西北植物学报,2005,25(3):519—524
Acta Bot. Boreal.-Occident. Sin.

文章编号:1000-4025(2005)03-0519-06

增强 UV-B 辐射对麻花艽叶片的抗氧化酶的影响*

李惠梅[1,2],师生波[1]

(1 中国科学院西北高原生物研究所,西宁 810001;2 中国科学院研究生院,北京 100039)

摘 要:以青藏高原的特有植物麻花艽为材料,研究麻花艽叶片抗氧化酶系统对增强 UV-B 辐射的响应.结果表明:在 UV-B 处理初期,麻花艽叶片 SOD、POD 的酶活性都能增加,但随着处理时间的延长,SOD、POD 的活性呈现下降趋势.麻花艽叶片 CAT 的酶活性在 UV-B 处理后下降明显,但作为清除叶绿体中 H_2O_2 的关键酶 AP 的酶活性表现为明显地增加趋势,说明在对麻花艽叶片增强 UV-B 辐射反应中 AP 起有着重要作用.MDA 的含量随 UV-B 处理时间延长而增加,表明 UV-B 降低了细胞内活性氧自由基的清除能力,膜脂过氧化作用加剧,导致了对麻花艽叶片的伤害效应.

关键词:麻花艽;UV-B;抗氧化酶

中图分类号 Q945.78　　**文献标识码**:A

Effects of Enhanced UV-B Radiation on Antioxydative Enzymes in *Gentiana straminea* Leaves

LI Hui-mei[1,2], SHI Sheng-bo[1]

(1 Northwest Institute of Plateau Biology, The Chinese Academy of Sciences, Xining 810001, China; 2 Graduated Student of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

Abstract: Effects of enhanced UV-B radiation on the activities of SOD, POD, CAT and AP in *Gentiana straminea* Maxim. leaves, were studied. The results showed that in *Gentiana straminea* Maxim. leave the activities of superoxide dismutase (SOD) and peroxidase (POD) increased under the enhanced UV-B radiation, and decreased in long terms UV-B exposure; at the same time, in *Gentiana straminea* Maxim. leave the activities of catalase (CAT) droped and the activity of ascorbic acid-peroxidase (AP), as a key enzyme of H_2O_2 scavenging system in choloroplasts, enhanced under the enhanced UV-B radiation. It might be showed that AP was mostly useful in the effects of antioxydative enzyme by enhanced UV-B radiation in *Gentiana straminea* Maxim. leaves. The content of malonaldehyde (MDA) was markedly enhanced by long terms UV-B exposure in *Gentiana straminea* Maxim. leaves. It might be concluded that UV-B injury to membrane was correlated to activated oxygen accumulation which promoted lipid peroxidation, while excessive activated oxygen production might be caused by the inhibition of antioxydative enzyme.

Key words: *Gentiana straminea* Maxim.; UV-B; antioxydative enzyme

麻花艽(*Gentiana straminea* Maxim.)为龙胆科(Gentianaceae)龙胆属植物.麻花艽为多年生草本植物,主要分布于青藏高原的山坡草地、河谷滩地、灌丛以及高寒草甸中,为青藏高原草地群落的主要

* 收稿日期:2004-07-25;修改稿收到日期:2004-11-19
基金项目:国家自然科学基金课题项目(30170154);国际科技合作重点项目计划(2002CB714006);中国科学院知识创新项目(KSCX2-1-07)的部分研究内容
作者简介:李惠梅(1980-),女(汉族),青海西宁人,在读硕士,主要从事光合作用和抗氧化酶方面的工作.

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

伴随种.青藏高原平均海拔2 300～4 800 m,空气稀薄,气温日变化大,太阳直接辐射强,约占太阳总辐射的70%左右,强度多在1 000 W/m^{2}以上,PAR可达2 300～2 400 μmol·m^{-2}·s^{-1},紫外辐射非常强烈[1],这种严酷的自然环境对植物的生长极为不利.而20世纪以来,大气平流层中臭氧含量下降导致地球表面的紫外线B(UV-B,280～320 nm)辐射增加对高等植物的影响已受到广泛关注[2].已有研究表明UV-B对植物叶绿体的伤害主要是通过活性氧的破坏作用造成,因此能否及时消除细胞内活性氧的伤害也从某种程度上意味着是植物能否适应环境.在此基础上,我们对温室中育种栽培的麻花艽进行了增强UV-B辐射下抗氧化酶的研究.

