

不同光质对甘蓝型油菜幼苗的 生长和生理特性的影响

李慧敏, 陆晓民

(安徽科技学院 生命科学学院, 安徽凤阳 233100)

摘要:以甘蓝型油菜品种‘宁油 12’为试材,采用单因素随机区组设计的盆栽试验,将直播后长至子叶展平时的油菜幼苗转入荧光灯(FL,对照)、蓝光(B)、蓝红组合 1:1(BR_{1:1})、蓝红组合 1:8(BR_{1:8})和红光(R)下进行照射,考察不同光质对甘蓝型油菜生长指标、根系活力、叶绿素含量和光合产物等的光效应,筛选适合甘蓝型油菜工厂化育苗的人工光源,为油菜的工厂化育苗的光源合理利用提供理论指导和技术支持。结果表明:(1)油菜幼苗的鲜质量、干质量、根长、株高、茎粗和叶面积在 BR_{1:8}处理下最大,并显著高于对照 FL;(2)BR_{1:8}处理下的幼苗根系活力最强,其次为 B 处理,二者都显著高于对照 FL;(3)幼苗叶片叶绿素 a、叶绿素 b、叶绿素总量和类胡萝卜素的含量在各光质处理下变化趋势一致,即 B 处理最大,其次是 BR_{1:8}处理,二者均显著高于 BR_{1:1}、R 和 FL 处理,但 BR_{1:1}、R 和 FL 处理间均无显著差异;(4)BR_{1:8}处理幼苗叶片的可溶性糖、淀粉和游离氨基酸含量最高,且都显著高于 BR_{1:1}、R 和 FL 处理;B 处理幼苗叶片的蔗糖、可溶性蛋白和抗坏血酸含量最高,且显著高于 BR_{1:1}、R 和 FL 处理;BR_{1:8}处理叶片的可溶性碳和氮含量最高,其次为 B 处理,并显著高于 BR_{1:1}、R 和 FL 处理;而对照 FL 处理的碳氮比最大,显著高于其他处理。研究认为,蓝红组合光(1:8)能显著提高甘蓝型油菜叶片可溶性糖、可溶性淀粉、游离氨基酸、可溶糖总碳和总氮的含量,而蓝光则能显著促进叶片光合色素、蔗糖、可溶性蛋白和抗坏血酸的积累,有效促使幼苗快速、健壮生长,生产中可采用蓝红组合光(1:8)和蓝光作为甘蓝型油菜育苗的人工光源。

关键词:光质;甘蓝型油菜;生长;生理特性

中图分类号:Q945.79

文献标志码:A

Growth and Physiological Characteristics of Rapeseed Seedlings under Different Light Quality

LI Huimin, LU Xiaomin

(College of Life Science, Anhui Science and Technology University, Fengyang, Anhui 233100, China)

Abstract: The present study evaluated the effects of different light quality on the growth, root activity, pigment content and photosynthetic production of rapeseed (*Brassica napus* L.) seedlings with pot experiment in order to select a suitable light for rapeseed artificial breeding. Cultivar ‘Ningyou 12’ with two expanded cotyledons were exposed to five lights of fluorescent lamps (FL, control), blue (B) light emitting diodes (LEDs), blue plus red LEDs (BR_{1:1}) and red LEDs (R). The present results showed that: (1) fresh weight, dry weight, root length, plant height, stem width and leaf area were the greatest in rapeseed seedlings under BR_{1:8} LEDs, which was showed significant differences to FL treatment; (2) root activity was the greatest in rapeseed seedlings under BR_{1:8} treatment, followed by B treatment, which were showed significant differences to FL treatment; (3) the trend of chlorophyll a, chlorophyll b, chlorophyll (a+b) and carotenoid concentrations under five treatment were the same. The values were the greatest in seedlings un-

收稿日期: 2015-08-02; 修改稿收到日期: 2015-09-13

基金项目: 安徽省高校省级自然科学研究重点项目(KJ2014A053); 安徽省现代农业产业技术体系专项(AHCYTX-13); 安徽科技学院重点学科(AKZDXK2015C05)

作者简介: 李慧敏(1981—), 女, 博士, 讲师, 主要从事作物栽培生理与设施环境调控的相关研究工作。E-mail: hml0621@163.com

der B light, followed by BR_{1:8} treatment, which was showed significant differences to BR_{1:1}, R and FL treatments; (4) the contents of soluble sugar, starch and amino acid were the greatest in seedlings under BR_{1:8} treatment, which were showed significant differences to BR_{1:1}, R and FL treatments; the contents of soluble protein, ascorbic acid and sucrose were the greatest in seedlings under B treatment, which were showed significant differences to BR_{1:1}, R and FL treatments; the contents of soluble carbon and nitrogen were the greatest in seedlings under BR_{1:8} treatment, followed by B treatment, which were showed significant differences to BR_{1:1}, R and FL treatments; the ratio of carbon and nitrogen was the greatest under FL treatment, which were showed significant differences to other treatments. In general, rapeseed seedlings were grew well; thereby the growth and physiological index were also promoted. The BR_{1:8} and B were the suitable light for rapeseed seedling growth and can be used as a priority light for rapeseed culture system.

