

红树植物秋茄幼苗对模拟潮汐淹浸时间的适应性研究

廖宝文¹, 邱凤英¹, 谭凤仪², 曾雯珺¹, 徐大平¹

(1 中国林业科学研究院 热带林业研究所, 广东 广州 510520; 2 香港城市大学 植物与化学系, 香港 九龙)

摘要:通过室内模拟试验研究了不同潮汐淹浸时间对红树植物秋茄 *Kandelia candel* 幼苗生长的影响,测定了秋茄幼苗各项生理指标、生长量和生物量. 150 d 的试验结果表明:秋茄幼苗的叶绿素含量、过氧化物酶活性和根活力随淹浸时间的延长先升后降,而超氧化物歧化酶活性、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降后升,并在每天水淹 16 h 时出现骤变分界点;水淹逆境对幼苗叶片影响最大,月均叶片数增长最大值(每天水淹 2 h)比月均叶片数增长最小值(每天水淹 24 h)增大了 80%;总生物量、茎和根干质量均为每天水淹 12 h 处理最大,当每天水淹超过 16 h 后,秋茄幼苗总生物量骤降. 结合适应度分析得出结论:秋茄幼苗最适淹水时间为每天 8~12 h, 临界淹水时间为每天 16 h.

关键词:红树植物; 秋茄; 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

文章编号: 1001-411X(2009)03-0049-06

Study on the Adaptability of Mangrove *Kandelia candel* Seedlings to Simulated Tidal Inundation

LIAO Bao-wen¹, QIU Feng-ying¹, TAM Nora Fung-ye², ZENG Wen-jun¹, XU Da-ping¹

(1 The Research Institute of Tropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Guangzhou 510520, China;

2 Department of Biology and Chemistry, City University of Hong Kong, Kowloon, Hongkong)

Abstract: A greenhouse experiment on the effect of different simulated tidal inundation times on the growth of mangrove *Kandelia candel* seedlings was conducted, and some physiological and growth indexes of the seedlings, including growth rate, biomass and chlorophyll content, superoxide dismutase, proline, malondialdehyde, peroxidase, electrical conductivity and root activity were measured. The 150-d experimental results showed that the chlorophyll content, peroxidase and root activity would rise first and then fall while superoxide dismutase, proline, malondialdehyde, and electrical conductivity would fall first and then rise as the extension of the inundation, and a sharp change of these indexes happened at 16 h · d⁻¹ of inundation time. The leaves were affected most severely under the flooding adverse circumstance, and the averaged leaf number of the seedlings under 2 h · d⁻¹ of inundation (the maximum value) was 0.8 times more than that under the 24 h · d⁻¹ of inundation (the minimum value). The maximum value of the total biomass, dry biomass of stem and dry biomass of roots appeared under the 12 h · d⁻¹ of inundation, and a sharp change in total biomass happened when the inundation exceeded 16 h · d⁻¹. The results demonstrated that 8 - 12 h · d⁻¹ of tidal inundation was most suitable for the growth of *Kandelia candel* seedlings, while 16 h · d⁻¹ was a critical tidal inundation time when the plant responded to be obviously inadapttable.

Key words: mangrove; *Kandelia candel*; tidal inundation; physiological index; biomass; adaptability

收稿日期: 2008-11-24

作者简介: 廖宝文(1963—), 男, 研究员, E-mail: baowenliao@ritf.ac.cn

基金项目: “十一五”国家林业科技支撑计划专题(2006BAD03A1402); 广东省科技计划项目(2004B50201002, 2007B080701016); 国家自然科学基金(40876062); 海南东寨港红树林定位站项目

红树林是热带亚热带海岸潮间带的木本植物群落,在防风护岸、净化近海污染、维系海岸湿地和近海生物多样性等方面具有极其重要的作用.近年来,沿海地区的开发已造成对红树林的严重破坏,恢复红树林的工作受到国内外广泛的重视,红树林生态系统的保护已列入了我国生物多样性保护目标^[1]和湿地保护行动计划^[2].然而天然红树林远远不能满足生态恢复的需求,因此红树林造林工程更为紧迫.近年来,我国学者在红树林造林与经营技术上进行了大量的研究^[3-8].大量的造林实践表明,潮汐浸淹时间是影响红树林造林的重要限制因子^[9-11],红树林宜林临界线的确定是红树林造林成败的关键^[11-13].

