

王换换, 潘拓宇, 姜胜行, 等. 不同光质对留兰香薄荷生长及次生代谢产物的影响[J]. 江苏农业学报, 2024, 40(6): 1111-1119.  
doi:10.3969/j.issn.1000-4440.2024.06.018

## 不同光质对留兰香薄荷生长及次生代谢产物的影响

王换换<sup>1</sup>, 潘拓宇<sup>2</sup>, 姜胜行<sup>1</sup>, 耿芳<sup>2</sup>, 娄玉霞<sup>1</sup>, 明凤<sup>1</sup>

(1.上海师范大学生命科学学院, 上海 200234; 2.上海中学, 上海 200237)

**摘要:** 本研究以留兰香薄荷幼苗为试验材料, 以自然光(W)为对照, 采用红光(R)、蓝光(B)和红蓝混合光(RB)进行光照处理, 探究不同光质对留兰香薄荷生长、生理指标和次生代谢物合成的影响。研究表明, 不同光质可影响留兰香薄荷植株茎段生根率、茎段腋芽萌发率、茎粗、叶片数、地上部分鲜重、叶片含水率等生长指标; 红光和红蓝混合光可显著增加叶片中可溶性糖含量。叶片中可溶性蛋白质含量随蓝光比例升高而升高; 红蓝混合光处理叶片中叶绿素含量显著高于对照, 红光和蓝光处理叶片中叶绿素含量也均有一定的提升。其中红光主要影响叶绿素a含量, 而蓝光影响叶绿素b含量。与对照相比, 红光和蓝光处理留兰香薄荷次生代谢产物香芹酮含量降低。红蓝混合光可促进留兰香薄荷香芹酮的积累, 降低D-柠檬烯含量, 并提高部分萜烯类化合物占比。不同光质可影响留兰香薄荷生长及生理指标, 且红蓝混合光可改变留兰香薄荷次生代谢产物含量, 为提高薄荷药用价值及工厂化繁育提供了依据。

**关键词:** 留兰香薄荷; 光质; 生长; 次生代谢产物

**中图分类号:** S567.34<sup>+</sup>5

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-4440(2024)06-1111-09

## Effects of different light qualities on the growth and secondary metabolites of *Mentha spicata* L.

WANG Huanhuan<sup>1</sup>, PAN Tuoyu<sup>2</sup>, JIANG Shenghang<sup>1</sup>, GENG Fang<sup>2</sup>, LOU Yuxia<sup>1</sup>, MING Feng<sup>1</sup>

(1.College of Life Sciences, Shanghai Normal University, Shanghai 200234, China; 2.Shanghai High School, Shanghai 200237, China)

**Abstract:** In this study, the seedlings of *Mentha spicata* L. were treated with red light (R), blue light (B) and red-blue mixed light (RB), and natural light (W) was used as control. Moreover, the effects of light quality on the growth, physiological indices and secondary metabolite synthesis of menthol were studied. The results showed that different light qualities could affect the rooting rate, axillary bud germination rate, stem diameter, number of leaves, fresh weight of aboveground parts and leaf moisture content. Red Light and red-blue mixed light significantly increased the soluble sugar content in leaves. The content of soluble protein in leaves increased with the increase of the ratio of blue light, the chlorophyll content in red-blue mixed light treatment was significantly higher than that in the control, and the chlorophyll content in red light treatment and blue light treatment was also increased. Red light mainly affected the content of chlorophyll a, while blue light affected the content of chlorophyll b. Compared with the control, the content of carvone, a secondary metabolite of menthol, was decreased under red light treatment and blue light treat-

收稿日期: 2023-03-27

基金项目: 上海市地方院校能力建设专项(20070502500); 上海植物种质资源工程技术研究中心项目(17DZ2252700)

作者简介: 王换换(1996-), 女, 河南周口人, 硕士研究生, 主要从事花卉植物分子生物学及非生物逆境方面的研究。(E-mail) whuanhuan1004@163.com. 潘拓宇为共同第一作者。

通讯作者: 明凤, (E-mail) fming@fudan.edu.cn; 娄玉霞, (E-mail) yuxialou@shnu.edu.cn

ment. The content of carvone, a secondary metabolite of menthol, was decreased under red light treatment and blue light treat-

ment. Red-blue mixed light promoted the accumulation of carvone, decreased the content of *D*-limonene and increased the proportion of some terpene compounds. Different light qualities can affect the growth and physiological indexes of *Mentha spicata* L., and the red-blue mixed light can change the content of secondary metabolites, which provides a basis for improving the medicinal value and industrial breeding of menthol.

**Key words:** *Mentha spicata* L.; light quality; growth; secondary metabolites

薄荷是一种唇形科薄荷属多年生草本植物,方茎,叶对生,全株青气香味,夏末会开红色、白色或紫色的花。薄荷适应性强,生长分布广泛,杂交繁殖可在自然环境中完成,因此品种繁多<sup>[1]</sup>。留兰香薄荷(*Mentha spicata*)次生代谢产物丰富,因此作为商业品种在世界范围内被广泛种植,茎叶根均可药用<sup>[2]</sup>,其鲜叶或干叶常被用来制作调味剂、草药茶和香水<sup>[3-4]</sup>。

唇形科植物含有诸多次生代谢产物可作为药用<sup>[5]</sup>。薄荷作为典型唇形科植物拥有较高经济价值和药用价值<sup>[6]</sup>,研究结果表明薄荷的挥发性次生代谢产物成分主要有薄荷醇、薄荷酮、胡薄荷酮、香芹酮、香芹酚、柠檬烯、3-辛醇、3-辛酮、 $\alpha$ -蒎烯、 $\beta$ -蒎烯、乙酸薄荷酯等<sup>[7-8]</sup>。不同种薄荷次生代谢产物含量差距较大,如柠檬薄荷中含量最多的为 $\beta$ -石竹烯,留兰香薄荷中含量最多的为柠檬烯<sup>[9]</sup>。这些物质具有显著的抗糖尿病、抗癌、抗菌、抗氧化、解热等生物活性<sup>[10]</sup>。

