

DOI: 10.5846/stxb201103220352

李婷,叶勇. 虾池清塘排出物沉积厚度对老鼠簕幼苗的影响. 生态学报 2012, 32(9): 2810-2818.

Li T, Ye Y. Effects of sedimentation thickness of shrimp pond cleaning discharges on *Acanthus ilicifolius* seedlings. Acta Ecologica Sinica 2012, 32(9): 2810-2818.

## 虾池清塘排出物沉积厚度对老鼠簕幼苗的影响

李 婷, 叶 勇\*

(近海海洋环境科学国家重点实验室, 厦门大学, 厦门 361005)

**摘要:**模拟直接排入红树林的虾池清塘排出物在林地的不同沉积厚度(0、2、4、8 cm),研究其对培养 424 d 的红树植物老鼠簕(*Acanthus ilicifolius*)幼苗生长和生理的影响。清塘排出物的加入对老鼠簕幼苗茎高、基径、叶片数、叶面积、生物量和相对生长率等生长指标都有显著促进作用。总体长势表现为沉积厚度 8 cm > 4 cm > 2 cm > 0 cm。生长指标显示只需少量清塘排出物的沉积(沉积厚度 2 cm、4 cm)就能对幼苗的生长产生明显的促进作用,但大量排出物沉积的积累并不会带来更明显的促进作用。清塘排出物沉积的加入能显著提高叶片光合能力,尤其利于叶绿素 *a* 的合成。沉积厚度 2 cm 和 4 cm 时,幼苗叶片游离脯氨酸的积累并不显著,但丙二醛、可溶性糖、可溶性蛋白含量显著高于正常水平;沉积厚度 8 cm 则使叶片中游离脯氨酸、丙二醛和水溶性化合物均有大量积累;而叶片中抗氧化酶活性只有在大量沉积物加入(沉积厚度 8 cm)时才显著低于对照组水平。总之,老鼠簕幼苗对清塘排出物沉积厚度 4 cm 以下具有较强的抗逆性和适应力,沉积厚度 8 cm 会使老鼠簕幼苗受到一定程度的逆境伤害,但本实验期间还未影响其生长。

**关键词:**红树林; 老鼠簕; 虾池清塘排出物; 沉积厚度

## Effects of sedimentation thickness of shrimp pond cleaning discharges on *Acanthus ilicifolius* seedlings

LI Ting, YE Yong\*

(State Key Laboratory of Marine Environmental Science, Xiamen University, Xiamen 361005, China)

**Abstract:** In landward coastal zones of most mangrove swamps in China, there are many shrimp ponds with surface sediments rich in nutrients such as N and P. During pond cleaning periods, some of these surface sediments are usually directly discharged into mangrove swamps after being flushed by using high-pressure hydraulic giants. Gradually, these sediments from shrimp ponds will accumulate on the floor of mangrove swamps, resulting in the increase in sedimentation thickness. However, the effects of sedimentation of shrimp pond cleaning discharges on mangrove ecosystems are still unknown. Therefore, to study their responses and endurances in growth and physiological characteristics, four thickness treatments (0, 2, 4, 8 cm) were applied to simulate the sedimentation condition of shrimp pond discharges into the mangrove swamp, and *Acanthus ilicifolius* seedlings were cultivated under these treatments for 424 days.

In terms of growth indexes, including stem diameter, stem height, leaf number, leaf area, total biomass and relative growth rate, growths of *A. ilicifolius* seedlings were promoted due to the sedimentation of shrimp pond cleaning discharges. The growth condition of *A. ilicifolius* seedlings under four treatments followed the order of 8 cm > 4 cm > 2 cm > 0 cm. Results also indicated that a small quantity of cleaning discharges (sedimentation thickness of only 2 cm) could obviously enhance the growth of *A. ilicifolius* seedlings, and this enhancement would not be stronger comparing with the increasing of

基金项目:国家自然科学基金资助项目(41076049)

收稿日期:2011-03-22; 修订日期:2011-07-04

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: yeyong@xmu.edu.cn

the sedimentation thickness. The sedimentation of shrimp pond cleaning discharges enhanced the leaf photosynthetic capacity, especially synthesized more chlorophyll *a*. With 2 and 4 cm sedimentation thicknesses, contents of MDA, soluble protein and soluble sugar in leaves were significantly higher than normal levels, but there was no significant accumulation of free proline in leaves; 8 cm sedimentation thickness resulted in abundant accumulation of MDA, soluble protein, soluble sugar and free proline in the leaves; only in the 8 cm sedimentation thickness group, activities of antioxidant enzymes in leaves were significantly lower than the control group.

In a conclusion, *A. ilicifolius* seedlings had strong endurance and adaptability to shrimp pond cleaning discharges with the sedimentation thickness less than 4 cm; a sedimentation thickness of over 8 cm resulted in stress damages to seedling physiology, but the damage to seedling growth was not obvious during this experiment period.

Impacts of sedimentation of shrimp pond cleaning discharges on mangrove ecosystems will be long and profound. Related government departments should attach great importance to it, enhance the management and monitor of mangroves nearby aquaculture areas, and balance the relationship between the development of aquaculture and the ecological restoration of mangroves. In addition, shrimp pond cleaning discharges may contain a variety of residual drugs such as disinfectants and antibiotics used for pond disinfection and disease prevention, which may be toxic to the environment. However, the toxic mechanisms and processes of these substances to mangrove ecosystems are still unclear. Therefore, further studies should be focused on the long-term effects of sedimentation and chemical pollution of shrimp pond discharges on mangrove ecosystems.

