

硅和紫外辐射对大豆幼苗生理特性的影响

沈雪峰,董朝霞,陈 勇

(华南农业大学 农学院,广东 广州 510642)

摘要:以大豆中黄 35 为试验材料,采用室内水培法,研究了施硅处理对紫外辐射 (UV-B, 280 ~ 320 nm) 下大豆幼苗生长发育、硅元素含量与分布以及生理特性的影响。结果表明:在 UV-B 辐射条件下,施用 $1.70 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 硅处理后大豆幼苗的株高、总干重、叶面积和根冠比,分别增加了 11.0%、26.6%、60.4% 和 15.0%;幼苗叶片和茎秆中的硅元素含量分别增加了 6.9 和 4.5 倍;幼苗叶片中的类胡萝卜素、可溶性酚类物质和蜡质的含量分别增加了 94.9%、14.8% 和 52.9%,花青素含量降低了 91.5%。可见,施硅处理在一定程度上能够缓解 UV-B 辐射对大豆幼苗造成的伤害。

关键词:大豆;硅;紫外辐射;花青素;可溶性酚类物质

中图分类号:S565.1

文献标识码:A

DOI:10.11861/j.issn.1000-9841.2014.06.0857

Effects of Silicon and UV-B Radiation on Physiological Characteristics of Soybean Seedlings

SHEN Xue-feng, DONG Zhao-xia, CHEN Yong

(College of Agriculture, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

Abstract: The study was conducted to investigate the effect of silicon on the growth, content of silicon and physiological characteristics in soybean (*Glycine max* L. Zhonghuang 35) seedlings under UV-B radiation in 2012 in a growth chamber in South China Agricultural University. The results showed that the shoot height, total dry weight, leaf area and root/shoot ratio were increased by 11.0%, 26.6%, 60.4% and 15.0% with silicon ($1.70 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$) application under UV-B radiation stress. The content of silicon in the shoot and leaf of soybean were increased by 6.9 and 4.5 times with silicon treatment under UV-B stress. The contents of carotenoid, soluble phenols and wax in the soybean seedling leaf-blades were increased, but the contents of anthocyanins were decreased with silicon under UV-B radiation. To some extent, silicon could alleviate the injury of soybean seedlings under UV-B radiation.

Key words: Soybean; Silicon; Ultraviolet-B radiation; Anthocyanins; Soluble phenols

大气中臭氧层的损耗导致到达地球表面的 UV-B 辐射增强,从而对地面上植物的形态和生理机能包括植物的叶面积、叶绿素含量、光合作用、蛋白质和 DNA 等造成了很大的伤害^[1]。UV-B 辐射引起的活性氧(如 $\cdot\text{O}_2$ 、 $\cdot\text{OH}$ 、 H_2O_2 和 O)伤害,是造成植物光损伤和光渗漏的主要原因^[2]。随着 UV-B 辐射强度的增加,植物须通过多种适应机制来减弱这种伤害,如增加酚类化合物的合成与积累^[3],增强自身的抗氧化能力,增厚蜡质层和角质层等^[4]。王仕稳^[5]研究认为,植物叶片的蜡质层增厚是减少 UV-B 辐射伤害的机制之一,而 Li 等^[6]报道,植物表层及液泡内所富集的大量酚类化合物及其次生代谢产物(如类黄酮、苯丙烷类衍生物等)能吸收 UV-B 辐射,能够避免 UV-B 辐射的直接伤害。

硅作为高等植物的有益元素,主要体现在其显著提高植物抵抗生物和非生物胁迫的能力方面。硅可以提高水稻的抗病性^[7],降低植物的蒸腾速率^[8],缓解重金属毒害^[9],提高大豆产量^[10]。也有报道,硅能够增强作物抗紫外辐射^[3,6,11]。然而,关

