

DOI: 10.11931/guihaia.gxzw201403002

冯汉青, 焦青松, 田武英, 等. 不同强度的红光和蓝光下菜豆叶片的荧光特性[J]. 广西植物, 2015, 35(3): 338—342

Feng HQ, Jiao QS, Tian WY, et al. Effects of different intensities of red or blue on chlorophyll fluorescence characteristics of bean leaves[J]. Guihaia, 2015, 35(3): 338—342

## 不同强度的红光和蓝光下菜豆叶片的荧光特性

冯汉青\*, 焦青松, 田武英, 贾凌云

(西北师范大学 生命科学学院, 兰州 730070)

**摘要:** 光质和光强均是影响植物光合作用的重要外部因素, 该文以菜豆 (*Phaseolus vulgaris*) 为材料, 通过叶绿素荧光技术比较研究了菜豆叶片在不同光强的红光和蓝光下叶绿素荧光特性的变化规律。结果表明: 随着红光和蓝光光强的增加, 菜豆叶片的光适应下的最大光化学效率 ( $F_v'/F_m'$ ) 呈下降趋势, 但与在红光下相比, 蓝光下叶片的  $F_v'/F_m'$  值较高。随着蓝光光强的增加, 菜豆叶片 PS II 实际光化学效率 ( $Y(II)$ ) 和光化学猝灭系数 ( $qP$  和  $qL$ ) 先呈上升趋势之后逐渐趋于平稳; 而随着红光光强的增加, 以上参数呈下降趋势。随着红光和蓝光光强的增加, 非光化学猝灭系数 ( $NPQ$ )、相对电子传递速率 ( $ETR$ ) 以及调节性能量耗散的量子产量 ( $Y(NPQ)$ ) 均呈上升趋势, 但与在红光下相比, 蓝光下叶片  $NPQ$  和  $Y(NPQ)$  的值较低, 而  $ETR$  值较高。非调节性能量耗散产量 ( $Y(NO)$ ) 随着红光光强增加而呈上升趋势, 而随着蓝光光强增加呈下降趋势。综上可见, 随着光强的增加菜豆叶片的光化学效率呈降低趋势, 但叶片在蓝光下的光化学吸收和利用效率高于红光。研究结果可为植物对光强和光质的响应提供一定的参考。

**关键词:** 菜豆; 光强; 红光/蓝光; 叶绿素荧光参数

**中图分类号:** Q945.79; S181 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3142(2015)03-0338-05

## Effects of different intensities of red or blue on chlorophyll fluorescence characteristics of bean leaves

FENG Han-Qing\*, JIAO Qing-Song, TIAN Wu-Ying, JIA Ling-Yun

(College of Life Sciences, Northwest Normal University, Lanzhou 730070, China)

**Abstract:** Common bean is widely planted all over the world with a wide variety of ecological conditions. The photosynthesis of bean leaves varies remarkably under different ecological conditions which may be correlated to differing light quality and the light intensity. In order to study the effects of different intensities and qualities of the light on the photosynthesis of plant, bean (*Phaseolus vulgaris*) leaves were used as the material, and Pulse-Amplitude-Modulation chlorophyll fluorometer was used to record the changes of the chlorophyll fluorescence parameters with different light intensities of red or blue, primary leaves were offered to the treatments in the present work. The results showed that the maximum photochemical efficiency of light adaptation ( $F_v'/F_m'$ , the efficiency of capture excitation energy in PSII reaction center) decreased with the increase of light intensities of red or blue light, but the values of  $F_v'/F_m'$  under blue light were significantly ( $P < 0.05$ ) or very significantly ( $P < 0.01$ ) higher than those under the same intensities of red light. With the increase of light intensities of blue light, the actual photochemical efficiency of PS II ( $Y(II)$ , the actual photochemical efficiency of PS II under light) and the coefficient of photochemical fluorescence quenching ( $qP$  and

收稿日期: 2014-04-23 修回日期: 2014-07-18

基金项目: 国家自然科学基金(31260059, 30900105); 国家教育部科学技术研究重点项目(211190); 甘肃省财政厅高校基本科研业务费项目。

作者简介: 冯汉青(1978-), 男, 河北保定人, 博士, 副教授, 硕士生导师, 研究方向为植物生化与分子生物学, (E-mail) fenghanq@nwnu.edu.cn。

