

## 荒漠河岸林 2 种典型植物的耐盐性比较

綦艳林<sup>1</sup>, 朱雅娟<sup>1</sup>, 贾志清<sup>1\*</sup>, 史军辉<sup>2</sup>

(1. 中国林业科学研究院荒漠化研究所, 北京 100091;  
2. 新疆林业科学院, 新疆 乌鲁木齐 830000)

**摘要:** 在新疆尉犁县的天然荒漠河岸林里, 选择了 3 个土壤盐度不同的样地, 测定了胡杨和柽柳叶片的脯氨酸含量、 $K^+/Na^+$ 、氯离子( $Cl^-$ )含量、超氧化物歧化酶(SOD)活性和丙二醛(MDA)含量等 5 个生理指标, 并利用模糊数学隶属函数法对二者的耐盐性进行了综合评价。结果表明: 随着土壤盐胁迫的增强, 胡杨叶片的脯氨酸含量总体上呈增加趋势;  $K^+/Na^+$  变化不明显,  $Cl^-$  含量和 SOD 活性则先增加后减少, MDA 含量则呈减少趋势; 而柽柳叶片的脯氨酸含量、 $K^+/Na^+$ 、SOD 活性与 MDA 含量呈增加趋势,  $Cl^-$  含量逐渐减少。在 3 个样地中胡杨叶片的脯氨酸含量均显著高于柽柳( $p < 0.05$ ), 其中, 样地 1 胡杨和柽柳叶片的脯氨酸含量的平均值分别为  $902.70, 732.99 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ 。在土壤  $0 \sim 10 \text{ cm}$  盐度较高的样地 1 和样地 2 中, 柽柳叶片的  $K^+/Na^+$  和 MDA 含量显著高于胡杨( $p < 0.05$ ); 其中, 样地 1 胡杨和柽柳的  $K^+/Na^+$  分别为  $0.060, 0.095$ , MDA 含量分别为  $8.23, 13.96 \mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1}$ 。在样地 1 和样地 2 中, 胡杨的叶片  $Cl^-$  含量显著高于柽柳( $p < 0.05$ ); 其中, 样地 2 的胡杨和柽柳的  $Cl^-$  含量最高, 分别为  $2.59, 1.49 \mu\text{g} \cdot \text{mg}^{-1}$ 。在样地 1 中, 柽柳的 SOD 活性( $0.43 \text{ U} \cdot \text{mg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ )显著高于胡杨( $0.37 \text{ U} \cdot \text{mg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ )( $p < 0.05$ )。模糊数学隶属函数分析得出的初步结论是胡杨的耐盐性高于柽柳。二者的耐盐机理不同: 在土壤盐度较高的条件下, 胡杨主要通过增加叶片脯氨酸含量和降低叶片  $Cl^-$  含量耐盐, 而柽柳则主要通过增加叶片脯氨酸含量, 提高叶片的  $K^+/Na^+$ , 增强 SOD 活性耐盐。

**关键词:** 胡杨; 柽柳; 耐盐性; 生理指标; 隶属函数

中图分类号: S723.6

文献标识码: A

## Salt Tolerance Comparison of Two Typical Plants in Desert Riparian Forest

QI Yan-lin<sup>1</sup>, ZHU Ya-juan<sup>1</sup>, JIA Zhi-qing<sup>1</sup>, SHI Jun-hui<sup>2</sup>

(1. Institute of Desertification Studies, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China;  
2. Forestry Academy of Xinjiang, Urumqi 830000, Xinjiang, China)

**Abstract:** Five physiological indexes (leaf proline content,  $K^+/Na^+$ ,  $Cl^-$  content, SOD activity, and MDA content) were chosen to evaluate the comprehensive salt tolerance of *Populus euphratica* and *Tamarix* spp. in natural riparian forest by subordinate function in Yuli County. With the increase of soil salinity, the leaf proline content of *P. euphratica* increased, its  $K^+/Na^+$  did not change, the  $Cl^-$  content and SOD activity increased then decreased, MDA content decreased. However, the leaf proline content,  $K^+/Na^+$ , SOD activity and MDA content of *Tamarix* spp. increased and its  $Cl^-$  content decreased. The leaf proline content of *P. euphratica* was significantly higher than *Tamarix* spp. in three plots ( $p < 0.05$ ). In plot 1 with the highest soil salt content, the leaf proline contents of *P. euphratica* and *Tamarix* spp. were  $902.70$  and  $732.99 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ . The leaf  $K^+/Na^+$  and MDA content of *Tamarix* spp. were significantly higher than that of *P. euphratica*

收稿日期: 2010-09-19

基金项目: 国家“十一五”林业科技支撑计划专题“防沙治沙植物材料筛选与扩繁技术”(2006BAD26B0101); 国家“十一五”林业科技支撑计划课题“新疆活化沙丘的固定与绿洲防风固沙体系构建技术研究及试验示范”(2006BAD26B09); 中国林业科学研究院林业研究所重点项目“优良沙生植物抗逆性及其栽培技术试验研究”(ZD200908)

