

# 高寒草甸植物抗氧化系统对长期增强 UV - B 辐射的响应

吴兵<sup>1</sup>,袁明璐<sup>2</sup>,李胜<sup>1</sup>,韩发<sup>3</sup>,师生波<sup>3</sup>

(1. 甘肃农业大学生命科学技术学院,甘肃 兰州 730070; 2. 甘肃省农业科学院粮食作物研究所,甘肃 兰州 730070;

3. 中国科学院西北高原生物研究所,青海 西宁 810008)

**摘要:**通过研究自然条件下模拟平流层臭氧破坏 5% 时近地表面增加的太阳 UV - B 辐射对高寒草甸 4 种典型植物(矮嵩草 *Kobresia humilis*、垂穗披碱草 *Elymus nutans*、麻花苳 *Gentiana straminea* 和鹅绒委陵菜 *Potentilla anserina*) 的抗氧化系统的影响表明,尽管各植物的抗氧化系统组分变化不同,但 4 种植物的膜脂过氧化程度没有加剧,长期增强 UV - B 辐射没有对膜系统造成损伤。在自然长期增强 UV - B 条件下,4 种植物的膜脂过氧化产物——丙二醛(MDA)含量与对照相比无显著差异。垂穗披碱草、鹅绒委陵菜的谷胱甘肽(GSH)含量增加,麻花苳的超氧化物歧化酶(SOD)活性与鹅绒委陵菜的过氧化氢酶(CAT)活性上升,同时麻花苳的类胡萝卜素(Car)含量亦显著增加。可见这些植物已能很好地适应 UV - B 强辐射,其抗氧化能力除了与抗氧化系统各组分的协同作用有关外,也可能与种的适应性有关。

**关键词:**高寒草甸;抗氧化系统;长期增强 UV - B 辐射

中图分类号: Q947.8

文献标识码: A

文章编号: 1001-0629(2008)05-0068-06

\* 近 30 年来,由于大气平流层臭氧层减薄而导致到达地表紫外线 B 增强,这已成为全球性环境问题,对此的研究也成为众多学者研究的热点问题之一<sup>[1]</sup>。大量研究表明,在增强 UV - B 辐射条件下,许多植物的光合作用降低,蛋白质合成受抑制,叶绿体功能受损,DNA 损伤以及膜脂过氧化<sup>[2]</sup>,生长和生物量都有明显降低<sup>[3]</sup>。这可能与活性氧代谢的失衡有关<sup>[4]</sup>,而活性氧能抑制 CO<sub>2</sub> 固定、降解叶绿素、加速叶片的衰老和膜脂过氧化。目前,高等植物的抗氧化系统作为其清除活性氧的重要防御系统已被普遍接受,植物对逆境胁迫抗性的大小与此系统的有效性密切相关<sup>[5]</sup>。然而,关于自然条件下增强 UV - B 辐射对植物影响的研究很少,这种长期增强 UV - B 辐射对青藏高原植物影响的研究还是空白。为此以青藏高原高寒草甸的 4 种典型植物为对象,研究野外长期增强 UV - B 辐射对其的影响,以期探讨高寒草甸植物抗氧化系统对强 UV - B 辐射环境的适应机理。

## 1 材料和方法

**1.1 试验样地** 试验样地设在中国科学院海北

高寒草甸生态系统定位研究站地区的矮嵩草草甸。该站位于青藏高原的东北隅,地处祁连山东段冷龙岭南麓,北纬 37°29' ~ 37°45',东经 101°12' ~ 101°33',海拔 3 200 m。无明显四季之分,只有冷暖季之别,属高原大陆性气候。矮嵩草草甸主要由多年生草本植物组成,土壤类型为高山草甸土。试验选取的植物中,矮嵩草 *Kobresia humilis* 为高寒矮嵩草草甸的建群种,垂穗披碱草 *Elymus nutans* 为次优势种之一,麻花苳 *Gentiana straminea* 和鹅绒委陵菜 *Potentilla anserina* 为 2 种主要伴随种。

**1.2 试验设置** 1998 年春在矮嵩草草甸半封育草场选一植被较均匀地段,建立 6 个固定样方的金属框架:长 2.5 m,宽 1.5 m,高 0.75 m,东西方向排列。其中 3 个作为对照(CK),只装灯架,以天然 UV - B 辐射做背景;其余 3 个做 UV - B 辐射处理(UV - B)。每框架安装 6 只 UV - B 荧

