

专论与综述

水体重金属污染生物监测的研究进展

曾丽璇^{1,2}, 陈桂珠¹, 余日清¹, 李耀初¹, 卢杰¹

(1. 中山大学环境科学研究所, 广东 广州 510275; 2. 华南师范大学环境科学研究所, 广东 广州 510631)

摘要: 综述了重金属的毒性效应和水体重金属污染的现状, 介绍了利用水生藻类、浮游动物群落和底栖动物监测水体重金属污染的研究进展及发展趋势。

关键词: 水体; 重金属污染; 生物监测

中图分类号: X835 文献标识码: A 文章编号: 1006-2009(2003)03-0012-04

Review of Biological Monitoring about Water Heavy Metal Pollutants

ZENG Lixuan^{1,2}, CHEN Guizhu¹, YU Riqing¹, LI Yaochu¹, LU Jie¹(1. Environmental Sciences Institute, Zhongshan University, Guangzhou, Guangdong 510275, China;
2. Environmental Sciences Institute, Huanan Normal University, Gaungzhou, Guangdong 510631, China)

Abstract: Toxic effect of heavy metal and water heavy metal pollution were reviewed. The study advance and trend of monitoring water heavy metal pollution using algae, zooplankton and benthic fauna, were introduced.

Key words: Water; Heavy metal pollution; Biological monitoring

重金属是造成水体污染的一类有毒物质, 微量的重金属即可产生毒性效应, 某些重金属还可以在微生物的作用下转化为毒性更强的难以被生物降解的金属化合物, 在食物链的生物放大作用下, 大量富集, 最后进入人体^[1]。重金属对人体健康的危害是多方面、多层次的, 其毒理作用主要表现在影响胎儿正常发育、造成生殖障碍、降低人体素质等方面^[2]。因此, 重金属污染监测与防治一直是环境科学研究的热点。

1 水体重金属污染的现状

在没有人为污染的情况下, 水体中的重金属含量取决于水与土壤、岩石的相互作用, 一般很低, 不会对人体健康造成危害^[2]。然而, 随着城市化进程的加快和工农业的迅猛发展, 大量未经处理的城市垃圾、污染的土壤、工业和生活污水, 以及大气沉降物不断排入水中, 使水体悬浮物和沉积物中的重金属含量急剧升高。虽然河流沉降物对排入水中的污染物特别是金属类污染物有强烈的吸附作用, 但是当水体 pH 值、Eh(氧化还原电位)等条件发生变

化时, 吸附的污染物又会释放出来, 导致城市水环境重金属的进一步污染^[3]。根据对我国七大水系中水质最好的长江的调查, 其近岸水域已受到不同程度的重金属污染, Zn、Pb、Cd、Cu、Cr 等元素污染严重, 而且亲硫元素如 Cd、Pb、Hg、Cu 的潜在活性大, 易参与环境中各类物质的反应^[4]。21 个沿江主要城市中, 攀枝花、宜昌、南京、武汉、上海、重庆 6 个城市的重金属累积污染百分率已达到 65%^[5]。水体中的重金属通过直接饮水、食用被污水灌溉过的蔬菜和粮食等途径进入人体, 威胁着城市人群的健康。因此, 加强对重金属污染的监测与防治尤为重要。

2 水体重金属污染的生物监测

理化分析是监测重金属污染的一个重要手段,

收稿日期: 2003-02-14; 修订日期: 2003-04-08

基金项目: 广东省自然科学基金项目/广州饮用水源水污染生物监测及致突变效应研究(001257)资助

作者简介: 曾丽璇(1972), 女, 广东潮州人, 中山大学环境科学研究所在职博士, 主要研究方向为环境生态学。

但单一利用该手段,难以反映重金属对生物体和生态系统影响的综合效应,无法说明环境中生物的危害程度。水体污染的生物监测指利用水生生物在一定的水环境条件下,受水体污染物影响会产生各种生物反应来测试水体的污染状况。生物及其生存环境的统一性和协同进化性,使生物监测能直接判断水体中污染物的潜在影响和实际毒性,真实反映环境污染对生物的危害程度,在多种污染物并存时,能综合反映环境质量状况,连续监测,并能通过不同的反应症状指示多种干扰效应,监测灵敏度高,可实现早期预报,而且能监测小剂量和长期作用产生的污染物的慢性毒性效应。利用生物监测水体的重金属污染,克服了理化分析的局限性,避免了连续取样的繁琐,受到了广泛关注^[6,7]。

