

# 江苏省黄海海域生物质量调查及污染评价

孙 剑, 顾雪元, 张爱茜, 王晓蓉

(南京大学 污染控制与资源化研究国家重点实验室, 南京大学 环境学院, 江苏 南京 210093)

**摘要:** 调查了自山东日照至长江口范围内江苏黄海海域 18 个站位的野生鱼类和甲壳类经济动物体内的污染物水平, 监测项目包括: 重金属 Cu, Pb, Cr, Cd, Hg, 总 As 和石油烃, 并对调查结果进行了污染负荷评价。从地域分布来看长江口和吕四港的整体污染水平较高, 污染负荷指数为 0.35; 海州湾和东沙污染水平相当, 污染负荷指数为 0.25; 东沙 Cd 污染较突出。从生物种类来看鱼类和甲壳类的总 As 含量较高; 大部分生物均发现中度石油烃污染; 甲壳类生物体内 Cd 含量濒临超标限; 其余各类生物重金属含量均远低于标准值。

**关键词:** 江苏黄海; 生物质量; 重金属; 石油烃; 污染评价

中图分类号: X826

文献标识码: A

文章编号: 1000-3096(2010)06-0028-06

江苏海域位于北纬  $31^{\circ}37' \sim 35^{\circ}08'$  之间的东海大陆架中部, 属黄海南部和东海北部。全省境内有 20 多条大中型河流入海, 海区水质肥沃, 盐度适中, 海洋渔业资源丰富, 据调查, 鱼虾贝类品种多达 300 余种。其中鱼类和甲壳类生物(如螃蟹、虾等)是人们最喜爱的重要海产品。但是近年来, 入海河流在携带大量养分的同时, 也带来许多污染物质, 加之江苏沿海港口众多, 经济活动频繁, 外源污染物大量输入海洋。2006 年《中国海洋环境质量公报》<sup>[1]</sup>报道, 江苏近岸海域未达到清洁海域水质标准的面积约  $13\,530\text{ km}^2$ , 其中南部海域属三类海水水质标准; 北部盐城、连云港海域较好, 属二类海水水质标准。

目前国内对江苏主要经济渔业海域中生物资源质量的调查评价还少见报道, 过去海洋生物质量评价一般多采用贝类底栖动物<sup>[2,3]</sup>, 而国外常见以鱼类和甲壳类生物为调查对象的海洋生物质量的报道<sup>[4,5]</sup>, 作者主要调查了江苏黄海海域主要经济鱼类和甲壳类体内污染物水平, 并对该地区的生物质量进行了分析评价。

## 1 材料与方法

### 1.1 调查范围与样品采集

调查从 2007 年 10 月到 11 月一次走航了自山东日照至长江口 18 个站位(图 1)。采集的方法为 10 ~ 20 m 网捕。采集的所有生物样品为沿岸海域的主要经济种类(表 1)。根据不同的海岸类型和海域功能区将采样的 18 个站位分成四个海区: 海州湾、东沙、吕四港、长江口。

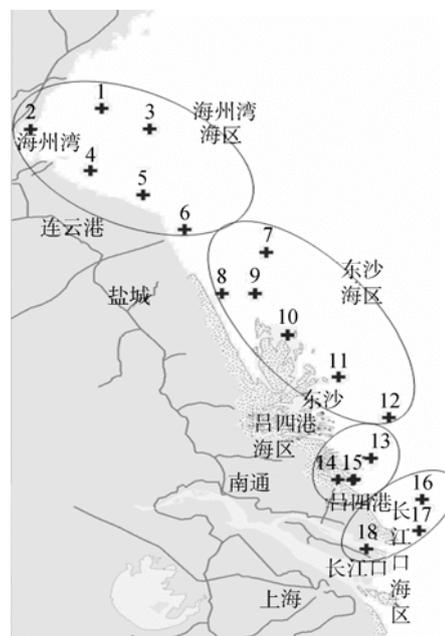


图 1 调查站位分布

Fig. 1 Distribution of sampling locations

### 1.2 样品的预处理和分析方法

#### 1.2.1 样品预处理

生物样品捕捞起来后立即冲洗干净, 装入塑料

收稿日期: 2009-09-19; 修回日期: 2009-12-28

基金项目: 国家重大基础研究(973)项目(2008CB418203); 水体污染控制与治理科技重大专项项目(2008ZX07316-004)