作者简介: 綦艳林(1983—), 女, 硕士, 主要研究方向为退化土地的植被恢复与重建. E-mail: ylqi-001@163.com

\* 通讯作者: 女, 研究员, 博士生导师, 主要研究方向是荒漠化防治. E-mail: jiazq@caf.ac.cn

in plots 1 and 2 with higher soil salt content in 0–10 cm depth ( $p < 0.05$ ). In plot 1, the leaf  $K^+/Na^+$  of *P. euphratica* and *Tamarix* spp. were 0.060 and 0.095 and the leaf MDA content of *P. euphratica* and *Tamarix* spp. were 8.23 and 13.96  $\mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1}$ . The leaf  $\text{Cl}^-$  content of *P. euphratica* was significantly higher than that of *Tamarix* spp. in plot 1 and 2 ( $p < 0.05$ ). The leaf  $\text{Cl}^-$  content of *P. euphratica* and *Tamarix* spp. were 2.59 and 1.49  $\mu\text{g} \cdot \text{mg}^{-1}$  in plot 2. The leaf SOD activity of *Tamarix* spp. ( $0.43 \text{ U} \cdot \text{mg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ) was significantly higher than that of *P. euphratica* ( $0.37 \text{ U} \cdot \text{mg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ) in plots 1 ( $p < 0.05$ ). The preliminary conclusion is that the salt tolerance of *P. euphratica* is higher than that of *Tamarix* spp., according to the results of subordinate function. The salt tolerance mechanism is different in two plants: *P. euphratica* tolerates salt by increasing leaf proline and decreasing leaf  $\text{Cl}^-$  content, whereas *Tamarix* spp. tolerates salt by increasing leaf proline content, improving leaf  $K^+/Na^+$  and enhancing SOD activity under higher soil salinity condition.

**Key words:** *Populus euphratica*; *Tamarix* spp.; salt tolerance; physiological indexes; subordinate function

我国有盐碱地 2 700 万  $\text{hm}^2$ , 约占全国土地面积的 1/4<sup>[1]</sup>。新疆是中国的荒漠化大区, 也是中国最大的盐土区, 其地处内陆封闭环境, 丰富的盐物质在区内循环, 土壤残余积盐和现代积盐过程都十分强烈, 土壤灌溉又导致次生盐渍化的迅速发展。新疆的盐碱地面积达 1 100 万  $\text{hm}^2$ , 约占全国盐碱地面积的 1/3 和新疆土地面积的 6.6%, 现有耕地 1/3 次生盐渍化, 成为农业低产的主要因素之一。由于盐碱土面积大、种类多, 新疆也被一些外国学者称为“世界盐碱土博物馆”<sup>[2]</sup>。

胡杨 (*Populus euphratica* Oliv.) 是新疆荒漠河岸林的优势乔木<sup>[3]</sup>。近年来, 胡杨特有的耐盐性引起了人们的广泛关注, 其研究主要集中在胡杨悬浮细胞或植株对盐胁迫的生理响应及从分子生物学角度探讨其耐盐机制等<sup>[4]</sup>, 如对不同离子的耐盐能力的检测, 离子在不同的组织、器官及细胞内的分布研究, 一些渗透物质、可溶性蛋白的含量、信号转导和盐胁迫下某些激素水平的测定、形态学上对盐胁迫的适应以及部分盐相关基因或 EST 序列的克隆, 而对野外大田试验条件下胡杨的耐盐机制或者生理生化反应研究较少。怪柳 (*Tamarix* spp.) 是新疆荒漠林的一种优势灌木<sup>[3]</sup>, 近些年对其的研究主要集中在抗盐机制 (尤其是泌盐机制)、盐腺的结构和功能、盐胁迫下形态、生理等方面的反应和不同部位 (根、茎、叶) 的离子 (钠离子 ( $\text{Na}^+$ )、钾离子 ( $\text{K}^+$ )、钙离子 ( $\text{Ca}^{2+}$ ) 等) 分布特征<sup>[5]</sup>、对盐渍土的改良效果等, 但是关于其遭受盐胁迫时生理指标响应的试验大部分是在苗期或者只是针对扦插苗, 而且更多的是在室内进行盆栽实验, 其试验环境因素与野外条件不同甚至差别很大, 受多种人为因素的影响, 导致试验结果与实际结果有所差别。本文即是通过测定野外天然胡杨

和怪柳混合林中这两种植物的一些生理指标, 评价了各自的耐盐性, 比较了二者的耐盐性大小, 并初步判断了二者的部分耐盐机理, 为进一步综合全面的评价二者的耐盐性、研究二者各自不同的耐盐机制提供理论依据。

