

文章编号: 1001-3776 (2016) 01-0024-08

盐雾胁迫对 7 种海岛树种生理特性的影响

赵 颖, 王国明, 陈 闻, 张 玲, 高浩杰, 邱海嵘

(浙江省舟山市农林科学研究院, 浙江 定海 316000)

摘要: 2012 年 11 月, 采用 18‰ 盐度盐雾喷雾, 对普陀樟 (*Cinnamomum japonicum* var. *chenii*)、舟山新木姜子 (*Neolitsea sericea*)、红楠 (*Machilus thunbergii*)、全缘冬青 (*Ilex integra*)、柯 (*Lithocarpus glaber*)、厚叶石斑木 (*Raphiolepis umbellata*)、滨柃 (*Eurya emarginata*) 进行 0、0.5、1、2 h/d 胁迫试验, 连续喷雾 35 d, 测定游离脯氨酸、叶绿素含量及相对电导率, 分析盐雾胁迫对其生理特性的影响。结果表明, 随着胁迫时间的增加, 红楠、普陀樟、滨柃、舟山新木姜子柯的游离脯氨酸含量积累到峰值后呈下降趋势, 峰值或大幅上升出现的时间随着胁迫程度的加深有所提前, 而全缘冬青、厚叶石斑木的游离脯氨酸含量的变化相对稳定; 各树种叶绿素含量的峰值一般出现在前中期, 至胁迫结束, 厚叶石斑木叶绿素含量上升明显, 舟山新木姜子上升不明显, 柯、红楠下降, 其他树种无明显规律; 全缘冬青和厚叶石斑木相对电导率增幅较小, 受试的其他树种增幅较大, 最大值出现在胁迫最后一天。

关键词: 盐雾胁迫; 海岛树种; 生理特性; 耐盐雾性

中图分类号: S718.43

文献标识码: A

Effect of Salt-mist Stress on Physiological Properties of Seven Native Tree Species in Zhoushan

ZHAO Ying, WANG Guo-ming, CHEN Wen, ZHANG Ling, GAO Hao-jie, QIU Hai-sheng

(Zhoushan Agriculture and Forestry Academy of Zhejiang, Zhoushan 316000, China)

Abstract: Experiments were implemented in November of 2012 on the container seedlings of *Cinnamomum japonicum* var. *chenii*, *Neolitsea sericea*, *Machilus thunbergii*, *Ilex integra*, *Lithocarpus glaber*, *Raphiolepis umbellata* and *Eurya emarginata* sprayed by 18‰ salt-mist with 0, 0.5, 1 and 2 hours a day for 35 days. Determinations were conducted on free proline and chlorophyll content and relative electrical conductivity of treated seedling leaves. The result showed that along with duration of stress, proline content of *M. thunbergii*, *C. japonicum* var. *chenii*, *E. emarginata*, *N. sericea* and *L. glaber* increased first, and then decreased, while that of *I. integra*, *R. umbellata* changed little. Chlorophyll content of treated seedlings topped at the middle stage of the treatment. By the end of the experiment, chlorophyll content of *R. umbellata* increased significantly, that of *N. sericea* changed little, that of *L. glaber* and *M. thunbergii* decreased, that of the left species had no evident regular changes. Relative electricity conductivity of *I. integra* and *R. umbellata* had little increase, and that of left tree species had great increase, and topped in the last day of treatment.

Key words: salt-mist stress; native species; physiological properties

在盐胁迫环境下植物形态、生长、生理等指标是反映其对逆境适应性的重要指标, 是评价植物耐盐性的重要信息, 但通过这些指标测定筛选耐盐植物目前还没有统一标准, 因而在不同的研究中选择或筛选能反映或者影响植物的耐盐性的评价指标各不相同。作为评价植物耐盐性的重要生理指标, 许多研究指出, 脯氨酸含量、超

收稿日期: 2015-06-28; 修回日期: 2015-09-12

作者简介: 赵颖 (1981—), 女, 辽宁锦州人, 工程师, 从事林木抗逆性及育种研究。

氧化物歧化酶 (SOD) 活性、相对电导率、膜透性、可溶性糖含量、丙二醛 (MDA) 含量、叶绿素含量、根茎叶的 K^+/Na^+ 比等与耐盐性评价有重要相关或可作为树种耐盐性评价的指标^[1~5]。盐雾胁迫同样是一种逆境胁迫, 与浇灌或水培胁迫的区别在于含 NaCl 的盐雾通过叶片作用于植物, 引起植物在形态、生长和生理上发生与盐胁迫相似的反应。国外关于盐雾 (或盐风、盐尘) 与植物生长的关系鲜有报道, 仅见于荷兰 Draaijers 等人研究发现, 越靠近林缘, 盐离子沉降量越大, 林缘是林中的 5 倍^[6]; 日本对空气中盐分的研究报道相对较多, 如盐雾对不同海岸带树种的胁迫危害特性、空气中盐分的分布、对树木冠形的影响等^[7]。