目前薄荷虽已得到一定的开发利用,但由于农业生产水平受限,储量较少,急需高效的人工培养来提高储量<sup>[11]</sup>。现阶段多采用离体快繁的方法进行繁育,成本较高难以扩大生产规模<sup>[6]</sup>。植物工厂是一种高效农业系统,可以控制湿度、温度、光照等变量,生产几乎不受自然条件的制约。中国是植物工厂大国,国家高度重视植物工厂的研发<sup>[12]</sup>。LED灯既可以减少发热又可以调节光照度、光谱,能够满足不同植物的生长需要,但是目前不同光质对薄荷次生代谢产物的影响尚未报道。本研究选用商业品种留兰香薄荷为试验材料,拟通过不同光质的LED灯对留兰香薄荷进行光照处理,研究红、蓝单色光及混合光对留兰香薄荷株高、鲜重等生长指标以及叶绿素含量、可溶性糖含量等生理指标的影响,并采用固相微萃取-气质联用法(Solid-phase microextraction-gas chromatography-mass spectrometry, SPME-GC-MS)测定处理间次生代谢产物含量的差异<sup>[13]</sup>。本研究拟揭示不同光质对留兰香薄荷生长、生理以及次生

代谢产物的影响,为提高薄荷药用价值和薄荷的工厂化繁育提供依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料与生长条件

本试验于2022年6–11月在上海师范大学植物种质资源中心进行,温室白天最高温度26℃,夜间最低温度17℃。留兰香薄荷从上海种业集团花木基地购买,LED灯光质处理系统由上海帅耀诺智能科技有限公司提供。试验分为4个处理,作为对照的自然光处理(W),红光处理(R),蓝光处理(B),红蓝混合光处理(RB),红蓝混合光处理中红光占比为1/2(表1)。

表1 不同处理LED补光参数

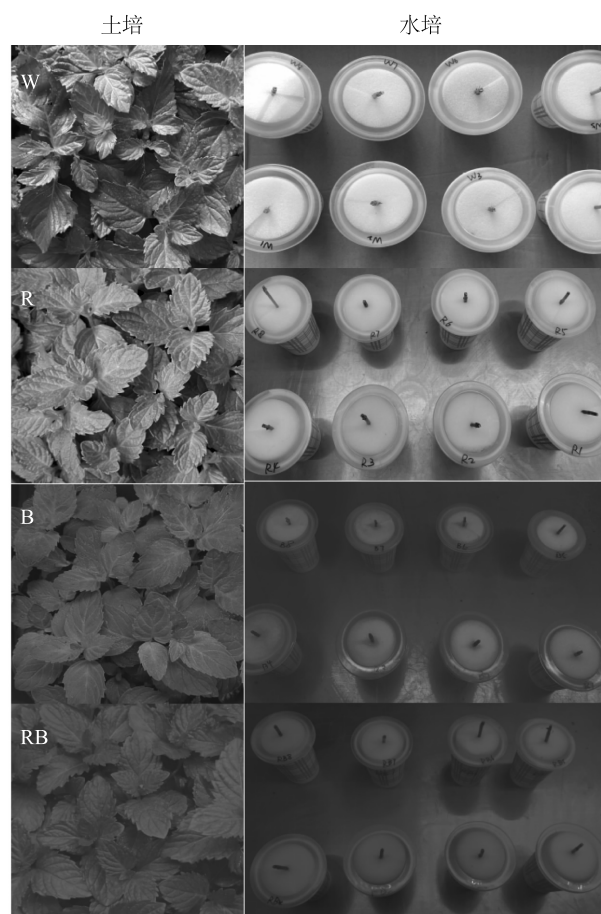
Table 1 Parameters of different LED light treatments

试验处理	光谱能量	峰值波长(nm)
自然光	自然光	390~780
红光	红光占比100%	650
蓝光	红光占比0	450
红蓝混合光	红光占比50%	450~650

本试验材料培养方式采用水培与土培(图1)。水培:选取生长一致的茎段置于营养液中进行光照处理,每个处理选择80个茎段,3组重复,所用的营养液购买自上海帝廷农林(集团)有限公司。土培:植株3~4叶期进行光照处理,每个处理包括6盆薄荷植株,每盆50株,即每个处理300株。补光时间为16 h/d,共处理21 d。

### 1.2 生长指标测定

水培植株不同光质处理21 d后,测定薄荷茎段生根数及腋芽萌发数,腋芽萌发标准为腋芽长度 $\geq 1$  cm。土培植株光质处理21 d后,测定株高、茎粗、叶片数、地上部分鲜重和叶片干重等生长数据。株高为植株基部到顶端的距离,叶片数为长度大于1 cm的叶片数量。茎粗为茎最粗部位直径,株高、茎粗使



W: 自然光处理; R: 红光处理; B: 蓝光处理; RB: 红蓝混合光处理。

图1 留兰香薄荷在不同光质下的生长情况

Fig.1 Growth of *Mentha spicata* L. under different light quality treatments

用刻度尺和游标卡尺测定。将新鲜叶片置于通风处风干至恒重,使用电子天平测定叶片干重。叶片含水量计算方法:

$$\text{叶片含水量} = [(\text{鲜重} - \text{干重}) / \text{鲜重}] \times 100\%$$

### 1.3 叶绿素含量测定

测定方法参照 Wang 等<sup>[14]</sup>的方法,稍作改动。取生长一致的新鲜成熟叶片 0.3 g,将其浸没在叶绿素提取液(70%丙酮,20%乙醇,10%水)中,4℃轻摇过夜,测定浸提液 663 nm 吸光度( $A_{663}$ )和 645 nm 处吸光度( $A_{645}$ )。叶绿素质量浓度(mg/L)计算公式:

$$CChla = 12.7A_{663} - 2.69A_{645},$$

$$CChlb = 22.9A_{645} - 4.68A_{663},$$

$$CChl = CChla + CChlb = 20.21A_{645} + 8.02A_{663},$$

$$\text{叶绿素含量 (mg/g)} = [(CChla + CChlb) \times \text{提取液}$$

体积]/样品鲜重,

式中, $CChla$ 、 $CChlb$ 、 $CChl$  分别为叶绿素 a、叶绿素 b 和叶绿素的质量浓度。

### 1.4 可溶性糖及可溶性蛋白质含量测定

可溶性糖含量及可溶性蛋白质含量测定方法参照 Wang 等<sup>[14]</sup>的方法,稍作改动。将 20 mg/ml 的牛血清白蛋白标准液稀释为 0 mg/ml、0.125 mg/ml、0.250 mg/ml、0.500 mg/ml、0.750 mg/ml、1.000 mg/ml、1.500 mg/ml 蛋白质标准液,使用分光光度计测定 595 nm 处吸光值。

$$\text{可溶性蛋白质含量 (mg/g)} = C \times V_t \times (W \times V_s \times 1000)^{-1}$$

其中, $C$  为标准曲线查到的可溶性蛋白含量( $\mu\text{g}$ ), $V_t$  为样品提取液总体积(ml), $W$  为样品鲜重(g), $V_s$  为测定取样体积(ml)。

### 1.5 固相微萃取-气质联用法 (SPME-GC-MS) 测定次生代谢产物

称取 3~5 g 风干薄荷叶片,置于空瓶中密封,插入 SPME 纤维头吸附 20 min。试验条件参照林霞<sup>[13]</sup>的方法,最后通过 NIST 谱库检索匹配。

### 1.6 数据处理与分析

数据采用 Excel 2010 处理,并使用 Graphpad prism 8.0 软件作图,采用 Student's t test 单因素方差分析。图片使用 Photoshop 2021 处理。

## 2 结果与分析

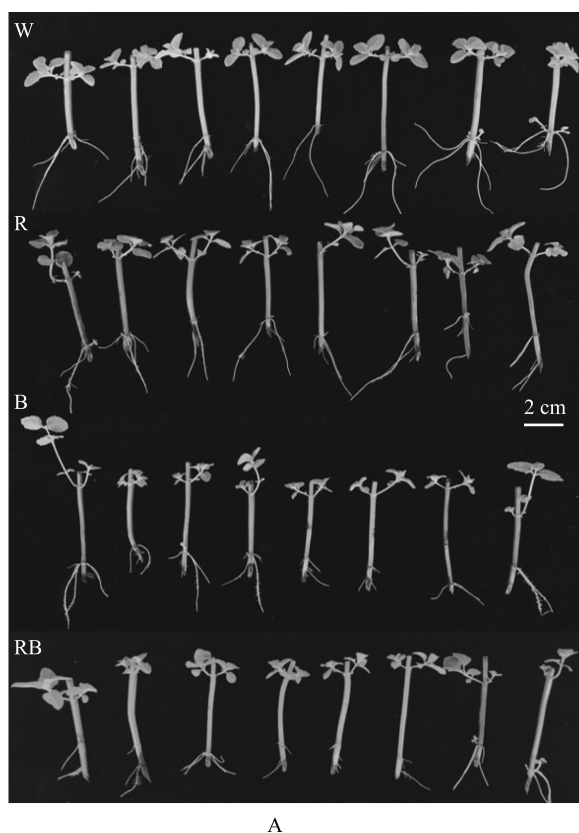
### 2.1 不同光质处理对留兰香薄荷生长指标的影响

2.1.1 不同光质处理对留兰香薄荷茎段生根及腋芽萌发的影响 水培条件下,不同光质处理的留兰香薄荷茎段均可生根(图 2A),但不同光质处理会对茎段生根速率产生影响(图 2B)。0~5 d,R 处理茎段生根率为 75%,其他 3 个处理(W、B、RB)茎段生根率均为 50%。5~7 d,B 处理茎段生根率提高最快,并在 7 d 时生根率达到 100%,表明全部茎段都已生根。7 d 时,W、R 处理茎段生根率达到 88%,RB 处理茎段生根率仅 75%。水培 9 d 时所有处理茎段生根率达到 100%。结果表明,不同光质处理不影响留兰香薄荷茎段最终生根率,但会对茎段生根速率产生影响,在生根前期(0~5 d)红光处理提高茎段生根速率效果最好,而在生根后期(5 d 后)蓝光处理提高茎段生根速率效果最好。

不同光质处理的留兰香薄荷茎段均可萌发腋

芽(图 2A),11 d 时所有处理的茎段腋芽萌发率达到 100%(图 2C)。0~5 d,B 处理茎段腋芽萌发率最高。5~7 d,RB 处理茎段腋芽萌发率最高。7~9 d,R 处理茎段腋芽萌发率最高,9 d 时所有茎段腋芽全部萌发。W 处理直到 7 d 时茎段腋芽才开始萌发(图 2C)。试验结果表明,在腋芽萌发

前期(0~5 d)蓝光处理留兰香薄荷茎段腋芽萌发速率最高,在腋芽萌发中期(5~7 d)红蓝混合光处理留兰香薄荷茎段腋芽萌发速率最高,在腋芽萌发后期(7 d 后)红光处理留兰香薄荷茎段腋芽萌发速率最高。



