

文章编号 :1000-4025(2005)02-0231-05

# 不同强度的 UV-B 辐射对高山植物麻花苳 光合作用及暗呼吸的影响\*

岳向国, 韩发\*, 师生波, 李惠梅

(中国科学院西北高原生物研究所, 西宁 810001)

**摘要** :以人工种植的多年生高山植物麻花苳 (*Gentiana straminea*) 为材料, 在 3 个不同强度的 UV-B 辐射处理下, 定时测定处理和对照叶片的净光合速率、表观量子效率和暗呼吸的变化。结果显示 UV-B 处理对麻花苳叶片的光合作用在短期内有一定的抑制作用, 但随着处理时间的增加, 该高山植物能很快地适应强 UV-B 辐射的处理。表明麻花苳这种青藏高原常见的高山植物在长期的自然选择过程中可能已经形成了适应 UV-B 辐射的特有生理机制。暗呼吸的实验结果亦表明, 在 3 种强度的 UV-B 辐射处理下, 麻花苳叶片的呼吸作用从一开始就未受到抑制; 随着 UV-B 辐射时间的增加, UV-B 辐射强度越高, 呼吸强度越强。这可能是 UV-B 辐射并未引起麻花苳呼吸机构的破坏所致。

**关键词** :麻花苳, 净光合速率, 表观量子效率, 暗呼吸

中图分类号 Q 945.11 文献标识码 A

## Effects of UV-B Radiation of Different Intensity on the Photosynthesis and the Dark Respiration of Alpine Plant *Gentiana straminea*

YU E Xiang-guo, HAN Fa\*, SHI Sheng-bo, LI Hui-mei

(Northwest Plateau Institute of Biology, Chinese Academy of Sciences, Xining 810001, China)

**Abstract** :The leaves of *Gentiana straminea* that grows in greenhouse were treated with three differently complementary UV-B, and then their net photosynthetic rate, apparent quanta efficiency and dark respiration. The measurements showed that the three different UV-B treatments produced a significant inhibition of net photosynthetic rate and apparent quanta efficiency in a short time, but the leaves could get well rapidly. It was possible that alpine plant formed some special mechanism in evolution to adapted to alpine environment. By contrast, there was no inhibition but some degrees of improvement found between UV-B treatment and control, in dark respiration. The results suggest: (1) The dark respiration has not been inhibited from beginning. (2) The longer the treatment time was, the stronger the dark respiration was. (3) The UV-B treatment probably did not destroy the respiration structure, but promoted the dark respiration in some way.

**Key words** *Gentiana straminea*; net photosynthetic rate, apparent quanta efficiency, dark respiration

紫外线是太阳光的一部分, 其中辐射能占太阳总辐射的 3% ~ 5%, 依据生物学效应的不同, 紫外

\* 收稿日期 2004-07-21 修改稿收到日期 2004-10-25

基金项目 中国科学院知识创新工程项目(CXL Y-2003-7) 国家自然科学基金项目(30270240)

作者简介 岳向国(1979-), 男(汉族), 在读硕士研究生, 主要从事光合作用方面研究...

\* 通讯联系人. Correspondence to HAN Fa E-mail hanfa@mail.nwipb.ac.cn

线可以分为超强效应波(UV-C 200~ 280 nm), 强效应波(UV-B 280~ 320 nm)和弱效应波(UV-A 320~ 400 nm)。大气平流层中的臭氧对三个波段的紫外辐射有不同程度的吸收, 仅UV-A 和少量UV-B 能到达地表<sup>[1]</sup>。尽管UV-B 辐射在太阳短波辐射中所占的量较小, 但是它能被一些重要的生物大分子, 如核酸、蛋白质等物质吸收, 从而造成对生物的伤害。尤其近几年来, 由于大气污染的影响, 大量氮氧化合物和氟氯烃类化合物(chlorofluorocarbon, 简称CFCs)排放后造成臭氧浓度的下降, 削弱了臭氧对UV-B 辐射的过滤作用, 致使地表的UV-B 辐射不断增强<sup>[2]</sup>。因此, UV-B 辐射强度的改变对生活在地球上的各种生物以及它们生存的环境均产生了深刻的影响, 其中臭氧损耗所引起的太阳UV-B 辐射增加对植物的影响, 已成为高原生物科学研究的热点。因此, 研究人类活动造成的大气平流层臭氧降低所引起的UV-B 辐射增强, 对植物光合作用造成的影响不可低估<sup>[3]</sup>。