\* 收稿日期:2007-04-22

基金项目:国家科技攻关计划项目(2005BA901A20)

作者简介:吴兵(1981-),男,宁夏盐池人,助教,硕士,主要从事高山植物逆境生理生化方面的研究。

E-mail: wub@gsau.edu.cn

通讯作者:李胜 E-mail: lish@gsau.edu.cn

光灯(UV - B - 313,北京电光源研究所),灯管垂直位于植物上方。荧光灯管包1层纤维素双乙酸脂薄膜(厚0.13 nm),以隔离与生态不相关的少量灭生性辐射UV - C(<280 nm)。纤维素双乙酸脂薄膜每10 d换1次,以保证过滤后荧光灯的辐射光质稳定。UV - B荧光灯分2组用两步方波方式照光。每天10:00 - 16:00补充辐射,集中在当地太阳正午(13:15)左右进行。地面接受到的UV - B辐射为天然和荧光灯的UV - B辐射强度之和,可模拟5%平流层臭氧衰减。

### 1.3 测定内容和方法

**1.3.1 类胡萝卜素含量的测定** 2004年8月下旬取对照和处理样方中的叶片,用冰瓶带回实验室,分别立即剪碎混匀,取0.2 g浸入25 mL 80%丙酮提取液中,密封,避光浸提至叶片无色时测定。UV - 1601紫外分光光度计(岛津制作所)检测波长在663、646、470 nm处的吸光度值。

$$M_{Chla} = [(12.21A_{663} - 2.81A_{646}) \times V] / (1000 \times m)$$

$$M_{Chlb} = [(20.13A_{646} - 5.03A_{663}) \times V] / (1000 \times m)$$

$$M_{Car} = [(4.4A_{470} - 0.01 \times M_{Chla} - 0.45 \times M_{Chlb}) \times V] / (1000 \times m)$$

式中,Chla为叶绿素a,Chlb为叶绿素b,Car为类胡萝卜素,M为含量,A为吸光值,V为提取液总体积(mL),m为叶片鲜质量(g)。

**1.3.2 酶液的提取** 酶提取液为5 mL 0.15 mol/L磷酸缓冲液[内含0.3%PVP(聚乙烯吡咯啉酮K-30)、pH值7.0],滤液在15 000 r/min下离心10 min,上清液用于酶活性测定。

**1.3.3 丙二醛(MDA)含量的测定** 按Raeri<sup>[6]</sup>的方法测定,以材料鲜质量表示MDA含量,单位为 $\mu\text{mol/g}$ 。

**1.3.4 谷胱甘肽(GSH)含量的测定** 按Ellman<sup>[7]</sup>的方法测定,用5,5-二巯基-2,2-二硝基苯甲酸(DTNB)显色法测定412 nm波长下的光吸收值,通过做GSH标准曲线来计算样品中GSH含量,单位为 $\mu\text{mol/g}$ 。

**1.3.5 超氧化物歧化酶(SOD)活性的测定** 按Giannopoulitis等<sup>[8]</sup>的方法测定,以抑制氮蓝四唑(NBT)光化还原50%作为1个酶活性单位(U),酶活性以U/mg表示。

**1.3.6 过氧化物酶(POD)活性的测定** 按Orman<sup>[9]</sup>的方法测定,以每分钟 $A_{470}$ 增加0.01为1个酶活性单位(U),酶活性以U/mg表示。

**1.3.7 过氧化氢酶(CAT)活性的测定** 按Chance和Maehly<sup>[10]</sup>的方法测定,测定 $\text{H}_2\text{O}_2$ 减少时 $A_{240}$ 的变化,以每分钟酶转变 $1 \mu\text{mol/L H}_2\text{O}_2$ 为1个酶活性单位(U),酶活性以U/mg表示。

**1.3.8 抗坏血酸过氧化物酶(AP)活性的测定** 按Nakano<sup>[11]</sup>的方法测定,测定 $\text{H}_2\text{O}_2$ 减少时 $A_{290}$ 的变化,以每分钟酶转变 $1 \mu\text{mol/L H}_2\text{O}_2$ 为1个酶活性单位(U),酶活性以U/mg表示。

