

钦州湾东部海域表层水和浮游生物中六种 重金属含量和污染评价研究*

许尤厚^{1,2} 廖日权^{1,2①} 粟佳² 龚立兵²

(1. 广西北部湾海洋生物多样性养护重点实验室 钦州 535000; 2. 钦州学院 钦州 535000)

摘要 本文采用单因子污染指数法(SFI)和生物富集系数(BCF)分析并结合污染程度评价和海水水质标准,研究和评价了 2015 年 12 月钦州湾东部海域表层水和浮游生物中 Zn、Cd、Cr、Hg、As、Cu 六种重金属的含量和污染现状。结果表明,钦州湾东部海域表层水中重金属含量大小依次为 Cd>Cr>Zn>As>Cu>Hg,其中 Zn、As、Cu、Hg 含量符合国家一类海水水质标准,Cr 含量符合国家二类海水水质标准,Cd 含量超标;浮游生物中 Zn、Cd、Cr、Hg、As、Cu 含量依次为 6.57×10^1 mg/kg 干重、 1.51×10^{-1} mg/kg 干重、 4.13×10^{-1} mg/kg 干重、 9.48×10^{-3} mg/kg 干重、 1.85×10^{-1} mg/kg 干重、 6.89×10^0 mg/kg 干重,浮游生物中重金属含量远高于表层水中的重金属含量。浮游生物对重金属的富集系数最高达 40000,表明浮游生物对重金属有很强的富集能力。

关键词 钦州湾东部海域; 浮游生物; 重金属; 污染评价

中图分类号 P76; X55 doi: 10.11693/hyhz20170300057

长久以来,由于重金属污染引发的危害事件对环境和群众健康造成了严重威胁。重金属污染物主要来源于城市工业“三废”排放、金属采矿和冶炼、生活垃圾等,一般具有潜在危害性,残留时间长,污染后不易被发现且难于恢复。海洋环境中重金属不易被水中的微生物降解消除,一般经过“虾吃浮游生物,小鱼吃虾,大鱼吃小鱼”的水中食物链被富集,浓度逐级加大,并最终对海洋生态系统的结构和功能产生持久性的破坏。因此,海洋环境重金属的污染一直都是国内外研究热点(黄蔚霞等, 2012; Chiarelli *et al.*, 2014; Pinedo *et al.*, 2014; Otansev *et al.*, 2016; Trevizani *et al.*, 2016)。有关重金属污染的研究国内主要侧重于各海湾的水体与海洋沉积物,研究结果一致表明目前各海湾均存在不同程度的重金属污染,存在潜在的生态危害,会带来不利的生态效应(李玉等, 2013; 王小静等, 2015; 徐艳东等, 2015; 杜吉净等, 2016; 宋永刚等, 2016)。重金属在海洋生态系统中从水体最

终到海洋沉积物的传递过程,中间需要一个生物链传递的过程,其中浮游生物就是非常重要的一环,但是其规律仍难以准确掌握(王文雄等, 2004)。

钦州湾位于广西南部沿海,属南海北部湾的一部分,自北向南延伸。湾首及湾口都很开阔,中部较窄,呈两头大中间细的喇叭状,大部分海区底形较为平坦。湾内阳光充足,水温适宜,养分丰富,浮游生物多,鱼类资源丰富。随着 2008 年国家批准实施《广西北部湾经济区发展规划》,钦州湾临海重工业和港口物流迅速发展,而环境基础设施建设还很不完善,工农业污染和生活污水导致湾内重金属污染物在海水和沉积物中迅速蓄积(雷富等, 2013a)。目前已有文章报道北部湾和钦州湾海水、沉积物重金属污染的研究(张少峰等, 2010; 黄向青等, 2013; 姜发军等, 2013; 雷富等, 2013b; 舒俊林等, 2013),但对钦州湾浮游生物中重金属污染研究还未见报道。已有研究表明浮游生物处于水生食物链的底端,能通过多种方式富集

* 钦州学院校级科研项目, 2014PY-GJ08 号; 钦州市科学研究与技术开发项目, 2015270602 号; 广西自然科学基金项目, 2013GXNSBA019104 号。许尤厚, 博士, 副教授, E-mail: 36714447@qq.com

通讯作者: 廖日权, E-mail: 156193700@qq.com

收稿日期: 2017-03-16, 收修改稿日期: 2017-03-31

重金属, 重金属进入食物链后经过生物逐级放大, 高剂量的重金属将会对水生生物和人类的健康造成危害(Reinfelder *et al*, 1991; Fisher *et al*, 1995; Hutchins *et al*, 1995; Wang *et al*, 1996, 1998; Xu *et al*, 2001; 李杰等; 2011)。因此, 研究浮游生物中重金属污染对于环境保护和防治是具有重大意义的。本文以钦州湾东部海域为研究区域, 对该海域浮游生物中的重金属含量进行研究, 并对浮游生物对重金属的富集能力进行评价, 旨在为海洋资源的合理开发利用和环境保护及生物保护提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 样品采集

参照海洋监测规范 GB17378.3-2007 采集水样和浮游生物, 采样的地点共有 8 个, 具体的地理位置详见图 1.1, 各站点的 GPS 信息见表 1。表层海水经 2.5L 有机玻璃采水器采集, 用 0.45 μ m 纤维滤膜过滤, 备用; 浮游生物离心分离, 取其沉淀物备用。



图 1 钦州湾东部海湾各采样点分布图

Fig.1 The Sampling locations in the east Qinzhou Bay of Guangxi Province

表 1 钦州湾东岸河口海湾各采样点 GPS 信息表

Tab.1 The GPS information of collected positioning in the east of Qinzhou Bay

站点	地点	纬度	经度
QZ001	钦江	21°54'26.53"	108°36'9.31"
QZ002	犁头咀海湾	21°54'42.47"	108°35'35.96"
QZ003	沙井港海湾	21°53'11.30"	108°35'48.20"
QZ004	仙岛公园	21°52'5.87"	108°36'44.81"
QZ005	金鼓江海湾	21°44'19.50"	108°38'2.03"
QZ006	鹿耳环江海湾	21°41'56.66"	108°42'34.67"
QZ007	大灶江海湾	21°39'33.42"	108°43'46.93"
QZ008	月亮湾	21°38'57.13"	108°43'6.34"

