

# 短期增强 UV2B 辐射对青榨槭幼苗生理特性的影响\*

左园园<sup>1,2</sup> 刘庆<sup>1\*</sup> 林波<sup>1</sup> 何海<sup>1,3</sup>

(<sup>1</sup> 中国科学院成都生物研究所, 成都 610041; <sup>2</sup> 中国科学院研究生院, 北京 100039; <sup>3</sup> 重庆师范大学, 重庆 400047)

**摘要** 在中国科学院茂县生态站选择 2 年生青榨槭幼苗进行室外盆栽实验, 以人工增强 0127 W#m<sup>-2</sup> (717 kJ#m<sup>-2</sup>#d<sup>-1</sup>) 的 UV2B 辐射剂量, 研究模拟当地平流层臭氧削减 15% 时近地面太阳 UV2B 的增强对木本植物幼苗生理生态适应性的影响. 处理 50 d 后, 移除 UV2B 处理装置, 就地测定气体交换参数和叶绿素荧光参数, 并取样测定叶绿素及 UV 吸收物质含量. 结果表明, 增强 UV2B 辐射显著降低了青榨槭幼苗叶片最大净光合速率 P<sub>max</sub> (对照为 61.214, 处理为 41.452), 显著增加叶片暗呼吸速率 R<sub>d</sub> (对照为 01.413, 处理为 11.295) 和光补偿点 LCP (对照为 211.629, 处理为 591.861), 但对表观量子速率 a (对照为 01.021, 处理为 01.032) 影响不明显; 它降低青榨槭幼苗每日净光合速率和水分利用效率, 以及原初光化学效率 (F<sub>v</sub>/F<sub>m</sub>) 和实际光化学量子产量 (5<sub>PS</sub>). 此外, 增强 UV2B 辐射使叶片叶绿素 a、b 含量降低 (对照为 161.23, 51.39, 处理为 131.17, 41.93), 但对叶绿素 b 含量影响未达显著水平. 增强 UV2B 处理降低了青榨槭幼苗 UV 吸收物质含量 (对照为 01.87, 处理为 01.79). 光合指标、叶绿素荧光指标和叶绿素含量的变化有较好的一致性, 表明增强 UV2B 对青榨槭幼苗的光合作用可能有一定的抑制作用.

**关键词** UV2B 辐射 青榨槭 生理生态  
**文章编号** 1001- 9332(2005)09- 1682- 05 **中图分类号** Q945 **文献标识码** A

Physiological responses of 2-year-old *Acer davidii* seedlings to short-term enhanced UV2B radiation. ZUO Yuanyuan<sup>1,2</sup>, LIU Qing<sup>1</sup>, LIN Bo<sup>1</sup>, HE Hai<sup>1,3</sup> (<sup>1</sup> Chengdu Institute of Biology, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610041, China; <sup>2</sup> Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China; <sup>3</sup> Chongqing Normal University, Chongqing 400047, China). *Chin. J. Appl. Ecol.*, 2005, 16(9): 1682~1686.  
At the Maoxian Ecological Experimental Station of Chinese Academy of Sciences in northwest Sichuan Province, 2-year-old native maple (*Acer davidii*) seedlings were potted outdoors with enhanced UV2B radiation (280~320 nm) of 0.27 W#m<sup>-2</sup> (7.7 kJ#m<sup>-2</sup>#d<sup>-1</sup>), which was approximated to the predicted enhanced UV2B reaching the earth surface when stratosphere ozone was depleted by 15% in the local area, with the control plant received ambient UV2B. The gas exchange index and chlorophyll fluorescence, and the contents of chlorophyll and UV2B absorbing compounds were examined after 50 days of the radiation. The results showed that enhanced UV2B radiation significantly lowered the maximal net photosynthetic rate (CK=61.214, TR=41.452), raised the dark respiration rate (CK=0.413, TR=1.295) and light compensation point (CK=211.629, TR=591.861), but had little effect on quantum yield (CK=0.021, TR=0.032). Under enhanced UV2B radiation, the diurnal changes in net photosynthetic rate, water use efficiency, quantum efficiency of photosystem II centers (F<sub>v</sub>/F<sub>m</sub>), and quantum yield of photosystem II photochemistry (5<sub>PS</sub>) were reduced, chlorophyll a, total chlorophylls, and chlorophyll a/b (CK=161.23, 51.39, TR=131.17, 41.93) were also markedly reduced, but chlorophyll b remained nearly unchanged. Contrary to the previous studies, enhanced UV2B radiation decreased the content of UV2B absorbing compounds (CK=0.87, TR=0.79) in 2-year-old *Acer davidii* seedling leaves, indicating that the measurement of leaf UV2B absorbing compounds didn't necessarily provide a good indicator of plant tolerance to UV2B. It could be concluded that enhanced UV2B radiation had some inhibitory effects on the photosynthesis of *Acer davidii* seedlings. Long-term researches are necessary to confirm this conclusion.

