

## 4 个乌桕新品种对 NaCl 胁迫的生理响应及耐盐性评价

隋德宗<sup>1</sup>, 许中秋<sup>2</sup>, 王俊毅<sup>2</sup>

(1. 江苏省林业科学研究院, 南京 210014; 2. 南方现代林业协同创新中心, 南京林业大学生物与环境学院, 南京 210037)

**摘要:** 研究乌桕新品种对盐胁迫的生理响应及耐盐性评价, 对选育适宜盐碱地区推广应用的品种具有理论意义和实际价值。以 4 个乌桕新品种‘海滨绯红’、‘海滨晚霞’、‘海滨紫晶’和‘海滨梦幻’二年生嫁接苗为材料, 采用盆栽方法, 设置不同浓度的 NaCl (分别为 0、0.2%、0.4% 和 0.6%) 处理模拟自然环境中的盐胁迫环境, 研究 4 个乌桕新品种在 NaCl 胁迫下的植株生长量、存活率、细胞膜透性、叶绿素含量和光合参数等指标的变化, 分析 4 个乌桕新品种耐受盐胁迫的能力, 并进行综合评价。结果表明: 随着盐胁迫浓度升高, 4 个乌桕新品种生长量逐渐降低, 其中以‘海滨紫晶’降幅最小; 4 个新品种苗木成活率均逐渐降低, 其中‘海滨紫晶’成活率最高; 4 个新品种叶片的净光合速率( $P_n$ )、气孔导度( $G_s$ )、胞间二氧化碳浓度( $C_i$ )、蒸腾速率( $T_r$ )和叶绿素含量均随着盐浓度的升高而降低, 其中‘海滨紫晶’降幅最小, 而‘海滨晚霞’最大; 而叶片细胞膜透性相反, 4 个新品种叶片膜透性均随着盐浓度的升高而升高, 其中‘海滨晚霞’升幅最大, 达到 217.39%, 而‘海滨紫晶’的升幅最小, 为 115.23%。经因子分析和隶属函数分析, 4 个乌桕新品种的耐盐性存在明显差异, 其耐盐强弱顺序依次为: ‘海滨紫晶’>‘海滨绯红’>‘海滨梦幻’>‘海滨晚霞’。

**关键词:** 乌桕; 耐盐性; 因子分析; 隶属函数

中图分类号: S718

文献标识码: A

文章编号: 1672-352X (2021)06-0889-06

### Physiological response and salt tolerance evaluation of four new *Triadica sebifera* varieties to salt stress

SUI Dezong<sup>1</sup>, XU Zhongqiu<sup>2</sup>, WANG Junyi<sup>2</sup>

(1. Jiangsu Academy of Forestry, Nanjing 210014; 2. Co-Innovation Center for Sustainable Forestry in Southern China, College of Biology and the Environment, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037)

**Abstract:** In this paper, we studied the physiological response of new *Triadica sebifera* varieties to salt stress and evaluation of its tolerance to salt stress, which has theoretical significance and practical value for popularization of breeding suitable varieties in saline-alkali areas. Taken two years old grafted seedlings of four new *Triadica sebifera* varieties, such as ‘Haibin Zijing’, ‘Haibin Feihong’, ‘Haibin Menghuan’ and ‘Haibin Wanxia’ as the materials, the seedlings were treated with different concentrations of NaCl (0, 0.2%, 0.4% and 0.6%, respectively) to simulate the salt stress in natural environment, the changes of plant growth, survival rate, cell membrane permeability, chlorophyll content and photosynthetic parameters of four new *Triadica sebifera* varieties under NaCl stress were studied, and the tolerance of four new *Triadica sebifera* varieties to salt stress was analyzed. The results showed that: with the increase of salt stress concentration, the growth of four new *Triadica sebifera* varieties decreased gradually, among which, ‘Haibin Zijing’ decreased the least; the survival rate of seedlings of the four varieties decreased gradually, and the survival rate of ‘Haibin Zijing’ was the highest; the net photosynthetic rate ( $P_n$ ), stomatal conductance ( $G_s$ ), intercellular carbon dioxide concentration ( $C_i$ ), transpiration rate ( $T_r$ ) and chlorophyll content of the four new varieties decreased with the increase of salt concentration, among which, ‘Haibin Zijing’ decreased the least, while ‘Haibin Wanxia’ decreased the most; compared with the control, the leaf membrane permeability of the four varieties increased significantly at 0.6% treatment level. Among them, ‘Haibin Wanxia’ increased the maximum, coming up to 217.39%, while ‘Haibin Zijing’ increased the least, reaching 115.23%. Through factor analysis and membership function analysis, there were significant differences in salt stress among the four new *Triadica sebifera* varieties, and

收稿日期: 2021-01-14

基金项目: 江苏现代农业重点项目 (BE2018401), 江苏省林业科学研究院自主科研项目 (BM2018022) 和江苏省林业科技创新推广项目 (LYKJ[201803]) 共同资助。

作者简介: 隋德宗, 博士, 研究员。E-mail: 535122107@qq.com

the order of salt stress was: ‘Haibin Zijing’ > ‘Haibin Feihong’ > ‘Haibin Menghuan’ > ‘Haibin Wanxia’.

