

海水胁迫下 2 种观赏植物的生长与生理特性比较

申亚梅¹, 童再康², 马 进¹, 吕健全³, 韩 潇⁴, 巴 蕾¹, 房亮亮¹

(1. 浙江林学院 园林学院, 浙江 临安 311300; 2. 浙江林学院 林业与生物技术学院, 浙江 临安 311300; 3. 浙江林学院 理学院, 浙江 临安 311300; 4. 北京林业大学 生物科学与技术学院, 北京 100083)

摘要: 采用水培的方式, 用 1/2 Hoagland's 营养液培养红叶石楠红罗宾 *Photinia glabra* × *P. fraseri* 'Red Robin' 与金边黄杨 *Euonymus japonica* 'Aureo-marيناتus' 幼苗稳定后进行处理, 设海水体积分数为 0(对照), 10%, 30%, 50%, 70% 和 100% 等 6 个处理。随后分别在第 3, 6, 9, 12 和 15 d 采样进行分析, 研究不同体积分数海水处理下 2 个观赏树种 1 年生幼苗形态、保护性酶活性及离子吸收分布的影响情况。结果表明: ① 红叶石楠在海水体积分数高于 30% (pH 8.92) 时与金边黄杨低于 50% (pH 9.12) 时, 两者形态均发生变化。② 随着海水体积分数的增加, 胁迫时间的延长, 红叶石楠与金边黄杨叶片内的超氧化物歧化酶(SOD)呈增加趋势, 且前者叶片中丙二醛(MDA)质量摩尔浓度呈上升趋势, 后者呈现下降趋势。③ 随着海水体积分数的增加, 红叶石楠与金边黄杨叶片内钠离子(Na⁺)质量浓度均增加, 并且前者的涨幅低于后者, 此外两者叶片中钾(K⁺)、钙(Ca²⁺)、镁(Mg²⁺)离子质量浓度均出现无规律变化, 且值低于对照。经过比较得出, 在海水的胁迫下, 红叶石楠的耐盐性低于金边黄杨, 并且两者均能适应 pH 8.50 以上的环境, 均属于碱土植物。图 1 表 6 参 24

关键词: 植物学; 海水胁迫; 红叶石楠红罗宾; 金边黄杨; 生理特性

中图分类号: S718.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-5692(2009)04-0490-08

Seawater stress on vegetative and physiological characteristics of *Photinia glabra* × *P. fraseri* 'Red Robin' and *Euonymus japonica* 'Aureo-marيناتus' cuttings

SHEN Ya-mei¹, TONG Zai-kang², MA Jin¹, LÜ Jian-quan³, HAN Xiao⁴, BA Lei¹,
FANG Liang-liang¹

(1. School of Landscape Architecture, Zhejiang Forestry College, Lin'an 311300, Zhejiang, China; 2. School of Forestry and Biotechnology, Zhejiang Forestry College, Lin'an 311300, Zhejiang, China; 3. School of Sciences, Zhejiang Forestry College, Lin'an 311300, Zhejiang, China; 4. College of Biological Sciences and Biotechnology, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

Abstract: To study the effects of seawater concentration on growth, osmotic accumulation of antioxidant enzymes, and ion distribution with *Photinia glabra* × *Photinia fraseri* 'Red Robin' and *Euonymus japonica* 'Aureo-marginatus' seedlings, pot experiments were conducted. A randomized complete block design with six treatments consisting of 0% (a control), 10%, 30%, 50%, 70%, and 100% seawater and three replicates was used. Plants were harvested 3, 6, 9, 12, and 15 d after treatment and analyzed with ANOVA and multiple comparison for mean separation. Results showed that 1) when seawater concentration was 30% (pH 8.92) for 'Red Robin' and 50% (pH 9.12) for 'Aureo-marginatus', the configuration changed. Also, 2) compared with control plants, superoxide dismutase (SOD) activity was significantly greater ($P < 0.05$) in leaves of seawater-stressed 'Aureo-marginatus', and increased with increasing seawater concen-

收稿日期: 2008-09-05; 修回日期: 2008-10-21

基金项目: 浙江省科技厅长三角联合攻关项目(2005E60013)

作者简介: 申亚梅, 讲师, 博士研究生, 从事园林植物等方面的教学与研究。E-mail: sssyyymm@126.com

trations. Malondialdehyde (MDA) content in leaves of ‘Red Robin’ increased ($P < 0.01$) with increasing seawater concentrations but with ‘Aureo-marginatus’ MDA decreased ($P < 0.01$). Finally, 3) with increasing seawater concentration, Na^+ concentrations of the two cultivars increased; K^+ , Ca^{2+} and Mg^{2+} concentrations showed no pattern, but all concentrations were lower than the control. Thus, the present study strongly suggested that the salt resistance of ‘Red Robin’ was lower than ‘Aureo-marginatus’; however, because both were alkali-soil plants, they could adapt to appropriate concentrations of seawater irrigation. [Ch, 1 fig. 6 tab. 24 ref.]

