



张石天,陈阳,张贤艳,等.温州地区贝类养殖环境重金属的分布与评价[J].环境科学与技术,2016,39(S1):376-379. Zhang Shitian, Chen Yang, Zhang Xianyan, et al. Distribution and assessment of heavy metals in shellfish culture area of Wenzhou [J]. Environmental Science & Technology, 2016, 39(S1): 376-379.

## 温州地区贝类养殖环境重金属的分布与评价

张石天<sup>1</sup>, 陈阳<sup>2</sup>, 张贤艳<sup>2</sup>, 李继丹<sup>2</sup>, 杨海龙<sup>2\*</sup>

(1. 浙江省温州市渔业技术推广站, 浙江 温州 325000; 2. 温州大学生命与环境科学学院, 浙江 温州 325035)

**摘 要:** 于 2014 年 6 月、8 月、10 月和 12 月对浙江省温州地区沿海主要贝类养殖区的海水、表层沉积物进行取样, 研究了重金属 Cu、Cd、As、Pb 在贝类养殖区海水和表层沉积物中的分布特征, 并对养殖区进行了生态环境质量评价及潜在生态风险评价。结果表明: 所测养殖区海水中 Cu、As 属于本底水平, Pb、Cd 已属中度到重度污染, 污染程度顺序为 Cd>Pb>Cu>As; 表层沉积物中各重金属的污染程度顺序依次为 Pb>As>Cu>Cd; 潜在生态风险评价结果表明, 贝类养殖区重金属 Cu、Pb、As 属于轻微潜在生态危害水平; Cd 属于中等潜在生态危害, 各重金属的潜在生态危害程度顺序依次为 Cd>Pb>As>Cu, 从多种重金属的潜在生态危害指数(RI)看, 所调查的贝类养殖区域 RI 值均小于 140, 为低潜在生态风险。

**关键词:** 贝类养殖区; 重金属; 分布特征; 生态风险

中图分类号:X820.4 文献标志码:A doi: 10.3969/j.issn.1003-6504.2016.S1.074 文章编号:1003-6504(2016)S1-0376-04

## Distribution and Assessment of Heavy Metals in Shellfish Culture Area of Wenzhou

ZHANG Shitian<sup>1</sup>, CHEN Yang<sup>2</sup>, ZHANG Xianyan<sup>2</sup>, LI Jidan<sup>2</sup>, YANG Hailong<sup>2\*</sup>

(1. Wenzhou Fisheries Technology Extension Service, Wenzhou 325000, China;

2. School of Life & Environmental Science, Wenzhou University, Wenzhou 325035, China)

**Abstract:** Samples of seawater and surface sediments were taken from the main shellfish culture area of Wenzhou in June, August, October and December, 2014, and the content and distribution of heavy metals (Cu, Cd, As, Pb) in the seawater and surface sediments were analyzed. Eco-environmental quality and potential ecological risk in the shellfish culture area were also assessed. The results showed that: the contents of Cu and As in seawater were in nature level and the contents of Pb and Cd in seawater were in middle to heavy pollution level. the order of pollution degree was Cd>Pb>Cu>As. The potential ecological risk of Cu, Pb, As in the shellfish culture area to the ocean ecology system was very light and that of Cd to the ocean ecology system was middle. The potential ecological risk index (RI) of these heavy metals in the shellfish culture area was less than 140, that meant the environmental quality of the culture areas was good.

**Key words:** shellfish culture area; heavy metals; distribution characteristic; ecological risk assessment

温州地处浙江南部, 海岸线长达 355 km, 海域面积约 11 000 km<sup>2</sup>, 沿海滩涂众多, 沿海养民用于贝类等海产品的养殖, 温州地区养殖的主要经济贝类有缢蛏、青蛤、牡蛎、泥蚶等。近年来, 随着温州经济和工业的发展, 大量的废水被排放入海, 致使滩涂贝类养殖环境受到一定程度的破坏, 其中, 重金属污染是一个重要的因素<sup>[1]</sup>。贝类移动范围有限且对重金属有较强的富集能力, 容易导致重金属含量超标, 人类食用重