**Key Words:** mangrove plant; *Acanthus ilicifolius*; shrimp pond cleaning discharges; sedimentation thickness

红树林湿地系统处于淡水和海水的交互地带, 污染物质和有毒物质存留在泥滩中, 红树林湿地系统可以通过物理、化学以及生物作用对各种污染物进行处理, 起到净化作用, 长期以来被认为是排放污水和废水的便利场所<sup>[1-2]</sup>。我国红树林陆岸区域普遍存在大量高位养虾池, 池底表层富集含大量 N、P 等营养物质的沉积物。清塘时, 这些表层沉积物常常在高压水枪冲洗后被直接排入红树林, 随着时间的推移, 沉积物在林内逐渐累积, 其覆盖红树林生境的厚度也随之增加。目前国内已有不少红树林湿地系统污染生理生态方面的研究, 其中生活污水、牲畜废水和工业废水对红树植物的影响都有大量报道<sup>[3-4]</sup>, 而相比于排出物中的水体, 排出物的沉积往往给红树植物带来更深远的影响, 其在红树林湿地中的滞留时间更长, 净化难度更大。除沉积物中富含的营养物质或有毒有害物质外, 沉积物自身厚度的增加也可能给红树植物的生理生态带来一定的影响。但排出物沉积物厚度对红树林的影响在国内还未见报道。

老鼠簕 (*Acanthus ilicifolius*) 为泌盐红树植物, 主要分布于东南亚的印度、菲律宾、马来西亚等国, 在我国广东、广西、福建、海南和台湾沿海地区亦有分布, 全株或根可入药, 在印度、菲律宾等东南亚各国及我国民间广泛用于急、慢性肝炎的治疗<sup>[5]</sup>。老鼠簕常见于天然分布红树林向陆区域的最边缘, 加之有较高的药用价值, 使其首当其冲的受到人为破坏<sup>[6-7]</sup>。对该物种的恢复工作显得尤其重要。

因此, 本研究从在室内模拟了直接排入红树林的虾池清塘排出物在林地的沉积厚度增加的现象, 以研究不同沉积厚度下老鼠簕幼苗生长及生理情况, 探讨养殖排出物对红树植物恢复的影响。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验设计

2009 年 9 月从福建九龙江口红树林保护区内取回红树林土壤以及附近虾农使用高压水枪冲洗虾池底部表层沉积物后排入红树林的富含虾池表层沉积物的泥浆水(即本文所探讨的虾池清塘排出物)。分别称取 2.5、3.75、4.375、5 kg 红树林土壤放入口径 21 cm、高 17 cm 且底部有 3 个直径 1 cm 的小孔的塑料盆中, 各 3 盆重复: (1) 往盛 2.5 kg 土壤的塑料盆内浇灌 800 mL 虾池清塘排出的泥浆水 12 次, 使其最终覆盖虾池清塘沉积物厚度为 8 cm; (2) 往盛 3.75 kg 土壤的塑料盆内浇灌 400 mL 虾池清塘排出的泥浆水和 400 mL 人工海

水(试验所用人工海水均为厦门大学近海海水,并经自来水稀释至盐度 15) 12 次,使其最终覆盖虾池清塘沉积物厚度为 4 cm; (3) 往盛 4.375 kg 土壤的塑料盆内浇灌 200 mL 虾池清塘排出的泥浆水和 600 mL 人工海水 12 次,使其最终覆盖虾池清塘沉积物厚度为 2 cm; (4) 盛 5 kg 土壤的塑料盆内不浇灌泥浆水而仅浇灌 800 mL 人工海水 12 次,即其最终覆盖虾池清塘沉积物厚度为 0 cm,作为对照。培养底质的构建在 12 d 完成,最终 4 种底质的总厚度一致。覆盖虾池清塘沉积物厚度 2 cm 和 4 cm 模拟在 1 a 时间内少量清塘排出物排入红树林的情况;覆盖虾池清塘沉积物厚度 8 cm 模拟 1 a 时间内大量清塘排出物排入的情况。后文分别用 8、4、2、0 cm 依次代表 (1)、(2)、(3)、(4) 4 种处理。所用红树林土壤粒径 >0.02 mm 占 24.04%,粒径 <0.02 mm 占 75.96%,属重壤土,pH 值=7.05,含水率为 42.9%,有机质含量为 2.67%,总氮含量为 1.32 g/kg,总磷含量为 0.81 g/kg;清塘泥浆水的初沉淀物粒径 >0.02 mm 占 8.88%,粒径 <0.02 mm 占 91.12%,属轻粘土,pH 值=7.34,含水率为 49.9%,有机质含量为 1.94%,总氮含量为 1.88 g/kg,总磷含量为 1.48 g/kg。

培养底质构建完成的次日,选取生长状况相近的老鼠簕幼苗(由种子萌发约 2 个月,茎高(7.72±0.82) cm,基径(2.40±0.14) mm) 48 株植于塑料盆中,每盆 4 株。每盆每日浇灌 400 mL 人工海水,在自然光下培养。

