

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第33卷 第9期 Vol.33 No.9 **2013**

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 33 卷 第 9 期 2013 年 5 月 (半月刊)

目 次

前沿理论与学科综述

- 可持续发展研究的学科动向 茶 娜, 邬建国, 于润冰 (2637)
- 代谢异速生长理论及其在微生物生态学领域的应用 贺纪正, 曹 鹏, 郑袁明 (2645)
- 植物内生菌促进宿主氮吸收与代谢研究进展 杨 波, 陈 晏, 李 霞, 等 (2656)
- 中国园林生态学发展综述 于艺婧, 马锦义, 袁韵珏 (2665)

个体与基础生态

- 基于最小限制水分范围评价不同耕作方式对土壤有机碳的影响 陈学文, 王 农, 时秀焕, 等 (2676)
- 草原土壤有机碳含量的控制因素 陶 贞, 次旦朗杰, 张胜华, 等 (2684)
- 外源钙离子与南方菟丝子寄生对喜旱莲子草茎形态结构的影响 车秀霞, 陈惠萍, 严巧娣, 等 (2695)
- 毛竹出笋后快速生长期茎秆色素含量与反射光谱的相关性 刘 琳, 王玉魁, 王星星, 等 (2703)
- 巴郎山异型柳叶片功能性状及性状间关系对海拔的响应 冯秋红, 程瑞梅, 史作民, 等 (2712)
- 外源磷或有机质对板蓝根吸收转运砷的影响 高宁大, 耿丽平, 赵全利, 等 (2719)
- 不同猎物饲喂对南方小花蝽捕食量和喜好性的影响 张昌容, 郅军锐, 莫利锋 (2728)
- 捕食风险对东方田鼠功能反应格局的作用 陶双伦, 杨锡福, 姚小燕, 等 (2734)
- 基于线粒体细胞色素 c 氧化酶亚基 I 基因序列的帘蛤科贝类分子系统发育研究
..... 程汉良, 彭永兴, 董志国, 等 (2744)
- 不同实验生态环境对海刺猬遮蔽行为的影响 常亚青, 李云霞, 罗世滨, 等 (2754)

种群、群落和生态系统

- 基于 RS 与 GIS 的赣江上游流域生态系统服务价值变化 陈美球, 赵宝苹, 罗志军, 等 (2761)
- 长江口及邻近海域富营养化指标响应变量参照状态的确定 郑丙辉, 朱延忠, 刘录三, 等 (2768)
- 长江口及邻近海域富营养化指标原因变量参照状态的确定 郑丙辉, 周 娟, 刘录三, 等 (2780)
- 鸭绿江口及邻近海域生物群落的胁迫响应 宋 伦, 王年斌, 杨国军, 等 (2790)
- 杭州西溪湿地大型底栖动物群落特征及与环境因子的关系 陆 强, 陈慧丽, 邵晓阳, 等 (2803)
- 生物土壤结皮对荒漠土壤线虫群落的影响 刘艳梅, 李新荣, 赵 昕, 等 (2816)
- 大棚模拟条件下角倍蚜春季迁飞数量动态及其与气象因子的关系 李 杨, 杨子祥, 陈晓鸣, 等 (2825)
- 宁南山区植被恢复对土壤团聚体水稳定及有机碳粒径分布的影响 程 曼, 朱秋莲, 刘 雷, 等 (2835)
- 1958—2008 年太白山太白红杉林碳循环模拟 李 亮, 何晓军, 胡理乐, 等 (2845)
- 不同干扰对黄土区典型草原物种多样性和生物量的影响 陈芙蓉, 程积民, 刘 伟, 等 (2856)
- 乌拉山自然保护区白桦种群的年龄结构和点格局分析 胡尔查, 王晓江, 张文军, 等 (2867)
- 西南干旱对哀牢山常绿阔叶林凋落物及叶面积指数的影响 杞金华, 章永江, 张一平, 等 (2877)
- 阿尔泰山小东沟林区乔木物种丰富度空间分布规律 井学辉, 曹 磊, 臧润国 (2886)

景观、区域和全球生态

太湖流域生态风险评价 许妍,高俊峰,郭建科 (2896)

基于 GIS 的关中-天水经济区土地生态系统固碳释氧价值评价 周自翔,李晶,冯雪铭 (2907)

资源与产业生态

淹水条件下控释氮肥对污染红壤中重金属有效性的影响..... 梁佩筠,许超,吴启堂,等 (2919)

研究简报

高温强光对小麦叶绿体 Deg1 蛋白酶和 D1 蛋白的影响及水杨酸的调节作用
..... 郑静静,赵会杰,胡巍巍,等 (2930)

不同 CO₂ 浓度变化下干旱对冬小麦叶面积指数的影响差异 李小涵,武建军,吕爱锋,等 (2936)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 308 * zh * P * ¥90.00 * 1510 * 32 * 2013-05



封面图说: 肥美的当雄草原——高寒草甸是在寒冷的环境条件下,发育在高原和高山的一种草地类型。其植被组成主要是多年生草本植物,冬季往往有冰雪覆盖,土壤主要为高山草甸土。当雄草原位于藏北高原,藏南与藏北的交界地带,海拔高度为 5200—4300m,受海洋性气候影响,呈现高原亚干旱气候,年平均降水量 293—430mm。主要有小嵩草草甸、藏北嵩草草甸和沼泽草甸等,覆盖度为 60%—90%,其中小嵩草草甸分布面积最大,连片分布于广阔的高原面上。高寒草甸草层低,草质良好,是畜牧业优良的夏季牧场。

彩图及图说提供: 陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201202130182

郑静静, 赵会杰, 胡巍巍, 赵雪娟, 赵一丹. 高温强光对小麦叶绿体 Deg1 蛋白酶和 D1 蛋白的影响及水杨酸的调节作用. 生态学报, 2013, 33(9): 2930-2935.