作者简介: 孙剑(1985-), 陕西渭南人, 硕士研究生, 主要从事环境化学领域研究, 电话: 025-83593664, E-mail: jsun-nju@163.com; 顾雪元, 通信作者, E-mail: xygu@nju.edu.cn

封口袋中, -20℃ 冷冻保存。样品运回实验室后经化冻, 用自来水冲洗 3 次, 超纯水冲洗 3 次后取肌肉部分匀浆分析。

表 1 采集的各种生物样品名称及地点  
Tab. 1 Samples and collecting locations

中文名称	拉丁名称	站位
鳊鱼	<i>Miichthys miiuy</i>	5, 6, 8, 9,
棘头梅童	<i>Collichthys lucidus</i>	10, 12
口虾蛄	<i>Oratosquilla oratoria</i>	11
贡氏红娘鱼	<i>Lepidotrigla japonica</i>	2
银鲳	<i>Pampus argenteus</i>	1, 3
舌鲷	<i>Cymoglossus robustus</i>	14, 15,
风鲚	<i>C. mystus</i>	17, 18
三疣梭子蟹	<i>Portunus trituberculatus</i>	2, 4~6, 8~13, 16
日本鲟	<i>Charybdis japonica</i>	14, 15, 17, 18

### 1.2.2 重金属分析方法

准确称取 1~2 g 湿样(±0.001 g)于微波消解聚四氟乙烯罐中, 加入 4 mL 工艺超纯硝酸和 1 mL H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>(GR), 进行微波消解(上海新拓 XT-9900), 消解结束后用超纯水定容至 10 mL 比色管中。重金属 Cu, Pb, Cr, Cd, As 的含量采用 ICP-MS(PerkinElmer ELAN ~ 9000)分析。Hg 含量采用原子荧光光谱法分析(北京海光 AFS-230E)。

分析采用黄鱼标准物质(GBW08573)控制分析质量。黄鱼的回收率在 87.8%~98.1%, 满足分析要求。同时在样品中随机选取约 20%的分析平行样以控制精密度。

### 1.2.3 石油烃分析方法

海洋生物样品中石油烃含量测定参照国家标准方法《石油烃-荧光光度法(GB17578.6-2007)》, 采用原子荧光光谱仪(日立 F-7000)测定。油标为国家海洋监测中心提供的 20-3#油标, 质量浓度为 1.00 g/L。

## 1.3 污染分析评价方法

采用单因子污染指数评价法和污染负荷指数法评价江苏黄海海域生物质量:

(1) 单因子污染指数法:  $P_i = C_i/S_i$

式中:  $P_i$  为污染物  $i$  的污染指数;  $C_i$  为污染物  $i$  的实测值;  $S_i$  为污染物  $i$  的标准值。

(2) 综合污染负荷指数法(Pollution Load Index)

是 Tomlinson 等<sup>[6]</sup>提出的一种评价方法。该指数由评价区域所包含的多种污染成分共同构成, 能直观地反映各个成分对污染的贡献程度, 以及在时间、空间上综合污染的变化趋势。

$$PLI_i = \sqrt[n]{P_1 \times P_2 \times P_3 \times \dots \times P_n}$$

式中:  $PLI_i$  为  $i$  点的污染负荷指数;  $n$  为评价元素个数;  $P_n$  为单因子污染指数

$$PLI_{zone} = \sqrt[n]{PLI_1 \times PLI_2 \times PLI_3 \times \dots \times PLI_n}$$

式中:  $PLI_{zone}$  为区域污染负荷指数;

根据单因子污染指数分为 4 个等级的污染程度<sup>[7]</sup>, 从而将污染负荷指数也分为 4 个等级, 见表 2。

表 2 污染负荷指数和污染等级之间的关系  
Tab. 2 Relationship between Pollution Load Indices and pollution levels