1.2 主要仪器与试剂

1.2.1 仪器 原子吸收分光光度计(FAAS; 日立 HITACHI Z-2000), 非色散原子荧光光度计(北京普析通用仪器有限责任公司, PF6-3a), 电子分析天平(上海耀杰有限公司, FA2004), 电热恒温干燥箱(上海跃进医疗器械有限公司, GZX-DH.400BS-II), 循环水真空泵(巩义市予华仪器有限责任公司, SHZ-DIII), 电动离心机(上海梅香仪器有限公司, 800B), 台式高速冷冻离心机(湖南湘仪实验室仪器开发有限公司, H1650R/H1850R)智能微波消解仪(上海新拓分析仪器有限公司, XT-9912), 多用预处理加热仪(上海新拓分析仪器有限公司, XT-9800)。

1.2.2 试剂 Zn、Cd、Cr、Hg、As、Cu 标准溶液 100 μ g/ml, 硝酸, 抗坏血酸, 30%双氧水, 硫脲, 硼氢化钾, 氢氧化钠, 盐酸羟胺, 浓盐酸, 二乙氨基二硫代甲酸钠(DDTC), 苯二甲酸氢钾, 重铬酸钾, 甲基异丁酮(MIBK), 95%乙醇, 氨水, 二甲基黄, 高锰酸钾, 过硫酸钾等均为分析纯试剂。

1.3 样品处理

1.3.1 海水消解 根据海洋监测规范 GB17378-2007, 取 100mL 海水样品于 100mL 比色管中加入 2mL 硝酸, 5mL 过硫酸钾溶液, 室温消化 24h, 加入盐酸羟胺溶液, 摇匀, 待测。

1.3.2 浮游生物样消解 采用 HNO₃-H₂O₂ (4 : 1) 为消解溶剂的微波消解法。准确称取 0.5g 浮游生物样置于消化管, 以 HNO₃-H₂O₂ (4 : 1) 为消解溶剂, 充分混合 24h, 按照表 2 的条件进行微波消解, 得到澄清消解液。全量转入 10mL 具塞比色管中, 加 1mL 抗坏血酸溶液, 加水至标线, 混匀, 做好标记, 待测。

表 2 浮游生物样的微波消解程序
Tab.2 The microwave digestion procedure of biological samples

阶段	压力(Pa)	温度(°C)	时间(s)	功率(W)
①	5	130	420	1200
②	10	150	420	1200
③	15	170	420	1200
④	20	180	420	1200
⑤	20	185	420	1200

1.4 样品测试条件

表层水和浮游生物经消解后, 采用原子荧光光谱法测定样品的 As、Hg 元素含量, 采用石墨炉原子吸收法测定 Cd、Cr 元素含量, 采用火焰原子吸收光谱法测定 Zn、Cu 元素含量。每个样品制备 3 组平行

样,取平均值,同时做试剂空白对照,并以标准溶液进行质量控制。

1.5 数据处理与评价方法

本文采用Origin软件对数据进行处理分析,采用单因子污染指数法评价不同重金属污染状况,其计算公式如下:

$$P_i = \frac{C_i}{S_i}$$

式中, P_i 为第 i 种重金属的单因子污染指数; C_i 为第 i 种重金属实测含量的均值(mg/L); S_i 为第 i 种重金属的限量标准(mg/L)。当 $P_i \leq 1$ 时,表示水质未受污染;当 $P_i > 1$ 时,表示水质受到污染, P_i 值越大,表明受到的污染越严重。

为了分析浮游生物对海洋中重金属的生物富集能力,本文计算了生物富集系数(Bioconcentration factors, BCF), $BCF = \text{生物体的重金属含量(mg/kg)} / \text{表层水的重金属含量(mg/L)}$ 。BCF值越高,则表明生物从水中富集重金属的量越大(鄢昭等, 2015)。本文依据调查海域重金属含量情况,采用国家一类海水水质标准(GB 3097-1997) (国家环境保护局等, 2004)对水样进行评价。

2 结果与讨论

2.1 钦州湾东部海域水体中重金属质量浓度及其评价

钦州湾东部海域水体重金属质量浓度和评价统计分析结果见表3。由表3可以看出,钦江、犁头咀、沙井港、仙岛公园、金鼓江、大灶江、月亮湾和鹿耳环江八个站点水体中重金属均有检出,总含量分别

为 7.30×10^{-1} mg/L、 8.92673×10^{-2} mg/L、 1.97×10^{-1} mg/L、 1.61×10^{-1} mg/L、 3.92×10^{-1} mg/L、 2.75×10^{-1} mg/L、 9.17×10^{-1} mg/L、 1.59×10^0 mg/L。各站点重金属总含量中鹿耳环江总含量最高,其余站点含量大小顺序依次为月亮湾>钦江>金鼓江>大灶江>沙井港>仙岛公园>犁头咀。钦州湾东部海域水体中重金属 Zn、Cd、Cr、Hg、As 和 Cu 的平均浓度分别为 8.40×10^{-3} mg/L、 4.28×10^{-1} mg/L、 1.06×10^{-1} mg/L、 2.05×10^{-5} mg/L、 8.45×10^{-4} mg/L、 6.30×10^{-4} mg/L; 其中 Cd 含量远高于其他重金属含量, Cr 含量次之。水体中各种重金属单因子指数污染程度依次为 $Cd(427.6) > Cr(2.127) > Zn(0.419) \approx Hg(0.410) > Cu(0.126) > As(0.042)$, 其中 Cd 污染最为严重。分析其原因:鹿耳环江位于钦州港经济开发区下游,拥有造纸和石化两大工业园区,鹿耳环江海域的重金属污染与园区内企业生产排放的工业污水有关;鹿耳环江是主要的入海河流之一,其沿岸的工业废水和生活污水排放也是造成重金属含量偏高的重要原因。