1 材料与方法

1.1 材料与UV-B辐射处理

将野外采集的麻花艽(*Gentiana stramin ea* Maxim.)种子,于2003年10月播种于青海西宁二十里铺的温室里.2004年4月份选取生长良好的第二年生的麻花艽的第二片成熟叶片在室内进行UV-B处理.晴天温室平均温度为25℃～30℃,相对湿度为50%左右,PAR平均为1 000 μmol·m^{-2}·s^{-1}.每天上午10:00左右至下午6:00进行通风,定期灌溉和施肥.

采用北京电光源研究所生产的紫外灯(UV 313,40 W)增加UV-B辐射,灯管发射的紫外光经醋酸纤维膜(cellulose diacetate,厚度为0.095 mm)过滤.紫外辐射强度用742型UV光辐射仪(北京师范大学生产)测量,并根据Caldwell(1971)的公式转换为生物有效辐射.整个装置在实验前连续照射72 h,以减少灯管和薄膜滤过作用的不稳定性.设两个水平的UV-B处理:23.0 kJ·m^{-2}·d^{-1}和28.0 kJ·m^{-2}·d^{-1}.将麻花艽叶片浮在盛有蒸馏水的培养皿中,进行2 h、4 h、8 h、10 h(9:00～19:00)的短期UV-B处理,以未经UV-B辐射处理做为对照(即0).UV-B 23 kJ·m^{-2}·d^{-1}水平下处理2 h、4 h、8 h、10 h的剂量分别为1.911、3.823、7.645、9.556 kJ·m^{-2},UV-B 28 kJ·m^{-2}·d^{-1}水平下处理2 h、4 h、8 h、10 h的剂量分别为2.324、4.648、9.297、11.621 kJ·m^{-2}.

1.2 测试项目

1.2.1 酶液的提取 酶提取液为6 mL 0.15 mol/L磷酸缓冲液(内含0.3% PVP、pH7.0),滤液在15 000 r/min下离心10 min,上清液用于酶活性测定.

1.2.2 超氧化物歧化酶(SOD)的测定 测定按Giannopiolitis等[3]的方法,以抑制氮蓝四唑(NBT)光化还原,50%作为1个酶单位(U),酶活性以U·mg^{-1}蛋白表示.

1.2.3 过氧化物酶(POD)的测定 测定按Orman[4]方法,以每分钟A_{470}增加0.01为1个酶活单位(U),酶活性以U·mg^{-1}蛋白表示.

1.2.4 过氧化氢酶(CAT)的测定 测定按Chance和Maehly[5]方法,测定H_2O_2减少时A_{240}的变化,以每分钟酶转变1 μmol·L^{-1} H_2O_2为一个酶活单位(U),酶活性以U·mg^{-1}蛋白表示.

1.2.5 抗坏血酸过氧化物酶(AP)的测定 测定按Nakano和Asada[6]方法,测定H_2O_2减少时A_{290}的变化,以每分钟酶转变1 μmol·L^{-1} H_2O_2为1个酶活单位(U),酶活性以U·mg^{-1}蛋白表示.

1.2.6 蛋白质含量的测定 测定方法按考马斯亮蓝G-250染色法Bradford[7]进行测定,以牛血清蛋白为标准蛋白作标准曲线.

1.2.7 丙二醛(MDA)含量的测定 测定按Raeri[8]方法,以材料鲜重表示MDA含量,单位为μmol·g^{-1} FW.

1.2.8 统计分析 测定数据用SPSS 11.0软件做统计分析,同一UV-B辐射水平下不同时间的酶活性和MDA含量用One-Way ANOVA做显著性检验,对两个不同水平的UV-B辐射处理的酶活性和MDA含量用Test for two independent samples作显著性检验.

2 结果与分析

2.1 不同UV-B辐射对麻花艽叶片抗氧化酶活性的影响

表1结果显示,UV-B处理不论是辐射强度还是辐射时间对麻花艽叶片SOD、POD、CAT、AP酶活性的影响均具有显著作用,而对MDA含量的影响,不同的UV-B辐射水平对MDA含量的影响显著,而相同的UV-B辐射强度下仅在辐射时间较长时具有显著的影响.

