A. lancea*, which provides new cropping patterns for improvement of yield and quality of this herb.

[**Key words**] *Atractylodes lancea*; light quality; biomass; volatile oil; antioxidant enzyme; atractylol;  $\beta$ -eudesmol

茅苍术具有燥湿健脾、祛风明目等功效<sup>[1-2]</sup>,主要分布在中国、朝鲜半岛、日本等远东地区,被多国药典所收载,始载于《神农本草经》<sup>[3]</sup>,以江苏茅山为道地<sup>[4]</sup>。其主要活性成分为挥发油,其中含量较高的为倍半萜类,包括苍术酮、茅术醇和  $\beta$ -桉叶醇等,另外还含有聚乙炔呋喃类苍术素等<sup>[5]</sup>。

野生茅苍术一般生于半阴半阳的山坡林下、林缘或荒坡草丛中<sup>[6]</sup>,所以野生茅苍术的生长环境是弱光,但目前茅苍术的人工栽培多在山间梯田或缓坡地带,单一品种露地栽培。近年来由于生态环境破坏和过度开发,野生茅苍术已经变得濒临灭绝。尽管人工栽培可以保证药材的产量,但是人工栽培茅苍术中挥发油含量明显低于野生茅苍术<sup>[7-8]</sup>。栽培立地环境的选择和生态环境因子的调控已成为影响栽培药材产量及品质的关键因素<sup>[9-10]</sup>。由于野生茅苍术常生长在林下,其光照属于弱光环境,上层林木对太阳辐射进行吸收、反射,使林下透射光中各波段辐射能被削弱的程度不同,其光质比例也发生了改变<sup>[11-12]</sup>。阳光穿过树冠会改变光质比例或光谱分布,植物叶片能够吸收 80% ~ 90% 的可见光量子,因此叶子起选择性过滤器的作用,特别是改变红色与远红光波长的比例<sup>[13]</sup>。这些波长的量子比率决定了植物组织中的光敏色素平衡,进而影响植物生长发育。

光质是植物生长过程中的能量来源和信号物质,植物体内存在的各种光敏色素、光受体能接受不同波长的光信号,进而影响植物的生理生化指标,如光合作用、抗氧化酶活性、内源激素等,然后通过信号分子转导至植物细胞内,影响次生代谢途径上的

关键酶基因表达,最终影响次生代谢产物的积累<sup>[14-16]</sup>。相关研究表明不同光质对植物的生长发育、有效成分积累影响不同,例如葛格等<sup>[17]</sup>研究发现蓝、绿光可以显著增加桑黄药效活性成分的积累。巩彪等<sup>[18]</sup>研究发现红光有利于紫背天葵生物量的积累,而红蓝黄混合光有助于提高其次生代谢物质含量和抗氧化能力。罗美佳等<sup>[19]</sup>发现红光有利于三七的株高生长,青、黄、紫、蓝光有利于三七地下部分生物量的积累。郝俊江等<sup>[20]</sup>研究发现红、蓝光处理提高了灵芝过氧化物酶、过氧化氢酶活性。本实验拟人为设置不同光质试验,研究不同光质下茅苍术的次生代谢产物及其生理生化指标,以期为提高栽培茅苍术中挥发油含量找到最佳光照条件,进而为茅苍术的标准化栽培及其产量、质量提高提供参考。

## 1 材料

Trace 1310 型气相色谱-TSQ 8000 型质谱联用仪和 Varioskan Flash 型荧光酶标仪(美国赛默飞世尔科技公司),Li-6400 型便携式光合仪(美国 LI-COR 公司)。苍术素、苍术酮和  $\beta$ -桉叶醇对照品(上海源叶生物科技有限公司,批号分别为 C-160621-01, C-160620-03 和 Y-161102-10,纯度均  $\geq 98\%$ ),苍术醇对照品(北京融诚鑫德科技发展有限公司,批号 C-160622-06,纯度  $\geq 98\%$ );超氧化物歧化酶(SOD),过氧化物酶(POD),还原型谷胱甘肽(GSH),还原型抗坏血酸(AsA),丙二醛(MDA)和过氧化氢酶(CAT)活性检测试剂盒(苏州科铭生物技术有限公司,批号均为 20170329);正己烷为色谱纯,其他试剂均为分析纯。