W: 自然光处理;R: 红光处理;B: 蓝光处理;RB: 红蓝混合光处理。

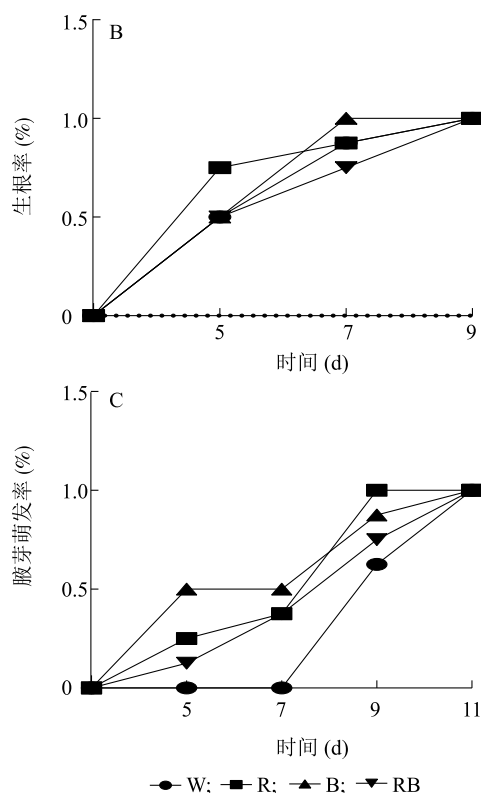
图 2 不同光质处理对留兰香薄荷茎段生根及腋芽萌发的影响

Fig.2 Effects of different light quality treatments on rooting and axillary bud germination of *Mentha spicata* L. stem segments

2.1.2 不同光质处理对留兰香薄荷株高、叶片数及茎粗的影响 土培条件下,自然光,蓝光,红光及红蓝光处理 21 d 留兰香薄荷生长外观有较大差异(图 3A)。W、R、B 处理植株长势发散,高矮不一,且出现倒伏现象,其中 B 处理植株部分死亡。而 RB 处理植株相较于其他处理枝条健壮,长势整齐,且叶片和枝条颜色更绿(图 3A、3B),表明 RB 处理对植株生长有一定促进作用。测量植株株高发现,R 处理植株株高最高,极显著高于 W 处理( $P<0.01$ )(图 3C)。RB 处理植株叶片数极显著高于 W 处理( $P<0.01$ )(图 3D),RB 处理植株茎粗极显著高于 W 处

理( $P<0.01$ ),W 处理植株茎粗极显著高于 R 处理( $P<0.01$ )和 B 处理( $P<0.01$ )(图 3E)。与 W 处理和 RB 处理相比,R、B 单色光处理植株茎粗极显著降低( $P<0.01$ ),可能是因为蓝光、红光均在薄荷生长过程中起到重要作用。

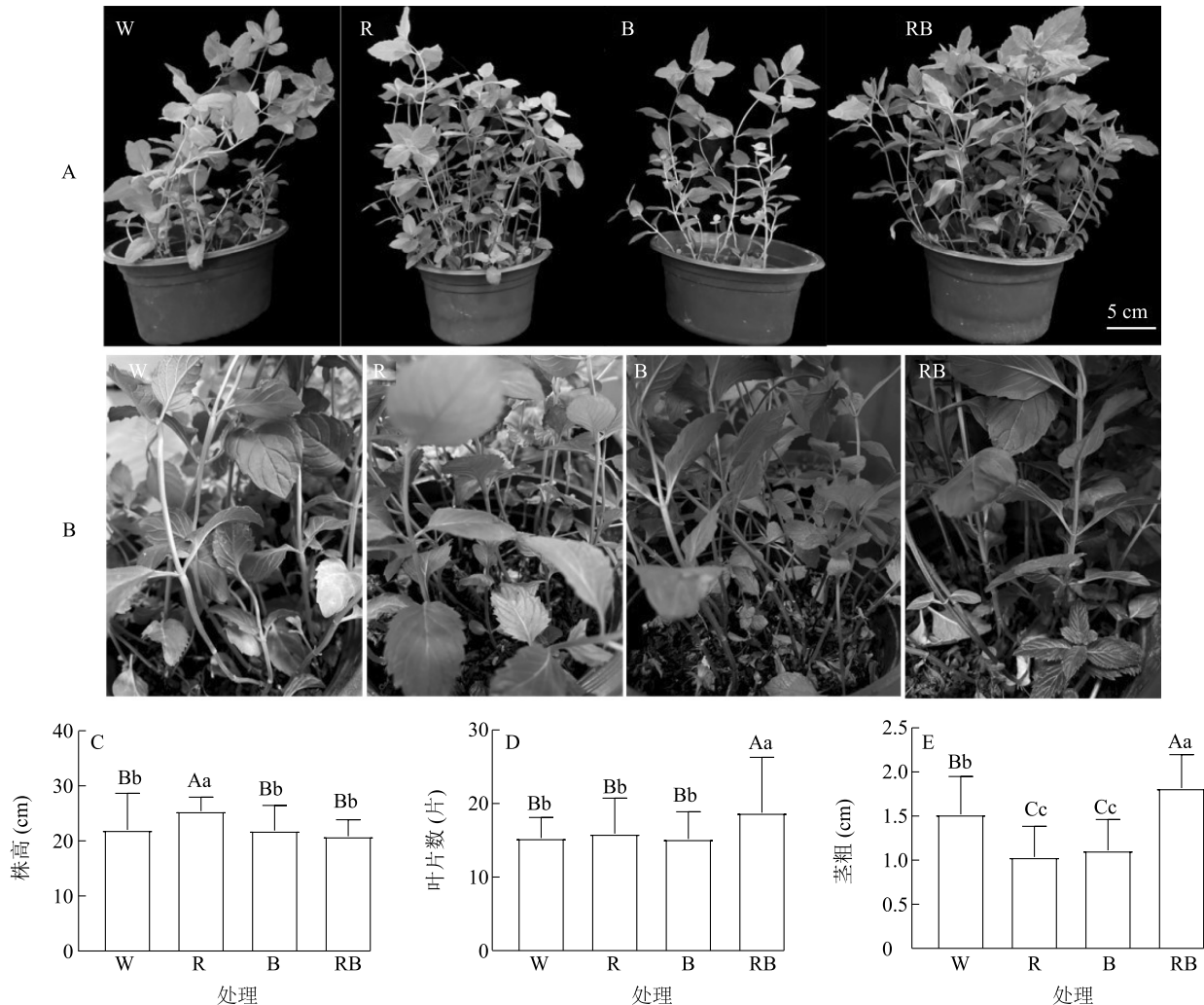
2.1.3 不同光质处理对留兰香薄荷鲜重及叶片含水率的影响 不同光质处理对薄荷地上部分鲜重有一定影响。RB 处理薄荷地上部分鲜重最高,极显著高于 W 处理( $P<0.01$ )、R 处理( $P<0.01$ )和 B 处理( $P<0.01$ ),但 R 处理和 B 处理的植株地上部分鲜重均与 W 处理无显著差异( $P>0.05$ )(图 4B)。RB