通讯作者

$qL$ , the proportion of reduction state of PS II original electron acceptor-plastoquinone ( $Q_A$ ) increased but became stable gradually, while the values of  $Y(II)$ ,  $qP$  and  $qL$  decreased with the increase of red light intensities. These meant that the photosynthetic efficiency of bean leaves decreased with the increase of blue or red light intensities. Non-photochemical quenching coefficient ( $NPQ$ , the excess energy dissipation by PS II antenna system), electronic transmission rate ( $ETR$ ,  $ETR$  increases linearly with light intensity, until it reaches a maximum. This happens when the capacity of all electron sink is reached), and quantum yield of regulated energy dissipation [ $Y(NPQ)$ , an important indicator of self protection and the ability of PS II to deal with excess light energy] increased with the increase of blue light or red light intensity. Compared to under red light, the values of  $ETR$  under blue light were higher but the values of  $NPQ$  and  $Y(NPQ)$  were lower. Quantum yield of non-regulated energy dissipation [ $Y(NO)$ , the proportion of excess light energy in the form of heat and fluorescence, one of the important indicators of light damage] increased with the increase of red light intensity but decreased with the increase of blue light intensity. These results showed that the photosynthetic efficiency of bean leaves decreased with the increase of light intensities, but the absorbing and utilizing efficiencies of blue light were higher than those of red lights. We believe that this work would be helpful in developing current understanding on the responses of plants to different light intensities and qualities.

**Key words:** bean; light intensity; red/blue light; chlorophyll fluorescence parameters

光是植物生长发育过程中的重要环境因子,不仅是植物生长的主要能量来源,还可作为一种信号调节植物的生长发育、光合作用、衰老以及基因的表达等(蒲高斌等,2004,2005;刘立侠等,1993;杜洪涛等,2005; Voskresenskaya *et al.*, 1968)。光质和光强均是影响植物光合作用的重要因素。在自然界中,气候条件的变化会导致光质和光强的不断变化,如阴天蓝光较多但光强较弱,晴天的红光较多且光强较强。同时,随着人类活动对自然界影响的增加,如大气臭氧浓度的不断减少和雾霾天气的增加等,使得光质甚至光强的变化更为复杂。鉴于光质和光强是影响植物光合作用的重要因素,植物对光强或光质的响应始终是植物学研究当中的重要问题,并陆续开展了多方面的研究。如光质可调节光系统 II (PS II) 基因和 Rubisco 大亚基的编码基因的表达 (Tsinoremas *et al.*, 1994; Ernstsens *et al.*, 1999), 光强影响叶片的解剖结构进而影响光合作用 (Neerakkal *et al.*, 2001)。光质和光强均能调节光合作用直接相关的蛋白质复合物的形成,抗氧化物酶的活性,以及 PS II 和光系统 I (PS I) 间的电子传递等 (Patil *et al.*, 2001; 胡杨等, 2009; 徐凯等, 2005)。近年来研究发现,不同光质或光强处理下叶片的叶绿素荧光特性同样会发生变化(许莉等,2007;潘光华等,2011)。

前人的报道多集中在不同光质或光强对植物叶绿素荧光参数的影响,但同时比较研究不同光质和光强对叶绿素荧光特性的报道较少。同时不同植物(阴生阳生、单子叶双子叶等)对光强和光质的响应

本身也存在着显著性差异(蔡志全等,2003)。而作为我国主要经济作物之一(张赤红等,2005)而被广泛种植的菜豆,不但具有极高的营养价值,而且富含具有重要医用价值的植物血细胞凝集素,但目前对其整体研究水平远落后于水稻、小麦、玉米等主要粮油作物(陈明丽等,2011)。因此,本研究采用可快速无损地反映光系统对光能的吸收、传递和耗散等方面的叶绿素荧光技术 (Genty *et al.*, 1989), 以菜豆为实验材料,测定并比较分析了其在不同强度的红光和蓝光下叶片叶绿素荧光参数的特性,以期完善相关的理论研究。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料的培养

供试菜豆为农普 12 号,由广州市农业科学院提供。菜豆种子用 2% 的次氯酸钠表面消毒 20 min 并用蒸馏水充分冲洗,然后置于铺有蒸馏水浸湿的多层纱布中。待种子萌发后移栽到塑料钵中,每钵 1 株。培养基质为营养土、蛭石、珍珠岩(比例为 3:1:1)。培养室的昼夜温度变化为 25℃/20℃,光照强度为 200  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ,光周期为 12 h 光照/12 h 黑暗。空气湿度 45%,每天浇水 1 次保持表层培养介质湿润。直至第一对真叶完全展开(12~14 d),选取长势一致的幼苗备用。

