

PEG 模拟干旱条件下尾叶桉和枫香苗木的生理响应

薛立¹, 薛晔², 任向荣^{1,3}, 史小玲¹, 冯慧芳¹

1. 华南农业大学林学院, 广东 广州 510642; 2. 浙江工业大学, 浙江 杭州 310023; 3. 乌鲁木齐市农科院试验场, 新疆 乌鲁木齐 830000

摘要:以尾叶桉 (*Eucalyptus urophylla*) 和枫香 (*Liquidambar formosana*) 幼苗为试验材料, 利用聚乙二醇 6000 (PEG-6000) 人工模拟水分胁迫环境, 设置三个胁迫强度处理 (轻度胁迫、中度胁迫、重度胁迫) 和三个胁迫持续时间处理 (持续 12 h、24 h、36 h), 研究幼苗叶片相对含水量、相对电导率、脯氨酸质量分数、叶绿素质量分数、超氧化物歧化酶 (SOD) 活性、丙二醛 (MDA) 含量和可溶性糖质量分数的变化, 结果表明: 经水分胁迫处理后, 6 种树种幼苗叶片相对含水量皆显现下降的趋势, 水分胁迫处理 12 h 的尾叶桉叶片相对含水量下降幅度小于枫香; 随着水分胁迫强度的加深及持续时间的延长, 2 种树种幼苗叶片内相对电导率呈波动性上升的趋势; 脯氨酸质量分数都有明显的增加, 枫香叶片内脯氨酸质量分数的变化幅度大于尾叶桉叶片; 苗木叶片叶绿素质量分数出现不规则波动; 尾叶桉的 SOD 活性胁迫 12 h 和 24 h 时在中度胁迫达到最大, 胁迫 36 h 在轻度胁迫时达到高峰, 而枫香的 SOD 活性经不同胁迫时间的胁迫处理后, 在轻度胁迫时达到高峰; 随胁迫强度的增加及胁迫时间的延长, 尾叶桉叶片 MDA 含量有逐渐上升的趋势, 枫香叶片 MDA 含量变化趋势表现为增加、下降、再增加; 经水分胁迫处理 12 h 时, 随着水分胁迫强度的加剧, 尾叶桉的可溶性糖质量分数显著增加, 而枫香的可溶性糖质量分数在中度时下降, 水分胁迫处理 24 h 时 2 种苗木的可溶性糖质量分数波动, 处理 36 h 时轻度胁迫后下降。结果表明, 叶片相对含水量、SOD 活性和可溶性糖质量分数可以作为评价苗木抗旱性的依据, 尾叶桉的抗旱能力大于枫香。

关键词: 尾叶桉; 枫香; 聚乙二醇; 抗旱; 生理指标

中图分类号: S731

文献标识码: A

文章编号: 1674-5906 (2009) 02-0614-07

当树木蒸腾速率超过水分吸收速率或土壤缺乏树木可利用的水分时, 树木将发生干旱胁迫^[1]。干旱是影响树木成活与生长的重要限制因子^[2]。季节性干旱也是影响林木正常生长的重要因素。树木的抗旱性就是指树木在干旱环境条件中生长、繁殖或生存的能力, 以及在干旱解除后迅速恢复的能力^[3]。在干旱条件下, 树木会在生长、形态结构以及生理生化特性等方面表现出一定的特点和规律性。因此以生理生化指标开展抗旱性研究成为最为活跃的领域。目前许多学者对于抗旱性鉴定的生理生化指标做了大量的研究^[4-6]。聚乙二醇 (polyethylene glycol 或 PEG) 诱导水份逆境所得的效果与将土壤逐步干旱相似, 其优点是条件易控制、重复性好、方法简单, 适合早期鉴定。因此, 该方法多应用于苗期的抗旱性研究。

尾叶桉 *Eucalyptus urophylla* 和枫香 *Liquidambar formosana* 是华南地区广泛栽植的树种, 用于木材和绿化, 目前, 对这 2 种树种抗旱性的研究甚少。本研究利用聚乙二醇 (PEG-6000) 人工模拟干旱条件, 测定其叶片相对含水量、相对电导率等 7 个生理生化指标生理指标, 对于弄清其适应干旱胁迫的生理学机理, 避免或者降低树木旱害, 提高群落生产力有一定的参考作用。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验地在华南农业大学林学院六号楼北面的教学苗圃内, 处理所用的尾叶桉和枫香幼苗为营养袋培育的实生苗, 购于广东省龙眼洞林场林木种苗示范基地, 苗木生长基本情况见表 1。采用长 60 cm, 宽 37 cm, 深 17 cm 的塑料盆作水培器材, 在塑料泡沫板打孔后置于盆表面, 将苗木插于盆内的营养液中。营养液选用霍格兰营养液配方。

表 1 试验幼苗概况

Table 1 General situation of the experimental seedlings cm

树种	平均地径	平均树高	平均冠幅
尾叶桉	0.4	53	20
枫香	0.4	42	20

1.2 试验方法

1.2.1 苗木处理

选取形态长势基本一致的幼苗, 洗净根部后插入打好孔的泡沫板中, 板置于盛有营养液的塑料盆上。水培苗先在 1/2 Hoagland 营养液中恢复 2 d, 再移入用营养液配制的具有不同渗透势的聚乙二醇 (PEG6000) 溶液中进行不同强度及不同持续时间的水分胁迫处理。各处理均在室温下进行, 相对湿度

