

# 毛蚶对汞积累和排出的室内试验\*

吴玉霖 崔可铎 刘玉梅 侯兰英 娄清香

(中国科学院海洋研究所)

随着汞资源的开发利用,产生了大量的含汞废渣、废气和废水,它们绝大部分通过江河迳流和雨雪尘土的沉降而进入海洋。据估计,每年进入海洋的汞竟多达10,000吨<sup>[1]</sup>,这就使某些港湾和局部海区遭受严重的汞污染,给海洋生物以至人类健康造成危害。自从日本发现由于汞引起的闻名世界的公害病——水俣病以后,许多国家的学者对汞污染的生物效应进行了大量研究。海洋生物是海洋中汞迁移转化过程的一个重要环节,国外学者利用紫贻贝和牡蛎进行了试验,取得了丰富的资料。本文利用我国重要的经济贝类毛蚶 *Arca (Anadara) subcrenata* Lischke 进行了汞的积累和排出的研究,对于了解汞在生态系中迁移过程、渔业水质标准的制定、海域环境质量的综合评价及人类健康的保护均具有一定意义。

## 材料与方 法

毛蚶仅分布在我国和日本沿海,为我国北方沿海重要的食用贝类,主要栖息在水深1至7米的潮下带泥沙滩上。试验用的毛蚶于1979年3月采自滨临莱州湾的掖县沿海,个体大小为9—18克(整体重),试验前先在水泥池中驯养20天,然后从中挑选健康的个体,分养在8个大玻璃缸内。每缸放养35个,海水量为10升,汞(氯化汞)浓度是0.01ppm,每天用含汞浓度相同的新鲜海水更换一次。海水盐度为33‰左右,水温变化范围为17—23℃,这是毛蚶在自然情况下生长最适宜的温度。试验期间每天每缸喂以三角褐指藻 *Phaeodactylum tricornerutum* 液60毫升,密度为 $10^6$ — $10^7$ 个细胞/毫升。

毛蚶对汞的排出试验,是在上述条件下饲养35天之后,将其中三个缸的毛蚶移入盛有不加汞的新鲜海水的玻璃缸内,水量亦为10升,每天更换新鲜海水一次,并喂以上述同样的饵料。

毛蚶对汞的积累和排出试验,均每隔七天取生物样品一次,延续时间分别达119天和87天。每次取8个个体分别称重后去壳,再对贝壳和软体部分(肉)分别称重并分别放入圆底烧瓶,用浓硝酸和硫酸进行回流消化。其后对样品中的汞用双硫脲比色法进行测定。

毛蚶对汞的浓缩系数根据下式进行计算:

$$\text{浓缩系数} = \frac{\text{汞, } \mu\text{g/生物湿重, g}}{\text{汞, } \mu\text{g/海水, ml}}$$

\* 中国科学院海洋研究所调查研究报告第794号。

文稿承娄康后教授和吴宝铃教授审阅,在此表示衷心感谢。本文曾于1979年在中国环境学会环境生物学专业委员会学术讨论会上宣读。

本刊编辑部收到稿件日期:1981年3月17日。

## 结果和讨论

据毛蚶的软体部分和贝壳汞含量的测定结果(图 1)和浓缩系数(表 1)可以看出：其软体部分对汞具有很强的积累能力。试验开始后第 42 天，浓缩系数即达到 3100，积累的高峰出现在试验开始后的第 80 天左右，最高浓缩系数达 5694 (8 个个体的平均值)。随后有所下降，第 91 天后基本上处于动态平衡状态。据国外许多学者的研究，海产双壳类对许多痕量金属的浓缩系数可达  $10^3$ — $10^6$  以上。如 Cunningham and Tripp<sup>[3]</sup> 利用牡蛎 *Crassostrea virginica* 在含有 0.01ppm 汞浓度的海水中试验表明，试验开始后第 45 天，牡蛎体内汞的浓度达到 28ppm，即浓缩系数为 2800，与我们的试验结果接近。

