

盐胁迫下树种幼苗生长及其耐盐性

张华新, 刘正祥, 刘秋芳

(中国林业科学研究院林业研究所, 国家林业局林木培育重点实验室, 北京 100091)

摘要:采用盆栽方法,以 11 个树种实生幼苗为材料,用不同浓度(0、3、5、8 g·kg⁻¹和 10 g·kg⁻¹) NaCl 溶液进行 1 次性浇灌处理,对盐胁迫下各树种的形态表现、生长及耐盐性进行了研究,结果表明:(1)当盐含量达到 8 g·kg⁻¹时,欧洲荚蒾、甜桦和光叶漆植株死亡,当含量增加到 10 g·kg⁻¹时,沃氏金链花植株死亡,其它各存活树种也均出现不同程度的盐害症状;(2)盐胁迫后,各树种的苗高生长量下降、生物量累积减少,且随着处理浓度的增加均呈下降趋势,其中榆桔、甜桦和光叶漆的降幅最大;(3)盐处理后,各树种的根冠比值增大,其中盐胁迫对光叶漆、银水牛果和沃氏金链花有显著影响($p < 0.05$);(4)综合分析各树种的生长和形态表现,认为日本丁香、银水牛果、三裂叶漆和豆梨具有高度耐盐性,沃氏金链花、金雀儿、鹰爪豆和榆桔具有中高度耐盐性,而欧洲荚蒾、甜桦和光叶漆具有中度耐盐性。

关键词:盐胁迫;树种幼苗;形态表现;生物量累积;耐盐性

文章编号:1000-0933(2009)05-2263-09 中图分类号:Q142, Q948, X171 文献标识码:A

Seedling growth and salt tolerance of tree species under NaCl stress

ZHANG Hua-Xin, LIU Zheng-Xiang, LIU Qiu-Fang

Key Laboratory of Tree Breeding and Cultivation, State Forestry Administration, Research Institute of Forestry, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China

Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(5): 2263 ~ 2271.

Abstract: The growth and morphological characteristics were investigated from seedlings of 11 tree species. The seedlings were cultivated in pots that were treated with sodium chloride (NaCl) solutions with concentrations of 0, 3, 5, 8 g·kg⁻¹ and 10 g·kg⁻¹ of soil dry weight. The seedlings of *Viburnum opulus*, *Betula lenta* and *Rhus glabra* were dead at the treatment level of 8 g·kg⁻¹ soil dry weight, and those of *Laburnum watereri* were dead at 10 g·kg⁻¹ soil dry weight, while other survivable seedlings were salt-damaged to different degrees. The height and biomass accumulation of salt-stressed seedlings decreased as the salt concentration increased, this was especially evident for the seedlings of *Ptelea trifoliata*, *Betula lenta* and *Rhus glabra*. Under the salt stress, the root/shoot dry weight ratio increased almost for all species, among which the ratios of *Rhus glabra*, *Shepherdia argentea*, and *Laburnum watereri* were significantly different from that of the controls ($p < 0.05$). Based on the analysis of growth and morphological appearance the results indicate that, *Syringa japonica*, *Shepherdia argentea*, *Rhus trilobata*, and *Pyrus calleryana* are highly salt-tolerant, while *Laburnum watereri*, *Cytisus scoparius*, and *Spartium junceum* are intermediately salt-tolerant, and *Viburnum opulus*, *Betula lenta*, and *Rhus glabra* are moderately salt-tolerant.

Key Words: salt stress; tree species seedlings; morphological characteristics; biomass accumulation; salt tolerance

土壤盐渍化是一个世界性的资源与生态问题,据目前的统计,全世界有各类盐渍土约 9.5×10^6 km²,我国盐渍土总面积约 7.5×10^5 km²,其中有滨海盐渍土 5×10^6 hm²^[1-3]。滨海盐渍土中富含可溶性盐分,1 m 土层

基金项目:国家“十一五”科技支撑计划资助项目(2006BAD03A0108);国家林业局科技推广资助项目(200603);天津市重大农业合作资助项目(200701)

收稿日期:2008-01-23; 修订日期:2008-05-06

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zhanghx@caf.ac.cn

的含盐量一般均在 $4 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 以上,高者可达 $20 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ [2]。目前,国内外在作物和牧草耐盐碱品种方面的研究居多,对树木耐盐性研究相对较少,我国主要集中在耐盐碱树种的筛选与评价、树木耐盐生理与机理及耐盐树木基因工程等方面 [4~12]。

我国沿海地区经济社会发达、城市化水平高、人口密度大,工厂企业密集,是带动我国经济社会快速发展的“火车头”,地位和作用十分重要 [13]。随着经济和社会的迅速发展,人口增长与耕地减少的矛盾日益突出,各类盐土资源,特别是我国海岸带盐土作为一种重要的土地后备资源,亟待开发、利用和保护。同时,滨海盐碱地区土壤条件苛刻,适宜造林的植物材料相当有限,这已经成为限制我国滨海盐碱地治理、沿海防护林营造和滨海生态系统建立的主要瓶颈 [1, 2]。由于不同树种耐盐能力差异较大,盐胁迫条件下的生长和形态表现也不尽相同。因此,培育和引种能适应高盐分环境的优良耐盐碱植物,通过生物措施改良滨海盐碱土,对改善我国滨海盐碱地生态系统,丰富盐碱地景观,增加树种多样性,提高土地生产力,无疑具有现实而深远的意义。本文以 11 个引进树种幼苗为材料,比较其不同浓度盐胁迫下的生长和形态差异,研究不同树种的耐盐碱能力,为耐盐树种选育提供理论依据,为沿海及内陆盐碱地治理和防护林建设提供技术支撑。

