

水分胁迫对生态恢复重要树种木荷与白楸幼苗的影响

宋爱琴, 陈圣宾, 李振基* 汪秀芳

(厦门大学生命科学学院, 福建 厦门 361005)

摘要: 采用盆栽控水试验, 研究了水分胁迫下我国亚热带地区森林演替过程中的重要树种木荷 (*Schin a superba*) 和白楸 (*M allotus paniculatus*) 的幼苗叶片叶绿素、类胡萝卜素、SOD 活性、POD 活性、脯氨酸和 MDA 含量的变化. 结果表明: 在干旱胁迫下, 白楸叶片 SOD 活性、POD 活性、脯氨酸和 MDA 含量在 22% 土壤相对含水量下均出现剧增, 而 Chla Chlb 和 Car 含量在 22% 的土壤相对含水量下则均出现降低; 在同样的干旱胁迫下, 木荷叶片 SOD 活性、POD 活性和脯氨酸含量在 19% 的土壤相对含水量下才出现增加, 而 Chla Chlb 和 Car 含量则变化不大. 在轻度淹水胁迫下, 白楸叶片 SOD 活性、POD 活性、脯氨酸和 MDA 含量基本呈增加趋势, 而 Chla Chlb 和 Car 含量呈降低趋势; 木荷叶片 SOD 活性、POD 活性和脯氨酸含量在同期规律不明显. 相关分析表明, 白楸叶片 SOD 活性同脯氨酸含量变化呈显著正相关 ($r=0.815, p<0.05$) 和 MDA 含量的变化呈极显著正相关 ($r=0.932, p<0.01$). 由此说明, 水分胁迫下, 白楸比木荷敏感, 木荷的耐受力强于白楸.

关键词: 水分胁迫; 植物生理特性; 生态恢复; 木荷; 白楸

中图分类号: Q 948.1

文献标识码: A

文章编号: 0438-0479(2006)S-0109-05

木荷 (*Schin a superba* Gardn et Champ) 和白楸 [*M allotus paniculatus* (Lam.) Muell-Arg] 是我国亚热带常见树种, 都为阳性先锋树种, 但前者生态位宽度较宽, 能充分利用有效资源^[1]; 而后者属于亚热带雨林先锋树种^[2], 在亚热带雨林演替过程中具有重要意义. 这两个树种都具有用于亚热带森林生态恢复的潜力, 但目前针对这两个树种的研究主要集中在群落调查、生物量的累积等方面^[1~3], 其幼苗对水分胁迫的生理生态响应机制的研究还未见报道. 干旱胁迫是植物生长发育过程中最易遭受到的生态胁迫因子, 它对植物的形态、光合作用、呼吸作用、物质合成与运输等都会产生深刻影响^[4]. 在我国亚热带地区, 尽管降水量丰富, 但各月分配不均, 存在短期干旱的现象. 在全球出现厄尔尼诺、拉尼娜等异常气候的年份, 这种雨水不均的现象尤其严重. 这时, 干季的降水量成为幼苗成功定居的限制因子^[3]. 针对水分胁迫, 植物不得不在一定范围内进行相应的生理生化反应来响应.

膜脂过氧化反应和保护酶系统活性的变化能够在很大程度上反映有机体抗旱的代谢状况, 因此常被用作植物抗旱性的指标. 这一指标多用在小麦 (*Triticum*

aestivum)、玉米 (*Zea mays*)、花生 (*Arachis hypogaea*) 等农作物和红松 (*Pinus koraiensis*) 等少量树种上^[5~8], 未见应用于亚热带森林树种上. 本试验采用 40 d 不同的土壤水分梯度处理木荷、白楸的幼苗, 通过测定幼苗叶片中光合色素含量、MDA 含量、脯氨酸含量、SOD、POD 活性的变化, 研究亚热带树种木荷、白楸幼苗在生理水平的耐旱差异, 进一步探讨这两种树种在生态恢复中潜力.

1 材料与方法

1.1 试验材料

种子采自福建省安溪县. 2004 年 4 月 1 日开始育苗, 10 月份选长势基本一致的幼苗移栽入塑料盆 (高 15 cm × 直径 30 cm) 中, 置于玻璃温室中, 自然透光培养. 每盆 8 株, 每种每梯度 3 个重复. 供试土壤采用赤红壤. 土壤风干后过 4 mm 筛, 装于盆中, 每盆装土 5 kg.

