

镉、铜、铅、镍、铬在毛蚶体内积累、 分布和排出的实验研究

崔可铎 吴玉霖 赵鸿儒 侯兰英 姜清香

(中国科学院海洋研究所)

环境中的污染物,极少单一存在,往往是多种并存。因此,它们对生物的影响是综合性的,可能产生拮抗 (Antagonism) 或协同作用 (Synergism)。然而,以实验的方法研究多种重金属对海洋动物的效应的报道目前还不多见。已有的多为单种元素的实验研究,如 Cunningham 和 Tripp^[5,6,7]对汞在美洲牡蛎体内的积累、排出以及用同位素标记其在组织中的分布做了不少工作;Eisler 等^[8]做了镉对海洋动物影响的研究;Phillips^[9]近几年来做了监测重金属污染物的生物指标种的探讨。

毛蚶 *Arca (Anadara) subcrenata* Lischke, 在我国沿海均有分布,大量产于渤海,是沿海地区的重要食用贝类。作者以毛蚶为实验材料,探讨镉、铜、铅、镍、铬等五种混合的重金属在其体内的积累、排出和在器官组织中的分布,以及盐度变化对其积累的影响。这对于了解重金属对海洋生物的影响,进行环境质量的综合评价是很必要的,尤其在环境条件较为复杂的河口和海湾区域更具有重要意义。

一、材料和方法

毛蚶多栖息在潮下带水深 10 m 的泥沙或软泥质滩上。实验所用的毛蚶捕自莱州湾,体重绝大部分为 10—17 g。1981 年 11 月 23 日取回毛蚶后,经海水冲洗,挑选,暂养在露天泥池中,流动水,水温 4℃。1982 年 1 月 5 日移入实验室试养,水温 11℃,1 月 11 日开始实验。每个玻璃缸容海水 10 L,培养毛蚶 50 个,实验药物分低、中、高三个浓度,并设空白对照组。恒温 15℃ 培养。实验期间每天更换一次含相应浓度药物的新鲜海水,并加饵料——三角褐指藻 (*phaeodactylum tricornutum*) 100—200 mL, [密度约为 10^{6-7} 个细胞/mL。连续培养约 200 天。整个实验期间,毛蚶壳微张,外套膜和足舒展,生活正常。

所用重金属的化学形式为 $\text{Cd Cl}_2 \cdot 2\frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$, $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$, K_2CrO_7 , 用蒸馏水配成母液,再根据需要配成各种浓度的实验用液。镉、铜、镍三种混合配制,铅、铬因会发生沉淀,分别单独配制,用时再混合。

实验浓度的设置如表 1。从表中可以看出镉、铜、铅、铬的设计浓度与试验前后的实测浓度基本一致;只有镍较低,但试验前后的实测浓度也是一致的。

整体的排出实验是在积累实验后的 21 天;各部位的排出实验是在积累实验 105 天之

* 中国科学院海洋研究所调查研究报告第 1178 号。

收稿日期: 1985 年 4 月 5 日。

表1 镉、铜、铅、铬、镍等五种金属混合溶液的浓度变化 (mg/L)

项目 \ 组别 元素	低 浓 度					中 浓 度					高 浓 度				
	Cd	Cu	Pb	Cr	Ni	Cd	Cu	Pb	Cr	Ni	Cd	Cu	Pb	Cr	Ni
设计浓度	0.02	0.02	0.10	0.10	0.20	0.10	0.10	0.50	0.50	1.00	0.50	0.50	2.50	2.50	5.00
刚配制的试验用液	0.026	0.018	0.084	0.102	0.129	0.119	0.090	0.438	0.541	0.291	0.579	0.425	2.234	2.690	1.460
经 24 小时毛蚶试验	0.023	0.016	0.085	0.101	0.126	0.110	0.074	0.404	0.574	0.264	0.571	0.250	1.422	2.722	1.357

后, 分别移到不加药物的新鲜海水中进行的。另外还进行了三种盐度 (27.0‰, 24.0‰, 18.8‰) 对毛蚶积累重金属的影响的研究。

实验过程中每隔 7—15 天取生物样一次, 每次取毛蚶 3—8 个, 并取空白对照。整体样品取软体部分, 部位样品分外套膜、鳃、闭壳肌、足、内脏和肌肉。

样品采用湿法消化处理。在通风橱内加三酸 ($\text{HNO}_3 : \text{H}_2\text{SO}_4 : \text{HClO}_4$ 为 3:1:1) 5 mL, 加热 2—3 小时。冷却后用氨水调 pH 到 4 左右再加入高锰酸钾氧化。定容到 50 mL 量瓶中后, 加入 1% 吡咯啉二硫代氨基甲酸铵 (APDC) 和 1% 二乙基二硫代氨基甲酸钠的混合液 3mL 进行络合, 再加甲基异丁基酮 (MIBK) 5mL 摇动 2 分钟萃取。取有机相用 WFD-Y2 型火焰原子吸收分光光度计进行测定。