**1.3.9 蛋白质含量的测定** 按考马斯亮蓝G-250染色法Bradford<sup>[12]</sup>进行测定,以牛血清蛋白为标准蛋白作标准曲线。

### 1.4 数据分析

以上数据采用SPSS11.0软件做统计分析。用t检验对对照和处理的参数进行分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 高寒草甸植物膜脂过氧化产物——MDA对野外长期增强UV - B辐射的响应

MDA是膜脂氧化的重要产物之一,其含量高低反映了膜的过氧化程度和膜系统的伤害程度,常被作为逆境生理指标<sup>[13]</sup>。由图1可知,野外长期增强UV - B辐射,高寒草甸的4种植物垂穗披碱草、矮嵩草、麻花苳和鹅绒委陵菜的MDA含量虽均有变化,但与对照相比都无显著差异。可见,与低海拔植物对紫外线的敏感<sup>[14]</sup>相比,这4种高寒草甸植物的细胞膜没有受到伤害,它们已能适应高海拔强的UV - B辐射。

### 2.2 高寒草甸植物抗氧化酶活性对野外长期增强UV - B辐射的响应

由图2和图3可知,野外长期增强UV - B辐射,除麻花苳叶片SOD活性与对照相比显著上升外,其他3种植物叶片的SOD活性与其对照相比均显著下降。同时,4种植物的POD活性对长期增强UV - B辐射的响应也不相同,高寒草甸关键种植物矮嵩草的POD活性与对照相比虽略有降低,但无显著差异,而垂穗披碱草、麻花苳叶片的POD活性与其对照相比均显著下降。

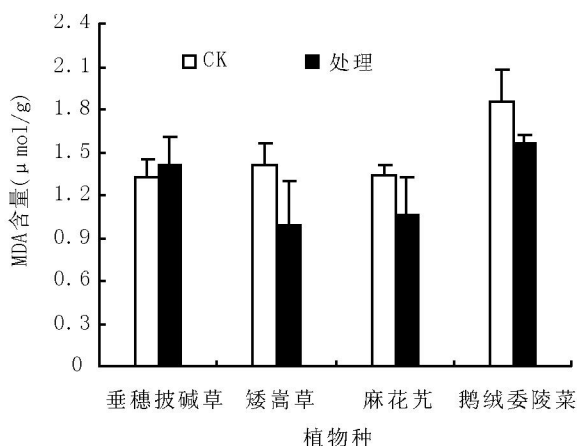


图 1 长期增强 UB- B 辐射对 4 种高寒草甸植物叶片 MDA 含量的影响

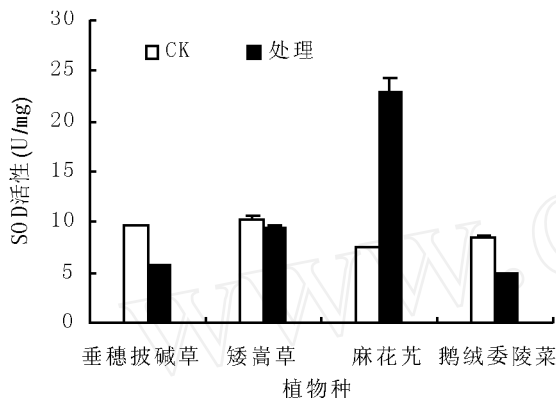


图 2 4 种高寒草甸植物叶片 SOD 活性对长期增强 UV- B 辐射的影响

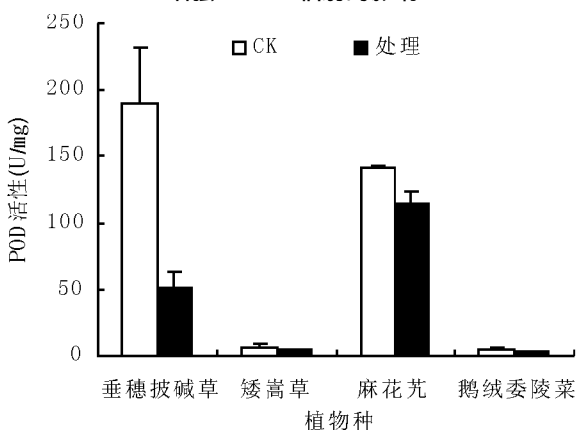


图 3 4 种高寒植物叶片 POD 活性对长期增强 UV- B 辐射的影响

由图 4 和图 5 可以看出,野外长期增强 UV- B 辐射,4 种植物叶片的 AP 活性与其对照相比

均无显著差异,没有对 4 种植物的 AP 活性造成影响。同时,这种条件下,除了鹅绒委陵菜叶片的 CAT 活性比对照显著上升外,矮嵩草、垂穗披碱草、麻花苳叶片的 CAT 活性与其对照相比亦无显著差异。可见,某一种或几种抗氧化酶的升高或降低不一定完全代表这种植物抗氧化能力的高低,整个抗氧化系统内部的协同作用可能在植物的适应及抗逆过程中起更重要的作用。

