

# 中新天津生态城河岸带盐碱地造林树种选择

王乐, 李亚光

(北京林业大学 水土保持学院, 北京 100083)

**摘要:** [目的] 在对生态城河岸带树种造林成活率调查、分析的基础上, 筛选耐盐性树种并对其抗盐性进行研究, 为滨海盐碱地河岸带造林树种选择提供依据。[方法] 设置 CK, 1.5‰, 3‰, 6‰, 8‰, 11‰, 6 个土壤盐度处理, 分析盐胁迫对刺槐、杜梨、国槐、绒毛白蜡、臭椿 5 个树种种子萌发、苗期生长的影响。[结果] 随土壤盐度的加剧, 5 种种子的萌发能力均受到显著抑制, 出苗率、出苗指数大幅降低。苗期生长过程中, 国槐受盐害症状表现最严重, 其后从重到轻依次为杜梨、刺槐、臭椿、绒毛白蜡。植株叶片质膜透性、丙二醛含量随着盐胁迫程度增加显著上升; 总叶绿素含量呈总体下降趋势; 脯氨酸含量呈先升高后降低的变化规律。[结论] 根据隶属函数法综合评价 5 个供试树种的耐盐性, 其由强到弱的顺序为: 绒毛白蜡 > 臭椿 > 杜梨 > 刺槐 > 国槐。

**关键词:** 河岸带; 盐胁迫; 种子萌发; 苗期生长; 隶属函数

文献标识码: B

文章编号: 1000-288X(2015)04-0248-06

中图分类号: S718.43

DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2015.04.044

## Primary Selection of Plant Species for Afforestation in Salinized Soil in Sino-Singapore Tianjin Eco-city Riparian

WANG Le, LI Yaguang

(College of Soil and Water Conservation, Beijing Forestry University, Beijing 10083, China)

**Abstract:** [Objective] Studying the salt-tolerant capacity of tree species in the riparian zones in order to provide a support for the selection of afforestation species suitable for this zone. [Methods] Based on the previous investigation of survival rate of planted species in the riparian zones, five species (Locust, *P. betulaefolia*, pagoda tree, velvet ash and *Ailanthus*) were selected for the experiment in salinized soil. We studied the responses of germination and growing indexes of five species to salt stressed soils with different salt concentrations (CK, 1.5‰, 3‰, 6‰, 8‰, 11‰). [Results] With the increasing of salinity, the seed germination rate and emergence index decreased significantly. Pagoda tree showed the most serious symptom under salt stress, followed by *P. betulaefolia*, locust, *Ailanthus* and velvet ash. Membrane permeability and MDA contents of the five species increased remarkably. The contents of chlorophyll showed a decreased tendency with the increasing of salt concentration. The content of proline increased under low level of salt stress and decreased under high level of salt stress. [Conclusion] Subordinate function analysis showed that the salt-tolerance of velvet ash is the best, followed by *Ailanthus*, *P. betulaefolia*, locust and pagoda tree.

**Keywords:** riparian; salt stress; seed germination; plant growth; subordination function

中新生态城位于天津东部沿海地区, 汉沽和塘沽两区地界内, 西至蓟运河, 南至永定新河入海口, 距渤海海岸线不足 1 km。由于特殊的地理位置, 区域内水系含盐量高, 河岸带土壤盐碱化程度严重, 植被种类以盐蒿、芦苇为主, 很难实现固土护坡, 保持水土, 净化水质, 美化环境等功能。中新生态城自 2009 年

起通过淡水洗盐、客土绿化等工程措施打造湿地花园, 成功重建了河道生态景观, 但前期工程投入量大, 后期维护困难等矛盾日益凸显。选择合适的耐盐树种是提高盐碱地区造林成活率及造林质量的重要保证<sup>[1-3]</sup>。本研究从中新生态城河岸带耐盐树种中筛选出刺槐、杜梨、国槐、绒毛白蜡、臭椿作为研究对象, 探

收稿日期: 2014-08-08

修回日期: 2014-09-23

资助项目: 国家“十二五”水体污染控制与治理科技重大专项“中新生态城水系统构建及水质水量保障技术研究”(2012ZX07308-001)