2.2 钦州湾东部海域水质重金属组成污染评价

钦州湾东部海域不同采样点海水重金属组成含量如图2所示。由图2可知,不同采样点海水中重金属元素含量存在一定的空间差异。Zn、Hg、As、Cu 平均含量符合国家一类海水水质标准, Cr 平均含量符合国家二类海水水质标准, Cd 平均含量严重超标; 其中 Hg、As、Cu 所有采样点均为一类海水, Zn 一类海水比例占 87.5%, 钦江站点出现二类海水, 这是由于钦江是贯穿整个钦州市区东部工业区的主要河流, 且沿岸居民楼众多, 大量的工业废水和生活污水排入钦江造成的; Cr 一类海水比例占 57.1%, 二类海水

表3 钦州湾东部海域水体重金属质量浓度及评价状况(mg/L)

Tab.3 The concentration of heavy metals and the status of the evaluation in water of the east of Qinzhou Bay (mg/L)

样品名称	Zn	Cd	Cr	Hg	As	Cu	总量
钦江	2.67×10^{-2}	7.03×10^{-1}	2.16×10^{-2}	2.87×10^{-5}	6.01×10^{-4}	5.03×10^{-4}	7.30×10^{-1}
犁头咀	3.63×10^{-3}	6.94×10^{-2}	1.48×10^{-2}	1.88×10^{-5}	7.11×10^{-4}	7.05×10^{-4}	8.93×10^{-2}
沙井港	9.43×10^{-3}	1.49×10^{-1}	3.66×10^{-2}	1.52×10^{-5}	1.58×10^{-3}	2.35×10^{-4}	1.97×10^{-1}
仙岛公园	1.63×10^{-2}	9.81×10^{-2}	4.52×10^{-2}	1.82×10^{-5}	6.90×10^{-4}	7.73×10^{-4}	1.61×10^{-1}
金鼓江	8.67×10^{-4}	3.39×10^{-1}	5.07×10^{-2}	3.94×10^{-5}	1.05×10^{-3}	5.62×10^{-4}	3.92×10^{-1}
大灶江	5.10×10^{-3}	2.04×10^{-1}	6.41×10^{-2}	1.42×10^{-5}	9.0×10^{-4}	7.0×10^{-4}	2.75×10^{-1}
月亮湾	1.0×10^{-4}	3.13×10^{-1}	6.03×10^{-1}	1.23×10^{-5}	4.30×10^{-4}	7.02×10^{-4}	9.17×10^{-1}
鹿耳环江	4.7×10^{-3}	1.54×10^0	3.66×10^{-2}	1.75×10^{-5}	8.0×10^{-4}	1.36×10^{-3}	1.59×10^0
平均值	8.40×10^{-3}	4.28×10^{-1}	1.06×10^{-1}	2.05×10^{-5}	8.45×10^{-4}	6.30×10^{-4}	—
P_i	0.419	427.6	2.127	0.410	0.042	0.126	—
污染程度评价	未污染	严重污染	严重污染	未污染	未污染	未污染	—
海水一类标准	0.020	0.001	0.05	0.00005	0.020	0.005	—

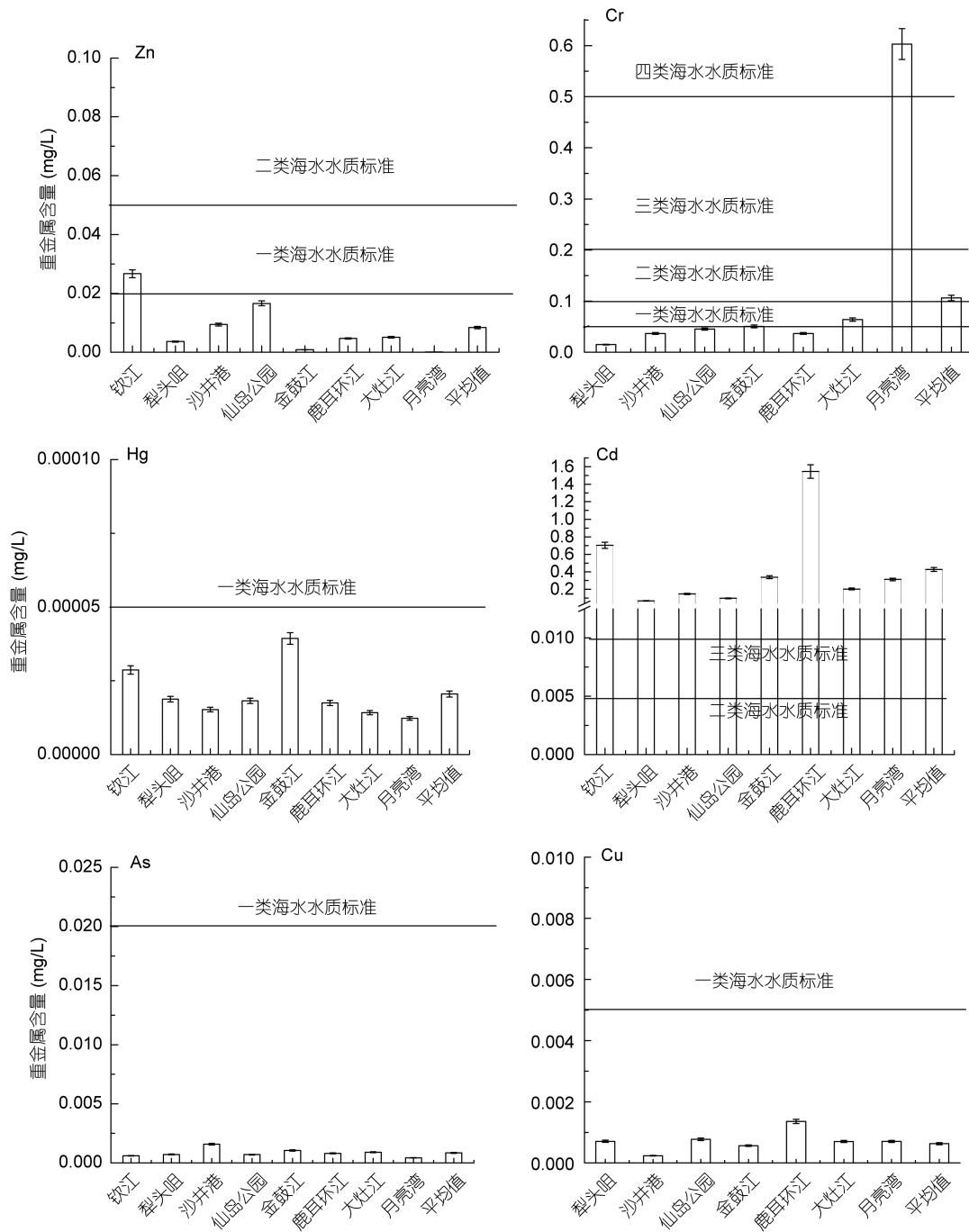


图 2 钦州湾东部海域水质重金属组成污染评价

Fig.2 The heavy metal composition pollute evaluation of water in the east of Qinzhou Bay

