

双壳类指示生物反映下的胶州湾 生态环境的研究*

王文琪

章佩群

(中国科学院海洋研究所 青岛 266071) (中国科学院高能物理研究所 北京 100021)

摘要 于1996年11月和1997年11月,在胶州湾不同污染地点(双埠、红岛、团岛和汇泉角)采集双壳类生物样品,采用中子活化技术、等离子体耦合原子发射谱法、原子荧光谱法对样品体内的34种元素的组成进行了测定研究。结果表明,蛤仔对大多数元素的富集作用最强,是胶州湾典型的指示生物;双埠蛤仔体内的As和Cr的含量已超出食品卫生标准;团岛贻贝体内的Cd、Cu和Zn的含量已超出食品卫生标准和一般底栖生物的最高允许浓度,说明胶州湾不同区域已有了不同程度的重金属污染,且年际变化较为明显,重金属污染程度在不断加剧。

关键词 指示生物 中子活化技术 元素含量 环境质量监测

学科分类号 X171

胶州湾处于中国东部重要的经济发展带中,是一个半封闭的海湾,周围有十几条河流注入。随着经济的发展,大量生活污水、工业废水或直接排入湾内,或由河流间接排入湾内,使得胶州湾的污染问题日益严重。吴耀泉等(1993)、孟可等(1996)曾指出胶州湾局部水域环境污染严重是造成胶州湾菲律宾蛤仔死壳现象的一个重要因素。尤其值得重视的是,胶州湾是一个海产养殖高度集中的区域,海产品的质量直接关系到周边区域人们的健康、进出口贸易等,因此,胶州湾生态环境的质量监测已显得非常重要。海洋贝类生物的富集功能很高,是海洋环境的重要指示种类(Ostapczuk, 1997; Ostapczuk *et al*, 1997; Sukasem *et al*, 1993; Wise *et al*, 1984, 1989; Roland, 1993),选择贝类生物进行其体内元素含量的测定,是研究指示生物反映环境变化的一种有效的方法(Schladot *et al*, 1992; Rossbach *et al*, 1992)。本文报告胶州湾双壳类生物体内的各种元素组成变化的研究结果,以期建立胶州湾生物的环境标本库,最终达到长期监测胶州湾生态环境变化的目的。

1 材料和方法

实验用牡蛎(*Oystrea denselamellosa*)、贻贝(*Mytilus galloprovincialis*)和蛤仔(*Ruditapes philippinarum*)于1996年11月和1997年11月分别采集于胶州湾的红岛、团岛、双埠和汇泉角等4个污染程度不同的地点(图1),制成了不同时期、不同地点的环境标

* 国家自然科学基金资助项目, 39630060号; 中国科学院特别支持项目, KZ95T-04-04号。王文琪,女,出生于1970年3月,博士, E-mail: jwlu@ms.qdio.ac.cn