在水体重金属污染生物监测的研究中,根据不同的目的和要求,可以采用不同的监测方法,如对重金属污染的生物动力学分析^[8,9]、对某一生态系统中特定物种体内重金属含量的分析^[10-15]、对受污染指示生物的酶活性^[16,17]和组织病理学^[18]分析、对藻类光合色素含量的分析^[19]等。除选择适当的监测方法外,指示生物的选择也很重要,应优先选取分布广泛、易养殖、有丰富背景资料的生物。该生物应是一种重要的水生生态群的代表,在食物链中占有一定的地位,能从周围环境中积累重金属,而且其体内的重金属浓度与环境重金属浓度之间存在简单的相关关系。资料表明,用于监测水体重金属污染的指示生物有水生藻类、浮游动物群落和底栖动物(如贝类、螺)等。

2.1 利用水生藻类监测水体重金属污染

藻类是水体的初级生产者,在水生生态系统的食物链中起着十分重要的作用。重金属通过各种途径进入水体后,一旦被藻类吸收,将引起藻类生长代谢与生理功能紊乱,抑制光合作用,减少细胞色素,导致细胞畸变、组织坏死,甚至使藻类中毒死亡,改变天然环境中藻类的种类组成^[20,21]。通过分析水生藻类的种类和数量组成,研究其生理、生化反应及积累毒物的特点,可以准确地判断水体的污染性质和污染程度。

浩云涛等^[19]在电镀厂附近的水塘中分离纯化得到一株椭圆小球藻(*Chlorella ellipsoidea*),研究了不同浓度的重金属 Cu、Zn、Ni、Cd 对该藻生长和叶绿素 a 含量的影响,以及该藻对重金属离子的吸附富集作用。结果表明,重金属浓度越高,对藻的抑

制越强;叶绿素 a 的含量与重金属浓度呈明显的负相关;该藻对重金属具有很好的去除效果,可进一步应用于含重金属废水的处理。

多项利用藻类监测重金属的研究表明,同一种重金属由于价态、化合态和结合态不同,对藻类的毒性也不同,藻类对重金属的富集存在特异性^[22]。因此,利用藻类监测重金属污染可能存在特异性,小球藻富集重金属的机理仍需进一步研究。

2.2 利用浮游动物群落监测水体重金属污染

浮游动物包括原生动物、轮虫、枝角类和桡足类等动物,是水生生态系统的主要组成部分。很多浮游动物对环境变化敏感,同时有积累和代谢一定量污染物的作用。通过研究一定生态系统中浮游动物的种类、组成、数量的变动以及生物量的分布,采用生物污染指数和生物多样性指数,可以评价水体的污染程度。许木启等^[23]对江西乐安江-鄱阳湖口的浮游动物进行了生态调查,分析了浮游动物群落结构、功能特征及其与水质的相互关系,发现浮游动物结构与功能参数的变化与重金属含量关系密切,群落多样性指数与水体中 Cu 的含量存在一定的回归关系。该研究为利用浮游动物监测水体重金属污染提供了科学依据。

2.3 利用底栖动物监测水体重金属污染

底栖动物包括淡水寡毛类、软体动物、甲壳动物和水生昆虫类。大型底栖动物具有分布广、行动能力差、生活史长、体形较大、易于辨认等特点,已成为水体污染指示生物的主要选择对象,尤其是双壳贝类,已被广泛应用于评价重金属污染及其通过食物网对生物地球化学循环造成的影响^[24,25]。