秋茄 *Kandelia candel* 为红树科秋茄属植物,是热带和亚热带海滩造林特有树种,其生物群落是一种珍贵的生物资源,为热带常绿阔叶林,仅生长于潮间滩涂带.陈鹭真等^[14]从淹水时间对幼苗生长及生物量方面的影响研究了秋茄的适应水淹时间和临界水淹时间,而本研究综合考虑了不同淹水时间下秋茄幼苗的生长、生物量积累及生理指标的变化,着重通过生理指标进行适应度分析来了解其耐水淹能力及对水淹逆境的适应情况,并分析得出秋茄幼苗适宜的水淹时间和临界水淹时间,为秋茄的推广造林、引种栽培、遗传选优及其进一步科研工作提供理论依据.

1 材料与方法

1.1 试验材料

2006年3月3日从海南东寨港取秋茄无病虫害的健壮成熟胚轴,胚轴平均长 (19.17 ± 0.71) cm,3月6日插入装混合土 $[m(\text{泥}):m(\text{沙}):m(\text{火烧土})=3:1:1]$ 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,并放入温室潮汐模拟槽(长 $\times$ 宽 $\times$ 高 $=1.2\text{ m} \times 0.7\text{ m} \times 0.4\text{ m}$)内进行培养,培养时间为150 d.

1.2 试验方法

1.2.1 试验地概况 整个模拟试验在广州市人工玻璃温室内进行.试验时间为2006年3月—2006年8月,处于春夏两季,光热资源丰富、空气湿润.试验期间温室内最高气温达38℃,最低气温约14℃,平均气温约24℃.

1.2.2 试验设置 试验采用自动潮汐模拟槽装置(共设置12对模拟槽,分上槽和下槽,上槽为培养槽,下槽为储水槽,以15 W的水泵连接上下槽,用定时器控制涨潮时间),槽内水为人工配置海水(每星期对槽内人工海水进行盐度测定,并加入少量新鲜

水,保持槽内人工海水深度为0.38 m左右,盐度为10);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(即模拟半日潮),共12个处理,每12 h循环水淹1个半日潮,各处理每天淹浸2个半日潮;每处理均为18株,即3个重复,每重复6株.

1.2.3 植物生长调查分析 从2006年3月15日起每隔15 d对秋茄的苗高、地茎(胚轴以上苗木基部)及叶片数进行调查.于2006年8月上旬测定秋茄生物量.

1.2.4 植物生理指标分析 在结束模拟潮汐水淹试验前15 d,取秋茄中上部无损伤成熟叶和生长正常的根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.叶绿素a、叶绿素b含量及总量采用分光光度法测定^[15].丙二醛(MDA)含量测定采用硫代巴比妥酸(TBA)法,以单位鲜质量所含丙二醛的量来表示,单位为 $\mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1}$ ^[15].超氧化物歧化酶(SOD)活性测定采用氮蓝四唑(NBT)法,SOD总活性指单位鲜质量所含的酶单位数($\text{U} \cdot \text{g}^{-1}$),一个酶活性单位(U)定义为将NBT还原抑制到对照一半时所需的酶量^[15].过氧化物酶(POD)活性测定采用愈创木酚法,单位为 $\text{U} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$,以1 min内 $D_{470\text{ nm}}$ 减少0.01的酶量为1个酶活性单位(U)^[15].游离脯氨酸含量采用酸性茚三酮法测定,以单位鲜质量所含脯氨酸量来表示,单位为 $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ ^[15].质膜透性采用电导仪法测定^[15].根活力采用TTC法,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 $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ ^[15].

1.2.5 适应度分析方法 用试验所得的值 $[C_i, X_i]$ 进行适应度分析,其中 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,适应度用“A”表示,公式为^[16]:

$$A = \begin{cases} \sum_{i=1}^n C_i X_i / \sum_{i=1}^n C_i, & \left(\sum_{i=1}^n C_i \neq 0 \right) \\ \sum_{i=1}^n C_i X_i, & \left(\sum_{i=1}^n C_i = 0 \right) \end{cases}$$

若 $A < -1$ ($\sum C_i = 0$)或 $A < 0$ ($\sum C_i \neq 0$),则植物受环境影响明显;若 $-1 \leq A < 0$ ($\sum C_i = 0$)或 $0 \leq A < 1$ ($\sum C_i \neq 0$),则植物受环境影响,但影响不明显;若 $A \geq 0$ ($\sum C_i = 0$)或 $A \geq 1$ ($\sum C_i \neq 0$),则植物适应环境,表现适应性生长.

