

Pollution Assessment and Content of Heavy Metals in Mangrove Wetland Sediments in Northeast Hainan Island

JunGuang Wang, ZhiZhong Zhao*, GuangRu Zhao, ZhongWei Zhang, Peng Wang

(College of Geography and Tourism, Hainan Normal University, Haikou 571158, China)

Abstract: In this thesis, a series of samples collected during the survey in mangrove sediments in northeast Hainan island are analyzed to reveal the content of heavy metals. According to results of Geoaccumulation and Potential Ecological Risk, the tidal environment is well in Dong zhai harbor. Only Cu、Cr、As are polluted in some area and the Potential Ecological Risk Indices are extremely low. In Mangrove wetland sediment of Qing lan harbor, Cu、As are polluted and Qing lan harbor's *RI* is higher than Dong zhai harbor, the Potential Ecological Risk Indices are low. Cr and As are pollution in Xin ying harbor and Potential Ecological Risk Indices are extremely low. Furthermore. Cr and As are polluted in HW-01, The *RI* of Qing lan harbor is equivalent with others besides HW-01 has a high ecological risk.

Key words: mangrove wetland sediment ; heavy metals; pollution evaluation; northeast Hainan Island

海南岛东北部红树林湿地沉积物中重金属含量及其污染评价

王军广, 赵志忠*, 赵广孺, 张忠伟, 王鹏

(海南师范大学, 地理与旅游学院, 海南 中国 571158)

摘要: 本文以海南岛东北部红树林湿地调查资料为基础, 分析红树林湿地沉积物中重金属元素的含量, 并利用地质累积指数法与潜在生态风险指数法对海南岛东北部红树林湿地沉积物中重金属污染状况进行评价。结果表明: 东寨港红树林湿地沉积物质量较好, Cu、Cr、As 在个别站位处于偏中度污染, 潜在生态风险性轻微; 清澜港湿地普遍出现 Cu、As 的轻度至中毒污染, 风险性程度明显高于东寨港, 潜在生态风险性处于轻水平; 新盈港红树林湿地主要污染元素为 Cr 和 As, 为轻度至中毒污染, 潜在生态风险性轻微; 此外, HW-01 点出现 Cr 与 As 的偏中度和偏重度污染, 潜在生态风险性重。

关键词: 红树林沉积物; 重金属; 污染评价; 海南岛东北部

红树林湿地处于海洋与陆地的动态交界面, 周期性遭受海水浸淹的潮间带环境, 使其在结构与功能上具有既不同于陆地生态系统也不同于海洋生态系统的特性, 作为独特的海陆边缘生态系统在自然生态平衡中起着独特的作用^[1]。近年来, 随着人口膨胀、城市化和工业化的急速发展, 加上船舶运输业、农业和渔业等人为活动的影响, 大量的点源、面源污染物汇集于海湾河口区, 而使这些地区的重金属污染日益严峻, 特别是在直接向红树林曲倾污排废的地区更是如此

^[2], 由于其固有的一些特性, 能够大量接受来自潮汐、河水、地表径流所携带的重金属污染物, 成为重金属污染物重要的源和汇^[3], 使红树林湿地的环境压力日益增加。此外, 大量研究也表明, 沉积物中重金属的含量比相应水相中的重金属含量高很多倍, 常常得到积累, 并表现出较明显的含量分布规律性^[4]。因此, 本文通过对海南岛东北部红树林沉积物中重金属污染的评价, 以期对红树林湿地重金属的治理、红树林生态系的保护和恢复提供理论依据。

基金项目: 海南省自然科学基金项目(40879); 海南省教育厅项目(HJKJ2010-28); 教育部留学回国人员科研启动基金资助项目; 海南师范大学“地图学与地理信息系统及自然地理学”重点学科联合资助。

1 研究区概况

研究区位于海南岛东北部, 包括东寨港红树林湿

地、清澜港红树林湿地和临高新盈红树林湿地的部分地区。属热带海洋性气候，年平均气温 17.1°C ，海水表层平均温度 24.5°C 年均降水量 $1700\sim 1933\text{mm}$ 。不规则全日潮，平均潮差约 1m ，红树林面积约 3800hm^2 。成土母质主要是玄武岩，亦有橄榄玄武岩等。在地带性生物气候作用下，陆地上形成了典型的砖红壤性红土，土壤表层呈酸性，PH值 $5\sim 6$ ；土壤有机质含量丰富，而沿海红树林植物产地除部分为较坚实的盐渍砂质壤土外，其余为河口或港湾冲积淤泥或称盐渍沼泽土，深厚而疏松，适宜各种海生动物生殖与繁衍^[5, 6]。

