

# 渤海无脊椎动物体内痕量金属含量的研究\*

吴玉霖 崔可铎 赵鸿儒 侯兰英 姜清香

(中国科学院海洋研究所, 青岛)

**提要** 以湿法消化和火焰原子吸收分光光度计对渤海 13 种无脊椎动物体内的 Cd, Cu, Pb, Ni 和 Cr 进行了测定。结果表明, 各种无脊椎动物肌肉中痕量金属含量顺序为: Cu > Cd > Pb > Ni > Cr, 且因不同种类而异。其消化系统、鳃和生殖腺均是痕量金属的主要贮存器官和组织, 肌肉中的含量是最低的。秋季甲壳类动物组织中的痕量金属含量要比春末夏初高。个体大小对痕量金属含量也有一定的影响。

对海洋生物体内重金属含量的分析研究, 国外已有许多报道<sup>[8,10]</sup>。近几年来, 国内在这一方面也开展了一些工作<sup>[2]</sup>。本文对采自渤海的无脊椎动物体内重金属含量进行了测定分析<sup>1)</sup>, 为研究渤海环境状况提供科学依据。

## 材料与 方法

生物样品于 1982 年 5—6 月和 10 月分别采自渤海的辽东湾、渤海湾、莱州湾及渤海中部共 23 个站位(见图 1), 计 13 种无脊椎动物, 其中隶属于甲壳类动物的有三疣梭子蟹 *Portunus trituberculatus*、日本鲟 *Charbdis japonica*、对虾 *Penaeus orientalis*、鹰爪虾 *Trachypenaeus curvirostris*、葛氏长臂虾 *Palaeomon gravieri*、脊尾白虾 *Palaeomon carinicauda*、鼓虾 *Alpheus* sp.、虾蛄 *Oratesquilla oratoria*, 属双壳纲软体动物的有毛蚶 *Arca subcrenata*、扇贝 *Chamys farreri*, 属腹足纲软体动物的有红螺 *Rapana venosa*, 属头足纲的有金乌贼 *Sepia esculenta*、日本枪乌贼 *Loligo japonica*。样品在冰箱中冷冻保存。分析时分别取肌肉、鳃、内脏或肝、生殖腺等不同部位, 加入硝酸、硫酸和高氯酸 (3:1:1) 进行湿法消化, 后用氢氧化铵调 pH 值至 4—5, 移入 50ml 容量瓶中定容, 加入 1% 的吡咯烷二硫代氨基甲酸铵 (APDC) 和 1% 的二乙基二硫代氨基甲酸钠, 再加甲基异丁酮 (MIBK) 萃取, 取有机相用 WFD-Y<sub>2</sub> 型原子吸收分光光度计测定金属含量。

## 结果与 讨论

### 1. 生物体内各种重金属的含量

对 13 种无脊椎动物体内重金属含量的分析结果(见表 1)表明, 不同金属在生物体内的积累量是不一样的。图 2 表明主要几种生物肌肉中不同重金属的含量, 除毛蚶肌肉中镉的含量略高于铜外, 均以铜的含量最高, 其次是镉, 在大多数生物中, 铬的含量最低。重