1.3 数据处理

所有数据在Excel、SPSS15.0处理软件中进行分析处理,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).

2 结果与分析

2.1 不同水淹时间对秋茄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 1 可知,秋茄叶片的叶绿素总量和叶绿素 a 随着水淹时间的延长均有先增后降的趋势,叶绿素总量和叶绿素 a 在每天淹浸 8 和 10 h 处理下均较高,表明每天 8 和 10 h 的淹浸利于秋茄幼苗叶绿素的合成.随着水淹时间的延长,叶绿素 a 与叶绿素 b 的比值下降.叶勇等^[17]研究了模拟海平面的上升对秋茄的影响,研究表明:低水位(每天水淹 4 h)与高水位(每天水淹 16 h)相比,叶绿素 a 与叶绿素 b 的比值下降,与本研究相符.在不同时间的水淹处理下,秋茄叶片的 SOD

活性、游离脯氨酸、丙二醛、相对电导率、POD 活性及根活力均有显著差异($P < 0.05$),其中 SOD 活性、游离脯氨酸、丙二醛和相对电导率随淹浸时间的延长呈现先降后升的趋势,根活力和 POD 活性却随淹浸时间的延长呈现先升后降的趋势.秋茄幼苗叶片 SOD 活性在每天淹浸 10、12、14 h 处理下显著低于其他处理,丙二醛含量在每天淹浸 12、14 h 处理下较小,相对电导率在每天水淹 ≤ 12 h 处理下均较小,而根活力在每天淹浸 6、8、10、12、14 h 处理下较大,表明每天水淹 ≤ 14 h 处理下秋茄幼苗适应环境生长或受水淹逆境影响较小,没有表现出明显的不适应性.在每天水淹 ≥ 16 h 处理下,秋茄幼苗 SOD 活性、丙二醛和相对电导率显著高于其他处理($P < 0.05$),而根活力显著下降,表明每天水淹超过 16 h 后,秋茄幼苗生长明显不适应,每天水淹 16 h 为一个分界点.

表 1 每日不同水淹时间处理下秋茄幼苗的生理指标¹⁾
Tab. 1 Physiological indexes of *Kandelia candel* under different inundation treatments n = 3

$t_{\text{水淹}} /$ (h · d ⁻¹)	$w / (\text{mg} \cdot \text{g}^{-1})$			$w(\text{叶绿素 a}) /$	SOD 活性 /	$w(\text{游离脯氨酸}) /$	$b(\text{丙二醛}) /$	根活力 /	相对电导	POD 活性 /
	总叶绿素	叶绿素 a	叶绿素 b	$w(\text{叶绿素 b})$	(U · g ⁻¹)	($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$)	($\mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1}$)	($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$)	率 / %	(U · g ⁻¹ · min ⁻¹)
2	0.75bc	0.50bcd	0.25a	2.00	84gh	20.62a	11.64f	159.13c	4.68de	3 775c
4	0.62cd	0.47bcd	0.15b	3.13	112ef	16.40bc	8.09g	129.81cd	4.22de	3 631cd
6	0.60cd	0.55abc	0.15b	3.67	126de	15.23c	14.40d	244.56ab	2.33e	3 594d
8	0.93a	0.70a	0.23ab	3.04	115e	18.92ab	13.22def	236.26b	3.50e	3 294ef
10	0.89ab	0.61ab	0.17ab	3.59	80gh	16.48bcd	12.85def	256.70ab	4.20de	3 329e
12	0.65cd	0.49bcd	0.16ab	3.06	59h	15.32c	7.74g	270.65ab	4.50de	4 077b
14	0.68cd	0.50bcd	0.18ab	2.78	86fg	12.30e	5.59h	285.25a	9.43d	4 233a
16	0.68cd	0.50bcd	0.18ab	2.78	148cd	14.66de	12.30ef	154.55c	11.25c	4 356a
18	0.69cd	0.50bcd	0.19ab	2.63	168bc	15.88c	14.07de	100.51d	15.50b	3 615d
20	0.75bc	0.41cd	0.19ab	2.16	178ab	17.95abc	23.50c	45.75e	17.53ab	3 368e
22	0.57d	0.39d	0.18ab	2.17	183ab	19.68a	25.62b	26.54e	19.52a	3 312e
24	0.56d	0.36d	0.20ab	1.80	203a	21.30a	28.12a	10.32e	20.63a	3 156f