Key words: botany; seawater stress; *Photinia glabra* × *P. fraseri* ‘Red Robin’; *Euonymus japonica* ‘Aureo-marginatus’; physiological characteristics

盐碱土是地球陆地上分布广泛的一种土壤类型, 约占陆地总面积的 25%。盐碱土不仅在世界上是重要的土地资源, 且在中国也占据较大的比例。因此, 研究逆境胁迫对植物的影响以及植物的反应, 寻找并利用各种方法来提高植物的抗逆性显得尤为重要^[1]。城市土壤盐碱度相对较高, 植物生长条件较差, 这使得在选用园林植物时, 就得有针对性地考虑抗性较强的植物品种。红叶石楠红罗宾 *Photinia glabra* × *P. fraseri* ‘Red Robin’ 与金边黄杨 *Euonymus japonica* ‘Aureo-marinated’ 是 2 个新优彩叶植物品种, 具有常绿、生长旺盛和耐修剪等特征, 并常以孤植、绿篱、花坛植物和植物造型等形式广泛应用于城市绿化中。在农作物^[2-5]、造林树种^[6]、果树^[7]及部分观赏植物^[8-10]等方面均有耐盐性相关报道, 而对红叶石楠红罗宾和金边黄杨在盐碱地区的推广研究尚未见报道。本项研究选用不同体积分数的海水处理红叶石楠红罗宾与金边黄杨, 通过测定其酶活性与相关盐离子质量浓度, 探讨这 2 个彩叶观赏品种的耐盐性, 为它们在盐碱地应用和耐盐种质筛选以及耐盐性遗传研究提供科学依据。

1 材料与方 法

1.1 试验材料

试验材料为浙江林学院苗圃地的 1 年生红叶石楠红罗宾与金边黄杨扦插苗。红叶石楠红罗宾苗高 24 ~ 28 cm, 叶片 15 ~ 20 片; 金边黄杨苗高 40 ~ 45 cm, 叶片 42 ~ 50 片。

所用试剂均是国产分析纯。Heraeus Biofuge primo 离心机, 7AO-0064 分光光度计, FAAS6650 原子吸收分光光度计。

1.2 处理方法

利用 1/2 Hoagland’s 营养液将实验苗提前处理 30 d, 待性状稳定后, 分别采用不同体积分数的海水溶液对 2 个参试品种苗进行水培处理。海水体积分数设为 10%, 30%, 50%, 70% 和 100% 共 5 个水平(盐离子质量浓度与酸碱度见表 1), 以自来水为对照(ck), 每个处理 9 株样苗, 每处理 3 次重复。溶液高度保持 40 mm, 适时加入自来水与相关体积分数的海水溶液, 以保持水位, 同时定期补氧, 以确保植物生长所需的氧气。每隔 3 d 观测植株地上部分主干生长、枝叶萌发能力、生长状况以及叶色的变化, 并进行相关指标的测定。

1.3 测定指标与方法

定期、定时、定位测定枝叶萌发能力及叶变化, 同时测定叶片超氧化物歧化酶(SOD)活性、丙二醛(MDA)指标^[11], 利用火焰原子吸收法测定叶片中钠(Na^+)和钾(K^+)离子质量浓度^[12]。

所有实验数据经 DPS 软件进行平均值估计、方差分析及多重比较。

表 1 海水的含盐量与 pH 值

Table 1 Salt contents and pH values of seawater in five levels

海水体积 分数/%	含盐量/(mg·L ⁻¹)				pH
	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	
10	412	10.04	16.92	42.17	7.05
30	1 236	30.12	50.76	126.51	8.92
50	2 060	50.20	84.59	210.85	9.12
70	2 884	70.28	118.44	305.19	9.32
100	4 120	100.40	169.17	421.70	9.79

2 结果与分析

2.1 海水胁迫对2种植物生长的影响

植物受盐胁迫时会引起细胞脱水,造成形态上的变化,这是判断植物耐盐性的最直观的表面症状^[13]。由表2可见,对红叶石楠红罗宾而言,用不同体积分数海水处理1~15 d中,10%和30%处理的植株生长与对照相比未见异常,而在50%体积分数处理时,在第6天植株叶片顶梢嫩叶出现萎蔫,第9天植株50%叶片出现萎蔫。在100%体积分数处理时,第6天植株50%叶片出现萎蔫,第9天植株全部萎蔫,未出现泌盐现象。金边黄杨在体积分数为10%和50%海水处理1~15 d之内,与对照相比植株未出现异常,而在体积分数为70%与100%时,植株基部叶片出现不同程度的枯黄并脱落。

能在pH 8.50以上环境下生长的植物,称之为碱土植物^[14]。红叶石楠红罗宾叶片能在体积分数为30%海水中生长正常,此时pH 8.92(表1);而金边黄杨能够在体积分数100%海水中生长15 d,此时pH 9.79(表1)。由此可见,从生长状况及形态上看,红叶石楠红罗宾与金边黄杨具有较强耐盐碱能力,并且后者的耐盐碱性强于前者。

表2 海水胁迫下2种植物的生长状况

Table 2 Effect of seawater stress on growth characteristics of 2 ornamental plants