第一作者: 王乐(1988—), 女(汉族), 河北省秦皇岛市人, 硕士研究生, 研究方向为生态建筑和城镇规划。E-mail: 2652633243@qq.com。

通信作者: 李亚光(1959—), 男(汉族), 陕西省岐山县人, 副教授, 主要从事农业生物环境、能源工程和水土保持方面的研究。E-mail: yiguang@bjfu.edu.cn。

讨了5个树种种子萌发、苗期生长阶段的耐盐性差异。为开发和选育耐盐植物资源,建设沿海地区防护林,丰富滨海盐碱地景观提供了科学依据。

## 1 研究区概况

中新生态城位于天津市中东部(39°5′—39°12′N,

117°43′—117°49′E),用地约34.2 km<sup>2</sup>,属于暖温带半湿润大陆性季风气候。规划区域的水系要素主要包括河流、水库、地下水、生产性水面和近海水域等。河岸带土壤全盐量多数在1%左右。盐碱土中的盐离子主要有Na<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>等(表1)。

表1 中新生态城河岸带土壤含盐量

全盐量/ (g·kg <sup>-1</sup> )	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> / (g·kg <sup>-1</sup> )	K <sup>-</sup> / (g·kg <sup>-1</sup> )	Na <sup>+</sup> / (g·kg <sup>-1</sup> )	Ca <sup>2+</sup> / (g·kg <sup>-1</sup> )	Mg <sup>2+</sup> / (g·kg <sup>-1</sup> )	Cl <sup>-</sup> / (g·kg <sup>-1</sup> )	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> / (g·kg <sup>-1</sup> )	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> / (g·kg <sup>-1</sup> )	pH值	电导率/ (μS·cm <sup>-1</sup> )	水分/ %
10.64	2.56	0.36	3.77	0.46	0.27	3.86	0.01	0.05	7.92	3536.71	11.04

## 2 材料与方法

### 2.1 抗盐树种的调查与筛选

调查区位于天津市生态城蓟运河故道的河岸带(39°7′N, 117°44′E)。进行等距取样分析,样方大小为20 m×20 m。根据2010—2013年树种移栽成活率(详见表2),初选出刺槐(*Robinia pseudoacacia*)、杜梨(*Pyrus betuli folia*)、国槐(*Sophora japonica*)、绒毛

白蜡(*Fraxinus velutina*)、臭椿(*Ailanthus altissima*)5个树种作为研究对象,探究其在不同土壤盐度条件下的萌发、生长状况。

$$\text{造林成活率} = \frac{\text{壮苗株数} + \frac{1}{2} \text{弱苗株数}}{\text{样方数} \times \text{样方内的设计株数}} \times 100\% \quad (1)$$

一般苗木主干健壮、顶芽饱满、无机械损伤、无病虫害的为壮苗;苗木已成活但长势相对较差,部分枝叶出现病虫害损伤的为弱苗。

表2 研究区树种造林成活率调查结果

植物名称	成活率/%	植物名称	成活率/%
水杉( <i>Metasequoia glyptostroboides</i> )	66.9	绒毛白蜡	92.4
龙柏( <i>Sabina chinensis</i> )	77.2	国槐	86.2
雪松( <i>Cedrus deodara</i> )	79.3	刺槐	87.9
黑松( <i>Pinus thunbergii</i> )	82.9	金枝槐( <i>Aureus locustae</i> )	77.6
油松( <i>Pinus tabulaeformis</i> )	68.3	臭椿	89.6
毛白杨( <i>Populus tomentosa</i> )	78.5	合欢( <i>Albizia julibrissin</i> )	81.9
新疆杨( <i>Populus alba</i> )	80.9	银杏( <i>Ginkgo biloba</i> L.)	69.8
法桐( <i>Platanus orientalis</i> )	78.9	垂柳( <i>Salix babylonica</i> )	66.7
栾树( <i>Koelreuteria bipinnata</i> )	76.4	柿树( <i>Diospyros kaki</i> )	68.1
火炬树( <i>Rhus typhina</i> )	83.2	桑树( <i>Morus alba</i> )	71.9
构树( <i>Broussonetia papyrifera</i> )	71.4	杜梨	90.1
樱花( <i>Prunus serrulata</i> )	67.2	山楂( <i>Crataegus pinnatifida</i> )	74.5