河蚬(*Corbicula fluminea*)是一种栖息于江河、湖泊、沟渠中的常见双壳贝类,原产于中国,20世纪30年代引入北美,由于生长繁殖能力强,现已广泛分布于世界各地水域,成为数量极大的重要底栖动物种类^[26]。河蚬个体较大,生活史较长,活动性差,容易采集,是一种滤食性动物,以水中的浮游生物(如硅藻、绿藻、原生动物、轮虫等)为食料,对毒物有很高的浓缩系数,能直接反映水体的重金属污染^[27]。因此,河蚬作为指示生物,受到了研究人员的重视,并广泛应用于生态学和生态毒理学的研究,主要用于指示生物污染指数,监测矿山开采排出物^[12]、重金属^[28]、有机杀虫剂^[29]等物质。

以往的研究大多侧重于野生状态的调查。杞桑等^[30,31]利用大型底栖无脊椎动物对珠江广州河

段的污染进行生物学评价, 采用水栖寡毛类、多毛类和软体动物中的河蚬三大类群, 计算生物污染指数, 评价该河段的污染, 同时还研究了该河段河蚬的种群生态。黄玉瑶、任淑智^[32,33]将河蚬作为指示生物研究蓟运河的Hg污染, 发现河蚬体内的Hg含量与污染源距离明显相关, 与底泥Hg含量之间也存在一定的回归关系, 根据河蚬体内的Hg含量, 可以反映该河的Hg污染程度与变化。

在野外调查研究的基础上, 实验室内有关河蚬的重金属生物毒性试验也在不断开展, 不仅可以测定个体、器官、组织等的重金属残留, 还可以对贝类指示生物的生理(如呼吸)、生化(如酶活性)等进行致毒研究^[10,16]。黄雪琴等^[6]采用江蚬(*Corbicula fluminalis*)作为指示生物, 从酶学角度, 探讨了Cd污染与江蚬体内重要代谢酶之一的碱性磷酸酶(Alkaline Phosphatase)之间的关系, 发现Cd对碱性磷酸酶的活性有明显抑制作用。该实验为建立淡水水域Cd污染的酶学生物监测方法提供了依据。

除了河蚬外, 其他的双壳贝类如螺、贻贝、鱼等也可用于重金属污染监测。郭明新等^[34]利用食底泥的中华圆田螺作为指示生物, 采用微生态系统, 对底泥的重金属毒性和生物可给性(Bioavailability)进行了研究, 发现中华圆田螺是理想的底泥重金属毒性和可给性指示生物。根据成年中华圆田螺体内积累的重金属生物浓度, 可以判断重金属生物可给性的大小; 根据新生小田螺的个体数目、成活率、最大个体重量、平均活体重等指标, 可以评价底泥重金属的毒性。赖廷和等^[35]调查了广西英罗港红树林区沉积物和大型底栖动物体内的Hg含量, 测定了文蛤、河蚬、褐蚶体内的重金属含量。

2.4 其他生物方法监测水体重金属污染

重金属在理化条件复杂的水环境中, 有十分复杂的迁移转化过程, 其迁移能力和生物效应与化学形态和含量密切相关。因此, 在现场监测和室内实验中, 往往由于复杂因素的影响, 导致测定结果难以解释^[36,37]。当重金属过量时, 动物细胞内会合成金属结合蛋白(Metallothionein), 作为一种防御机制。采用测定金属结合蛋白浓度的方法监测环境中的重金属变化, 可以准确地判断进入生物体的重金属浓度, 测定值直接反映了进入细胞内的重金属比例, 排除了复杂因素的干扰, 已被推广至双壳贝类和鱼类的重金属毒性实验^[15,37]。

3 结论

利用生物监测水体重金属污染, 能综合反映环境质量状况, 判断水体中污染物的潜在影响和实际毒性。然而, 在缺乏理化分析数据的情况下, 生物反应无法提供足够的信息。因此, 只有将理化分析手段与生物监测方法相结合, 才能获得更好的监测效果^[38]。

[参考文献]