植物	海水体积 分数/%	植株生长状况				
		3	6	9	12	15 d
红叶 石楠 红罗 宾	0(ck)	正常	正常	正常	正常	正常
	10	正常	正常	正常	正常	正常
	30	正常	正常	正常	顶梢极少量萎蔫	顶梢少量萎蔫
	50	正常	正常	少量顶梢萎蔫	嫩叶萎蔫	顶梢枯萎,成熟叶有斑点
	70	个别株顶梢萎蔫	嫩叶少量萎蔫	顶梢萎蔫	全株萎蔫	萎蔫,死亡
	100	顶梢萎蔫	顶梢与基部叶片萎蔫	死亡	死亡	死亡
金边 黄杨	0(ck)	正常	正常	正常	正常	正常
	10	正常	正常	正常	正常	正常
	50	正常	正常	正常	正常	正常
	70	基部少量叶片萎蔫	基部叶片萎蔫严重 但,顶梢生长正常	基部少量叶片萎蔫, 顶梢生长完好	基部部分叶片枯萎	植株基部叶片枯黄
100	基部少量叶片萎蔫	基部叶片萎蔫严重 但,顶梢生长正常	植株下半部叶片萎蔫	基部叶片枯萎,顶梢 生长完好	基部叶片枯萎,顶梢 生长完好	

2.2 海水胁迫下2种植物叶片SOD的变化

植物在逆境胁迫下,细胞中生物活性氧的积累是造成细胞伤害与细胞死亡的主要原因。而细胞中清除活性氧的保护酶系统的存在和活性增强,是使细胞免于损伤或抗性增强的主要原因之一。细胞内的保护酶系统主要包括过氧化物酶(POD),过氧化氢酶(CAT),超氧化物歧化酶(SOD)等^[15]。在正常情况下,SOD的活性会维持一个正常水平,在一定条件下,其活性增加的多少可以反应植物对逆境的耐受性大小^[16]。本研究中,在海水体积分数 $\leq 50\%$ 时,叶片中SOD的变化差异不显著(表3)。金边黄杨相对耐盐性更强,在10%~100%体积分数海水处理下,金边黄杨叶片的SOD活性总体都呈上升趋势,第15天与处理第3天相比,SOD活性依次上升92.3%,31.3%,57.1%,36.7%和90.9%;与对照相比,第6天时,各处理叶片中的SOD含活性均低于对照,到第15天时,10%海水胁迫下的SOD活性高于对照4.2%,其余均低于对照。利用DPS(Decision Point Software)软件对不同体积分数处理 \times 处

理时间的比较分析发现, 不同体积分数处理间与胁迫时间之间存在极显著差异, 红叶石楠红罗宾和金边黄杨 F 值分别为 2.750 179** ($P < 0.01$) 和 4.960 65** ($P < 0.01$)。

表 3 海水胁迫下红叶石楠红罗宾和金边黄杨叶片中超氧化物歧化酶活性变化

Table 3 Effect of seawater stress on SOD activity in leaves of 2 ornamental plants

植物	海水体积 分数/%	超氧化物歧化酶(SOD)活性/($\mu\text{kat}\cdot\text{g}^{-1}$)				
		3	6	9	12	15 d
红叶 石楠	0(ck)	7.23 ± 0.16 a	9.16 ± 0.64 a	9.16 ± 1.29 a	6.91 ± 0.16 a	12.69 ± 1.61 a
	10	8.68 ± 0.80 a	9.48 ± 0.96 a	9.48 ± 0.96 a	7.71 ± 0.32 a	10.28 ± 0.16 a
	30	9.00 ± 1.61 a	8.68 ± 1.29 a	8.68 ± 0.64 a	7.87 ± 0.48 a	9.00 ± 0.16 a
	50	9.00 ± 1.29 a	8.52 ± 1.12 a	8.52 ± 0.16 a	9.32 ± 0.32 a	10.28 ± 0.64 a
	100	4 016.75 ± 964.02 a	4.50 ± 0.48 a	4.50 ± 0.00 a	3.70 ± 0.32 a	3.86 ± 0.32 a
金边 黄杨	0(ck)	2 088.71 ± 160.07 b	3.37 ± 0.16 b	3.37 ± 1.29 b	3.05 ± 0.16 b	4.02 ± 1.77 b
	10	2 570.72 ± 642.68 bc	2.57 ± 0.48 bc	2.57 ± 0.32 bc	3.37 ± 0.00 bc	3.37 ± 0.00 bc
	30	2 249.38 ± 160.67 bc	2.09 ± 0.16 bc	2.09 ± 0.160 bc	3.21 ± 0.00 bc	3.53 ± 0.18 bc
	50	2 410.05 ± 642.68 bc	2.09 ± 0.00 bc	2.09 ± 0.32 bc	3.21 ± 0.29 bc	3.05 ± 0.00 bc
	70	1 767.37 ± 0.00 c	2.73 ± 0.00 c	2.73 ± 0.00 c	3.21 ± 0.00 c	3.37 ± 0.00 c