**Key words** UV2B radiation, *Acer davidii*, Physiological response.

## 1 引言

大气臭氧减少和由此引起的太阳 UV2B 辐射增强将对陆地植物产生深刻的影响. 近年来, 国内外学者广泛地开展了增强 UV2B 辐射对植物生长影响的研究<sup>[1]</sup>. 研究结果表明, 增强 UV2B 辐射会对植物的生长及生理生化过程产生不同程度的影响. 紫外

线辐射对植物光合速率影响的差别较大, 按照影响程度的强弱可分为敏感型、较敏感型和迟钝型三大类.

\* 国家重点基础研究发展规划项目 (G2000046802205)、中国科学院知识创新工程重大项目 (KSCX20202) 和国家/十五科技攻关资助项目 (2001BA606A20201)1  
\*\* 通讯联系人. E2mail: liuqing@cib1.ac.cn  
2004- 11- 17 收稿, 2005- 04- 01 接受.

UV2B 辐射对敏感型植物的影响主要表现为抑制植物生长和生物量积累<sup>[24]</sup>、降低植物的光合作用<sup>[18, 25]</sup>、增加暗呼吸<sup>[14]</sup>、降低叶绿素含量<sup>[12, 14]</sup>、引起紫外吸收化合物的增加等<sup>[16]</sup>。因此, 光合作用下降以及光呼吸和暗呼吸升高, 是植物生长受 UV2B 抑制的重要生理基础之一<sup>[16]</sup>。

青藏高原是同纬度的 3 个臭氧低谷中心。目前, 已有学者观察到青藏高原臭氧层的季节性衰减。强 UV2B 辐射对高原地区植物的形态结构及生理生化特征都具有深刻影响, 例如, 增加叶片厚度和降低净光合速率<sup>[22]</sup>、增加叶片 UV2B 吸收物质含量<sup>[21]</sup>、引起酶活性变化<sup>[7]</sup>等。但是, 在该区域增强 UV2B 辐射对木本植物影响的研究起步较晚, 有关报道较少。因此, 本实验以青藏高原东缘亚高山针叶林区大面积分布的青榨槭(*Acer davidii*)幼苗为研究对象, 研究增强 UV2B 辐射对阔叶树幼苗的气体交换、叶绿素荧光参数, 以及叶绿素和紫外吸收物质含量的影响, 以探讨木本植物对 UV2B 辐射的适应机制。

2 研究地区与研究方法

2.1 研究地区概况

实验地选择在中国科学院成都生物研究所茂县生态站内(103°51'04"~ 56°52'E, 31°37'20"~ 44°53'N), 地处岷江上游左岸一级支流大沟流域, 地形为峡谷区中山切割类型, 海拔 1500~ 3090 m。据茂县生态站多年的观测结果, 该区年均气温为 8.19℃, 年均积温 2 690.8℃, 年降水量 900 mm, 年蒸发量 795.8 mm, 属暖温带气候。该地区土壤为淋溶褐土和棕壤性土, pH 为 5.18~ 6.10<sup>[28]</sup>, 植被属针阔叶落叶常绿混交林, 现存植被多为次生植被。

