

# 红树林区底栖动物污染生态学研究进展\*

马 丽, 蔡立哲, 袁东星

(厦门大学环境科学研究中心, 福建 厦门 361005)

**摘要:**综述了底栖动物污染生态学研究现状. 目前有关底栖动物的污染生态学研究主要有以下几个方面: (1) 污染物在底栖动物体中含量测定及一些污染物在底栖动物中累积分布的研究. (2) 污染物对底栖动物生理特性影响的研究. (3) 污染物如城市污水对底栖动物群落的影响研究. (4) 底栖动物在水质和底质污染中的监测应用. 分别综合和评述了红树林底栖动物污染生态学在重金属、城市污水和有机物污染对红树林区底栖动物的生态效应等方面的研究现状. 提出今后红树林区底栖动物污染生态学的研究, 应着重生态毒理学和实验生态学的研究.

**关键词:**红树林区; 底栖动物; 污染生态学

中图分类号: X171

文献标识码: A

文章编号: 1000-8160(2003)01-0113-07

红树林生态系统是热带、亚热带海湾河口区特有的生态系统, 有较高的初级生产力<sup>[1]</sup>, 红树植物生长密集、枝叶茂盛, 特殊的板根和呼吸根的缠结, 可以减弱风浪阻缓潮流, 还可以使水流携带的有机碎屑沉积下来, 为许多底栖动物提供了栖息和觅食的温和生境, 使红树林区成为鱼类、鸟类和经济动物的栖息产卵地和孵育场. 红树林区底栖动物具有较高的生物多样性, 已报道的中国沿海红树林区的底栖动物已近 300 种<sup>[2]</sup>. 底栖动物作为红树林区消费者和分解者的一部分, 对红树林生态系统的物质和能量流动起着积极的作用. 近年来, 随着江河湖海区沿岸人口的增长、工农业及港口驳岸海运的发展, 大量环境污染物汇集于河口海湾区, 冲击了红树林生态系统, 引起了生态学家广泛的关注. 随着红树林生态系统污染研究的不断深入, 在重金属、有机氯农药、石油等污染物对红树林生态系统的生态效应研究方面取得了一定的成果. 但这些研究多集中于红树林生态系统中的沉积物 and 红树植物, 而涉及底栖动物污染生态学的研究不多.

污染生态学是研究在污染条件下生物与环境之间相互关系规律的科学. 它是以污染物在生物体内的过程为主线, 生物与污染环境之间相互关系为主要研究内容, 生物抗性形成和生物防治为研究重点的边缘交叉学科<sup>[3]</sup>. 有关底栖动物的污染生态学研究目前主要有以下几个方面: (1) 污染物在底栖动物体中含量的测定及一些污染物在底栖动物中累积分布的研究. (2) 污染物对底栖动物生理特性影响的研究. (3) 污染物如城市污水对底栖动物群落的影响研究, 包括污染物对底栖动物群落数量、生物量以及生物群落多样性的影响. (4) 底栖动物在水质和底质污染中的监测应用, 包括底栖动物污染指示种的确定、特定污染区域中底栖群落结构的变

\* 收稿日期: 2002-04-24

基金项目: 福建省自然科学基金重点资助项目(D002-0002); 教育部骨干教师资助计划资助

作者简介: 马丽(1978~), 女, 硕士研究生.

化及耐污种的研究. 红树林区底栖动物污染的研究目前刚刚起步, 已报道的研究集中于重金属、城市污水和有机物污染对红树林区底栖动物的生态效应.

## 1 红树林区底栖动物重金属污染的研究

红树林滩涂属于高腐殖质的还原环境. 腐殖质具有较强的吸附重金属的能力, 而沉积物中大量的  $H_2S$  易与重金属形成难于溶解的金属硫化物, 从而使得红树林区成为潜在的重金属富集区. 对于整个红树林生态系统而言, 沉积物是重金属的主要储存库, 绝大部分的 Mn、Cu、Fe、Zn、Cr、Pb 和 Cd 累积其中, 而红树植物中重金属含量低于总量的 1%<sup>[4]</sup>. 一些底栖动物较固定地生活在一定区域的沉积物中, 或直接以沉积物中的有机颗粒为食, 可从饵料中吸收重金属, 也可因暴露在含重金属的环境中通过体表吸附和表面膜渗透等方式吸收重金属<sup>[5]</sup>. 因此红树林区的一些底栖动物可能比其他类型滩涂底栖动物富集更多的重金属.

