

多氯联苯 (PCBs) 污染对桐花树幼苗生长的影响^{*}

刘亚云^{1, 2}, 孙红斌¹, 陈桂珠¹

(1. 中山大学环境科学与工程学院, 广州 510275 2 广东海洋大学资源与环境系, 湛江 524088)

摘 要: 在盆栽条件下研究了多氯联苯 (PCBs) 浓度为 180、900、1800 和 2700 $\mu\text{g/kg}$ 的沉积物对取自于深圳福田红树林自然保护区育苗基地的红树植物桐花树幼苗生长的影响。结果表明: 生长于 PCBs 浓度为 900 和 1800 $\mu\text{g/kg}$ 的沉积物中的桐花树幼苗的茎高、茎径、茎体积和生物量的生长量均极显著高于对照组, 生长于 PCBs 浓度为 180 和 2700 $\mu\text{g/kg}$ 沉积物中的桐花树幼苗的上述生长指标的生长量也高于对照组, 但差异不显著。所设 PCBs 浓度对桐花树幼苗的生长具有促进作用, 桐花树能在 PCBs 浓度为 180~2700 $\mu\text{g/kg}$ 的沉积物中旺盛生长, 对 PCBs 具有较强的耐受性和适应性。

关键词: 红树植物; 桐花树; 多氯联苯; 生长

中图分类号: Q945.78 **文献标识码:** A **文章编号:** 0529-6579 (2006) 04-0108-05

多氯联苯 (PCBs) 是一类典型的持久性有机污染物, 具有高亲脂性和生物难降解性, 可以通过食物链被生物富集^[1], 不但具有致癌、致畸、致突变作用, 而且是内分泌干扰物, 严重威胁着生态安全和人类健康。PCBs 在我国的湖泊、水库、河流、河口、海湾等湿地生态系统中广泛存在, 而且某些区域污染较为严重^[2-3]。由于 PCB 的水溶性很低, 土壤和底泥是大多数 PCBs 在环境中的重要归宿^[4], 对 PCBs 污染的土壤和底泥进行修复, 已成为国内外的研究焦点^[5-6], 由于植物修复技术成本低, 对环境友好, 愈来愈显示出其独特的优势, 引起了人们的高度关注^[7]。然而, 由于许多植物种类对污染物很敏感, 限制了它们在植物修复中的应用, 因此选择和驯化对污染物有更强抗性的植物种类, 来促进植物修复, 成为目前研究的热点之一。

红树林是生长于热带和亚热带海岸和河口潮间带的木本植物群落, 由红树林及其生长的环境所组成的红树林湿地系统可通过物理作用、化学作用及生物作用对各种污染物进行修复。已有学者研究了红树植物对生活污水^[8]、牲畜废水^[9]和养殖水体^[10]等的修复作用, 结果表明红树植物对营养污染物 N、P^[11-12]以及重金属^[13]、多环芳烃^[14]等具有较好的去除效果。但利用红树植物修复沉积物中 PCBs 以及 PCBs 对红树植物生长及生理生态特性的

影响的研究却鲜见报道。本文研究了 PCBs 污染对取自于深圳福田红树林自然保护区育苗基地的红树植物桐花树幼苗生长的影响情况, 以便进一步了解红树植物对 PCBs 污染的耐性和抗性, 为合理利用红树植物修复沉积物中的 PCBs 提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 实验材料

本研究供试植物桐花树 (*Aegiceras corniculatum*) 幼苗和沉积物均采自深圳福田红树林自然保护区育苗基地, 所用化学药品 2, 2', 4, 4'-tetrachlorobiphenyl 和 2, 2', 4, 4', 6, 6'-hexachlorobiphenyl 的纯度 > 99.9%, 为美国百灵威公司产品。

1.2 实验设计

试验设 1 个对照组 (T0) 和 4 个不同浓度处理组, 对照组不加 PCBs, 其他处理组 PCBs 的浓度分别为海洋沉积物 PCBs 污染风险评价中值^[15]、中值的 5、10 和 15 倍, 即 180、900、1800 和 2700 $\mu\text{g/kg}$, 分别用 T1、T2、T3 和 T4 表示。

试验采取如下三个步骤将 PCBs 与风干过筛的沉积物混合^[16]: (1) 将 2, 2', 4, 4'-tetrachlorobiphenyl 和 2, 2', 4, 4', 6, 6'-hexachlorobiphenyl 各 50mg 溶于 1000ml 丙酮中, 然后分别取 324、216、108 和 21.6ml 各加入到 1000g 沉积物中, 充分搅拌均匀, 于振荡器上振荡 24h 再放置 1d