金属超标的鱼贝类等会造成不同程度的中毒现象<sup>[2-4]</sup>。

重金属污染状况的调查与生态风险评价是海洋渔场养殖环境的重要研究内容, 这方面已有一些研究<sup>[1, 5-7]</sup>, 同时对温州市售贝类中重金属含量也有相关报道<sup>[2]</sup>, 但有关温州贝类养殖区海水及表层沉积物重金属的生态风险评价研究尚未见报道。本文报道 2014 年 6 月至 12 月温州地区主要贝类养殖区海水和表层沉积物中的 Cu、Cd、As、Pb 的检测结果, 并以 Hakanson 生

《环境科学与技术》编辑部: (网址) <http://tjks.chinajournal.net.cn> (电话) 027-87643502 (电子信箱) [hjkyjs@vip.126.com](mailto:hjkyjs@vip.126.com)

收稿日期: 2016-03-02; 修回 2016-04-29

基金项目: 温州市海洋与渔业局项目 (KH1410001)

作者简介: 张石天 (1985-), 男, 工程师, 研究方向海洋渔业, (电话) 0577-88871633 (电子信箱) [sisqozhang@msn.com](mailto:sisqozhang@msn.com); \* 通讯作者, (电话) 0577-86691013 (电子信箱) [yanghl99@163.com](mailto:yanghl99@163.com)。

态风险指数法<sup>[9]</sup>,对贝类养殖区表层沉积物中重金属的生态风险进行分析与评价,以期为温州地区贝类养殖及附近海域的可持续发展提供科学依据。

1 材料和方法

1.1 样品采集地点

根据温州主要贝类养殖区及生产季节,分别于2014年6月、8月、10月和12月在各采样点随机采集海水、沉积物,具体的样品采集地点见图1。

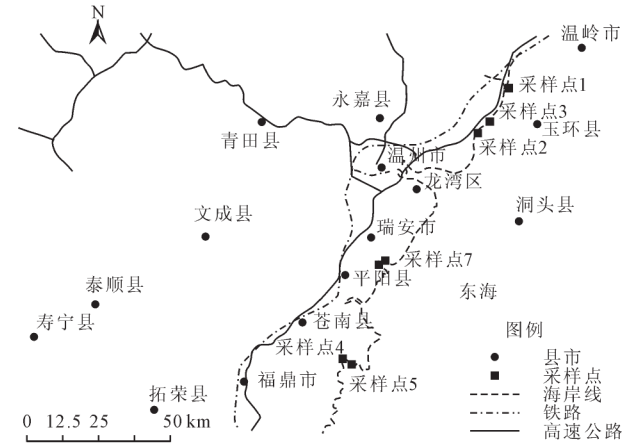


图1 采样地点分布示意图

1.2 样品采集方法<sup>[9]</sup>

参照《海洋监测规范》(GB 17378-2007)进行海水、沉积物样品的采集。

1.3 重金属测定方法<sup>[9]</sup>

Pb、Cu和Cd的测定采用火焰原子吸收光谱法;As含量的测定采用原子荧光光谱法测定。具体过程参照GB 17378.6-2007《海洋监测规范》相关内容。

1.4 养殖环境污染评价方法<sup>[11, 10]</sup>

(1) 贝类养殖区海水中重金属的污染程度采用单

因子污染指数法(W)评价。计算公式:

$$W_i=C_i/S_i$$
 (1)

式(1)中, $W_i$ 为*i*因子的污染指数, $C_i$ 为*i*因子的实测数据, $S_i$ 为*i*因子的评价标准值。

(2) 贝类养殖区表层沉积物中重金属的污染程度采用单种重金属污染指数( $C_p$ )和多种重金属的综合污染指数( $C_d$ )评价。 $C_f$ 的计算公式为: $C_f=C_i/C_n$ 。 $C_d$ 的计算公式为:

$$C_d=\sum_{i=1}^n C_f$$
 (2)