Zheng J J, Zhao H J, Hu W W, Zhao X J, Zhao Y D. Effect of heat and high irradiation stress on Deg1 protease and D1 protein in wheat chloroplasts and the regulating role of salicylic acid. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(9): 2930-2935.

高温强光对小麦叶绿体 Deg1 蛋白酶和 D1 蛋白的影响及水杨酸的调节作用

郑静静, 赵会杰*, 胡巍巍, 赵雪娟, 赵一丹

(河南农业大学生命科学学院, 郑州 450002)

摘要:以小麦品种矮抗 58 为材料, 采用 0.3 mmol/L 水杨酸(SA)溶液预处理灌浆期小麦叶片, 以水预处理为对照, 进行 3 种不同的光温处理: 适宜温度中等光强(25 °C, 600 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) 2 h、高温强光(38 °C, 1600 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) 2 h、高温强光 2 h 后置于适宜温度中等光强下恢复 3 h。测定不同光温条件下, 小麦叶绿体的 Deg1 蛋白酶、D1 蛋白和 PS II 功能的变化及 SA 的调节效应。结果表明, 高温强光胁迫导致 Deg1 蛋白酶和 D1 蛋白降解, PS II 功能发生可逆损伤。与对照相比, 水杨酸预处理不仅能够抑制高温强光下小麦叶绿体 Deg1 蛋白酶和 D1 蛋白的降解, 维持较高的 PS II 原初光化学效率(F_v/F_m)、实际光化学效率($\Phi_{\text{PS II}}$)、电子传递速率和净光合速率(P_n), 而且加快回到非逆境下 PS II 功能的恢复。

关键词:小麦; 高温强光胁迫; 水杨酸; Deg1 蛋白酶; D1 蛋白; PS II 功能

Effect of heat and high irradiation stress on Deg1 protease and D1 protein in wheat chloroplasts and the regulating role of salicylic acid

ZHENG Jingjing, ZHAO Huijie*, HU Weiwei, ZHAO Xuejuan, ZHAO Yidan

College of Life Sciences, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China

Abstract: Wheat is one of the most important food crops in China and its production is crucial to ensure national food security. In the north of China, wheat plants often suffer from heat and high irradiation stress during grain-filling stage, leading to damage in photosynthetic apparatus and reduction of yield. Especially, the reaction center in photosystem II (PS II) is prone to various environmental stresses, and the extent of damage depends on the balance between injury and repair. The repair of PS II needs fast turnover of D1 protein, which is the key component of PS II. During the repair of PS II, damaged D1 protein must be degraded and subsequently replaced by new copies quickly. It is well known that Deg1 protease plays an important role in cleavage of damaged D1 protein. However, the dynamic change in Deg1 protease under heat and high light stress is still largely unclear. In this study, we used wheat cultivar "Aikang 58" to determine the effects of heat and high light stress on Deg1 protease and D1 protein levels and PS II performance and further the regulation role of salicylic acid (SA) in the repair of PS II. Wheat leaves of grain-filling stage were pretreated with 0.3 mmol/L SA and distilled water (as control) respectively and then subjected to three temperature and irradiation treatments: moderate temperature and irradiation (25 °C, 600 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, MTI) for 2 h, high temperature and irradiation (38 °C, 1600 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, HTI) for 2 h, and HTI following by 3 h MTI. Fluorescence parameters were measured using a chlorophyll fluorometer. The levels of Deg1 protease and D1 protein were analyzed by western-blotting analysis. The results showed that

基金项目: 国家自然科学基金(30971725)

收稿日期: 2012-02-13; 修订日期: 2012-08-20

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zhaohj303@163.com

HTI treatment resulted in degradation of Deg1 protease and D1 protein and reversible damage to PS II function. Compared with control, pretreatment with SA not only retarded degradation of Deg1 protease and D1 protein, maintained higher potential photochemical efficiency (F_v/F_m), actual photochemical efficiency ($\Phi_{PS II}$), electron transfer rate (ETR) of PS II and net photosynthetic rate (P_n) of wheat leaves under HTI, but also accelerated the recovery under non stress condition. It suggests that SA could protect photosynthetic apparatus of wheat against combined stress of heat and high irradiation to some extent via maintaining the turnover of D1 protein.

Key Words: wheat; heat and high irradiation stress; salicylic acid; Deg1 protease; D1 protein; PS II performance

小麦是我国北方最主要的粮食作物。在决定产量形成的灌浆期,小麦植株常常遭遇高温和强光共存的逆境因素胁迫,导致光合机构破坏,叶片功能过早衰退,籽粒发育受阻,产量降低。因此,小麦灌浆期的光合作用研究受到了广泛关注。在植物的光合机构中,光系统 II (PS II) 反应中心是高温、干旱等多种逆境伤害的关键部位^[1],它在逆境下受损伤的程度取决于其破坏和修复的平衡^[2]。PS II 是一种多亚基蛋白复合体,在构成 PS II 的 25 种蛋白质中,D1 蛋白是逆境损伤的主要靶位,它比类囊体膜上的其它蛋白有更快的周转速率^[3-4]。在正常条件下,高等植物体内 D1 蛋白的合成和降解处于动态平衡之中。而一旦暴露于强光下或强光与其他逆境交叉胁迫时,D1 蛋白的降解速率就会超过合成速率,导致 PS II 反应中心的破坏^[5-6]。要想加快 PS II 修复,受损 D1 蛋白的及时降解并被新合成的拷贝替换是关键^[7-9]。Aro 等^[10]等提出 D1 蛋白一旦受到伤害就会发生构象变化,这种构象变化使 D1 蛋白成为蛋白酶的底物,在蛋白酶的催化下发生降解。Deg1 是位于类囊体囊腔侧的丝氨酸蛋白酶,是负责 D1 蛋白降解的主要蛋白酶之一^[11]。因此,研究逆境条件下 Deg1 蛋白酶和 D1 蛋白的变化具有重要意义。