1 材料与方法

1.1 供试材料

2004 年 3~4 月引进国外较耐盐碱且部分在国内已有栽培的树种种子,基本概况见表 1,置于 $4 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 冰柜内贮藏备用。2005 年 3 月,将沙藏萌动的种子播种到营养钵中,试验在中国林业科学研究院科研温室内进行,5 月初进行幼苗定植,所用基质为腐殖土、草炭和珍珠岩按体积分数为 1:3:1 混合均匀的复合基质,且每个营养钵中基质质量相等,并用稀释 800 倍的多菌灵溶液进行消毒处理。

表 1 供试树种基本概况

Table 1 General situation of experimental tree species

序号 No. of sequence	树种 Tree species	种子来源 Seed source	分布地区 Original distribution region
1	鹰爪豆 <i>Spartium junceum</i> Linn.	美国 America	欧洲地中海地区,我国北方地区有栽培 Europe-Med region, and planted in north parts of China
2	沃氏金链花 <i>Laburnum watereri</i> Vossii.	美国 America	美国西北部 Northwest of America
3	三裂叶漆 <i>Rhus trilobata</i> Nutt.	美国 America	美国西北部 Northwest of America
4	甜桦 <i>Betula lenta</i> Linn.	法国 France	美国中、东北部,我国北方地区有栽培 Middle and northeast of America, and planted in north parts of China
5	榆桔 <i>Ptelea trifoliata</i> Linn.	法国 France	美洲(美国、加拿大) America (America and Canada)
6	豆梨 <i>Pyrus calleryana</i> Dene.	法国 France	朝鲜半岛、日本和中国 Korea peninsula, Japan and China
7	金雀儿 <i>Cytisus scoparius</i> Linn.	法国 France	欧洲中南部,我国黄河以南地区有栽培 Middle-south of Europe, and planted in south of Yellow River in China
8	光叶漆 <i>Rhus glabra</i> Linn.	法国 France	美国、加拿大,我国云南以北的大部分地区有栽培 America and Canada, and planted in most parts of north Yunnan Province in China
9	银水牛果 <i>Shepherdia argentea</i> Nutt.	法国 France	美国中北部 Middle-north part of America
10	日本丁香 <i>Syringa japonica</i> Dene.	法国 France	日本、朝鲜,我国大部分地区均有栽培 Japan and Korea, and planted in most parts of China
11	欧洲荚蒾 <i>Viburnum opulus</i> Linn.	法国 France	欧洲、非洲北部及亚洲北部,我国大部分地区有推广应用 Europe, north parts of Africa and Asia, and popularized and applied in most parts of China

1.2 盐胁迫处理

2005 年 7 月,对长势相对一致的 4 个月苗龄盆栽实生幼苗进行 1 次性盐溶液处理。试验采用完全随机区组设计,5 个处理,每个小区 7~10 株,4 次重复,分别用 $0, 3, 5, 8 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 $10 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 的 NaCl 溶液(是指每 1 kg 干土壤中含有的 NaCl 质量克数)处理。盐胁迫期间,花盆下垫塑料托盘,防止盐分流失,定期浇水,连续处理 35 d。

1.3 观测指标及方法

1.3.1 苗高生长量测定

盐胁迫前后分别调查幼苗的苗高 H_0 和 H_1 , 计算不同处理的苗高绝对生长量 $\Delta H = H_1 - H_0$, 并在试验过程中每 7 d 观察记录各树种幼苗的盐害症状。

1.3.2 生物量测定

试验结束时, 每个小区选取生长中等的幼苗 5 株(恰好 5 株的全选), 在 105 °C 下烘 15 min, 然后置于 80 °C 下烘干至恒重, 自然冷却后分别测定地上和地下部分干物质的质量, 取平均值, 用减质量法测得盐胁迫期间各树种的生物量累计值, 并计算根冠比值。

1.3 数据分析

采用统计分析软件 SAS 进行方差分析和 Excel 2003 进行处理, 用 Duncan 法进行多重比较, 并用字母法标记。

2 结果与分析

2.1 盐胁迫对供试树种生长状况的影响

随着盐胁迫浓度的增加, 供试幼苗的受害症状逐渐加深, 且在各树种间存在一定差异(表 2)。NaCl 含量为 $3 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时, 与对照相比, 日本丁香、银水牛果、三裂叶漆和金雀儿的生长状况无明显差异, 其它各树种均出现少量叶尖、叶缘变黄或植株轻度萎蔫, 甜桦有少量叶片脱落。盐含量达到 $5 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时, 日本丁香、银水牛果和三裂叶漆的生长状况与对照相比仍无明显差异; 欧洲荚蒾、甜桦和光叶漆的大部分叶片变黄、卷曲和脱落; 豆梨、榆桔和沃氏金链花的少量或部分叶片变黄、变小, 个别有脱落; 金雀儿和鹰爪豆有少量叶尖、叶缘变黄, 但无叶片脱落。在 $8 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ NaCl 处理条件下, 欧洲荚蒾、甜桦和光叶漆的植株由于忍受不了高盐分胁迫而出现死亡; 日本丁香、银水牛果和三裂叶漆有少量叶尖、叶缘开始变黄、卷曲, 叶片变小, 但无叶片脱落; 其它各树种仍能够存活, 但叶片变黄的程度加深、范围扩大, 落叶数量增加。当盐胁迫浓度达到 $10 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时, 沃氏金链花的植株也出现死亡, 仅有日本丁香、豆梨、银水牛果、三裂叶漆和金雀儿的植株能够存活, 但生长状况具有一定差异: 日本丁香、豆梨、银水牛果和三裂叶漆部分叶尖、叶缘变黄, 叶片卷曲, 个别或少量叶片脱落, 而金雀儿的大部分叶尖、叶缘变黄, 叶片卷曲, 且脱落较多。