Key words: light quality; rapeseed; growth; physiological characteristics

油菜是世界范围内食用植物油和植物蛋白的主要来源之一,中国油菜总产目前已居世界第一位,其常年种植的面积和总产量已占世界的三分之一^[1-2]。而甘蓝型油菜因其具有种子含油量高、抗性好、适应性强、分布广和增产潜力大等特点,在中国油料作物中占有非常重要的地位^[3]。目前,油菜种植多为育苗移栽,工厂化基质育苗移栽不仅具有省工、节本、轻简和高效的优势,这还缓解了油菜和前茬作物的季节矛盾,能适时早播,培育壮苗,为高产打下基础^[4]。但是,由于季节更替或所处的气候带的原因,农作物不可避免地会生长在弱光逆境中,而长期的弱光逆境对植株尤其是幼苗的生长极为不利,造成商品苗质量下降^[5]。随着科学技术的进步以及农业与生物产业的快速发展,人工光源代替或补充自然光源的不足已经成为环境控制农业的重要手段^[6]。补光灯可以在农业生产中有效延长和科学控制植物所需要的光质和光照强度,甚至在设施内或植物工厂可代替自然光,人为控制植物生长的季节并彻底缩短植物生长的时间^[5]。

光在植物的生长发育、形态建成和物质代谢等方面发挥着重要的作用^[6]。但是不同的光质对植物存在着明显迥异的生物学效应,利用不同波长的光照射植物,发现植物的生长和发育对蓝光(380~500 nm)、红光(620~700 nm)、紫外光 UV-B(280~320 nm)、紫外光 UV-A(320~380 nm)和远红光(700~800 nm)特别敏感^[7]。蓝光 LEDs(发光二极管)在叶绿体发育、叶绿素形成和气孔开放等方面发挥着重要作用^[8]。蓝红组合 LEDs 则促进了幼苗的生长和发育^[9-12]。红光 LEDs 对光合产物的形成和积累,以及光合器官的发育具有重要作用^[13]。人工补光不仅取决于光谱,还取决于光源的生理辐射特征,即能够被植物光合作用吸收利用的那部分辐射,因此,不同光源的生理辐射特征是不同的^[5]。工厂化

育苗光照条件完全是人工光源,建立植株培育的光照标准对培育良好的壮苗是非常重要的^[10]。目前,植物工厂化育苗中常用的人工光源是荧光灯,但是其含有许多不必要的、对植物的生长促进作用较小的波长^[14]。而新型光源 LEDs 具有寿命长、体积小、波长具体和质量轻,并且含有与植物光合作用和形态建成的光谱范围相吻合的波长等显著特征,适合应用于可控环境中的植物栽培^[6,15]。应用于植物设施育苗和栽培中的光环境调控技术是一项节能环保的新方法,在工厂化育苗与设施栽培中具有重要意义和广泛前景。国外已有相关 LEDs 光质调控在设施栽培可控环境中的应用报道,国内外学者的研究结果已证实光对植物的生长和发育表现出明显的效应^[8-14],但不同植物种类或品种对光的反应不同。因此,为了筛选和高效利用人工光源,优化设施油菜人工育苗和栽培体系,有必要利用 LEDs 进行光源调控技术方面的研究。本试验采用红光 LEDs(R)、蓝光 LEDs(B)、蓝红组合(BR_{1:1,1:8})LEDs,以荧光灯(FL)为对照,研究了不同光质对甘蓝型油菜幼苗生长和生理特性的影响,筛选适合油菜幼苗生长的人工光源及相关技术,以期为油菜工厂化育苗中光源的选择提供理论依据和技术支持。

1 材料和方法

1.1 材料

挑选大小一致的甘蓝型油菜(*Brassica napus* L.)品种‘宁油 12’种子(购于江苏省农业科学院),播入基质为蛭石+草炭+土(V:V:V=1:1:1)的营养钵(高 15 cm×宽 8 cm)中,7 d 后子叶展平,然后置于不同光质下培养。

1.2 试验设计

采用单因素随机区组设计。将子叶展平后的油菜幼苗根据保持光强相同的原則,随机放置在蓝光

(B)LEDs、蓝红组合(B : R=1 : 1, 1 : 8)LEDs、红光(R)LEDs(光驰科技有限公司,中国上海)和荧光灯(FL,T5-28W,飞利浦照明工业有限公司,中国扬州)下照射,并采用光谱光度计(OPT-2000,上海双旭电子有限公司,中国上海)测定各个光质光源的光谱能量分布(图 1),以荧光灯为对照,其中光强均为 $120\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$,光周期为 $12\ \text{h}\cdot\text{d}^{-1}$,处理 30 d,幼苗保持与各个光质光源的距离为 12~15 cm。环境温度为 $24\sim26\ ^\circ\text{C}$,相对湿度 $50\%\sim55\%$ 。以浇灌 Hoagland's 营养液进行常规管理,试验重复 3 次,每次 300 株,每个处理 60 株。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 生长指标 幼苗光处理 30 d 后,从每小区随机取 5 株,每处理取 15 株进行生长分析。先记录根长、茎粗和株高。同时,采用 LI-3000 叶面积仪(LI-COR, USA)测定叶面积。最后,测定鲜样质量,并在烘干后测定干样质量。