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表 1　增强 UV-B 辐射对麻花艽叶片抗氧化酶的影响

Table 1　Effects of enhanced UV-B radiation on antioxydative enzymes in *Gentiana stram inea* leaves

酶活性 Activity (U/mg pr)	UVB 水平 (kJ·m^{-2}·d^{-1})	时间 Time(h) 0	2	4	8	10
SOD	23.0	1.606(0.041)a1	20.191(0.805)a2	43.274(0.532)a3	25.841(0.488)a4	21.706(0.957)a5
	28.0	1.606(0.041)a1b1	26.855(0.486)b2	32.278(0.329)b3	23.724(0.618)b4	7.787(0.323)b5
POD	23.0	0.2569(0.0107)a1	0.3697(0.0256)a2	0.9668(0.1018)a3	2.2136 (0.1090)a4	4.2565(0.1086)a5
	28.0	0.257(0.0107)a1b1	0.929(0.0844)b2	0.741(0.0786)b3	0.389(0.0297)b4	0.055(0.0111)b5
CAT	23.0	36.778(0.173)a1	14.115(0.146)a2	2.134(0.017)a3	2.672(0.017)a4	1.894(0.073)a5
	28.0	36.778(0.173)a1b1	12.355(1.732)b2	7.678(0.123)b3	5.314(0.166)b4	2.121(0.041)b5
AP	23.0	8.793(0.148)a1	10.719(0.212)a2	19.193(0.158)a3	19.365(0.021)a3	21.886(1.259)a4
	28.0	8.793(0.148)a1b1	19.235((0.175)b2	22.206(0.191)b3	25.945(0.137)b4	35.993(0.200)b5
MDA (μmol/g FW)	23.0		2.993(0.080)a1	2.576(0.049)a1	3.070(0.188)a1	4.910(0.045)a2
	28.0		3.377(0.229)b1	2.190(0.083)b2	0.290(0.181)a1b1b	4.995(0.201)a2b3

注 数据以平均数(标准差)表示. 同一列(行)中标相同字母为差异不显著($P < 0.05$).

Note: Data showed above is means (SD). Within each line, values followed by the same letter are not significantly difference at $P < 0.05$ according to the LSD multiple test).

图 1～4 是麻花艽叶片 SOD、POD、CAT、AP 酶活性对增强不同 UV-B 辐射剂量的响应. 可以看出,UV-B 照射下,SOD、POD、CAT、AP 的酶活性变化各不相同,而且不同剂量的 UV-B 辐射所引起的响应也略有不同. SOD 的酶活性在 UV-B 照射初期增加(图 1),4 h 以后,随着光照时间的增加酶活性降低. POD 的酶活性在低 UV-B 辐射强度下表现为增加趋势(图 2),在高辐射强度下,UV-B 照射初期 POD 的酶活性增加,2 h 以后,随着光照时间的增加酶活性呈下降趋势. UV-B 处理 4 h 以后,高辐射强度下 POD 的酶活性明显小于低辐射强度下的. CAT 的酶活性受 UV-B 辐射抑制(图 3),酶活性呈下降趋势,2 h 以后高辐射强度下的 CAT 酶活性高于低辐射强度下的. 在 UV-B 辐射下,AP 的酶活性表现为上升趋势(图 4),高辐射强度下 AP 的酶活性明显高于低辐射强度,酶活性增加较快.

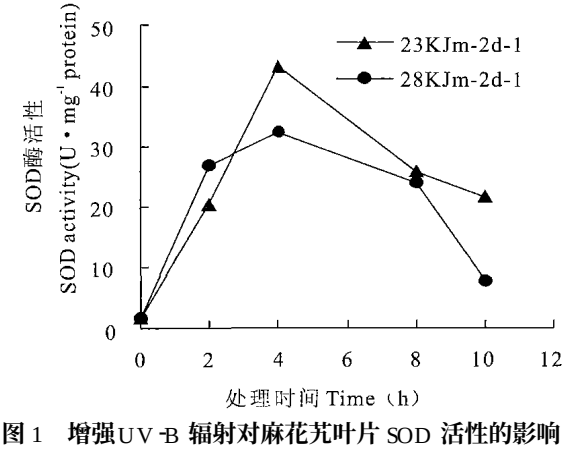

图 1　增强 UV-B 辐射对麻花艽叶片 SOD 活性的影响

Fig. 1　Effects of enhanced UV-B radiation on SOD activity in *Gentiana stram inea* leaves