## 1 研究区概况

试验地位于尉犁县天然胡杨林, 分布在塔里木河两岸, 是新疆塔里木胡杨国家级自然保护区的一部分。保护区东西长 109.7 km, 南北宽 47.1 km, 总面积 39.54 万  $\text{hm}^2$ , 林地面积 18.1 万  $\text{hm}^2$ , 是面积最大的一片原始胡杨林, 面积占全国胡杨林总面积的 24.32%, 其中, 尉犁县境内的胡杨林总面积为 7.8 万  $\text{hm}^2$ 。尉犁县地理坐标为  $40^\circ 10' 30'' \sim 41^\circ 39' 47'' \text{N}$ ,  $84^\circ 02' 50'' \sim 89^\circ 58' 50'' \text{E}$ 。该县属于典型的暖温带大陆性干旱荒漠气候, 年平均气温  $10.5 \text{ }^\circ\text{C}$ ; 年平均降水量为 50.7 mm, 年均潜在蒸发量为 2 730.3 mm。主风向为东北向, 年平均风速  $2.3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ , 最大风速可达  $24 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  (10 级)。境内主要植物种类有: 胡杨、灰胡杨 (*P. pruinosa* Schrenk.)、怪柳、胀果甘草 (*Glycyrrhiza inflata* Bat.)、罗布麻 (*Apocynum venetum* Linn.) 等<sup>[3]</sup>。试验地所在的胡杨林中, 优势种是胡杨和怪柳, 胡杨高度为 4~7 m, 怪柳高度为 2~3 m, 群落总盖度为 25%~40%。伴生种主要有多年生植物芦苇 (*Phragmites australis* (Cav.) ex Steud.)、甘草 (*Glycyrrhiza uralensis* Fisch.) 和骆驼刺 (*Alhagi sparsifolia* Shap.)<sup>[6]</sup>。

## 2 材料与方法

### 2.1 研究材料与采样方法

2008 年 8 月 25 日, 在胡杨林中选择了 3 个土壤盐度不同的胡杨和怪柳生长较好的样地, 面积为

200 m × 200 m。在每个样地内选择3个样方(10 m × 10 m),样方间距大于50 m。胡杨和怪柳的平均高度,群落盖度和伴生种见表1。

在每个样地的3个样方中,分别挖1个土壤剖面,取土壤样品的深度分别为0~5、5~10、10~30、30~60、60~100 cm。每个土层各取1个土壤样品(100 g),每个样地各取3个样品作为重复。部

分土壤(40 g)用铝盒带回,测量土壤湿质量(g),在105 °C下干燥12 h,测量土壤干质量(g)。土壤含水量( $g \cdot kg^{-1}$ ) = (土壤湿质量 - 土壤干质量)/(土壤干质量)。部分土壤(60 g)用塑料自封袋带回,用残渣烘干法测量土壤含盐量( $g \cdot kg^{-1}$ )<sup>[7]</sup>。土壤含水量和含盐量的测定在尉犁县土壤肥料工作站的实验室完成。

表1 胡杨林中3个样地的概况

样地编号	样地位置	胡杨平均高/m	怪柳平均高/m	平均盖度/%	土壤结皮	伴生种
1	40°00'47"N, 85°34'30"E	5.4 ± 0.09	2.2 ± 0.06	25 ± 0.81	厚3~5 mm 盖度75%	甘草,骆驼刺
2	41°00'52"N, 85°33'31"E	6.2 ± 0.11	2.9 ± 0.08	32 ± 0.09	厚1~2 mm 盖度20%	芦苇,甘草,骆驼刺
3	41°00'26"N, 85°33'35.5"E	4.5 ± 0.09	2.9 ± 0.06	36 ± 1.01	没有土壤结皮	芦苇

分别选择胡杨和怪柳中部的向阳叶片进行采样,在一个样方内的植物上各采集100 g叶片作为一份样品,每个样地各取3份样品作为重复。测定SOD(超氧化物歧化酶)活性和MDA(丙二醛)含量的叶片(20 g)立即放入液氮罐冷冻保存;测定其他指标的叶片(80 g)放入信封,采样完毕立即做杀青处理(105 °C下干燥30 min),然后在75 °C下干燥24 h。

## 2.2 测定指标及方法

叶片脯氨酸含量采用茚三酮比色法测定;SOD活性采用NBT(氯化硝基四氢唑蓝)光化还原法测定<sup>[7]</sup>;Na<sup>+</sup>、K<sup>+</sup>含量采用火焰分光光度法测定<sup>[8]</sup>;Cl<sup>-</sup>含量采用比色法测定(以明胶-乙醇水溶液为胶体保护剂,加入AgNO<sub>3</sub>溶液,300 nm处比色)<sup>[9]</sup>;MDA含量采用硫代巴比妥酸法测定<sup>[7]</sup>。每个样品重复测定3次,取平均值。叶片的所有指标测定均在新疆农业大学的植物生理实验室完成。

## 2.3 数据分析

利用SPSS 16.0,通过单因素方差分析法分析样地含盐量对2种植物的各项指标的影响是否显著( $p < 0.05$ );如果显著,再用Tukey's test检验处理之间的差异性。

由于目前尚无研究明确表明各个生理生化指标在评价植物耐盐性方面所占的权重,本文采用了模糊数学中的隶属函数法来评价胡杨和怪柳的耐盐性。对胡杨和怪柳所测得的5项耐盐指标分别计算隶属函数值,计算公式如下:

$$X(u_1) = [X_{ij} - X_{jmin}] / [X_{jmax} - X_{jmin}] \quad (1)$$

$$X(u_2) = 1 - [X_{ij} - X_{jmin}] / [X_{jmax} - X_{jmin}] \\ = [X_{jmax} - X_{ij}] / [X_{jmax} - X_{jmin}] \quad (2)$$