何斌源等(1994)对广西英罗港红树林区沼泽林内和潮沟区的沉积物及 25 种大型底栖动物中的重金属 Cu、Pb、Zn、Cd 的含量进行了测定. 发现大型底栖动物中各重金属含量差别很大, 各采样点上不同的动物对不同的元素吸收能力各不相同, 动物中重金属含量一般以 Zn 最高, Cd 最低. 这与 Zn 可借助浓度梯度直接扩散进入细胞, Cu、Pb、Cd 需载体方能进入细胞<sup>[5]</sup>的毒性机理是一致的. Zn 和 Cd 含量以软体类, Cu 含量以甲壳类, Pb 含量以星虫类最高. 实验还发现这 4 种重金属在林内动物中的平均含量高于潮沟内的平均含量<sup>[6]</sup>. Ong 和 Cheung(1998)测定了香港米埔红树林区的刀额新对虾 (*Metapenaeus ensis*) 和中华绒螯蟹 (*Eriocheir sinensis*) 中 Cd、Fe、Pb、Zn 含量, 实验结果表明, 中华绒螯蟹中各种重金属的平均含量高于刀额新对虾的含量<sup>[7]</sup>. Guhathakurta 等(2000)测定了印度 Sunderban 红树林生态系统中的虎虾 (Tiger shrimp) 的 Pb、Zn、Cd、Fe 的含量. 结果表明除了 Pb 外, 其余 3 种重金属在斑节对虾 (*Penaeus monodon*) 肌肉中的含量因样地不同而明显不同; 沉积物中这 4 种重金属的含量与虎虾肌肉中对应重金属含量表现出相关性; 水的盐度同虎虾肌肉中 Zn、Cd 的浓度呈明显正相关性, 水中的含氮量则与斑节对虾肌肉中 Zn 的浓度呈明显正相关性<sup>[8]</sup>. 赖廷和、邱绍芳(1998)采用了何斌源等 1994 年所做实验的样品采集方法, 对 25 种大型底栖动物进行 Hg 含量的测定, 实验结果表明, 滩涂潮沟内的所有底栖动物的平均 Hg 含量高于林内样地的底栖动物的平均 Hg 含量<sup>[9]</sup>. 这与何斌源等(1996)对广西英罗港红树林区沼泽林内和潮沟内 25 种大型底栖动物的 Cu、Pb、Zn、Cd 平均含量的比较结果<sup>[6]</sup>是相反的. 该实验还将 25 种大型底栖动物按生活型和食性进行了划分. 按底栖动物不同食性划分, 各类动物 Hg 含量均值大小顺序为: 沉积物食性 > 浮游生物食性 > 植食性 > 杂食性 > 肉食性; 按生活型划分, Hg 含量均值大小顺序为: 底内型 > 底上型 > 穴居型 > 附着型; 在生活型和食性 8 种组合中, 以沉积物为食、以底内型生活的种类平均富集 Hg 的能力最强.

从以上已得出的实验结果来看, 不同底栖动物重金属的含量差异不仅与沉积环境中重金属的含量有关, 而且还受到底栖动物的种类、底栖环境、重金属的存在形式及饵料吸收等因子的影响.