说明: 同列不同小写字母表示不同处理间在 0.05 水平上差异显著。

2.3 海水胁迫下 2 种植物丙二醛(MDA)质量摩尔浓度的变化

在逆境胁迫时, 细胞的代谢平衡被打破, 从而加速自由基的产生, 过剩自由基会加剧膜的过氧化, 膜的最终过氧化产物 MDA, 对细胞产生毒害, 从而引发膜系统受损, 因此, 在一定程度上 MDA 质量摩尔浓度的高低可以表示细胞膜脂过氧化的程度和植物对逆境条件反应的强弱, 常被用作鉴定植物抗性强弱的指标之一。红叶石楠红罗宾在体积分数为 50% 海水处理时与金边黄杨在体积分数为 100% 海水处理时, MDA 质量摩尔浓度与其余低浓度存在着显著差异(表 4), 且红叶石楠红罗宾在体积分数为 50% 海水处理下, 其 MDA 质量摩尔浓度随着胁迫时间的持续而增加, 增幅为 29.8%, 这表

表 4 海水胁迫下红叶石楠红罗宾与金边黄杨的丙二醛的变化

Table 4 Effect of seawater stress on MDA contents of 2 ornamental plants

植物	海水体积 分数/%	丙二醛(MDA)质量摩尔浓度/($\mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$)				
		3	6	9	12	15 d
红叶 石楠	0(ck)	1.74 ± 0.09 BC	2.55 ± 0.12 BC	1.42 ± 0.12 BC	1.95 ± 0.04 BC	1.26 ± 0.05 BC
	10	1.74 ± 0.17 C	1.76 ± 0.02 C	1.82 ± 0.16 C	1.56 ± 0.11 C	1.43 ± 0.02 C
	30	2.09 ± 0.60 A	2.47 ± 0.26 A	1.64 ± 0.11 A	1.62 ± 0.11 A	2.43 ± 0.34 A
	50	1.78 ± 0.09 AB	1.97 ± 0.25 AB	1.45 ± 0.17 AB	2.13 ± 0.21 AB	2.31 ± 0.20 AB
	100	0.91 ± 0.12 AB	1.06 ± 0.05 AB	0.78 ± 0.12 AB	0.72 ± 0.02 AB	0.82 ± 0.05 AB
金边 黄杨	0(ck)	0.72 ± 0.05 A	0.76 ± 0.00 A	0.81 ± 0.10 A	0.67 ± 0.10 A	0.73 ± 0.11 A
	10	0.80 ± 0.00 AB	0.86 ± 0.11 AB	0.85 ± 0.03 AB	0.70 ± 0.10 AB	0.58 ± 0.06 AB
	30	0.66 ± 0.10 AB	0.65 ± 0.03 AB	0.57 ± 0.17 AB	0.60 ± 0.02 AB	0.55 ± 0.09 AB
	50	0.70 ± 0.04 A	0.76 ± 0.14 A	0.86 ± 0.04 A	0.77 ± 0.03 A	0.55 ± 0.01 A
	70	0.55 ± 0.00 B	0.83 ± 0.04 B	0.81 ± 0.08 B	0.70 ± 0.04 B	0.50 ± 0.03 B

说明: 同列不同大写字母表示处理间存在显著性差异 ($P < 0.01$)。

明在 50%体积分数海水下红叶石楠红罗宾的细胞膜系统已遭到破坏；金边黄杨在 100%体积分数海水处理下，随着胁迫时间的延长其叶片内 MDA 质量摩尔浓度基本呈现先升后降的趋势，在胁迫第 6 天时叶片中 MDA 增加 50.9%，随后逐渐下降，到第 15 天时，叶片中 MDA 比第 6 天下降了 66.0%，比对照下降了 64.0%，这表明金边黄杨对海水有适应性，具有较高的耐盐能力。同时利用 DPS 软件对二者不同处理浓度和处理时间的双因子比较分析，得知不同质量浓度处理间与胁迫时间之间存在显著差异，其中红叶石楠红罗宾的 F 值为 0.410 379 ($P < 0.01$)，双因子之间存在极显著差异；金边黄杨 F 值为 2.081 31 ($P < 0.05$)，双因子之间存在显著差异。

2.4 海水胁迫下 2 种植物叶片中 Na^+ 、 K^+ 质量浓度的变化

Na^+ 和 Cl^- 在高浓度时是一种有害的离子，置换细胞膜上的 Ca^{2+} 等有益离子，导致细胞膜受到伤害，透性增加，电解质外渗，打破细胞的代谢平衡，由于植物对 Na^+ 和 Cl^- 的吸收通常是平行的，所以常以 Na^+ 的质量浓度变化来说明 Na^+ 和 Cl^- 共同对叶片造成的伤害。植物对 Na^+ 的累积速度反映植物的耐盐能力^[17-18]。表 5 和表 6 显示，海水处理下的红叶石楠红罗宾与金边黄杨叶片中 Na^+ 和 K^+ 质量浓度发生了较明显的变化，红叶石楠红罗宾与金边黄杨叶片中的 Na^+ 质量浓度随着胁迫时间的变化而增加，其中在体积分数为 50% 海水处理下红叶石楠红罗宾与体积分数为 100% 海水处理下的金边黄杨叶片中 Na^+ 质量浓度变化最快。前者在第 15 天时的 Na^+ 质量浓度比第 3 天增加了 3 倍多，比对照高出 1 倍多；后者在第 15 天时的 Na^+ 质量浓度比第 3 天高出 5 倍多，比对照高出近 8 倍。但是，二者叶片中 K^+ 质量浓度均低于对照值。

