

## 紫外线 B 辐射增强对大豆生长及光合作用相关指标的影响

张文会, 张 朋, 刘立科, 吕艳伟

(聊城大学生命科学学院, 山东 聊城 252059)

**摘 要:**明确 UV-B 辐射增强对植物生长发育, 生物量以及光合作用相关指标的影响, 有助于阐明 UV-B 辐射对植物影响的生理机制。在人工气候室内采用平方波模型, 在大豆植株上方悬挂紫外灯, 照射强度为  $15 \mu\text{W} \cdot \text{cm}^{-2}$ , 每天照射 8 h。研究在此剂量下大豆植株在干物质积累、色素含量、可溶性蛋白质含量、PS II 反应中心最大光能转换效率以及光合速率的变化。结果表明: UV-B 辐射增强对大豆生长具抑制作用。与对照相比, 播种后 20 d、40 d 和 60 d 的 UV-B 处理的大豆植株株高分别降低 4.9%、13.8% 和 10.6%; 鲜重及干重分别减少 17.8%、10.7%、25.5% 及 22.3%、20.9%、25.6%; 叶绿素含量分别降低 3.2%、13.2% 和 29.4%; PS II 反应中心最大光能转换效率 (Fv/Fm) 分别降低 3.4%、1.3% 和 3.2%; 叶片可溶性蛋白质含量分别降低 25.3%、45.2% 和 19.5%; 叶面积分别减小 15.2%、20.4% 和 41.6%; 光合速率分别降低 10%、25% 和 16%。作为一种保护性适应, UV-B 处理增加了花青素及类胡萝卜素的含量。UV-B 辐射对生长和生物量的抑制作用可能主要是由于光合速率下降及有效光合面积减少所致。

**关键词:** UV-B; 大豆; 光合作用

中图分类号: S565.1

文献标识码: A

文章编号: 1000-9841(2009)02-0229-04

## Effects of Enhanced UV-B Radiation on Growth and Photosynthesis in Soybean (*Glycine max* Merr.)

ZHANG Wen-hui, ZHANG Peng, LIU Li-ke, LÜ Yan-wei

(School of Life Sciences, Liaocheng University, Liaocheng 252059, Shandong, China)

**Abstract:** The decrease in stratospheric ozone will lead to an increase in the biologically effective ultraviolet-B radiation (UV-B), which alter and affect crops growth, development and physiological processes. In our study, enhanced UV-B treatments were applied using a square-wave system to expose the soybean (*Glycine max* Merr.) seedlings to  $15 \mu\text{W} \cdot \text{cm}^{-2}$  level, with 8 hours each day in artificial climate rooms. Biomass accumulations, chlorophyll content, concentrations of soluble protein, photosystem II (PSII) electron transport capacity (Fv/Fm) and net  $\text{CO}_2$  assimilation rate were studied under this treatment. The results showed that enhanced UV-B radiation inhibited the growth and development in plant height, biomass accumulations, chlorophyll content, maximum photochemical efficiency, concentrations of soluble protein as well as net  $\text{CO}_2$  assimilation rate. There were three levels of seedlings (20 days, 40 days and 60 days after semination) were examined. Compared to the control plants, the plant height of each seedling level decreased 4.9%, 13.8% and 10.6%, respectively; the fresh weight and dry weight were also reduced in parallel 17.8%, 10.7%, 25.5% and 22.3%, 20.9%, 25.6%. The chlorophyll content, Fv/Fm, soluble protein content, leaf area and net  $\text{CO}_2$  assimilation rate of each seedling level were all reduced by enhanced UV-B radiation, the extent were 3.2%, 13.2% and 29.4%; 3.4%, 3% and 3.2%; 25.3%, 45.2% and 19.5%; 15.2%, 20.4% and 41.6%; 10%, 25% and 16%, respectively. On the other hand, enhanced UV-B radiation induced an increase in the concentrations of anthocyanin and carotenoids as a protective response. In conclusion, the inhibitions of enhanced UV-B on growth and biomass accumulations were probably induced by the decrease in chlorophyll and soluble protein content as well as inhibitions of PSII functions and reductions of net  $\text{CO}_2$  assimilation rate.