2 样品采集与处理

研究区红树林沉积物样品采集时间2009年8~9月，在海南东寨港、清澜港和新盈港自然保护区采集样品，采集区覆盖了海南岛东北部主要的红树林区。

Table1 Concentrations of the heavy metals sediments of mangrove wetland
表1海南岛东北部红树林湿地表层沉积物中重金属含量

	C/($\times 10^{-6}$)						
	Hg	Cu	Pb	Zn	Cd	Cr	As
含量范围	0.02~0.09	5.1~38.4	5.2~24.9	11~66	0.01~0.07	10~72	4.4~23.8
平均值	0.047	16.57	14.57	37.2	0.07	41	9.41
变异系数	0.48	0.7	0.49	0.47	1.16	0.53	0.65
背景值	0.03	4.95	22.34	35.11	0.05	15.24	1.14

海南岛东北部红树林湿地表层沉积物中重金属含量分布见表1。由表1可以看出：Hg和Cu的最高值出现于东寨港演丰的3号测点，其含量分别为 $(0.02\sim 0.09)\times 10^{-6}$ 和 $(5.1\sim 38.4)\times 10^{-6}$ ，平均含量分别为 0.047×10^{-6} 和 16.57×10^{-6} 。Pb和Cd的最高值出现于东阁镇良丰5号测点，其含量分别为 $(5.2\sim 24.9)\times 10^{-6}$ 和 $(0.01\sim 0.07)\times 10^{-6}$ ，平均含量分别为 14.57×10^{-6} 和 0.07×10^{-6} 。As含量为 $(4.4\sim 23.8)\times 10^{-6}$ ，平均含量为 9.41×10^{-6} ，最高值出现于东郊镇后尾1号测点。Cr含量为 $(10\sim 72)\times 10^{-6}$ ，平均含量为 41×10^{-6} ，最高值出现于东寨港演丰10号测点。Zn含量为 $(11\sim 66)\times 10^{-6}$ ，平均含量为 37.2×10^{-6} ，最高值出现于东寨港演丰1号测点。

从各种重金属的平均含量与区域背景值的比较可以看出，Hg、Zn和Cd的平均含量接近区域背景值，除了Pb略小于区域背景值外，Cu、Cr和As的平均含量远远高于区域背景值。

从各种重金属的含量变异系数（标准差除以平均

利用沉积物采集器采集表层沉积物(0~20cm)，每个样品均有3~4个采样点混合而得；试样采集后，拣出其中的树枝、落叶等杂物，放入洁净的自封袋内密封，带回实验室。所有样品经自然风干、研磨，然后过160目尼龙筛，装入洁净的自封袋，以备分析使用。采集器具均经过严格清洗。称取0.5g用王水进行消解，经消解后的沉积物样品采用ICP-MS(电感耦合等离子体质谱仪)对Hg、Cu、Pb、Zn、Cd、Cr和As等重金属元素进行测定；全部分析项目由澳实分析检测集团(广州)-澳实矿物实验室完成。

3 结果与讨论

3.1 海南岛东北部红树林湿地表层沉积物中重金属含量分布

值)可以看出，Hg、Pb、Zn变异系数较小，其含量分布较均匀，其他4种重金属离散性相对较大。

3.2 表层沉积物重金属污染评价

红树林表层沉积物中重金属含量比相应水相中的重金属含量高很多倍，并易产生二次污染，从而对底栖生物产生毒害作用，甚至危及生态系统的健康。有效地评价对红树林沉积物中重金属的危害情况，有利于红树林生态系统的管理与治理。目前国内外评价沉积物中重金属污染的方法很多^[7, 8]，本文采用地积累指数法和潜在生态危害指数法对海南岛北部红树林湿地表层沉积物重金属进行评价。