二、结果和讨论

1. 积累 实验结果表明, 毛蚶对这五种重金属都有一定的积累能力, 积累量随着时间的延长而增加 (图 1), 铅、镍在实验开始的两周内积累速度较快, 镉、铜和铬比较缓慢。实验达到最高积累量 50% 的速度, 镍最快, 为 20 天, 铅为 30 天, 镉为 35 天, 铬为 37 天, 铜

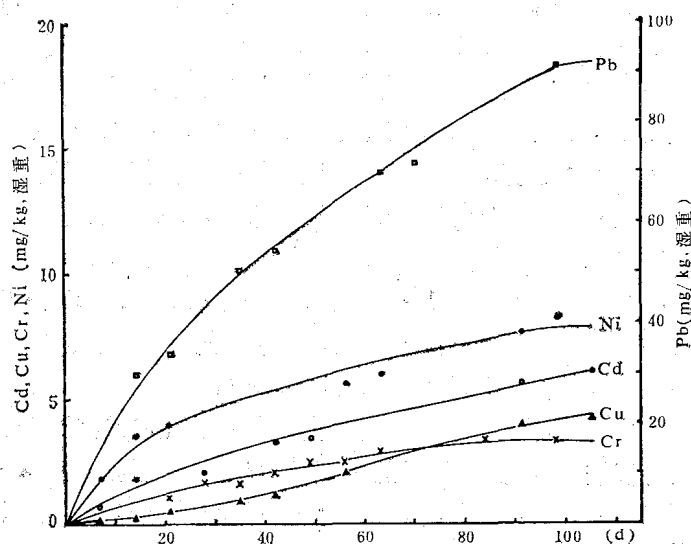


图1 毛蚶对低浓度重金属的积累

最慢,约 55 天。试验约 100 天后,达到积累高峰,随后略有下降而达到动态的平衡。

毛蚶对这五种金属的积累趋势相似,但不同金属的积累量却有较大的变化,其最高积累量铅为 91.39 mg/kg^1 , 镍为 7.80 mg/kg , 镉为 6.00 mg/kg , 铜为 4.50 mg/kg , 铬为 3.70 mg/kg 。在自然环境中,毛蚶体内铅和镍的本底值很低,在污染状态下积累的绝对量较高,速度也快;而镉和铜的本底值较高,积累的绝对量较低,速度较慢;铬的本底值较低,积累的绝对量也低,速度缓慢。它们的浓缩系数铅为 913.9, 镉为 300.0, 铜为 225.0, 镍为 39.0, 铬为 37.0。根据我们以前的实验,非洲鲫鱼对四种混合金属的最高浓缩系数,铜为 76.5, 铅为 28.1, 镉为 9.37, 镍为 1.78。总的看来,毛蚶比非洲鲫鱼的积累能力强。如对铅,大 32.5 倍;对镉,大 32.0 倍;对镍,大 21.9 倍;对铜,大 2.9 倍。

在渤海的自然环境中,各种介质的含铜量都较高,底质往往又高于水质,而水生动物体内的含铜量也较高,如贝类、鱼类。虾和蟹类体内的含量就更高。而毛蚶体内除铜含量较高外,经多次测试证明,其含镉量也较高,但底质的含量都较低,水质又低于底质,毛蚶体内含镉量较高的原因有待于进一步探讨²⁾。

为了了解毛蚶体内混合金属的积累与重金属浓度的关系,我们也做了浓度实验,但因材料的限制只做了 45 天,没有达到平衡。实验结果表明,毛蚶的积累量随浓度的升高而增加,积累速度较快(图 1, 2),低、中两种浓度 45 天的浓缩系数变化较大(表 2)。

