

# 低温下硼对巨尾桉叶片膜脂过氧化及体内保护系统的影响

吕成群 黄宝灵

(广西大学林学院, 广西 南宁 530001)

**摘要:** 以木本植物巨尾桉幼苗为材料, 研究在低温下, 硼对巨尾桉叶片膜脂过氧化及体内保护系统的影响。结果表明: 在低温 (5℃, 以 25℃ 为对照) 下, 缺硼或低硼 ( $\leq 10 \mu\text{mol/L}$ ) 导致巨尾桉叶片相对电导率、超氧化物阴离子自由基 ( $\text{O}_2^-$ ) 产生速率、丙二醛 (MDA) 含量和多酚氧化酶 (PPO) 活性增加; 抗坏血酸 (ASA) 和可溶性蛋白质含量、超氧化物歧化酶 (SOD)、过氧化物酶 (POD)、过氧化氢酶 (CAT) 和抗坏血酸过氧化物酶 (APX) 活性下降。而  $15 \mu\text{mol/L}$  硼可以减轻低温对巨尾桉幼苗的伤害, 提高巨尾桉幼苗的抗寒能力。

**关键词:** 巨尾桉; 低温; 硼; 膜脂过氧化; 体内保护系统

中图分类号: Q945.12

文献标识码: A

文章编号: 1005-3395(2003)03-0217-06

## Effects of Boron on Membrane Lipid Peroxidation and Endogenous Protective Systems in Leaves of *Eucalyptus grandis* × *Eucalyptus urophylla* under Low Temperature

LÜ Cheng-qun HUANG Bao-ling

(Forestry College, Guangxi University, Nanning 530001, China)

**Abstract:** *Eucalyptus grandis* × *Eucalyptus urophylla* seedlings were used as materials to study the effects of boron on membrane lipid peroxidation and endogenous protective systems in leaves under low temperature. The results showed that relative conductivity rate,  $\text{O}_2^-$  production rate, malondialdehyde (MDA) content and polyphenol oxidase (PPO) activity in leaves were increased at 5℃ with boron-deficiency ( $\leq 10 \mu\text{mol/L}$ ). On the contrary, the contents of ascorbate (ASA) and soluble protein, the activities of superoxide dismutase (SOD), peroxidase (POD), catalase (CAT) and ascorbate peroxidase (APX) were decreased. However, addition of  $15 \mu\text{mol/L}$  boron in the culture medium could alleviate chilling injury and enhance the tolerance to low temperature in the seedlings.

**Key words:** *Eucalyptus grandis* × *Eucalyptus urophylla*; Low temperature; Boron; Membrane lipid peroxidation; Endogenous protective system

低温引起膜系统受损是植物低温伤害的一个重要原因, 植物在低温胁迫下会导致体内活性氧代谢的失调和自由基的积累, 并进一步导致细胞结构的损伤和生理代谢的紊乱<sup>[1]</sup>。植物体内同时存在两种抗氧化系统, 一种是酶类物质, 如超氧化物歧化酶 (SOD)、过氧化物酶 (POD)、过氧化氢酶 (CAT) 和抗坏血酸过氧化物酶 (APX) 等; 另一种是非酶

类化合物, 如抗坏血酸 (ASA)、谷胱甘肽 (GSH)、脯氨酸 (Pro) 以及低温诱导产生的一系列蛋白质等。它们能在一定范围内及时清除过多的活性氧, 以维持体内自由基代谢的动态平衡, 降低膜脂过氧化, 保护膜系统的稳定性, 提高植物抗寒性。硼对膜的稳定性有直接作用<sup>[2-6]</sup>, 在缺硼时, 体内 SOD、CAT、APX、POD 活性显著降低<sup>[7,8]</sup>, 抗坏血酸含量下

降<sup>[7]</sup>, 植物体内酚类化合物积累<sup>[9]</sup>, 酚类物质的大量积累会使多酚氧化酶活性急剧上升<sup>[10]</sup>, 从而产生大量的活性醌和氧自由基<sup>[11, 12]</sup>, 最终导致膜的结构受破坏, 膜渗漏增加<sup>[13, 14]</sup>。至于低温条件下硼对植物叶片膜脂过氧化及体内保护系统的共同影响仅有零星的报道, 且都是以一年生农作物为材料<sup>[15, 16]</sup>, 对本植物的研究甚少。桉树生长快、产量高、经济效益好, 是联合国粮农组织推荐的世界三大速生树种之一, 也是华南地区三大主要造林树种之一<sup>[17]</sup>。桉树的纤维适中, 造纸性能比较好, 目前更趋向于用作营造短周期纤维用材林。但我国种植的桉树大多从澳大利亚引种, 属热带亚热带喜温树种, 它们不耐低温, 在低温胁迫下, 树木非常容易受到伤害甚至被冻死, 严重影响了桉树在更大范围的地区栽培。本文以巨尾桉为材料, 研究在低温胁迫下, 硼对巨尾桉叶片膜脂过氧化及体内保护系统的影响, 为桉树的引种、栽培和育种等提供一些科学依据。