**Key words:** UV-B; Soybean; Photosynthesis

收稿日期: 2008-10-06

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (30771156); 山东省自然科学基金资助项目 (2005ZX10); 教育部留学回国科研启动资金资助项目 (2005)。

作者简介: 张文会 (1963-), 男, 博士, 副教授, 研究方向为植物胁迫生理。E-mail: whzhang@lcu.edu.cn。

20 世纪以来,由于平流层臭氧层变薄,使到达地表的 UV-B 辐射增强<sup>[1]</sup>,地球面临的是 UV-B 辐射的持续增强(逆境)以及由此带来的一系列的气候变化,对植物生长产生的影响。因此,研究植物对 UV-B 辐射增强的响应具有重大的理论及现实意义。大豆作为重要的经济作物,长期生长在这种因子下,势必对植株的生长发育、产量等产生深远影响。UV-B 辐射增强导致生物量和产量下降<sup>[2-3]</sup>,光合作用及相关指标受到抑制<sup>[4-7]</sup>。Feng 等<sup>[8]</sup>的研究表明,UV-B 辐射增加对大豆品种的叶片、茎和根的生物量以及株高的抑制作用与光合同化速率、气孔导度、蒸腾速率、水分利用效率、叶绿素 a、b 含量及类胡萝卜素含量的降低有关。Murali and Tera-mura<sup>[9]</sup>连续 2 年在大田条件下对大豆照射 UV-B,结果表明,UV-B 对生长、光合作用、蒸腾作用、气孔导度以及叶片水势等均有影响,且存在年度间差异及生育时期差异。

以大豆为材料,在人工气候室内模拟 UV-B 辐射增强的逆境胁迫条件,研究了 UV-B 辐射增强对大豆生长发育的影响。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

大豆品种齐黄 27,由山东省农科院大豆室提供。

### 1.2 试验设计

试验于 2008 年在聊城大学生命科学学院植物生理生态实验室进行。采用长、宽、高分别为 50、40、30 cm 的塑料箱栽培,箱内铺 20 cm 的大田土(除去表层土 2~3 cm),每箱按 750 kg·hm<sup>-2</sup>的施肥量施加复合肥。选取经发芽处理后发芽一致的种子播种,播种深度约 2 cm,每穴呈品字形播种 3 粒种子,待长出第一对真叶后间苗,株行距均为 15 cm。播种后放在人工气候室内培养,白天室温 25℃,夜晚室温 20℃,光照时间为 8:00~20:00,光照强度为 600 μmol·m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>,出苗后进行 UV-B 处理。UV-B 灯管选自北京电光源研究所,将灯管悬挂在植株的上方,UV-B 每天照射 8 h,照射强度为 15 μW·cm<sup>-2</sup>,用北京师范大学生产的 UVB/UVC 双通道紫外辐照计测定。对照(CK)只悬挂灯具不照射 UV-B。CK 和 UV-B 处理各设 6 个重复。

### 1.3 测定项目和方法

分别于播种后 20 d、40 d 及 60 d 取样测定。

1.3.1 形态指标的测定 将大豆拔出,测量生根处到茎尖端生长点的长度作为株高指标。测定株高的同时测定鲜重,然后在 80℃干燥箱中烘干 48 h,冷却后测定干重。每处理共测定 10 株。用 CI-203 激光叶面积仪测定植株的叶面积,每处理共测定 10 株。

1.3.2 色素含量的测定 用 SPAD-502 测量最上部完全展开叶的中间小叶的叶绿素值,每株测一个叶片,每个叶片测 3 次取平均值,每个处理测定 10 个叶片。按照 Sims and Gamon 2002<sup>[10]</sup>的方法,用 Unispec 光谱仪测定最上部完全展开叶的中间小叶的反射光谱,利用计算所得参数(比值),评价紫外线处理前后花青素及类胡萝卜素含量的变化,每处理测定 10 株。

