

灌木柳无性系苗期耐盐性指标的筛选和综合评价

隋德宗,王保松*,施士争,教忠意

(江苏省林业科学研究院,江苏 南京 211153)

摘要:选用 6 个灌木柳无性系,研究其耐盐性和有关耐盐性的评价指标。在苗期盐(NaCl)胁迫条件下,测定了苗高、根长、净光合速率、叶绿素含量、丙二醛含量等 10 项与耐盐性相关的生长和生理指标,采用主成分分析、隶属函数分析以及回归分析法进行耐盐性综合评价和指标筛选,结果表明,苗高、叶片相对含水量和蒸腾速率等 3 项指标可作为灌木柳无性系苗期耐盐性鉴定指标;根据综合评价值比较,6 个品种的耐盐性依次为 JW2345>JW2372>JW22-2>JW51-3>JW1065>JW2334;6 个品种的耐盐性预测值(VP)与综合评价值(D)呈极显著相关。

关键词:灌木柳;无性系;耐盐性;综合评价;鉴定指标

中图分类号:S793.9 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-7461(2011)01-0061-04

Selection of Identification Index and Comprehensive Evaluation of Salt Tolerance at Seeding Stage of Shrub Willow Clones

SUI De-zong, WANG Bao-song*, SHI Shi-zheng, JIAO Zhong-yi

(Jiangsu Academy of Forestry, Nanjing, Jiangsu 211153, China)

Abstract: Six clones of shrub willow at seeding stage were used to evaluate and select identification index of salt tolerance. Indices related to the seedling growth and physiology were measured under salt stree, including plant height, root length, net photosynthetic, chlorophyll and malondialdehyde contents. Principal component and subordinate function analyses were used in the selection and evaluation. The order of salt tolerance of 6 clones was JW2345>JW2372>JW22-2>JW51-3>JW1065>JW2334. Plant height, relative water content and transpiration could be used as salt-tolerance evaluation indices. A significant correlation between predictive value (VP) and D was also found.

Key words: shrub willow; clones; salt tolerance; comprehensive evaluation; identification index

我国有各种类型的盐渍土面积约 9 913 万 hm^2 ,其中滩涂盐土面积 267 万 hm^2 左右^[1]。研究表明,通过对遗传基础广泛的树种无性系进行耐盐筛选,利用优良无性系造林能有效改良盐碱土、绿化滩涂和改善沿海生态环境^[2]。柳树适应性广、抗逆性强,一些品种具有较强的耐盐性^[3]。江苏省林业科学研究院从 20 世纪 60 年代起开展系统的柳树栽培和育种工作,至今已保存优良无性系 2 000 多个。近年来,有关耐盐林木品种筛选的研究较多,但针对灌木柳无性系耐盐性综合评价和鉴定指标的研究尚

不多见。为了选育耐盐柳树新无性系,综合治理开发沿海低湿滩涂土地资源,特选用新近杂交培育的 6 个灌木柳无性系为试验材料,对其苗期耐盐性指标筛选和综合评价进行了系统的研究,为耐盐灌木柳品种的选育提供理论基础和科学依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

