

DOI: 10.11931/guihaia.gxzw201403044

熊亚利, 王国莉, 吕镇城, 等. 不同波长蓝光 LED 对两个品种水稻秧苗生长的影响 [J]. 广西植物, 2016, 36(3):315-322

XIONG YL, WANG GL, LÜ ZC, et al. Effects of different blue LEDs on the seedling growth of two rice cultivars [J]. *Guihaia*, 2016, 36(3):315-322

# 不同波长蓝光 LED 对两个品种水稻秧苗生长的影响

熊亚利<sup>1</sup>, 王国莉<sup>2</sup>, 吕镇城<sup>2</sup>, 张云<sup>1</sup>, 伊虹霖<sup>1</sup>, 彭永宏<sup>1,2\*</sup>

(1. 华南师范大学 生命科学学院, 广州 510631; 2. 惠州学院 生命科学系, 广东 惠州 516007)

**摘要:** 传统的大田育秧方式容易受到自然条件的影响, 如在连续的阴雨天气容易导致烂秧, 而采用人工可控的工厂化育秧则有助于解决此类问题。LED 光源具有光质纯、光效高以及低能耗等优势, 是一种有望在工厂化育秧中应用的人工光源。该研究以生长特性差异明显的水稻天优 998(籼稻)和圣稻 14(粳稻)为材料, 在光强为  $(60 \pm 5) \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 、光周期为  $12 \text{ h} \cdot \text{d}^{-1}$  的条件下, 以 450、470 和 490 nm 3 个波长的蓝光 LED 照射天优 998 和圣稻 14 秧苗, 考察了不同波长蓝光对两个品种的三叶期和五叶期水稻秧苗生长的影响。结果表明: 蓝光处理下两个品种、不同秧龄幼苗的壮苗指数、根系活力和根数增加, 体内碳、氮代谢活性增强, 抗氧化酶活性也会增加。3 个波长的蓝光对两个品种、不同秧龄水稻秧苗生长的影响存在差异, 450 nm 照射下水稻秧苗的各项生长指标较优, 生产上育秧可根据秧龄选择 450 nm 或 490 nm 作为独立和组合光源。

**关键词:** 育秧, 蓝光 LED, 水稻幼苗, 生长

中图分类号: Q945 文献标识码: A 文章编号: 1000-3142(2016)03-0315-08

## Effects of different blue LEDs on the seedling growth of two rice cultivars

XIONG Ya-Li<sup>1</sup>, WANG Guo-Li<sup>2</sup>, LÜ Zhen-Cheng<sup>2</sup>, ZHANG Yun<sup>1</sup>,  
YI Hong-Lin<sup>1</sup>, PENG Yong-Hong<sup>1,2\*</sup>

(1. *College of Life Sciences, South China Normal University, Guangzhou 510631, China;*

2. *Department of Life Sciences, Huizhou University, Huizhou 516007, China*)

**Abstract:** Traditional method of cultivating seedling in the field would be more susceptible to natural conditions, especially in the consistent rainy days. It is effective to solve this problem by industrialized rice seeding. LED is a promising light source to be used in the seedling factory due to its advantages of light quality, light effects and low-power consumption. To investigate influence of different blue light on the growth of three-leaf stage and five-leaf stage rice seedlings. Seedlings of Tianyou 998 (Indica) and Shengdao 14 (Japonica) were exposed to the illumination of three blue light LEDs (450, 470 and 490 nm) under following condition: light intensity  $(60 \pm 5) \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ , photoperiod  $12 \text{ h} \cdot \text{d}^{-1}$ . Then, multiple growth index were evaluated. The results showed that under blue LEDs treatment, in two rice seedlings of different ages, sound seedling index, root activity and root number increased, carbon and nitrogen metabolic activity enhanced, as well as the antioxidase activity. Although three blue LEDs treatments have different influences on the growth of two rice seedlings with different age, rice seedlings grew better under 450 nm illumination. The present re-

收稿日期: 2014-07-24 修回日期: 2014-10-13

基金项目: 广东省重大科技专项(2011A080801020); 广东省农业技术推广专项(201201162); 惠州市科技计划项目(2011C020005002); 惠州学院校级重点科研项目(C211.0406) [Supported by the Special Fund of the Key Science and Technology of Guangdong Province(2011A080801020); Special Fund of Agricultural Technology Promotion of Guangdong Province(201201162); Plan for Science and Technology of Huizhou City(2011C020005002); Key Research Project of Huizhou College(C211.0406)].

作者简介: 熊亚利(1987-), 女, 江西丰城人, 硕士研究生, 主要从事植物生理学研究, (E-mail) xiongyali\_2008@126.com.

\*通讯作者: 彭永宏, 博士, 教授, 主要从事植物生理学研究, (E-mail) pengyh@scnu.edu.cn.

sults suggested that 450 nm or 490 nm LEDs could be selected as an independent or mixed light source for cultivating rice seedling in practice.