供试土壤采自安徽岳西大别山,茅苍术种苗采自安徽岳西的 2 年生分根芽头苗,经中国中医科学院中药资源中心郭兰萍研究员鉴定为菊科植物茅苍术 *Atractylodes lancea*,挑选长势好且比较一致的茅苍术苗种植在塑料花盆(20 cm × 20 cm)中,每盆栽种 2 株,分别放在 CK(空白组),红光,蓝光,红光-蓝光(9:1)[简称红蓝(9:1)],红蓝(6:1),红蓝(3:1)光照培养室中,每个处理组 20 个重复,光量子密度设定为  $100 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ (光照补偿点和光照饱和点分别为 12.2, 1 323  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ),培养室温度控制在  $(25 \pm 2)^\circ\text{C}$ 。栽培时间 2016 年 11 月,采收时间 2017 年 11 月。

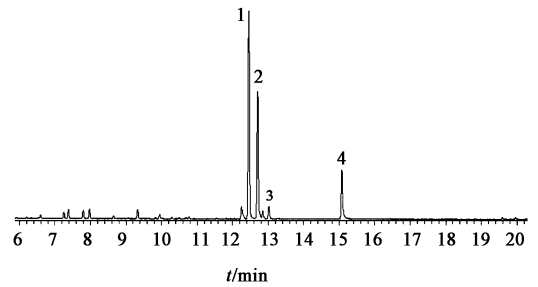
## 2 方法与结果

**2.1 叶片光合参数测定** 于 2017 年 8 月 14 日至 8 月 17 日晴天早上 9:00 ~ 11:00,下午 2:00 ~ 4:00 使用 Li-6400 型便携式光合仪分别测定不同光质处理组下茅苍术叶片的光合指标,对于不同光质处理的茅苍术随机选取充分受光,叶片位置一致的茅苍术叶,每个处理组选取 5 株,每株 2 片叶,每次测量 3 次,分别测定净光合速率( $P_n$ ),蒸腾速率( $T_r$ ),气孔导度( $G_s$ )和胞间  $\text{CO}_2$  浓度( $C_i$ )等光合参数。

**2.2 抗氧化酶活性检测** 茅苍术种植 6 个月后采集鲜叶,每个处理组重复 5 次,SOD 活性测定采用氮蓝四唑法,POD 活性测定采用愈创木酚法,CAT,GSH 和 AsA 水平测定采用紫外吸收法,MDA 含量测定硫代巴比妥酸荧光法。

**2.3 挥发油提取及含量分析** 取烘干粉碎后的茅苍术样品(过 60 目筛)各 500 mg,置 50 mL 离心管中,加入正己烷 25 mL,超声波萃取(40 kHz,30 min),离心( $3\ 000 \text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$ ,10 min)后取上清液;药渣继续加正己烷 20 mL,重复上述过程,将 2 次离心后的上清液混合并定容至 50 mL,精密量取

1  $\mu\text{L}$  进行 GC-MS 分析。DB-5ms 色谱柱(0.25 mm × 30 m,0.25  $\mu\text{m}$ ),载气为氦气,流速  $1 \text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}$ ,注入模式为分流(比例 50:1),进样量 1 mL,进样口温度  $240^\circ\text{C}$ ,程序升温(前 2 min, $120^\circ\text{C}$ ;以  $5^\circ\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$  升温至  $240^\circ\text{C}$ ,维持 5 min)。质量选择检测器(MSD)电离方式为电子轰击电离源(EI)(电离电压 70 V,离子源温度  $230^\circ\text{C}$ ,四极杆温度  $150^\circ\text{C}$ ),MSD 数据采集模式为  $m/z$  40 ~ 500。见图 1。