## 1 材料和方法

**植物材料** 巨尾桉 (*Eucalyptus grandis* × *Eucalyptus urophylla*) 幼苗由广西林科院桉树组培中心提供。选取根系发达、长势良好的组培瓶苗在培养液中培养。培养液组成 (单位  $\mu\text{mol/L}$ ):  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  510,  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  30,  $\text{K}_2\text{HPO}_4$  97,  $\text{K}_2\text{SO}_4$  88,  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  1000,  $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$  270,  $\text{H}_3\text{BO}_4$  6.6,  $\text{MnCl}_2$  6.6,  $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  0.3,  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  0.16,  $\text{NaMoO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$  0.1, Fe-EDTA 45。一个月后, 再选择长势一致的幼苗作不同温度和不同硼浓度的对比试验: 温度为  $5^\circ\text{C}$  和  $25^\circ\text{C}$ , 培养液中  $\text{H}_3\text{BO}_4$  浓度分别为 0、5、10、15  $\mu\text{mol/L}$ , 其余成分的浓度与培养液相同。处理 0、24、48、72、96 h 后分别取样测定。以上处理过程均在 1 500 lx 的光强度下, 每天照光 12 h。

**组织相对电导率的测定** 叶子用蒸馏水冲洗干净, 然后切成块 (1 cm × 1 cm), 分甲乙两组, 乙组材料置沸水浴中加温 10–15 min, 分别浸于 20 ml 重蒸馏水中, 用 DDS-11A 型电导仪测定组织相对电导率, 用 % 表示。

**丙二醛(MDA)测定** 参照 Hendry 等<sup>[18]</sup>的方法提取和测定 MDA 的含量。0.5 ml 提取液, 3 ml 0.5% 硫代巴比妥酸, 煮沸 15 min, 迅速冷却, 1 800×g 离心 10 min 后, 在 534 和 600 nm 波长下测定光密度值。用标准 MDA 溶液作标准曲线, 计算样品中

MDA 的含量。

**超氧化物歧化酶(SOD)活性测定** 参照 Donahue 等<sup>[19]</sup>, Schickler 和 Caspi<sup>[20]</sup>的方法。3 ml 反应液中含甲硫氨酸 13 mmol/L, 氯化硝基四氮唑蓝 (NBT) 75  $\mu\text{mol/L}$ , 核黄素 16.7  $\mu\text{mol/L}$ , EDTA 0.1 mol/L, 磷酸缓冲液 50 mmol/L (pH 7.8)。以抑制 NBT 光氧化还原 50% 酶量为 1 个酶活单位, 用  $\text{U mg}^{-1}$  protein 表示酶活性。

**过氧化物酶(POD)活性测定** 参照 Amako 等<sup>[21]</sup>的方法。3 ml 反应液中含磷酸缓冲液 0.2 mol/L (pH 6.0), 1.355  $\mu\text{l H}_2\text{O}_2$ , 愈创木酚 0.855  $\mu\text{l}$ 。以  $\Delta A_{470} \text{mg}^{-1} \text{protein min}^{-1}$  表示酶活性。

**过氧化氢酶(CAT)活性测定** 用曾韶西等<sup>[22]</sup>的方法, 以 1 min 酶解 1  $\mu\text{mol H}_2\text{O}_2$  为 1 个酶活力单位, 用  $\text{U mg}^{-1}$  protein 表示酶活性。

**多酚氧化酶(PPO)活性测定** 采用谭兴杰和李月标<sup>[23]</sup>的方法。以 1 min 引起吸光率改变 0.001 所需的酶量为 1 个活力单位, 用  $\text{U mg}^{-1}$  protein 表示酶活性。

**抗坏血酸过氧化物酶(APX)活性测定** 采用沈文飏和徐朗莱<sup>[24]</sup>的方法。以 1 min 催化 1  $\mu\text{mol ASA}$  (抗坏血酸) 氧化的酶量为 1 个活力单位, 用  $\text{U mg}^{-1}$  protein 表示酶活性。