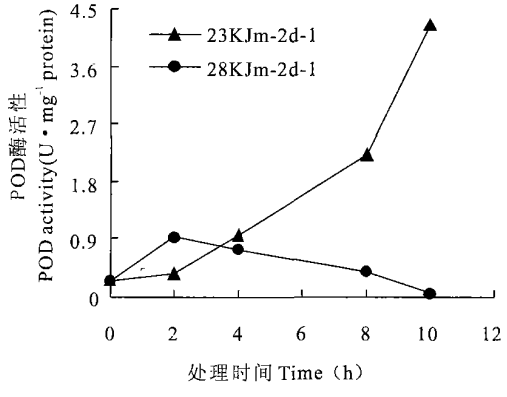

图 2　增强 UV-B 辐射对麻花艽叶片 POD 活性的影响

Fig. 2　Effects of enhanced UV-B radiation on POD activity in *Gentiana stram inea* leaves

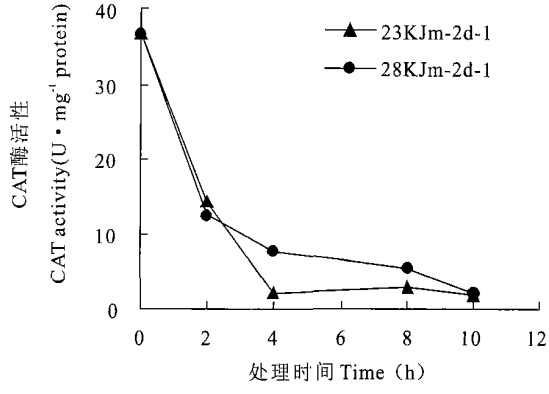

图 3　增强 UV-B 辐射对麻花艽叶片 CAT 活性的影响

Fig. 3　Effects of enhanced UV-B radiation on CAT activity in *Gentiana stram inea* leaves

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

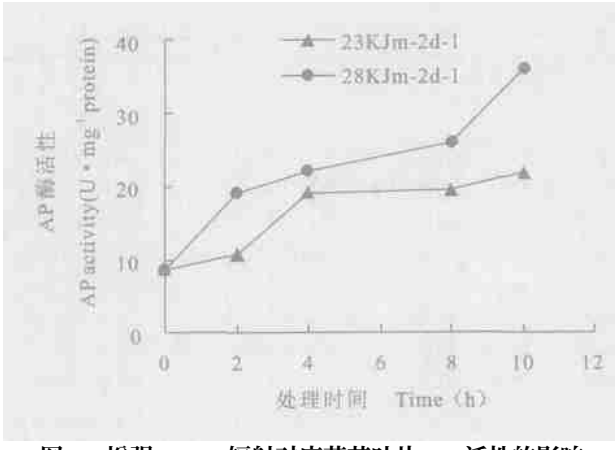

图 4 增强UV-B 辐射对麻花艽叶片AP 活性的影响

Fig. 4 Effects of enhanced UV-B radiation on AP activity in *Gentiana stram inea* leaves

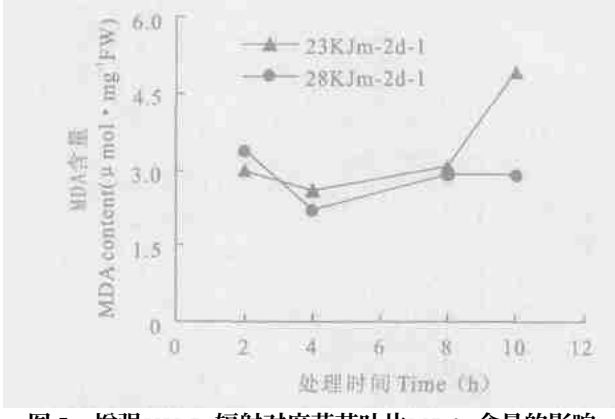

图 5 增强UV-B 辐射对麻花艽叶片MDA 含量的影响

Fig. 5 Effects of enhanced UV-B radiation on MDA content in *Gentiana stram inea* leaves

2.2 不同 UV-B 辐射对麻花艽叶片膜脂过氧化产物MDA 含量的影响

不同剂量的UV-B 辐射处理后,麻花艽叶片中MDA 的变化具有相似的变化趋势(图 5) .UV-B 照射初期MDA 的含量略下降,但随着光照时间的延长MDA 含量也增加,10 h 时增加较为明显 .