### 2.2 试验方法

2.2.1 树种萌发阶段耐盐性测定 将刺槐、杜梨、国槐、绒毛白蜡、臭椿种子进行浸泡、层积处理后播种在营养钵中。设置CK, 1.5‰, 3‰, 5‰, 8‰, 11‰, 6个土壤盐浓度处理。盐分组成按NaCl 78%, MgCl<sub>2</sub> 25%, CaSO<sub>4</sub> 10%, KCl 2%, Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 5%比例配置。每个营养钵播种3粒, 20个营养钵为一个重复(60粒), 每处理重复4次。保持室温22±2度。土壤含水率为田间持水率的85%。播种后观察记录出苗时间以及幼苗的生长情况。以子叶出土定义为出苗, 统计出苗率。将出苗20 d后的幼苗洗净、烘干并称量

干重。计算活力指数。

$$\text{出苗指数(GI)} = \sum(G_i/D_i);$$

$$\text{活力指数(VI)} = \text{出苗指数(GI)} \times \text{幼苗干重(DW)}。$$

式中: D<sub>i</sub>——发芽日数; G<sub>i</sub>——与D<sub>i</sub>相对应的每天发芽种子数与发芽日数。

2.2.2 树种苗期耐盐性测定 选择长势整齐一致、无病虫害的1年生刺槐、杜梨、国槐、绒毛白蜡、臭椿幼苗定植于营养钵中, 缓苗后进行盐胁迫处理。将不同浓度的混合盐溶液(盐分组成按NaCl 78%, MgCl<sub>2</sub> 5%, CaSO<sub>4</sub> 10%, KCl 2%, Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 5%比例配置)分3次浇入营养钵中, 设置6个盐度处理, 每个处理

最终土壤盐度分别为 CK, 1.5‰, 3‰, 5‰, 8‰, 11‰。盐胁迫 25 d 后, 观察植株的受害情况, 随机采取植株中部叶片进行生理指标的测定。

根据植株的生长情况划分盐害等级。0 级: 叶片颜色、生长正常; 1 级: 少量叶尖、叶缘变黄; 2 级: 少量叶片变黄, 萎蔫, 部分叶片脱落; 3 级: 大部分叶片变黄, 萎蔫干枯, 有明显落叶; 4 级: 苗木枝条底部叶片大量脱落, 部分植株死亡。

电解质外渗率采用电导法测定; 叶绿素含量测定采用丙酮法。丙二醛含量测定采用硫代巴比妥酸法。将待测叶片研磨、离心后取上清液与硫代巴比妥酸 (TBA) 反应, 测定 532, 600 和 450 nm 波长下的消光度, 计算出丙二醛的含量。脯氨酸质量分数测定采用酸性茚三酮比色法。研磨提取待测叶片中的脯氨酸, 去除干扰氨基酸后在酸性条件下, 使脯氨酸和茚三酮反应生成稳定的有色产物, 并用分光光度法测定脯氨酸含量。

2.2.3 数据处理 试验数据采用 Excel 和 SPSS 16.0 数据处理软件, 进行方差分析和多重比较。采用模糊综合评判法通过计算各个树种的隶属函数  $X(u)$ , 得出 4 个树种耐盐性排序。计算公式为:

$$X(u) = (X - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min})$$

如果某一指标与耐盐性呈负相关, 则

$$X(u) = 1 - (X - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min})$$

式中:  $X$ ——各树种某一指标 ( $u$ ) 的测定值;  $X_{\max}$ ——该指标中的最大值;  $X_{\min}$ ——该指标中的最小值。将各个树种各耐盐性指标的隶属函数值进行累加, 计算其平均值 ( $\Delta$ ) 即为所求指标的隶属度。