**Key words:** *Triadica sebifera*; salt stress; factor analysis; membership function

土壤盐碱化是全球性的生态和环境问题,已成为农作物生产和林木生长发育的一个重要障碍<sup>[1]</sup>。盐碱化土壤会对植物的光合系统、抗氧化酶系统和渗透调节系统等造成不利影响,植物可通过激活渗透作用、光合作用、呼吸代谢和活性氧清除等一系列响应机制来维持其基本生命特征<sup>[2]</sup>。江苏的海岸线长度超过 1 000 km,是我省林业发展最具潜力的区域,沿海地区林业生产条件差,适生树种少,造林困难。沿海地区对耐盐林木良种需求十分迫切,因此,在研究植物耐盐机制的基础上,挖掘并选育耐盐植物极具现实意义。

乌柏(*Triadica sebifera*)属大戟科(Euphorbiaceae)落叶乔木,高达 15 m,是江苏省沿海滩涂地区唯一有天然分布的彩叶大乔木,其适应性强,耐水又耐盐,且集油用、材用、药用和观赏等多种价值于一身<sup>[3-8]</sup>。‘海滨绯红’、‘海滨晚霞’、‘海滨紫晶’和‘海滨梦幻’为近年江苏省林业科学研究所选育的 4 个乌柏新品种,并已获得新品种授权保护,是观赏价值较高的彩叶类新品种,目前尚未有关于其不同品种间生理特征差异及耐盐性评价的报道。鉴于此,本研究以该 4 个乌柏新品种二年生嫁接苗为研究对象,设置不同的盐分浓度,以蒸馏水为对照,测定不同浓度盐胁迫下各品种的生理指标,探索其盐胁迫响应机理,并对 4 个乌柏新品种进行耐盐性综合评价,旨在筛选出耐盐性较强的乌柏新品种,满足沿海林业发展对耐盐观赏林木品种的需求,为盐碱地区造林及绿化应用提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试材料

以 4 个乌柏新品种‘海滨绯红’、‘海滨晚霞’、‘海滨紫晶’和‘海滨梦幻’的二年生嫁接苗为试验材料,砧木为同一家系实生乌柏苗。

### 1.2 试验方法

试验于 2019 年 4—9 月在江苏林业科学研究所进行,环境温度为 25~35 °C,相对湿度为 40%~70%。对于每个乌柏新品种,选取生长良好且长势相对一致的苗木,移栽到直径 30 cm,高 40 cm 花盆中,每盆栽植 1 株,常规水肥管理。9 月 5 日进行处理,设置 4 个盐分梯度,即 0 (CK)、0.2%、0.4%和 0.6%。每个处理 3 个重复,每个重复 3 盆,共 9 盆。采用灌溉盐溶液的方式施盐,每盆浇 800 mL

相应浓度 NaCl 溶液,处理过程中,盆下放置托盘,将渗出的溶液倒回盆中以防盐份流失。处理 21 d 后,测定相关生理指标。

表 1 4 个彩叶乌柏新品种

Table 1 Four new varieties of <i>Triadica sebifera</i>		
名称	种源	秋叶颜色
‘海滨绯红’	连云港	鲜红
‘海滨晚霞’	徐州	橙红
‘海滨紫晶’	南京	紫红
‘海滨梦幻’	盐城	暗紫

### 1.3 测定指标与方法

**1.3.1 生长量的测定** 盐胁迫处理前和试验结束后,测定计算生长量(cm)。生长量=处理结束后新梢生长量-处理前新梢生长量。

**1.3.2 成活率的测定** 盐处理 21 d 后统计 4 个新品种的成活率(%),成活率=成活苗子数/处理苗子数 × 100%。

**1.3.3 光合作用参数的测定** 在盐胁迫第 21 天上午 10:00,利用 Li-6400 便携式光合测定仪测定植物叶片气体交换参数,每个处理选取 3 株苗木,测定每株苗木上部的第 8~10 片叶的净光合速率 ( $P_n$ )、气孔导度 ( $G_s$ )、蒸腾速率( $T_r$ )、胞间  $CO_2$  浓度( $C_i$ )等参数。设定光合有效辐射 ( $PAR$ ) 为 1 000  $\mu mol \cdot (m^2 \cdot s^{-1})$ 、 $CO_2$  浓度 ( $C_a$ ) 为 400  $\mu mol \cdot mol^{-1}$ ,温度为 25 °C。