处理叶片含水量极显著低于 W 处理 ( $P<0.01$ ), 而 R、B 处理叶片含水量与 W 处理无显著性差异 ( $P>0.05$ ) (图 4C)。结果表明, 红蓝混合光更有利于提

高薄荷地上部分鲜重, 且可以降低叶片含水量, 使得干物质积累增多, 而其余光质对薄荷地上部分鲜重及叶片含水量无显著影响 ( $P>0.05$ )。



W: 自然光处理; R: 红光处理; B: 蓝光处理; RB: 红蓝混合光处理。图柱上不同小写字母表示处理间差异显著 ( $P<0.05$ ), 图柱上不同大写字母表示处理间差异极显著 ( $P<0.01$ )。

图 3 不同光质处理的薄荷生长情况

Fig.3 The growth of *Mentha spicata* L. under different light quality treatments

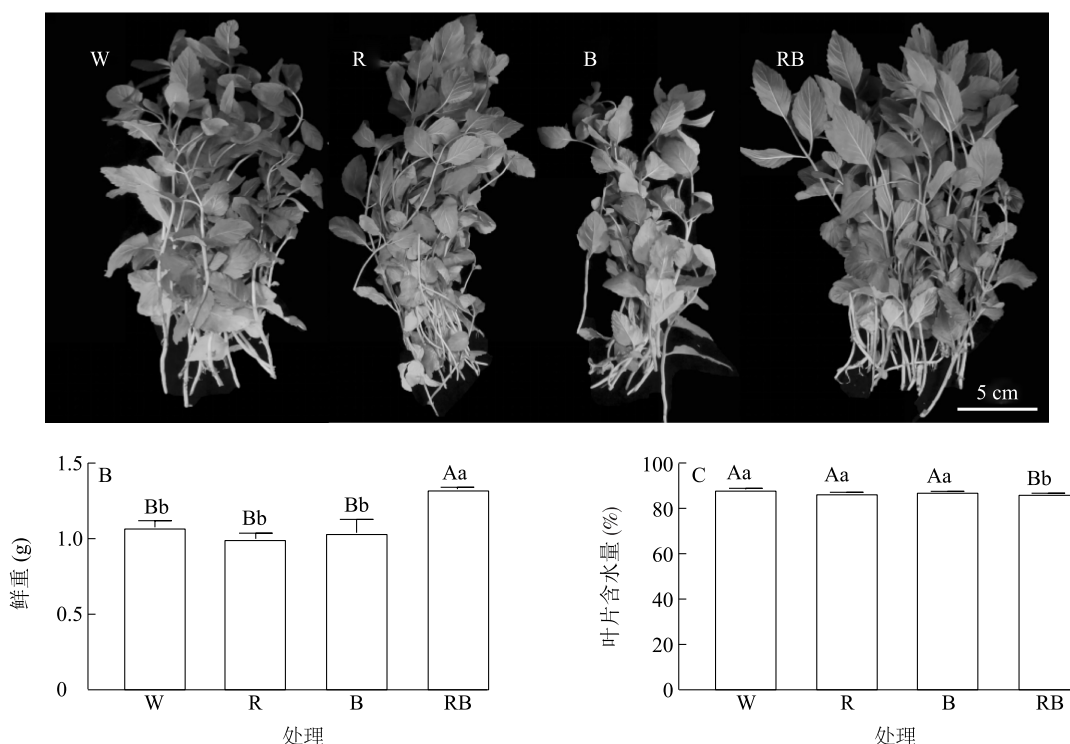
## 2.2 不同光质处理对薄荷生理生化指标的影响

糖代谢是植物光合作用与生长发育的重要途径, 光质会影响植物糖代谢。与 W 处理相比, R 处理薄荷可溶性糖含量极显著提高了 5.33% ( $P<0.01$ )、RB 处理薄荷可溶性糖含量极显著提高了 13.08% ( $P<0.01$ ) (图 5B)。而 B 处理薄荷可溶性糖含量与 W 处理无显著差异 ( $P>0.05$ )。说明红光可促进薄荷可溶性糖的积累, 蓝光对其影响不显著, 而红蓝混合光处理薄荷可溶性糖含量不是红光处理

薄荷可溶性糖含量和蓝光处理薄荷可溶性糖含量的单纯累加。

可溶性蛋白质作为植物重要营养物质, 对植物提供一定的保护作用。相较于 W 处理, B 处理和 RB 处理薄荷可溶性蛋白质含量均极显著提高 ( $P<0.01$ ) (图 5C), 且 B 处理薄荷可溶性蛋白含量最高, 为 8.64 mg/g, 说明蓝光可能影响薄荷体内可溶性蛋白质含量。

植物叶绿素含量对叶片的光合作用至关重



W:自然光处理;R:红光处理;B:蓝光处理;RB:红蓝混合光处理。图柱上不同小写字母表示处理间差异显著 ( $P < 0.05$ ),图柱上不同大写字母表示处理间差异极显著 ( $P < 0.01$ )。

