

文章编号: 1001-1498(2008)01-0091-05

# 木麻黄无性系水培苗抗盐性研究

张勇, 仲崇禄, 姜清彬, 陈羽, 陈珍

(1. 中国林业科学研究院热带林业研究所, 广东 广州 510520; 2. 海南省文昌林业研究所, 海南 文昌 571321)

**摘要:**利用木麻黄小枝能水培生根的特性,用不同浓度的盐溶液对9个无性系木麻黄的生根水培苗进行盐胁迫处理,测定木麻黄水培苗在盐胁迫下的一些生理生化指标的变化,比较不同木麻黄无性系的抗盐能力。结果表明:极显著影响木麻黄水培苗生根的临界盐浓度为 $5\sim 10\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ;主成分分析法确定的评价木麻黄水培苗抗盐的主要性状指标是游离脯氨酸含量、相对电导率(细胞膜透性)和POD活性;综合评价法筛选出3个抗盐性强的无性系是粤501、湛江01、闽7012。

**关键词:**木麻黄无性系;抗盐性;主成分分析;综合评价

中图分类号: S792.93 文献标识码: A

## Study on Salt-tolerance Ability in Rooted Cuttings of Different Casuarina Clones

ZHANG Yong, ZHONG Chong-lu, JIANG Qing-bin, CHEN Yu, CHEN Zhen

(Research Institute of Tropical Forestry, CAF, Guangzhou 510520, Guangdong, China)

**Abstract:** Based on the characteristic that branchlets of *Casuarina* is capable of forming roots by water culture, rooted cuttings of 9 *Casuarina* clones were immersed by various concentration of salt solutions for stress treatments, then 6 physiological or biochemical variables related to salt stress were measured, and salt-tolerance ability among different *Casuarina* clones were compared. The results showed that: The critical salt concentration that prevent rooted cuttings from rooting very significantly was  $5\text{—}10\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ . 3 variables, namely F<sub>pro</sub>, EC and POD activity were determined as main appraising indexes that evaluating salt-tolerance ability of *Casuarina* clones by principal component analysis. And 3 superior salt-tolerance *Casuarina* clones were selected by means of composite evaluation.

**Key words:** *Casuarina* clones; salt-tolerance ability; principal component analysis; composite evaluation

木麻黄科(Casuarinaceae)植物有96种、4属,分别是裸孔木麻黄属(*Gymnostoma* spp.)、异木麻黄属(*Allocasuarina* spp.)、木麻黄属(*Casuarina* spp.)和隐孔木麻黄属(*Ceuthostoma* spp.)<sup>[1]</sup>,该科植物常被统称为木麻黄,为常绿乔木或灌木,天然分布于澳大利亚、东南亚和太平洋群岛。木麻黄(*Casuarina equisetifolia* L.)现已广泛引种栽培于热带、亚热带地区,耐干旱、瘠薄,也耐潮湿,具有速生、抗风、固沙、耐盐、生物共生(内生和外生菌根菌)<sup>[2]</sup>和生物固氮(具有Frankia固氮菌)<sup>[3]</sup>等特点,被广泛应用于沿

海沙地和造林困难立地的固氮改土、防风固沙、盐碱地改良和建立农林复合系统,是我国南方贫瘠沿海沙地、严重退化山区丘陵地区的造林先锋树种。目前,中国木麻黄人工林种植面积已达30多万公顷,在华南沿海构成了一个“绿色长城”,庇护着6000多公里的海岸线,为我国重要生态林业工程之一。

沿海地区存在大量的低洼盐渍地,对植物生长形成盐胁迫。盐胁迫已成为沿海木麻黄生长和更新改造的重要限制因子之一<sup>[4]</sup>,通过研究木麻黄在盐胁迫下的生理生化特征的变化,探讨木麻黄的耐

收稿日期: 2006-11-01

基金项目: 十一五科技支撑项目专题“优质抗逆生态树种木麻黄新品种选育(2006BAD01A16)”,中国林业科学研究院热带林业研究所基本科研业务专项资金(2007-24)部分研究内容,广东省科技计划项目“木麻黄种质资源与选育(2004B20801008)”研究内容