于紫外辐射条件下硅处理大豆幼苗的生理特性以及硅元素含量的研究报道较少。为此,以大豆中黄 35 为材料,研究紫外辐射条件下,施硅处理对大豆幼苗生长发育、硅元素含量与分布以及相关生理生化指标的变化,从而为当前农业生产上硅肥的应用提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验于 2012 在华南农业大学农学院 517 光照培养室进行。以大豆品种中黄 35 为试验材料。种子经 10% 的次氯酸钠消毒后,播种于盛有蛭石的塑料盆中,并定期浇水。依据前期的试验^[11],待两片真叶露出(播后约 7 d),挑选生长一致的幼苗移至 1/2 Hogland 营养液中。生长室的培养条件为:光周期 12 h/12 h(光照/黑暗),光照强度 $400 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,温度 $25^\circ\text{C}/22^\circ\text{C}$ (昼/夜),相对湿度 50%。待第一片复叶完全展开,进行施硅(硅酸钾, $1.70 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$)处理。UV-B 辐射处理采用高度可调节的铁架,悬挂

收稿日期:2014-02-10

基金项目:广东省自然科学基金(S2012040007707);高等学校博士学科点专项科研基金(20124404120011)。

第一作者简介:沈雪峰(1982-),男,博士,讲师,主要从事作物栽培与生理研究。E-mail: xuefengshen@126.com。

40 W 的 UV-B 灯管(北京电光源研究所生产,峰值 308 nm)于大豆植株上方约 35 cm 处,产生的 UV-B 辐射经 0.13 mm 乙酸纤维膜过滤(吸收所有的 300 nm 以下的辐射)。模拟增强的 UV-B 辐射强度为 $2.7 \text{ kJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$,相当于夏季北京地区上空臭氧层减少 30% 的紫外辐射强度^[5]。

试验共设 4 个处理:CK 处理(经 0.13 mm 乙酸纤维膜过滤);Si 处理(Si 浓度 $1.70 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$);UV-B 辐射(UV-B 辐射强度为 $2.7 \text{ kJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$);UV-B + Si 处理(UV-B 辐射强度为 $2.7 \text{ kJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$, Si 浓度 $1.70 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$)。设 3 次重复,每个重复 8 株幼苗。于施硅处理 3 d 后,每天 8:00~16:00 进行 UV-B 辐射胁迫。UV-B 辐射处理 7 d 后取样,待测。

1.2 测定项目与方法

1.2.1 形态指标 植株的株高、干重、叶面积和根冠比。

1.2.2 生理指标 花青素含量测定参照 Dai 等^[12]的方法,类胡萝卜素含量测定参照 Arnon^[13]的方法,可溶性酚类物质测定参照 Dunning 等^[14]的方法,叶片蜡质含量测定参照 Steinmuller 等^[15]的方法。硅

元素含量的测定采用干灰化-氢氟酸溶解,钼蓝比色法^[16]。

1.3 数据分析

采用 Excel 2003 和 SAS V8 软件(SAS Institute, Cary, NC)对数据进行分析。

2 结果与分析

2.1 不同处理对大豆幼苗生长的影响

由表 1 可以看出,施 Si 处理大豆幼苗的株高、总干重、叶面积和根冠比与对照差异不显著;UV-B 辐射处理的各项指标则显著低于对照,降幅分别为 19.0%、30.4%、60% 和 27.8%;UV-B + Si 处理下,幼苗株高和总干重显著低于对照和施 Si 处理,与 UV-B 处理差异不显著;叶面积和根冠比则显著低于对照和施 Si 处理。说明 UV-B + Si 处理可缓解 UV-B 对各项指标的降低作用,其中对叶面积及根冠比的影响比较显著,UV-B + Si 处理较 UV-B 处理幼苗叶面积及根冠比分别增加了 60.4% 和 15.00%。

表 1 UV-B 辐射条件下,施硅处理对大豆幼苗株高、叶面积、生物量及根冠比的影响

Table 1 Effect of silicon on shoot length, leaf area, total dry weight, and root to shoot (R/S) ratio of soybean seedlings under UV-B radiation

处理 Treatment	株高 Shoot height/cm	株总干重 Total dry weight per plant/g	叶面积 Leaf area/cm ²	根冠比 R/S ratio
CK	31.87 a	0.965 a	39.7 a	0.176 a
Si	31.73 a	1.006 a	41.0 a	0.190 a
UV-B	25.82 b	0.672 b	15.9 c	0.127 c
UV-B + Si	28.65 b	0.851 b	25.5 b	0.146 b

同一性状的不同字母表示在 0.05 水平差异显著。下同。

Different letters of the same trait indicate a significant difference. The same below.