1.3.2 生理指标 在幼苗经光处理 30 d 后,从每小区随机取 4 株,每处理取 12 株进行生理指标分析。其中,根系活力采用氯化三苯基四氮唑(TTC)还原法进行测定;光合色素含量采用 80%丙酮提取法测定;可溶性糖含量测定用蒽酮法;游离氨基酸含

量采用水合茚三酮法;蔗糖含量采用间苯二酚法;可溶性淀粉含量测定采用蒽酮法;可溶性蛋白含量采用考马斯亮蓝法测定;抗坏血酸含量的测定参照 2, 6-二氯靛酚滴定法测定^[16];可溶性总碳用可溶性糖、蔗糖和淀粉含量的总和表示;可溶性总氮用可溶性蛋白和游离氨基酸的总和表示;碳氮比为可溶性总碳与可溶性总氮的比值。

1.4 数据整理与分析

采用 Microsoft Excel 2003 和 SPASS 16.0 系统进行单因素方差分析和显著性差异检测(Tukey 法, $P<0.05$)。

2 结果与分析

2.1 不同光质对甘蓝型油菜幼苗生长的影响

表 1 显示,蓝光(B)、红光(R)和红蓝组合光(BR)处理油菜幼苗的鲜质量、干质量、根长、株高、茎粗和叶面积比对照荧光(FL)不同程度增加,并均以BR_{1:8}处理最高,其增幅分别为 58.9%、100%、85.5%、73.5%、92.5%和 149.1%,且均达到显著水平($P<0.05$);B 处理仅次于 BR_{1:8}处理,各指标值分别比对照显著增加 42.1%、70%、61.8%、21.9%、85.8%和 142.8%,且干鲜质量和株高显著低于 BR_{1:8}处理;BR_{1:1}处理仅根长和茎粗分别比对照显著增加 30.3%和 41.7%,但显著低于 BR_{1:8}处理;R 处理仅株高和叶面积分别比对照显著增加 26.2%和 119.7%,其株高与 B 处理相近,叶面积与 BR_{1:8}、B 处理无显著差异。可见,蓝光、红光和蓝红组合光处理相比于荧光对照都能不同程度促进油菜幼苗的生长,尤其以蓝红组合光(1 : 8)和蓝光处理表现更为突出;指标间相比较而言,叶面积、茎粗和干质量对光质反应更为敏感。

2.2 不同光质对甘蓝型油菜根系活力的影响

根系活力一定程度上可反映幼苗的生长状况。

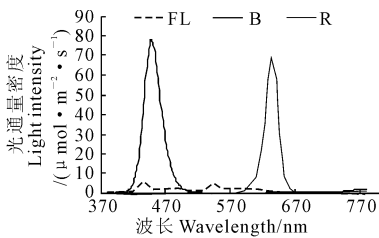


图 1 不同光质下的光谱能量分布参数

FL. 荧光灯;B. 蓝光 LEDs;R. 红光 LEDs

Fig.1 The light energy distribution of different lights

FL. Fluorescent lamp;B. Blue light emitting diodes;

R. Red light emitting diodes

表 1 不同光源下甘蓝型油菜幼苗生长情况

Table 1 The growth of rapeseed seedling under different light quality conditions

光质处理 Light treatment	鲜质量 Fresh weight/g	干质量 Dry weight/g	根长 Root length/cm	株高 Plant length/cm	茎粗 Stem width/mm	叶面积 Leaf area/cm ²
FL	0.95c	0.10c	3.80d	13.0c	1.20c	6.76c
B	1.35b	0.17b	6.15ab	15.85b	2.23a	16.41a
BR _{1:1}	1.08c	0.14bc	4.95bc	13.3c	1.70b	9.94bc
BR _{1:8}	1.51a	0.20a	7.05a	22.55a	2.31a	16.84a
R	1.20bc	0.11c	4.05cd	16.40b	1.30c	14.85ab

注:FL. 荧光灯;B. 蓝光;BR_{1:1}. 蓝红组合光(1 : 1);BR_{1:8}. 蓝红组合光(1 : 8);R. 红光;同列不同字母表示处理间(n=3)在 0.05 水平存在显著性差异。

Note:FL. Fluorescent lamp;B. 100% blue light;BR_{1:1}. 50% blue plus 50% red light;BR_{1:8}. 11.11% blue plus 88.89% red lights;R. 100% red light. Different normal letters within the same column indicate significant difference among treatments at 0.05 according to Tukey's test (n=3).