Zn 是所有生命体所必需的重要微量元素, 它是 200 多种金属酶和金属生物复合物的组成部分, 对维持 DNA 等生物大分子及细胞膜、核糖体等生物结构的稳定起着积极的作用. 过去 30a 的调查也表明 Zn 是许多在生理系统中起重要作用的功能蛋白的整体组成部分<sup>[10,11]</sup>. 目前

有关红树林区底栖动物 Zn 污染研究比较多,但主要集中于底栖动物体中 Zn 含量的测定上,其他方面的研究还较少。

从红树林区底栖动物体内重金属含量的研究可得出如下规律:(1)红树林区不同底栖动物对同一种有害物质,或同一种底栖动物对不同有害物质的积累能力差别很大;(2)红树林区底栖动物中有害物质多寡与栖息小生境有关;(3)红树林区底栖动物重金属含量因底栖动物生活型和食性的不同而明显不同。

目前有关红树林区重金属污染的底栖动物的污染指示研究报道并不多。主要的有 MacFarlane 等(2000)的工作。他们曾将澳大利亚悉尼 Jackson 河口和 Hawkesbury 河口红树林区沉积物中 Cu、Zn、Pb 的含量与 *Heloccius cordiformis* 这种蟹的肝胰腺体中 Cu、Zn、Pb 的含量及其引起的形态变异和群落结构的变化联合起来进行研究。结果发现在实验样地中,*H. cordiformis* 出现二态性,雄性蟹有较宽和较长的甲壳,较长的螯,总体生物量也是雄性蟹大于雌性蟹;有较高比率雄性蟹的群落所在样地,沉积物中重金属的含量水平较高。实验对 *H. cordiformis* 肝胰腺中 Cu、Zn、Pb 的含量与沉积物中相应重金属含量进行了比较,实验结果还显示,*H. cordiformis* 肝胰腺对 Cu、Zn 具有调节作用而对 Pb 具有富集作用。因此,MacFarlane 等(2000)认为 *H. cordiformis* 可以作为 Pb 污染的生物指示种,同时 Pb 是造成 *H. cordiformis* 群落水平差异的主要金属<sup>[12]</sup>。

## 2 污水对红树林区底栖动物的生态效应研究

红树林作为河口海湾区的一项珍贵的生物资源和河口生态系重要的初级生产者,为底栖动物提供了繁衍栖息和觅食地,已引起生态学家和国际社会的高度重视和保护。但由于河口海湾区人口和经济的急剧增长而人们对红树林生态系统的认识和研究不够,人们把红树林湿地直接作为城市污水处理的沉积地和天然净化池。影响海洋底栖动物群落的最通常的污染物或许是过量的有机质。它们主要是排入有限水体内的污水,经常会引起富营养化,在极端情况下会导致沉积物环境完全缺氧并产生大量硫化氢,使需氧动物相应缺乏。

目前关于污水对红树林区的底栖动物的生态效应研究主要集中于污水对底栖动物群落结构的影响。

余日清等(1997)于 1991 年 9 月至 1993 年 1 月分别对深圳福田红树林自然保护区沙嘴村两块发育类似的红树林中所设断面进行生活污水排灌,并将这两断面中的底栖动物群落中的种类组成、总生物量、总栖息密度、软体动物、甲壳动物的生物量分别与对照断面做了比较,结果发现排污对底栖大型动物群落的种类组成、总生物量、总栖息密度、软体动物、甲壳动物生物量的季节变化没有造成明显影响。但污水排放对实验断面底栖动物产生一些轻微的影响。在实验断面 0~60cm 处,1 月份出现污水性生物臭海蛹(*Travisia* sp.)、颤蚓(*Tubifex* sp.)。实验断面的起始栖息密度与对照断面的有差异,实验者认为污水起始排灌可能对一些优势种,如拟黑螺(*Melanoides* sp.)、亮泽拟沼螺(*Assimineia nitida*)个体数有短期抑制作用<sup>[13]</sup>。

与石化产品废水对泥滩上底栖动物的影响相比,生活污水对红树林中底栖动物群落的影响要小得多。造成这种差异的原因主要是:首先,红树林对生活污水中的有机污染有较强的耐性;其次,断面所排灌的污水为低毒性的有机污染物,排污量也有限。