- [1] 金 岚. 环境生态学[M]. 第1版, 北京: 高等教育出版社, 1992.
- [2] 常学秀, 文传浩, 王焕校. 重金属污染与人体健康[J]. 云南环境科学, 2000, 19(1): 59- 61.
- [3] 许嘉琳, 杨居荣. 陆地生态系统中的重金属[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1996.
- [4] 国家环保总局. 2000年环境状况公报[J]. 环境教育, 2001, (4): 46- 47.
- [5] 朱圣清, 臧小平. 长江主要城市江段重金属污染状况及特征[J]. 人民长江, 2001, 32(7): 23- 25.
- [6] 黄先玉, 刘沛然. 水体污染生物检测的研究进展[J]. 环境科学进展, 1999, 7(4): 14- 18.
- [7] 李江平, 李 雯. 指示生物及其在环境保护中的应用[J]. 云南环境科学, 2001, 20(1): 51- 54.
- [8] INZA B, RIBEYRE F, BOUDOU A. Dynamics of cadmium and mer2cury compounds (inorganic mercury or methylmercury): uptake and depuration in *Corbicula fluminea*. Effects of temperature and pH[J]. Aquatic Toxicology, 1998, 43: 273- 285.
- [9] 马藏允, 刘 海. 几种大型底栖生物对 Cd、Zn、Cu 的积累实验研究[J]. 中国环境科学, 1997, 17(2): 151- 155.
- [10] 吕海燕, 曾江宁. 浙江沿岸贝类生物体中 Hg、Cd、Pb、As 含量的分析[J]. 东海海洋, 2001, 19(3): 25- 31.
- [11] RAINBOW P S, WOLOWICZ M, FLALKOWSKI W, et al. Biomonitoring of trace metals in the gulf of Gdansk, using Mussels (*Mytilus Trossulus*) and Barnacles (*Balanus Improvisus*) [J]. Water Res search, 2000, 34(6): 1823- 1829.
- [12] SOUCEK D J, SCHMIDT T S, CHERRY D S. In situ studies with Asian clams (*Corbicula fluminea*) detect acid mine drainage and nutrient inputs in low order streams[J]. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 2001, 58(3): 602- 608.
- [13] FRAYSSE B, BAUDIN J P, LAPLACE J G, et al. Effects of Cd and Zn waterborne exposure on the uptake and depuration of ⁵⁷Co, ^{110m}Ag and Cs by the Asian clam (*Corbicula fluminea*) and the zebra mussel (*Dreissena polymorpha*) whole organism study[J]. Environmental Pollution, 2002, 118: 297- 306.
- [14] RODIFI H A, FISHER N S, WILHELMY S A S. Field testing a metal bioaccumulation model for Zebra Mussels[J]. Environmental Science and Technology, 2000, 34(13): 2817- 2825.
- [15] WANG D, COUILLARD Y, CAMPBELL P G, et al. Changes in subcellular metal partitioning in the gills of freshwater bivalves (Pygan2