目前关于植物对UV-B 辐射的适应性机制的研究主要集中在外部形态和内部机理上<sup>[4-7]</sup>, 关于UV-B 辐射对高山植物光合作用影响的研究不多, 对于高山植物暗呼吸作用影响的研究基本属于空白。本实验以人工栽培的青藏高原常见高山植物麻花苳(*Gentiana straminea*)为材料, 探讨不同强度UV-B 辐射对高山植物光合作用、表观量子效率和

呼吸强度等光合生理功能的影响。

## 1 材料和方法

### 1.1 材料

本实验以2003年3月种植在实验地, 已生长一年的多年生高山植物麻花苳为研究对象。在晴朗天气的中午11时, 在实验地选定生长均匀健康的植株, 用剪刀从第四片叶子的叶柄基部剪下, 然后放入冰瓶内带回实验室, 分别进行不同光质处理。

### 1.2 实验设计与UV-B 处理

实验设对照组和处理组, 对照组的光源由普通日光灯和UV-B 荧光灯(UV-B-313, 北京电光源研究所制造)组成。用日光灯来模拟自然光, 对照组的UV-B 荧光灯管盖上一层瑞典进口的Mylar膜以过滤掉大约1/3的波长小于320 nm的紫外线。处理组由自然光和UV-B 组成, UV-B 荧光灯管包上一层纤维素双乙酸酯薄膜(又称CA膜, 厚度为0.13 mm)用来过滤掉波长小于280 nm的与生态不相关的少量致死性紫外线(UV-C)。对照组和处理组按UV-B 辐射强度分别设低强度、中强度和高强度3个处理(表1)。将采集的叶片放在盛有蒸馏水的培养皿中, 然后分别进行UV-B 处理和对照处理。每隔1 h, 分别测定叶片的净光合速率、表观量子效率和暗呼吸强度, 实验重复3次。

表1 不同处理的有效光辐射(PAR)强度和UV-B 辐射强度

Table 1 The PAR and UV-B radiant intensity of three different treatments

项目 Item		低强度 Lower dose	中强度 Middle dose	高强度 Higher dose
对照组(Mylar 膜覆盖) Control group (covered with Mylar)	UV-B 辐射强度( $MW \cdot m^{-2}$ ) The dose of UV-B radiation( $MW \cdot m^{-2}$ )	61.27	70.63	96.47
	有效光辐射强度( $\mu W \cdot m^{-2}$ ) PAR( $\mu W \cdot m^{-2}$ )	16.51( $\times 10$ )	18.11( $\times 10$ )	2.34( $\times 100$ )
UV-B 处理组(CA 膜覆盖) Treatment group (covered with CA)	UV-B 辐射强度( $MW \cdot m^{-2}$ ) The dose of UV-B radiation( $MW \cdot m^{-2}$ )	94.17	111.7	132.63
	有效光辐射强度( $\mu W \cdot m^{-2}$ ) PAR( $\mu W \cdot m^{-2}$ )	17.15( $\times 10$ )	18.21( $\times 10$ )	2.45( $\times 100$ )

### 1.3 测定方法

**1.3.1 净光合速率** 用Clark 氧电极法(SP-2 氧电极, 上海植物生理研究所出产)测定不同光强下对照组和处理组叶片的光合放氧速率<sup>[8]</sup>(叶片反应温度设定成恒温25℃), 计算麻花苳叶片光饱和下的光合速率, 连续进行至第8小时, 设3个重复, 计算

平均值。

**1.3.2 表观量子效率** 将光响应曲线直线回归计算其斜率。

**1.3.3 暗呼吸强度** 叶片的暗呼吸强度按Gao的方法<sup>[9]</sup>测定计算。

**1.3.4 叶片面积** 用美国产LI-3000型叶面积仪

测定 UV-B 辐射强度用紫外辐射计(北京师范大学光电厂)测定.

## 2 结果与分析

### 2.1 UV-B 对叶片净光合速率的影响

图 1 显示,在低强度 UV-B 辐射处理下,叶片连续照射 1~ 5 h 的时间内,处理组的光合作用表现出被抑制现象.在 6~ 8 h,处理的叶片净光合速率接近对照组的净光合速率.在中强度的 UV-B 辐射条件下,在 1~ 6 h 的 UV-B 辐射期间,表现出了对植物光合作用的抑制,在时间上比低强度处理后的退后了 1.5 h 左右.在 7~ 8 h,处理组的净光合速率和对照组趋于一致.在高强度的 UV-B 辐射情况下,UV-B 处理组的叶片光合作用的抑制现象表现在 1~ 7 h 内,而在 8 h 后,UV-B 处理的植物叶片净光合速率则明显高于对照组.从图中可以看出,处理 4 h 后,UV-B 处理组的净光合速率分别比对照降低 4.49%、16.9%、29.6%.在第 8 小时,低强度 UV-B 辐射处理的叶片比对照叶片的净光合速率降低 1.34%;中强度下,UV-B 辐射处理的叶片比对照叶片的净光合速率升高 5.22%;在高强度下,UV-B 辐射处理的叶片比对照叶片的净光合速率升高 27.7%.由图 1 显示,在 3 个不同强度 UV-B 处理之间,随着 UV-B 辐射强度的增加,植物净光合速率的降幅显著增大.