试验材料为江苏省林业科学研究院杂交培育的 6 个灌木柳杂种新无性系(表 1)。

收稿日期:2009-11-16 修回日期:2010-04-01

基金项目:“十一五”国家科技支撑项目“海洋渔业与滩涂高效开发关键技术研究及示范”课题“耐盐经济植物规模化栽培技术研究与开发”(2006BAD09A04)。

作者简介:隋德宗,男,硕士,主要从事柳树遗传育种方面的工作。Email:suidezong@163.com

*通讯作者:王保松,男,研究员,Email:baosong66@sohu.com

表 1 供试灌木柳无性系
Table 1 The shrub willow clones tested

无性系	母本	父本
JW22-2	杞柳(<i>Salix integra</i>)	棉花柳(银芽柳 <i>Salix Leucopithecia</i>)
JW51-3	二色柳(<i>S. alberti</i>)	棉花柳(<i>S. Leucopithecia</i>)
JW1065	JW8-26 (<i>S. suchowensis</i> × <i>S. integra</i>)	棉花柳(<i>S. Leucopithecia</i>)
JW2334	JW1053(<i>S. alberti</i> × <i>S. dasyclados</i>)	棉花柳(<i>S. Leucopithecia</i>)
JW2345	簸箕柳(<i>S. suchowensis</i>)	青刚柳(蒿柳 <i>S. viminalis</i>)
JW2372	二色柳(<i>S. alberti</i>)	棉花柳(银芽柳 <i>S. Leucopithecia</i>)

1.2 试验方法

2008 年 3 月 16 日开始采用营养液水培法,在江苏省林业科学研究院温室内进行。室内温度控制在 20~30℃,7 d 更换一次溶液。处理用 Hogland 全营养液加 NaCl 配成 $\rho=3\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 盐溶液^[4],对照(CK)为不加 NaCl 的全营养液。水培容器为 350 mL 的玻璃瓶。每瓶为一个处理,每处理内加 280 mL 溶液,水培两根插穗苗。各处理随机排列,重复 3 次。4 月 16 日开始进行相关指标测定。

1.3 指标测定

1.3.1 形态指标 测定苗高、根长,每处理 6 株取平均值;叶片相对含水量=叶片干重/叶片鲜重。
1.3.2 生理指标 丙二醛用硫代巴比妥酸比色法测定^[5];可溶性蛋白用考马斯亮蓝法测定^[5];质膜透性用相对电导率法测定^[5];叶绿素用丙酮、无水乙醇等量混合浸提法^[5];采用美国 Li-COR 公司生产的 Li-6400 光合系统测定净光合速率、气孔导度和蒸腾速率。

1.4 数据处理与统计分析

1.4.1 相对值=处理/对照×100%
1.4.2 隶属函数值 每一品种各综合指标的隶属

表 1 各单项指标的相对值
Table 1 Relative values of each index

无性系	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9	x_{10}
JW22-2	65.5	57.8	37.7	40.9	244.3	175.2	75.3	17.4	58.4	122.5
JW51-3	65.7	55.2	32.5	35.0	265.2	167.6	72.8	14.8	55.5	126.7
JW1065	45.6	36.2	3.0	24.8	278.1	195.8	58.4	12.7	43.1	128.3
JW2334	47.2	32.3	16.7	25.4	234.9	177.5	63.2	4.9	35.2	117.6
JW2345	58.3	70.5	93.5	46.1	232.5	170.7	77.1	60.7	57.8	125.6
JW2372	55.7	65.4	57.2	42.8	257.2	178.2	78.5	39.4	59.7	123.3

注: x_1 为根长; x_2 为苗高; x_3 为光合速率; x_4 叶绿素; x_5 为质膜透性; x_6 为丙二醛; x_7 为叶片相对含水量; x_8 为气孔导度; x_9 蒸腾速率; x_{10} 可溶性蛋白(下同)。

2.2 主成分分析

通过对盐胁迫下灌木柳无性系 10 个指标值进

函数值用公式(1)计算^[6]:

$$\mu(x_j)=\frac{x_j-x_{\min}}{x_{\max}-x_{\min}},j=1,2,\cdots,n。$$
 (1)

式(1)中 x_j 表示第 j 个综合指标; x_{\min} 、 x_{\max} 分别表示第 j 个综合指标的最小值与最大值。

1.4.3 权重 用公式(2)计算

$$W_j=\frac{p_j}{\sum_{j=1}^n p_j} \quad j=1,2,\cdots,n。$$
 (2)

式(2)中 W_j 表示第 j 个综合指标在所有综合指标中的重要程度; p_j 为各品种第 j 个综合指标的贡献率。

1.4.4 综合评价 用公式(6)计算 5 个品种的综合耐盐能力^[5]。

$$D=\sum_{j=1}^n [\mu(x_j)W_j],j=1,2,\cdots,n。$$
 (3)