^{*} 收稿日期: 2005-11-14
基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (40576057); 教育部博士点基金资助项目 (2005-38000-4111-101); 国家高技术研究发展计划 (863 计划) 资助项目 (2003AA627030)
作者简介: 刘亚云 (1968 年生), 女, 博士研究生; 通讯联系人: 陈桂珠; E-mail: Chenguizhu@yeah.net
(C)1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

为第一母体污染沉积物; (2) 将第一母体污染沉积物分别加入到 5 000 g 沉积物中, 充分搅拌, 于振荡器上振荡 24 h 放置 1 d 为第二母体污染沉积物; (3) 将第二母体污染沉积物再分别加入到另外 3 份预先称好的沉积物中, 使 PCBs 浓度达到上述四种试验处理要求, 放置 15 d, 期间每天混合 1 次, 向每个盆钵中加入自来水, 使水面高过土样 3 cm, 平衡 15 d 备用。

在玻璃铁丝网模拟试验室内进行盆栽试验, 以不加 PCBs 的沉积物为对照组, 每盆栽植桐花树幼苗 10 株。在盆栽期间, 每星期加两次自来水, 使水面保持相同的高度, 以补充蒸发散失的水分。试验期间, 每月定期测定各组每一植株的茎高和茎径, 观察红树植物的生长状况。

1.3 植物生长指标的测定

试验前, 随机选取同期运回的桐花树 21 株作标准木, 逐株测定茎高和茎径, 并将植株各部分(根、茎、叶)在 105℃下烘干至恒重, 测定其干物重(生物量), 并计算每一植株的总生物量。根据植物相关生长法^[17], 苗木的茎高(H)、茎径(D)、与生物量(B)之间存在下列相关关系:

$$\lg B = \lg a + b \lg (D^2 H) \tag{1}$$

将标准木实测数据代入式 (1), 求出桐花树植株各组分生长关系式中的 a 、 b 值。

植株的茎体积(V)与茎高(H)和茎径(D)存在以下关系^[18]

$$V = 1/4 \pi D^2 H \tag{2}$$

试验开始后, 每月定期测定各组每一植株的茎高和茎径, 计算每月茎高、茎径生长量; 将测得的茎高、茎径数据代入式 (1) 和式 (2), 分别统计每一植株的生物量和茎体积, 并计算每月茎体积和生物量的增量。

2 结果与分析

2.1 PCBs 污染对桐花树幼苗茎高生长的影响

由每月定期测得的每株植物个体的茎高, 统计出每月各组植株的个体平均茎高生长量。

6 个月中各组植株的个体茎高生长量平均值及月均增长量见表 1。各组植株的个体茎高生长量在 6 个月中的变化规律见图 1。

由表 1 可见, 实验 6 个月后, 各处理组植株的茎高生长量和月均茎高生长量, 随着 PCBs 浓度的升高, 呈现先升高后降低的趋势, 但均高于对照组 T0。其中 T2 和 T3 浓度组分别比对照组高 27.37% 和 31.02%, 差异极显著; T1 和 T4 浓度组与对照组相比差异不显著, 但仍分别比对照组高 8.42% 和 6.78%。

总的来看, 6 个月的 PCBs 处理并未对植株茎高生长造成不利影响, 反而具有促进生长的作用。

表 1 PCBs 污染对桐花树幼苗茎高生长的影响 (6 个月)

Tab. 1 Effect of PCBs on stem height growth of *Aegiceras corniculatum* seedlings (6 months)

PCBs 浓度 ($\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	茎高生长量 cm	月均茎高 生长量 /cm	处理 / 对照 (%)
T0(0)	11 960±3 936	1 993±0 656	100
T1(180)	12 967±3 684	2 162±0 614	108.42
T2(900)	15 234** ±4 033	2 525** ±0 668	127.37
T3(1800)	15 670** ±4 353	2 612** ±0 726	131.02
T4(2700)	12 771±4 382	2 130±0 732	106.78

