

# 尖瓣海莲幼苗对模拟潮汐淹浸时间的适应性研究

廖宝文<sup>1</sup>, 邱凤英<sup>1,2</sup>, 管伟<sup>1</sup>, 曾雯珺<sup>1</sup>, 韩静<sup>1,2</sup>

(1 中国林业科学研究院热带林业研究所, 广东 广州 510520 2 中南林业科技大学, 湖南 长沙 410004)

**摘要:** 室内模拟不同潮汐淹浸时间对红树植物尖瓣海莲幼苗生长的影响, 测定植物生理指标 (包括叶绿素、超氧化物歧化酶、游离脯氨酸、丙二醛、硝酸还原酶、电导率、根活力等)、生长量和生物量。半年的试验结果表明: 叶绿素、根活力和硝酸还原酶随淹浸时间的延长先升后降, 而游离脯氨酸、丙二醛和相对电导率随淹浸时间的延长先降后升, 并在  $12 \text{ h} \cdot \text{d}^{-1}$  处出现骤变分界点; 淹浸时间超过  $16 \text{ h} \cdot \text{d}^{-1}$  后, 尖瓣海莲胚轴发芽率下降, 超过  $14 \text{ h} \cdot \text{d}^{-1}$  后尖瓣海莲幼苗部分死亡, 淹浸  $24 \text{ h} \cdot \text{d}^{-1}$  苗木全部死亡; 淹浸逆境对幼苗叶片影响最大, 叶片数月均增长最大者 (淹浸  $4 \text{ h} \cdot \text{d}^{-1}$ ) 比月均增长最小者 (淹浸  $24 \text{ h} \cdot \text{d}^{-1}$ ) 增加了 450%; 总生物量、茎及主根的生物量均在淹浸  $6 \text{ h} \cdot \text{d}^{-1}$  处理下最大, 当淹浸超过  $12 \text{ h} \cdot \text{d}^{-1}$  后, 尖瓣海莲幼苗总生物量骤降。结合适应度分析得出: 尖瓣海莲的最适淹浸时间为  $6 \sim 8 \text{ h} \cdot \text{d}^{-1}$ , 临界淹浸时间为  $12 \text{ h} \cdot \text{d}^{-1}$ 。

**关键词:** 尖瓣海莲; 潮汐淹浸; 生理指标; 生物量; 适应度分析

中图分类号: S728.6

文献标识码: A

## Study on the Adaptability of *Bruguiera sexangula* var. *rhynchopetala* Seedlings to Simulated Tidal Inundation

LIAO Baowen<sup>1</sup>, QIU Fengying<sup>1,2</sup>, GUAN Wei<sup>1</sup>, ZENG Wenjun<sup>1</sup>, HAN Jing<sup>1,2</sup>

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

2 Central South University of Forestry and Technology, Changsha 410004, Hunan China)

**Abstract** A greenhouse experiment on the influence of simulated tidal inundation on the growth of *Bruguiera sexangula* var. *rhynchopetala* seedlings was conducted and some physiological and growth indexes of the seedlings including chlorophyll, superoxide dismutase, proline, malondialdehyde, nitrate reductase, electrical conductivity, root activity were measured. The half-year experimental results showed that the chlorophyll, root activity and nitrate reductase rose at first and fell later while proline, malondialdehyde and electrical conductivity fell at first and rose later during the period of the tidal inundation and a sudden change occurred at  $12 \text{ h} \cdot \text{d}^{-1}$  of the inundation. The germination percentage of hypocotyl would decrease at more than  $16 \text{ h} \cdot \text{d}^{-1}$  of the tidal inundation. Part of the seedling would die at more than  $14 \text{ h} \cdot \text{d}^{-1}$  of the inundation and the whole plant died at 24 hr of the tidal inundation per day. The leaves were affected most severely under waterlogging adverse circumstance, for example, the mean of leaves number per month at  $4 \text{ h} \cdot \text{d}^{-1}$  of tidal inundation was 450% more than that at  $24 \text{ h} \cdot \text{d}^{-1}$  of tidal inundation. The maximum values of the total biomass, dry biomass of stem and dry biomass of taproot were got at 6 hours of tidal inundation per day while the total biomass dropped suddenly when the tidal inundation was prolonged to  $12 \text{ h} \cdot \text{d}^{-1}$ . It concluded that  $6 \sim 8 \text{ h} \cdot \text{d}^{-1}$  of tidal inundation is most suitable to the growth of *B. Sexangula* var. *rhynchopetala* seedlings and  $12 \text{ h} \cdot \text{d}^{-1}$  was a critical tidal

收稿日期: 2008-08-15

基金项目: 广东省科技厅项目 (2004B50201002, 2007B080701016), “十一五”国家林业科技支撑计划专题 (2006BAD03A1402); 科技部农业科技成果转化资金项目 (2006GB24320408)