式(3)中 D 值表示各无性系在盐胁迫条件下用综合指标评价所得的耐盐综合评价值。

1.4.5 统计分析 主成分分析、逐步回归分析用 DPS 统计软件进行。

2 结果与分析

2.1 各单项指标相对值及相关性分析

单项指标测定如表 1,在盐胁迫处理(NaCl 浓度=3 g·L⁻¹)下,除质膜透性、可溶性蛋白和丙二醛含量有所增加外(相对值百分数>100),其余各项指标均下降(相对值百分数<100)。各指标增加和下降程度有所不同,因此仅根据单一指标来评价灌木柳无性系的耐盐性具有一定片面性。指标间的相关系数矩阵(表 2)可知,所有指标之间都存在着或大或小的相关性,从而使它们提供的信息发生重叠^[7],各项指标在耐盐评价中所起的作用也不尽相同,因此直接利用这些指标很难对灌木柳无性系苗期耐盐性进行准确评价。

行主成分分析可知,前 3 个综合指标的累计贡献率为 95.3%,其余指标贡献率可忽略不计^[8]。这样把

原来相互独立的 10 个单项指标就转换为 3 个新的综合指标,代表了原来 10 个综合指标 95.3% 的信息。根据各综合指标的系数(表 3)和各单项指标的标准化值得每一品种的 3 个综合指标值(表 4)。

表 2 各指标相关系数矩阵

Table 2 Correlation matrix of each index

	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9	x_{10}
x_1	1.00									
x_2	0.69	1.00								
x_3	0.44	0.90**	1.00							
x_4	0.68	0.98**	0.91**	1.00						
x_5	-0.14	-0.27	-0.56	-0.40	1.00					
x_6	-0.76*	-0.59	-0.60	-0.61	0.57	1.00				
x_7	0.76*	0.94**	0.82*	0.96**	-0.39	-0.73	1.00			
x_8	0.23	0.84*	0.95**	0.82*	-0.36	-0.33	0.68	1.00		
x_9	0.80*	0.94**	0.70	0.91**	-0.02	-0.5	0.90**	0.64	1.00	
x_{10}	0.17	0.27	0.08	0.12	0.69	0.24	-0.01	0.27	0.38	1.00

注: * 表示 $p<0.05$ 的显著水平, ** 表示 $p<0.01$ 的显著水平。

表 3 各综合指标的系数及贡献率

Table 3 Coefficients of comprehensive indices and contribution proportion

指标	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9	x_{10}	贡献率 /%
$CI(1)$	0.743	0.979	0.916	0.984	-0.421	-0.723	0.967	0.801	0.896	0.123	0.641
$CI(2)$	0.097	0.174	-0.109	0.037	0.856	0.406	-0.054	0.108	0.364	0.936	0.838
$CI(3)$	-0.641	0.075	0.363	0.080	-0.194	0.417	-0.124	0.581	0.160	0.076	0.953

表 4 各品种综合指标值、权重、隶属函数值、D 值和预测值(VP)

Table 4 The value of comprehensive index, index weight, $\mu(x)$, D and VP of each clone

品种	$CI(1)$	$CI(2)$	$CI(3)$	$\mu(1)$	$\mu(2)$	$\mu(3)$	D	VP
JW22-2	2.715	-0.470	-1.066	0.702	0.488	0.194	0.596	0.597
JW51-3	1.331	1.112	-1.656	0.617	0.757	0.000	0.572	0.570
JW1065	-8.752	2.541	0.760	0.000	1.000	0.794	0.303	0.303
JW2334	-6.830	-3.336	0.097	0.118	0.000	0.576	0.149	0.149
JW2345	7.580	-0.370	1.388	1.000	0.505	1.000	0.897	0.897
JW2372	3.956	0.522	0.478	0.778	0.656	0.701	0.744	0.745
权重				0.672	0.207	0.121		

