

连云港对虾养殖区表层沉积物 重金属污染评价*

李 玉^① 冯志华

(淮海工学院 江苏 连云港 222005)

提要 2010 年 6 月对连云港市对虾养殖区的沉积物环境状况进行调查, 分析了对虾池养殖区表层沉积物中重金属的含量及分布, 并采用海洋沉积物质量国家标准和地积累指数法对该养殖区沉积物重金属污染进行评价。结果表明: (1) Cu、Zn、Pb、Cd、Hg、Cr、As 的平均浓度分别为 22.31、283.9、64.86、0.58、0.0056、89.23、35.58mg/kg, 通过计算单项污染指数表明所有元素的污染指数均在 0—1 之间, 属于非污染, 表明虾池沉积物属于清洁土壤。(2) 利用地积累指数(I_{geo})法对所得到的调查结果进行了评价, 发现各采样点沉积物呈现出轻洁至中等的污染程度, 参与评价的 6 种重金属的污染程度依次为 As> Zn> Pb、Cd> Cr> Cu。进一步的生态风险评价结果表明, 所有站位沉积物 Cu 和 Cd(除站位 5)的含量皆低于效应浓度低值, 说明 Cu 和 Cd 很少产生不利的生态效应; 全部站位的 Zn、Pb、As 含量和 8 个站位的 Cr 含量均在效应浓度低值和效应浓度中值之间, 表明这四种金属偶尔产生不利的生态效应。

关键词 对虾养殖区; 沉积物; 重金属; 污染

中图分类号 P734.4

作为污染物的“存储器”, 海洋沉积物在污染物的输运和存储过程中起着重要作用, 因此被许多研究者用来确定有毒污染物的来源、扩散途径及归宿(Mann *et al*, 1983; Rule, 1986; Sarmani *et al*, 1992; Murray, 1996)。沉积物中不断积累的有毒物质会对生物产生毒害作用, 并通过食物链富集和传递, 最终对人类健康造成影响(Lawrence *et al*, 2001)。近些年来, 很多研究者对养殖区沉积环境中重金属的污染状况做了大量的工作(钟硕良等, 2008; 阮金山等, 2009; 吴祥庆等, 2010; 黄雪夏等, 2011)。结果表明, 不同地区对虾、贝类养殖沉积环境总体良好, 但表层沉积物质量状况差于养殖区水体质量。运用潜在的生态危害评价因子进行评价, 结果表明沉积物中重金属 Hg、As、Cd、Pb 的生态危害系数大于 Cu 和 Zn。

本研究以连云港市对虾养殖池表层沉积物为研究对象, 根据重金属在海洋环境中的行为特征, 依

据现场检测结果, 对本海区对虾养殖池中表层沉积物重金属 Cu、Zn、Pb、Cd、Hg、Cr、As 的含量分布进行了分析, 并运用海洋沉积物质量国家标准和地积累指数法评价了该养殖区沉积物中重金属污染状况, 应用沉积物质量基准评价了沉积物重金属污染对生态的潜在危害。连云港处于暖温带南部, 常年平均气温 14℃, 由于受海洋的调节, 气候类型为湿润的季风气候, 略有海洋性气候特征。海州湾渔场为中国八大渔场之一。近海水域和内陆水域主要生产对虾、海带及淡水鱼类。因此, 开展对虾养殖区表层沉积物中重金属污染监测与评价, 可更好地保护养殖区, 为健康养殖提供科学的基础数据。

1 材料与方法

1.1 站点的设置

2010 年 6 月在赣榆县海头镇(站点 1、2、3)、九

* 江苏省高校自然科学研究面上项目, 11KJB170001 号; 江苏政府留学奖学金; 江苏高校优势学科建设工程资助项目; 国家自然科学基金项目, 41306114 号。

通讯作者: 李玉, 博士, 副教授, E-mail: liyu241@sina.com

收稿日期: 2012-09-10, 收修改稿日期: 2012-11-23

里镇(站点 4、5、6)、宋庄镇(站点 7、8、9)对虾养殖区随机选择 9 处池塘设置采样点, 见图 1。这些养殖区的周边大部分是连云港市和赣榆县各镇工农业排污及生活污水的集中排放区, 潮间带水域和近海岸养殖区的海水和沉积物易受到工业废水和城镇生活污水的污染。

