

水环境中 Cd 和 Cu 污染对监测生物河蚶 积累效应的影响

曾丽璇^{1,2}, 陈桂珠¹, 余日清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:以河蚶作为指示生物,采用室内培养方法,研究了不同浓度的 Cd 和 Cu 的单独及联合作用的毒性效应。结果显示,在水体中浓度为 10、20、30、40、50 $\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 Cd 与 Cu 单独作用下,河蚶体内 Cd 与 Cu 的含量分别与其在该环境中的暴露时间和浓度呈显著正相关。在同样浓度的 Cd 与 Cu 共同存在的环境中,河蚶体内的 Cd 与 Cu 的含量仍与环境中的该物质的浓度呈显著正相关,且随着暴露时间的延长均表现出对污染物质积累的增加。初步建议:河蚶可作为淡水中重金属污染的监测指示生物。

关键词:河蚶; Cd; Cu; 生物监测

中图分类号:X503.225 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-2043(2004)05-0964-04

Accumulation Effects of Biomonitoring Indicator Asian Clam (*Corbicula fluminea*) Under Different Cd and Cu Pollution Conditions

ZENG Li-xuan^{1,2}, CHEN Gui-zhu¹, YU Ri-qing¹, LU Jie¹

(1. Institute of Environmental Science, Zhongshan University, Guangzhou 510275, China; 2. Institute of Environmental Science, South China Normal University, Guangzhou 510631, China)

Abstract: Asian Clam (*Corbicula fluminea*), one of fresh water bivalve species, often abundant in the rivers of Pearl Delta, has been used as bioindicator to monitor the toxicity of many kinds of heavy metals. Our *Corbicula* Clams were bought from the market in Guangzhou and were fed by a species of green algae. The healthy matured clams with (22 ± 1) mm in length and (20 ± 1) mm in height were selected for the experiment. After 5 day's domestication with tap water in the lab, they were used for monitoring the toxicity of Cd and Cu under the effects of single and combined of heavy metals with different concentrations. The effects of different disposed time and water Cd and Cu concentrations on the clam were observed and analyzed, and bioaccumulation factors of Cd and Cu in clams under different water Cd and Cu concentrations were calculated. It was found that the amount of Cd and Cu accumulated in Asian Clam body increased with the increase of the concentration and exposed time of Cd and Cu in the environment under the single effect of concentrations of 10, 20, 30, 40 and 50 $\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$, and that still increased with the increase of the concentration and exposed time under the combined effects and the same concentration condition. There existed a significant correlation between the bioaccumulation and the concentration of heavy metals in solution. These findings suggested that Asian Clam, as a kind of economical bivalve species, might be used to monitor the heavy metal pollution in fresh water.

Keywords: Asian Clam (*Corbicula fluminea*); Cd; Cu; biomonitoring

收稿日期: 2004-02-17

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性效应研究”(001257)

作者简介: 曾丽璇(1972—)女,广东潮州人,华南师范大学讲师,中山大学在职博士,研究方向为水环境生态、水污染治理及湿地恢复。

联系人: 陈桂珠

河蚬 (*Corbicula fluminea*) 是一种栖息于江河、湖泊中的常见双壳经济贝类, 原产我国, 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, 成为数量极大的河流重要底栖动物种类^[1, 2]。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, 能直接反映水体的污染。因此, 河蚬作为指示生物已被用于指示生态环境的污染, 如监测矿山开采排出物^[3]、生活污水^[4]等引起的污染。以往的研究大多侧重于野生状态的调查^[5-9]以及单独的污染物对河蚬的毒性效应^[10]。但是, 随着珠江三角洲经济的迅速发展, 乡镇工业所造成的重金属污染程度已相当严重, 涉及的污染元素种类也相当广泛^[11-14]。针对珠江三角洲地区市场上贝类中的主要重金属污染物 Cd 和 Cu 的污染状况^[13, 14], 本实验尝试进行河蚬的室内培养并进行一系列 Cd、Cu 的单独及共同污染的生物毒性实验, 以期为淡水环境监测和管理提供参考。