\* 中国科学院海洋研究所调查研究报告第 1203 号。

1) 生物样品由本所底栖动物研究组的同志采集, 谨此致谢。

收稿日期: 1985 年 5 月 12 日。

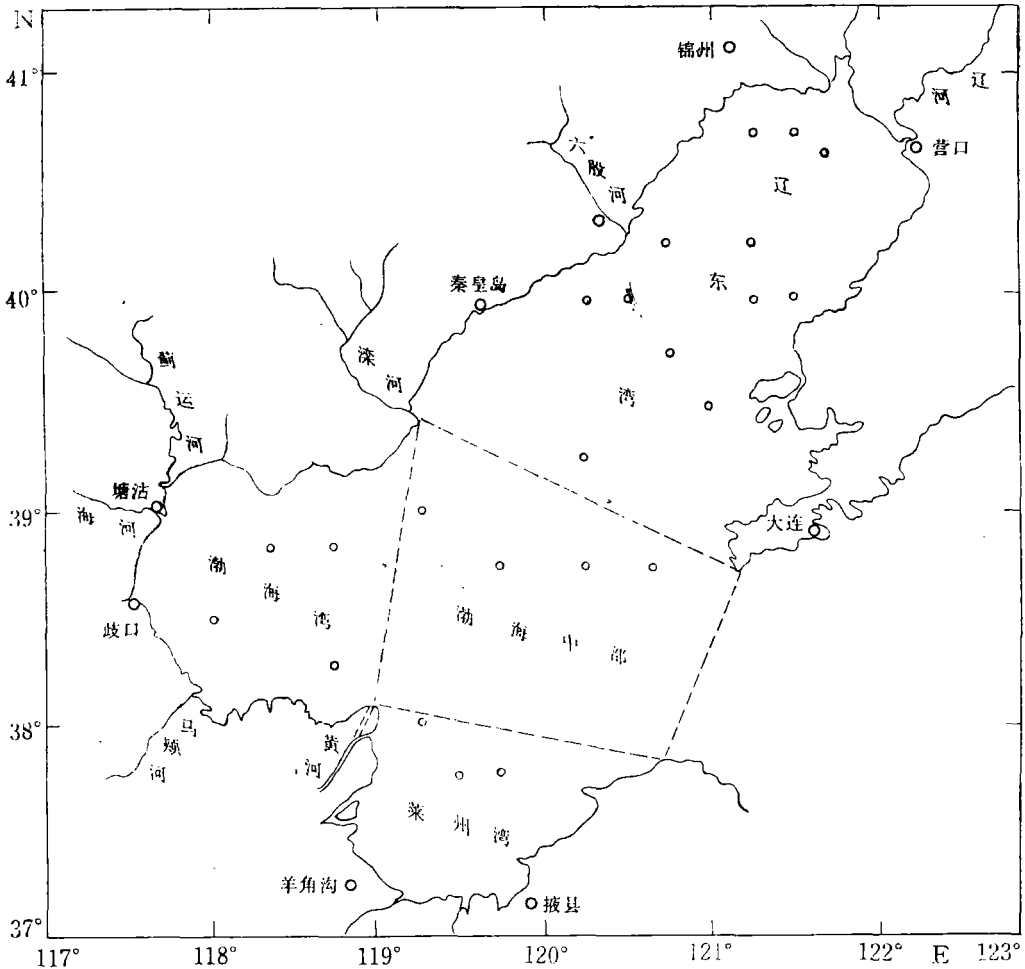


图1 生物样品采集站位图

金属含量高低依次是:  $\text{Cu} > \text{Cd} > \text{Pb} > \text{Ni} > \text{Cr}$ 。生物体内金属含量的高低, 是受若干因素所制约的, 有些元素如铜, 是生命必需元素, 它与某些蛋白质结合, 参与生命活动过程, 起了某些特殊作用, 在正常情况下, 生物体内铜的含量就是较高的。自然环境中元素的含量高低对生物体内该元素含量也是重要的影响因素之一。海洋无脊椎动物体内铜的含量比上述其它四种金属含量高些的事实, 已有一些报道, 如 Lytle et al.<sup>[8]</sup> 在研究美国 St. Louis 湾的 *Crassostrea virginica* 和 *Rangia cuneata* 体内金属含量时表明, 铜的含量要比镉、铅、镍和铬高若干倍。Ramelow<sup>[9]</sup> 分析地中海产的虾、蟹和牡蛎体内的镉、铅、铜、铬、锌和锰时发现, 铜的含量仅次于锌, 比镉、铅和铬等要高得多。

## 2. 重金属在不同生物肌肉中的积累

不同生物的肌肉对金属的积累能力不同 (见图 2)。镉在双壳类软体动物肌肉中含量最高, 扇贝肉中高达  $6.66 \text{ mg/kg}$  湿重 (本文中所有生物样品均为湿重, 下略), 其次为虾蛄。对虾和鹰爪虾肌肉中的含量最低, 分别为  $0.27 \text{ mg/kg}$  和  $0.23 \text{ mg/kg}$ 。生物肌肉中铅