由图 1 显示，与对照相比，2 种观赏植物在不同体积分数海水处理下，叶片中 Na^+/K^+ 比值均呈上升趋势。其中，在体积分数为 50% 处理下，胁迫第 15 天时，红叶石楠红罗宾叶片中 Na^+/K^+ 比值高于对照 289.9%；体积分数为 100% 处理下，胁迫到第 9 天时，叶片中 Na^+/K^+ 比值高于对照 411.8%。金边黄杨叶片中 Na^+/K^+ 比值随胁迫时间延长与海水体积分数的增加均呈上升趋势，在体积分数为 100% 处理下，在第 3、6、9、12 和 15 天，叶片中 Na^+/K^+ 比值高于对照依次为 278.8%、528.0%、304.9%、1 700.0% 和 1 574.3%。

3 结论与讨论

大量研究证明^[19-20]，生物膜在植物逆境胁迫中起着重要作用。在逆境胁迫时，细胞的代谢平衡被打破，从而加速自由基的产生，过剩自由基会加剧膜的过氧化，膜的最终过氧化产物 MDA，对细胞产生毒害，从而引发膜系统受损，因此，在一定程度上 MDA 质量摩尔浓度的高低可以表示细胞膜脂过氧化程度和植物对逆境条件反应的强弱，常被用作鉴定植物抗性强弱的指标之一。有研究显示，

表 5 海水胁迫下红叶石楠红罗宾叶片中 Na^+ 、 K^+ 质量浓度的变化

Table 5 Effect of seawater stress in Na^+ 、 K^+ contents of *Photinia glabra* × *P. fraseri* 'Red Robin'

金属离子	海水体积分数/%	离子质量浓度/($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)				
		3	6	9	12	15 d
Na^+	0(ck)	890.7 ± 0.7 Cb	403.4 ± 1.1 ABb	404.6 ± 2.2 BCb	422.6 ± 0.3 Ab	360.0 ± 6.7 Ab
	10	62.7 ± 2.7 Cd	368.0 ± 8.0 ABd	158.8 ± 4.4 BCd	122.6 ± 0.0 Ad	149.2 ± 0.2 Ad
	30	96.4 ± 0.4 Ce	335.0 ± 1.0 ABc	449.1 ± 0.5 BCc	482.8 ± 2.8 Ac	490.0 ± 5.6 Ac
	50	218.2 ± 0.2 Ca	580.8 ± 0.4 ABa	739.6 ± 0.0 BCa	742.8 ± 0.8 Aa	811.2 ± 11.2 Aa
	100	2 272.7 ± 12.1 Ca	1 553.7 ± 3.5 Da	1 784.2 ± 2.2 Aa	1 789.3 ± 3.3 Ba	1 639.9 ± 10.1 Ca
K^+	0(ck)	660.1 ± 2.3 Ce	706.1 ± 5.1 Dc	840.3 ± 0.3 Ac	874.0 ± 43.0 Bc	799.8 ± 9.5 Cc
	10	645.5 ± 1.4 Cd	561.0 ± 31.0 Dd	1 023.5 ± 2.4 Ad	619.8 ± 65.0 Bd	793.7 ± 3 Cd
	30	645.8 ± 0.5 Cb	890.0 ± 1.7 Db	967.7 ± 11.5 Ab	1 042.5 ± 21.3 Bb	947.8 ± 1.8 Cb
	50					
	100					

说明：不同大写字母表示处理时间之间在 0.01 水平显著差异，不同小写字母表示不同处理体积分数之间在 0.01 水平显著差异。

表 6 海水胁迫下金边黄杨叶片中 Na⁺, K⁺质量浓度的变化

Table 6 Effect of seawater stress in Na⁺, K⁺ contents of *Euonymus japonica* 'Aureo-marinatus'

金属离子	海水体积分数/%	离子质量浓度/(μg·L ⁻¹)				
		3	6	9	12	15 d
Na ⁺	0(ck)	262.5 ± 20.0 Dd	480.6 ± 1.0 Cd	483.0 ± 2.0 Ad	344.2 ± 2.0 Bd	318.3 ± 0.3 Bd
	10	147.7 ± 2.0 De	0.0 ± 0.0 Ce	61.3 ± 1.3 Ae	228.3 ± 10.0 Be	269.6 ± 10.0 Be
	30	154.2 ± 1.9 Dd	342.4 ± 18.0 Cd	305.4 ± 3.0 Ad	482.1 ± 2.5 Bd	587.2 ± 0.3 Bd
	50	338.2 ± 20.0 Dc	615.1 ± 24.0 Cc	833.9 ± 0.9 Ac	981.8 ± 3.0 Bc	1 531.2 ± 31.2 Bc
	70	310.0 ± 15.0 Db	559.5 ± 3.0 Cb	5 654.6 ± 30.0 Ab	1 937.5 ± 11.0 Bb	2 387.6 ± 145.0 Bb
	100	468.3 ± 230.0 Da	902.3 ± 20.0 Ca	956.5 ± 22.0 Aa	3 608.9 ± 19.0 Ba	2 627.1 ± 10.0 Ba
K ⁺	0(ck)	1 770 ± 11.5 Ca	2 378.4 ± 41.2 Ba	1 911.4 ± 10.8 Ba	2 192.5 ± 6.5 Aa	2 192.5 ± 2.5 Aa
	10	903.1 ± 21.3 Cb	1 071.5 ± 31.1 Bb	1 179.6 ± 8.7 Bb	1 535.8 ± 10.3 Ab	1 306.2 ± 13.0 Ab
	30	969.7 ± 100.9 Cc	1 353.8 ± 2.8 Bc	866.1 ± 9.3 Bc	1 058.4 ± 7.4 Ac	995.0 ± 21.5 Ac
	50	983.3 ± 99.1 Cc	1 017.2 ± 6.9 Bc	984.0 ± 5.6 Bc	1 217.3 ± 3.2 Ac	1 302.3 ± 11.0 Ac
	70	775.5 ± 32.5 Cc	559.1 ± 7.1 Bc	1 010.6 ± 3.5 Bc	628.3 ± 6.3 Ae	1 264.6 ± 10.6 Ae
	100	833.6 ± 21.1 Cd	711.0 ± 12.4 Bd	935.2 ± 20.3 Bd	1 236.1 ± 5.2 Ad	1 080.6 ± 9.1 Ad