3.2.1 基于地积累指数法的评价

地质累积指数法(Geoaccumulation Index)由德国海德堡大学沉积物研究所学者Muller于1979年提出，是一种研究水系沉积物中重金属污染的定量指标，被广泛用于研究现代沉积物中重金属污染的评价，其计算公式为：

$$I_{geo} = \log_2(C_n / kB_n)$$

式中： I_{geo} 为地质累积指数； C_n 为重金属 n 在沉积物中的实测含量； B_n 为沉积岩（即普通页岩）中所测元素的地球化学背景值； k 为考虑到成岩作用可能会引起的背景值的变动而设定的常数，一般 $k=1.5$ 。

根据 I_{geo} 数值的大小，可以将沉积物中重金属的污染程度分为7个等级，即0—6级，表示污染程度由无至极强，如表2所示。

Table2 The relation between the value of and I_{geo} and contamination degree of heavy metal
表2 地积累指数分级与污染程度

污染程度	无	轻度	偏中度	中毒	偏重	重	严重
级别	0	1	2	3	4	5	6
I_{geo}	≤ 0	0—1	1—2	2—3	3—4	4—5	5—6

Table3 Index of Geoaccumulation of heavy metals in sediments of mangrove

表3 研究区表层沉积物各重金属地质累积指数

区域	站点	I_{geo}						
		Hg	Cu	Pb	Zn	Cd	Cr	As
东	YF-01	0.415	1.378	-0.543	0.325	-0.099	1.368	1.858
	YF-03	1	2.371	-0.429	-0.631	1.901	1.655	1.858
寨	YF-06	0.415	1.071	-0.601	0.036	-0.585	1.213	2.033
	YF-08	-0.17	2.266	-1.103	-0.046	-1.322	0.485	2.054
港	YF-10	-0.17	1.099	-0.962	-0.361	-1.322	1.825	1.787
	PQ-02	-0.17	0.356	-1.301	-0.812	-1.322	0.186	1.97
	PQ-04	0.152	-1.307	-2.122	-1.195	-0.907	-0.93	0.762
	平均值	0.21	1.033	-1.008	-0.383	-0.522	0.829	1.76
清	LF-05	0.415	0.797	-0.485	-0.293	-0.099	0.807	3.199
	QJ-01	-0.585	0.554	-2.366	-1.549	-0.907	-1.193	1.364
澜	HW-01	1	2.317	-1.239	0.212	1.737	0.615	3.799
	XB-01	-1.17	-0.542	-2.556	-1.911	-0.907	-0.267	2.548
港	平均值	-0.085	0.782	-1.662	-0.885	-0.044	-0.01	2.728
新	CH-02	-1.17	-0.356	-2.688	-2.259	-2.907	0.186	2.262
	CH-04	-0.585	0.606	-1.73	-0.861	-1.907	0.439	2.074
	CH-05	0.152	1.237	-0.745	0.089	-0.099	1.416	3.652
盈	BZ-03	-1.17	0.527	-1.996	-0.964	-1.907	1.343	2.279
	平均值	-0.693	0.504	-1.79	-0.998	-1.705	0.846	2.567

计算研究区表层沉积物中各重金属元素的地质累积指数，由表3可知：以平均水平而论，东寨港红树林湿地沉积物中Pb、Zn、Cr的地质累积指数小于0，不存在污染；Hg和Cr的地质累积指数在0~1的范围，属于轻度污染水平；Cu和As的地质累积指数在1~2之间，属于偏中度污染。清澜港红树林湿地沉积物中Hg、Pb、Zn、Cd和Cr的地质累积指数小于0，属于无污染；Cu的地质累积指数在0~1之间，属于轻度污染；As的地

质累积指数在2~3范围，属于偏中度污染。新盈港红树林湿地沉积物中Cu和Cr的地质累积指数在0~1之间，属轻度污染；As的地质累积指数在2~3范围，属偏中度污染范畴，其它元素均无污染。

以各站点地质累积指数比较，Hg在东寨港的YF-01、YF-03、YF-06、PQ-04，清澜港的LF-05、HW-01为轻度污染；在清寨港PQ-04和新盈港的CH-05为偏中度污染；在其他站点均无污染。Cu在东寨港的YF-01、