表中数据为平均值±标准差, ** $P < 0.01$ 茎高生长量为 6 个月时桐花树幼苗茎高减去处理前幼苗茎高

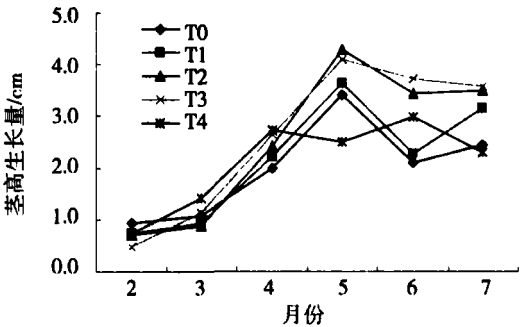


图 1 桐花树幼苗茎高在不同月份的生长量

Fig. 1 Height growth of *Aegiceras corniculatum* seedlings at different month

由图 1 可知, 从 4 月份开始, 桐花树幼苗茎高生长开始加快, 5 月份生长量最大, 一直到 7 月份, 茎高月均生长量都维持在较高水平, 而 2~3 月份茎高生长量各组都很低, 可能是因为 2~3 月气温低, 茎高的生长相应较慢。从图 1 中还可看出, 随着处理时间的延长, T2、T3 茎高的生长量远大于其它各浓度组, 说明 T2、T3 浓度的 PCBs 对茎高生长的促进作用较大。

2.2 PCBs 污染对桐花树幼苗茎径生长的影响

由每月定期测得每一植株个体茎径, 统计得到每月每组植株的个体平均茎径生长量。各组植株 6 个月的个体茎径生长量平均值及月均增长量见表 2。各组植株的个体茎径生长量在 6 个月中的变化规律见图 2。

由表 2 可见, 经 PCBs 处理 6 个月后, 各处理组茎径生长量、月均茎径生长量都大于对照组, 其中, T1 浓度组与对照组相比差异不显著, 但仍比对照组高 10.86%; T2 和 T3 与对照组相比, 差异极显著, 分别比对照组高 25.60% 和 28.93%; T4

浓度组比对照组高 14.08%，差异显著。这说明即使是 T4 即 2700 $\mu\text{g/kg}$ 浓度的 PCBs 对桐花树幼苗茎径的生长也是具有促进作用的。

表 2 PCBs 污染对桐花树幼苗茎径生长的影响 (6 个月)

Tab. 2 Effect of PCBs on stem basal diameter growth of <i>Aegiceras comiculatum</i> seedlings (6 months)			
PCBs ($\mu\text{g/kg}$)	茎径生长量 mm	月均茎径 生长量 /mm	处理 / 对照 (%)
T0(0)	1.832 $\pm$ 0.482	0.305 $\pm$ 0.080	100
T1(180)	2.031 $\pm$ 0.339	0.338 $\pm$ 0.057	110.86
T2(900)	2.301** $\pm$ 0.412	0.384** $\pm$ 0.069	125.60
T3(1800)	2.362** $\pm$ 0.457	0.394** $\pm$ 0.076	128.93
T4(2700)	2.090* $\pm$ 0.430	0.348* $\pm$ 0.072	114.08

表中数据为平均值 $\pm$ 标准差, * $P<0.05$, ** $P<0.01$ 茎径生长量为 6 个月时桐花树幼苗茎径减去处理前幼苗茎径

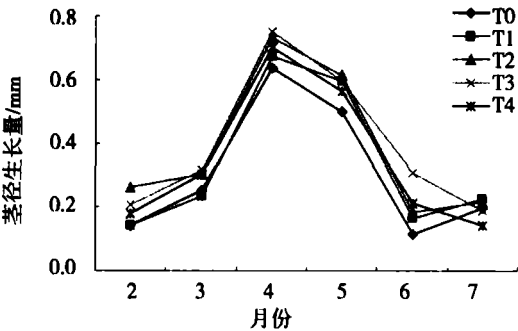


图 2 桐花树幼苗茎径在不同月份的生长量
Fig. 2 Stem basal diameter growth of *Aegiceras comiculatum* seedlings at different months

由图 2 可见, 6 个月中桐花树幼苗每个月的个体平均茎径生长量随季节的变化要大于随 PCBs 处理浓度的变化。桐花树茎径在 4~5 月份生长较快, 茎径月增量显著, 2~3 月份和 6~7 月份径生长比较慢, 茎径月增量较小。

2.3 PCBs 污染对桐花树幼苗茎体积生长的影响

由每月定期测得的每株植株的茎高、茎径等数据, 由式 (2) 统计出每月每组植株的个体平均茎体积生长量。PCBs 污染 6 个月后各组植株茎体积生长量的平均值和月均生长量见表 3 各组植株的个体茎体积生长量在 6 个月中的变化规律如图 3 所示。