1.3.3 光合作用相关指标的测定 采用考马斯亮蓝 G-250 法<sup>[11]</sup>测定最上部完全展开叶片的可溶性蛋白质含量,重复 5 次。将待测叶片暗适应 20 min 后用 OS-30P 荧光仪测定叶片的荧光参数(Fv/Fm),测定部位同色素含量,每处理测定 5 片叶。采用 CI-340 测定光合速率,测定部位同色素含量,每处理测定 5 片叶。

## 2 结果与分析

### 2.1 UV-B 处理对形态指标的影响

株高是植物体形态特征的一个重要指标。从图 1A 可以看出,UV-B 处理对大豆的株高有抑制作用,且随着处理日数的增加抑制作用更加明显。与对照相比,播种后 20 d、40 d 和 60 d 的大豆植株株高分别降低 4.9%、13.8% 和 10.6%。UV-B 处理同样抑制了植株鲜重及干重,其变化趋势与株高基本相同(图 1B、C),与对照相比,播种后 20 d、40 d 和 60 d 鲜重及干重分别减少 17.8%、10.7%、25.5% 和 22.3%、20.9%、25.6%。UV-B 处理使叶片变小(图 1D),播种后 20 d、40 d 和 60 d 进行 UV-B 处理的叶面积分别比对照减小 15.2%、20.4% 和 41.6%。说明 UV-B 处理对大豆的生长和生物量具有抑制作用。

### 2.2 UV-B 处理对色素含量的影响

UV-B 处理使大豆植株叶绿素含量呈降低趋势(图 2A),而且随着处理时间的延长抑制作用增加。播种后 20 d、40 d 和 60 d 的叶绿素含量分别比对照降低 3.2%、13.2% 和 29.4%。说明 UV-B 辐射使叶绿素含量降低,不利于叶片的光合作用。从图 2B