水杨酸(salicylic acid,SA)是一个天然的信号分子,它对调节植物的生理过程起到了重要作用^[12-15],同时也参与生物与非生物胁迫的特殊反应^[16]。人们现已把它作为一种新型激素进行了大量研究。如 Lopez-Delgado 等^[17]等以马铃薯为材料开展了一系列的实验,发现 SA 能提高马铃薯的耐热性,这种效应在芥菜^[18]、小麦^[19]等植物中得到了验证。本文研究了高温强光胁迫下小麦叶绿体 Deg1 蛋白酶和 D1 蛋白的变化及 SA 的调节作用,旨在为了解外源 SA 对光合机构的保护机理以及生产中采取抗逆措施提供实验依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料与处理

试验于 2009—2011 年在河南农业大学科教园区进行,以小麦(*Triticum aestivum* L.)品种矮抗 58 为试验材料。采用盆栽方法进行培养材料,盆高 30 cm,内径 30 cm,内装耕层潮土 9 kg。于 10 月 15 日播种,播种后将盆埋入试验田中,出苗后每盆留苗 3 株,采取常规的管理措施。待小麦长至开花后 20d(灌浆期)将麦株分为两组,一组喷施 0.3 mmol/L 水杨酸(SA),一组喷水作为对照。每天喷洒叶片 1 次,连续喷施 3 d。第 4 天将材料带回人工气候室进行不同的光温处理:①适宜温度中等光强(25 °C, PFD 为 600 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, MTI)下 2 h;②高温强光胁迫(38 °C, PFD 为 1600 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, HTI)2h;③高温强光(HTI)胁迫 2 h 后,将植株放回适宜温度中等光强(MTI)下恢复 3 h(R)。强光用 1000W 钨灯提供,将钨灯置于一个铁架上,钨灯和试验材料之间设置一个厚度为 10 cm 的玻璃流动水槽,以避免光下温度过高,通过调节材料与光源的距离,使小麦旗叶接收的光强达到设计要求。取各处理植株的旗叶作为试材,一部分用于叶绿素荧光参数和光合速率测定,一部分立即用液氮冷冻,用于 Deg1 蛋白酶和 D1 蛋白的测定。

1.2 测定项目与方法

1.2.1 类囊体膜提取和蛋白含量测定

参照郭军伟等^[20]的方法分别提取不同处理叶片的高活性的类囊体膜,叶片加入预冷缓冲液 A(含 300 mmol/L 蔗糖,5 mmol/L MgCl_2 ,1 mmol/L EDTA,10 mmol/L NaF,50 mmol HEPES-NaOH,pH 值 7.5)进行匀

浆,匀浆液经两层纱布过滤后,1500 g 离心 4 min,所得沉淀用缓冲液 B(含 5 mmol/L 蔗糖,5 mmol/L MgCl_2 ,10 mmol/L NaF,10 mmol/L HEPES-NaOH,pH 值 7.5)悬浮并洗涤 1 次,3000 g 离心 3 min。最后将类囊体膜悬浮在少量缓冲液 C(100 mmol/L 蔗糖,5 mmol/L NaCl,10 mmol/L MgCl_2 ,10 mmol/L NaF,10 mmol/L HEPES-NaOH,pH 值 7.5)中,整个过程避光 4 °C 进行。所得样品储存于液氮中备用。蛋白含量的测定采用考马斯亮蓝染色法^[21],以 BSA 作为标准蛋白。

1.2.2 SDS-PAGE 及 Western Blotting 分析

参照杜林方等^[22]的方法进行,采用 15% 含 6 mol/L 尿素的分离胶(pH 8.8)和 5% 浓缩胶(pH 值 6.8),在类囊体膜样品中加入等体积的样品缓冲液(含 2% SDS、5% β -巯基乙醇、20% 甘油、0.01% 溴酚蓝以及 0.125 mol/L Tris-HCl,pH 值 6.8),100 °C 水浴处理 3 min。10000 r/min 离心 1 min,每泳道样品含 5 μg 蛋白。蛋白分开后用考马斯亮蓝 R-250 染色或转移至 PVDF 膜上进行免疫检测反应。

在 Western blotting 分析中,一抗分别为叶绿体 D1 蛋白多克隆抗体和 Deg1 蛋白酶抗体(Agrisera 公司提供)。二抗为辣根过氧化物酶标记的兔抗体。采用光密度扫描测定蛋白质的相对含量。

1.2.3 光合放氧速率和 PS II 电子传递速率

采用 Chlorolab-2 氧电极系统(英国 Hansatech 公司产)测定^[21]。PS II 电子传递速率($\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{DCPIP}$)用 Clark-氧电极按 Tripathy 和 Mohanty^[23]的方法进行,反应液组成为: MgCl_2 3 mmol/L,NaCl 10 mmol/L,DCPIP 400 $\mu\text{mol/L}$,Hepes-NaOH (pH 值 7.0) 50 mmol/L。测定均为温度 25 °C,光强 600 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$,叶绿素浓度 10 $\mu\text{g/mL}$ 。

1.2.4 叶绿素荧光参数

用 FMS-2 脉冲调制式荧光仪(Hansatech, UK),参照 Genty 等^[24]的方法测定和计算荧光参数,包括最大荧光(F_m)、暗适应下最大可变荧光(F_v)、初始荧光(F_o)、光适应下最大荧光(F_m')、任意光适应条件下最大可变荧光强度(F_v'),以及稳态荧光(F_s)等叶绿素动力学参数。在测定 F_m 和 F_o 时,叶片暗适应 20 min。计算 PS II 的最大光量子效率(F_v/F_m)、作用光下 PS II 的实际量子效率($\Phi_{\text{PS II}}$)。光化光强度为 400 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$,饱和闪光强度为 8 000 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 。