于 2004 年 3 月 22 日从茂县大河坝林场苗圃采集 2 年生的青榨槭幼苗, 栽种于茂县生态站部分遮荫的棚内, 并于 2004 年 4 月中旬将苗木栽于直径为 30 cm、高 25 cm 的塑料盆中, 每盆土重 15 kg, 土壤来源于茂县生态站附近林下表层土。幼苗株高为 33.35~ 41.36 cm, 茎基粗 0.32~ 0.41 cm。在实验中, 幼苗水肥常规管理, 各组处理保持一致, 以使幼苗生长免受其它因素胁迫。

在茂县生态站选择平整开阔的空地布置实验。实验分为两组处理: 对照和增强 UV2B 辐射, 每组处理盆栽幼苗 30 株。幼苗上方搭设可调高度的钢架, 一组悬挂固定 UV2B 灯管, 另一组空置作为对照。根据 Elena 等<sup>[4]</sup>的研究方法, 实验中 UV2B 辐射强度模拟该地区臭氧层减薄 15% 时引起的 UV2B 辐射增加的强度, 已测当地夏至前后几日正午的紫外辐射强度平均值为 87 L W m<sup>-2</sup>, 实验模拟增加环境 UV2B 强度的 30%, 27 L W m<sup>-2</sup><sup>[20]</sup>, 确定将荧光灯管悬挂于距幼苗上方 40 cm 处进行照射。实验从 2004 年 5 月 1 日开始, 每天处理时间为 9: 00~ 17: 00, 阴雨天停止照射。

2.2 光合作用测定

在无 UV2B 处理环境条件下进行光合作用测定。光响应曲线测定在增强 UV2B 辐射 50 d 后进行。在处理和对照组中, 各选择生长状况接近的 3 株植物, 用便携式远红外气体分析仪(CI2PS 301, CID Inc, Vancouver, Washington, USA)测定顶端向下数第 2 片成熟叶片的净光合速率(P<sub>n</sub>)。测定光强设置为 0、50、300、800 和 1 000 L mol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>, 从高光强向低光强依次测定, 在光强为 0 L mol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> 测定时叶片先暗适应 20 min, 每组光强 3 次重复。

选择各处理相同的几株幼苗, 用便携式远红外气体分析仪测定顶端向下数第 2 片成熟叶片的净光合速率(P<sub>n</sub>)、蒸腾速率(E)和水分利用效率(WUE), WUE= P<sub>n</sub>/E<sup>[27]</sup>。实验选在晴天进行, 自 7: 00 到 19: 00(北京时间)2 h 测定一次, 每次进行多个重复。

2.3 叶绿素荧光参数

光合作用测定之后, 同样条件下用脉冲可调制荧光仪 Pan22100(Wal2 Effeltrich, Germany)测定相同位置叶片的叶绿素荧光参数。实验从 7: 00 到 19: 00, 每 2 h 测定一次。叶片测定之前暗适应 20 min, 依据宋丽丽等<sup>[23]</sup>的方法, 测定叶片的 F<sub>0</sub>、F<sub>m</sub>、F<sub>v</sub>/F<sub>m</sub> 及电子传递速率。

2.4 叶绿素含量测定

选择 5 株长势相近的植物, 取相同部位的叶片, 剪碎混匀, 准确称重 0.200 g, 投入装有 0.01 L 的乙醇丙酮混和液中(乙醇B丙酮= 1B2), 在 4℃ 暗处提取 5~ 7 d, 定容至 0.1 L, 在 Beckman DU27 型紫外分光光度计下测定波长为 663 和 645 nm 下吸光值, 计算叶绿素 a、b 含量<sup>[5]</sup>。

2.5 紫外吸收物质测定

选择 5 株植物, 取相同部位叶片, 剪碎混匀, 准确称重 0.1 g, 投入 0.01 L 甲醇B盐酸B水(79B1B20)的提取液中, 避光低温提取 5~ 7 d, 定容至 0.125 L, 在 Beckman DU27 型紫外分光光度计下做扫描光谱, 测定波长 305 nm 处吸光值<sup>[8]</sup>。