### 1.2 参数测定

叶绿素荧光参数使用叶绿素荧光仪 (Waltz, Germany),根据阳光辐射强度日变化规律和菜豆对

不同光强的敏感性,设定测量光强度为 0、50、150、300、500、750、1 050、1 400 和 1 800  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ,测定地点在培养室,空气湿度 45%,温度 23  $^{\circ}\text{C}$ 。按 Demmig-Adams *et al.* (1996) 的方法,测定前对每组供试材料均暗适应 30 min (杨晓青等,2004),分别设定红色和蓝色光源,选择仪器的自动模式测量后导出数据,每组重复测量 4 次。

### 1.3 数据分析

将所得数据用 Excel 预处理,然后使用 Origin 6.0 统计软件进行显著性检验(显著  $P < 0.05$ 、极显著  $P < 0.01$ ),以及绘图。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同强度的红光和蓝光对 $Y(\text{II})$ 、 $qP$ 、 $qL$ 以及对 $F_v'/F_m'$ 的影响

$Y(\text{II})$  代表光适应下 PS II 的实际光化学效率。 $qP$  和  $qL$  均代表光化学猝灭系数,反映了 PS II 原初电子受体质体醌 A( $Q_A$ ) 的还原状态。结果显示在红光下  $Y(\text{II})$ 、 $qP$  和  $qL$  均随着光强增加而降低,而在蓝光下却逐渐上升并最终趋于稳定(图 1:A, B, C);当光强超过 400  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  后,同等光强时在蓝光下以上参数均显著高于在红光下的值。表明菜豆叶片在蓝光下具有更高的实际光化学效率和更高比例还原态的  $Q_A$ 。 $F_v'/F_m'$  代表光适应下叶片的最大光化学效率,反映了 PS II 反应中心捕获激发能的效率。随着光强的增加,两种光质下的  $F_v'/F_m'$  均呈现下降趋势,且同等光强时在蓝光下  $F_v'/F_m'$  显著高于在红光的值(图 1:D)。表明菜豆在蓝光下 PS II 反应中心具有更高的激发能捕获效率。

### 2.2 不同强度的红光和蓝光对 $ETR$ 、 $NPQ$ 、 $Y(\text{NO})$ 和 $Y(\text{NPQ})$ 的影响

$ETR$  和  $NPQ$  分别代表相对电子传递速率和非光化学猝灭系数,其中  $NPQ$  反映非光化学过程引起的荧光产额的降低,是光照条件下 PS II 的天线系统将过量的光能耗散掉的指标。在两种光质下随着光强的增加  $ETR$  和  $NPQ$  均呈上升趋势。不同的是,在蓝光下  $ETR$  值较高(图 2:E),而在红光下  $NPQ$  值较高(图 2:F),且在光强超过 100  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  后以上参数的差异均达到极显著水平。表明蓝光更有利于菜豆的电子传递,并使其热耗散水平更低。 $Y(\text{NO})$  和  $Y(\text{NPQ})$  分别代表非调节性能量耗散和调节性能量耗散的量子产量,其中  $Y(\text{NO})$

是反映光损伤的重要指标, $Y(\text{NPQ})$  则反映植物的光保护能力。在蓝光下随着光强的增加  $Y(\text{NO})$  逐渐下降趋于稳定,而在红光下逐渐上升达到稳定;在光强超过 200  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  后在红光下  $Y(\text{NO})$  逐渐高于蓝光,最终达到显著水平(图 2:G)。两种光质下的  $Y(\text{NPQ})$  均随着光强的增加而上升,当光强超过 100  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  后在红光下  $Y(\text{NPQ})$  值高于蓝光(图 2:H),并达到极显著水平。表明随着光强的增加,红光使菜豆的光合系统发生了一定的损伤,同时也诱发了更高水平的光保护能力。

## 3 讨论与结论

高等植物对光的吸收是由 PS II 实现的。而能被植物 PS II 吸收的不同波段的光(红光和蓝紫光)所携带的能量也不同(曹婷婷等,2007),同时 PS II 吸收的光能也并不能全部用于光化学反应(Demmig *et al.*, 1996)(部分会以热能的形式耗散和以荧光的形式散发);因此通过同时比较分析不同光强的红光和蓝光下叶绿素荧光参数的变化规律,有助于研究植物的光合作用。

