

东洞庭湖与大通湖水体沉积物和生物体中 Cd Pb Hg As 的含量分布及相互关系

祝云龙^{1,2}, 姜加虎¹, 黄 群¹, 孙占东¹, 王红娟¹, 周云凯^{1,2}

(1. 中国科学院南京地理与湖泊研究所, 江苏 南京 210008; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘要:于 2005 年 11 月采集了东洞庭湖与大通湖区的湖水、沉积物和生物样品,并测定了水、沉积物和水生生物样品中重金属(Cd、Pb、Hg、As)的含量。结果表明,东洞庭湖与大通湖区的湖水绝大部分都属于 I 类水质,且 Cd、Pb、Hg 的含量低于洞庭湖湖水的背景值,As 的含量高于洞庭湖湖水的背景值。沉积物中的 Cd、Pb、Hg、As 的含量都高于相应的洞庭湖沉积物背景值,其中以岳阳港和鹿角附近的沉积物中 Cd、Pb、Hg、As 的含量最高,是污染最严重的地方,且高于美国和加拿大淡水沉积物的上限,很有可能会对周围的生物体产生危害。不同鱼类中重金属含量的大小顺序是:中下层鱼类>中上层鱼类,肉食性鱼类>植食性鱼类,方形环棱螺肉体内重金属含量是东洞庭湖的东岸大于东洞庭湖的西岸,以鹿角和岳阳港最高,且鱼类和螺类重金属含量都没有超过无公害水产品的限量标准和人体消费标准,是比较安全放心的食品。

关键词:湖水;沉积物;鱼肉;螺肉;重金属

中图分类号:X83 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-2043(2008)04-1377-08

Contents, Distribution and Correlation of Cd, Pb, Hg, As in Water, Sediment and Organsims from East Dongting Lake and Datong Lake

ZHU Yun-long^{1,2}, JIANG Jia-hu¹, HUANG Qun¹, SUN Zhan-dong¹, WANG Hong-juan¹, ZHOU Yun-kai^{1,2}

(1. Nanjing Institute of Geography and Limnology, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China; 2. Graduate School of Chinese Academy of Science, Beijing 100049, China)

Abstract: Samples of lake water, bottom sediment and organisms' muscles were obtained from East Dongting Lake and Datong Lake in November 2005, concentrations of Cd, Pb, Hg and As in water, bottom sediment and organisms were analyzed. Results showed that most samples' concentrations of Cd, Pb, Hg and As in lake water were lower than the values of class I of Chinese surface fresh water quality standards, and average concentrations of Cd, Pb, Hg in lake water were lower than environmental background concentrations of Dongting Lake water, however average concentrations of As in lake water were higher than that. Average concentrations of Cd, Pb, Hg and As in sediments were higher than environmental background concentrations of Dongting lake sediments, and concentrations of Cd, Pb, Hg and As in LuJiao and YueYang Port were higher than other samples sites and the values of fresh water sediment standards in USA and Canada, and is probably dangerous to other organisms in water and sediments or to humans feed on the organisms. There were different concentrations of cadmium, lead, mercury and arsenic in different fish species, i.e. concentrations of Cd, Pb, Hg and As in demersal fish species were higher than that in pelagic fish species, and concentrations of Cd, Pb, Hg and As in piscivorous fish species were higher than that in herbivorous fish species. Concentrations of Cd, Pb, Hg and As in *Bellamya quadrata* from east shore of East Dongting Lake are higher than that from west shore of East Dongting Lake, and concentrations of Cd, Pb, Hg and As in the place of LuJiao and Yueyang Harbor is the highest. Concentrations of Cd, Pb, Hg and As in fish species and *Bellamya quadrata* were all lower than the values of nonpollution aquatic products, fish and *Bellamya quadrata* in East Dongting Lake and Datong Lake were all safe foods.

Keywords: lake water; sediments; fish muscles; snail muscles; heavy metals

收稿日期:2007-11-20

基金项目:国家自然科学基金项目(40571028)

作者简介:祝云龙(1978—),男,河南太康人,博士研究生,主要从事水资源与水体环境污染评价研究。E-mail:zhylong78@sohu.com

责任作者:姜加虎 E-mail:jiangjh@niglas.ac.cn

随着人口数量的增加、工农业的发展以及城市化进程的加快,大量未经处理的城市垃圾、污染的土壤、工业和生活污水,以及大气沉降物不断进入水体中,使水体悬浮物和沉积物中的重金属含量急剧升高^[1]。因此湖泊水体环境中的重金属是自然进程和人类活动共同影响的产物。但由于镉、铅、汞和砷对有机体有各种各样的损害作用,如镉和汞对肾脏起损害作用,同时能引起慢性中毒^[2],铅对肾脏和肝脏也有损害作用^[3],砷也能引起神经系统疾病^[4],因此有必要对湖泊生态系统中的重金属含量进行调查和评估。