作者简介: 廖宝文 (1963—), 男, 研究员, 主要研究方向: 湿地恢复与湿地环境监测。E-mail: baowenliao@rinf.ac.cn

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

inundation time when the plant responded to be obviously inadapttable

**Key words** *Bruguiera sexangula* var *rhynchopetala*, tidal inundation, physiological index, biomass adaptability analysis

红树林是生长在热带亚热带低能海岸潮间带受周期性海水浸淹的木本植物。它们是陆地显花植物进入海洋边缘演化而成<sup>[1]</sup>, 占据于海岸生态关键区, 适应于特殊环境, 从而具有特殊的形态结构和生理生态特性。潮汐淹没时间和盐度是限制红树植物潮间带水平分布的主要因素。

尖瓣海莲 (*Bruguiera sexangula* var *rhynchopetala* Ko) 是红树科 (Rhizophoraceae) 木榄属 (*Bruguiera* Lan.) 常绿乔木, 高达 15 m, 为海莲 (*B. sexangula* (Lour.) Poir.) 和木榄 (*B. gymnorhiza* (L.) Lan.) 的杂交种。天然分布于海南岛东海岸, 东寨港、清澜港较多, 生长于红树林带内缘高潮线附近<sup>[2]</sup>, 其高滩到低滩的生态序列位于海莲之后木榄之前。潘文等<sup>[3]</sup>对包括尖瓣海莲在内的木榄属 3 种红树植物的遗传变异和亲缘关系进行了研究, 但对尖瓣海莲的海水淹没适应能力未作研究。本研究通过对尖瓣海莲幼苗在不同潮汐淹没时间下的生长及生理指标的分析来了解其耐淹能力及对淹浸逆境的适应情况, 为尖瓣海莲的推广、引种栽培、遗传优选及其进一步科研提供理论依据。

## 1 试验地概况及试验时间

整个模拟试验在广州市人工玻璃温室内进行。试验期间温室内最高气温达 39℃, 最低气温约 21℃, 平均气温约 27℃。试验时间为 2007 年 4 月至 10 月, 跨越春夏秋三季, 光热资源丰富、空气湿润。

## 2 材料和方法

### 2.1 试验材料

于 2007 年 3 月 28 日从海南岛东寨港采集尖瓣海莲无病虫害的健壮整齐成熟胚轴 (胚轴平均长 6 cm, 鲜质量 10.41 g), 2007 年 4 月 1 日插入装混泥土 (泥:沙:火烧土 = 3:1:1) 的塑料瓶 (用 1.25 L 的可乐瓶制作, 半径 5 cm, 高 10 cm, 底部带孔) 中, 并放入玻璃温室潮汐模拟槽 (长 × 宽 × 高 = 1.2 m × 0.7 m × 0.4 m) 内进行培养。

### 2.2 试验方法

2.2.1 试验设置 试验采用自动潮汐模拟槽装置, 设计了 12 对模拟槽, 分上槽和下槽, 上槽为培养槽, 下槽为储水槽, 用功率 15 W 的水泵连接上下水槽,

以定时器控制涨退潮时间。槽内水为人工配置海水, 盐度调节为  $10 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 每天加入少量新鲜水, 保持上槽内人工海水深度为 0.38 m。苗木每天被淹没时间分别为 2、4、6、8、10、12、14、16、18、20、22、24 h (每天平均分 2 个时段浸水, 即模拟半日潮, 每个半日潮苗木完全被淹没的时间分别为 1、2、3、4、5、6、7、8、9、10、11、12 h), 共 12 个处理。每一处理均为 18 株, 即 3 个重复, 每重复 6 株。

2.2.2 尖瓣海莲生长指标调查 从 2007 年 5 月 15 日起每隔 15 d 对尖瓣海莲的苗高、地茎 (胚轴以上苗木的基部) 及叶片数进行调查, 于 2007 年 10 月底对尖瓣海莲的细根、主根、茎、叶干质量进行测定。

2.2.3 尖瓣海莲生理指标测定 在结束模拟潮汐淹浸试验前 15 d 取尖瓣海莲中上部无损伤成熟叶片进行各项生理指标的测定, 每处理每项生理指标做 3 个重复。

(1) 叶绿素 a、b 含量及总量采用分光光度法。

(2) 丙二醛 (MDA) 含量采用硫代巴比妥酸 (TBA) 法<sup>[4]</sup>测定, 以单位鲜质量所含丙二醛摩尔数来表示, 单位为  $\mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1}$ 。

(3) 超氧化物歧化酶 (SOD) 活性采用氮蓝四唑 (NBT) 法测定, SOD 总活性 ( $\text{u} \cdot \text{g}^{-1}$ ) 是指单位鲜质量含酶单位数, 一个酶活单位定义为将 NBT 还原抑制到对照一半时所需酶量。