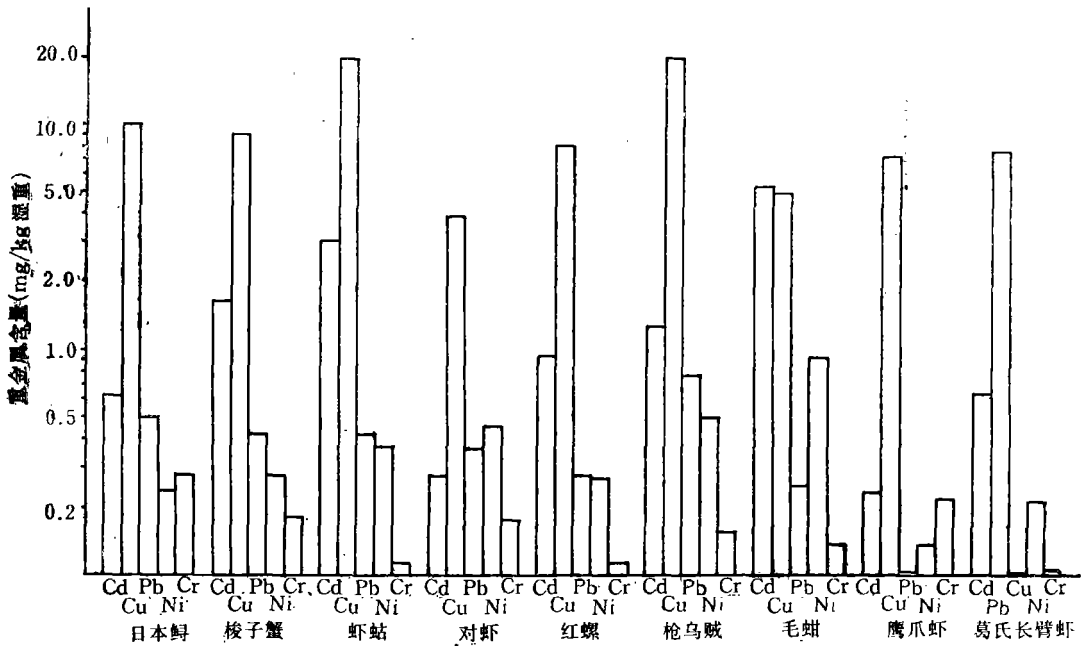


图2 海洋生物肌肉中金属的含量  
(图中葛氏长臂虾“Cu”与“Pb”含量位置应对调)

的含量以虾类最低, 鹰爪虾仅为 0.02mg/kg, 枪乌贼和贝类高些, 达到 0.50—0.78 mg/kg。根据 1980 年测定的数据<sup>1)</sup>, 渤海海水中镉和铅的浓度分别为 0.091μg/L 和 2.95 μg/L。经计算得出各种无脊椎动物肌肉对镉和铅的浓缩系数列于表 2。从表 2 中可以看出, 毛蚶和

表 2 无脊椎动物肌肉对镉和铅的浓缩系数

生物种类	日本鲟	梭子蟹	对虾	虾姑	鹰爪虾	葛氏长臂虾	脊尾白虾	鼓虾	红螺	毛蚶	扇贝	枪乌贼	金乌贼
镉	7143	18132	2967	33297	2527	7033	7802	3626	10440	55604	73187	12857	8571
铅	169	142	122	142	7	24	27	51	92	85	180	264	81

扇贝对镉的浓缩系数高达  $(5-7) \times 10^4$ , 比对虾和鹰爪虾高一个数量级。而各种无脊椎动物肌肉对镉的浓缩系数比对铅一般要高二至三个数量级。铜以枪乌贼和虾姑肌肉中的含量最高, 分别为 19.70 和 19.30mg/kg, 虾蟹类次之, 双壳类最低, 扇贝肌肉中的铜含量仅为 1.76mg/kg。镍在毛蚶肌肉中的含量最高, 为 0.91 mg/kg, 其他生物一般为 0.20—0.50 mg/kg。铬在各种生物肌肉中的含量没有明显差异, 均在 0.10—0.30mg/kg 范围。高士伟等<sup>2)</sup>曾对河北省沿海生物体内重金属含量进行了分析, 结果是镉以贝类最高, 平均达 0.93 mg/kg, 扇贝高达 7.14 mg/kg, 铜以甲壳类为高, 蟹类平均为 7.43 mg/kg。与我们的