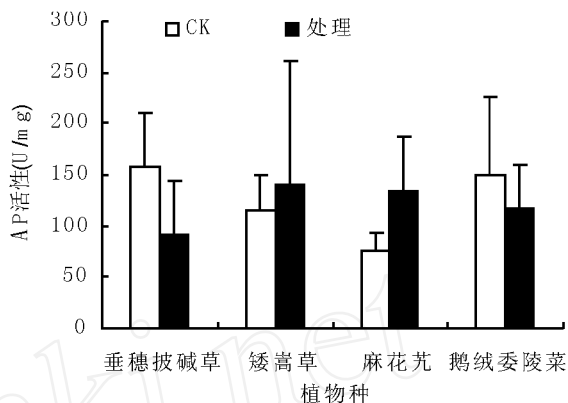


图 4 4 种高寒草甸植物叶片 AP 活性对长期增强 UV- B 辐射的影响

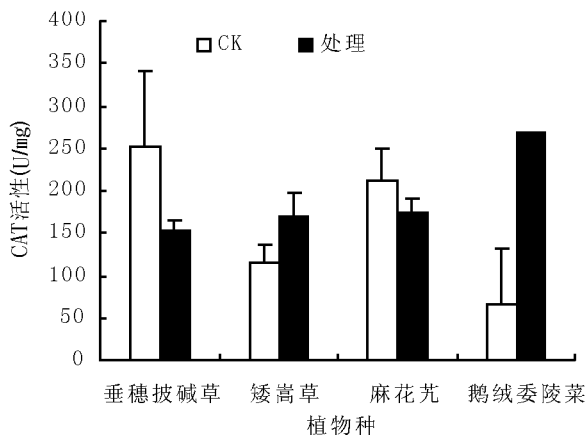


图 5 4 种高寒草甸植物叶片 CAT 活性对长期增强 UV- B 辐射的影响

2.3 野外长期增强 UV- B 辐射对高寒草甸植物叶片 GSH 和 Car 的影响 由表 1 可看出,4 种植物叶片的 GSH 和 Car 含量对野外长期增强 UV- B 辐射的响应并不相同。矮嵩草、麻花苳叶片的 GSH 含量与其对照相比显著下降,而垂穗披碱草、鹅绒委陵菜的 GSH 含量与对

照相比显著上升。同时,4种植物中,除了麻花苳叶片的 Car 含量与对照相比显著上升外,矮嵩草、垂穗披碱草、鹅绒委陵菜的 Car 与其对照相比差异均不显著。

表1 长期增强 UV - B 辐射对4种植物叶片 GSH 和 Car 含量的影响

植物种类	处理	GSH( $\mu\text{mol/g}$ )	Car( $\text{mg/g}$ )
垂穗披碱草	CK	612.931 $\pm$ 6.71 <sup>a</sup>	0.347 $\pm$ 0.045 <sup>a</sup>
	UV - B	865.92 $\pm$ 22.07 <sup>b</sup>	0.426 $\pm$ 0.068 <sup>a</sup>
矮嵩草	CK	130.95 $\pm$ 9.33 <sup>a</sup>	0.259 $\pm$ 0.007 <sup>a</sup>
	UV - B	102.83 $\pm$ 1.62 <sup>b</sup>	0.384 $\pm$ 0.041 <sup>a</sup>
麻花苳	CK	533.81 $\pm$ 24.36 <sup>a</sup>	0.291 $\pm$ 0.012 <sup>a</sup>
	UV - B	395.97 $\pm$ 21.72 <sup>b</sup>	0.337 $\pm$ 0.02 <sup>b</sup>
鹅绒委陵菜	CK	705.46 $\pm$ 10.94 <sup>a</sup>	0.467 $\pm$ 0.06 <sup>a</sup>
	UV - B	742.05 $\pm$ 13.61 <sup>b</sup>	0.465 $\pm$ 0.033 <sup>a</sup>

