

# 水盐胁迫对上海 4 个防护林树种生长和生理特性的影响

杨东<sup>1</sup>, 万福绪<sup>2</sup>, 李盟<sup>2</sup>

(1. 南京林业大学 材料科学与工程学院, 南京 210037; 2. 南京林业大学 森林资源与环境学院, 南京 210037)

**摘要:**通过盆栽试验研究了上海 4 个防护林树种受水盐胁迫后的生长和生理指标, 结果表明: 水盐胁迫下不同树种的苗高和地径生长、生物量积累有明显差异; 相对电导率、叶绿素、可溶性蛋白质、超氧化物歧化酶(SOD)和脯氨酸(Pro)含量随水盐胁迫水平和时间的增加呈现先增加后降低的趋势; 丙二醛(MDA)含量则处于不断增加状态, 但在处理水平和响应时间上树种间的差异较大。采用主成分分析法, 筛选出苗高、地径、生物量、质膜透性、脯氨酸含量 5 个形态和生理指标作为评价防护林树种耐水盐能力的主要指标; 根据主成分得分值, 4 个树种耐水盐胁迫能力大小顺序为乌桕>落羽杉>喜树>栾树。

**关键词:**水盐胁迫; 防护林; 生长; 生理特性; 评价

中图分类号: Q945.78

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2014)01-0254-07

## Effects of Water-Salt Stress on Growth and Physiological Index of 4 Protective Forest Tree Species in Shanghai

YANG Dong<sup>1</sup>, WAN Fu-xu<sup>2</sup>, LI Meng<sup>2</sup>

(1. College of Materials Science and Engineering, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China;

2. College of Forest Resources and Environment, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China)

**Abstract:** The pot experiments were conducted to investigate the changes of 4 shelterbelt tree species growth and physiological characteristics under water-salt stress. The results showed that during the whole growth period, the growth rate of seedling height and collar diameter, biomass accumulation were obviously different. With the stress level and testing time increase, relative penetrability, chlorophyll, soluble protein, SOD activity, and Pro content presented the trend of first increasing then decreasing, while MDA content was continuously increasing. But water-salt stress level and response time were significantly different among all the tree species. Through principal component analysis (PCA), seedling height, collar diameter, biomass, relative penetrability, Pro content were used as the main factors to select shelterbelt tree species. Based on this evaluation system, the tolerance ability under water-salt stress of tree species was in the order of *Sapium sebiferum* > *Taxodium distichum* > *Camptotheca acuminata* > *Koelreuteria paniculata*.

**Key words:** water-salt stress; protective forest; growth; physiological characteristics; evaluation

上海地处我国东部沿海地区, 是最具发展潜力的经济板块, 随着工业化进程的加快, 开发沿海资源是较好的选择。为防止台风给社会经济造成损失, 沿海地区种植了绵延上百公里的防护林带, 但海岸带土壤盐渍化程度高, 且常受暴潮侵袭, 使植物遭受盐碱和涝渍危害严重, 造成生长不良甚至不能成活, 选择适宜的树种资源对于海岸带生态环境建设十分关键。对植物耐水盐胁迫性能的研究表明, 水盐胁迫对植物的生长和生理代谢产生显著影响, 很多植物表现出离

子毒害, 营养亏缺和代谢受阻等, 同时由于植物耐水盐能力在分子及生理水平上的调控机制十分复杂, 不同树种受水盐胁迫后的响应也不尽相同<sup>[1-5]</sup>。

本研究采用盆栽试验方式, 选取上海地区常见的 4 个沿海防护林树种落羽杉(*Taxodium distichum*)、乌桕(*Sapium sebiferum*)、栾树(*Koelreuteria paniculata*)、喜树(*Camptotheca acuminata*)为试验材料, 通过研究水盐胁迫下树种生物量、叶片细胞质膜透性等生长和生理指标的变化, 探讨不同树种对水盐胁迫

的响应差异,评价比较防护林树种的耐水盐能力,为该  
区海岸带防护林树种选择提供理论依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 实验材料

试验所用落羽杉、乌柏、栾树、喜树为从江苏省句  
容市苗圃场购买的 2 a 实生幼苗。

### 1.2 试验设计

试验地点位于南京林业大学南大山温室,采用盆  
栽试验方式进行。为模拟上海海岸带树种所遭受的  
水盐胁迫,试验设置 1 个土壤盐分处理水平,3 个不  
同淹水处理,用于观察相同土壤盐分水平和不同淹水  
水平交叉处理下树种的生长状况。

2010 年 5 月,将苗木种植于塑料花盆(盆高 28  
cm、口径 25 cm、底径 22 cm)内,选用南京林业大学  
后山林地壤土作为盆栽基质,基质经干燥、粉碎、过  
筛,每盆装土 4 kg,生长正常后,选择长势一致的苗  
木,采用完全随机区组设计进行水盐胁迫处理。试验  
前几天对苗木进行控水,于 2010 年 8 月 13 日进行一  
次性盐(NaCl)胁迫处理,NaCl 质量分数(相对土壤  
干质量而言)为 0.4%(接近上海海岸带土壤含盐  
量);将花盆放在水槽里,水槽根据设计注水,淹水处  
理共设 3 个梯度:水面在土壤表面以下 10 cm,模拟  
地下水水位过高,为轻度淹水胁迫(t1);土壤含水量完  
全饱和,模拟自然状态下水渍危害(t2);土壤含水量  
过饱和,水面高于土面 2 cm 左右,模拟涝害(t3)。同  
时设置未受盐胁迫、土壤含水量为田间持水量的  
75%左右的正常养护管理水平,即对照(ck);每个水  
平按行随机放置 4 个树种,每个树种 10 株苗,3 次重  
复。水盐胁迫处理历时 50 d。