PLI 值	<0.2	0.2~0.6	0.6~1	>1
污染等级	I	II	III	IV
污染强度	正常	轻度	中度	重度

## 2 结果与讨论

### 2.1 不同海区生物体内重金属和石油烃含量

江苏近海海岸类型有基岩海岸、砂质海岸和淤泥质海岸 3 种。海州湾属于基岩海岸; 东沙辐射沙洲属于砂质淤积混合型海岸; 吕四港和长江口属于冲积淤泥质海岸。不同海区生物体内各重金属和石油烃含量见表 3。

结果显示各海区生物体内石油烃和 Cu 含量偏高。长江口和吕四港生物体内 Pb 残留量较高, 是海州湾和东沙生物体内残留量的 5~8 倍。各海区生物体内总 As 和 Cr 含量相当, 吕四港生物体内 Hg 的含量较高, 是海州湾和东沙的 4 倍, 是长江口的 20 倍之多, 但 Hg 的污染绝对量比较小。东沙海区生物体内 Cd 残留量较高, 是海州湾和吕四港的 4 倍, 长江口的 2 倍。

上述结果表明, 不同海区的污染状况各异, 总得来看南部的长江口和吕四港的污染水平要高于北部的海州湾和东沙。这可能是由于内陆污染输入和此海域经济活动频繁造成的。2006 年通过长江携带入海的石油烃, 重金属和砷的污染量分别为: 2.9 万、1.7 万、0.2 万 t<sup>[1]</sup>。据报道, 2005 年通过长江口的船舶达到 18.4 万艘次。由于冲积淤泥的阻滞, 污染物

很难输送到远海。

四个海区生物体内的 As 含量均较高, 在调查的海区内, 生物体内 As 残留量最高达 10.4 mg/kg。海洋生物对 As 一般具有较高富集, 但大多以低毒有机砷形式存在<sup>[8,9]</sup>, 毒性较大的 3 价砷其实含量很少, 甚至不超过 1%<sup>[10]</sup>。这次调查只分析了总砷, 因此虽然总量较高, 但并不反映生物体内 As 的实际毒性水平。

表 3 江苏黄海海域水生生物体内重金属和石油烃的质量比

Tab. 3 Accumulation levels of heavy metals and petroleum hydrocarbon in samples from different sea areas

海区	样品数	质量比(mg/kg)						
		Cu	Cr	Pb	Cd	总 As	Hg	石油烃
海州湾	9	0.7~18 (7.7)	0.11~1.19 (0.50)	ND~0.08 (0.04)	ND~0.71 (0.1)	0.7~8.5 (3.3)	ND~0.04 (0.01)	7.7~33.5 (17.6)
东沙	11	0.4~25 (6.2)	0.18~0.82 (0.37)	ND~0.11 (0.02)	ND~2.28 (0.4)	0.4~10.4 (3.2)	ND~0.03 (0.01)	7.7~44.6 (23.4)
吕四港	4	0.2~22 (9.7)	0.23~0.57 (0.40)	ND~0.39 (0.13)	0.001~0.29 (0.1)	1.9~4.3 (3.3)	ND~0.15 (0.04)	7.1~24.4 (15.7)
长江口	4	5.3~21 (13.6)	0.17~0.51 (0.35)	ND~0.53 (0.17)	0.01~0.34 (0.2)	0.7~5.0 (3.7)	ND~0.002 (0.002)	14.3~38.3 (27.6)

注: 括号内的数据为均值, ND 表示未检出; 下同

表 4 不同类物种体内重金属和石油烃质量比

Tab. 4 Accumulation levels of heavy metals and petroleum hydrocarbon in fishes and crustaceans

