

# 半红树植物杨叶肖槿幼苗耐盐性研究

邱凤英<sup>1</sup>,廖宝文<sup>2\*</sup>,肖复明<sup>1</sup>

(1. 江西省林业科学院,江西 南昌 330032; 2. 中国林业科学研究院热带林业研究所,广东 广州 510520)

**摘要:** 温室对半红树植物杨叶肖槿幼苗进行7个盐度(5、8、11、14、17、20、23 g·kg<sup>-1</sup>)的胁迫处理,并对各处理下杨叶肖槿的生长量、生物量、生理指标和光合速率进行测定,结合生理指标进行适应度分析。结果表明:杨叶肖槿的苗高、地径、叶片数、根、茎、叶干质量及总生物量随着盐度的上升均呈下降趋势,在盐度为5、8 g·kg<sup>-1</sup>处理下保持较高值,盐度超过11 g·kg<sup>-1</sup>后骤降;光合速率在盐度为5、8、11 g·kg<sup>-1</sup>处理下保持较高值,最大值出现在盐度为8 g·kg<sup>-1</sup>的处理;随着盐度的增大,杨叶肖槿幼苗叶绿素总量、叶绿素A含量和根活力呈下降趋势,超氧化物歧化酶(SOD)、丙二醛和游离脯氨酸呈上升趋势。生理指标适应度分析表明:杨叶肖槿可耐受的盐度为8 g·kg<sup>-1</sup>,在盐度≥11 g·kg<sup>-1</sup>时呈不适应性生长。

**关键词:** 半红树植物;杨叶肖槿;盐胁迫;生物量;适应度分析

中图分类号:S718.3

文献标识码:A

## Salt Tolerance of Semi-mangrove Plant *Thespesia populnea* Seedlings

QIU Feng-ying<sup>1</sup>, LIAO Bao-wen<sup>2</sup>, XIAO Fu-ming<sup>1</sup>

(1. Jiangxi Academy of Forestry, Nanchang 330032, Jiangxi, China;

2. Research Institute of Tropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Guangzhou 510520, Guangdong, China)

**Abstract:** *Thespesia populnea* seedlings were treated with seven salt gradients including 5, 8, 11, 14, 17, 20, and 23 g·kg<sup>-1</sup> in greenhouse. The increment, biomass, physiological indexes and photosynthetic rate of *Thespesia populnea* seedlings with different salinity treatments were determined, combined with the adaptability analysis of physiological indexes. The results showed that the height, stem, leaf, root dry weight, stem dry weight, leaf dry weight and total biomass decreased with increasing of the salt, and they kept high values when the treatment salt were 5 and 8 g·kg<sup>-1</sup>, but they decreased suddenly when the treatment salt were more than 11 g·kg<sup>-1</sup>. The photosynthesis of *Thespesia populnea* seedlings were high under the salt treatment of 5, 8 and 11 g·kg<sup>-1</sup>, and the maximum value was under the salt treatment of 8 g·kg<sup>-1</sup>. With the increasing of salinity, the SOD, free proline and MDA increased, but chlorophyll, chlorophyll A and root activity decreased. The adaptability analysis of physiological indicator showed that *Thespesia populnea* seedlings grew normally when the treatment salt was no more than 8 g·kg<sup>-1</sup>, and the growth would be inhibited when the salinity was more than 11 g·kg<sup>-1</sup>.

**Key words:** semi-mangrove; *Thespesia populnea*; salt stress; biomass; adaptability analysis

半红树植物是既能生长于潮间带,有时成为优势种,也能在陆地非盐渍土生长的两栖木本植物<sup>[1]</sup>,其在防浪减灾、维护海岸湿地生态安全和维系近海

生物多样性等方面具有极其重要的作用,在海南、广东、广西、福建、台湾、香港、澳门等地均有分布。半红树植物具有独特的生境适应性和生态功能,对湿

收稿日期:2010-04-29

基金项目:“江西省财政林业重大专项(2006511101)”、“十一五”国家科技支撑计划项目“华南沿海红树林保护与恢复重建技术试验示范(2006BAD03A1402)”、“十一五”国家科技支撑计划项目子专题“北部湾等沿海困难滩涂红树林带构建技术研究与示范(编号:2009BADB2B04-02)”