## 1.2 测定方法

### 1.2.1 生长指标测定方法

培养从 2009 年 9 月开始至 2010 年 11 月结束,历时 424 d,整个培养期间所有植株均生长良好。在培养开始和结束日测定植株的茎高、基径(在茎的第一节基部量取)、叶片数及叶面积。培养结束后取出植株,将根、茎、叶分开,洗净后 70 °C 烘干至恒重称量干重。培养结束时每盆单株平均生物量( $B$ )与平均基径( $D$ )和平均茎高( $H$ )的函数关系采用植物生长的对数模型公式拟合,所得关系式如下:

$$\lg B = 0.9254 \lg (D^2 H) - 0.1656 \quad (n = 12, r = 0.9791, P < 0.01)$$

最初的生物量由上述方程估算。并据此由下式计算相对增长率(RGR):

$$RGR = \frac{\ln B_2 - \ln B_1}{424}$$

式中  $B_1$  和  $B_2$  分别为培养开始时和结束时每盆的单株平均生物量(g);424 是培养时间(d)。

### 1.2.2 生理指标测定方法

于 2010 年 10 月一个晴天 9:00—11:00 用 LI-6400 便携式光合测定仪测定叶片光合特性,控制光强 1550  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 、工作温度 23 °C、相对湿度为(38.1±2.6)%、参比  $\text{CO}_2$  浓度(386.0±1.2)  $\mu\text{L/L}$ 、参比  $\text{H}_2\text{O}$  浓度(9.8±0.2) mmol  $\text{H}_2\text{O/mol}$ ,测定指标有净光合速率( $P_n$ )、胞间  $\text{CO}_2$  浓度( $C_i$ )、蒸腾速率( $T_r$ )和气孔导度( $G_s$ )。

培养结束日取第 2 对成熟叶片用分光光度法测定叶绿素 a、b 及总量、硫代巴比妥酸法测定丙二醛(MDA)含量、酸性茚三酮法测定游离脯氨酸(Pro)含量、 $\text{KMnO}_4$  滴定法测定过氧化氢酶(CAT)活性、愈创木酚法测定过氧化物酶(POD)活性、氮蓝四唑(NBT)还原法测定超氧化物歧化酶(SOD)活性、蒽酮比色法测定可溶性糖含量、考马斯亮蓝法测定可溶性蛋白含量,取鲜活细根用氯化三苯基四氮唑(TTC)法测定根系活力<sup>[8-9]</sup>。

## 1.3 数据处理

实验数据采用 SPSS11.5 软件做统计分析。用 one-way ANOVA 分析处理间的差异显著性: $P < 0.001$ ,差异极显著; $P < 0.01$ ,差异较显著; $0.01 < P < 0.05$ ,差异显著; $P > 0.05$ ,无显著差异。

## 2 结果

### 2.1 沉积厚度对老鼠簕幼苗生长影响

培养结束时,各沉积厚度 0、2、4、8 cm 处理下老鼠簕幼苗茎高平均值分别为 21.9、30.6、37.4、39.9 cm;基径平均值分别为 6.11、6.87、7.67、8.34 mm(图 1)。不同处理下茎高与基径变化一致,均随沉积厚度增加而

增加(茎高:  $F=19.267, P<0.001$ ; 基径:  $F=13.156, P<0.001$ ) ,但沉积厚度 4 cm 和 8 cm 的茎高与基径的差异均不显著。

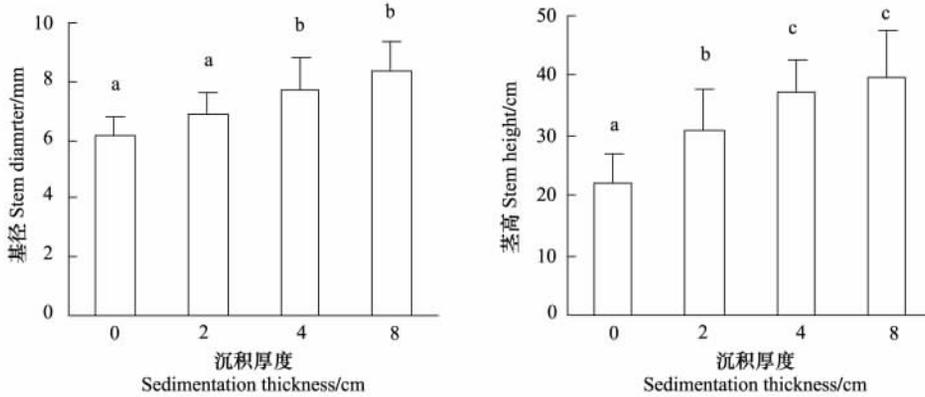


图 1 虾池直排清塘排出物沉积厚度对老鼠簕幼苗茎生长的影响

Fig. 1 Effects of simulated sedimentation thickness of shrimp pond cleaning discharges on stem growth of *A. ilicifolius* seedlings

沉积厚度对老鼠簕幼苗叶片数与叶面积的影响显著(叶片数:  $F=5.747, P=0.002$ ; 叶面积:  $F=8.071, P<0.001$ ) ,对照组的值均最低(图 2)。沉积厚度 2、4cm 和 8 cm 间叶面积无显著差异; 沉积厚度 4 cm 和 8 cm 之间叶片数无显著差异。

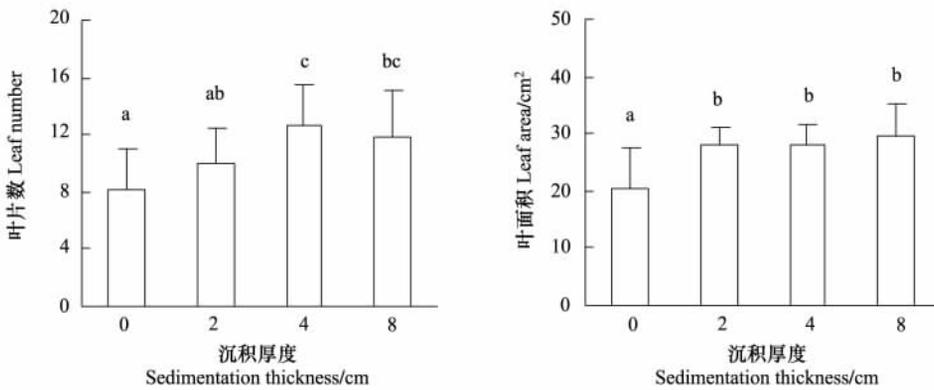


图 2 虾池直排清塘排出物沉积厚度对老鼠簕幼苗叶片生长的影响

Fig. 2 Effects of simulated sedimentation thickness of shrimp pond cleaning discharges on leaf growth of *A. ilicifolius* seedlings