1.3 数据处理

运用 Excel 2003 进行数据处理,测定均重复 5 次。

2 结果与分析

2.1 高温强光下 Deg1 蛋白酶和 D1 蛋白的变化及 SA 的调节作用

Deg1 是一种不依赖于 ATP 的蛋白酶,它位于类囊体的囊腔侧,负责受损 D1 蛋白的初步剪切,在 D1 蛋白的周转中具有重要作用^[8]。从图 1、图 2 结果可以看出,高温强光胁迫处理 2 h 后,小麦叶片 Deg1 蛋白酶和 D1 蛋白均发生降解,含量明显下降。置于非逆境下恢复 3h 后,二者含量均有所上升,但仍低于胁迫处理之前的水平。和水预处理的叶片(W)相比,SA 预处理可使小麦叶片在高温强光胁迫下和恢复期维持较高的 Deg1 和 D1 含量。表明外源 SA 可以抑制 Deg1 和 D1 的降解,有利于受损的光合机构的修复。

2.2 高温强光对 PS II 光化学效率的影响及 SA 的调节作用

图 3 和图 4 分别显示 PS II 最大光化学效率(F_v/F_m)和实际光化学效率($\Phi_{\text{PS II}}$)的变化。可以看出,在高温强光胁迫下的 F_v/F_m 和 $\Phi_{\text{PS II}}$ 均显著降低,在适宜温度中等光强下复期 3 h 后, F_v/F_m 、 $\Phi_{\text{PS II}}$ 均有明显回升,表明 PS II 受到了可逆的损伤。与水预处理的叶片(W)相比,SA 预处理不仅使叶片在高温强光下维持较高的 F_v/F_m 和 $\Phi_{\text{PS II}}$ 水平,而且加快了恢复期 F_v/F_m 和 $\Phi_{\text{PS II}}$ 的回升。表明 SA 对 PS II 起到了一定的保护作用。

2.3 高温强光对 PS II 电子传递和叶片光合速率的影响及 SA 的调节效应

由图 5、图 6 可见,高温强光胁迫下导致小麦叶片的 PS II 电子传递速率和净光合速率显著降低,恢复 3h 后期有所上升。与水预处理叶片(W)相比,SA 预处理叶片的 PS II 电子传递和净光合速率维持较高水平,表

明外源 SA 延缓了 PS II 电子传递和光合速率的下降。

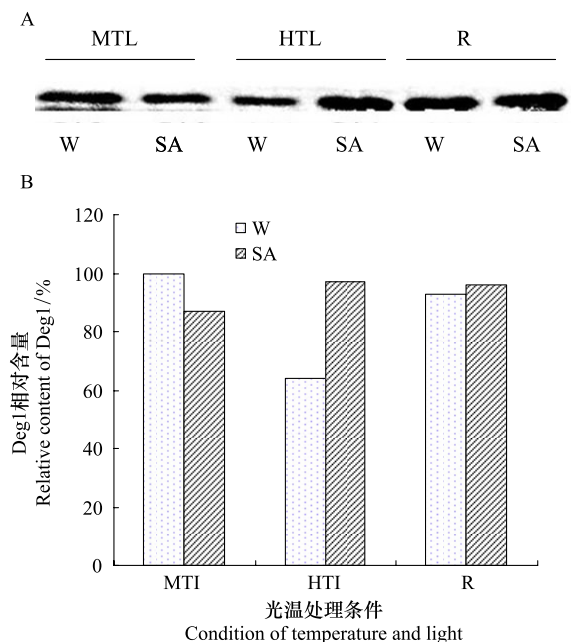


图1 小麦叶绿体 Deg1 蛋白酶的 Western blotting 结果(A)和相对含量(B)

Fig.1 Western blotting of Deg1 protease in wheat chloroplasts (A) and the relative contents (B)

W (water): 水预处理的对照植株; SA (salicylic acid): 0.3mmol/L SA 预处理植株

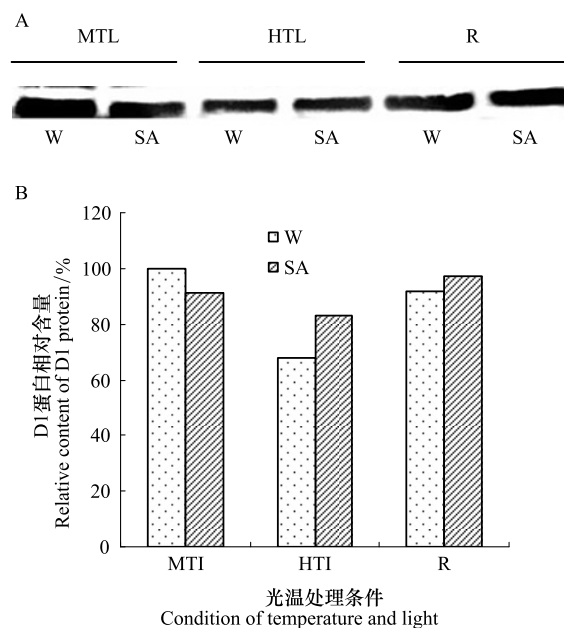


图2 小麦叶绿体 D1 蛋白的 Western blotting 结果(A)和相对含量(B)

Fig.2 Western blotting of D1 protein in wheat chloroplasts (A) and the relative contents (B)