收稿日期: 1998-12-25, 收修改稿日期: 1999-03-26

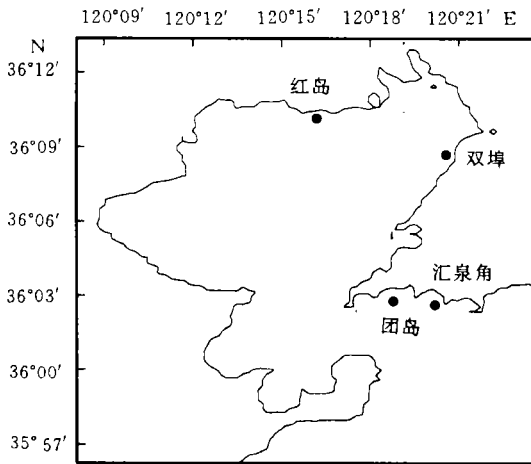


图1 胶州湾采样地点分布图

Fig.1 The sampling sites around the Jiaozhou Bay

本,用中子活化技术(INAA)、等离子体耦合原子发射谱法(ICP-AES)和原子荧光谱法(AFS)分析了各种标本体内的元素组成。用中子活化测量标本时,称取两份平行样作为子样,测量结果以算术平均值 \pm 标准误差表示,这里不将标准误差列于数据表中。中子活化短照射测量的元素为Al、Br、Ca、Cl、Mg、Mn、V;中子活化长照射第一次测量的元素为As、K、La、Na、Sm;中子活化长照射第二次测量的元素为Au、Ce、Co、Cr、Cs、Eu、Fe、Hf、Rb、Sc、Se、Sr、Th、Zn;用等离子体耦合原子发射谱法测量的元素为Ba、Cd、Cu、Ni、P、Pb;用原子荧光谱法测量Hg的含量。

采集样品、制作标本的步骤及分析方法同王文琪等(1999)。

2 结果与讨论

测定中所用的标准参考物质的元素组成数据见表1。比较1996年和1997年的贻贝、蛤仔和牡蛎三种生物体内的元素组成,发现牡蛎对Cu和Zn有着很强的富集能力,为贻贝和蛤仔的15倍左右,同时它也远远超出了一般底栖生物体内的Cu和Zn的最高允许浓度,但这并不即意味着环境中的Zn浓度已达到污染程度。因为这是由于牡蛎对Cu和Zn的特殊的强富集机理所造成的。不同动物对某些元素具有不同的富集能力,而判定环境是否污染、污染的程度如何,则需要综合的评价。所以指示生物的选择、环境质量的评估是一个复杂而综合的研究工作。

表1 1997年测定时用的标准参考物质体内的组成元素的含量及测定方法

Tab.1 The elemental contents and the determining method of some GBW in 1997

元素	杨树叶GBW	07604	贻贝 GBW	08571	对虾GBW	08572	测量方法
	测量值	鉴定值	测量值	鉴定值	测量值	鉴定值	
Al	1010	1040	272	231	143	131	IINAA
As	0.39	0.37	5.78	6.1	1.52	1.42	INAA
Au	0	0	0.01	0.1	0	0	INAA
Ba	22.2	26	2.65	2	4.41	4.29	ICP-AES
Br	7.2	7.2	87.7	90	13	13.5	INAA
Ca	19 100	18 100	930	1110	3050	3040	INAA
Cd	0.34	0.32	3.87	4.5	0.025	0.023	ICP-AES
Ce	0.55	0.49	0.32	0.3	0.2	0	INAA
Cl	0.23	0.23	0.96	0.9	0.3	0	INAA
Co	0.47	0.42	0.85	0.94	0.029	0.029	INAA
Cr	0.71	0.55	0.62	0.57	0.38	0.24	INAA
Cs	0.05	0.053	0.05	0.03	0.03	0	INAA

续表1

元素	杨树叶GBW	07604	贻贝GBW	08571	对虾GBW	08572	测量方法
	测量值	鉴定值	测量值	鉴定值	测量值	鉴定值	
Cu	7.48	9.3	6.17	7.7	4.62	4.66	ICP-AES
Eu	0.008	0.009	0.048	0.08	0.018	0	INAA
Fe	274	274	258	221	25.6	19.8	INAA
Hf	0.021	0.026	0.04	0.01	0.01	0	INAA
Hg	0.025	0.026	0.035	0.067	0.222	0.201	AFS
K	13 300	13 800	5 000	4 240	6 600	5 970	INAA
La	0.26	0.26	0.26	0.2	0.05	0	INAA
Mg	6 490	6 500	1 820	1 970	1 670	1 600	INAA
Mn	45	45	9.1	10.2	1.8	1.96	INAA
Na	210	200	5 600	5 820	3 100	3 810	INAA
Ni	1.73	1.9	0.78	1.03	0.26	0	ICP-AES
P	1 700	1 680	11 600	11 100	7 840	8 450	ICP-AES
Pb	1.39	1.5	2.26	1.96	0.239	0.298	ICP-AES
Rb	7.4	7.6	2.1	2	1.7	0	INAA
Sb	0.045	0.045	0.024	0	0.007	0	INAA
Sc	0.069	0.069	0.054	0.05	0.006	0	INAA
Se	0.15	0.14	4.08	3.65	1.71	1.52	INAA
Sm	0.04	0.038	0.031	0.02	0.006	0	INAA
Sr	155	154	23.1	12.8	32.7	40.6	INAA
Th	0.079	0.07	0.058	0.06	0.011	0	INAA
V	0.53	0.64	0.51	0	0.7	0	INAA
Zn	42	37	147	138	62	60.8	INAA