1)表中数据为平均值;同列数据后注有不同字母者表示数据间差异显著(Duncan's 法, $P = 0.05$)

2.2 不同水淹时间对幼苗生长量累积的影响

受水淹逆境的影响,秋茄的月均苗高增量、地茎增量及叶片数增量均有差异.从表 2 可知,每天水淹 8 ~ 14 h 处理下均保持较高的地茎生长速率,每天水淹超过 14 h 后地茎生长速率明显下降.随着水淹时间的延长,叶片数月均增量下降,说明水淹不利于叶片的生长.月均苗高增量最大值(每天水淹 12 h)比最小值(每天水淹 24 h)大 40%,月均地茎增量最大值(每天水淹 12 h)比最小值(每天水淹 24 h)大 24%,而月均叶片数增量最大值(每天水淹 2 h)比最小值(每天水淹 24 h)大 80%,表明秋茄幼苗在每天水淹 12 h 下生长较好.

2.3 不同水淹时间对幼苗生物量累积的影响

如表 2 所示,秋茄的叶、茎、根及总生物量在每天水淹 < 16 h 处理下都保持较高值,每天水淹时间超过 16 h 明显降低.每天水淹 12 h 秋茄的茎、根及总生物量最大,而叶干质量最大值出现在每天水淹 2 h 的处理下,可见水淹对叶片生长有一定的负面影响.每天水淹 24 h 处理下,秋茄幼苗的叶、茎、根及总生物量均最小.秋茄幼苗叶干质量最大值是最小值的 3.1 倍,茎干质量最大值是最小值的 2.4 倍,根干质量最大值是最小值的 1.6 倍,总生物量最大值是最小值的 2 倍.不同处理下秋茄幼苗生物量测量结果表明,秋茄幼苗在每天水淹 12 h 处理下生长最好,

24 h 处理下受逆境影响最严重,每天水淹 16 h 是秋茄幼苗的生长分界点.

2.4 不同水淹时间对幼苗根系生长的影响

由表 2 可知,秋茄的气生根数量在每天水淹 10~14 h 处理下较多,每天水淹超过 20 h,随着水淹时间的延长反而有减少的趋势.一级根数量在每天长时间水淹时比短时间水淹时多,但根长较短.可见水淹时间过长不利于秋茄幼苗气生根的生长,可能导致根部供氧不足,影响根系呼吸.

2.5 秋茄适应度分析

根据秋茄幼苗叶片及根的 8 项生理指标的相对值(表 3)判断某一生理指标相对值与叶绿素总量及游离脯氨酸相对值的同步情况:若与游离脯氨酸同步,则 $C_i = -1$;若与叶绿素总量同步,则 $C_i = 1$;若基本上无变化,则 $C_i = 0$ ^[16].从表 3 可见:SOD 活性、丙二醛和电导率与游离脯氨酸同步, $C_i = -1$;叶绿素 a、根活力和 POD 活性与叶绿素总量同步, $C_i = 1$.