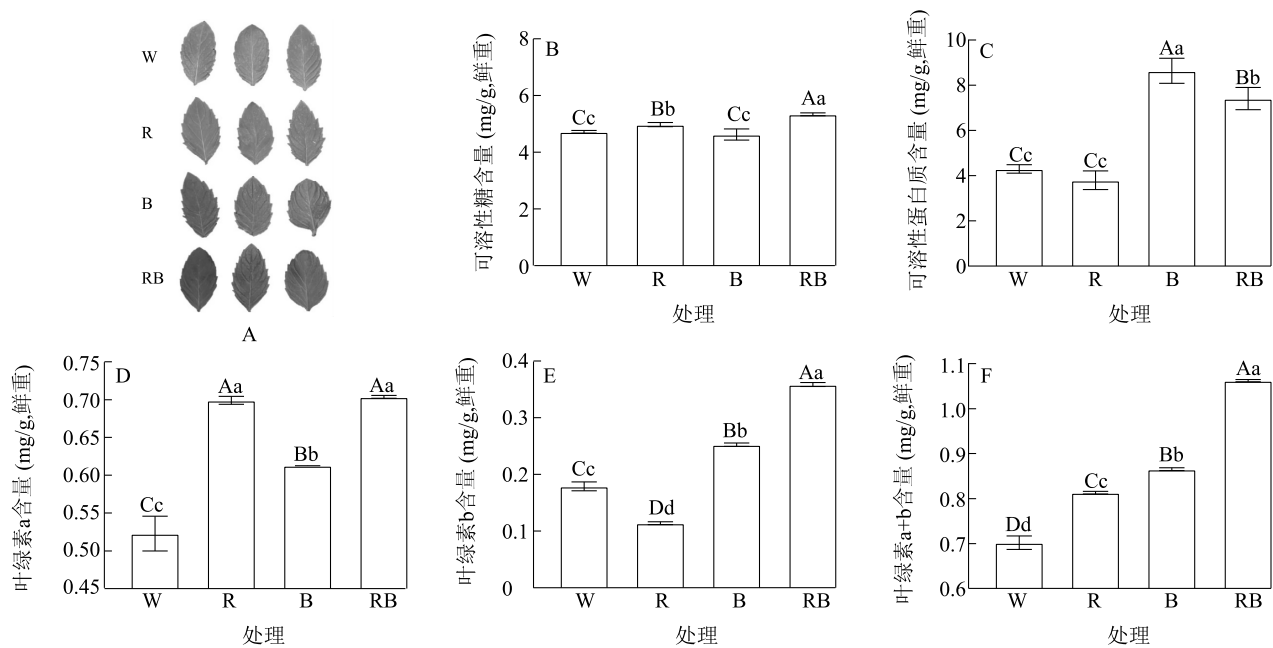
图 4 不同光质处理的薄荷地上部鲜重和叶片含水量

Fig.4 The aboveground fresh weight and leaf water content of *Mentha spicata* L. under different light quality treatments

要。试验结果表明,与 W 处理相比,R 处理薄荷叶片叶绿素 a 含量极显著提高了 33.71% ( $P < 0.01$ ),B 处理薄荷叶片叶绿素 a 含量极显著提高了 17.20% ( $P < 0.01$ ),RB 处理薄荷叶片的叶绿素 a 含量极显著提高了 34.60% ( $P < 0.01$ )。R 处理和 RB 处理薄荷叶片叶绿素 a 含量极显著高于 B 处理 ( $P < 0.01$ ) (图 5D)。R 处理对薄荷叶片叶绿素 b 的积累有抑制作用,相较于 W 处理,R 处理薄荷叶片叶绿素 b 含量极显著降低了 36.28% ( $P < 0.01$ ),而 B 处理薄荷叶片叶绿素 b 含量极显著提高了 41.08% ( $P < 0.01$ ),RB 处理薄荷叶片叶绿素 b 含量极显著提高了 100.33% ( $P < 0.01$ ) (图 5E)。所有处理中 RB 处理薄荷叶片叶绿素 b 含量最高,为 0.358 mg/g。R、B、RB 处理薄荷叶片叶绿素 a 和叶绿素 b 总含量均极显著高于 W 处理 ( $P < 0.01$ ) (图 5F)。综上所述,红光、蓝光及红蓝光处理薄荷叶片叶绿素 a 和叶绿素 b 总含量均极显著增加,红光主要促进叶片中叶绿素 a 积累,蓝光主要促进叶片中叶绿素 b 积累。

### 2.3 不同光质处理对薄荷次生代谢产物的影响

不同光质处理可影响薄荷次生代谢产物的形成与积累(表 2)。通过 NIST 谱库检索,4 种处理的薄荷叶片中检测出高匹配成分 70 个左右,次生代谢产物占比从高到低分别为香芹酮、D-柠檬烯、二氢香芹醇,其中香芹酮和 D-柠檬烯占比分别超过 20%,二者为薄荷精油主要成分。与 W 处理相比,R、B 处理薄荷香芹酮占比均降低,混合光处理(W、RB 处理)相较于单色光处理(R、B 处理)可促进香芹酮的形成与积累,提高香芹酮的占比。各处理对 D-柠檬烯含量影响较小。B 处理对二氢香芹醇积累的抑制作用最明显,相较于 W 处理,二氢香芹醇占比降低了 53.26%。R、B、RB 处理均可提高石竹烯、 $\beta$ -月桂烯、 $\alpha$ -蒎烯等萜烯类化合物占比。3-辛醇仅在 RB 处理薄荷中检测到。综上所述,光质可影响薄荷次生代谢产物形成与积累,红蓝混合光可提高香芹酮占比,降低 D-柠檬烯占比,可能是因为红蓝混合光提高了 D-柠檬烯转化为香芹酮的催化酶活性。



A 图为 W 处理、R 处理、B 处理、RB 处理薄荷叶片颜色。W: 自然光处理; R: 红光处理; B: 蓝光处理; RB: 红蓝混合光处理。图柱上不同小写字母表示处理间差异显著 ( $P<0.05$ ), 图柱上不同大写字母表示处理间差异极显著 ( $P<0.01$ )。

图 5 不同光质处理对薄荷生理生化指标的影响  
Fig.5 Effects of different light quality treatments on physiological and biochemical indices of *Mentha spicata* L.