蔡立哲等(2001)于 1996 年 1 月至 1998 年 12 月间对深圳河口福田红树林区和香港米埔

红树林区的潮间带泥滩的多毛类的种数进行了统计,研究了各断面多毛类生物的优势种、生物密度和生物量的季节变化,并分析了引起这些变化的可能环境因素.实验发现在福田红树林区的实验断面上,多毛类密度从1996年1月至1997年4月呈上升趋势,而从1997年4月到1998年10月呈下降趋势,这种变化趋势与密度优势种独毛虫(*Tharyx* sp.)的变化趋势一致.实验结果还表明,米埔红树林区的两个实验断面的多毛类在1996年7月和1997年至1998年4月均处于低密度和低生物量的状态<sup>[14]</sup>.他们认为福田红树林区泥滩的独毛虫的密度之所以会比香港米埔红树林泥滩的高,一是由于该断面盐度较高,有利于独毛虫生长;二是由于独毛虫属于多毛类丝鳃虫科,是高分子有机质含量区常见的种.该断面周围养猪场的废水直接排入潮间带泥滩,为独毛虫提供了更多的摄食机会.1997年1月以前,在此断面岸边有许多个体养猪场,故多毛类如独毛虫等密度逐季上升,1997年1月达到9665个/m<sup>2</sup>.由于小个体多毛类繁殖惯性,使此断面多毛类密度于1997年4月达到最高,1997年1月后这些养猪场逐渐被拆除,独毛虫密度随之下降.可以认为养猪场废水对福田红树林实验断面的多毛类群落结构产生了一定的影响.

生活污水对潮间带造成的不利影响主要是增加底质的耗氧量与刺激H<sub>2</sub>S的生成,对一些底栖动物产生一定的毒害作用,但同时排放的有机污水又为耐污较强的底栖动物提供了更多的摄食机会.

### 3 红树林区底栖动物多氯联苯和多环芳烃污染的研究

多氯联苯(PCBs)和多环芳烃(PAHs)都是常见的环境污染物,大部分PCBs和PAHs的形成源自有机物的不完全燃烧.PCBs和PAHs都具有水溶性低、蒸汽压低、表面亲和力大的特性.因此,它们极易被吸附在悬浮颗粒物上,随水、气迁移进入河流和海洋,在沉积物中可以被高度富集.因此,它们在沉积物中的含量往往高于水体中的几个数量级.它们又都具有高脂溶性,因此高度富集于沉积物中的PCBs和PAHs可通过食物链由底栖动物等进入人体.

Liang等(1999)于1997年6~12月对香港米埔红树林区Gei Wais样地的PCBs污染生态风险进行评价时,测定了日本沼虾(*Macrobrachium nipponese*)、刀额新对虾体内脂质百分含量和脂质内PCBs浓度.这两种虾群的雄体尺寸比雌体的尺寸大,雌雄尺寸存在着明显差异( $p < 0.05$ ).实验结果表明,两种虾体内的脂质百分含量和脂质内PCBs的浓度具有相同的变化规律:两种虾体内的脂质百分含量和脂质内PCBs的浓度均不存在明显差异( $p > 0.05$ ).实验者还对刀额新对虾的整个组织中PCBs的浓度和体重进行了协变分析,结果表明刀额新对虾的整个组织中PCBs的浓度在性别间不表现出明显的差异( $p > 0.05$ )<sup>[15]</sup>.这说明是虾体内的脂质百分含量而不是虾体的尺寸决定虾脂质内PCBs的浓度.Pastor(1996)、Fairey(1997)等在他们的实验中也曾得出过相同的结论:生物体内脂质内PCBs的浓度是由生物体内脂质百分含量决定而非生物体的体重决定的<sup>[16,17]</sup>.