1. 苍术醇;2.  $\beta$ -桉叶醇;3. 苍术酮;4. 苍术素

图 1 茅苍术中主要挥发油的 GC-MS

Fig. 1 GC-MS chromatogram of several volatile oil components in *Atractylodes lancea*

**2.4 数据分析** 数据采用 Excel 录入处理及 GraphPad Prism 7 软件作图,采用 SPSS 22.0 统计分析软件对数据进行处理。

**2.5 光质对茅苍术叶片光合参数的影响** 见表 1。结果发现与空白组对比,红蓝(9:1)组的光合参数( $P_n$ ,  $T_r$ ,  $G_s$  和  $C_i$ )分别较空白组提高了 32%, 15%, 50% 和 35%,且随着混合光中红光比例的下降,茅苍术叶光合参数也随之降低。红光、蓝光组的光合参数较空白组均有所降低,且基本上都有显著性差异,说明红光和蓝光抑制了茅苍术的光合作用能力,削弱了其光能利用效率。与此同时,红蓝(9:1)组光合参数显著高于红光组和蓝光组( $P < 0.01$ ),说明红蓝混合光较单色光更有利于茅苍术的光合作用。

表 1 不同光质对茅苍术叶片光合参数的影响( $\bar{x} \pm s, n = 10$ )

Table 1 Effect of different light quality on photosynthetic parameters of *Atractylodes lancea* leaves( $\bar{x} \pm s, n = 10$ )

组别	$P_n/\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$	$G_s/\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$	$C_i/\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$	$T_r/\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$
空白	$4.25 \pm 0.20^{(3)}$	$0.06 \pm 0.01^{(3)}$	$264.18 \pm 17.05^{(3)}$	$1.30 \pm 0.14$
红光	$2.81 \pm 0.11^{(2,3)}$	$0.04 \pm 0.01^{(1,3)}$	$253.95 \pm 25.65^{(3)}$	$0.67 \pm 0.19^{(2,3)}$
蓝光	$1.63 \pm 0.25^{(2,3)}$	$0.03 \pm 0.01^{(2,3)}$	$220.08 \pm 5.96^{(2,3)}$	$0.60 \pm 0.07^{(2,3)}$
红蓝(9:1)	$5.63 \pm 0.25^{(2)}$	$0.09 \pm 0.01^{(2)}$	$357.73 \pm 17.93^{(2)}$	$1.49 \pm 0.19$
红蓝(6:1)	$4.42 \pm 0.15$	$0.05 \pm 0.01^{(1,3)}$	$300.09 \pm 30.09^{(2,3)}$	$1.05 \pm 0.16^{(1,3)}$
红蓝(3:1)	$3.56 \pm 0.26^{(2,3)}$	$0.04 \pm 0.01^{(1,3)}$	$275.91 \pm 16.28^{(3)}$	$0.85 \pm 0.25^{(2,3)}$

注:与空白组比较<sup>1)</sup> $P < 0.05$ ,<sup>2)</sup> $P < 0.01$ (图 2 和表 2 同);与红蓝(9:1)组比较<sup>3)</sup> $P < 0.01$ 。

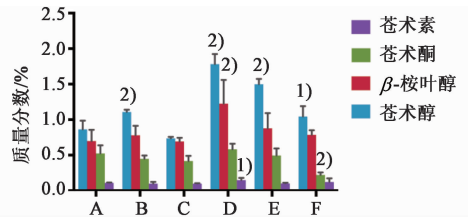
**2.6 光质对茅苍术根茎生物量的影响** 空白组、红光组、蓝光组、红蓝(9:1)组、红蓝(6:1)组、红蓝

(3:1)组茅苍术的根茎生物量分别为  $(11.16 \pm 1.9)$ ,  $(14.04 \pm 5.03)$ ,  $(11.90 \pm 3.09)$ ,  $(23.18 \pm$