表 2 不同光质处理对薄荷次生代谢产物的影响  
Table 2 Effects of different light quality treatments on secondary metabolites of *Mentha spicata* L.

次生代谢产物	次生代谢产物占比 (%)			
	W	R	B	RB
香芹酮	34.24	32.15	32.28	34.44
D-柠檬烯	25.89	25.47	25.27	24.61
二氢香芹醇	5.82	5.32	2.72	4.28
萜草烯	1.15	1.89	1.69	1.92
D-二氢香芹酮	5.29	2.16	4.53	1.94
反式- $\beta$ -罗勒烯	-	1.76	2.12	2.95
2-甲基-5-(1-甲基乙烯基)环己酮	6.98	-	-	3.79
异戊酸顺-3-己烯酯	0.67	1.25	1.11	1.17
石竹烯	5.18	7.74	7.64	7.48
蒎烯	0.11	0.11	0.12	0.15
$\beta$ -月桂烯	2.93	3.35	3.35	3.33
$\alpha$ -蒎烯	1.49	1.52	1.66	1.64
反式罗勒烯	1.80	3.13	-	2.83
顺式罗勒烯	0.53	0.30	0.51	0.37
(E)- $\beta$ -金合欢烯	0.89	1.30	1.21	1.54
3-辛醇	-	-	-	0.71

-表示数据库中未匹配到该物质。W: 自然光处理; R: 红光处理; B: 蓝光处理; RB: 红蓝混合光处理。

### 3 讨论

#### 3.1 红蓝混合光促进留兰香薄荷地上部生长及增加其生物量

生根率和腋芽萌发率是判断植物初期生长状态的重要指标。目前已有研究发现玉簪<sup>[15]</sup>、杉木<sup>[16]</sup>的生根情况会受到红光、蓝光的影响,本研究结果也验证了这一点,红光可促进薄荷茎段生根,蓝光可促进薄荷茎段腋芽萌发,这与蓝光可促进五彩椒茎段腋芽萌发结果相似<sup>[17]</sup>,可能光质影响了植株生根发芽相关基因的表达。此外,在本研究中,红光处理提高了薄荷植株的株高,红蓝混合光处理可以促进植株茎粗和叶片数增加。巩彪等<sup>[18]</sup>对紫背天葵的研究结果表明,红光补充后茎粗增加,而红蓝光补充后茎粗无明显变化,但是叶片数增加。Wang 等<sup>[14]</sup>在无花果的研究中发现,蓝光可以显著提升植株叶片数,说明光质在不同植物生长中起到重要作用。本研究发现,红蓝混合光处理薄荷地上部分鲜重增加,说明红蓝混合光更有利于促进薄荷干物质积累,而其余光质对薄荷鲜重及叶片含水量影响不明显。总体而言,红蓝光对留兰香薄荷的生物量最为促进,植株最为茂盛,因此植物工厂的薄荷繁育可分阶段调



节光质,从而达到产量最大化。

### 3.2 红蓝混合光促进留兰香薄荷基础代谢活力

糖类是植物生长过程中重要的碳源,糖类的含量可以直接反映植物光合作用效率。之前有研究报道红光、蓝光及白光可提高红花檵木愈伤组织的可溶性糖含量<sup>[19]</sup>,本研究发现红光可促进薄荷可溶性糖的积累,而蓝光对可溶性糖含量无显著影响,而红蓝混合光对可溶性糖含量的影响不单是两种光质作用效果的累加。红蓝混合光处理薄荷叶绿素 a+b 含量最高,可溶性糖含量最高。叶绿素含量在植物光合作用中起决定性作用,红光主要促进叶绿素 a 积累,蓝光主要促进叶绿素 b 积累,这可能与相关基因响应有关。红蓝混合光处理薄荷地上部鲜重最高,可能是由于该光质下薄荷叶绿素含量最高,该结果与唐银等<sup>[16]</sup>在紫叶生菜中的研究结果相同,但巩彪等<sup>[18]</sup>发现有色补光可降低紫背天葵叶绿素含量,说明光质对不同植物叶绿素含量影响不同,不可一概而论。

### 3.3 不同光质对薄荷次生代谢产物的影响

植物次生代谢产物合成主要受结构基因控制,但它的形成也高度依赖于环境条件,如光、温度和水分等<sup>[20]</sup>。光照在植物光合作用过程中提供能量,同时光也可作为环境信号分子调控植物的生理过程,它几乎存在于植物生长的各个阶段,进而影响植物细胞内活性物质生物合成<sup>[21]</sup>。本研究质谱结果表明,不同光质处理薄荷中香芹酮和 D-柠檬烯成分占比最高,二者是重要的单萜化合物,香芹酮是留兰香薄荷油的主要成分,也是留兰香薄荷的主要香味成分,由于香芹酮的唯一来源是柠檬烯代谢,而且也是这一代谢通路的最终产物<sup>[22]</sup>,这两种化合物的含量在薄荷的生长过程中紧密联系。红光或者蓝光单色光处理薄荷中香芹酮占比降低,而红蓝混合光处理明显提高了香芹酮占比,与此同时,红蓝混合光处理薄荷中香芹酮的前体 D-柠檬烯占比低于红光或者蓝光单色光处理,可能是由于红蓝混合光影响了香叶基二磷酸代谢,也可能是代谢通路中的酶活性发生了变化<sup>[22]</sup>。不同次生代谢产物可能响应不同光质,在白光的基础上添加 1:2 的红蓝光处理紫叶生菜,紫叶生菜次生代谢产物含量显著提高结果<sup>[23]</sup>,不同光质的配比正成为研究的热点。此外,R、B、RB 处理均提高了薄荷中萜烯类化合物含量,有研究结果表明,萜烯类化合物是影响薄荷香气的主要物