作者简介:邱凤英(1984—),女,江西宜春人,硕士研究生,主要从事森林生态学研究;E-mail: qiu Fengying1@126.com

\*通讯作者:首席专家,主要从事红树林研究;E-mail: baowenliao@ritf.ac.cn

地植被恢复和丰富物种多样性具有极其重要的价值,许多半红树树种还具有重要的经济价值。

杨叶肖槿 (*Thespesia populnea* (L.) Solander ex Correa) 为锦葵科 (Malvaceae)、肖槿属 (*Thespesia* Soland. ex Corr.) 半红树药用植物,生长于泥滩内沿岸上,与其它红树植物混生或在群落外缘生长,最高可达 15 m,广泛分布于亚洲、非洲、美洲和大洋洲的热带海岸,在我国广东、广西、台湾和海南亦有分布<sup>[2]</sup>。杨叶肖槿不仅观赏性强,作为传统的民间药用植物,树皮具有镇痛抗炎功能<sup>[3]</sup>,可治痢疾、痔疮及各种皮肤疾病;叶子可消炎消肿;果实可治疗皮肤疾病和伤口愈合<sup>[4]</sup>;根是一种滋补品,对人的高血压有一定治疗作用<sup>[5]</sup>。杨叶肖槿还可抗菌、抗氧化,用作泻药,并可保肝活性<sup>[6]</sup>。近年来,国外学者对杨叶肖槿做了一些研究,Akhila 等<sup>[7]</sup>对杨叶肖槿中的棉子酚成功进行了生物合成,并论述了杨叶肖槿中棉子酚从半棉子酚到棉子酚的氧化二聚过程。还有国外学者试验证实,杨叶肖槿具有止痛、消炎、抗菌、抗氧化和改善记忆力等功能,并对由四氯化物导致的肝脏损伤具有明显抗氧化功能<sup>[6,8]</sup>。国内学者对杨叶肖槿的化学成分和药理作用也做了部分研究,表明杨叶肖槿具有多种药理和生理活性,是一种很有开发潜力的药用植物<sup>[9-10]</sup>。

近年来,由于沿海地区的开发造成红树林的严重破坏,半红树植物资源日渐减少,无论从半红树植物杨叶肖槿的生态功能及生物多样性作用,还是从其药用经济价值出发,杨叶肖槿的开发利用和营造林都具有长远的研究前景和巨大的研究空间。杨叶肖槿作为主要分布于陆地林木和海滩林木过渡带的半红树植物树种之一,具有一定的耐盐能力,但其耐盐性比红树植物弱,土壤盐度成为杨叶肖槿向沿海滩涂繁衍的主要制约因素之一。目前,对杨叶肖槿耐盐性的研究还未见报道,本研究以杨叶肖槿为研究对象,对其进行盐梯度胁迫处理,通过对各盐度处理下生长及生理指标的适应度分析来了解杨叶肖槿耐盐性的强弱和适生盐度范围,为今后杨叶肖槿的引种、推广及营林立地的选择提供理论依据和数据参考,以期实现杨叶肖槿药用价值的市场开发,并使半红树植物在湿地生态系统完善中发挥更大的作用。

## 1 试验材料与方法

### 1.1 试验材料

2009年1月初,将温室内培育出土的2个月左

右的杨叶肖槿健壮幼苗移植到装4 kg混合土(泥:沙:火烧土=3:1:1)的黑色营养袋(直径18 cm,高度20 cm)中,每营养杯种植1株,置于温室中培养。温室内平均气温约22℃,最高气温38℃,最低气温约10℃。试验期间室外光照充裕、雨量充沛。2009年5月初,苗高生长至 $14.5 \pm 5.14$  cm、地茎 $0.32 \pm 0.08$  cm、叶片数 $7 \pm 2$ 片时进行盐梯度胁迫处理,处理时间100 d。

### 1.2 试验方法

1.2.1 试验设置 2009年5月初,设置7个土壤全盐量梯度(5(对照)、8、11、14、17、20、23 g·kg<sup>-1</sup>)对杨叶肖槿苗进行胁迫处理,每处理设置2个区组,每区组设30株重复。由于土壤中原本含少量盐,为了和野外造林土壤中含盐量相对应,得出准确的土壤含盐量,并消除施盐过程中引起的盐梯度误差,试验结束后采集土样,对土壤的全盐量进行分析,以确定土壤的最终含盐量。采用质量法<sup>[11]</sup>分析土壤全盐量得知:土壤中原本全盐量为5 g·kg<sup>-1</sup>,不同盐度处理后土壤的实际全盐量分别为:5、8、11、14、17、20、23 g·kg<sup>-1</sup>。