基金项目: 广东省林业局科技项目 (4400-F07064; 4400-F08018)

作者简介: 薛立 (1958 年生), 男, 教授, 博士, 博士生导师, 研究方向为森林培育和生态。E-mail: forxue@scau.edu.cn

收稿日期: 2009-02-05

为 75%~85%。处理后,选择生长良好,大小均一的叶片为供试材料,不同树种的相同指标均在早晨 8:30 采样,每个指标用 3 株苗木采样,取每棵植株的第 3 位至第 8 位功能叶,用自来水轻轻冲洗除去表面污物,再用蒸馏水冲洗 2~3 次后,用吸水纸轻轻吸干叶片表面水分,混合采集叶片后进行指标测定,3 次重复。

1.2.2 不同水分胁迫强度处理

在新鲜营养液里加入 PEG6000 配制成不同质量分数的胁迫溶液:轻度胁迫 5% (50 g·L⁻¹PEG)、中度胁迫 10% (100 g·L⁻¹PEG)、重度胁迫 15% (150 g·L⁻¹PEG),把苗的根部浸入胁迫溶液中进行水分胁迫处理,以不加 PEG6000 的 1/2Hoagland 营养液中的苗木作为对照。

1.2.3 不同水分胁迫持续时间处理

各胁迫强度均设 3 组持续时间处理,分别在胁迫持续 12 h、24 h、36 h 时采集叶片,以不加 PEG6000 持续 12 h 的苗木为对照,测定各项生理指标。

1.3 生理指标测定

叶片相对含水量、叶绿素、丙二醛 (MDA) 含量、超氧化物歧化酶 (SOD) 活性的测定参照陈建勋和王晓峰的文献中的方法测定^[7];叶片相对电导率、脯氨酸、可溶性糖参照李合生的文献中的方法测定^[8]。每个指标做 3 次重复。

3 结果与分析

3.1 不同水分胁迫强度对幼苗叶片相对含水量的影响

由图 1a 可知,经水分胁迫处理 12 h 后,轻度和中度胁迫时尾叶桉叶片相对含水量相差不大,均显著低于对照而高于重度胁迫时 ($P < 0.05$);胁迫处理 24 h 时,叶片相对含水量表现为显著下降后略微回升,各强度处理均显著低于对照 ($P < 0.05$);胁迫处理 36 h 时,叶片相对含水量在轻度胁迫时大

幅度降低,显著低于对照 ($P < 0.05$),之后缓慢下降。各时间段水分胁迫处理枫香叶片随着胁迫强度的加重,叶片相对含水量逐渐下降,各强度处理均显著低于对照 ($P < 0.05$) (图 1b)。水分胁迫处理 12 h 的尾叶桉叶片相对含水量下降幅度小于枫香。

3.1.2 不同水分胁迫强度对幼苗叶片相对电导率的影响

经水分胁迫处理 12 h 后,随着胁迫强度的加深,尾叶桉叶片相对电导率逐渐上升;胁迫处理 24 h 时,相对电导率变化表现为上升、下降、再回升;胁迫处理 36 h 时,相对电导率在中度胁迫时达到高峰,之后略有下降,各时间段 3 种强度处理的显著大于对照 ($P < 0.05$) (图 2a)。经水分胁迫处理 12 h 的枫香叶片的相对电导率先上升,重度胁迫时下降;胁迫处理 24 h 的轻度胁迫时大幅度上升,中度胁迫保持稳定,重度胁迫又有显著增加 ($P < 0.05$);胁迫处理 36 h 的显著上升 ($P < 0.05$) 后稳定,各时间段 3 种强度处理的显著大于对照 ($P < 0.05$) (图 2b)。

3.1.3 不同水分胁迫强度对幼苗叶片脯氨酸质量分数的影响

经水分胁迫处理 12 h 后,尾叶桉叶片内脯氨酸质量分数先上升后下降,在中度胁迫时达到高峰,各质量分数处理的脯氨酸质量分数均显著高于对照 ($P < 0.05$) (图 3a)。胁迫处理 24 h 时,轻度胁迫使脯氨酸质量分数显著增加 ($P < 0.05$),中度胁迫保持稳定,重度胁迫时又有显著增加 ($P < 0.05$)。胁迫处理 36 h 时,脯氨酸质量分数呈现为上升下降再上升,轻度胁迫和重度胁迫的显著高于对照 ($P < 0.05$),而中度胁迫显著低于对照 ($P < 0.05$);经不同强度水分胁迫处理后,枫香叶片内脯氨酸质量分数均显著高于对照 ($P < 0.05$)。水分胁迫 12 h 时,脯氨酸质量分数随着胁迫强度的加重而持续上升;

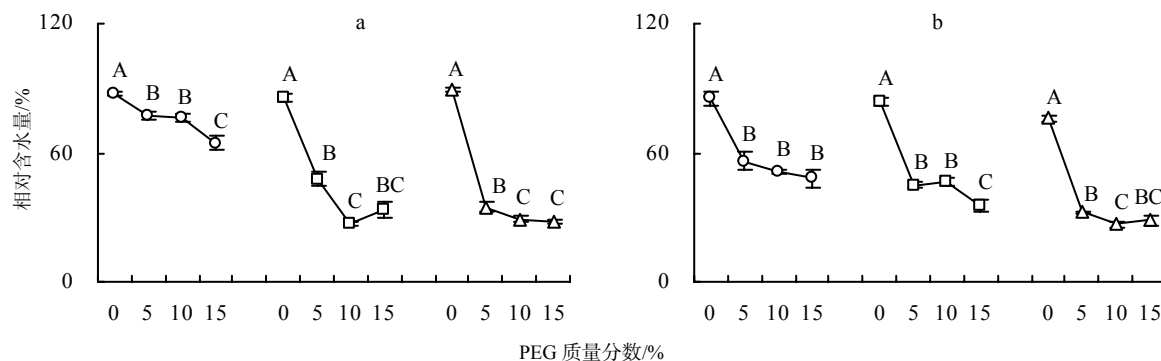


图 1 不同水分胁迫持续时间对苗木叶片相对含水量的影响

Fig. 1 Effect of drought stress on the relative water content in leaves of seedlings