本研究结果显示,通过比较不同强度的红光和蓝光下  $Y(\text{II})$ 、 $qP$  和  $qL$  的变化规律(图 1:A, B, C),可见在弱光( $\text{PAR} < 100 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )下菜豆叶片对红光的吸收利用较高。但随着光强的进一步上升( $\text{PAR} > 100 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ),蓝光下菜豆 PS II 反应中心的实际光化学效率更高,具有更高比例还原态的  $Q_A$ 。已有的研究表明,植物叶片通过天线色素吸收光能传递给 PS II,PS II 反应中心捕获激发能的效率( $F_v'/F_m'$ )直接影响到 PS II 的功能(Baker *et al.*, 2008)。而我们的研究也发现,在两种光质下  $F_v'/F_m'$  的变化趋势(图 1:D)表明,随着光强的增加 PS II 捕获激发能的效率逐渐降低,且在蓝光下 PS II 捕获激发能效率显著高于在红光下。同时不同光强下  $ETR$  的变化规律进一步表明在蓝光下菜豆叶片的光化学效率较高,具有更优的 PS II 功能。以上结果显示:与在红光下相比菜豆叶片在蓝光下有更高的实际光化学量子效率,更高比例还原态的  $Q_A$ ,捕获激发能的效率和更高的电子传递速率从而使菜豆在蓝光下的光化学效率显著高于在红光下。有研究显示白桦叶片在蓝光下比在红光下有更高的光合效率(Saebo *et al.*, 1995),这也与我们的观察结果一致。

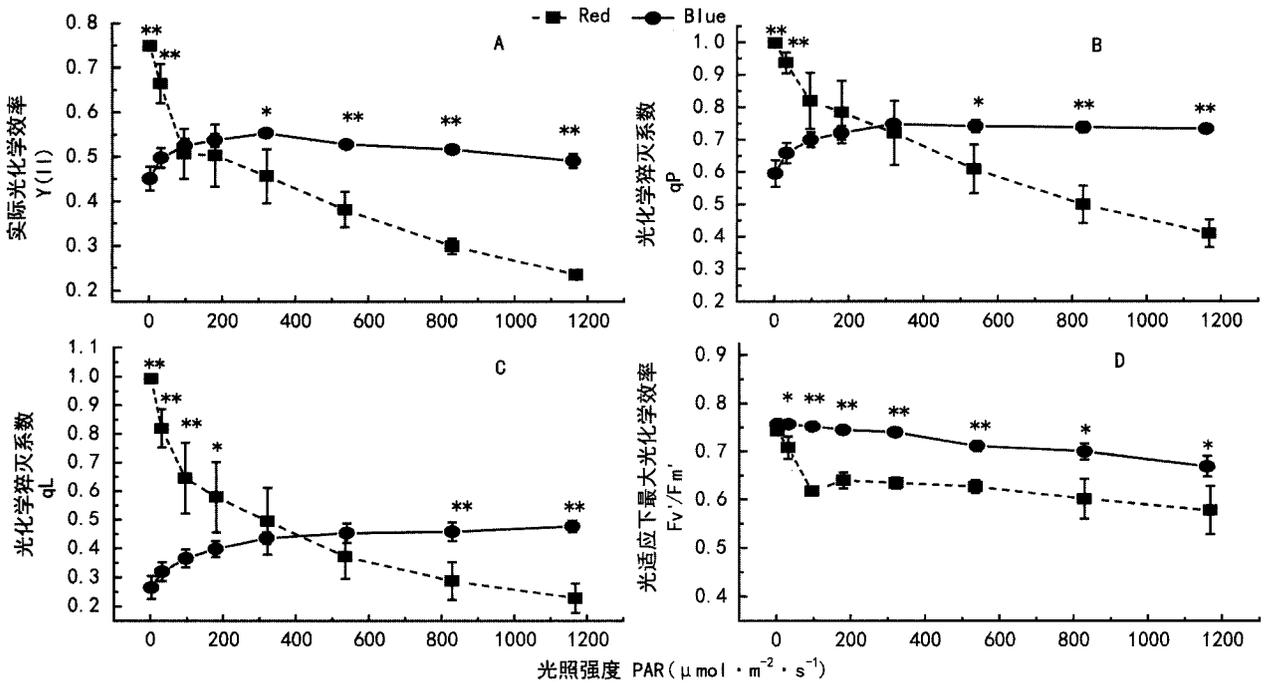


图 1 红光和蓝光对菜豆叶片  $Y(II)$ 、 $qP$ 、 $qL$  以及对  $F_v'/F_m'$  的影响  
 Fig. 1 Effects of blue and red light on  $Y(II)$ ,  $qP$ ,  $qL$  and  $F_v'/F_m'$  of bean leaves

