文章编号: 1009-6094(2014)02-0230-05

黄浦江上游底栖动物与沉积物重金属潜在生态风险*

郑玲芳
(上海市环境科学研究院,上海 200233)

摘 要: 为了解黄浦江上游水源地沉积物的潜在生态风险及底栖动物的分布特征,对该范围内主要河道的表层沉积物重金属质量比和大型底栖动物群落分布进行了调查,探讨了重金属分布对底栖动物的影响。除 Hg 采用冷原子吸收法分析外,其他金属都用等离子发射光谱法测定。由潜在生态风险指数法得出重金属污染程度从高到低为 Cd、Hg、Pb、Cu、Zn,区域整体的生态风险等级为"极微污染"~"中度污染",其中位于江苏、浙江与上海交界处及黄浦江支流的区域生态风险整体较高。Cd 和 Hg 是研究区域生态风险的主导因子。共采集到大型底栖动物 8 种,其中环节动物 3 种,软体动物 4 种,节肢动物 1 种,大部分属于耐污类群。多样性指数 H' 基本小于 1,属于"重污染"水平,其值与 Pb、Hg、Zn 的质量比成正相关关系,与 Cd、Cu 的质量比成负相关关系。大型底栖动物不同纲目的密度对沉积物中不同种类的重金属响应不同,多毛纲和瓣鳃纲密度与 5 种金属质量比都呈负相关关系,寡毛纲(以霍普水丝蚓为代表)密度与 Cu、Hg 质量比呈正相关关系,腹足纲(以铜锈环棱螺为代表)密度与 Cu、Hg、Zn 质量比及潜在生态风险指数呈正相关。

关键词: 环境科学技术基础学科; 黄浦江; 上游水源地; 底栖动物; 重金属; 潜在生态风险指数
中图分类号: X171 文献标识码: A
DOI: 10.13637/j.issn.1009-6094.2014.02.048

0 引 言

近年来,河流沉积物中重金属的富集对水生生物的影响越来越受到学者的关注,研究对象尤以大型底栖动物为代表。大型底栖动物是指不能通过 0.5 mm 孔径网筛的水生无脊椎动物类群[1],由于位移小、寿命长,易采集,常以沉积物为直接生境,对河流生态系统的物质循环和能量流动起着承上启下的作用[2],近年来越来越多地被应用于生态系统的健康评价中。尽管如此,目前对底栖动物应用于重金属污染的监测仅有少量研究,研究对象集中在大中型湖泊[2-5]或大型河流[6],较常见的为对重金属含量的研究,对重金属毒性效应的研究较少见,尤其是重金属毒性效应与底栖动物群落的相关性研究更少。

部分学者对上海市内主要河流湖泊——苏州河[7]、黄浦江上游河道[8]以及部分市区河道[9]、湖泊[10]的底栖动物群落特征都有不同程度的研究。对于河流重金属污染的研究也有了一定进展,但多集中于黄浦江中下游干流[11-13],近几年也有部分学者研究了黄浦江上游水源地的重金属污染问题[14-16],但关于黄浦江上游水源地重金属生态风险与底栖动物群落结构的相关关系研究极为少见[17]。本文以黄浦江上游饮用水源保护区内的河流沉积物为研究对象,对 Cu、Pb、Cd、Hg 和 Zn 5 种毒性较强的重金属的分布特征进行分析,并运用潜在生态风险指数法评估沉积物中重金属的污染级别和潜在生态风险,建立底栖动物群落特征与重金属生态风险的相关关系,以期对黄浦江上游水源地的生态环境保护、重金属污染防治提供依据。

国内外对水体沉积物重金属污染的评价源于 20 世纪 70 年代,初期的方法有地累积指数法[18]、潜在生态风险指数法[19]、沉积物富集系数法[20]、污染负荷指数法[21],之后又相继出现了单因子与多因子评价法、内梅罗综合指数法、沉积物质量基准等。各方法都有优点和局限性,目前尚无公认的标准方法。本文应用可以反映区域污染情况的潜在生态风险指数法来进行研究。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