1) 史鄂侯, 韩见高, 1981。中国海污染概况。  
2) 高士伟等, 1982。河北沿海海洋动物体内重金属的研究。

分析结果相近。

总之,在不同生物类群中各种金属含量有一定差异,双壳类软体动物肌肉中的镉要比虾类高得多,铅亦有类似的趋势,而铜却是甲壳类动物比双壳类软体动物高。

### 3. 在生物不同组织和部位中各种痕量金属的分布

各种金属在生物不同组织和部位的分布上有差异。分析结果表明(见表1),镉主要分布在生殖腺、心脏中,其次是鳃,肌肉中含量最低。铜以肝脏、生殖腺中含量最高,鳃中也有较高的分布,肌肉中分布最少。铅在无脊椎动物不同器官和部位中分布的趋势与镉相似。镍主要分布在生殖腺、鳃和内脏中。虽然铬在肌肉中的含量亦是最低的,但不同组织和部位之间差异不大。值得指出的是,扇贝的足丝上各种金属的含量均较高,显示出它对金属有着较强的富集能力。各种生物肌肉中5种金属的含量比其他组织和部位低得多,这种分布趋势与我们用非洲鲫鱼<sup>[1]</sup>和毛蚶<sup>[2]</sup>在室内的试验结果一致。Segar et al.<sup>[10]</sup>分析了采自爱尔兰海的扇贝 *Pecten maximus* 和贻贝 *Modiolus modiolus* 体内痕量金属的含量,结果亦表明,铜和铅主要分布在内脏、生殖腺和鳃中,肌肉中的含量最低。而铬在各部位的分布差异不大。Cunningham<sup>[6]</sup>指出,对双壳类的试验结果说明鳃和消化系统金属含量最高,这些组织累积金属的能力可能是由于大的比表面积和粘液(一种复杂的碳氢化合物硫酸盐)的化学本质促成的。从我们的研究结果和已报道的资料看来,重金属一般主要分布在内脏、鳃、生殖腺等器官中,肌肉中的含量最低。

### 4. 性别对生物积累金属的影响

据我们对三疣梭子蟹和日本鲟的分析结果可以看出:构成这两种蟹类软体的肌肉中5种金属含量,在雌、雄个体间并没有明显差别(见表3)。在海洋甲壳类的生殖周期中,当性腺未成熟时,其重量占整个软体部份的百分比是很小的。可以预计,此时雌、雄性腺所存在的差异不足以明显影响整个软体部分的金属含量。然而,发育成熟的性腺体积明显变大,在整个软体部分所占的比重与未发育时的相比,要大得多。这时性腺中金属的含量若明显不同于其他软体部分,势必会影响整个软体部分重金属含量的高低。5—6月,正是梭子蟹和日本鲟的繁殖季节,此时大多数个体性腺成熟。我们将这一时期两种蟹类不同性腺中金属含量的分析结果列于表2。从表中可以看出,对于铜,两种蟹类均是雄性明显高于雌性,雄、雌性腺中铜的浓度比,梭子蟹为1.88,日本鲟为1.80。我们采用“*t*”检验法进行差异的显著性检验,对于日本鲟的检验结果是: $t = 2.167$ ,  $df = 12$ ,  $t_{0.05} = 2.179$ ,  $t$  接近于  $t_{0.05}$ , 说明差异还是显著的。对于梭子蟹,计算结果是  $t = 1.061$ ,  $df = 15$ ,  $t_{0.05} = 2.131$ ,  $t < t_{0.05}$ , 虽不能肯定两性腺具有显著差异,但  $t$  的双侧概率只略差于0.30。对于镍和铬,这两种生物雌性腺中的浓度均略高于雄性的。根据  $t$  检验结果看出,两种生物不同性腺间镉、铅、镍和铬的浓度均没有明显差异。Alexander and Young<sup>[3]</sup> 在分析加利福尼亚贻贝体内不同组织重金属含量时,也得出雌、雄个体的消化腺或肌肉之间含量没有差别,但雄、雌生殖腺中金属含量不同,两者之间铜、铅含量比分别是0.5和1.7,与我们的结果不同。

### 5. 体重(或大小)的影响

1) 崔可铎、吴玉霖、赵鸿儒等。1982。毛蚶对镉、铜、铅、镍和铬5种混合重金属积累、排出和在体内分布及盐度对其积累的影响(待发表)。

表 3 生物雌雄个体间重金属含量的差异(单位 mg/kg 湿重)