我国在相关耐盐性研究方面绝大多数集中于通过 NaCl 溶液浇灌处理后对树木生长影响、耐盐生理与机制、耐盐碱树种筛选和评价等方面^[8]。对盐雾胁迫下不同树种生理特性的变化研究极少, 仅陈顺伟等以饱和 NaCl 溶液模拟盐雾胁迫对杜英 (*Elaeocarpus decipiens*) 等 11 个树种在盆栽条件下测定叶片叶绿素含量、SOD 活性、MDA 含量和游离脯氨酸含量 4 项生理指标动态变化状况^[9~10]。本研究通过试制盐雾发生装置, 对普陀樟 (*Cinnamomum japonicum* var. *chenii*)、舟山新木姜子 (*Neolitsea sericea*)、红楠 (*Machilus thunbergii*)、全缘冬青 (*Ilex integra*)、柯 (*Lithocarpus glaber*)、厚叶石斑木 (*Raphiolepis umbellata*)、滨柃 (*Eurya emarginata*) 7 种海岛乡土树种进行盐雾胁迫盆栽试验, 对脯氨酸含量、叶绿素含量、相对电导率等生理指标进行测定, 分析盐雾胁迫对上述 7 种海岛树种生理特性的影响, 及不同树种之间耐盐雾性的差异, 以正确评价反映海岛树木的耐盐雾性。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试苗木分别为 2011 年春季播种的普陀樟、舟山新木姜子、柯、厚叶石斑木、滨柃容器苗, 2010 年 7 月播种的红楠容器苗和 2010 年春季播种的全缘冬青容器苗, 其中普陀樟、舟山新木姜子、红楠、全缘冬青、柯为乔木树种, 厚叶石斑木、滨柃为灌木树种。

1.2 盐雾发生装置试制及盐水配制

盐雾发生装置为自主研制, 由储水罐、水处理系统、高压装置、耐高压输送管道、造雾喷头、控制系统及密封大棚组成, 其产生的雾粒为 $2\sim 10\mu m$, 雾化量为 30 s 时间 $20 m^3$, 喷出的雾形成自然雾气, 类似于台风期间强风裹挟着海水微小的水滴形成的雾气, 弥雾在整个大棚内。根据舟山市海域水文特征, 试验时配制的盐水盐度按舟山海域西侧月平均值 $13\text{‰}\sim 23\text{‰}$ 的平均海水含盐量 18‰ , 用日晒一级盐配制而成。

1.3 试验设计与处理

选取生长正常、无病虫害且长势均匀一致的上述 7 个树种的容器苗, 摆放在塑料薄膜密封大棚中, 用塑料薄膜覆盖容器苗基部, 防止盐水渗入基质。试验采取完全随机区组设计, 4 个处理, 每个小区 5 株, 重复 3 次, 盐雾处理时间分别为 0 (对照)、0.5 h/d (处理 1)、1 h/d (处理 2)、2 h/d (处理 3), 2012 年 11 月 2 日正式喷雾, 每天 9:00 开始, 连续喷雾 35 d。

1.4 生理指标测定

在盐雾胁迫处理 14 d、21 d、28 d、35 d 时采集植株相近部位正常叶片, 立即测定其脯氨酸含量、叶绿素含量、相对电导率等指标。因大棚内各条件均无改变, 对照组只测定一次。其中游离脯氨酸含量采用磺基水杨酸提取茚三酮比色法测定; 叶绿素含量采用丙酮乙醇混合液浸提法; 相对电导率采用直读电导仪测定。