由表 3 可见, 处理 6 个月后, 各 PCBs 处理组茎体积生长量、月均茎体积生长量, 随着 PCBs 浓度的升高, 呈现先升高后降低的趋势, PCBs 浓度达到 T3 即 1800 $\mu\text{g/kg}$ 时, 生长量最大, 随后下降, 但各处理组均高于对照组, 其中, T1 和 T4 浓度组分别比对照组高 11.54% 和 10.44%, 但差异不显著; T2 和 T3 与对照组相比, 差异极显著, 分别比

对照组高 38.46% 和 56.59%。

表 3 沉积物 PCBs 污染对桐花树幼苗茎体积生长的影响 (6 个月)

Tab. 3 Effect of PCBs on stem volume growth of <i>Aegiceras comiculatum</i> seedlings (6 months)			
PCBs 浓度 ($\mu\text{g/kg}$)	茎体积生 长量 / cm^3	月均茎体积 生长量 / cm^3	处理 / 对照 (%)
T0(0)	1.824 $\pm$ 0.832	0.304 $\pm$ 0.139	100
T1(180)	2.035 $\pm$ 0.767	0.339 $\pm$ 0.128	111.54
T2(900)	2.524** $\pm$ 0.766	0.421** $\pm$ 0.128	138.46
T3(1800)	2.854** $\pm$ 0.909	0.476** $\pm$ 0.152	156.59
T4(2700)	2.012 $\pm$ 0.824	0.335 $\pm$ 0.137	110.44

表中数据为平均值 $\pm$ 标准差, ** $P<0.01$ 茎体积生长量为 6 个月时桐花树幼苗茎体积减去处理前幼苗茎体积

由图 3 可见, 桐花树茎体积在 2~3 月份生长比较缓慢, 月生长量较小, 从 4 月份开始生长加快, 其中 T1 和 T2 处理组与对照组呈相同的趋势, 5 月份达最高, 6 月份生长量有所降低, 7 月份又升高, 而且均高于对照组; T3 和 T4 浓度组与对照组的生长趋势不一致, T3 浓度组持续升高, 直到 7 月份, 而且远高于对照组, 生长最快; T4 浓度组生长比较平稳, 6 月份达最高, 7 月份又降低, 低于对照组。

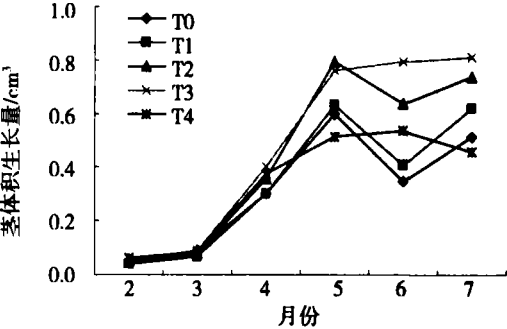


图 3 桐花树幼苗茎体积在不同月份的生长量
Fig. 3 Stem volume growth of *Aegiceras comiculatum* seedlings at different months

2.4 PCBs 污染对桐花树幼苗生物量的影响

将实测的标准木的茎径 (D)、茎高 (H) 与生物量 (B) 代入式 (1) 中, 建立的桐花树生物量与株高和基径的回归方程为:

$$\lg B = 0.6357 + 0.6837 \lg (D^2 H) \quad (3)$$

根据式 (3) 和每月定期测得的每株植株的茎高、茎径等数据统计 PCBs 处理 6 个月后各组植株生物量生长量和月均生物量生长量见表 4 生物量生长在 6 个月中的变化规律见图 4。

由表 4 可见, PCBs 处理 6 个月后, 各处理组植株生物量生长量、月均生长量均随着 PCBs 浓度的升高, 呈现先上升后下降的趋势, 与茎高、茎径

和茎体积相一致, 在 PCBs浓度为 T3即 1 800 ug / kg时达最高, 然后下降, 但仍高于对照组, 其中 T1和 T4浓度组分别比对照组高 8. 68%和 6. 56%, 没有显著性差异; T2和 T3浓度组极显著高于对照组, 分别比对照组高 30. 76%和 37. 22%。

表 4 沉积物 PCBs污染对桐花树幼苗生物量生长的影响 (6 个月)

Tab. 4 Effect of PCBs on total biomass growth of *Aegiceus comiculatum* seed lings (6 months)