**1.3.4 生理指标的测定** 叶绿素含量的测定采用乙醇浸提法<sup>[9]</sup>;参照邹琦<sup>[10]</sup>的电导率法测定相对电导率。每个指标重复测定 3 次。

**1.3.5 综合评定方法** 应用隶属函数法<sup>[11]</sup>综合评价 4 个乌柏新品种的耐盐性。

公式为:

$$U(X_i) = (X_{ij} - X_{ijmin}) / (X_{ijmax} - X_{ijmin}) \quad (1)$$

式(1)中, $U$ 表示隶属函数值; $X_{ij}$ 为乌柏新品种的某一综合指标值; $X_{ijmax}$ 和 $X_{ijmin}$ 分别为所试品种某一综合指标的最大值和最小值。

主因子权重:

$$W_i = P_i / \sum P_i (i=1, 2, \dots, n) \quad (2)$$

式(2)中, $P_i$ 表示各品种第*i*个综合指标的贡献率, $W_i$ 表示第*i*个综合指标的权重。

综合耐盐性评价:

$$D = \sum [U(X_i) \times W_i] \quad (3)$$

**1.3.6 数据处理** 利用 Excel 2013 软件作图, DPS 7.05 软件对数据进行统计分析, 采用多重比较 Duncan 新复极差法进行方差显著性检验 ( $\alpha = 0.05$ )。图表中数据为平均值 $\pm$ 标准差。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同 NaCl 处理下 4 个乌柏新品种的生长量

由图 1 可知, 4 个乌柏新品种在不同盐浓度处理下存在较大的差异, 盐胁迫处理 21 d 后, ‘海滨紫晶’ 生长量受到盐胁迫影响最小, ‘海滨晚霞’ 受影响程度最大。与 CK 相比, ‘海滨紫晶’、‘海滨晚霞’、‘海滨绯红’ 和 ‘海滨梦幻’ 在 0.2% 盐处理下的生长量均显著下降, 分别降低了 81.37%、30.33%、38.32% 和 36.03%, 其中 ‘海滨紫晶’ 降幅最小, 而 ‘海滨晚霞’ 降幅最大; 在 0.4% 盐处理下, ‘海滨晚霞’、‘海滨梦幻’ 和 ‘海滨绯红’ 生长受到严重抑制, 同比对照分别降低了 86.30%、60.27% 和 69.35%; 在 0.6% NaCl 处理下, 4 个乌柏新品种基本停止生长。从不同盐浓度处理水平对 4 个乌柏新品种生长量的抑制效果看, 4 个乌柏新品种对盐胁迫的耐受性强弱为 ‘海滨紫晶’ > ‘海滨绯红’ > ‘海滨梦幻’ > ‘海滨晚霞’。

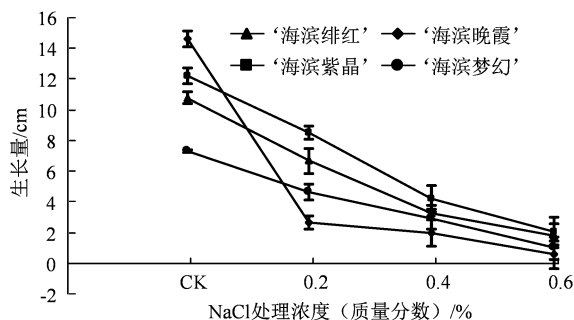


图 1 不同盐浓度下 4 个乌柏新品种的生长量

Figure 1 The growth of four new *Triadica sebifera* varieties under different salt concentrations

### 2.2 不同 NaCl 处理下 4 个乌柏新品种的存活率

由图 2 可知, 不同盐浓度处理下各乌柏品种存活率存在较大的差异, 盐胁迫处理 21 d, ‘海滨紫晶’ 和 ‘海滨绯红’ 在 0.2% 盐处理下成活率均为 100%, 而 ‘海滨晚霞’ 成活率为 96.67%, ‘海滨梦幻’ 为 88.89%; 0.4% 处理下 ‘海滨紫晶’、‘海滨绯红’、‘海滨梦幻’ 和 ‘海滨晚霞’ 存活率分别为 88.89%、77.78%、66.67% 和 55.56%; 0.6% 盐处理下, 4 个乌柏品种存活率均大幅下降且均出现死亡现象, 其中 ‘海滨紫晶’ 的存活率最高为 88.89%, 而 ‘海滨晚霞’ 存活率最低, 仅为 33.30%。