2.3 耐盐性的综合评价

2.3.1 隶属函数值 根据公式(1)可求出每一个灌木柳无性系所有综合指标的隶属函数值(表 4)。

2.3.2 权重的确定 根据综合指标贡献率(分别为 0.641,0.197,0.114)用公式(2)求出各指标的权重^[8]。经计算 3 个指标的权重分别为 0.672、0.207 和 0.121(表 4)。

2.3.3 综合评价 根据公式(3)计算 5 个灌木柳无性系的 D 值,根据 D 值大小确定的耐盐力排序为: JW2345>JW2372>JW22-2>JW51-3>JW1065>JW2334。

2.4 耐盐鉴定指标的筛选

把耐盐性综合评价值(D 值)作因变量,各单项指标相对值作自变量通过逐步回归分析建立的最优回归方程为 $D=(254+25.5x_2-13.9x_7-1.5x_9)\times 10^{-3}$ 。式中 x_2 代表苗高, x_7 代表叶片相对含水量, x_9 代表蒸腾速率。方程相关系数 R 接近 1,方程极

显著。由方程可知,在 10 个单项指标中,上述 3 个指标对灌木柳无性系耐盐性有显著影响,可作为鉴定耐盐性的评价指标。通过最优回归方程预测灌木柳无性系耐盐性,得到预测值 VP ,6 个材料的 VP 与 D 值极显著相关,相关系数 $R=0.999$,说明用此方程对材料的耐盐性进行预测,效果很好。

3 结论与讨论

植物的耐盐性是多因素控制的一种数量性状,是一个复杂的生理过程。由于对其遗传基础并不十分清楚,因此实践中只能借助于相关的形态或生理指标间接地度量不同品种之间的耐盐性差异^[9-10]。不同植物品种的耐盐机制不同,某一项指标在耐盐性中所起的作用也不尽相同,因此仅靠单一指标无法对植物品种的耐盐性进行准确的评价。采用综合指标方法进行评价能克服上述缺点,可全面、准确的评价植物的抗性,目前已在耐盐、抗旱、抗寒和抗热

研究中广泛应用,并取得了较好的效果^[11-15]。张耿等利用综合指标法对偃麦草属 10 份种质材料的耐盐性进行了评定,筛选出存活率等 6 项可用于耐盐鉴定的指标^[16]。王贺正等在水稻开花期用综合指标评定了 10 个水稻品种的抗旱性,并筛选出相对含水量等 4 项抗旱性鉴定指标^[17]。

本文利用主成分分析法对 6 个灌木柳无性系的 10 个形态和生理指标进行了分析,对无性系的综合指标值及相应的隶属函数值加权,得到耐盐性的综合评价值(D)。最后通过 D 值与各单项指标的逐步回归分析得出显著影响灌木柳无性系耐盐力的指标。本文根据评价值和预测值可将 6 个灌木柳无性系耐盐性分为 3 类,JW2345 和 JW2372 耐盐性最强($D\geq 0.70$),JW1065 和 JW2334 耐盐性最差($D< 0.50$),JW22-2 和 JW51-3 耐盐性居中($0.50\leq D< 0.70$)。田间实验林的观测结果也表明:在相同盐胁迫条件下,JW2345 和 JW2372 无性系生长明显优于其它 4 个无性系,JW1065 和 JW2334 无性系则较差,JW22-2 和 JW51-3 无性系居中,这表明用该方法评价灌木柳无性系的耐盐性是可行的。通过回归分析得出苗高、叶片相对含水量和蒸腾速率 3 个与灌木柳无性系耐盐性有关的指标,并建立了最优回归方程为 $D = (254 + 25.5x_2 - 13.9x_7 - 1.5x_9) \times 10^{-3}$ 。

植物在不同时期、不同环境下对盐胁迫的反应不同,耐盐性也不相同,因此本研究筛选出的指标是否适合于其他环境和生长发育阶段还有待于进一步研究和验证。

参考文献:

[1] 张士功,邱建军,张华. 我国盐渍土资源及其综合利用[J]. 中国农业资源与区划,2000,21(1):52-56.
ZHANG S G, QIU J J, ZHANG H. Salinized soil resources in China and their comprehensive harnessing[J]. Journal of China Agricultural Resources and Regional Planning, 2000,21(1): 52-56.