蓝光(B)、红光(R)和蓝红组合光(BR)处理油菜幼苗的根系活力都显著高于FL对照(图2)。其中,BR_{1:8}处理幼苗的根系活力最大,其次为B处理,再次为BR_{1:1}和R处理,但前两者显著高于后两者;BR_{1:8}、B、BR_{1:1}和R处理分别显著高于FL 103.28%、68.22%、44.03%和40.26%。可见,蓝光、红光和蓝红组合光均显著提高了甘蓝型油菜幼苗的根系活力,并以1:8蓝红组合光处理效果最佳。

2.3 不同光质对甘蓝型油菜叶片光合色素含量的影响

植物叶片中的光合色素是进行光合作用的物质基础,其含量和组成通过直接影响叶片的光合速率来影响植株的生长。图3显示,甘蓝型油菜叶片叶绿素a、叶绿素b、叶绿素总量和类胡萝卜素的含量在各光质处理间表现趋势一致,即在B处理和BR_{1:8}处理下均最大,且两者间无显著差异,但二者均显著高于BR_{1:1}、R和FL处理,而BR_{1:1}、R和FL处理间无显著差别。可见,蓝光及1:8蓝红组合光处理显著提高了甘蓝型油菜幼苗叶片光合色素的含量,为提高其光合速率奠定了基础。

2.4 不同光质对甘蓝型油菜幼苗叶片光合产物代谢的影响

光质可以调控植物光合产物的代谢。首先,甘蓝型油菜幼苗叶片可溶性糖含量以BR_{1:8}处理最高,其次为B处理,两者都显著高于BR_{1:1}、R和FL处理,而后三者间无显著差异;叶片可溶性淀粉含量

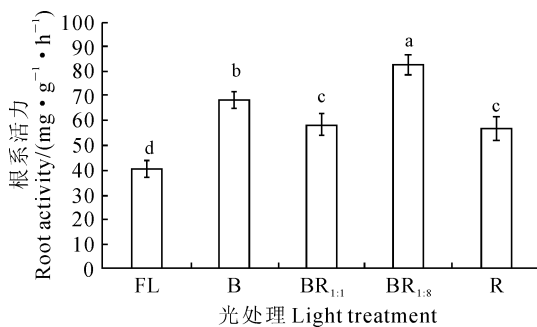


图2 不同光质下甘蓝型油菜幼苗根系活力的变化
FL. 荧光灯;B. 蓝光;BR_{1:1}. 蓝红组合光;BR_{1:8}. 蓝红组合光;
R. 红光;不同字母表示处理间(n=3)在0.05
水平存在显著性差异;下同

Fig. 2 The root activity of rapeseed seedlings under different light quality conditions
FL. Fluorescent lamp;B. 100% blue light;BR_{1:1}. 50% blue plus 50% red light;BR_{1:8}. 11.11% blue plus 88.89% red lights;
R. 100% red light;Different normal letters indicate significant difference among treatments at 0.05 level according to Tukey's test (n=3). The same as below.

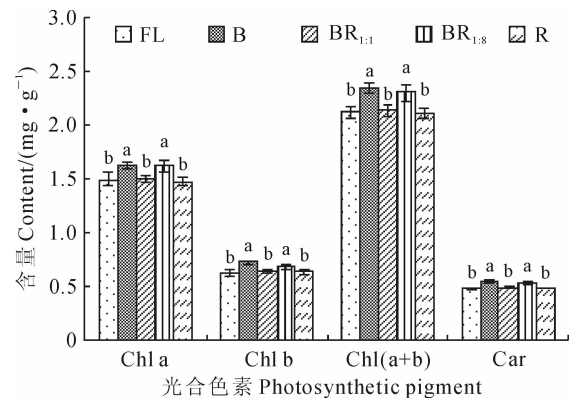


图3 不同光质下甘蓝型油菜叶片光合色素含量的变化
Chl a. 叶绿素a;Chl b. 叶绿素b;Chl(a+b). 叶绿素;
Car. 类胡萝卜素

Fig. 3 The photosynthetic pigment contents of rapeseed seedlings under different light quality conditions
Chl a. Chlorophyll a;Chl b. Chlorophyll b;
Chl(a+b). Chlorophyll;Car. Carotenoid

也以BR_{1:8}处理最高,且分别显著高于B、BR_{1:1}、R和FL处理12.31%、14.78%、23.94%和33.70%($P<0.05$),而B、BR_{1:1}处理又显著高于R和FL处理;叶片游离氨基酸含量仍以BR_{1:8}处理的最高,分别显著高于B、BR_{1:1}、R和FL处理15.77%、16.55%、16.90%和125.70%,而B、BR_{1:1}、R处理又显著高于FL处理($P<0.05$);叶片蔗糖含量和可溶性蛋白含量均以B处理最高,其蔗糖含量分别显著高于BR_{1:8}、BR_{1:1}、R和FL处理53.66%、62.59%、62.92%和66.15%,可溶性蛋白含量分别显著高于FL、BR_{1:1}和R处理50.18%、52.55%和57.68%($P<0.05$),而除B处理以外的处理间均显著差别(图4,A)。其次,甘蓝型油菜幼苗叶片可溶性碳含量以BR_{1:8}和B处理的最高,且二者均显著高于BR_{1:1}、R和FL处理,基本为其1.2倍左右,后三者间无显著差异;其可溶性氮含量仍以BR_{1:8}和B处理的最高,二者都显著高于BR_{1:1}、R和FL处理,而BR_{1:1}和R处理又显著高于FL处理,FL处理最低(图4,B)。另外,甘蓝型油菜幼苗叶片碳氮比值以FL处理最大,显著高于BR_{1:8}、B、BR_{1:1}和R处理,增幅分别为33.54%、34.38%、37.82%和40.52%($P<0.05$),而这4个处理之间无显著差异(图4,C)。以上结果说明,BR_{1:8}和B处理都显著促进了甘蓝型油菜叶片中可溶性糖、淀粉和游离氨基酸的积累,而B处理则显著提高了油菜叶片中可溶性蛋白和蔗糖的含量;BR_{1:8}和B处理能显著提高油菜叶片中可溶性碳和氮的含量;而FL处理先提高了油菜幼苗叶片的碳氮比。