1.5 数据处理

数据处理采用 Excel 2003 进行分析。

2 结果与分析

2.1 盐雾胁迫对 7 种树种脯氨酸含量的影响

盐雾胁迫对不同树种脯氨酸含量的影响各不相同(图 1)。

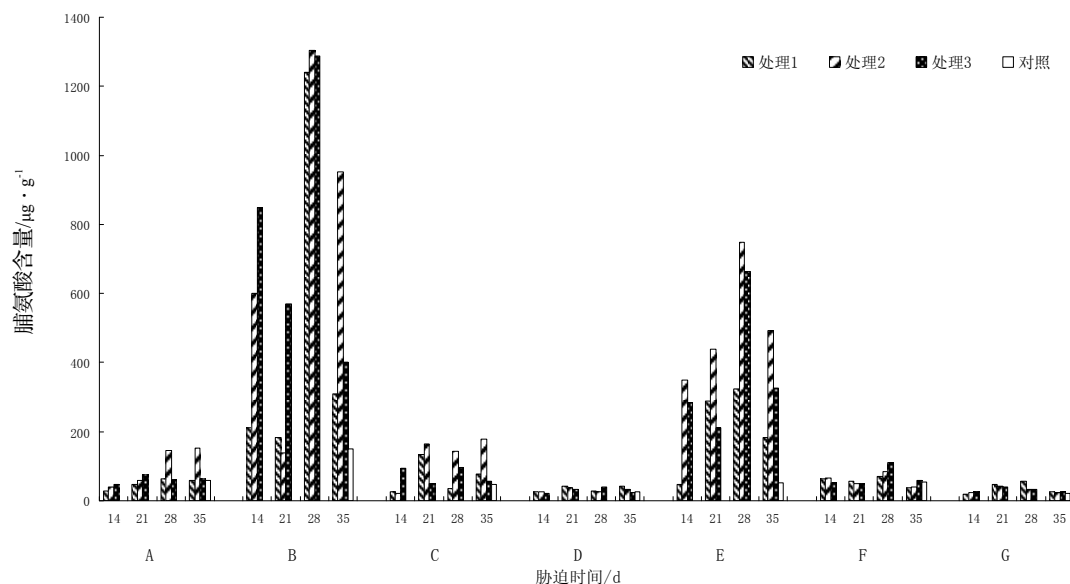


图 1 盐雾胁迫对 7 种树种脯氨酸含量的影响

Figure 1 Effect of salt-mist stress on free proline content in leaves of different treated seedlings

A. 普陀樟 *C. japonicum* var. *chenii*, B. 舟山新木姜子 *N. sericea*, C. 红楠 *M. thunbergii*, D. 全缘冬青 *I. integra*, E. 柯 *L. glaber*, F. 厚叶石斑木 *R. umbellata*, G. 滨柃 *E. emarginata*, 下同。

图 1 表明,随着胁迫时间的持续,普陀樟、滨柃、红楠的脯氨酸含量逐步积累后下降,峰值出现时间随着每天胁迫时间的增加有所提前。如普陀樟处理 1、处理 2 的峰值分别出现在第 28 天、第 35 天,而处理 3 峰值出现在第 21 天,其含量分别为 62.97、153.35、75.13 $\mu\text{g/g}$,是对照的 1.08、2.63、1.29 倍;滨柃处理 1 峰值出现在第 28 天,处理 2、处理 3 的峰值均出现在第 21 天,其含量分别为 56.1、41.21、38.77 $\mu\text{g/g}$,是对照的 2.61、1.91、1.80 倍;红楠处理 1、处理 2 的峰值出现在第 21 天,处理 3 的峰值出现在第 14 天,其含量分别为 133.73、165.11、92.84 $\mu\text{g/g}$,是对照的 2.91、3.59、2.02 倍。同时在胁迫前期,如普陀樟在第 14 天、第 21 天,滨柃、红楠在第 14 天,脯氨酸含量一般随着每天胁迫时间的增加而逐渐增加,其中红楠上升幅度最明显。

随着胁迫时间的持续,舟山新木姜子、柯的脯氨酸含量大幅上升后下降,峰值出现的时间一致,但脯氨酸含量大幅上升的时间随着每天胁迫时间的增加而提前。如舟山新木姜子峰值均出现在第 28 天,处理 1、处理 2、处理 3 其含量分别为 1241.67、1304.23、1286.28,是对照的 8.22、8.64、8.52 倍,脯氨酸含量大幅上升的时间除处理 1 在第 28 天外,处理 2、处理 3 均在第 14 天,含量已达到 600.07、849 $\mu\text{g/g}$,是对照的 3.97、5.62 倍;柯峰值也均出现在第 28 天,其含量分别为 324.38、747.8、663.34 $\mu\text{g/g}$,是对照的 6.18、14.24、12.63 倍,脯氨酸含量大幅上升的时间处理 1 在第 21 天,处理 2、处理 3 同样在第 14 天时,其含量已达到 288.5、350.49、282.81 $\mu\text{g/g}$,是对照的 5.49、6.67、5.39 倍,较之舟山新木姜子,柯对盐雾胁迫的响应速度更快、累积幅度更大。同时在胁迫的前期(14 d),2 树种的脯氨酸含量随着每天胁迫时间的增加而逐渐增加。

随着胁迫时间的持续,对全缘冬青、厚叶石斑木的脯氨酸含量影响不明显,积累和下降的波动幅度较小。全缘冬青脯氨酸含量峰值出现在第 35 天、第 21 天、第 28 天,其含量分别为 43.24、38.02、39.41 $\mu\text{g/g}$,是对照的 1.70、1.49、1.34 倍;厚叶石斑木峰值均出现在第 28 天,其含量分别为 71.04、83.94、109.93 $\mu\text{g/g}$,是对照的 1.32、1.56、2.05 倍。同时全缘冬青在整个胁迫过程、厚叶石斑木在胁迫前期(第 14 天、第 21 天),脯氨