式中: $X_{ij}$ 为*i*植物的*j*指标的测定值; $X_{jmax}$ 为各植物*j*指标的最大测定值; $X_{jmin}$ 为各植物*j*指标的最小测定值。若所测指标与植物的耐盐性呈正相关,则采用(1)式计算隶属函数值;若测试指标与植物的耐盐性成负相关,则用(2)式计算隶属函数值<sup>[10]</sup>。累加2种植物各指标的具体隶属函数值,求出平均值后进行比较,以评定耐盐性。平均值越大,植物的耐盐性越强<sup>[11]</sup>。

## 3 结果与分析

### 3.1 不同样地土壤含盐量和含水量的变化

在同一样地,土壤含盐量均随着土壤深度的增加而减少;表层0~5 cm的土壤含盐量显著高于其他更深的土壤层( $p < 0.05$ );随着土壤深度的增加,不同土壤深度的含盐量之间的差异逐渐减小(图1)。样地1、样地2、样地3的表层0~5 cm平均土壤含盐量分别为54.42、46.71、23.4  $g \cdot kg^{-1}$ 。在各个土壤层中,样地1的土壤含盐量均显著高于其他2个样地( $p < 0.05$ ),样地3的土壤含盐量最小,而且土壤深度超过10 cm时,样地2和3的土壤含盐量之间的差异不显著( $p > 0.05$ )(图1)。双因素方差分析的结果表明:样地和土壤深度对土壤含盐量的影响都达到极显著水平( $p < 0.001$ ),但是二者的相互作用对土壤含盐量的影响不显著( $p > 0.05$ )(表2)。

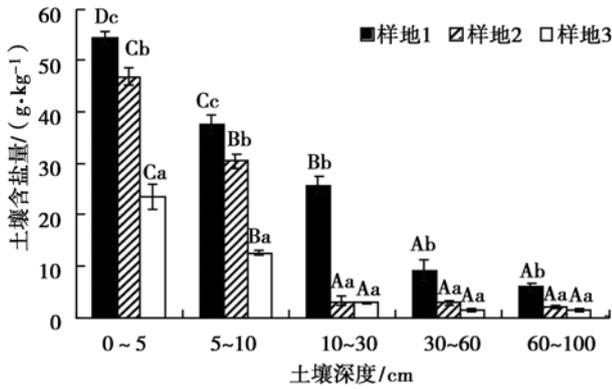


图1 不同样地的土壤含盐量(不同小写字母表示3个样地之间的土壤含盐量差异显著,不同大写字母表示5个深度之间的土壤含盐量差异显著( $p < 0.05$ ))。

表2 土壤深度和样地对土壤含盐量影响的双因素方差分析

变异来源	平方和	自由度	均方	F值	p值
样方	24.011	2	12.006	17.005	<0.001
土壤深度	98.399	4	24.600	34.844	<0.001
相互作用	10.032	8	1.504	2.130	0.064
误差	21.180	30	0.706		
总计	155.622	44			

在同一样地内,土壤含水量均随着土壤深度的增加呈现先增大后减小的趋势,其中,样地1和样地3各层土壤含水量之间的差异达到显著水平,样地1表层0~5 cm的土壤含水量( $114.8 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ )显著低于10~30 cm。样地3表层0~5 cm的土壤含水量显著比30~60 cm的低( $P < 0.05$ ),其他土壤层中,样地1的土壤含水量均高于其他2个样地(表3)。

表3 胡杨林内不同样地的土壤含水量

$\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$

样地编号	土壤深度/cm				
	0~5	5~10	10~30	30~60	60~100
1	$114.8 \pm 37.5 \text{ a}$	$151.7 \pm 43.6 \text{ ab}$	$226.6 \pm 42.0 \text{ b}$	$217.8 \pm 40.2 \text{ b}$	$210.7 \pm 32.6 \text{ b}$
2	$124.7 \pm 25.3 \text{ a}$	$142.5 \pm 9.3 \text{ a}$	$183.0 \pm 64.2 \text{ a}$	$142.7 \pm 39.5 \text{ a}$	$129.5 \pm 7.2 \text{ a}$
3	$96.6 \pm 11.6 \text{ a}$	$99.9 \pm 18.1 \text{ a}$	$116.5 \pm 3.1 \text{ ab}$	$158.8 \pm 15.7 \text{ b}$	$144.4 \pm 6.7 \text{ b}$

注:不同小写字母表示5个深度之间的土壤含水量差异显著( $p < 0.05$ )。

### 3.2 不同环境条件下植物叶片的脯氨酸含量变化

从图2看出:样地1和样地2胡杨的脯氨酸含量分别为 $902.70/793.11 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ ,显著大于样地3( $p < 0.05$ );样地1柽柳的脯氨酸含量为 $732.99 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ ,显著大于样地2和样地3(分别为 $378.35/240.60 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ ),而且柽柳的脯氨酸含量在各个样地间的差异均显著( $p < 0.05$ );3个样地中胡杨的脯氨酸含量均显著大于柽柳( $p < 0.05$ )。