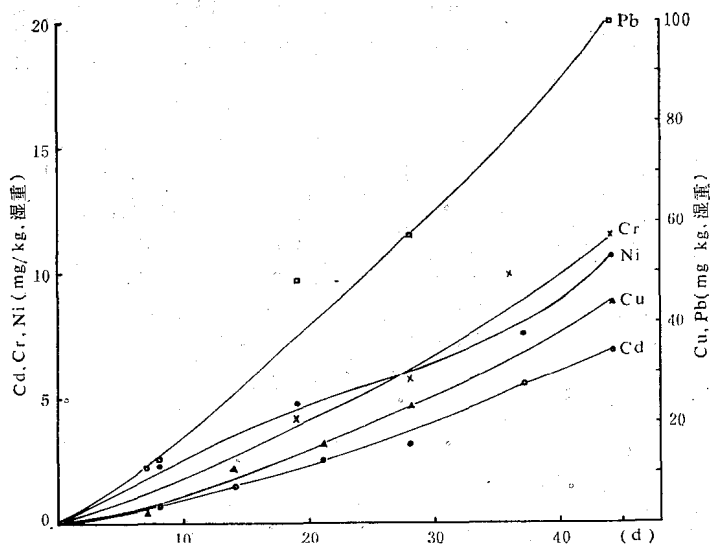


图 2 毛蚶对中浓度重金属的积累

2. 分布 经过 35 天积累实验之后,五种混合重金属在毛蚶体内的分布,如图 3 所示。

实验结果表明,铅在鳃中分布量最高,为 175.25 mg/kg ,变动的幅度也较大,这可能与水中悬浮物的含量和分布不均或与铅离子的存在状态有关。闭壳肌的含量较高,为 135.31 mg/kg ; 当后闭壳肌边缘呈黑褐色时,其含量更高。内脏的含量也较高,为 81.44

1) 指湿重,下同。

2) 渤海湾科研协作组,1982。渤海湾环境质量评价和自净能力的研究。

表2 毛蚶在低、中浓度中, 45天的积累量 (mg/kg) 和浓缩系数 (C.F.)

项 目	元 素	Pb	Ni	Cu	Cd	Cr
低浓度	积累量	57.00	5.20	1.40	3.50	2.20
	浓缩系数	570.0	260.0	70.0	175.0	22.0
中浓度	积累量	93.50	10.50	43.50	6.70	11.30
	浓缩系数	187.0	10.5	435.0	67.0	22.6

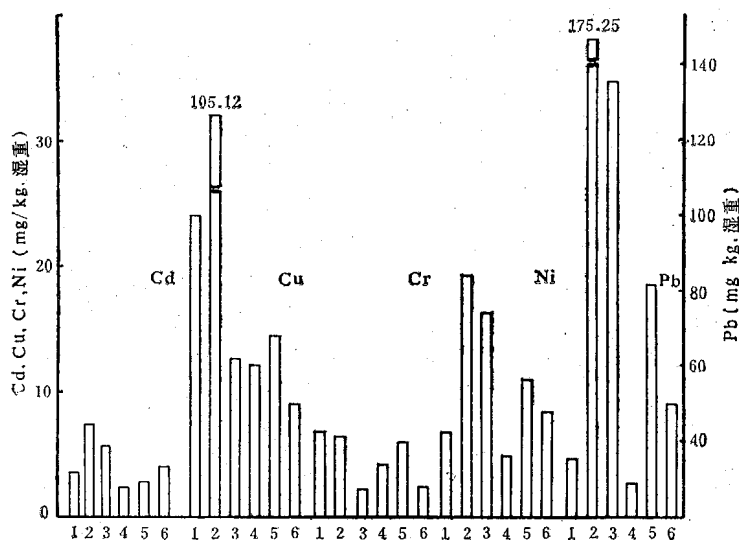


图3 五种重金属在毛蚶六个部位的分布

1. 外套膜; 2. 鳃; 3. 闭壳肌; 4. 足肌; 5. 内脏; 6. 肌肉

mg/kg; 肌肉为 50.17 mg/kg; 外套膜为 35.25 mg/kg; 足肌最低, 为 28.96 mg/kg。

铜在鳃中的分布量也最高, 为 105.12 mg/kg; 其次是外套膜, 为 24.07 mg/kg; 内脏为 14.39 mg/kg; 肌肉最低, 为 9.11 mg/kg。

镉在鳃和闭壳肌中分布量较高, 分别为 7.45 和 5.59 mg/kg; 内脏和足肌较低, 分别为 2.84 和 2.43 mg/kg。镉在对照毛蚶中的含量较高, 所以与其他元素比较, 实验过程中镉的实际增加量不大。

镍的分布也是鳃中含量最高, 为 19.24 mg/kg; 闭壳肌次之, 为 16.24 mg/kg; 内脏为 10.97 mg/kg; 足肌最低, 为 4.82 mg/kg。

铬在鳃和外套膜中含量较高, 分别为 6.53 和 6.86 mg/kg; 内脏次之, 为 5.89 mg/kg; 肌肉最低, 为 2.43 mg/kg。

总的看来, 这五种混合重金属在毛蚶体内的分布, 以鳃的含量最高, 足肌最低, 内脏比较高, 一般是鳃 > 外套膜 > 闭壳肌 > 内脏 > 肌肉 > 足肌。鳃和外套膜的高含量可能是毛蚶在滤水的过程中吸收或吸附的, 而经过代谢转移到肌肉部分的量则很少。但不同的重