酸含量也未因每天胁迫时间的增加而有明显变化, 但厚叶石斑木在胁迫中后期 (第 28 天、第 35 天) 则有明显变化。

2.2 盐雾胁迫对 7 个树种叶绿素含量的影响

盐雾胁迫对不同树种叶绿素含量的影响各不相同 (图 2)。

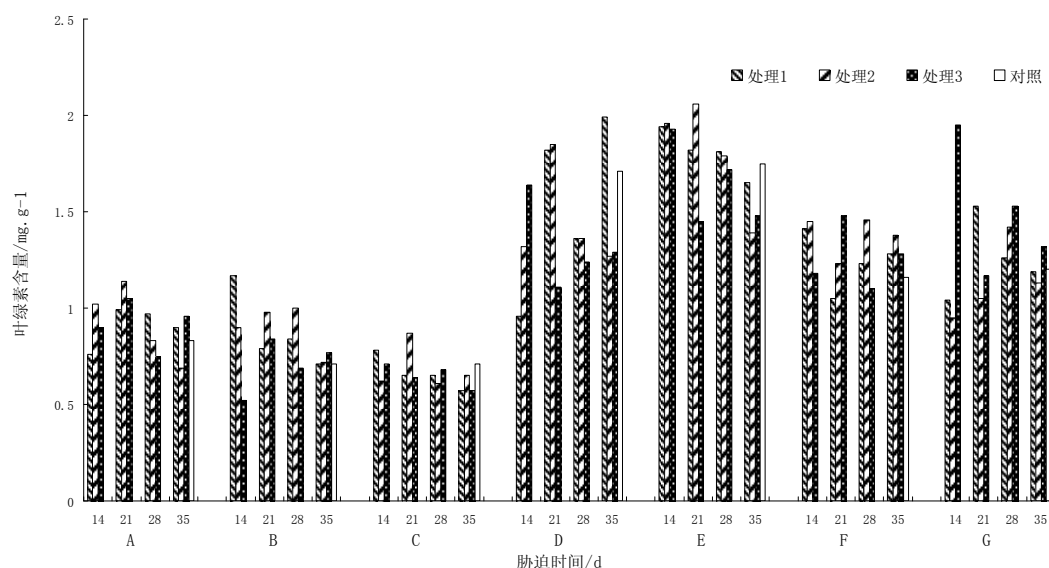


图 2 盐雾胁迫对 7 种树种叶绿素含量的影响

Figure 2 Effect of salt-mist stress on chlorophyll content in leaves of different treated seedlings

由图 2 表明, 叶绿素含量的峰值一般均出现在前中期, 随着每天胁迫时间的增加, 叶绿素含量的峰值出现的时间呈先延迟再提前的趋势, 处理 1、处理 2、处理 3 的峰值, 舟山新木姜子在第 14 天、第 28 天、第 21 天, 分别为 1.17、1.00、0.84 mg/g, 滨柃在第 21 天、第 28 天、第 14 天, 分别为 1.53、1.42、1.95 mg/g, 厚叶石斑木在第 14 天、第 28 天、第 21 天, 分别为 1.41、1.46、1.48 mg/g, 柯、红楠在第 14 天、第 21 天、第 14 天, 分别为 1.94、2.06、1.93 mg/g 和 0.78、0.87、0.71 mg/g, 较其他树种趋前; 普陀樟峰值出现时间在集中在第 21 天, 分别为 0.99、1.14、1.05 mg/g; 全缘冬青呈现逐渐提前的趋势, 各处理的峰值分别出现在第 35 天、第 21 天、第 14 天, 分别为 1.99、1.85、1.64 mg/g。表明峰值出现时间与胁迫程度呈正相关, 并且因树种而异。

舟山新木姜子、柯、红楠的叶绿素含量的低值一般出现在胁迫后期 (第 35 天), 表明叶绿素含量在持续下降; 处理 1 和处理 2 普陀樟、滨柃、全缘冬青和厚叶石斑木的低值出现的前期和中期 (第 21 天之前), 叶绿素含量在中、后期有所恢复说明植物对盐雾环境已具有一定的适应性。

胁迫最后一天, 厚叶石斑木各处理叶绿素含量分别为 1.28、1.38、1.28 mg/g, 较对照分别上升 10.34%、18.97%和 10.34%, 舟山新木姜子分别为 0.71、0.72、0.77 mg/g, 较对照分别上升 0%、1.41%、8.45%; 柯、红楠各处理均明显低于对照, 分别为 1.65、1.39、1.48 mg/g 和 0.57、0.65、0.57 mg/g, 下降分别 5.71%、20.57%、15.43%和 19.72%、8.45%、19.72%; 随着胁迫程度加深, 全缘冬青叶绿素含量下降明显, 处理 2、处理 3 较对照明显下降 25.73%、24.56%, 而处理 3 普陀樟、滨柃反而有所上升, 分别上升 15.66%、10.00%。