YF-06、YF-10, 新盈港的CH-05为偏中度污染; 在东寨港的YF-03、FY-08, 清澜港的HW-01为中毒污染程度; 在东寨港的PQ-02, 清澜港的LF-05、QJ-01, 新盈港的BZ-03为轻度污染。Zn在东寨港的YF-01、YF-06, 清澜港的HW-01, 新盈港的CH-05为轻度污染。Cd在东寨港的YF-03, 清澜港的HW-01为偏中度污染, 在其它各站点均无污染。Cr在东寨港的YF-01、YF-03、YF-06、YF-10, 新盈港的CH-05、BZ-03属于偏中度污染; 在东寨港的YF-08、PQ-02, 清澜港的LF-05、HW-01, 新盈港的CH-02、CH-04为轻度污染。As在东寨港的YF-01、YF-03、YF-10、PQ-02, 清澜港的QJ-01为偏中度污染; 在东寨港的YF-06、YF-08, 东寨港的XB-01, 新盈港的CH-02、CH-04、BZ-03为中毒污染; 在清澜港的LF-05、HW-01, 新盈港的CH-05为偏重污染。Pb在所有站点均无污染。

3.2.2 潜在生态风险指数评价

潜在生态风险指数法是瑞典学者Hakanson于1980年建立的一套应用沉积学原理评价重金属污染及生态危害的方法。该方法将污染物与生物毒性、生态危害有机地结合, 兼有现实与潜在风险评价的研究层次。其计算公式如下:

$$RI = \sum_{i=1}^m E_r^i = \sum_{i=1}^m T_r^i \cdot C_f^i = \sum_{i=1}^m T_r^i \cdot \frac{C^i}{C_n^i}$$

式中: C_f^i 、 T_r^i 和 E_r^i 分别为第*i*种重金属污染系数、毒素系数和潜在生态危害系数; C^i 为沉积物重金属质量分数实测值; C_n^i 为参考值, 一般采用工业化以前的沉积物中重金属最高背景值; RI 为多种重金属潜在危害指数。各重金属毒性系数 T_r^i 如表4所示, T_r^i 用于反映重金属的毒性水平和生物对重金属污染的敏感程度; 其潜在生态危害评价指标如表5示。

Table4 Reference values and Toxicity coefficients of heavy metals
表4 重金属的参照值和毒性系数

元素	Hg	Cu	Pb	Zn	Cd	Cr	As
$C_n^i (10^{-6})$	0.2	10.5	26.5	51.9	0.04	47.2	11.8
T_r^i	40	5	5	1	30	2	10

本研究根据甘居利提出的适用于沉积物潜在生态风险评价的分级标准(表5), 用于海南岛东北部红树林湿地沉积物潜在生态风险性评价。

由各重金属元素的潜在生态危害系数 E_r^i 及各站点综合风险指数 RI 的计算结果(表6)可知: 以各重金属元素的潜在生态危害系数 E_r^i 评价: 新盈港红树林湿地表层沉积物各重金属元素在各站点的指标值及评价值均在30以下, 反映各重金属元素的潜在生态危害性均处于轻微水平, 平均危害程度依次为Cd>As>Hg>Cu>Cr>Pb>Zn, Cd的危害性等级处于“轻”水平; 清澜港沉积物中Hg、Cu、Pb、Zn、Cd、As的生

态危害系数低于30, 潜在生态危害性极轻, 只有元素Cd在各站点差异明显, QJ-01、XB-01、LF-05、HW-01四站危害性等级依次为: 轻、轻、中等、极重, 平均值处于中等水平, 各元素平均危害程度由高到低的顺序与新盈港一致; 东寨港红树林沉积物中(除了Cd)各重金属元素在各站点的指标值及评价值均在30以下, 反映各重金属元素的潜在生态危害性均处于轻微水平, Cd的平均值处于中等危害水平, 其中YF-03站点处于极重状态, 各元素平均危害程度依次为Cd>Hg>Cu>As>Pb>Cr>Zn。

Table5 Indices and grades of potential risk assessment
表5 潜在生态危害评价指标

生态危害	轻微(极低)	轻(低)	中等	重	极重
------	--------	------	----	---	----

E_r^i	<30	30~50	50~100	100~150	≥ 150
RI	<100	100~150	150~200	200~300	≥ 300

Table6 Result of potential ecological risk assessment in study area
表6 研究区表层沉积物潜在生态风险评价结果