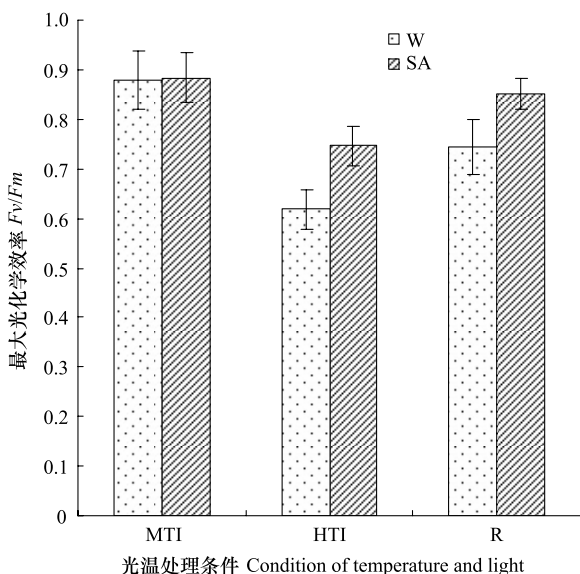


图3 高温强光对 PS II 最大光化学效率 (F_v/F_m) 的影响及水杨酸(SA, salicylic acid) 的调节效应

Fig.3 Effect of heat and high light on maximum photochemical efficiency (F_v/F_m) of PS II and the regulatory effect of salicylic acid

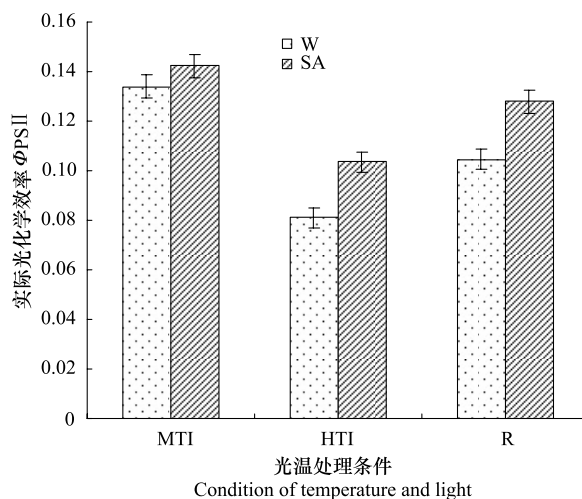


图4 高温强光对 PS II 实际光化学效率 ($\Phi_{PS II}$) 的影响及 SA 的调节效应

Fig.4 Effect of heat and high light on actual photochemical efficiency ($\Phi_{PS II}$) of PS II and the regulatory effect of salicylic acid

3 结论与讨论

光合作用是植物生长发育和产量形成的基础,也是对逆境非常敏感的生理过程。在植物的光合系统中,PS II 主要进行水氧化和质醌还原,在原初光化学反应中起着重要作用,然而,它在高温、强光等逆境下却是非常脆弱的^[25]。当光合色素吸收的能量超过光合作用的利用能力时,活性氧的产生大大加快,从而造成 PS II 反应中心的 D1 蛋白发生氧化损伤,光化学效率降低,电子传递速率减慢,发生光抑制现象。关于光抑制发生和修复的机理已有大量研究,如何采取措施来有效保护光合机构,减少或避免光抑制的发生,则成了人们进一步研究的目标。

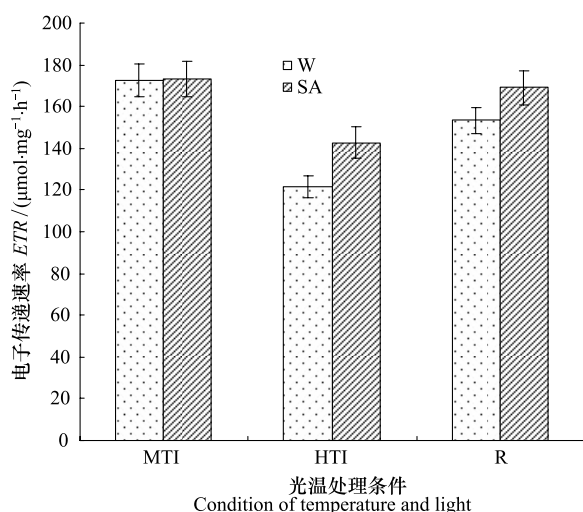


图5 高温强光对 PS II 电子传递速率 (ETR) 的影响及 SA 的调节效应

Fig.5 Effect of heat and high light on electron transfer rate (ETR) of PS II and the regulatory effect of salicylic acid

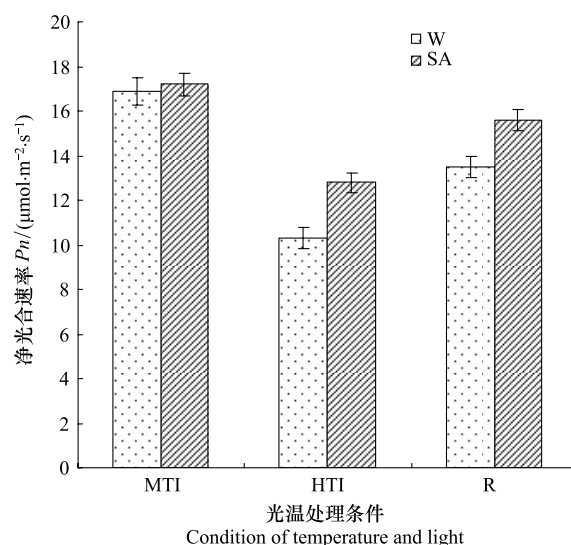


图6 高温强光对小麦叶片净光合速率 (Pn) 的影响及 SA 的调节效应

Fig.6 Effect of heat and high light on net photosynthetic rate (Pn) of wheat leaves and the regulatory effect of salicylic acid