1.2 胁迫处理

幼苗在盆中适应 2 周后, 开始处理. 土壤相对含水量设为: 40%、31%、28%、25%、22%、19%. 土壤相对含水量 40% 代表轻度淹水胁迫. 采用称质量法补足浇水量, 即用自来水补足水分蒸发量, 以保证土壤相对含水量在设定值左右, 每天下午 6 点称质量, 补充挥发的水分. 每隔 10 d 取土样, 采用烘干法监控土壤相对含水量. 处理时间为 40 d.

1.3 测定指标

测定时采集第 2~4 对 (从上往下数) 生长良好的

收稿日期: 2005-11-22

基金项目: 福建省自然科学基金 (C0310004) 与福建省青年科技人才创新项目 (2001J051) 资助

作者简介: 宋爱琴 (1979-), 女, 硕士研究生.

* 通讯作者: zhenji@163.com

叶片进行指标测定. 光合色素含量采用 Wellbum 方法测定^[9]; 脯氨酸含量采用张殿忠等的方法测定^[10]; 超氧化物歧化酶 (SOD) 活性采用王爱国等的方法测定^[11]; POD 活性采用愈创木酚法^[12]; 丙二醛 (MDA) 含量采用赵世杰等的方法测定^[13]. 上述指标的测定均做 3 个重复.

1.4 统计分析

本试验属于单因子 (水分) 多水平试验. 采用 SPSS 11.0 软件进行统计分析. 图表制作采用 Excel 软件.

2 结果与分析

2.1 水分胁迫对叶片光合色素含量的影响

不同土壤相对含水量影响下的白楸、木荷叶片光合色素含量变化如图 1 所示. 白楸叶绿素含量的平均值 $2.23 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1} \text{ Fm}$ 是木荷叶绿素含量平均值 $1.16 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1} \text{ Fm}$ 的 1.92 倍. 随土壤相对含水量的降低, 白楸叶片光合色素含量呈先升高后降低再升高的趋势, 在土壤相对含水量为 28% 时达到最大值, 在 19% 时有所升高但仍低于 28% 时的含量; $c_{\text{Chla}}/c_{\text{Chlb}}$ 基本呈下降趋势, 而 $c_{\text{Car}}/c_{\text{Ch}}$ 呈先降后升的趋势. 随土壤相对含水量的降低, 木荷叶片光合色素含量、 $c_{\text{Chla}}/c_{\text{Chlb}}$ 呈先升高后降低的趋势, 而 $c_{\text{Car}}/c_{\text{Ch}}$ 呈先降后升的趋势. 水分胁迫对白楸、木荷叶片 Chla 含量的影响极显著 ($p < 0.01$, One-way ANOVA), 对类胡萝卜素含量的影响显著 ($p < 0.05$).

2.2 水分胁迫对叶片 MDA 含量的影响

如图 2 所示, 随土壤相对含水量降低, 白楸叶片 MDA 含量呈先降低后升高再降低的趋势, 在 25% 土壤相对含水量时 MDA 含量为 $8.67 \mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1} \text{ Fm}$, 到 22% 时达到 $11.96 \mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1} \text{ Fm}$ 增大了 1.38 倍, 但土壤相对含水量降为 19% 时 MDA 含量 $9.22 \mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1} \text{ Fm}$, 又降低至接近 25% 时的含量. 随土壤相对含水量降低, 木荷 MDA 含量呈先升高后降低的趋势. 经方差分析, 木荷、白楸叶片 MDA 含量随土壤相对含水量的变化差异不显著 ($p > 0.05$).