表 2 每日不同水淹时间处理下秋茄幼苗的生长量、生物量及根系生长情况¹⁾

Tab.1 Growth quantity, biomass and root growth of <i>Kandelia candel</i> under different inundation treatments											
$t_{\text{水淹}}/$ (h · d ⁻¹)	月均增量			单株干质量/g			单株总	气生根		一级根	
	苗高/cm	地茎/mm	叶片数/片	叶	茎	根	生物量/g	l/cm	数量/条	l/cm	数量/条
2	8.78abc	2.31bcde	1.42a	11.95a	10.76a	25.08b	47.79a	11.57ab	3.22a	6.08b	21.72cd
4	8.64bc	2.25de	1.40a	10.47a	10.69a	24.87b	46.03a	11.88ab	2.89a	5.91bc	19.95d
6	8.66bc	2.32bcde	1.38ab	10.17a	10.87a	25.81ab	46.85a	11.96a	2.83ab	7.05a	20.06d
8	9.16abc	2.40abc	1.24abcd	10.76a	11.26a	25.96ab	47.98a	11.61ab	2.67abc	5.27cd	21.11d
10	9.58abc	2.40bcd	1.32abc	11.87a	11.55a	26.32ab	49.74a	11.31ab	3.22a	5.21cd	21.61cd
12	10.09a	2.46a	1.27abcd	11.50a	11.59a	27.66a	50.75a	11.19ab	3.17a	4.86d	24.45ab
14	9.90ab	2.30cde	1.12bcde	11.24a	11.11a	24.13b	46.48a	10.26abc	3.22a	5.24cd	26.00a
16	9.17abc	2.24de	1.06cdef	7.21b	10.33ab	21.48c	39.02b	11.07ab	2.33abc	5.10d	21.67cd
18	9.10abc	2.22de	1.00def	6.43bc	11.12a	20.86c	38.42b	9.63bc	2.72abc	5.09d	22.00cd
20	8.82abc	2.22e	0.92ef	5.18bcd	8.30abc	19.22cd	32.70c	10.84abc	1.94abc	5.04d	25.11ab
22	8.21cd	2.22e	0.81f	4.26cd	6.92bc	17.89d	29.07cd	9.97abc	1.92c	5.00d	23.60bc
24	7.20d	1.98f	0.79f	3.83d	4.89c	16.98d	25.70d	8.73c	1.94bc	4.70d	21.67cd

1)表中数据为平均值;同列数据后具不同字母者表示数据间差异显著(Duncan's 法, $P=0.05$); $n=3$

表 3 秋茄每日不同水淹时间的相对生理指标及其适应度

Tab.3 Relative physiological values and adaptability of <i>Kandelia candel</i> under different inundation treatments									
$t_{\text{水淹}}/$ (h · d ⁻¹)	生理指标相对值								适应度(A)
	叶绿素总量	叶绿素 a	SOD 活性	丙二醛	游离脯氨酸	根活力	电导率	POD 活性	
2	0.805 6	0.714 3	0.730 4	0.880 5	1.089 9	0.673 5	1.422 9	1.146 0	-0.783 3
4	0.666 7	0.671 4	0.973 9	0.612 0	0.866 8	0.549 4	1.206 3	1.102 3	-0.669 2
6	0.645 2	0.785 7	1.095 7	1.089 3	0.805 0	1.035 1	0.665 7	1.091 1	-0.098 5
8(对照)	1.000 0	1.000 0	1.000 0	1.000 0	1.000 0	1.00 0	1.000 0	1.000 0	0.000 0
10	0.957 0	0.871 4	0.695 7	0.972 0	0.871 0	1.086 5	1.200 0	1.010 6	0.186 9
12	0.698 9	0.700 0	0.513 0	0.585 5	0.809 7	1.145 6	1.285 7	1.237 7	0.588 2
14	0.731 2	0.741 3	0.747 8	0.422 8	0.650 1	1.207 4	2.694 3	1.285 1	-0.577 1
16	0.731 2	0.741 3	1.287 0	0.930 4	0.774 8	0.654 2	3.214 3	1.322 4	-2.784 5
18	0.741 9	0.741 3	1.460 9	1.064 3	0.839 3	0.425 4	4.428 6	1.097 4	-4.814 0
20	0.806 5	0.785 7	1.547 8	1.777 6	0.948 7	0.193 6	5.008 6	1.022 5	-6.674 5
22	0.612 9	0.557 1	1.591 3	1.938 0	1.040 2	0.112 3	5.577 1	1.005 5	-7.858 7
24	0.602 2	0.514 3	1.765 2	2.125 8	1.125 8	0.043 7	5.894 3	0.958 1	-8.794 2
C_i	1	1	-1	-1	-1	1	-1	1	