(4) 硝酸还原酶活性采用硝酸盐还原法测定, 以单位时间每克鲜质量样品催化产生的亚硝态氮总量来表示, 单位为  $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ 。

(5) 游离脯氨酸含量采用酸性茚三酮法<sup>[5]</sup>测定, 以单位鲜质量所含脯氨酸量来表示, 单位为  $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ 。

(6) 质膜透性采用电导仪法测定。

(7) 根活力采用 TTC 法测定, 以单位时间每克鲜质量根所引起的氯化三苯基四氮唑 (TTC) 还原量来表示, 单位为  $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ 。

2.2.4 适应度分析方法 用试验所得的值  $[C_i, X_i]$  进行适应度 (用“adp”表示) 分析。若  $adp < -1$  ( $\sum C_i = 0$ ) 或  $adp < 0$  ( $\sum C_i \neq 0$ ) 则植物受环境的影响明显; 若  $-1 \leq adp < 0$  ( $\sum C_i = 0$ ) 或  $0 \leq adp < 1$  ( $\sum C_i \neq 0$ ), 则植物受环境影响, 但影响不明显; 若  $adp \geq 0$  ( $\sum C_i = 0$ ) 或  $adp \geq 1$  ( $\sum C_i \neq 0$ ) 则植物适应环境。

表现适应性生长。其公式为:

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

式中:  $C_i$  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。

### 2.3 数据处理

所有数据在 Excel SPSS15.0 软件中进行分析, 其中方差分析采用单因素方差分析法 (One-Way ANOVA), 多重比较采用最小显著差异法 (LSD)。

## 3 结果与分析

### 3.1 不同淹浸时间对尖瓣海莲幼苗叶片叶绿素含量的影响

由表 1 看出: 尖瓣海莲幼苗叶片的叶绿素总量和叶绿素 a 随淹浸时间的延长有先升后降趋势, 淹浸时间  $\geq 12 \text{ h} \cdot \text{d}^{-1}$  时, 叶绿素总量显著低于淹浸时间  $< 12 \text{ h} \cdot \text{d}^{-1}$  的值 ( $P = 0.05$ ,  $\text{sig} < 0.05$ ), 表明淹浸时间  $12 \text{ h} \cdot \text{d}^{-1}$  是个分界点; 随着淹浸时间的延长, 叶绿素 a/b 值均有不同程度的增大, 表明淹浸逆境下叶绿素 b 比叶绿素 a 下降快, 这与污水逆境对秋茄 (*Kandelia candel* (L.) Druce) 的影响结果一致<sup>[6-7]</sup>。

表 1 不同淹浸时间下尖瓣海莲幼苗叶片的叶绿素含量

淹浸时间 / ( $\text{h} \cdot \text{d}^{-1}$ )	叶绿素总量 / ( $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ )	叶绿素 a / ( $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ )	叶绿素 b / ( $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ )	叶绿素 a/b
2	0.80 ± 0.01 a	0.38 ± 0.00 bdef	0.42 ± 0.01 ab	0.92 ef
4	0.80 ± 0.01 a	0.39 ± 0.01 bce	0.42 ± 0.01 ab	0.93 e
6	0.81 ± 0.01 a	0.39 ± 0.00 bce	0.43 ± 0.01 a	0.91 f
8	0.82 ± 0.05 a	0.49 ± 0.05 a	0.33 ± 0.00 cde	1.48 a
10	0.84 ± 0.02 a	0.47 ± 0.00 a	0.37 ± 0.02 bc	1.26 d
12	0.69 ± 0.07 b	0.40 ± 0.00 b	0.29 ± 0.07 defgh	1.38 b
14	0.65 ± 0.02 bce	0.36 ± 0.01 efg	0.29 ± 0.02 efgh	1.26 d
16	0.63 ± 0.01 c	0.36 ± 0.00 cdefg	0.27 ± 0.00 fgh	1.34 c
18	0.62 ± 0.01 c	0.36 ± 0.00 fg	0.26 ± 0.01 gh	1.36 bc
20	0.61 ± 0.04 c	0.35 ± 0.00 g	0.26 ± 0.03 h	1.37 bc

注: 表中数据为平均值 ± 标准误; 同一列中不同字母表示数据间差异显著 ( $P = 0.05$ ); 下同。

### 3.2 不同淹浸时间对尖瓣海莲幼苗生理指标的影响

植物在不同程度的逆境下不仅表现出外在生长形态上的差异, 在生理指标上也存在差异。由表 2 看出: 尖瓣海莲幼苗叶片的超氧化物歧化酶 (SOD) 活性、游离脯氨酸含量、丙二醛含量、相对电导率、硝酸还原酶活性及根活力等生理指标在不同淹浸时间间存在差异, 有些差异显著 ( $P = 0.05$ ,  $\text{sig} < 0.05$ ), 其中, SOD 活性、游离脯氨酸含量、丙二醛含量和相对电导