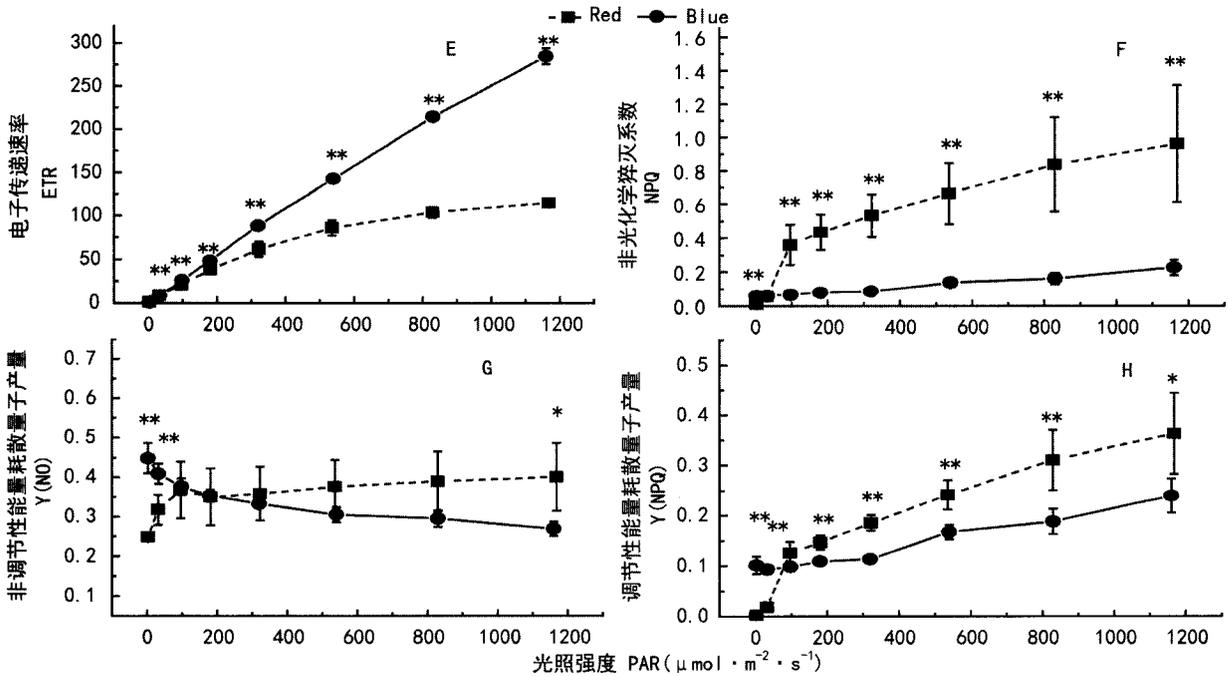


图 2 红光和蓝光对菜豆叶片  $ETR$ 、 $NPQ$ 、 $Y(NO)$  和  $Y(NPQ)$  的影响  
 Fig. 2 Effects of blue and red light on  $ETR$ ,  $NPQ$ ,  $Y(NO)$  and  $Y(NPQ)$  of bean leaves

$NPQ$  是由非光化学过程(例如热耗散)引起的荧光产额的降低,是光照条件下 PS II 将过量的光能热耗散掉的指标,随着叶片吸收过剩光能量的增加

而增加(Peterson *et al.*, 2004)。通过对不同光质和光强下  $NPQ$  的变化规律的比较表明,在红光下菜豆叶片热耗散比例更大。而热耗散过程虽然能耗散

过剩光能,保护植物不被强光破坏,却会降低光化学效率(Young *et al.*, 1997)。这也与上文中在红光下光化学效率较低相对应。红光下的  $Y(NPQ)$  显著高于在蓝光下的值,一方面表明植物接受的红光光强过剩,另一方面则说明植物仍可以通过调节来保护自身。同时在红光下  $Y(NO)$  同样较高,则表明光化学能量转换和保护性的调节机制已不足以将过剩光能完全消耗掉,植物的光合作用可能已经受到抑制。以上结果均显示,与在蓝光下相比在红光下菜豆以热能形式耗散的光能显著增加,光能利用率降低。同时伴随着热耗散的增加和 PS II 反应中心功能抑制的加剧,不利于植物的光合作用。这也与梁芳(2010)和吴雪霞(2013)等的研究结果一致。