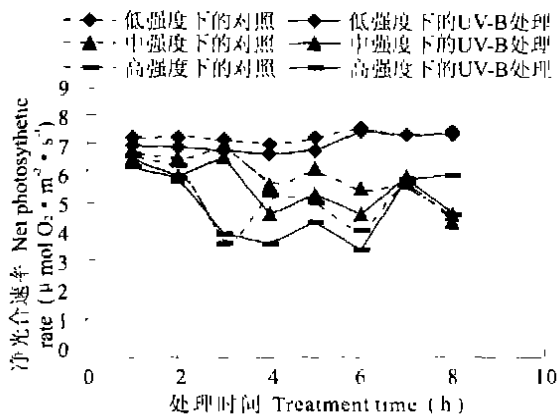


图 1 3 种不同强度下的 UV-B 辐射对麻花艽叶片净光合速率(Pn)的影响  
---对照 —UV-B 处理

Fig. 1 Effect of UV-B radiation of three intensities on net photosynthetic rate of *G. straminea* in alpine *K. humilis* meadow  
---Control —UV-B treatment

### 2.2 UV-B 对表观量子效率(AQY)的影响

图 2 显示,在 3 个不同强度的 UV-B 辐射处理条件下,叶片表观量子效率的变化与净光合速率的变化趋势基本一致.但在第 4 小时,低强度、中强度和高强度 UV-B 处理后表观量子效率分别降低 6.13%、22.1%、19.6%.在第 8 小时,低强度的 UV-B 处理叶片的表观量子效率和对照叶片的表观量子效率基本相同;在中强度 UV-B 处理下,处理叶片的表观量子效率比对照叶片的表观量子效率降低 9.82%.而在高强度 UV-B 处理下,UV-B 处理叶片的表观量子效率比对照叶片的表观量子效率升高 15.4%.

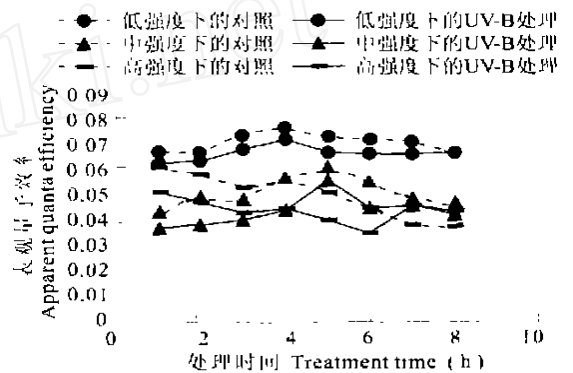


图 2 3 种不同强度下的 UV-B 辐射对麻花艽叶片表观量子效率(AQY)的影响  
---对照 —UV-B 处理

Fig. 2 Effects of UV-B radiation of three intensities on apparent quantum efficiency (AQY) of *G. straminea* in alpine *K. humilis* meadow  
---Control —UV-B treatment

### 2.3 UV-B 处理对暗呼吸(DR)的影响

由图 3 所示,在 3 种不同强度的 UV-B 处理下的叶片,其暗呼吸强度变化和净光合速率以及表观量子效率的变化有显著不同.在 3 种不同强度的 UV-B 处理下,随着 UV-B 辐射强度的增强,暗呼吸强度的变化没有明显规律.叶片经 2~ 3 h 后,低强度 UV-B 处理后的叶片的暗呼吸强度最低;中强度的 UV-B 处理后的叶片的暗呼吸强度最高.在处理 4 h 后,低强度和中强度的 UV-B 处理后的叶片呼吸比对照分别高 29.8% 和 9.59%;高强度 UV-B 处理后,叶片的暗呼吸强度比对照低 1.91%.UV-B 辐射连续处理 8 h 后,高强度 UV-B 辐射处理后的叶片呼吸强度达到最高,中强度次之,低强度 UV-B 辐射处理后的叶片的呼吸强度最低;三个不同强度的 UV-B 辐射处理后,叶片的暗呼吸强度分别比对照高 14.6%、10.9%、22.9%.