随着沉积物厚度的增加,老鼠簕幼苗根、茎、叶生物量及总生物量均呈增加趋势(根生物量:  $F=6.493, P=0.015$ ; 茎生物量:  $F=24.831, P<0.001$ ; 叶生物量:  $F=38.171, P<0.001$ ; 单株生物量:  $F=19.445, P<0.001$ ) (表 1)。沉积厚度 8 cm 的根、茎、叶生物量及总生物量分别较 0 cm(对照组)提高了 1.77、2.94、2.60、2.25 倍。沉积厚度 4 cm 和 8 cm 之间的根、茎及总生物量均无显著差异。

表 1 虾池直排清塘排出物沉积厚度对老鼠簕幼苗生物量的影响

Table 1 Effect of simulated sedimentation thickness of shrimp pond cleaning discharges on biomass of *A. ilicifolius* seedlings

沉积厚度 Sedimentation thickness/cm	根生物量 Root biomass/g	茎生物量 Stem biomass/g	叶生物量 Leaf biomass/g	总生物量 Total biomass/g
0	2.448 ±0.163a	1.167±0.244a	1.002±0.175a	4.616±0.579a
2	3.827±0.045b	2.655±0.660b	1.641±0.232b	8.123±0.805b
4	5.635±1.729ab	4.157±0.391c	2.338±0.300c	12.130±1.842c
8	6.792±1.951ab	4.597±0.725c	3.608±0.466d	14.996±2.896c

随沉积物厚度的增加,老鼠筋幼苗平均相对生长速率呈上升趋势( $F=36.900, P<0.001$ ),但沉积厚度 4 cm 和 8 cm 之间无显著差异(图 3)。

## 2.2 沉积厚度对老鼠筋幼苗生理影响

### 2.2.1 叶片叶绿素含量

当沉积物厚度达到 8 cm 时,叶片总叶绿素含量达最大值(图 4)。各处理间叶绿素 a 和总叶绿素含量存在显著差异(Chl a:  $F=6.236, P=0.017$ ; Chl:  $F=6.873, P=0.013$ ),而叶绿素 b 含量没有显著差异( $P>0.05$ )。

### 2.2.2 叶片光合特性

叶片净光合速率( $P_n$ )、气孔导度( $G_s$ )、胞间  $CO_2$  浓度( $C_i$ )和蒸腾速率( $T_r$ )是描述植物光合特性的基本指标。虾池清塘排出物的沉积对老鼠筋幼苗叶片  $P_n$ 、 $G_s$ 、 $T_r$  均有显著的促进作用,且不同处理间  $P_n$ 、 $G_s$  和  $T_r$  值变化趋势保持一致,对  $C_i$  值则影响不显著(图 5)。其中,沉积厚度 2、4、8 cm 的  $P_n$  值分别较对照组提高了 45.9%、53.6%、87.9%。

### 2.2.3 叶片丙二醛、游离脯氨酸含量

随着排出物沉积厚度的增加,丙二醛、游离脯氨酸含量均有增加的趋势(丙二醛:  $F=48.942, P<0.001$ ; 游离脯氨酸:  $F=68.566, P<0.001$ ),尤其是高沉积厚度(8 cm)处理较之对照处理差异极为显著,分别为对照处理的 4.32 倍和 2.19 倍(图 6)。高沉积厚度(8 cm)与低沉积厚度(2、4 cm)处理之间也均存在显著差异,而在两个低沉积厚度处理之间无显著差异。

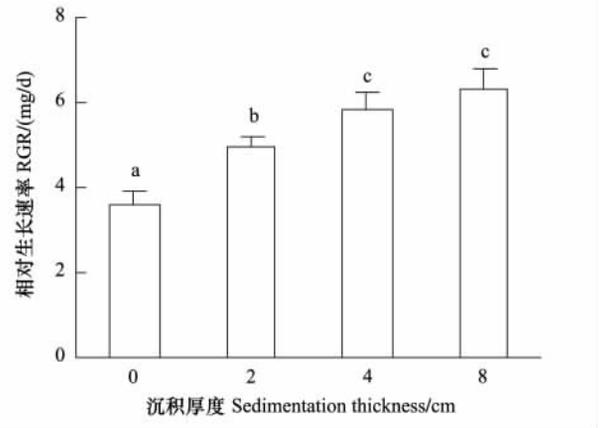


图 3 虾池直排清塘排出物沉积厚度对老鼠筋幼苗相对生长率的影响

Fig. 3 Effects of simulated sedimentation thickness of shrimp pond cleaning discharges on relative growth rate of *A. ilicifolius* seedlings

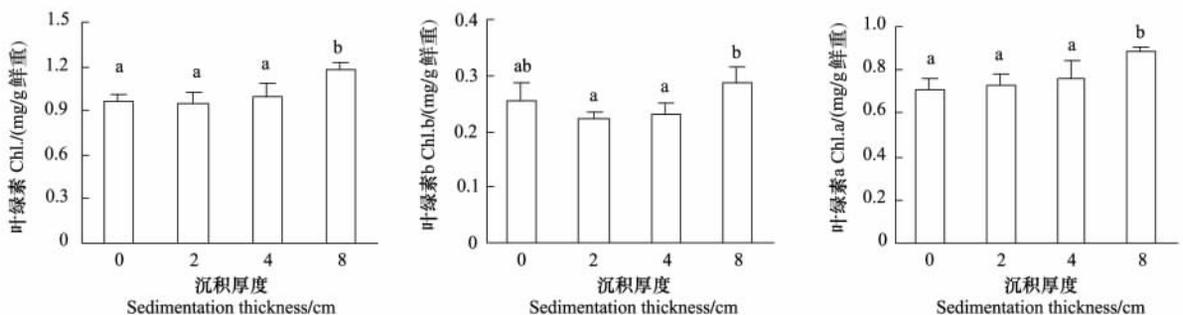


图 4 虾池直排清塘排出物沉积厚度对老鼠筋幼苗叶片叶绿素含量的影响

Fig. 4 Effects of simulated sedimentation thickness of shrimp pond cleaning discharges on leaf Chl contents of *A. ilicifolius* seedlings