### 1.3 测定方法

从 2010 年 8 月 13 日至 10 月 2 日,每隔 10 d 观  
测苗木的生长状况,采集相同部位叶片测定生理指  
标。试验开始和结束时测定生物量,每个处理各树种  
随机选取 3 株,将苗木洗净,在 105℃ 下杀青 1 h,  
80℃ 烘干至恒量,分地上部分和地下部分分别称取干  
质量(精确到 0.01 g)。用 DDS-307 电导率仪测定叶  
片细胞膜的相对透性,叶绿素用比色法测定,丙二醛  
含量(MDA)用分光光度法测定,脯氨酸(Pro)含量用  
酸性茚三酮比色法测定,超氧化物歧化酶(SOD)活性  
用氮蓝四唑光还原法测定,可溶性蛋白含量用考马斯  
亮蓝法<sup>[6]</sup>测定。

### 1.4 数据处理

用 Excel 2003 整理数据和绘制图表,用 SPSS 软  
件进行数据分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 水盐胁迫对树种茎、叶的影响

试验显示,树种受到水盐胁迫后,茎、叶均表现出  
直观的受害症状,且随胁迫水平和时间的增加受害程  
度增大,不同树种产生响应的速率和受害程度不一。  
栾树受害症状最明显,试验初期茎基部就开始出现白  
斑,少部分枝叶出现干枯,试验第 20 d,绝大部分植株  
叶片枯黄、卷曲,少量枝条枯死,茎基部有大量白色物  
质聚集;试验结束时部分植株已完全死亡。另外 3 个  
树种表现较好,其中落羽杉少量植株枯萎,但有新叶  
不断长出;喜树试验后期叶片从边缘处开始发黑,没  
有光泽,生出大量不定根;乌柏试验过程少量叶子发  
黄、卷曲,新长出叶片与 ck 相比颜色暗淡,且叶片上  
出现了斑点。

### 2.2 水盐胁迫对树种苗高、地径的影响

表 1 列出了试验 4 个树种苗高、地径的生长情  
况。乌柏耐水盐胁迫能力较强,苗高、地径的生长表  
现优于其它 3 个树种;落羽杉苗高和地径生长增长明  
显,苗高生长在 t2 处理下达到最高,地径生长则在 t1  
处理下达到最高;栾树和喜树生长状况较差,各处理  
水平均低于 ck,苗高生长中栾树从 t2 处理开始生长  
速度下降很快,到 t3 处理时基本停止;喜树的地径增  
长率随处理水平的增加而降低,说明越来越高的水盐  
胁迫水平抑制了其地径增长。方差分析显示,苗高增  
长率的树种和处理间的差异不显著,地径增长率处理  
间差异达到极显著( $P < 0.01$ ),但树种间的差异不  
显著。

### 2.3 水盐胁迫对树种生物量的影响

生物量的大小综合反映了外界因子对林木生长  
的影响以及林木对外界环境的适应能力。从表 2 可  
以看出,乌柏各处理下生物量增长率分别比 ck 高出  
30.47%,65.75%和 17.03%,显示该程度的水盐胁迫  
水平反而能刺激生物量的增加;落羽杉、喜树、栾树  
3 个树种的生物量积累明显受到抑制,t2 处理下落羽  
杉生物量增长率只有 0.94%,t3 处理下生物量减少  
了 1.77%;喜树和栾树的生物量增长率随水盐胁迫  
水平和时间的增加而逐渐下降,t3 处理下喜树的生  
物量增长率只有 6.70%,栾树试验后期叶片脱水、枝  
条折断严重,试验结束时生物量减少了 6.57%。落  
羽杉、喜树和栾树 3 个树种地上部分生物量下降幅  
度远高于地下部分,可见树种各部位生长遭受的抑制  
程度不同,地上部分受到的抑制大于地下部分,而茎干  
和叶片是首先受到影响的部位,树种受胁迫后最先观

察到的是叶片发黄和枝条干枯, 试验后期叶片受损率更高, 如落羽杉出现大量针叶枯死, 直接导致了生物量增长率的大幅降低。方差分析显示, 生物量树种和处理间差异均未达到显著水平。