1 材料与方 法

1.1 实验的河蚬及其驯养

实验以河蚬为生物监测的指示生物。河蚬从广州市区的市场上购买, 采用容积约为 4 L 的聚乙烯塑料盆进行驯养, 聚乙烯塑料盆经过稀盐酸浸泡处理后, 每盆均加入 1 L 的曝气、脱除余氯 24 h 以上的自来水, 投入河蚬驯养。培养过程中的水温为 20 °C ~ 25 °C。每天定时定量投加纯培养的绿藻喂养河蚬。经过 10 d 之后, 选取壳长约 (22 ± 1) mm、壳高 (20 ± 1) mm 的健壮成年贝, 放入自来水中驯养 5 d 后用于实验。为避免投喂的藻类等因素对实验的影响, 驯养期间不投喂。驯养初期随时捞出河蚬的死亡个体以保持水中有足够的溶解氧, 至驯养后期没有河蚬死亡。

1.2 试剂

实验用的试剂氯化镉及硫酸铜均为分析纯。将试剂用蒸馏水溶解, 配制成 Cd、Cu 浓度均为 1 000 mg · L⁻¹ 的母液。

河蚬的驯养及暴露实验用水均采用广州市自来水, 它是由珠江水沉淀、过滤而成。水的 pH 为 6.5 ± 0.1, 总硬度 (以 CaCO₃ 计) (51 ± 4.0) mg · L⁻¹, 溶解氧为 6.0 ~ 7.0 mg · L⁻¹。

1.3 实验方法

1.3.1 Cd、Cu 单独作用在河蚬体内的积累试验

将选取的河蚬投放在不同浓度的试验用聚乙烯塑料盆中进行暴露实验, 以了解河蚬对单独作用的 Cd、Cu 的积累情况。河蚬在含 Cd、Cu 污染物水体中

的暴露实验设 5 个浓度组, 在水体中加入含 Cd、Cu 污染物的母液, 使水体中实测的 Cd、Cu 浓度分别为 (10 ± 0.1)、(20 ± 0.1)、(30 ± 0.1)、(40 ± 0.1)、(50 ± 0.1) μg · L⁻¹, 暴露时间为 24、48、72 和 96 h。每个实验浓度组中包括 3 个平行实验, 同时设置空白对照组。每个实验容器中放入经过驯养的河蚬 25 只, 驯养期间每天换 1 次水, 实验期间没有河蚬死亡。经测定, 实验盆内溶液 pH 为 6.5 ± 0.1, 总硬度 (以 CaCO₃ 计) 为 51 mg · L⁻¹, 实验期间水温为 22 °C ± 1.0 °C, 水中的溶解氧为 6.0 ~ 7.0 mg · L⁻¹。每次取样时均从平行实验组中分别随机捞出河蚬 4 只, 用去离子水冲洗外壳后, 用洁净的塑料镊子和解剖刀将软组织自壳内壁刮下, 用滤纸吸干, 将软组织在 105 °C 下烘干后称重, 用硝酸: 高氯酸 (5: 1) 消化后用 WFX - IF2 型原子吸收分光光度计测定 Cd 和 Cu 的浓度^[15]。实验中富集系数的计算公式为:

富集系数 = 河蚬体内富集的浓度 (μg · g⁻¹, 干重) / 水体中该金属的浓度 (μg · L⁻¹)。

1.3.2 Cd、Cu 联合作用在河蚬体内的积累试验

实验设 3 个浓度组, 暴露水体中 Cd 和 Cu 的实测初始浓度分别为 (10 ± 0.1)、(20 ± 0.1)、(30 ± 0.1)、(40 ± 0.1)、(50 ± 0.1) μg · L⁻¹, 每个实验浓度组中包括 3 个平行实验, 同时设置空白对照组, 每组河蚬 25 只。实验期间每天换 1 次水, 实验期间没有河蚬死亡。实验的暴露时间分为 24、48、72、96 h, 其取样及测定方法同 1.3.1。