生物	样品数	质量比(mg/kg)						
		Cu	Cr	Pb	Cd	Hg	总 As	石油烃
鱼类	13	ND~5.3 (1.0)	0.33~0.75 (0.50)	ND~0.53 (0.12)	ND~0.01 (0.007)	ND~0.14 (0.02)	0.39~3.67 (1.44)	7.37~38.29 (11.5)
甲壳类	15	1.4~25 (12.6)	0.11~1.19 (0.34)	ND~0.13 (0.02)	0.23~2.28 (0.49)	ND~0.02 (0.003)	1.68~10.48 (5.09)	7.34~44.55 (24.2)

甲壳类生物体内的重金属 Cu, Cd 和 As 含量远高于鱼类, 可能是由于甲壳类一般栖息于靠近底质的环境中, 吞噬底泥和一些微小的底栖动物, 而沉积物中一般金属含量较高<sup>[11]</sup>, 甲壳类生物在受重金属的胁迫时能产生应激效应, 诱导金属硫蛋白分泌增加, 金属硫蛋白中的巯基与  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Cd}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$  等金属离子具有很高的亲和能力, 因而更容易富集累积重金属, 积累量与其产生金属硫蛋白的能力成正比<sup>[12]</sup>, 因此甲壳类重金属元素的含量较高。鱼类活动范围大, 远离重金属含量高的沉积物, 其体内重金属元素含量相对于甲壳类较低。

鱼类生物体内 Hg 的含量高于甲壳类, 这是由于甲基汞具有较强的脂溶性, 而鱼类脂肪含量较甲壳类更丰富, 故甲基汞能被鱼吸收并蓄积起来, 同时汞的转化和排出很缓慢, 因而能长期保存在鱼体内, 使鱼体内甲基汞的浓度随年龄和体重的增加而增

## 2.2 各类生物体内重金属和石油烃的含量

调查海域内不同类物种体内重金属和石油烃含量范围和平均值见表 4。江苏黄海海域各类生物体内重金属和石油烃的含量因生物而异, 从调查结果来看甲壳类生物比鱼类生物更容易富集 Cu, Cd, As 和石油烃; 而鱼类生物比甲壳类生物更容易富集 Pb 和 Hg。

大<sup>[13]</sup>。

重金属 Cr 在鱼类和甲壳类生物体内的含量差别不大, 可能是由于 Cr 在海水中的分布比较均匀, 生物对于 Cr 的吸收没有差异性。

海洋甲壳类动物比鱼类具有更高的积累石油烃的能力主要是由于其代谢和释放石油烃的能力小于鱼类<sup>[14]</sup>, 并且甲壳类一般生活在靠近底质环境中, 海水中的石油烃吸附在悬浮物上, 并且随悬浮物沉淀在海底和潮间带的沉积物中。

另外, 由于生物自身的生理特性和重金属元素的理化性质<sup>[15]</sup>, 也致使不同类群的生物体内 Hg, As, Cu, Pb 和 Cd 的含量有所差异。

调查海域不同海区不同生物类别的重金属和石油烃的均值见图 2。结果表明, 不同海区的鱼类和甲壳类生物体, 吕四港和长江口的污染物残留量比其他海区高, 这与上面分析的结论相一致。

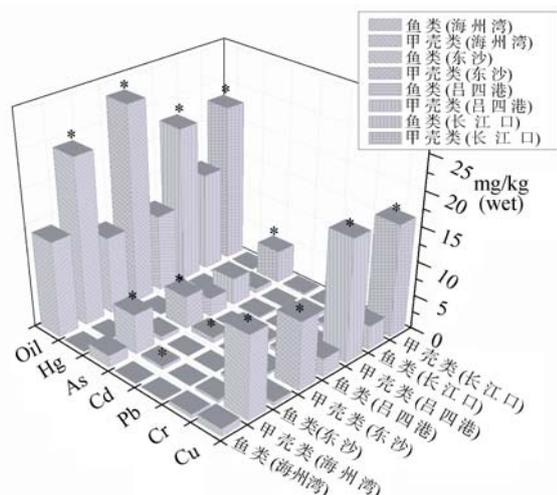


图2 不同海区不同类别生物体内的污染残留量

Fig. 2 Contaminant contents in two types of organisms from different investigation areas