随着全球气候变暖,高温已成为限制植物光合生产的重要逆境因子,高温和强光交互作用,更易造成光合机构的破坏。本文试验结果表明,在高温强光胁迫下,不仅 D1 蛋白含量下降,而且负责受损 D1 蛋白降解的蛋白酶之一 Deg1 含量减少。与此同时,PS II 功能遭到损伤,表现在最大光化学效率 (F_v/F_m)、实际光化学效率 ($\Phi_{PS II}$)、电子传递速率 (ETR) 和净光合速率 (P_n) 显著下降。但这种损伤是可逆的,将叶片置于非逆境条件下恢复 3h 后,上述指标均有不同程度的回升。已知叶绿体中有 2 个蛋白酶家系负责受损 D1 蛋白的降解,即 Deg (又称 DegP) 和 FtsH 蛋白酶家系。Deg 属于丝氨酸蛋白酶 (serine protease),而 FtsH 属于依赖于 ATP 的金属蛋白酶^[25]。在拟南芥叶绿体中, Deg 家系由 14 个成员组成,其中 Deg1^[11]、Deg2^[26]、Deg5 和 Deg8^[27] 负责光破坏 D1 蛋白的降解,从而参与光破坏 PS II 的修复。本文仅对小麦叶绿体中 Deg1 蛋白酶的变化进行了初步探讨,要想弄清高温强光下 D1 蛋白的酶促降解机制,还需大量研究工作。

水杨酸 (SA) 是一种诱导植物逆境防御机制的信号分子^[28],使用外源的 SA 可以减轻高温、低温、重金属等许多逆境对植物造成的伤害^[29-30]。本文结果表明,采用 0.3 mmol/L SA 预处理小麦叶片,不仅可以明显抑制 Deg1 蛋白酶和 D1 蛋白降解,而且可以加快回到非逆境下 Deg1 蛋白酶和 D1 蛋白含量的恢复,因此,不论在高温强光胁迫下,还是恢复 3h 后,SA 预处理叶片均维持较高的 F_v/F_m 、 $\Phi_{PS II}$ 、ETR 和 P_n 。说明 SA 具有维持小麦 PS II 中心稳定,保护光合机构的作用。

References:

- [1] Wiegand C L, Cuellar J A. Duration of grain filling and kernel weight of wheat as affected by temperature. *Crop Science*, 1981, 21(1): 95-101.
- [2] Tewari A K, Tripathy B C. Temperature-stress-induced impairment of chlorophyll biosynthetic reactions in cucumber and wheat. *Plant Physiology*, 1988, 117(3): 851-858.