**抗坏血酸(ASA)含量测定** 采用 Arakawa 等<sup>[25]</sup>的方法, 用  $\mu\text{mol mg}^{-1}$  protein 表示。

**可溶性蛋白质含量测定** 采用 Bradford<sup>[26]</sup>考马斯亮蓝法。

**超氧阴离子( $\text{O}_2^-$ )产生速率的测定** 按照王爱国和罗广华<sup>[27]</sup>的方法测定, 用  $\text{nmol g}^{-1}\text{FW min}^{-1}$  表示。

以上实验均重复 3 次, 取 3 次实验结果的平均值。

## 2 结果和分析

### 2.1 不同温度和硼浓度对叶片膜脂过氧化的影响

从图 1A 可以看到, 不同温度和不同浓度硼对巨尾桉叶片相对电导率的影响是不同的。在正常温度 ( $25^\circ\text{C}$ ) 时, 缺硼和 5  $\mu\text{mol/L}$  的硼使叶片相对电导率随处理时间延长而增加, 而  $\geq 10 \mu\text{mol/L}$  时, 对叶片的相对电导率基本没有影响。在低温 ( $5^\circ\text{C}$ ) 时, 0、5 和 10  $\mu\text{mol/L}$  的硼使叶片的相对电导率明显升高, 96 h 后, 这 3 种浓度处理的相对电导率比正常温度 ( $25^\circ\text{C}$ ) 处理的分别提高 24.2%、26.7% 和 27.5%; 而

15  $\mu\text{mol/L}$  的硼可以减轻低温对膜透性的影响,其相对电导率明显降低并维持基本不变。

从图 1B 可以看到,在低温(5 $^{\circ}\text{C}$ )时,巨尾桉叶片  $\text{O}_2^-$  产生速率随着硼浓度的降低而升高,当硼浓度达到 15  $\mu\text{mol/L}$  时,能够维持在一个较低的水平。0、5、10  $\mu\text{mol/L}$  的硼处理, $\text{O}_2^-$  产生速率在 24 h 时已开始升高,并随处理时间的延长而增加。在正常温度(25 $^{\circ}\text{C}$ )下,缺硼和 5  $\mu\text{mol/L}$  的硼处理,其叶片  $\text{O}_2^-$  的产生速率也在一个相对较高的水平,但比 5 $^{\circ}\text{C}$  处理的低,96 h 时,这两种硼处理的  $\text{O}_2^-$  产生速率分别低 66.7%和 68.0%,而施用 10  $\mu\text{mol/L}$  的硼不影响叶片  $\text{O}_2^-$  的产生速率。

从图 1C 可以看出,低温处理时,硼浓度  $\leq 10 \mu\text{mol/L}$  导致巨尾桉叶片 MDA 含量明显增加,

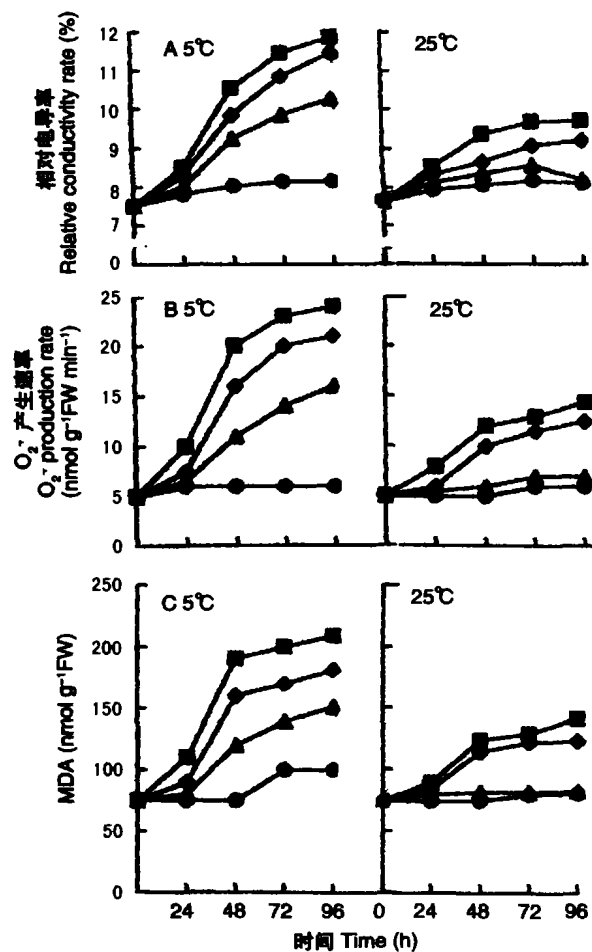


图 1 不同温度和不同浓度硼对巨尾桉叶片相对电导率(A)、 $\text{O}_2^-$ 产生速率(B)和 MDA 含量(C)的影响

Fig. 1 Effects of different temperatures and boron contents on relative conductivity (A),  $\text{O}_2^-$  production rate (B) and MDA content (C) in leaves of *E. grandis*  $\times$  *E. urophylla*