[2] 翟凤林,曹鸣庆. 植物的耐盐性及其改良[M]. 北京:农业出版社,1984.

[3] 涂忠虞. 柳树育种与栽培[M]. 南京:江苏科学技术出版社,1982:19-20.

[4] 潘瑞炽. 植物生理学[M]. 北京:高等教育出版社,2001:28-29.

[5] 李合生. 生理生化实验原理和技术[M]. 北京:高等教育出版社,2002.

[6] 谢志坚. 农业科学中的模糊数学方法[M]. 武汉:华中理工大学

出版社,1983:99-193.

[7] 郝黎仁,樊元,郝思哲. SPSS 使用统计分析[M]. 北京:中国水利水电出版社.

[8] 卢纹岱. SPSS FOR WINDOWS 统计分析[M]. 2 版,北京:电子工业出版社,2002.

[9] 顾兴友,郑少玲,严小龙,等. 盐浓度对水稻苗期耐盐指标变异度的影响[J]. 华南农业大学学报,1998,19(1):30-34.

[10] 教忠意,王保松,韩杰峰,等. 林木抗盐性研究进展[J]. 西北林学院学报,2008,23(5):60-64
JIAO Z Y, WANG B S, SHI S Z, *et al.* Advances in salt resistance of trees[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2008,23(5):60-64

[11] 苏国兴,洪法水. 桑品种耐盐性的隶属函数法之评价[J]. 江苏农业学报,2002,18(1):42-47.
SU G X, HONG F S. Evaluation of salt tolerance for partial mulberry varieties with subordinate function[J]. Jiangsu Journal of Agricultural Sciences, 2002,18(1):42-47.

[12] 王贞红,张文辉,何景峰. 瑞典能源柳无性系保护酶活性对水分胁迫的响应[J]. 西北林学院学报,2008,23(2):21-23.
WANG Z H, ZHANG W H, HE J F, *et al.* Water adaptation and responses of cell defense enzyme to young seedling of different clones of salix under the water stress[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2008,23(2):21-23.

[13] 何雪银,文仁来,吴翠荣. 模糊隶属函数法对玉米苗期抗旱性的分析[J]. 西南农业学报,2008,28(1):52-56.
HE X Y, WEN R L, WU C R. Analysis of maize drought resistance at seeding stage by fuzzy subordination method[J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2008, 28(1):52-56.

[14] 许桂芳,张朝阳,向佐湘. 利用隶属函数法对 4 种珍珠菜属植物的抗寒性综合评价[J]. 西北林学院学报,2009,24(3):24-26.
XU G F, ZHANG Z Y, XIANG Z X. Comprehensive evaluation of cold resistance on four lysimachia plants by subordinate function values analysis[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2009,24(3):24-26.

[15] 贾思振,房伟民,陈发棣,等. 夏菊耐热指标筛选和综合评价[J]. 浙江林学院学报,2009,26(1):52-57.
JIA S Z, FANG W M, CHEN F D, *et al.* Heat tolerance for summer blooming of Chrysanthemum[J]. Journal of Zhejiang Forestry College, 2009,26(1):52-57.

[16] 张耿,高洪文,王赞,等. 偃麦草属植物苗期耐盐性指标筛选及综合评价[J]. 草业学报,2007,16(4):55-61.
ZHANG G, GAO H W, WANG Z, *et al.* Studies on screening identification indexes of salt tolerance and comprehensive evaluation at seedling stage of *Elytrigia* [J]. 2007, 16(4):55-61.

[17] 王贺正,马均,李旭毅,等. 水稻开花期抗旱性鉴定指标的筛选[J]. 作物学报,2005,31(11):1485-489.
WANG H Z, MA J, LI X Y, *et al.* Screening identification indexes of drought resistance at flowering stage in rice[J]. Acta Agronomica Sinica, 2005,31(11):1485-1489.