2.2 盐胁迫对供试树种高生长的影响

盐胁迫对豆梨、日本丁香、欧洲荚蒾和沃氏金链花幼苗的高生长无显著影响, 对其它 7 个树种高生长的影响均达到显著水平, 见图 1。随着盐胁迫浓度的增加, 幼苗的高生长均呈下降趋势, 但降幅在不同树种间存在较大差异: 在 $3 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ NaCl 胁迫条件下, 榆桔和甜桦的高生长迅速减弱, 与对照相比, 分别下降了 63.0% 和 57.8%; 光叶漆、日本丁香和三裂叶漆的下降幅度为 27.3% ~ 37.0%; 银水牛果、欧洲荚蒾和沃氏金链花的降幅较小, 为 10.1% ~ 12.5%; 而此浓度处理对豆梨、鹰爪豆和金雀儿的高生长几乎没有影响, 降幅均小于 7.0%。当盐胁迫浓度增加到 $5 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时, 与对照相比, 榆桔和甜桦的高生长分别下降 84.9% 和 75.5%; 金雀儿的高生长显著放缓, 降幅由 $3 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 浓度时的 0 迅速增加到 63.4%, 光叶漆的高生长降幅也达到 63.0%; 其次是三裂叶漆、沃氏金链花和日本丁香, 降幅依次为 47.6%、37.5% 和 31.8%; 其它各树种高生长的下降幅度均相对较小, 介于 6.7% ~ 15.2%。当 NaCl 胁迫浓度达到 $8 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 $10 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时, 最后存活的 5 个树种中, 与对照相比, 金雀儿的高生长降幅最大, 为 76.4%, 三裂叶漆、银水牛果和日本丁香的降幅依次为 68.3%、62.7% 和 40.9%, 豆梨的降幅最小, 为 20%。

2.3 盐胁迫对供试树种生物量的影响

NaCl 胁迫对树种幼苗生物量的影响结果表明, 各树种生物量累积均随 NaCl 胁迫浓度的增加而减少, 但在不同树种之间存在较大差异, 见图 2。盐胁迫对榆桔、甜桦和光叶漆的生物量累积有显著影响, 而对其它树种的影响均未达到显著水平。在 $3 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ NaCl 胁迫下, 与对照相比, 豆梨、金雀儿、欧洲荚蒾和三裂叶漆的生物量稍有增加, 其它各树种的生物量均有不同程度的减少, 其中榆桔、甜桦和光叶漆的下降幅度最大, 分别为

表 2 不同浓度盐胁迫下供试树种的受害症状

树种 Tree species	0 (CK)	盐浓度 Salt concentration (g·kg ⁻¹)			
		3	5	8	10
日本丁香 <i>Syringa japonica</i>	叶片伸展、绿色; 幼苗生长正常 Green and outspread leaves, normal growth in morphology	与对照相比无明显差异 No obvious difference compared with the control group	与对照相比无明显差异 No obvious difference compared with the control group	少量叶尖、叶缘变黄、叶片卷曲 Few tip and edge parts of leaves became yellow, and some curled	部分叶片变黄、卷曲, 个别有脱落 Partial leaves became yellow and curling, and one or two fell off
豆梨 <i>Pyrus calleryana</i>	同上 The same as the above	少量叶片变黄 Few leaves became yellow	少量叶片卷曲、枯黄而小, 个别有脱落 Few leaves became curling, and some curled, and some fell off	部分叶片变黄, 有落叶 Partial leaves became yellow, and some fell off	叶片卷曲、枯黄而小, 有落叶 Most leaves became curling, scorching and lessening, and some fell off
银水牛果 <i>Shepherdia argentea</i>	同上 The same as the above	与对照相比无明显差异 No obvious difference compared with the control group	与对照相比无明显差异 No obvious difference compared with the control group	少量叶片卷曲、枯黄而小 Few leaves became curling, scorching and lessening	部分叶片变黄、变小, 个别有脱落 Partial leaves became yellow and lessening, and one or two fell off
三裂叶漆 <i>Rhus trilobata</i>	同上 The same as the above	与对照相比无明显差异 No obvious difference compared with the control group	与对照相比无明显差异 No obvious difference compared with the control group	少量叶片卷曲、枯黄而小 Few leaves became curling, scorching and lessening	部分叶片卷曲、枯黄而小, 有落叶 Partial leaves became curling, scorching and lessening, and some fell off
榆桔 <i>Ptelea trifoliata</i>	同上 The same as the above	少量叶片变黄 Few leaves became yellow	部分叶片变黄、萎蔫, 叶片有脱落 Partial leaves became yellow and withering, and one or two fell off	部分叶片变黄、萎蔫, 有落叶 Partial leaves became yellow and withering, and some fell off	*
沃氏金链花 <i>Laburnum watereri</i>	同上 The same as the above	少量叶片变黄 Few leaves became yellow	部分叶片变黄、变小, 个别有脱落 Partial leaves became yellow and lessening, and one or two fell off	部分叶片卷曲、枯黄而小, 有落叶 Partial leaves became curling, scorching and lessening, and some fell off	-
金雀儿 <i>Cytisus scoparius</i>	同上 The same as the above	与对照相比无明显差异 No obvious difference compared with the control group	少量叶片变黄 Few leaves became yellow	部分叶片变黄, 有落叶 Partial leaves became yellow, and some fell off	新生叶片卷曲, 大部分叶片变黄、脱落 New leaves curled, most became yellow and fell off
欧洲荚蒾 <i>Viburnum opulus</i>	同上 The same as the above	少量叶尖、叶缘变黄, 萎蔫 Few tip and edge parts of leaves became yellow and withering	大部分叶片变黄、卷曲, 有落叶 Most leaves became yellow and curling, and some fell off	-	-
鹰爪豆 <i>Spartium junceum</i>	同上 The same as the above	少量叶尖、叶缘变黄 Few tip and edge parts of leaves became yellow	少量叶尖、叶缘变黄, 萎蔫 A few of tip and edge parts of leaves became yellow, and some withered	部分叶片卷曲、变黄, 有落叶 Partial leaves became curling and yellow, and some fell off	*
甜桦 <i>Betula lenta</i>	同上 The same as the above	部分叶片变黄、萎蔫, 叶片有脱落 Partial leaves became yellow and withering, and one or two fell off	大部分叶片变黄、萎蔫, 叶片有脱落 Most leaves became yellow and withering, and some fell off	-	-
光叶漆 <i>Rhus glabra</i>	同上 The same as the above	少量叶尖、叶缘变黄 Few tip and edge parts of leaves became yellow	大部分叶片变黄、萎蔫, 叶片有脱落 Most leaves became yellow and withering, and some fell off	-	-