a, 尾叶桉; b, 枫香。—○— 12 h; —□— 24 h; —△— 36 h

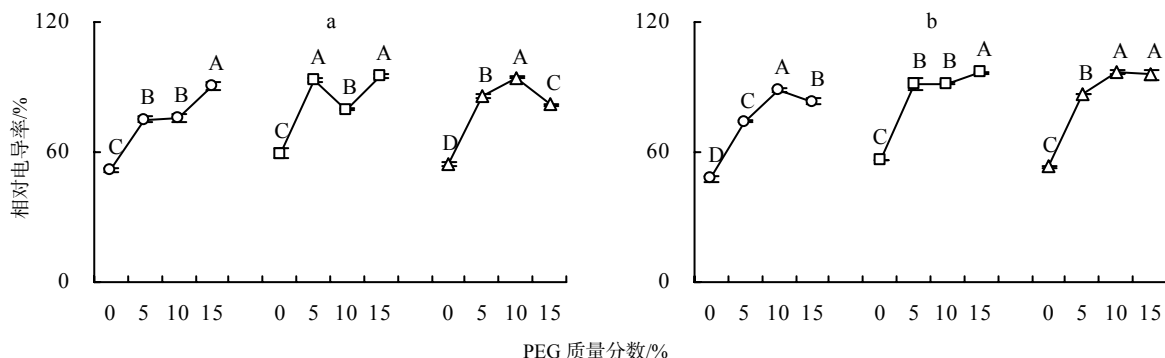


图 2 不同水分胁迫持续时间对苗木叶片相对电导率的影响

Fig. 2 Effect of drought stress on the relative electrical conductivity in leaves of seedlings

a, 尾叶桉; b, 枫香。—○— 12 h; —□— 24 h; —△— 36 h

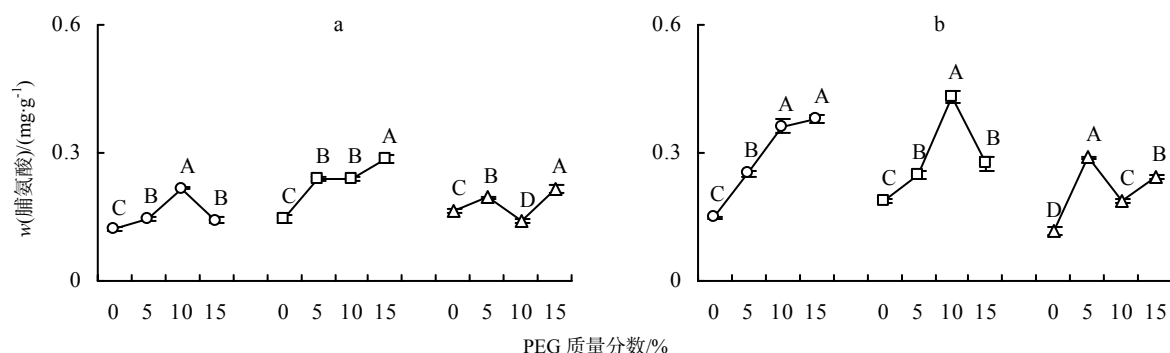


图 3 不同水分胁迫持续时间对苗木叶片脯氨酸质量分数的影响

Fig. 3 Effect of drought stress on free proline in leaves of seedlings

a, 尾叶桉; b, 枫香。—○— 12 h; —□— 24 h; —△— 36 h

水分胁迫 24 h 时, 脯氨酸质量分数先上升后下降, 在中度胁迫时达到高峰水分胁迫 36 h 时, 脯氨酸质量分数表现为上升、下降、再上升; 各时间段 3 种强度处理的均显著大于对照 ($P < 0.05$) (图 3b)。枫香叶片内脯氨酸质量分数的变化幅度大于尾叶桉叶片。

3.1.4 不同水分胁迫强度对幼苗叶片叶绿素质量分数的影响

由图 4a 可知, 不同胁迫强度处理 12 h 后, 轻度和中度胁迫的尾叶桉叶片内叶绿素质量分数均显著低于对照 ($P < 0.05$), 重度胁迫与对照无显著差异。胁迫处理 24 h 时, 叶绿素质量分数先略降, 再显著上升 ($P < 0.05$), 最后又下降到对照水平。胁迫处理 36 h 时, 轻度和中度胁迫叶绿素质量分数相近, 均显著高于对照 ($P < 0.05$), 而显著低于重度胁迫 ($P < 0.05$); 经水分胁迫处理 12 h 后, 枫香叶片内叶绿素质量分数先显著下降 ($P < 0.05$), 再显著上升 ($P < 0.05$), 然后又显下降 ($P < 0.05$), 各强度处理的叶绿素质量分数均显著低于对照 ($P < 0.05$); 胁迫处理 24 h 时, 叶绿素质量分数平缓