为判定毛蚶软体部分对汞的积累是否已达到平衡状态，我们对试验开始第 91 天后的五组取样数据 (即第 13 至 17 次取样测定的数据) 进行了数理统计分析。先用 Bartlett  $X^2$  检验法对各组数据进行方差齐性检验，然后采用单因子多组群方差分析方法进行 F 检验。经计算表明，组间方差与组内方差无异，换句话说，即组与组之间不存在系统差异。因此，我们认为在试验开始第 91 天以后，毛蚶软体部分对汞的积累已达到平衡状态。

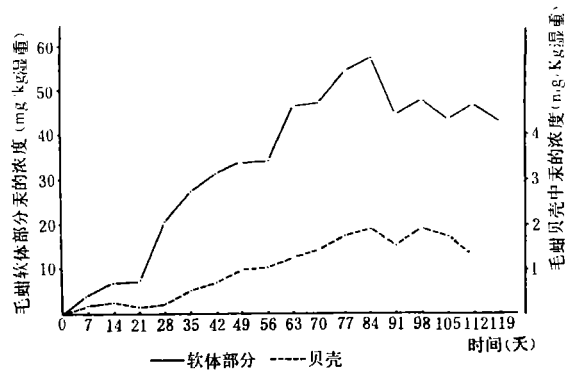


图 1 毛蚶对汞的积累

表 1 毛蚶对汞的浓缩系数

取样序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
时间间隔(天)	7	14	21	28	35	42	49	56	63	70	77	84	91	98	105	112	119
软体部分*	403	703	734	2050	2714	3015	3381	3391	4006	4653	5380	5694	4408	4766	4313	4660	4274
贝壳**	19	26	17	25	55	72	100	106	125	143	175	191	153	191	175	126	—

\* 为 8 个个体软体部分的平均值。 \*\* 为 2 个个体贝壳的平均值。

与软体部分相比，毛蚶贝壳对汞的积累能力要低得多，但两者积累的趋势近似 (图 1)。贝壳中汞的积累高峰也是在试验开始后第 84 天左右出现。平衡时最高浓缩系数为 190。

值得指出的是，在我们的试验中发现，毛蚶个体软体部分的重量与汞的浓度之间存在着一定的相关。表 2 为第 13 次取样至第 17 次取样所得数据的分析结果，从表中可以看出，个体较小的软体部分与个体较大的相比，对汞有较强的积累能力。这一点若干国外学者也有报道，如 De Wolf<sup>[6]</sup> 观察到，在同一地点采集到的紫贻贝，较小的个体中有较高的汞浓度。Cunningham and Tripp<sup>[3]</sup> 在实验室中发现，*Crassostrea virginica* 较小的个体对

汞的吸收比较大的个体更快。Boyden<sup>[2]</sup> 曾报道了 *Mytilus edulis* 体内铅、铜、锌和铁的含量随着重量的增加而减少。由此可见,双壳类个体大小与其体内重金属浓度之间的这种负相关性是比较普遍存在的。可以推测,这可能与小的个体具有更为旺盛的新陈代谢有关。有人测定了美国 Chesapeake 湾三种双壳类 (*Mytilus arenaria*, *Mulinia lateralis*, *Macoma baltica*) 的呼吸率,发现它是随着个体的增大而减少(转引自 Cunningham<sup>[5]</sup>)。另外,小的个体比大的个体具有更大的表面积与体积的比率,而较大的比率对于重金属的积累和转移的进行是有利的。

表 2 毛蚶软体部分的重量与汞浓度之间的关系

汞浓度(mg/kg 湿重)	取样序号					
		13	14	15	16	17
软体重组 (g)						
2.00 以下			63.6	72.6		
2.01—2.50		57.0		40.0	58.8	
2.51—3.00		48.6	39.0		43.1	46.4
3.01—3.50			59.7	35.1	32.5	31.7
3.51—4.00		66.9	34.8			
4.01 以上		37.3	26.7			