### 3 结果与分析

#### 3.1 盐胁迫对供试树种种子萌发情况的影响

3.1.1 盐胁迫对供试树种出苗率的影响 单因素方差分析表明, 土壤盐度对 5 个树种的出苗率有显著影响 (表 3)。1.5‰ 的土壤盐度条件下, 5 个树种的出苗率较 CK 对照组相比均无显著差异, 其中绒毛白蜡的出苗率略高于对照组; 当土壤盐度为 3‰ 时, 刺槐、杜梨、国槐、臭椿的出苗率明显下降; 5‰ 的土壤盐度条件下, 国槐种子失去萌发能力, 刺槐、杜梨、绒毛白蜡、臭椿的出苗率较对照组分别下降了 70%, 59%, 33%, 49%; 8‰ 的土壤盐度条件下, 仅绒毛白蜡、臭椿种子具有萌发能力, 出苗率较对照组分别下降了 67% 和 80%。

3.1.2 盐胁迫对供试树种出苗指数的影响 种子活力可以反映种子在广泛的田间条件下整齐萌发并长成正常幼苗的潜在能力<sup>[4]</sup>。方差分析表明, 土壤盐度对 5 个树种种子的活力指数有显著影响 (表 3)。土壤盐度为 1.5‰ 时, 5 个树种种子的活力指数较对照组相比无显著差异。土壤盐度为 3‰ 时, 刺槐、杜梨、国槐、绒毛白蜡、臭椿种子的活力指数较对照组分别下降了 49%, 57%, 87%, 26%, 37%。5‰ 的土壤盐度条件下刺槐、杜梨、绒毛白蜡、臭椿种子的活力指数较对照组分别下降了 79%, 85%, 59%, 76%。8‰ 的土壤盐度条件下, 绒毛白蜡、臭椿种子的活力指数较对照组分别下降了 82%, 95%。随土壤盐度的增加, 国槐种子活力指数下降趋势最明显, 刺槐、杜梨次之, 绒毛白蜡、臭椿种子抗耐性好。

表 3 盐胁迫对 5 个树种种子萌发的影响

指标	盐浓度/ ‰	树种				
		刺槐	杜梨	国槐	绒毛白蜡	臭椿
出苗率/%	CK	69±5 <sup>a</sup>	68±6 <sup>a</sup>	60±5 <sup>a</sup>	57±4 <sup>a</sup>	61±7 <sup>a</sup>
	1.5	68±7 <sup>a</sup>	63±5 <sup>a</sup>	50±7 <sup>ab</sup>	58±5 <sup>a</sup>	59±5 <sup>ab</sup>
	3	47±4 <sup>b</sup>	41±3 <sup>b</sup>	13±1 <sup>b</sup>	55±5 <sup>a</sup>	44±4 <sup>b</sup>
	5	21±3 <sup>c</sup>	28±4 <sup>c</sup>	—	39±4 <sup>b</sup>	31±4 <sup>c</sup>
	8	—	—	—	19±2 <sup>c</sup>	12±2 <sup>d</sup>
出苗指数	CK	0.134 6±0.008 7 <sup>a</sup>	0.114 6±0.002 8 <sup>a</sup>	0.476 1±0.012 3 <sup>a</sup>	0.069 6±0.004 9 <sup>a</sup>	0.096 0±0.005 2 <sup>a</sup>
	1.5	0.124 0±0.007 9 <sup>a</sup>	0.081 5±0.009 1 <sup>ab</sup>	0.353 1±0.009 7 <sup>a</sup>	0.079 7±0.006 2 <sup>a</sup>	0.076 9±0.004 8 <sup>ab</sup>
	3	0.068 2±0.005 5 <sup>b</sup>	0.048 8±0.004 4 <sup>b</sup>	0.064 0±0.006 8 <sup>b</sup>	0.051 8±0.003 4 <sup>ab</sup>	0.060 3±0.006 1 <sup>b</sup>
	5	0.028 1±0.002 3 <sup>c</sup>	0.017 3±0.003 1 <sup>c</sup>	—	0.028 8±0.003 9 <sup>b</sup>	0.023 1±0.003 3 <sup>c</sup>
	8	—	—	—	0.012 7±0.003 1 <sup>c</sup>	0.004 9±0.002 7 <sup>d</sup>