式(2)中, $C_f$ 为重金属*i*的污染指数, $C_s$ 为重金属*i*浓度的实测值, $C_n$ 为计算所需的背景。

(3) 潜在生态风险评价方法。贝类养殖区表层沉积物重金属潜在生态风险评价采用Hakanson生态危害指数法。单种重金属的潜在生态危害指数( $E^i$ )的计算公式:

$$E^i=T_r\times C_f$$
 (3)

多种重金属的潜在生态危害指数(RI)计算公式:

$$RI=\sum_{i=1}^n E^i$$
 (4)

式(3)中, $C_f$ 为重金属*i*的污染指数; $T_r$ 为重金属*i*的毒性系数。

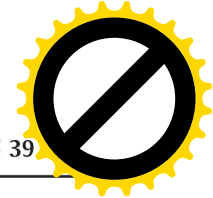
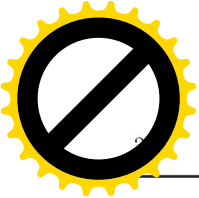
2 结果与分析

2.1 海水中重金属分布

温州海域贝类养殖区海水中重金属含量检测结果见表1。参照GB 11607《渔业水质标准》和GB 3097-1997《海水水质标准》中相关重金属卫生限量标准,所测养殖区海水中Cu、As的含量均远低于GB 3097规定的I类水质标准,Cu含量范围为0.054~

表1 贝类养殖区海水重金属含量 (μg/L)

采样地点	贝类	Cu		Pb		Cd		As	
		范围	均值	范围	均值	范围	均值	范围	均值
乐清	缢蛏	0.055~0.158	0.116	5.291~25.734	14.555	8.747~19.040	14.780	0.266~0.382	0.315
	牡蛎	0.139~0.328	0.222	9.659~10.134	9.966	10.718~16.504	13.522	0.631~0.939	0.768
	青蛤	0.153~0.547	0.315	3.189~24.277	13.884	10.145~24.200	17.145	0.191~0.318	0.247
	泥蚶	0.191~0.385	0.287	5.475~18.286	12.748	17.146~28.723	22.894	0.178~0.297	0.244
苍南	缢蛏	0.226~0.319	0.274	10.694~13.567	11.940	4.510~7.604	6.016	0.195~0.231	0.217
	泥蚶	0.238~0.346	0.281	7.106~15.596	11.224	3.758~8.918	6.295	0.271~0.394	0.323
瑞安	缢蛏	0.054~0.464	0.317	5.618~28.912	20.556	11.373~24.325	15.912	0.279~0.306	0.289
	泥蚶	0.214~0.411	0.297	11.051~24.204	19.238	10.635~19.789	14.420	0.617~1.263	0.856
GB 11607	I		≤10		≤50		≤5		≤50
GB 3097	I类		≤5		≤1.0		≤1.0		≤20
GB 3097	II类		≤10		≤5.0		≤5.0		≤30
GB 3097	III类		≤50		≤10		≤10		≤50
GB 3097	IV类		≤50		≤50		≤10		≤50



0.547  $\mu\text{g/L}$ , As 含量范围为 0.178~1.263  $\mu\text{g/L}$ 。所测养殖区海水中 Cd 的含量, 苍南缢蛏和泥蚶养殖区海水超过 GB 3097 II 类水质 ( $\leq 5 \mu\text{g/L}$ ) 但低于 GB 3097 III 类水质 ( $\leq 10 \mu\text{g/L}$ ) 的标准, 其它贝类养殖区海水中 Cd 含量均超过 GB 3097 III 类水质标准, 均值超标 1.352~2.289 倍, 说明温州沿海区域贝类养殖海水中 Cd 超标严重, 已不适宜贝类养殖。所测养殖区海水中 Pb 的含量除乐清牡蛎养殖海域外均超过 GB 3097 III 类水质 ( $\leq 10 \mu\text{g/L}$ ) 的标准, 瑞安缢蛏养殖区海水中 Pb 含量最高, 均值达 20.556  $\mu\text{g/L}$ 。