2.5 不同光质对甘蓝型油菜叶片抗坏血酸的影响

如图 5 所示,甘蓝型油菜幼苗叶片抗坏血酸的含量在 B 和 BR_{1:8} 处理下的最高,并显著高于 BR_{1:1}、R 和 FL 处理,B 处理分别显著提高 26.37%、47.92% 和 136.75%,BR_{1:8} 处理分别显著提高 21.90%、42.38% 127.89%;但 BR_{1:8}、R 处理

抗坏血酸的含量也显著高于对照 FL 处理 ($P < 0.05$)。可见,蓝光、红光和蓝红组合光均能显著提高油菜叶片抗坏血酸的含量,并以 B 处理和 BR_{1:8} 提高的幅度更大,效果更明显。

3 讨 论

3.1 光质对植物生长的调控作用

植物培养过程中通常使用的光源有荧光灯、高压钠灯和金属卤化灯等,但是这些光源具有高耗能和低效率的缺点,并且含有一些不利于植物生长的波长^[17]。太阳光谱中 390~760 nm 的可见光部分,是太阳光光谱中的光合有效辐射范围,其中的蓝紫光和红橙光是光合最有效的部分。植物体中的光受体通过感知环境中光谱的变化,而引起生理上或形态建成上相应的改变。但是不同植物所需的最适光谱却不尽相同,例如前人研究发现,生菜在 B:R 为 1:1 下,水稻在 B:R 为 4:7 和 7:4 下,不结球白菜在 B:R 为 1:8 下,棉花组培苗在 B:R 为 1:1 下植株生长较健壮^[9-12,18]。而本研究结果表明,甘蓝型油菜在 B:R 为 1:8 下生长较好,根系活力最大。可见,适宜比例的蓝红组合光能有效促进植物的生长,这可能主要是因为叶绿素吸收光谱的峰值区域与蓝光和红光的光谱分布相一致,进而对植物的生长产生了积极影响^[6]。隐花色素和向光素是高等植物感受光照的主要蓝光受体,光敏色素是主要的红光受体,光受体之间通过相互作用调节着植物的光形态建成。蓝光可能是通过与光敏色素的相互作用或者通过蓝光受体引起了植物的一系列反应。并且一定的蓝红组合光源可能会综合单色红光和单色蓝光的优势,从而促进了幼苗的生长,但是具体适合的光源比例可能因植物的种属而异^[18]。LEDs 是新型的植物生长光源,但是要想使植物的生长潜力充分发挥,只有采用适宜的光比例才行^[19]。因此,在具体培养的过程中,可能还要依据植物的种属来确定其最优方案。本研究发现 1:8 的蓝红组合光可作为甘蓝型油菜育苗的首选光源。

3.2 光质调控植物光合色素的合成效应

光质可能影响着叶绿素吸收光的方式^[20]。叶绿素含量是衡量植株质量的重要指标之一。柯学^[21]和苏俊^[22]发现,蓝光降低了烟草的叶绿素含量。但是有些研究者却发现,蓝光有利于不结球白菜、陆地棉组培苗和水稻幼苗叶片叶绿素积累^[12,18,23]。而童哲等^[24]的研究却表明,蓝光中混杂其他光质后却促进了欧白芥、高粱和黄瓜的叶片叶