1.2.2 盐胁迫梯度处理方法 以海盐(NaCl)为材料,以盐溶液形式3 d施盐1次,共施盐12次,7个盐梯度(5、8、11、14、17、20、23 g·kg<sup>-1</sup>)每次施盐浓度分别为0、10、20、30、40、50、60 g·L<sup>-1</sup>,每次施盐溶液体积均为100 mL。

### 1.3 指标测定

1.3.1 生长量、生物量测定 从杨叶肖槿幼苗第1次施盐起,每10 d测定1次苗高和地径。试验结束后将全部试验苗洗净装入信封放入恒温烘箱中,先在110℃下杀青20 min,再在80℃下烘干至恒质量,取出用电子天平分别称每株苗的根、茎、叶干质量。

1.3.2 植物生理分析 2009年8月上旬取盐梯度胁迫处理后植株生长正常的叶和根进行各项生理指标的测定,各处理各项生理指标重复3次。

叶绿素含量的测定采用分光光度法<sup>[12]</sup>;丙二醛(MDA)含量测定采用硫代巴比妥酸(TBA)比色法<sup>[13]</sup>,略有改动;超氧化物歧化酶(SOD)活性测定参照Stewart等<sup>[14]</sup>抑制NBT光化还原方法;游离脯氨酸含量测定采用磺基水杨酸浸提法<sup>[15]</sup>;根活力测定采用TTC法<sup>[16]</sup>。

1.3.3 净光合速率测定 2009年8月中旬晴好天气上午10:00时采用便携式光合测定仪(LI-6400 Portable Photo Synthesis System, Lincoln USA)对不同

盐度处理下植株的净光合速率进行测定,测定时光照强度为  $800 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  左右,  $\text{CO}_2$  浓度约为  $380 \mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。随机选择测定样株,每区组每处理 5 个重复,在样株上部向阳面选择叶片较多的同化枝进行测定,每个样枝读取 5 个测量数据,各处理的净光合速率取平均值。

## 2 数据处理及适应度分析方法

数据用 Excel、SPSS15.0 处理软件进行分析处理,其中,方差分析采用单因素方差分析法,多重比较采用最小显著差异法。

适应度计算采用郭会军等<sup>[17]</sup>的适应度分析公式,略有改动,公式为:

$$adp = \begin{cases} \frac{\sum_{i=1}^n (C_i X_i) / \sum_{i=1}^n C_i}{\sum_{i=1}^n C_i} & (\sum_{i=1}^n C_i > 0) \\ \sum_{i=1}^n C_i X_i & (\sum_{i=1}^n C_i = 0) \\ -\frac{\sum_{i=1}^n (C_i X_i) / \sum_{i=1}^n C_i}{\sum_{i=1}^n C_i} & (\sum_{i=1}^n C_i < 0) \end{cases} \quad (1)$$

公式(1)中:  $adp$  为适应度,  $C_i$  为某一生理指标对适应度的贡献权值,  $X_i$  为某一生理指标的相对值,用试验所得生理指标值  $[C_i, X_i]$ , 进行适应度分析。

若  $adp < -2$  ( $\sum C_i < 0$ ) 或  $adp < -1$  ( $\sum C_i = 0$ ) 或  $adp < 0$  ( $\sum C_i > 0$ ), 则植物受环境的影响明显, 不适应生长;

若  $-2 \leq adp < -1$  ( $\sum C_i < 0$ ) 或  $-1 \leq adp < 0$  ( $\sum C_i = 0$ ) 或  $0 \leq adp < 1$  ( $\sum C_i > 0$ ), 则植物受环境影响, 但影响不明显, 可正常生长;

若  $adp \geq -1$  ( $\sum C_i < 0$ ) 或  $adp \geq 0$  ( $\sum C_i = 0$ ) 或  $adp \geq 1$  ( $\sum C_i > 0$ ), 则植物适应环境, 适应生长。