2.2 不同处理对大豆植株硅元素含量的影响

由表 2 可以看出,与对照相比,施 Si 处理大豆整株的硅元素含量增加了 83.6%,其中,根系和叶片的硅含量分别增加了 78.1% 和 142.0%;UV-B 辐射处理大豆整株的硅元素含量减少了 41.9%,其

中,根系和茎秆的硅含量分别减少了 60.9% 和 78.6%;UV-B + Si 处理大豆整株的硅含量比 UV-B 辐射处理增加 186.1%,其中,茎秆和叶片的硅含量显著提高,分别增加了 6.9 和 4.5 倍,差异显著。

表 2 大豆样品中的硅元素含量

Table 2 The content of silicon in the root, shoot and leaf of soybean seedlings

处理 Treatment	根 Root/ $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$	茎 Shoot/ $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$	叶 Leaf/ $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$	整株 Whole plant/ $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$
CK	0.338 b	0.070 b	0.000 c	0.408 b
Si	0.602 a	0.004 c	0.143 b	0.749 a
UV-B	0.132 c	0.015 c	0.091 b	0.237 c
UV-B + Si	0.060 d	0.119 a	0.500 a	0.678 a

2.3 不同处理对大豆幼苗生理指标的影响

2.3.1 对大豆幼苗花青素含量的影响 一般研究认为,花青素具有较强的屏蔽 UV-B 辐射及保护植物的作用。由图 1A 可以看出,与对照相比,施 Si 处理大豆幼苗的花青素含量增加了 329.8%,UV-B 辐射处理幼苗叶片的花青素含量增加了 19 倍之多;

UV-B + Si 处理较 UV-B 辐射幼苗叶片的花青素含量减少了 91.5%,但含量仍显著高于对照和施 Si 处理,可见,UV-B + Si 处理在一定程度上缓解了 UV-B 辐射对叶片造成的伤害。

2.3.2 对大豆幼苗类胡萝卜素含量的影响 在植物中,类胡萝卜素担当叶绿体光合作用的辅助色

素,保护叶绿素免受强光破坏。与对照相比,施 Si 处理对大豆叶片类胡萝卜素含量无影响,UV-B 辐射处理叶片类胡萝卜素含量减少 76.4%;与 UV-B 辐射处理相比,UV-B + Si 处理的类胡萝卜素含量增加了 94.9%,显著低于对照和施硅处理(图 1B),说明 UV-B 辐射条件下施 Si 可以在一定程度上缓解 UV-B 对大豆叶片的伤害。

2.3.3 对大豆幼苗可溶性酚类物质和蜡质含量的影响 可溶性酚类物质主要集中于叶片表皮细胞,具有较强的 UV-B 辐射吸收能力。而叶片表面蜡质则具有反射太阳光线的作用。由图 1C 和 1D 可知,与对照相比,施 Si 处理大豆幼苗叶片的可溶性酚类物质和蜡质的含量分别提高了 15.0% 和 76.1%,UV-B 辐射处理幼苗叶片中的可溶性酚类物质和蜡质的含量分别提高了 71.6% 和 124.9%;UV-B 辐射条件下施 Si 处理进一步显著提高可溶性酚类物质和蜡质的含量,分别比 UV-B 处理提高了 14.8% 和 52.9%。