表 1 水盐胁迫下树种的苗高、地径生长情况

树种	处理	苗高			地径		
		0 d/cm	50 d/cm	增长率/%	0 d/mm	50 d/mm	增长率/%
落羽杉	ck	126.27±4.22	139.31±4.73	10.33	15.59±4.85	16.67±4.63	6.93
	t1	102.24±4.55	115.73±4.73	13.19	13.92±4.85	15.77±4.61	13.29
	t2	111.35±4.77	131.41±4.74	18.02	12.06±4.93	13.28±4.87	10.12
	t3	105.77±4.46	120.67±4.80	14.09	2.62±4.21	13.76±4.65	9.03
栾树	ck	99.42±4.25	114.59±4.70	15.26	10.50±3.50	12.94±3.75	23.24
	t1	96.43±4.72	110.50±4.20	14.59	10.83±4.93	13.54±4.75	25.02
	t2	99.61±4.94	109.81±4.75	10.24	11.66±3.89	14.96±4.26	28.30
	t3	89.89±3.59	94.65±3.69	5.30	10.01±3.95	11.00±4.14	9.89
乌桕	ck	78.60±4.77	89.62±3.48	14.02	10.70±4.41	12.87±4.90	20.28
	t1	91.27±4.58	107.2±4.93	17.45	11.56±3.82	15.05±4.75	30.19
	t2	103.65±4.41	119.2±4.55	15.00	10.83±4.39	16.11±4.46	48.75
	t3	87.61±4.52	98.14±3.23	12.02	9.10±3.80	12.24±4.85	34.51
喜树	ck	75.73±4.76	87.69±3.28	15.79	10.99±4.21	13.97±4.27	27.12
	t1	70.98±4.64	79.02±4.69	11.33	10.08±4.28	12.64±4.75	25.40
	t2	86.30±4.10	90.63±4.45	5.02	11.19±3.80	13.57±4.18	21.27
	t3	83.23±4.45	90.53±4.98	8.77	11.10±3.39	13.17±4.65	18.65

表 2 水盐胁迫前后苗木生物量(烘干重)

树种	处理	0 d		50 d		增长率/%
		总生物量/g	地上部分/g	地下部分/g	总生物量/g	
落羽杉	ck	18.12	20.40	4.86	25.26	39.40
	t1	18.12	13.80	6.13	19.93	9.99
	t2	18.12	13.28	5.01	18.29	0.94
	t3	18.12	11.97	5.83	17.80	-1.77
栾树	ck	19.48	19.03	10.43	29.46	51.23
	t1	19.48	15.41	9.62	25.03	28.49
	t2	19.48	16.54	7.16	22.70	16.53
	t3	19.48	12.53	5.67	18.20	-6.57
乌桕	ck	14.51	14.71	2.99	17.70	21.98
	t1	14.51	17.25	4.87	22.12	52.45
	t2	14.51	22.92	4.32	27.24	87.73
	t3	14.51	16.76	3.41	20.17	39.01
喜树	ck	13.89	16.09	3.81	19.90	43.27
	t1	13.89	13.56	3.36	16.92	21.81
	t2	13.89	12.61	3.15	15.76	13.46
	t3	13.89	12.08	2.74	14.82	6.70

## 2.4 水盐胁迫对树种生理指标的影响

2.4.1 质膜透性 树种受到水盐胁迫后, 相对电导率明显高于 ck, 且总体上随胁迫水平和时间增加呈现出增大的趋势, 显示树种细胞膜受到损害, 电解质出现外渗, 且随胁迫水平和时间的增加损害更趋严重。乌桕各处理下相对电导率均略高于 ck, 细胞膜损害较小; 落羽杉和喜树相对电导率都随着试验的进行而上升, 喜树 3 个处理下在第 35 d 时达到最大, 分别比 ck 高 24.50%, 46.02% 和 42.80%; 栾树受胁迫影响最严重, 各处理下的相对电导率增长速度较快, 试验结束时分别比 ck 高 61.71%, 78.72% 和

99.71%, 说明细胞膜损害最严重, 导致相对电导率居高不下(图 1)。

2.4.2 叶绿素含量 图 2 显示除针叶树种落羽杉的叶绿素含量下降较少外, 其它 3 个阔叶树种都呈现明显的下降趋势, 说明 4 个树种叶绿体都受到损害, 光合作用受到影响。乌桕 t3 处理下叶绿素含量下降速度较快; 落羽杉和喜树叶绿素含量初期出现增长, 随后显著下降, 试验中后期又出现了小幅增长; 栾树 t1、t2 处理下叶绿素含量下降趋势较平缓, t3 处理下急剧减少, 试验结束时含量几乎为零, 叶片全部枯黄萎蔫。