“-”表示植株死亡; “*”表示因该树种苗木数量有限, 未设此盐含量梯度, 下同 “-” represents the seedlings were dead, while “*” represents that the number of seedlings was not enough, so this salt concentration was not designed; the same below

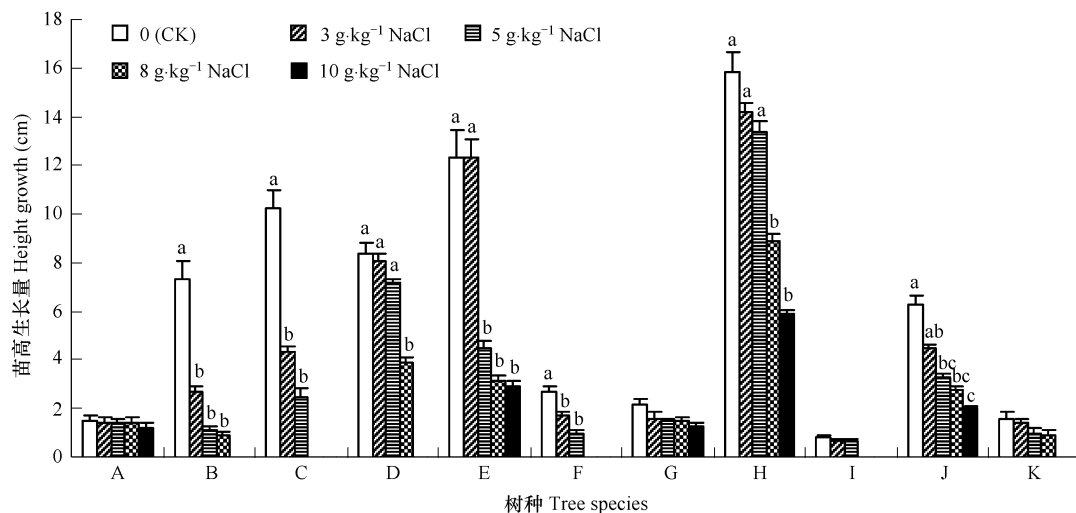


图1 盐胁迫对供试树种高生长的影响

Fig. 1 Effects of salt stress on height growth of experimental seedlings

A: 豆梨 *Pyrus calleryana*; B: 榆桔 *Ptelea trifoliata*; C: 甜桦 *Betula lenta*; D: 鹰爪豆 *Spartium junceum*; E: 金雀儿 *Cytisus scoparius*; F: 光叶漆 *Rhus glabra*; G: 日本丁香 *Syringa japonica*; H: 银水牛角 *Shepherdia argentea*; I: 欧洲荚蒾 *Viburnum opulus*; J: 三裂叶漆 *Rhus trilobata*; K: 沃氏金链花 *Laburnum watereri*

误差棒为平均值的标准误, $n=4$; 不同字母表示盐浓度处理之间有显著差异 ($P<0.05$); 下同 The error bars represent standard errors (SE) of four replicates; Different small letters represent significant difference at $P<0.05$ among different NaCl treatments; the same below

32.1%、41.9% 和 41.1%; 银水牛角和沃氏金链花的降幅分别为 12.6% 和 12.4%, 而鹰爪豆和日本丁香的降幅最小, 分别为 4.7% 和 2.9%。当盐胁迫浓度增加到 $5 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时, 榆桔、甜桦和光叶漆生物量累积的降幅仍然最大, 分别为 39.2%、50.3% 和 59.7%; 鹰爪豆、金雀儿、日本丁香、银水牛角、欧洲荚蒾和沃氏金链花的降幅介于 11.2% ~ 23.8%; 豆梨和三裂叶漆的降幅仅为 6.6% 和 7.8%。当 NaCl 浓度达到 $8 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 $10 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时, 在最终存活的树种中, 日本丁香、金雀儿、银水牛角和豆梨的生物量累积降幅较大, 为 39.7% ~ 49.1%, 而三裂叶漆的降幅最小, 为 27.5%。