注:数据以平均数(标准差)表示;不同字母表示差异显著( $P < 0.05$ )。

### 3 讨论和结论

在正常的生理条件下,植物体内的活性氧自由基的产生与清除是动态平衡的,以保证体内正常的代谢过程。逆境胁迫(UV - B、干旱、盐碱)会导致植物体内活性氧动态失衡,而大量抗性研究表明,这些恶劣的环境胁迫会促使植物体内抗氧化剂含量升高,抗氧化酶类酶活性增强<sup>[15-17]</sup>。可见高等植物体内抗氧化系统在灭活活性氧中起了重要作用<sup>[18]</sup>。如 SOD 能在细胞质、叶绿体和线粒体内使  $\text{O}_2^{\cdot -}$  歧化为  $\text{H}_2\text{O}_2$  和  $\text{O}_2$ ;主要位于过氧化体中的 AP 和 CAT 有利于过氧化自由基的分解;主要存在于叶绿体中的抗坏血酸 - 谷胱甘肽循环系统与  $\text{H}_2\text{O}_2$  的去毒性有关,Car 在光氧化过程中具有清除  $\text{O}_2^{\cdot -}$  的能力等<sup>[19]</sup>。

Murphy<sup>[20]</sup>的结果认为,植物膜系统是 UV - B 伤害的直接靶位点。曾韶西等<sup>[13]</sup>的试验也证明,在逆境下由氧自由基诱发的膜脂过氧化会对防御系统起破坏作用。本试验通过对4种高寒草甸植物的膜脂过氧化产物 MDA 的研究表明,在野外长期增强 UV - B 辐射下4种植物的 MDA 含量没有明显变化,这些植物已经适应了高原强的 UV - B 辐射环境。究其原因可能有两方面,一是长期生长在青藏高原强 UV - B 辐射环境下

的这4种植物体内的抗氧化系统在有效清除活性氧、保护植物免受损伤方面起到了至关重要的作用;二是目前关于增强 UV - B 对植物影响的研究多在实验室或温室条件下进行,这时,能降低 UV - B 对植物影响的 UV - A 和可见光的作用被大大降低,造成了许多实验室和野外关于 UV - B 辐射影响的差异<sup>[21]</sup>。

黄少白等<sup>[22]</sup>通过 UV - B 对菠菜 *Spinacia oleracea* 的研究表明,活性氧清除系统内 AsA 和 GSH 含量升高,AP 和 GR 活性增强,说明增加 UV - B 诱导了植物清除活性氧能力的增强。而对小麦 *Triticum aestivum* 抗氧化系统的研究发现<sup>[23]</sup>,小麦抗氧化系统内部对 UV - B 辐射的响应变化各不相同,吴杏春等<sup>[24]</sup>通过增强 UV - B 辐射对3个不同类型水稻 *Oryza sativa* 品种抗氧化系统影响的研究亦表明,增强 UV - B 辐射,3个供试品种的抗氧化系统内部变化幅度存在差异,可能与其适应性不同有关。本试验结果与吴杏春等的结果一致,在自然增强 UV - B 条件下,高寒草甸关键种植物矮嵩草除了 SOD 与 GSH 下降外,其他抗氧化物质与对照相比均无明显变化,可能这种植物的其他抗氧化物质已经足够抵御强 UV - B 辐射对其造成的伤害,矮嵩草在增强 UV - B 处理后叶片光合能力没有降低也说明了这一点<sup>[25]</sup>。同时垂穗披碱草、鹅绒委陵菜的 GSH 含量上升,后者的 CAT 活性亦显著增加,麻花苳的 SOD 活性与 Car 含量增加。Foyer 等认为,一些抗氧化酶活性的降低可能作为一种胁迫信号而激活其他抗氧化保护机制<sup>[26]</sup>。作为细胞抗氧化胁迫中心的 SOD 和重要的保护酶 CAT,有效地清除了由强 UV - B 产生的活性氧,使得4种植物的膜系统未受到损伤。而在细胞内可自由通过的小分子物质 GSH 可能及时弥补了一些抗氧化酶活性降低对细胞造成的伤害。Car 是高能短波辐射的猝灭剂,在吸收多余光能的同时,亦保护光系统免受光氧化破坏<sup>[27,28]</sup>。可见,植物的抗氧化能力是其抗氧化系统协同作用的综合效应,高山植物的抗氧化系统的协同作用对其适应恶劣的自然环境,保证生命过程正常进行具有重要的理论和实际意义。