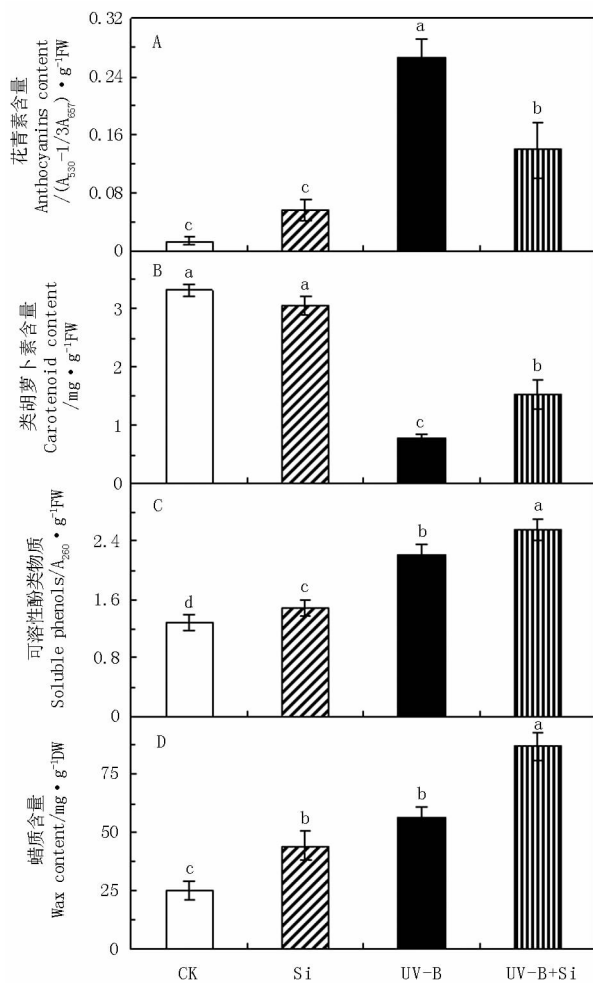


图 1 各处理对大豆叶片花青素、类胡萝卜素、可溶性酚类物质和蜡含量的影响

Fig. 1 Effects of the treatments on the content of anthocyanins, carotenoid, soluble phenols and wax in the soybean seedling leaf-blades

3 讨 论

UV-B 辐射胁迫会导致作物形态发生变异,植株降低,叶片面积减小,生物量下降等^[1]。陈建军等^[17]的研究表明,增强 UV-B 辐射可显著降低大豆的叶、籽粒、根和茎的生物量,20 个大豆品种的总生物量均有不同程度的降低。本研究发现,在 2.7 kJ·m⁻²·d⁻¹ 紫外辐射强度处理下,大豆幼苗株高、叶面积、总干重显著降低,根冠比显著下降。而在紫外辐射条件下施硅处理后,大豆幼苗的株高、总干重、叶面积和根冠比有所提高,分别增加了 11.5%、26.7%、60.4% 和 14.7%。这与前人^[3,6,11]的研究结果一致。

Li 等^[6]研究发现,紫外条件下,加硅处理的水稻叶片能够吸收较多的紫外物质,并称其为硅受体。高臣等^[18]研究报道,施硅处理有利于水稻叶片表面形成硅化细胞,能够提高叶片表面硅元素含量。本研究发现,紫外辐射条件下,施 Si 处理可以显著提高大豆细苗叶片和茎秆中的硅元素含量,分别增加了 6.9 和 4.5 倍。

UV-B 辐射增加了植物叶片的花青素和 UV-B 辐射吸收物质(包括类黄酮和可溶性酚类物质)的积累,而在 UV-B 辐射到达 UV-B 敏感目标(如叶绿体和其他细胞器)前,这些物质通过吸收 UV-B 辐射起到屏蔽太阳辐射作用。这些物质(如类黄酮和酚类物质)主要集中于叶片表皮细胞并具有较强的 UV-B 辐射吸收能力,减少 UV-B 辐射进入植物体内,同时还可以作抗氧化物质,通过清除活性氧类物质的积累,保护植物免受活性氧的伤害。Li 等^[6]研究报道,施硅的水稻叶片酚类物质增加 21%,这一结果暗示硅营养能够调控水稻的酚类代谢,进而提高水稻的 UV-B 辐射防御能力。吴杏春等^[3]研究认为,硅营养能够在一定程度上调节水稻的酚类代谢,能够促进叶片表面酚类物质的合成以吸收 UV-B 辐射。本研究结果发现,UV-B 辐射处理大豆幼苗叶片的花青素、可溶性酚类物质和蜡质的含量分别提高了 1 928.0%、71.6% 和 124.9%;而 UV-B 辐射条件下施硅处理花青素含量下降 91.5%,可溶性酚类物质和蜡质的含量分别提高了 14.8% 和 52.9%。