2.3 水分胁迫对叶片 SOD 活性的影响

如图 3 所示, 随土壤相对含水量降低, 白楸叶片 SOD 活性差异显著 ($p < 0.05$), 呈现先降低后升高再降低的变化, 在土壤相对含水量为 40% 时其 SOD 活性是 $804.37 \text{ U} \cdot \text{g}^{-1} \text{ Fm}$, 到 25% 时降为 $511.54 \text{ U} \cdot \text{g}^{-1} \text{ Fm}$, 只是 40% 时的 0.64 倍, 达到最低; 但到 22% 时急剧增至 $1092.29 \text{ U} \cdot \text{g}^{-1} \text{ Fm}$, 达到 25% 时的 2.14 倍, 到 19% 时又降至 $582.59 \text{ U} \cdot \text{g}^{-1} \text{ Fm}$, 是 22% 时的 0.53 倍, 但仍是 25% 时的 1.14 倍. 随土壤相对含水量的降

低, 木荷 SOD 活性差异不显著, 最大的活性 $1809.83 \text{ U} \cdot \text{g}^{-1} \text{ Fm}$ 只是最小活性 $1538.74 \text{ U} \cdot \text{g}^{-1} \text{ Fm}$ 的 1.18 倍. 木荷 SOD 的最大活性是白楸最大活性的 2.25 倍, 最小活性是白楸最小活性的 3 倍. 由此说明植物体 SOD 活性高时有利于其抵抗逆境.

2.4 水分胁迫对叶片 POD 活性的影响

如图 4 所示, 随土壤相对含水量的变化白楸叶片 POD 活性差异显著 ($p < 0.05$), 但木荷的差异不显著 ($p > 0.05$). 随土壤相对含水量的降低, 白楸叶片 POD 活性基本呈先降低后升高再降低的趋势, 木荷叶片 POD 活性基本呈先降低后升高的趋势. 木荷、白楸叶片的 POD 活性在土壤相对含水量为 40% 时都较高; 随土壤相对含水量的降低, POD 活性都开始降低, 但白楸叶片 POD 活性的降低幅度大于木荷的: 白楸叶片的 POD 活性在 40% 土壤相对含水量时为 $79006.59 \text{ U} \cdot \text{g}^{-1} \text{ Fm} \cdot \text{min}^{-1}$ 是 31% 时 POD 活性 $31291.63 \text{ U} \cdot \text{g}^{-1} \text{ Fm} \cdot \text{min}^{-1}$ 的 2.52 倍, 而木荷叶片的 POD 活性在 40% 土壤相对含水量时为 $18692.24 \text{ U} \cdot \text{g}^{-1} \text{ Fm} \cdot \text{min}^{-1}$ 只是 31% 时 POD 活性 $15427.47 \text{ U} \cdot \text{g}^{-1} \text{ Fm} \cdot \text{min}^{-1}$ 的 1.21 倍. 随着土壤水分的进一步减少, 木荷的 POD 活性在 28% 时为 $13710.08 \text{ U} \cdot \text{g}^{-1} \text{ Fm} \cdot \text{min}^{-1}$ 只是 31% 的 0.89 倍, 到 25% 时为 $6495.15 \text{ U} \cdot \text{g}^{-1} \text{ Fm} \cdot \text{min}^{-1}$ 降到 31% 的 0.42 倍, 到 22% 时 POD 活性达到 $10532.02 \text{ U} \cdot \text{g}^{-1} \text{ Fm} \cdot \text{min}^{-1}$, 开始增加, 但幅度不大, 到 19% 时增至 $26374.06 \text{ U} \cdot \text{g}^{-1} \text{ Fm} \cdot \text{min}^{-1}$, 是 31% 时的 1.71 倍. 白楸叶片 POD 活性随着土壤水分的减少, 在 28% 时达到 $50889.95 \text{ U} \cdot \text{g}^{-1} \text{ Fm} \cdot \text{min}^{-1}$ 有所增加, 但到 25% 时又降低至 $36171.42 \text{ U} \cdot \text{g}^{-1} \text{ Fm} \cdot \text{min}^{-1}$, 当土壤进一步干旱时, POD 活性剧增, 22% 时达 $78780.67 \text{ U} \cdot \text{g}^{-1} \text{ Fm} \cdot \text{min}^{-1}$ 是 25% 时的 2.18 倍, 到 19% 时又降低至 $58106.99 \text{ U} \cdot \text{g}^{-1} \text{ Fm} \cdot \text{min}^{-1}$, 但仍是 25% 时的 1.61 倍. 白楸 POD 活性从土壤相对含水量 25% 到 31% 出现波动, 未依次递增, 但面对严重胁迫时又出现剧增, 可能由于 POD 是清除氧自由基的第二道屏障, 导致其活性增加的因素有多个, 但当其中一个因素成为主导因素时 (如严重的干旱胁迫), 才会表现出一定的规律性.