洞庭湖(28°44'~29°35'N, 111°53'~113°05'E)位于长江中游荆江南岸,湖南省东北部,水位 33.5 m 时(岳阳站,黄海基面)湖泊面积 2 625 km²,相应蓄水量 16.7 亿 m³,是我国第二大淡水湖和最重要的调蓄湖泊^[5]。湖区属亚热带季风湿润气候区,自然资源丰富,其中的东洞庭湖于 1992 年,西洞庭湖和南洞庭湖(包括万子湖和横岭湖)于 2002 年,分别被国际湿地公约组织列入《国际重要湿地名册》^[6]。洞庭湖区现有工业排污口 82 个,其中位于湖边、污水直接排入湖体的排污口 27 个,且排污口相对集中于东、南洞庭湖及其入湖水系——湘、资、沅、澧^[5]。

近年来,对洞庭湖水质和沉积物污染的研究较多^[7-11],认为湖区总体水质在地表水三类水质标准以内,中度营养型,整体水质污染有逐渐加重的趋势;洞庭湖沉积物中重金属污染物主要是 Cd 和 Hg,其次是 Pb、Zn、As 和 Cu。同时,洞庭湖区畜禽副产品中重金属 Cr、Cd、Pb 的含量则普遍超标^[12]。富营养化和重金属污染是洞庭湖的两个主要环境问题^[11],但对水体、沉积物和生物体中的重金属污染同时进行系统的研究较少。因此本文拟通过对洞庭湖区的水体、沉积物和生物体进行取样和分析,研究重金属在洞庭湖生态系统中的地球化学特征,为人们合理利用湖区生物和湖泊治理提供参考和依据。

1 材料与方法

1.1 样品的采集

于 2005 年 11 月在东洞庭湖和大通湖采集水样、沉积物样品和生物样品(包括鱼和螺)。根据湖泊的水深在较浅处只取表层水样(水面下 0.5 m),水深超过 1 m 时,分两层采样(只有 15、22、25 号 3 个采样点分两层采集),加盐酸酸化后,带回实验室分析其总量,具体水样点如图 1 所示,共采集 30 个样品;用抓斗式采泥器采集沉积物样品,用塑料勺取其中央未受干扰

的表层泥样于聚乙烯袋中,扎紧袋口,带回实验室,具体泥样点如图 1 所示,共采集到 32 个样品。采样时利用 GPS 定位。生物样品分区采样,在每个采样点每一种鱼都选取 2~3 龄、体重和体长无明显差异的 3 个个体,将生物样品于低温下冷冻保存带回实验室分析。鳊鱼(*Aristichthys nobilis*)和黄颡(*Pseudobagrus fulvidraco*)在大通湖采集,鲤鱼(*Cyprinus carpio*)、鲢鱼(*Silurus asotus*)、草鱼(*Hypophthalmichthys molitrix*)和黑鱼(乌鳢)(*Ophicephalus argus*)在东洞庭湖(岳阳、鹿角、六门、五门、团洲)采集,方形环棱螺(*Bellamya quadrata*)在东洞庭湖(岳阳、鹿角、六门、五门、团洲)采集。

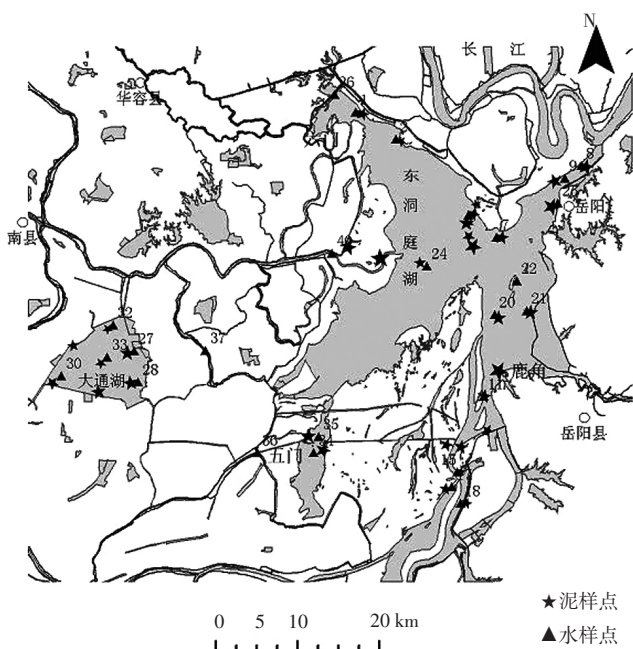


图 1 水样、泥样和生物样品的采集地点

Figure 1 Sampling sites of water, sediment and organisms

1.2 样品的分析测定

将沉积物样品在自然通风条件下风干,去掉杂物后,经玛瑙研钵研磨处理,全部过 100 目尼龙筛,储存备用。沉积物全量的测定主要参考 GB/T17138—1997^[13]的方法,沉积物样品经 HCl-HNO₃-HF-HClO₄ 消解,采用石墨炉-无火焰原子吸收分光光度法测定沉积物样品中 Cd 和 Pb 的含量;沉积物样品经 H₂SO₄-HNO₃-KMnO₄ 消解,采用冷原子无色散原子荧光法测定 Hg 的含量;沉积物样品经 H₂SO₄-HNO₃-HClO₄ 消解,采用氢化物-非色散原子荧光法测定 As 的含量。在实验室内,鱼样在室温下解冻后,用不锈钢刀取背部肌肉,剔除鱼刺后用 A-88 捣碎机捣碎混匀,然后取一定量的鱼肉样品供测定用;用竹签取体重和体长