上升后又下降到与对照相近的水平, 中度胁迫时叶绿素质量分数显著高于对照 ($P < 0.05$); 胁迫处理 36 h 时, 叶绿素质量分数先下降后又回升, 中度胁迫时显著低于对照 ($P < 0.05$), 其余强度处理的叶绿素质量分数与对照均无显著差异 (图 4b)。

3.5 不同水分胁迫强度对幼苗叶片 SOD 活性的影响

经水分胁迫处理 12 h 后, 尾叶桉叶片内 SOD 活性明显增加, 在中度胁迫时达到最大后下降, 3 种强度处理的均显著大于对照 ($P < 0.05$) ($P < 0.05$); 胁迫处理 24 h 时, 轻度和中度胁迫的 SOD 活性显著高于对照 ($P < 0.05$); 胁迫处理 36 h 时, SOD 活性在轻度胁迫时达到最大后下降, 轻度和中度胁迫时显著大于对照 ($P < 0.05$) 重度胁迫时显著小于对照 ($P < 0.05$) (图 5a)。经水分胁迫处理 12 h 和 24 h 后, 各强度处理的枫香叶片内 SOD 活性比对照显著增加 ($P < 0.05$), 并在轻度胁迫时达到高峰。胁迫处理 36 h 时, SOD 活性在轻度胁迫时达到最大, 中度胁迫时有所降低, 但仍显著高于对照 ($P < 0.05$), 重度胁迫时下降明显, SOD 活性显著

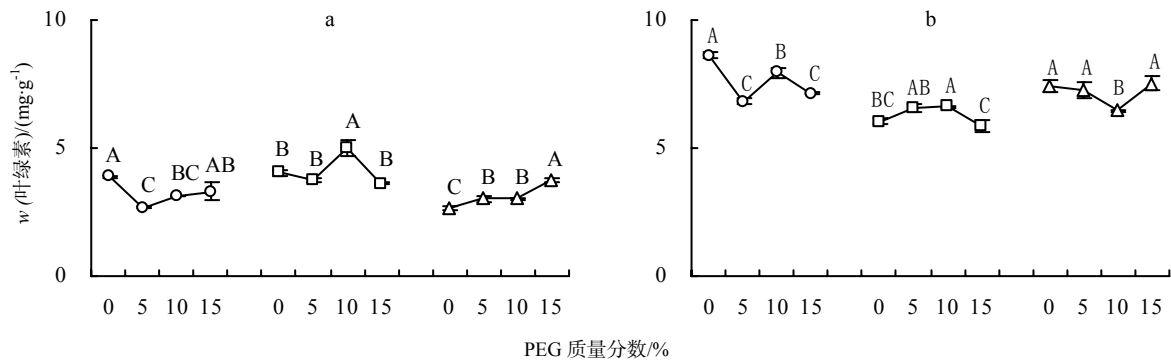


图 4 不同水分胁迫持续时间对苗木叶片叶绿素质量分数的影响
Fig. 4 Effect of drought stress on the chlorophyll in leaves of seedlings
a, 尾叶桉; b, 枫香。—○— 12 h; —□— 24 h; —△— 36 h

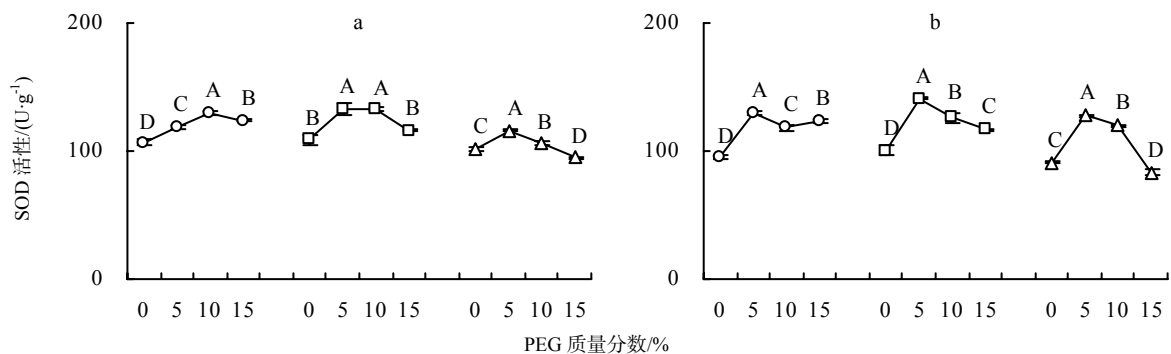


图 5 不同水分胁迫持续时间对苗木叶片 SOD 活性的影响
Fig. 5 Effect of drought stress on the activity of SOD in leaves of seedlings
a, 尾叶桉; b, 枫香。—○— 12 h; —□— 24 h; —△— 36 h

低于对照 ($P < 0.05$) (图 5b)。

3.6 不同水分胁迫强度对幼苗叶片丙二醛含量的影响

经水分胁迫处理 12 h 后, 尾叶桉叶片的丙二醛含量在轻度胁迫时增幅较小, 中度和重度胁迫时丙二醛含量显著大于对照 ($P < 0.05$)。胁迫处理 24 h 时, 随着胁迫强度的加重, 丙二醛含量缓慢升高, 各强度处理均显著高于对照 ($P < 0.05$), 处理间差