率随淹浸时间的延长先略微下降然后上升, 根活力和硝酸还原酶活性却随淹浸时间的延长先升后降; 淹浸  $6 \text{ h} \cdot \text{d}^{-1}$  下, 丙二醛含量最低, SOD 活性和相对电导率也较低, 而根活力和硝酸还原酶活性最高, 表明尖瓣海莲幼苗在  $6 \text{ h} \cdot \text{d}^{-1}$  的淹浸下受水淹逆境伤害较小或适应环境; 游离脯氨酸含量、根活力、相对电导率和硝酸还原酶活性在淹浸  $\geq 12 \text{ h} \cdot \text{d}^{-1}$  与淹浸  $< 12 \text{ h} \cdot \text{d}^{-1}$  间差异显著 ( $P = 0.05$ ,  $\text{sig} < 0.05$ ), 再次表明尖瓣海莲幼苗生长的淹浸分界点为  $12 \text{ h} \cdot \text{d}^{-1}$ 。

表 2 不同淹浸时间下尖瓣海莲幼苗叶片的生理指标

淹浸时间 / ( $\text{h} \cdot \text{d}^{-1}$ )	SOD 活性 / ( $\text{u} \cdot \text{g}^{-1}$ )	游离脯氨酸含量 / ( $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ )	丙二醛含量 / ( $\mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1}$ )	根活力 / ( $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ )	相对电导率 / %	硝酸还原酶活性 / ( $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ )
2	211.48 ± 71.24 b	3.38 ± 0.06 bcd	34.53 ± 0.75 g	4.041.46 ± 22.47 d	6.82 ± 0.01 e	6.13 ± 0.93 cd
4	262.75 ± 94.75 ab	3.28 ± 0.00 def	42.37 ± 2.50 f	4.670.59 ± 52.99 b	6.45 ± 0.03 e	7.80 ± 0.15 ab
6	254.74 ± 101.96 ab	3.26 ± 0.06 efg	29.20 ± 1.01 g	4.895.74 ± 100.67 a	6.84 ± 0.01 e	8.36 ± 0.32 ab
8	267.56 ± 142.74 ab	3.13 ± 0.06 g	32.42 ± 1.20 g	4.426.52 ± 171.68 c	6.00 ± 0.01 e	7.34 ± 0.77 bc
10	368.49 ± 36.25 ab	2.87 ± 0.00 h	47.55 ± 3.27 ef	4.166.64 ± 35.01 d	6.44 ± 0.01 e	6.82 ± 0.40 d
12	416.56 ± 122.35 ab	3.21 ± 0.31 fg	52.84 ± 1.68 de	3.007.16 ± 101.00 e	9.98 ± 0.01 d	2.96 ± 0.77 e
14	442.59 ± 10.56 ab	3.34 ± 0.06 cdef	56.09 ± 2.68 cd	2.559.62 ± 60.68 f	10.83 ± 0.29 d	2.74 ± 0.46 e
16	589.59 ± 113.2 ab	3.41 ± 0.43 abcd	61.59 ± 3.32 bc	2.172.84 ± 58.35 f	13.55 ± 2.34 c	2.52 ± 0.47 e
18	603.25 ± 31.41 a	3.46 ± 0.24 abc	63.03 ± 2.07 ab	2.103.68 ± 61.14 f	17.45 ± 0.76 b	2.41 ± 0.31 e
20	621.63 ± 81.57 a	3.54 ± 0.06 a	69.17 ± 5.90 a	1.634.59 ± 148.63 h	21.85 ± 0.57 a	2.30 ± 0.47 e

### 3.3 不同淹没时间对尖瓣海莲胚轴发芽率和幼苗死亡率的影响

由表 3 看出:不同淹没时间对尖瓣海莲胚轴的发芽及成活均有影响,淹没  $\geq 16 \text{ h} \cdot \text{d}^{-1}$  后,尖瓣海莲胚轴的发芽率随着淹没时间的延长而降低;淹没  $\geq 14 \text{ h} \cdot \text{d}^{-1}$  后,幼苗出现死亡现象,且死亡率随淹没时间的延长而升高;每天淹没 24 h 下,发芽率仅 50%,且 5 个月后全部死亡。

表 3 不同淹没时间的胚轴发芽率及幼苗死亡率

淹没时间 / ( $\text{h} \cdot \text{d}^{-1}$ )	胚轴总条数 / 条	发芽率 / %	幼苗原有株数 / 株	死亡率 / %
2	18	100	18	0
4	18	100	18	0
6	18	100	18	0
8	18	100	18	0
10	18	100	18	0
12	18	100	18	0
14	18	100	18	6
16	18	83	15	13
18	18	89	16	13
20	18	78	14	36
22	18	61	11	55
24	18	50	9	100