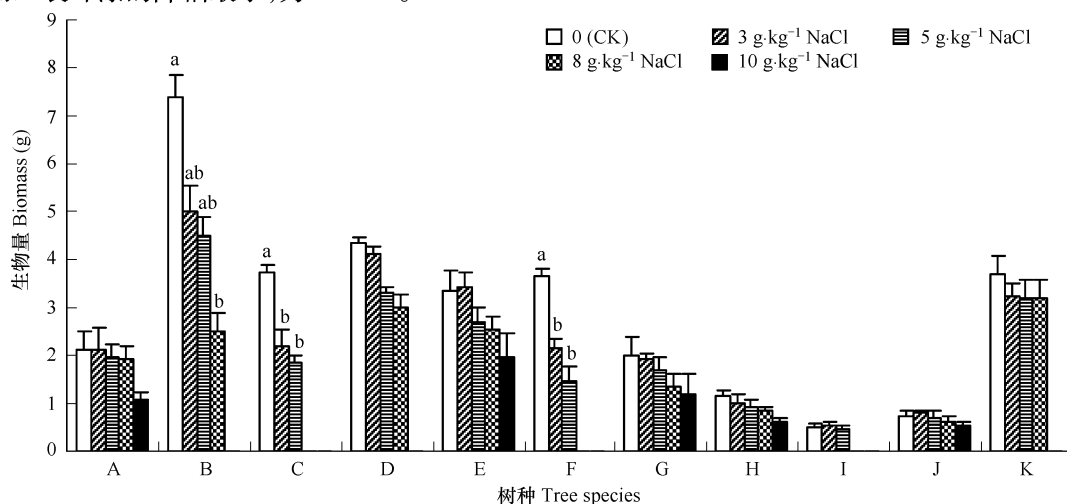


图2 盐胁迫对各树种生物量的影响

Fig. 2 Effects of salt stress on biomass accumulation of experimental seedlings

A: 豆梨 *Pyrus calleryana*; B: 榆桔 *Ptelea trifoliata*; C: 甜桦 *Betula lenta*; D: 鹰爪豆 *Spartium junceum*; E: 金雀儿 *Cytisus scoparius*; F: 光叶漆 *Rhus glabra*; G: 日本丁香 *Syringa japonica*; H: 银水牛角 *Shepherdia argentea*; I: 欧洲荚蒾 *Viburnum opulus*; J: 三裂叶漆 *Rhus trilobata*; K: 沃氏金链花 *Laburnum watereri*

2.4 盐胁迫对供试树种根冠比值的影响

由表 3 可知,低浓度盐分 ($C_{\text{NaCl}} \leq 8 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$) 胁迫时,豆梨的根冠比值随着盐胁迫浓度的增大而减小,当 NaCl 含量达到 $10 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时又开始增加;沃氏金链花、甜桦、光叶漆、银水牛果、欧洲荚蒾和榆桔的根冠比值随着盐胁迫浓度的增加一直呈增大趋势;鹰爪豆、金雀儿和三裂叶漆的根冠比值则在不同盐胁迫浓度之间基本保持一致、变化较小,分别为 $0.12 \sim 0.15$ 、 $0.10 \sim 0.12$ 和 $0.51 \sim 0.55$;而日本丁香的根冠比值无明显变化规律。方差分析表明,NaCl 胁迫对沃氏金链花、光叶漆和银水牛果根冠比值的影响达到显著水平,而对其它树种均无显著影响(表 3)。当盐胁迫浓度达到 $5 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时,光叶漆、银水牛果和沃氏金链花的根冠比值分别比对照增加了 188.9%、36.8% 和 10.4%。说明与地下部分相比,光叶漆、银水牛果和沃氏金链花的地上部分对盐胁迫更为敏感,生长更易受到抑制,最终使这 3 个树种生物量累积分配发生了显著变化。

表 3 盐胁迫对供试树种根冠比值的影响

Table 3 Effects of salt stress on root-shoot ratio of experimental seedlings

盐浓度($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$) Salt concentration	豆梨 <i>Pyrus calleryana</i>	沃氏金链花 <i>Laburnum watereri</i>	甜桦 <i>Betula lenta</i>	鹰爪豆 <i>Spartium junceum</i>	金雀儿 <i>Cytisus scoparius</i>	光叶漆 <i>Rhus glabra</i>
0 (CK)	$1.28 \pm 0.17 \text{ a}$	$0.48 \pm 0.08 \text{ b}$	$0.37 \pm 0.02 \text{ a}$	$0.12 \pm 0.02 \text{ a}$	$0.10 \pm 0.01 \text{ a}$	$0.09 \pm 0.01 \text{ c}$
3	$1.28 \pm 0.10 \text{ a}$	$0.57 \pm 0.03 \text{ b}$	$0.40 \pm 0.06 \text{ a}$	$0.12 \pm 0.01 \text{ a}$	$0.12 \pm 0.03 \text{ a}$	$0.20 \pm 0.03 \text{ b}$
5	$1.25 \pm 0.11 \text{ a}$	$0.53 \pm 0.08 \text{ b}$	$0.56 \pm 0.09 \text{ a}$	$0.12 \pm 0.02 \text{ a}$	$0.11 \pm 0.01 \text{ a}$	$0.26 \pm 0.02 \text{ a}$
8	$1.11 \pm 0.17 \text{ a}$	$0.92 \pm 0.07 \text{ a}$	—	$0.15 \pm 0.04 \text{ a}$	$0.12 \pm 0.02 \text{ a}$	—
10	$1.45 \pm 0.24 \text{ a}$	—	—	—	$0.11 \pm 0.02 \text{ a}$	—