■ 0  $\mu\text{mol/L}$  B; ▲ 10  $\mu\text{mol/L}$  B; ◆ 5  $\mu\text{mol/L}$  B; ● 15  $\mu\text{mol/L}$  B

96 h 后,0、5 和 10  $\mu\text{mol/L}$  硼处理的 MDA 含量比 15  $\mu\text{mol/L}$  的分别增加 109.5%、81.0%和 51.7%。在正常温度下,MDA 含量相对较低,经 96 h 缺硼处理的 MDA 含量比 5 $^{\circ}\text{C}$  时低 46.7%、5  $\mu\text{mol/L}$  的低 46.2%、10  $\mu\text{mol/L}$  的低 83.3%、15  $\mu\text{mol/L}$  的低 23.5%。

从图 1A、1B、1C 还可以看出,MDA 含量变化整体上略滞后于  $\text{O}_2^-$  产生速率, $\text{O}_2^-$  产生速率在 24 h 即明显升高,而 MDA 含量在 24 h 前变化稍缓慢,在 48 h 时才发生剧烈的变化。

## 2.2 不同温度和硼浓度对叶片保护系统酶类活性的影响

从图 2A 可以看出,在低温处理过程中,适宜浓度的硼(本试验为 15  $\mu\text{mol/L}$ )显著增强 SOD 活性,48 h、72 h、96 h SOD 活性分别比缺硼时增加 72.4%、124.0%、190.0%,而 0–10  $\mu\text{mol/L}$  硼处理的 SOD 活性在 48 h 之后均下降。在正常温度下,10  $\mu\text{mol/L}$  硼处理的 SOD 活性最高,15  $\mu\text{mol/L}$  的次之,缺硼处理的最低。表明在正常温度下,10  $\mu\text{mol/L}$  的硼较适宜,超过这个浓度(15  $\mu\text{mol/L}$ )时,SOD 活性反而下降,其降低的原因尚待研究。

从图 2B、2C、2D 可以看出,在低温下的不同硼浓度处理,POD、CAT 和 APX 活性与 SOD 活性的变化趋势基本相似:在 15  $\mu\text{mol/L}$  时,它们的活性最强;随着时间的延长,其活性也一直上升。但与 SOD 活性不同的是,POD、CAT 和 APX 活性在 24 h 内上升缓慢,48 h 才急剧上升,而 SOD 活性在 24 h 就显著上升。这是因为,SOD 活性提高后,歧化产生较多的  $\text{H}_2\text{O}_2$ ,从而诱导 POD、CAT 和 APX 活性的提高,说明 POD、CAT 和 APX 活性提高滞后于 SOD 活性的提高。在正常温度下,这几种酶活性明显降低,如缺硼处理 48 h、72 h、96 h 的 POD 活性分别比低温下低 14.3%、15.4%、7.7%;15  $\mu\text{mol/L}$  处理 48 h、72 h、96 h 分别低 50.0%、57.1%、70.6%(图 2B)。缺硼处理 48 h、72 h、96 h 的 CAT 活性分别比低温下低 20.0%、33.3%、35.4%;15  $\mu\text{mol/L}$  硼处理分别低 60.2%、70.3%和 75.8%(图 2C)。15  $\mu\text{mol/L}$  硼处理 48 h、72 h、96 h 的 APX 活性分别比低温下低 19.4%、21.2%和 22.9%(图 2D)。

与 SOD、POD、CAT 和 APX 等抗氧化酶类的作用相反,PPO 是植物体内的氧化酶。从图 2E 可以看出,在低温下,PPO 活性随硼浓度的上升而下降,缺硼处理的 PPO 活性最高,而且随着时间的延长,其