为 28.6%，钦江站点未检出，月亮湾站点超过国家四类海水水质标准，这可能是月亮湾水产养殖带来的污染以及月亮湾呈倒 U 型的地形，潮流动力较弱，难以扩散造成；各站点 Cd 均超标，污染严重，应当引起注意。

2.3 钦州湾东部海域浮游生物体中重金属含量

钦州湾东部海域浮游生物体中重金属含量统计

分析结果见表 4。由表 4 可以看出：钦江、犁头咀、沙井港、仙岛公园、金鼓江、大灶江、月亮湾和鹿耳环江八个站点浮游生物体中重金属总含量分别为 $5.65 \times 10^0 \text{mg/kg}$ 干重、 $4.65 \times 10^0 \text{mg/kg}$ 干重、 $3.23 \times 10^2 \text{mg/kg}$ 干重、 $2.00 \times 10^1 \text{mg/kg}$ 干重、 $1.63 \times 10^1 \text{mg/kg}$ 干重、 $2.43 \times 10^1 \text{mg/kg}$ 干重、 $1.24 \times 10^1 \text{mg/kg}$ 干重、 $2.53 \times 10^0 \text{mg/kg}$ 干重。各站点重金属总含量排序为沙

井港>大灶江>仙岛公园>金鼓江>月亮湾>钦江>犁头咀>鹿耳环江;沙井港重金属总含量最高,分析其原因:沙井港位于钦江支流入海口,沿岸的工业废水和生活污水排放造成重金属含量偏高;沙井港是重要码头之一,船舶带来的重金属也使得含量增高;沙井港是主要的水产养殖区之一,养殖污水是造成重金属含量偏高的原因之一;沙井港作为旅游观光点,人类活动频繁,也是引起重金属含量偏高的重要原因。钦州湾东

部海域体浮游生物中重金属 Zn、Cd、Cr、Hg、As 和 Cu 的平均浓度分别为 $6.57 \times 10^1 \text{mg/kg}$ 干重、 $1.51 \times 10^{-1} \text{mg/kg}$ 干重、 $4.14 \times 10^{-1} \text{mg/kg}$ 干重、 $9.48 \times 10^{-3} \text{mg/kg}$ 干重、 $1.86 \times 10^{-1} \text{mg/kg}$ 干重、 $6.90 \times 10^0 \text{mg/kg}$ 干重;其中 Zn 含量远高于其他重金属含量,Cu 含量次之,这与生物体生命活动有关。各站点浮游生物体中重金属总含量均高于水体中重金属总含量;除 Cd 外,浮游生物体中各重金属平均含量均高于水体中重金属平均含量。

表 4 钦州湾东部海域浮游生物体中重金属含量(mg/kg)
Tab.4 The heavy metal content in planktonic of Qinzhou Bay (mg/kg)

样品名称	Zn	Cd	Cr	Hg	As	Cu	总量
钦江	4.80×10^0	4.14×10^{-2}	4.76×10^{-1}	2.68×10^{-2}	3.10×10^{-1}	1.12×10^0	5.65×10^0
犁头咀	2.92×10^0	8.6×10^{-3}	2.47×10^{-1}	1.56×10^{-2}	1.34×10^{-1}	1.33×10^0	4.65×10^0
沙井港	3.21×10^2	8.0×10^{-3}	2.83×10^{-1}	4.83×10^{-3}	7.65×10^{-2}	9.34×10^{-1}	3.23×10^2
仙岛公园	1.33×10^1	7.16×10^{-1}	3.06×10^{-1}	4.70×10^{-3}	1.89×10^{-1}	5.50×10^0	2.00×10^1
金鼓江	1.17×10^1	8.6×10^{-3}	2.47×10^{-1}	5.20×10^{-3}	1.60×10^{-1}	4.19×10^0	1.63×10^1
大灶江	1.14×10^2	3.13×10^{-1}	4.28×10^{-1}	1.48×10^{-2}	2.62×10^{-1}	6.90×10^0	2.43×10^1
月亮湾	4.49×10^1	2.57×10^{-1}	1.02×10^0	2.27×10^{-3}	1.21×10^{-1}	2.81×10^1	1.24×10^1
鹿耳环江	1.33×10^1	1.82×10^{-2}	3.0×10^{-1}	1.63×10^{-3}	2.31×10^{-1}	1.37×10^0	2.53×10^0
平均值	6.57×10^1	1.51×10^{-1}	4.14×10^{-1}	9.48×10^{-3}	1.86×10^{-1}	6.90×10^0	-