2.6 数据分析

光响应曲线采用 Michaelis-Menten 模型<sup>[17]</sup>进行拟合:

$$P_n = \frac{aPARP_{max}}{aPAR + P_{max}} - R_d$$

式中, P<sub>n</sub> 为净光合速率, PAR 为光合有效辐射, a 为弱光下光量子利用效率(即表观量子效率), P<sub>max</sub> 为最大净光合速率, R<sub>d</sub> 为表观暗呼吸速率, 光补偿点(LCP)通过下式计算:

$$LCP = \frac{P_{max}R_d}{a(P_{max} - R_d)}$$

模型采用 Microcal origin 5.10 统计分析软件进行拟合, 用 Spss 10.10 统计软件对光响应曲线参数、叶绿素含量及紫外吸收物质含量进行 One-Way ANOVA 分析。

3 结果与分析

3.1 增强 UV2B 对青榨槭光合作用的影响

增强 UV2B 辐射显著降低青榨槭幼苗叶片最大净光合速率(P<sub>max</sub>), 增加叶片暗呼吸速率(R<sub>d</sub>), 使光

表 1 增强 UV2B 辐射对青榨槭幼苗光响应曲线参数的影响  
Table 1 Effects of enhanced UV2B radiation on parameters of light responses curves of 22yearold A1 davidii seedlings (mean ± SE, n= 3) (Lmo#m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>)

	最大净光合速率 Maximal photosynth etic rate	表观量子产量 Quantum yield	暗呼吸速率 Dark respiration rate	光补偿点 Light compensation point
对照 CK	61.214? 01.362	01.021? 01.002	01.413? 01.096	211.629? 41.945
处理 Treatment	41.452? 01.281*	01.032? 01.006 <sup>n.s.</sup>	11.295? 01.143**	591.861? 31.301**

\* P[ 01.05; \*\* P[ 01.01; nls: 不显著 No significance1 下同 The same below1

补偿点(LCP)显著增加. 叶片表观量子速率(a)受 UV2B 处理后上升, 但差异并不显著(表 1).

增强 UV2B 辐射降低了青榨槭幼苗一日内净光合速率(P<sub>n</sub>)和水分利用效率(WUE)(图 1). 从 P<sub>n</sub> 日变化曲线可以看出, 增强 UV2B 对青榨槭叶片 P<sub>n</sub> 日变化趋势与对照相似, 均为双峰曲线, 呈现出午间(13:00)降低现象, 且在上午(9:00)时 P<sub>n</sub> 最大. WUE 日变化曲线与 P<sub>n</sub> 日变化近似, 增强 UV2B 辐射虽然降低了幼苗水分利用效率, 但均表现为 9:00 最高, 13:00 最低.

312 增强 UV2B 对青榨槭叶绿素荧光参数的影响

图 1 表明, 增强 UV2B 降低了一日内(9:00 以后)青榨槭叶片的原初光化学效率(F<sub>v</sub>/F<sub>m</sub>)和实际光化学量子产量(5<sub>PS0</sub>). 处理组与对照组幼苗 F<sub>v</sub>/F<sub>m</sub> 和 5<sub>PS0</sub> 日变化曲线相似, 均表现为在午前(11:00)出现低值, 随后处理组幼苗逐渐减小, 而对照组幼苗则逐渐增大.

313 增强 UV2B 对青榨槭光合色素和 UV2B 吸收物质含量的影响

表 2 结果表明, 增强 UV2B 辐射同时降低了青榨槭幼苗叶片中叶绿素 a、b 的含量, 但叶绿素 b 的变化差异未达到显著水平. 此外, 增强 UV2B 辐射使青榨槭叶片中 UV2B 吸收物质含量出现明显降低.