生物种类	性别	镉		铜		铅		镍		铬	
		肌肉	生殖腺	肌肉	生殖腺	肌肉	生殖腺	肌肉	生殖腺	肌肉	生殖腺
日本鲟	雌	0.64	2.47	11.00	24.19	0.31	0.66	0.27	0.68	0.11	0.25
	雄	0.67	4.40	9.13	43.63	0.44	0.93	0.22	0.53	0.21	0.09
梭子蟹	雌	1.73	4.20	7.92	15.00	0.35	1.07	0.27	0.86	0.19	0.27
	雄	1.20	3.58	8.59	28.01	0.52	0.79	0.28	0.35	0.20	0.21

在统计分析梭子蟹、日本鲟的肌肉和鳃及虾蛄肌肉的金属含量与生物个体重之间的关系中可以看出,两者之间存在着一定的相关性(见表4)。三疣梭子蟹的肌肉和鳃中5种金属的含量均与个体重之间呈正相关关系,也就是说,个体越重,肌肉和鳃中所含的5种金属含量就越高。若单就5—6月份所采集的样品分析结果进行统计,则出现在三疣梭子蟹肌肉中的铜和镍及鳃中的5种金属与个体重之间呈负相关关系,这表明生物组织中金属含量与个体重之间的关系在一定程度上受季节的影响。与梭子蟹成鲜明对比的是,除铬外,日本鲟肌肉和鳃及虾蛄肌肉中镉、铜、铅和镍的含量与个体重之间均呈负相关关系。而季节对这一关系并未显示出有明显的影响。值得指出的是,铬在三种生物的肌肉及鳃中的含量与个体重之间均呈正相关关系。总之,个体重(或大小)对这三种生物肌肉和鳃中的重金属含量有一定的影响,所以在利用生物作为海域污染监测指标和评价环境

表 4 生物肌肉中金属含量与体重之间的相关性\*

生物种类	体重范围	痕量金属	截距值 ( $lg a$ )	真截距值 ( $a$ mg/kg)	斜率 ( $b$ )
梭子蟹	31.0—558.0(g)	Cd	-0.802	0.158	0.416
		Cu	0.542	3.483	0.159
		Pb	-0.719	0.191	0.137
		Ni	-1.251	0.056	0.315
		Cr	-1.407	0.039	0.376
日本鲟	21.5—211.5(g)	Cd	0.238	1.730	-0.322
		Cu	1.375	23.713	-0.230
		Pb	1.578	37.844	-1.147
		Ni	0.474	2.979	-0.605
		Cr	-0.919	0.121	0.056
虾蛄	13.0—49.0(g)	Cd	1.021	10.495	-0.421
		Cu	1.547	35.237	-0.213
		Pb	0.959	9.099	-0.324
		Ni	-0.306	0.494	-0.165
		Cr	-1.849	0.014	0.701

\* 计算式:  $lg$  金属含量 =  $b lg$  体重 +  $lg a$

状况时,必需予以考虑。

## 6. 季节的差异

对 5—6 月和 10 月所采集的梭子蟹、日本鲟和虾蛄的肌肉中 5 种金属含量的测定分析结果表明,除个别生物中的个别金属外,一般都是 10 月份(秋季)的含量高于 5—6 月份(春末夏初)。在梭子蟹和日本鲟的鳃中,5 种金属含量亦有类似的季节变化趋势(见图 3)。据时吉营<sup>1)</sup>对渤、黄海的部分鱼、虾和贝类重金属含量的分析,也发现镉、铜、铅和铬的含量一般是秋季高于春季。Bryan 在研究 *Pecten maximus* 和 *Chlamys operalaris* 肌肉中