2.3 CAT 和AP 的酶活性对 UV-B 辐射的响应

表 1 列出了与UV-B 照射前相比CAT 的酶活性下降和AP 的酶活性增加的百分比,从表 1 可以看出,对麻花艽叶片进行UV-B 处理后,随着光照时间的增加,AP 的酶活性增加而与此同时CAT 的酶活性呈下降趋势 .在低剂量UV-B(23.0 kJ·m^{-2}·d^{-1})辐射下,光照 2 h、4 h、8 h、10 h 后AP 的活性比UV-B 照射前分别增加了 21.91%、118.29%、120.24%、148.92% . 在高剂量UV-B(28.0 kJ·m^{-2}·d^{-1})辐射下,光照 2 h 后活性比UV-B 照射前增加了 118.76%,是在低剂量UV-B 辐射下光照 4 h 时增加的水平 ;光照 4 h 后活性比UV-B 照射前增加了 152.56%,比在低剂量UV-B 辐射下光照 10 h 时增加的水平还高 .UV-B 照射后CAT 酶活性下降,但两个剂量UV-B 辐射下酶活性下降的百分比相差不明显 .

表 2 UV-B 照射后CAT 酶活性下降和AP 酶活性增加的百分数

Table 2 Effects of enhanced UV-B radiation on activity of CAT and AP

时间 Time(h)	UV-B 照射后CAT 下降的百分比 The decreasing ratio of CAT activity after UV-B radiation(%)		UV-B 照射后AP 增加的百分比 The increasing ratio of AP activity after UV-B radiation(%)	
	UV-B 23.0 (kJ·m^{-2}·d^{-1})	UV-B 28.0 (kJ·m^{-2}·d^{-1})	UV-B 23.0 (kJ·m^{-2}·d^{-1})	UV-B 28.0 (kJ·m^{-2}·d^{-1})
2	61.62	66.41	21.91	118.76
4	94.20	79.12	118.29	152.56
8	92.73	85.56	120.24	195.08
10	94.85	94.23	148.92	309.36

3 讨 论

在正常的生理条件下,植物体内的活性氧自由基的产生和自身的抗氧化系统(主要是SOD、POD、CAT、ASP 等抗氧化酶和一些抗氧化剂)对活性氧的清除是动态平衡的,可以保持体内正常的代谢过程 . SOD 能在细胞质、叶绿体和线粒体内清除$O_2^{\cdot-}$. $O_2^{\cdot-}$ 被 SOD 歧化成H_2O_2 和O_2 ;POD、CAT、AP 可以清除不同细胞器内的H_2O_2 .SOD、POD、CAT、AP 的协同作用使植物体内活性氧($O_2^{\cdot-}$、H_2O_2、$^1O_2$、·OH 等)浓度维持在一个低水平,从而防止活性氧毒害,因而这几种酶被称为活性氧防御酶系统[9] .植物在低温[10]、干旱[11]、渗透[12]和强紫外线[13]等逆境条件下,体内会产生大量活性氧,一些清除活性氧的酶活性也随之升高,但当活性氧的产生和清除之间的平衡被破坏以后,植物体内的自由基代谢发生紊

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

乱,植物便会出现氧化伤害现象.许多研究表明,低温和强光逆境下,植物体的抗氧化酶水平降低,清除自由基的能力下降[10].干旱胁迫处理后不同抗旱性小麦叶片中 SOD、CAT、POD 酶活性与膜透性及膜脂过氧化水平之间存在着负相关[11].盐胁迫使自由基产生速率增加,SOD 活性增加,膜脂过氧化作用加剧[12].UV-B 能降低水稻幼苗细胞内活性氧自由基的清除能力,膜脂过氧化作用加剧,最终导致伤害效应[13].