作者简介: 张勇(1975—),男,广东阳江人,助理研究员,硕士。

盐机理,并从中筛选出一些适应沿海沙地耐盐性强的优良无性系,应用于木麻黄防护林的更新改造,具有重要的理论价值和实践意义。

### 1 材料与方 法

#### 1.1 试验材料

供试材料为广东省和福建省选育的 9 个木麻黄无性系水培苗,广东的无性系水培苗“湛江 01”和“粤 501”由湛江林科所提供;福建的无性系水培苗“闽 41”、“闽 73”、“惠安 1 号”、“闽 9013”、“闽 7012”、“闽 98”、“闽 2”由惠安赤湖林场提供。在采穗圃分别采 9 个无性系当年生嫩枝(长 10~15 cm,粗约 0.2 cm),用萘乙酸处理 24 h 后冲洗干净,在光照条件下用清水培养生根 7 d。试验前各无性系水培苗已水培长出 0~2 cm 的根。

#### 1.2 木麻黄水培苗盐胁迫处理方法

将已生根的 9 个无性系的木麻黄水培苗,在不同浓度的盐胁迫下水培。用海水盐场生产的粗海盐配制盐溶液,设 5 个浓度,分别是 0、1、5、10、15 g·kg<sup>-1</sup>。每无性系每浓度处理 30 株,每小区 30 株,3 次重复,每个无性系共需 450 根水培苗。在盐胁迫前,所有参试水培苗测量根长和数根数。试验在热林所玻璃温室内进行,温度 25~30℃,相对湿度为 75%~85%。各处理和重复每天更换相同浓度的新鲜海盐溶液,7 d 后对各生理生化指标进行测定。除根数和根长增长量外,其它指标只测定盐浓度 5 g·kg<sup>-1</sup>处理的生理生化指标。

#### 1.3 指标测定

1.3.1 各无性系不同处理水培苗根长和根数的测定 测量每个无性系所有参试水培苗盐胁迫后的根数和根长。

1.3.2 相对电导率的测定 各无性系取 5 g·kg<sup>-1</sup>盐处理的 10 株水培苗,先用自来水冲洗,再用去离子水冲洗,滤纸吸干水培苗表面的水分后,剪成 1 cm 长的小段,用电子天平称取 0.5 g 放入干净的有盖试管中,加入 10 cm 去离子水,室温下放置 15 h,振荡后用电导仪(DDS-307 型)在室温下测定溶液的电导率(R);之后再盖上瓶盖,在恒温水箱中沸水浴 30 min,将组织全部杀死,冷却至室温后在相同条件下测定各无性系各处理溶液的电导率(R<sub>1</sub>),以水培苗组织杀死前的电导率占杀死后电导率的百分数来表示相对电导率(EC): EC = R/R<sub>1</sub> × 100%。

1.3.3 丙二醛含量的测定 采用 TBA 法<sup>[5]</sup>。

1.3.4 可溶性蛋白的测定 采用考马斯亮兰 G-250 染色法<sup>[6]</sup>。

1.3.5 脯氨酸含量的测定 采用磺基水杨酸法<sup>[5]</sup>。

1.3.6 SOD 活性测定 采用 NBT 光化学还原法<sup>[5]</sup>,以能抑制反应 50% 的酶量为 1 个 SOD 酶单位,用 U 表示,SOD 活性表示为 1 个酶活性单位每克(U·g<sup>-1</sup>)。

1.3.7 POD 活性测定 采用愈创木酚法<sup>[5]</sup>,以每分钟内 OD<sub>470</sub> 变化 0.01 为 1 个过氧化物酶活性单位(u),过氧化物酶活性 = (OD<sub>470</sub> · V<sub>T</sub>) / (0.01W<sub>F</sub> · V<sub>S</sub> · t)<sup>-1</sup>,其中,OD<sub>470</sub> 表示反应时间内波长为 470 nm 吸光值的变化,V<sub>T</sub> 表示提取液总体积(mL),W<sub>F</sub> 表示木麻黄小枝鲜质量(g),V<sub>S</sub> 表示测定时取用酶液体积(mL),t 表示反应时间(min)。

#### 1.4 数据处理

采用 Microsoft Excel 2003 进行数据处理,采用 SAS 软件进行统计分析<sup>[7]</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 盐胁迫对木麻黄水培苗根数、根长增长的影响

木麻黄水培苗在盐胁迫处理前已长根,为消除初始根数和根长对盐胁迫处理后根数和根长增加量的影响,用协方差分析法分析盐胁迫对木麻黄水培苗根生长的影响。初始根数和根长为协变量,根数和根长增加量为目的变量。