注:发芽率调查时间为试验开始 2 个月后,死亡率调查时间为试验开始 5 个月后。

### 3.4 不同淹没时间对尖瓣海莲幼苗生长量累积的影响

受淹没逆境的影响,尖瓣海莲幼苗的苗高、地茎和叶片的月均增量均有差异。从图 1 可知:每天淹没 6~10 h 时,苗高生长速率较高,而地径每天淹没 4~8 h 时生长率较高,可见适当水淹对苗高生长有促进作用,但水淹时间过长不利于苗高生长,可能与过长时间水淹影响到幼苗呼吸作用,从而减少能量供应限制光合作用有关。每天淹没超过 14 h 后,尖瓣海莲幼苗生长速率明显下降;苗高月均增量以淹没  $10 \text{ h} \cdot \text{d}^{-1}$  的最大,比最小值 ( $24 \text{ h} \cdot \text{d}^{-1}$ ) 增大了 160%,地茎月均增量以  $6 \text{ h} \cdot \text{d}^{-1}$  的最大,比最小值 ( $24 \text{ h} \cdot \text{d}^{-1}$ ) 增大了 82%,而叶片数月均增量以淹没  $4 \text{ h} \cdot \text{d}^{-1}$  的最大,比最小值 ( $24 \text{ h} \cdot \text{d}^{-1}$ ) 增大了 450%,增幅最大,表明淹没时间过长对植物叶片的影响最大。

### 3.5 不同淹没时间对幼苗生物量累积的影响

由图 2 可见: $6 \text{ h} \cdot \text{d}^{-1}$  淹没下的总生物量、茎及主根的生物量均最大,表明  $6 \text{ h} \cdot \text{d}^{-1}$  淹没利于尖瓣海莲的生长;叶生物量在  $2 \text{ h} \cdot \text{d}^{-1}$  淹没下最大,表明

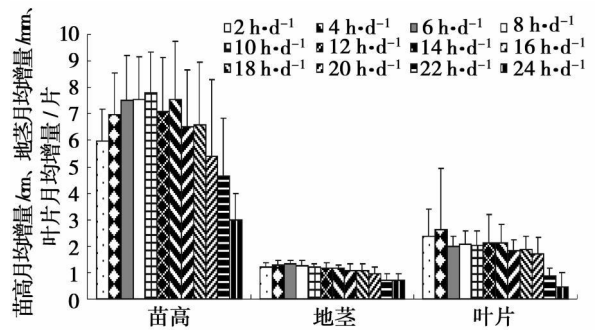


图 1 不同淹没时间下尖瓣海莲幼苗的苗高、地茎和叶片的月均增量

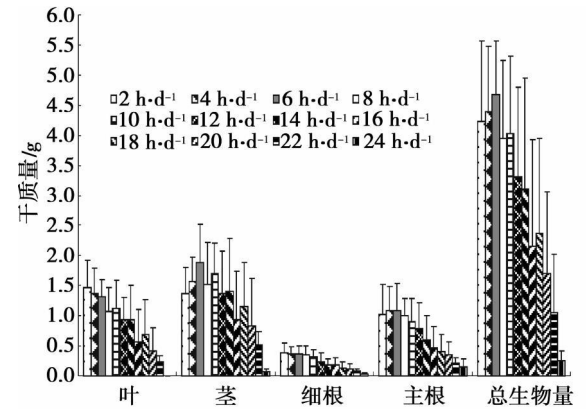


图 2 不同淹没时间下尖瓣海莲幼苗的叶、茎、细根、主根的生物量及总生物量

淹没逆境对尖瓣海莲幼苗叶片的伤害最大,淹没时间越短,越利于尖瓣海莲幼苗叶片的生长;尖瓣海莲幼苗细根干质量随淹没时间的延长不断下降,表明水淹抑制了细根的生长;当淹没超过  $12 \text{ h} \cdot \text{d}^{-1}$ ,尖瓣海莲幼苗的总生物量骤降,其中淹没  $12 \text{ h} \cdot \text{d}^{-1}$  与淹没  $10 \text{ h} \cdot \text{d}^{-1}$  相比,总生物量下降了 18%,差异显著 ( $P = 0.05$ ,  $\text{sig} = 0.000$ ),与最大值 (即淹没  $6 \text{ h} \cdot \text{d}^{-1}$ ) 相比,下降了 29%,差异显著。从总生物量指标看,淹没  $12 \text{ h} \cdot \text{d}^{-1}$  是一个分界点。