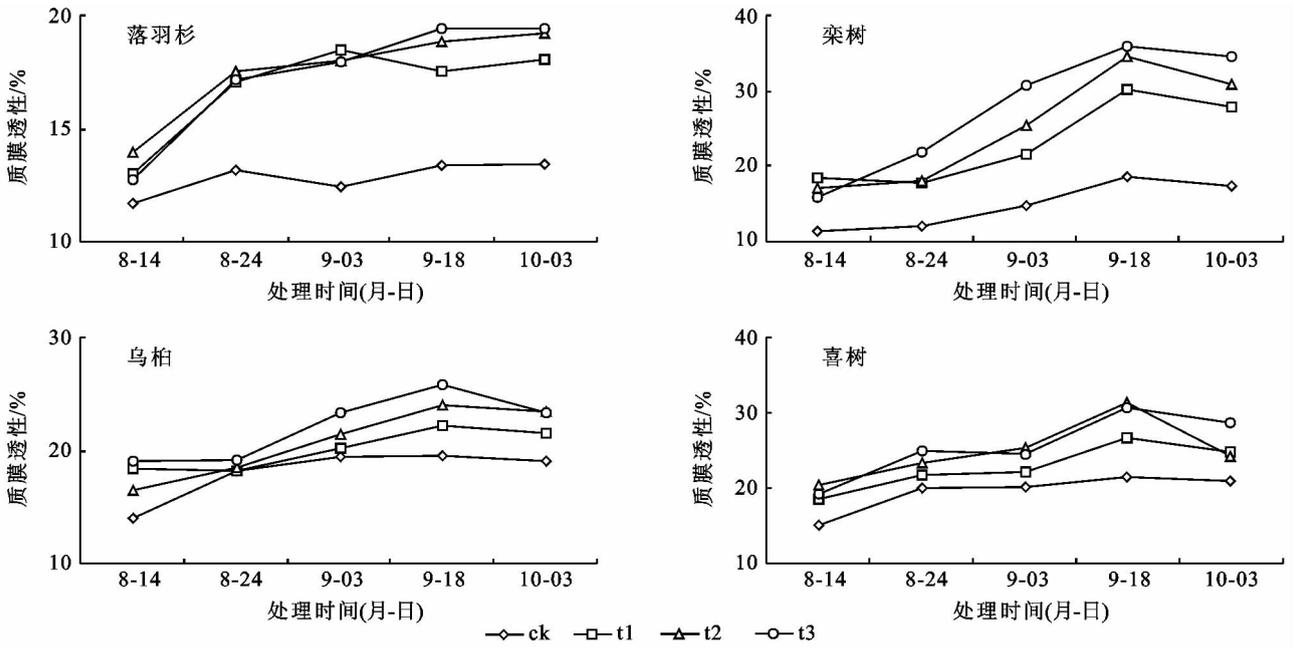


图 1 水盐胁迫下树种相对电导率的动态变化

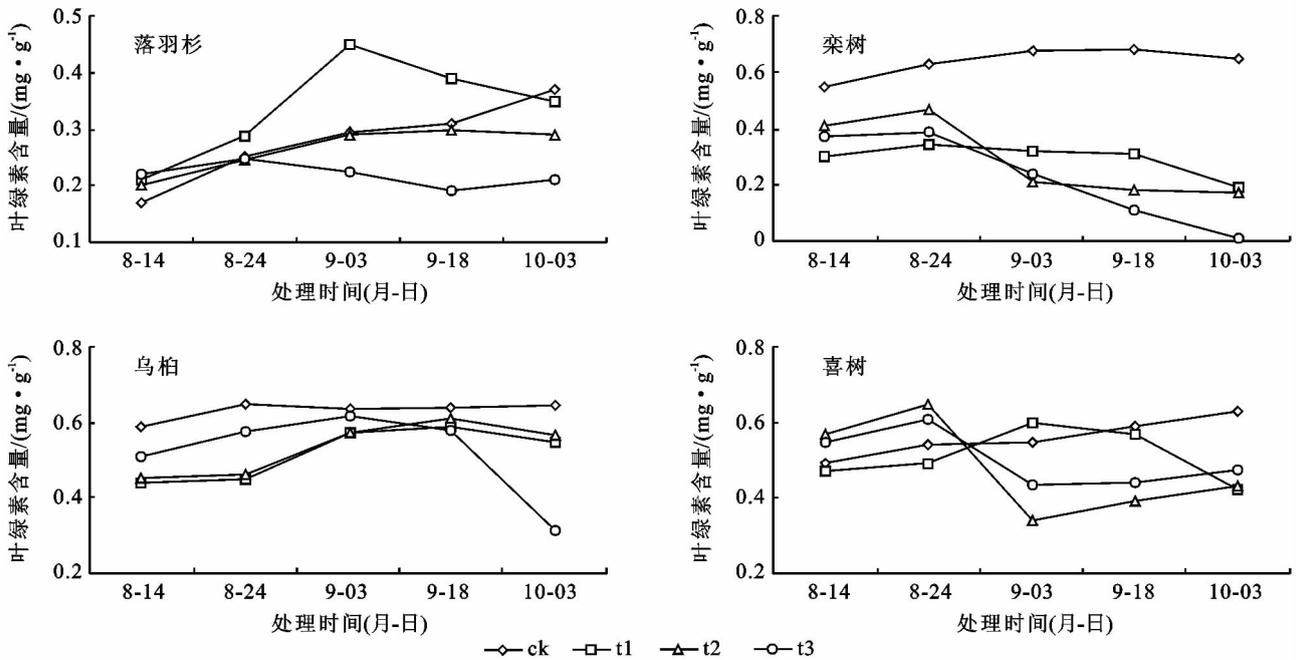


图 2 水盐胁迫下树种叶绿素含量的动态变化

2.4.3 可溶性蛋白含量 树种的可溶性蛋白含量变化表现出先增加后减少的趋势,除落羽杉比 ck 略高外,其它树种都有不同程度的降低,说明蛋白质合成受到干扰,可溶性蛋白含量下降。喜树可溶性蛋白含量均低于 ck,乌桕则差异不大。栎树 t1 处理下开始就出现下降,第 20 d 达到极小值,后期小幅升高;t2 处理下前期小幅波动,随后不断减少;t3 处理下降速度较快,试验结束时比 ck 低 44.93%(图 3)。

