

水生动物体汞污染的生物学特征

甘居利 贾晓平 蔡文贵

(中国水产科学研究院南海水产研究所 广州 510300)

关键词 水生动物 汞污染

汞是动物体非必需的重金属元素,它容易被动物体吸收和富集,不易被动物体排除,更不能被动物所分解,它可经由食物链(网)进行传递,对人体健康造成威胁。因此,汞对水生动物的污染早就引起人们的关注,二十世纪50年代中期日本发生两千多渔民严重汞中毒(即“水俣病”)之后,研究日趋活跃。

我国历次大规模的水环境质量调查都测定水生动物体中汞的含量,国内外不少学者对水生动物体的汞污染进行了大量研究,为保护水生动物资源和人类健康,评价和预测水环境质量,制定污染控制措施等提供了科学依据。

研究的方法跨越了从定性描述到定量研究的阶段,研究领域逐步扩大。在动物整体汞含量调查的基础上,研究了动物体不同组织或器官的汞含量。人们还研究水生动物对汞的吸收、排除和富集的动力学过程。动物汞含量的种类差异、个体差异、性别差异、季节变化、与其它重金属元素含量的关系、同环境汞污染的关系,以及汞在水生生物中的化学形态和汞在水生食物链中的传递等也被加以研究。本文综述水生动物体汞污染的生物学特征。

1 汞在水生动物体内的化学形态

汞对动物体的危害程度,一方面取决于汞的总量,另一方面取决于汞的化学形态,有机汞的毒性比无机汞要大得多^[1]。所以,水生动物体中汞的化学形态研究倍受重视。

水环境中的汞主要以无机汞的形态存在^[2,3],但在水生动物体内却相反^[2,4]。

一些野外采样测定结果表明:淡水鱼体内

的汞95%~99%为有机汞^[5,6];海洋中的鱼类、甲壳类和软体类所含的汞大部分为有机汞,多毛类所含的汞大部分为无机汞(如表1所示)^[2,4,7]。Canh等(1993)的试验观察表明:挪威龙虾(*Nephrops norvegicus*)体内吸收的汞84%为有机汞,与表1中甲壳类有机汞的百分比相当^[8]。

Eisler等(1987)认为有机汞的脂溶性较强,所以水生动物体对有机汞可产生选择性富集,造成有机汞和无机汞含量的差异^[1]。海洋动物对海水中汞的富集系数可定量地描述无机汞和有机汞被动物体富集的相对强弱。中国渤海湾的甲壳类和软体类对有机汞的富集系数比对无机汞的高一个数量级,鱼类则相差两个数量级^[2]。

表1 浅海水生动物有机汞含量占总汞含量的百分数(%)

| 海 区 | 鱼 类 | 甲壳类 | 软体类 | 多毛类 | 数据来源 |
|---------------|--------|-------|-------|-------|------|
| 中国沿岸 | 66~93 | 61~85 | 61~66 | | [2] |
| 澳大利亚 Albany 湾 | 91~95 | 65~89 | 30~72 | 25~43 | [4] |
| 西班牙沿岸 | 78~100 | 79~88 | 67~79 | | [7] |

动物体可以把重金属转化为金属有机化合物^[9],但水生动物能否将无机汞转化为有机汞,目前尚未见充分的证据。

2 水生动物对汞的吸收、积累和组织分布

水生动物一般是通过呼吸系统、消化系统

第一作者介绍:甘居利,男,38,副研究员,硕士;

收稿日期:1997-09-18,修回日期:1997-12-08

和体表接触等途径吸收汞,再经由体内循环系统将汞分布到不同的组织或器官。

一种热带淡水鱼(*Trichomyxterus zonatus*)对无机汞($15\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)的吸收试验^[3]表明:开初几小时吸入的汞90%集中在鳃部,并且鳃汞含量在24小时内急剧增加。之后鳃汞含量下降,其它组织中汞含量升高,尤以肾和肝表现出强积累。这说明鱼类在不摄食的情况下,主要通过鳃吸收水中的无机汞,然后由血液将汞输送到全身。把试验液中的鱼移入不含汞的清水中,96小时后各组织或器官中的汞含量都增高。Oliver等认为这是血液将吸收的汞继续向全身输送的结果。有趣的是,这种鱼的表皮能分泌一种粘性蛋白质,使无机汞粘附在其体表而不能进入体内。