**Key words:** cultivating seedlings, blue LEDs, rice seedling, growth

传统的大田育秧方式容易受自然条件的影响,尤其是早春阴雨寒冷天气容易造成烂秧。随着农业科技的进步,人工可控的工厂化育秧有望逐步取代传统的大田育秧,成为育秧新趋势。传统植物工厂的补光光源多存在能耗大、散热多的缺陷。发光二极管(LED)作为第4代新型照明光源,具有光质纯、光效高、与植物光合作用和光形态建成的光谱范围吻合以及节能环保等优势,可实现高效能、低热负荷和紧凑空间的集约化植物生产(杨其长,2008),被认为是21世纪农业与生物领域最有前途的人工光源(崔瑾等,2008)。LED对植物生长发育和形态建成具有显著影响(Poudel et al, 2008; 苏娜娜等, 2012)。Hausler et al (1994)研究发现,蓝光可能通过影响叶绿体发育及光合作用来调控水稻幼苗的形态建成。郭银生等(2011)研究认为红蓝组合光有利于培育水稻壮苗。红光能增加水稻过氧化氢酶和过氧化物酶活性,提高水稻葡萄糖和果糖的水平(贺晓蔚,1993; Jung et al, 2013)。付传明等(2007)研究发现,采用LED补光对水稻幼苗生长有促进作用,单波蓝光对水稻幼苗的生长最好。在工厂化育苗领域,目前国内对LED光质补光的应用基础研究较为薄弱,适合水稻工厂化育秧的LED光源的开发和研究并不深入,限制了这项技术在生产上的广泛应用。本研究旨在通过考察不同波长LED蓝光对水稻秧苗生长的影响,探讨适用于水稻工厂化育秧的光需求规律,以期为科学育秧提供依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 材料

供试材料籼稻品种天优998(超级杂交稻)由广东省农科院提供,粳稻品种圣稻14由山东省农科院提供,试验于2012年4月至2013年3月在惠州学院重点学科LED实验室进行。

### 1.2 培养条件

水稻种子常温流水浸种48 h后,于30℃恒温箱催芽12 h,之后播种至育秧盘中,每盘约400粒,移至光照培养室育苗。培养温度(25±2)℃,湿度70%±5%。播种后至三叶期和五叶期秧苗生长需

15 d和30 d。

### 1.3 LED光源

LED蓝光光源和白色荧光灯(功率为40 w),均由广东省惠州市纯英半导体照明有限公司提供。蓝光LED光谱能量分布由灯板制造商采用远方PMS-50系统进行测定。

试验处理采用450、470和490 nm 3个波长的LED蓝光光源照射水稻秧苗,分别记为B450、B470和B490,对照采用白色荧光灯照射。光强为(60±5) μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>,光周期为12 h·d<sup>-1</sup>。

### 1.4 方法

1.4.1 秧苗形态指标测定 播种后第15天、第30天,随机选取10株水稻秧苗,蒸馏水洗净备用。用直尺分别测定株高(从叶尖到假茎基部)、根长(从根尖到假茎基部);游标卡尺测定茎宽(假茎基部宽和主根直径),并记录叶片数和根数;测量10株秧苗的鲜重和干重,采用公式“壮苗指数=茎粗/株高×干重”(倪文,1980)计算壮苗指数;形态指标重复测定6次。

1.4.2 理化指标测定 叶片的叶绿素含量参照Arnon(1949)的方法;可溶性蛋白含量采用考马斯亮蓝G-250法,秧苗叶片可溶性糖和淀粉含量采用蒽酮比色法,蔗糖含量采用间苯二酚法,秧苗的根系活力采用氯化三苯基四氮唑法(TTC法)(李合生,2007)。游离氨基酸含量采用茚三酮比色法(Bradford, 1976);SOD酶活性采用氮蓝四唑(NBT)比色法(Heath & Blackwoul, 1968);POD酶活性采用愈创木酚法(Omran, 1980)。

以上指标重复测定3次,利用SPSS16.0软件进行方差分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同波长蓝光LED对水稻秧苗生长的影响

不同蓝光LED处理对水稻秧苗的生长影响不同(表1),3种蓝光处理均可促进籼稻天优998根的伸长生长,B470处理的效果最显著;在圣稻14中,只有B450能促进根长生长,其他2个处理均抑制根的伸长生长。所有处理中,只有B450处理在

五叶期增加了天优 998 秧苗的根数,其余处理都会使秧苗的根数较对照减少。结果表明 2 个品种秧苗根系生长对不同波长蓝光照射的响应有差异。

蓝光处理抑制 2 个品种秧苗植株的伸长生长,处理蓝光波长越短,抑制效果更显著。但不同蓝光处理下茎基直径的变化不同,五叶期 B450 和 B470 处理可以使两品种茎基直径较对照显著增加,以 B450 的处理效果最为显著。3 个波长蓝光处理可以增加不同秧龄圣稻 14 的茎基直径,B470 的处理效果最显著。说明蓝光处理可以增加水稻秧苗的茎粗,不同品种秧苗对蓝光的响应存在差异,在不同秧

龄阶段蓝光处理的效果不同。

从鲜重的变化看,各种处理能够增加 2 个秧龄天优 998 的鲜重,三叶期以 B470 的处理最显著,五叶期 B450 处理最显著。B450 处理可以使各秧龄天优 998 的干重较对照显著增加。与此不同,三叶期只有 B450 处理组使圣稻 14 的鲜重较对照增加,其余处理则造成鲜重、干重较对照下降。五叶期 B450 和 B470 处理均可显著增加秧苗的干重和鲜重,B470 的处理效果较好。

从壮苗指数看出,蓝光处理提高了两个品种水稻秧苗的壮苗指数,表现为波长越短,效果越显著。

表 1 不同波长蓝光 LED 对不同发育时期水稻秧苗形态指标的影响

Table 1 Effects of different blue LEDs on morphological index in two rice seedlings