异不显著。胁迫处理 36 h 时, 丙二醛含量在轻度和中度胁迫时显著升高 ($P < 0.05$), 重度胁迫时下降到与对照相近水平 (图 6a)。经水分胁迫处理 12 h 后, 枫香叶片的丙二醛含量在轻度胁迫时出现高峰后随着胁迫强度增加而下降到对照水平; 胁迫处理 24 h 时, 丙二醛含量先逐渐升高, 在中度胁迫时达到最大后下降, 各处理显著高于对照 ($P < 0.05$); 胁迫处理 36 h 时, 丙二醛含量呈上升略降再上升的

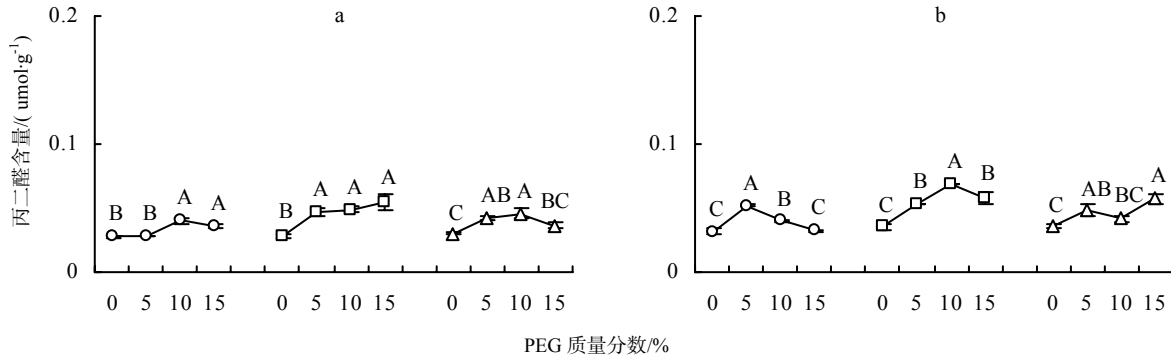


图 6 不同水分胁迫持续时间对苗木叶片丙二醛含量的影响
Fig. 6 Effect of drought stress on the content of MDA in leaves of seedlings
a, 尾叶桉; b, 枫香。—○— 12 h; —□— 24 h; —△— 36 h

变化规律,轻度和重度胁迫显著高于对照($P < 0.05$) (图 6b)。

3.7 不同水分胁迫强度对幼苗叶片可溶性糖质量分数的影响

经水分胁迫处理 12 h 后,随着胁迫强度的加重,尾叶桉叶片内可溶性糖质量分数显著上升,各处理均显著高于对照($P < 0.05$);胁迫处理 24 h 时,可溶性糖质量分数呈上升下降再上升,轻度和重度胁迫时其质量分数显著高于对照($P < 0.05$);胁迫处理 36 h 时,可溶性糖在轻度胁迫时质量分数最大后下降,各胁迫处理显著高于对照($P < 0.05$) (图 7a)。经水分胁迫处理 12 h 后,枫香叶片内可溶性糖质量分数在中度胁迫时上升到最大值;胁迫处理 24 h 时,可溶性糖质量分数显著上升后下降接着又上升;胁迫处理 36 h 时,轻度胁迫使可溶性糖质量分数达到最大,中度和重度胁迫时其质量分数相差不大,均显著低于轻度胁迫($P < 0.05$),各时间段 3 种处理均显著高于对照($P < 0.05$) (图 7b)。

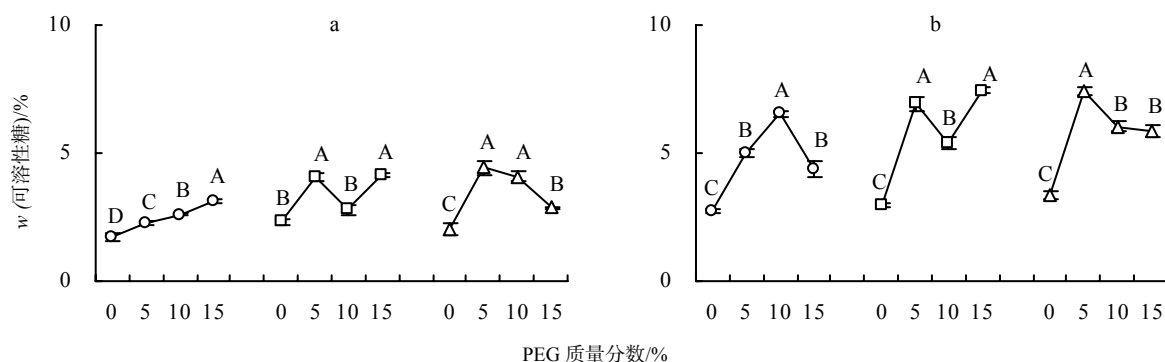


图 7 不同水分胁迫持续时间对苗木叶片可溶性糖质量分数的影响

Fig. 7 Effect of drought stress on soluble sugar in leaves of seedlings

a, 尾叶桉; b, 枫香。—○— 12 h; —□— 24 h; —△— 36 h

胁迫处理后,2 种幼苗叶片电解质相对渗出率与对照相比均有升高,且随着水分胁迫强度的加深及胁迫时间的延长,出现相对电导率略有下降现象,说明这可能是其对水分胁迫产生一定的积极应激反应,质膜受伤害程度有所缓和。