实验结果用 Microcal Origin5.0 软件进行统计分析。

2 结 果

2.1 河蚬对单独作用的 Cd、Cu 的积累

2.1.1 河蚬对 Cd 的积累

分别以暴露时间为 24、48、72 和 96 h 的情况下, 以水体中不同的初始 Cd 浓度作为横坐标, 以相应测得的河蚬体内 Cd 的含量作为纵坐标, 绘制不同暴露时间河蚬体内的 Cd 浓度与环境水体中的 Cd 浓度的对应关系 (见图 1)。

同时根据该组数据可以将计算得到的富集系数列于表 1 进行对照。

采用 Origin 软件对暴露时间 96 h 时的实验数据进行一元线性回归分析, 可知在暴露时间为 96 h 时, 暴露水体中的 Cd 浓度与河蚬体内的 Cd 浓度在 α = 0.01 的水平下显著线性相关:

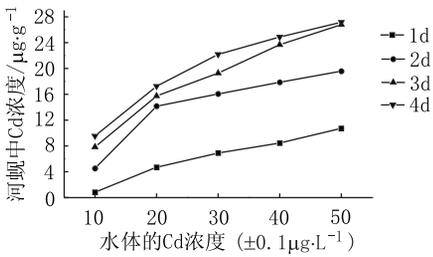


图 1 不同暴露时间水体的 Cd 浓度对河蚬积累 Cd 的影响

Figure 1 Effects of different disposed time and water Cd concentration on the accumulation of Cd in clams

表 1 河蚬在不同浓度下对水中 Cd 的富集系数

Table 1 Bioconcentration factors of Cd in clams under different water

Cd concentrations

水体初始 Cd 浓度 / $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$	富集系数			
	1 d	2 d	3 d	4 d
10	82	452	784	954
20	235	708	787	863
30	230	535	642	739
40	211	447	592	622
50	215	392	536	543

$$Cd_{\text{体内}} = 0.4286 c_{\text{水体浓度}} + 7.34 (r=0.970, n=5)$$

2.1.2 河蚬对 Cu 的积累

与河蚬对 Cd 的积累相比较,在相同的暴露时间下,河蚬对相同浓度 Cu 的积累显著高于对 Cd 的积累(如图 2)。

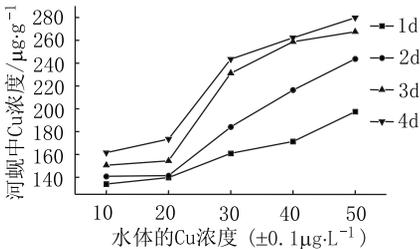


图 2 不同暴露时间水体的 Cu 浓度对河蚬积累 Cu 的影响

Figure 2 Effects of different disposed time and water Cu concentrations on the accumulation of Cu in clams

除了与积累时间成正相关外,河蚬对 Cu 的积累也与水体中 Cu 的浓度成正相关。对暴露时间为 96 h 时的实验数据进行一元线性回归分析,可知在暴露时间为 96 h 时,水体中 Cu 的浓度与河蚬体内 Cu 浓度在 $\alpha=0.01$ 的水平下呈显著线性相关:

$$Cu_{\text{体内}} = 3.254 c_{\text{水体浓度}} + 126.46 (r=0.963)$$

2.2 河蚬在 Cd 和 Cu 的联合作用下对 Cd、Cu 的积累

2.2.1 对 Cd 的积累

与河蚬在单独的作用下对 Cd 的积累情况相比,在 Cu 存在时,各种情况下河蚬对 Cd 的积累明显增

表 2 河蚬在不同浓度下对水中 Cu 的富集系数

Table 2 Bioconcentration factors of Cu in clams under different water

Cu concentrations

水体初始 Cu 浓度 / $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$	富集系数			
	1 d	2 d	3 d	4 d
10	13 410	14 080	15 050	16 150
20	6 985	7 070	7 720	8 670
30	5 363	6 137	7 707	8 117
40	4 283	5 410	6 468	6 555
50	3 950	4 874	5 350	5 596