2.4.4 超氧化物歧化酶(SOD)活性 乌桕保持相对较高的 SOD 活性,且各处理下 SOD 活性差异较大;落羽杉 SOD 活性随着胁迫水平的增加而增大,但活性普

遍较低;喜树,栎树的 SOD 活性试验前期短暂上升,但随后则持续下降,特别是 t2、t3 处理 SOD 活性下降速度很快,显示 SOD 逐渐失去活性,且随着胁迫水平和时间的增加失活进程迅速加快,具体结果详见图 4。

2.4.5 丙二醛(MDA)含量 落羽杉、乌桕的 MDA 含量随胁迫水平和时间的增加而增大,含量仅略高于 ck;栎树、喜树的 MDA 含量远高于 ck 且差异明显,t3 处理下试验结束时 MDA 含量分别达到 ck 的 2.98 倍、2.14 倍;说明水盐胁迫使 4 个树种都产生了大小不一的膜脂过氧化,其中栎树、喜树膜脂过氧化情况较为严重(图 5)。

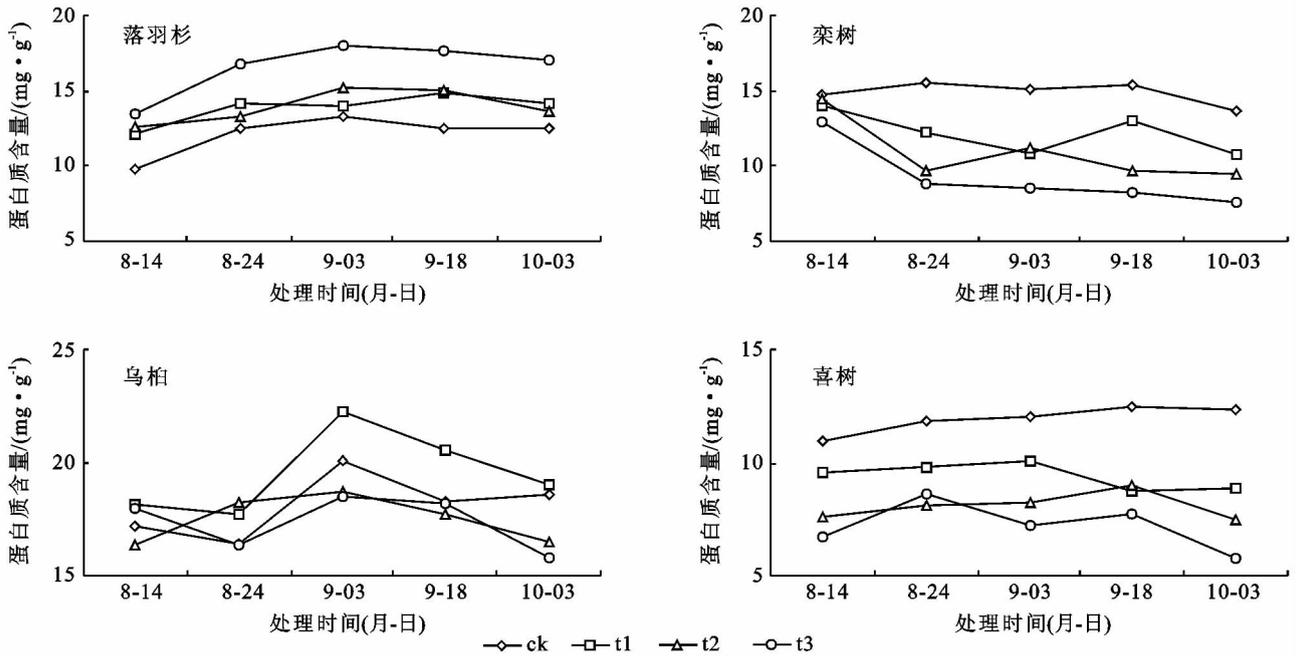


图 3 水盐胁迫下树种可溶性蛋白含量的动态变化

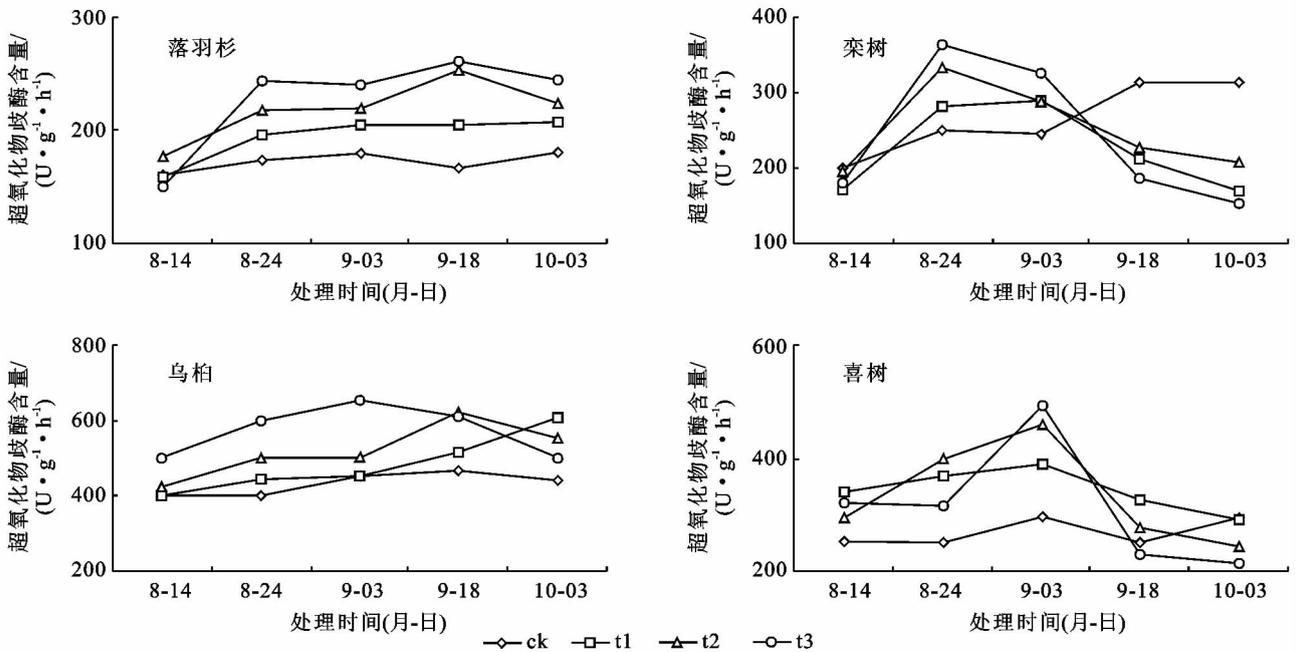


图 4 水盐胁迫下树种 SOD 活性的动态变化

2.4.6 游离脯氨酸(Pro)含量 落羽杉各处理水平下游离脯氨酸(Pro)含量都处于不断增长的状态,t1处理下增长较缓,t3处理下增长幅度较大;栾树、喜树、乌桕的 Pro 含量随胁迫水平和时间呈现先上升后下降的趋势,但栾树各处理间差异较大,喜树差异较小;乌桕 Pro 含量则一直保持较高水平,明显高于 ck (图 6)。