2.5 水分胁迫对叶片脯氨酸 (Pro) 含量的影响

如图 5 所示, 随土壤相对含水量的变化白楸叶片 Pro 含量差异极显著 ($p < 0.01$), 木荷的差异显著 ($p < 0.05$). 白楸 Pro 含量在土壤相对含水量从 25% 到 40%, 没有明显变化, 但在土壤相对含水量为 22% 时 Pro 含量剧增到 $61.66 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \text{ Fm}$, 是 25% 时

1.79 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\text{Fm}$ 的 34 倍, 但土壤相对含水量降至 19% 时 P_{ro} 含量又降至 14.49 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\text{Fm}$ 为 25% 时的 8 倍, 由于 P_{ro} 作为渗透调节物质对抗氧化体系有增加抗氧化能力的影响^[14], 由此说明土壤相对含水量为 22% 时, 白栎已处于严重的干旱胁迫, 需要大幅度的增

加 P_{ro} 的含量, 来提高植物体的抗逆能力. 木荷脯氨酸含量随土壤相对含水量的降低并未出现剧增, 最大含量 1.26 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\text{Fm}$ 只是最低含量 0.73 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\text{Fm}$ 的 1.72 倍.

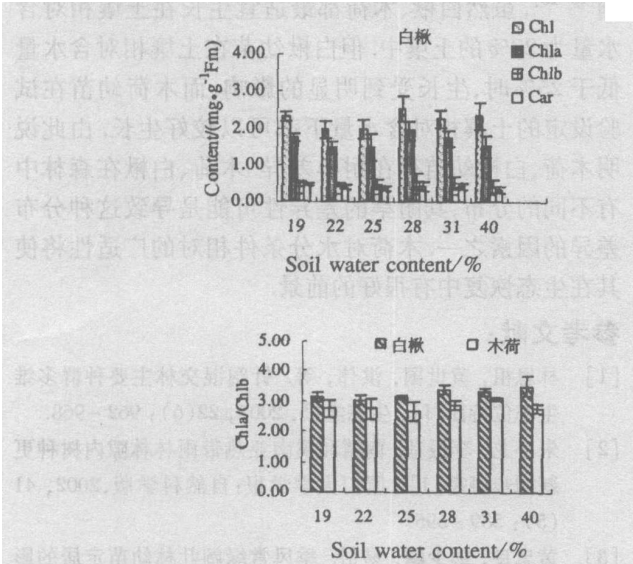


图 1 水分胁迫对木荷、白栎叶片光合色素含量和比例的影响

Fig. 1 Effects of water stress on contents and ratio of photosynthetic pigments in *Schima superba* and *Mallotus paniculatus* leaves

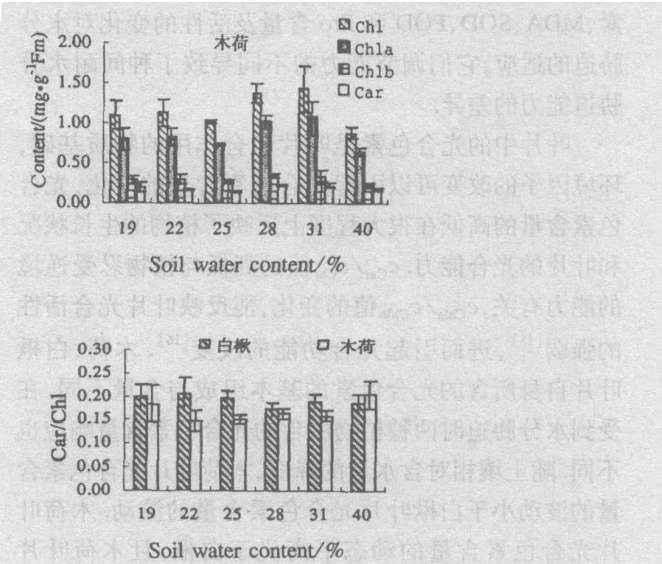


图 2 水分胁迫对木荷、白栎叶片 MDA 含量的影响

Fig. 2 Effects of water stress on MDA contents in *Schima superba* and *Mallotus paniculatus* leaves