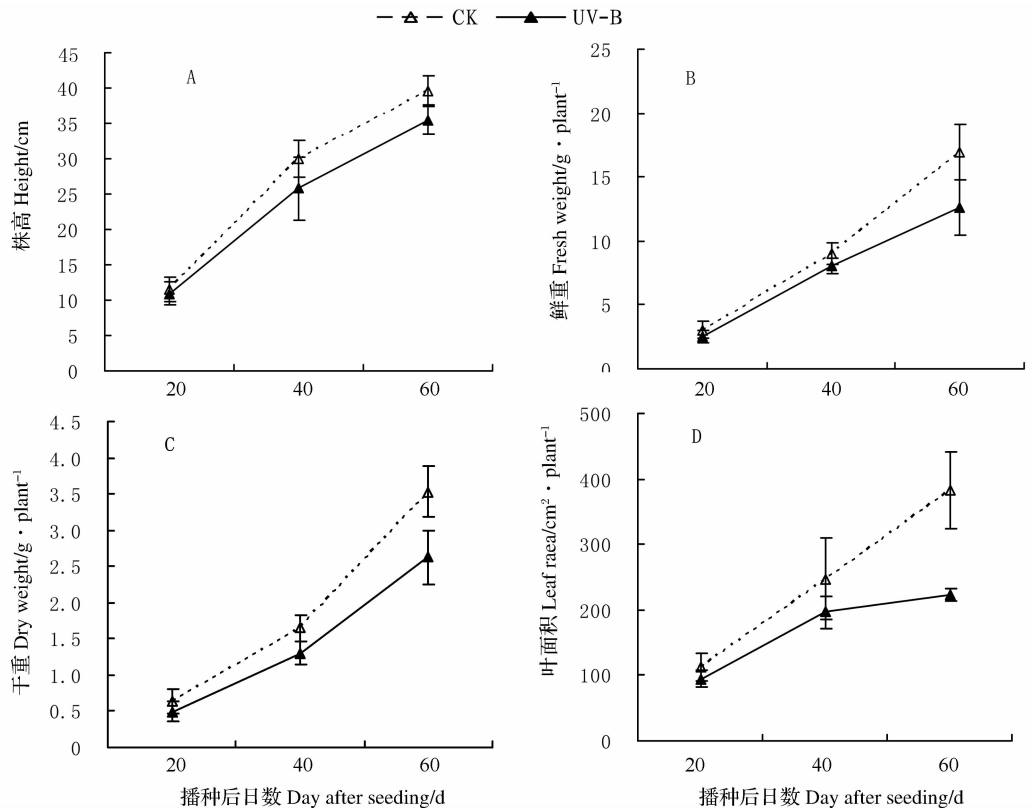


图1 UV-B 处理对大豆株高、干鲜重、叶面积的影响

Fig. 1 The effect of UV-B treatment on height, dry weight, fresh weight and leaf area of soybean

可知,UV-B 处理导致类胡萝卜素含量增加,播种后 20 d、40 d 和 60 d 的类胡萝卜素含量分别比对照增加 8.2%、17.9% 和 11.5%。说明 UV-B 可诱导类胡萝卜素的合成。类胡萝卜素既能够吸收和传递光能,又能够保护叶绿素免受过剩光能的伤害。花青

素是植物的次级代谢产物,属于酚类化合物中的类黄酮类,能吸收 UV-B,避免细胞受到强烈 UV-B 的伤害。从图 2C 可以看出,UV-B 处理使花青素含量增加,播种后 20 d、40 d 和 60 d 的花青素含量分别比对照增加 9.3%、20.7% 和 6.1%。

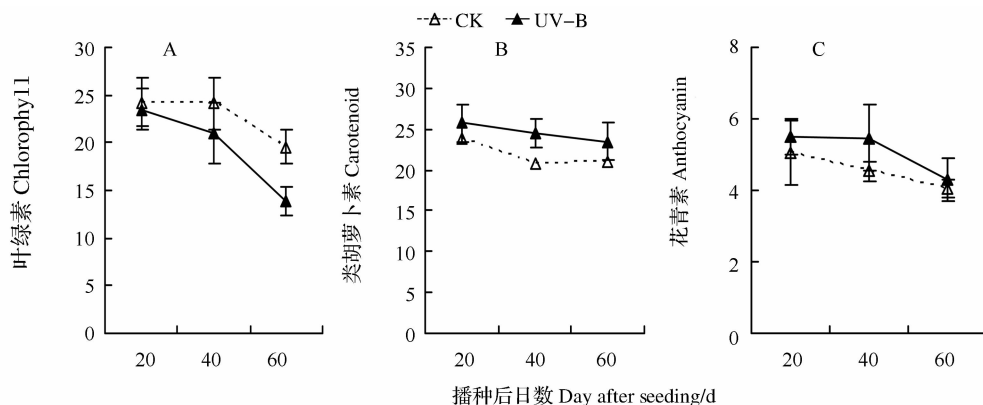


图2 UV-B 处理对大豆叶片叶绿素、类胡萝卜素及花青素含量的影响

Fig. 2 The effects of UV-B treatment on chlorophyll, carotenoid and anthocyanin content of soybean

### 2.3 UV-B 处理对光合作用相关指标的影响

核酮糖 1,5-二磷酸羧化酶/加氧酶 (RuBisCo) 是 CO<sub>2</sub> 同化的重要限速酶。叶片可溶性蛋白中 RuBisCo 的含量大约占 50%<sup>[12]</sup>。UV-B 处理抑制了叶片

的可溶性蛋白质含量 (图 3A), 播种后 20 d、40 d 和 60 d 进行 UV-B 处理的叶片可溶性蛋白质含量分别比对照降低 25.3%、45.2% 和 19.5%。叶片可溶性蛋白质含量降低不利于光合作用的碳同化。Fv/

F<sub>m</sub> 是暗适应下 PS II 反应中心完全开放时的最大光化学效率,反映 PS II 反应中心最大光能转换效率。UV-B 处理使大豆叶片的 F<sub>v</sub>/F<sub>m</sub> 减小。与对照相比,播种后 20 d、40 d 和 60 d 的 F<sub>v</sub>/F<sub>m</sub> 分别降低 3.4%、1.3% 和 3.2%。说明 UV-B 处理对 PS II 反应中心的功能有抑制作用(图 3B)。光合速率反映了