## 2.2 海水中重金属污染特征

采用国家海水水质标准的二类标准作为海水水质评价标准的标准值 ( $S$ )。评价等级参照贾晓平等<sup>[1,10]</sup>划分的海水水质状况分级(表 2)。通过分析计算贝类养殖区海水中各重金属指标的检测结果可得贝类养殖区海水重金属污染指数 ( $P$ ) (表 3)。由表 3 可知养殖区中 Cu、As 属于本底水平, Pb、Cd 已属中度~重度污染。

表 2 海水水质状况分级

重金属污染指数 ( $P$ )	等级	质量评价
$<0.4$	1	自然本底
0.4~0.6	2	清洁
0.6~0.8	3	较清洁
0.8~1.0	4	轻度污染
1.0~2.0	5	中度污染
$>2.0$	6	重度污染

表 4 贝类养殖区沉积物重金属

( $\text{mg/kg}$ )

采样地点	贝类	Cu		Pb		Cd		As	
		范围	均值	范围	均值	范围	均值	范围	均值
乐清	缢蛏	39.81~67.66	57.884	104.64~117.60	111.74	0.22~1.32	0.887	20.86~33.06	27.859
	青蛤	40.18~74.35	63.907	72.08~130.72	105.61	0.17~1.30	0.685	7.85~12.87	10.207
	泥蚶	40.17~71.09	60.108	89.43~135.41	115.973	0.42~1.24	0.735	19.79~39.25	28.241
苍南	缢蛏	55.39~57.26	56.243	108.32~138.54	118.813	0.24~1.38	0.630	16.00~22.35	19.791
	泥蚶	37.91~67.79	48.153	100.98~133.06	115.153	0.32~1.80	0.850	13.39~15.79	14.713
瑞安	缢蛏	29.32~34.11	31.523	86.82~98.19	91.040	0.29~1.12	0.590	20.75~30.29	25.874
	泥蚶	38.89~46.28	41.18	90.79~114.51	102.67	0.32~0.71	0.475	36.78~54.335	44.506
GB18668	I 类	$\leq 35$		$\leq 60$		$\leq 0.5$		$\leq 20$	
GB18668	II 类	$\leq 100$		$\leq 130$		$\leq 1.5$		$\leq 65$	
GB18668	III 类	$\leq 200$		$\leq 250$		$\leq 5.0$		$\leq 93$	

国内外尚无统一的标准。本研究选用长江口沉积物重金属背景值为依据<sup>[1, 12]</sup>, 单种重金属的污染程度分级为:  $C_f < 1$  为较低污染,  $1 \leq C_f < 3$  为中等污染,  $3 \leq C_f < 6$  为较高污染,  $C_f \geq 6$  为高污染。通过计算贝类养殖区表层沉积物中各重金属指标的检测结果, 得出单种重金属的污染指数 ( $C_f$ ) 和多种重金属的综合污染指数

表 3 贝类养殖区海水重金属污染指数 ( $P_i$ )

养殖区	$P_i$			
	Cu	Pb	Cd	As
缢蛏	0.024	3.137	2.447	0.009
牡蛎	0.022	1.993	2.704	0.026
青蛤	0.031	2.776	3.429	0.008
泥蚶	0.029	2.938	3.057	0.016

## 2.3 沉积物重金属含量

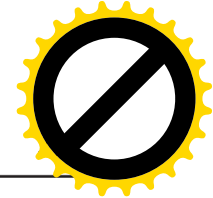
温州海域贝类养殖区沉积物中重金属含量检测结果如表 4。参照 GB 18668《海洋沉积物质量》<sup>[11]</sup>中相关重金属限量标准, 瑞安缢蛏养殖区沉积物中 Cu 的含量均值低于 GB 18668 I 类标准值 (35  $\text{mg/kg}$ ), 其它养殖区沉积物中 Cu 含量均值大于 GB 18668 I 类标准, 但小于 II 类标准值 (100  $\text{mg/kg}$ )。所测养殖区海水中 Pb 含量均值均超过 GB 18668 I 类标准值 (60  $\text{mg/kg}$ ), 但小于 GB 18668 II 类标准值 (130  $\text{mg/kg}$ )。瑞安泥蚶养殖区沉积物中 Cd 含量均值低于 GB 18668 I 类标准值 (0.5  $\text{mg/kg}$ ), 其它养殖区表层沉积物中 Cd 含量都超过了 GB 18668 I 类标准值, 但低于 GB 18668 II 类标准值 (1.5  $\text{mg/kg}$ )。乐清青蛤养殖区、苍南缢蛏养殖区、苍南泥蚶养殖区沉积物中 As 的含量均值小于 GB 19668 I 类标准 (20  $\text{mg/kg}$ ), 其它养殖区 As 的含量均值大于 GB 19668 I 类标准, 但小于 II 类标准值 (65  $\text{mg/kg}$ )。