4.3 植物抗旱性与脯氨酸质量分数的关系

干旱胁迫使脯氨酸氧化降解的过程受到抑制,使反应向有利于合成脯氨酸的方向进行,导致了脯氨酸的增加^[12]。叶片脯氨酸质量分数的增加,可提高其渗透调节能力,增强植物的抗旱能力和抗逆性^[13]。因此,许多人把脯氨酸的积累能力看作是植物抗旱性选择的基础^[14]。在本研究中,经水分胁迫处理后,2 种苗木的脯氨酸质量分数比对照都有明显的增加,这是植物叶片对水分胁迫进行适应性代谢调节的结果。枫香叶片在水分胁迫 24 h 和 36 h 时,

4 结论与讨论

4.1 植物抗旱性与叶片相对含水量变化的关系

叶片相对含水量是一个很好的水分状况指标。植物遇到干旱胁迫时,首先通过保持水分吸收和减少水分丧失来维持体内的水分平衡^[9]。干旱的适应能力强的树种在干旱条件下叶片相对含水量高,生理功能旺盛^[10]。在本研究中,随着胁迫强度的加剧,尾叶桉叶片相对含水量在 12 h 胁迫时下降幅度小于枫香,说明在相对短的时间内,尾叶桉避免脱水能力强,对水分胁迫具有较强的抵抗力。随着胁迫持续时间的延长,尾叶桉和枫香和蓝桉叶片相对含水量降幅较大,表明二者不耐长期干旱。

4.2 植物抗旱性与细胞膜透性变化的关系

植物细胞的原生质膜调节和控制着细胞内外的物质交换,干旱对细胞的影响往往首先作用于这层由蛋白质和类脂所构成的生物膜,造成膜的选择性丧失,电解质和某些小分子有机物渗漏^[11],从而引起组织浸泡液的电导率增加。本研究中,经水分

分别在中度和轻度胁迫就达到了耐受胁迫的极限,胁迫强度再增加,脯氨酸质量分数开始下降。说明随着水分胁迫时间的延长,渗透调节能力有所减弱或丧失。

4.4 植物抗旱性与叶绿素质量分数的关系

水分胁迫会引起叶绿素质量分数降低^[15-16]。本研究表明,随着水分胁迫强度的增大和胁迫持续时间的延长,2 种苗木叶片叶绿素质量分数呈现波动。干旱时植物的光合作用会减弱,但黎祜琛^[3]报道水分胁迫时对光合作用的抑制有严重的滞后效应,说明在逆境条件下叶绿素的降解速度可能较慢。另外,苗木在水分胁迫处理后,体内水分减少,叶片变轻,叶绿素呈相对浓缩状态,单位鲜重中质量分数就会相对升高。在本试验的水分胁迫处理过程中,苗木叶片叶绿素质量分数出现不规则波动,可

能与叶绿素浓缩和降解速度慢等有关。

4.5 植物抗旱性与 SOD 活性的关系

干旱胁迫下,植物体内的活性氧大量积累,破坏细胞膜。植物叶片中的 SOD 酶活性提高,以增强其抗氧化能力,减少脂质过氧化,稳定膜的透性。在干旱胁迫下植物体的 SOD 活性与植物抗氧化胁迫能力呈正相关,抗旱品种或种类具有较高的 SOD 活性^[17],且能够维持在高范围的稳定水平,以清除活性氧的伤害。在本研究中,尾叶桉的 SOD 活性胁迫 12 h 和 24 h 时在中度胁迫达到最大,胁迫 36 h 在轻度胁迫时达到高峰,而枫香的 SOD 活性经不同胁迫时间的胁迫处理后,在轻度胁迫时达到高峰。说明尾叶桉在一定干旱条件下 SOD 保护酶形成了一定的耐旱机制,避免了活性氧等各种自由基的大量积累。枫香叶片容易造成活性氧的大量产生,从而使细胞受伤害。

4.6 植物抗旱性与丙二醛含量的关系

丙二醛(MDA)是植物脂质过氧化的产物,它能交联脂类、糖类、核酸及蛋白质,通过影响细胞膜透性及膜蛋白而影响细胞对离子的吸收和积累及活性氧代谢系统的平衡^[18]。抗旱性强的植物 MDA 含量增幅小^[5]。尾叶桉叶片 MDA 含量随胁迫强度的增加及胁迫时间的延长,有逐渐上升的趋势,只是到最后重度胁迫 36 h 时有所下降,具体原因有待于进一步研究。枫香叶片 MDA 含量变化趋势表现为增加、下降、再增加,反映了其幼苗膜系统从适应到破坏的过程,与保护酶系统的作用有关^[19]。

4.7 植物抗旱性与可溶性糖质量分数的关系

当植物受到水分胁迫时,体内常积累大量的可溶性糖,有利于细胞从外界水势降低的介质中继续吸水^[20],从而使植物体保持一定的含水量和膨压势,以维持细胞正常的功能,提高抗逆适应性^[21]。可溶性糖质量分数增加,是对干旱的适应,以抵御干旱胁迫的伤害^[22]。本研究中,经水分胁迫处理 12 h 时,随着水分胁迫强度的加剧,尾叶桉的可溶性糖质量分数显著增加,而枫香的可溶性糖质量分数在中度时下降,说明前者短期内增加了细胞的抗脱水能力,可以减缓干旱对其的伤害,而后的渗透调节能力是有限的,严重干旱会使植物体渗透调节能力丧失^[23];水分胁迫处理 24 h 时 2 种苗木的可溶性糖质量分数波动,处理 36 h 时轻度胁迫后下降,表明说明其渗透调节能力减弱,可能是水分胁迫的延长导致了可溶性糖的加速分解和合成减少^[24]。