2.3 盐雾胁迫对 7 种树种相对电导率的影响

盐雾胁迫对不同树种相对电导率的影响各不相同 (图 3)。

图 3 表明, 普陀樟、舟山新木姜子、滨柃、柯、红楠的相对电导率最大值一般均出现在胁迫最后一天 (第 35 天), 表明随着胁迫时间的持续, 质膜系统受损害的程度就越大, 而且增加幅度较大。5 树种各处理的相对电导率值分别为 35.95%、42.94%、41.11%, 43.81%、40.64%、43.94%, 49.68%、59.52%、51.44%, 58.70%、72.61%、67.02%, 49.22%、46.01%、44.63%, 较对照分别增加 36.48%、63.02%、56.07%, 45.69%、35.15%、

46.13%、43.92%、72.42%、49.02%、64.70%、103.73%、88.05%和 41.40%、32.17%、28.21%，其中柯被破坏程度最严重。

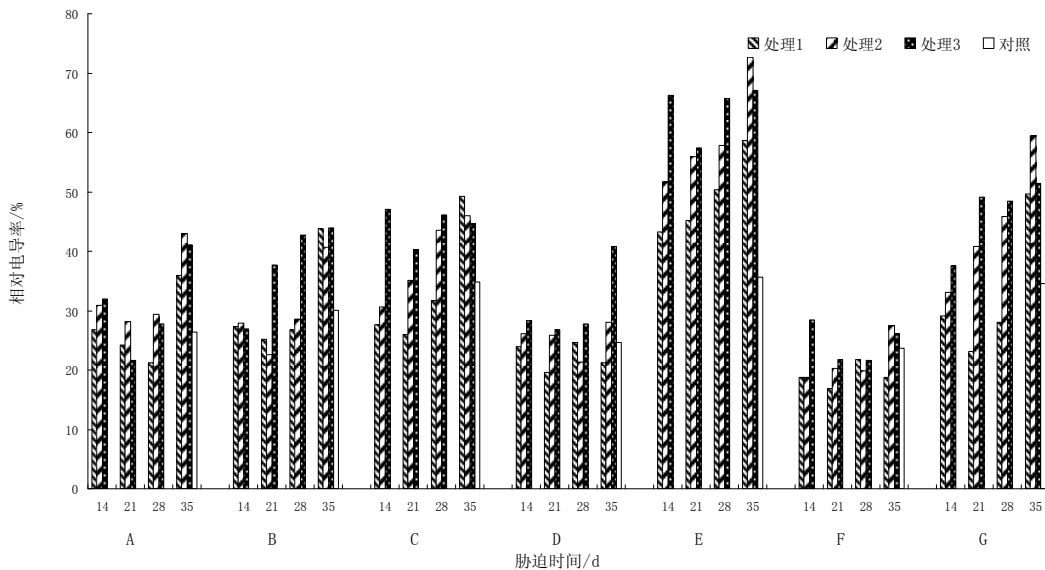


图 3 盐雾胁迫对 7 种树种相对电导率的影响

Figure 3 Effect of salt-mist stress on relative electrical conductivity in leaves of different treated seedlings

全缘冬青相对电导率最大值也出现在后期，处理 1 的最大值出现在第 28 天，处理 2、处理 3 均出现在第 35 天，分别为 24.59%、28.02%、40.78%，较对照分别增加 0%、13.90%、65.77%，其受损程度随着胁迫程度加深而加重。厚叶石斑木的相对电导率最大值分别出现在第 28 天、第 35 天、第 14 天，表明质膜系统受损害程度未进一步恶化，而且增加的幅度也较小，各处理的最大相对电导率值分别为 21.72%、27.52%、28.45%，较对照分别增加和-0.08%、16.02%、19.94%。

随着胁迫时间的增加，舟山新木姜子、滨柃、全缘冬青的相对电导率值随之增大，表明受到损害的程度递增。但随着胁迫程度的加深，普陀樟第 14 天、厚叶石斑木第 21 天、柯和红楠第 28 天之前相对电导率值逐渐增大，而在随后的胁迫过程中存在不规则性，可能表明质膜系统受损害程度的紊乱性。

2.4 对盐雾胁迫下 7 个树种脯氨酸含量变化的评价

根据 7 个树种在胁迫期间和停止胁迫后的形态变化、生长状况，以及存活率等特征，倾向于脯氨酸在细胞内大量积累可能是由于细胞结构遭受损伤所致，也是胁迫对植物生理伤害的结果，而且大量积累且达到峰值时间越早表明伤害越早，表现出与抗性负相关的响应速率。因此评定不同树种的耐盐雾性不能通过脯氨酸含量的增幅来衡量，如处理 2 和处理 3 柯最终存活率几乎都为零，但胁迫期间脯氨酸含量峰值高达 747.8、663.34 $\mu\text{g/g}$ ，与对照相比累积幅度均大于 10 倍，为试验树种中最大。应综合脯氨酸含量在各处理间和时间上的变化规律，来确定与耐盐雾能力的关联。通过分析，提取各处理间脯氨酸含量最大累积幅度（最大值/对照）、峰值或大幅上升时间（舟山新木姜子、柯是对照的 4 倍以上）和波动幅度（最大值/最小值）3 个因子评价，并对各因子进行量化，划分 4、3、2、1 共 4 个等级，每个评价因子确定相应的评分标准（见表 1），能比较客观地反映出不同树种的脯氨酸含量变化与耐盐雾性的关系。根据评分标准，对 7 个树种脯氨酸含量积累和变化测定值赋分（表 2），最终综合 3 个处理后，依照分值大小确定耐盐雾性强弱次序为：厚叶石斑木 > 全缘冬青 > 普陀樟 > 滨柃 > 红楠 > 舟山新木姜子 > 柯。