4.59), (18.32 ± 2.96), (12.79 ± 5.18) g。红蓝(9:1)组茅苍术生物量较空白组显著性提高,且随着混合光中红光比例的降低,茅苍术根茎生物量也随之减少。红光组、蓝光组的根茎生物量与空白组无显著性差异,但均显著低于红蓝(9:1)组。由相关性分析可知,  $P_n$  与茅苍术根茎生物量呈显著正相关(相关系数 0.740 8),说明净光合作用速率越大,越有利于茅苍术根茎生物量的积累。

**2.7 光质对茅苍术挥发油含量的影响** 茅苍术挥发油中 60% 以上都是倍半萜类挥发油,其中苍术素、苍术酮、苍术醇和  $\beta$ -桉叶醇含量较高。不同光质下茅苍术中 4 种主要挥发油的含量变化情况见图 2。结果发现红蓝(9:1)光照条件下苍术醇和  $\beta$ -桉叶醇、苍术素的含量较空白组显著提高,分别提高了 106%, 75%, 36%, 而苍术酮与空白组无显著性差异,且随着混合光中红光比例的下降,4 种挥发油成分也随之降低。红蓝(9:1)组 4 种挥发油总量显著高于其他组,达到 3.74%;且随着混合光中红光比例的下降,4 种挥发油总量也随之降低。红光组的挥发油总量显著高于空白组,蓝光组与空白组无显著差异。通过相关性分析得知,4 种挥发油含量与茅苍术根茎生物量呈显著正相关(相关系数 0.984 2)。

**2.8 光质对茅苍术抗氧化酶活性的影响** 植物在逆境下会产生大量自由基, SOD 催化超氧化物阴离子发生歧化作用,生成  $H_2O_2$  和  $O_2$ 。SOD 不仅是超氧化物阴离子清除酶,也是  $H_2O_2$  主要生成酶,在生物抗氧化系统中具有重要作用。POD 是活性氧清除剂,高活性 POD 可以减少活性氧对细胞膜的



A. CK; B. 红光; C. 蓝光; D. 红蓝(9:1); E. 红蓝(6:1); F. 红蓝(3:1)

图 2 不同光质对茅苍术中 4 种挥发油含量的影响 ( $\bar{x} \pm s, n=8$ )

Fig. 2 Effect of different light quality on contents of four volatile oil components in *Atractylodes lancea* ( $\bar{x} \pm s, n=8$ )

损伤。CAT 是最主要的  $H_2O_2$  清除酶,在活性氧清除系统中具有重要作用。GSH 是细胞内最主要的抗氧化巯基物质,在抗氧化、蛋白质巯基保护和氨基酸跨膜运输等中具有重要作用。AsA 又称维生素 C,是辅酶、自由基清除剂、电子共体/受体和草酸盐与酒石酸盐生物合成的底物,是植物细胞中最重要的抗氧化剂。氧自由基作用于脂质的不饱和脂肪酸,生成过氧化脂质;后者逐渐分解为一系列复杂的化合物,其中包括 MDA。通过检测 MDA 的水平即可检测脂质氧化的水平。结果发现除了个别数据外,不同光质处理组的 SOD, POD, CAT, GSH, AsA 水平显著高于空白组,红光、蓝光处理组的 MDA 含量显著高于空白组,而红蓝(6:1)组和红蓝(3:1)组的 MDA 含量与空白组比较无显著性差异,红蓝(9:1)组的 MDA 含量显著性低于空白组。红光组和蓝光组的 SOD, POD, GSH, AsA 和 MDA 水平均高于红蓝(9:1)组,说明红光、蓝光处理下的茅苍术较红蓝混合光处理组受到了更多的氧化胁迫。见表 2。

表 2 不同光质对茅苍术抗氧化酶活性的影响 ( $\bar{x} \pm s, n=5$ )