根据《青草沙、黄浦江上游、陈行和东风西沙饮用水水源保护区范围划分说明》,黄浦江上游二级饮用水源保护区的范围为 S4 公路以西黄浦江水域和竖潦泾、横潦泾、大泖港、园泄泾、斜塘、泖河、东泖河、西泖河、太浦河、拦路港以及淀山湖与元荡湖体的水域。

沉积物采样点分布见图 1。12 个采样点中,除了 8~10 号点,其余 9 个都位于黄浦江上游二级饮用水源保护区。其中除 8~10 号点位于大蒸港(黄浦江支流)、11~12 号位于园泄泾(支流)外,其他 7 个点位都位于黄浦江干流。

1.2 样品采集

1.2.1 沉积物样品采集与分析

于 2009 年 10 月使用柱状采泥器采集上述 12 个点表层 15 cm 的沉积物样品,放入可密封的聚乙烯塑料袋中,运回实验室后置于冰箱内低温保存。目前我国学者在研究河流颗粒物时,大部分筛选粒径小于 63 μm 的样品[22]。样品风干后去除砾石颗粒、塑料等杂质,用研钵研磨均匀,筛选粒径小于 63 μm 的样品进行分析测定,用 $Cl-HNO_3-HClO_4$ 微波消解法分析沉积物中重金属的质量比。除 Hg 采用冷原子吸收法分析外,其他金属都用等离子发射光谱法测定。在重金属元素的分析测定中采用国家标准土壤样品(GSS26)进行全过程的质量控制。为检测试验分析的可靠性,通过空白值、平行样、内控样、加标回收等进行质量控制。

1.2.2 底栖动物收集与分析

底栖动物样品采集及分析测定参照《湖泊富营养化调查规范》进行。每个样点用 1/16 m^2 彼德逊采泥器采集两次,采

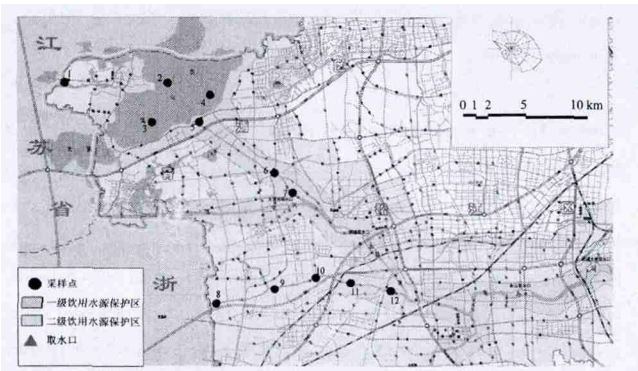

图 1 黄浦江上游水源地沉积物采样点分布图

Fig. 1 Distribution of sampling points of sediments in drinking water sources in the upper stream Huangpu River

* 收稿日期: 2013-11-22
作者简介: 郑玲芳,工程师,从事环境管理研究,zhenglf@saes.sh.cn。

?1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

集的底泥用 450 μm 的尼龙筛过滤并清洗,剩余物带回实验室,加入 10% 的甲醛溶液固定,在显微镜或解剖镜下分类、计数。称量时,先用吸水纸吸去动物表面的水分,直至吸水纸表面无痕迹为止。

1.3　评价方法

1.3.1　潜在生态风险指数法

潜在生态风险指数法由 Hakanson[19] 提出,利用沉积学原理评价重金属污染及对生物的影响,不但反映某一特定环境下沉积物中各种污染物对环境的影响,而且反映了环境中多种污染物的综合效应。计算方法为

$$C_f^i = \frac{w_s^i}{w_n^i} \tag{1}$$

$$C_d = \sum C_f^i \tag{2}$$

$$E_r^i = T_r^i C_f^i \tag{3}$$

$$RI = \sum E_r^i = \sum T_r^i \frac{w_s^i}{w_n^i} \tag{4}$$

式中 C_f^i 为第 i 种重金属元素的污染系数; w_s^i 为沉淀物中第 i 种重金属质量比的实测值,mg/kg; w_n^i 为背景参比值,mg/kg; C_d 为沉积物中重金属综合污染度; E_r^i 为第 i 种重金属的潜在生态风险指数; T_r^i 为第 i 种重金属的毒性响应系数; RI 为沉积物中多种重金属潜在生态风险指数。潜在生态风险系数的分级见表 1。