发育时期 Developmental stage	品种 Cultivar	处理 Treatment	根长 Root length (cm)	根数 Root number	株高 Plant height (cm)	茎基直径 Stem diameter (cm)	鲜质量 Fresh weight (g)	干质量 Dry weight (g)	壮苗指数 Sound seedling index
三叶期 Three-leaf stage	天优 998 Tianyou 988	CK	3.48b	7a	20.92a	0.135ab	0.9396c	0.1764b	0.00115c
		B450	3.71b	5c	15.35c	0.145a	1.1065b	0.1867a	0.00177a
		B470	4.81a	5c	17.66b	0.133b	1.2637a	0.2137b	0.00157b
		B490	3.80b	6b	18.17b	0.132b	1.0362b	0.1751b	0.00131c
	圣稻 14 Shengdao 14	CK	4.28ab	7a	14.51a	0.147d	1.2562b	0.1767a	0.00179b
		B450	4.50a	7a	12.37c	0.162b	1.3191a	0.1735ab	0.00227a
		B470	4.06b	6b	13.25b	0.171a	1.1490c	0.1677b	0.00217a
		B490	3.77c	6b	14.02ab	0.155c	1.1158c	0.1739ab	0.00193b
五叶期 Five-leaf stage	天优 998 Tianyou 988	CK	3.24c	9b	19.28a	0.157c	1.3097c	0.2573b	0.00210c
		B450	3.43bc	13a	16.72c	0.203a	2.0755a	0.3264a	0.00397a
		B470	5.16a	8c	18.38a	0.184b	1.5234b	0.2681b	0.00269b
		B490	3.76b	8c	18.86a	0.153c	1.3580c	0.2476b	0.00201c
	圣稻 14 Shengdao 14	CK	4.53c	9a	22.79a	0.161c	1.4207b	0.2005b	0.00142d
		B450	5.10a	8b	17.16c	0.177b	1.7932a	0.2534a	0.00223b
		B470	4.11ab	7c	17.54c	0.190a	1.8158a	0.2659a	0.00292a
		B490	3.95b	7c	20.20b	0.163c	1.3318b	0.1921b	0.00183c

注: a, b, c, d 不同字母表示在 0.05 水平上差异显著,同一列内比较,下同。

Note: Different letters of a, b, c, d, represent significant differences at 0.05 level. Compared within the same column, the same below.

## 2.2 不同蓝光 LED 对水稻秧苗光合色素含量的影响

从表 2 可以看出,不同蓝光 LED 处理不利于水稻秧苗光合色素的积累,与对照比较,3 个处理下 2 个品种不同秧龄幼苗的 Chl a、Chl b、Chl a+Chl b、类胡萝卜素含量变化不一,Chl b 下降速率较快,表现为 Chl a/Chl b 比值的上升。两品种比较,天优 998 在五叶期各种色素的含量下降较快,而圣稻 14 在三叶期各种色素的含量下降较快。总的来看,在三个不同波长蓝色处理下,B450 照射的两品种不同秧龄幼苗中光合色素的含量水平较高。

## 2.3 不同波长 LED 蓝光对水稻秧苗根系活力的影响

三叶期时,随着蓝光处理波长增加,2 个品种水

稻秧苗的根系活力逐渐增强(图 1,图 2);五叶期时,各处理下天优 998 的根系活力显著高于对照,以 B450 处理的根系活力最高,圣稻 14 中只有 B450 处理的根系活力显著高于对照和其他 2 个处理。说明水稻秧苗在不同秧龄时对蓝光的需求不同,育秧前期(三叶期)以较长波长(B490)的处理最好,育秧后期则以较短波长(B450)的处理效果最好。

## 2.4 不同波长 LED 蓝光对水稻秧苗抗氧化酶活性的影响

三叶期时,蓝光处理会引起 2 个品种水稻秧苗的 POD 活性显著下降,圣稻 14 的下降更快,且表现出随着处理波长增加下降速率增加的趋势(图 3,图

表 2 不同波长蓝光 LED 处理下水稻秧苗光合色素含量的变化

Table 2 Effects of different blue LEDs on content of photosynthetic pigments in two rice seedlings

发育时期 Developmental stage	品种 Cultivar	光质 Light quality	叶绿素 Chlorophyll				类胡萝卜素 Carotenoid (mg · g <sup>-1</sup> FW)
			Chl a (mg · g <sup>-1</sup> FW)	Chl b (mg · g <sup>-1</sup> FW)	Chl a+Chl b (mg · g <sup>-1</sup> FW)	Chl a/Chl b (mg · g <sup>-1</sup> FW)	
三叶期 Three-leaf stage	天优 998 Tianyou 988	CK	2.764a	0.872a	3.636a	3.169b	5.448a
		B450	2.452b	0.747b	3.330b	3.284b	5.172a
		B470	2.024c	0.554c	2.578c	3.653a	3.956b
		B490	2.118c	0.577c	2.686c	3.668a	4.081b
	圣稻 14 Shengdao 14	CK	1.658a	0.910a	2.568a	1.842b	3.837a
		B450	1.933a	0.479b	2.412a	4.037a	3.726a
		B470	0.950b	0.249c	1.199b	3.816a	1.927b
		B490	1.007b	0.269c	1.276b	3.750a	2.061b
五叶期 Five-leaf stage	天优 998 Tianyou 988	CK	6.748a	4.339a	11.086a	1.555b	10.918a
		B450	4.827b	3.570b	8.397b	1.352c	7.860c
		B470	4.834b	1.362d	6.196d	3.551a	9.339b
		B490	4.338b	2.798c	7.137c	1.550b	6.266d