无明显差异的方形环棱螺的整个肉体,用 A-88 捣碎机捣碎混匀后供分析用。生物样品全量的测定主要参考 GB/T5009—2003^[14]的方法,生物样品用 $\text{HNO}_3\text{--H}_2\text{SO}_4\text{--H}_2\text{O}_2\text{--HClO}_4$ 消解,经石墨炉-无火焰原子吸收分光光度法测定生物样品中 Cd 和 Pb 的含量;生物样品经 $\text{HNO}_3\text{--H}_2\text{SO}_4\text{--HClO}_4$ 消解,采用氢化物-非色散原子荧光法测定 As 的含量;生物样品经 $\text{H}_2\text{SO}_4\text{--HNO}_3\text{--KMnO}_4$ 消解,冷原子无色散原子荧光法测定 Hg 的含量。水样(原水)经 $\text{HNO}_3\text{--H}_2\text{SO}_4\text{--HClO}_4$ 消解,采用石墨炉原子吸收分光光度法测定水样中 Cd 和 Pb 的含量,氢化物-非色散原子荧光法测定总砷的含量,冷原子无色散原子荧光法测定水样中总汞的含量。本样品中的处理方法与洞庭湖水、沉积物、生物样品的背景值处理方法一样,测定方法也基本相同,因此所得数据与洞庭湖背景值的数据具有可比性。

测定 Cd、Pb 所用的仪器为 220FS 200Z 型原子吸收分光光度计,检测限分别为 $0.01\ \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 、 $0.2\ \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$;测定 Hg、As 的仪器为 HG-AFS 原子荧光光谱仪,检测限分别为 $0.001\ \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 、 $0.02\ \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 。分析过程分别以国家土壤一级标准物质 GSS1-GSS8 和人发为质控标样,测量相对误差小于 5%。

1.3 数据分析

用 SPSS11.5 进行数据统计分析。

2 结果与讨论

2.1 东洞庭湖与大通湖水体重金属污染状况

东洞庭湖与大通湖水体重金属、铅、汞、砷的平均含

量,水质标准,其他地区的湖泊水体中的重金属含量及洞庭湖水环境背景值见表 1。在大通湖和东洞庭湖采集的 30 个水样点中除了位于五门附近的 36 号采样点 Pb 含量为 $18.32\ \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 超出了中国地表水水质一类标准外,其他采样点水体重金属含量都未超过国家 I 类水的标准(GB3838—2002),同时,也远低于美国水质标准,且 Cd、Pb、Hg 的含量也小于洞庭湖水环境背景值,但 As 的平均含量高于洞庭湖水环境背景值。东洞庭湖与大通湖水体中 Cd 的平均含量高于土耳其的 Tuskegee 湖,但低于印度的 Nacharam 湖、秘鲁的 Titicaca 湖和美国 20 个湖泊水体的平均值;Pb 的平均含量高于印度的 Nacharam 湖、秘鲁的 Titicaca 湖,但低于土耳其的 Tuskegee 湖、美国 20 个湖泊的平均值;汞的含量都低于仪器的检测限;As 的含量高于土耳其的 Tuskegee 湖和美国 20 个湖泊的平均值,但低于印度的 Nacharam 湖、秘鲁的 Titicaca 湖。由此可见,东洞庭湖和大通湖水体中重金属 Cd、Pb、Hg 和 As 的含量在正常范围之内,基本没有超过中国地表水水质标准,但 As 的含量高于其背景值,水体中 As 的含量有增大的趋势。

2.2 东洞庭湖与大通湖沉积物中重金属污染状况

东洞庭湖与大通湖沉积物中 Cd、Pb、Hg、As 的平均含量、最低值与最高值、淡水沉积物标准、其他湖泊中重金属的平均含量及洞庭湖沉积物的环境背景值见表 2。从表 2 中可看出,东洞庭湖与大通湖沉积物中 Cd 的含量在 $0.21\sim 19.7\ \text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 之间,平均值为 $2.38\ \text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,是国家一级土壤标准的 10 倍;Pb 的含

表 1 东洞庭湖与大通湖水体重金属、铅、汞、砷的含量与其他湖泊及限量标准 ($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)

Table 1 Concentrations of Cd, Pb, Hg and As in East Dongting Lake and Datong Lake and other study areas and guidelines ($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)

		Cd	Pb	Hg	As
本研究	平均值 $\pm$ 标准差	0.02 $\pm$ 0.032	0.86 $\pm$ 3.3	<0.006	4.17 $\pm$ 2.5
	最小值~最大值	0.01~0.1	0.2~18.32	<0.006	0.74~8.61
美国水质标准 ^[15]	最高浓度	4.3	65	1.4	340
	生物效应浓度	2.2	2.5	0.77	150
中国地表水水质标准 ^[16]	Class I	1	10	0.05	5
	Class II	5	10	0.05	50
	Class III	5	50	0.1	50
	Class IV	5	50	0.1	100
	Class V	10	100	1	100
Tuskegee湖 ^[17]		0.001 $\pm$ 0.005	0.1 $\pm$ 0.3		0.6 $\pm$ 2.2
Nacharam湖 ^[18]		8.9 $\pm$ 3.5	8.8 $\pm$ 3.6		9.5 $\pm$ 1.5
Titicaca湖 ^[19]		<1.5	<3	<0.034	10
美国 20 个湖泊中水体平均值 ^[20]		0.065 $\pm$ 0.034	0.11 $\pm$ 0.25	0.006 $\pm$ 0.007	0.17 $\pm$ 0.16
洞庭湖水体重金属背景值 ^[21]		0.08	1.4	0.03	1.2