盐浓度($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$) Salt concentration	日本丁香 <i>Syringa japonica</i>	银水牛果 <i>Shepherdia argentea</i>	欧洲荚蒾 <i>Viburnum opulus</i>	三裂叶漆 <i>Rhus trilobata</i>	榆桔 <i>Ptelea trifoliata</i>
0 (CK)	$0.72 \pm 0.01 \text{ a}$	$0.19 \pm 0.01 \text{ b}$	$0.44 \pm 0.03 \text{ a}$	$0.53 \pm 0.02 \text{ a}$	$0.28 \pm 0.01 \text{ a}$
3	$0.73 \pm 0.05 \text{ a}$	$0.24 \pm 0.03 \text{ ab}$	$0.61 \pm 0.05 \text{ a}$	$0.52 \pm 0.02 \text{ a}$	$0.38 \pm 0.03 \text{ a}$
5	$0.67 \pm 0.08 \text{ a}$	$0.26 \pm 0.01 \text{ ab}$	$0.61 \pm 0.04 \text{ a}$	$0.51 \pm 0.02 \text{ a}$	$0.36 \pm 0.06 \text{ a}$
8	$0.73 \pm 0.09 \text{ a}$	$0.26 \pm 0.01 \text{ ab}$	—	$0.54 \pm 0.04 \text{ a}$	$0.48 \pm 0.07 \text{ a}$
10	$0.66 \pm 0.07 \text{ a}$	$0.28 \pm 0.01 \text{ a}$	—	$0.55 \pm 0.03 \text{ a}$	—

表中数据为平均值 $\pm$ 标准差 ($n=4$); 同一列中不同字母表示在 $P<0.05$ 水平上盐浓度处理之间有显著差异 Values in the table are mean $\pm$ standard error (SE) of four replicates; Different small letters within the column represent significant difference at $P<0.05$ among different NaCl treatments

3 讨论

盐胁迫会对植物造成损伤,抑制种子萌发和植物的营养生长与生殖生长,改变植物的形态和解剖学结构,而且往往会造成非盐生植物死亡。被子植物的盐害主要包括叶片灼烧坏死或呈斑驳状、叶片脱落以及枝条枯萎等^[14],而多年生植物在盐胁迫条件下的存活率是衡量其耐盐性的一个可靠指标^[15]。本试验中,随着 NaCl 胁迫浓度的升高,11 个树种的盐害症状均逐渐加深,叶片相继出现不同程度的卷曲、枯黄、萎蔫和脱落等。欧洲荚蒾、甜桦和光叶漆的幼苗在试验处理浓度为 $8 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时首先出现植株死亡,当盐浓度继续增加到 $10 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时,沃氏金链花的植株也出现死亡,而其它树种仍能成活。由此可以认为,日本丁香、银水牛果、三裂叶漆、豆梨、金雀儿、鹰爪豆和榆桔具有较强的耐盐性,而其它树种则相对稍差。

土壤中的过量盐分会对植物造成渗透胁迫并干扰其营养离子的平衡^[16],在降低叶面积增长的同时也影响到植物的新陈代谢过程,如二氧化碳同化、蛋白质合成、呼吸作用、植物激素代谢、等等,这些最终都会影响到树木的生长^[17,18]。植物的高生长、生物量累积以及生物量累积分配(即根冠比值)是表征其受盐害轻重的 3 个常用的生长指标,其中,生物量是植物对盐胁迫反应的综合体现,即对盐胁迫的综合适应,也是植物耐盐性的直接指标^[19,20]。因此,高生长、生物量累积和根冠比值为评估盐胁迫强度和植物的耐盐碱能力提供了可靠标准^[21]。总体来说,11 个参试树种在不同浓度的盐胁迫条件下生物量减少、株高下降,而且随着盐胁迫浓度的增加,株高和生物量累积的降低幅度增大,同时根冠比值增加,表明盐分对幼苗地上部分的抑制作用大于根系,这些与前人的研究结论相一致^[22-26]。但参试幼苗生长量的降幅又因树种不同而存在较大差异:在盐胁迫初期 ($C_{\text{NaCl}} \leq 5 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$),榆桔、甜桦和光叶漆的株高生长量和生物量累积迅速下降,显著低于对照,而豆梨、

日本丁香和沃氏金链花的高生长量以及银水牛果、三裂叶漆和沃氏金链花的生物量累积在试验各浓度处理之间变化相对较小,即使在最高 NaCl 含量为 $10\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 时,豆梨高生长量和三裂叶漆生物量累积的降幅也仅分别为 20% 和 27.5%。一般来说,植物的耐盐性可以通过其在一定时间盐胁迫条件下生物量累积相比对照下降的百分比来衡量^[15]。这说明榆桔、甜桦和光叶漆是一类对盐胁迫敏感的树种,通过抑制生长、扩大根冠比值来适应盐逆境,以维持根系的正常生理活动;相反,豆梨、日本丁香、银水牛果和三裂叶漆的生长受抑制程度相对较小,属于耐盐碱能力较强的树种。

在盐胁迫的研究与应用中,植株的形态表现和生长状况是其耐盐碱能力的最直观表现,高盐度对植物的毒害可以从植物生长量减少和死亡率的升高得到验证^[12]。由此,根据本试验形态观察得到的植株受害症状(表 2)和幼苗生长量(图 1、图 2 和表 3)将参试树种的耐盐碱能力划分为下列 3 个等级:

- 高度耐盐碱——日本丁香、银水牛果、三裂叶漆和豆梨;
- 中高度耐盐碱——沃氏金链花、金雀儿、鹰爪豆和榆桔;
- 中度耐盐碱——欧洲荚蒾、甜桦和光叶漆。

这与 Curtis E. Swift 博士^[27]和澳大利亚西澳洲农业及食品部^[28]的耐盐性评价结果(表 4)大体是一致的。同时,作者在相同的 NaCl 浓度梯度下,对 11 个树种的叶绿素、脯氨酸、可溶性糖、质膜透性、丙二醛、 Na^+ 、 K^+ 等生理指标进行了测定,并运用隶属函数法对其耐盐性进行了综合评定^[29](表 4),结果表明日本丁香、银水牛果、榆桔和三裂叶漆的耐盐碱能力较强,豆梨、欧洲荚蒾、沃氏金莲花及鹰爪豆具有中高度耐盐碱能力,而金雀儿、甜桦和光叶漆稍差,具有中度耐盐性。这与本研究根据植株生长量和受盐害症状划分耐盐碱等级得出的结论较为一致,从生理角度进一步验证了本研究结论的可靠性。此外,由于鹰爪豆和榆桔的幼苗数量有限,本研究并未对其进行 $10\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 盐浓度水平处理,只是基于中低浓度($C_{\text{NaCl}}\leq 8\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$)盐胁迫下的试验结果对两者耐盐性进行了初步评价。鹰爪豆和榆桔的幼苗能否忍受 $10\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 的 NaCl 胁迫而继续存活下来以及两者在此浓度胁迫下的外在形态表现和生长量变化等方面还有待进一步研究,以更加准确、全面的反映两者的耐盐性。

表 4 2 种方法评价 11 个树种耐盐碱能力
Table 4 Salt-tolerance of 11 experimental tree species by two evaluation methods

树种 Tree species	隶属度法 Subordinate function value method		耐盐性 ^① Salt-tolerance	树种 Tree species	隶属度法 Subordinate function value method		耐盐性 ^① Salt-tolerance
	平均值 Average	位次 Sequence			平均值 Average	位次 Sequence	
鹰爪豆 <i>Spartium junceum</i>	0.3273	8	—	甜桦 <i>Betula lenta</i>	0.2361	10	中高度-可达 6 mS Moderately high-up to 6 mS
沃氏金链花 <i>Laburnum watereri</i>	0.3395	7	—	光叶漆 <i>Rhus glabra</i>	0.2133	11	中高度-可达 6 mS Moderately high-up to 6 mS
金雀儿 <i>Cytisus scoparius</i>	0.2816	9	高度-可达 8 mS High-up to 8 mS	榆桔 <i>Ptelea trifoliata</i>	0.5109	3	高度-可达 8 mS High-up to 8 mS
银水牛果 <i>Shepherdia argentea</i>	0.5164	2	高度-可达 8 mS High-up to 8 mS	豆梨 <i>Pyrus calleryana</i>	0.3551	5	中度-可达 4 mS Moderate-up to 4 mS
日本丁香 <i>Syringa japonica</i>	0.6121	1	高度-可达 8 mS High-up to 8 mS	三裂叶漆 <i>Rhus trilobata</i>	0.3889	4	高度-可达 8 mS High-up to 8 mS
欧洲荚蒾 <i>Viburnum opulus</i>	0.3549	6	轻度-可达 2 mS Low-up to 2 mS				

① mS,即 $\text{mmhos}\cdot\text{cm}^{-1}$,是指水中可溶性盐的总含量, $\text{mS}, \text{mmhos}\cdot\text{cm}^{-1}$, is the total content of soluble salt in water

References:

[1] Wang Z Q, Zhu S Q, Yu R P, et al. Chinese salt-affected soils. Beijing: Science Press, 1993. 325 — 344.