加(见图 3)。

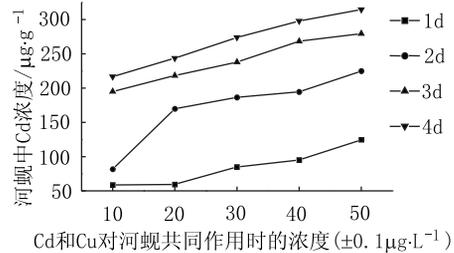


图 3 不同暴露时间水体 Cd 和 Cu 浓度对河蚬积累 Cd 的影响

Figure 3 Effects of different disposed time and concentrations of Cd and Cu in water on the accumulation of Cd in clams

对暴露时间 96 h 时的实验数据进行一元线性回归分析,可知在暴露时间为 96 h 时,暴露水体中的 Cd 浓度与河蚬体内 Cd 浓度在 $\alpha=0.01$ 的水平下显著线性相关:

$$Cd_{\text{体内}} = 0.576 c_{\text{水体浓度}} + 42.28 (r=0.993, n=5)$$

2.2.2 对 Cu 的积累

水体中等量浓度 Cd 存在的情况下,对于 24 h 的处理组,即使暴露的浓度提高,河蚬对 Cu 的积累均比水体中单独存在 Cu 的时候明显减少(见图 4),但是延长暴露处理时间,河蚬对 Cu 的积累仍趋增加。

对暴露时间为 96 h 时的实验数据进行一元线性回归分析,可知在暴露时间为 96 h 时,暴露水体中的 Cu 浓度与河蚬体内的 Cu 浓度在 $\alpha=0.01$ 的水平下显著线性相关:

$$Cu_{\text{体内}} = 2.498 c_{\text{水体浓度}} + 194.34 (r=0.995, n=5)$$

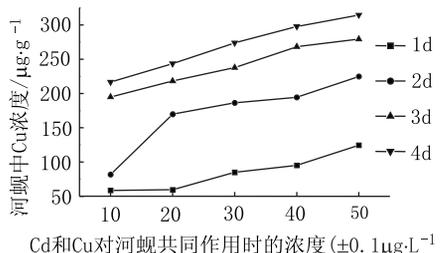


图 4 不同暴露时间 Cd 和 Cu 浓度对河蚬积累 Cu 的影响

Figure 4 Effects of different disposed time and concentrations of Cd and Cu in water on the accumulation of Cu in clams

3 讨论

从实验结果可以看出,河蚬对 Cd 和 Cu 的积累能力明显不同。在相同的处理条件下,对 Cu 的富集系数明显高于对 Cd 的积累,而且河蚬对 Cd 和 Cu 的积累及暴露时间与该污染物浓度呈现明显的正相关。因此,河蚬对水体中的 Cd 和 Cu 的污染有指示作用。这一结论与以往开展的以河蚬为指示生物的野外调查^[3,8,9]和实验室的研究中^[16]得出的结论是一致的。

另外,相同浓度的 Cd 和 Cu 在水体中联合作用时河蚬的积累情况也表明,河蚬对 Cd 和 Cu 的积累均比河蚬在 Cd 或 Cu 单独作用下的积累系数明显增加,这一结论与 M. S. Yang 和 J. A. J. Thompson 对海产贝类 *Perna Viridis* 的试验结果一致^[17]。因此,在对毒性较强的单一重金属的污染研究并进行理化监测的同时,要注重在多种重金属联合作用的情况下进行理化监测和生物监测相结合的研究。