量在 $24\sim 161\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 之间,平均值为 $61.95\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,是国家一级土壤标准的 1.8 倍;Hg 的含量在 $0.02\sim 0.95\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 之间,平均值为 $0.28\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,是国家一级土壤标准的 1.9 倍;As 的含量在 $11.59\sim 185.79\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 之间,平均含量为 $34.53\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,是国家一级土壤标准的 2.3 倍。东洞庭湖与大通湖沉积物中 Cd、Pb、Hg、As 的平均含量都显著高于意大利的 Po 河、坦桑尼亚的 Tanganyika 湖和武汉的东湖,同时也显著高于洞庭湖沉积物相应的环境背景值,且其平均含量处于美国和加拿大淡水沉积物标准中的确定产生效应的临界浓度与必然产生效应浓度之间,有可能对生物体产生毒害效应,且沉积物中 Cd、Pb、Hg、As 的最高含量都显著高于美国和加拿大淡水沉积物标准的必然产生效应浓度的临界值,肯定会对生物体产生毒害效应。鹿角附近 12 号点 Cd 的浓度最高,为 $19.7\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,是国家一级土壤标准的 98.5 倍,按国家土壤标准和美国和加拿大淡水沉积物必然产生效应浓度的标准,鹿角附近 Cd 严重超标,肯定会对生物体产生毒害效应;东洞庭湖岳阳港附近 25 号点 Pb 含量最高,为 $161\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,是国家一级土壤标准的 4.6 倍,按国家土壤标准和美国和加拿大淡水沉积物必然产生效应浓度的标准,岳阳港附近 Pb 的含量严重超标,也肯定会对生物体产生毒害效应;鹿角附近的 12 号点 Hg 的含量最高,为 $0.95\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,是国家一级土壤标准的 6.3 倍,低于美国淡水沉积物必然产生效应浓度的标准,但高于加拿大淡水沉积物必然产生效应浓度的标准,因此按不同的标准就会产生不同的结果;岳阳港附近的 12 号点 As 含量最高,为 $185.79\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,是国

家一级土壤标准的 12.4 倍,按美国和加拿大淡水沉积物必然产生效应浓度的标准,岳阳港附近 As 的含量严重超标,也肯定会对生物体产生毒害效应。因此,可以确定岳阳港和鹿角附近是洞庭湖污染最严重的地方,按美国和加拿大的淡水沉积物标准,沉积物中的重金属很可能会对周围的生物体产生毒害效应。

2.3 东洞庭湖及大通湖鱼类与其他地区鱼类中重金属含量的比较

所有采集的鱼都是 2 龄鱼,除黄颡以外,鳊鱼、鲤鱼、鲢鱼、草鱼、黑鱼之间的体长与体重均没有显著差异。从图 2 中可看出,大通湖和东洞庭湖中鱼类重金属含量顺序为: Cd 的含量为鲢鱼>鲤鱼>鳊鱼>黄颡>黑鱼>草鱼; Pb 的含量为黑鱼>鲢鱼>鲤鱼>黄颡>草鱼>鳊鱼; Hg 的含量为鲢鱼>黑鱼>鲤鱼>黄颡>鳊鱼>草鱼; As 的含量为鲤鱼>黄颡>草鱼>黑鱼>鳊鱼。在所有的鱼类中,以鲢鱼(底栖、肉食性鱼类)重金属含量最高,草鱼(中上层,植食性)重金属含量最低。这与重金属能在食物网中逐级累积的结论是相一致的^[29]。总的来说,底层鱼类重金属含量较高,滤食性鱼类鳊鱼和植食性鱼类草鱼重金属含量都较低。这与聂湘平^[30]等得出的重金属含量顺序为中下层鱼类>中上层鱼类,肉食性鱼类>植食性鱼类相一致。

东洞庭湖与大通湖鱼肉中重金属的平均含量、变化范围与其他地区鱼肉中的重金属含量及限制标准见表 3。从表 3 中可看出,东洞庭湖与大通湖鱼肉中 Cd 的平均含量为 $9.95\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$,小于毛里塔尼亚(Mauritania)沿海的鱼类、日本 Casumigaura 湖的鱼类、印度鲭鱼、广东沿海鱼类和大亚湾鱼类中 Cd 的

表 2 东洞庭湖与大通湖沉积物中镉、铅、汞、砷的含量与其他湖泊及其环境背景值($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)

Table 2 Concentrations of Cd, Pb, Hg and As in bottom sediment from Dongting Lake and Datong Lake, other study area and its background concentrations($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)

		Cd	Pb	Hg	As
本研究	平均值±标准差	2.38±3.83	61.95±31.66	0.28±0.19	34.53±35.89
	最小值~最大值	0.21~19.7	24~161	0.02~0.95	11.59~185.79
Po River ^[22]		0.50	27.03	0.16	—
Lake Tanganyika ^[23]		0.2	14.0	—	—
南四湖 ^[24]		—	19.1	0.092	21.2
东湖 ^[25]		0.46	38.9	0.17	15.2
美国淡水沉积物标准 ^[26]	确定产生效应的临界浓度	0.99	35.8	0.18	9.79
	必然产生效应的浓度	5	128	1.06	33
加拿大淡水沉积物标准 ^[27]	确定产生效应的临界浓度	0.6	35	0.17	5.9
	必然产生效应的浓度	3.5	91	0.49	17
国家一级土壤标准 ^[28]		0.2	35	0.15	15
洞庭湖沉积物背景值 ^[21]		0.33	23.3	0.047	12.9