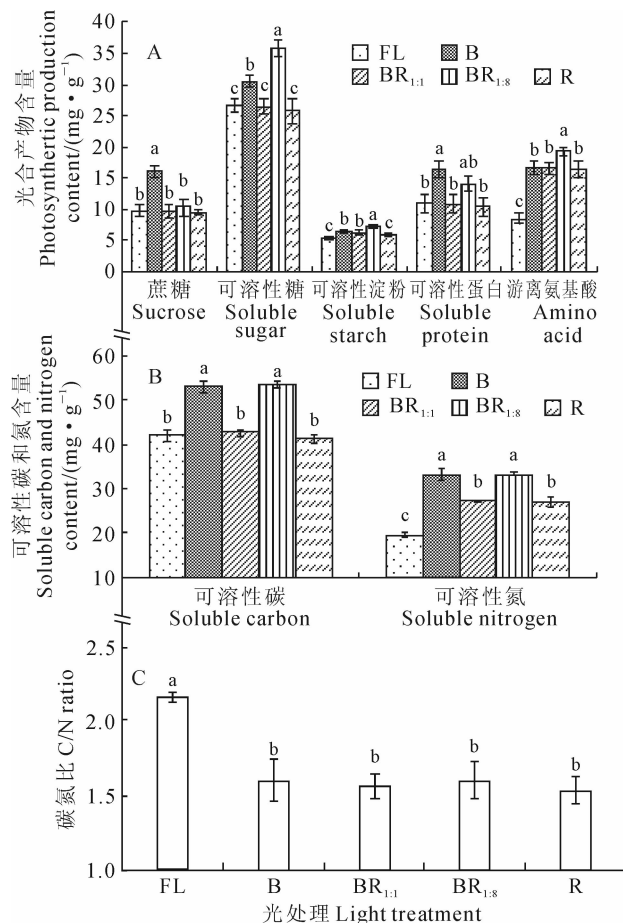


图 4 不同光质下甘蓝型油菜叶片光合产物(A)和可溶性碳、氮含量(B)及其比值(C)

Fig. 4 The photosynthetates (A), soluble carbon and nitrogen contents (B) and C/N ratio (C) in leaves of rapeseed seedlings under different light quality conditions

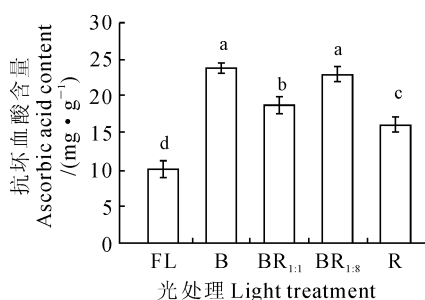


图 5 不同光质下甘蓝型油菜叶片抗坏血酸的变化

Fig. 5 The ascorbic acid content in leaves of rapeseed seedlings under different light quality conditions

绿素的合成。刘晓英等^[25]也认为,在蓝红光的基础上添加单色的绿光和黄光可以提高樱桃番茄幼苗叶绿素的含量。而本研究结果表明,甘蓝型油菜幼苗叶片的叶绿素含量在蓝光和蓝红组合光(1:8)处理下都较高,而且显著高于其他光处理。可见,不同植物对不同光质或同种光质产生了不同的生理反应,可能是由于植物体内的不同色素系统对不同波长范围的光具有吸收特异性,从而引起各种不同的生物学效应^[24]。因此,本研究认为,单色蓝光和蓝红组合光(1:8)可以有效促进甘蓝型油菜叶片积累较多的叶绿素,所以可能就有更多的叶绿素参与光合作用,从而促进了幼苗的生长。

3.3 光质调控植物光合产物代谢的效应

光质是可以调控高等植物的碳水化合物的代谢^[26]。光合产物的代谢是与作物产量的高低和品质的优劣相关的,并且影响其发育进程。可溶性糖是碳水化合物代谢和暂时贮藏的主要形式,可溶性糖含量的变化可以反映植株的碳素代谢状况^[27]。郭银生等^[23]发现,蓝红组合光下的水稻幼苗可溶性糖含量较高。但是一些研究者却发现,红光可以提高不结球白菜、棉花、番茄、生菜和黄瓜的可溶性糖含量^[13,18-19,28-29]以及萝卜芽苗菜可溶性糖和淀粉的含量^[30]。同时,史宏志等^[31]认为,组合光中较高的红光比例可增强烟叶碳代谢,并表现为叶片总碳、还原糖含量提高和 C/N 明显增加。而苏俊等^[22]认为,组合光中较高的红光比例能够促进烟草幼苗碳代谢。本研究发现,蓝红组合光(1:8)处理的甘蓝型油菜幼苗叶片可溶性糖、可溶性淀粉和游离氨基酸含量最高,而蓝光处理下的蔗糖含量最高,蓝红组合光(1:8)和蓝光处理下的总可溶性碳含量最高。因此,本研究认为,蓝红组合光和蓝光有效促进了甘

蓝型油菜叶片的碳代谢。另外,光质也可以调控高等植物的氮代谢。游离氨基酸可以反映植物对氮素的吸收、运转、同化和植物体内的氮素代谢变化等状况^[27]。常涛涛等^[32]发现,蓝红组合光下的番茄叶片可溶性蛋白含量最高。然而,一些研究者却发现,蓝光对生菜^[19]和黄瓜^[29]幼苗中可溶性蛋白的合成和积累有促进效应,蓝光下往往可溶性蛋白含量较高;增加蓝光比例可以促进烟叶的氮代谢,表现为叶片总氮、蛋白质和氨基酸含量提高^[31];蓝光下豌豆苗的可溶性蛋白和抗坏血酸的含量最高^[33];蓝光下萝卜芽苗菜抗坏血酸(VC)含量最高^[30]。苏俊等^[22]认为,增加蓝光比例可以促进烟叶幼苗氮代谢,同时组合光中增加绿光可以提高氨基酸含量。本研究发现,蓝光下甘蓝型油菜叶片中可溶性蛋白和抗坏血酸的含量最高,而蓝红组合光(1:8)处理下的游离氨基酸含量最高,蓝红组合和蓝光下可溶性总氮含量最高。因此,蓝光可能有利于甘蓝型油菜幼苗的可溶性蛋白和抗坏血酸(VC)积累,总体上证实蓝红组合光和蓝光促进了油菜叶片的氮代谢。