相反,甲壳动物的体表却没有这种防御功能,汞能透过其甲壳和几丁质,被肌肉组织吸收^[10]。同鱼类相似,甲壳动物的鳃也是吸收汞的主要器官^[8,11]。

据报道,鱼类的消化道对无机汞的吸收比较弱^[12],但对有机汞的吸收较强^[4,13]。Francesconi等(1992)的调查研究表明,澳大利亚Albany湾鱼类的有机汞含量与其食物的有机汞含量显著地正相关($r = 0.84, P < 0.05$)^[4],如表2所示。

表2 Albany湾鱼类及其食物中的
甲基汞含量($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)

| 鱼的种类 | 甲基汞含量 | 食物构成 | 甲基汞平均含量 |
|----------------------------------|-------|-----------------|---------|
| <i>Platypharodon</i> | 6.7 | 鱼 | 0.45 |
| <i>P. specularis</i> | 3.8 | 鱼 | 0.45 |
| <i>Acanthopagrus</i> | 1.2 | 鱼,甲壳动物,多毛类 | 0.33 |
| <i>Cnidogobius macrolephalus</i> | 0.77 | 甲壳动物,软体动物,多毛类 | 0.19 |
| <i>Sillaginodes punctatus</i> | 0.53 | 多毛类,小型甲壳动物 | 0.12 |
| <i>Meuschenia freycineti</i> | 0.80 | 藻类,棘皮动物,海绵,甲壳动物 | 0.08 |
| <i>Pogonias cromis</i> | 0.12 | 藻类 | 0.01 |

进入水生动物体内的汞,在不同的组织或

器官中的分布一般都不均匀,有的甚至差别很大。比如前述的挪威龙虾,不同组织中汞含量的顺序为鳃>卵>内脏>卵巢>肌肉>壳^[8],前述的那种热带淡水鱼为肾>鳃>肝>皮>脑≈肠>肌肉^[3]。另据Goldstein等(1996)的统计,欧洲和美洲的16种淡水鱼中,有12种的含汞量为内脏高于肌肉^[5]。看来,在水生动物的不同组织中,肌肉组织的含汞量相对较低。

据测算,汞的生物学半衰期为35天^[14],可见汞是蓄积性很强的毒物,一旦进入生物体内,排除是相当困难的。

人们普遍认为,汞在水生动物食物链中被逐级放大,即随着动物营养级的升高,汞的富集系数增大^[2,4]。比如在渤海湾的同一食物链中,汞的富集系数为浮游生物<鱼类<海鸟^[2]。在澳大利亚Albany湾有类似的情况(见表1和表2)^[4]。但在海洋浮游生物的食物链中却未见逐级放大现象^[15,16]。

3 水生动物汞含量的种类差异和个体差异

不同类型的水生动物其含汞量存在差异,动物的含汞量一般要高于植物^[4]。不同类型动物间的汞含量也有差别,差别顺序不太固定,在澳大利亚Albany湾是软体类>鱼类>甲壳类>多毛类^[4],在西班牙沿岸却是甲壳类>鱼类和软体类^[7]。

同类不同种的动物体中汞的积累量是有差异的。典型实例如澳大利亚Botany湾,12种浅海鱼类相互间汞含量差异显著($P < 0.01$)^[17]。在英国Mersey河口,鱼体汞含量为鳗鲡(*Anguilla anguilla*)>比目鱼(*Platichthys flesus*)>鳕鱼(*Gadus morhua*)。Collings等(1996)认为鳗鲡肌肉中的脂肪含量较后两者更为丰富,因而它富集的汞要高得多^[18]。