## 2.4 表层沉积物重金属污染特征

沉积物背景值的地区性强, 关于沉积物背景值,

( $C_f$ ) (表 5)。从表 5 可以看出, 表层沉积物中  $C_f$  平均值最高的是 Pb, 平均值为 5.396, 属于较高污染水平。从各贝类养殖海域来看, Pb 的  $C_f$  均处于较高污染水平。其它重金属 As、Cu、Cd 的  $C_f$  平均值均在 1~3 之间, 属于中等污染水平。表层沉积物中各重金属的污染程度顺序依次为  $\text{Pb} > \text{As} > \text{Cu} > \text{Cd}$ 。



表 5 贝类养殖区沉积物中单种重金属的污染指数 ( $C_i^p$ ) 和多种重金属的综合污染指数 ( $C_d$ )

养殖区	$C_i^p$				$C_d$
	Cu	Pb	Cd	As	
缢蛏	1.618	5.360	1.404	2.451	10.833
青蛤	2.130	5.281	1.370	1.021	9.801
泥蚶	1.665	5.546	1.344	3.047	11.601
平均值	1.804	5.396	1.373	2.173	10.745

## 2.5 表层沉积物中重金属的潜在生态危害评价

单种重金属的污染指数 ( $C_i^p$ ) 和多种重金属的综合污染指数 ( $C_d$ ) 只能说明评价区域的污染特征, Hakanson 提出的潜在生态危害指数能有效地揭示生态危害和生态效应。各种重金属的毒性系数参考文献 [7]。沉积物中单种重金属潜在生态危害程度分级:  $E_i < 40$ , 轻微级别;  $40 \leq E_i < 80$ , 中等级别;  $80 \leq E_i < 160$ , 较强级别;  $160 \leq E_i < 320$ , 很强级别;  $E_i \geq 320$ , 极强级别。潜在生态危害指数  $RI$  取值范围:  $RI < 140$ , 低级别;  $140 \leq RI < 280$ , 中等级别;  $280 \leq RI < 560$ , 较高级别;  $RI \geq 560$ , 高级别。

根据贝类养殖海域各重金属的毒性系数 ( $T_i$ ) 和污染指数 ( $C_i^p$ ) 进行计算, 得到的贝类养殖区表层沉积物中各重金属的潜在生态危害指数 ( $E_i$ ) 及其多种重金属的潜在生态危害指数 ( $RI$ ), 计算结果列于表 6。

表 6 贝类养殖区表层沉积物中单种重金属的潜在生态危害指数 ( $E_i$ ) 和多种重金属的潜在生态危害指数 ( $RI$ )

养殖区	$E_i$				$RI$
	Cu	Pb	Cd	As	
缢蛏	8.090	26.800	42.120	24.510	101.520
青蛤	10.65	26.405	41.100	10.210	88.365
泥蚶	8.325	27.730	40.320	30.470	106.845
平均值	9.020	26.980	41.190	21.730	98.920

从表 6 可以看出, 从单种重金属生态危害程度来看, 贝类养殖区重金属 Cu、Pb、As 的潜在生态危害指数 ( $E_i$ ) 平均值均小于 40, 属于轻微潜在生态危害水平; Cd 的潜在生态危害指数 ( $E_i$ ) 平均值为 41.190, 属于中等潜在生态危害, 各重金属的潜在生态危害程度顺序依次为  $Cd > Pb > As > Cu$ 。从多种重金属的潜在生态危害指数 ( $RI$ ) 看, 所调查的贝类养殖区域  $RI$  值均小于 140, 为低潜在生态风险。