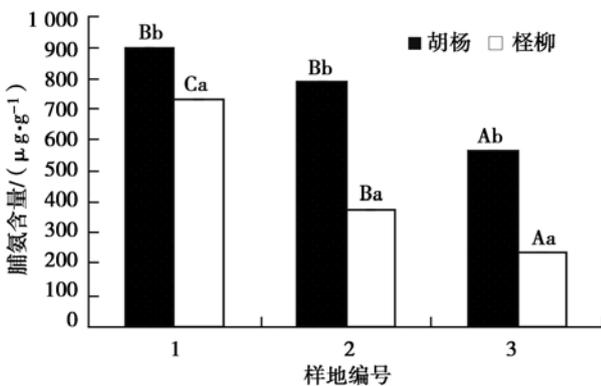


图2 不同样地中2种植物叶片的脯氨酸含量(不同大写字母表示3个样地间1种植物的叶片脯氨酸含量差异显著,不同小写字母表示1个样地内2种植物的脯氨酸含量差异显著( $p < 0.05$ ))。

### 3.3 不同环境条件下植物叶片的 $\text{K}^+/\text{Na}^+$ 变化

从图3看出:胡杨的  $\text{K}^+/\text{Na}^+$  在各个样地之间的差异均不显著,均为0.06左右( $p > 0.05$ ),而样地3中柽柳的  $\text{K}^+/\text{Na}^+$  (0.037)显著低于样地1和样地2(分别为0.095、0.083) ( $p < 0.05$ );样地1和样地2中,柽柳的  $\text{K}^+/\text{Na}^+$  均显著大于胡杨,样地3中胡杨的  $\text{K}^+/\text{Na}^+$  显著大于柽柳( $p < 0.05$ )。

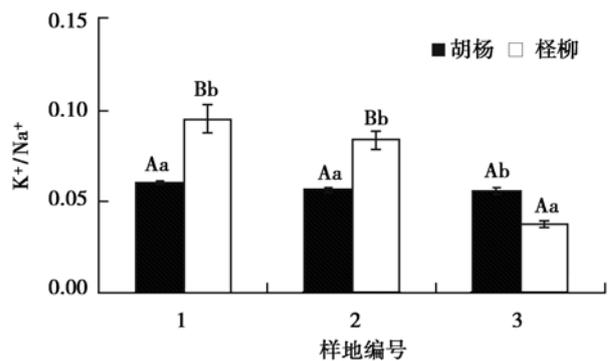


图3 不同样地中2种植物叶片的  $\text{K}^+/\text{Na}^+$  变化(不同大写字母表示3个样地间1种植物的叶片  $\text{K}^+/\text{Na}^+$  差异显著,不同小写字母表示1个样地内2种植物的叶片  $\text{K}^+/\text{Na}^+$  差异显著( $p < 0.05$ ))。

### 3.4 不同环境条件下植物叶片的 $\text{Cl}^-$ 含量变化

从图4看出:样地2胡杨的  $\text{Cl}^-$  含量( $2.59 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ )

$\text{mg}^{-1}$ )显著高于样地1和样地3(分别为1.85、1.26  $\mu\text{g} \cdot \text{mg}^{-1}$ ),而且胡杨的  $\text{Cl}^{-}$  含量在各个样地间的差异均显著( $p < 0.05$ );样地3和样地2柽柳的  $\text{Cl}^{-}$  含量分别为2.00、1.49  $\mu\text{g} \cdot \text{mg}^{-1}$ ,显著高于样地1,而且柽柳的  $\text{Cl}^{-}$  含量在各个样地间的差异均显著( $p < 0.05$ );样地1和样地2中,胡杨的  $\text{Cl}^{-}$  含量均显著大于柽柳,样地3中柽柳的  $\text{Cl}^{-}$  含量显著大于胡杨( $p < 0.05$ )。

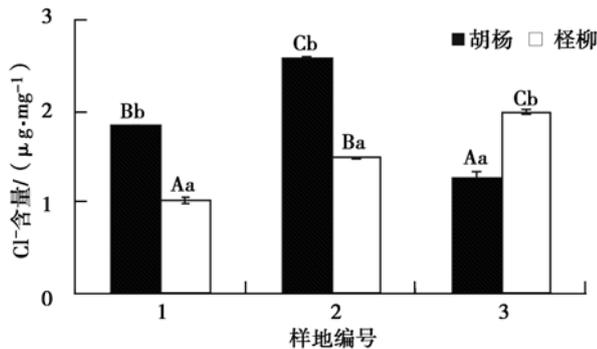


图4 不同样地中2种植物叶片的氯离子( $\text{Cl}^{-}$ )含量变化(不同大写字母表示3个样地间1种植物的叶片  $\text{Cl}^{-}$  含量差异显著,不同小写字母表示1个样地内2种植物的叶片  $\text{Cl}^{-}$  含量差异显著( $p < 0.05$ ))。