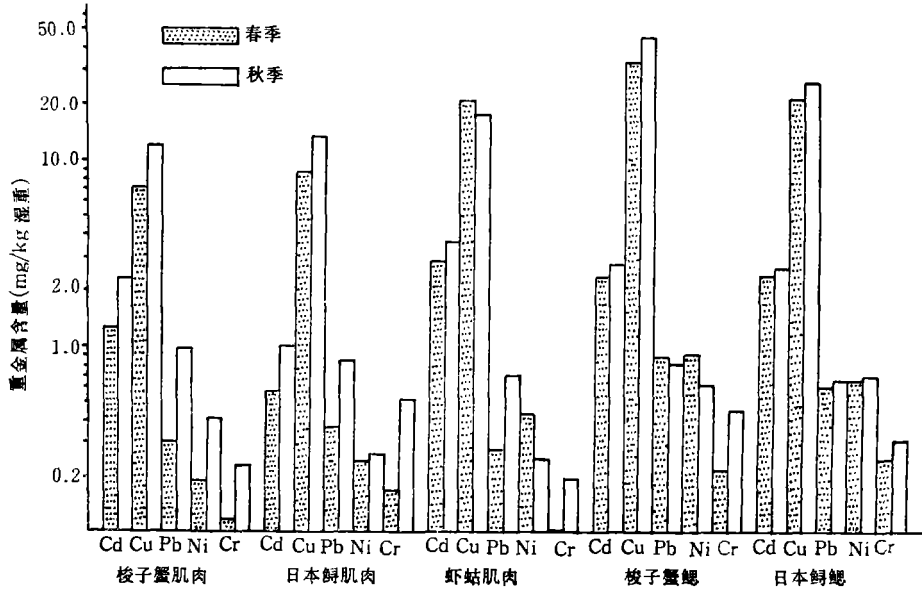


图 3 生物不同部位重金属含量的季节差异

表 5 不同海域生物肌肉中重金属含量的差异(单位 mg/kg 湿重)

海域	镉			铜			铅			镍			铬		
	日本鲟	梭子蟹	虾蛄	日本鲟	梭子蟹	虾蛄	日本鲟	梭子蟹	虾蛄	日本鲟	梭子蟹	虾蛄	日本鲟	梭子蟹	虾蛄
辽东湾	0.60	2.23	3.49	7.87	8.74	19.61	0.31	0.50	0.39	0.35	0.28	0.42	0.10	0.10	0.05
渤海湾	0.22	0.58	2.49	6.93	6.40	29.71	0.39	0.40	0.28	0.18	0.21	0.27	0.19	0.15	0.08
莱州湾	0.94	1.01	2.10	11.54	6.93	13.40	0.07	—	0.15	0.08	0.07	0.21	0.40	0.37	0.21
渤海中部	0.49	2.86	2.92	15.65	15.08	17.42	1.11	1.52	0.62	0.52	0.46	0.47	0.49	0.30	0.14
允许标准	0.30			10.00			2.00						0.50		

1) 时吉营。1982。渤、黄海部分水产生物重金属分析。

锌、铅、铜、钴、铁、锰和镍含量的季节变化时,也得出一般以秋季和冬季最高的结果。这可能是由于秋季的水温比春季要高,海洋生物的新陈代谢较旺盛(关于温度对生物金属积累的影响,国外已有一些研究报道)<sup>[6]</sup>。同时,秋季饵料生物较丰富,从而使这些甲壳类动物有可能积累较多的重金属。

### 7. 不同海域间的差异

由于日本鲟、虾蛄和梭子蟹在渤海各个海域均有分布,我们利用从不同海域所获这三种生物肌肉中金属含量的测定结果,进行了地理差异的分析。其中分布于辽东湾的共 12 个站位,渤海湾 4 个站位,莱州湾 3 个站位,渤海中部 4 个站位。表 5 中所列的数据为各海域各站样品的平均值。结果表明,辽东湾镉的含量较高,渤海中部次之,其他两个湾则较低。铜、铅和镍均以渤海中部较高,辽东湾和渤海湾次之,莱州湾最低。但莱州湾三种生物肌肉中铬的含量要比其他海域高些,其次为渤海中部,渤海湾和辽东湾较低。引起不同海域生物肌肉中重金属含量的这些差异,特别是与水环境及底质中重金属含量的关系,尚待探讨。

### 8. 对渤海重金属污染水平的初步评价

如果以我国颁发的食品卫生标准和联合国粮农组织所推荐的关于某些食品中污染物的最高允许浓度为标准浓度值,那么可以看出,渤海无脊椎动物肌肉中铜、铅和铬的浓度均没有超标。少数个体如日本鲟和梭子蟹的鳃和生殖腺中,铜的含量较高,并有超标现象。镍在各种无脊椎动物肌肉中的含量,均接近海洋生物地球化学的本底浓度值(0.40 mg/kg)。但除对虾和鹰爪虾外,各种无脊椎动物肌肉中镉的含量均超标(标准浓度值为 0.30mg/kg,见表 5)。在三个大湾中,以辽东湾为较严重,毛蚶和扇贝的肌肉中高达 5—6mg/kg,比标准浓度值高 10 倍以上。据高象贤等<sup>[1]</sup>的测定表明,辽东湾的毛蚶(采自王家窝卜)和扇贝(采自止锚湾)体内镉的含量分别高达 11.15mg/kg 和 11.84mg/kg。这说明辽东湾水产生物体内镉的污染情况是较严重的,必须引起重视。