综上所述,蓝光、红光和蓝红组合光处理后,甘蓝型油菜幼苗的生长、叶片叶绿素含量和光合产物等生理指标产生了不同的生理响应特征,蓝红组合光(1:8)能有效促使幼苗快速、健壮生长,并且显著提高了叶片中可溶性糖、可溶性淀粉、游离氨基酸、可溶糖总碳和总氮的含量,而蓝光则显著促进了叶片中光合色素、蔗糖、可溶性蛋白和抗坏血酸的积累。因此,在甘蓝型油菜育苗时,可以采用蓝红组合光(1:8)和蓝光作为育苗的人工光源。本研究结果为今后油菜工厂化育苗、栽培技术的光调控措施提供了理论依据和技术支撑。

参考文献:

- [1] YANG H Q(杨红旗), XU Y H(徐艳华). Current status and development of canola production in China[J]. *Seed World* (种子世界), 2010, (7): 1-2(in Chinese).
- [2] WANG N, LI F, CHEN B Y, XU K. Genome wide investigation of genetic changes during modern breeding of *Brassica napus* [J]. *Theoretical and Applied Genetics*, 2014, **127**(8): 1 817-1 829.
- [3] TIAN ZH K(田正科). Position and future of rapeseed in agriculture of Western China[J]. *Journal of Qinghai University* (Nat. Sci. Edi.) (青海大学学报·自然科学版), 2002, **20**(6): 42-46(in Chinese).
- [4] SUAI Y(帅玉). High yield cultivation techniques of *Brassica rape* seedling transplanting[J]. *Sichuan Agriculture and Science Technology* (四川农业科技), 2014, (6): 23-24(in Chinese).
- [5] ZHU J X(朱静娴). Influence of artificial supplement of light on plant growth and development[J]. *Crop Research* (作物研究), 2012, **26**(1): 74-78(in Chinese).
- [6] YANG Q CH(杨其长), XU ZH G(徐志刚), et al. Application principle and technology progress in using light emitting diode(LED) light sources in modern agriculture[J]. *Journal of Agricultural Science and Technology* (中国农业科技导报), 2011, **13**(5): 37-43(in Chinese).
- [7] QIAO X R(乔新荣), DUAN H B(段鸿斌), YE ZH W(叶兆伟) Research advances on phototropin receptor and phototropin signaling