PCBs浓度 ($\mu\text{g kg}^{-1}$)	生物量 生长量 /cm	月均生物量 生长量 /cm	处理 / 对照 (%)
T0(0)	1. 037 $\pm$ 0. 381	0. 173 $\pm$ 0. 064	100
T1(180)	1. 127 $\pm$ 0. 320	0. 188 $\pm$ 0. 053	108. 68
T2(900)	1. 356 ^{**} $\pm$ 0. 369	0. 226 ^{**} $\pm$ 0. 062	130. 76
T3(1800)	1. 423 ^{**} $\pm$ 0. 427	0. 237 ^{**} $\pm$ 0. 071	137. 22
T4(2700)	1. 105 $\pm$ 0. 352	0. 184 $\pm$ 0. 058	106. 56

表中数据为平均值 $\pm$ 标准差, ^{**} $P<0. 01$; 生物量生长量为 6 个月时桐花树幼苗生物量减去处理前幼苗生物量

由图 4可以看出: 生物量的生长与茎体积的生长表现较为一致, 在 2~3月份生长比较缓慢, 月生长量较小, 从 4月份开始生长加快, 其中 T1和 T2处理组与对照组呈相同的趋势, 5 月份达最高, 6 月份生长量有所降低, 7 月份又升高, 而且均高于对照组; T3和 T4浓度组与对照组的生长趋势不一致, T3浓度组 5 月份达最高, 然后生长减慢, 但仍远高于对照组; T4浓度组生长相对比较平稳, 5 月份达最高, 但低于对照组, 然后开始下降, 不过 6 月份生长快于对照组, 7 月份又比对照组生长的慢。

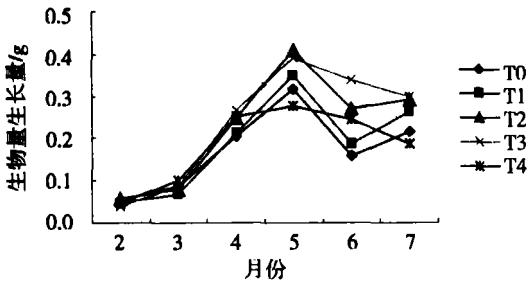


图 4 桐花树幼苗生物量在不同月份的生长量
Fig 4 Total biomass growth of *Aegiceus comiculatum* seedlings at different month

3 讨论

模拟 PCBs污染沉积物对红树植物桐花树幼苗生长影响的实验表明, 在所设 PCBs浓度范围内, 桐花树幼苗能旺盛生长, PCBs对桐花树幼苗茎高、茎径、茎体积和生物量等生长指标的生长具有促进

作用。
不同浓度的 PCBs对桐花树幼苗生长的促进作用不同, T1 (180 $\mu\text{g kg}$) 和 T4 (2700 $\mu\text{g kg}$) 浓度的 PCBs对桐花树幼苗生长的促进作用较小, 而 T2 (900 $\mu\text{g kg}$) 和 T3 (1800 $\mu\text{g kg}$) 浓度的 PCBs对桐花树幼苗的生长具有极大的促进作用。这种较低浓度毒物的促进作用在其它高等植物中也得到了证实^[19 20], 这可能是因为植物生长激素如生长素和赤霉素大都具有与 PCBs类比的环状结构, 生长素和赤霉素促进植物茎的生长, PCBs可能因这种结构的相似性而具有与生长激素类似的作用, 从而促进桐花树幼苗的旺盛生长。
桐花树幼苗能在 PCBs浓度为 180~2700 $\mu\text{g / kg}$ 的沉积物中旺盛生长, 说明桐花树幼苗对 PCBs有较强的耐性和抗性, 而很多植物因其对 PCBs等污染物较敏感, 限制了他们在植物修复中的应用, 因此, 可以利用桐花树对 PCBs抗性较强的生物学特性来修复 PCBs污染较严重的沉积物。

参考文献:

[1] CAMPFENS J MACKAY D. Fugacity - based Model of PCB bioaccumulation in complex aquatic food webs[J]. Environ Science Technology 1997 31: 577 - 583
[2] 丘耀文, 周俊良, MASKAOU I K 等. 大亚湾海域多氯联苯及有机氯农药研究[J]. 海洋环境科学, 2002 21 (1): 46 - 51
[3] 张祖麟, 洪华生, 余刚. 闽江口持久性有机污染物——多氯联苯的研究[J]. 环境科学学报, 2002 22 (6): 788 - 791.
[4] 吴萍, 杨桂朋, 赵学坤. 海洋沉积物中的多氯联苯[J]. 海洋环境科学, 2001 20 (3): 75 - 80
[5] 郑海龙, 陈杰, 邓文靖. 土壤环境中的多氯联苯 (PCBs) 及其修复技术[J]. 土壤, 2004 36 (1): 16 - 20
[6] CHEKOL T VOUGH LESTER R CHANEY RUFUS L. Phytoremediation of polychlorinated biphenyl - contaminated soils: the rhizosphere effect[J]. Environment International . 2004 30: 799 - 804
[7] WENZEL WW, ADRIANO DG, SALT D et al. Phytoremediation: a plant - microbe - based remediation system [C] // Adriano DG, et al, eds. Bioremediation of Contaminated Soils. Agronomy Monograph 1999 37: 457 - 508
[8] 陈桂珠, 陈桂葵. 白骨壤模拟湿地系统对污水的净化效应[J]. 海洋环境科学, 2000 19 (4): 23 - 26
[9] YE Y, TAM N F Y, WONG Y S. Livestock wastewater treatment by an mangrove pot - cultivation system and the effect of salinity on the nutrient removal efficiency[J]. Marine Pollution Bulletin. 2001. 42 (6): 513 - 521.