Table 2 Effect of different light quality on antioxidant enzyme activity of *Atractylodes lancea* ( $\bar{x} \pm s, n=5$ )

组别	SOD/ $U \cdot g^{-1}$	POD/ $U \cdot g^{-1}$	CAT/ $nmol \cdot min^{-1} \cdot g^{-1}$	GSH/ $\mu mol \cdot g^{-1}$	AsA/ $nmol \cdot g^{-1}$	MDA/ $nmol \cdot g^{-1}$
空白	144.02 ± 24.69 <sup>3)</sup>	4 046.94 ± 592.78 <sup>4)</sup>	932.14 ± 129.68 <sup>4)</sup>	0.17 ± 0.022 <sup>4)</sup>	183.93 ± 21.44	68.59 ± 7.05 <sup>4)</sup>
红光	177.63 ± 4.65 <sup>2)</sup>	7 167.16 ± 440.06 <sup>2,4)</sup>	1 345.49 ± 65.34 <sup>2,4)</sup>	0.26 ± 0.030 <sup>2)</sup>	346.33 ± 29.53 <sup>2,4)</sup>	85.00 ± 15.87 <sup>1,4)</sup>
蓝光	190.62 ± 9.22 <sup>2,4)</sup>	7 662.05 ± 584.65 <sup>2,4)</sup>	1 377.91 ± 100.72 <sup>2,4)</sup>	0.31 ± 0.044 <sup>2,4)</sup>	579.98 ± 68.57 <sup>2,4)</sup>	97.43 ± 12.92 <sup>2,4)</sup>
红蓝(9:1)	163.14 ± 9.43 <sup>1)</sup>	5 642.64 ± 473.13 <sup>2)</sup>	2 159.98 ± 163.17 <sup>2)</sup>	0.22 ± 0.029 <sup>2)</sup>	233.65 ± 25.13	44.31 ± 11.60 <sup>2)</sup>
红蓝(6:1)	169.20 ± 5.47 <sup>2)</sup>	6 029.75 ± 357.31 <sup>2)</sup>	1 584.47 ± 118.38 <sup>2,4)</sup>	0.21 ± 0.029 <sup>1)</sup>	283.36 ± 22.99 <sup>2)</sup>	64.11 ± 7.61 <sup>4)</sup>
红蓝(3:1)	171.93 ± 14.57 <sup>2)</sup>	6 461.27 ± 436.12 <sup>2,3)</sup>	1 349.77 ± 91.65 <sup>2,4)</sup>	0.23 ± 0.017 <sup>2)</sup>	308.22 ± 44.39 <sup>2,4)</sup>	62.63 ± 5.01 <sup>4)</sup>

注:与红蓝(9:1)组比较<sup>3)</sup>  $P < 0.05$ , <sup>4)</sup>  $P < 0.01$ 。

### 3 讨论

光照是植物生长发育不可或缺的环境因素之一,其不仅可以为植物光合作用提供能量来源,也可作为信号分子诱导许多植物的光周期和光形态变化<sup>[21-22]</sup>。促进植物光合作用和生长发育的主要光

谱范围在 430 ~ 450 nm (蓝光) 和 660 ~ 640 nm (红光)<sup>[23]</sup>。近年来,单色光对于植物生长发育的影响已经有不少研究报道。如蓝光可以提高灵芝中三萜酸含量<sup>[24]</sup>,蓝光可以促进金线莲黄酮类成分的积累<sup>[25]</sup>,绿光可以促进绞股蓝总皂苷的积累<sup>[26]</sup>,红光

有利于菊花的生长<sup>[27]</sup>;同时也有研究发现相比于单色光,红蓝混合光更有利于植物的生长,早在2001年 Yorio 等<sup>[28]</sup>发现红蓝光混合可以促进蔬菜的生长。随后 Tarakanov 等<sup>[29]</sup>证实了适宜的红蓝光比例可以增加植物的产量。如红蓝光质比为7:3时,更适合金娃娃萱草<sup>[30]</sup>试管苗的生长及品质的提高。草莓<sup>[31]</sup>在红蓝光比为9:4时生长发育更好。