UV-B 辐射增强引起膜脂过氧化导致叶绿体膜系统破坏,脂肪酸组分比例失调,膜流动性下降,光合色素降解,希尔反应活力降低^[19]。类胡萝卜素作为叶绿体的保护色素,UV-B 辐射增强造成类胡萝卜素含量下降^[20]。杜英君等^[21]报道了 UV-B 辐射增强对紫杉幼苗针叶膜脂过氧化的影响,其结果表明,类胡萝卜素等的含量随着 UV-B 辐射胁迫时间的延长而下降。UV-B 作用下类胡萝卜素含量的下降使得其保护叶绿体免遭 UV-B 损伤的能力减弱,从而加剧了对叶绿体的伤害。本研究发现,UV-B 辐

射处理大豆幼苗叶片的类胡萝卜素含量降低了53.0%,施硅后叶片类胡萝卜素含量增加94.9%。除紫外吸收物质外,植物叶表皮的蜡质层也具有反射和传导UV-B辐射的功能。本研究发现,施Si处理提高了蜡质层的含量,紫外辐射施硅处理的蜡质层含量增加52.9%,这与王仕稳^[5]在杂草上的研究结果相一致。

4 结 论

在 $2.7\text{ kJ}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ UV-B辐射强度下,施用 $1.70\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 硅处理可减轻UV-B对大豆幼苗的伤害,能够改善幼苗的生长,提高株高、总干重、叶面积和根冠比,这与硅元素的吸收与运输有关,促进了幼苗叶片和茎秆中硅元素的含量分布。进入植株体内的硅可能参与植株的生理生化活动,施Si处理提高幼苗叶片中的类胡萝卜素、可溶性酚类物质和蜡质的含量,降低了花青素含量。UV-B辐射条件下施硅处理大豆叶片和茎秆中的硅元素含量显著提高,促进了叶片中的类胡萝卜素、酚类物质和蜡质含量的提高,改善了花青素的水平。至于施硅处理对蜡质、花青素的影响机制尚待进一步的研究。