根据适应度计算公式计算出秋茄不同水淹时间的适应度(表3)。每天水淹8、10、12 h的环境下,秋茄的 $A \geq 0$,表现出适应性生长;每天水淹2、4、6、14 h的环境下,秋茄的 $-1 < A < 0$,受环境影响,但不明显;每天水淹超过16 h的环境下,秋茄的 $A < -1$,表现出不适应性生长。

3 讨论与结论

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。在本试验中,随着水淹时间的延长,叶绿素总量、叶绿素a和叶绿素b均有先升后降的趋势,每天水淹8和10 h处理下的叶绿素总量较其他处理高,表明适当水淹有利于秋茄幼苗叶绿素的合成,但时间过长将影响其合成,原因可能是水淹时间过长,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合成。

秋茄幼苗叶片的SOD活性、游离脯氨酸、丙二醛和质膜透性随水淹时间延长均先降后升,而其根活力和POD活性却先升后降,表明秋茄可适应一定时间的水淹,但水淹时间过长则对秋茄有迫害性影响。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^[18]。随着水淹时间的延长,秋茄幼苗叶片的SOD活性上升,这与叶勇等^[19]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。本试验中,秋茄幼苗叶片中SOD活性随着水淹时间延长先呈下降趋势,当每天水淹超过16 h,秋茄体内SOD活性显著上升,秋茄以增加SOD活性来防御活性氧或其他氧化物自由基对细胞膜系统的伤害,显然每天水淹时间 ≥ 16 h的环境不利于秋茄的生长。秋茄体内游离脯氨酸含量随水淹时间的延长先降低而后增加,这种现象是植物对逆境胁迫的一种生理反应,这是细胞结构和功能遭受伤害的反应,同时也是植物在逆境下的适应表现^[20]。丙二醛是膜脂过氧化的最终产物,其含量可以反映植物遭受逆境伤害的程度^[15]。秋茄在每天水淹12、14 h处理下丙二醛含量较其他处理低,表明其受害程度最低。其他处理下丙二醛随淹水时间延长先略微升高,后明显升高,这与孙一荣等^[21]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^[22]。

秋茄叶片的电导率与水淹逆境程度呈正相关,这与陈桂珠等^[23]对秋茄幼苗污水逆境的研究相符。秋茄质膜透性在每天水淹超过16 h后迅速增大,受水淹逆境影响严重。植物根活力可在一定程度上反映植物对环境的适应性,在适宜生长的环境下,植物根活力往往较强。秋茄的根活力随水淹时间延长先升后降,每天水淹6~14 h处理下根活力较强,每天水淹时间 ≥ 16 h后明显下降,表明其根系生长受到一定的影响,表现出不适应性。秋茄的根活力和POD活性随水淹时间延长先升后降,其根活力在每天水淹超过14 h后明显下降,其根系生长受到一定的影响,表现出不适应。POD活性与植物呼吸作用、光合作用及生长素的氧化密切相关,可反映某一时期植物体内代谢的变化。随着水淹时间的延长,秋茄体内的POD活性先升高,每天水淹超过16 h后开始下降,表明水淹时间过长秋茄体内代谢受到一定的影响。

秋茄在水淹条件下由于根系缺氧而长出一些与陆地植物根系外表形态及功能不一样的根,外表粗大呈白色,主要用于呼吸作用。这种根可称为假根、次生根或气生根。假根或次生根的数量增多是红树植物缓解根系缺氧的一种机制^[24],淹水条件下,植物增加气生根的数量以缓解根系缺氧^[25-26]。每天水淹10~14 h处理下秋茄气生根生长最多,使其根系较好地适应了水淹逆境,每天水淹超过16 h后气生根减少导致的根部呼吸作用受限可能是秋茄幼苗在每天水淹时间超过16 h后不适生长的重要原因之一。

每天水淹时间 ≤ 14 h处理下,秋茄的生长量和生物量积累都保持较高水平,但每天水淹时间 ≥ 16 h,其生长受到限制,可能是因为水淹时间过长限制了秋茄幼苗叶绿素合成,影响其光合作用,从而影响其有机物合成及积累,导致生长减慢,生物量下降。从秋茄生长速度和生物量积累来看,每天水淹16 h是秋茄幼苗适应水淹环境的分界点,超过这个时间,秋茄幼苗明显不适应环境生长。