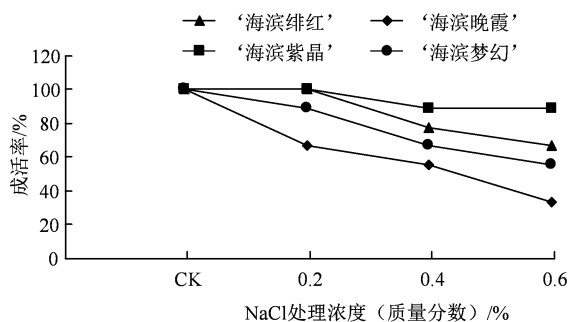


图 2 不同盐浓度下 4 个乌柏新品种的存活率

Figure 2 Survival rates of four new *T. sebifera* varieties under different salt concentrations

### 2.3 不同 NaCl 处理下 4 个乌柏新品种的光合参数

**2.3.1 净光合速率 ( $P_n$ )** 由图 3 (a) 可知, 4 个乌柏新品种的  $P_n$  变化趋势基本一致,  $P_n$  随着盐胁迫浓度的升高而不断降低。在 0.2% 盐处理下, 4 个品种的  $P_n$  都低于 CK, 其中以 ‘海滨晚霞’ 的降幅最大, ‘海滨紫晶’ 降幅最小, 分别降低了 28.38% 和 7.86%; 在 0.4% 盐处理下, ‘海滨晚霞’ 受盐害影响最大, ‘海滨紫晶’  $P_n$  降幅最小且均高于其他品种。在 0.6% 盐处理下, 各品种受盐害影响程度与 0.4% 盐处理水平相同。

**2.3.2 气孔导度 ( $G_s$ )** 由图 3 (b) 可知, 随着盐浓度增加, 各乌柏品种  $G_s$  的变化趋势与  $P_n$  基本一致。在 0.2% 盐处理下, ‘海滨紫晶’、‘海滨晚霞’、‘海滨绯红’ 和 ‘海滨梦幻’ 的  $G_s$  同比 CK 分别下降了 23.80%、46.15%、30.76% 和 27.27%, 其中 ‘海滨晚霞’  $G_s$  受盐害影响程度最大, 而 ‘海滨紫晶’ 最小; 在 0.4% 和 0.6% 盐处理下各品种受盐害影响程度与 0.2% 的处理水平相同, 且  $G_s$  显著低于 CK 和 0.2% 的处理。

**2.3.3 胞间二氧化碳浓度 ( $C_i$ )** 盐胁迫对不同乌柏品种  $C_i$  的影响见图 3 (c)。4 个乌柏新品种  $C_i$  变化趋势均随着盐浓度的升高而降低。在 0.2% 盐处理下, 与 CK 相比, ‘海滨晚霞’、‘海滨绯红’ 和 ‘海滨梦幻’ 的  $C_i$  均显著下降, 而 ‘海滨紫晶’ 下降不显著; 而在 0.4% 和 0.6% 盐处理下, 4 个品种均显著下降。

**2.3.4 蒸腾速率 ( $T_r$ )** 由图 3 (d) 可知, 随着盐胁迫浓度增加, 各品种  $T_r$  的变化趋势与  $P_n$  趋势相似。与 CK 相比, ‘海滨晚霞’、‘海滨绯红’ 和 ‘海滨梦幻’ 在 0.2% 盐处理下的  $T_r$  均显著下降, 而 ‘海滨紫晶’ 下降不显著; 在 0.4% 盐处理下, ‘海滨晚霞’  $T_r$  受到抑制效果最大, 较 0.6% 处理下无显著差异, 而 ‘海滨紫晶’、‘海滨绯红’ 和 ‘海滨梦幻’ 在 0.6% 处理下达到最大抑制效果。

