

# 弱光对干旱胁迫下大白菜幼苗抗氧化系统的影响

马晓丽

(晋中学院 生物科学与技术学院,山西 晋中 030600)

**摘要:**以大白菜(*Brassica campestris* L. ssp. *pekinensis*)品种“太原二青”幼苗为试材,采用聚乙二醇(PEG-6000)模拟干旱胁迫,研究了在干旱和弱光2种胁迫同时存在的条件下,白菜幼苗活性氧清除酶系统及其膜脂过氧化相关生理指标的变化及2种胁迫的相互作用。结果表明:白菜幼苗过氧化酶系统在单一弱光胁迫条件下超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)、抗坏血酸过氧化物酶(APX)活性随光强的减弱呈现明显上升趋势;在同时施加干旱胁迫后,白菜幼苗基本保持了原有的抗氧化酶系统变化趋势,但是由于干旱胁迫的存在,弱光胁迫没有使得  $H_2O_2$  和丙二醛(MDA)持续上升。

**关键词:**大白菜;弱光;干旱;过氧化

**中图分类号:**S 634.1 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2015)21-0014-04

大白菜(*Brassica campestris* L. ssp. *pekinensis*)属十字花科芸薹属蔬菜,是我国北方最主要的蔬菜作物之一。由于大白菜种植地区的跨度很广,各地栽培条件差异很大,对大白菜的抗逆性、产量以及品质等造成了很大影响。

目前就抗逆性而言,关于大白菜耐旱、耐盐、耐热、抗病性等方面已经有一些报道<sup>[1-2]</sup>。随着干旱胁迫的增加,白菜含水量、叶绿素(chlorophyll, chl)含量和净光合速率都明显降低<sup>[3]</sup>;而丙二醛(MDA)含量、电导率、可溶性糖含量等指标显著上升<sup>[4-7]</sup>,PEG-6000模拟干旱胁迫

处理后白菜 SOD、POD 和 CAT 等活性均随着胁迫的增强呈现较大幅度的上升趋势<sup>[8]</sup>;关于弱光对白菜的生理生化影响,也有些报道,弱光对白菜光合特性与叶绿体超微结构都有明显的影响。弱光条件下,植株的光合速率、光补偿点、光饱和点等均呈现下降趋势<sup>[9-10]</sup>。

植物在进化过程中,为了应对各种胁迫对细胞造成的氧化损伤,发展出酶保护系统和非酶保护系统。酶保护系统主要有超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)、过氧化氢酶(CAT)、谷胱甘肽过氧化物酶(GPX)、谷胱甘肽还原酶(GR)、抗坏血酸过氧化物酶(APX)、细胞色素 C 过氧化物酶(CPX)等。非酶保护系统主要包含一些天然的非酶抗氧化剂,如细胞色素、谷胱甘肽、甘露糖醇、抗坏血酸、泛醌、维生素 E、类胡萝卜素等。

由于白菜栽培范围很广,植株所经受的胁迫往往不是某一种胁迫。以往的研究主要集中在某种单一的胁迫后对植株造成的生理影响,而研究大白菜生长过程中

**作者简介:**马晓丽(1972-),女,博士研究生,副教授,研究方向为植物细胞学。E-mail:mxl425@126.com

**基金项目:**国家自然科学基金资助项目(30870137);山西省高等学校科技创新基金资助项目(2013103);山西省高等学校科技创新资助项目(20101129)。

**收稿日期:**2015-07-27

**Abstract:** Using evacuation hierarchical pears trees as materials, which in the uniform growth of the normal fruits, divided trees crown into 1.0 m×1.0 m×1.0 m cube, whose center was the trunk, fruits quality in different parts was measured by testing the relative light intensity in the maturation period. The crown under the sunlight in vertical distribution and horizontal distribution of fragrant pear fruit appearance and inner quality difference were studied. The results showed that from top to bottom, from outside to inside the light intensity was decreasing, and the correlation of the relative light intensity and different vertical levels was significant. Specifically, when the distribution and light intensity was consistent, the fruit quality in the parts of lager lights strength was better. With the rising of the light intensity, single fruit weight, soluble solids, soluble sugars, anthocyanin content increased, however, organic acids decreased. So when the light intensity in the different position, the chlorophyll content of fruits in the low layer was higher than which in the middle and upper layer, and the fruits with low maturity.