表 1 协方差分析的线性回归方差分析

| 指标 | 变异来源  | 自由度 | 平方和     | 均方     | F 值     | Pr > F  |
|----|-------|-----|---------|--------|---------|---------|
| 根数 | 回归(X) | 1   | 41.161  | 41.161 | 22.42** | <0.0001 |
|    | 剩余    | 119 | 218.489 | 1.836  |         |         |
| 根长 | 回归(X) | 1   | 8.219   | 8.219  | 25.11** | <0.0001 |
|    | 剩余    | 119 | 38.944  | 0.327  |         |         |

注: \*\*表示 P=0.01 水平上有显著差异。

表 1 表明:根数和根长协变量与目的变量之间线性关系极显著,因此协方差分析是有效的。通过对木麻黄根生长的协方差分析(表 2)可知:在盐胁迫下,9 个无性系水培苗的根数和根长增加都有极显著差异,5 个盐浓度处理下木麻黄水培苗的根数和根长增加也有极显著差异。表 3 表明:各无性系在根数和根长平均增加上,“粤 501”最多,而“惠安 1 号”、“闽 9013”、“闽 98”都较少。Duncan 多重比较(表 3)表明:0、1、5 g·kg<sup>-1</sup> 盐浓度对木麻黄水培苗



的根数和根长增加都没有极显著影响,而盐浓度为  $10 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$  时极显著影响了木麻黄水培苗根数和根长的增加,因此,盐溶液极显著抑制木麻黄水培苗生长的临界浓度为  $5 \sim 10 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

表 2 盐胁迫对木麻黄水培苗根生长协方差分析

| 指标 | 变异来源 | 自由度 | 平方和     | 均方     | F 值     | $Pr > F$ |
|----|------|-----|---------|--------|---------|----------|
| 根数 | 无性系  | 8   | 183.764 | 22.971 | 12.51** | <0.0001  |
|    | 处理   | 4   | 96.282  | 24.070 | 13.11** | <0.0001  |
|    | 剩余   | 119 | 218.489 | 1.836  |         |          |
| 根长 | 无性系  | 8   | 17.800  | 2.225  | 6.80**  | <0.0001  |
|    | 处理   | 4   | 42.739  | 10.685 | 32.65** | <0.0001  |
|    | 剩余   | 119 | 38.944  | 0.327  |         |          |

表 3 用回归纠正后各无性系和各处理的根数和根长的平均增加值及 Duncan 多重比较

| 项目  |   | 根数     |                      | 根长      |                      |
|-----|---|--------|----------------------|---------|----------------------|
|     |   | 平均增加/条 | 多重比较<br>( $P=0.01$ ) | 平均增加/cm | 多重比较<br>( $P=0.01$ ) |
| 无性系 | 粤 501                                       | 4.76   | A                    | 1.81    | A                    |
|     | 湛江 01                                       | 2.66   | B                    | 1.28    | BC                   |
|     | 闽 7012                                      | 2.34   | B                    | 1.42    | ABC                  |
|     | 闽 73  | 2.08   | B                    | 0.78    | CD                   |
|     | 闽 41  | 2.03   | B                    | 1.58    | A                    |
|     | 闽 2   | 1.69   | BC                   | 1.43    | AB                   |
|     | 惠安 1号                                       | 1.31   | BC                   | 0.65    | DE                   |
|     | 闽 9013                                      | 1.16   | BC                   | 0.84    | CD                   |
|     | 闽 98  | 0.31   | CD                   | 0.90    | CD                   |
|     | 盐浓度/<br>( $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) | 0      | 2.75                 | A       | 1.77                 |
| 1   |   | 2.68   | AB                   | 1.65    | A                    |
| 5   |   | 2.52   | AB                   | 1.40    | A                    |
| 10  |   | 1.73   | B                    | 0.89    | B                    |
| 15  |   | 0.51   | C                    | 0.23    | C                    |

注:各无性系间或处理间没有相同字母表示有极显著差异。

## 2.2 木麻黄无性系水培苗抗盐测定指标的主成分分析

在盐胁迫 ( $5 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) 下,测定的 9 种木麻黄无性系生理生化指标平均值见表 4。由于 8 个生理生化指标的单位不同,无法进行直接比较分析,故对表 4 的数据进行标准化处理后进行主成分分析,得到主成分的特征值和贡献率(表 5)。