注: 表中数值为平均值±标准差; 不同字母表示在  $p \leq 0.05$  水平上差异性显著。下同。

#### 3.2 盐胁迫对供试树种苗期生长状况的影响

3.2.1 盐胁迫下供试树种的受害状况 通过观察植物叶片的盐害症状可知, 各树种在不同水平盐胁迫

下, 叶片受害程度存在差异 (表 4)。在 1.5‰ 质量分数的盐胁迫下, 各树种叶片与对照组无明显差别, 盐害特征不明显; 随土壤盐分含量的增加, 5 个树种

叶片受害情况加剧。土壤含盐量为 3‰时,刺槐、杜梨、国槐盐害程度达到 2 级;土壤含盐量为 5‰时,国槐大部分叶片出现萎蔫变黄,达到 3 级盐害程度,刺槐、杜梨、绒毛白蜡、臭椿盐害程度为 2 级;土壤含盐量为 8‰时,除绒毛白蜡外其他树种均达到 3 级盐害程度;土壤含盐量为 11‰时,刺槐、杜梨、国槐、臭椿树苗受害严重,叶片大量脱落,生长受到显著抑制;绒毛白蜡大部分叶片变黄萎蔫,属于 3 级盐害。

表 4 不同浓度盐胁迫下供试树种的受害症状

树种	盐浓度					
	CK	1.5‰	3‰	5‰	8‰	11‰
刺槐	0 级	1 级	2 级	2 级	3 级	4 级
杜梨	0 级	1 级	2 级	2 级	3 级	4 级
国槐	0 级	1 级	2 级	3 级	3 级	4 级
绒毛白蜡	0 级	0 级	1 级	2 级	2 级	3 级
臭椿	0 级	1 级	1 级	2 级	3 级	4 级

3.2.2 盐胁迫对供试树种叶片质膜透性的影响 在盐逆境中,植物细胞的细胞膜首先受到伤害,质膜透性增加。耐盐性较强的植物细胞膜稳定性较强,质膜透性增加较少,伤害率低;而耐盐性弱的植物反之。叶片的质膜透性可通过相对电导率反映。由图 1 可知,5 个树种叶片质膜透性随土壤盐度的升高呈上升趋势,但不同树种的升高趋势存在差异。与对照组相比叶片质膜透性变化幅度最大的是国槐,升高幅度为对照组的 3.3 倍。其次是刺槐,为对照组的 3.2 倍。其次为杜梨、臭椿,叶片质膜透性分别为对照组的 2.5、2.4 倍。绒毛白蜡变化幅度最小,为对照组的 2.1 倍。

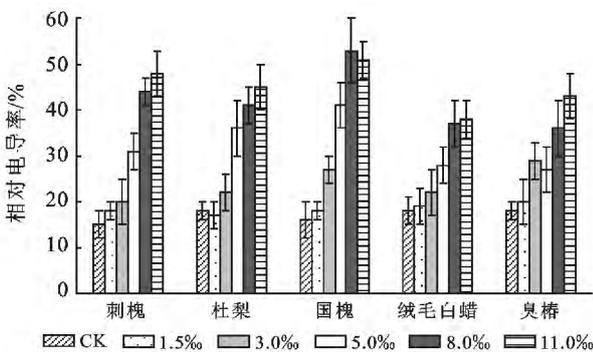


图 1 盐胁迫下 5 个树种相对电导率的变化

3.2.3 盐胁迫对供试树种叶片丙二醛(MDA)含量的影响 盐胁迫会损伤植物细胞膜系统,引起膜脂过氧化反应,植物组织中丙二醛含量是判断膜脂过氧化作用的重要指标,从而表示细胞膜脂过氧化程度和植物对逆境条件反应的强弱<sup>[5]</sup>。由图 2 可知,随土壤盐度的增加,5 个树种叶片中的 MDA 含量呈上升趋势,

细胞膜受损害程度不断增加。在土壤盐度逐渐升高的过程中,刺槐、杜梨、国槐叶片中 MDA 含量增加趋势明显,表现出低度适应性。当土壤盐度升高至 11‰时,刺槐、杜梨、国槐、绒毛白蜡、臭椿的 MDA 含量分别较对照组分别升高了 79%,56%,99%,34%,50%。