总之,毛蚶对汞的积累能力很强,与非洲鲫鱼相比<sup>[1]</sup>,浓缩系数高近一倍,这一现象应该引起我们足够的重视。因为即使在汞浓度不超过渔业水质标准的天然水中长时间饲养,毛蚶体内含汞量仍有超过国家规定的食用卫生标准的可能。另外,我们认为利用毛蚶对汞有较强积累能力的特点,并考虑到毛蚶个体较大、易辨认、在我国沿海分布广、容易采集、生命周期较长及活动范围较小等特点,可考虑作为近岸水域和港湾汞污染监测的指示生物之一。

毛蚶对汞的排出试验结果如图 2 所示。毛蚶在含有 0.01ppm 汞浓度的海水中饲养 35 天,其软体部分汞的积累量达到 27.1mg/kg 湿重,移到盛有不加汞的新鲜海水的玻璃

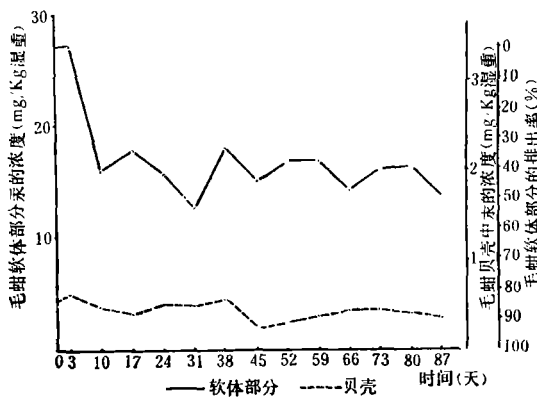


图 2 毛蚶对汞的排出

缸中,在试验开始后的前 10 天,汞排出速度最快,排出率达 40%。其计算式如下:

$$\text{排出率}(\%) = \left[ 1 - \frac{\text{体内汞的残留量}(\text{mg/kg 湿重})}{\text{开始时体内含量}(\text{mg/kg 湿重})} \right] \times 100$$

10 天之后,排出的速度减缓,至第 31 天,排出率达 53.8%。此后的近两个月时间内,排出率均在 40%—50% 之间波动。据 Dillon 等<sup>[7]</sup>用双壳类 *Rangia cuneata* 进行汞的排出试验结果,在干净的海水中第一个星期排出十分迅速,排出率达 45% 左右,继后三个月生物体内汞含量下降十分缓慢,约至 4 个月末,排出率才达 85%。由此可见,尽管 *Rangia cuneata* 对汞的排出能力比毛蚶强,但两者排出的趋势却相似,都是在最初 10 天左右能迅速排出。Cunningham and Tripp<sup>[4]</sup>用汞-203 进行示踪试验,发现牡蛎对汞排出的趋势也与上述情形类似。显然,毛蚶对汞排出的这一规律,具有一定的实用意义。另外,在用海洋生物作为海洋重金属污染的指标时,必须考虑到排污盛期与排污间歇期对生物体内重金属含量的影响。

毛蚶贝壳中汞的排出始终是缓慢进行的,至试验末期,排出率约为 30%。

我们对汞在毛蚶软体部分的生物学半衰期进行了测定。汞的生物学半衰期是指生物因生命活动过程的结果,体内积累的汞排出一半所需的时间。我们采用 Renfro 所提出的计算方法(转引自 Cunningham)<sup>[5]</sup>,其计算式为:  $\log y = a + bx$  这里  $y$  为在时间为零时体内含量的百分数,  $b$  为斜率,  $a$  为  $y$  的截距,  $x$  为时间(天)。生物学半衰期以下式计算:

$$B_{\frac{1}{2}} = \frac{\log 2}{b}$$

我们利用排出试验的前五次取样数据进行计算,结果得毛蚶体内汞的生物学半衰期为 31 天。与 Cunningham<sup>[3]</sup>利用牡蛎进行试验所获的结果相近(表 3)。不过,在第 31 天

表 3 对汞排出试验的生物学半衰期 ( $B_{\frac{1}{2}}$ ) 测定

种 类	暴露期间海水中汞浓度 (ppm)	暴露时间 (天)	开始排出时体内汞含量 (mg/kg 湿重)	排出时间 (天)	水 温 (°C)	$B_{\frac{1}{2}}$ (天)
毛蚶 <i>Arca subcrenata</i>	0.01	35	27.1	87	20±3	31
牡蛎 <i>Crassostrea virginica</i> *	0.01	45	12.1	80	25—5	35.4