金属在不同部位的分布有很大差别,从毛蚶体内的分布可以看出,其浓缩能力是铅>铜>镍>镉>铬。

与非洲鲫鱼体内重金属的分布比较,有很大的不同;非洲鲫鱼一般是胃肠的含量最高,肾、心脏次之;毛蚶是鳃的含量最高,内脏次之。很明显,重金属进入鱼类体内是通过食物,经过胃肠消化和循环转移到肾、心脏。毛蚶是滤食性动物,食物进入体内首先通过鳃和外套膜,再经过纤毛或触手的运动送到口,最后进入内脏。重金属经过代谢转移到肌肉的量很低。

3. 排出 经过 21 天积累实验的毛蚶,体内已经积累了相当量的重金属,把它们移到清洁的天然海水中后,重金属就开始逐渐排出体外(图 4)。

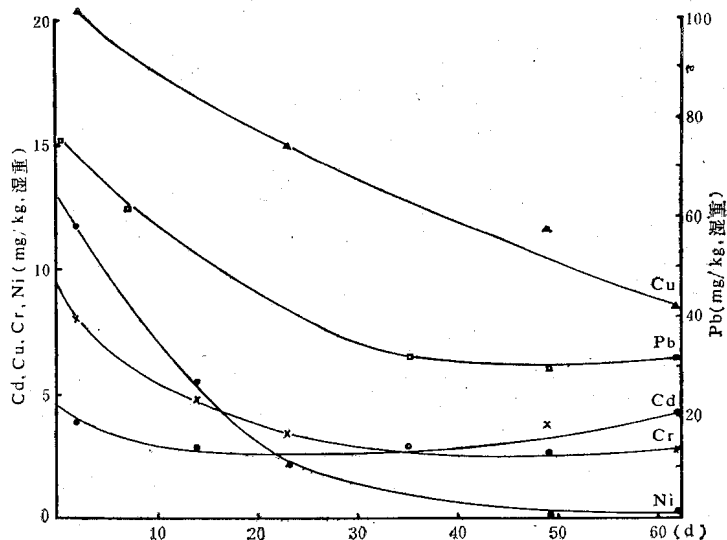


图 4 毛蚶整体对重金属的排出

经 62 天毛蚶整体排出的实验后,除镉外,其他四种重金属大部分能排出体外。其中镍的排出速度最快,到实验末期几乎全部排出。镉只是含量有所波动,而没有明显地排出。铜、铅和铬的排出比较缓慢。

金属的排出率可用生物学半减期来表示,即排出其体内积累总量的一半所需的时间。按照 Renfro(1973) 提出的公式 $B \frac{1}{2} = \frac{\log 2}{b}$ (转引自文献 [7]), 计算结果如表 3 所示。

Pringle 等^[10]用牡蛎暴露于铅浓度为 0.20 mg/L 的海水中,49 天后进行排出试验,计算得生物学半减期为 143 天;Schulz-Baldes^[11]用紫贻贝暴露于铅浓度为 0.50 mg/L 的海水中,35 天后进行排出试验,计算得生物半减期为 102 天。与我们试验比较,毛蚶排出铅的速度还是较快的,毛蚶与非洲鲫鱼比较,两者排出镍都较快,非洲鲫鱼排出镉、铜也较快,毛蚶体内的镉排出量不大,铜的排出较慢(表 4)。

毛蚶不同器官和组织内重金属的排出速度和排出量有较大的差别(图 5—10),这是各器官功能不同的表现。鳃对这五种重金属的排出很快,开始的 10 天排出迅速,后随时间的延长排出比较规律,铬和镍到实验后期几乎完全排出。鳃是呼吸器官,在滤水的过程中

能吸附许多污物,积累量高,排出也快。闭壳肌的排出规律基本上与鳃相同。外套膜、内脏、足肌和肌肉除对铅能排出部分以外,其他各金属几乎都不排出。R.R.Brooks 和 M. G. Rumsby 认为金属与蛋白结合后比较稳定,一般不容易排出。

表 3 毛蚶排出重金属的生物学半减期 (d)

金属元素	Pb	Cu	Cr	Ni
浓度 (mg/L)	0.50	0.10	0.50	1.00
$B \frac{1}{2}$ (d)	41.8	45.6	61.4	9.1

表 4 非洲鲫鱼对四种重金属的生物学半减期 (d)

重 金 属	Cu	Cd	Pb	Ni
浓度 (mg/L)	0.2	0.2	1.0	2.0
$B \frac{1}{2}$ (d)	25.9	18.9	115.5	12.0