- odon grandis) living along an environmental cadmium gradient[J]. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 1999, 56(5): 774- 784.
- [16] 黄雪琴, 龙玉博. 镉对江蚬 *Corbicula fluminalis*(Müller) 碱性磷酸酶的影响[J]. 福建师范大学学报, 1995, 11(2): 74- 78.
- [17] 赖德荣. 镉污染对翡翠贻贝碱性磷酸酶的影响[J]. 海洋学报, 1983, 5(2): 230- 235.
- [18] SWEE T, CLARK J, STEPHEN L. Enzymatic and histopathologic biomarkers as indicators of contaminant exposure and effect in Asian clam (*Potamocorbula amurensis*) [J]. Biomarkers, 1999, 4(6): 256 - 264.
- [19] 浩云涛, 李建宏. 椭圆小球藻(*Chlorella ellipsoidea*)对4种重金属的耐受性及富集[J]. 湖泊科学, 2001, 13(2): 158- 162.
- [20] HERBERT E A, CAROL B, THOMAS D B. An algal assay method for determination of copper complexation capacities of natural waters [J]. Bull Environ Contam Toxicol, 1983, 30(3): 448- 455.
- [21] KALADHARAN P, KELLER A E. Inhibition of primary production as induced by heavy metal ions on phytoplankton population of Cochin [J]. Indian J Fish, 1990, 37(1): 51- 54.
- [22] 况琪军, 夏宜璋, 惠 阳. 重金属对藻类的致毒效应[J]. 水生生物学报, 1996, 20(3): 277- 283.
- [23] 许木启, 王子健. 利用浮游动物群落结构与功能特征监测乐安江- 鄱阳湖口重金属污染[J]. 应用与环境生物学报, 1996, 2(2): 169- 174.
- [24] WANG W. Factors affecting metal toxicity to (and accumulation by) aquatic organisms: overview [J]. Environ Int, 1987, 30(3): 437- 457.
- [25] FISHER N S, REINFELDER J R. Metal speciation and bioavailability in aquatic systems[M]. New York: Wiley, 1995. 363- 406.
- [26] COUNTS C. The zoogeography and history of the invasion of the United States by *Corbicula fluminea* (Bivalvia: Corbiculidea) [J]. Am Malacol Bul, 1986, 26(2): 7- 39.
- [27] WAY C M, HORNBAUGH D J, MILLER W C A, et al. Dynamics of filter feeding in *Corbicula fluminea* (Bivalvia: Corbiculidea) [J]. Can J Zool, 1990, 68: 115- 120.
- [28] SIMON O, RIBEYRE F, BOUDOU A. Comparative experimental study of cadmium and methylmercury trophic transfers between the Asiatic Clam *Corbicula fluminea* and the Crayfish *Astacus astacus* [J]. Arch Environ Contam Toxicol, 2000, 38: 317- 326.
- [29] BIDWELL J R, FARRIS J L. Comparative response of the zebra mussel, *Dreissena polymorpha*, and the Asian clam, *Corbicula fluminea*, to DGPQUAT, a nonoxidizing molluscicide [J]. Aquatic Toxicology, 1995, 33: 183- 200.
- [30] 杞 桑, 林美心. 用大型底栖动物对珠江广州河段进行污染评价[J]. 环境科学学报, 1982, 2(3): 181- 188.
- [31] 杞 桑, 林美心. 珠江广州河段河蚬种群的若干生态学研究 [J]. 生态学报, 1987, 7(2): 161- 169.
- [32] 黄玉瑶, 任淑智. 用河蚬监测 J 河汞污染的初步研究 [J]. 环境科学, 1979, 1(6): 47- 50.
- [33] 任淑智. 河蚬对蓟运河水体污染指示作用的研究 [J]. 环境科学, 1984, 6(3): 4- 8.
- [34] 郭明新, 林玉环. 用中华圆田螺作为底泥重金属毒性和生物可给性的指示生物 [J]. 环境与开发, 1997, 12(2): 8- 11.
- [35] 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, 14(4): 27 - 31.
- [36] MASON R P, LAPORTES J M, ANDRES S. Factors controlling the bioaccumulation of mercury, methylmercury, arsenic, selenium and cadmium by freshwater invertebrates and fish [J]. Environmental Contamination and Toxicology, 2000, 38: 283- 297.
- [37] PERCEVAL O, ALLOUL B P. Cadmium accumulation and metallothionein synthesis in freshwater bivalves (*Pyganodon grandis*): relative influence of the metal exposure gradient versus limnological variability [J]. Environmental Pollution, 2002, 118: 5- 17.
- [38] 凯恩斯 J. 水污染的生物监测, 曹凤中, 于亚平译 [M]. 第1版, 北京: 中国环境科学出版社, 1989.

本栏目责任编辑 姚朝英

简讯

中国环境监测总站召开生态监测工作会议

2003年3月10日, 中国环境监测总站召开站长专题会议, 研究部署生态监测工作。万本总站长主持会议并提出今后工作重点: 1. 在宏观监测领域, 要尽快完善生态监测体系, 出台5生态环境监测技术规范6; 2. 在农村生态监测领域, 要配合自然司深入研究环境优美乡镇可监测的具体指标; 3. 在专项调查监测领域, 要通盘考虑/菜篮子0基地、典型污灌区和有机食品基地的监测项目、评价方法等问题, 尽快出台5有机食品技术规范6; 4. 在沙尘暴监测领域, 要确保监测网络正常运行, 编写5沙尘暴监测技术规定6; 5. 在海洋环境监测领域, 要加强监测基础数据库、信息传输手段及近岸海域自动监测站建设, 抓紧编制5近岸海域环境监测技术规范6; 6. 在长江三峡监测方面, 要做好库区同步监测工作, 编好5长江三峡工程生态与环境监测公报6。

摘自中国环境监测总站5环境监测信息简报62003年第3期