- [3] Pandey D M, Yeo U D. Stress-induced degradation of D1 protein and its photoprotection by DCPIP in isolated thylakoid membranes of barley leaf. *Biologia Plantarum*, 2008, 52(2): 291-298.
- [4] Jiang C D, Gao H Y, Zou Q. D1 protein turnover and the regulation of excited energy dissipation. *Plant Physiology Communications*, 2002, 38(3): 207-212.
- [5] Anderson J M, Park Y I, Chow W S. Photoinactivation and photoprotection of photosystem II in nature. *Physiologia Plantarum*, 1997, 100(2): 214-223.
- [6] Flanigan Y S, Critchley C. Light response of D1 turnover and photosystem II efficiency in the seagrass *Zostera capricorni*. *Planta*, 1996, 198(3): 319-323.
- [7] Yamamoto Y, Aminaka R, Yoshiota M, Khatoon M, Komayama K, Takenaka D, Amu Yamashita A, Nijo N, Inagawa K, Morita N, Sasaki T, Yamamoto Y. Quality control of photosystem II: impact of light and heat stresses. *Photosynthesis Research*, 2008, 98(1/3): 589-608.
- [8] Edelman M, Mattoo A K. D1-protein dynamics in photosystem II: the lingering enigma. *Photosynthesis Research*, 2008, 98(1/3): 609-620.
- [9] Yoshioka M, Uchida S, Mori H, Komayama K, Ohira S, Morita N, Nakanishi T, Yamamoto Y. Quality control of photosystem II: cleavage of reaction center D1-protein in spinach thylakoids by FtsH protease under moderate heat stress. *The Journal of Biological Chemistry*, 2006, 281(31): 21660-21669.
- [10] Aro E M, Virgin I, Andersson B. Photoinhibition of photosystem II. Inactivation, protein damage and turnover. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Bioenergetics*, 1993, 1143: 113-134.
- [11] Kapri-Pardes E, Naveh L, Adam Z. The thylakoid lumen protease Deg1 is involved in the repair of photosystem II from photoinhibition in *Arabidopsis*. *The Plant Cell*, 2007, 19(3): 1039-1047.
- [12] Janda T, Szalai G, Tari I, Pálfi E. Hydroponic treatment with salicylic acid decreases the effects of chilling injury in maize (*Zea Mays* L.) plants. *Planta*, 1999, 208(2): 175-180.
- [13] Mishra A, Choudhuri M A. Effects of salicylic acid on heavy metal-induced membrane deterioration mediated by lipoxygenase in rice. *Biologia Plantarum*, 1999, 42(3): 409-415.
- [14] Fariduddin Q, Hayat S, Ahmda A. Salicylic acid influences net photosynthetic rate, carboxylation efficiency, nitrate reductase activity, and seed yield in Brassica juncea. *Photosynthetica*, 2003, 41(2): 281-284.
- [15] Singh B, Usha K. Salicylic acid induced physiological and biochemical changes in wheat seedlings under water stress. *Plant Growth Regulation*, 2003, 39(2): 137-141.
- [16] Hayat Q, Hayat S, Irfan M, Ahmad A. Effect of exogenous salicylic acid under changing environment: a review. *Environmental and Experimental Botany*, 2010, 68(1): 14-15.
- [17] Lopez-Delgado H, Dat J F, Foyer C H, Scott I M. Induction of thermotolerance in potato microplants by acetylsalicylic acid and H₂O₂. *Journal of Experimental Botany*, 1998, 49(321): 713-720.
- [18] Dat J F, Lopez-Delgado H, Foyer C H, Scott I M. Parallel changes in H₂O₂ and catalase during thermotolerance induced by salicylic acid or heat acclimation in mustard seedlings. *Plant Physiology*, 1998, 116: 1352-1357.
- [19] Ma P F, Li L H, Yang Y J, Zhao H J, Fu X J, Zhang C N. Effects of salicylic acid on D1 protein phosphorylation and PS II performance in wheat leaf chloroplasts under high temperature and high light stress. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2008, 19(12): 2632-2636.
- [20] Guo J W, Wei H M, Wu S F, Du L F. Effects of low temperature on the distribution of excitation energy in photosystem and the phosphorylation of thylakoid membrane proteins in rice. *Acta Biophysica Sinica*, 2006, 22(3): 197-202.
- [21] Zou Q. *Plant Physiology Experiment Guidance*. Beijing: China Agriculture Press, 2003.
- [22] Du L F, Sun X, Pan Y H, Lin H H, Liang H G. Effect of calcium ion on O₂ evolution activity of PS II. *Science in China, Series B*, 1995, 25(2): 144-151.
- [23] Tripathy B C, Mohanty P. Zinc-inhibited electron transport of photosynthesis in isolated barley chloroplasts. *Plant Physiology*, 1980, 66(6): 1174-1178.
- [24] Genty B, Briantais J M, Baker N R. The relationship between the quantum yield of photosynthetic electron transport and quenching of chlorophyll fluorescence. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-General Subjects*, 1989, 990(1): 87-92.
- [25] Yamashita A, Nijo N, Pospisil P, Morita N, Takenaka D, Aminaka R, Yamamoto Y, Yamamoto Y. Quality control of photosystem II: reactive oxygen species are responsible for the damage to photosystem II under moderate heat stress. *Journal of Biological Chemistry*, 2008, 283(42): 28380-28391.
- [26] Haubuhl K, Anderson B, Adamska I. A chloroplast DegP2 protease performs the primary cleavage of the photodamaged D1 protein in plant photosystem II. *The EMBO Journal*, 2001, 20(4): 713-722.
- [27] Sun X W, Wang L Y, Zhang L X. Involvement of DEG5 and DEG8 proteases in the turnover of the photosystem II reaction center D1 protein under heat stress in *Arabidopsis thaliana*. *Chinese Science Bulletin*, 2007, 52(3): 1742-1745.
- [28] Raskin I. Role of salicylic acid in plants. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 1992, 43(1): 439-463.
- [29] Dat J F, Lopez-Delgado H, Foyer C H, Scott I M. Parallel changes in H₂O₂ and catalase during thermotolerance induced by salicylic acid or heat acclimation in mustard seedlings. *Plant Physiology*, 1998, 116(4): 1351-1357.
- [30] Shi Q H, Bao Z Y, Zhu Z J, Ying Q S, Qian Q Q. Effects of different treatments of salicylic acid on heat tolerance, chlorophyll fluorescence, and antioxidant enzyme activity in seedlings of *Cucumis sativa* L. *Plant Growth Regulation*, 2006, 48(2): 127-135.

参考文献:

- [4] 姜闯道, 高辉远, 邹琦. D1 蛋白周转及其对能量耗散的调节. *植物生理学通讯*, 2002, 38(3): 207-212.
- [19] 马培芳, 李利红, 杨亚军, 赵会杰, 付晓记, 张超男. 水杨酸对高温强光胁迫下小麦叶绿体 D1 蛋白磷酸化及光系统 II 功能的影响. *应用生态学报*, 2008, 19(12): 2632-2636.
- [20] 郭军伟, 魏慧敏, 吴守锋, 杜林方. 低温对水稻类囊体膜蛋白磷酸化及光合机构光能分配的影响. *生物物理学报*, 2006, 22(3): 197-202.
- [21] 邹琦. *植物生理学实验指导*. 北京: 中国农业出版社, 2003.
- [22] 杜林方, 孙逊, 潘用华, 林宏辉, 梁厚果. 钙离子对光系统 II 放氧反应的影响. *中国科学 B 辑*, 1995, 38(12): 144-151.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 33, No. 9 May, 2013 (Semimonthly)

CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

- Analysis of subject trends in research on sustainable development CHA Na, WU Jianguo, YU Runbing (2637)
- Metabolic scaling theory and its application in microbial ecology HE Jizheng, CAO Peng, ZHENG Yuanming (2645)
- Research progress on endophyte-promoted plant nitrogen assimilation and metabolism
..... YANG Bo, CHEN Yan, LI Xia, et al (2656)
- Review on the development of landscape architecture ecology in China YU Yijing, MA Jinyi, YUAN Yunjue (2665)