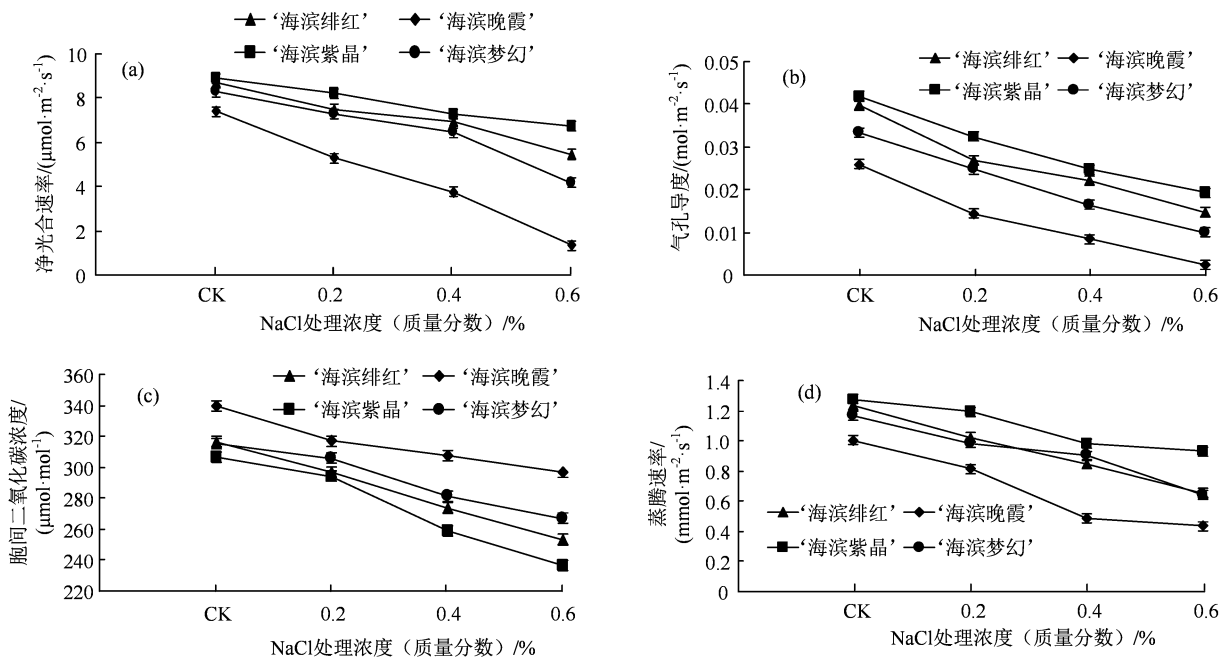


图 3 不同盐浓度下 4 个乌桕新品种的光合参数

Figure 3 Photosynthetic parameters of four new *T. sebifera* varieties under different salt concentrations

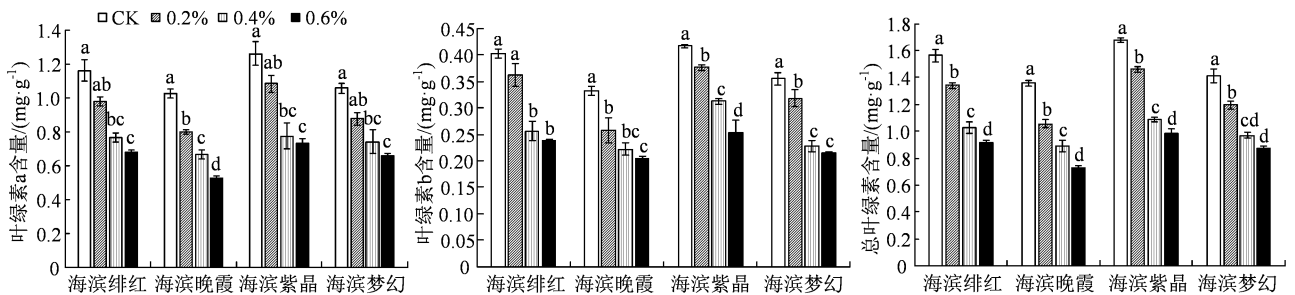


图 4 不同盐浓度下 4 个乌桕新品种的叶绿素含量

Figure 4 Chlorophyll contents in four new *T. sebifera* varieties under different salt concentrations

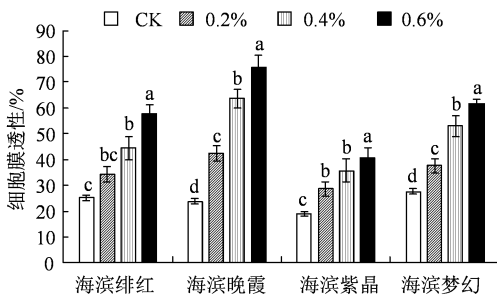


图 5 不同盐浓度下 4 个乌桕新品种的叶片膜透性

Figure 5 Membrane permeability of four new *T. sebifera* varieties under different salt concentrations