**Keywords:** fragrant pear; delayed-open central leader system; inside crown; relative light intensity; fruit quality

多种胁迫之间相互作用的研究报道仍非常有限,而这类研究对作物栽培非常重要。

该试验以太原地区的主要大白菜品种“太原二青”为试材,针对弱光和干旱 2 种胁迫类型,对试验材料的抗氧化酶系统进行系统分析,以推测 2 种胁迫类型在大白菜生长过程中的相互关系,为生产实践提供相应的理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

供试大白菜品种“太原二青”由山西省农业科学院蔬菜所提供。

### 1.2 试验方法

种子经过低温(4℃, 20 d)春化后,播种于泥炭蛭石混合培养基质(1:1)的营养钵中,置于人工气候箱 MGC-800B(上海一恒)22℃ 培养,16/8 h(日/夜),幼苗四叶一心后,将生长状态基本一致的幼苗从营养土中取出,用蒸馏水将根系杂质冲洗干净后,先在蒸馏水中平衡 6 h,再将幼苗移入不同浓度的 PEG-6000 溶液中(0、50、100、150 g/L)模拟干旱处理,36 h 后测定 MDA 含量。100 g/L PEG-6000 胁迫处理 36 h 后,取出幼苗进行各项生理指标的测定。光照强度设置  $80 \mu\text{E} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  (50%正常光照),  $120 \mu\text{E} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  (75%正常光照),  $160 \mu\text{E} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  (100%正常光照)。3 个处理光照强度由光照培养箱灯管数量和遮光调节,每组试验重复 3 次。

### 1.3 项目测定

SOD、POD、CAT、APX 的测定参考文献[11];  $\text{H}_2\text{O}_2$  含量的测定参考 BRENNAN 等[12]的硫酸钛法沉淀法,MDA 含量的测定采用硫代巴比妥酸法[13]。

### 1.4 数据分析

数据取 3 次重复试验的平均值 $\pm$ SE。试验数据采用 SPSS 软件进行分析。不同处理组以字母表示处理间差异的显著性。

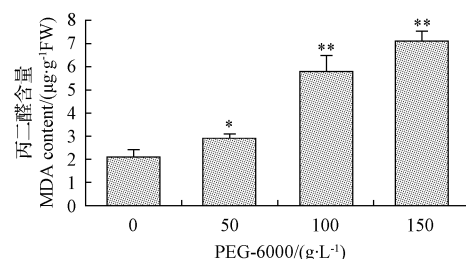
## 2 结果与分析

### 2.1 不同 PEG-6000 浓度对幼苗 MDA 含量的影响

如图 1 所示,50 g/L PEG-6000 处理 36 h 后,幼苗的 MDA 含量显著上升;100 g/L PEG-6000 处理后,幼苗的 MDA 含量变化极显著,说明细胞膜脂过氧化程度影响明显。因此后续试验将 PEG-6000 处理浓度设定为 100 g/L 处理 36 h。

### 2.2 不同光照强度对于干旱胁迫条件下白菜幼苗叶绿素含量的影响

为了探讨干旱胁迫条件下白菜幼苗同时遭受弱光胁迫影响,2 种胁迫相互关系以及二者对植物幼苗的综合影响,对 PEG-6000 胁迫下的幼苗同时施加不同弱光的胁迫,



注: \* 表示 0.05 水平差异显著; \*\* 表示 0.01 水平差异极显著。

Note: \* indicates significant difference at 0.05 level; \*\* indicates extremely significant difference at 0.01 level.

图 1 不同浓度 PEG-6000 处理对白菜幼苗的 MDA 含量的影响

Fig. 1 The influence of PEG-6000 on MDA content in

Chinese cabbage seedlings

与单一弱光胁迫(对照)幼苗进行叶绿素含量的比较。如图 2 所示,在光照适当的情况下,幼苗的叶绿素含量较高,随着光照强度的降低,叶片叶绿素含量明显下降;当植物处于干旱胁迫条件下时,光照强度依然表现出对叶绿素相同的影响,但是不同的是这种光照强度造成的叶绿素含量变化幅度被干旱胁迫弱化。从图 2 可以看出,在光照强度 100% ( $160 \mu\text{E} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ) 和 75% ( $120 \mu\text{E} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ) 2 个处理中,在 PEG-6000 模拟干旱胁迫的条件下,叶绿素含量随光照强度变化的趋势并不明显。