表 2 增强 UV2B 辐射对青榨槭幼苗叶绿素和 UV2B 吸收物质含量的影响  
Table 2 Effects of enhanced UV2B radiation on contents of chlorophyll and UV2Babsorbing compounds in leaves of 22yearold A1 davidii seedlings(means± SE, n= 5)

	叶绿素 a Chl a	叶绿素 b Chl b	总叶绿素 Chl( a+ b)	叶绿素 a/ b Chl a/ b	UV2B吸收物质 UV2Babsorbing at 305 nm
对照 Control	161.23? 01.51	51.39? 01.38	211.62? 01.84	310.2? 01.17	01.87? 01.03
处理 Treatment	131.17? 01.06**	41.93? 01.18 <sup>n.s.</sup>	181.11? 01.24**	216.7? 01.09*	01.79? 01.04*

4 讨 论

研究结果表明, 增强 UV2B 辐射显著降低了青榨槭幼苗的最大净光合速率(P<sub>max</sub>), 并使幼苗暗呼吸速率(R<sub>d</sub>)显著提高, 从而使光补偿点(LCP)显著提高. 此外, 对青榨槭幼苗的气体交换(图 1)和叶绿素荧光参数(图 2)日变化的测量结果表明, 增强

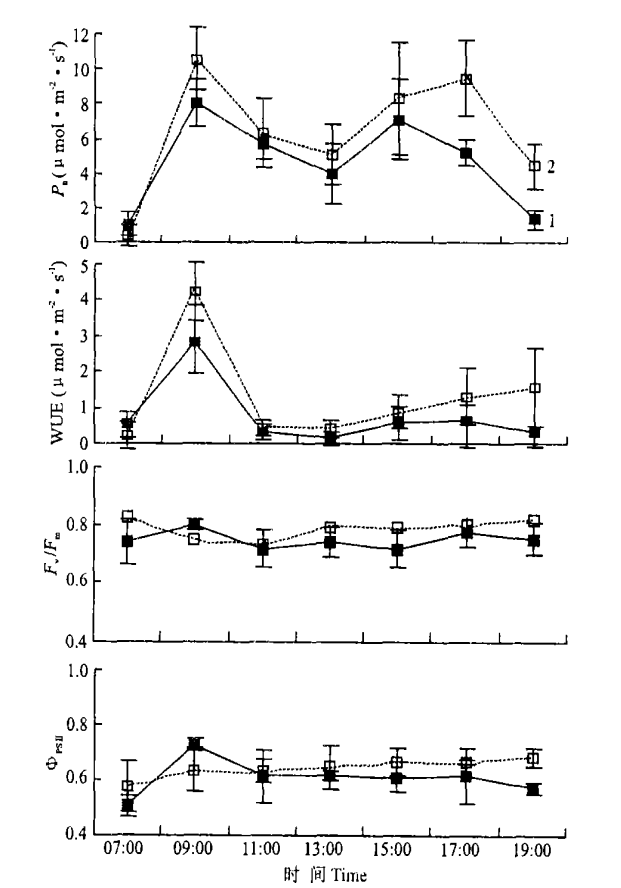


图 1 增强 UV2B 辐射对净光合速率(P<sub>n</sub>)、水分利用效率(WUE)、原初光化学效率(F<sub>v</sub>/F<sub>m</sub>)和电子传递效率(5<sub>PS0</sub>)的影响  
Fig. 1 Effects of enhanced UV2B radiation on diurnal changes of net photosynthetic rate(P<sub>n</sub>), water use efficiency(WUE), quantum efficiency of photosystem II centers(F<sub>v</sub>/F<sub>m</sub>) and quantum yield of photosystem II photochemistry(5<sub>PS0</sub>)(n= 3, ± SE)1) 对照 CK; 2) 处理 Treatment1

UV2B 辐射降低了一日内幼苗叶片的净光合速率(P<sub>n</sub>)、水分利用效率(WUE)、原初光化学效率(F<sub>v</sub>/F<sub>m</sub>)和实际光化学量子产量(5<sub>PS0</sub>)(11:00 以后), 致使幼苗光抑制程度加剧. 这与 Tevini 等<sup>[26]</sup> 和郑有飞等<sup>[29]</sup> 的研究结果一致, 表明增强 UV2B 辐射抑制了青榨槭幼苗的光合作用, 表现为 P<sub>max</sub> 和 P<sub>n</sub> 降低<sup>[1, 3]</sup>、R<sub>d</sub> 增加<sup>[11]</sup>, 以及 F<sub>v</sub>/F<sub>m</sub> 减小<sup>[10]</sup> 等.