区域	站位	单一重金属潜在生态危害系数 E_r^i							RI	风险性
		Hg	Cu	Pb	Zn	Cd	Cr	As		
东寨港	YF-01	12.00	9.19	4.34	1.27	52.50	2.50	5.25	87.06	轻微
	YF-03	18.00	18.30	4.70	0.66	210.0	3.05	5.25	259.90	重
	YF-06	12.00	7.43	4.17	1.04	37.50	2.25	5.93	70.32	轻微
	YF-08	8.00	17.00	2.94	0.98	22.50	1.36	6.02	58.80	轻微
	YF-10	8.00	7.57	3.25	0.79	22.50	3.43	5.00	50.54	轻微
	PQ-02	8.00	4.52	2.57	0.58	22.50	1.10	5.68	44.95	轻微
	PQ-04	10.00	1.43	1.45	0.44	30.00	0.51	2.46	46.29	轻微
	平均值	10.86	9.35	3.35	0.82	56.79	2.03	5.08	88.27	轻微
清澜港	LF-05	12.00	6.14	4.60	0.83	52.50	1.70	13.30	91.08	轻微
	QJ-01	6.00	5.19	1.23	0.35	30.00	0.42	3.73	46.92	轻微
	HW-01	18.00	17.60	2.68	1.18	187.5	1.48	20.20	248.6	重
	XB-01	4.00	2.43	1.08	0.27	30.00	0.81	8.48	47.05	轻微
	平均值	10.00	7.85	2.40	0.66	75.00	1.10	11.40	108.40	轻
新盈港	CH-02	4.00	2.76	0.98	0.21	7.50	1.10	6.95	23.51	轻微
	CH-04	6.00	5.38	1.91	0.56	15.00	1.31	6.10	36.26	轻微
	CH-05	10.00	8.33	3.77	1.08	52.5	2.58	18.20	96.49	轻微
	BZ-03	4.00	5.10	1.58	0.52	15.00	2.46	7.03	35.69	轻微
	平均值	6.00	5.39	2.06	0.59	22.50	1.86	9.58	47.99	轻微

以综合生态风险指数 RI 评价：东寨港红树林湿地沉积物 RI 值的分布范围是 44.95~259.5，平均值 88.27，潜在生态风险风险性轻微，只有 YF-03 站点处于“重”风险水平；清澜港红树林湿地沉积物 RI 值的分布范围是 46.62~248.6，平均值 108.4，HW-01 站点潜在生态风险性已达到重的水平，其它站点处于轻微水平；新盈港 RI 值分布范围是 23.51~96.49，平均值 47.99，潜在生态风险风险性轻微，但 CH-05 站点潜在生态危害性接近低水平。

3.3 小结

3.3.1 研究区重金属环境质量

通过地质累积指数法和潜在生态风险指数法两种评价方法对海南岛东北部红树林湿地沉积物中重金属的污染状况及潜在生态风险性进行了评价，现将两

种评价方法进行对比总结：

地质累积指数 I_{geo} 的计算结果：Hg 在东寨港的 YF-01、YF-03，清澜港的 LF-05、HW-01 为轻度污染；Cu 在东寨港的 YF-01 和新盈港的 CH-05 为偏中度污染；Zn 在东寨港的 YF-01、清澜港的 HW-01、新盈港的 CH-05 为轻度污染。Cd 在东寨港的 YF-03 和清澜港的 HW-01 为偏中度污染；Cr 在东寨港的 YF-01、YF-03，新盈港的 CH-05、BZ-03 属于偏中度污染；清澜港的 LF-05、HW-01，新盈港的 CH-02、CH-04 为轻度污染；As 在东寨港的 YF-01、YF-03 为偏中度污染；在东寨港的 YF-06、YF-08，东寨港的 XB-01，新盈港的 CH-02、CH-04、BZ-03 为中毒污染；在清澜港的 LF-05、HW-01，新盈港的 CH-05 为偏重污染。Pb 在所有站点均无污染。

潜在生态风险指数 RI 计算结果：东寨港红树林

湿地沉积物潜在生态风险风险性轻微,只有YF-03站点处于“重”风险水平;清澜港红树林湿地沉积物HW-01站点潜在生态风险性已达到重的水平,其它站点处于轻微水平;新盈港潜在生态风险风险性轻微,但CH-05站点潜在生态危害性接近低水平。