表 1 脯氨酸含量积累和变化的评分标准
Table 1 Grading of free proline content and change

| 评价因子 | 评分等级 | | | |
|-------------|------|---------|---------|------|
| | 4 | 3 | 2 | 1 |
| 最大累积幅度/倍 | ≤3 | >3、≤6 | >6、≤9 | >9 |
| 峰值或大幅上升时间/d | 35 | 28 | 21 | 14 |
| 波动幅度/倍 | ≤2.5 | >2.5、≤5 | >5、≤7.5 | >7.5 |

表 2 7 个树种脯氨酸含量积累和变化的测定值及综合得分
Table 2 Free praline accumulation and changes in leaves of different treated seedlings and their grades

| 指标 | 处理 | 普陀樟 | 舟山新木姜子 | 红楠 | 全缘冬青 | 柯 | 厚叶石斑木 | 滨柃 |
|-------------|----|----------|----------|----------|----------|-----------|----------|----------|
| 最大累积幅度/倍 | 1 | 1.08 (4) | 8.22 (2) | 2.91 (4) | 1.70 (4) | 6.18 (2) | 1.32 (4) | 2.61 (4) |
| | 2 | 2.63 (4) | 8.64 (2) | 3.59 (3) | 1.49 (4) | 14.24 (1) | 1.56 (4) | 1.91 (4) |
| | 3 | 1.29 (4) | 8.52 (2) | 2.09 (4) | 1.34 (4) | 12.63 (1) | 2.05 (4) | 1.80 (4) |
| 峰值或大幅上升时间/d | 1 | 28 (3) | 28 (3) | 21 (2) | 35 (4) | 21 (2) | 28 (3) | 28 (3) |
| | 2 | 28 (3) | 14 (1) | 21 (2) | 21 (2) | 14 (1) | 28 (3) | 21 (2) |
| | 3 | 21 (2) | 14 (1) | 14 (1) | 28 (3) | 14 (1) | 28 (3) | 21 (2) |
| 波动幅度/倍 | 1 | 2.30 (4) | 6.77 (2) | 5.42 (2) | 1.62 (4) | 6.87 (2) | 1.88 (4) | 2.86 (3) |
| | 2 | 3.87 (3) | 9.50 (1) | 8.22 (1) | 1.50 (4) | 2.13 (4) | 2.11 (4) | 1.76 (4) |
| | 3 | 1.59 (4) | 3.20 (3) | 1.95 (4) | 1.95 (4) | 3.13 (3) | 2.19 (4) | 1.49 (4) |
| 综合得分均值 | | 10.33 | 5.67 | 7.67 | 11.00 | 5.67 | 11.00 | 10.00 |

注: 括号内为综合得分值。

3 结论与讨论

植物细胞的渗透调节作用是植物适应环境、增强抗逆性的基础, 多数植物具有通过渗透调节物质调节细胞内渗透压的功能, 脯氨酸是一种重要的渗透调节物质。大量研究表明, 在干旱、盐渍、涝渍等环境胁迫下, 脯氨酸会大量积累, 一般情况下, 随着胁迫加深而逐渐增加。脯氨酸含量的增加增强了叶片细胞中渗透调节能力, 从而起到了抗脱水和抗盐碱的作用, 其含量越高, 植物体的抗逆能力越强^[1], 但也有认为脯氨酸的积累是胁迫对植物伤害的结果^[12], 在干旱胁迫中, 脯氨酸的积累能缓解干旱带来的伤害, 但这种缓解能力有限, 在脯氨酸含量达到峰值后都呈下降趋势^[13]。同样脯氨酸与盐胁迫之间的关系一直存在争议, 有人认为脯氨酸积累在植物细胞适应盐胁迫中起到了重要作用, 可提高植物的抗盐性, 多少可作为植物抗性适应性的指标^[14-15], 也有实验报道, 脯氨酸积累与耐盐程度成负相关^[16-17], 因而认为脯氨酸积累可能是植物受到盐害的结果^[18], 或者说植物通过增加脯氨酸含量来缓解逆境带来的伤害, 但这种能力是有限的, 在其积累到一定量后呈下降趋势, 因此从脯氨酸在逆境条件下的累积途径来看, 它既可能有适应性的意义, 又可能是细胞结构受损伤的表现^[15], 或是为了对抗盐胁迫而采取的一种保护性措施^[19-20]。本研究中红楠、普陀樟、滨柃、舟山新木姜子、柯均表现出脯氨酸积累到一定量后呈下降趋势, 而且随着胁迫时间的持续, 峰值出现时间随着胁迫程度的加深有所提前, 或者脯氨酸含量大幅上升的时间随着胁迫程度加深而提前, 这一特征与植株外部形态受损程度关联极为密切, 说明盐雾胁迫超过一定的阈值后便会对植物造成伤害, 变幅越大抗盐雾能力越低, 同时表明植物受伤害的时间随着胁迫程度加深而提前, 随后因适应胁迫能力下降、盐害症状呈现的时间也相应提前。而全缘冬青、厚叶石斑木随着胁迫时间的持续, 脯氨酸含量的变化相对稳定, 基本上也未因胁迫程度加深而明显累积, 仅厚叶石斑木在中后期反应相对明显, 说明在一定的胁迫程度内, 这 2 种树种可以通过自身的调节来适应盐雾胁迫。