晏斌[14]在对水稻叶片增强 UV-B 的研究中发现,UV-B 处理初期,活性氧清除系统的水平增高,这与作者实验结果是一致的.本实验结果表明,UV-B 光照初期和较小的辐射强度对麻花艽叶片活性氧防御酶系统中的 SOD、POD 及 AP 的酶活性表现出一定的促进作用,但随着 UV-B 照射时间的增加和辐射强度的加大,SOD 和 POD 的活性便开始下降,表现出抑制作用,可能是强 UV-B 辐射钝化了 SOD、POD 的酶活性.而 CAT 的酶活性从 UV-B 处理一开始就表现出抑制效应,酶活性表现为下降趋势,说明麻花艽叶片在增强 UV-B 处理后,CAT 对活性氧变化较为敏感.郭培国[15]的研究表明,水稻叶片的 CAT 活性在夜间高温处理 2 h 以后即开始下降,而 SOD、POD 要在 3 h 以后才有下降趋势.说明 CAT 对活性氧代谢平衡失调较为敏感.而作为清除叶绿体中的 H_2O_2 的关键酶 AP[16]的酶活性受 UV-B 促进而呈上升趋势,AP 活性无论在酶活水平及增长速度上均大于 POD,且在 UV-B 辐射强度较大和时间较长时活性升高更为迅速和明显,高 UV-B 辐射强度下 2 h 后便已达到了低辐射强度下 4 h 时增加的水平,4 h 后便已达到了高 UV-B 辐射强度下 10 h 时增加的水平,说明在对麻花艽叶片增强 UV-B 辐射反应中 AP 扮演着重要的角色.曹宛红[17]认为叶绿体中不含有分解 H_2O_2 的 CAT,但 AP 可使叶绿体中 H_2O_2 的浓度降低,起到保护叶绿体的作用,AP 是叶绿体中分解 H_2O_2 的关键酶.刘志礼[18]等对螺旋藻的研究发现,高盐浓度下 CAT 完全失活,而 AP 活性较高,螺旋藻体内的 H_2O_2 主要是通过 AP 来清除的.因此认为 AP 在增强 UV-B 辐射的响应中起着重要的作用,AP 有可能成为作物抗逆性育种研究者考虑的生理生化指标[17].

MDA 是膜脂过氧化的重要产物之一,其浓度表示过氧化程度和膜系统伤害程度,所以常作为逆境生理指标.Murphy[19]的研究结果认为植物膜系统是 UV-B 伤害的直接靶位点.曾韶西等[20]的实验证明在逆境下由自由基诱发增生的膜脂过氧化产物反过来可对防御系统起破坏作用,脂质过氧化作用越剧烈,MDA 含量越高,则损伤也越大.本实验结果表明,UV-B 照射后,麻花艽叶片的 MDA 含量下降.认为在短期 UV-B 辐射(2～4 h)下,植物产生的活性氧的伤害能够通过提高植物自身的抗氧化酶系统的活性(SOD、POD、AP)而加以清除,所以此时的 MDA 含量下降,也说明此时的膜系统伤害不大.但随着 UV-B 辐射时间的增加,MDA 的含量一直增加,10 h 时增加更为明显,这说明 UV-B 处理的麻花艽叶片中,细胞内活性氧的积累已经引发了膜脂过氧化,对植物的膜系统造成了伤害.

参考文献:

[1] GUO S(郭　松), ZHOU X J(周秀骥). The results elementary assay of O_3 and UV-B in the air in Qinghai-Tibet plateau[J]. *Chinese Science Bulletin*(科学通报), 1994, 39:50-53(in Chinese).

[2] MADRONICH S. Changes in ultraviolet radiation reaching the earth's surface[J]. *Ambio*, 1995, **24**(1):143-152.

[3] GIANNOPOLITIS 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.

[4] 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.

[5] CHANCE B, MAEHLY A G. Assay of catalase and perxidase[J]. *Methods Enzymol.*, 1955, 2:764-775.

[6] NAKANO Y, ASADA K H. Peroxide is scavenged by ascorbate-specific in spinach chloroplasts[J]. *Plant Cell Physiol.*, 1981, 22:867.

[7] 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.

[8] RAERIA, LENCIONI L, SCHENONE G, *et al*. Gultathioe-ascorbic acid cyclein pumplein plans grown under polluted air in open-up chambers[J]. *Plant Physiol.*, 1993, **142**(3):286-290.

[9] FRIDOVCH I. The discovery of superoxide dismutase: a history[A]. Oberly L W, ed. Superoxide dismutase(Vol. Ⅰ)[C]. CRC Press, USA, 1982:89-124.

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

[10] WANG Y R(王以柔), ZENG SH X(曾韶西), L I X P(李小萍). Low temperature induced injury of light oxidation in rice seedlings[J]. *Acta Phytophysiologica Sinica*(植物生理学报), 1990, **16**(2): 102- 108(in Chinese).