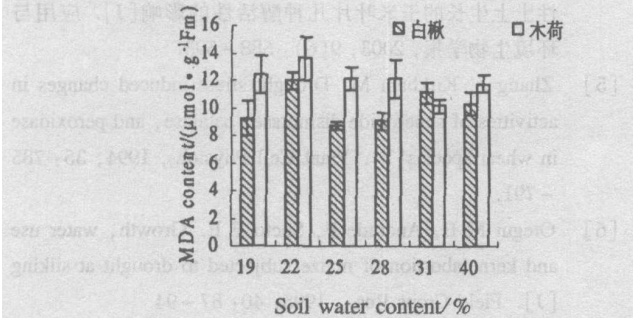


图 3 水分胁迫对木荷、白栎叶片 SOD 活性的影响

Fig. 3 Effects of water stress on SOD activity in *Schima superba* and *Mallotus paniculatus* leaves

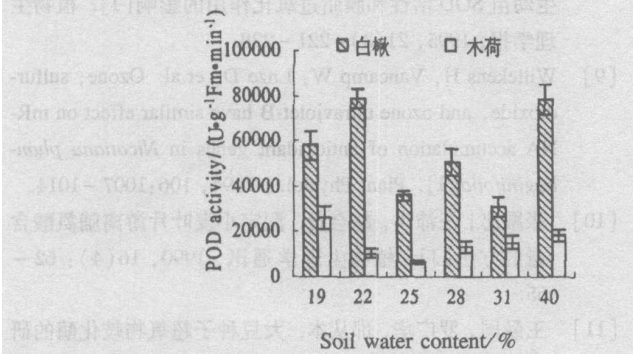


图 4 水分胁迫对木荷、白栎叶片 POD 活性的影响

Fig. 4 Effects of water stress on POD activity in *Schima superba* and *Mallotus paniculatus* leaves

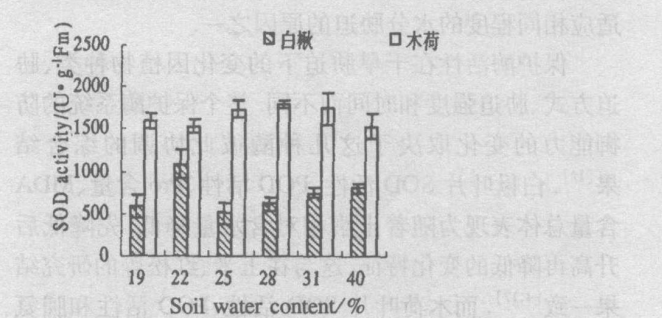


图 5 水分胁迫对木荷、白栎叶片 Pro 含量的影响

Fig. 5 Effects of water stress on Pro content in *Schima superba* and *Mallotus paniculatus* leaves

3 讨 论

植物叶片可以通过多种途径调节,以适应外界环境的变化.本试验研究了木荷、白楸叶片通过光合色素、MDA、SOD、POD和Pro含量及活性的变化对水分胁迫的适应,它们调节能力的不同导致了种间耐水分胁迫能力的差异.

叶片中的光合色素是叶片光合作用的物质基础,环境因子的改变可以引起光合色素含量的变化,光合色素含量的高低在很大程度上反映了植物的生长状况和叶片的光合能力. c_{Car}/c_{Chl} 值的高低与植物忍受逆境的能力有关, c_{Chla}/c_{Chlb} 值的变化,能反映叶片光合活性的强弱^[15],进而引起光合功能的改变^[16].木荷、白楸叶片自身所含的光合色素的基本组成与含量不同,在受到水分胁迫时两种植物所含的光合色素含量响应也不同.随土壤相对含水量的降低,木荷叶片光合色素含量的波动小于白楸叶片光合色素含量的波动.木荷叶片光合色素含量的动态平衡优于白楸,且木荷叶片 c_{Car}/c_{Chl} 值的稳定范围大于白楸,白楸叶片 c_{Car}/c_{Chl} 在土壤相对含水量为25%时开始增大,早于木荷(在土壤相对含水量为19%时),这可能是木荷比白楸更能适应相同程度的水分胁迫的原因之一.