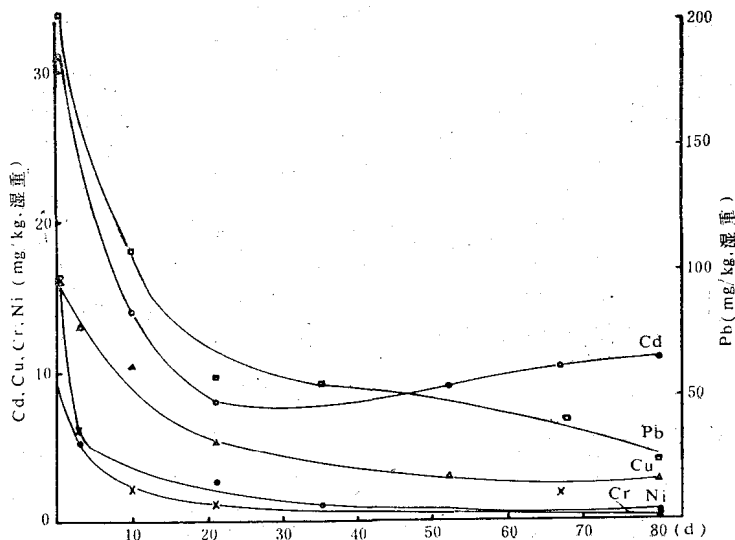


图 5 毛蚶鳃对重金属的排出

4. 盐度对积累的影响 青岛太平角 1982 年冬、春季的海水盐度经测定为 34.0‰, 这是几年来最干旱的一年, 海水盐度较高, 上述实验是在这种盐度的海水中进行的。盐度降低对毛蚶积累重金属影响的实验, 是在正常海水中加入一定量淡水进行调节; 共设计三个盐度组, 经测定为 27.0, 24.0, 18.8‰, 并加入低浓度组的五种金属。

结果表明, 盐度为 34.0‰ 时, 毛蚶积累这五种重金属达到平衡状态, 需要 100 天左右 (图 1)。盐度为 27.0‰ 时, 约 40 天即可达到平衡 (图 11), 积累速度提高一倍半。盐度为 24.0‰ 时, 积累速度减慢 (图 12)。盐度为 18.8‰ 时, 初期积累速度更为缓慢, 40 天后又有所升高 (图 13)。毛蚶对这五种重金属的积累量随盐度的降低而减少。