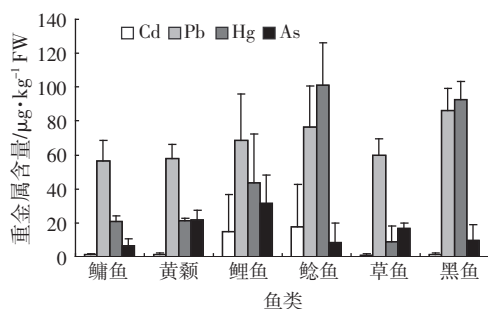


图 2 东洞庭湖与大通湖中不同鱼类中重金属的含量

Figure 2 Heavy metal contents of different fish species from East Dongting Lake and Datong Lake

含量,在团洲附近捕获的鲢鱼的 Cd 含量最高,为 $97.8 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$,也小于无公害水产品限量标准($\leq 100 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$);Pb 的平均含量为 $70.11 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$,也小于日本 Casumigaura 湖的鱼类、印度鲑鱼、广东沿海鱼类和大亚湾鱼类中 Cd 的含量,在五门附近捕获的黑鱼的 Pb 含量最高为 $229 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$,也小于无公害水产品限量标准($\leq 500 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$);Hg 的平均含量为 $57.51 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$,小于毛里塔尼亚沿海的鱼类、印度鲑鱼,高于广西沿海鱼类和大亚湾鱼类,在团洲附近捕获的鲢鱼 Hg 含量最高为 $139.6 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$,远小于无公害水产品限量标准($500 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$);As 的平均含量为 $17.42 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$,小于印度鲑鱼、广西沿海鱼类和大亚湾鱼类,在岳阳港附近捕获的草鱼 As 的含量最高,为 $105 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$,也小于无公害水产品限量标准($500 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)。结果表明,东洞庭湖与大通湖所有的鱼类中重金属的含量都没有超过无公害水产品的限量标准,可以认为是对人类和其他生物没有构成生态危害。

2.4 东洞庭湖方形环棱螺中重金属的含量与其他地区的比较

东洞庭湖方形环棱螺中重金属的平均含量、变化

范围、其他地区螺类中的含量及限量标准见表 4。从表 4 中可看出,东洞庭湖底栖生物方形环棱螺肉中 Cd 的平均含量为 $92.38 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$,其中以鹿角地区螺中 Cd 的含量最高为 $316 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$,五门最低为 $13.2 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$;Pb 的平均含量为 $120.38 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$,其中以鹿角地区螺中 Pb 的含量最高为 $239 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$,六门含量最低为 $57 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$;Hg 的平均含量为 $11.24 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$,其中以六门螺中 Hg 含量最高为 $140 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$,五门最低为 $103 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$;As 的平均含量为 $341.6 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$,其中以岳阳港最高为 $504.8 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$,团洲最低为 $218.5 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。东洞庭湖方形环棱螺中 Cd、Pb、As 的含量东洞庭湖的东岸大于西岸,由于 Hg 易气化,分布规律不明显,但各采样点螺中 Hg 的含量变异不大。由于螺类移动性差,能充分反映所在地区的环境特征,因此可以说东洞庭湖的东岸重金属污染比西岸严重,这一点也可以从鹿角和岳阳港附近的沉积物中重金属含量最高可以得出。东洞庭湖方形环棱螺中 Cd、As 的含量都小于广西近岸海域螺类生物、江苏海岸带扁玉螺、珠江口软体类和洪泽湖螺类 Cd、As 的含量,同时也小于人体消费标准和国家无公害水产品限量标准。Pb 的含量除了略大于广西近岸海域外,都小于其他地区螺的重金属含量与限定标准。东洞庭湖螺中 Hg 的含量除了略小于珠江口软体类外,也都小于其他地区螺中 Hg 的含量与人体消费标准和无公害水产品限量标准。因此,总的来说东洞庭湖方形环棱螺中的重金属含量总体偏低,显著低于无公害水产品的限量标准和人体消费标准。

2.5 水、沉积物与鱼中重金属含量的相互关系

对水体、沉积物和鱼肉中的重金属含量做相关分析,结果表明水体、沉积物和鱼肉中重金属(Cd、Pb、Hg、As)之间的相关系数很小,没有达到显著水平;但

表 3 东洞庭湖与大通湖鱼类中重金属的含量与其他地区及限制标准($\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ wet weight)

Table 3 Concentrations of Cd, Pb, Hg and As in the muscles of fish from Dongting Lake and Datong Lake, other study areas and limit standards of non-polluted aquatic products ($\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ wet weight)