## 2.5 树种耐水盐能力的综合评价

树种的生长和生理指标具有很强的关联性,可以将二者综合起来评价树种的耐水盐能力。由于指标间信息有一定重叠,故用主成分分析法通过降维进行

数据简化。以  $Y_1$ 、 $Y_2$  分别表示前两个主成分,以  $X_1$  (质膜透性)、 $X_2$  (叶绿素)、 $X_3$  (可溶性蛋白)、 $X_4$  (SOD)、 $X_5$  (MDA)、 $X_6$  (Pro)、 $X_7$  (苗高)、 $X_8$  (地径)、 $X_9$  (生物量)建立线性组合函数,其表达式分别为:

$$Y_1 = -0.373X_1 - 0.714X_2 - 0.443X_3 + 0.520X_4 + 0.328X_5 + 0.953X_6 + 0.812X_7 + 0.969X_8 + 0.664X_9;$$

$$Y_2 = -0.661X_1 + 0.678X_2 + 0.845X_3 - 0.602X_4 - 0.915X_5 + 0.071X_6 + 0.582X_7 + 0.207X_8 + 0.729X_9。$$

由主成分分析因子载荷可以看出,苗高( $X_7$ )、地

径( $X_8$ )、生物量( $X_9$ )与两个主成分均为正相关,且载荷很大;质膜透性( $X_1$ )与两个主成分均为负相关,载

荷较大;游离脯氨酸含量( $X_6$ )对  $Y_1$  载荷很大,但对  $Y_2$  载荷很小;其它指标与两个因子的相关性不同。

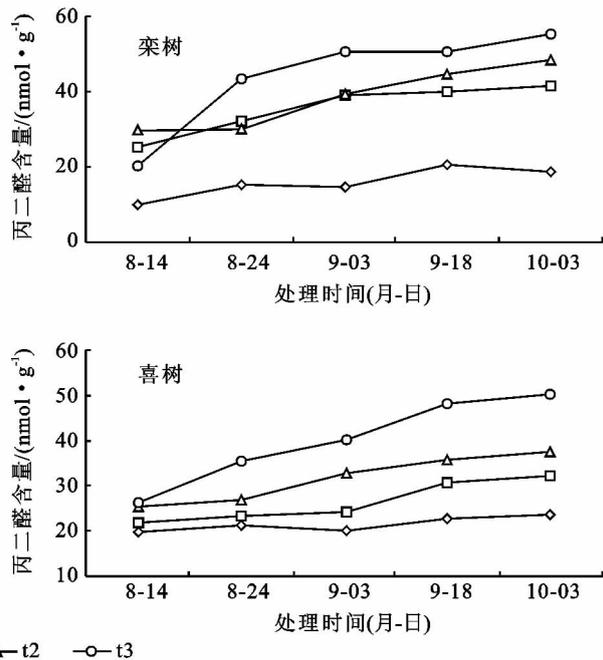
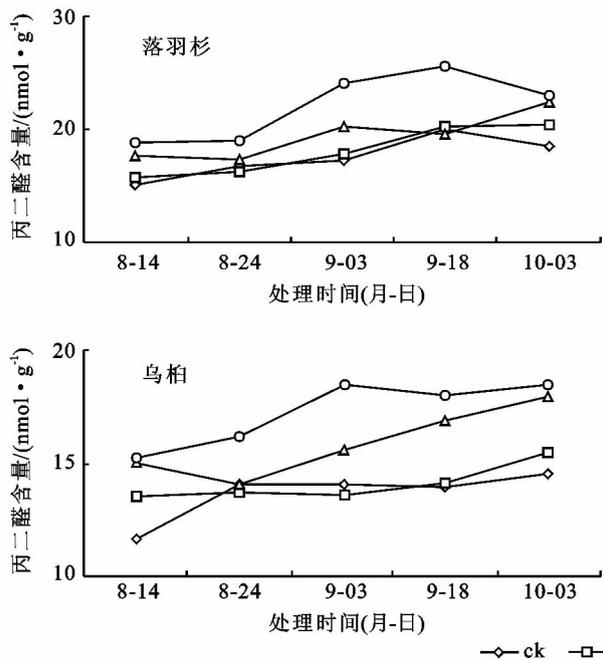