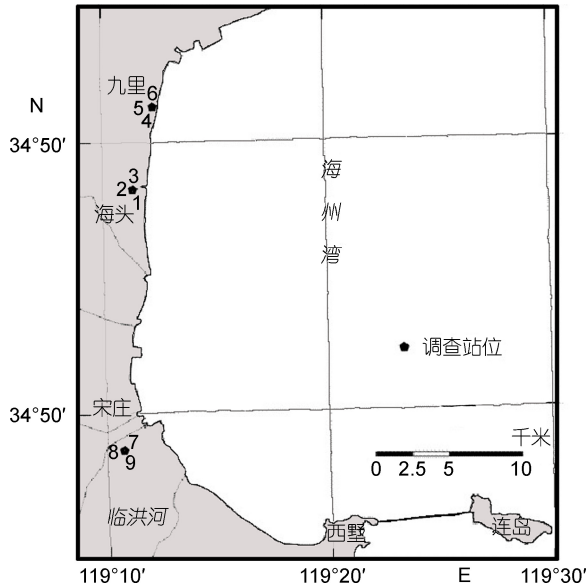


图 1 调查站位
Fig.1 Sampling stations

1.2 样品的采集、预处理和分析

用抓斗式采泥器在 9 个站点采集表层底泥, 用塑料勺取其中央未受干扰的表层 0—2cm 泥样于聚乙烯袋中, 实验室内将泥样在 80℃ 烘箱内烘干 24 小时, 用玛瑙研钵将其研碎并全部通过 160 目筛, 充分混匀后取样以供测定。根据《海洋监测规范》对样品进行消解, 0.25g 固体加入氢氟酸、高氯酸、浓硝酸消解后, 稀释至 25mL(定容), 采用等离子体发射光谱仪测定(ICP-AES)。输出数据是三次测定的平均值。

1.3 重金属污染评价方法

地积累指数是研究水环境沉积物重金属污染的定量指标, 考虑到人为污染、环境地球化学背景值、及自然造岩作用可能引起背景值变动的因素。计算公式如下(Müller, 1981): $I_{geo} = \text{Log}_2(C_n/1.5B_n)$ 。式中, C_n 是指元素 n 在沉积物中的含量(实测值), mg/kg; B_n 是指重金属地球化学背景值(表 1), mg/kg; 常数 1.5 是由于考虑到成岩作用可能会引起背景值的变动。地积累指数 I_{geo} 数值按污染程度共分为 7 级, 分别指示清洁(0)、轻度(1)、偏中度(2)、中度(3)、偏重(4)、严重(5)、极重污染(6)状况, 如表 2 所示。

表 1 南黄海北部表层沉积物中重金属的背景值(吴景阳等, 1982)(mg/kg)

Tab.1 The background concentration of heavy metal in sediments of the South Yellow Sea (mg/kg)

海区	Cu	Zn	Pb	Cd	Cr	As	Hg
南黄海	25.8	90.5	33.9	0.24	65.3	10	0.04

表 2 地积累污染级数

Tab.2 Müller's classification for geoaccumulation index (Müller, 1981)

I_{geo} 值	级别	沉积物质量
≤ 0	0	清洁
0—1	1	轻度
1—2	2	偏中度
2—3	3	中度
3—4	4	偏重
4—5	5	严重
>5	6	极重

2 结果与分析

2.1 虾池沉积物中重金属含量现状评价

连云港市对虾养殖池中表层沉积物重金属的含量水平见表 3。Cu、Zn、Pb、Cd、Hg、Cr、As 的平均浓度分别为 22.31、283.9、64.86、0.58、0.0056、89.23、35.58mg/kg。重金属 Cu 的含量在所有调查站位表层沉积物中都符合海洋沉积物质量标准的一级标准值(表 4)。重金属 Zn 的浓度范围为 246.8—320.9 mg/kg, 9 个取样点的浓度值都超出了国家沉积物质量标准的一级标准, 但符合二级沉积物标准, 最高值出现在宋庄镇某养殖池(站位 7)。与 Zn 具有相同分布规律的还有重金属 Pb。重金属 Cd 被认为对活的生物体代谢具有毒害作用, 有研究者认为, 很多水生生物都不能很好的调节体内重金属 Cd 的含量而往往造成富集(Tessier *et al*, 1994), 而原因可能与水环境中的 Cd 浓度高有关。本次调查表明 5 个站位的 Cd 含量低于沉积物一级标准值, 4 个站位的 Cd 含量符合二级质量标准, 最高值出现在九里镇的某养殖池(站位 5)。重金属 Hg 除一个站位检出外, 其余站位都未检出。Cr 在九里镇的站位 5 表层沉积物中浓度为沉积物质量一级标准, 其它站位的浓度都符合二级标准, 最高值仍出现在站位 7。As 的含量在所有站位沉积物中都相当, 和 Zn、Pb 的分布规律相似, 符合国家二级沉积物质量标准, 但最高值出现在站位 5。使用国家海洋沉积物环境质量的二级标准的限值计算单项污染指数(即污染指数=污染物的实测浓度/评价标准值), 所有元素的污染指数均在 0—1 之间, 属于非污染(黄雪夏等, 2011)。