## 3 结果与分析

### 3.1 不同盐度处理下杨叶肖槿的生长量

由图 1 可见: 不同盐度处理下, 杨叶肖槿幼苗的最终苗高、地径及叶片数均有显著差异 ( $P < 0.05$ )。

在盐度  $5, 8 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$  处理下, 苗高显著高于盐度  $\geq 14 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$  的处理, 随盐度的增大, 苗高急剧下降, 最小值 (盐度为  $20 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) 比对照小 42%; 盐度为  $8 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$  的处理下地径最大, 且显著高于盐度  $\geq 14 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$  的处理, 地径最大值是最小值 (盐度为  $23 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) 的 1.56 倍, 随着盐度的增大, 地径呈下降趋势; 在盐度  $5, 8 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$  处理下, 叶片数均保持较高值, 且显著高于其它处理, 盐度超过  $11 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$  后叶片数急剧减少, 将抑制杨叶肖槿的生长。

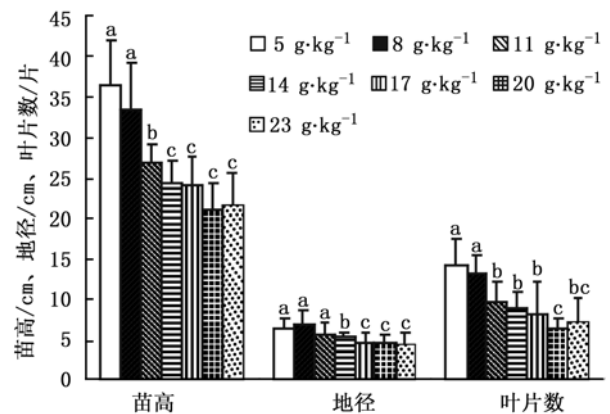


图 1 杨叶肖槿不同盐度处理下的生长量

### 3.2 不同盐度处理下杨叶肖槿的生物量

由表 1 可见: 不同盐度处理下杨叶肖槿的根、茎、叶干质量及总生物量均有显著差异 ( $P < 0.05$ )。杨叶肖槿幼苗的根、茎、叶干质量及总生物量在盐度为  $5, 8 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$  处理间无显著差异 ( $P > 0.05$ ), 且显著大于其它处理; 随着盐度的增大, 杨叶肖槿幼苗的根干质量、茎干质量、叶干质量和总生物量均显著下降 ( $P < 0.05$ ); 总生物量最大值 (对照) 为盐度  $11 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$  处理的 2.04 倍, 是最小值 (盐度  $23 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) 的 5.77 倍, 表明杨叶肖槿可以耐受盐度为  $5, 8 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$  的处理, 具有一定的耐盐性, 但盐度超过  $11 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$  后, 生长受限制。

表 1 不同盐度处理下杨叶肖槿的生物量

盐度/ $(\text{g} \cdot \text{kg}^{-1})$	根干质量/ $(\text{g} \cdot \text{株}^{-1})$	茎干质量/ $(\text{g} \cdot \text{株}^{-1})$	叶干质量/ $(\text{g} \cdot \text{株}^{-1})$	总生物量/ $(\text{g} \cdot \text{株}^{-1})$
5	$1.687 \pm 0.352\text{ab}$	$4.006 \pm 0.684\text{a}$	$3.164 \pm 0.265\text{a}$	$8.857 \pm 0.924\text{a}$
8	$2.153 \pm 0.466\text{a}$	$3.335 \pm 0.515\text{a}$	$3.062 \pm 0.328\text{a}$	$8.550 \pm 0.805\text{a}$
11	$0.778 \pm 0.198\text{c}$	$2.001 \pm 0.339\text{b}$	$1.555 \pm 0.229\text{b}$	$4.334 \pm 0.415\text{b}$
14	$0.935 \pm 0.210\text{bc}$	$1.592 \pm 0.332\text{bc}$	$1.061 \pm 0.240\text{bc}$	$3.587 \pm 0.356\text{bc}$
17	$0.726 \pm 0.157\text{c}$	$1.609 \pm 0.381\text{bc}$	$0.960 \pm 0.144\text{bcd}$	$3.300 \pm 0.303\text{bc}$
20	$0.492 \pm 0.147\text{c}$	$1.406 \pm 0.282\text{bc}$	$0.533 \pm 0.202\text{cd}$	$2.431 \pm 0.250\text{bc}$
23	$0.376 \pm 0.101\text{c}$	$0.818 \pm 0.213\text{c}$	$0.342 \pm 0.204\text{d}$	$1.536 \pm 0.188\text{c}$