从表 5 可看出:前 2 个主成分的累积贡献率已达 87.74%,代表了全部信息量的 87.74%,已超过了 85%,故选取第 1 和第 2 两个主成分即可。根据输出的特征向量,得出第 1 和第 2 主成分方程:

$$Y_1 = 0.018X_1 + 0.007X_2 + 0.557X_3 + 0.055X_4 + 0.822X_5 + 0.0006X_6 - 0.105X_7 + 0.0133X_8$$

$$Y_2 = 0.005X_1 + 0.002X_2 - 0.114X_3 + 0.012X_4 - 0.562X_5 + 0.004X_6 - 0.809X_7 - 0.122X_8$$

其中,“Y”代表主成分, $X_1 \sim X_8$  代表表 4 中的 8 个测定指标,X 的系数是其特征向量,即各个指标的得分,特征向量的绝对值越大,说明该主成分受该指标的影响也就越大。

在第 1 主成分中, $X_5$  (脯氨酸含量)和  $X_3$  (相对电导率)的特征向量较大,说明第 1 主成分主要由这两个指标决定,可以认为它是植物逆境下渗透调节的因子;第 2 主成分中, $X_7$  (POD 活性)和  $X_5$  (脯氨酸含量)的特征向量较大,说明第 2 主成分中,POD 活性和脯氨酸含量 2 个指标对该主成分的影响最大。

由主成分分析得到,在盐胁迫处理下,游离脯氨酸含量、细胞膜透性(相对电导率)和 POD 活性可作为评价木麻黄水培苗耐盐的主要性状指标。

表 4 盐胁迫下 9 种木麻黄无性系生理生化指标的平均值

| 无性系    | RN / % | RL / % | EC / % | MDA / ( $\mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1}$ ) | Spro / ( $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ ) | SOD / ( $\text{U} \cdot \text{g}^{-1}$ ) | POD / ( $\text{u} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{g}^{-1}$ ) | Fpro / ( $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ ) |
|--------|--------|--------|--------|---|--|--|--|--|
| 粤 501  | 810.0  | 291.2  | 43.90  | 8.25  | 78.18  | 0.251                                    | 105.50   | 9.26                                       |
| 湛江 01  | 202.1  | 113.9  | 15.43  | 6.99  | 59.64  | 0.341                                    | 98.25  | 5.23                                       |
| 闽 7012 | 64.8   | 153.7  | 22.18  | 3.79  | 43.20  | 0.341                                    | 121.63   | 8.76                                       |
| 闽 73   | 827.9  | 1135.9 | 33.49  | 2.88  | 11.66  | 0.291                                    | 78.50  | 7.15                                       |
| 闽 41   | 70.1   | 1652.6 | 46.59  | 6.14  | 48.89  | 0.332                                    | 100.00   | 8.46                                       |
| 闽 2    | 17.1   | 258.9  | 30.37  | 2.24  | 54.73  | 0.098                                    | 55.25  | 15.15                                      |
| 惠安 1号  | 18.3   | 181.6  | 53.18  | 2.66  | 28.07  | 0.384                                    | 79.25  | 8.17                                       |
| 闽 9013 | 40.6   | 55.5   | 31.83  | 4.69  | 89.34  | 0.297                                    | 110.13   | 12.13                                      |
| 闽 98   | 129.2  | 1917.2 | 34.65  | 2.91  | 36.79  | 0.142                                    | 83.25  | 9.21                                       |

注:RN 表示处理前后根数增加率,RL 表示处理前后根长的增加率,EC 表示相对电导率,MDA 表示丙二醛含量,Spro 表示脯氨酸含量,Fpro 表示可溶性蛋白含量。

表 5 主成分特征值和贡献率

| 主成分 | 特征值        | 贡献率 /% | 累积贡献率 /% |
|-----|------------|--------|----------|
| 1   | 729.595758 | 63.90  | 63.90    |
| 2   | 272.154909 | 23.84  | 87.74    |

### 2.3 木麻黄无性系抗盐性的综合评价

以主成分分析确定的 3 个主导因子为木麻黄抗盐的评价指标,用隶属函数法<sup>[8]</sup>对 9 个木麻黄无性系进行综合评价。对每个木麻黄无性系各指标进行标准化转换,先采用下式求出极差标准化值:

$$\bar{X}_{ij} = (X_{ij} - X_{j\min}) / (X_{j\max} - X_{j\min}) \quad (1)$$

式(1)中: $X_{ij}$ 为*i*无性系*j*指标的测定值, $X_{j\min}$ 为各无性系*j*指标的最小值, $X_{j\max}$ 为各无性系*j*指标的最大值。