由于水环境中汞的甲基化主要发生在氧较为缺乏的沉积物或底层水中^[19],因此底栖动物的汞含量一般高于生活在水体中层或中上层的动物,固着动物的汞含量多半高于游泳动物^[1,20]。

即便是同类又同种的水生动物,由于大小各异、性别不同、季节更替或是其它原因,不同个体之间的汞含量亦存在差别。

澳大利亚 Albany 湾的 10 种鱼类汞含量的对数值与其体长的对数值有 8 种十分显著地正相关($P < 0.001$)^[4]。澳大利亚 Botany 湾的 12 种浅海鱼类中,汞含量与体重变化的关系为,8 种明显正相关($P < 0.05$),1 种明显负相关($P < 0.05$);汞含量与体长的关系为,10 种明显正相关($P < 0.05$),1 种明显负相关($P < 0.05$)^[17]。西班牙 Canary 群岛的 7 种海洋鱼类中,6 种的汞含量与体长正相关(其中一半相关显著)^[21]。在阿根廷 Blanca 河口区的两种鲨鱼(*Halaculuru bivrus* 和 *Mustelus schmitti*),无论其肝脏还是其肌肉中的汞含量都与它们的体长十分显著地正相关($P < 0.01$)^[22]。

甲壳类和软体双壳类的情况同鱼类的有些类似。比如,紫贻贝(*Mytilus edulis*)和欧洲猿头蛤(*Chamelea gallina*)软组织中的汞含量随着其壳长的增加而增加^[23]。挪威龙虾(*Nephrops norvegicus*)鳃部的汞含量与其体长明显地正相关($P < 0.001$)^[8]。显然,水生动物与汞接触的时间越长,汞的积累量就越高。

营养级越高的水生动物,汞含量与个体大小的相关性似乎越强,象鲨鱼这样的海洋哺乳动物所表现的强相关,尤其值得人们引以为鉴戒^[22]。

挪威龙虾内脏的汞含量存在性别差异,雄虾明显高于雌虾($P < 0.05$)。Canly 等(1993)认为这是因为积累试验过程中雄虾的活动性强,呼吸频率高,因而通过鳃吸收了较多的汞^[8]。但这种说法难以解释挪威龙虾的甲壳、鳃和肌肉中的汞含量均无性别差异。无论在受到汞污染的美国新泽西州 Piles 湾,还是在未受汞污染的纽约长岛海域,鱼群的肝脏中汞含量均未观察到明显的性别差异^[25]。

另据报道,水生动物体的汞含量还存在季节变化。污染源的源强变化、环境因子(如水温、pH、DO、盐度、硬度等)的变化、动物自身生理变化(如性腺发育、生殖活动、体重增减等),

均可能造成动物体汞含量的季节变化^[26]。

水生动物体汞含量还与体内其它金属元素的含量有关。比如,一些海洋鱼类的汞含量一般与铅、镍等的含量正相关,与锌的含量负相关,与铁或正相关或负相关^[21]。

4 环境汞污染对水生动物体汞含量的影响

尽管水生动物体汞含量存在着种类之间、个体之间、组织分布、生态习性、季节交替等方面的差别,但水生动物体汞含量与其栖息环境的汞污染水平有紧密的联系。在这些方面相同或相近的条件下,其间的关系表现得更为明确,某些软体动物(象贻贝、牡蛎等)尤其如此。这使水环境汞污染的生物监测与研究成为可能。从 1974 年起,美、英、日、澳大利亚等国家相继实施了大规模的生物监测计划,中国在 1990~1991 年进行了中国沿海经济贝类污染物残留量专题调查^[27],其中均包括汞污染的生物调查与监测。