张燕等<sup>[9]</sup>研究表明林下栽培茅苍术挥发油质量分数达3.15%,高于露地栽培的2.36%。虽然人工栽培可以保证药材的生产,但是人工栽培茅苍术中挥发油含量明显低于野生茅苍术。郭兰萍等<sup>[10]</sup>研究表明野生茅苍术的挥发油质量分数(6.23%)高于栽培茅苍术的3.13%。茅苍术作为传统中药材,国际市场对其需求日益增加。古人麸炒苍术去燥,更多的是去除茅苍术的白霜,其中白霜的主要成分是茅术醇与 $\beta$ -桉叶醇<sup>[32]</sup>。作为传统道地药材之一,茅苍术挥发油成分中苍术素、苍术酮含量越高,其药理活性作用越强。基于前人研究基础上,本文研究发现红蓝(9:1)光照下茅苍术中4种主要挥发油成分的含量均较空白组增加。

在本实验中,光质的变化使茅苍术本身产生了一系列的抗逆境生理反应,进而导致茅苍术生理生化特性及次生代谢物积累的变化。茅苍术在红蓝(9:1)处理下获得了最高的光合参数,而CK及单色光等处理组光合参数则降低,说明叶片气孔受到限制,气孔数量和孔径的改变都会影响叶绿体。叶绿体作为光合作用的场所,且光反应局限在类囊体,完整的类囊体对于高效的光合作用至关重要<sup>[33]</sup>。红蓝(9:1)下茅苍术光合作用速率,生物量及次生代谢物要高于其他处理组,原因可能是此光照条件下的茅苍术叶较其他处理组含有较多的类囊体,蓝光比例的增加,会造成叶绿体畸形,形态不规则,类囊体膜系统解体<sup>[34]</sup>,进而使得植物光合速率下降,光合作用能力减弱,茅苍术的生物量和挥发油含量也随之降低。

已经有研究发现不同光质会影响植物的抗氧化酶系统,如红蓝光有助于提高紫背天葵<sup>[18]</sup>的抗氧化能力。杜洪涛等<sup>[35]</sup>研究发现CK下彩色甜椒叶片的POD,CAT和APX活性最高,绿光下SOD活性最高。蒲高斌等<sup>[36]</sup>研究发现红光和蓝光有助于增强番茄幼苗的抗氧化能力。本研究发现除了MDA外,不同光质处理组的抗氧化酶活性较空白组均提高,说明活性氧簇(ROS)清除能力强。MDA是活性氧攻击细胞膜脂后形成的一些复杂化合物,其含量

高低反映了植物受到损伤的程度。与空白组相比,红光组、蓝光组的MDA含量增加,对脂质膜的氧化损伤高,而红蓝混合光的MDA含量均低于空白组,且随着蓝光比例的下降,MDA含量呈下降趋势,说明高比例红蓝混合光可以减轻茅苍术细胞膜脂的损伤。同时,红蓝混合光的CAT活性大多数高于蓝光,这也增强了茅苍术自身活性氧解毒的能力,从而降低了MDA含量。植物膜脂过氧化以及活性氧积累导致膜不完整性都会造成叶绿体畸形,从而降低了光合作用效率<sup>[37]</sup>,这从侧面验证了红蓝混合光作用下的茅苍术生物量和挥发油含量一般会高于单色光处理组。

综上所述,生态环境的日益恶化导致茅苍术资源逐渐枯竭,本研究发现光质对茅苍术生长的作用是显著的。其中红蓝(9:1)最适合茅苍术的生长发育,此光照条件下茅苍术活性氧积累减少,生物量和挥发油含量的积累都高于其他处理组,且大部分具有显著性差异。建议可通过不同颜色薄膜或不同颜色发光二极管(LED)灯来调节光质比例,进而调控茅苍术的生长,为茅苍术等中药材的栽培提供参考。