植物叶片光合作用的强弱,直接关系到植物体的生物产量和干物质积累。UV-B 处理抑制了大豆植株叶片的光合速率(图 3C),与对照相比,播种后 20 d、40 d 和 60 d 的光合速率分别降低 10.0%、25.0% 和 16.0%。光合速率的降低可能与 F<sub>v</sub>/F<sub>m</sub> 及可溶性蛋白质含量受到明显抑制有关。

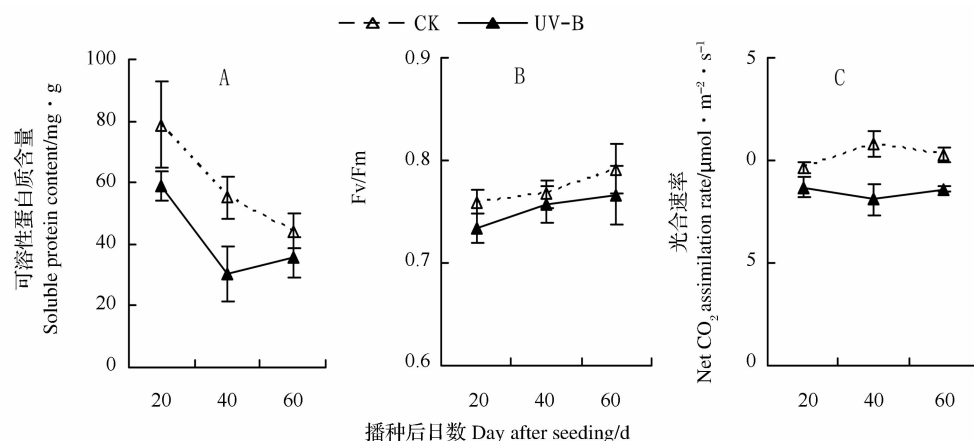


图 3 UV-B 处理对大豆叶片可溶性蛋白质含量、F<sub>v</sub>/F<sub>m</sub> 及光合速率的影响

Fig. 3 The effect of UV-B treatment on soluble protein content, F<sub>v</sub>/F<sub>m</sub> and net CO<sub>2</sub> assimilation rate of soybean

### 3 讨论

叶绿素位于类囊体膜上,是主要的光合色素。UV-B 辐射抑制了叶绿素的含量,这一结果与多数报道相同<sup>[4,6,8]</sup>。UV-B 可能是通过加速叶绿素的分解或抑制叶绿素的合成使叶片的叶绿素含量降低。UV-B 辐射使类胡萝卜素的含量增加。类胡萝卜素作为光合作用的辅助色素将所吸收的光能传递给叶绿素,用于推动光化学过程。类胡萝卜素除了有吸收传递光能的作用外,还可逸散能量,具有使叶绿素免遭伤害的光保护作用。因此,类胡萝卜素含量的增加可以减少 UV-B 对叶绿素的伤害,进而使植株的光合作用受到较少的伤害。花青素又称“花色素”,属于黄酮类化合物。花青素在植物中常以糖苷形式存在,称作花青素苷或花色素苷。花青素能够吸收 UV-B,对叶肉细胞内的生物大分子具有保护作用。作为一种保护机制,当植物受到 UV-B 胁迫时会诱导合成花青素,以减轻 UV-B 对植物体的伤害。结果显示,UV-B 处理及复合处理均使叶片的花青素含量增加,分析是 UV-B 作为胁迫信号诱导了花青素的合成。