**2.3.5 不同 NaCl 处理下 4 个乌桕新品种的叶绿素含量** 如图 4 所示, 4 个乌桕新品种叶片中叶绿素 a、叶绿素 b 和总叶绿素含量均随盐浓度的升高而不断下降, 不同乌桕品种间存在较大差异。‘海濱紫晶’、‘海濱晚霞’、‘海濱緋紅’和‘海濱夢幻’在

0.6%盐处理下, 叶片叶绿素 a、叶绿素 b 及总叶绿素含量均显著降低, 较对照分别下降了 38.06%、46.20%、41.46%和 41.26%, 其中‘海濱紫晶’降幅最小, ‘海濱晚霞’降幅最大。

**2.4 不同 NaCl 处理下 4 个乌桕新品种的叶片膜透性**

由图 5 可知, 随着盐胁迫浓度增加, 4 个乌桕新品种叶片膜透性均不断上升, 不同品种之间存在一定差异。在 0.2%盐处理下, 与 CK 相比, ‘海濱紫晶’、‘海濱晚霞’和‘海濱夢幻’的叶片细胞膜透性显著升高了 36.06%、77.36%和 36.21%, 而‘海濱緋紅’差异不显著。在 0.4%盐处理下, 4 个品种的叶片细胞膜透性均显著高于对照; 在 0.6%盐处理下, ‘海濱紫晶’、‘海濱緋紅’、‘海濱晚霞’和‘海濱夢幻’的叶片细胞膜透性较对照显著上升, 分别升高了 115.23%、122.83%、217.39%和 126.96%。

## 2.5 不同乌桕新品种耐盐性综合评价

**2.5.1** 4 个乌桕新品种各指标的耐盐系数主成分分析 通过对 4 个乌桕新品种的 8 个指标耐盐系数进行因子分析(表 2), 确定公因子数为 2, 累计贡献率达到 96.9%。其中第一主成分的贡献率为 51.9%,

主要由苗木生长量、存活率、净光合速率、气孔导度、胞间二氧化碳浓度和叶绿素含量决定; 第二主成分的贡献率为 45.0%, 主要由蒸腾速率和叶片膜透性决定。

表 2 因子载荷矩阵和贡献率

Table 2 Factor load matrix and contribution rate

指标	$R_1$	$R_2$	$R_3$	$R_4$	$R_5$	$R_6$	$R_7$	$R_8$	贡献率 $P$
1	0.837	0.845	0.761	0.756	-0.739	0.518	0.715	-0.593	0.519
2	-0.520	-0.533	-0.642	-0.653	0.671	-0.852	-0.687	0.803	0.450

注:  $R_1$ : 生长量;  $R_2$ : 存活率;  $R_3$ : 净光合速率;  $R_4$ : 气孔导度;  $R_5$ : 胞间二氧化碳浓度;  $R_6$ : 蒸腾速率;  $R_7$ : 叶绿素含量;  $R_8$ : 叶片膜透性。

表 3 4 个乌桕新品种耐盐性综合评价

Table 3 Comprehensive evaluation of salt-tolerance of four new *T. sebifera* varieties

品种	$X(1)$	$X(2)$	$U(1)$	$U(2)$	$D$
‘海滨绯红’	1.256	-0.078	0.701	0.586	0.693
‘海滨晚霞’	-3.880	0.756	0.000	1.000	0.079
‘海滨紫晶’	3.438	-0.583	1.000	0.496	0.960
‘海滨梦幻’	-0.813	-1.261	0.419	0.000	0.386
权重			0.921	0.079	

**2.5.2** 不同乌桕新品种耐盐性的综合评价 通过因子分析, 提取 2 个主成分。采用公式(1)计算出各品种隶属函数值  $U(X_{ij})$ , 并用公式(2)获得各因子权重, 分别为 0.921 和 0.079。再通过公式(3)求出 4 个乌桕新品种的  $D$  值。从表 3 可知 4 个乌桕新品种耐盐能力为: ‘海滨紫晶’ > ‘海滨绯红’ > ‘海滨梦幻’ > ‘海滨晚霞’。