#### [参考文献]

- [1] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典. 一部[M]. 北京:中国医药科技出版社,2015:161.
- [2] 陈佳,解小霞,刘合刚. 几个道地产区茅苍术指纹图谱及苍术素含量测定研究[J]. 中国实验方剂学杂志,2013,19(10):125-127.
- [3] 于欢,刘德文,龚鹏飞,等. 苍术炮制方法及其饮片的质量控制、药效评价研究进展[J]. 中国实验方剂学杂志,2017,23(23):194-200.
- [4] Koonrungsesomboon N, Na-Bangchang K, Karbwang J. Therapeutic potential and pharmacological activities of *Atractylodes lancea* (Thunb.) DC. [J]. Asian Pac J Trop Med,2014,7(6):421-428.
- [5] 顾永华,冯煦,夏冰. 光照强度对茅苍术根茎生物量及挥发油含量的影响[J]. 江苏农业科学,2008(4):148-151.
- [6] 侯芳洁. 茅苍术的种质资源调查及品质评价[D]. 南京:南京中医药大学,2008.
- [7] ZHOU J Y, YUAN J, LI X, et al. Endophytic bacterium-triggered reactive oxygen species directly increase oxygenous sesquiterpenoid content and diversity in *Atractylodes lancea* [J]. Appl Environ Microbiol,2015,82(5):1577-1585.
- [8] ZHOU J Y, LI X, ZHAO D, et al. Reactive oxygen species and hormone signaling cascades in endophytic bacterium induced essential oil accumulation in