2.1 蛤仔是胶州湾最典型的指示生物

牡蛎、贻贝和蛤仔是胶州湾常见的底栖生物。比较同采集于双埠低潮区的牡蛎和蛤仔,发现蛤仔体内 Al、As、Ba、Ce、Co、Cr、Ni、P、Sb、Rb、Sc、Se、Sr、Sm、Th、V 等大多数元素的含量均高于牡蛎体内的,但 Cu 和 Zn 例外(图 2a)。比较同采于红岛低潮区的牡蛎和蛤仔,同样发现蛤仔体内大多数元素的含量,如 Al、As、Ba、Br、Cd、Ce、Cl、Co、Cr、Fe、Mg、Mn、Na、Ni、Pb、P、Sb、Sc、Se、Sr、Th 等均高于牡蛎体内的含量(图 2b)。尤其在胶州湾常规的 10 个海上监测站中,用采泥器在 2、3、4、5、6、7 号等站均曾经采到过蛤仔,而牡蛎和贻贝却未采到,可见蛤仔较牡蛎和贻贝更普遍存在,是胶州湾最大的海产资源,利用蛤仔不仅能监测胶州湾沿岸各区域的环境状况,而且还可以作为胶州湾湾心、湾口和湾外环境监测的指示生物,由此可以认为,蛤仔是胶州湾的最典型的指示生物。贻贝由于在红岛和双埠未能采样成功,仅在团岛和汇泉角采得样品,但据国内外的有关报道(Sukasem *et al.*, 1993),贻贝是较普遍的环境指示生物,这里也对贻贝进行一些初步的分析探讨。