- mechanism in plant[J]. *Biotechnology Bulletin* (生物技术通报), 2014, (8): 1—7 (in Chinese).
- [8] SENGER H. The effect of blue light on plants and microorganisms[J]. *Photochemistry Photobiology*, 1982, 35: 911—920.
- [9] YU Y (余 意), YANG Q CH (杨其长), ZHAO J J (赵姣姣), *et al.* Spectral absorbance, growth and nutritional quality responses of three-color lettuce cultivars to LED light qualities[J]. *China Illuminating Engineering Journal* (照明工程学报), 2013, (S1): 139—145 (in Chinese).
- [10] CHEN W H (陈文昊), XU ZH G (徐志刚), LIU X Y (刘晓英), *et al.* Effect of LED light source on the growth and quality of different lettuce varieties[J]. *Acta Bot. Boreal. -Occident. Sin.* (西北植物学报), 2011, 31(7): 1 434—1 440 (in Chinese).
- [11] LIU X Y (刘晓英), JIAO X L (焦学磊), XU ZH G (徐志刚), *et al.* The effect of red and blue LED on photo-morphogenesis of rice seedlings[J]. *China Illuminating Engineering Journal* (照明工程学报), 2013, (S1): 162—167 (in Chinese).
- [12] LI H M, TANG C M, XU ZH G, *et al.* Effects of different light sources on the growth of non-heading Chinese cabbage (*Brassica rapa* L.) [J]. *Journal of Agriculture Science*, 2012, 4(4): 262—273.
- [13] SAEBO A, KREKLING T, APPELGREN M. Light quality affects photosynthesis and leaf anatomy of birch plantlets *in vitro* [J]. *Plant Cell Tissue Organ and Culture*, 1995, 41: 177—185.
- [14] KIM H H, GOINS G D, WHEELER R M, *et al.* Green-light supplementation for enhanced lettuce growth under red and blue light-emitting diodes [J]. *Hort Science*, 2004, 39(7): 1 617—1 622.
- [15] WEI L L (魏灵玲), YANG Q CH (杨其长), LIU SH L (刘水利). Review on research and developing trends of light emitting diode in plant factory [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin* (中国农学通报), 2007, 23(11): 408—411 (in Chinese).
- [16] 张以顺, 黄 霞, 陈云凤. 植物生理学实验教程 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2009.
- [17] HAHN E J, KOZAI T, PAEK K Y. Blue and red light-emitting diodes with or without sucrose and ventilation affects *in vitro* growth of *Rehmannia glutinosa* plantlets [J]. *Plant Biology*, 2000, 43(4): 247—250.
- [18] LI H M, XU ZH G, TANG C M. Effect of light-emitting diodes on growth and morphogenesis of upland cotton (*Gossypium hirsutum* L.) seedling *in vitro* [J]. *Plant Cell Tissue Organ and Culture*, 2010, 103: 155—163.
- [19] WEN J (闻 婧), BAO SH SH (鲍顺淑), YANG Q CH (杨其长), *et al.* Influence of R/B ratio in LED lighting on physiology and quality of lettuce [J]. *Chinese Journal of Agrometeorology* (中国农业气象), 2009, 30(3): 413—416 (in Chinese).
- [20] TRIPATHY B C, BROWN C S. Root-shoot interaction in the greening of wheat seedlings grown under red light [J]. *Plant Physiology*, 1995, 107: 407—411.
- [21] KE X (柯 学), LI J Y (李军营), LI X Y (李向阳), *et al.* Effects of different light quality on growth and photosynthesis of tobacco (*Nicotiana tabacum* L.) leaves [J]. *Plant Physiology Communications* (植物生理学报), 2011, 47(5): 512—520 (in Chinese).
- [22] SU J (苏 俊), LIU Y W (刘映雯), YANG F (杨 凡), *et al.* Effect of different light qualities on physiological characteristics and growth of tobacco *in vitro* under light emitting diodes (LEDs) [J]. *Acta Bot. Boreal. -Occident. Sin.* (西北植物学报), 2014, 34(6): 1 206—1 212 (in Chinese).
- [23] GUO Y SH (郭银生), GU A S (谷艾素), CUI J (崔 瑾). Effects of light quality on rice seedlings growth and physiological characteristics [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2011, 22(6): 1 485—1 492 (in Chinese).
- [24] TONG ZH (童 哲). Effect of light quality on seedling morphological purity [J]. *Plant Physiology Communications* (植物生理学通讯), 1989, (2): 28—31.
- [25] LIU X Y (刘晓英), XU ZH G (徐志刚), CHANG T T (常涛涛), *et al.* Growth and photosynthesis of cherry tomato seedling exposed to different low light of LED light quality [J]. *Acta Bot. Boreal. -Occident. Sin.* (西北植物学报), 2010, 30(4): 725—732 (in Chinese).
- [26] KOWALLIK W. Blue light effects on respiration [J]. *Plant Physiology*, 1982, 33: 51—72.
- [27] CHEN SH J (陈仕江), ZHONG G Y (钟国跃), XU J H (徐金辉). Dynamic change of soluble saccharides and amino acids during the growing period of *Coptis chinensis* [J]. *China Journal of Chinese Materia Medica* (中国中药杂志), 2005, 30(17): 1 324—1 327 (in Chinese).
- [28] WANG T (王 婷), LI W L (李雯琳), GONG F E (巩芳娥), *et al.* Effects of different LED light qualities on growth and physiological characteristics of non-heading Chinese cabbage [J]. *Journal of Gansu Agricultural University* (甘肃农业大学学报), 2011, 46(4): 69—73 (in Chinese).
- [29] CUI J (崔 瑾), MA ZH H (马志虎), *et al.* Effects of supplemental lighting with different light qualities on growth and physiological characteristics of cucumber, pepper and tomato seedlings [J]. *Acta Horticulturae Sinica* (园艺学报), 2009, 36(5): 663—670 (in Chinese).
- [30] ZHANG H (张 欢), XU ZH G (徐志刚), CUI J (崔 瑾), *et al.* Effects of different spectra on growth and nutritious quality of radish sprouting seedlings [J]. *China Vegetables* (中国蔬菜), 2009, 10: 28—32 (in Chinese).
- [31] SHI H ZH (史宏志), HAN J F (韩锦峰), GONG CH Y (官春云). Effect of red and blue light growth metabolism and quality of carbon and nitrogen of tobacco leaves [J]. *Acta Agronomica Sinica* (作物学报), 1999, 25(2): 215—220 (in Chinese).
- [32] CHANG T T (常涛涛), LIU X Y (刘晓英), XU ZH G (徐志刚), *et al.* Effects of light spectral energy distribution on growth and development of tomato seedlings [J]. *Scientia Agricultura Sinica* (中国农业科学), 2010, 43(8): 1 748—1 756 (in Chinese).
- [33] ZHANG L W (张立伟), LIU SH Q (刘世琦), ZHANG Z K (张自坤), *et al.* Dynamic effects of different light qualities on pea sprouts quality [J]. *Northern Horticulture* (北方园艺), 2010, 8: 4—7 (in Chinese).

(编辑:裴阿卫)