### 2.2.4 叶片抗氧化酶活性

叶片 SOD 和 CAT 酶活性均随沉积厚度增加而有下降趋势(SOD 活性:  $F=4.798, P=0.034$ ; CAT 活性:  $F=5.797, P=0.021$ )。对 POD 活性则无显著影响(图 7)。

### 2.2.5 叶片可溶性糖及可溶性蛋白含量

虾池清塘排出物的沉积显著促进了老鼠筋幼苗叶片可溶性糖和可溶性蛋白的形成(图 8)。随着沉积厚度的增加,叶片中这两种水溶性化合物含量总体呈上升趋势,在 8 cm 沉积厚度处理时含量最高(可溶性蛋白:  $F=7.474, P=0.010$ ; 可溶性糖:  $F=15.647, P=0.0001$ )。但可溶性糖和可溶性蛋白含量在两个低沉积厚度(2、4 cm)处理间均无显著差异,而在沉积厚度 4 cm 和 8 cm 处理以及沉积厚度 0 cm 和 2 cm 处理间有差异显著。

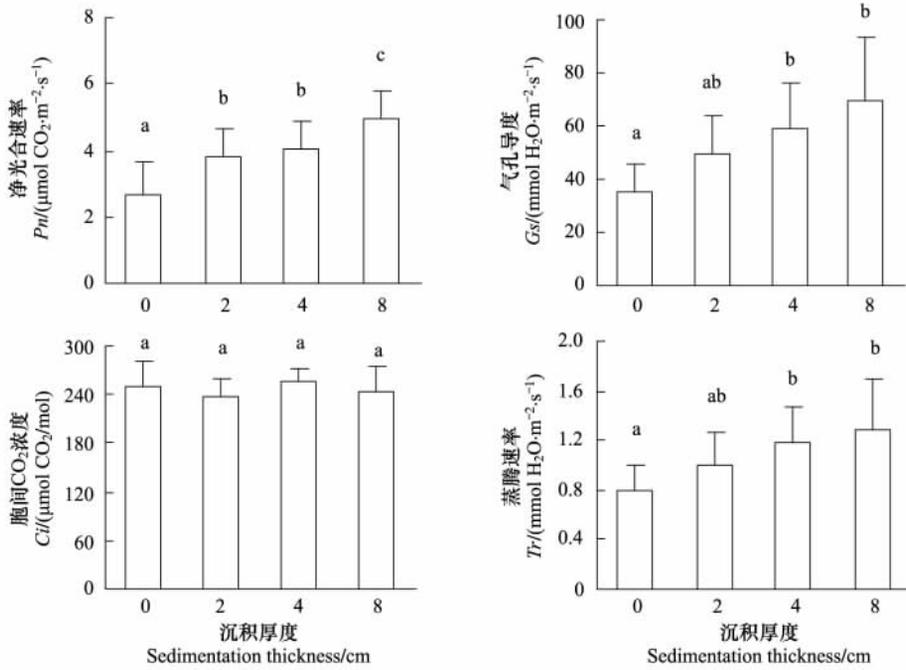


图5 虾池直排清塘排出物沉积厚度对老鼠簕幼苗叶片净光合速率(  $P_n$  )、气孔导度(  $G_s$  )、胞间  $\text{CO}_2$  浓度(  $C_i$  )和蒸腾速率(  $T_r$  )的影响  
 Fig.5 Effects of simulated sedimentation thickness of shrimp pond cleaning discharges on leaf net photosynthetic rate (  $P_n$  ), stomata conductance (  $G_s$  ), inter-cellular  $\text{CO}_2$ (  $C_i$  ) and transpiration rate (  $T_r$  ) of *A. ilicifolius* seedlings

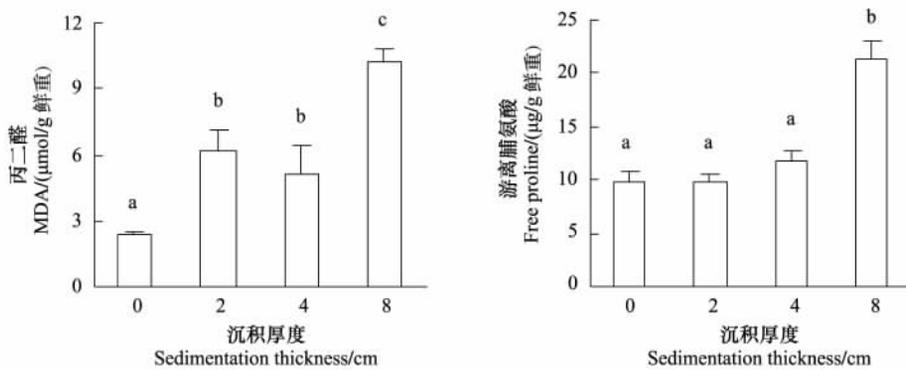


图6 虾池直排清塘排出物沉积厚度对老鼠簕幼苗叶片丙二醛、游离脯氨酸含量的影响  
 Fig.6 Effects of simulated sedimentation thickness of shrimp pond cleaning discharges on leaf MDA and free proline contents of *A. ilicifolius* seedlings