2.2 蛤仔指示下的红岛和双埠两地的环境状况

比较采自红岛和双埠两地蛤仔的外表形态后发现,双埠的蛤仔壳面呈灰黑色,壳体不

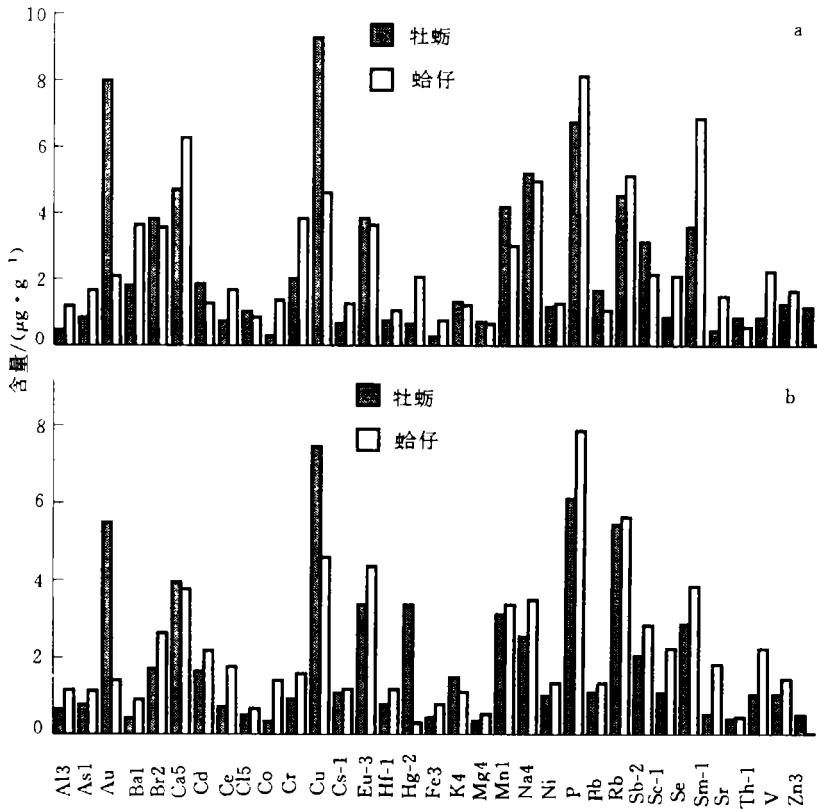


图2 1997年牡蛎和蛤仔标本的体内组成元素的含量比较

Fig.2 The comparison between the elemental contents in oyster and clam in 1997

a: 采自双埠低潮区, b: 采自红岛低潮区。横坐标元素符号后的数字表示: 1. $\times 10^1$, 2. $\times 10^2$, 3. $\times 10^3$, 4. $\times 10^4$, 5. $\times 10^5$, -1. $\times 10^{-1}$, -2. $\times 10^{-2}$, 图3、图4、图5同

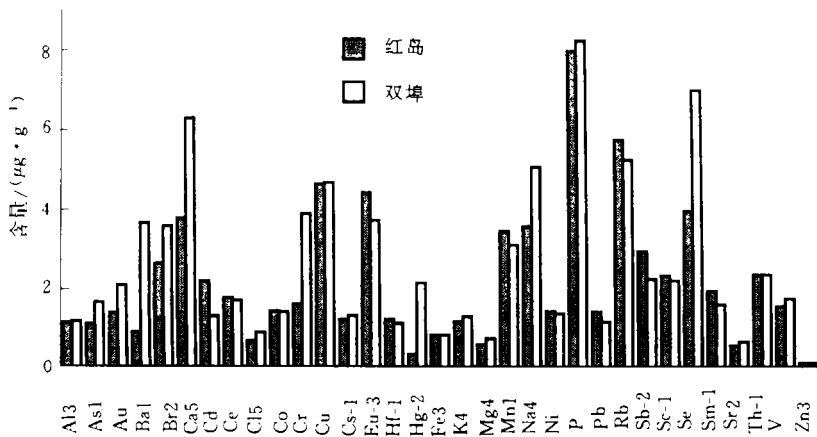


图3 1997年采自红岛和双埠的蛤仔的体内组成元素的含量比较

Fig.3 The comparison of the elemental contents in clam from Hongdao and Shuangbu in 1997

甚光滑,肉质较瘦小;而红岛的蛤仔壳面黄白,壳体光滑,肉质肥厚。从其体内的元素含量(图3)来看,双埠蛤仔体内的大多数元素,如 Al、As、Au、Ba、Br、Ca、Cl、Cr、Cu、Hg、K、Mg、Na、P、Se 等含量均高于红岛蛤仔的,尤其在有毒元素方面,双埠蛤仔体内的 Hg 含量(0.212 $\mu\text{g/g}$)比红岛蛤仔体内的 Hg 含量(0.0313 $\mu\text{g/g}$)高 6 倍,Cr、Cu、As 等也比红岛的高,可认为双埠水域的水质较红岛的要差一些。究其原因,可能由于双埠座落于属于青岛市重工业区的沧口地区,周围有较多的大型化工厂等污染企业,而红岛位于胶州湾北部,是一典型渔村,周围没有大型工业企业,区域养殖比较集中。

将在红岛和双埠两地采集的蛤仔体内元素含量与底栖生物的最高允许浓度标准及食品卫生标准进行比较(表2)发现,虽然表中的浓度单位不同,湿重浓度(mg/kg)与干重浓度($\mu\text{g/g}$)之间存在着一定的浓度差别,但据经验知两者间的差别不显著,所以可进行一定的比较。由表2可知,双埠蛤仔中 As、Cr 的含量已超出食品卫生标准,Cu、Hg、Cd 等元素的含量已接近食品卫生标准的上限;红岛蛤仔的 Cd 的含量超出了食品卫生标准。进一步的调查认为,造成双埠蛤仔体内 Hg、Cr、Cu、As 含量高的主要原因是由于双埠周围的工厂如青岛化工厂、无线电二厂等企业污染引起的。需要指出的是,红岛蛤仔体内的 Cd 含量(2.19 $\mu\text{g/g}$)高于双埠蛤仔体内的 Cd 含量(1.30 $\mu\text{g/g}$),其原因尚需进一步研究。