## 参 考 文 献

- [1] 吴玉霖、赵鸿儒、侯兰英,1983。重金属镉、铅、铜和镍在非洲鲫鱼体内的积累分布和排出。海洋与湖沼 14(5): 473—481。
- [2] 刘明星、李国基、顾宏堪,1983。渤海湾鱼类甲壳动物、软体动物的痕量金属含量。环境科学学报 3(2): 149—155。
- [3] Alexander, G. V. and D. R. Young, 1976. Trace metals in southern Californian mussels. *Mar. Poll. Bull.* 7(1): 7—9.
- [4] Bryan, G. W., 1973. The occurrence and seasonal variation of trace metals in the scallops *Pecten maximus* and *Chlamys opercularis*. *J. Mar. Biol. Ass. U. K.* 53: 145—166.
- [5] Bryan, G. W., 1980. Recent trends in research on heavy-metal contamination in the sea. *Helgolander Meeresunters* 33: 6—25.
- [6] Cunningham, P. A., 1979. The use of bivalve molluscs in heavy metal pollution research. In: *Marine Pollution: Functional Responses*. ed. by W. B. Vernberg et al. New York, Academic press. pp. 183—221.
- [7] David Latouche, Y. and C. Mix Michael, 1982. The effects of depuration, size and sex on trace metal levels in bay mussels. *Mar. Poll. Bull.* 13(1): 27—29.
- [8] Lytle, T. F. and J. S. Lytle, 1982. Heavy metals in oysters and clams of St. Louis Bay, Mississippi. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 29: 50—57.

[1] 高象贤等,1982。辽东湾海域污染对水产资源影响的调查报告。



- [9] Ramelow, G., S. Tugrul, M. A. Ozkan, et al, 1978. The determination of trace metals in marine organisms by Atomic Absorption Spectrometry. *Intern. J. Environ. Anal. Chem.* 5: 125—232.
- [10] Segar, D. A., J. D. Collins and J. P. Riley, 1971. The distribution of the major and some minor elements in marine animals. II. molluscs. *J. Mar. Biol. Ass. U. K.* 51: 131—136.
- [11] Turgut, I. B., S. Tugrul and I. Salihoglu, 1982. Trace metal levels in fish and crustacea from northeastern mediterranean coastal waters. *Mar. Environ. Res.* 6: 281—289.
- [12] Wright, D. A., 1978. Heavy metal accumulation by aquatic invertebrates. *In: Applied Biology*, vol. III. ed. by T. H. Coaker. London, Academic press. pp. 331—394.

## STUDIES ON TRACE METAL CONCENTRATIONS IN INVERTEBRATE FROM BOHAI SEA\*

Wu Yulin, Cui Keduo, Zhao Hongru, Hou Lanying and Lou Qingxiang

(*Institute of Oceanology, Academia Sinica, Qingdao*)

### ABSTRACT

This research was undertaken to determine Cd, Cu, Pb, Ni and Cr concentrations in 13 species of invertebrate from the Bohai Sea. Trace metal concentrations in tissues were determined by flame atomic absorption spectrophotometry after wet digestion.

The results show that muscle trace metal concentrations in invertebrates follow the pattern:  $Cu > Cd > Pb > Ni > Cr$ , but differ in different organisms. Generally, the muscle cadmium and lead concentrations of bivalves are higher than others. But the copper concentration in crustacea muscle is higher than that in bivalves. Significant difference of muscle nickel and chromium concentrations between different organisms were not found. For all species, the digestive system, gill and gonad are principal tissues for concentrating trace metal, concentrations of trace metal in muscle are the lowest. In general, tissue trace metal concentration in crustacea in autumn are higher than that in late spring and early summer.

Effects of body weight upon tissue trace metal concentration in invertebrates were also discussed.

\* Contribution No. 1203 from the Institute of Oceanology, Academia Sinica.