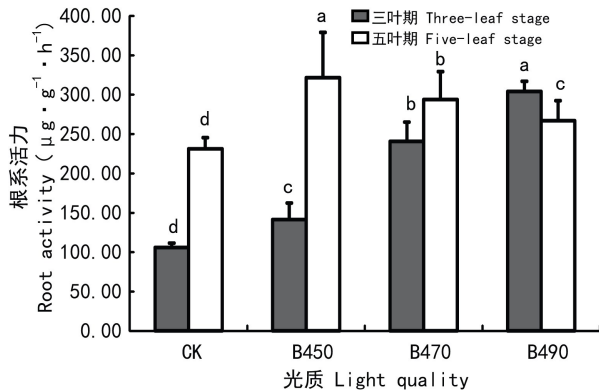


图 1 不同波长 LED 蓝光对天优 998 水稻幼苗根系活力的影响

Fig. 1 Effects of different blue LEDs on root activity in Tianyou 998 seedlings

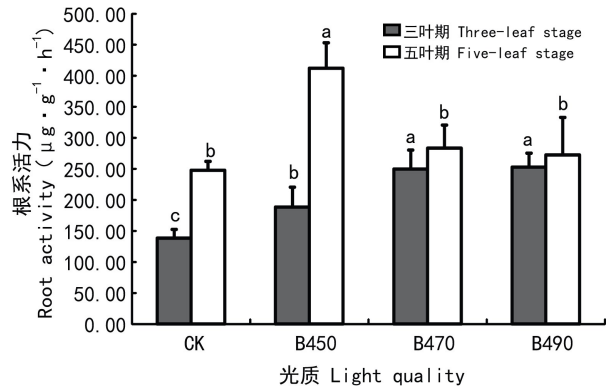


图 2 不同波长蓝光 LED 对圣稻 14 水稻幼苗根系活力的影响

Fig. 2 Effects of different blue LEDs on root activity in Shengdao 14 seedlings

4)。五叶期时,各处理秧苗的 POD 活性较三叶期有增加,与对照比较,天优 998 中各处理 POD 活性显著高于对照,以 B490 处理的效果最显著。圣稻 14 中各处理的 POD 活性与对照比呈下降趋势,B470 处理的 POD 活性下降不明显。这说明育秧前期蓝光处理会造成秧苗 POD 活性下降,而随着秧龄的增加,POD 活性逐渐上升,不同品种受蓝光处理的影响不同,超级稻天优 998 POD 活性上升较快。

三叶期时,天优 998 的 SOD 酶活性在 B470 处理下显著下降(图 5,图 6),其余处理与对照比差异不显著,而圣稻 14 三叶期时,3 个蓝光处理都可以使秧苗的 SOD 活性较对照显著增加。五叶期时,B450 和 B490 处理天优 998 秧苗 SOD 活性虽然较三叶期下降,但显著高于对照,B470 处理的秧苗体

内 SOD 活性较三叶期上升,与对照无显著差异。相反,在圣稻 14 中,B450 和 B490 处理秧苗的 SOD 活性比三叶期高,与对照比显著上升,B470 处理秧苗的 SOD 活性低于三叶期,与对照比无显著差异。这一结果提示,B450 和 B490 处理可以维持 2 个品种水稻秧苗体内较高的 SOD 活性。

## 2.5 不同波长 LED 蓝光对水稻秧苗氮代谢的影响

三叶期时,各处理显著提高天优 998 秧苗的可溶性蛋白含量(图 7),以 B450 处理效果最为显著。在圣稻 14 中,B470 和 B490 处理与对照比,秧苗的可溶性蛋白含量变化不显著,B450 处理使秧苗的可溶性蛋白含量显著增加。