表明成活率可以综合反映植物的耐盐性。

有研究表明, 在盐胁迫环境中, 植物光合作用下降<sup>[10]</sup>、叶绿素合成受阻<sup>[11]</sup>、叶片细胞膜透性升高<sup>[12]</sup>会导致植物生长量减少、成活率降低。当净光合速率下降时, 如果胞间二氧化碳含量和气孔导度同时下降, 说明净光合速率的降低主要是由于气孔导度的下降所致<sup>[13-15]</sup>。如果气孔导度下降, 而胞间二氧化碳浓度却在上升, 表明此时净光合速率下降的主要原因是叶肉细胞光合能力的降低<sup>[16-19]</sup>。本研究 4 个乌桕新品种净光合速率、气孔导度、胞间二氧化碳浓度和蒸腾速率均随着盐浓度的升高而降低, 因此推测 4 个品种净光合速率降低是由气孔限制因素引起的, 其中‘海滨紫晶’受限制较小, 表明‘海滨紫晶’在盐胁迫下较其他品种具有更强的光合能力。叶绿素是主要的光合色素分子, 其含量的高低直接影响植物叶片净光合速率的大小<sup>[20-21]</sup>。本研究中 4 个乌桕新品种的叶绿素含量和净光合速率均随盐浓度的升高而不断下降, 可能是高浓度盐胁迫限制了叶绿素的合成<sup>[22-23]</sup>, 从而导致净光合速率下降。

## 3 讨论与结论

研究表明, 植物生长量是植物体快速生长阶段对盐胁迫最为敏感的指标<sup>[6]</sup>。盐胁迫条件下, 植物生长量的变化可以作为鉴定其耐盐能力强弱的可靠指标, 生长量越小, 说明其耐盐能力越差<sup>[7]</sup>。本试验中, 4 个乌桕品种的生长量均随盐浓度的升高而逐渐降低, 其中‘海滨紫晶’的降幅最小, 说明‘海滨紫晶’对盐胁迫具有较强的耐受能力, 其耐盐性最强<sup>[8]</sup>。

植物在盐胁迫状态下, 由于细胞失水破坏了细胞膜结构, 其膜透性增强<sup>[24]</sup>。研究发现, 盐胁迫可对叶片细胞膜造成伤害, 导致细胞膜透性变大, 电导率上升<sup>[25-27]</sup>。本研究中 4 个乌桕新品种的细胞膜透性均随着盐处理浓度的升高而上升, 不同品种存在明显差异, ‘海滨晚霞’膜透性增加幅度最大, 而

植物的成活率是反映该植物对环境胁迫抗性大小的最直观因子<sup>[9]</sup>。本研究表明, 随着盐浓度的不断升高, 4 个乌桕新品种存活率逐渐降低, 且不同品种之间差异较大。其中, ‘海滨紫晶’和‘海滨绯红’的成活率较高, 尤其是‘海滨紫晶’在 6% 盐处理下存活率达到 88.89%, 仍有较多苗木存活。从苗木的成活率看, ‘海滨紫晶’耐盐性最强, 而后依次是‘海滨绯红’、‘海滨梦幻’和‘海滨晚霞’, 这与采用隶属函数法进行的综合评价(表 3)结果一致,

‘海滨紫晶’增加幅度最小。

植物的耐盐性是受多种因素共同影响的综合性状,采用单一指标评价植物耐盐性容易造成一定的片面性<sup>[28-29]</sup>。本实验对生长量、存活率、 $P_n$ 、 $G_s$ 、 $C_i$ 度、 $T_r$ 、叶绿素含量和叶片膜透性等8个指标,采用隶属函数法对4个乌桕新品种的耐盐性进行评价,其耐盐性大小排序为:‘海滨紫晶’>‘海滨绯红’>‘海滨梦幻’>‘海滨晚霞’,这与各品种在盐胁迫下的受害表现相一致。

综上所述,4个乌桕新品种中‘海滨紫晶’的综合耐盐能力最强,其次为‘海滨绯红’和‘海滨梦幻’,品种‘海滨晚霞’最弱。盐碱地区造林及绿化应用时,可根据立地条件的盐分含量选择适宜的品种,以达到适地适树的效果。品种间具体耐盐遗传变异情况尚需结合分子生物学等技术手段进一步研究。