1.3.2　底栖动物多样性指数及优势度计算

采用 Shannon-Wiener 物种多样性指数(H') 、Maralef 物种丰富度指数(d) 、Simpson 优势度指数(D) 、Pielou 均匀度指数(J) 进行群落结构的多样性分析,采用优势度指数(Y) 进行优势种及其优势度分析。其中,H' 的分级标准为: $H' > 3$ 为无污染或清洁; $1 < H' \leqslant 3$ 为中污染; $0 \leqslant H' \leqslant 1$ 为重污染。计算公式为

$$H' = -\sum (n_j/N)\log_2(n_j/N) \tag{5}$$

$$D = 1/-\sum (n_j^2/N^2) \tag{6}$$

$$d = (S-1)\log_2 N \tag{7}$$

$$J = [-\sum (n_j/N)\log_2(n_j/N)]/\log_2 S \tag{8}$$

$$Y = (n_j/N)f_j \tag{9}$$

式中　n_j 为样品中第 j 种生物的个体数; N 为样品中所有种类的总个体数; S 为样品中的种类总数; 出现率 f_j 为该种生物出现的站位数与总站位数之比。当某物种的 $Y \geqslant 0.02$ 时,可视为优势种。

1.3.3　评价参数的确定

沉积物重金属质量比取该次试验的实测值,背景参比值采用工业化以前 1990 年调查的上海市土壤中重金属质量比背景值[23]。

表 1　潜在生态风险系数分级

Table 1　Indices and grades of potential ecological risk assessment

生态风险	单元素的生态风险指数 E_r^i	多元素的生态风险指数 RI
极强	$E_r^i \geqslant 320$	
很强	$160 \leqslant E_r^i < 320$	$RI \geqslant 600$
强	$80 \leqslant E_r^i < 160$	$300 \leqslant RI < 600$
中等	$40 \leqslant E_r^i < 80$	$150 \leqslant RI < 300$
极微	$E_r^i < 40$	$RI < 150$

1.4　数据处理

所有试验数据采用 SPSS 13.0 软件包进行统计分析,采用 Excel 软件绘制图表。

2　结果与讨论

2.1　沉积物中重金属的质量比

采集的沉积物样品中,各重金属的质量比、标准差和变异系数见表 2。从表 2 可见,Cu 的质量比为 13.20 ~ 34.70 mg/kg,Pb 的质量比为 4.0 ~ 35.2 mg/kg,Cd 的质量比为 0.021 ~ 0.800 mg/kg,Hg 的质量比为 0.052 ~ 0.230 mg/kg,Zn 的质量比为 47.40 ~ 110.80 mg/kg。相比其环境背景中位值,所有重金属都存在超标现象,Cd 和 Hg 的污染相对明显,分别有 91.667%、75.000% 的样品超过背景中位值。相对于背景质量比的最大值,仅有 Cd 超标,58.333% 的样品中 Cd 超过背景质量比最大值。除 Zn 外,其他重金属的变异系数都超过了 30%,说明这几种金属在表层沉积物中的分布变化较大。

2.2　沉积物重金属潜在生态风险

各重金属的毒性响应系数见表 3[20,24]。由表 3 可见,重金属的单项污染系数 C_f^i 平均值从高到低为 Cd、Hg、Zn、Pb、Cu,生态风险系数 E_r^i 平均值从高到低依次为 Cd、Hg、Pb、Cu、Zn。

各重金属对潜在生态风险指数的贡献率如下: Cd 为 58.9%,Hg 为 35.3%,Pb 为 2.7%,Cu 为 2.5%,Zn 为 0.6%。由表 4 可见,12 个采样点呈现的重金属污染程度整体较轻,RI 值都在 300 以下,50% 的采样点 5 种重金属的潜在风险指数 RI 低于 150,污染程度属于“极微”; 50% 的点 RI 介于 150 ~ 300,属于“中等”污染。12 个采样点中,有 8 个点的主导污染物为 Cd,其余 4 个点的主导污染物为 Hg,污染程度次之的是 Pb、Cu、Zn。由此可见,Cd 和 Hg 的绝对含量虽然较低,但在黄浦江上游区域的生态风险中占主导位置。