\* 引用 Cunningham and Tripp (1975a) 资料

之后,毛蚶体内汞的残留量略有回升,此后一直波动在排出开始时体内含量的 50%—60% 之间。

## 参 考 文 献

- [1] 崔可铎、吴玉霖、刘玉梅、侯兰英、姜清香, 1982。非洲鲫鱼 *Tilapia mossambica* (Peters) 对汞积累的实验研究。环境科学学报 2(1): 80—84。
- [2] Boyden, C. R., 1974. Trace element content and body size in molluscs. *Nature* 251: 311—314.
- [3] Cunningham, P. A. & M. R. Tripp, 1975a. Factors affecting the accumulation and removal of mercury from tissues of the American oyster *Crassostrea virginica*. *Mar. Biol.* 31: 311—320.
- [4] ——— & ———, 1975b. Accumulation, tissue distribution and elimination of  $^{203}\text{HgCl}_2$  and  $\text{CH}_3^{203}\text{HgCl}$  in the tissue of the American oyster *Crassostrea virginica*. *Mar. Biol.* 31: 321—324.

- [ 5 ] ———, 1979. The use of bivalve molluses in heavy metal pollution research. In: "marine pollution: functional responses". Edited by Vernberg, W. B. et al. Academic Press. New York. pp. 183—221.
- [ 6 ] De Wolf, P., 1975. Mercury content of mussels from West European coasts. *Mar. Pollut. Bull.* 6: 61—63.
- [ 7 ] Dillon, T. M. & J. M. Neff, 1978. Mercury and the estuarine marsh clam, *Rangia cuneata* Gray. II. Uptake, tissue distribution and depuration. *Mar. Environ. Res.* 1: 67—77.
- [ 8 ] GESAMP., 1976. Review of harmful substances. Reports and studies. United Nations. New York. pp. 28—30.
- [ 9 ] Kopfler, F. C., 1974. The accumulation of inorganic mercury compounds by the eastern oyster, *Crassostrea virginica*. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 11: 275—280.
- [ 10 ] Phillips, D. J. H., 1977. The use of biological indicator organisms to monitor trace metal pollution in marine and estuarine environments—a review. *Environ. Pollut.* 13: 281—317.

## LABORATORY EXPERIMENT ON THE ACCUMULATION AND DEPURATION OF MERCURY BY *ARCA* (*ANADARA*) *SUBCRENATA* LISCHKE\*

Wu Yulin   Cui Keduo   Liu Yumei   Hou Lanying   and   Lou Qingxiang  
(*Institute of Oceanology, Academia Sinica*)

### ABSTRACT

Adults of *Arca subcrenata* were held in seawater with mercury (as mercuric chloride) concentration of 0.01 ppm for 119 days. The mercury concentration in both the soft part (meat) and shell was determined using wet digestion and spectrophotometry. For 80 days after the beginning of the accumulation experiment, *Arca subcrenata* rapidly accumulated mercury from seawater, followed by a fluctuation within certain limit in the succeeding month. The highest mercury concentration in the soft part was 56.91 ppm, i.e. the bioaccumulation factor was 5691. The highest mercury concentration in the shell was 1.90 ppm. We found that the soft part of smaller *Arca subcrenata* accumulated more mercury per gram wet weight than the larger one.

In the depuration experiment, we removed *Arca subcrenata* that had been held in the seawater with mercury concentration of 0.01 ppm for 35 days into seawater with no mercury added. At that time, the average mercury concentration of the soft part was 27.14 ppm. Depuration of mercury from *Arca subcrenata* was carried on for 87 days. During the initial ten days, the mercury was rapidly depurated from the soft part by 40%. From then on, there was a slow but steady depuration over the succeeding two months or so, and the mercury concentration of the soft part decreased by 50% at the end of the depuration experiment.

\* Contribution No. 794 from the Institute of Oceanology, Academia Sinica.