说明：不同大写字母表示处理时间之间在 0.01 水平显著差异，不同小写字母表示不同处理体积分数之间在 0.01 水平显著差异。

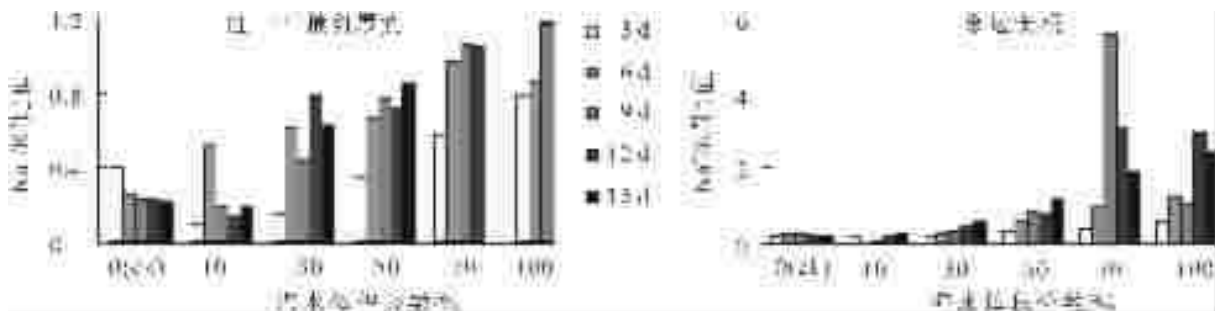


图 1 海水胁迫下红叶石楠红罗宾和金边黄杨叶片中 Na⁺/K⁺比值的变化

Figure 1 Effect of seawater stress in Na⁺/K⁺ of *Photinia glabra* × *P. fraseri* 'Red Robin' and *Euonymus japonica* 'Aureo-marinatus'

低盐胁迫或无盐胁迫时，盐生植物或耐盐植物维持着较高的 MDA 质量摩尔浓度，当盐胁迫增加时，MDA 质量摩尔浓度变幅较小，而盐敏感植物则相反^[21]，也有研究^[22]显示 MDA 随盐胁迫增加，未发生明显变化，甚至呈现上升趋势，因此，仅依靠 MDA 变化不能说明植物的耐盐性。SOD 对膜系统有保护作用，能催化超氧化物阴离子自由基的歧化反应，清除 O₂⁻，维持活性氧代谢的平衡，保护膜结构，SOD 活性与 MDA 质量摩尔浓度变化成负相关。本研究结果与之一致，说明在盐胁迫时，2 种观赏植物都具有较强的耐盐能力。结果进一步显示，金边黄杨的 MDA 累积量低于红叶石楠红罗宾的累积量，结合形态变化看，可以说明金边黄杨比红叶石楠红罗宾耐盐性强。

此外，在海水的处理下，随着海水体积分数的加大，2 种观赏植物的叶片吸收的 Na⁺质量浓度增加，而 K⁺, Ca²⁺和 Mg²⁺质量浓度不同程度下降。植物生长过程中，根吸收 Na⁺最多，其次是茎，最小为叶片。植物遭受毒害主要是根吸收 Na⁺过多，阻碍其他离子向上运输，这也可能是导致红叶石楠红罗宾的幼叶与嫩梢上出现萎蔫的原因。植物的耐盐性可能与具有某种 Cl⁻进入体内和向地上部运输的机制有关^[19]。金边黄杨在不同处理时，叶片中可能累积了大量的 Cl⁻，为了抵制 Cl⁻毒害，就利用老叶脱落向体外排出较多的 Cl⁻，这与汪良驹等^[23]等对落叶果树的耐盐性研究相一致。限制 Na⁺吸收及积累是植物耐盐性的一个重要机制，Na⁺质量浓度及 Na⁺与 K⁺平衡是评估植物盐害和耐盐性的重要方面^[24]。