表 2　各采样点沉积物中重金属质量比的统计结果 mg · kg^{-1}

Table 2　Statistics of heavy metal mass ratios in the analyzed river sediments

统计参数		Cu	Pb	Cd	Hg	Zn
背景值	中位值	28.37	25.35	0.1204	0.0920	83.68
	最大值	40.63	36.09	0.2923	0.2592	116.75
监测值	最小值	13.20	4.0	0.021	0.052	47.40
	最大值	34.70	35.2	0.800	0.230	110.80
	平均值	20.48	19.8	0.347	0.119	76.69
	标准偏差	6.43	10.1	0.203	0.052	20.60
	变异系数/%	31.41	50.9	58.577	40.402	26.86
超过背景中位值的样点比例/%		8.33	33.3	91.667	75.000	41.67
超过背景最大值的样点比例/%		0	0	58.333	0	0

表 3　单项金属的污染系数 C_f^i 和潜在生态风险系数 E_r^i

Table 3　Values of single pollution coefficient (C_f^i) and potential ecological risk coefficient (E_r^i) of heavy metals

	Cu	Pb	Cd	Hg	Zn
C_f^i	0.72	0.78	2.88	1.29	0.92
E_r^i	3.61	3.90	86.40	51.78	0.92

?1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

2.3　底栖动物的群落特征

共采集到底栖动物 8 种(见表 5),隶属于 3 门 5 纲 5 属,其中软体动物 4 种(占总物种的 50%),环节动物 3 种(37.5%),水生昆虫 1 种(12.5%)。从耐污程度看,除淡水壳菜为"敏感类群"、方格短沟螺属于"一般耐污类群"外,其他 6 种均属于"耐污类群"[25]。由表 6 可见,基于生物量和密度的优势度计算结果均显示优势种为霍普水丝蚓、河蚬,均为耐污种。

从各采样点的多样性指数(表 7)来看,除 12#点(园泄泾)的 Shannon-Wiener 物种多样性指数 H' 大于 1 外,其他点位均小于 1。对照 H' 的水质生物学分级标准,91.7% 的点位属于"重污染"。

表 4　各采样点沉积物中各重金属的潜在生态风险系数 E_r^i 和生态风险指数 RI

Table 4　Single potential ecological risk coefficient (E_r^i) and potential ecological risk index (RI) of heavy metals in sediments

采样点	E_r^i					RI	污染程度分级
	Cu	Pb	Cd	Hg	Zn		
1#	4.2	2.6	74.8	87.0	0.9	169.5	中等
2#	3.0	3.2	82.2	30.0	0.6	118.9	极微
3#	2.3	1.7	69.8	50.0	0.7	124.5	极微
4#	2.6	1.2	92.2	22.6	0.7	119.2	极微
5#	2.6	5.4	112.1	41.3	0.7	162.1	中等
6#	3.7	4.9	5.2	42.2	1.1	57.1	极微
7#	2.5	0.8	64.8	43.9	0.8	112.7	极微
8#	3.4	5.8	137.0	30.4	0.9	177.5	中等
9#	4.6	5.6	42.4	65.2	1.2	119.0	极微
10#	6.1	6.9	114.6	56.5	1.3	185.5	中等
11#	4.4	4.7	199.3	52.2	1.1	261.7	中等
12#	4.0	4.1	42.4	100.0	1.0	151.5	中等

2.4　沉积物中重金属潜在生态风险与底栖动物群落结构指标的相关性

为追踪多组分重金属污染体系中的关键污染物,对沉积物中重金属污染水平与多样性指数、多毛纲、瓣鳃纲、腹足纲和寡毛纲密度的相关关系进行了分析。

1) 重金属污染程度与多样性指数的相关关系。

表 8 表明,重金属的综合污染程度与多样性指数在空间分布上有一定的关联性。多样性指数 H' 与 Pb、Hg、Zn 的质量比成正相关关系,与 Cd、Cu 的质量比成负相关关系。多样性指数 H' 较高的采样点(12#、2#、6#) Cd 的质量比普遍较低,这说明 Cd 质量比对底栖动物的种类数有一定影响。