### 3.6 尖瓣海莲幼苗对不同淹没时间的适应度分析

假定淹没  $6 \text{ h} \cdot \text{d}^{-1}$  为对照组,即尖瓣海莲幼苗在淹没  $6 \text{ h} \cdot \text{d}^{-1}$  时的各生理指标设定为 1.000 其它淹没时间的各生理指标与之相比得到不同淹没时间下尖瓣海莲生理指标的相对值 (表 4 图 3)。以叶绿素总量及游离脯氨酸的相对值曲线为基准,根据图 3 判断某一生理指标相对值曲线与叶绿素总量及游离脯氨酸相对值曲线的同步情况,若与游离脯氨酸相对值曲线同步,则各生理指标对适应度的贡献权值  $C_i = -1$ ,若与叶绿素总量相对值曲线同步,则  $C_i = 1$ ,若基本上无变化,则  $C_i = 0$  [8]。从

图 3 可见: 游离脯氨酸、超氧化物歧化酶 (SOD)、丙二醛和电导率方向一致,  $C_i = -1$ ; 叶绿素总量、叶绿素 A、根活力和硝酸还原酶方向一致,  $C_i = 1$ 。

根据适应度计算公式计算出尖瓣海莲幼苗对不同淹浸时间的适应度 (表 4)。从表 4 可知, 淹浸  $6 \sim 8 \text{ h} \cdot \text{d}^{-1}$ , 尖瓣海莲幼苗的适应度  $\geq 0$ , 尖瓣海莲幼苗适应环境, 呈适应性生长; 淹浸  $2 \sim 4 \sim 10 \text{ h} \cdot \text{d}^{-1}$ , 尖瓣海莲幼苗的适应度分别为  $-0.525$ 、 $-0.534$ 、 $-0.989$ , 适应度均大于  $-1$  小于  $0$ , 尖瓣海莲幼苗受到环境一定程度的影响, 但不明显; 淹浸  $12 \sim 14 \sim 16 \sim 18 \sim 20 \text{ h} \cdot \text{d}^{-1}$ , 尖瓣海莲幼苗的适应度均小于  $-1$ , 尖瓣海莲幼苗受到环境明显影响, 呈不适应性生长。

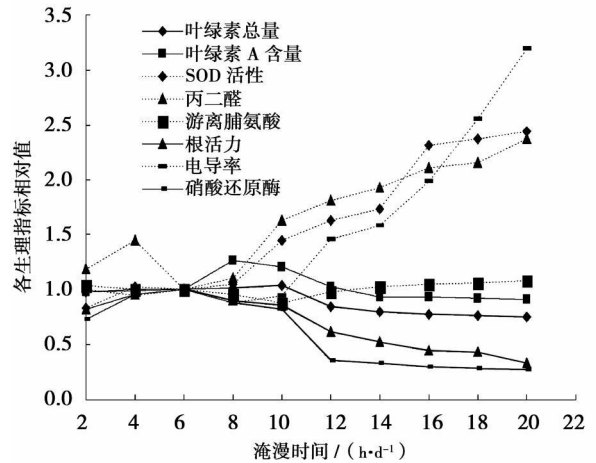


图 3 不同淹浸时间下尖瓣海莲幼苗叶片及根的 8 项生理指标的相对值

表 4 不同淹浸时间下尖瓣海莲幼苗的生理指标相对值及其适应度

淹浸时间 / (h·d <sup>-1</sup> )	生理指标								适应度
	叶绿素总量	叶绿素 A	超氧化物歧化酶	丙二醛	游离脯氨酸	根活力	电导率	硝酸还原酶	
2	0.979	0.985	0.830	1.183	1.037	0.826	0.998	0.734	-0.525
4	0.989	0.999	1.031	1.451	1.007	0.954	0.944	0.956	-0.534
6(对照)	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.000
8	1.010	1.264	1.050	1.110	0.961	0.904	0.876	0.878	0.059
10	1.033	1.209	1.447	1.629	0.881	0.851	0.942	0.816	-0.989
12	0.843	1.026	1.635	1.810	0.985	0.614	1.460	0.354	-3.053
14	0.794	0.929	1.737	1.921	1.025	0.523	1.585	0.328	-3.695
16	0.780	0.937	2.315	2.110	1.047	0.444	1.982	0.301	-4.991
18	0.766	0.927	2.368	2.159	1.062	0.430	2.553	0.288	-5.731
20	0.750	0.909	2.440	2.369	1.086	0.334	3.197	0.275	-6.825

## 4 小结与讨论

叶绿素是植物进行光合作用的主要色素, 其含量的高低可反映植物光合作用水平的强弱, 影响其合成的主要环境因子有光照、温度、营养元素、氧气等。本实验中, 淹浸  $< 12 \text{ h} \cdot \text{d}^{-1}$  时, 尖瓣海莲幼苗的叶绿素保持较高水平; 当淹浸  $\geq 12 \text{ h} \cdot \text{d}^{-1}$  时, 叶绿素含量明显下降, 将会影响到尖瓣海莲的光合速率, 不利于尖瓣海莲的生长。就叶绿素含量而言, 淹浸  $12 \text{ h} \cdot \text{d}^{-1}$  是尖瓣海莲幼苗耐淹浸的一个分界点, 其主要原因可能是淹浸超过  $12 \text{ h} \cdot \text{d}^{-1}$  后, 氧气供应不足促使呼吸作用减弱, 导致能量供应不足而影响叶绿素的形成。