### 2.2.6 根系活力

虾池清塘排出物沉积的加入,导致老鼠簕幼苗根系活力增加(  $F=6.480, P=0.016$  )。但2、4、8cm 3种沉积厚度间无显著差异(图9)。

## 3 讨论

### 3.1 老鼠簕幼苗生长反应

红树林生态系统中营养元素(尤指N、P)是植物生长的限制因子<sup>[10]</sup>,而虾池清塘排出的池底表层沉积物富含N、P和有机物<sup>[11-12]</sup>。因此,适量的虾池清塘排出物进入红树林理论上可以促进红树植物生长。本研究表明,虾池清塘排出物沉积对老鼠簕幼苗茎高、基径、叶片数、叶面积、生物量和相对生长率等生长指标都有明显促进作用。总体长势表现为沉积厚度8cm>4cm>2cm>0cm。各生长指标均显示只需少量虾池清塘排出物的沉积(沉积厚度2、4cm)就能对幼苗的生长产生明显的促进作用,但大量排出物沉积的积累(沉积厚度

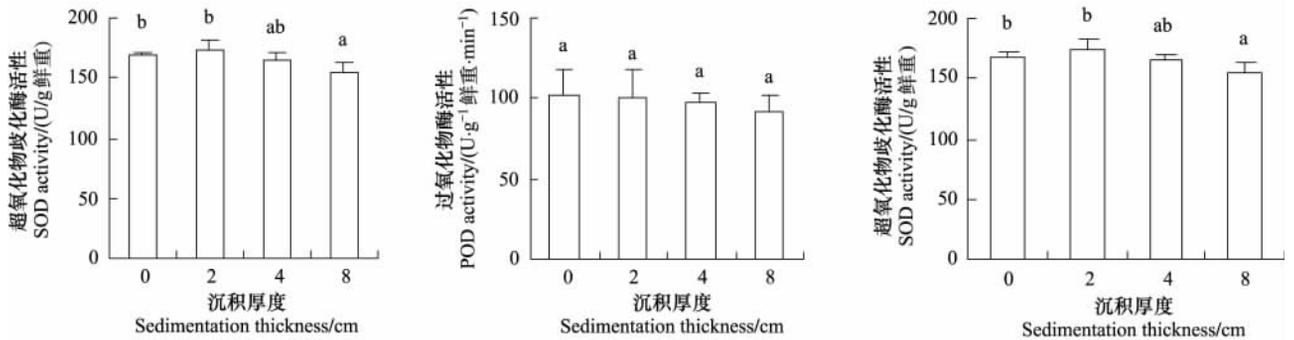


图7 虾池直排清塘排出物沉积厚度对老鼠簕幼苗叶片超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化氢酶(CAT)和过氧化物酶(POD)活性的影响

Fig.7 Effects of simulated sedimentation thickness of shrimp pond cleaning discharges on leaf SOD, CAT and POD activities of *A. ilicifolius* seedlings

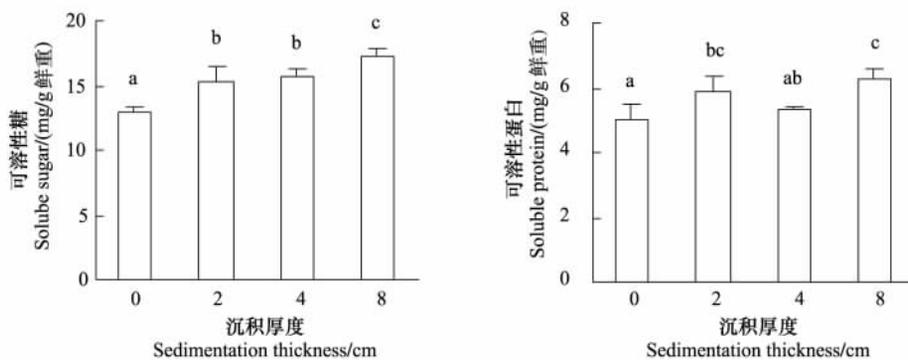


图8 虾池直排清塘排出物沉积厚度对老鼠簕幼苗叶片可溶性糖、可溶性蛋白含量的影响

Fig.8 Effects of simulated sedimentation thickness of shrimp pond cleaning discharges on leaf soluble protein and sugar contents of *A. ilicifolius* seedlings

8 cm)并不会带来更明显的促进作用。

### 3.2 老鼠簕幼苗生理反应

综合叶片叶绿素含量与光合特性各指标的结果,清塘排出物沉积物能显著提高老鼠簕幼苗叶片的光合能力,尤其是利于叶绿素a的合成。Farquhar和Skarkey认为<sup>[13]</sup>,影响净光合速率有两个主要方面的因素:一是CO<sub>2</sub>的供应,可由G<sub>s</sub>的大小反应;二是叶肉细胞光合能力,即叶肉细胞利用CO<sub>2</sub>的能力,可由C<sub>i</sub>含量的高低反应。虾池排出物沉积的形成并没有影响C<sub>i</sub>含量,说明老鼠簕幼苗净光合速率的增加主要是由于沉积物的加入增大了叶片气孔导度所致,这很可能是幼苗由于受到逆境胁迫而产生的自我调节作用。

丙二醛是植物器官遭受逆境伤害发生膜的过氧化作用的其产物之一<sup>[14]</sup>;游离脯氨酸在正常状态下含量很低,在逆境条件下则大量积累<sup>[15]</sup>;超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)及过氧化氢酶(CAT)等是