增强 UV2B 辐射显著降低叶绿素 a、b 的含量, 但对叶绿素 b 含量的影响不显著, 与大多数学者的研究结果较一致<sup>[6, 13]</sup>. 增强 UV2B 辐射导致叶绿素含量降低, 可能是 UV2B 阻碍植物叶片叶绿素的合

成;或者加剧了植物脂质过氧化作用,破坏叶绿素膜相,从而导致叶绿素分解<sup>[14, 24]</sup>。

关于 UV2B 辐射对植物光合作用的影响机理已有较深入的研究,大致可以归纳为:1)UV2B 辐射导致叶片气孔导度降低和气孔阻力增大,从而降低净光合速率;2)UV2B 辐射诱导了叶绿素和类胡萝卜素的非酶促光加氧作用,或者直接破坏叶绿体结构,使叶绿素分解,导致叶绿素含量下降,抑制光合作用<sup>[14]</sup>;3)UV2B 辐射能明显抑制某些植物(如甘蓝(*Brassica oleracea*)、豌豆(*Pisum sativum*)、花生(*Arachis hypogaea*)、大豆(*Glycine max*)等)的 Hill 反应,影响光合电子传递速率( $J_{max}$ )或 Rubisco 羧化速率( $V_{cmax}$ ),降低光系统 II 活性,使光能转化效率下降,从而抑制植物的光合作用<sup>[25]</sup>。本研究中,增强 UV2B 辐射抑制了青榨槭幼苗的光合作用过程,可以归源于 UV2B 辐射对叶片叶绿素的破坏,削弱了类囊体膜光能吸收、聚集能力;使幼苗暗呼吸速率增加,净光合速率减少;降低叶片原初光化学效率( $F_v/F_m$ )和实际光化学量子产量( $5P_{SD}$ ),使光转化效率下降,从而抑制植物的光合作用。上述两种或多种因素可以同时起作用。

实验中,增强 UV2B 辐射显著降低青榨槭叶片中的 UV 吸收物质含量,这与大部分研究结果不一致<sup>[8, 14, 16]</sup>,而与 Kinnunen 等<sup>[9]</sup>对苏格兰松(*Pinus sylvestris*)的研究结果相似。他们发现增强 UV2B 降低了幼叶中 UV2B 吸收物质的含量,而成熟叶片中 UV2B 吸收物质含量却增加。此外, Kinnunen 等<sup>[9]</sup>和 Mohr 等<sup>[15]</sup>推测,植物只有在需要且必须有防护作用时,才会制造大量的 UV2B 吸收色素。本研究中青榨槭幼苗受辐射后,紫外吸收物质含量减少,可能与增强 UV2B 辐射的时间或强度有关,也可能是幼苗生长在此地区,对高 UV2B 辐射已有较强适应性,人为增强 UV2B 辐射并不会引起 UV 吸收物质含量的显著增加。另外, Bornman<sup>[2]</sup>提出,在防御 UV2B 辐射方面,植物叶片组织结构比类黄酮物质更为重要,如表皮的反射作用,栅栏组织对辐射过滤作用。由此推测,与 UV2B 吸收物质的防御作用相比,青榨槭幼苗可能更大程度上通过叶片内部结构和光合作用的变化来适应强 UV2B 辐射的条件。

参考文献

1 Bassman JH, Edwards GE, Robberecht R. 2002. Long-term exposure to enhanced UV2B radiation is not detrimental to growth and photosynthesis in Douglas fir. *New Phytol*, 154: 101~ 120  
2 Bornman JF, Vogelmann TC. 1991. Effect of UV2B radiation on