王淑红等(2000)以菲律宾蛤仔(*Ruditapes philippinarum*)为研究对象,在实验生态条件下采用不同浓度的3~4环PAHs(荧蒹、菲和芘)的混合物进行染毒实验,研究菲律宾蛤仔体内超氧化物歧化酶(SOD)活性随污染物浓度和作用时间的变化趋势.结果表明,此3种混合物对SOD酶活性的影响为一动态过程,先是SOD酶活性的诱导反应,而后逐渐过渡到SOD酶活性的抑制反应<sup>[18]</sup>.冯涛等(2001)做了苯并(a)芘对大弹涂鱼肝脏超氧化物歧化酶活性的影

响实验,发现随着时间的变化,苯并(a)芘对大弹涂鱼肝脏 SOD 酶活性的影响也为一动态过程:苯并(a)芘污染组大弹涂鱼肝脏 SOD 酶活性第 3 天被显著诱导,随后逐步降低,第 7 天降至与对照组接近<sup>[19]</sup>。这两个实验结果表明,SOD 酶活性的变化间接地反映了环境中污染物的存在,但并不能准确指示环境中是否有多环芳烃(PAHs)的存在,因此有关多环芳烃的生物标志物的确定还需通过对底栖动物做大量的毒理实验来完成。

关于红树林区底栖动物 PAHs 的研究,目前多为其对底栖动物的毒理实验的报道,尚未见红树林区底栖动物 PAHs 污染的野外实验研究报道。

#### 4 红树林区底栖动物污染生态学研究的展望

底栖生态学、毒理学、污染生态学、红树林生态系的研究经过多年的发展,已经为红树林区底栖动物污染生态学积累了大量有价值的基础资料和研究经验。红树林区底栖动物的污染生态学的研究目前已取得了一定的科研成果。对底栖动物的研究,目前做得较多的只是底栖动物资源和种群分布上的调查<sup>[20]</sup>,有关红树林区底栖动物污染生态学的研究亟待深入进行。目前研究的对象局限于大型底栖动物,小、微型底栖动物的污染生态研究很少见报道;鉴于红树林区环境污染物的复杂性和底栖动物的多样性,除了研究污染物在底栖动物中的累积分布及其在种群和群落水平的影响以外,我们今后还可进一步通过实验室条件下暴污研究污染物在底栖动物体内的富集、转化机制以及污染物对底栖动物生理生态、生物化学的影响,如:对动物体组织器官功能的影响,对生长和发育的影响以及对酶活力的影响等,以探索污染物对底栖动物的毒害作用和机理。此外,我们还应加强底栖动物对红树林的非生物因子的适应和抗性研究,并根据一些底栖动物对栖息环境改变和破坏表现特别敏感的特性,利用其生理生化指标<sup>[20]</sup>、群落结构分析方法、生物指数法建立早期的警告系统来评估红树林区的环境污染状况和环境压力。

#### 参考文献:

- [1] 林鹏,陈荣华. 红树林有机碎屑在河口的生态系统中的作用[J]. 生态学杂志,1991,1(2):45~48.
- [2] 林鹏. 中国红树林生态系[M]. 北京:科学出版社,1997.115~137.
- [3] 王焕校. 污染生态学[M]. 北京:高等教育出版社,2000.1~2.
- [4] Carlos A R S. Metals reservoir in a red mangrove sediments oreshoot[J]. Biographic,1990,22(4):335~345.
- [5] 王菊英,张曼平. 重金属的存在形态与生态毒性[J]. 海洋湖沼通报,1992,(2):83~93.
- [6] 何斌源,戴培建,范航清. 广西英罗港红树林沼泽沉积物和大型底栖动物中重金属含量的研究[J]. 海洋环境科学,1996,15(1):35~41.
- [7] Ong Che R G, Cheung S G. Heavy metals in *Metapenaeus ensis*, *Eriocheir sinensis* and sediment from the Mai Po marshes, Hong Kong [J]. The Science of the Total Environment, 1998, 214: 87~97.
- [8] Guhatakurta H, Kaviraj A. Heavy metal concentration in water, sediment, shrimp (*Penaeus monodon*) and mullet (*Liza parsia*) in some brackish water ponds of sunderban [J]. India Marine Pollution Bulletin, 2000,40(11):914~920.
- [9] 赖廷和,邱绍芳. 广西英罗港红树林区沉积物和大型底栖动物中汞含量的初步研究[J]. 广西科学院学报,1998,(4):27~31.
- [10] Vallee B L, Falchuk K H. The biochemical basis of zinc physiology[J]. Physiological Review,