- Atractylodes lancea* [J]. *Planta*, 2016, 244(3): 699-712.
- [9] 张燕, 樱井美希, 杨光, 等. 不同小生境对苍术生长和4种挥发油的影响[J]. *中国中药杂志*, 2015, 40(21): 4142-4148.
- [10] 郭兰萍, 刘俊英, 吉力, 等. 茅苍术道地药材的挥发油组成特征分析[J]. *中国中药杂志*, 2002, 27(11): 13-18.
- [11] 程海涛, 许永华, 郭爽, 等. 人参光环境研究进展[J]. *人参研究*, 2010, 22(3): 27-30.
- [12] 李万莲, 宛志沪, 杨书运. 参园光质环境对西洋参生长发育的影响[J]. *中草药*, 2000, 31(5): 63-65.
- [13] Lee D W, Baskaran K, Mansor M, et al. Irradiance and spectral quality affect asian tropical rain forest tree seedling development [J]. *Ecology*, 1996, 77(2): 568-580.
- [14] Ahmad N, Rab A, Ahmad N. Light-induced biochemical variations in secondary metabolite production and antioxidant activity in callus cultures of *Stevia rebaudiana* (Bert) [J]. *J Photochem Photobiol B*, 2016, 154(5): 51-56.
- [15] Neugart S, Krumbein A, Zrenner R. Influence of light and temperature on gene expression leading to accumulation of specific flavonol glycosides and hydroxycinnamic acid derivatives in kale (*Brassica oleracea* var. *sabellica*) [J]. *Front Plant Sci*, 2016, doi: 10.3389/fpls.2016.00326.
- [16] Ali M, Abbasi B H. Light-induced fluctuations in biomass accumulation, secondary metabolites production and antioxidant activity in cell suspension cultures of *Artemisia absinthium* L. [J]. *J Photochem Photobiol B*, 2014, 140: 223-227.
- [17] 葛格, 李美芽, 薛章贤, 等. 不同光质对桑黄的生长及代谢产物累积影响[J]. *中药材*, 2017, 40(5): 1026-1030.
- [18] 巩彪, 靳志勇, 刘娜, 等. 光质对紫背天葵生长、次生代谢和抗氧化胁迫的影响[J]. *应用生态学报*, 2016, 27(11): 3577-3584.
- [19] 罗美佳, 夏鹏国, 齐志鸿, 等. 光质对三七生长、光合特性及有效成分积累的影响[J]. *中国中药杂志*, 2014, 39(4): 610-613.
- [20] 郝俊江, 陈向东, 兰进. 光质对灵芝生长及抗氧化酶系统的影响[J]. *中草药*, 2011, 42(12): 2529-2534.
- [21] Macedo A F, Leal-Costa M V, Tavares E S, et al. The effect of light quality on leaf production and development of in vitro-cultured plants of *Alternanthera brasiliana* Kuntze [J]. *Environ Exp Bot*, 2011, 70(1): 43-50.
- [22] 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.
- [23] 王婷婷, 俞少娟, 李鑫磊, 等. LED光源对植物生理生化及品质影响研究进展[J]. *北方园艺*, 2016(2): 189-193.
- [24] 梅锡玲. 光质对灵芝生长、内源植物激素及三萜酸影响研究[D]. 北京: 北京协和医学院, 2014.
- [25] 王智杰. LED光质对金线莲组培苗形态及生理特征的影响[D]. 福州: 福建农林大学, 2015.
- [26] 李馨芸. 光质对绞股蓝生长、光合作用及次生代谢产物积累的影响[D]. 吉首: 吉首大学, 2012.
- [27] Kim S J, Hahn E J, Heo J W, et al. Effects of LEDs on net photosynthetic rate, growth and leaf stomata of chrysanthemum plantlets *in vitro* [J]. *Sci Horti-Amsterdam*, 2004, 101(1): 143-151.
- [28] Yorio N C, Goins G D, Kagie H R, et al. Improving spinach, radish, and lettuce growth under red light-emitting diodes (LEDs) with blue light supplementation [J]. *Hort Sci*, 2001, 36(2): 380-383.
- [29] Tarakanov I, Yakovleva O, Konovalova I, et al. Light-emitting diodes; on the way to combinatprial lighting technologies for basic research and crop production [J]. *Acta Horticulturae*, 2012, 956: 171-178.
- [30] 尚文倩, 王政, 何松林, 等. 不同红蓝光质比和光照强度对金娃娃萱草试管苗生长的影响[J]. *西北农林科技大学学报: 自然科学版*, 2017, 45(7): 90-96.
- [31] 高振, 雷恒树, 吴雨霏, 等. 不同比例红蓝光对草莓生长和叶片光合特性的影响[J]. *中国农业大学学报*, 2016, 21(12): 20-27.
- [32] 许安安. 基于炮制原理的苍术麸炒前后专属性质量评价研究[D]. 武汉: 湖北中医药大学, 2015.
- [33] TANG H, HU Y Y, YU W W, et al. Growth, photosynthetic and physiological responses of *Torreya grandis* seedlings to varied light environments [J]. *Trees*, 2015, 29(4): 1011-1022.
- [34] LIU Y B, LI X R, LIU M L, et al. Responses of three different ecotypes of reed (*Phragmites communis* Trin.) to their natural habitats; leaf surface micro-morphology, anatomy, chloroplast ultrastructure and physio-chemical characteristics [J]. *Plant Physiol Biochem*, 2012, 51: 159-167.
- [35] 杜洪涛, 刘世琦, 张珍. 光质对彩色甜椒幼苗生长及酶活性影响[J]. *华北农学报*, 2005, 20(2): 45-48.
- [36] 蒲高斌, 刘世琦, 张珍, 等. 光质对番茄幼苗生长及抗氧化酶活性的影响[J]. *中国蔬菜*, 2005, 1(9): 21-23.
- [37] MA X, SONG L, YU W, et al. Growth, physiological, and biochemical responses of *Camptotheca acuminata* seedlings to different light environments [J]. *Front Plant Sci*, 2015, doi: 10.3389/fpls.2015.00321.

[责任编辑 刘德文]