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。结合不同水淹处理下秋茄幼苗适应度分析结果、生长情况及生物量指标可以看出:每天水淹2、4、6、14 h,秋茄幼苗生长受到环境一定程度的影响,但不明显,秋茄每天最适水淹时间为8~12 h,临界水淹时间为每天16 h。

有研究表明:秋茄幼苗最佳淹水时间为每个半日潮水循环淹水 2~4 h(即全日潮淹水 4~8 h)^[14],而本研究结果与其有所不同,可能因为其试验在模拟海水盐度为 15 下进行,而本试验的模拟海水盐度为 10,且整个模拟试验时间长短(其试验为 3 个月)、模拟槽排水方式等也不同.本试验在 2008 年 3—10 月又重新进行了一次模拟,仍然可验证本试验结果;此外,在 2005 年也开展了 1 次 2、4、6、8、10、12 h 的预备模拟试验,由于水淹时间梯度不够长未能找出临界水淹时间.

本文为人工模拟条件下的试验结果,在野外实际环境下,除潮汐淹浸外,幼苗还受到多种环境因子的影响,其结果尚待进一步研究.

参考文献:

- [1] 中国 21 世纪议程——中国 21 世纪人口、环境与发展白皮书[M]. 北京:中国环境科学出版社,1994.
- [2] 国家林业局. 中国湿地保护行动计划[M]. 北京:中国林业出版社,2000.
- [3] 廖宝文,郑德璋,郑松发,等. 白骨壤物候变化规律及育苗造林技术的研究[J]. 防护林科技,1999(增刊): 1-5.
- [4] 廖宝文,郑德璋,郑松发,等. 海桑育苗技术及其幼苗生长规律的研究[J]. 林业科学研究,1997,10(3):296-302.
- [5] 廖宝文,郑德璋,郑松发,等. 红树植物秋茄胚轴主要性状及其贮藏方法的研究[J]. 林业科学研究,1996,9(1):58-63.
- [6] 廖宝文,郑德璋,郑松发,等. 红树植物秋茄造林技术研究[J]. 林业科学研究,1996,9(6):586-592.
- [7] 廖宝文,郑德璋,郑松发,等. 中国红树林湿地造林现状及其展望[C]//张守攻. 中国青年绿色论坛. 北京:中国林业出版社,1995:77-80.
- [8] 张乔民,于红兵,陈欣树. 红树林生长带与潮汐水位的研究[J]. 生态学报,1997,17(3):258-265.
- [9] 刘治平. 深圳福田红树林生态造林方法技术研究[J]. 生态科学,1995,2:100-104.
- [10] KITAYA Y, JINTANA V, PIRIYAYOTHA S. Early growth of seven mangrove species planted at different elevations in a Thai estuary [J]. Trees, 2002, 16: 150-154.
- [11] 陈玉军,陈文沛,郑松发,等. 广东番禺红树林造林研究[J]. 生态科学,2001,20(1,2):25-31.
- [12] 范航清,黎广钊. 海堤对广西沿海红树林的数量、群落特征和恢复的影响[J]. 应用生态学报,1997,8(3): 240-244.
- [13] 廖宝文,郑德璋,郑松发,等. 我国华南沿海红树林造林现状及其展望[J]. 防护林科技,1996,4(29):30-34.
- [14] 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.
- [15] 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.
- [16] 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.
- [17] 叶勇,卢昌义,郑逢中,等. 模拟海平面上升对红树植物秋茄的影响[J]. 生态学报,2004,24(10):2238-2244.
- [18] BOWLER C, VAN MONTAGU M, INZE D. Superoxide dismutase and stress tolerance [J]. Plant Mol Biol, 1992, 43: 83-116.
- [19] 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.
- [20] 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.
- [21] 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.
- [22] 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.
- [23] 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理生态学指标影响初报[J]. 应用生态学报, 1994, 5(2):221-224.
- [24] 林鹏. 红树林[M]. 北京:海洋出版社,1988.
- [25] 管致和. 植物医学导论[M]. 北京:中国农业大学出版社,1996:100-104.
- [26] 刘友良. 植物水分逆境生理[M]. 北京:农业出版社, 1992:144-187.

【责任编辑 李晓卉】