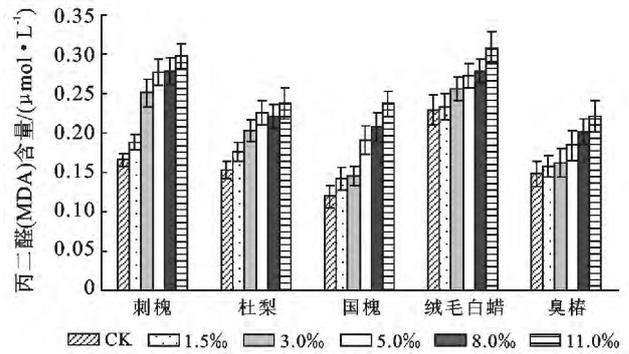


图 2 盐胁迫下 5 个树种丙二醛(MDA)含量的变化

3.2.4 盐胁迫对供试树种叶片叶绿素含量的影响 盐胁迫下植物叶片叶绿素含量的变化不仅影响植株光合作用过程,而且是衡量植物体耐盐性的重要生理指标。由图 3 可知,在 1.5‰盐度条件下,刺槐、国槐的叶绿素含量较对照组相比下降幅度较小,杜梨、绒毛白蜡、臭椿的叶绿素含量较对照组相比小幅升高。说明低强度盐胁迫对植株叶绿素总含量的积累没有明显影响,甚至对部分植株叶绿素的合成有促进作用。随土壤盐度的增加,5 个树种叶绿素含量对土壤盐度危害敏感,但不同树种叶绿体受土壤盐害程度有所差异。杜梨、国槐较对照组相比叶绿素含量下降趋势显著,刺槐次之,绒毛白蜡、臭椿受害程度最低。

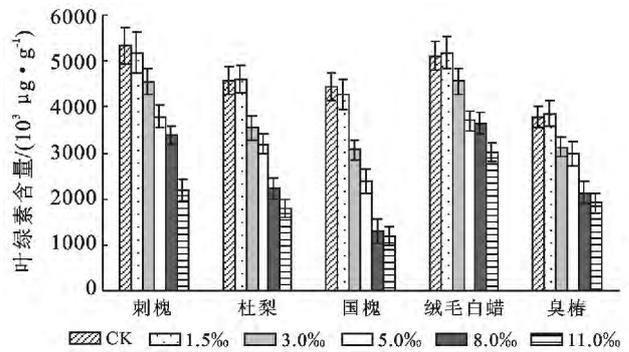


图 3 盐胁迫下 5 个树种叶绿素含量的变化

3.2.5 盐胁迫对供试树种叶片脯氨酸(Pro)含量的影响 脯氨酸是植物为抵御不良环境,产生的一种渗透调节剂,脯氨酸的大量积累可以降低细胞水势,避免细胞脱水,有利于植物从外界高盐度环境中获得水分<sup>[6]</sup>。由表 5 可知,随着土壤盐分的升高,供试树种所受盐害不断加大,叶片中脯氨酸质量分数随胁迫强

度的增加,呈先升高后降低的趋势。由脯氨酸质量分数相对变化率可知,在土壤盐度由低度向中度上升的过程中,5 个树种脯氨酸积累速度明显加快。在 8‰

盐度条件下,脯氨酸含量均达到最大值。随土壤盐度继续增加,杜梨、国槐脯氨酸含量迅速下降,其他树种变化不大。

表 5 盐胁迫下 5 个树种脯氨酸(Pro)含量的变化

盐浓度/ ‰	刺槐		杜梨		国槐		绒毛白蜡		臭椿	
	脯氨酸 质量分数/ ( $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ )	相对 变化率								
CK	396.11±44.90	1.00	37.08±8.19	1.00	425.28±79.03	1.00	23.47±3.09	1.00	344.82±29.11	1.00
1.5	425.09±59.08	1.07	40.08±7.61	1.08	480.57±91.43	1.13	28.79±4.21	1.23	354.21±32.57	1.03
3.0	476.07±32.67	1.20	43.51±7.99	1.17	557.12±67.52	1.31	30.17±2.98	1.29	449.51±51.36	1.30
5.0	669.43±61.34	1.69	81.21±6.24	2.19	1050.44±201.33	2.47	56.80±4.05	2.42	665.50±43.29	1.93
8.0	914.76±53.40	2.31	133.89±18.01	3.60	1165.27±128.02	2.74	87.07±9.11	3.71	896.53±59.76	2.60
11.0	835.79±79.22	2.11	85.61±16.56	2.31	586.89±111.12	1.38	86.37±9.56	3.68	848.26±61.99	2.46