综上所述,光强和光质均会对菜豆叶片的叶绿素荧光特性产生显著影响。与在红光下相比,菜豆在蓝光下的光化学效率更高,并随着光强的变化呈现出显著或极显著的差异。这可能与其在蓝光下具有更高的捕获激发能的效率,光合电子传递速率,更高比例还原态的  $Q_A$  以及更低水平的非光化学耗散的综合作用有关。本实验可为设施栽培和相关理论研究提供一定的参考,有关不同光质和光强对光合系统影响的分子机理还有待于进一步研究。

## 参考文献:

- Baker NR. 2008. Chlorophyll fluorescence: a probe of photosynthesis *in vivo* [J]. *Ann Rev Plant Biol*, **59**: 89-113
- Cai ZQ(蔡志全), Cao KF(曹坤芳), Feng YL(冯玉龙), *et al.* 2003. Acclimation of foliar photosynthetic apparatus of three tropical woody species to growth irradiance(热带雨林三种树苗叶片光合机构对光强的适应) [J]. *J Appl Ecol* (应用生态学报), **14**(4): 493-496
- Cao TT(曹婷婷), Luo SR(罗时荣), Zhao XY(赵晓艳), *et al.* 2007. Measurement and analysis of direct sunlight and skylight spectra(太阳直射光谱和天空光谱的测量与分析) [J]. *Chin J Physics* (物理学报), **56**(9): 5 554-5 557
- Chen ML(陈明丽), Wang LF(王兰芬), Zhao XY(赵晓彦), *et al.* 2011. Current research progress(*Phaseolus vulgaris* L.) on anthracnose resistant genetics and genomics of common bean(普通菜豆基因组学及抗炭疽病遗传研究进展) [J]. *J Plant Genet Res* (植物遗传资源学报), **12**(6): 941-947
- Demmig-Adams B, Adams IIIWW, Barker DH, *et al.* 1996. Using chlorophyll fluorescence to assess the fraction of absorbed light allocated to thermal dissipation of excess excitation [J]. *Physiol Plant*, **98**(2): 253-264
- Demmig-Adams B, Adams IIIWW. 1996. Xanthophyll cycle and light stress in nature: uniform response to excess direct sunlight among higher plant species [J]. *Planta*, **198**(3): 460-470
- Du HT(杜洪涛), Liu SQ(刘世琦), Pu GB(蒲高斌), *et al.* 2005. Effects of light qualities on growth and chlorophyll fluorescence parameters in leaves of color pepper seedling(光质对彩色甜椒幼苗生长及叶绿素荧光特性的影响) [J]. *Acta Agric Boreal-Occident Sin* (西北农业学报), **14**(1): 41-45
- El Bissati K, Kirilovsky D. 2001. Regulation of psbA and psaE expression by light quality in *Synechocystis* species PCC 6803. A redox control mechanism [J]. *Plant Physiol*, **125**(4): 1 988-2 000
- Ernstsen J, Woodrow IE, Mott KA. 1999. Effects of growth-light quantity, growth-light quality and CO<sub>2</sub> concentration on Rubisco deactivation during low PFD or darkness [J]. *Photosynth Res*, **61**(1): 65-75
- Genty B, Briantais JM, Baker NR. 1989. The relationship between the quantum yield of photosynthetic electron transport and quenching of chlorophyll fluorescence [J]. *Biochim Biophys Acta (BBA)-Gen Subj*, **990**(1): 87-92
- Hu Y(胡阳), Jiang S(江莎), Li J(李洁), *et al.* 2009. Effects of the light intensity and quality on plant growth and development (光强和光质对植物生长发育的影响) [J]. *J Inner Mongolia Agric Univ: Nat Sci Ed* (内蒙古农业大学学报·自然科学版), (4): 296-303
- Liang F(梁芳), Zheng CS(郑成淑), Sun XZ(孙宪芝), *et al.* 2010. Effects of low temperature and weak light stress and its recovery on the photosynthesis and chlorophyll fluorescence parameters of cut flower chrysanthemum(低温弱光胁迫及恢复对切花菊光合作用和叶绿素荧光参数的影响) [J]. *J Appl Ecol* (应用生态学报), **21**(1): 29-35
- Liu LX(刘立侠), Xu SM(许守民). 1993. Effects of different light qualities on structure of chloroplasts and photosynthetic physiological properties in *panax ginseng* (光质对人参叶绿体结构和光合生理性状的影响) [J]. *Acta Bot Sin* (植物学报), **25**(8): 588-592
- Neerakkal IM, Vinoth T, Meenakurmai T, *et al.* 2001. Leaf anatomy of five medicinal species grown under two light regimes [J]. *Phytomorphology*, **51**: 185-189
- Pan GH(潘光华), Gao S(高山), Wang GC(王广策), *et al.* 2011. Effects of temperature and light on photosynthesis of *Ulva pertusa* (温度和光照对孔石莼光合作用的影响) [J]. *Mar Sci* (海洋科学), **35**(9): 14-17
- Patil GG, Oi R, Gissinger A, *et al.* 2001. Plant morphology is affected by light quality selective plastic films and alternating day and night temperature [J]. *Gartenbauwissenschaft*, **66**(2): 53-60
- Peterson RB, Havir EA, *et al.* 2004. The multiphasic nature of nonphotochemical quenching: implications for assessment of photosynthetic electron transport based on chlorophyll fluorescence [J]. *Photosynth Res*, **82**(1): 95-107
- Pu GB(蒲高斌), Liu SQ(刘世琦), Liu L(刘磊), *et al.* 2005. Effects of different light qualities on growth and physiological characteristics of tomato seedlings(不同光质对番茄幼苗生长和生理特性的影响) [J]. *Acta Hortic Sin* (园艺学报), **32**(3): 420-425
- Saebo A, Krekling T, Appelgren M, *et al.* 1995. Light quality affects photosynthesis and leaf anatomy of birch plantlets *in vitro* [J]. *Plant Cell Tiss & Organ Cult*, **41**: 177-185
- Tsinoremas NF, Schaefer MR, Golden SS. 1994. Blue and red light reversibly control psbA expression in the cyanobacterium *Synechococcus* sp. strain PCC 7942 [J]. *J Biol Chem*, **269**(23): 16 143-16 147
- Voskresenskaya NP, Drozdova IS, Krendeleva TE, *et al.* 1977. (下转第 365 页 Continue on page 365)