一般而言,清洁水域的动物含汞量极低,可小于 $10^{-9} \text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$;受汞污染水域的生物含汞量较高,比前者高一个至几个数量级。有调查研究表明,水环境的汞污染愈重,水生动物的含汞量愈高^[7,27,28]。比如,以色列 Haifa 湾的一种槭海星(*Astropecten bispinosus*)中汞含量与其栖息的浅海沉积物汞含量明显正相关($r = 0.67, n = 50$)^[28]。中国辽宁沿岸海域的贻贝和菲律宾蛤仔软组织中汞含量的地理差异显著,并且较客观地反映出辽宁沿岸工业废水的排放情况^[27]。西班牙东南部海域动物体(包括鱼类、软体类和甲壳类)的汞含量普遍较高,但在 25 个监测站间未见明显差异,这正是地中海汞污染严重、污染物分布均匀的真实写照^[7]。

为了定量评价汞对动物体的污染,一些国家制定了动物体污染的环境质量标准。例如,欧洲经济共同体规定水生动物体的含汞量不得高于 $0.3 \text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ (湿重)^[29],这与我国王化泉等提出的参考评价标准^[30]相同,80 年代中国

海岸带环境质量调查及其后的许多调查研究工作采用了这一标准^[2]。

5 水生动物体内汞污染对人类健康的危害

汞是生物体非必需的毒性很强的重金属元素,汞的化合物(尤其是无机汞)对人体的危害很大。在日常生活中,经济水产品如鱼、虾、蟹、贝等是人体内汞的主要来源。如果长期食用被汞污染的水产品,汞就会在人体中积累,使人出现慢性汞中毒。

比如,长期微量摄入甲基汞,对处在生长发育时期的儿童的神经功能有不良影响,使儿童双手的握力明显降低,记忆力和眼、手协调能力衰退。曾对一名病故老渔民的脑组织进行病理解剖,发现其颞回、前后中心回、小脑及大脑的枕叶等部位均有病理形态学病变,与日本“水俣病”的慢性轻型病变吻合^[31]。

人体严重汞中毒的症状表现为手脚麻痹、食欲不振、烦躁不安,极度严重者甚至出现狂燥和幻觉,引发轻生念头。日本熊本县水俣湾有汞中毒渔民因难以忍受极度痛苦而跳入大海,世人为之震惊,“水俣病”因此而得名。

自那以后,世界各国非常重视经济水产品中含汞(特别是甲基汞)的状况,陆续制定了卫生标准。据笔者初步统计,已有 30 多个国家和地区(包括中国和中国香港特别行政区)制定了水产食品中汞的卫生标准,水产食品中汞含量的限定值为 $0.3 \sim 1.0 \text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ (湿重)不等。

参 考 文 献

- 1 Goldstein R. M., M. E. Bingham, J. C. Stauffer. Comparison of mercury concentration in liver, muscle, whole bodies, and composites of fish from the Red River of the North. *Can. J. Fish-Aqua. Sci.*, 1996, **53**(2):224~252
- 2 全国海岸带办公室. 中国海岸带环境质量调查报告. 北京:海洋出版社, 1989. 137~148, 180
- 3 Oliveira, C. A., J. R. D. Guimaraes, W. C. Pfeiffer. Accumulation and distribution of inorganic mercury in tropical fish (*Trichomycterus zonatus*). *Ecotoxicol. Environ. Safety*, 1996, **34**(2):190~195
- 4 Francesconi, K. A., R. C. J. Lenanton. Mercury contam-

ination in a semi-enclosed marine embayment; organic and inorganic mercury content of biota, and factors influencing mercury levels in fish. *Mar. Environ. Res.*, 1992, **33**(2): 189~212