叶绿素是植物光合色素中最重要的一类色素, 其含量随多种逆境的胁迫强度而变化, 直接关系到植物光合同化过程, 影响植物同化产物的积累^[2]。叶绿素含量大小并不能直接反映植物耐盐性的大小, 但能表示植物在盐渍条件下光合作用的强弱, 可与其它指标综合分析, 作为植物抗盐性判断的参考指标^[21]。逆境胁迫一般可能破坏植物叶绿体结构, 导致叶绿素含量下降, 植株光合能力减弱^[22-23], 从而阻碍植物干物质的积累, 但叶绿素含量也常见较对照提高的现象, 研究认为盐胁迫使植物叶片中叶绿素含量下降, 可能是由于叶绿素酶活性增强, 促进叶绿素分解或者由于在盐胁迫下, 植物叶片细胞中叶绿素与叶绿体蛋白间结合变得松弛, 使更多的叶绿素遭到破坏^[24], 而在低盐浓度胁迫下叶绿素含量上升可能是为了降低盐胁迫带来的生理紊乱^[25], 或因低钠盐增加植物体内叶绿素含量^[26]。本研究过程中, 各树种叶绿素含量有提高的现象, 其峰值一般出现在前中期, 表明轻

度或短时间盐雾胁迫促进离子的交换吸收,提高水分利用效率,有利于叶绿素合成;但随着胁迫时间的持续,植株表现出不同的危害症状,其叶绿素含量的变化因树种的不同相差甚远,如厚叶石斑木含量上升明显,舟山新木姜子上升不明显,柯、红楠却下降,其他树种随着胁迫程度加深或有上升、或有下降,表现出不同树种适应盐雾逆境能力的差异。叶绿素含量上升以厚叶石斑木最具代表性,且直接促进了后期生物量的积累。

相对电导率是反映植物膜系统状况的一个重要的生理生化指标,植物在逆境或受到其他损伤的情况下细胞膜容易破裂,膜蛋白受伤害因而使胞质的胞液外渗而使相对电导率增大,其值越高,质膜系统受损害的程度就越大。抗性强的树种细胞膜不易被破坏、透性小,抗性差的树种细胞膜易被破坏,且破坏严重、透性增大。质膜透性是研究供试树种耐盐碱性的理想指标之一^[5,27]。本研究显示随着胁迫时间的持续或胁迫程度的加深,大多数树种的质膜系统受损害的程度基本上随之增大,相对电导率的增幅均在 30%以上,最大值均出现在胁迫最后一天,说明损害在持续发展,全缘冬青和厚叶石斑木相对电导率的增幅较小,且最大值未出现在胁迫最后一天,表明质膜系统受损害程度未进一步恶化,表现出对盐雾的忍耐能力。

盐雾胁迫下不同树种脯氨酸含量、叶绿素含量、相对电导率等生理指标的变化与树种耐盐雾性有着重要关联,如叶绿素含量的变化可评判不同树种的光合作用的强弱,相对电导率的大小表明细胞膜被破坏的程度,特别是胁迫过程中脯氨酸含量的变化规律作为评价海岛树种的耐盐雾性具有较大的可靠性,与此同时结合存活率、苗高生长量、地径生长量、生物量等生长指标,可以综合判断不同树种的耐盐雾性强弱。

参考文献:

- [1] 孙海菁,王树凤,陈益泰. 盐胁迫对 6 个树种的生长及生理指标的影响[J]. 林业科学研究, 2009, 22 (3): 315-324.
- [2] 杨升,张华新,张丽. 植物耐盐生理生化指标及耐盐植物筛选综述[J]. 西北林学院学报, 2010, 25 (3): 59-65.
- [3] 杨升,刘正祥,张华新,等. 3 个树种苗期耐盐性综合评价及指标筛选[J]. 林业科学, 2013, 49 (1): 91-98.
- [4] 张露婷,吴江,梅丽,等. 喜树种源耐盐能力评价及耐盐指标筛选[J]. 林业科学, 2011, 47 (11): 66-72.
- [5] 张华新,宋丹,刘正祥. 盐胁迫下 11 个树种生理特性及其耐盐性研究[J]. 林业科学研究, 2008, 21 (2): 168-175.
- [6] Draaijers G P J, Van Ek R, Bleuten W. Atmospheric deposition in complex forest landscapes[J]. Boundary-Layer Meteorology, 1994, 69 (4): 343-366.
- [7] 薄井五郎. 海风环境下における天然生树木の生態と砂防的应用[J]. 北海道試験場研究报告, 1990 (28): 16-19.
- [8] 张忠辉,林士杰,吕忠明,等. 树木耐盐碱性研究进展[J]. 中国农学通报, 2011, 27 (28): 9-14.
- [9] 陈顺伟,高智慧,岳春雷,等. 杜英等树种对盐雾胁迫的反应及其生理特性研究[J]. 浙江大学学报: 农业与生命科学版, 2001, 27 (4): 398-402.
- [10] 陈顺伟,高智慧,岳春雷,等. 盐雾胁迫下杜英等树种生理特性的变化[J]. 南京林业大学学报: 自然科学版, 2003, 27 (5): 11-14.
- [11] 刘祖祺. 植物抗性生理学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1993.
- [12] 吕芝香,王正刚. 盐胁迫下小麦苗叶片吡咯-5-羧酸还原酶活性和游离脯氨酸积累[J]. 植物生理学报, 1993, 19 (2): 111-116.
- [13] 黄承玲,陈训,高贵龙. 3 种高山杜鹃对持续干旱的生理响应及抗旱性评价[J]. 林业科学, 2011, 47 (6): 48-55.
- [14] Blum A, Ebercon A. Genotypic responses in sorghum to drought stress. III. Free proline accumulation and drought resistance[J]. Crop Sci, 1976, 16 (3): 428-431.
- [15] Singh T N, Aspinall D, Paleg L G. Proline accumulation and varietal adaptability to drought in barley: a potential metabolic measure of drought resistance[J]. Nature: New biology, 1972 (236): 188-190.
- [16] Haro R, Baneulos M A, Quintero F J, et al. Genetic basis of sodium exclusion and sodium tolerance in yeast. A model for plants [J]. Plant, 2006, 89 (4): 868-874.
- [17] Petrusa L M, Winicov I. Proline status in salt tolerant and salt sensitive alfalfa cell lines and plants in response to NaCl [J]. Plant Physiol Biochem, 1997, 35 (4): 303-310.
- [18] Soussi M, Ocana A, Lluch C. Effects of salt stress on growth, photosynthesis and nitrogen fixation in chick-pea (*Cicer arietinum* L.) [J]. J Exp Bot, 1998, 49 (325): 1329-1337.
- [19] Sanada Y, Ueda H, Kuribayashi K, et al. Novel light-dark change of proline levels in halophyte (*Mesembryanthemum crystallinum* L.) and glycophytes (*Hordeum vulgare* L. and *Triticum aestivum* L.) leaves and roots under salt stress [J]. Plant Cell Physiol, 1995, 36 (6): 965-970.
- [20] Santa-Cruz A, Acosta M, Rus A, et al. Short-term salt tolerance mechanisms in differentially salt tolerant tomato species [J]. Plant Physiol

Biochem, 1999, 37 (1) : 65 – 71.

- [21] 郭艳茹, 詹亚光. 植物耐盐性生理生化指标的综合评价[J]. 黑龙江农业科学, 2006, (1) : 66 – 70.
- [22] 杨帆, 丁菲, 杜天真. 土壤盐胁迫对构树幼苗生理特性的影响[J]. 江西农业大学学报, 2008, 30 (4) : 684 – 688.
- [23] 王臣, 虞木奎, 王宗星, 等. 9 个楸树无性系对盐胁迫的差异响应[J]. 南京林业大学学报 (自然科学版), 2011, 35 (2) : 20 – 24.
- [24] 夏阳, 孙明高, 李国雷, 等. 盐胁迫对四园林绿化树种叶片中叶绿素含量动态变化的影响[J]. 山东农业大学学报: 自然科学版, 2005, 36 (1) : 30 – 34.
- [25] 董晓霞, 赵树慧, 孔令安. 苇状羊茅盐胁迫下生理效应的研究[J]. 草业科学, 1998, 15 (5) : 10 – 13.
- [26] 王利军, 马履一, 王爽, 等. 水盐胁迫对沙枣幼苗叶绿素荧光参数和色素含量的影响[J]. 西北农业学报, 2010 (12) : 122 – 127.
- [27] 杨传平, 焦喜才, 刘文祥等. 树木的细胞膜透性与抗盐性[J]. 东北林业大学学报, 1997, 25 (1) : 1 – 3.