表2 红岛、双埠两地蛤仔体内重金属元素含量与若干标准的比较

Tab.2 The elemental contents in clam from Hongdao and Shuangbu and some standard

元素	Cd	Cu	Pb	Zn	Hg	As	Cr
红岛($\mu\text{g/g}$ 干重)	2.19	6.4	1.38	83	0.0313	11.18	1.59
双埠($\mu\text{g/g}$ 干重)	1.30	7.8	1.12	84	0.212	16.65	3.88
一般底栖生物的最高允许浓度 (mg/kg湿重) ¹⁾	5.5	100	10	250	0.3		
食品卫生标准(mg/kg湿重) ²⁾	2.0	10.0	2.0		0.3	1.0	3.0

1) 引自吴忠勇等(1981); 2) 引自中国强制性国家标准汇编(1997)

2.3 贻贝指示下的汇泉角和团岛的环境状况

汇泉角和团岛都位于胶州湾的东岸,汇泉角是比较单纯的旅游地区,而团岛集旅游、工商等于一体,环境比较复杂。比较两地贻贝体内的元素含量,发现团岛贻贝体内的 Cd(2.07 $\mu\text{g/g}$)、Zn(294 $\mu\text{g/g}$)、Cu(11.6 $\mu\text{g/g}$)含量高于汇泉角贻贝体内的 Cd(1.34 $\mu\text{g/g}$)、Zn(142 $\mu\text{g/g}$)、Cu(9.5 $\mu\text{g/g}$)含量,可以看出团岛的水质明显低于汇泉角的水质。将团岛贻贝体内的重金属含量与食品卫生标准(表2)比较,可以发现团岛贻贝体内的 Cd、Cu 含量已超出食品卫生标准,Zn 的含量超过一般底栖生物的最高允许浓度,这也证实了有关文献中(吴耀泉等,1993;张淑美等,1987)指出的团岛、马蹄礁、大港、小港等水域 Cd、Cu、Zn 等元素已有了不同程度的污染,胶州湾东岸一带的沉积物重金属元素超标现象较为严重的说法。据调查认为,团岛周围的整流器厂、制钳厂、塑料厂、沙管电镀厂等是 Cd 污染的主要原因;而二轻机械厂、电镀厂、自行车厂、四方机车厂等引起了周围 Cu 浓度增高;而电镀厂、宝石工艺厂、四方机车厂等是 Zn 污染的主要原因。所以,胶州湾东岸的重金属污染问题值得引起人们的重视。汇泉角的贻贝体内 Hg 含量(0.622 $\mu\text{g/g}$)明显高于团岛的贻贝体内 Hg 含量(0.110 $\mu\text{g/g}$),其原因有待进一步研究。

2.4 胶州湾环境的年际变化

以双埠低潮区的蛤仔作为指示生物,比较 1996 年和 1997 年的同一地点采集的蛤仔的分析数据,发现 1997 年蛤仔体内的大多元素含量均高于 1996 年标本的含量,尤其是重金属元素,如 As、Cd、Co、Cr、Eu、Se 等都有很明显的增加(图 4)。需要指出的是,As 由 1996 年的 $2.11\mu\text{g/g}$ 增加到 1997 年的 $16.65\mu\text{g/g}$,增加了近 8 倍;Cd 在 1996 年含量为 $1.07\mu\text{g/g}$,而在 1997 年增加到 $1.30\mu\text{g/g}$,增加了 21.5%;Cr 由 1996 年的 $2.3\mu\text{g/g}$ 增至 1997 年的 $3.88\mu\text{g/g}$,增加了 68.7%。造成以上结果的原因需进一步研究。