### 3.3 5 个树种耐盐性综合评价

采用隶属函数法对 5 个树种进行耐盐能力的综

合评价(表 6)。由表 6 可知,5 个树种的耐盐强弱顺序为:绒毛白蜡>臭椿>杜梨>刺槐>国槐。

表 6 5 个树种耐盐性指标隶属度评价

树种	出苗率	出苗指数	质膜透性	丙二醛含量	叶绿素含量	脯氨酸含量	平均值	位次
刺槐	0.333	0.292	0.564	0.434	0.399	0.774	0.466	4
杜梨	0.341	0.203	0.642	0.614	0.431	0.652	0.481	3
国槐	0.188	0.102	0.507	0.221	0.315	0.527	0.310	5
绒毛白蜡	0.896	0.979	0.709	0.777	0.537	0.798	0.783	1
臭椿	0.658	0.761	0.661	0.689	0.461	0.778	0.668	2

## 4 讨论

(1) 土壤盐度对种子萌发的影响。种子能否在盐胁迫下萌发成苗,是植物在盐碱条件下生长发育的前提,因此在盐胁迫下研究种子萌发状况具有重要的意义。低浓度盐分对种子萌发有促进作用。试验中 1.5‰的盐度条件下,绒毛白蜡的出苗率和出苗指数较对照组都有提高。随盐度的增加,种子细胞膜的结构和功能会遭到破坏,致使代谢紊乱,活力降低乃至失去萌发能力。不同种源臭椿种子在盐胁迫下发芽率、发芽势、发芽指数和活力指数均呈下降趋势<sup>[7]</sup>。种子是植物的主要繁殖材料,它在萌发与早期生长阶段的耐盐状况在一定程度上可以反映该植株的耐盐性,这有利于耐盐植物的早期筛选与评价<sup>[8-9]</sup>。试验中种子的出苗率和出苗指数对盐度的响应变化趋势在树种间表现各异。绒毛白蜡、臭椿种子在中高盐度条件下仍有较高的出苗率和活力指数。刺槐、杜梨、国槐表现则较差。

(2) 土壤盐度对植株叶片质膜透性和丙二醛(MDA)含量的影响。生物膜结构和功能的稳定性与植物的抗逆性密切相关<sup>[10]</sup>。高盐度胁迫下,细胞膜

透性增加,脂质过氧化作用加快,最终导致膜系统的破碎。质膜相对透性的大小是膜伤害的重要标志。MDA 是脂质过氧化的主要产物之一,其积累是活性氧毒害作用的表现<sup>[11]</sup>。试验表明,中低盐度胁迫下,5 个树种的质膜透性与丙二醛含量较低,细胞膜并未受到严重的伤害。随着土壤盐度的升高,盐胁迫对细胞质膜系统损害加剧,其中对刺槐、国槐损害程度较高。

(3) 土壤盐度对植株叶绿素含量的影响。盐胁迫引起类囊体膜成分的改变,叶绿素酶对叶绿素 b 的降解加剧,叶绿体趋于分解,使垛叠状态的类囊体膜的比例减小,减小了基粒结构的比例,导致光合能力的下降,从而影响生物量的积累。试验表明,低盐处理对绒毛白蜡、臭椿叶绿素的合成有促进作用,这与一些学者的研究结果相似<sup>[12-14]</sup>。随土壤盐度的升高,5 个树种叶绿素含量下降趋势显著,叶尖和叶缘变黄、叶片卷曲,盐害程度明显。

(4) 土壤盐度对植株叶片脯氨酸(Pro)含量的影响。植物在高盐度胁迫下会通过生理或代谢过程来适应细胞内的高盐环境。渗透调节是植物体最常见的方式之一。植物通过细胞内累积脯氨酸,来调节细

胞渗透势,维持膨压,保护和稳定大分子物质,从而起到抗渗透胁迫作用<sup>[15]</sup>。试验表明,盐胁迫下,5种植物体内的脯氨酸质量分数逐渐增加,维持细胞内环境的相对稳定,提高了植株的耐盐性。但5个树种进行渗透调节的能力和最大限度不同,当超过极值时,植物渗透调节适应盐害的功能逐渐降低。