		Cd	Pb	Hg	As
本研究	平均值 ± 偏差	9.95±19.21	70.11±31.37	57.51±42.29	17.42±20.15
	最小值~最大值	0~97.8	31.8~229	1.4~139.6	0~105
Mauritania 沿海鱼类 ^[31]		40	—	300	—
日本 Casumigaura 湖野生鲤鱼 ^[32]		10	87	—	—
土耳其 Almus 湖鱼类 ^[33]		150	1 100	—	—
印度鲑鱼 ^[34]		40	240	160	280
广西沿海鱼类 ^[35]		19	180	24	96
大亚湾鱼类 ^[36]		69	240	51	1 240
无公害水产品限量标准 ^[37]		≤100	≤500	≤1 000 (肉食性鱼) ≤500 (其他)	≤500

表 4 东洞庭湖方形环棱螺中的重金属含量与其他地区的比较 ($\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ wet weight)Table 4 Concentrations of Cd, Pb, Hg and As in the muscles of *Bellamya quadrata* from East Dongting Lake, other study areas and limit standards of non-polluted aquatic products ($\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ wet weight)

		Cd	Pb	Hg	As
本研究	平均值±偏差	92.38±126.31	120.38±69.76	11.24±1.59	341.6±122.53
	最小值~最大值	13.2~316	57~239	10.3~14	218.5~504.8
广西近岸海域 ^[38]		280	90	40	200
江苏海岸带 ^[39]		440	39 900	58	
珠江口 ^[40]		200	1 300	10	400
洪泽湖 ^[41]		225	340		
人体卫生消费标准 ^[42]		200	1 500	500	1 000
无公害水产品限量标准 ^[37]		1 000	1 000	500	1 000

As 在水体和鱼肉中的相关系数较高 ($R=0.6$), 且达到显著水平; Pb 在水体和鱼肉中的相关系数也较高 ($R=0.54$), 且达到显著水平。这与 Ahmet Demirak 等得出结论基本一致^[43]。对水体、沉积物和螺肉中重金属的含量也做了相关分析, 结果表明水体、沉积物与螺肉中重金属 (Cd、Pb、Hg、As) 之间的相关系数很小, 都没有达到显著水平。鱼肉与螺肉中的重金属含量 (Cd、Pb、As) 之间的相关系数较小, 没有达到显著水平, 但鱼肉中的 Hg 和 As 与螺肉中的 Hg 和 As 之间的相关系数较高 (分别为: $R=0.67$, $R=0.63$), 且达到显著水平。

3 结论

东洞庭湖与大通湖湖水中 Cd、Pb、Hg、As 的含量都很低, 只有五门附近的 36 号采样点 Pb 的含量为Ⅲ类水, 其余采样点的水质都属于Ⅰ类水。湖水中镉、汞、铅的含量都低于洞庭湖湖水背景值, 但砷的含量远超过洞庭湖湖水背景值。

东洞庭湖与大通湖沉积物中的 Cd、Pb、Hg、As 的含量都高于相应的洞庭湖沉积物背景值, 其中以岳阳港和鹿角附近的沉积物中 Cd、Pb、Hg、As 的含量最高, 分别是国家一级土壤标准的 98.5 倍、4.6 倍、6.3 倍、12.4 倍, 高于美国和加拿大淡水沉积物确定产生效应的临界浓度, 是洞庭湖污染最严重的地方。

东洞庭湖与大通湖中的鱼类是中下层鱼类重金属含量>中上层鱼类, 肉食性鱼类重金属含量>植食性鱼类, 且滤食性鱼类鳙鱼和植食性鱼类草鱼重金属含量都较低。东洞庭湖东岸方形环棱螺中重金属含量高于西岸, 其中以鹿角和岳阳港重金属含量为最高; 东洞庭湖与大通湖的所有鱼类和螺类重金属含量都没有超过无公害水产品的限量标准和人体卫生消费

标准, 是比较安全放心的食品。鱼肉与螺肉中 Cd 和 Pb 的含量无明显的相关关系, 但 Hg 和 As 的含量有显著的相关性。

参考文献:

- [1] Dawson E J, Macklin M G. Speciation of heavy metals in floodplain and flood sediments: a reconnaissance survey of the Aire Valley, West Yorkshire, Great Britain[J]. *Environ Geochem Health*, 1998, 20: 67-76.
- [2] Luckey T D, Venugopal B. Metal toxicity in mammals [M]. New York: Plenum Press, 1977.
- [3] Emmerson B T. Chronic lead nephropathy (editorial)[M]. *Kidney Int.*, 4, 1. Faculty of Agriculture, 1973.
- [4] 陈怀满. 土壤—植物系统中的重金属污染 [M]. 北京: 科技出版社, 1986. 185-192.
- CHEN Huai-man. The pollution of heavy metals in the system of soil and plant[M]. Beijing: Scientific Technology Press, 1986. 185-192.
- [5] 窦鸿身, 姜加虎. 洞庭湖[M]. 合肥: 中国科学技术出版社, 2000. 1-334.
- DOU Hong-shen, JIANG Jia-hu. Dongting Lake [M]. Hefei: Chinese Scientific Technology Press, 2000. 1-334.
- [6] The List of wetlands of International importance[EB/OL]. 2006; 11. <http://ramsar.org/sitelist.doc>.
- [7] 卢宏伟, 曾光明, 谢更新, 等. 洞庭湖流域区域生态风险评价[J]. 生态学报, 2003, 23(12): 2520-2530.
- LU Hong-wei, ZENG Guang-ming, XIE Geng-xin, et al. The regional ecological risk assessment of the Dongting Lake watershed [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(12): 2 520-2 530.
- [8] 涂继武. 洞庭湖区的区域环境水文地质现状 [J]. 湖南地质, 2001, 20(3): 203-206.
- TU Ji-wu. Hydrogeological present situation of regional environment in Dongting Lake district[J]. *Hunan Geology*, 2001, 20(3): 203-206.
- [9] 毛德华, 夏 军. 洞庭湖湿地生态环境问题及形成机制分析[J]. 冰川冻土, 2002, 24(4): 444-451.
- MAO De-hua, XIA Jun. Ecological and environmental problems and their causing mechanisms in Dongting Lake wetland [J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2002, 24(4): 444-451.
- [10] 戴友芝, 唐受印, 张建波. 洞庭湖底栖动物种类分布及水质生物学