2.4 钦州湾东部海域浮游生物体重金属含量组成比例和变化

钦州湾东部海域不同采样点浮游生物体中重金属含量组成比例如图 3 所示。由图 3 可知,钦江浮游生物中重金属含量排序为 $\text{Zn} > \text{Cr} > \text{As} > \text{Cd} > \text{Hg}$,其中 Cu 未检出;犁头咀为 $\text{Zn} > \text{Cu} > \text{Cr} > \text{As} > \text{Hg} > \text{Cd}$;沙井港为 $\text{Zn} > \text{Cu} > \text{Cr} > \text{As} > \text{Hg} > \text{Cd}$;仙岛公园为 $\text{Zn} > \text{Cu} > \text{Cd} > \text{Cr} > \text{As} > \text{Hg}$;金鼓江为 $\text{Zn} > \text{Cu} > \text{Cr} > \text{As} > \text{Cd} > \text{Hg}$;鹿耳环江 $\text{Zn} > \text{Cu} > \text{Cr} > \text{As} > \text{Cd} > \text{Hg}$;大灶江 $\text{Zn} > \text{Cu} > \text{Cr} > \text{As} > \text{Hg}$,其中 Cd 未检出;月亮湾 $\text{Zn} > \text{Cu} > \text{Cr} > \text{Cd} > \text{As} > \text{Hg}$;除钦江站点未检出 Cu 外,其他各站点 Zn、Cu 含量之和超过 90%,远远高于其他重金属含量;Zn 和 Cu 作为生物体的必需微量元素,在生物体的新陈代谢和生长中起着重要的生物学作用,因此存在主动吸收的现象;Cr 是除 Zn 和 Cu 外,含量第三位的元素,这是因为 Cr 是必需微量元素之一,它对生物体正常生长发育和核糖代谢具有重要作用;浮游生物体内重金属含量差异受多种因素的影响,如重金属的种类、性质,水体中重金属的浓度,浮游生物的种类、栖息环境等。

2.5 钦州湾东部海域重金属的浮游生物-水质富集系数

本文以各采样点 6 种重金属在浮游生物中的含

量与相应采样点水中重金属含量的比值来计算重金属在浮游生物中的富集系数用以反映浮游生物对重金属的富集能力大小,其结果见表 5。由于未检测出钦江水体中 Cr 的含量,因此以 Cr 的仪器检出限 0.91mg/L 计算生物体对水体中重金属的富集系数。钦州湾东部海域浮游生物对重金属的富集系数最高达到 40000 之多,表明浮游生物对重金属有很强的富集能力,且可以看出各个采样点浮游生物对不同重金属的富集系数差异较大。水体中的浮游生物对重金属的强大富集能力可能与它们数量多、代谢活跃、比表面积大有关,可以快速吸附吸收水体中的重金属。钦江浮游生物对不同重金属的富集系数排序为 $\text{Hg} > \text{As} > \text{Zn} > \text{Cr} > \text{Cd}$,其中 Cu 未检出;犁头咀为 $\text{Cu} > \text{Hg} > \text{Zn} > \text{As} > \text{Cr} > \text{Cd}$;沙井港为 $\text{Zn} > \text{Cu} > \text{Hg} > \text{As} > \text{Cr} > \text{Cd}$;仙岛公园为 $\text{Cu} > \text{Zn} > \text{As} > \text{Hg} > \text{Cd} > \text{Cr}$;金鼓江为 $\text{Zn} > \text{Cu} > \text{As} > \text{Hg} > \text{Cr} > \text{Cd}$;鹿耳环江为 $\text{Zn} > \text{Cu} > \text{As} > \text{Hg} > \text{Cr} > \text{Cd}$;大灶江为 $\text{Zn} > \text{Cu} > \text{As} > \text{Hg} > \text{Cr}$,其中 Cd 未检出;月亮湾为 $\text{Cu} > \text{Zn} > \text{As} > \text{Hg} > \text{Cr} > \text{Cd}$;各个采样点浮游生物 Cr、Cd 的富集系数较小,对 Zn、Cu、As 和 Hg 的富集系数较大,可见浮游生物对重金属的富集有选择性。除了钦江中 Hg、As 的富集系数较大外,其他采样点 Zn、Cu 的富集系数较大,这是由于 Zn、Cu 是生物体内维持生命所必须的金属元素,所以高