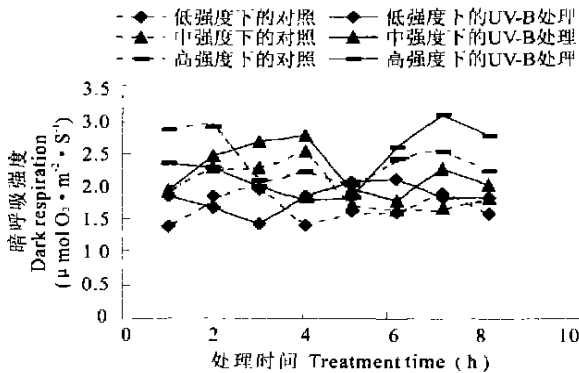


图3 3种不同强度下的UV-B辐射对麻花苣叶片暗呼吸(DR)的影响  
---对照 —UV-B处理

Fig. 3 Effects of UV-B radiation of three intensities on dark respiration (DR) of *G. straminea* in alpine *K. humilis* meadow  
---Control —UV-B treatment

### 3 讨论

已有证据显示,UV-B辐射对光合作用的影响因植物种类、环境条件、UV-B剂量和有效光辐射(PAR)与UV-B辐射的比值不同而各异<sup>[4]</sup>。在侯扶江等<sup>[10]</sup>对3种植物幼苗光合作用和呼吸作用影响的研究中表明,随着UV-B辐射时间的增加植物幼苗的净光合速率的降幅逐渐增加,UV-B对光合作用的抑制是其辐射剂量的累计效应。Teramura等<sup>[11]</sup>以不同品种的水稻为对象的实验研究表明,16个品种中有13个品种的净光合速率和光合产量有不同程度的下降,而其它3个品种的生物产量反而提高。Caldwell等<sup>[12]</sup>(1998)对近30a来发表的约600篇论文中错综复杂的数据进行了总结,分析表明:所有已经研究过的植物中约有1/3的种类在生长方面表现出有害影响,而更多的植物种类并不表现这种效果,似乎这些植物已经能很好地适应于强UV-B辐射。从本实验结果可以看出(如图1、图2所示),随着时间的增加,三种不同强度处理下的高山植物组织叶片表现出对UV-B辐射的不同响应。其中在高强度UV-B处理下,经8h处理的叶片呈现出比对照更高的净光合速率和表观量子效率,即使在不同的UV-B强度之间,麻花苣叶片对不同强度UV-B的适应也呈现不规则的变化,这可能和麻花苣内部生理适应机制有关。在净光合速率和表观量子效率(图1和图2)之间比较,发现处理1h后,麻花苣叶片在3个不同强度的UV-B辐射下,净光合速率变化不大,而表观量子效率在3个不同处理之

间均产生很大的差异。这说明短期的UV-B辐射对高山植物麻花苣的光合系统产生了一定伤害,但是对叶片的净光合速率影响不大。青藏高原号称世界第三极,是世界上紫外辐射最强的地区之一,因此,麻花苣这种青藏高原常见的高山植物在长期的自然选择过程中可能已经形成了特有的生理机制来适应强UV-B辐射。

近几年的研究已表明<sup>[13,14]</sup>,长期增加UV-B辐射能引起光合色素不同程度的降低。从本实验结果可以看出,低强度的UV-B辐射在1~5h的时间内表现出对植物的光合抑制,在6~8h低强度UV-B处理叶片和对照叶片的净光合速率几乎相同。在中强度UV-B处理下,UV-B辐射在1~6h时间内表现出对植物光合的抑制,在7~8h净光合速率和对照趋于一致。在高强度UV-B处理下,UV-B辐射在1~7h时间内表现出对光合作用的抑制,而在8h后UV-B处理的植物叶片的净光合速率则明显高于对照组。这可能是在极短时间的UV-B照射后,植物叶片内的光合色素遭到破坏而导致光合作用降低,而经一段时间的恢复之后,这种长期适应极端高寒环境的高山植物迅速生成大量的光合色素,使叶片有利于吸收紫外线和利用过多的光能,缓解UV-B辐射对植物可能造成的伤害。