五叶期时,B450 和 B470 处理可显著提高天优 998 秧苗的可溶性蛋白含量,而 B490 处理秧苗的可



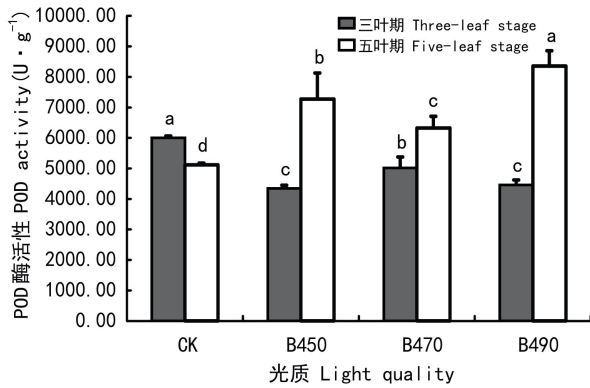


图 3 不同波长 LED 蓝光对天优 998 幼苗 POD 酶活性影响

Fig. 3 Effects of different blue LEDs on POD activity in Tianyou 998 seedlings

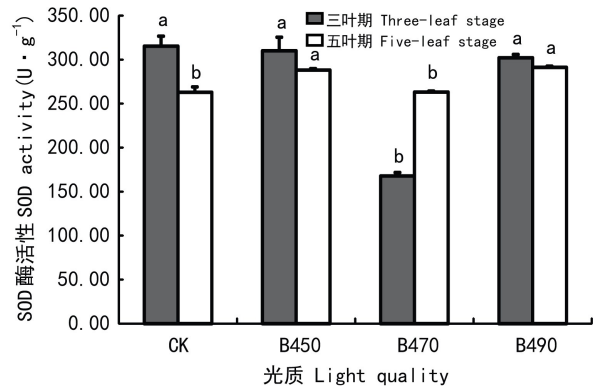


图 5 不同波长蓝光 LED 对天优 998 幼苗 SOD 酶活性影响

Fig. 5 Effects of different blue LEDs on SOD activity in Tianyou 998 seedlings

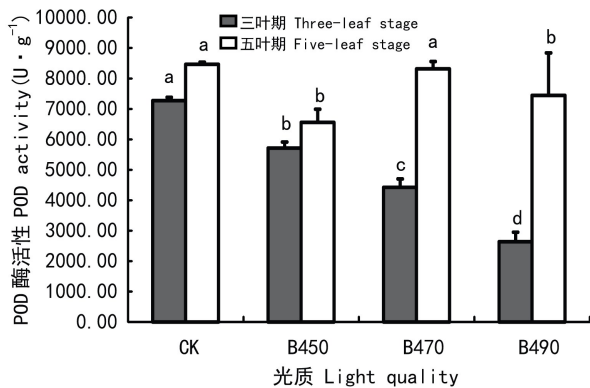


图 4 不同波长蓝光 LED 对圣稻 14 幼苗 POD 酶活性影响

Fig. 4 Effects of different blue LEDs on POD activity in Shengdao 14 seedlings

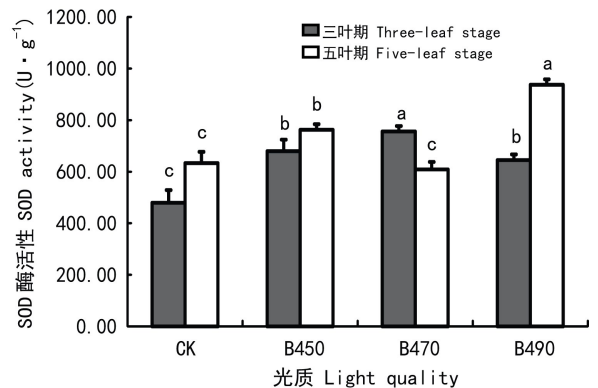


图 6 不同波长蓝光 LED 对圣稻 14 幼苗 SOD 酶活性影响

Fig. 6 Effects of different blue LEDs on SOD activity in Shengdao 14 seedlings

溶性蛋白含量显著下降。3 个处理都可以使圣稻 14 的可溶性蛋白含量显著增加,以 B450 的处理效果最显著。由此可见,B450 处理能显著提高不同品种水稻秧苗可溶性蛋白的含量。

三叶期时,B450 和 B470 处理可以显著增加 2 品种水稻秧苗的游离氨基酸含量(图 9,图 10),其中 B450 的处理效果最优。五叶期时,3 个处理都显著增加了 2 个品种水稻秧苗的游离氨基酸含量,并且随着处理波长的增加,含量显著增加。说明育秧前期补充 450 nm 蓝光,后期补充较长波长的 490 nm 蓝光有利于游离氨基酸的积累。

## 2.6 不同波长 LED 蓝光对水稻秧苗碳代谢的影响

三叶期时,B450 处理可以使天优 998 秧苗叶片可溶性糖含量、淀粉含量、蔗糖含量显著高于对照

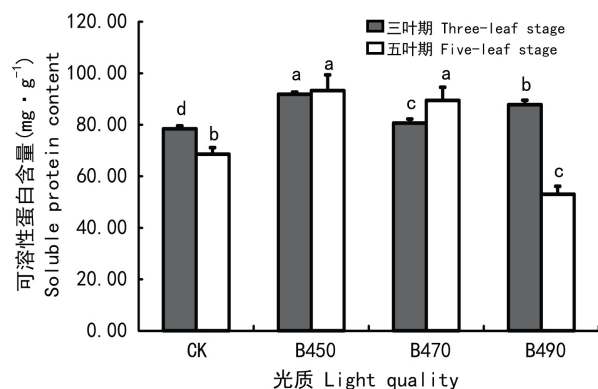


图 7 不同波长蓝光 LED 对天优 998 幼苗可溶性蛋白含量的影响

Fig. 7 Effects of different blue LEDs on soluble protein content in Tianyou 998 seedlings

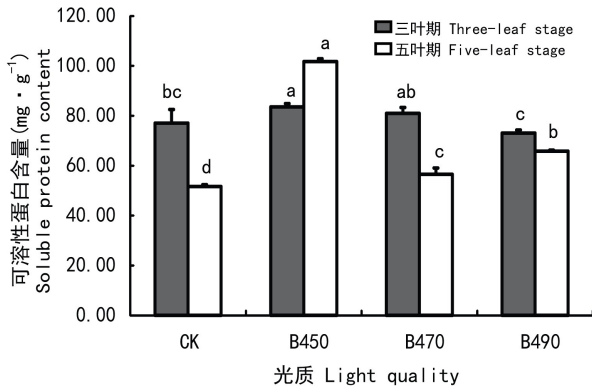


图 8 不同波长蓝光 LED 对圣稻 14 幼苗可溶性蛋白含量的影响

Fig. 8 Effects of different blue LEDs on soluble protein content in Shengdao 14 seedlings

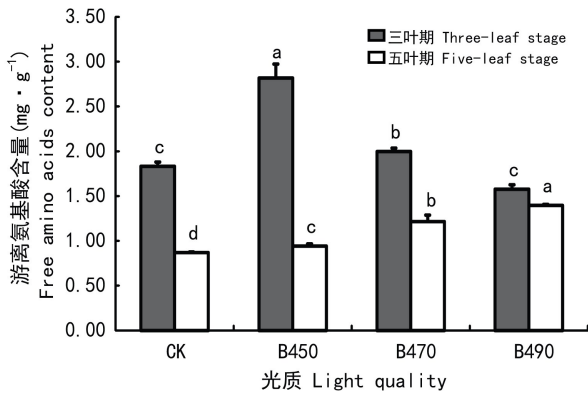


图 9 不同波长蓝光 LED 对天优 998 幼苗游离氨基酸含量的影响

Fig. 9 Effects of different blue LEDs on free amino acids content in Tianyou 998 seedlings