## 3 结论

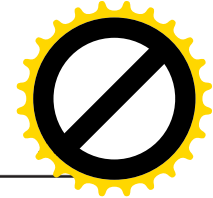
所测养殖区海水中 Cu、As 属于本底水平, Pb、Cd 已属中度到重度污染, 污染程度顺序为  $Cd > Pb > Cu > As$ ; 表层沉积物中各重金属的污染程度顺序依次为  $Pb > As > Cu > Cd$ ; 潜在生态风险评价结果表明, 温州贝

类养殖区重金属 Cu、Pb、As 属于轻微潜在生态危害水平; Cd 属于中等潜在生态危害, 各重金属的潜在生态危害程度顺序依次为  $Cd > Pb > As > Cu$ , 从多种重金属的潜在生态危害指数 ( $RI$ ) 看, 所调查的贝类养殖区域  $RI$  值均小于 140, 为低潜在生态风险。从整体来看, 温州地区贝类养殖区表层沉积物处于较清洁水平, 底质质量状况良好, 适合贝类养殖。

## 【参考文献】

- [1] 廖勇, 黄厚见, 李磊, 等. 江苏如东贝类养殖区重金属的含量分布特征及潜在生态风险评价 [J]. 中国环境监测, 2012, 28 (6): 4-9.  
Liao Yong, Huang Houjian, Li lei, et al. Distribution and potential ecological risk assessment of heavy metals in shellfish culture area of Rudong, Jiangsu Province [J]. Environmental Monitoring in China, 2012, 28(6): 4-9. (in Chinese)
- [2] 蔡圣伟, 张树刚, 华丹丹, 等. 温州市售贝类中重金属含量的分析与评价 [J]. 环境科学与技术, 2012, 35(S2): 234-236.  
Cai Shengwei, Zhang Shugang, Hua Dandan, et al. Analysis and assessment of heavy metal content in shellfish from Wenzhou market [J]. Environmental Science & Technology, 2012, 35(S2): 234-236. (in Chinese)
- [3] Khan M U, Malik R N, Muhammad S. Human health risk from heavy metal via food crops consumption with wastewater irrigation practices in Pakistan [J]. Chemosphere, 2013, 93: 2230-2238.
- [4] Wang X, Sato T, Xing B, et al. Health risks of heavy metals to the general public in Tianjin, China via consumption of vegetables and fish [J]. Science of The Total Environment, 2005, 350: 28-37.
- [5] 董爱国, 翟世奎, 于增慧, 等. 长江口海域表层沉积物重金属元素的潜在生态风险评价 [J]. 海洋科学, 2010, 34(3): 69-75.  
Dong Aiguo, Zhai Shikui, Yu Zenghui, et al. Evaluation on potential ecological risk of the heavy metals in the surface sediments of the Changjiang (Yangtze) estuary and its adjacent coastal area [J]. Marine Sciences, 2010, 34(3): 69-75. (in Chinese)
- [6] 杨立平, 张学超, 李晓敏, 等. 威海湾沉积物重金属含量分布及其潜在生态危害评价 [J]. 海洋科学, 2010, 34(6): 39-43.  
Yang Liping, Zhang Xuechao, Li Xiaomin, et al. Distribution features and evaluation on potential ecological risk of heavy metals in surface sediments of Weihai Bay [J]. Marine Sciences, 2010, 34(6): 39-43. (in Chinese)
- [7] 蒋红, 胡益峰, 徐灵燕, 等. 舟山排污口邻近海域沉积物污染及潜在生态风险评价 [J]. 海洋环境科学, 2009, 28(S1): 50-52, 61.  
Jiang Hong, Hu Yifeng, Xu Lingyan, et al. Evaluation on pollution and potential ecological risk in surface sediments of adjacent sea area near discharge outlets in Zhoushan [J]. Marine

(下转第 397 页)