增强的 UV-B 对叶面积的影响只是涉及到每片叶片的大小,对叶片数量没有影响(结果未显示)。UV-B 处理抑制了叶片的光合速率,分析是 UV-B 辐

射处理降低了 F<sub>v</sub>/F<sub>m</sub> 及可溶性蛋白质含量所致。

郑有飞等<sup>[13]</sup>指出,UV-B 辐射显著降低大豆的总生物量,原因可能是增强的 UV-B 辐射使植物体内产生大量的自由基,使净光合速率降低,同时叶面积指数降低,光合有效面积减少,引起植株光合能力下降,从而降低总生物量和产量。结果显示,UV-B 辐射增强条件下株高、鲜重及干重受到抑制,与光合面积减少,光系统 II 功能降低,可溶性蛋白质含量下降,光合色素含量及净光合速率降低有很大关联。

### 参考文献

- [1] Munakata N, Cornain S, Kanoko M, et al. Biological monitoring of solar UV radiation at 17 sites in Asia, Europe and South America from 1999 to 2004 [J]. Photochemistry and Photobiology, 2006, 82:689-694.
- [2] Dai Q J, Peng S B, Chaveez A Q. Intraspecific responses of 188 rice cultivars to enhanced UV-B radiation [J]. Environmental and Experimental Botany, 1995, 34:433-438.
- [3] Li Y, Zu Y Q, Chen H Y, et al. Intraspecific responses in crop growth and yield of 20 wheat cultivars to enhanced ultraviolet-B radiation under field conditions [J]. Field Crops Research, 2000, 67: 25-33.
- [4] 戴浩,周青. UV-B 胁迫对大豆幼苗光呼吸的影响 [J]. 大豆科学, 2008, 27(3): 447-450. (Dai H, Zhou Q. Effect of UV-B stress on photorespiration in soybean seedlings [J]. Soybean Science, 2008, 27(3): 447-450.)

(下转第 238 页)

平均转化能力参数相应提高。各试验由于取材不同而造成相关性的很大差异给选择高转化能力材料带来了机会。实际收获指数与粒茎比的相关系数都达到了显著或极显著水平,利用粒茎比或表观收获指数作指标就可以有效地选择实际收获指数。