2) 底栖动物密度与重金属污染程度的相关关系。

a. 多毛纲和瓣鳃纲密度与 5 种重金属质量比及潜在风险指数均成负相关。

b. 沉积物中 Cu 和 Hg 的质量比与寡毛纲密度均呈正相关。本文研究的底栖动物中,寡毛纲仅检出 1 个物种,为霍普

表 7　各采样点底栖动物多样性指数

Table 7　Diversity of macrozoobenthos in sediments

采样点	Shannon-Wiener 物种多样性指数 H'	Simpson 优势度指数 D	Margalef 物种丰富度指数 d	Pielou 均匀度指数 J
1#	0.186	1.049	0.313	0.117
2#	0.861	1.350	0.626	0.371
3#	0.371	1.153	0.263	0.371
5#	0.629	1.362	0.235	0.629
6#	0.811	1.600	0.500	0.811
7#	0.391	1.166	0.213	0.391
8#	0.323	1.125	0.197	0.323
11#	0.146	1.042	0.179	0.146
12#	1.361	1.973	0.706	0.320

注:4#、9#、10#点均只有 1 个物种检出,未参与统计。

表 5　研究区域底栖动物的种类组成

Table 5　Species of zoobenthos in the study area

	底栖动物	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
软体动物 Mollusca	铜锈环棱螺 *Bellamya aeruginosa*					+	+						+
	方格短沟螺 *Semisulcospira cancellata*						+						+
	河蚬 *Corbicula fluminea*		+		+	+		+	+		+	+	+
	淡水壳菜 *Limnoperna lacustris*							+					+
环节动物 Annelida	齿吻沙蚕 *Nephthys* sp.	+	+	+						+			
	疣吻沙蚕 *Tylorrhynchus heterochaetus*		+	+									
	霍普水丝蚓 *Limnodrilus hoffmeisteri*	+	+						+			+	
水生昆虫 Insecta	摇蚊幼虫 *Chironomus* sp.	+	+										

注: + 表示本次调查到该物种。

表 6　各底栖动物的优势度

Table 6　Dominance index of zoobenthos in the study area

底栖动物	基于生物量(g/m^2)计算的优势度	基于密度(个/m^2)计算的优势度	是否优势种
铜锈环棱螺 *Bellamya aeruginosa*	0.002	0.012	否
方格短沟螺 *Semisulcospira cancellata*	0.000 1	0.000 2	否
河蚬 *Corbicula fluminea*	0.141	0.126	是
淡水壳菜 *Limnoperna lacustris*	0.002	0.002	否
齿吻沙蚕 *Nephthys* sp.	0.008	0.018	否
疣吻沙蚕 *Tylorrhynchus heterochaetus*	0.000 7	0.003	否
霍普水丝蚓 *Limnodrilus hoffmeisteri*	0.254	0.229	是
摇蚊幼虫 *Chironomus* sp.	1.64×10^{-5}	0.001	否

?1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

表 8　沉积物中重金属质量比、潜在生态风险指数与底栖动物特征的相关性

Table 8　Correlation index between characteristic of macroinvertebrate and heavy metals in sediments

	Cu	Pb	Cd	Hg	Zn	RI
多样性指数 H'	-0.004	0.175	-0.581	0.292	0.083	-0.416
优势度指数 D	0.120	0.248	-0.599	0.400	0.303	-0.416
丰富度指数 d	0.203	0.039	-0.604	0.359	0.062	-0.445
均匀度指数 J	-0.406	0.280	-0.534	-0.418	0.011	-0.712
多毛纲密度	-0.989	-0.592	-0.356	-0.673	-0.693	-0.837
寡毛纲密度	0.073	-0.998	-0.740	0.594	-0.408	-0.479
腹足纲密度	0.532	-0.868	-0.031	0.988	0.217	0.544
瓣鳃纲密度	-0.749	-0.638	-0.193	-0.051	-0.366	-0.241