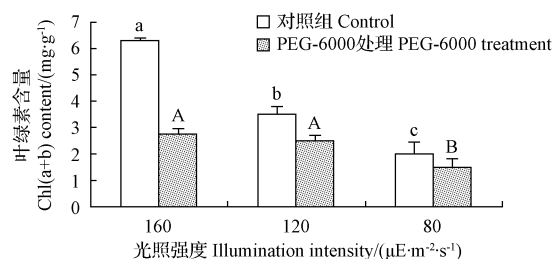


图 2 PEG-6000 胁迫下不同光照强度对白菜幼苗叶绿素含量的影响

Fig. 2 The influence of different light intensity on chlorophyll content in Chinese cabbage seedlings with PEG-6000 stress

### 2.3 不同光照强度对于干旱胁迫条件下白菜幼苗抗氧化酶系统的影响

从图 3(A)中可以看出,在没有 PEG-6000 处理的条件下,弱光胁迫对白菜幼苗 SOD 活性影响明显,随着光照强度的减弱,SOD 活性显著增强;在 PEG-6000 胁迫同时存在的条件下,SOD 活性变化的趋势大致相同,但是在  $80 \mu\text{E} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  (50%正常光照)和  $120 \mu\text{E} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  (75%正常光照)对 SOD 的影响没有表现出单独弱光胁迫条件下的显著差异;由图 3(C)、(D)可以看出,POD 和 APX 活性在相同条件下,表现出了与 SOD 大致类似的酶活性变化趋势;CAT 的活性变化如图 3(B),其活性变化趋势与上述 3 种酶不同。单独的弱光胁迫对白菜幼

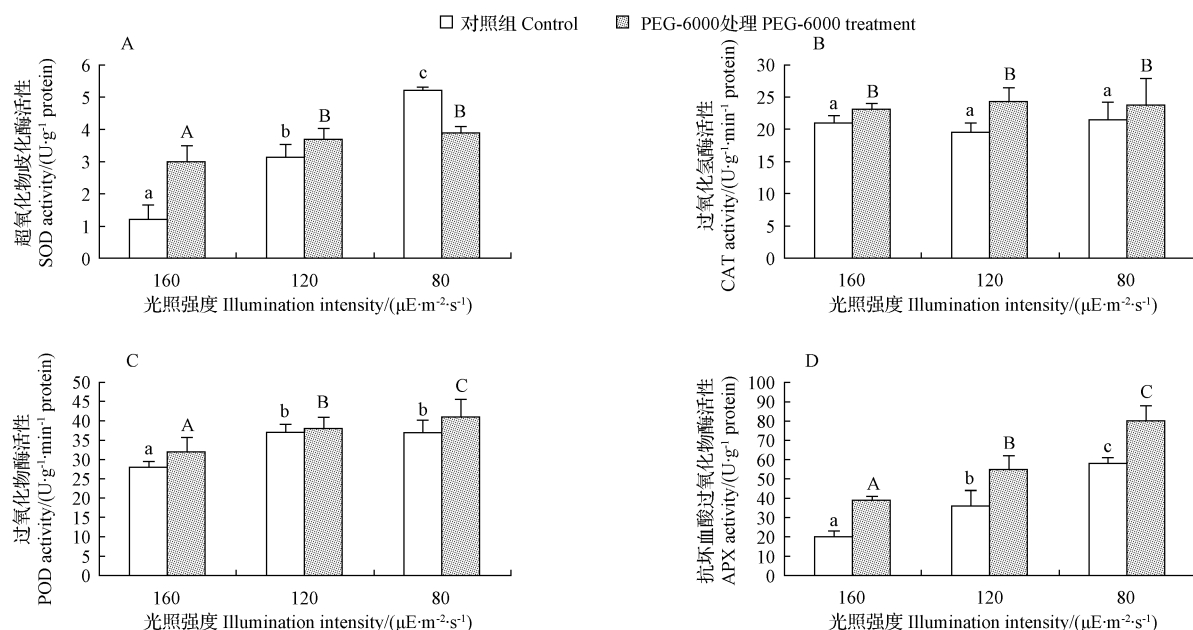


图3 PEG-6000胁迫下不同光照强度对白菜幼苗抗氧化酶系统的影响

Fig. 3 The influence of different light intensity on antioxidant enzyme system in Chinese cabbage seedlings with PEG-6000 stress

苗CAT活性没有显著影响;在PEG-6000胁迫条件下,CAT活性也没有表现出对弱光胁迫的敏感性。但是单一弱光胁迫下的酶活性明显低于弱光和PEG-6000 2种胁迫条件下的活性值。