上升趋势也迅速加快。虽然低硼 (5、10  $\mu\text{mol/L}$ ) 处理, PPO 活性有所降低, 但仍处在一个较高的水平。

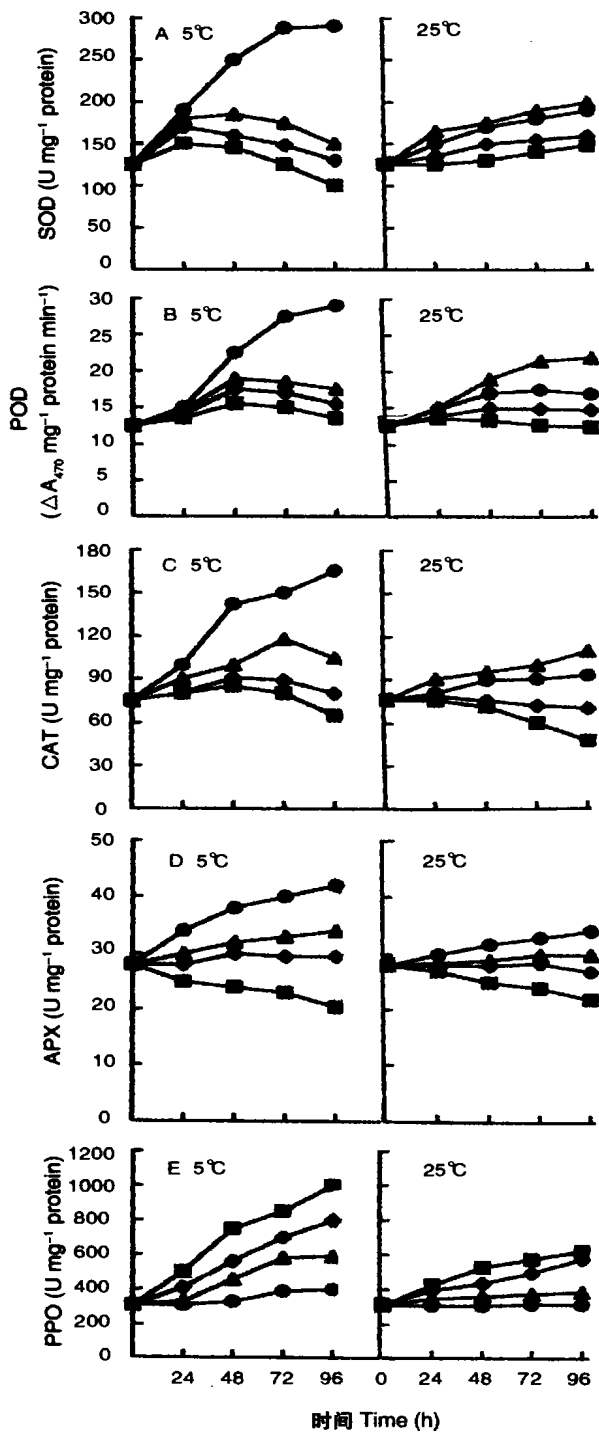


图 2 不同温度和不同浓度硼对巨尾桉叶片 SOD (A)、POD (B)、CAT (C)、APX (D) 和 PPO (E) 活性的影响

Fig. 2 Effects of different temperatures and boron contents on activities of SOD (A), POD (B), CAT (C), APX (D) and PPO (E) in leaves of *E. grandis* × *E. urophylla*

■ 0  $\mu\text{mol/L}$  B; ▲ 10  $\mu\text{mol/L}$  B; ◆ 5  $\mu\text{mol/L}$  B; ● 15  $\mu\text{mol/L}$  B

只有 15  $\mu\text{mol/L}$  的硼处理, 其 PPO 活性才处于较低水平。而在 25°C, 该酶活性相对较低, 与同浓度低温下相比, 0  $\mu\text{mol/L}$  处理 48 h、72 h、96 h 的 PPO 活性分别低 40.7%、46.7%和 59.4%; 5  $\mu\text{mol/L}$  处理酶活性分别低 27.3%、40.0%和 37.9%; 10  $\mu\text{mol/L}$  处理酶活性分别低 26.3%、52.6%和 50.0%。

### 2.3 不同温度和硼浓度对叶片 ASA、可溶性蛋白质含量的影响

从图 3A 可以看到, 硼能提高叶片的 ASA 含量。在低温下, 15  $\mu\text{mol/L}$  硼处理比缺硼处理的 ASA 平均含量提高 55.4%。正常温度下, ASA 含量比低温下明显降低, 如 15  $\mu\text{mol/L}$  硼处理平均低 25.4%。

图 3B 表明, 在低温下, 适量的硼可以增加叶片可溶性蛋白质含量, 5、10、15  $\mu\text{mol/L}$  硼处理的可溶性蛋白质平均含量比缺硼处理的分别提高 11.9%、29.7%和 61.0%。正常温度 10  $\mu\text{mol/L}$  处理比低温的高 11.1%, 而 15  $\mu\text{mol/L}$  处理则低 22.6%。这表明在正常温度下 10  $\mu\text{mol/L}$  硼有利于增加叶片可溶性蛋白质含量, 而 >10  $\mu\text{mol/L}$  则会抑制蛋白质的合成。