盐度对毛蚶的生活有明显影响, 34.0‰ 能使毛蚶正常生活, 而最适盐度为 27.0‰, 所

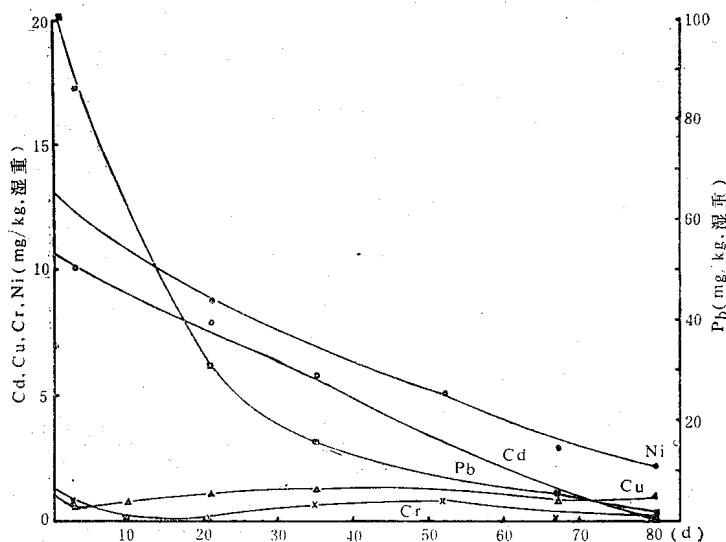


图6 毛蚶闭壳肌对重金属的排出

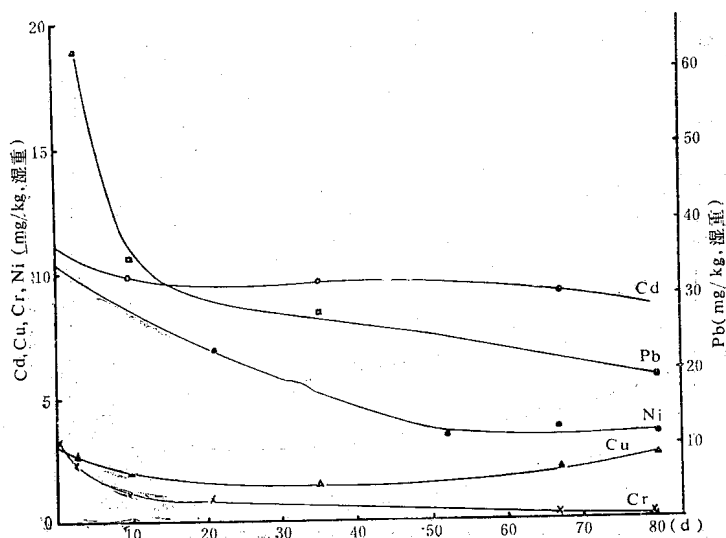


图7 毛蚶外套膜对重金属的排出

以它多栖息在河口或海湾地区,这时毛蚶的代谢机能旺盛,积累重金属的速度最快。随着盐度的降低,毛蚶体内渗透压的平衡受到破坏,特别在盐度为 18.8‰ 时,毛蚶分泌大量的粘液,调整渗透压以适应盐度的变化,代谢机能处于停滞状态,待适应盐度的变化后,积累速度又上升。

三、结 论

1. 毛蚶对铜、铅、镍、铬、镉五种重金属都有一定的积累能力,积累量随时间的延长而增加。实验开始的 20—30 天内的积累速度较快,约 100 天后积累量达到高峰,随后略有