表 3 连云港虾池表层沉积物中金属元素的浓度(mg/kg)
Tab.3 Concentration of trace metal in surface sediment of shrimp pond in Lianyungang(mg/kg)

样点	Cu	Zn	Pb	Cd	Hg	Cr	As
1	19.81	246.8	64.49	0.19	0.05	92.03	30.84
2	19.87	307.0	67.31	0.46	nd	90.98	34.80
3	19.65	275.0	63.51	0.29	nd	86.22	30.39
4	21.40	303.9	65.24	0.48	nd	94.56	35.80
5	23.32	293.9	61.81	1.23	nd	73.06	43.45
6	18.91	252.8	61.22	0.39	nd	83.90	32.22
7	27.86	320.9	67.72	0.56	nd	103.4	37.28
8	24.96	258.7	65.05	0.54	nd	85.23	38.19
9	25.01	295.8	67.39	1.06	nd	93.69	37.66
平均值	22.31	283.9	64.86	0.58	0.0056	89.23	35.58

nd: 未检出

表 4 中华人民共和国海洋沉积物质量标准 GB18668-2002
Tab.4 China's national quality standard of sediment (GB18668-2002)

项目	一级	二级	三级
Cu	35.0	100.0	200.0
Zn	150.0	350.0	600.0
Pb	60.0	130.0	250.0
Cd	0.50	1.50	5.00
Hg	0.20	0.50	1.00
Cr	80.0	150.0	270.0
As	20.0	65.0	93.0

2.2 重金属污染评价

根据连云港赣榆县对虾养殖区表层沉积物中重金属的测定结果,采用德国科学家 Müller 提出的地积累指数法(I_{geo})来评价该监测区沉积物的重金属污染。由于 Hg 元素在多数站位中未检出,因此不作为评价因子进行讨论。

表 5 连云港对虾养殖区沉积物重金属的地累积指数和级别

Tab.5 Geoaccumulation index (I_{geo}) value and pollution degree of heavy metal in from sediments shrimp ponds in Lianyungang

样点	Cu		Zn		Pb		Cd		Cr		As	
	I_{geo}	I_{geo} 级别	I_{geo}	I_{geo} 级别	I_{geo}	I_{geo} 级别	I_{geo}	I_{geo} 级别	I_{geo}	I_{geo} 级别	I_{geo}	I_{geo} 级别
1	-0.97	0	0.86	1	0.34	1	-0.92	0	-0.09	0	1.04	2
2	-0.96	0	1.18	2	0.40	1	0.35	1	-0.11	0	1.21	2
3	-0.98	0	1.02	2	0.32	1	-0.31	0	-0.18	0	1.02	2
4	-0.85	0	1.16	2	0.36	1	0.42	1	-0.05	0	1.26	2
5	-0.73	0	1.11	2	0.28	1	1.77	2	-0.42	0	1.54	2
6	-1.03	0	0.90	1	0.27	1	0.12	1	-0.22	0	1.10	2
7	-0.47	0	1.24	2	0.41	1	0.64	1	0.08	1	1.31	2
8	-0.63	0	0.93	1	0.36	1	0.59	1	-0.20	0	1.35	2
9	-0.63	0	1.12	2	0.41	1	1.56	2	-0.06	0	1.33	2
均值	-0.8	0	1.0	1.7	0.4	1	0.5	1	0.1	0.1	1.2	2