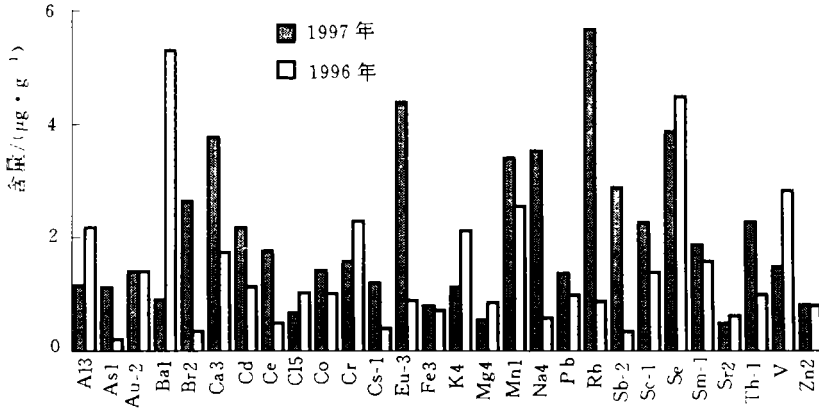


图4 1996年和1997年采自双埠低潮区的蛤仔的体内组成元素的含量比较

Fig.4 The comparison of the elemental contents in the clam from the low intertidal of Shuangbu in 1996 and 1997

比较 1996 年和 1997 年采自汇泉角中潮区的贻贝体内的元素含量(图 5a),发现 1997 年的贻贝体内的 As、Au、Ba、Br、Ca、Ce、Co、Cr、Cs、Eu、Fe、Pb、Rb、Sb、Sc、Sr、Th、Zn 等大多数元素的含量均高于 1996 年的含量。同样可以发现 1997 年团岛中潮区贻贝体内的 As、Au、Br、Ca、Co、Cr、Eu、Mn、Rb、Sb、Sc、Se、Pb、Sr、Th、Zn 等大多数元素的含量均高于 1996 年的含量(图 5b)。

从以上比较可以发现,1996 年 11 月—1997 年 11 月,胶州湾蛤仔和贻贝体内的重金属元素的含量有了不同程度的增加,有的甚至增加了数倍。若将这些数据与 90 年代初的胶州湾生物样品的分析数据比较(表 3),可以发现在短短的 7 年中,胶州湾已经历了很大的变化,重金属元素的含量明显增加。以蛤仔体内的元素含量为例,1997 年的 As、Cd、Cr、Cu、Hg、Pb、Zn 含量分别是 1990 年的约 9、6、8、3、205、2、3 倍;而贻贝体内这些元素的含量,1997 年分别为 1990 年的 6、11、23、8、366、4、6 倍。重金属元素的累积和污染问题已成为胶州湾生态环境污染变化的一个重要部分,应当引起人们的足够重视。

胶州湾是一个比较规则的半日潮区,海流基本上属于往复流,沿岸区域的污染物质随着潮涨潮落必将由沿岸的局部区域向湾心、湾口和湾外扩散和分布,这样就会造成整个胶州湾水域的污染。从 1996 年和 1997 年生物标本的分析数据来看,胶州湾整体的环境状况不容乐观,其东岸区域已有了不同程度的重金属污染现象。为了保护胶州湾的自然环境,确保渔业增殖的可持续发展,维护人们的切身利益,政府和公众都应增强环保意识,加