综合对比分析是评价树木的抗旱能力的重要方法。本研究以尾叶桉和枫香为材料,进行水分胁迫下叶片相对含水量、相对电导率、脯氨酸质量分数、叶绿素质量分数、SOD 活性、MDA 含量和可

溶性糖质量分数 7 个指标的比较,发现叶片相对含水量、SOD 活性和可溶性糖质量分数能反映出这 2 个树种抗旱性的差异,可作为这 2 个树种抗旱性评价的有效依据。通过这 3 个指标综合判断得出尾叶桉的抗旱能力大于枫香。

参考文献:

- [1] 李燕, 薛立, 吴敏. 树木抗旱机理研究进展[J]. 生态学杂志, 2007, 26(6): 1857-1866.
LI Yan, XUE Li, WU Min. Advances on mechanism of drought resistance in tree species[J]. Chinese Journal of Ecology, 2007, 26(6): 1857-1866.
- [2] BECKER M, NIEMINEN T M, GEREMIA F. Short-term variation and long-term changes in oak productivity in northeastern France. The role of climate and atmospheric CO₂[J]. Annales Des Sciences Forestieres, 1994, 51: 477-492.
- [3] 黎祐琛, 邱治军. 树木抗旱性及抗旱造林技术研究综述[J]. 世界林业研究, 2003, 16(4): 17-22.
LI Huchen, QIU Zhijun. A Review of studies of drought resistance in tree species and drought resistant forestation technology[J]. World Forestry Research, 2003, 16(4): 17-22.
- [4] PERCIVAL G C, SHERIFFS C N. Identification of drought-tolerant woody perennials using chlorophyll fluorescence[J]. Journal of Arboriculture, 2002, 28(5): 215-224.
- [5] 何开跃, 李晓储, 黄利斌, 等. 干旱胁迫对木兰科 5 树种生理生化指标的影响[J]. 植物资源与环境学报, 2004, 13(4): 20-23.
HE Yuekai, LI Xiaochu, HUANG Libin. Effects of drought stress on physiological and biochemical indices in five tree species of Magnoliaceae[J]. Journal of Plant Resources and Environment, 2004, 13(4): 20-23.
- [6] 黎燕琼, 郑绍伟, 陈泓, 等. 林木抗旱性研究及其进展[J]. 世界林业研究, 2007, 20(1): 10-15.
LI Yanqun, ZHENG Shaowei, CHEN Hong, et al. Review and progress of drought-resistance of tree species[J]. World Forestry Research, 2007, 20(1): 10-15.
- [7] 陈建勋, 王晓峰. 植物生理学实验指导[M]. 广州: 华南理工大学出版社, 2002: 2-3, 35-36, 119-124.
CHEN Jianxun, WANG Xiaofeng. Plant Physiology Experiments Guidance[M]. Beijing: South China University of Technology Press, 2000: 2-3, 35-36, 119-124.
- [8] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000: 195-197, 258-263.
Li Hesheng. Plant Physiology and Biochemistry Principles and Experimental Technology[M]. Beijing: Higher Education Press, 2000: 195-197, 258-263.
- [9] 李吉跃. 植物耐旱性及其机理[J]. 北京林业大学学报, 1991, 13(3): 92-100.
LI Jiyue. Mechanisms of drought tolerance in plants[J]. Journal of Beijing Forestry University, 1991, 13(3): 92-100.
- [10] 朱春云, 赵越, 刘霞, 等. 锦鸡儿等旱生树种抗旱生理的研究[J]. 干旱区研究, 1996, 13(1): 59-63.
ZHU Chunyun, ZHAO Yue, LIU Xia. A Study on physiological drought of caragana and others[J]. Arid Zone Research, 1996, 13(1): 59-63.
- [11] 杨德浩, 杨敏生, 王进茂, 等. 欧洲白桦苗期低温胁迫时膜系统的变化[J]. 东北林业大学学报, 2004, 32(6): 13-15.
YANG Dehao, YANG Minsheng, WANG Jinmao, et al. Europe