- 评价[J]. 生态学报, 2000, 20(2): 277-282.
- DAI You-zhi, TANG Shou-yin, ZHANG Jian-bo. The distribution of zoobenthos species and bio-assessment of water quality in Dongting Lake[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2000, 20(2): 277-282.
- [11] 姚志刚, 鲍征宇, 高 璞. 洞庭湖沉积物重金属环境地球化学[J]. 地球化学, 2006, 35(6): 629-638.
- YAO Zhi-gang, BAO Zheng-yu, GAO Pu. Environmental geochemistry of heavy metals in sediments of Dongting Lake [J]. *GeoChimica*, 2006, 35(6): 629-638.
- [12] 谭支良, 潘亚飞, 王久荣, 等. 洞庭湖退田还湖区畜产品质量与畜牧业发展对策[J]. 中国生态农业学报, 2006, 14(1): 230-232.
- TAN Zhi-liang, PAN Ya-fei, WANG Jiu-rong, et al. Animal product quality and developmental strategies of animal husbandry in recovery of Dongting Lake[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2006, 14(1): 230-232.
- [13] GB/T 17138—1997. 土壤中微量元素的测定[S].
- GB/T 17138—1997. Determination of trace element in soils[S].
- [14] GB/T 5009—2003. 食品中 Cd、Pb、Hg、As 的测定[S].
- GB/T 5009—2003. Determination of Cd, Pb, Hg and As in food[S].
- [15] US EPA. National recommended water quality criteria correction office of water[M]. EPA, 1999, 822-Z-99-001, 25p.
- [16] 国家环保总局. 地表水环境质量标准(GB 3838-2002)[S].
- State Environmental Protection Administration. Environmental Quality Standards in the surface water (GB 3838-2002)[S].
- [17] Ikem A, Egiebor N O, Nyavor K. Trace metals in water, fish and sediment from Tuskegee Lake, southeastern USA[J]. *Water, air & soil pollution*, 2003, 149: 51-75.
- [18] Govil P K, Reddy G L N, Gnanaswara Rao T. Environmental pollution in India: heavy metals and radiogenic elements in Nacharam Lake[J]. *J Environ Health*, 1999, 61: 23-28.
- [19] Gammons H C, Slotton G D, Gerbrandt B, et al. Mercury concentrations of fish, river water, and sediment in the Río Ramis-Lake Titicaca watershed, Peru[J]. *Sci Total Environ*, 2006, 368: 637-648.
- [20] Chen C, Stemberger R S, Klaue B, et al. Accumulation of heavy metals in food web components across a gradient of lakes[J]. *Limnol Oceanogr*, 2000, 45(7): 1525-1536.
- [21] 缪天成, 王惠琪, 郑春江. 环境背景值研究[J]. 中国环境科学, 1990, 10(4): 255-262.
- MIAO Tian-cheng, WANG Hui-qi, ZHENG Chun-jiang. The research of environmental background values [J]. *China Environmental Science*, 1990, 10(4): 255-262.
- [22] Viganò L, Arillo A, Buffagni A, et al. Quality assessment of bed sediments of Po River (Italy)[J]. *Water Research*, 2003, 37(3): 501-518.
- [23] Chale F M M. Trace metal concentrations in water, sediments and fish tissue from Lake Tanganyika[J]. *The Science of Total Environment*, 2002, 299(1): 115-121.
- [24] 杨丽源, 沈 吉, 张祖陆, 等. 南四湖表层沉积物重金属和营养元素的多元分析[J]. 中国环境科学, 2003, 23(2): 206-209.
- YANG Li-yuan, SHEN Ji, ZHANG Zu-lu, et al. Multivariate analysis of heavy metal and nutrient in surface sediments of Nansihu Lake[J]. *China Environmental Science*, 2003, 23(2): 206-209.
- [25] 乔胜英, 蒋敬业, 向 武, 等. 武汉地区湖泊沉积物重金属的分布及潜在生态效应评价 [J]. 长江流域资源与环境, 2005, 14 (3): 353-357.
- QIAO Shen-ying, JIANG Jing-ye, XIANG Wu, et al. Distribution of heavy metals in sediments in lakes in Wuhan with assessment on their potential ecological risk[J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2005, 14(3): 353-357.
- [26] MacDonald D D, Ingersoll C G, Berger T A. Development and evaluation of consensus-based sediment quality guidelines for freshwater ecosystems[J]. *Arch Environ Contam Toxicol*, 2000, 39: 20-31.
- [27] Smith S L. The development and implementation of Canadian sediment quality guidelines development and progress in sediment quality assessment: rational, challenge, techniques & strategies SPB academic publishing, Amsterdam[M]. The Netherlands, 1996. 233-249.
- [28] 国家环境保护局. 土壤环境质量标准(GB 15618-1995)[S].
- State Environmental Protection Administration. Soil Environmental Quality Standards (GB 15618-1995)[S].
- [29] Paulami-Maiti, Samir-Banerjee, Maiti-P, et al. Accumulation of heavy metals in different tissues of the fish *Oreochromis nilotica* exposed to waste water[J]. *Environment and Ecology*, 1999, 17: 4.
- [30] 聂湘平, 蓝紫钰, 魏泰莉. 珠江入海口经济鱼类重金属含量分析[J]. 上海环境科学, 2000, 19(10): 485-488.
- NIE Xiang-ping, LAN Zi-yu, WEI Tai-li. Heavy metal content in main economic fishes of estuary of River Pearl[J]. *Shanghai Environmental Science*, 2000, 19(10): 485-488.
- [31] Roméo M, Siau Y, Sidoumou Z. et al. Heavy metal distribution in different fish species from the Mauritania coast[J]. *Sci Total Environ*, 1999, 232: 169-175.
- [32] Alam M G M, Tanaka A, Allinson G, et al. A comparison of trace element concentrations in cultured and wild carp (*Cyprinus carpio*) of lake Casumigaura, Japan[J]. *Ecotoxicol Environ Saf*, 2002, 53: 348-354.
- [33] Mendil D, Uluozlu O D, Hasdemir E, et al. Determination of trace metal levels in seven fish species in lakes in Tokat, Turkey [J]. *Food Chem*, 2005, 90: 175-179.
- [34] Sivaperumal P, Sankar T V, Viswanathan Nair P G. Heavy metal concentrations in fish, shellfish and fish products from internal markets of India vis-a-vis international standards[J]. *Food Chem*, doi: 10. 1016/j. foodchem. 2006. 05. 041.
- [35] 廉雪琼, 王运芳, 陈群英. 广西近岸海域海水和沉积物及生物体中的重金属[J]. 海洋环境科学, 2001, 20(2): 59-62.
- LIAN Xue-qiong, WANG Yun-fang, CHEN Qun-ying. Assessment on heavy metals in seawater, surface sediments and organisms at Guangxi in Shore[J]. *Marine Environmental Science*, 2001, 20(2): 59-62.
- [36] 邱耀文, 颜 文, 王肇鼎, 等. 大亚湾海水沉积物和生物体中重金属的分布及其生态危害[J]. 热带海洋学报, 2005, 24(5): 69-76.
- QIU Yao-wen, YAN Wen, WANG Zhao-ding, et al. Distributions of heavy metals in seawater, sediments and organisms at Daya Bay and their ecological harm [J]. *Journal of Tropical Oceanography*, 2005, 24 (5): 69-76.
- [37] 中华人民共和国农业部. 水产品中有毒有害物质限量标准(NY5073-2001)[S].