[11] WANG B SH(王宝山). Biological free radicals and membrane damage of plants[J]. *Plant Physiologica Communications*(植物生理学通讯), 1988, 2: 12- 16(in Chinese).

[12] L IU W(刘 宛), HU W Y(胡文玉), XIE F T(谢甫绨), ZOU L D(邹良栋). Effects of NaCl stress and exogenous free radical on oxygen free radical and membrane lipid peroxidation of isolated wheat leaves[J]. *Plant Physiologica Communications*(植物生理学通讯), 1995, **31**(1): 26- 29(in Chinese).

[13] L I SH SH(李韶山), WANG Y(王 艳), L IU S H(刘颂豪). Effects of UV-B radiation on lipid peroxidation in rice seedlings[J]. *Acta Laser Biology Sinica*(激光生物学报), 2000, **9**(1): 23- 26(in Chinese).

[14] YAN B(晏 斌), DA IQ J(戴秋杰). Effects of UV-B radiation on active oxygen metabolism and membrane system of rice leaves[J]. *Acta Phytophysiologica Sinica*(植物生理学报), 1996, 22: 373- 378(in Chinese).

[15] GUO P G(郭培国), L I R H(李荣华). Effects of high nocturnal temperature on phyotosynthetic organization in rice leaves[J]. *Acta Botanica Sinica*(植物学报), 2000, **42**(7): 673- 678(in Chinese).

[16] GRODEN D, BECK E. H_2O_2 destruction by ascorbate-dependent systems from chloroplasts[J]. *Biochim. Biophys Acta*, 1979, 546: 426.

[17] CAO W H(曹宛红). Ascorbate peroxidase as a key enzyme of H_2O_2 scavenging system in choloroplasts[J]. *Plant Physiologica Communications*(植物生理学通讯), 1994, **30**(6): 452- 458(in Chinese).

[18] L IU ZH L(刘志礼), L I P Y(李鹏云). The effect of NaCl stress on the antioxidase activities and growth of *Spinicina* Maxim. [J]. *Chinese Bulletin of Botany*(植物学通报), 1998, **15**(3): 43- 47(in Chinese).

[19] MURPHY T F. Membrame as targets of ultraviolet radiation[J]. *Plant Physiol.*, 1983, 58: 381- 388.

[20] ZENG SH X(曾韶西), WANG Y R(王以柔). Effects of low temperature stress on AsA peroxidase activity and content of GSH in cucumber cotyledons[J]. *Acta Phytophysiologica Sinica*(植物生理学报), 1990, **16**(1): 37- 42(in Chinese).

《作物抗旱节水的生理遗传育种基础》出版发行

由中国工程院院士山仑先生、中国科学院院士李振声先生作序，张正斌研究员编著的《作物抗旱节水的生理遗传育种基础》一书，2003 年由科学出版社出版．全书共计 40 余万字，定价 42 元．欢迎单位和个人从科学出版社购买．

《作物抗旱节水的生理遗传育种基础》系统地介绍了作物抗旱节水生理遗传育种研究的理论和技术体系及最新研究进展．全书共 15 章：水危机与蓝色革命，节水农业的发展；生物节水；作物水分利用效率和蒸发蒸腾估算模型；碳同位素在作物水分利用效率研究中的应用及问题；作物抗旱节水形态发育适应与自我调控；作物抗旱节水的生理调控机制；气孔调节与抗旱节水；激素和信号传导与抗旱抗逆；干旱等逆境诱导蛋白和糖及其功能；干旱等逆境诱导基因的调控及克隆；抗旱节水相关基因的定位和分子标记；转耐旱耐逆基因作物；作物整体抗逆性及共同机制和作物抗旱节水育种等．《作物抗旱节水的生理遗传育种基础》可作为研究作物水分生理及作物遗传育种者和相关大专院校博士、硕士参考使用．

出版发行：科学出版社学士书店

联系地址：北京东黄城根 16 号，100717　**联系电话**：010-64000246

作者联系：中国科学院遗传与发育生物学研究所农业资源研究中心　张正斌

联系地址：石家庄市槐中路 286 号　050021　**联系电话**：0311-5886648　E-mail：zzb@mail.sjziam.ac.cn

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net