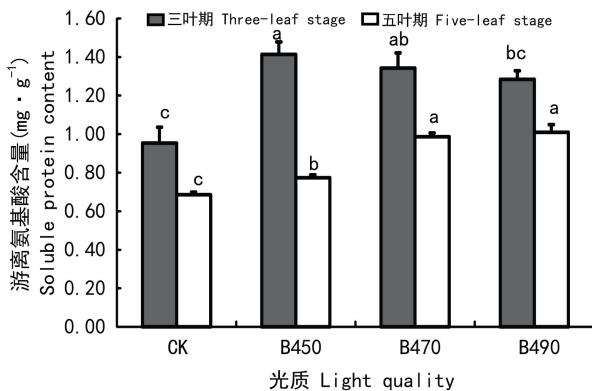


图 10 不同波长蓝光 LED 对圣稻 14 幼苗游离氨基酸含量的影响

Fig. 10 Effects of different blue LEDs on free amino acids content in Shengdao 14 seedlings

(表 3), 并优于其他 2 个处理, B490 处理使其根部各种碳水化合物的含量显著高于对照, 除蔗糖含量低于 B450 处理外, 可溶性糖和淀粉含量都是所有秧苗中含量最高的。圣稻 14 中, B450 处理使其叶片和根部各种碳水化合物的含量显著高于对照及其他处理, 效果最优。

五叶期时, 各处理都使 2 个品种水稻秧苗叶片和根部的各种碳水化合物含量显著增加, B490 处理下的含量最高, 效果最好, 说明不同品种的水稻秧苗在不同生长时期对光质的需求并不相同。

### 3 讨论

籼稻和粳稻是我国自古以来栽培稻的两大类型, 二者的特征特性差异明显, 籼稻比较适宜生长在高温、强光和多湿的热带及亚热带地区, 而粳稻比较适宜生长在气候暖和的温带热带高地, 耐寒、耐弱光。因此, 本研究中选用天优 998 和圣稻 14 2 个品种作为研究对象, 目的是想了解不同类型水稻秧苗的光的需求规律是否存在差异。本研究发现, 三个波长的 LED 蓝光处理, 超级杂交稻天优 998 秧苗的各项生理生化指标较圣稻 14 要高, 说明不同类型水稻的代谢活性存在明显差异, 天优 998 秧苗体内较高的代谢活性也许与其产量高有着直接的联系。但从实验结果来看, 两个品种在不同秧龄时补充 450 nm 蓝光, 似乎都更有利于其生长, 至于育秧前期(三叶期)和后期(五叶期)具体的波长组合, 两个品种则没有一致的规律可循, 这还需要选择更多不同类型的水稻品种来进行试验。

付发明等(2007)认为单波蓝光对水稻幼苗的生长最好。本研究发现 3 个波段的蓝光对水稻秧苗的生长确有促进作用, 说明可以用不同波长的 LED 蓝光作为独立光源用于水稻秧苗的补光处理。蓝光处理显著抑制两品种秧苗植株的伸长生长, 有可能与 IAA 氧化酶活性增加(李韶山和潘瑞炽, 1993)、植物生长抑制物含量增加(潘瑞炽, 1991; Baraldi et al, 1995; 郭银生等, 2011; 倪文, 1980)有关。

本研究中发现蓝光处理对水稻 2 个品种秧苗根系的生长影响不同, 虽然不同蓝光处理时, 2 个品种水稻秧苗的根数减少, 但对根的伸长生长影响不同。3 种蓝光处理均可以促进籼稻天优 998 根的伸长生长, 且 B470 的处理效果最显著。而对于圣稻 14, B450 处理促进根的伸长, 其他 2 个处理均抑制根的

表 3 不同波长蓝光 LED 对不同发育时期两种水稻品种碳代谢的影响

Table 3 Effects of different blue LEDs on carbon metabolism of two rice seedlings in different development stages

发育时期 Developmental stage	品种 Cultivar	光质 Light quality	叶 Leaf			根 Root				
			可溶性糖 Soluble sugar (mg · g <sup>-1</sup> FW)	淀粉 Starch (mg · g <sup>-1</sup> FW)	蔗糖 Sucrose (mg · g <sup>-1</sup> FW)	可溶性糖 Soluble sugar (mg · g <sup>-1</sup> FW)	淀粉 Starch (mg · g <sup>-1</sup> FW)	蔗糖 Sucrose (mg · g <sup>-1</sup> FW)		
三叶期 Three-leaf stage	天优 998 Tianyou 988	CK	13.38b	26.60c	10.86d	5.88d	41.13c	3.97c		
		R1	18.64a	78.70a	19.55a	15R.35b	60.11b	11.84a		
		R2	14.43b	10.43d	12.81b	1.31c	58.61b	3.75c		
	圣稻 14 Shengdao 14	CK	8.53a	19.21c	6.02c	6.38b	86.81a	2.73d		
		R1	8.69a	44.39a	10.13a	9.00a	90.68a	6.74a		
		R2	8.57a	16.98d	7.19b	7.23b	88.02a	5.87b		
		R3	8.14b	24.60b	6.11c	7.09b	86.37a	4.93c		
		五叶期 Five-leaf stage	天优 998 Tianyou 988	CK	16.03d	20.82d	13.00c	12.19b	31.56c	6.68c
				R1	21.61c	25.67c	15.88b	14.13b	42.76b	7.29c
R2	24.23b			31.91b	16.45b	14.47b	44.36b	9.19b		
圣稻 14 Shengdao14	R3	27.03a	39.25a	17.82a	20.31a	48.83a	11.40a			
	CK	10.60c	14.99b	13.99d	5.62d	28.73c	6.65d			
	R1	13.93b	16.67b	16.49c	6.51c	32.87b	7.78c			
	R2	14.63b	16.67b	18.57b	7.12b	32.87b	8.73b			
	R3	18.02a	22.28a	20.79a	9.22a	65.25a	9.50a			