图 5 水盐胁迫下树种 MDA 含量的动态变化

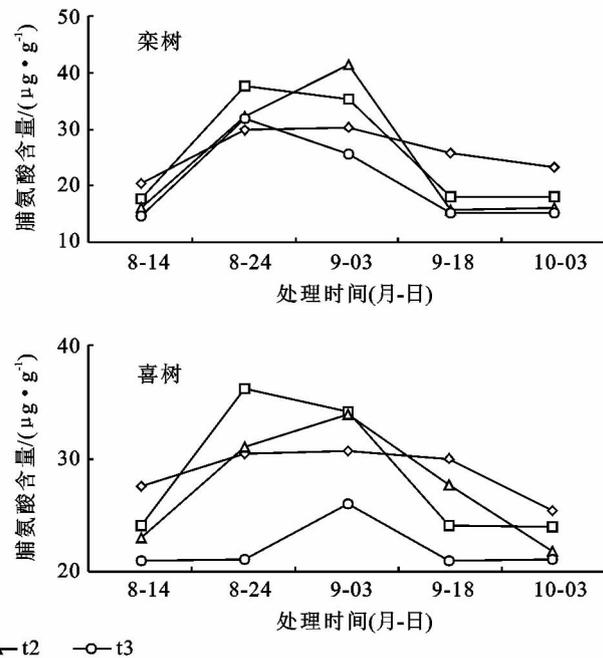
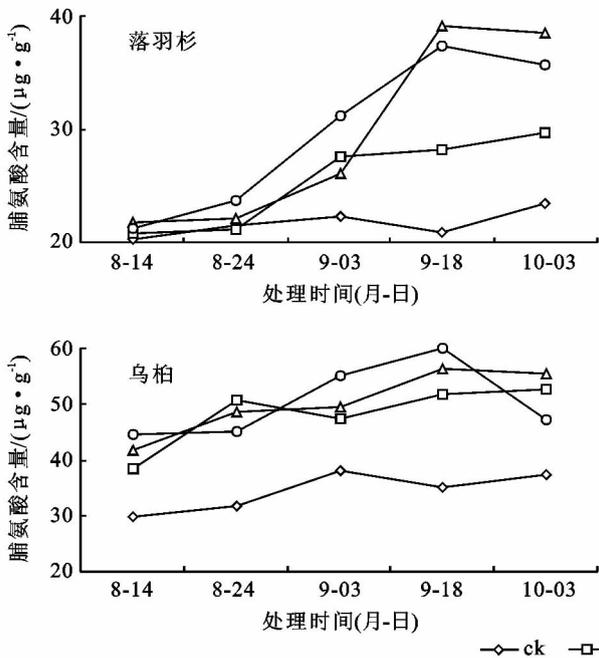


图 6 水盐胁迫下树种脯氨酸含量的动态变化

表 3 主成分特征值、贡献率及累积贡献率

主成份	初始特征值	贡献率/%	累积贡献率/%
$Y_1$	4.17	46.35	46.35
$Y_2$	3.73	41.43	87.78

分析后发现,落羽杉、栎树、乌柏、喜树 4 个树种的主成分得分值分别为 0.153, -0.278, 0.273, -0.156,由表 3 可以看出,前两个主成分的贡献率分别为 46.35% 和 41.43%,累计贡献率已达到

87.78%,基本保留所有主成分的信息,可以很好地概括这组数据的特征,由此可以得出树种耐水盐胁迫能力顺序为:乌柏>落羽杉>喜树>栎树。

### 3 结论与讨论

关于耐水盐树种的选育,孔东等<sup>[7]</sup>通过盆栽试验,研究了向日葵幼苗对水分、盐分胁迫的响应,发现盐分水平不同对向日葵种籽的萌发时间和出苗率影

响不同,含盐量达到0.8%时,向日葵种子不能萌发<sup>[8]</sup>。汪贵斌等<sup>[9]</sup>采用温室盆栽试验方法,研究了不同土壤水分下盐胁迫对1年生落羽杉实生苗的生长及营养吸收的影响,结果表明:土壤盐分胁迫下落羽杉幼苗的生长及对营养的吸收发生了显著的变化,落羽杉相对高生长、相对地径生长和生物量增量随着土壤盐分浓度的增加和土壤水分含量的减少而减少。