超氧化物歧化酶 (SOD) 是植物保护酶之一, 已广泛应用于植物对逆境的反应机理的研究<sup>[9]</sup>。随着淹浸时间的延长, 尖瓣海莲幼苗叶片内的 SOD 呈上升趋势, 以增加超氧化物歧化酶来防御活性氧或其他氧化自由基对细胞膜系统的伤害, 这与罗祺等<sup>[10]</sup>对 10 种树种淹浸能力的研究及叶勇等<sup>[11]</sup>对红树植物木

榄和秋茄对水渍的生长和生理反应的研究结果一致。尖瓣海莲幼苗叶片内的游离脯氨酸随淹浸时间的延长而增加, 这种现象是植物对逆境胁迫的一种生理反应, 一方面是细胞结构和功能遭受伤害的反应, 另一方面是植物在逆境下的适应表现<sup>[12]</sup>。丙二醛 (MDA) 是膜脂氧化的最终产物, 其含量可以反映植物遭受逆境伤害的程度<sup>[13]</sup>。在淹浸  $6 \text{ h} \cdot \text{d}^{-1}$  时, 尖瓣海莲幼苗的 MDA 含量最低, 表明其受害程度最低; 其它处理下, MDA 随淹浸时间的延长先略微升高, 后明显升高, 这与孙一荣等<sup>[14]</sup>对樟子松水分处理下的膜脂过氧化作用的研究结果一致。叶片外渗液电导率的变化, 在一定程度上反映了植物叶片受害后的生理变化, 与植物的伤害程度和抗性强弱有密切关系<sup>[15]</sup>。研究表明, 尖瓣海莲幼苗叶片的电导率与淹浸逆境程度呈正相关, 这与陈桂珠<sup>[6]</sup>对秋茄幼苗污水逆境的研究及王焕校<sup>[16]</sup>的研究相符。尖瓣海莲幼苗叶片的质膜渗透电导率随淹浸时间的延长有增大的趋势, 表明其受害程度越来越严重, 淹浸时间超过  $12 \text{ h} \cdot \text{d}^{-1}$  后, 其电导率显著上升, 表明尖瓣海莲受水淹逆境影响严

重,无法适应过长时间的水淹逆境。硝酸还原酶(NR)是植物体内  $\text{NO}_3^-$  还原的第一个重要的调节酶和限速酶<sup>[17]</sup>,刘爱荣等<sup>[18]</sup>、赵中秋等<sup>[19]</sup>的研究中均表明:随着盐浓度的增加,植物硝酸还原酶活性先升高后下降。本研究中,尖瓣海莲幼苗叶片的硝酸还原酶随淹浸时间的延长先升高,淹浸  $6 \text{ h} \cdot \text{d}^{-1}$  含量最高,而后下降,表明每天淹浸  $6 \text{ h}$  时,尖瓣海莲的氮素同化能力最强;随着淹浸时间的延长,水淹逆境增强,氮素同化能力下降,逐渐表现为不适应生长。TTC 还原能力测定的是与呼吸有关的琥珀酸脱氢酶,是反映根系活力的一个非常重要的指标<sup>[20]</sup>。表 2 中,在淹浸  $6 \text{ h} \cdot \text{d}^{-1}$  时,尖瓣海莲幼苗的根活力最强;其它处理随淹浸逆境的增强根活力不断下降,尤其是淹浸时间超过  $10 \text{ h}$  后,根系生长受到明显的限制,表现出不适应性生长。这可能是因为淹浸时间过长,根部氧气供应不足,影响根部呼吸作用,从而影响根的生长。

淹浸时间还影响到尖瓣海莲胚轴的发芽率及其幼苗的成活率。淹浸时间超过  $16 \text{ h} \cdot \text{d}^{-1}$  后,尖瓣海莲胚轴的发芽率不断下降,并出现幼苗死亡现象。这可能是长时间淹浸下,尖瓣海莲的呼吸及光合受到限制,导致生长不良,甚至死亡。淹浸  $< 12 \text{ h} \cdot \text{d}^{-1}$  时,尖瓣海莲幼苗的生长速率及生物量都保持较高水平,尖瓣海莲幼苗对淹浸逆境具有一定的适应能力,但淹浸时间过长,其生长受到限制。尖瓣海莲幼苗的生物量生长出现了一个分界点,该分界点为淹浸  $12 \text{ h} \cdot \text{d}^{-1}$ ,超过这个淹浸时间明显不利于尖瓣海莲幼苗的生长,这与陈鹭真等<sup>[21]</sup>的研究结果相似,即当水淹时间超过某个时间点时,植物的生长速度明显减慢,生长量显著下降。