### 3.5 不同环境条件下植物叶片的超氧化物歧化酶(SOD)活性变化

从图5看出:样地2胡杨的SOD活性( $0.62 \text{ U} \cdot \text{mg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ )显著高于样地3和样地1(分别为 $0.50$ 、 $0.37 \text{ U} \cdot \text{mg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ),而且胡杨的SOD活性在各个样地间的差异均显著( $p < 0.05$ );样地3柽柳的SOD活性( $0.20 \text{ U} \cdot \text{mg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ )显著低于样地2( $0.46 \text{ U} \cdot \text{mg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ) ( $p < 0.05$ );样地1中柽柳的SOD活性显著大于胡杨,样地2和3中胡杨的SOD活性均显著大于柽柳。

### 3.6 不同环境条件下植物叶片的丙二醛(MDA)含量变化

从图6看出:样地1中胡杨的MDA含量( $8.23 \mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1}$ )显著低于样地3( $16.48 \mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1}$ ) ( $p < 0.05$ ),而样地1中柽柳的MDA含量( $13.96 \mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1}$ )显著高于样地3( $11.96 \mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1}$ ) ( $p < 0.05$ )。

样地1和2中,柽柳的MDA含量均显著大于胡杨;样地3中,胡杨的MDA含量显著大于柽柳( $p < 0.05$ )。

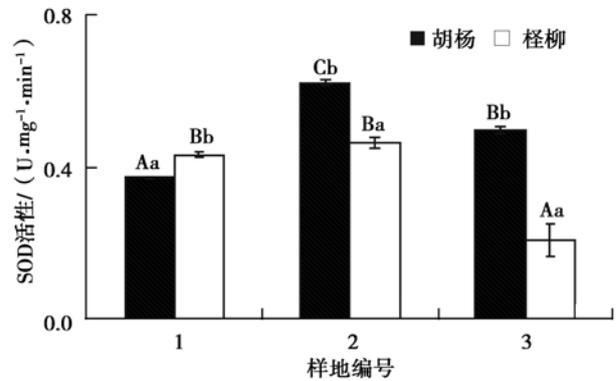


图5 不同样地中2种植物叶片的超氧化物歧化酶(SOD)活性变化(不同大写字母表示3个样地间同种植物的叶片SOD活性差异显著,不同小写字母表示1个样地内2种植物的叶片SOD活性差异显著( $p < 0.05$ ))。

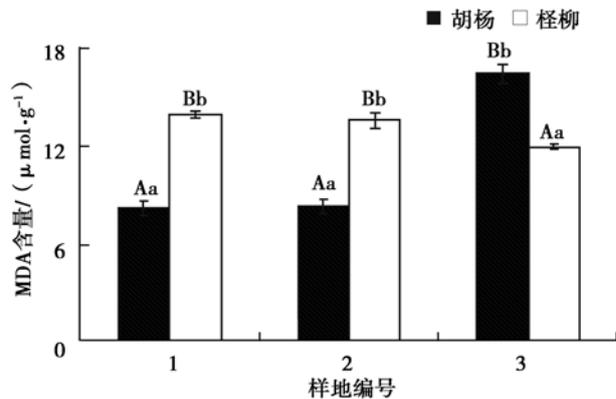


图6 不同样地中2种植物叶片的丙二醛(MDA)含量变化(不同大写字母表示3个样地间同种植物的叶片MDA含量差异显著,不同小写字母表示1个样地内2种植物的叶片MDA含量差异显著( $p < 0.05$ ))。

### 3.7 不同植物的隶属函数值

用模糊数学隶属函数方法,对胡杨和柽柳的各项生理指标分别求其隶属函数平均值,然后排序,数值越大,表明植物的耐盐性越强。综合植物的各项指标,耐盐性排序是胡杨 > 柽柳(表4),而且二者的隶属函数平均值相差较小,由此可认为胡杨和柽柳的耐盐性比较接近,并且胡杨的耐盐性较强。

表4 2种植物不同生理指标的隶属函数值

植物	脯氨酸含量	$\text{K}^{+}/\text{Na}^{+}$	氯离子含量	超氧化物歧化酶活性	丙二醛含量	隶属函数平均值	排序
胡杨	0.644 9	0.448 1	0.442 9	0.514 0	0.615 6	0.533 1	1
柽柳	0.406 2	0.504 6	0.507 1	0.636 1	0.557 8	0.522 4	2

注:表中各生理指标的数据均是平均值。

## 4 结论与讨论

脯氨酸是一种重要的有机渗透调节物质,植物在正常条件下,游离脯氨酸含量很低,但在干旱、低温、盐碱等逆境胁迫下,游离脯氨酸便会大量积累,此现象已被证实<sup>[12]</sup>,并且积累指数与植物的抗逆性有关<sup>[13-16]</sup>。因此,脯氨酸可作为植物抗逆性的一项生理指标,植物体内游离脯氨酸积累量越多耐盐能力越强<sup>[17]</sup>。胡杨和柽柳叶片的脯氨酸含量在3个样地的变化趋势一致,即样地1 > 样地2 > 样地3,这与3个样地的浅层土壤含盐量的变化趋势一致。因此,土壤盐度增加后,胡杨和柽柳均通过增加叶片脯氨酸含量耐盐;而且,3个样地内胡杨的叶片脯氨酸含量均显著高于柽柳。