3.3.2 污染元素与污染源探讨

研究区表层沉积物中各重金属元素的含量水平和污染评价结果表明,海南岛东北部红树林湿地沉积物总体环境质量较好,重金属污染不严重,但HW-01站位Cd、As、Cu的异常高值也敲响了警钟,地质累积指数 I_{geo} 与潜在生态风险指数 RI 的计算结果均显示HW-01站位Cd、As、Cu的污染,此站位明显受人类活动的影响,这应当与HW-01站位附近的虾塘及农业活动有直接关系,在其周围有大量虾塘,在饲料中含有大量的Cu添加剂,导致该地区的Cu的含量高于其它地区,也不排除工业和生活垃圾施用中使用的其他Cu污染物进入土壤环境的可性。人们在农业生产过程中大量使用农药,加重了本地区As污染。

工业排污对红树林沉积物重金属环境质量的影响主要体现清澜港。清澜港各重金属元素普遍含量较高,这一方面与其所处的内湾水动力作用较弱有关,另一方面则受到八门湾沿岸工矿企业排污的强烈影响。这些污染物质受八门湾泥沙运移机制的影响而易于在内湾的清澜港沉积,使其重金属元素的富集程度相对高于其它区域。

References(参考文献):

- [1] 林鹏,傅勤.中国红树林环境生态及经济利用[M].北京,高等教育出版社,1995.1-95.
Lin peng,Fu qin.The ecological environment and Economic utilization of mangrove in China [M].BeiJing, Higher education press, 1995.1-95.
- [2] Wang H B. Shu W S.Lan C Y. Ecology for heavy pollution:recent advances and futurep respects Acta Ecologica Sinica,2005,25(3):596—605.
- [3] Ray A K, Tripathy S C, Patra S, et al Assessment of Godavari estuarine mangrove ecosystem through trace metal studies Environment International,2006,219—223.
- [4] 贾振邦,霍文毅.应用次生相富集系数评价柴河沉积物重金属污染[J].北京大学学报(自然科学版),2000,36(6):808-812.
Jia zhen bang, Huo wen yi. Secondary phase enrichment factor for evaluation of heavy metal pollution of sediment in the Chai River[J].Acta scientiarum naturalium Universitatis pekinensis, Vol.36.No.6(Nov.2000):808-812
- [5] 符国波.海南东寨港红树林自然保护区的红树林[J].广西植物,1995, 15 (4) :340—346.
Fu Guo Ai. The Mangroves of dong zhai gang natural reserve,Hainan[J].Guang xi plants, 1995, 15 (4) :340—346.
- [6] 廖金凤.海南岛东北部红树林盐土的化学性质[J].中山大学学报(自然科学).1990, 9 (4) : 67-72.
Liao Jin feng. The chemical properties of the mangrove solonchak in the northeast part of Hainan island[J]. Supplement to the acta scieniarum naturalium universities sunyatseni. 1990, 9 (4) : 67-72.
- [7] Harbison P.D., Mangrove mubs - A sink and a source for trace metals.[J]Marine Pollution Bulletin,1986,17:246-250.
- [8] Lacerda L.D., Carvalho C.E.V., Tanizaki K.F., et al., The biogeochemistry and trace metals distribution of mangrove rhizospheres,[J]Biotropica,1993,25:252-257.
- [9] Defew L H, Mair J M, Guzman H M An assessment of metal contamination in mangrove sediments and leaves from Punta Mala Bay.[J] Pacific Panama Marine Pollution Bulletin,2005,50:547-552.
- [10] Kehrig H A, Pinto F N, Moreira I, et al. Heavy metals and methylmercury in a tropical coastal estuary and a mangrove in Brazil.[J] Organic Geochemistry, 2003, 34: 661-669.
- [11] Martin J.M.,Nirel P.,and Thomas A.J.Sequential extraction techniques:promises and problems.Marine Chemistry,1987,22:313-341.
- [12] Harbison P.D., Mangrove mubs - A sink and a source for trace metals.[J]Marine Pollution Bulletin,1986,17:246-250.
- [13] Lacerda L.D., Carvalho C.E.V., Tanizaki K.F., et al., The biogeochemistry and trace metals distribution of mangrove rhizospheres,[J]Biotropica,1993,25:252-257.
- [14] Defew L H, Mair J M, Guzman H M An assessment of metal contamination in mangrove sediments and leaves from Punta Mala Bay.[J] Pacific Panama Marine Pollution Bulletin,2005,50:547-552.
- [15] Kehrig H A, Pinto F N, Moreira I, et al. Heavy metals and methylmercury in a tropical coastal estuary and a mangrove in Brazil.[J] Organic Geochemistry, 2003, 34: 661-669.