水丝蚓,属于耐污种。研究表明[6],沉积物中 Hg 的质量比与寡毛类动物密度呈显著正相关,寡毛底栖动物可能是沉积物中重金属尤其是 Hg 污染的潜在指示生物。

c. 腹足纲密度与 Cu、Hg 和 Zn 的质量比以及潜在生态风险指数(RI)均呈正相关。

腹足纲检出两种——铜锈环棱螺和方格短沟螺,以铜锈环棱螺为主。铜锈环棱螺移动性小,对重金属耐受力强。研究表明[26-27],铜锈环棱螺对沉积物中 Zn 和 Cu 的含量尤其敏感,其体内生物累积的重金属污染指数与沉积物污染综合指数具有显著的正相关关系,可以作为沉积物重金属污染的监测生物。

底栖动物响应比较复杂,除重金属外还有其他污染物的影响,如沉积物中生物有效态的浓度,都需要进一步研究。

3　结　论

1) 与环境背景中位值相比,5 种重金属都有不同程度的超标,Cd 和 Hg 的污染最突出,超过背景值的样品比例分别为 91.667% 和 75.000%。

2) 由潜在生态风险指数法得出,各采样点的生态风险为"极微污染"~"中等污染"。急水港近苏沪交界处、淀峰大桥、大蒸港沪浙交界处、大蒸港泖洋河交汇处、园泄泾、五厍东一号河交界处等区域是重金属污染风险较高的地段。支流园泄泾和大蒸港的生态风险高于黄浦江干流,值得引起重视。

3) 共采集到底栖动物 8 种,隶属于 3 门 5 纲 5 属,其中软体动物 4 种(占总物种的 50%),环节动物 3 种(37.5%),水生昆虫 1 种(12.5%)。除淡水壳菜和方格短沟螺外,其他均为耐污种。优势种为霍普水丝蚓和河蚬。

4) 11 个点位多样性指数 H' 均小于 1,对照 H' 的水质生物学分级标准,91.7% 的点位属于"重污染"。

5) 多样性指数 H' 与 Pb、Hg、Zn 的质量比成正相关关系,与 Cd、Cu 的质量比成负相关关系。大型底栖动物不同纲目的密度对沉积物中不同种类的重金属响应不同,寡毛纲密度和腹足纲密度与 Cu、Hg 的质量比呈正相关关系,多毛纲和瓣鳃纲密度与 5 种金属质量比都呈负相关关系。

References(参考文献):

[1] ZHANG Yanli(张晏溧). *Distribution of heavy metals in sediments of Hun-Tai River and the impact on macroinvertebrate*(浑太河沉积物中重金属分布特征及其对大型底栖动物的影响) [D]. Chongqing: Southwest University, 2012.

[2] GAO Xin(高欣), NIU Cuijuan(牛翠娟), HU Zhongjun(胡忠军). Macrobenthos community structure and its relations with environmental factors in Taihu River basin [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*(应用生态学报), 2011, 22(12): 3329-3336.

[3] XIONG Jing(熊晶), JIANG Xiaoming(蒋小明), WANG Chouming(王丑明), et al. Community variation of macrozoobenthos and bioassessment of Dongqian Lake, Ningbo [J]. *Research of Environmental Sciences*(环境科学研究), 2012, 25(3): 282-289.

[4] ZHANG Lulu(张璐璐), LIU Jingling(刘静玲), LASSOIE J P, et al. The correlational study between the community characteristics of benthic macroinvertebrates and the potential ecological risk of heavy metals in Baiyangdian [J]. *Journal of Agro-Environment Science*(农业环境科学学报), 2013, 32(3): 612-621.

[5] ZHU Lanbao(朱兰保), SHENG Di(盛蒂), QI Xiaoming(戚晓明), et al. Analysis of the total concentration and the existing speciation of heavy metals in small arms shooting range soils [J]. *Journal of Safety and Environment*(安全与环境学报), 2013, 13(5): 107-110.

[6] SHEN Min(沈敏), YU Hongxia(于红霞), CHEN Xiaohui(陈校辉). Investigation of heavy metal and zoobenthos in Jiangsu section of Yangtze River and ecological risk assessment [J]. *Journal of Agro-Environment Science*(农业环境科学学报), 2006, 25(6): 1616-1619.