许多研究表明, 植株地上部分器官 Na^+ 质量摩尔浓度低, K^+/Na^+ 值高则耐盐性强^[17]。但本实验中红叶石楠红罗宾与金边黄杨的 Na^+/K^+ 比值随着处理体积分数增加而增加, 并且随着体积分数增加与处理时间延长, 金边黄杨的 Na^+/K^+ 比值小于红叶石楠红罗宾, 这也说明金边黄杨的耐盐性高于红叶石楠红罗宾。

研究发现, 叶片中 Na^+ 和 K^+ 质量浓度, Na^+/K^+ 比值, SOD 活性和 MDA 质量摩尔浓度等生理指标都反映出 2 种观赏植物对盐胁迫环境有较强的适应能力, 且金边黄杨耐盐性高于红叶石楠红罗宾。海水体积分数大于 30%时, pH 均大于 8.5, 可见 2 种观赏植物还具有一定耐碱性。可为园林推广应用提供良好的种质资源。

参考文献:

- [1] 张川红, 沈应柏, 尹伟伦, 等. 盐胁迫对几种苗木生长及光合作用的影响[J]. 林业科学, 2002, **38** (2): 27 - 31.
ZHANG Chuanhong, SHEN Yingbo, YIN Weilun, *et al.* Effect of salt stress on photosynthesis and growth of four tree species seedlings [J]. *Sci Silv Sin*, 2002, **38** (2): 27 - 31.
- [2] 张美云, 钱吉, 钟扬, 等. 野生大豆若干耐盐生理指标的研究[J]. 复旦学报: 自然科学版, 2002, **41** (6): 669 - 673.
ZHANG Meiyun, QIAN Ji, ZHONG Yang, *et al.* Studies on some physiological characteristics of salt-tolerance in wild soybeans (*Glycine soja*) [J]. *J Fudan Univ Nat Sci*, 2002, **41** (6): 669 - 673.
- [3] 汤菊香, 卫秀英. 不同品种棉花发芽对小麦化感物质反应的研究[J]. 种子, 2006, **25** (11): 17 - 19.
TANG Juxiang, WEI Xiuying. Study of allelochemicals on different variety cotton seed germination [J]. *Seed*, 2006, **25**(11): 17 - 19.
- [4] 张古文, 朱月林, 杨立飞, 等. NaCl 胁迫对番茄嫁接苗根系多胺含量的影响[J]. 园艺学报, 2007, **34** (4): 1011 - 1014.
ZHANG Guwen, ZHU Yuelin, YANG Lifei, *et al.* Effects of NaCl stress on contents of polyamines in roots of grafted tomato seedlings [J]. *Acta Horti Sin*, 2007, **34** (4): 1011 - 1014.
- [5] 韦小敏, 何金环, 陈彦惠, 等. 玉米耐盐愈伤组织变异体的筛选及耐盐性分析[J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2007, **35** (9): 73 - 78.
WEI Xiaomin, HE Jinhuan, CHEN Yanhui, *et al.* Selection of salt-tolerant callus variants in maize and analysis on salt-tolerance [J]. *J Northwest Agric For Univ Nat Sci*, 2007, **35** (9): 73 - 78.
- [6] 陈少良, 李金克, 尹伟伦, 等. 盐胁迫条件下杨树组织及细胞中钾、钙、镁的变化[J]. 北京林业大学学报, 2002, **24** (5/6): 84 - 88.
CHEN Shaoliang, LI Jinke, YIN Weilun, *et al.* Tissue and cellular K^+ , Ca^{2+} and Mg^{2+} of poplar under saline salt stress conditions [J]. *J Beijing For Univ*, 2002, **24** (5/6): 84 - 88.
- [7] 方遼, 龚津平, 闫道良, 等. 耐盐果树滨梅微繁殖体系的建立[J]. 南京大学学报: 自然科学版, 2006, **45** (6): 490 - 498.
FANG Kui, GONG Jinping, YAN Daoliang, *et al.* The micropropagation establishment of *Prunus maritime* [J]. *J Nanjing Univ Nat Sci*, 2006, **45** (6): 490 - 498.
- [8] 黄有军, 夏国华, 郑炳松, 等. 芙蓉菊盐胁迫下的生长表现和生理响应[J]. 江西农业大学学报, 2007, **29** (3): 389 - 392, 408.
HUANG Youjun, XIA Guohua, ZHENG Bingsong, *et al.* Morphological changes and physiological responses of *Crossostephium chinense* to salt stress [J]. *Acta Agric Univ Jiangxi*, 2007, **29** (3): 389 - 392, 408.
- [9] 杨凤英, 吕德国, 秦嗣军. NaCl 和 NaHCO_3 处理对本溪山樱保护酶及相关指标的影响[J]. 沈阳农业大学学报, 2007, **38** (3): 287 - 290.
YANG Fengying, LÜ Deguo, QIN Sijun. Influence of NaCl and NaHCO_3 on activities of protective enzymes and related indices in *Cerasus sachalinensis* Kom [J]. *J Shenyang Agric Univ*, 2007, **38** (3): 287 - 290.
- [10] 裘丽珍, 黄有军, 黄坚钦, 等. 不同耐盐性植物在盐胁迫下的生长与生理特性比较研究[J]. 浙江大学学报: 农业与生命科学版, 2006, **32** (4): 420 - 427.
QIU Lizhen, HUANG Youjun, HUANG Jianqin, *et al.* Comparative study on vegetal and physiological characteristics of different salt-tolerant plants under salt stress [J]. *J Zhejiang Univ Agric & Life Sci*, 2006, **32** (4): 420 - 427.