保护酶活性在干旱胁迫下的变化因植物种类、胁迫方式、胁迫强度和时间而不同.整个保护酶系统的防御能力的变化取决于这几种酶彼此协调的综合结果^[12].白楸叶片SOD活性、POD活性、Pro含量、MDA含量总体表现为随着土壤相对含水量降低,先降低后升高再降低的变化特征,这与在玉米、红松等的研究结果一致^[4,17].而木荷叶片SOD活性、POD活性和脯氨酸含量在19%的土壤相对含水量下才出现增加,在轻度淹水胁迫下,其SOD活性、POD活性和脯氨酸含量变化规律不明显.土壤相对含水量从25%增至40%,白楸、木荷叶片SOD活性、Pro含量、MDA含量变幅都不大,由此说明它们对轻度的淹水胁迫都可以耐受.

白楸叶片Pro含量变化同其SOD活性变化呈显著正相关($r=0.815$ $p<0.05$),与其叶片的MDA含量的变化没有相关性.白楸叶片MDA含量变化同其SOD活性变化呈极显著正相关($r=0.932$ $p<0.01$).但木荷SOD活性变化与Pro、MDA含量变化没有相关性.由此说明面对干旱胁迫,植物的防御能力取决于体内多条途径彼此协调的综合结果,但各种植物调节能力和防御方式不同.白楸需要调动的防御途径多于木荷,说明面对相同土壤相对含水量下的干旱胁迫,木荷的耐受力强于白楸.这和两者在光合色素含量的反应一致.

木荷和白楸虽都属于先锋树种,但木荷比白楸有更宽的生态位^[1],这应与其耐旱能力相对较强有关.森林树种幼苗的耐旱差异能改变森林树种的比例,导致森林树种种类的改变,对森林的物种多样性产生影响^[18~20].虽然白楸、木荷都最适宜生长在土壤相对含水量为28%的土壤中.但白楸幼苗在土壤相对含水量低于25%时,生长受到明显的影响,而木荷幼苗在试验设定的土壤相对含水量下都可以较好生长.由此说明木荷、白楸幼苗存在耐旱差异.木荷、白楸在森林中有不同的分布,其耐旱的差异性可能是导致这种分布差异的因素之一.木荷对水分条件相对的广适性将使其在生态恢复中有很好的前景.

参考文献:

- [1] 林思祖,黄世国,洪伟,等.针阔混交林主要种群多维生态位特征[J].生态学报,2002,22(6):962-968.
- [2] 朱小龙,李振基.南靖和溪南亚热带雨林林隙内树种更新初步研究[J].厦门大学学报:自然科学版,2002,41(5):589-595.
- [3] 黄忠良,彭少麟,易俗.季风常绿阔叶林幼苗定居的影响因素的研究[J].热带亚热带植物学报,2001,9(2):123-128.
- [4] 杨万勤,王开运,宋光煜,等.水分胁迫对燥红土和变性土上生长的玉米叶片几种酶活性的影响[J].应用与环境生物学报,2003,9(6):588-593.
- [5] Zhang J, Kikhan M. Drought stress-induced changes in activities of superoxide dismutase, catalase, and peroxidase in wheat species[J]. Plant Cell Physiol, 1994, 35: 785-791.
- [6] Otegui M E, Andrade F, Sucto E E. Growth, water use and kernel abortion of maize subjected to drought at silking[J]. Field Crops Res., 1995, 40: 87-94.
- [7] 曾福礼,张明凤,李玉峰.干旱胁迫下小麦叶片微粒体活性氧自由基的产生及其对膜的伤害[J].植物学报,1997,39(12):1105-1109.
- [8] 潘瑞炽,豆志杰,叶庆生.茉莉酸甲酯对水分胁迫下花生幼苗SOD活性和膜脂过氧化作用的影响[J].植物生理学报,1995,21(3):221-228.
- [9] Willekens H, Vancamp W, Linze D, et al. Ozone, sulfur dioxide, and ozone ultraviolet-B have similar effect on mRNA accumulation of antioxidant genes in *Nicotiana plumbaginifolia*[J]. Plant Physiol, 1994, 106: 1007-1014.
- [10] 张殿忠,汪沛洪,赵会贤.测定小麦叶片游离脯氨酸含量的方法[J].植物生理学通讯,1990,16(4):62-65.
- [11] 王爱国,罗广华,邵从本.大豆种子超氧化物歧化酶的研究[J].植物生理学报,1983,9:77-84.
- [12] 陈少裕.膜脂过氧化与植物逆境胁迫[J].植物学报,1989,6(4):211-217.