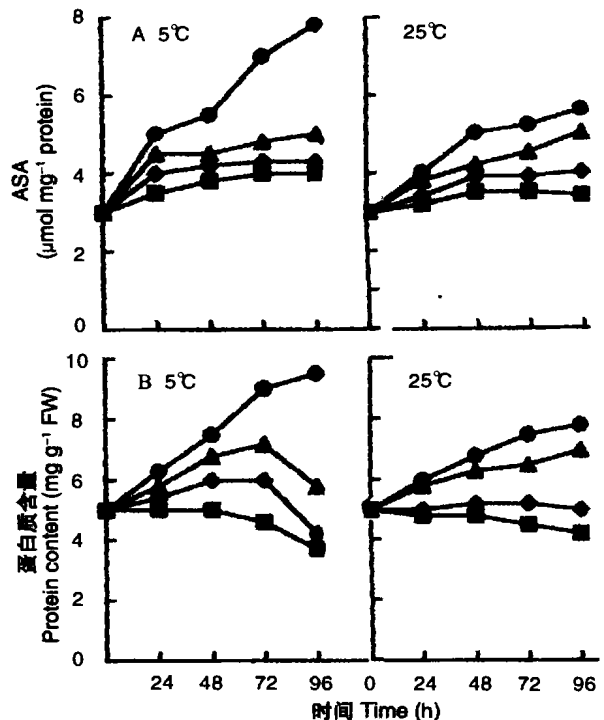


图 3 不同温度和不同浓度硼对巨尾桉叶片 ASA (A) 和可溶性蛋白质 (B) 含量的影响

Fig. 3 Effects of different temperatures and boron contents on ASA (A) and soluble protein (B) contents in leaves of *E. grandis* × *E. urophylla*

■ 0  $\mu\text{mol/L}$  B; ▲ 10  $\mu\text{mol/L}$  B; ◆ 5  $\mu\text{mol/L}$  B; ● 15  $\mu\text{mol/L}$  B

### 3 讨论

#### 3.1 巨尾桉在低温下提高了对缺硼反应的敏感性

本研究结果的所有指标都表明, 巨尾桉在低温(5℃)下, 需要 15 μmol/L 浓度的硼才能维持正常的膜结构, ≤10 μmol/L 的硼就会发生膜脂过氧化, 体内保护系统酶类和非酶类保护物质(ASA、可溶性蛋白质含量)都会明显下降(图 1-3)。而黄瓜幼苗<sup>[15]</sup>、甘蓝型油菜品种<sup>[28]</sup>、大豆<sup>[7]</sup>、棉花<sup>[29]</sup>则在完全缺硼的条件下才发生叶片膜脂过氧化和体内的保护系统酶活性降低。

缺硼对巨尾桉叶片的膜脂过氧化和体内保护系统的影响与温度之间有明显交互作用。与 5℃ 不同, 在 25℃ 的正常温度时, 低硼 (一般 ≤ 5 μmol/L) 虽也有膜脂过氧化发生及降低了几种保护酶活性和 ASA 含量, 但 ≥ 10 μmol/L 的硼就可减轻上述情况的发生。出现这种差别可能因为巨尾桉是生长在热带亚热带的喜温树种, 在低温下对缺硼与低硼的反应更为敏感, 低温会加重硼的胁迫作用。因此适量供硼可减轻低温对巨尾桉的伤害, 提高巨尾桉的抗寒能力, 以确保巨尾桉能顺利越冬。

#### 3.2 在低温条件下, 硼对巨尾桉体内保护系统的调节作用

低温引起膜系统受损是巨尾桉低温受害的一个重要原因, 而缺硼或低硼加剧膜系统的损伤(图 1A)。在低温和硼胁迫过程中的前 24 h, SOD 活性已明显升高(图 2A), 这提示此时巨尾桉体内自身产生了抗氧化保护能力, 因为此时体内产生过量的 O<sub>2</sub><sup>-</sup>(图 1B), 而 SOD 活性有随底物 O<sub>2</sub><sup>-</sup> 浓度增加而上升的特性<sup>[30]</sup>。SOD 活性相应提高, 歧化 O<sub>2</sub><sup>-</sup> 产生较多的 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, 又诱导 POD、CAT、和 APX 活性提高(图 2B、2C、2D)。当 O<sub>2</sub><sup>-</sup> 产生量超过 SOD、POD 和 CAT 等抗氧化保护系统对它的清除能力时, 产生氧化胁迫, 使膜脂过氧化加剧, MDA 增加。由此将进一步降低巨尾桉体内保护酶类的活性和 ASA 的含量(图 3A), 增强氧化酶类(如 PPO)的活性, 削弱巨尾桉叶片对活性氧的清除能力。一定浓度的硼(15 μmol/L)可明显降低 PPO 活性(图 2E), 从而保护了膜的完整性, 降低膜的渗漏速率。可见, 在硼胁迫过程中, 巨尾桉叶片的酶与非酶抗氧化系统在抵御硼胁迫防止细胞膜脂过氧化损伤中都发挥了作用。虽然各成分产生效应的时间和程度有差别, 但其协同作用更有利于巨尾桉抵抗低温和缺硼胁迫。