Brandle等<sup>[15]</sup>发现,经过5hUV-B照射的豌豆,暗呼吸强度明显提高。Sisson和Caldwell<sup>[11]</sup>用酸模(*Rumex patientia*)研究发现经UV-B处理后,其暗呼吸在第二天即明显增加,并认为暗呼吸的增加量是导致净光合速率下降的原因之一。Philip H和John B<sup>[12]</sup>以3个不同植物为对象的研究表明,30min的UV-B辐射导致33%~78%的净光合速率的降低,然而在对照和UV-B处理之间并未发现暗呼吸的明显变化。除此之外,还有许多类似的结果<sup>[13-15]</sup>。分析表明,在上述3个不同强度的UV-B辐射处理下,麻花苣叶片的呼吸作用从一开始就未受到抑制。随着UV-B辐射时间的增加,UV-B辐射强度越高,高山植物暗呼吸强度越强;短期的UV-B辐射可能并未引起麻花苣呼吸机构的破坏,反而促进了暗呼吸作用的进行。高山植物麻花苣的净光合速率、表观量子效率和暗呼吸强度对不同强度UV-B辐射的反应差异性可能具有重要的生物学和生态学意义。

## 参考文献:

- [1] STAPLET A E. Ultraviolet radiation and plants :Burning question [J]. *Plant Cell*, 1992, 4(11) : 1 353~ 1 358
- [2] KERR J B, MCELROY C T. Evidence for large upward trends of ultraviolet-B radiation linked to ozone depletion [J]. *Science*, 1993, 262 : 1032~ 1034
- [3] M RECKIR M, TERAMURA A H. Effects of ultraviolet-B irradiance on soybean V. The dependence of plant sensitivity on the photo-synthetic photon flux density during and after leaf expansion [J]. *Plant Physiol*, 1984, 74 : 475- 480
- [4] KAKANIV G, REDDY K R, ZHAO K. Sailaja field crop responses to ultraviolet-B radiation : a review [J]. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2003, 120 : 191- 218
- [5] LID Y(李德耀), SHEN Y G(沈允钢). The relation between the components of proton's power potential and photosynthesis[J]. *Chinese Science Bulletin(科学通报)*, 1994, 39(18) : 1 715- 1 717(in Chinese).
- [6] LINGA KUMAR K, KULANDAIVELU G. Regulatory role of photochrome on ultraviolet-B (280~ 315 nm) induced changes in growth and photosynthetic activities of *Vigna sinensis* L. [J]. *Photosynthetica*, 1993, 29(3) : 341~ 351.
- [7] HOU F J(侯扶江), BEN G Y(贲桂英). The initial report of the research in effects of the UV-B radiation on three seedlings[J]. *Acta Prataculturae Sinica(草业学报)*, 1998, 3 (7) : 77- 79(in Chinese).
- [8] TERAMURA A H. Effects of ultraviolet-B radiation on the growth and yield of crop plants[J]. *Physiol Plant*, 1983, 58 : 417.
- [9] CALDWELL M M, BJORN L O, BORNMAN J F, FLINTSD, KULANDAIVELU G, TERAMURA A H, TEVNTM T. Effects of increased solar UV radiation on terrestrial ecosystem [J]. *Journal of Photochemistry and Photobiology*, 1998, 46 : 40- 52
- [10] BRANDLE J R, CAMPBELL W F, SISSON W B, et al. Net photosynthesis, electron transport capacity, and ultrastructure of *Pisum sativum* exposed to ultraviolet-B radiation[J]. *Plant Physiol*, 1977, 60 : 165
- [11] SISSON W B, CALDWELL M M. Photosynthesis, dark respiration, and growth of *Rumex patientia* exposed to ultraviolet irradiance (288 to 315 nanometers) Simulating a reduced atmospheric Ozone column [J]. *Plant Physiol*, 1976, 38 : 563
- [12] PHILIP H, JOHN B. Ultraviolet radiation has no effect on respiratory oxygen consumption or enhanced post-illumination respiration in three species of microalgae[J]. *Journal of Photochemistry and Photobiology B : Biology*, 2002, 68 : 109- 116
- [13] LARKUM A W D, WOOD W F. The effect of UV-B radiation on photosynthesis and respiration of phytoplankton, benthic macroalgae consumption of sample in and seagrasses[J]. *Photosynth. Res*, 1993, 36 : 17- 23
- [14] SCHAFER J, SEBASTIAN C, HADER D P. Effects of solar radiation on motility, orientation, pigmentation and photosynthesis in a green dinoflagellate *Gymnodinium* [J]. *Acta Protozoologica*, 1994, 33 : 59- 65
- [15] TIAN GL(田国良), LIN ZH Y(林振耀), WU XD(吴祥定). Preliminary study on speciality of ultraviolet light, visible light and infrared radiation in crop growing season in Northern Part Tibetan Plateau [J]. *Acta Meteorologica Sinica(气象学报)*, 1982, 40(3) : 344- 352(in Chinese).