\*表示在  $P < 0.05$  时, 甲壳类与鱼类比较, 其污染物的体内残留量具有显著性差异

\* means significant difference between crustaceans and fishes,  $P < 0.05$

### 3 海洋生物质量评价

生物体内 Cu、Pb、Cd、Hg 和石油烃根据中国《无公害食品水产品中有毒有害物质限量》(NY5073-2006), Cr 根据中国《食品中污染物限量》(GB2762-2005), 总 As 根据俄罗斯食品原材料安全标准《FOODSTUFF RAW MATERIALS AND FOOD》对本次调查的结果进行单因子和综合污染评

价, 具体分析结果见表 5 和图 3。

从各类生物的污染指数和污染指数变幅来看, 甲壳类和鱼类的 As 的污染指数 60% 超过 1, 最高的竟然达到 3 倍以上, 与大亚湾海区的甲壳类和鱼类动物的 As 相比<sup>[16]</sup>, 分别高出 40 和 4 倍, 可见 As 是江苏黄海海域的主要污染因子。其次鱼类和甲壳类生物石油烃的污染指数范围分别为 0.49 ~ 2.55 和 0.49 ~ 2.97, 最高污染指数都超过了 2, 与河北黄骅海区鱼类和甲壳类动物的石油烃相比<sup>[17]</sup>, 分别高出 2 和 4 倍, 可见本次调查海区的石油烃已经达到了中度污染。甲壳类的 Cd 的污染指数范围为 0.46 ~ 4.56, 其平均值污染指数为 0.98, 这主要是由东沙海域的 Cd 超标引起的, 其余三个海域的甲壳类 Cd 未发现超标, 鱼类中 Cd 含量均在标准限值以内。其余各类生物重金属含量远未超标。

由图 3 见, 各个站位的生物污染负荷指数大多小于 0.6, 说明江苏黄海海域生物质量较好, 只是受到了轻度的污染, 然而甲壳类生物的生物污染负荷指数大部分接近 0.5, 甚至有些站位已经达到 0.64, 应当引起关注; 各个海区的生物污染负荷指数均小于 0.5, 长江口最高也仅为 0.37, 四个海区的生物质量普遍较好。

综上所述, 江苏黄海海域生物质量普遍较好, 大部分生物发现受到石油烃和 As 的中到重度污染, 因此应当切实关注这两种污染物, 加强对它们的控制和监管。

表 5 单因子污染指数法对调查海域生物体内污染物水平评价结果

Tab. 5 Contaminant levels from different investigating areas using Single-Factor Pollution Index method

生物	类别	质量比(mg/kg)						
		Cu	Cr	Pb	Cd	总 As	Hg	石油烃
鱼类	范围	0 ~ 5.3	0.33 ~ 0.75	0 ~ 0.53	0 ~ 0.01	0.39 ~ 3.67	0 ~ 0.14	7.37 ~ 38.29
	均值	1.0	0.50	0.12	0.007	1.44	0.02	11.5
	标准	50	2.0	0.5	0.1	1.0	0.5	15
	$P_i$ 范围	0 ~ 0.16	0.16 ~ 0.36	0 ~ 1.1	0 ~ 0.1	0.39 ~ 3.67	0 ~ 0.28	0.49 ~ 2.55
	$P_i$ 均值	0.02	0.25	0.24	0.07	1.44	0.04	0.77
	超标率(%)	0	0	8.3	0	60	0	33
甲壳类	范围	1.4 ~ 25.0	0.11 ~ 1.19	0 ~ 0.13	0.23 ~ 2.28	1.68 ~ 10.48	0 ~ 0.02	7.34 ~ 44.55
	均值	12.6	0.34	0.02	0.49	5.09	0.003	24.2
	标准	50	2.0	0.5	0.5	5.0	0.5	15
	$P_i$ 范围	0.28 ~ 0.5	0.05 ~ 0.60	0 ~ 0.26	0.46 ~ 4.56	0.34 ~ 2.10	0 ~ 0.04	0.49 ~ 2.97
	$P_i$ 均值	0.25	0.17	0.04	0.98	1.02	0.006	1.61
	超标率(%)	0	0	0	20	58	0	86.6