[7] XIONG Yunqing(熊昀青), YOU Wenhui(由文辉). Preliminary study on community structure of macrobenthos in Suzhou Creek [J]. *Shanghai Environmental Sciences*(上海环境科学), 2001, 20(5): 218-220.

[8] LIU Baoxing(刘宝兴), YOU Wenhui(由文辉). Biodiversity of macrobenthos in upper reaches of Huangpu River [J]. *Journal of East China Normal University: Natural Science*(华东师范大学学报: 自然科学版), 2007, 4: 124-131.

[9] DAI Qi(戴奇), LI Shuang(李双), ZHOU Zhongliang(周忠良), et al. Characteristics of zoobenthos community and potential ecological risk of heavy metals in urban rivers in Shanghai [J]. *Chinese Journal of Ecology*(生态学杂志), 2010, 29(10): 1985-1992.

[10] JIANG Min(江敏), RUAN Huihui(阮慧慧), MEI Weiping(梅卫平). On the ecological risk assessment and the principal component analysis of heavy metals in the sediments of Dishui Lake [J]. *Journal of Safety and Environment*(安全与环境学报), 2013, 13(3): 151-156.

[11] DING Zhenhua(丁振华), WANG Wenhua(王文华), LIU Cai'e(刘彩娥), et al. Distribution and species of mercury in water and sediments from Huangpu River [J]. *Environmental Science*(环境科学), 2005, 26(5): 62-66.

[12] DING Zhenhua(丁振华), JIA Hongwu(贾洪武), LIU Cai'e(刘彩娥), et al. Pollution and assessment of heavy metals in Huangpu River sediments [J]. *Environmental Science & Technology*(环境科学与技术), 2006, 29(2): 64-66.

[13] XIANG Lingyun(项凌云), CHEN Changchun(陈长春), LIU Caicai(刘材材), et al. Trend of heavy metal in sediments of Shanghai Huangpujiang [J]. *Marine Environmental Science*(海洋环境科学), 2011, 30(1): 64-67.

[14] SHEN Jun(沈军), WANG Dongqi(王东启), SHI Guitao(史贵涛), et al. The distribution of mercury in the water and sediment at Huangpu River water source area [J]. *Research of Environmental Sciences*(环境科学研究), 2008, 21(2): 24-28.

[15] ZHANG Cui(张翠), CHEN Zhenlou(陈振楼), BI Chunjuan(毕春娟), et al. The distribution of Hg and As in water and sediment of drinking water source area of the Huangpu River [J]. *Acta Scientiae*

?1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

Circumstantiae(环境科学学报), 2008, 28(7): 1455-1462.

[16] CHENG Chen(程晨), CHEN Zhenlou(陈振楼), BI Chunjuan(毕春娟), et al. Accumulate characteristics of lead, cadmium in drinking water sources of Huangpu River, Shanghai [J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*(长江流域资源与环境), 2009, 18(10): 948-953.

[17] XU Linlin(徐霖林), MA Chang'an(马长安), TIAN Wei(田伟), et al. The distribution of heavy metals in surface sediments of lake Dianshan and its correlations with macrozoobenthos [J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*(环境科学学报), 2011, 31(10): 2223-2231.

[18] MULLER G. Index of geoaccumulation in sediments of the Rhine River [J]. *Geochemical Journal*, 1969, 2: 108-118.

[19] HAKANSON L. An ecological risk index for aquatic pollution control: a sediment logical approach [J]. *Water Research*, 1980, 14(8): 975-1001.

[20] CHEN Jingsheng(陈静生), TAO Shu(陶澍), DENG Baoshan(邓宝山). *Aquatic chemistry*(水环境化学) [M]. Beijing: Higher Education Press, 1987: 170-191.

[21] XU Zhengqi(徐争启), NI Shijun(倪师军), ZHANG Chengjiang(张成江), et al. Assessment on heavy metals in the sediments of Jinsha River in Panzhihua area by pollution load index [J]. *Sichuan Environment*(四川环境), 2004, 23(3): 64-67.

[22] CHEN Jingsheng(陈静生), WANG Feiyue(王飞越), SONG Jijie(宋吉杰), et al. Relation of geochemical and surface properties to heavy metal concentrations of sediments from eastern Chinese rivers [J]. *Environmental Chemistry*(环境化学), 1996, 15(1): 8-14.