植物的耐盐性与其地上部分限制钠离子( $\text{Na}^+$ )和氯离子( $\text{Cl}^-$ )积累及保持高的 $\text{K}^+/\text{Na}^+$ 值的能力有关<sup>[18-19]</sup>。在3个样地中,胡杨叶片的 $\text{K}^+/\text{Na}^+$ 变化不明显, $\text{Cl}^-$ 含量的顺序是样地2 > 样地1 > 样地3;因此,胡杨在土壤盐度较高条件下可以适当降低叶片 $\text{Cl}^-$ 含量耐盐。在3个样地中,柽柳叶片的 $\text{K}^+/\text{Na}^+$ 变化趋势是样地1 > 样地2 > 样地3,与3个样地的浅层土壤含盐量的变化趋势一致;而 $\text{Cl}^-$ 的变化趋势与之相反,是样地1 < 样地2 < 样地3。因此,土壤盐度增加后,柽柳通过增加叶片 $\text{K}^+/\text{Na}^+$ ,降低叶片 $\text{Cl}^-$ 含量耐盐;而且,在土壤浅层盐度最高的样地1中,柽柳叶片的 $\text{K}^+/\text{Na}^+$ 显著高于胡杨, $\text{Cl}^-$ 含量则显著低于胡杨。

保护酶活性是植物处于逆境或衰老时机体做出抗胁迫反应的重要生化指标,这些酶活性的大小可以反映植物抗胁迫的能力大小<sup>[20-21]</sup>。超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)和过氧化氢酶(CAT)参与维持活性氧生成与清除的动态平衡过程,减轻其对植物细胞的危害<sup>[22-24]</sup>,其中,SOD处于核心地位,是植物保护酶系统的第一道防线,但其对膜系统的保护作用也有一定的限度<sup>[24]</sup>。在3个样地中,胡杨叶片SOD活性的顺序是样地2 > 样地3 > 样地1。因此,胡杨通过增强叶片SOD活性耐盐仅在土壤盐度从低到中的变化条件下有效,土壤盐度继续增加其SOD活性反而降低。柽柳叶片的SOD活性顺序是样地3 < 样地1 < 样地2,因此柽柳在土壤盐度提高后可以通过增强SOD活性耐盐。在土壤浅层盐度最高的样地1中,柽柳叶片的SOD活性显著高于胡杨。

丙二醛(MDA)是逆境胁迫下膜质中不饱和脂肪酸发生过氧化作用的最终分解产物,其含量可以反映植物遭受逆境伤害的程度<sup>[25-26]</sup>。3个样地中胡杨叶片的MDA含量顺序是样地1 = 样地2 < 样地3,因此,土壤浅层盐度高时胡杨受到的盐胁迫较轻。柽柳叶片的MDA含量顺序是样地1 = 样地2 > 样地3,因此,土壤浅层盐度较高时柽柳受到的土壤盐胁迫较重。在土壤浅层盐度最高的样地1中,胡杨叶片的MDA含量显著低于柽柳,表明它受到盐胁迫的影响较小。

隶属函数方法的综合评价结果表明:胡杨和柽柳的耐盐性比较接近,并且胡杨的耐盐性较强,这与高盐胁迫下(样地1)胡杨叶片的丙二醛(MDA)含量显著低于柽柳的结果相符合。

植物生理指标的测定结果在一定程度上说明胡杨和柽柳的耐盐生理机制存在差异。土壤盐度增加后,胡杨的响应方式主要包括增加叶片脯氨酸含量和降低叶片氯离子( $\text{Cl}^-$ )含量,而柽柳的响应方式主要包括增加叶片脯氨酸含量,提高叶片的 $\text{K}^+/\text{Na}^+$ ,增强超氧化物歧化酶(SOD)活性。

越来越多的证据表明,植物的耐盐性是一个由位于不同染色体上的多个基因控制的性状<sup>[27-29]</sup>。不同的植物、同一植物在不同的发育阶段抗盐基因有着不同的表达<sup>[28]</sup>。此外,植物的耐盐性是一个受多种因素影响的复杂的综合性状<sup>[30-31]</sup>。目前虽然已经了解到许多因子能够反映或影响植物的耐盐性,但是它们反映或影响的权重大小还不清楚,不能对耐盐性的综合评价体系制定统一的标准;所以,各个形态指标和生理生化指标在植物耐盐过程中的反映程度和影响程度还有待进一步研究,从而建立一个植物耐盐性的综合评价体系,这将成为植物耐盐性研究的一个重要方向<sup>[31]</sup>。本文只测定了5个常用的耐盐生理指标,相对来说较少,今后有必要对其他形态和生理指标在盐胁迫下的变化以及对植物耐盐性的影响进行研究,才能更加全面的评价植物的耐盐性以及了解植物的耐盐机理,为培养耐盐植物提供更深入的理论依据。