伸长生长。不同波长蓝光促进或抑制根系伸长的原因有待进一步研究。不同波长的蓝光处理均能提高水稻秧苗的根系活力,与蓝光能提高根系脱氧酶活性有关(李韶山和潘瑞炽,1993)。三叶期时 B490 处理的效果最好,五叶期时 B450 的处理效果最好。说明蓝光处理对秧苗根的伸长生长和根系活力的影响机理不同,且发育所需要的最佳波段不同,因而生产上需根据水稻不同品种,不同秧龄选择适宜的蓝光进行补光,选择 B450 处理对 2 个品种秧苗的根系生长均具有较好的效果。

蓝光处理影响水稻秧苗的氮代谢。B450 和 B470 处理时,2 品种水稻秧苗体内可溶性蛋白含量增加,这与王晓明等(1999)、邓江明等(2000)、李韶山和潘瑞炽(1995)的研究结果一致,以 B450 处理的效果较好。秧苗体内的游离氨基酸含量虽然升高,但五叶期含量降低于三叶期,可能是随着苗龄增加,秧苗产生氨基酸的速度要小于新器官所需蛋白质的合成速度,邓江明等(2000)有类似报道。

不同波段蓝光处理对水稻秧苗碳代谢的影响较复杂,因品种、器官、秧龄不同影响有差异。蓝光处理下水稻秧苗的光合色素含量较对照低,Chla/Chlb 显著上升,这与多数实验结果一致(李德红等,1998;李光等,2007;李韶山和潘瑞炽,1994)。由于叶绿素 a 蓝光吸收峰比叶绿素 b 高(赵占娟等,

2009),蓝光更有利于 Chla 的形成(Rivkin,1989;Tandeau & Houmard,1993)。

光合色素含量与碳水化合物的含量变化趋势不同。B450 和 B490 处理分别使三叶期和五叶期秧苗叶片和根部的碳水化合物含量最高,是因为蓝光处理下虽然 Chl a/Chl b 较高,尽管单位蛋白(叶绿素)含量中 LCHII(PSII 的 Chl a/b 结合蛋白)数量少,但单位叶绿素含量的光合电子传递活性较高,单位叶面积中 Rubisco 的活性较高(Ryo et al, 2004)。同时,随着秧龄增加,水稻秧苗体内可溶性糖和蔗糖含量逐渐增加,而淀粉含量却呈下降趋势,说明随着苗龄增加,其光合能力和代谢活性逐渐增强。

综上所述,在水稻育秧中,蓝光 LED 是一种优于荧光灯的植物光源。不同类型水稻秧苗对蓝光的波长反应不同,不同波段的蓝光对不同秧龄水稻秧苗的生长影响也有差异。从研究结果来看,450 nm 照射下水稻秧苗的壮苗指数最大,因此生产上可以选择 450 nm 作为照射光源。如果育秧有特殊需求,则可根据秧苗生长期选择 450、490 nm 或两种组合作为适宜光源。

## 参考文献:

- ARNON DI, 1949. Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenol oxidase in *Beta vulgaris* [J]. *Plant Physiol*, 24: 1-15.  
BARALDI R, BERTAZZA G, BOGINO J, et al, 1995. The effect