本研究选取重金属 Cu、Zn、Pb、Cd、Cr、As 来评价连云港市对虾养殖池表层沉积物中重金属的污染状况,结果见表 5。本海区的表层细沉积物中重金属的背景值列于表 1。重金属 Cu 在三个养殖区 9 个采样站点的地累积指数均小于 0,污染程度属无污染。重金属 Zn 在站位 1、6、8 的 I_{geo} 值在 0—1 之间,属于轻度污染程度,而在其余站位地累积指数在 1—2 之间,污染程度属偏中度污染,原因可能与含 Zn 饲料和消毒剂的投放有关。重金属 Pb 在调查区的 I_{geo} 值均在 0—1 之间,属于轻度污染程度。重金属 Cd 的 I_{geo} 均值为 1,属轻度污染,但在九里镇和宋庄镇的某养殖池(站位 5 和站位 9)属偏中度污染水平。重金属 Cr 除站位 7 地累积指数在 0—1 之间,属轻度污染

外,其余各站皆无污染现象。As 的 I_{geo} 值均在 1—2 之间,污染程度属偏中度污染。从整体上来看,6 种重金属的污染程度依次为 As> Zn> Pb、Cd> Cr> Cu,这与我们(李玉等, 2010)报道的 2009 年连云港临洪河口邻近海域表层沉积物中重金属的污染状况结果一致,即 As 和 Zn、Pb 都是主要的污染因子。As 在自然环境中极少,是化肥和农药的重要成分,而 Cu 和 Zn 则反映了工业排污和生活污水对沉积物的污染。

2.3 重金属对生物的潜在生态风险评价

效应浓度低值(effect range low, ERL)和效应浓度中值(effect range median, ERM)作为沉积物质量基准来判断海洋沉积物中重金属的生物毒性已被广泛采纳(Long *et al*, 1995, 1998)。通过沉积物重金属浓度与

效应浓度值进行比较来指示沉积物重金属污染给生态系统带来的负效应。当沉积物污染物浓度低于 ERL 时,则很少产生不利的生态效应;浓度介于 ERL 和 ERM 之间,则偶尔产生不利的生态效应;高于 ERM,则经常产生不利的生态效应。

根据张玉凤等(2011)提供的海洋沉积物质量基准值,对连云港市对虾养殖区养殖池表层沉积物中重金属对养殖生物的潜在生态风险进行评价,结果见表 6。调查站位沉积物中六种重金属元素的含量均未超出 ERM 值,说明不会经常产生不利的生态效应;所有站位沉积物 Cu 和 Cd(除站位 5 含量在 ERL 和 ERM 之间)的含量皆低于 ERL 值,说明 Cu 和 Cd 很少产生不利的生态效应;全部站位的重金属 Zn、Pb、As 和 8 个站位(站位 5 除外)的 Cr 含量均在 ERL 和 ERM 之间,表明这四种金属会偶尔产生不利的生态效应,影响养殖沉积环境,应引起重视。多站位沉积物中 Hg 未检出,因此 Hg 元素不进行生态风险评价。

表 6 重金属浓度在不同生物效应浓度范围内样品数占总样品数的比重(%)

Tab.6 Proportions of the samples in different effect ranges of heavy metal concentration (%)

元素	<ERL	ERL-ERM	>ERM
Cu	100(9/9)	0	0
Zn	0	100(9/9)	0
Pb	0	100(9/9)	0
Cd	88.9(8/9)	11.1(1/9)	0
Cr	11.1(1/9)	88.9(8/9)	0
As	0	100(9/9)	0

ERL: 效应深度低值;ERM: 效应浓度中值;括号中的数字表示站位数/总站位数

3 结论

(1) 2010 年 6 月的调查结果表明,连云港市对虾养殖区养殖池表层沉积物中 Cu、Hg 含量低于国家沉积物质量标准一级标准要求,Zn、Pb、Cd、Cr、As 低于国家沉积物质量标准二级的限值。使用国家海洋沉积物环境质量二级的限值计算单项污染指数,结果表明本次调查中所测元素都属于非污染,说明虾池养殖沉积环境健康。

(2) 在本次调查活动中,以南黄海北部表层沉积物中重金属的含量为背景值,根据地积累指数(I_{geo})法所得到的评价结果表明,重金属 Cu 和 Cr 在连云港虾池表层沉积物中属于无污染,Pb 和 Cd 属于清洁偏中度污染水平,As 和 Zn 属于轻度至偏中度污染。说

明沉积物中有些重金属含量稍高于本海域的背景值,应引起重视。从空间上来讲,海头镇虾类养殖池的清洁程度好于九里镇和宋庄镇。

(3) 运用沉积物质量基准来判断沉积物重金属污染对生物的潜在生态危害,结果发现,此次调查中所有站位的 6 种金属含量都低于效应浓度中值,说明不会经常产生不利的生态效应;但所有站位的 Zn、Pb、As 和 8 个站位的 Cr 含量均在效应浓度低值和效应浓度中值之间,表明有时可能会对生态产生不利的影响,应引起注意。