### 参考文献:

- [1] 董晓霞,赵树慧,孔令安,等. 苇状羊茅盐胁迫下生理效应的研究[J]. 草业科学,1998,15(5):10-14
- [2] 王水献,董新光,刘丰. 层次分析法在新疆平原灌区土壤盐渍化研究中的应用[J]. 干旱区资源与环境,2007,21(4):111

- [3] 赵可夫,李法曾. 中国盐生植物[M]. 北京:科学出版社,1999
- [4] 张霞,曾幼玲,李金耀,等. 胡杨(*Populus euphratica* Oliv.)的耐盐性[J]. 植物生理学通讯,2006,42(6):1190-1194
- [5] 侯军铭,梁海永,王颖,等. 不同盐碱区白榆、白蜡、紫穗槐、怪柳体内离子分布特征[J]. 中国农学通报,2009,25(9):277-281
- [6] 中国科学院植物研究所. 新编拉英汉植物名称[M]. 北京:航空工业出版社,1996
- [7] 林栖凤. 耐盐植物研究[M]. 北京:科学出版社,2004
- [8] 邹琦. 植物生理学实验指导[M]. 北京:中国农业出版社,2000
- [9] 王宝山,赵可夫. 小麦叶片中Na、K提取方法的比较[J]. 植物生理学通讯,1995,31(1):50-52
- [10] 周强,李萍,曹金花,等. 测定植物体内氯离子含量的滴定法和分光光度法比较[J]. 植物生理学通讯,2007,43(6):1163-1166
- [11] 王怡丹,郭晓宇,全炳武. 水分胁迫下蒙古冰草、扁穗冰草和滨麦抗旱性研究[J]. 延边大学农学学报,2008,30(2):98-104
- [12] 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
- [13] 何惠琴,李绍才,孙海龙,等. 4种草坪草种耐盐性研究[J]. 四川师范大学学报:自然科学版,2010,33(1):97-101
- [14] 吴雪霞,陈建林,查丁石,等. 植物耐盐性研究进展[J]. 江西农业学报,2008,20(2):11-13
- [15] 李志强,王亚男,何杨艳,等. 干旱胁迫对外来杂草野苘蒿抗氧化系统的影响[J]. 四川师范大学学报:自然科学版,2008,31(5):607-609
- [16] 曹慕岚,罗群,张红,等. 入侵植物加拿大飞蓬(*Erigeron canadensis* L.)生理生态适应初探[J]. 四川师范大学学报:自然科学版,2007,30(3):387-390
- [17] Qian Y L, Mecham B. Long-term effects of recycled wastewater irrigation on soil chemical properties on golf course fairways [J]. *Agronomy Journal*, 2005, 97 (3): 717-721
- [18] 林栖凤,李冠一. 植物耐盐性研究进展[J]. 生物工程进展, 2000,20(2):20-25
- [19] 罗辉. 玉米幼苗对盐胁迫的响应和适应[J]. 井冈山师范学院学报:自然科学版,2004,25(5):23-28
- [20] 王宁,曹敏建,于佳林,等. NaCl胁迫对不同耐盐性玉米幼苗膜质过氧化及保护酶活性的影响[J]. 江苏农业科学,2009,(4):101-104
- [21] 翁锦周,林江波,陈永快,等. NaCl胁迫对桉树幼苗膜脂过氧化与膜保护酶系统的影响[J]. 福建农业学报,2007,22(2):197-201
- [22] Munns R. Genes and salt tolerance: bring them together [J]. *New Phytologist*, 2005, 167: 645-663
- [23] 郭艳茹,詹亚光. 植物耐盐性生理生化指标的综合评价[J]. 黑龙江农业科学,2006(1):66-70
- [24] 孙黎,刘士辉,师向东,等. 10种藜科盐生植物的抗盐生理生化特征[J]. 干旱区研究,2006,23(2):309-313
- [25] Sekmen A H, Türkana I, Takio S. Differential responses of antioxidative enzymes and lipid peroxidation to salt stress in salt-tolerant *Plantago maritima* and salt-sensitive *Plantago media* [J]. *Physiologia Plantarum*, 2007, 131: 399-411
- [26] 陶晶,陈士刚,秦彩云,等. 盐碱胁迫对杨树各品种丙二醛及保护酶活性的影响[J]. 东北林业大学学报,2005,33(3):13-15
- [27] 王兰兰,张立军,陈贵,等. 甘薯愈伤组织对干旱胁迫和盐胁迫的生理反应对比[J]. 生态学杂志,2006,25(12):1508-1514
- [28] 赵可夫. 植物抗盐生理[M]. 北京:中国科学技术出版社,1993
- [29] Hasegawa P M, Bressan R A, Zhu J K, et al. Plant cellular and molecular responses to high salinity [J]. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 2000, 51: 463-499
- [30] Zhu J K. Genetic analysis of plant salt tolerance using Arabidop [J]. *Plant Physiology*, 2000, 124: 941-948
- [31] 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