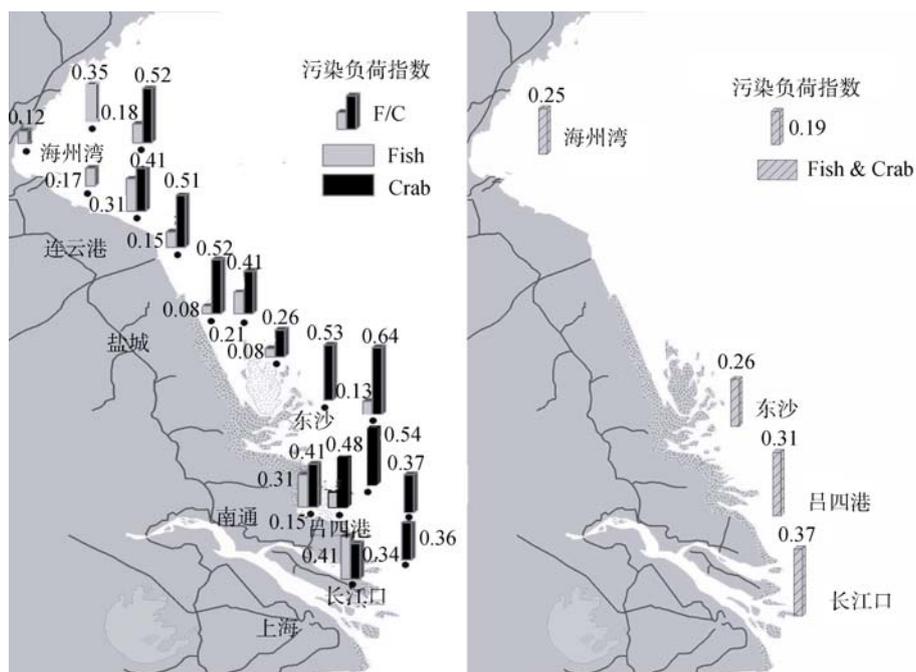


图3 调查海域各站位和海区生物综合污染负荷指数

Fig. 3 The integrated Pollution Load Indices of organisms in the sampling positions and different sea areas

#### 4 小结

本次调查采用走航采集了自山东日照至长江口范围内江苏黄海海域 18 个站位的鱼类和甲壳类经济动物, 调查了生物体内的污染水平, 监测项目包括: 重金属 Cu, Pb, Cr, Cd, As, Hg 和石油烃含量, 并对调查结果进行了单因子和综合污染评价, 得出以下结论:

(1) 从地域分布来看, 长江口和吕四港的整体污染水平较高, 污染负荷指数为 0.35; 海州湾和东沙污染水平较近, 污染负荷指数为 0.25; 东沙 Cd 污染较突出。

(2) 从生物种类来看, 鱼类和甲壳类的总 As 含量 60% 以上超标, 最高的超标 2 倍以上, 甲壳类砷污染高于鱼类; 大部分生物发现受到中度石油烃污染; 东沙海域甲壳类生物体内 Cd 含量较高; 其余各类生物重金属含量均远低于标准值。