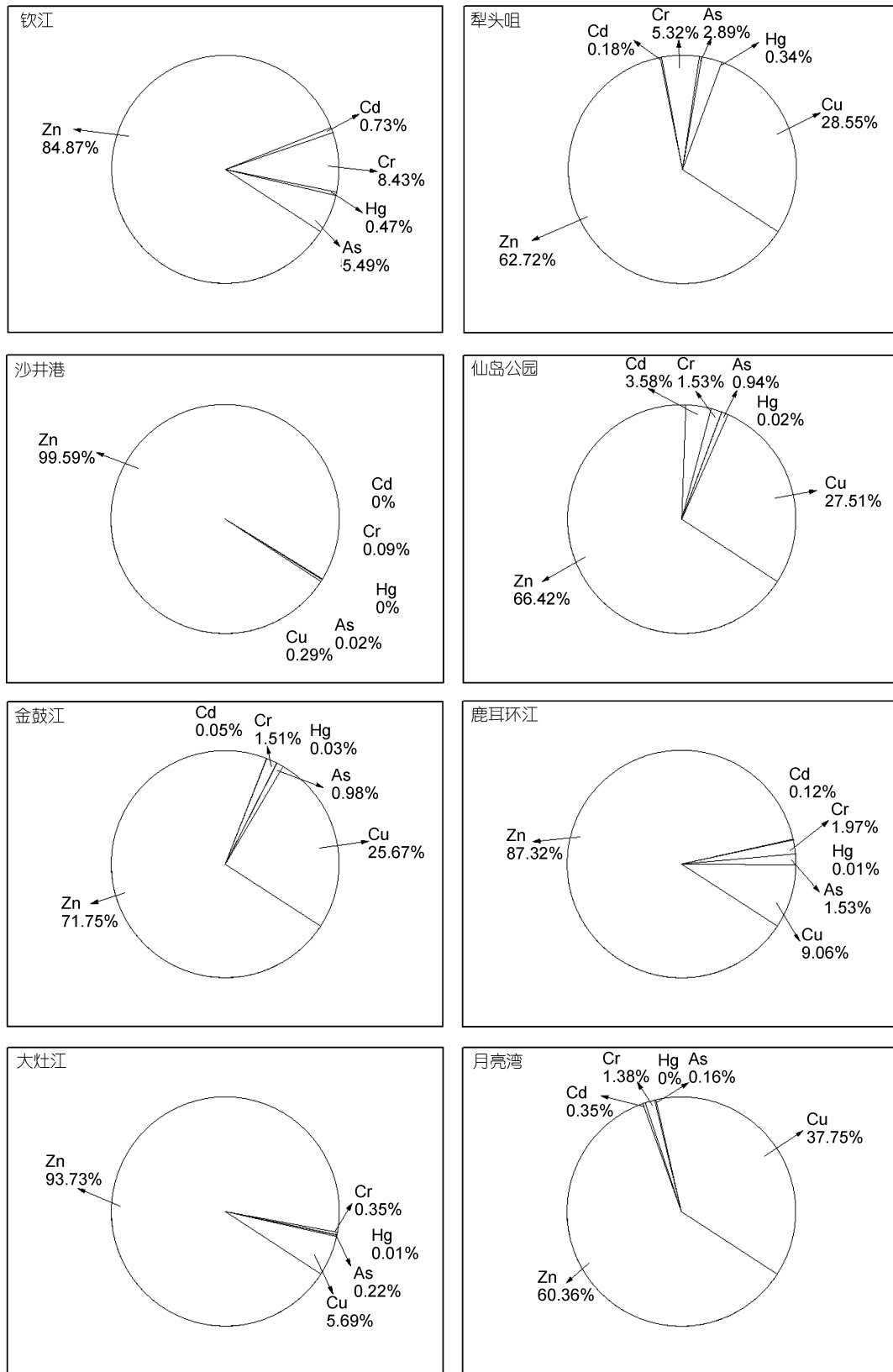


图3 钦州湾东部海域浮游生物体中重金属含量组成比例
 Fig.3 The heavy metals composition in planktonic of Qinzhou Bay

表5 钦州湾东部海域中浮游生物的重金属富集系数
Tab.5 The heavy metal enrichment coefficient of plankton in Qinzhou Bay

BCF	Zn	Cd	Cr	Hg	As	Cu
钦江	1.80×10^2	5.90×10^{-2}	5.23×10^{-1}	9.28×10^2	5.16×10^2	—
犁头咀	8.03×10^2	0.12×10^0	1.67×10^1	8.36×10^2	1.89×10^2	1.88×10^3
沙井港	3.42×10^4	0.05×10^0	7.74×10^0	3.18×10^2	4.85×10^1	3.97×10^3
仙岛公园	7.99×10^2	7.30×10^0	6.77×10^0	2.58×10^2	2.74×10^2	7.12×10^3
金鼓江	1.35×10^4	2.54×10^0	4.88×10^0	1.32×10^2	1.52×10^2	7.46×10^3
鹿耳环江	2.82×10^3	1.18×10^{-2}	8.15×10^0	9.39×10^1	2.90×10^2	1.01×10^3
大灶江	2.23×10^4	—	6.68×10^0	1.04×10^3	2.91×10^3	9.86×10^3
月亮湾	4.49×10^2	0.82×10^0	1.7×10^0	1.86×10^2	2.81×10^2	4.00×10^4

于其他几类非生命必须金属元素。调查海域中各采样点 As 的富集系数都较大,这是由于环境和生物体内的部分有机砷可被海洋生物选择性富集(Francesconi *et al.*, 2004)所致。由于 Hg 的转化和排出很缓慢,能长期保存在生物体内,所以富集系数较大。

2.6 钦州湾东部海域浮游生物体中重金属含量的分布特征

钦州湾东部海域浮游生物体中重金属含量分布如图4所示,沙井港站点浮游生物体中 Zn 含量测得最大值,达 321.218mg/kg 干重,分析其原因:沙井港位于钦江支流入海口处,沿岸工业废水和生活污水排放带来大量重金属污染;沙井港作为重要增殖区,所投放的饲料中含有 Zn 元素。仙岛公园 Cd 含量测得最大值,为 0.7161mg/kg 干重,仙岛公园位于七十二泾景区内,旅游业发达,大量的观光船造成了一定的污染;仙岛公园下游的钦州港经济开发区拥有造纸和石化两个大型工业园,所排放的大量废水经潮流扩散作用涌入景区所在睡衣使得重金属污染增加。月亮湾 Cr、Cu 含量测得最大值分别为 1.0246mg/kg 干重、28.0551mg/kg 干重,月亮湾作为旅游区和养殖区,人类活动频繁,生活垃圾和污水大量排放以及饲料投放使得重金属含量增加;月亮湾的地形呈倒“U”型,海水扩散运动较弱,使得污染物在湾内蓄积。钦江 Hg、As 含量测得最大值分别为 0.02683mg/kg 干重、0.3101mg/kg 干重,钦江作为主要的入海河流之一,贯穿钦州东部工业区和居民区,工业废水、废气和生活垃圾、污水大量排入带来了严重的重金属污染。

2.7 钦州湾东部海域表层水中和浮游生物体中重金属含量关系比较

由图5可以看出,浮游生物重金属含量总体呈“U”型,水体重金属含量总体呈一个勺子状,二者存

在此消彼长的关系。Zn、Cu 作为生物体生命必需微量元素,所以浮游生物体中 Zn、Cu 含量远高于水体中的含量;除仙岛公园浮游生物体中 Cd 含量超过水体中的含量外,其余站点水体中 Cd 含量均大于浮游生物体内的含量,这可能与浮游生物的栖息环境和种类有关,Cd 是蓄积性毒物,底栖和固着类生物比游泳类和浮游类生物吸附能力大得多,所以导致浮游生物体内含量较水体中低;总体来说,浮游生物体中重金属含量比水体中的多得多,呈现出重金属从水体→浮游生物的迁移转化规律,随着食物链的层层递进,将会危害高级生物,最终损害人体健康。因此,应加大钦州湾重金属污染排放控制和治理力度。

3 结论

(1) 钦州湾东部海域表层水中重金属含量依次为 $Cd > Cr > Zn > As > Cu > Hg$,其中 Zn、As、Cu、Hg 含量符合国家一类海水水质标准;Cr 含量符合国家二类海水水质标准, $P_i=2.127$,水质受到污染;Cd 含量超标 $P_i=427.6$,水质污染严重。