质<sup>[24]</sup>,而精油含量及香气是薄荷质量的重要评价指标,光质如何影响精油含量及香气有待进一步探究。

## 4 结 论

不同光质对留兰香薄荷生长情况影响不同,本试验结果表明生长前期适当补充蓝光可提升留兰香薄荷茎段生根速率与腋芽萌发速率,后期补充红蓝混合光可使植株生长整齐,生物量增大,部分生理生化指标处于优势地位。因此在培育留兰香薄荷的过程中,在水培生根阶段可采用红光、蓝光阶段性补光,而在土培生长阶段可适当补充红蓝混合光;并且红蓝混合光可以增加香芹酮含量,提升精油中有效成分的浓度,因而如需要制作高品质精油可以适当增加红蓝混合光比例。未来可以进一步研究不同光质下薄荷的精油产率以及对精油品质的研究,以服务于实际生产,同时薄荷植株生长最佳光质配比仍需进一步探索。

### 参考文献:

- [1] MAHENDRAN G, VERMA S K, RAHMAN L U. The traditional uses, phytochemistry and pharmacology of spearmint (*Mentha spicata* L.): a review[J]. Journal of Ethnopharmacology, 2021, 278: 114266.
- [2] ABBASZADEH B, FARAHANI H A, VALADABADI S A. Investigation of variations of the morphological values and flowering shoot yield in different mint species at Iran[J]. Journal of Horticulture and Forestry, 2009, 1(7): 109-112.
- [3] SALEHI B, STOJANOVIC-RADIC Z, MATEJIC J, et al. Plants of genus mentha: from farm to food factory[J]. Plants, 2018, 7(3): 70.
- [4] ALI-SHTAYEH M S, JAMOUS R M, ABU-ZAITOUN S Y, et al. Biological properties and bioactive components of *Mentha spicata* L. essential oil: focus on potential benefits in the treatment of obesity, Alzheimer's disease, dermatophytosis, and drug-resistant infections[J]. Evidence-based Complementary and Alternative Medicine, 2019, 2019: 3834265.
- [5] 包金花, 玉兰, 何陈林, 等. 科尔沁沙地唇形科蒙药植物资源调查及其开发利用[J]. 中国野生植物资源, 2020, 39(7): 59-62.
- [6] 程刘柯. 芳香植物工厂化繁育试验研究[D]. 南京: 南京大学, 2017.
- [7] 杨睿, 陈炫好, 李晋, 等. 薄荷化学成分及药理活性研究进展[J]. 天津中医药大学学报, 2022, 41(1): 4-13.
- [8] SHAHSAVARPOUR M, LASHKARBOLOOKI M, EFTEKHARI M J, et al. Extraction of essential oils from *Mentha spicata* L. (Labiatae) via optimized supercritical carbon dioxide process[J]. The



- Journal of Supercritical Fluids, 2017, 130:253-260.
- [9] 盛晓婧. 薄荷挥发性物质构成及香气品质解析[D]. 北京:中国农业科学院, 2021.
- [10] EL-MENYIY N, MRABTI H N, EL-OMARI N, et al. Medicinal uses, phytochemistry, pharmacology, and toxicology of *Mentha spicata* [J]. Evidence-based Complementary and Alternative Medicine, 2022, 2022:7990508.
- [11] 王 敏. 中国芳香植物资源开发现状及应用前景[J]. 中国化妆品, 2021(4):20-23.
- [12] 李清明, 仝宇欣, 杨 晓, 等. 国内外植物工厂研究进展与发展趋势[J]. 农业工程技术, 2022, 42(10):49-53.
- [13] 林 霞. 固相微萃取-气质联用法测定 2 种延命草属植物的挥发性物质[J]. 食品安全质量检测学报, 2017, 8(3):981-986.
- [14] WANG W, SU M H, LI H H, et al. Effects of supplemental lighting with different light qualities on growth and secondary metabolite content of *Anoectochilus roxburghii* [J]. PeerJ, 2018, 6:e5274.
- [15] 陈 菲, 李 黎, 韩 辉, 等. 不同 LED 光质对玉簪组培苗增殖和生根的影响[J]. 国土与自然资源研究, 2016(4):94-96.
- [16] 唐 银, 李玲燕, 许珊珊, 等. 不同光质对杉木组培苗生根的影响及其机理初探[J]. 西北植物学报, 2022, 42(4):609-618.
- [17] 徐海峰, 李海燕. 不同光质对五彩椒腋芽萌发的影响研究[J]. 农技服务, 2017, 34(13):13, 12.
- [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] 郭佩瑶, 邓斯颖, 张艺帆, 等. 不同光质对红花檵木愈伤组织生长及黄酮类物质含量的影响[J]. 西北植物学报, 2022, 42(1):118-126.
- [20] BAŞER K H C, BUCHBAUER G. Handbook of essential oils: science, technology, and applications [M]. Boca Raton: CRC Press, 2009.
- [21] WANG Y C, ZHANG H X, ZHAO B, et al. Improved growth of *Artemisia annua* L. hairy roots and artemisinin production under red light conditions [J]. Biotechnology Letters, 2001, 23:1971-1973.
- [22] AHKAMI A, JOHNSON S R, SRIVIDYA N, et al. Multiple levels of regulation determine monoterpenoid essential oil compositional variation in the *Mint* family [J]. Molecular Plant, 2015, 8(1):188-191.
- [23] 高 勇, 李清明, 刘彬彬, 等. 不同光质对比对紫叶生菜光合特性和品质的影响[J]. 应用生态学报, 2018, 29(11):3649-3657.
- [24] 吴 怡, 李玉红, 姚 雷. LED 补光对亚洲薄荷自然香气成分的影响[J]. 上海交通大学学报(农业科学版), 2017, 35(2):82-88.

(责任编辑:成纾寒)