上述所有抗氧化酶和抗氧化物质的作用都有一定限度, 不论是 SOD、POD、CAT、APX 和 ASA 都未能阻止巨尾桉叶片在低温条件和 ≤ 10 μmol/L 的硼胁迫下所造成的自由基积累和膜脂过氧化。

#### 参考文献

- [1] Chen Y H (陈亚华), Shen Z G (沈振国), Liu Y L (刘友良). Effects of chilling and high pH stresses on the ATPase activities of plasma membrane and tonoplast vesicles isolated from rice (*Oryza sativa* L.) roots [J]. Acta Phytophysiol Sin (植物生理学报), 2000, 26: 407-412. (in Chinese)
- [2] Pollard A S, Parr A J, Loughman B C. Boron in relation to membrane function in higher plants [J]. J Exp Bot, 1977, 28:831-841.
- [3] Schon M K, Novacky A, Blevins D G. Boron induces hyperpolarization of sunflower root cell membranes and increases membrane permeability to K [J]. Plant Physiol, 1990, 93:566-571.
- [4] Roldan M, Belver A, Rodriguez-Rosales P, et al. *In vivo* and *in vitro* effects of boron on the plasma membrane proton pump of sunflower roots [J]. Physiol Plant, 1992, 84:49-54.
- [5] Loomis W D, Durst R W. Chemistry and biology of boron [J]. Biofactors, 1992, 3:229-239.
- [6] Ferrol N, Belver A, Roldan M, et al. Effects of boron on proton transport and membrane properties of sunflower (*Helianthus annuus* L.) cell microsomes [J]. Plant Physiol, 1993, 103:763-769.
- [7] Liu P (刘鹏), Yang Y A (杨玉爱). Effects of molybdenum and boron on membrane lipid peroxidation and endogenous protective systems of soybean leaves [J]. Acta Bot Sin (植物学报), 2000, 42: 461-466. (in Chinese)
- [8] Liu P (刘鹏), Yang Y A (杨玉爱). The research development of physiological response of rape in the stress of low boron [J]. China J Oil Crop Sci (中国油料作物学报), 1999, 21:74-78. (in Chinese)
- [9] Wang C L (王春利). Physiological injury caused by deficient boron in plants [J]. Plant Physiol Commum (植物生理学通讯), 2001, 37 (4):352-355. (in Chinese)
- [10] Shkolnik M Y, Krupnikova T A, Timofeeva S S, et al. Intensification of quinone formation from exogenous polyphenols by homogenates of the leaves of sunflower plants reared under conditions of boron deficiency [J]. Fiziol Rast, 1981, 28:541-549.
- [11] Appel H M. Phenolics in ecological interactions: the importance of oxidation [J]. J Chem Ecol, 1993, 19:1521-1522.
- [12] Jiang Y, Miles P W. Generation of H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> during enzymic oxidation of catechin [J]. Phytochemistry, 1993, 33:29-34.
- [13] Thompson J E, Legge R L, Barber R E. The role of free radicals in senescence and wounding [J]. New Phytol, 1987, 105:317-325.
- [14] Cakmak I, Marschner H. Increase in membrane permeability in cotton roots [J]. Physiol Plant, 1988, 73:182-186.
- [15] Wang Z Y (王震宇), Zhang F S (张福锁), Wang H (王贺), et al. Effects of boron-deficiency and low temperature on some