膜保护系统的主要酶类,能清除体内活性氧和自由基,减轻不良环境对植物的伤害;可溶性蛋白质和可溶性糖

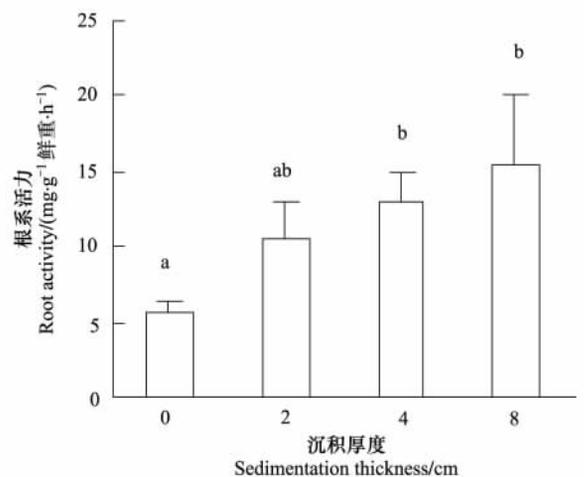


图9 虾池直排清塘排出物沉积厚度对老鼠簕幼苗根系活力的影响

Fig.9 Effects of simulated sedimentation thickness of shrimp pond cleaning discharges on root activity of *A. ilicifolius* seedlings

含量的高低反映了植物的新陈代谢是否正常。植物受到胁迫时,细胞会累积水溶性化合物,保护细胞结构和水的流通<sup>[16]</sup>。这类化合物的大量形成,一方面表明幼苗受到了一定的逆境胁迫,另一方面这些物质的存在作为渗透调节物质又缓解了植物的水分胁迫,使植物不至于受到伤害,同时还可以作为植物的碳素营养,促进植物生长。少量沉积物加入(沉积厚度 2.4 cm)时幼苗叶片游离脯氨酸的积累并不显著,但丙二醛、可溶性糖、可溶性蛋白含量显著高于正常水平;大量沉积物加入(沉积厚度 8 cm)则使叶片中游离脯氨酸、丙二醛和水溶性化合物均有大量积累;而叶片中抗氧化酶活性只有在大量沉积物加入时才显著低于对照组水平。这说明在少量排出物沉积物存在的状态下,幼苗叶片虽然受到一定逆境胁迫,但仍能通过累积水溶性物质、清除自由基等一系列自我调节和保护机制来缓解胁迫;在大量沉积物加入后,幼苗叶片中游离脯氨酸开始大量积累,丙二醛含量进一步上升,说明这时的排出物沉积物很可能已经影响到幼苗体内正常的水分代谢,造成了一定程度的生理缺水,并且对叶片膜结构造成了一定的损伤,使抗氧化酶活性受到明显的抑制,因此,只能通过积累更多的水溶性化合物代替水来维持正常的代谢功能。总的来说,老鼠簕幼苗对少量虾池清塘排出物沉积的形成具有较强的抗逆性和适应力,大量清塘排出物沉积的形成会使老鼠簕幼苗受到一定程度的逆境伤害,但本实验期间还未影响其生长。

### 3.3 虾池清塘排出物沉积对红树林影响的机理

Halmar 等的研究表明,虾池污水中的悬浮物能迅速沉积于红树林<sup>[17]</sup>。清塘时,虾池池底表层沉积物随泥浆水排入红树林区,到达林内再次形成沉淀并长久覆盖土壤表层,其中富含大量虾池残饵、排泄物、残体等形成的营养盐和有机质。本研究所用的清塘泥浆水初沉淀中总氮、总磷含量分别为红树林土壤的 1.42 倍和 1.83 倍,是虾池清塘排出物沉积对老鼠簕幼苗生长具有促进作用的原因。然而,虾池清塘排出物中还可能残留有虾池消毒和病害防治所需的各种药物如消毒剂和抗菌素<sup>[18]</sup>,而这类可能有毒的物质对红树林的影响及其机理有待进一步的研究。

Vaiphasa 等研究了不同红树植物对虾池沉积物的极限承受力,发现白骨壤(*Avicennia marina*)可忍受每年 6 cm 的沉积速率,而柱果木榄(*Bruguiera cylindrica*)只可承受 5 cm 的沉积速率,海漆(*Excoecaria agallocha*)和榄李(*Lumnitzera racemosa*)则在两者之间<sup>[19]</sup>。本研究表明,沉积厚度达 8 cm 时老鼠簕幼苗已显现出受到逆境伤害的迹象,因此推断老鼠簕可以忍受每年不大于 8 cm 的沉积速率。实测得九龙江口虾池清塘排出物在排污区红树林内沉积厚度为 2—3 cm,随着时间的推移及附近虾池规模的扩大,该沉积厚度会逐年增加,当沉积厚度超过 8 cm 时,将对红树植物的生长产生不利影响。虾池排出物沉积对红树林的影响是长期而深远的,应当引起有关部门的重视,加强对养殖区周围红树林的维护与监管工作,平衡红树林区生态恢复与养殖业发展之间的关系。