- 1993, 73(1): 79 ~ 118.
- [11] Hogstrand C, Wood C M. The physiology and toxicology of zinc in fish [A]. Taylor E W. Toxicology of Aquatic Pollution: Physiological Cellular and Molecular Approaches[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1996. 61 ~ 84.
- [12] MacFarlane G R, Booth D J, Brown K R. The semaphore crab, *Heloccius cordiformis*: bio-indication potential for heavy metal in estuarine systems[J]. *Aquatic Toxicology*, 2000, 50: 153 ~ 166.
- [13] 余日清, 陈桂珠, 章金鸿, 等. 排放生活污水对红树林底栖动物群落季节变化的影响[J]. *中国环境科学*, 1997, 17(6): 497 ~ 500.
- [14] 蔡立哲, 厉红梅, 林鹏, 等. 深圳河口潮间带泥滩多毛类的数量变化及环境影响[J]. *厦门大学学报(自然科学版)*, 2001, 40(3): 741 ~ 750.
- [15] Liang Y, Wong M H, Shutes R B E, et al. Ecological risk assessment of polychlorinated biphenyl contamination in the Mai Po marshes nature reserve Hong Kong [J]. *Wat Res*, 1999, 33(6): 1337 ~ 1346.
- [16] Pastor D, Boix J, Fernandez V J, et al. Bioaccumulation of organochlorinated contaminants in three estuarine fish species (*Mullus barbatus*, *Mugilcephalus* and *Dicentrarchus labrax*) [J]. *Mar Pollut Bull*, 1996, 32: 257 ~ 362.
- [17] Fairey R, Taberski K, Lamerdin S, et al. Organochlorines and other environmental contaminants in muscle tissues of sportfish collected from San Francisco Bay [J]. *Mar Pollut Bull*, 1997, 34(12): 1058 ~ 1071.
- [18] 王淑红, 王新红, 陈荣, 等. 荧蒽、菲、芘对菲律宾蛤仔 (*Ruditapes philippinarum*) 超氧化物歧化酶的影响[J]. *厦门大学学报(自然科学版)*, 2000, 39(4): 504 ~ 507.
- [19] 冯涛, 郑微云, 郭祥群, 等. 苯并(a)芘对大弹涂鱼肝脏超氧化物歧化酶活性的影响[J]. *台湾海峡*, 2001, 20(2): 182 ~ 186.
- [20] 张擎, 李福顺. 红树林底栖动物生态的研究[J]. *生态科学*, 1995, (2): 50 ~ 51.

## Advances of studies on mangrove benthic fauna pollution ecology

MA Li, CAI Li-zhe, YUAN Dong-xing

(Environmental Science Research Centre, Xiamen University, Xiamen 361005, China)

**Abstract:** In this article we summarize the recent studies of mangrove benthic fauna pollution ecology being mainly the following aspects: (1) The determination of the concentration of pollutants in benthic fauna organisms and the laws that pollutants accumulate and distribute in benthic fauna organism; (2) The effects of pollutants on benthic fauna physiological character; (3) The effects of pollutants on benthic fauna community; (4) The pollution monitoring function of benthic fauna in polluted water and sediment.

In the study of mangrove benthic fauna pollution ecology, some certain progress have been

made , but it is just beginning. So far the reported studies are mainly the ecological effects of heavy metals , municipal sewage and organic pollutants on mangrove benthic fauna . The studied objects are mostly macro benthic fauna. The fields limit in the accumulation and distributing of pollutants in benthic fauna and the effects of pollutants on the number and species of mangrove benthic fauna community . In the following years , ecologist should pay special attention to the studies of ecotoxicology and experimental ecology of mangrove benthic fauna.

Key words : mangrove area ; benthic fauna ; pollution ecology

www.cnki.net