- physiological responses of cucumber seedlings [J]. Acta Phytophysiol Sin (植物生理学报), 1998, 24:59-64. (in Chinese)
- [16] Parr A J, Loughman B C. Boron and membrane functions in plants [A]. In: Robb D A, Pierpoint W S. Metals and Micronutrients: Uptake and Utilization by Plants [C]. London: Academic Press, 1983. 87-107.
- [17] Lu C Q (吕成群), Huang B L (黄宝灵). Studies of the growth promoting and physiological effects of rare-earth on *E. grandis* × *E. urophylla* seedlings [J]. J Centr South For Univ (中南林学院学报), 2001, 21:61-64. (in Chinese)
- [18] Hendry G A F, Thorpe P C, Merzlyak M N. Stress indicators: lipid peroxidation [A]. In: Hendry G A F, Grime J P. Methods in Comparative Plant Ecology [C]. London: Chapman & Hall, 1993. 154-156.
- [19] Donahue J L, Okpodu M C, Cramer C L. Responses of anti-oxidants to paraquat in pea leaves [J]. Plant Physiol, 1997, 113: 249-257.
- [20] Schickler H, Caspi H. Response of antioxidative enzymes to nickel and cadmium stress in hyperaccumulator plants of the genus *Alyssum* [J]. Physiol Plant, 1999, 105:39-44.
- [21] Amako K, Chen G X, Asade K. Separate assays specific for ascorbate peroxidase and guaiacol peroxidase and for the chloroplastic and cytosolic isozymes of ascorbate peroxidase in plants [J]. Plant Cell Physiol, 1994, 35:497-504.
- [22] Zeng S X (曾韶西), Wang Y R (王以柔), Liu H X (刘鸿先). Some enzymatic reactions related to chlorophyll degradation in cucumber cotyledons under chilling in the light [J]. Acta Phytophysiol Sin (植物生理学报), 1991, 17:177-182. (in Chinese)
- [23] Tang X J (谭兴杰), Li Y B (李月标). The partial purification and properties of polyphenol oxidase from the pericarp of litchi (*Litchi chinensis*) [J]. Acta Phytophysiol Sin (植物生理学报), 1984, 10: 339-345. (in Chinese)
- [24] Shen W B (沈文斌), Xu L L (徐朗莱). Study on determination of ASP activity [J]. Plant Physiol Commun (植物生理学通讯), 1996, 32:203-205. (in Chinese)
- [25] Arakawa N, Tsutsumi K, Sanceda N G, et al. A rapid and sensitive method for determination of ascorbic acid using 4,7-diphenyl-1,10 penanthroline [J]. Agri Biol Chem, 1981, 45:1289-1290.
- [26] Bradford M M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding [J]. Anal Biochem, 1976, 72:248-254.
- [27] Wang A G (王爱国), Luo G H (罗广华). Quantitative relation between the reaction of hydroxylamine and superoxide anion radicals in plants [J]. Plant Physiol Commun (植物生理学通讯), 1990, 26(6):55-57. (in Chinese)
- [28] Yang Y H (杨玉华), Wu L S (吴礼树), Wang Y H (王运华), et al. Effect of boron on cell wall enzyme activity of different rape cultivars [J]. Plant Nutri Ferti Sci (植物营养与肥料学报), 1999, 5(4):341-346. (in Chinese)
- [29] Zhu J H (朱建华), Liu W D (刘武定), Cao X Y (曹享云), et al. Influence of boron on POD and SOD isozymes in leaves of cotton cultivars at seedling stage [J]. Plant Nutri Ferti Sci (植物营养与肥料学报), 2001, 7(3):331-336. (in Chinese)
- [30] Tian C E (田长恩), Liang C Y (梁承邺). Effect of polyamine on the metabolism of protein, DNA, RNA and activated oxygen in the panicles of CMS rice and its maintainer line [J]. Acta Phytophysiol Sin (植物生理学报), 1999, 25:222-227. (in Chinese)

### 《防护林科技》2004年征订启事

《防护林科技》是由国家林业局三北防护林建设局、黑龙江省防护林研究所和黑龙江省林业厅三北站共同主办,是全国唯一关于防护林科学研究和防护林体系建设方面的专业性期刊,国内外公开发行。国内统一刊号CN 23-1335/S。

《防护林科技》立足三北,面向全国,为全国六大林业重点生态工程建设服务。刊登范围包括农田防护林、水土保持林、草牧场防护林、防风固沙林、护岸林以及平原绿化、治沙等方面的科技成果、试验研究、实用技术、生产经验、建议、讨论、综述、简讯等;刊登防护林体系建设成就,综合开发利用和多种效益等方面的文章;同时也刊登与防护林建设密不可分的种苗、造林、林木育种、速生丰产技术、病虫害防治等学科领域的各类稿件。

《防护林科技》为双月刊,大16开本,彩色封面,每期定价5.00元,全年6期共计30.00元(含邮费),邮发代号14-244;也可直接汇款至本刊编辑部或通过天津联合征订服务部订购,地址为:天津市大寺接洽集北里别墅17号,邮编:300385,电话:(022) 23973387。

本刊编辑部地址:齐齐哈尔市富拉尔基区黑龙江省防护林研究所内,邮编:161041,电话:(0452)6981581

E-mail: FHLK@chinajournal.net.cn http:FHLK.chinajournal.net.cn