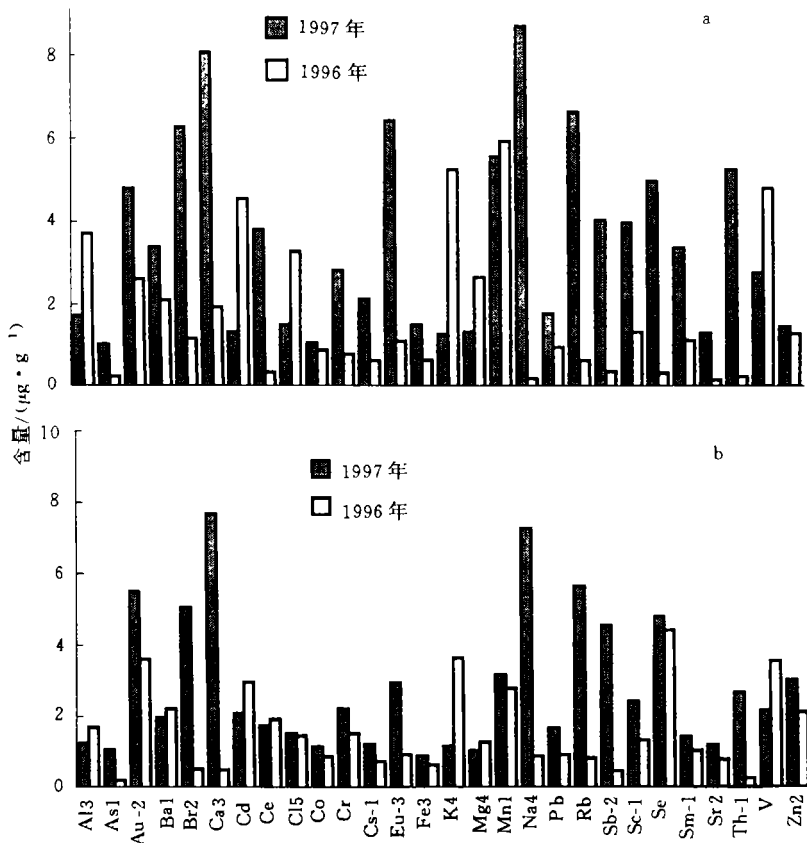


图5 1996年和1997年贻贝体内组成元素含量的比较

Fig.5 The comparison of the elemental contents in the mussel in 1996 and 1997

a: 采自汇泉角中潮区的贻贝标本; b: 采自团岛中潮区的贻贝标本

表3 1990年和1997年的胶州湾双壳类生物标本的分析数据比较表

Tab.3 The comparison of the elemental contents in the bivalves between 1990 and 1997

元 素	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Pb	Zn	
1990年 ¹⁾ (mg/kg湿重)	蛤仔	1.61	0.310	0.352	2.83	0.000 6	0.57	33.88
	牡蛎	1.47	0.048	0.218	0.54	0.000 2	0.37	545.9
	贻贝	1.65	0.150	0.133	1.28	0.001	0.38	37.42
1997年 (μg/g干重)	蛤仔	13.92	1.75	2.74	7.2	0.123	1.25	83.5
	牡蛎	8.07	1.76	1.48	272	0.052	1.43	887.5
	贻贝	10.52	1.71	2.99	10.6	0.366	1.69	218

1) 1990年的数据引自宋树林等(1991)

大投资力度,共同治理和改善胶州湾的环境状况。

参 考 文 献

王文琪,章佩群,1999. 胶州湾贝类体内 29 种元素含量的分析研究. 海洋科学, 5:12—17

- 中国强制性国家标准汇编, 1997. 北京: 中国标准出版社, 130—147
- 吴忠勇主编, 1981. 全国海洋环境科学学术讨论会论文集. 北京: 海洋出版社, 1—61
- 吴耀泉, 张宝琳, 孙道元等, 1993. 胶州湾菲律宾蛤仔死壳分布与生态环境关系的研究. 海洋湖沼通报, 4: 61—65
- 宋树林, 赵德兴, 1991. 薛家岛湾生物体中有害物质的含量和评价. 环境科学通报, 3: 149—152
- 张淑美, 庞学忠, 郑舜琴, 1987. 胶州湾潮间带海区海水中的汞含量. 海洋科学, 2: 35—36
- 孟 可, 孙廷智, 1996. 胶州湾东岸沉积物重金属含量分布与污染源判别. 曲阜师范大学学报(自然版), 22(1): 77—81
- Ostapczuk P, 1997. Mussels and algae as bioindicators for long-term tendencies of element pollution in marine ecosystems. *Chemosphere*, 34: 2 049—2 058
- Ostapczuk P, Schladot J D, Emons H *et al*, 1997. Environmental monitoring and banking of marine pollutants by using common mussels. *Chemosphere*, 34: 2 143—2 151
- Roland K, 1993. The animal specimens of terrestrial and limnetic ecosystems in the environmental specimen banking programme of Germany. *Sci Total Environ*, 139/ 140: 203—212
- Roszbach M, Stoeppeler M, Byrne A R, 1992. Specimen Banking: Environmental Monitoring and Analytical Approaches. Heidelberg: Springer-Verlag, 1—237
- Schladot J D, Ostapczuk P, Emons H, 1992. The environmental specimen bank—long-term storage for retrospective studies. *Anal Magazine*, 20(3): M45—M49
- Sukasem P, Monthip S / Tabucanon, 1993. Monitoring heavy metals in the gulf of Thailand using mussel watch approach. *Sci Total Environ*, 139/140: 297—305
- Wise S A, Schladot J D, Emons H *et al*, 1984. The pilot environmental specimen bank program. *Environ Sci Technol*, 18(10): 302A—307A
- Wise S A, Emons H, Grimmer G *et al*, 1989. Experience in environmental specimen banking. *Intern J Environ Anal Chem*, 38: 91—106