- Birch's membrane system changes under low temperature menace in the period of seedling[J]. Journal of Northeast Forestry University, 2004, 32(6): 13-15.
- [12] 许祥明, 叶和春, 李国凤. 脯氨酸代谢与植物抗渗透胁迫的研究进展[J]. 植物学通报, 2000, 17(6): 536-542.
- XU Xiangming, YE hechun, LI guofeng. Progress in synthesis and metabolism of proline and its relationship with osmotolerance of plants[J]. Chinese Bulletin of Botany, 2000, 17(6): 536-542.
- [13] BOHNERT H J, JENSEN R G. Strategies for engineering water-stress tolerance in plants[J]. Trends in Biotechnology, 1996, 14(3): 89-97.
- [14] STAJNER D, MIMICA-DUKIC N, GASIC O. Adaptability to drought in sugar beet cultivars[J]. Biologia Plantarum, 1995, 37: 107-112.
- [15] GOMEZ-DEL-CAMPO M, RUIZ C, LISSARRAGUE J R. Effect of water stress on leaf area development, photosynthesis and productivity in Chardonnay and Airen Grapevines[J]. American Journal of Enology and Viticulture, 2002, 53(2): 138-143.
- [16] BINDI M, BELLESI S, ORLANDINI S, et al. Influence of water deficit stress on leaf area development and transpiration of sangiovese grapevines grown in pots[J]. American Journal of Enology and Viticulture, 2005, 56(1): 68-72.
- [17] 陈立松, 刘景辉. 水分胁迫对荔枝叶片活性氧代谢的影响[J]. 园艺学报, 1998, 25(3): 241-246.
- CHEN lisong, LIU jinghui. Effects of Water stress on active oxygen metabolism in litchi leaves[J]. Acta Horticulturae Sinica, 1998, 25(3): 241-246.
- [18] 袁琳, 克热木·伊力, 张利权. NaCl胁迫对阿月浑子实生苗活性氧代谢与细胞膜稳定性的影响[J]. 植物生态学报, 2005, 29(6): 985-991.
- YUN Lin, KARIM Ali, ZHANG Liquan. Effect of NaCl stress on active oxygen metabolism and membrane stability in *Pistacia vera* seedlings[J]. Journal of Plant Ecology, 2005, 29(6): 985-991.
- [19] 韦小丽, 徐锡增, 朱守谦. 水分胁迫下榆科 3 种幼苗生理生化指标的变化[J]. 南京林业大学学报, 2005, 29(2): 47-50.
- WEI Xiaoli, XU Xizeng, ZHU Shouqian. Variation of physiological and biochemical indexes in seedlings of three ulmaceae species under water stress[J]. Journal of Nanjing Forestry University, 2005, 29(2): 47-50.
- [20] 刘世鹏, 贾培军, 陈宗礼, 等. 水分胁迫对枣树组培苗渗透调节物质的影响[J]. 延安大学学报, 2007, 26(1): 55-58.
- LIU Shipeng, JIA Peijun, CHEN Zongli, et al. Effects of water stress on osmosis adjustment matter(OAM) of *Zizphus jujube*[J]. Journal of Yanan University, 2007, 26(1): 55-58.
- [21] SALADIN G, CLEMENT C, MAGNE C. Stress effects of flumioxazin herbicide on grapevine (*Vitis vinifera* L.) grown in vitro[J]. Plant Cell Reports, 2003, 21(12): 1221-1227.
- [22] 李燕, 孙明高, 孔艳菊, 等. 皂角苗木对干旱胁迫的生理生化反应[J]. 华南农业大学学报, 2006, 27(3): 66-69.
- LI Yan, SUN Gaoming, KONG Yeju, et al. Physiological and biochemical responses of *Gleditsia sinensis* seedlings to drought stress[J]. Journal of South China Agricultural University, 2006, 27(3): 66-69.
- [23] 武勇, 陈存及, 刘宝, 等. 干旱胁迫下柚木叶片生理指标的变化[J]. 福建林学院学报, 2006, 26(2): 103-106.
- WU Yun, CHEN cunji, LIU Bao, et al. Callus changes of leaves of *Tectona grandis* under drought stress[J]. Journal of Fujian College of Forestry, 2006, 27(3): 66-69.
- [24] 朱万泽, 王金锡, 薛建辉. 台湾桉木和四川桉木种源苗木对水分胁迫的生理响应[J]. 西北植物学报, 2005, 25(10): 1969-1975.
- ZHU Wanze, WANG jinxi, XUE Jianhui. Physiological responses of *Alnus formosana* and *Alnus cremastogyne* nursery stocks of the different provenances to water stress[J]. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2005, 25(10): 1969-1975.

Biophysical response of *Eucalyptus urophylla* and *Liquidambar formosana* seedlings to PEG stress

Xue Li¹, Xue Ye², Ren Xiangrong^{1,3}, Shi Xiaoling¹, Feng Huifang¹

1. College of Forestry, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China; 2. Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310023, China; 3. Synthetic Proving Ground of Xinjiang Academy of Agricultural Science, Urumqi 830000, China

Abstract: Studies on physiological changes of seedlings of *Eucalyptus urophylla* and *Liquidambar formosana* were conducted under drought stress using treatments of different PEG6000 concentrations (mild stress, moderate stress, severe stress) and different stress durations (12 hours, 24 hours, 36 hours). The effect of the two seedlings to drought resistance was evaluated by testing relative water contents, relative conductivity, free proline, chlorophyll, super oxide dismutase (SOD) activities, contents of malondialdehyde (MDA) and soluble sugar. The results showed that relative water content of the two seedlings decreased after being treated with drought stress, and the decrease degree for the *E. urophylla* was smaller than *L. formosana* when drought stress lasted 12 hours. With increasing stress intensity and prolonging duration, relative conductivity of the two seedlings tended to increase, their free proline greatly increased and chlorophyll fluctuated slightly. The activity of SOD of *E. urophylla* reached its maximum at moderate stress when drought stress lasted 12 or 24 hours and at mild stress when drought stress lasted 36 hours, and the activity of SOD of *L. formosana* reached its maximum at mild stress when drought stress lasted different time intervals. The content of MDA of *E. urophylla* tended to increase, whereas that of *L. formosana* fluctuated. With increasing stress intensity and prolonging duration, soluble sugar of *E. sylvestris* increased whereas that of *L. formosana* increased initially and then decreased at moderate stress when drought stress lasted 12 hours, and that of the two seedlings fluctuated when drought stress lasted 24 hours and decreased at mild stress when drought stress lasted 36 hours. Relative water content, the activity of SOD and soluble sugar were proper physiological indices for evaluating drought resistance of the two seedlings, and drought resistance of *E. urophylla* was stronger than *L. formosana*.

Key words: *Eucalyptus urophylla*; *Liquidambar formosana*; PEG; drought resistance; physiological index