[23] WANG Yun(王云), WANG Yagu(汪雅谷), LUO Hailin(罗海林). *Background value of soil environmenta in Shanghai*(上海市土壤环境背景值) [M]. Beijing: China Environmental Science Press, 1992: 55-57.

[24] XU Zhengqi(徐争启), NI Shijun(倪师军), TUO Xianguo(庹先国), et al. Calculation of heavy metal's toxicity coefficient in the evaluation of potential ecological risk index [J]. *Environmental Science & Technology*(环境科学与技术), 2008, 31(2): 112-115.

[25] WANG Beixin(王备新), YANG Lianfang(杨莲芳). A study on tolerance values of benthic macroinvertebrate taxa in eastern China [J]. *Acta Ecologica Sinica*(生态学报), 2004, 24(12): 2768-2775.

[26] MA Taowu(马陶武), ZHU Cheng(朱程), WANG Guiyan(王桂岩), et al. Bioaccumulation of sediment heavy metals in Bellanya aeruginosa and its relations with the metals geochemical fractions [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*(应用生态学报), 2010, 21(3): 734-742.

[27] GAO Baofeng(高宝峰), HE Li(何力), ZHANG Zheng(张征), et al. Indicative function of Bellanya aeruginosa in the middle and lower stream of Hanjiang River [J]. *Hubei Agriculture Sciences*(湖北农业科学), 2011, 50(1): 128-131.

Investigation of macroinvertebrates and the potential ecological risks of heavy-metal contaminants in the riverbed sediments in the upstream Huangpu River

ZHENG Ling-fang

(Shanghai Academy of Environmental Sciences, Shanghai 200233, China)

Abstract: The paper is aimed at introducing the heavy-metal contamination features and the ecological risks in the upper stream and its inlet branches of Huangpu River. In the paper, a particular attention has been paid to the investigation of the survival situation of the macro-invertebrates and the potential ecological risks that are likely to be brought about by the heavy-metal contaminants in the riverbed sediments in the said part of the river. To be exact, the samples for our study and analysis have been gathered from the twelve well-distributed sampling points with the contaminants of Cu, Pb, Cd, Hg and Zn in the sediments analyzed in the lab in October 2009. Moreover, closer observation and tests have particularly been made with the heavy metal contents in Cu, Pb, Cd and Zn *via* the atomic absorption spectrophotometry with the content of Hg measured by the cold-vapor atomic absorption method. Assessment of potential ecological risk of the study area has been done by Hakanson ecological risk index method. Furthermore, we have investigated the community structure metrics of macroinvertebrate and analyzed the correlation between the risk index of heavy metals and the community metrics. The results of our investigation of the potential ecological risks by using the ecological risk index method show that the ecological risk in the study area belongs to the state in-situ between "no pollution" and "medium" level, whereas the ecological risk in the provincial boundaries between Zhejiang and Jiangsu and inlet rivers turn to be rather high. Of all the heavy-metal contaminants, Cd and Hg are the two chief eco-risk contributors as we have discovered in the study area. In our paper, we have found the eight species of macro-invertebrate belong to the pollution tolerant species. In terms of the Shannon-Wiener diversity index represented by H', it is in most cases represented by less than one, which means heavy pollution level. What is more, H' has been found in positive correlation with the content of Pb, Hg and Zn, and in negative correlation with the content of Cd and Cu. The density of different species of macro-invertebrate have been found quite diverse responses to the heavy metal contaminants. For example, the density of Polychaeta and Lamellibranchia is negatively correlated with each five heavy metals, whereas the density of Oligochaeta (represented by *Limnodrilus hoffmeisteri*) has been found positively correlated with the contamination of Cu and Hg. In addition, the density of gastropod (represented by *Bellamya aeruginosa*) proves to have positive correlation with the contamination of Cu, Hg and Zn and RI.

Key words: basic disciplines of environmental science and technology; Huangpu River; drinking water sources in the upper stream; macroinvertebrate; heavy metals; potential ecological risk index

CLC number: X171 **Document code:** A

Article ID: 1009-6094(2014)02-0230-05

?1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net