- [11] 陈建勋, 王晓峰. 植物生理学[M]. 广州: 华南理工大学出版社, 2002: 33 - 34.
- [12] 阎军, 胡文祥. 分析样品制备[M]. 北京: 解放军出版社, 2003: 28.
- [13] 张术忠, 李悦, 姜国斌, 等. 刺槐家系耐盐性状的变异、相关分析及选择[J]. 北京林业大学学报, 2002, **24** (2): 12 - 17.
ZHANG Shuzhong, LI Yue, JIANG Guobin, *et al.* Studies on genetic variation, correlation and selection of salinity tolerance traits of *Robinia pseudoacacia* families [J]. *J Beijing For Univ*, 2002, **24** (2): 12 - 17.
- [14] 陈有民. 园林树木学[M]. 北京: 中国林业出版社, 1990: 65 - 66.
- [15] 金赞敏, 王长海, 刘兆普. 盐胁迫对芦荟几项生理生化指标的影响[J]. 食品与发酵工业, 2004, **30** (10): 1 - 4.
JIN Zanmin, WANG Changhai, LIU Zhaopu. Effect of salt stress on some physiology and biochemistry index of aloe[J]. *Food Ferment Ind*, 2004, **30** (10): 1 - 4.
- [16] 谢寅峰, 沈惠娟. 水分胁迫下 3 种针叶树幼苗抗旱性与硝酸还原酶和超氧化物歧化酶活性的关系[J]. 浙江林学院学报, 2000, **17** (1): 24 - 27.
XIE Yinfeng, SHEN Huijuan. Correlation of nitrate reductase and superoxide dismutase activities with drought resistance in seedlings of three conifer species under water stress [J]. *J Zhejiang For Coll*, 2000, **17** (1): 24 - 27.
- [17] 曹福亮. 中国南方主要造林树种耐盐耐旱机理研究[M]. 北京: 中国林业出版社, 1998: 18 - 25.
- [18] XIA Xinli, ZHOU Xiaoyang, YIN Weilun. Ion compartmentation of leaf cells of *Ginkgo biloba* and *Ailanthus altissima* under salt stress [J]. *For Stud China*, 1999, **1** (2): 1 - 10.
- [19] 张恩平, 张淑红, 司龙亭, 等. NaCl 胁迫对黄瓜幼苗子叶膜脂过氧化的影响[J]. 沈阳农业大学学报, 2001, **32**(6): 446 - 448.
ZHANG Enping, ZHANG Shuhong, SHI Longting, *et al.* Effects of NaCl stress on the membrane lipid peroxidation in cotyledon of cucumber seedlings [J]. *J Shenyang Agric Univ*, 2001, **32** (6): 446 - 448.
- [20] 陈贵, 胡文玉, 谢甫绋, 等. 提取植物体内 MDA 的溶剂及 MDA 作为衰老指标的探讨[J]. 植物生理学通讯, 1991, **27** (1): 44 - 46.
CHEN Gui, HU Wenyu, XIE Puti, *et al.* Solvent for extracting malondialdehyde in plant as an index of senescence [J]. *Plant Physiol Commun*, 1991, **27** (1): 44 - 46.
- [21] 王树凤, 陈益泰, 潘红伟, 等. 土壤盐胁迫下桉木 8 个无性系生理特性的变化[J]. 浙江林学院学报, 2006, **23**(1): 19 - 23.
WANG Shufeng, CHEN Yitai, PAN Hongwei, *et al.* Changes of physiological characteristics of eight *Alnus cremastogyne* clones under salt stress [J]. *J Zhejiang For Coll*, 2006, **23** (1): 19 - 23.
- [22] 吴永波, 薛建辉. 盐胁迫对 3 种白蜡树幼苗生长与光合作用的影响[J]. 南京林业大学学报: 自然科学版, 2002, **26** (3): 19 - 22.
WU Yongbo, XUE Jianhui. Impacts of salt stress on the growth and photosynthesis of three *Fraxinus* species [J]. *J Nanjing For Univ Nat Sci Ed*, 2002, **26** (3): 19 - 22.
- [23] 汪良驹, 马凯, 姜卫兵, 等. 5 种落叶果树的氯离子分布与耐盐性研究[J]. 中国南方果树, 1996, **25** (4): 34 - 38.
WANG Liangju, MA Kai, JIANG Weibing, *et al.* Study on chlorine ion distribution in the plant of 5 deciduous fruit trees and their salt tolerance [J]. *South China Fruits*, 1996, **25** (4): 34 - 38.
- [24] AMTMANN A, LAURIE S, LEIGH R, *et al.* Multiple inward channels provide flexibility in Na⁺/K⁺ discrimination at the plasma membrane of barley suspension culture cells [J]. *J Exp Bot*, 1997, **48**: 481 - 497.