- Chinese Administration of Agriculture. Limit standards of deleterious matters in aquatic products (NY5073-2001)[S].
- [38] 张敬怀, 李小敏, 兰胜迎. 广西近岸海域底栖生物体内重金属含量与生物评价[J]. 广西科学, 2006, 13(2): 143-146.
- ZHANG Jing-huai, LI Xiao-min, LAN Sheng-ying. Current situation and assessment of heavy metal contents in benthons in Guangxi in Shore[J]. *Guangxi Sciences*, 2006, 13(2): 143-146.
- [39] 袁旭音, 乔磊, 刘红樱, 等. 江苏海岸带生物体的重金属水平与生态评价[J]. 河海大学学报(自然科学小版), 2005, 33(3): 237-240.
- YUAN Xu-yin, QIAO Lei, LIU Hong-ying, et al. Heavy metal characteristics of several marine organisms in Jiangsu littoral zone and ecological evaluation [J]. *Journal of Hohai University (Natural Science)*, 2005, 33(3): 237-240.
- [40] 张敬怀, 欧强. 珠江口底栖生物重金属含量现状与评价[J]. 海洋环境科学, 2005, 24(2): 50-52.
- ZHANG Jing-huai, OU Qiang. Situation and assessment of heavy metal contents in benthons in Pearl River Estuary [J]. *Marine Environmental Science*, 2005, 24(2): 50-52.
- [41] 潘海燕, 蔡文阳. 洪泽湖水产品中重金属含量调查 [J]. 仪器仪表与分析监测, 2006, 3, 36-37.
- PAN Hai-yan, CAI Wen-yang. Research on heavy metals in aquatic products from Hongze Lake [J]. *Apparatus, Analysis and Determining*, 2006, 3, 36-37.
- [42] Anon G. Report on revised standard for metals in food [M]. Appendix IV. Commonwealth Government Printer, Canberra, 1979. 69-70.
- [43] Demirak A, Yilmaz F, Tuna A L, et al. Heavy metals in water, sediment and tissues of *Leuciscu cephalus* from a stream in southern Turkey[J]. *Chemosphere*, 2006, 63: 1 451-1 458.