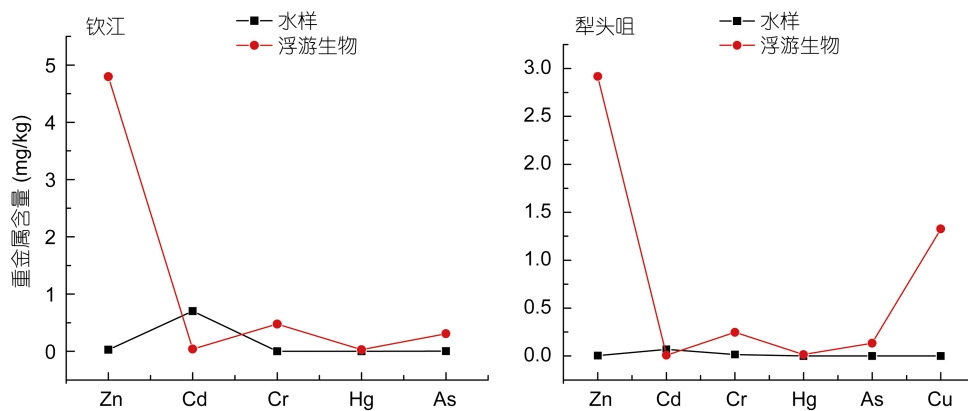
(2) 浮游生物中 Zn、Cd、Cr、Hg、As、Cu 含量依次为 $6.57 \times 10^1 \text{mg/kg}$ 干重、 $1.51 \times 10^{-1} \text{mg/kg}$ 干重、 $4.13 \times 10^{-1} \text{mg/kg}$ 干重、 $9.48 \times 10^{-3} \text{mg/kg}$ 干重、 $1.85 \times 10^{-1} \text{mg/kg}$ 干重、 $6.89 \times 10^0 \text{mg/kg}$ 干重;除钦江站点未检出 Cu 外,其他各站点 Zn、Cu 含量之和超过 90%,远远高于其他重金属含量,Zn、Cu 的富集系数也较大,这是由于 Zn、Cu 是生物体内维持生命所必须的金属元素,所以高于其他几类非生命必须金属元素。

(3) 浮游生物体中重金属含量比水体大,呈现出重金属从水体→浮游生物的迁移转化规律,含量呈此消彼长的关系,随着食物链的层层递进,将会危害高级生物,最终损害人类健康。因此,应加大钦州湾重金属污染排放控制和治理力度。



图 4 钦州湾东部海域浮游生物体中重金属含量分布图

Fig.4 The distribution of heavy metal content in plankton of Qinzhou Bay



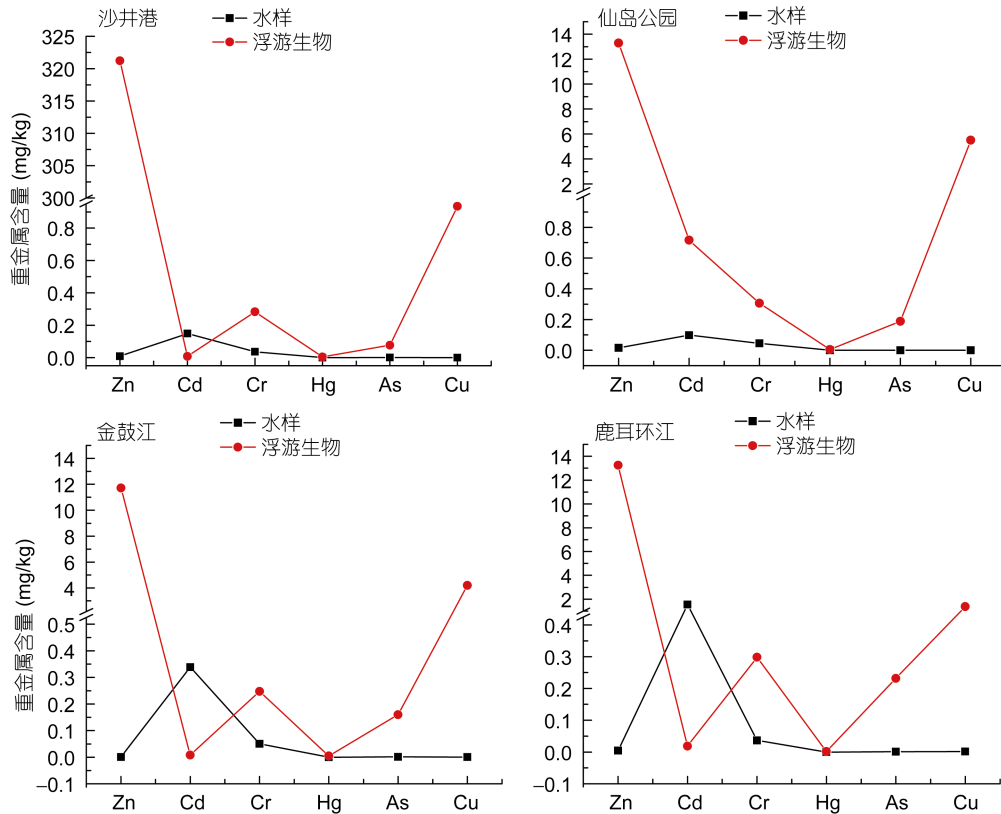


图5 钦州湾东部海域表层水中和浮游生物体中重金属含量关系图

Fig.5 The relationship of heavy metal content in water and planktonic of Qinzhou Bay