对于与木麻黄抗盐性呈负相关的性状,在对数据进行标准化处理后再用 $\bar{X}_{ij} = 1 - \bar{X}_{ij}$ 进行转化。

木麻黄各无性系各测定指标的极差标准值,分别由游离脯氨酸含量、相对电导率和 POD 活性 3 个方面指标各自进行累加,求其平均值。应用综合评价指数对木麻黄各无性系的抗盐性进行评定,评价指数  $F_i$  采用下式计算:

$$F_i = B_k A_{ik} \quad (2)$$

式(2)中: $A_{ik}$ 是*i*无性系*k*指标的平均值; $B_k$ 为权重值。

权重值的确定利用前 2 个主成分的贡献率,其中游离脯氨酸对主成分的影响最大,采用第 1 主成分的贡献率为权重值,相对电导率和 POD 活性采用第 2 主成分的贡献率作为权重值。对 3 个因子的权重值作归一化处理,得到游离脯氨酸的权重值是 0.573,相对电导率和 POD 活性的权重值都是 0.214。木麻黄各无性系 3 个测定指标经标准化转换后的平均值及综合评价指数见表 6。

把 9 个木麻黄无性系水培的抗盐性分为 4 个级别,即:好、较好、中等和差。由表 6 可知:“粤 501”、“湛江 01”、“闽 7012”的评价指数超过了 0.75,属于抗盐性好的无性系;“闽 9013”的评价指数超过 0.6,属于抗盐性较好的无性系;“闽 73”、“闽 41”、“闽 2”、“闽 98”的评价指数超过 0.3,属于抗盐性中等的无性系;“惠安 1号”的评价指数只有 0.123,属于抗盐性差的无性系。

表 6 木麻黄无性系抗盐性的综合评价

| 无性系    | 游离脯氨酸 | 相对电导率 | POD 活性 | 评价指数  | 抗盐排序 | 综合评价 |
|--------|-------|-------|--------|-------|------|------|
| 粤 501  | 0.746 | 0.856 | 0.757  | 0.773 | 2    | 好    |
| 湛江 01  | 1.000 | 0.618 | 0.648  | 0.844 | 1    | 好    |
| 闽 7012 | 0.821 | 0.406 | 1.000  | 0.771 | 3    | 好    |
| 闽 73   | 0.522 | 0.000 | 0.350  | 0.374 | 7    | 中等   |
| 闽 41   | 0.175 | 0.479 | 0.674  | 0.347 | 8    | 中等   |
| 闽 2    | 0.604 | 0.554 | 0.000  | 0.465 | 5    | 中等   |
| 惠安 1号  | 0.000 | 0.211 | 0.362  | 0.123 | 9    | 差    |
| 闽 9013 | 0.366 | 1.000 | 0.827  | 0.601 | 4    | 较好   |
| 闽 98   | 0.491 | 0.324 | 0.422  | 0.441 | 6    | 中等   |

## 3 结论与讨论

(1) 协方差分析表明(表 2):随着盐浓度的增加,木麻黄水培苗的根数和根长增加相应减少,这说明盐胁迫对木麻黄水培苗的光合作用和碳水化合物代谢等造成了影响。在某浓度盐胁迫下,木麻黄水培苗根仍能生长,说明在这个盐浓度下对木麻黄的生长还未造成显著的影响。在同一盐浓度下无性系的根生长越快,说明这个无性系受到的盐胁迫影响越轻。因此盐胁迫下木麻黄水培苗的生根能力是评价木麻黄无性系抗盐能力的一个有用的指标,但前提是必须消除不同无性系间生根能力的差异。本试

验中盐溶液极显著抑制木麻黄水培苗根生长的临界浓度为  $5 \sim 10 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。根据在相同盐浓度下的生根能力,初步筛选出较耐盐的无性系为“粤 501”、“湛江 01”、“闽 7012”。

(2) 在盐胁迫下,通过对 9 个木麻黄无性系水培苗 8 个生理生化指标的主成分分析表明,反映木麻黄水培苗抗盐性的主要因素有游离脯氨酸含量、相对电导率和 POD 活性。由主成分分析得到,在盐胁迫处理下,游离脯氨酸含量、细胞膜透性(相对电导率)和 POD 活性可作为评价木麻黄无性系水培苗耐盐能力的主要性状指标。游离脯氨酸含量和相对电导率反映的是木麻黄在高浓度盐离子造成的渗透胁迫