leaf optical properties measured with fibre optics. *J Exp Bot*, 42: 547~ 554  
3 Chen HYH, Klinka K. 1997. Light availability and photosynthesis of *Pseudotsuga menziesii* seedlings grown in the open and in the forest understory. *Tree Physiol*, 17: 23~ 29  
4 Elena K, Ann W, Riitta JT. 2001. Growth, structure, stomatal responses and secondary metabolites of birch seedlings (*Betula pendula*) under elevated UV2B radiation in the field. *Automatica*, 37: 453~ 460  
5 Fang P, Yu XM, Zhu RQ, et al. 2004. QTLs for rice leaf chlorophyll content under low N stress. *Pedosphere*, 14(2): 145~ 150  
6 Grill DP, Pfeiffer W. 1983. Chlorophyll und Chlorophyllabbau in Fichtennadeln. *Phyton*, 21: 79~ 90  
7 Han F(韩发), Zhou DW(周党卫), Teng ZH(腾中华), et al. 2003. Comparison of antioxidative system in *Kobresia humilis* grown at different altitudes on Qinghai-Tibet plateau. *Acta Bot Sin* (西北植物学报), 23(9): 1491~ 1496 (in Chinese)  
8 Ji MJ(祭美菊), Feng HY(冯虎元), An LZ(安黎哲), et al. 2002. Present status and prospects in research on effect of enhanced UV2B radiation on plants. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), 13(3): 359~ 364 (in Chinese)  
9 Kinnunen H, Laakso K, Huttunen S. 1999. Methanol-extractable UV2B-absorbing compounds in Scots pine needles. *Chemosphere*, 39: 455~ 460  
10 Larsson EH, Bomman JF, Hakan ASP. 1998. Influence of UV2B radiation and Cd<sup>2+</sup> on chlorophyll fluorescence, growth and nutrient content in *Brassica napus*. *J Exp Bot*, 49: 1031~ 1038  
11 Lewis JD, McKane RB, Tingey DT, et al. 2000. Vertical gradients in photosynthetic light response within an old-growth Douglas fir and western hemlock canopy. *Tree Physiol*, 20: 447~ 456  
12 Lin WX(林文雄), Liang YZ(梁元元), Kilung Kim(金吉雄). 1999. Genetics of resistance of *Oryza sativa* to increase UV2B radiation and its physiobiochemical characteristics. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), 10(1): 31~ 34 (in Chinese)  
13 Luetz C. 1988. Photosynthesische pigment und nadelbauelemente unterschiedlicher hoechststufen des oetzals gesellschaft fuer strahlungsforschung. *Berichte*, 17: 415~ 425  
14 Miereki RM, Teramura AH. 1984. Effects of ultraviolet-B irradiance on soybean V. The dependence of plant sensitivity on the photosynthetic photon flux density during and after leaf expansion. *Plant Physiol*, 74: 475~ 480  
15 Mohr H, Drumm H. 1983. Coaction between phytochrome and blue/UV light in anthocyanin synthesis in seedlings. *Physiol Plant*, 58: 404~ 414  
16 Murali NS, Teramura AH. 1986. Intraspecific difference in *Cucumis sativus* sensitivity to ultraviolet-B radiation. *Physiol Plant*, 68: 673~ 677  
17 Qi H(齐华), Yu QR(于贵瑞), Cheng YS(程一松), et al. 2003. Effect of potassium fertilization on the photosynthetic characteristics of the leaf of winter wheat population during its grain-filling stage. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), 14(5): 690~ 694 (in Chinese)  
18 Qiang WY(强维亚), Yang H(杨晖), Chen T(陈拓), et al. 2004. Effect of the combination of cadmium and UV2B radiation on soybean growth. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), 15(4): 697~ 700 (in Chinese)  
19 Rozema J, Rob A, Broekman PB, et al. 2001. UV2B absorbance and UV2B absorbing compounds (p-coumaric acid) in pollen and sporopollenin: The perspective to track historic UV2B levels. *Photochem Photobiol*, 62: 108~ 117  
20 Rozema J, van de Staaij J, Bjorn LO, et al. 1997. UV2B as an environmental factor in plant life: Stress and regulation. *Trends Ecol Evol*, 12: 22~ 28  
21 Shi SB(师生波), Ben GY(贡桂英), Han F(韩发). 1999. Analysis of the solar UV2B radiation and plant UV2B-absorbing compounds in different regions. *Acta Phytoecol Sin* (植物生态学报), 23(6): 529~ 535 (in Chinese)  
22 Shi SB(师生波), Ben GY(贡桂英), Zhao XQ(赵新全), et al.