- [10] SANSANYUTH P, PHADUNGCHER A, NGAMMONTA S et al. Shrimp pond effluent pollution problems and treatment by constructed wetlands[J]. Water Science Technology 1996 34(11): 93–98
- [11] 陈桂葵, 陈桂珠. 白骨壤模拟湿地系统中氮的分配、循环及其净化效应[J]. 生态学杂志, 2004 23(6): 15–18
- [12] 陈桂葵, 陈桂珠. 白骨壤模拟湿地系统中磷的分配循环及其净化效应. [J]生态学报, 2005 25(3): 627–632
- [13] 陈桂葵, 陈桂珠. 镉在白骨壤模拟湿地系统中的分布、迁移及净化效应[J]. 应用生态学报, 2005 16(3): 550–554
- [14] KE L, WANG W Q, WONG T W, Y et al. Removal of pyrene from contaminated sediments by mangrove microcosm[J]. Chemosphere, 2003, 51: 25–34
- [15] LONG E R, MACDONALD D D, SMITH S L et al. Incidence of adverse biological effects within ranges of chemical concentrations in marine and estuarine sediments[J]. Environmental Management 1995 19 81–97.
- [16] 丁克强, 骆永明, 刘世亮. 黑麦草对土壤中苯并[a]芘动态变化的影响. 土壤学报, 2004 41(3): 348–353
- [17] 木村允. 陆地植物群落的生产量测定法[M]. 姜恕等译. 北京: 科学出版社, 1981: 79–97.
- [18] 林鹏, 卢昌义, 王恭礼, 等. 海莲红树林的生物量和生产力. 厦门大学学报: 自然科学版, 1990 29: 209–213
- [19] BAKER J M. The effects of oils on plant physiology[C] //Cowell E B. Ed. The Ecological Effects of Oil Pollution on Littoral Communities. Essex England Applied Science Publishers 1973 88–98
- [20] 陆志强, 郑文教, 马丽. 不同浓度萘和芘处理对红树植物秋茄胚轴萌发和幼苗生长的影响[J]. 厦门大学学报: 自然科学版, 2005 44(4): 580–583

Effects of Polychlorinated Biphenyls on the Growth of Mangrove Species *Aegiceras corniculatum*

LIU Ya-yun^{1,2}, SUN Hong-bin¹, CHEN Guizhu¹

(1. School of Environmental Science and Engineering, Sun Yat sen University, Guangzhou 510275 China)

2. Department of Resources and Environment, Guangdong Ocean University, Zhanjiang 524088, China)

Abstract Mangrove species *Aegiceras corniculatum* seedlings cultivated at the seedling base in Futian Mangrove Nature Reserve were grown in the presence and absence of polychlorinated biphenyls (PCBs) in sediments under pot-cultivation condition. The concentrations of PCBs in the sediments are 180, 900, 1800 and 2700 $\mu\text{g/kg}$ respectively. Measurements of the growth of stem height, basal stem diameter, stem volume and the total biomass were made at monthly intervals for a 6 month period. *Aegiceras corniculatum* seedlings grown in sediment treated with PCBs at the concentration of 900 and 1800 $\mu\text{g/kg}$ exhibited significantly increased values for cumulative change in stem height, basal stem diameter, stem volume and the total biomass, and *Aegiceras corniculatum* seedlings could still maintain its normal growth at the concentration of PCBs with 2700 $\mu\text{g/kg}$. It indicates that the mangrove species *Aegiceras corniculatum* had a stronger adaptability and tolerance to PCBs.

Key words mangrove; *Aegiceras corniculatum*; Polychlorinated Biphenyls; growth