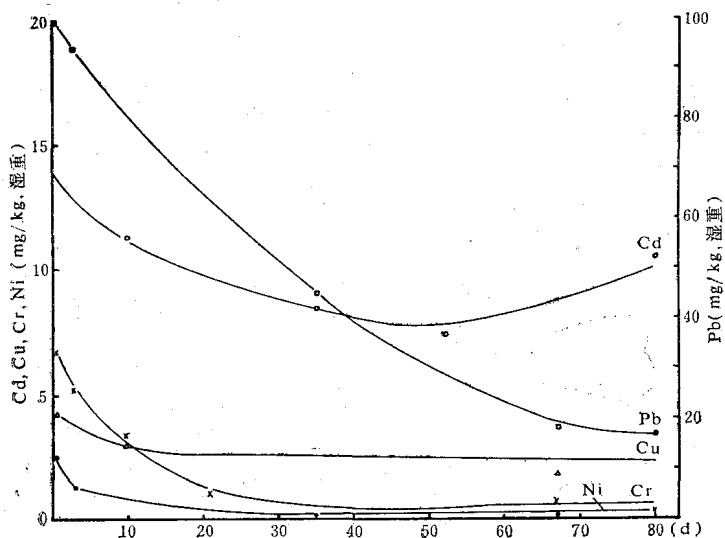


图8 毛蚶内脏对重金属的排出

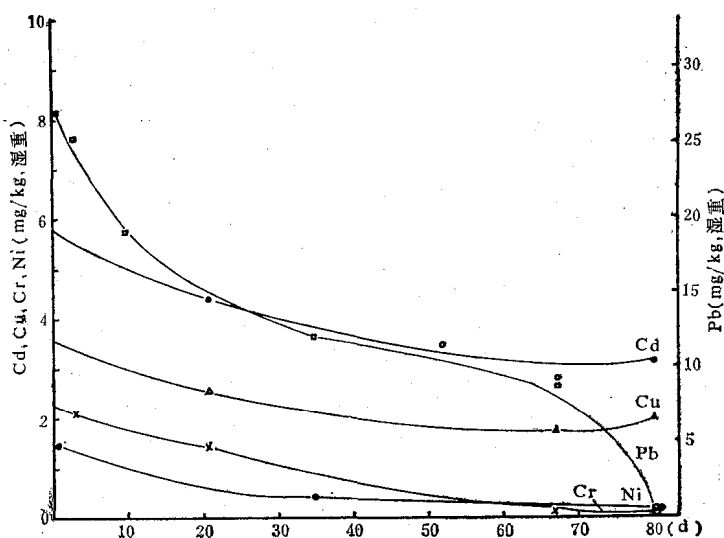


图9 毛蚶足肌对重金属的排出

下降,达到动态平衡。对不同重金属的最高积累量有较大差别,铅为 91.39 mg/kg, 镍为 7.80, 镉为 6.00, 铜为 4.50, 铬为 3.70。

2. 毛蚶排出这五种重金属,在开始的两周内较快,到实验后期对铅、镍、铬能排出大部分,对铜、镉的排出很慢,到后期不再排出。

3. 在毛蚶体内积累较快的金属如铅、镍、铬,排出也较快;积累较慢的,排出也慢,如铜、镉。

4. 这五种重金属在毛蚶体内的分布,以鳃的含量最高,足肌最低,一般是鳃>外套膜>闭壳肌>内脏>肌肉>足肌。

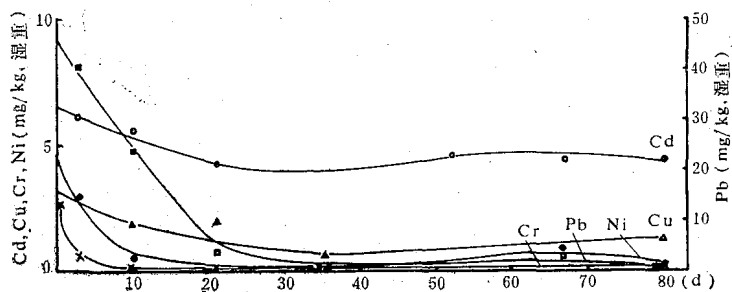


图 10 毛蚶肌肉对重金属的排出

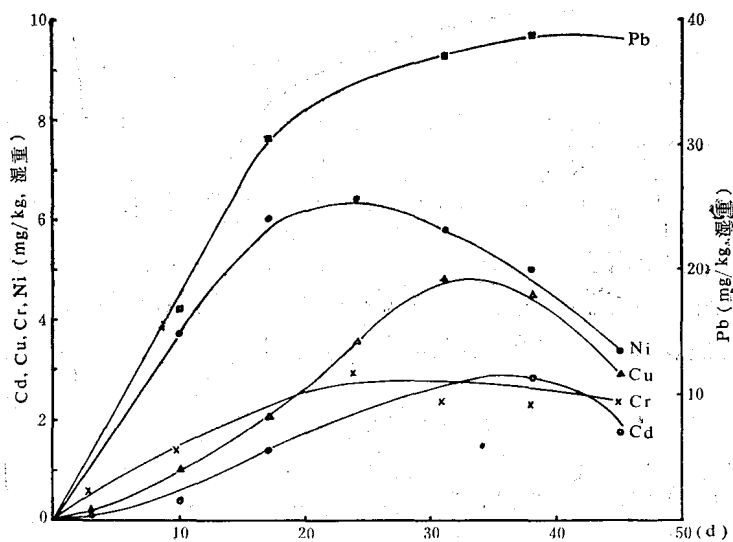


图 11 盐度为 27.0‰ 时毛蚶对重金属的积累

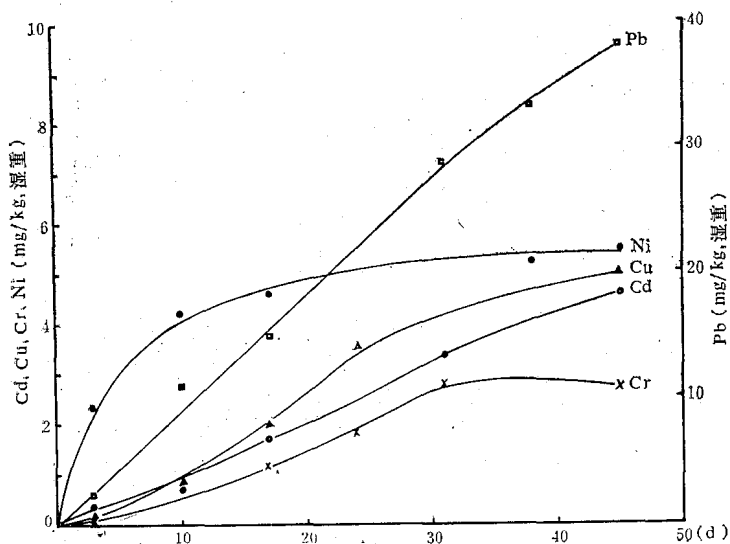


图 12 盐度为 24.0‰ 时毛蚶对重金属的积累

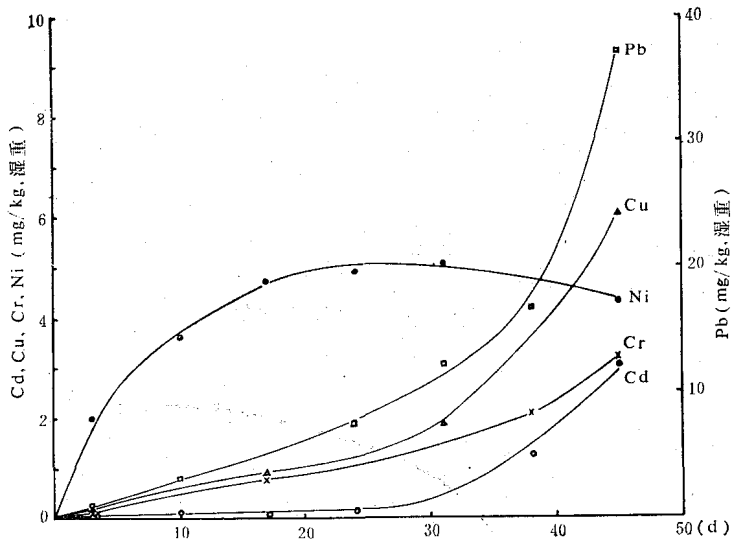


图 13 盐度为 18.8‰ 时毛蚶对重金属的积累

5. 毛蚶大多栖息于河口或有淡水注入的海区, 盐度是影响其正常生活的重要因素。从实验结果看, 毛蚶对这五种重金属的积累量, 一般随盐度的减低而下降。毛蚶在低盐的海水中生活, 虽然看不出有异常的变化, 但积累重金属的机能却有所减退。

参 考 文 献

- [1] 吴玉霖、崔可铎等, 1983. 毛蚶对汞积累和排出的室内试验。海洋与湖沼 14(1): 30—34。
- [2] 吴玉霖、赵鸿儒等, 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。
- [3] 崔可铎、吴玉霖等, 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。
- [4] Brook, R. R. and M. G. Rumsby, 1967. Studies on the uptake of Cadmium by the Oyster *Ostrea sinvata* (Lamarck). *Aust. J. Mar. Freshwat. Res.* 15: 53—61.
- [5] Cunningham, P. A. and 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.
- [6] ———, 1975b. Accumulation, tissue distribution and elimination of $^{203}\text{HgCl}_2$ and $\text{CH } ^{203}\text{HgCl}_2$ in the tissue of the American Oyster *Crassostrea virginica*. *Mar. Biol.* 31: 321—334.
- [7] Cunningham, P. A. 1979. The use of bivalve molluscs in heavy metal pollution research. In: "Marine Pollution: Functional Responses" (Edited by Vernberg, W. B. *et al.*). New York, Academic Press. pp. 183—221.
- [8] Eisler, R., G. E. Zaroogian and R. J. Hennekey, 1972. Cadmium uptake by marine organisms. *J. Fish. Res. Bd. Can.* 29: 1367—1369.
- [9] 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(4): 281—317.
- [10] Pringle, B. H., D. E. Hisson, E. L. Katz and S. T. Mulawka, 1968. Trace metal accumulation by estuarine molluscs. *J. Sanit. Engng Div. Am. Soc. Civ. Engrs.* 94: 455—475.
- [11] Schulz-Baldes, M., 1974. Lead uptake from sea water and food, and lead loss in the common mussel *Mytilus edulis*. *Mar. Biol.* 25: 177—193.