注: 表中数据为平均值, 同列数据后不同字母表示差异显著 ( $P = 0.05$ )。

### 3.3 不同盐度处理下杨叶肖槿的净光合速率

由图2可见:在盐度5、8、11  $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 处理下,杨叶肖槿幼苗的净光合速率都保持较高值,最大值出现在盐度8  $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 处理下;在盐度 $\geq 17 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 处理下,杨叶肖槿幼苗的净光合速率为负值,呼吸速率大于光合速率,幼苗生长受限。可见,低盐处理对杨叶肖槿的光合速率有一定的促进作用,但盐度过高则起抑制作用。

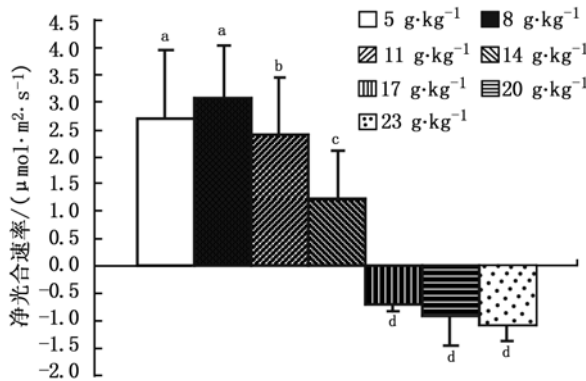


图2 8月晴天上午10:00不同盐度处理下杨叶肖槿的光合速率

### 3.4 不同盐度处理下杨叶肖槿的生理指标及适应度分析

由表2可见:随盐度的增大,杨叶肖槿幼苗叶片内的根活力、叶绿素总量和叶绿素A含量均呈下降趋势;叶片内的超氧化物酶、丙二醛和游离脯氨酸均呈上升趋势。在盐度5、8  $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 处理下,叶绿素总

量显著高于盐度 $\geq 14 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 的处理,根活力显著高于其它处理,其最大值(盐度8  $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ )是最小值(盐度为23  $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ )的6.56倍。盐度 $> 11 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 处理的丙二醛和游离脯氨酸含量均显著高于盐度5、8  $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 的处理。

以土壤中原含盐量5  $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 的处理为对照(不另外施盐),计算不同盐度处理下杨叶肖槿6项生理指标的相对值。根据杨叶肖槿幼苗叶片及根的6项生理指标的相对值在不同盐度处理下的变化趋势,判断各生理指标对适应度的贡献权值( $C_i$ )。根据表2判断某一生理指标变化趋势与叶绿素总量及游离脯氨酸变化趋势的同步情况,若与同化指标叶绿素总量同步,则 $C_i = 1$ ;若与异化指标游离脯氨酸同步,则 $C_i = -1$ ;若基本上无变化,则 $C_i = 0$ 。从表2可见:游离脯氨酸、超氧化物酶和丙二醛变化趋势一致, $C_i = -1$ ;叶绿素总量、叶绿素A和根活力变化趋势一致, $C_i = 1$ 。按公式(1)计算出杨叶肖槿在不同盐度处理下的适应度。

由表2可知:在盐度5  $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 处理下,杨叶肖槿的适应度为0,幼苗适应环境,呈适应性生长;在盐度8  $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 处理下,适应度为-0.8602,受到环境一定程度的影响,但不明显,可正常生长;在盐度 $\geq 11 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 处理下,适应度均 $< -1$ ,受到环境明显影响,呈不适应性生长。

表2 不同盐度处理下半红树植物杨叶肖槿生理指标相对值及适应度

盐度/ ( $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	叶绿素总量/ ( $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ )	叶绿素A/ ( $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ )	超氧化物酶/ ( $\text{u} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ )	丙二醛/ ( $\text{umol} \cdot \text{g}^{-1}$ )	游离脯氨酸/ ( $\text{ug} \cdot \text{g}^{-1}$ )	根活力/ ( $\text{u} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ )	适应度 ( $adp$ )
5	2.74 ± 0.24e	1.70 ± 0.20d	410.95 ± 58.30a	5.59 ± 0.12a	45.12 ± 10.85a	911.77 ± 82.20d	0.0000
8	2.66 ± 0.24de	1.66 ± 0.12cd	512.78 ± 59.15a	8.35 ± 1.82ab	49.93 ± 8.58a	946.47 ± 41.80d	-0.8602
11	2.63 ± 0.27de	1.68 ± 0.14cd	737.04 ± 95.04ab	11.20 ± 0.99bc	209.71 ± 22.17b	666.51 ± 21.72c	-5.7624
14	2.59 ± 0.13d	1.60 ± 0.18c	783.32 ± 93.58ab	11.74 ± 2.16c	238.94 ± 24.30c	619.56 ± 28.67c	-6.7317
17	2.38 ± 0.25c	1.45 ± 0.25b	791.18 ± 63.27ab	14.03 ± 0.56cd	242.27 ± 23.45c	422.62 ± 36.58b	-7.6175
20	2.18 ± 0.10b	1.38 ± 0.15b	818.53 ± 64.55ab	14.18 ± 0.54cd	245.41 ± 28.60c	324.59 ± 38.60b	-8.0010
23	1.75 ± 0.26a	1.09 ± 0.14a	1089.84 ± 69.30b	15.24 ± 1.39d	252.22 ± 23.91c	144.37 ± 11.55a	-9.5306