- [2] Xu H G. Halophyte and ecological management of salinization in China. Beijing: Chinese Agricultural Science and Technology Press, 2004. 11 — 12.
- [3] Land and Water Development Division, Food and Agriculture Organization of the United Nations Rome, Land Resource Potential and Constraints at Regional and Country Levels; In: World Soil Resources Reports, 2000. 1 — 112.
- [4] Zhu J K. Salt and drought stress signal transduction in plants. *Ann Rev Plant Biol*, 2002, 53: 247 — 273.
- [5] Zhao F Y, Guo S L, Wang Z L, *et al.* Recent advances in study on transgenic plants for salt tolerance. *Acta Photophysiolica Sinica*, 2003, 29 (3): 171 — 178.
- [6] Corney H J, Sasse J M, Ades P K. Assessment of salt tolerance in eucalypts using chlorophyll fluorescence attributes. *New Forests*, 2003, 26 (3): 233 — 246.
- [7] Wang G B, Cao F L, You Q F, *et al.* Effects of salt stress on concentrations of Na^+ , K^+ and Na^+/K^+ in the leaves of four tree species and evaluation of salt tolerance. *Journal of Plant Resources and Environment*, 2001, 10 (1): 30 — 34.
- [8] Zhang J F, Li J Y, Song Y M, *et al.* Advances in research on the mechanism of plant salinity tolerance and breeding of salt-tolerance plants. *World Forestry Research*, 2003, 16 (2): 16 — 22.
- [9] Zhang C H, Shen Y B, Yin W L, *et al.* Effect of salt stress on photosynthesis and growth of four tree species seedlings. *Scientia Silvae Sinicae*, 2002, 38 (2): 27 — 31.
- [10] Liu H C, Sun Z Y, Peng Z H. Effect of salt stress on the growth and some physiological characteristics in *Parthenocissus quinquefolia* cuttings. *Scientia Silvae Sinicae*, 2004, 40 (6): 63 — 67.
- [11] Chen J, Lin Q F. Progress on salt tolerance physiology and mechanism of plants. *Natural Science Journal of Hainan University*, 2003, 21 (2): 177 — 182.
- [12] Liao Y, Peng Y G, Chen G Z. Research advance in plant salt-tolerance mechanism. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27 (5): 2077 — 2089.
- [13] Xiao D N, Xie F J, Wei J B. Regional ecological construction and mission of landscape ecology. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2004, 15 (10): 1731 — 1736.
- [14] Kozlowski T T. Responses of woody plants to flooding and salinity. *Tree Physiology Monograph No. 1*, 1997, 1 — 29.
- [15] Munns R. Comparative physiology of salt and water stress. *Plant, Cell and Environment*, 2002, 25: 239 — 250.
- [16] Ali H, Tucher T C, Thompson T L, Salim M. Effects of salinity and mixed ammonium and nitrate nutrition in the growth and nitrogen utilization of barley. *Agro Crop Sci*, 2001, 186: 223 — 228.
- [17] The Chief Executive Officers of Agriculture Western Australia and the Chemistry Center of Western Australia. Farmnote71/99: Tolerance of plants to salty water; Department of Agriculture and Food, Reviewed July 2005.
- [18] Greenway H, Munns R. Mechanisms of salt tolerance in non-halophytes. *Annual Review: Plant Physiology*, 1980, 23: 149 — 190.
- [19] Vicente O, Boscaiu M, Naranjo M A, Estrelles E, Belles J M, Soriano P. Responses to salt stress in the halophyte *Plantago crassifolia* (Plantaginaceae). *Journal of Arid Environments*, 2004, 58: 463 — 481.
- [20] Levitt J. Response of plants to environmental stress. New York: Academic Press, 1980. 365 — 434.
- [21] Walter L. Plant physioecology. Zhai Z X Translated. Beijing: China Agricultural University Press, 1997. 305.
- [22] Ramoliya P J, Pandey A N. Effect of salinization of soil on emergence, growth and survival of seedlings of *Cordia rothii*. *Forest Ecology and Management*, 2003, 176: 185 — 194.
- [23] Ramoliya P J, Patel H M, Pandey A N. Effect of salinization of soil on growth and macro- and micro-nutrient accumulation in seedlings of *Salvadora persica* (Salvadoraceae). *Forest Ecology and Management*, 2004, 202: 181 — 193.
- [24] Ahmed D, Karim B H, Claude G, Chedly A. Salinity effects on germination, growth and seed production of the halophyte *Cakile maritime*. *Plant and Soil*, 2004, 262: 179 — 189.
- [25] Rebecca J H, Irving A M. Salinity as a constraint on growth of oligohaline marsh macrophytes. I. species variation in stress tolerance. *American Journal of Botany*, 1999, 86(6): 785 — 794.
- [26] Cramer G R, Epstein E, Lauchli A. Effect of sodium potassium and calcium on salt-stressed barley (II). *Elemental analysis Physiology Plant*, 1991, 81: 197 — 202.
- [27] Swift C E. Salt tolerance of various temperature zone ornamental plants. Area Extension Agent (Horticulture), Colorado State University Extension, Tri River Area, 1997.
- [28] John M. Mechanism of salinity tolerance in plants. *Plant Physiology*, 1988, 85: 352 — 359.

- [29] Zhang H X, Song D, Liu Z X. Study on physiological characteristics and salt tolerance for seedlings of 11 tree species. *Forest Research*, 2008, 21 (2): 168 – 175.

参考文献:

- [1] 王遵亲,祝寿泉,俞仁培,等. 中国盐渍土. 北京: 科学出版社, 1993. 325 ~ 344.
- [2] 徐恒刚. 中国盐生植被及盐渍化生态治理. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2004. 11 ~ 12.
- [5] 赵风云,郭善利,王增兰,等. 耐盐转基因植物研究进展. *植物生理与分子生物学学报*, 2003, 29 (3): 171 ~ 178.
- [7] 汪贵斌,曹福亮,游庆方,等. 盐胁迫对 4 树种叶片中 K^+ 和 Na^+ 的影响及其耐盐能力的评价. *植物资源与环境学报*, 2001, 10 (1): 30 ~ 34.
- [8] 张建锋,李吉跃,宋玉民,等. 植物耐盐机理与耐盐植物选育研究进展. *世界林业研究*, 2003, 16 (2): 16 ~ 22.
- [9] 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. *林业科学*, 2002, 38 (2): 27 ~ 31.
- [10] 刘会超,孙振元,彭镇华. NaCl 胁迫对五叶地锦生长及某些生理特性的影响. *林业科学*, 2004, 40 (6): 63 ~ 67.
- [11] 陈洁,林栖凤. 植物耐盐生理及耐盐机理研究进展. *海南大学学报自然科学版*, 2003, 21 (2): 177 ~ 182.
- [13] 肖笃宁,解伏菊,魏建兵. 区域生态建设与景观生态学的使命. *应用生态学报*, 2004, 15 (10): 1731 ~ 1736.
- [21] Larch W 著. 植物生态生理学. 翟志席译. 北京: 中国农业大学出版社, 1997. 305.
- [27] 廖岩,彭友贵,陈桂珠. 植物耐盐性机理研究进展. *生态学报*, 2007, 27 (5): 2077 ~ 2089.
- [29] 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. *林业科学研究*, 2008, 21 (2): 168 ~ 175.