2001. Effects of supplementary UV2B radiation on net photosynthetic rate in the alpine plant *Gentiana straminea*. *Acta Phytocool Sin* (植物生态学报), 25(5): 520~ 524(in Chinese)

23 Song L2L(宋丽丽), Guo Y2P(郭延平), Xu K(徐 凯), et al. 2003. Protective mechanism in photoinhibition of photosynthesis in *Citrus unshiu* leaves. *Chin J Appl Ecol*(应用生态学报), 14(1): 47~ 45(in Chinese)

24 Sullivan JH, Teramura AH. 1990. Field study of interaction between solar ultravioletB radiation and drought on photosynthesis and growth in soybean. *Plant Physiol*, 92: 141~ 146

25 Sun Q2C(孙谷畴), Zhao P(赵 平), Zeng X2P(曾小平), et al. 2002. Effect of supplementary UV2B radiation on photosynthetic parameters in leaves of *Woonyungia septentrionalis*. *Chin J Appl Environ Biol*(应用与环境生物学报), 8(4): 335~ 340(in Chinese)

26 Tevini M. 1994. UV2B effects on terrestrial plants and aquatic organisms. *Prog Bot*, 55: 174~ 190

27 Xu HL, Wang XJ, Wang JH, et al. 2004. Leaf turgor potential, plant growth and photosynthesis in organically fertilized sweet corn. *Pedosphere*, 14(2): 165~ 170

28 Zhang YM, Zhou GY, Wu N, et al. 2004. Soil enzyme activity changes in differenced spruce forests of the eastern Qinghai Tibetan plateau. *Pedosphere*, 14(3): 305~ 312

29 Zheng Y2F(郑有飞), Yang Z2M(杨志敏), Yan L2Y(颜景义), et al. 1996. Biological response of crops on enhanced solar ultraviolet radiation and its estimation. *Chin J Appl Ecol*(应用生态学报), 7(1): 107~ 109(in Chinese)

作者简介 左园园,女,1982年生,硕士生.主要从事植物生态学方面的研究. Tel: 0285225174; E2mail: zuoyuanyuan\_1982@163.com

欢迎订阅 2006 年5应用生态学报6

5应用生态学报6(1990 年创刊)是经国家科委批准、科学出版社出版的国内外发行的综合性学术刊物。本刊宗旨是坚持理论联系实际的办刊方向,结合科研、教学、生产实际,报导生态科学诸领域在应用基础研究方面具有创新的研究成果,交流基础研究和应用研究的最新信息,促进生态学研究为国民经济建设服务。

本刊专门登载有关应用生态学(主要包括森林生态学、农业生态学、草地牧业生态学、渔业生态学、自然资源生态学、全球生态学、污染生态学、化学生态学、生态工程学和恢复生态学等)的综合性论文、创造性研究报告和研究简报等。

本刊读者对象主要是从事生态学、地学、林学、农学和环境科学研究、教学、生产的科技工作者,有关专业的大学生及经济管理和决策部门的工作人员。

本刊与数十家相关学报级期刊建立了长期交换关系,5中国科学引文索引6、5中国生物学文摘6、美国5生物学文摘6( BA)、美国5化学文摘6( CA)、英国5生态学文摘6( EA)、日本5科学技术文献速报6( CBST)和俄罗斯5文摘杂志 6( )等十几种权威检索刊物均收录本刊的论文摘要(中英文),并被认定为5中国核心期刊(遴选)数据库6和5中国科学引文数据库6来源期刊。本刊的整体质量与水平已达到新的高度,1992 年荣获全国优秀科技期刊三等奖和中国科学院优秀期刊二等奖,1996 年荣获中国科学院优秀期刊三等奖。2000 年荣获中国科学院优秀期刊二等奖。2001 年入选中国期刊方阵双效期刊。

本刊为月刊, A4 开本, 192 页, 每月 18 日出版, 期定价 45. 00 元, 全国各地邮政局( 所) 均可订阅, 邮发代号 8- 98. 错过订期也可直接向本刊编辑部邮购, 个人订阅优惠 30%. 地址: 110016 辽宁省沈阳市文化 72 号 5应用生态学报6编辑部. 电话: ( 024) 83970393, E2mail: cjae@iae. ac. cn