(3) 从综合污染来看, 江苏黄海海域生物质量普遍较好, 污染水平属轻度污染, 主要污染物为砷和石油烃。

致谢: 本次调查, 现场采样均由王宁, 薛银刚, 李佳华完成, 文章完成过程中王亚伟和苏里也给予一定的帮助, 在此表示感谢。

#### 参考文献:

- [1] 中华人民共和国海洋局. 2006 中国海洋环境质量报 [EB/OL]. <http://www.coi.gov.cn/hygb/hjzl/hjzl2006/>. 2007-01.
- [2] 毕春娟, 陈振楼, 许世元, 等. 长江口潮滩大型底栖动物对重金属的累积特征[J]. 应用生态学报, 2006, 17(2): 309-314.
- [3] Huan H, Wu J Y, Wu H J. Heavy metal monitoring using bivalved shellfish from Zhejiang Coastal Waters, East China Sea[J]. *Environ Monit Assess*, 2007, 129: 315-320.
- [4] Dural M, Goksu M Z L, Ozak A. A. Investigation of heavy metal levels in economically important fish species captured from the Tuzla lagoon[J]. *Food Chemistry*, 2007, 102: 415-421.
- [5] Türkmen A, Türkmen M, Epe Y, et al. Heavy metal levels in blue crab (*Callinectes sapidus*) and mullet (*Mugilcephalus*) in skenderun Bay(NorthEastern Mediterranean, Turkey) [J]. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 2006, 77: 186-193.
- [6] Tomlinson D L, Wilson J G, Harris C R, et al. Problems in the assessments of heavy metal levels in estuaries and formation of a pollution index[J]. *Helgol Meeresunters*, 1980, 33: 566-575.
- [7] 黄长江, 赵珍. 湛江港海域海产品中重金属残留及评

- 价[J]. 汕头大学学报, 2007, **22**(1): 30-36.
- [8] Kaise T, Fukui S. The chemical form and acute toxicity of arsenic compounds in marine organisms[J]. *Appl Organomet Chem*, 1992, **6**: 155-160.
- [9] Polson C J, Tattersall R N. *Clinical Toxicology*[M]. London: Pitman, 1969. 81-210.
- [10] 李卫华, 韦超, 张新荣. 中国海产品含砷形态的调查[J]. 广西师范大学学报, 2003, **21**(3): 74-75.
- [11] 李学杰. 广东大亚湾底质重金属分布特征与环境质量评价[J]. 中国地质, 2003, **30**(4): 429-435.
- [12] Talbot V, Chegwidan A. Cadmium and other heavy metal concentrations in selected biota from Cockburn Sound, Western Australia [J]. *Mar Freshw Res*, 1982, **33**: 779-788.
- [13] 孟紫强. 环境毒理学[M]. 北京: 中国环境出版社, 2000. 121-122.
- [14] NPC. *Oil and Sea*[M]. Washington D C: National Academy Press, 1985. 19-549.
- [15] 崔毅, 陈碧鹃, 宋云利, 等. 胶州湾海水海洋生物体中重金属含量的研究[J]. 应用生态学报, 1997, **8**(6): 650-654.
- [16] 王增焕, 林钦, 杨美兰, 等. 大亚湾经济类海洋生物体的重金属含量分析[J]. 南方水产, 2009, **5**(1): 23-28.
- [17] 崔毅, 陈碧鹃, 宋云利, 等. 河北黄骅近岸石油污染对海洋生物体内石油烃含量的影响[J]. 黄渤海海洋, 2000, **18**(3): 66-71.

## Organism qualities and pollution assessment at the Yellow Sea of Jiangsu Province

SUN Jian, GU Xue-yuan, ZHANG Ai-qian, WANG Xiao-rong

(State Key Laboratory of Pollution Control and Resource Reuse, School of the Environment, Nanjing University, Nanjing 210093, China)

**Received:** Sep., 19, 2009

**Key words:** Huanghai Sea; organism quality; heavy metals; petroleum hydrocarbon; pollution assessment

**Abstract:** We investigated contamination levels of heavy metals(Cu, Pb, Cr, Cd, As, Hg) and petroleum hydrocarbon in marine organisms, fishes and crustaceans, in the Huanghai Sea area of Jiangsu Province. Single-Factor Pollution Index and integrated Pollution Load Index were used to assess the contamination levels in fishes and crustaceans. We found that the pollution level in the Yangtze River estuary and Lvsi port was relatively high with a pollution load index of 0.35, while the pollution load index of Haizhou estuary and Dongsha area was about 0.25. Cd contamination in the Dongsha area was relatively severe. Relatively high levels of total As were found in both fishes and crustaceans. Most organisms suffered from moderate petroleum hydrocarbon pollution. Cd levels in crustaceans were close to the food safety standard; in contrast, levels of Cu, Pb, Cr and Hg were far below the standard.

(本文编辑: 康亦兼)