胁迫下的自我渗透调节能力,植物通过增加其游离脯氨酸的含量来降低其细胞内的渗透势,增大其吸水能力。已有的研究表明,抗盐植物利用脯氨酸来调节细胞渗透势之外,还能稳定细胞质中酶分子的构象,使其不受盐离子的直接伤害<sup>[9]</sup>;贺道耀等<sup>[10]</sup>发现水稻愈伤组织在 NaCl胁迫下细胞内脯氨酸含量远大于对照;沈银柱等<sup>[11]</sup>利用小麦成熟胚愈伤组织为材料进行类似研究也得出同样的结论。本试验表明,木麻黄水培苗在超过  $10 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$  浓度盐溶液下首先表现出失水萎蔫的现象,正是木麻黄水培苗在溶液低渗透势下吸水困难的表现;龚明<sup>[12]</sup>发现,盐分能增加细胞膜透性,加强脂质过氧化作用,最终膜系统破坏;植物能否维持其膜系统的稳定性,关键在其修复能力大小,而膜系统的修复能力与 POD、SOD、CAT等酶活性的升高是密切相关的。本试验中,木麻黄水培苗相对电导率高低是植物在盐胁迫下维持细胞质膜完整性的能力体现,它应该是木麻黄水培苗抵抗盐胁迫对其不利作用的一个综合表现。POD活性反映的是木麻黄细胞内对盐胁迫下产生的活性氧自由基、过氧化氢、过氧化物和羟基自由基等的清除能力,它对细胞膜的保护起重要作用。研究表明,植物的抗盐性是由位于不同染色体上的多基因控制的,是多种生理性状的综合表现<sup>[13]</sup>,但通过少数几个能较好反映木麻黄抗盐能力的主要因子的测定来初步选择抗盐品种或无性系可以减少劳动强度,节省时间和经费,在抗盐新品种选育中有较大意义。

(3)根据木麻黄水培苗能水培生根的特点,用不同无性系生根水培苗在盐溶液下继续水培来模拟木麻黄在盐渍生境中生长,这种盐胁迫方法比其它常规方法(如盆栽)可获得更好的一致性,有利于减少试验误差。通过综合评价,从 9 个木麻黄无性系

中筛选出“粤 501”、“湛江 01”、“闽 7012”这 3 个抗盐性较强的无性系,但这种方法筛选的抗盐木麻黄无性系的实际抗盐能力还有待在大田试验中进一步检验。

#### 参考文献:

- [1] Midgley S J, Turnbull, Johnston R D. Casuarina Ecology, Management and Utilization[M]. CSIRO, Canberra, 1983
- [2] 仲崇禄,弓明钦,林什全,等.接种菌根菌的木麻黄种源/家系苗的变异研究[J].林业科学研究,2003,16(5):588-594
- [3] 康丽华.人工接种弗兰克氏菌的木麻黄幼林施肥效应研究[J].林业科学研究,2000,13(3):274-279
- [4] 陈洪,叶功富,林金顺,等.模拟海风对木麻黄苗木生理生化特性影响的研究[J].防护林科技,2000(专刊):190-193
- [5] 郝再彬,苍晶,徐仲.植物生理学实验[M].哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,2004
- [6] 张志良,瞿伟菁.植物生理学实验指导第三版[M].北京:高等教育出版社,2002
- [7] 黄少伟,谢维辉.实用 SAS编程与林业试验数据分析[M].广州:华南理工大学出版社,2001
- [8] 王春珍,李荫藩.模糊隶属法在苜蓿抗旱性鉴定中的应用[J].干旱地区农业研究,1996,14(2):78-80
- [9] Rodriguez H G, Roberts J K M, Jordan W R, *et al*. Growth water relations and accumulation of organic and inorganic solutes in roots of maize seedlings during salt stress[J]. Plant physiol, 1997, 113: 881-893
- [10] 贺道耀,余叔文.水稻高脯氨酸愈伤组织变异体的选择及其耐盐性[J].植物生理学报,1995,22(5):255-259
- [11] 沈银柱,刘植义,张召铎,等.诱发小麦成熟胚愈伤组织及其再生植株抗盐性变异的研究[J].遗传学报,1993,20(3):253-261
- [12] 龚明.盐胁迫下大麦和小麦等叶片脂质氧化伤害与超微结构变化的关系[J].植物学报,1989,31(11):841-846
- [13] 利容千,王建波.植物逆境细胞及生理学[M].武汉:武汉大学出版社,2001