## 5 结论

(1) 当土壤含盐量小于1.5‰,土壤盐度对绒毛白蜡种子的萌发有促进作用;随土壤盐度的增加,5种种子的萌发能力均受到显著影响,出苗率、出苗指数大幅降低。

(2) 土壤盐分含量对5个树种苗期生长有显著影响。当土壤含盐量高达5‰以上时,国槐叶片受盐害症状表现严重,其后从重到轻依次是杜梨、刺槐、臭椿、绒毛白蜡;5种植株叶片质膜透性、丙二醛含量随着盐胁迫程度增加显著上升;1.5‰以下盐度胁迫促进杜梨、绒毛白蜡、臭椿叶绿素的合成,但随着盐胁迫的加剧,5种植株的总叶绿素含量呈下降趋势;5个树种叶片中的脯氨酸含量随土壤盐度的增加呈先升高后降低的变化规律。

(3) 根据隶属函数法综合评价5个供试树种的耐盐性,其由强到弱的顺序为:绒毛白蜡>臭椿>杜梨>刺槐>国槐。

### [ 参 考 文 献 ]

- [1] 米文精,刘克东,赵勇刚,等.大同盆地盐碱地生态修复利用植物的初步选择[J].北京林业大学学报,2011,33(1):49-54.
- [2] 王潇,王圳,黄建庭,等.苏北盐碱地耐盐树种选择与土壤改良技术[J].江苏林业科技,2012,39(4):44-46.
- [3] 张川红,沈应柏,尹伟伦.盐胁迫对几种苗木生长及光合作用的影响[J].林业科技,2002,38(2):27-31.
- [4] 韩广轩,毛培利,刘苏静.盐分和母树大小对黑松海防林种子萌发和幼苗早期生长的影响[J].生态学杂志,2009,28(11):2171-2176.
- [5] 刘奕琳,万福绪,娄晓瑞.盐胁迫对10个墨西哥柏种源幼苗生理生化的影响[J].南京林业大学学报:自然科学版,2013,37(4):29-33.
- [6] 杨少辉,季静,王昱,等.盐胁迫对植物影响的研究进展[J].分子植物育种,2006,4(3):139-142.
- [7] 曹兵,宋丽华,魏婷婷.NaCl胁迫对3个臭椿种源种子萌发的影响[J].东北林业大学学报,2007,35(12):9-12.
- [8] Qiang Wei, Xiang Lien, Ma Lili. Effects of salt stress on seed germination and seedling physiological characteristics of *Glycyrrhiza inflata* Bat. [J]. Medicinal Plant, 2012,3(9):6-12.
- [9] 杨帆,丁菲,杜天真.盐胁迫下构树幼苗各器官中K<sup>+</sup>、Ca<sup>2+</sup>、Na<sup>+</sup>和Cl<sup>-</sup>含量分布及吸收特征[J].应用生态学报,2009,20(4):767-772.
- [10] 罗青红,寇云玲,史彦江,等.6种杂交榛对新疆盐碱土的生理适应性研究[J].西北植物学报,2013,33(9):1867-1873.
- [11] 刘昊华,虞毅,丁国栋,等.4种滨海造林树种耐盐性评价[J].东北林业大学学报,2011,39(7):8-12.
- [12] 武德,曹帮华,刘欣玲,等.盐碱胁迫对刺槐和绒毛白蜡叶片叶绿素含量的影响[J].西北林学院学报,2007,22(3):51-54.
- [13] 金雅琴,李冬林,丁雨龙,等.盐胁迫对乌桕幼苗光合特性及叶绿素含量的影响[J].南京林业大学学报:自然科学版,2011,35(1):29-33.
- [14] Xu Xinwen, Xu Hailiang, Wang Yanling. The effect of salt stress on the chlorophyll level of the main sand-binding plants in the shelterbelt along the Tarim Desert Highway[J]. Chinese Science Bulletin, 2008,53(11):109-111.
- [15] Bao Yajing, Ji Jing, Wang Di. Effects of salt stress on the contents of proline in different varieties of *Lonicera japonica* Thunb. [J]. Medicinal Plant, 2011,2(2):13-17.