参 考 文 献

- 王小静, 李力, 高晶晶等, 2015. 渤海西南部近岸功能区表层沉积物重金属形态分析及环境评价. 海洋与湖沼, 46(3): 517—525
- 王文雄, 潘进芬, 2004. 重金属在海洋食物链中的传递. 生态学报, 24(3): 599—604
- 宋永刚, 吴金浩, 邵泽伟等, 2016. 辽东湾近岸表层海水重金属污染分析与评价. 渔业科学进展, 37(3): 14—19
- 张少峰, 林明裕, 魏春雷等, 2010. 广西钦州湾沉积物重金属污染现状及潜在生态风险评价. 海洋通报, 29(4): 450—454
- 李玉, 冯志华, 2013. 连云港对虾养殖区表层沉积物重金属污染评价. 海洋与湖沼, 44(6): 1457—1461
- 李杰, 彭福利, 丁栋博等, 2011. 湘江藻类水华结构特征及对重金属的积累. 中国科学: 生命科学, 41(8): 669—677
- 杜吉净, 毛龙江, 谭志海等, 2016. 海州湾岩芯沉积物重金属污染评价和来源分析. 海洋环境科学, 35(6): 814—821
- 国家环境保护局, 国家海洋局, 2004. GB 3097-1997 海水水质标准. 北京: 环境科学出版社
- 姜发军, 尹闯, 张荣灿等, 2013. 2010年冬季广西北部湾近岸海域表层海水和沉积物中重金属污染现状及评价. 海洋环境科学, 32(6): 824—830
- 徐艳东, 魏潇, 杨建敏等, 2015. 山东近岸海域表层沉积物7种重金属污染特征和生态风险评估研究. 海洋与湖沼, 46(3): 652—658
- 黄向青, 林进清, 张顺枝等, 2013. 广西钦州湾—北海海域海水重金属分布与评价. 海洋环境科学, 32(5): 729—735, 762
- 黄蔚霞, 颜文, 刘云旭等, 2012. 湛江港表层沉积物重金属的分布及其潜在生态风险评价. 海洋环境科学, 31(5): 639—643
- 舒俊林, 王运芳, 韦细姣, 2013. 钦州湾表层沉积物重金属分布特征. 广西科学院学报, 29(4): 224—226
- 鄢昭, 刘婷, 孙俊霞等, 2015. 矿区湖泊微型浮游生物对重金属的富集研究——以湖北大冶湖和磁湖为例. 安全与环境工程, 22(3): 28—34
- 雷富, 陈宪云, 许铭本等, 2013a. 广西茅尾海海水和表层沉积物中重金属污染的调查及评价. 广西科学院学报, 29(3): 176—180, 185
- 雷富, 张荣灿, 陈宪云等, 2013b. 夏季广西北部湾近岸海域海水和表层沉积物中重金属污染现状及评价. 海洋技术, 32(2): 94—100
- Chiarelli R, Roccheri M C, 2014. Marine Invertebrates as Bioindicators of Heavy Metal Pollution. Open Journal of Metal, 4(4): 93—106
- Fisher N S, Reinfelder J R, 1995. The trophic transfer of metals in marine systems. In: Tessier A, Turner D R eds. Metal Speciation and Bioavailability in Aquatic Systems. New York: Wiley, 363—406
- Francesconi K A, Kuehnelta D, 2004. Determination of arsenic species: a critical review of methods and applications,

- 2000—2003. *The Analyst*, 129(5): 373—395
- Hutchins D A, Wang W X, Fisher N S, 1995. Copepod grazing and the biogeochemical fate of diatom iron. *Limnology and Oceanography*, 40(5): 989—994
- Otansev P, Taşkin H, Başsarı A *et al*, 2016. Distribution and environmental impacts of heavy metals and radioactivity in sediment and seawater samples of the Marmara Sea. *Chemosphere*, 154: 266—275
- Pinedo S, Jordana E, Flagella M M *et al*, 2014. Relationships between heavy metals contamination in shallow marine sediments with industrial and urban development in Catalonia (Northwestern Mediterranean Sea). *Water, Air, & Soil Pollution*, 225(9): 2084
- Reinfelder J R, Fisher N S, 1991. The assimilation of elements ingested by marine copepods. *Science*, 251(4995): 794—796
- Trevizani T H, Figueira R C L, Ribeiro A P *et al*, 2016. Bioaccumulation of heavy metals in marine organisms and sediments from Admiralty Bay, King George Island, Antarctica. *Marine Pollution Bulletin*, 106(1—2): 366—371
- Wang W X, Fisher N S, 1996. Assimilation of trace elements and carbon by the mussel *Mytilus edulis*: effects of food composition. *Limnology and Oceanography*, 41(2): 197—207
- Wang W X, Fisher N S, 1998. Accumulation of trace elements in a marine copepod. *Limnology and Oceanography*, 43(2): 273—283
- Xu Y, Wang W X, 2001. Individual responses of trace-element assimilation and physiological turn over by the marine copepod *Calanus sinicus* to changes in food quantity. *Marine Ecology Progress Series*, 218: 227—238

THE CONTENT AND POLLUTION EVALUATION OF SIX HEAVY METALS IN SURFACE WATER AND PLANKTON IN THE EASTERN AREA OF QINZHOU BAY

XU You-Hou^{1,2}, LIAO Ri-Quan^{1,2}, SU Jia², GONG Li-Bing²

(1. Guangxi Key Laboratory of Beibu Gulf Marine Biodiversity Conservation, Qinzhou University, Qinzhou 535000, China;
2. Qinzhou University, Qinzhou 535000, China)

Abstract With field observation data of heavy metal pollution in surface water and plankton in the eastern area of Qinzhou Bay in December 2014, combined with pollution degree evaluation and seawater quality standard, the content and pollution evaluation of six heavy metals were assessed in these areas by adopting single factor index (SFI), enrichment factor analysis. The results showed that the contents of heavy metals on the surface ocean water of the eastern area in the Qinzhou Bay were Cd>Cr>Zn>As>Cu>Hg, the content of Zn, As, Cu, Hg has reached national class I seawater standards for water quality and the content of Cr meet the national class II seawater standards while the content of Cd in Zn and Cd exceed the standard; the heavy metal Cr, Hg, As and Cu contents were 6.57×10^1 mg/kg dry weight, 1.51×10^{-1} mg/kg dry weight, 4.13×10^{-1} mg/kg dry weight, 9.48×10^{-3} mg/kg dry weight, 1.85×10^{-1} mg/kg mg/kg dry weight, 6.89×10^0 mg/kg dry weight respectively in plankton. The heavy metal contents in plankton are much higher than that of surface ocean water. Plankton concentration coefficient of heavy metals is up to 40000, indicating that plankton has a strong ability to concentrate heavy metals.

Key words the eastern area of Qinzhou Bay; plankton; heavy metals; pollution evaluation