- chemistry and Health, 1994(16): 21–30.
- [3] WHO. Cadmium. Environmental Health Criteria. Geneva[M]. Amsterdam: Elsevier, 1992: 134.
- [4] 周晓蔚, 河口生态系统健康与水环境风险评价理论方法研究[D]. 北京: 华北电力大学, 2008.  
Zhou Xiaowei. Studies on Theories and Methods of Estuary Ecosystem Health and Water Environment Risk Assessment [D]. Beijing: School of Renewable Energy, 2008. (in Chinese)
- [5] 曾光明, 卓利, 钟政林, 等. 水环境健康风险评价模型及其应用[J]. 水电能源科学, 1997, 15(4): 28–33.  
Zeng Guangming, Zhuo Li, Zhong Zhenglin, et al. Assessment models for water environmental health risk analysis [J]. International Journal Hydroelectric Energy, 1997, 15(4): 28–33. (in Chinese)
- [6] 高继军, 张力平, 黄圣彪, 等. 北京市饮用水源水重金属污染物健康风险的初步评价[J]. 环境科学, 2004, 25(2): 47–50.  
Gao Jijun, Zhang Liping, Huang Shengbiao, et al. Preliminary health risk assessment of heavy metals in drinking waters in Beijing[J]. Environmental Science, 2004, 25(2): 47–50. (in Chinese)
- [7] 孙超, 陈振楼, 张翠, 等. 上海市主要饮用水源地水重金属健康风险初步评价[J]. 环境科学研究, 2009, 22(1): 60–65.  
Sun Chao, Chen Zhenlou, Zhang Cui, et al. Health risk assessment of heavy metals in drinking water sources in Shanghai, China[J]. Research of Environmental Sciences, 2009, 22(1): 60–65. (in Chinese)
- [8] UPA. Supplement risk assessment Part 1. Guidance for Public health risk assessment[S]. EPA, 601/5289–2001, 1989.
- [9] U. S. EPA. Methods for the determination of organic compounds in drinking water[R]. EPA, 600/4–90/020, 1990.
- [10] Drusnan K, Paterson J, Williams D T. Health risk assessment of drinking water contaminants in Canada: the applicability of mixture risk assessment methods[J]. Regulatory Toxicology and Pharmacology, 1997, 26: 179–187.
- [11] National Research Council. Risk Assessment in the Federal Government: Managing the Process[M]. Washington DC: National Academic Press, 1983.
- [12] 李丽娜. 上海市多介质环境中持久性毒害污染物的健康风险评价[D]. 上海: 华东师范大学, 2007.  
Li Lina. Health Risk Assessment of Persistence of Toxic Substances in Different Ambient Medium of Shanghai[D]. Shanghai: East China Normal University, 2007. (in Chinese)
- [13] US EPA. Superfund Public Health Evaluation Manual [R]. EPA/540/1–86. Washington DC: US EPA, 1986.
- [14] US EPA. Available Information on Assessment Exposure From pesticides in food[R]. Washington DC: U. S. Environmental Protection Agency Office of Pesticide Programs, 2000.

(上接第 379 页)

- Environmental Science, 2009, 28(S1): 50–52, 61. (in Chinese)
- [8] Hakanson L. An ecological risk index for aquatic pollution control: a sedimentological approach[J]. Water Research, 1980, 14(8): 975–1001.
- [9] GB 17378–2007, 海洋监测规范[S].
- [10] 贾晓平, 杜飞雁, 林钦, 等. 海洋渔场生态环境质量状况综合评价方法探讨[J]. 中国水产科学, 2003, 10(2): 160–164.  
Jia Xiaoping, Du Feiyan, Lin Qin, et al. A study on comprehensive assessment method of ecological environment quality of marine fishing ground[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2003, 10(2): 160–160. (in Chinese)
- [11] GB 18668, 海洋沉积物质量[S].
- [12] 王丽萍, 周晓蔚, 郑丙辉, 等. 长江口及毗邻海域沉积物生态环境质量评价[J]. 生态学报, 2008, 28(5): 2191–2198.  
Wang Liping, Zhou Xiaowei, Zheng Binhui, et al. Sediments eco-environmental quality assessment in the Changjiang Estuary and its adjacent waters[J]. Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(5): 2191–2198. (in Chinese)