参考文献

- [1] Kakani V G, Reddy K R, Zhao D, et al. Field crop response to ultraviolet-B radiation: A review[J]. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2003, 120(1-2): 191-218.
- [2] 林文雄. 水稻对UV-B辐射增强的生理响应及其分子机制研究[J]. *中国生态农业学报*, 2013, 21(1): 119-126. (Lin W X. Physiological responses and molecular mechanism of rice (*Oryza sativa*) exposed to enhanced UV-B radiation[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2013, 21(1): 119-126.)
- [3] 吴杏春, 陈裕坤, 李奇松, 等. 硅营养对UV-B辐射条件下水稻酚类代谢的影响[J]. *中国农学通报*, 2009, 25(24): 225-230. (Wu X C, Chen Y K, Li Q S, et al. Effects of silicon nutrition on phenolics metabolism of rice (*Oryza sativa* L.) exposed to enhanced Ultraviolet-B[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2009, 25(24): 225-230.)
- [4] 朱鹏锦, 尚艳霞, 师生波, 等. 植物对UV-B辐射胁迫响应的研究进展[J]. *热带生物学报*, 2011, 2(1): 89-96. (Zhu P J, Shang Y X, Shi S B, et al. Research progresses on plant responses to UV-B radiation stress[J]. *Journal of South China University of Tropical Agriculture*, 2011, 2(1): 89-96.)
- [5] 王仕稳. UV-B辐射增强对杂草生理生态以及对除草剂药效的影响[D]. 北京: 中国农业大学, 2007. (Wang S W. Effects of increased UV-B radiation on the weed eco-physiology and herbicide efficacy[D]. Beijing: China Agriculture University, 2007.)
- [6] Li W, Shi X, Wang H, et al. Effects of silicon on rice leaves resistance to ultraviolet-B[J]. *Acta Botanica Sinica*, 2004, 46(6): 691-697.
- [7] Resende R S, Rodrigues F A, Costa R V, et al. Silicon and fungicide effects on anthracnose in moderately resistant and susceptible sorghum lines[J]. *Journal of Phytopathology*, 2013, 161(1): 11-17.
- [8] Eneji A E, Inanaga S, Muranaka S, et al. Growth and nutrient use in four grasses under drought stress as mediated by silicon fertilizers[J]. *Journal of Plant Nutrition*, 2008, 31(2): 355-365.
- [9] Ma J F, Yamaji N. Silicon uptake and accumulation in higher plants[J]. *Trends in Plant Science*, 2006, 11(8): 392-397.
- [10] 沈雪峰, 李召虎, 段留生, 等. 硅对大豆碳代谢及产量形成的影响[J]. *大豆科学*, 2013, 32(2): 193-196. (Shen X F, Li Z H, Duan L S, et al. Effect of silicon on carbon metabolism and yield of soybean[J]. *Soybean Science*, 2013, 32(2): 193-196.)
- [11] Shen X F, Li X W, Li Z H, et al. Growth, physiological attributes and anti-oxidant enzyme activities in soybean seedlings treated with or without silicon under UV-B radiation stress[J]. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 2010, 196(6): 431-439.
- [12] Dai Q, Furness N H, Upadhyaya M K. UV-absorbing compounds and susceptibility of weedy species to UV-B radiation[J]. *Weed Biology and Management*, 2004, 4(2): 95-102.
- [13] Arnon D I. Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidase in *beta vulgaris*[J]. *Plant Physiology*, 1949, 24(1): 1-15.
- [14] Dunning C A, Chalker-scott L, Scott J D. Exposure to ultraviolet-B radiation increased cold hardiness in *Rhododendron*[J]. *Physiologia Plantarum*, 1994, 92(3): 516-520.
- [15] Steinmuller D, Tevini M. Action of ultraviolet radiation (UV-B) upon cuticular waxes in some crop plants[J]. *Planta*, 1985, 164: 557-564.
- [16] 王继朋. 硅在几种植物中的吸收、分配及其作用探讨[D]. 北京: 中国农业大学, 2003. (Wang J P. Silicon uptake, distribution and its subsequent function in several plants[D]. Beijing: China Agriculture University, 2003.)
- [17] 陈建军, 祖艳群, 陈海燕, 等. UV-B辐射增强对20个大豆品种生长与生物量分配的影响[J]. *农业环境科学学报*, 2004, 23(1): 29-33. (Chen J J, Zu Y Q, Chen H Y, et al. Influence of enhanced UV-B radiation on growth and biomass allocation of twenty soybean cultivars[J]. *Journal of Agro-environment Science*, 2004, 23(1): 29-33.)
- [18] 高臣, 刘俊渤, 常海波, 等. 硅对水稻叶片光合特性和超微结构的影响[J]. *吉林农业大学学报*, 2011, 33(1): 1-4. (Gao C, Liu J B, Chang H B, et al. Effects of silicon on rice leaf photosynthesis and ultrastructure[J]. *Journal of Jilin Agricultural University*, 2011, 33(1): 1-4.)
- [19] 杨景宏, 陈拓, 王勋陵. 增强紫外线B辐射对小麦叶绿体膜组分和膜流动性的影响[J]. *植物生态学报*, 2000, 24(1): 102-105. (Yang J H, Chen T, Wang X L. The influence of enhanced ultraviolet-B radiation on chloroplast membrane composition and membrane fluidity in wheat leaves[J]. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2000, 24(1): 102-105.)
- [20] 冯虎元, 安黎哲, 陈书燕, 等. 增强UV-B辐射与干旱复合处理对小麦幼苗生理特性的影响[J]. *生态学报*, 2002, 22(9): 1564-1568. (Feng H Y, An L Z, Chen S Y, et al. The interactive effects of enhanced UV-B irradiation and water deficit on physiological properties of spring wheat seedling[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(9): 1564-1568.)
- [21] 杜英君, 靳月华. 远紫外辐射对紫杉幼苗针叶膜脂过氧化及内源保护系统的影响[J]. *应用生态学报*, 2000, 11(5): 660-664. (Du Y J, Jin Y H. Effect of far-ultraviolet radiation on lipid peroxidation and inherent protection system in seedlings of *Taxus cuspidata*[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2000, 11(5): 660-664.)