适应度分析是利用各种生理指标来评价植物对环境的适应性状态的综合分析方法。适应度分析结果表明,淹浸  $6 \text{ h} \cdot \text{d}^{-1}$  时,尖瓣海莲幼苗适应环境生长;淹浸  $2 \text{ h} \cdot \text{d}^{-1}$  时,尖瓣海莲幼苗生长受到淹浸环境一定程度的影响,但不明显;当淹浸时间超过  $12 \text{ h} \cdot \text{d}^{-1}$  后,尖瓣海莲幼苗的生长表现出明显不适应性。结合尖瓣海莲幼苗的生长情况和生物量指标可知:尖瓣海莲幼苗的最适淹浸时间为  $6 \sim 8 \text{ h} \cdot \text{d}^{-1}$ ,临界淹浸时间为  $12 \text{ h} \cdot \text{d}^{-1}$ 。

本文为人工模拟条件下培育苗半年的实验结果,在野外实际环境下,除潮汐淹浸外,幼苗还受到滩涂底质、海水盐度、波浪冲击、螃蟹咬食、藤壶附着、人为干扰等多种因子的影响,可能与本实验结果有差异,有待进一步研究。

## 参考文献:

- [1] Nybakken JW. 海洋生物学,生态学探讨[M]. 林志恒,李和平,译. 北京:海洋出版社,1991
- [2] 王文卿,王 瑄. 中国红树林[M]. 北京:科学出版社,2007 20-21
- [3] 潘 文,周涵韬,陈 攀,等. 木榄属 3 种红树植物的遗传变异和亲缘关系分析[J]. 海洋科学,2005 29(5): 23-28
- [4] 赵世杰,许长城,邹 琦,等. 植物组织中丙二醛测定方法的改进[J]. 植物生理学通讯,1994 30(3): 207-210
- [5] 朱广廉,钟海文,张爱琴. 植物生理学实验[M]. 北京:北京大学出版社,1990 51-254
- [6] 陈桂珠,缪绅裕,谭凤仪,等. 人工合成污水对秋茄幼苗的几个生态生理学指标影响初报[J]. 应用生态学报,1994,5(2): 221-224
- [7] Chen G Z, Miao S Y, Tan N F Y, et al. Effect of synthetic wastewater on young *Kandelia candel* plants growing under greerhouse conditions[J]. Hydrobiologia, 1995 295: 263-273
- [8] 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 71-75
- [9] Bowler C, VanMontagu M, Inze D, et al. Superoxide dismutase and stress tolerance [J]. Annu Rev Plant Mol Biol, 1992 43 83-116
- [10] 罗 祺,张纪林,郝日明,等. 淹水胁迫下 10 个树种某些生理指标的变化及其耐淹水能力的比较[J]. 植物资源与环境学报,2007 16(1): 69-73
- [11] 叶 勇,卢昌义,谭凤仪. 木榄和秋茄对水渍的生长与生理反应的比较研究[J]. 生态学报,2001,21(10): 1654-1661
- [12] 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 20(1): 15-21
- [13] 王晶英,敖 红,张 杰,等. 植物生理生化技术与原理[M]. 哈尔滨:东北林业大学出版社,2003 135-136
- [14] 孙一荣,朱教君,康宏樟. 水分处理对沙地樟子松幼苗膜脂过氧化作用及保护酶活性影响[J]. 生态学杂志,2008 27(5): 729-734
- [15] 庞士铨. 植物逆境生理学基础[M]. 哈尔滨:东北林业大学出版社,1990 103
- [16] 王焕校. 污染生态学基础[M]. 昆明:云南大学出版社,1990 91-94
- [17] Lin JM, Tang Y W. The regulation of low pH on dark induction of nitrate reductase activity in the leaves etiolated rice seedling[J]. Acta Phytophysiol Sin, 1986, 12(4): 307-314
- [18] 刘爱荣,赵可夫. 盐胁迫对盐芥生长及硝酸还原酶活性的影响[J]. 植物生理与分子生物学学报,2005,31(5): 469-476
- [19] 赵中秋,郑海雷,张春光,等. 盐度对白骨壤和秋茄幼苗叶细胞质膜硝酸还原酶活性的影响[J]. 厦门大学学报:自然科学版,2001 40(6): 1350-1354
- [20] 刘海龙,郑桂珍,关军锋,等. 干旱胁迫下玉米根系活力和膜透性的变化[J]. 华东农学报,2002,17(2): 20-22
- [21] 陈鹭真,王文卿,林 鹏. 潮汐淹水时间对秋茄幼苗生长的影响[J]. 海洋学报,2005,27(2): 141-147