#### 2.4 不同光照强度对干旱胁迫条件下白菜幼苗 $\text{H}_2\text{O}_2$ 的影响

抗氧化酶系统的变化,必然导致细胞内主要的  $\text{H}_2\text{O}_2$  含量的变化。因此,分析了PEG-6000胁迫下不同光照强度对白菜幼苗  $\text{H}_2\text{O}_2$  含量的影响。如图4所示,在非PEG-6000胁迫培养条件下,幼苗  $\text{H}_2\text{O}_2$  的含量随着弱光胁迫程度的增加呈现明显上升趋势;但是在同时出现PEG-6000胁迫时,虽然幼苗中  $\text{H}_2\text{O}_2$  含量也表现出这一趋势,但是这中趋势似乎在中等光照条件下就出现了停顿,在弱光条件下,  $\text{H}_2\text{O}_2$  没有表现出继续上升的趋势,甚至表现出下降趋势。

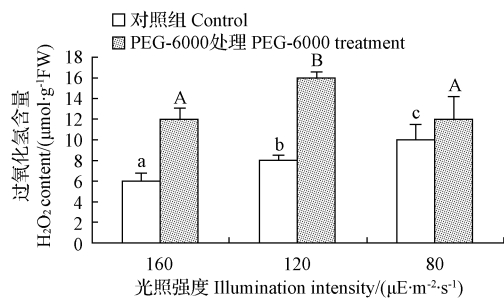


图4 PEG-6000胁迫下不同光照强度对白菜幼苗  $\text{H}_2\text{O}_2$  含量的影响

Fig. 4 The influence of different light intensity on  $\text{H}_2\text{O}_2$  content in Chinese cabbage seedlings with PEG-6000 stress

#### 2.5 不同光照强度对干旱胁迫条件下白菜幼苗 MDA 含量的影响

MDA含量的变化会影响到植物细胞膜脂过氧化程度,因此,检测了PEG-6000胁迫下不同光照强度对白菜幼苗MDA含量的变化情况。如图5所示,在非干旱胁迫培养条件下,幼苗MDA的含量变化趋势与  $\text{H}_2\text{O}_2$  的趋势相似,随着光照强度的下降呈现显著上升趋势;同样地,在干旱胁迫条件下,幼苗在中等光照条件下MDA含量显著上升,但是当光照强度降低到80  $\mu\text{E}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 时,这种上升出现了停顿。但是与  $\text{H}_2\text{O}_2$  的表现不同的是,在弱光条件下,MDA并没有表现出明显降低,而是维持了与中等光照强度相当的水平。

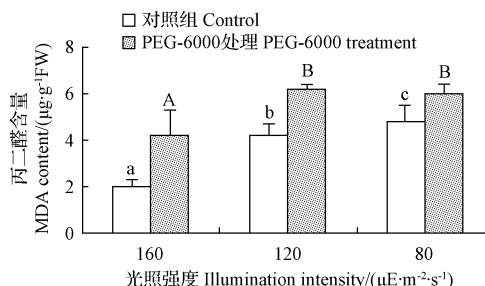


图5 PEG-6000胁迫下不同光照强度对白菜幼苗MDA含量的影响

Fig. 5 The influence of different light intensity on MDA content in Chinese cabbage seedlings with PEG-6000 stress

### 3 讨论

SOD是生物体内天然存在的超氧自由基清除因子,通过反应可以把有害的超氧自由基转化为  $\text{H}_2\text{O}_2$ ;而

CAT 是催化过氧化氢分解成氧和水的酶,存在于细胞的过氧化物体内。CAT 是过氧化物酶体的标志酶,约占过氧化物酶体酶总量的 40%。该研究中,SOD 随着光照强度减弱(弱光胁迫的加强)而增强,但是 CAT 似乎没有随着弱光胁迫发生变化(图 3 B),这可能是在弱光胁迫过程中  $H_2O_2$  持续增加的一个重要原因。

但是在同时遭受干旱胁迫的条件下,弱光胁迫没有使得  $H_2O_2$  持续上升,而表现出了先升后降的趋势(图 4)。这一令人迷惑的现象可能是由于弱光条件下,幼苗代谢减缓,体内产生的活性氧总体下降造成的。其确切原因还有待进一步深入探讨。

与上述现象相似的是,在干旱胁迫条件下,虽然  $H_2O_2$  的量随着光照胁迫先升后降,但是在中等光照( $120 \mu E \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$ )和弱光照( $80 \mu E \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$ )条件下的幼苗的 MDA 含量并没有因为  $H_2O_2$  的下降而下降。植物体内活性氧有多种类型,也有多重产生途径,因此这一现象也容易被理解。