STUDY OF ENVIRONMENTAL ASSESSMENT OF THE JIAOZHOU BAY USING BIVALVES AS A BIOMONITOR

WANG Wen-qi

(*Institute of Oceanology, The Chinese Academy of Sciences, Qingdao, 266071*)

ZHANG Pei-qun

(*Institute of High Energy Physics, The Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100021*)

Abstract The Jiaozhou Bay, located among the areas where industries and agriculture are developing fast recently, is subjected to pollution from many resources. In this paper, we selected 4 different sites around the Jiaozhou Bay to monitor the environmental quality: Hongdao, Shuangbu, Tuandao and Huiquan Jiao. Hongdao is a typical fishery village; Shuangbu is an area with heavy industry and densely population; Huiquan Jiao is a tourism point; Tuandao is an area with factories, transportation and tourism.

Instrumental neutron activation analysis (INAA), atomic emission spectrometry with inductively coupled plasma (ICP-AES) and atomic fluorescence spectrometry (AFS) are used for marine living

organisms to determine the elemental contents in their tissues. To select the suitable biomonitor, three species of bivalves (clam *Ruditapes philippinarum*, oyster *Oystrea denselamellosa*, mussel *Mytilus galloprovincialis*) were collected at each site. 34 elements in these collected organisms were studied, including biological essential elements and toxic ones, such as As, Cd, Cr, Cu, Hg, Mn, Pb, Fe and Br. By comparison of the elemental contents, we suggest that the clam was the most suitable biomonitor for the Jiaozhou Bay.

The preliminary results indicate that some elemental contents (Hg, Cr, Cu, As) in the clam from Shuangbu were much higher than those in the clam from Hongdao; for example, the Hg content in the clam from Shuangbu was $0.212\mu\text{g/g}$, almost 6 times higher than that in the clam from Hongdao ($0.0313\mu\text{g/g}$). This shows that the environmental quality in Shuangbu was worse than that in Hongdao. The environmental quality in Tuandao was worse than that in Huiquan Jiao. The elemental contents in the mussel from Tuandao were much higher than that in the mussel from Huiquan Jiao, for an instance, Cd (Tuandao: $2.07\mu\text{g/g}$, Huiquan Jiao: $1.34\mu\text{g/g}$), Cu (Tuandao: $11.6\mu\text{g/g}$, Huiquan Jiao: $9.5\mu\text{g/g}$) and Zn (Tuandao: $294\mu\text{g/g}$, Huiquan Jiao: $142\mu\text{g/g}$). The inter annual changes of the Jiaozhou Bay were significant, the concentration of heavy metal elements (As, Co, Cr, Pb, Zn) in the clam of 1997 were obviously higher than that of 1996.

From the preliminary results, we suggest that heavy metal pollution is becoming one of the most concerns of environmental quality monitoring in the Jiaozhou Bay.

Key words Biomonitor INAA Elemental contents Environmental quality monitoring

Subject classification number X171