## 参考文献

- [1] Krupa S D, Kichert R N. The greenhouse effect impacts of ultraviolet-B (UV-B) radiation : carbon dioxide(CO<sub>2</sub>) and ozone(O<sub>3</sub>) on vegetation[J]. Environ Pollut ,1989 ,61 (8) :263-303.
- [2] Jordan B R. The effects of ultraviolet-B radiation on plants :a molecular perspective[J]. Adv. Bot. Res. , 1996 ,22 :97-162.
- [3] Tevini M, Teramura A H. UV-B Effects of terrestrial plants[J]. Photochem Photobiol ,1989 ,40:479-487.
- [4] 晏斌,戴秋杰. 紫外线 B 对水稻叶组织中活性氧代谢及膜系统的影响[J]. 植物生理学报,1996 ,22 :373-378.
- [5] Krause G H. Photoinhibition of photosynthesis: An evaluation of damaging and protective mechanisms [J]. Physiol Plant ,1988 ,(74) :566-574.
- [6] Raeri I A, Lencioni L, Schenone G, et al. Gultathioe-ascorbic acid cycle in pumpkin plants grown under polluted air in open-up chambers[J]. Plant Physiol , 1993 ,142 (3) :286-290.
- [7] Ellman G L. Tissue sulfhydryl groups[J]. Arch Biochem Biophys ,1959 ,82 :70-77.
- [8] Ganopolitis C N, Ries S K. Superoxide dismutase II. Purification and quantitative relationship with water soluble protein in seedlings[J]. Plant Physiol , 1997 ,59 :315-318.
- [9] Orman R G. Peroxide. Levels and the activities of catalase, peroxidase and indoleacetic acid oxidase during and after chilling cucumber seedlings [J]. Plant Physiol ,1980 ,65 :407-408.
- [10] Chacne B, Maehly A G. Assay of catalase and peroxidase[J]. Methods Enzymol , 1955 ,(2) :764-775.
- [11] Nakano Y A. Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific in spinach chloroplasts[J]. Plant cell Physiol ,1981 ,22 :867.
- [12] Bradford M M. A rapid and sensitive Method for the quantization of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding[J]. Anal Biochem ,1976 ,72 :248.
- [13] 曾韶西,王以柔,刘鸿先. 低温胁迫对水稻幼苗抗坏血酸含量的影响[J]. 植物生理学报,1987 ,13 (4) :365-370.
- [14] Brandle J R, Campbell W F, Sisson W B, et al. Net photosynthesis is electron transport capacity and ultrastructure of *Pisum sativum* L. exposed to ultraviolet-B radiation [J]. Plant Physiol , 1977 , 60 (1) :165-169.
- [15] Salin M L. Toxic oxygen species and protective systems of the chloroplast[J]. Physiol Plant ,1988 , 72 :681-689.
- [16] Walker M A, Mckersie B D. Role of the ascorbate-glutathione antioxidant system in chilling resistance of tomato [J]. J. Plant Physiol , 1993 ,141 :234-239.
- [17] Dhindsa R S, Matowe W. Drought tolerance in two mosses :correlated with enzymatic defence against lipid peroxidation[J]. J. Exp. Bot. , 1981 ,32 :79-91.
- [18] Willekens H, Camp W V, Monmtagu M V, et al. Ozone, sulfur dioxide and ultraviolet-B have similar effects on Mrna accumulation of antioxidant genes in *Nicotiana plumbaginifolia* [J]. Plant Physiol , 1994 ,106 :1007-1014.
- [19] Fridovch I. The discovery of superoxide dismutase :a history [A]. : Superoxide dismutase [M]. USA : CRC Press ,1982. 89-124.
- [20] Murphy T F. Membrane as targets of ultraviolet radiation[J]. Plant Physiol ,1983 ,58 :381-388.
- [21] Searles P S, Flint S D, Caldwell M M. A meta-analysis of plant field studies simulating stratospheric ozone depletion[J]. Oecologia ,2001 ,127 :1-10.
- [22] 黄少白,刘晓忠,戴秋杰,等. 紫外光 B 辐射对菠菜叶片脂质过氧化作用的影响[J]. 植物学报,1998 ,40(6) :542-547.
- [23] 陈拓,任红旭,王勋陵. UV-B 辐射对小麦叶抗氧化系统的影响[J]. 环境科学学报,1999 ,19(4) :453-455.
- [24] 吴杏春,林文雄,郭玉春,等. UV-B 辐射增强对水稻叶片抗氧化系统的影响[J]. 福建农业学报,2001 ,16(3) :51-55.
- [25] 吴兵,韩发,岳相国,等. 长期增强 UV-B 辐射对高寒草甸植物光合速率和抗氧化系统的影响[J]. 西北植物学报,2005 ,25(10) :2010-2016.
- [26] Foyer C H, Halliwell B. The presence of glutathione and glutathione reductase in chloroplasts: A proposed role in ascorbic acid metabolism[J]. Planta , 1976 ,133 :21-25.
- [27] Middleton E M, Teramura A H. The role of flavonol glycosides and carotenoids in protecting soybean from ultraviolet-B damage[J]. Plant Physiol ,