## 参考文献

- [1] Schapaugh Jr W T, Wilcox J R. Relationship between harvest indices and other plant characteristics in soybean[J]. Crop Science, 1980, 20: 529-533.
  - [2] 顾文祥. 江淮下游地区大豆地方品种几个生理性状遗传变异的初步研究[D]. 南京: 南京农业大学, 1984 (Gu W X. Preliminary studies on inheritance and variation of several physiological characters of local soybean varieties in lower reaches of Yangtze and Huaihe rivers [D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 1984. )
  - [3] 冯其虎, 张复宁. 江苏淮北地区夏大豆品种更替中产量及有关性状的改良与展望[J]. 大豆科学, 1991, 10(3): 172-178. (Feng Q H, Zhang F N. Improvement and prospect for yield and relative characters in substitution of summer soybean cultivars in the northern part of the Huaihe valley of Jiangsu province[J]. Soybean Science, 1991, 10(3): 172-178. )
  - [4] 赵福林. 大豆高产生理育种基础研究十年[C]. 全国第五次大豆学术讨论会论文, 1994. (Zhao F L. Studies on Physiological breeding basis of soybean high-yielding in ten years[C]. Five<sup>th</sup> Soybean Conference in China, 1994. )
  - [5] 张恒善. 丰产大豆干物质生产与分配特点的研究[J]. 大豆科学, 1983, 2(1): 75-81. (Zhang H S. Studies on production and distribution of dry matter of high-yielding soybean[J]. Soybean Science, 1983, 2(1): 75-81. )
  - [6] Morrison M J, Voldeng H D, Cober E R. Physiological changes from 58 years of genetic improvement of short-season soybean cultivars in Canada[J]. Agronomy Journal, 1999, 91: 685-689.
  - [7] Mehete S S, Jamadagni B M. Biomass partitioning and growth characters in relation to plant architecture in soybean[J]. Soybean Genetic Newsletters, 1996, 23: 92-97.
  - [8] 杜维广, 张桂茹, 栾晓燕, 等. 大豆转化系数的研究 I、转化系数及产量间的相关分析[J]. 中国油料, 1989(1): 25-28. (Du W G, Zhang G R, Luan X Y, et al. Study on conversion indexes of soybean I. correlation analysis conversion indexes and yield of seeds [J]. Oil Crops of China, 1989(1): 25-28. )
  - [9] 王彦丰. 大豆早熟品种高产的生理基础[J]. 中国油料, 1981, 1, 52-56. (Wang Y F. Physiological basis of high-yielding of early maturing cultivars in soybean[J]. Oil Crops in China, 1981, 1, 52-56. )
  - [10] 赵凯. 大豆不同类型品种粒茎比与产量等性状关系的研究[J]. 大豆科学, 1984, 3(4): 281-285. (Zhao K. Studies on relationship between seed-stem rate and yield characters of different type cultivars in soybean [J]. Soybean Science, 1984, 3(4): 281-285. )
  - [11] 胡明祥, 李开明, 于德洋, 等. 大豆高产株型研究[J]. 吉林农业科学, 1980(3): 1-14. (Hu M X, Li K M, Yu D Y, et al. A Study on high-yielding plant shape in soybean[J]. Journal of Jilin Agricultural Sciences, 1980, (3): 1-14. )
- 
- (上接第 232 页)
- [5] 林文雄, 吴杏春, 梁义元, 等. UV-B 辐射胁迫对水稻叶绿素荧光动力学的影响[J]. 中国生态农业学报, 2002, 10(1): 8-12. (Lin W X, Wu X C, Liang Y Y, et al. Effects of enhanced UV-B radiation stress on kinetics of chlorophyll fluorescence in rice *Oryza sativa* L [J]. Chinese Jours of Eco-Agriculture, 2002, 10(1): 8-12. )
  - [6] 罗南书, 钟章成. 田间增加 UV-B 辐射对玉米光合生理的影响[J]. 生态学杂志, 2006, 25(4): 369-373. (Luo N S, Zhong Z C. Effects of enhanced ultraviolet-B radiation on photosynthesis of maize[J]. Chinese Journal of Ecology, 2006, 25(4): 369-373. )
  - [7] 唐莉娜, 林文雄, 梁义元, 等. UV-B 辐射对水稻蛋白质及核酸的影响[J]. 中国生态农业学报, 2004, 12(1): 40-42. (Tang L N, Lin W X, Liang Y Y, et al. Effects of enhanced ultraviolet-B radiation on soluble protein and nucleic acid in rice leaves[J]. Chinese Jours of Eco-Agriculture, 2004, 12(1): 40-42. )
  - [8] Feng H Y, An L Z, Chen T, et al. The effect of enhanced ultraviolet-B radiation on growth, photosynthesis and stable carbon isotope composition( $\delta^{13}\text{C}$ ) of two soybean cultivars (*Glycine max*) under field conditions [J]. Environmental and Experimental Botany, 2003, 49(1): 1-8.
  - [9] Murali N S, Teramura A H. Effects of supplemental ultraviolet-B radiation on the growth and physiology of field-grown soybean[J]. Environmental and Experimental Botany, 1986, 26(3): 233-242.
  - [10] Sims D A, Gamon J A. Relationships between leaf pigment content and spectral reflectance across a wide range of species, leaf structures and developmental stages [J]. Remote Sensing of Environment, 2002, 81: 337-354.
  - [11] 邹琦. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000: 129-130. (Zhou Q. Plant physiology experiment directions [M]. Beijing: Agricultural Press, 2000: 129-130. )
  - [12] People M B, Rato J S, Atkins C A. Mobilization of nitrogen in fruiting plants of acultivar of cowpea[J]. Journal of Experimental Botany, 1983, 34: 563-578.
  - [13] 郑有飞, 简慰民, 李秀芬, 等. 紫外辐射对大豆影响的进一步分析[J]. 环境科学学报, 1998, 18(5): 549-552. (Zheng Y F, Jian W M, Li X F, et al. Effect of enhanced solar ultraviolet radiation on soybean [J]. Acta Scientiae Circumstantie, 1998, 18(5): 549-552. )