河蚬是世界范围淡水水域中广泛分布的底栖动物,也是重要的淡水经济贝类,以往实验已经显示其对高浓度的有机物污染物、重金属等淡水中常见污染物反应灵敏,而对于中、低浓度的污染则具有相当高的蓄积能力,且其体内的浓度与在水体中的暴露时间和暴露浓度有明显的相关关系。因此,河蚬这一重要的淡水底栖生物,可以作为水环境中的污染物,尤其是重金属污染物的监测指示生物。

参考文献:

[1] Vaughn C C, Hakenkamp C C. The functional role of burrowing bivalves in freshwater ecosystems[J]. *Freshwater Biology*, 2001, 46(11): 1431 - 1446.

[2] Aldridge D C, Muller S J. The asiatic clam, *Corbicula fluminea*, in Britain: Current status and potential impacts [J]. *Journal of Conchology*, 2001, 37: 177 - 182 Part 2.

[3] David J Soucek, Travis S Schmidt. 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, 56(3): 602 - 608.

[4] Joseph R Bidwell, Jerry L Farris. Comparative response of the zebra mussel, *Dreissena polymorpha*, and the Asian clam, *Corbicula fluminea*, to DGH/QUAT, a nonoxidizing molluscicide[J]. *Aquatic Toxicology*, 1995 (33): 183 - 200.

[5] Goudreau Se, Neves RJ, Sheehan RJ. Effects of wastewater treatment - plant effluents on freshwater mollusks in the upper Clinch River, Virginia, USA[J]. *Hydrobiologia*, 1993, 252(3): 211 - 230.

[6] French JRP, Schloesser DW. Distribution and winter survival health of Asian clams, *Corbicula fluminea*, in the St Clair River, Michigan[J]. *Journal of Freshwater Ecology*, 1996, 11(2): 183 - 192.

[7] Hornbach DJ. Life - history traits of a riverine population of the asian clam *Corbicula - fluminea*[J]. *American Midland Naturalist*, 1992, 127(2): 248 - 257.

[8] 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.

[9] 宋毅刚,黄玉瑶. 闽江福州段河蚬体内的重金属含量[J]. *海洋与湖沼*, 1991, 22(2): 187 - 189.

[10] Fraysse B, Baudin J P, Garnier - Laplace J, Boudou A, Ribeyre F, Adam C. Cadmium uptake by *Corbicula fluminea* and *Dreissena polymorpha*: Effects of pH and temperature[J]. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 2000, 65(5): 638 - 645.

[11] 颜 文,池继松,古森昌,等. 珠江三角洲工业区土壤(沉积物)重金属污染特征及防治对策——以石龙和容桂工业区为例[J]. *土壤与环境*, 2000, 9(3): 177 - 182.

[12] 闵育顺,祁士华,张 千. 珠江广州河段重金属元素的高分辨沉积记录[J]. *科学通报*, 2000, 45 卷增刊: 2802 - 2805.

[13] Fang Zhan - qiang, Cheung R Y H, Wong M H. Heavy metal concentrations in edible bivalves and gastropods available in major markets of the Pearl River Delta [J]. *Journal of Environmental Science*, 2001, 13(2): 210 - 217.

[14] 杨丽华,方展强,郑文彪,等. 广州市场食用鱼和贝类重金属含量及评价[J]. *环境科学与技术*, 2002, 25(6): 15 - 16, 34.

[15] 吴邦灿,费龙编. 现代环境监测技术[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1998.

[16] Margaret L Barfield, Jerry L Farris. Biomarker and bioaccumulation responses of asian clams exposed to aqueous Cadmium[J]. *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A*, 63: 495 - 510.

[17] Yang M S, Thompson J A J. Binding of endogenous Copper and Zinc to Cadmium - Induced Metal - Binding Proteins in various tissues of *Perna viridis*[J]. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 1996, 30: 267 - 273.