1993,103:741-752.

合作用和呼吸作用的影响研究初报[J].草业学报,

[28] 侯扶江, 袁桂英. 紫外线-B 辐射对 3 种植物幼苗光

1998,7(3):77-79.

**Responses of the antioxidative system of plants in alpine meadow to long-term UV-B radiation**WU Bing<sup>1</sup>, YUAN Ming-lu<sup>2</sup>, LI Sheng<sup>1</sup>, HAN Fa<sup>3</sup>, SHI Sheng-bo<sup>3</sup>

(1. College of Life Science, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China;

2 Institute of Cereal Crops, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou 730070, China;

3. Northwest Institute of Biology, Chinese Academy of Sciences, Xining 810008, China)

**Abstract:** The effects of long-term intensified UV-B radiation on the antioxidant systems of four plants (*Kobresia humilis*, *Elymus nutans*, *Gentiana straminea*, *Potentilla anserina*) grown in alpine meadow was investigated, and stimulating a 5% ozone depletion in this region by supplementing UV-B radiation in the growth season. The results suggested that the membrane system of the plants was not injured although variation of the antioxidant system among four plants was different. Under long-term intensified UV-B radiation, the contents of MDA in four plants had no significant difference compared with the control. The contents of GSH in *E. nutans* and *P. anserina* increased as same as the contents of Car in *G. straminea*, meanwhile, superoxide dismutase (SOD) activities of *G. straminea* and catalase (CAT) activities of *P. anserine* elevated. It could be concluded that the cooperation of the antioxidant system proportions in the four plants was vital to their adaptation under long-term intensified UV-B radiation.

**Key words:** *Kobresia humilis* meadow; antioxidant system; long-term intensified UV-B radiation

## 我国将建设西藏高原国家生态安全屏障

素有“世界屋脊”之称的青藏高原是世界上独特的生态环境地域单元。西藏作为青藏高原的主体,其特殊的生态战略地位决定了青藏高原是我国和亚洲的重要生态安全屏障。为此,国家将投入巨资建设西藏高原国家生态安全屏障。这项涉及投资将超过 100 亿元的《西藏高原国家生态安全屏障保护与建设规划》,涉及 2006 年至 2030 年期间包括天然草地的保护、野生动植物保护及保护区建设、人工种草工程、防沙治沙工程、水土流失治理工程、矿山迹地修复工程、地质灾害防治工程以及生态监测与监管能力和科技支撑项目等共 3 大类 14 项工程。

按照规划内容,规划期内要完成退牧还草 1 496 万  $\text{hm}^2$ ,草地修复 420 万  $\text{hm}^2$ ,使 77% 的中度退化以上草地得到有效保护与治理;林地原生植被保护面积 834 万  $\text{hm}^2$ ,退化森林修复与防护林建设共 436.8 万  $\text{hm}^2$ ,保护与建设面积占林地总面积的 78%;沙化土地治理面积 30.6 万  $\text{hm}^2$ ;水土流失治理面积 315 万  $\text{hm}^2$ 。

西藏自治区环保局局长张永泽说,国家长期以来非常重视西藏的环境保护工作。在“十五”期间,国家投入近 1.2 亿元,实施了拉萨拉鲁湿地、纳木错自然保护区管护工程 and 那曲中部草地国家级生态示范区建设工程;中央财政安排专项资金 2 677 万元,自治区财政安排专项资金 1 172.1 万元,全面加强西藏环保基础工作和能力建设;2006 年,国家又投入 3 504 万元,自治区财政投入专项资金 388.4 万元,加强污染治理、自然保护区管护、辐射环境管理和环保能力建设。