在之前的研究中,植物在干旱或者弱光胁迫下的活性氧清除酶系统的变化已经有一些报道,但是在 2 种胁迫同时存在时,二者相互影响的报道仍非常有限。从该研究结果来看,弱光胁迫与干旱胁迫存在一定的互作。非干旱胁迫下白菜幼苗所表现出来的活性氧系统的趋势,往往在同时施加干旱胁迫的情况下,其原有的变化趋势受到影响,有的趋势变化影响还比较明显,如  $H_2O_2$  的含量就是一个明显的例证。总体来讲,与干旱胁迫相比,弱光胁迫对植物幼苗的影响力较小。但是这一结论需要其它植物生理生化指标的多重验证,并不能简单根据活性氧清除酶系统的变化情况得出。

该试验只对胁迫条件下活性氧的酶保护系统进行了检测和分析,关于非酶保护系统中各种物质的变化规律也是需要详细研究的重要内容。

#### 参考文献

- [1] 黄人卉,王桂香,刘凡. 大白菜耐旱相关基因 *BpNRYA5* 的克隆及功能分析[J]. 园艺学报,2012,39(8):1501-1510.
- [2] 吴汉花,曹雪,蒋芳玲,等. PEG-6000 模拟干旱及 NaCl 和温度胁迫对不结球白菜种子活力的影响[J]. 种子,2012,31(7):24-27.
- [3] 付士磊,周永斌,何兴元,等. 干旱胁迫对杨树光合生理指标的影响[J]. 应用生态学报,2006,17(11):2016-2019.
- [4] 陆许可,张德超,阴祖军,等. 干旱胁迫下不同抗旱水平陆地棉的叶片蛋白质组学比较研究[J]. 西北植物学报,2013,33(12):2401-2409.
- [5] 刘遵春,包东娥. 干旱胁迫对莲座期白菜生理生化特性的影响及其抗寒性综合评价[J]. 河北农业大学学报,2008,3(6):16-21.
- [6] 张树清,张夫道,刘秀梅. NaCl 对白菜种子萌发和幼苗生长的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2006,12(1):138-141.
- [7] 徐磊. 基质含水量和光照强度对不结球白菜生长发育及生理特性的影响[D]. 南京:南京农业大学,2009.
- [8] 富春元,张淑娟,鱼昭君,等. PEG 模拟干旱胁迫对叶缘裂刻白菜生理特性的影响[J]. 西北农业学报,2014,23(5):139-145.
- [9] 黄俊,郭世荣,吴震,等. 弱光对不结球白菜光合特性与叶绿体超微结构的影响[J]. 应用生态学报,2007,18(2):352-358.
- [10] 刘伟,艾希珍,梁文娟,等. 水杨酸对低温弱光下黄瓜幼苗光合作用及抗氧化酶活性的影响[J]. 应用生态学报,2009,20(2):441-445.
- [11] ZHANG L, WANG H, JIN Z, et al. Hydrogen Sulfide alleviates cadmium-induced cell death through restraining ROS Accumulation in roots of *Brassica rapa* L. ssp. *pekinensis*[J/OL]. Oxidative Medicine and Cellular Longevity, 2015, Article ID 804603, DOI:10.1155/2015/804603.
- [12] BRENNAN T, FRENKEL C. Involvement of hydrogen peroxide in the regulation of senescence in pear[J]. Plant Physiology, 1977, 59:411-416.
- [13] SHEN J, XING T, YUAN H, et al. Hydrogen sulfide improves drought tolerance in *Arabidopsis thaliana* by microRNA expressions[J/OL]. PloS One, 2013, 8(10):e77047.

## Effect of Weak Light Stresses on Antioxidative System in Chinese Cabbage Under Drought Stress

MA Xiaoli

(College of Biology and Engineer, Jinzhong University, Jinzhong, Shanxi 030600)

**Abstract:** Chinese cabbage of 'Taiyuan Erqing' was used as test material, the activity of peroxidase scavenging enzyme systems and membrane lipid peroxidation related indicators in seedlings of Chinese cabbage under drought and weak light stresses coexisting condition were detected and the interaction between drought stress and weak light stress were analyzed. The results showed that the enzyme activity of SOD, POD, APX increased with the decrease of light intensity in seedlings of Chinese cabbage. Under drought and weak light coexisting condition, the antioxidase enzymes in Chinese cabbage seedlings remained the original change trend. But due to the co-existence of drought stress, weak light stress did not make the content of  $H_2O_2$  and MDA rise continually.

**Keywords:** Chinese cabbage; weak light; drought; peroxygen