## 参考文献:

- [1] 张体彬,展小云,冯浩.盐碱地土壤酶活性研究进展和展望[J].土壤通报,2017,48(2):495-500.
- [2] 乌凤章.三个越橘品种对盐胁迫的生长和生理响应及耐盐性差异[J].植物生理学报,2019,55(11):1638-1646.
- [3] 中国植物志编委会.中国植物志[M].北京:科学出版社,2010.
- [4] 王文静,董泰玮.超声波辅助提取乌桕籽油的工艺优化研究[J].中国油脂,2019,44(4):6-9.
- [5] ZHAO T T, QIAN C M, GAO Y P, et al. Germination inhibitors detected in *Sapium sebiferum* seeds[J]. J For Res, 2019, 30(6): 2305-2312.
- [6] 高莉,田华,吕培军,等.乌桕叶化学成分研究[J].中国中药杂志,2015,40(8):1518-1522.
- [7] 段亚豪,曹玉玺,吴祖芳,等.果酒酵母菌混合培养的生长规律及对山乌桕蜂蜜酒发酵风味分析[J].中国野生植物资源,2019,38(5):36-42.
- [8] HUANG X S, LIU J H, CHEN X J. Overexpression of PtrABF gene, a bZIP transcription factor isolated from *Poncirus trifoliata*, enhances dehydration and drought tolerance in tobacco via scavenging ROS and modulating expression of stress-responsive genes[J]. BMC Plant Biol, 2010, 10: 230.
- [9] 张永丽,潘其明,张贵杰,等.山乌桕茎叶的化学成分研究[J].中国中药杂志,2019,44(17):3738-3744.
- [10] SHI J, FU X Z, PENG T, et al. Spermine pretreatment confers dehydration tolerance of *Citrus* in vitro plants via modulation of antioxidative capacity and stomatal response[J]. Tree Physiol, 2010, 30(7): 914-922.
- [11] 张士超,袁芳,郭建荣,等.利用隶属函数法对甜高粱苗期耐盐性的综合评价[J].植物生理学报,2015,51(6):893-902.
- [12] 杨传宝,孙超,李善文,等.白杨派无性系苗期耐盐性综合评价及筛选[J].北京林业大学学报,2017,39(10):24-32.
- [13] 燕丽萍,吴德军,王因花,等.4种白蜡的耐盐性响应特征与综合评价[J].西北植物学报,2019,39(7):1270-1278.
- [14] 李冬林,金雅琴,崔梦凡,等.夏季遮光对连香树幼苗形态、光合作用及叶肉细胞超微结构的影响[J].浙江农林大学学报,2020,37(3):496-505.
- [15] 韦莉莉,张小全,侯振宏,等.杉木苗木光合作用及其产物分配对水分胁迫的响应[J].植物生态学报,2005,29(3):294-302.
- [16] 马剑,刘贤德,金铭,等.NaCl胁迫对文冠果幼苗生长性状的影响[J].中南林业科技大学学报,2018,38(1):11-15.
- [17] 王金平,张金池,岳健敏,等.氯化钠胁迫对香樟幼苗光合色素和叶绿素荧光参数的影响[J].安徽农业大学学报,2017,44(4):617-622.
- [18] WU Q S, ZOU Y N. Adaptive responses of birch-leaved pear (*Pyrus betulaeifolia*) reedlings to salinity stress[J]. Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca, 2009, 37(1): 133-138.
- [19] 苏兰茜,白亭玉,鱼欢,等.盐胁迫对2种菠萝蜜属植物幼苗生长及光合荧光特性的影响[J].中国农业科学,2019,52(12):2140-2150.
- [20] 严琳玲,张瑜,王文强,等.18份银合欢种质萌发期耐盐性综合评价[J].种子,2020,39(9):70-75.
- [21] 缪李飞,于晓晶,张秋悦,等.4个杜梨半同胞家系苗期耐盐性分析[J].南京林业大学学报(自然科学版),2020,44(5):157-166.
- [22] 石婧,刘东洋,张风华.不同品种(品系)棉花对盐胁迫的生理响应及耐盐性评价[J].江苏农业学报,2020,36(4):828-835.
- [23] 白杨,闫宇彤,梁爽,等.盐胁迫下德景天叶片超微弱发光与光合作用的关系[J].安徽农业大学学报,2018,45(3):526-531.
- [24] 张翠平,王鹏年,张春兰,等.18份大豆品种耐盐性筛选与综合鉴定[J].种子,2020,39(8):17-23.
- [25] 徐涵,郭容芳,张玉苗,等.植物耐盐性:演化和盐基因组学[J].热带作物学报,2020,41(10):1979-1989.
- [26] 李佳迪,刘铎,李子英,等.5个柳树无性系苗期耐盐性综合评价及鉴定指标的筛选[J].西北林学院学报,2020,35(3):114-120.
- [27] 程方,赵小军,倪云,等.5个南方型杨树无性系苗木耐盐性盆栽试验[J].林业科学研究,2019,32(3):105-112.
- [28] 张治振,李稳,周起先,等.不同水稻品种幼苗期耐盐性评价[J].作物杂志,2020(3):92-101.
- [29] 高英波,张慧,薛艳芳,等.不同夏玉米品种耐盐性综合评价与耐盐品种筛选[J].玉米科学,2020,28(2):33-40.