[13] 赵世杰, 许长城, 邹琦, 等. 植物组织中丙二醛测定方法的改进[J]. 植物生理学通讯, 1994, 30(3): 207–210

[14] 米海莉, 许兴, 李树华, 等. 干旱胁迫下牛心朴子幼苗相对含水量质膜透性及保护酶活性变化[J]. 西北植物学报, 2003, 23(11): 1871–1876

[15] 米海莉, 许兴, 李树华, 等. 水分胁迫对牛心朴子、甘草叶片色素、可溶性糖、淀粉含量及碳氮比的影响[J]. 西北植物学报, 2004, 24(10): 1816–1821.

[16] 朱新广, 张其德. NaCl对光合作用的影响[J]. 植物学通报, 1999, 16(4): 332–338

[17] 阎秀峰, 李晶, 祖元刚. 干旱胁迫对红松幼苗保护酶活性及脂质过氧化作用的影响[J]. 生态学报, 1999, 19(6): 850–854

[18] Gilbert G S, Hams K E, Hamill D N, et al. Effects of seedling size, EInino drought, seedling density, and distance to nearest conspecific adult on 6-year survival of *Ocotea whitei* seedlings in Panamá[J]. Oecologia, 2001, 127: 509–516

[19] Silk J W F. EInino droughts and their effects on tree species composition and diversity in tropical rain forests[J]. Oecologia, 2004, 141: 114–120

[20] 王淼, 代力民, 姬兰柱, 等. 长白山阔叶红松林主要树种对干旱胁迫的生态反应及生物量分配的初步研究[J]. 应用生态学报, 2001, 12(4): 496–500

Effects of Water Stress on the Seedlings of Two Key Species for Ecological Restoration *Schima superba* and *Mallotus paniculatus*

SONG A i-qin, CHEN Sheng-bin, LI Zhen-ji*, WANG X iu-fang
(School of Life Sciences, Xiamen University, Xiamen 361005, China)

Abstract The activities of superoxide dismutase (SOD) and peroxidase (POD), contents of photosynthetic pigment proline (Pro) and malondialdehyde (MDA) in the leaves of *Schima superba* and *Mallotus paniculatus* seedlings, which is important for restoration, were studied at six water contents (40%, 31%, 28%, 25%, 22%, 19%). The results showed that with decreasing soil water content, the activities of SOD and POD, content of Pro and MDA in the leaves of *Mallotus paniculatus* seedlings lowered first, then went up, again lowered, and conversely, while the contents of chlorophyll a (Chl a), chlorophyll b (Chl b) and carotenoid (Car) went up first, then lowered. The activities of SOD and POD, content of Pro and MDA in the leaves of *Mallotus paniculatus* seedlings had a significant increase at 22% of soil water content. But activities of SOD and POD and the Pro content in the leaves of *Schima superba* seedlings increased at 19% of soil water content, no significant change in the Chl a, Chl b and Car content. Under slight flood stress, the activities of SOD and POD and Pro content in the leaves of *Schima superba* seedlings had no significant rule. Statistical analysis showed that there was a positive correlation between SOD activities and Pro contents in the leaves of *Mallotus paniculatus* seedlings ($r = 0.815$, $p < 0.05$), and also a significant correlation between SOD activities and MDA contents ($r = 0.932$, $p < 0.01$). Based upon the above analysis, it could be concluded that *Mallotus paniculatus* was more sensitive to drought stress than *Schima superba*.

Key words drought stress; physiological features; *Schima superba*; *Mallotus paniculatus*; restoration