THE EXPERIMENTAL STUDIES OF ACCUMULATION,
DISTRIBUTION AND DEPURATION OF Cd, Cu, Pb, Ni,
Cr IN CLAM, *ARCA (ANADARA)*
SUBCRENATA LISCHKE*

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

(Institute of Oceanology, Academia Sinica)

ABSTRACT

The clam, *Arca (Anadara) subcrenata* Lischke, which inhabits abundantly in Bohai Bay, is a valuable seafood as well as an indicator in studying seawater pollution by heavy metals and consequently a criteria in establishing water quality. The present paper deals with the research on the accumulation, distribution and depuration of Cd, Cu, Pb, Ni, Cr by this species and the salinity influence on their uptake rate.

The clams were first exposed to the five kinds of metals in various concentrations. After being treated by wet digestion, the contents of heavy metals in the samples were determined by WFD-Y₂ Atomic Absorption Spectrophotometer.

The ability of clam to accumulate five heavy metals was pretty high. Experiment showed that the accumulation was comparatively high at the beginning of 20—30 days. The peak accumulation appeared after 100 days, then it declined slightly until equilibrium was reached. The highest levels were 91.39, 7.80, 6.00, 4.50, 3.70 mg/kg (wet wt.) for Pb, Ni, Cd, Cu, Cr, respectively.

In the experiment, it was found that metals which were accumulated more quickly like Pb, Ni, and Cr, were also depurated more quickly and those accumulated slowly such as Cu and Cd, were also depurated slowly.

The Clam depurated the five kinds of heavy metals more rapidly in the first two weeks. 50% of the metals accumulated in the body have been depurated in the first 30 days: To the end of the experiment, more than 80% of Pb, Ni and Cr have been depurated while depuration of Cu and Cd was rather slow.

The distribution of these five metals in the Clam tissues was the highest in gill and the lowest in foot, with a decreasing order as follows: Gill > Mantle > Adductor > Viscera > Muscle > Foot. The five heavy metal contents accumulated by this species were retarded with decreasing salinity of sea water.

* Contribution No. 1178 from the Institute of Oceanology, Academia Sinica.