注:表中数据为平均值,同列数据后不同字母表示差异显著( $P=0.05$ )。

## 4 结论与讨论

从杨叶肖槿的生长量看,低盐对其地径生长有一定的促进作用,高盐不利于杨叶肖槿幼苗叶片的生长,将抑制杨叶肖槿的生长。叶勇等<sup>[18]</sup>对红树植物白骨壤对盐胁迫的耐受性研究表明,在0‰~35‰的盐度范围内,低盐对白骨壤茎高生长有促进作用,高盐则抑制白骨壤茎高的生长,这与杨叶肖槿的生长相似。

低盐处理对杨叶肖槿的光合速率有一定的促进作用,但盐度过高则起抑制作用。在盐度5、8、11  $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 下,杨叶肖槿幼苗的净光合速率都保持较高值,最大值出现在盐度8  $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 的处理下。在盐度 $\geq 17 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 处理下,杨叶肖槿幼苗的净光合速率为负值,呼吸速率大于光合速率,幼苗生长受限。高盐抑制杨叶肖槿叶片生长及叶绿素合成,进而影响到植株光合作用,减少植株生物量积累,使杨叶肖槿生长变差。廖岩等<sup>[19]</sup>对3种红树植物对盐胁迫

的适应性研究表明,无瓣海桑、海桑和红海榄的净光合速率均随盐度的增大而下降,这与杨叶肖槿光合速率对盐胁迫的反应一致。

随着盐度的增大,杨叶肖槿幼苗叶绿素总量、叶绿素 A 含量和根活力呈下降趋势,超氧化物酶(SOD)、丙二醛和游离脯氨酸呈上升趋势。丙二醛(MDA)含量的变化可以反映植物遭受逆境伤害的程度<sup>[13]</sup>,杨叶肖槿幼苗叶片内的丙二醛含量随盐度增大而上升,表明杨叶肖槿幼苗随盐度增大受害程度加深;而廖岩等<sup>[19]</sup>对无瓣海桑和海桑的耐盐性研究表明,无瓣海桑和海桑幼苗叶片中的 MDA 含量在低盐下( $<10‰$ )略有下降,随着盐度的上升,MDA 含量急剧上升,这与杨叶肖槿略有不同,这也表明半红树植物杨叶肖槿对盐度的耐受能力比红树植物无瓣海桑和海桑差。SOD 是植物保护酶之一,已广泛应用于植物对逆境反应机理的研究<sup>[20]</sup>。随着盐度的增大,杨叶肖槿叶片内的 SOD 呈上升趋势,一方面表明了杨叶肖槿幼苗受逆境影响加大,另一方面也是杨叶肖槿幼苗体内防御活性氧或其它氧化物自由基对细胞膜系统伤害的一种反应。郑海雷等<sup>[21]</sup>研究也表明,随着盐度的上升,红树植物海莲和木榄幼苗体内具有膜保护作用的 SOD 活性也呈上升趋势,这与盐胁迫下杨叶肖槿膜保护系统反应一致。游离脯氨酸是植物抗逆性的重要生理指标之一,杨叶肖槿幼苗叶片内的游离脯氨酸含量随盐胁迫增大而增大,既是杨叶肖槿幼苗细胞结构和功能遭受盐胁迫伤害的反应,又是杨叶肖槿幼苗在逆境下的一种适应性表现<sup>[22]</sup>。