参 考 文 献

- 阮金山,钟硕良,杨妙峰等,2009. 厦门贝类养殖区重金属的含量分布特征与潜在生态危害评价. 海洋环境科学, 28(1): 57—61
- 李玉,冯志华,李谷祺等,2010. 连云港近岸海域沉积物中重金属污染来源及生态评价. 海洋与湖沼, 41(6): 829—833
- 吴祥庆,黎小正,兰柳春等,2010. 广西防城珍珠港珍珠养殖区表层沉积物重金属污染评价. 海洋通报, 29(5): 584—587
- 吴景阳,李云飞,张汀君,1982. 南黄海北部沉积物中重金属的分布及背景值. 环境中若干元素的自然背景值及其研究方法. 北京: 科学出版社, 142—148
- 张玉凤,宋永刚,王立军等,2011. 锦州湾沉积物重金属生态风险评价. 水产科学, 30(3): 156—159
- 钟硕良,阮金山,吴立峰等,2008. 厦门海域贝类养殖生态环境质量评价和类别划分研究. 海洋水产研究, 29(6): 15—26
- 黄雪夏,姚泊,邓红梅等,2011. 湛江某对虾基地沉积物重金属含量特征及评价. 环境科学与技术, 34(4): 184—189
- Lawrence A L, Mason R P, 2001. Factors controlling the bioaccumulation of mercury and methylmercury by the estuarine amphipod *Leptocheirus plumulosus*. Environmental Pollution, 111: 217—231
- Long E R, Field L J, Macdonald D D, 1998. Predicting toxicity in marine sediment s with numerical sediment quality guidelines. Environmental Toxicology chemistry, 17(4): 714—728
- Long E R, Macdonald D D, Smith S L *et al*, 1995. Incidence of adverse biological effects within ranges of chemical concentrations in marine and estuarine sediments. Environmental Management, 19(1): 81—97
- Mann A W, Lintern M, 1983. Heavy metal dispersion patterns from tailings dump, Northampton district, Western Australia. Environmental Pollution, 6: 33—49
- Murray K S, 1996. Statistical comparisons of heavy metal concentrations in river sediments. Environmental Geology, 27: 54—58

- Müller G, 1981. Die Schwermetallbelastung der sedimente des Neckars und seiner Nebenflüsse: eine Bestandsaufnahme. *Chemical Zeitung*, 105: 157—164
- Rule J, 1986. Assessment of trace elements geochemistry of Hampton Roads Harbour and Lower Chesapeake Bay area sediments. *Environmental Geology*, 8: 209—219
- Sarmani S, Abdullah M P, Baba I *et al*, 1992. Inventory of heavy metals and organic micro pollutants in an urban water catchments drainage basin. *Hydrobiologica*, 235: 669—674
- Tessier L, Vaillancourt G, Pazdernik L, 1994. Comparative study of the cadmium and mercury kinetics between the short-lived Gastropod *Viviparus georgianus* (Lea) and pelecypod *Elliptio complanata* (Lightfoot), under laboratory conditions. *Environmental pollution*, 85: 271—282

ASSESSMENT ON DISTRIBUTION AND POLLUTION OF HEAVY METALS IN SHRIMP CULTURE AREAS OF LIANYUNGANG

LI Yu, FENG Zhi-Hua

(Huaihai Institute of Technology, Jiangsu Province, Lianyungang, 222005)

Abstract Based on data obtained in an environmental survey from shrimp-culture sites in Lianyungang, Jiangsu, East China in June 2010. The content and distribution of heavy metals in surface sediments were analyzed. Against China's national standard of marine sediment quality, indices of geo-accumulation were used to assess the degree of heavy-metal pollution. Results show that the average metal concentrations in sediment for Cu, Zn, Pb, Cd, Hg, Cr, and As were 22.31, 283.9, 64.86, 0.58, 0.0056, 89.23, and 35.58mg/kg, respectively, satisfying the applicable national standard in terms of single-species heavy metal contamination. However, environmental quality assessment with geo-accumulation index showed that the pollution degree was from slight to medium in a descending order of As > Zn > Pb, Cd > Cr > Cu, indicating that they may occasionally cause adverse ecological effects.

Key words shrimp culture areas; sediments; heavy metals; pollution