### References:

- [1] Lin P. Mangrove Vegetation. Beijing: China Ocean Press, 1984: 52-54.
- [2] Li M, Zhang J H, Chen G Z. Effects of sewage discharge on growth of mangrove. Protection Forest Science and Technology, 2002, 52(3): 1-5.
- [3] Huang L N, Lan C Y, Shu W S. Effects of sewage discharge on soil and plants of the mangrove wetland ecosystem. Chinese Journal of Ecology, 2000, 19(2): 13-19.
- [4] Li X, Mo C R, Lu J. A review of studies on purification of wastewater by mangroves in China. Marine Environmental Science, 2005, 24(4): 77-80.
- [5] Huo C H, Wang B, Liang H, Zhao Y Y, Lin W H. Study on chemical constituents of mangrove *Acanthus ilicifolius*. China Journal of Chinese Materia Medica, 2006, 31(24): 2052-2054.
- [6] Lin P. Mangrove Ecosystem in China. Beijing: Science Press, 1997: 47-53.
- [7] Zhu H, Hu H Y, Lu C Y. Effects of salinity on the germination and growth of a medicinal mangrove plant: *Acanthus ilicifolius*. Journal of Xiamen University: Natural Science, 2008, 47(1): 132-135.
- [8] Zhang Z A, Chen Z Y. Experiment Technology of Plant Physiology. Changchun: Jilin University Press, 2008: 60-196.
- [9] Hao J J, Kang Z L, Yu Y. Plant Physiology Experiment Technology. Beijing: Chemical Industry Press, 2007: 159-160.

- [10] Hicks D B , Burns L A. Mangrove metabolic response to alterations of natural freshwater drainage to southwestern Florida estuaries // Institute of Food and Agricultural Sciences , ed. Proceedings of the International Symposium on Biology and Management of Mangrove. Gainesville: University of Florida , 1975: 238-255.
- [11] Burford M A , Lorenzen K. Modeling nitrogen dynamics in intensive shrimp ponds: the role of sediment remineralization. *Aquaculture* , 2004 , 229 ( 1/4 ) : 129-145.
- [12] Hossain M L , Huda S M S , Hossain M K. Effects of industrial and residential sludge on seed germination and growth parameters of *Acacia auriculiformis* seedlings. *Journal of Forestry Research* , 2009 , 20( 4 ) : 331-336.
- [13] Farquhar G D , Skarkey T D. Stomatal conductance and photosynthesis. *Annual Review of Plant Physiology* , 1982 , 33: 317-345.
- [14] Liu Y Y , Sun H B , Chen G Z , Zhao B , Li W Y. Eco-physiological responses of *Kandelia candel* seedlings to polychlorinated biphenyls ( PCBs) treatment. *Acta Ecologica Sinica* , 2007 , 27( 2 ) : 746-754.
- [15] Chen G Z , Miao S Y , Tam N F Y , Wong Y S. Effect of synthetic wastewater on eco-physiological indexes of *Kandelia candel* seedlings: a preliminary report. *Chinese Journal of Applied Ecology* , 1994 , 5( 2 ) : 221-224.
- [16] Zhifang G , Loescher W H. Expression of a celery mannose 6-phosphate reductase in *Arabidopsis thaliana* enhances salt tolerance and induces biosynthesis of both mannitol and a glucosyl-mannitol dimer. *Plant , Cell and Environment* , 2003 , 26( 2 ) : 275-283.
- [17] Halide H , Ridd R V , Peterson E L , Foster D. Assessing sediment removal capacity of vegetated and non-vegetated settling ponds in prawn farms. *Aquacultural Engineering* , 2003 , 27( 4 ) : 295-314.
- [18] Li X M. On aquaculture alongshore influenced by waste from shrimp pond and preventing and curing it. *Chinese Fisheries Economics* , 2002 , ( 6 ) : 40-42.
- [19] Vaiphasa C , de Boer W F , Skidmore A K , Panitchart S , Vaiphasa T , Bamrongrugsu N , Santitamont P. Impact of solid shrimp pond waste materials on mangrove growth and mortality: a case study from Pak Phanang , Thailand. *Hydrobiologia* , 2007 , 591( 1 ) : 47-57.

#### 参考文献:

- [ 1 ] 林鹏. 红树林. 北京: 海洋出版社, 1984: 52-54.
- [ 2 ] 李玫, 章金鸿, 陈桂珠. 生活污水排放对红树林植物生长的影响. *防护林科技*, 2002, 52( 3 ) : 1-5.
- [ 3 ] 黄立南, 蓝崇钰, 束文圣. 污水排放对红树林湿地生态系统的影响. *生态学杂志*, 2000, 19( 2 ) : 13-19.
- [ 4 ] 李霞, 莫创荣, 卢杰. 我国红树林净化污水研究进展. *海洋环境科学*, 2005, 24( 4 ) : 77-80.
- [ 5 ] 霍长虹, 王邠, 梁鸿, 赵玉英, 林文翰. 红树林植物老鼠簕化学成分的研究. *中国中药杂志*, 2006, 31( 24 ) : 2052-2054.
- [ 6 ] 林鹏. 中国红树林生态系. 北京: 科学出版社, 1997: 47-53.
- [ 7 ] 诸姮, 胡宏友, 卢昌义. 盐度对药用红树植物老鼠簕种子萌发和幼苗生长的影响. *厦门大学学报: 自然科学版*, 2008, 47( 1 ) : 132-135.
- [ 8 ] 张治安, 陈展宇. *植物生理学实验技术*. 长春: 吉林大学出版社, 2008: 60-196.
- [ 9 ] 郝建军, 康宗利, 于洋. *植物生理学实验技术*. 北京: 化学工业出版社, 2007: 159-160.
- [ 14 ] 刘亚云, 孙红斌, 陈桂珠, 赵波, 李伟煜. 秋茄 ( *Kandelia candel* ) 幼苗对多氯联苯污染的生理生态响应. *生态学报*, 2007, 27( 2 ) : 746-754.
- [ 15 ] 陈桂珠, 缪绅裕, 谭凤仪, 黄玉山. 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. *应用生态学报*, 1994, 5( 2 ) : 221-224.
- [ 18 ] 李祥木. 虾池废水对近岸养殖的影响与防治. *中国渔业经济*, 2002, ( 6 ) : 40-42.