生理指标适应度分析表明:杨叶肖槿在盐度  $5 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$  处理下呈适应性生长,在盐度  $8 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$  处理下可正常生长,在盐度  $\geq 11 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$  处理下呈不适应性生长。Krauss 等<sup>[23]</sup>研究了盐度对大红树和海莲生长的影响,表明大红树和海莲分别在盐度为  $20‰$  和  $15‰$  时生长最好。大部分红树植物均能耐受  $15‰$  左右的盐度,可见半红树植物杨叶肖槿对盐度的耐受性比红树植物差。由于杨叶肖槿对土壤盐度具有一定的耐受性,可在盐度适合的沿海岸边造林生长,还可能成为在适宜气候条件下盐碱土造林的优选树种之一,杨叶肖槿具有广阔的开发应用前景。

#### 参考文献:

- [1] 王文卿,王 瑁. 中国红树林[M]. 北京:科学出版社,2007:6-7  
[2] Thorne R F. Some guiding principles of angiosperm phylogeny[J].

- AmerNat, 1988, 97:287-305  
[3] Mani V, Kumar K G, Milind P. Antinociceptive and anti-inflammatory effects of *Thespesia populnea* bark extract [J]. Journal of Ethnopharmacology, 2007, 109: 264-270  
[4] Nagappa A N, Cheriyan B. Wound healing activity of the aqueous extract of *Thespesia populnea* fruit [J]. Fitoterapia, 2001, 72: 503-506  
[5] 冯国楹. 中国植物志:第49卷,第2期[M]. 北京:科学出版社,1996:140-143  
[6] Vasudevan M, Parle M. Pharmacological actions of *Thespesia populnea* relevant to Alzheimer's disease[J]. Phytomedicine, 2006, 13: 677-687  
[7] Akhila A, Rani K. Biosynthesis of gossypol in *Thespesia populnea* [J]. Phytochemistry, 1993, 33(2):335-340  
[8] Raju I, Mani V, Sockalingam A, et al. Antioxidant activity of *Thespesia populnea* bark extracts against carbon tetrachloride-induced liver injury in rats [J]. Journal of Ethnopharmacology, 2003, 87: 227-230  
[9] 田 艳,吴 军,张 德. 半红树药用植物杨叶肖槿的化学成分和药理作用研究进展[J]. 中草药,2003,34(1):82-84  
[10] 张道敬,张 德,吴 军. 半红树药用植物杨叶肖槿树皮的化学成分[J]. 时珍国医国药,2007,18(9):2156-2157  
[11] 南京农学院. 土壤农化分析[M]. 北京:农业出版社,1980:124-128  
[12] 李合生. 植物生理生化实验原理与技术[M]. 北京:高等教育出版社,2000:134-137  
[13] 王晶英,敖 红,张 杰,等. 植物生理生化实验技术与原理[M]. 哈尔滨:东北林业大学出版社,2003:135-136  
[14] Stewert R C, Bewley J D. Lipid peroxidation associated with accelerated aging of soybean axes[J]. Plant Physiol, 1980, 65:245-248  
[15] 李合生. 植物生理生化实验原理与技术[M]. 北京:高等教育出版社,2000:121-123  
[16] 王晶英,敖 红,张 杰,等. 植物生理生化实验技术与原理[M]. 哈尔滨:东北林业大学出版社,2003:101-104  
[17] 范航清,梁士楚. 中国红树林研究与管理[M]. 北京:科学出版社,1995:71-73  
[18] 叶 勇,卢昌义,胡宏友,等. 三种泌盐红树植物对盐胁迫的耐受性比较[J]. 生态学报,2004,24(11):2444-2450  
[19] 廖 岩,陈桂珠. 三种红树植物对盐胁迫的生理适应[J]. 生态学报,2007,27(6):2208-2214  
[20] Bowler C, Montagu M V, Inze D. Superoxide dismutase and stress tolerance[J]. Annual Reviews, 1992, 43:83-116  
[21] 郑海雷,林 鹏. 培养盐度对海莲和木榄幼苗膜保护系统的影响[J]. 厦门大学学报:自然科学版,1998,37(2):278-282  
[22] 汤章诚. 逆境条件下植物脯氨酸的累积及其可能的意义[J]. 植物生理学通讯,1984(1):15-21  
[23] Krauss K W, Allen J A. Influences of salinity and shade on seedling photosynthesis and growth of two mangrove species, *Rhizophora mangle* and *Bruguiera sexangula*, introduced to Hawaii[J]. Aquatic Botany, 2003, 77:311-324