- primary study on allelopathy of *Artemisia vulgaris* (艾蒿对不同植物幼苗的化感作用初探)[J]. *Acta Pratac Sin* (草业学报), **19**(6):114-119
- Li Q(李青), Liu YT(刘月婷), Li F(李帆), et al. 2012. Observation on flowering habit and floral organ structural characterization of *Jacaranda mimosifolia* (蓝花楹开花特性及其花器官构造特征观察)[J]. *Guangdong Agric Sci* (广东农业科学), **9**:44
- Liu ZL(刘忠玲), Wang QC(王庆成), Hao LF(郝龙飞). 2011. Interspecific allelopathic effect of different organs' aqueous extracts of *Betula platyphylla* and *Larix olgensis* on their seed germination and seedling growth(白桦、落叶松不同器官水浸液对种子萌发和播种苗生长的种间化感作用)[J]. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), **12**(22):3 138-3 144
- Luo XY(罗小勇), Miao RR(苗荣荣), Zhou SJ(周世军). 2009. Allelopathic activities of different organs of 16 species garden plants(16种园林植物不同器官的化感活性)[J]. *Chin Agric Sci Bull* (中国农学通报), **25**(21):266-271
- Minorsky PV. 2002. Different roles for Catechin enantiomers secreted into rhizosphere[J]. *Plant Physiol*, **128**(4):1 163-1 164
- Pan ZG(潘志刚), You YT(游应天). 1994. Growing Exotic Trees in China(中国主要外来树种引种栽培)[M]. Beijing(北京): Science and Technology Press(科学技术出版社):684-686
- Rana A, Bhargalia S, Singh HP, et al. 2012. A new phenylethanoid glucoside from *Jacaranda mimosifolia*[J]. *Natural Prod Res*, **13**(27):1 167-1 173
- Rice EL. 1984. Allelopathy(2nd ed.)[M]. New York: Academic Press Inc:309
- Qi JH(戚建华), Liang YL(梁银丽), Liang ZS(梁宗锁). 2004. The review of researching allelopathy in agro-ecosystem(农业生态系统中化感作用研究综述)[J]. *Acta Agric Boreal-Occident Sin* (西北农业学报), **13**(2):115-118
- Wang L(王玲), Ma XJ(马喜娟), Zhang LZ(张秀珍). 2012. Allelopathy of *Thymus manschuricus* (东北百里香化感作用)[J]. *J Northeast For Univ* (东北林业大学学报), **7**(40):41-44
- Termoplastics(中华人民共和国国家标准).1992.Methods For Trees Seed Test(林木种子检验方法 GB2272-81)[S]. Beijing(北京): State General Bureau of Standardization(国家标准总局):7-14
- Williamson G B. 1988. Bioassays for allelopathy measuring treatment responses with independent controls[J]. *J Chem Ecol*, **14**(1):181-187
- Xue YJ(薛羽君), Bai AJ(白爱娟), Li D(李典). 2012. Analysis and numerical simulation of diurnal variation of precipitation in Sichuan Basin(四川盆地降水日变化特征分析和个例模拟)[J]. *Adv Earth Sci* (地球科学进展), **27**(8): 885-894
- Yan F(阎飞), Yang ZM(杨振明), Han LM(韩丽梅). 2000. Review on research methods for alelopathy and allelochemicals in plants(植物化感作用及其作用物的研究方法)[J]. *Acta Ecol Sin* (生态学报), **20**(4):692-696
- Zeng LS(曾任森). 1999. Review on bioassay methods for allelopathy research(化感作用研究中的生物测定方法综述)[J]. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), **10**(1):123-126
- Zhai MZ(翟梅枝), Zhu TH(朱天慧), Jia CX(贾彩霞). 2009. Effects of low polar practions from *Walnut* green husk on the growth of seedlings(核桃青皮中的低极性组分对几种植物种子萌发及幼苗生长的影响)[J]. *J Northwest For Univ* (西北林学院学报), **24**(4):156-159
- Zhang MX(张茂新), Lin B(凌冰), Kong CH(孔垂华), et al. 2002. Allelopathic potential of volatile oil from *Mikania micrantha* (薇甘菊挥发油的化感潜力)[J]. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), **13**(10):1 300-1 302
- Zhou WJ(周伟佳), Wu YY(吴颖胤), Zhen SS(郑思思), et al. 2011. Allelopathic effect of *Acacia mearnsion* the seed germination of several plants(黑荆对几种林下植物种子萌发的化感作用)[J]. *Bull Bot Res* (植物研究), **31**(2):235
- Zhang ZL(张志良), Zhai WJ(翟伟菁). 2002. Pedagogy about Plant Physiology Experiment(植物生理学实验指导)[M]. 3rd Ed(第3版). Beijing(北京): Higher Education Press(高等教育出版社):274-276