植物对Na<sup>+</sup>、K<sup>+</sup>的选择性吸收程度以及超氧化物歧化酶(SOD)、丙二醛(MDA)、脯氨酸(Pro)含量等生理指标均被认为和耐水盐能力有关<sup>[10-13]</sup>,因而不同研究选取的生理指标并不统一。而植物耐水盐性能是一种综合性状的表现,不同植物的耐盐方式和机理有所不同,其组织或细胞的生理代谢和生化变化也有差异,如何全面客观地评价树种的耐水盐能力,众多学者也进行了很多研究。张华新等<sup>[14]</sup>以11个树种实生幼苗为材料,用不同浓度的NaCl溶液进行浇灌处理,研究了盐胁迫下各树种的叶绿素、脯氨酸、可溶性糖含量及质膜透性等生理指标,并运用隶属函数法对其耐盐性进行综合评定,结果表明:日本丁香、银水牛角、榆桔和三裂叶漆的耐盐碱能力较强,豆梨、欧洲荚蒾、沃氏金链花及鹰爪豆具有中高度耐盐碱能力,金雀儿、甜桦和光叶漆稍差,具有中度耐盐性。孙海菁等<sup>[15]</sup>选取浙江慈溪、上虞等地广泛试种的弗栎、美国皂荚、蜡杨梅、美国悬铃木、洋白蜡和本土树种旱柳,采用水培方式研究树种盐胁迫后的生长和生理指标,筛选出苗高增长量、脯氨酸含量、超氧化物歧化酶活性、叶片盐害指数、生物量、相对电导率6个指标来评价树种的耐盐性。

本研究表明,水盐胁迫对参试树种生长和生理指标产生明显影响。乌桕的苗高和地径生长均优于ck,生物量明显增加;落羽杉、喜树、栾树3个树种随水盐胁迫水平和时间的增加,茎、叶生长状况逐渐变差,生物量积累受到明显抑制,生物量增长率明显低于ck,有的处理甚至出现负增长。4个树种的叶片叶绿素、可溶性蛋白质、超氧化物歧化酶(SOD)、脯氨酸(Pro)含量和相对电导率随水盐胁迫水平和时间的增加呈现先增长后下降的趋势,丙二醛(MDA)含量则一直处于不断增加状态,但在处理水平和响应时间上树种间的差异较大,说明树种都有一定的逆境生存适应能力,超出此承受范围将不能正常生长;水盐胁迫使4个树种均产生了膜脂过氧化,使得丙二醛(MDA)含量不断增加。本研究采用主成分分析法,通过降维的方法对树种生长和生理指标进行简化,筛选出苗高、地径、生物量、质膜透性、脯氨酸含量5个形态和生理指标,作为评价防护林树种耐水盐能力的

主要指标;根据主成分得分值,得到4个树种耐水盐胁迫能力大小顺序为:乌桕>落羽杉>喜树>栾树,与试验观测结果相符。

由于树种抗水盐胁迫的过程涉及到一系列的生理生化变化,本次试验选用同一盐度水平不同淹水处理的胁迫条件,难以反映出盐分浓度差异所带来的影响,下一步可开展不同浓度盐分和淹水水平的交叉胁迫来研究树种抗水盐胁迫的机理机制。

#### 参考文献:

- [1] 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.
- [2] 吴敏,薛立,李燕.植物盐胁迫适应机制研究进展[J].林业科学,2007,43(8):111-117.
- [3] 魏媛,喻理飞.西南喀斯特地区构树苗木对土壤干旱胁迫的生理响应[J].水土保持研究,2010,17(2):164-167.
- [4] 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.
- [5] 刘玉涛,董智,李红,等.不同隔盐措施对滨海盐碱地白蜡光合作用日变化的影响[J].水土保持研究,2011,18(3):126-130.
- [6] 郝建军.康宗利.于洋.植物生理学实验技术[M].北京:化学工业出版社,2007.
- [7] 孔东,史海滨,陈亚新,等.水盐胁迫对向日葵幼苗生长发育的影响[J].灌溉排水学报,2004,23(5):32-34.
- [8] 魏秀君,殷云龙,芦治国,等.NaCl胁迫对5种绿化植物幼苗生长和生理指标的影响及耐盐性综合评价[J].植物资源与环境学报,2011,20(2):35-42.
- [9] 汪贵斌,曹福亮.盐分和水分胁迫对落羽杉幼苗的生长量及营养元素含量的影响[J].林业科学,2004,40(6):56-62.
- [10] 马献发,张继舟,宋凤斌.植物耐盐的生理生态适应性研究进展[J].科技导报,2011,29(14):76-79.
- [11] Vicente O, Boscaiu M, Naranjo M A, et al. Responses to salt stress in the halophyte *Plantago crassifolia* (Plantaginaceae) [J]. Journal of Arid Environments, 2004, 58(4):463-481.
- [12] 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.
- [13] Parida A K, Mitra A B D B. Effects of salton growth, ion accumulation, photosynthesis and leaf anatomy of the mangrove, *Bruguiera parviflora* [J]. Trees, 2004, 18(2):167-174.
- [14] 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.
- [15] 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.