- of light quality on *Prunus Cerasus* L. Change in hormone levels in plants grown under different light condition [J]. *Photochem Photobiol*, 62(4): 800-803.
- BRADFOAD MM, 1976. A rapid and sensitive method for the quantification of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein dye binding [J]. *Anal Bioanal Chem*, 72: 248.
- CUI J, XU ZG, CHI XR, 2008. Applications and prospects of light emitting diode in plant protected culture [J]. *J Agric Eng*, 24(8): 249-253. [崔瑾, 徐志刚, 邸秀茹, 2008. LED 在植物设施栽培中的应用和前景 [J]. *农业工程学报*, 24(8): 249-253.]
- DENG JM, CAI QY, PAN RC, 2000. Effect of light quality on the contents of protein and free amino acids in rice seedlings [J]. *Chin Bull Bot*, 17(5): 419-423. [邓江明, 蔡群英, 潘瑞炽, 2000. 光质对水稻幼苗蛋白质、氨基酸含量的影响 [J]. *植物学通报*, 17(5): 419-423.]
- FU CM, HUANG NZ, ZHAO ZG, et al, 2007. Effects of different light qualities and illumination supplement on growth and photosynthetic rate of rice seedling [J]. *Guihaia*, 27(2): 255-259. [付传明, 黄宁珍, 赵志国, 等, 2007. 光质与补光对水稻幼苗生长及光合速率的影响 [J]. *广西植物*, 27(2): 255-259.]
- GUO YS, GU AS, CUI J, 2011. Effects of light quality on rice seedlings growth and physiological characteristics [J]. *Chin J Appl Ecol*, 22(6): 1485-1492. [郭银生, 谷艾素, 崔瑾, 2011. 光质对水稻幼苗生长及生理特性的影响 [J]. *应用生态学报*, 22(6): 1485-1492.]
- HAUSLER RE, BLACKWALL RD, LEA PJ, et al, 1994. Control of photosynthesis in barley leaves with reduced activities of glutamine synthetase or glutamate synthetase [J]. *Planta*, 194: 406-417.
- HEATH RL, PACKER L, 1968. Photoperoxidation in isolated chloroplasts. I. Kinetics and Stoichiometry of fatty acid peroxidation [J]. *Arch Biochem Biophys*, 125: 189-198.
- HE XW, CHEN KC, XIAO XH, 1993. Effect of red or far-red light and plant hormone on the growth and activity of CAT, POX in seedling of rice [J]. *J Wuhan Plant Sci*, 11(2): 125-129. [贺晓蔚, 陈克成, 肖翔华, 1993. 红光、远红光和植物激素对水稻幼苗生长及 CAT、POX 活性的影响 [J]. *武汉植物学研究*, 11(2): 125-129.]
- JUNG ES, LEE S, LIM SH, et al, 2013. Metabolite profiling of the short-term responses of rice leaves (*Oryza sativa*. cv. Ilmi) cultivated under different LED lights and its correlations with antioxidant activities [J]. *Plant Sci*, 210:61-69.
- LI DH, DENG JM, XING D, 1998. Effects of different lights on UBE and GS activity of rice seedlings [J]. *Life Sci Res*, 2(2): 109-117. [李德红, 邓江明, 邢达, 1998. 光质对水稻幼苗超弱发光和谷氨酰胺合成酶活性的影响 [J]. *生命科学研究*, 2(2): 109-117.]
- LI G, JIAO XX, LIU P, 2007. Spectral feature of delayed Luminescence of plant leaf [J]. *Acta Laser Boil*, 16(6): 680-683. [李光, 焦小雪, 刘品, 2007. 植物叶片延迟发光的光谱特性 [J]. *激光生物学报*, 16(6): 680-683.]
- LI HS, 2007. The experiment principle and technique on plant physiology and biochemistry [M]. 2nd Ed. Beijing: Higher Education Press. [李合生, 2007. 植物生理生化实验原理和技术 [M]. 第2版. 北京: 高等教育出版社.]
- LI SS, PAN RC, 1993. Blue light effects in plants [J]. *Plant Physiol Comm*, 29(4):248-252. [李韶山, 潘瑞炽, 1993. 植物的蓝光效应 [J]. *植物生理学通讯*, 29(4):248-252.]
- LI SS, PAN RC, 1994. Effects of blue light on the growth of rice seedlings [J]. *Chin J Rice Sci*, 8(2): 115-118. [李韶山, 潘瑞炽, 1994. 蓝光对水稻幼苗生长效应的研究 [J]. *中国水稻科学*, 8(2): 115-118.]
- LI SS, PAN RC, 1995. Effect of blue light on the metabolism of carbohydrate and protein in rice seedlings [J]. *J Plant Physiol Mol Biol*, 21(1): 22-28. [李韶山, 潘瑞炽, 1995. 蓝光对水稻幼苗碳水化合物和蛋白质代谢的调节 [J]. *植物生物与分子生物学学报*, 21(1): 22-28.]
- NI W, 1980. Effect of various light qualities on growth of rice seedlings [J]. *Acta Bot Yunnan*, 2(2): 194-201. [倪文, 1980. 不同光质对稻苗生长的效应 [J]. *云南植物研究*, 2(2): 194-201.]
- OMRAN RG, 1980. Peroxide levels and the activities of catalase, peroxidase and indoleacetic acid oxidase during and after chilling cucumber seedlings [J]. *Plant Physiol*, 65: 407-408.
- PAN RC, 1991. New insight on mechanism of phototropism [J]. *Plant Physiol Comm*, 27(1):64-67. [潘瑞炽, 1991. 植物向光性运动机理的新见解 [J]. *植物生理学通讯*, 27(1):64-67.]
- POUDEL PR, KATAOKA I, MOCHIOKA R, 2008. Effects of red and blue-light-emitting diodes on growth and morphogenesis of grapes [J]. *Plant Cell Tiss Org*, 92:147-153.
- RIVKIN RB, 1989. Influence of irradiance and spectral quality on the carbon metabolism of phytoplankton I [J]. *Mar Ecol Prog Ser*, 55: 291-304.
- RYO MATSUDA, KEIKO OHASHI-KANEKO, KAZUHIRO FUJIWARA, et al, 2004. Photosynthetic characteristics of rice leaves grown under red light with or without supplemental blue light [J]. *Plant Cell Physiol*, 45(12): 1870-1874.
- SU NN, WU Q, CUI J, 2012. Effects of supplemental lighting with LED light quality on growth and photosynthetic characteristics of cucumber seedlings [J]. *Chin Veg*, 24:48-54. [苏娜娜, 邬奇, 崔瑾, 2012. LED 光质补光对黄瓜幼苗生长和光合特性的影响 [J]. *中国蔬菜*, 24:48-54.]
- TANDEAU DE MARSAE N, HOUMARD J, 1993. Adaptation of cyanobacteria to environmental stimuli: new steps towards molecular mechanisms [J]. *FEMS Microbiol Rev*, 104: 119-189.
- WANG XM, WANG XJ, PAN RC, 1999. Effects of blue light on protein metabolism during the formation and growth of mung bean hypocotyl calli [J]. *J Plant Physiol Mol Biol*, 25(4): 321-326. [王晓明, 王小菁, 潘瑞炽, 1999. 蓝光对绿豆下胚轴愈伤组织形成和生长过程中蛋白质代谢的影响 [J]. *植物生物与分子生物学学报*, 25(4): 321-326.]
- YANG QC, 2008. Application and prospect of light-emitting diode (LED) in agriculture and bio-industry [J]. *J Agric Sci Technol*, 10(6):42-47. [杨其长, 2008. LED 在农业与生物产业的应用与前景展望 [J]. *中国农业科技导报*, 10(6):42-47.]
- ZHAO ZJ, LI G, WANG XS, 2009. Ultraweak biophoton emission and chlorophyll contents in leaves of mung bean seedlings under different spectrum lights [J]. *Acta Bot Boreal-Occident Sin*, 29(7): 1465-1469. [赵占娟, 李光, 王秀生, 2009. 光质对绿豆幼苗叶片超微弱发光及叶绿素含量的影响 [J]. *西北植物学报*, 29(7): 1465-1469.]