(上接第342页 Continue from page 342)

- Effect of light quality on the organization of photosynthetic electron transport chain of pea seedlings[J]. *Plant Physiol*, **59**(2): 151-154
- Voskresenskaya NP, Nechaeva EP, Vlasova MP, et al. 1968. Significance of blue light and kinetin for restoration of the photosynthetic apparatus of aging barley leaves[J]. *Sov Plant Physiol*, **15**:890
- Wu XX(吴雪霞), Yang XC(杨晓春), Zhu ZW(朱宗文), et al. 2013. Effects of exogenous 6-BA on photosynthesis, chlorophyll fluorescence characteristics and the allocation of absorbed light in eggplant seedlings under low temperature stress(外源6-BA对低温胁迫下茄子幼苗光合作用、叶绿素荧光参数及光能分配的影响)[J]. *Plant Physiol J* (植物生理学报), **49**(11):1 181-1 188
- Xu JZ(徐景智), Li TK(李同错), Liao XR(廖祥儒), et al. 2002. Study advances on selective absorption to light wavelengths in the development of plants(温室大棚作物生长发育对光色选择性吸收的研究进展)[J]. *J Hebei Univ: Nat Sci Ed* (河北大学学报·自然科学版), **22**(2):202-207
- Xu K(徐凯), Guo YP(郭延平), Zhang SL(张上隆), et al. 2004. Effect of light quality on photosynthesis and chlorophyll fluorescence in strawberry leaves(不同光质对草莓叶片光合作用和叶绿素荧光的影响)[J]. *Sci Agric Sin* (中国农业科学), **38**(2): 369-375
- Yang XQ(杨晓青), Zhang SQ(张岁岐), Liang ZS(梁宗锁), et al. 2003. Effects of water stress on chlorophyll fluorescence parameters of different drought resistance winter wheat cultivars seedlings(水分胁迫对不同抗旱类型冬小麦幼苗叶绿素荧光参数的影响)[J]. *Acta Bot Boreal-Occident Sin* (西北植物学报), **24**(5):812-816
- Zhang CH(张赤红), Wang SM(王述民). 2005. The genetic diversity assessment of common bean germplasm resources by using SSR markers(应用SSR标记对普通菜豆种质资源遗传多样性的评价)[J]. *Acta Agron Sin* (作物学报), **31**(5):619-627