Autecology & Fundamentals

- Evaluating tillage practices impacts on soil organic carbon based on least limiting water range
..... CHEN Xuewen, WANG Nong, SHI Xiuhuan, et al (2676)
- Controls over soil organic carbon content in grasslands TAO Zhen, CI Dan Langjie, ZHANG Shenghua, et al (2684)
- Antagonistic interactive effects of exogenous calcium ions and parasitic *Cuscuta australis* on the morphology and structure of
Alternanthera philoxeroides stems CHE Xiuxia, CHEN Huiping, YAN Qiaodi, et al (2695)
- Correlation between pigment content and reflectance spectrum of *Phyllostachys pubescens* stems during its rapid growth stage
..... LIU Lin, WANG Yukui, WANG Xingxing, et al (2703)
- Response of leaf functional traits and the relationships among them to altitude of *Salix dissa* in Balang Mountain
..... FENG QiuHong, CHENG Ruimei, SHI Zuomin, et al (2712)
- Effects of phosphate and organic matter applications on arsenic uptake by and translocation in *Isatis indigotica*
..... GAO Ningda, GENG Liping, ZHAO Quanli, et al (2719)
- Effect of different preys on the predation and prey preference of *Orius similis* ... ZHANG Changrong, ZHI Junrui, MO Lifeng (2728)
- Effects of predation risk on the patterns of functional responses in reed vole foraging
..... TAO Shuanglun, YANG Xifu, YAO Xiaoyan, et al (2734)
- Phylogenetic analysis of Veneridae (Mollusca: Bivalvia) based on the mitochondrial cytochrome c oxidase subunit I gene fragment ...
..... CHENG Hanliang, PENG Yongxing, DONG Zhiguo, et al (2744)
- Effects of different ecological environments in the laboratory on the covering behavior of the sea urchin *Glyptocidaris crenularis*
..... CHANG Yaqing, LI Yunxia, LUO Shibin, et al (2754)

Population, Community and Ecosystem

- The ecosystem services value change in the upper reaches of Ganjiang River Based on RS and GIS
..... CHEN Meiqiu, ZHAO Baoping, LUO Zhijun, et al (2761)
- The reference condition for Eutrophication Indicator in the Yangtze River Estuary and adjacent waters — response variables
..... ZHENG Binghui, ZHU Yanzhong, LIU Lusan, et al (2768)
- The reference condition for eutrophication Indicator in the Yangtze River Estuary and adjacent waters — Causal Variables
..... ZHENG Binghui, ZHOU Juan, LIU Lusan, et al (2780)
- The stress response of biological communities in China's Yalu River Estuary and neighboring waters
..... SONG Lun, WANG Nianbin, YANG Guojun, et al (2790)
- Ecological characteristics of macrobenthic communities and its relationships with environmental factors in Hangzhou Xixi Wetland
..... LU Qiang, CHEN Huili, SHAO Xiaoyang, et al (2803)
- Effects of biological soil crusts on desert soil nematode communities LIU Yanmei, LI Xinrong, ZHAO Xin, et al (2816)
- Associations between weather factors and the spring migration of the horned gall aphid, *Schlechtendalia chinensis*
..... LI Yang, YANG Zixiang, CHEN Xiaoming, et al (2825)
- Effects of vegetation on soil aggregate stability and organic carbon sequestration in the Ningxia Loess Hilly Region of northwest
China CHENG Man, ZHU Qiulian, LIU Lei, et al (2835)

- Simulation of the carbon cycle of *Larix chinensis* forest during 1958 and 2008 at Taibai Mountain, China LI Liang, HE Xiaojun, HU Lile, et al (2845)
- Effects of different disturbances on diversity and biomass of communities in the typical steppe of loess region CHEN Furong, CHENG Jimin, LIU Wei, et al (2856)
- Age structure and point pattern of *Butula platyphylla* in Wulashan Natural Reserve of Inner Mongolia HU Ercha, WANG Xiaojiang, ZHANG Wenjun, et al (2867)
- The impacts of the Southwest China drought on the litterfall and leaf area index of an evergreen broadleaf forest on Ailao Mountain QI Jinhua, ZHANG Yongjiang, ZHANG Yiping, et al (2877)
- Spatial distribution of tree species richness in Xiaodonggou forest region of the Altai Mountains, Northwest China JING Xuehui, CAO Lei, ZANG Runguo (2886)
- Landscape, Regional and Global Ecology**
- The ecological risk assessment of Taihu Lake watershed XU Yan, GAO Junfeng, GUO Jianke (2896)
- The value of fixing carbon and releasing oxygen in the Guanzhong-Tianshui economic region using GIS ZHOU Zixiang, LI Jing, FENG Xueming (2907)
- Resource and Industrial Ecology**
- Effect of different controlled-release nitrogen fertilizers on availability of heavy metals in contaminated red soils under waterlogged conditions LIANG Peijun, XU Chao, WU Qitang, et al (2919)
- Research Notes**
- Effect of heat and high irradiation stress on Deg1 protease and D1 protein in wheat chloroplasts and the regulating role of salicylic acid ZHENG Jingjing, ZHAO Huijie, HU Weiwei, et al (2930)
- The difference of drought impacts on winter wheat leaf area index under different CO₂ concentration LI Xiaohan, WU Jianjun, LÜ Aifeng, et al (2936)

《生态学报》2013 年征订启事

《生态学报》是由中国科学技术协会主管,中国生态学学会、中国科学院生态环境研究中心主办的生态学高级专业学术期刊,创刊于 1981 年,报道生态学领域前沿理论和原始创新性研究成果。坚持“百花齐放,百家争鸣”的方针,依靠和团结广大生态学科工作者,探索自然奥秘,为生态学基础理论研究搭建交流平台,促进生态学研究深入发展,为我国培养和造就生态学科人才和知识创新服务、为国民经济建设和发展服务。

《生态学报》主要报道生态学及各分支学科的重要基础理论和应用研究的原始创新性科研成果。特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评价和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,300 页,国内定价 90 元/册,全年定价 2160 元。

国内邮发代号:82-7,国外邮发代号:M670

标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

本期责任副主编 欧阳志云

编辑部主任 孔红梅

执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报

(SHENGTAI XUEBAO)

(半月刊 1981 年 3 月创刊)

第 33 卷 第 9 期 (2013 年 5 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 9 (May, 2013)

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	王如松	Editor-in-chief	WANG Rusong
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 90.00 元