- 5 Huckbee, J. W., J. W. Elwood. Accumulation of mercury in freshwater biota. In the biogeochemistry of mercury in the environment. New York: North-Holland Biomedical Press, 1977. 277~302
- 6 Spry, D. J., J. G. Wiener. Metal bioavailability and toxicity to fish in low-alkalinity lakes; a critical review. *Environ. Pollut.*, 1991, **71**(2):243~304
- 7 Pastor, A., F. Hernandez, M. A. Preis *et al.*. Levels of heavy metals in some marine organisms from the western Mediterranean Area (Spain). *Mar. Pollut. Bull.*, 1994, **28**(1):50~53
- 8 Canli, M., R. W. Furness. Toxicity of heavy metals dissolved in sea water and influence of sex and size on metal accumulation and tissue distribution in the Norway lobster *Nephrops norvegicus*. *Mar. Environ. Res.*, 1993, **36**:217~236
- 9 贺广凯. 黄渤海沿岸经济贝类体中重金属残留量水平. 中国环境科学, 1996, **16**(2):96~100
- 10 Guarino, A. M. Tissue distribution of ^{14}C methyl mercury in the lobster *Homarus americanus*. *J. Toxicol. Environ. Health*, 1976, **2**(1):13~24
- 11 Brown, J. H. Uptake and excretion of inorganic mercury in the lobster *Homarus gammarus* (L.); long term effects of exposure to low levels of the metal. *Ecotoxicol. Environ. Safety*, 1988, **15**(1):125~141
- 12 Nagashima, Y. Toxicity and accumulation of mercury in fish, the hemidaka *Oryzias latipes*. *Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish.*, 1984, **50**(1):57~99
- 13 Pellegrini, D., C. Barghigiani. Feeding behaviour and mercury content in two flat fish in the Northern Tyrrhenian Sea. *Mar. Pollut. Bull.*, 1989, **20**(7):443~447
- 14 汪 晶, 和德科, 汪晓衢编译. 环境评价数据手册 - 有毒物质鉴定值. 北京:化学工业出版社, 1988. 329~331
- 15 Williams, P. M. Mercury in the marine environment concentration in sea water and in a pelagic food chain. *J. Fish. Res. Board Can.*, 1973, **30**(2):293~295
- 16 Kiorboe, T., F. Mothenberg, H. U. Rusgard. Mercury levels in fish, invertebrates and sediment in a recently recorded polluted area. *Mar. Pollut. Bull.*, 1983, **14**(1):21~24
- 17 Gabbs, P. J., A. G. Miskiewicz. Heavy metals in fish near a major primary treatment sewage plant outfall. *Mar. Pollut. Bull.*, 1995, **30**(10):667~674
- 18 Collings, S. E., M. S. Johnson, R. T. Leah. Metal contam-

- nation of Angler-caught fish from the Mersey estuary. *Mar. Environ. Res.*, 1996, 41(3):281-297
- 19 Regnell, O., A. Tunlid, G. Ewald *et al.* Methyl mercury production in freshwater microcosms affected by dissolved oxygen levels: role of cobalamin and microbial community composition. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 1996, 53(6):1535-1545
- 20 Ayas, Z., D. Kolankaya. Accumulation of some heavy metals in various environments and organisms at Goksu delta, Turkey 1991-1993. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, 1996, 56:65-72
- 21 Diaz, C. Distribution of metals in some fishes from Santa Cruz de Tenerife, Canary islands. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, 1994, 52(3):374-381
- 22 Microvecchio, J. E., V. J. Moreno, A. Perez. Metal accumulation in tissues of sharks from the Bahía Blanca estuary, Argentina. *Mar. Environ. Res.*, 1991, 31(4):263-274
- 23 Brux, H., J. E. Lyngby. The influence of size upon the concentrations of Cd, Cr, Cu, Hg, Pb, Zn in the common mussel (*Mytilus edulis*). *Proc. Symposia Biologica Hungarica*, 1985, 253-271
- 24 Usero, J. Trace metals in the bivalve mollusc *Chamelea gallina* from the Atlantic coast of southern Spain. *Mar. Pollut. Bull.* 1996, 32(3):305-310
- 25 Khan, A. T., J. S. Weis. Bioaccumulation of heavy metals in two populations of mummichog (*Fundulus heteroclitus*). *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, 1993, 51(1):1-5
- 26 Pérez-Osuna, F. Trace metal concentrations in relation to season and gonadal maturation in the oyster *Crassostrea iridescens*. *Mar. Environ. Res.*, 1995, 40(1):19-31
- 27 刘现明, 吴世培. 辽宁沿岸海域重金属和石油污染的生物指示种初步研究. *黄渤海海洋*, 1995, 13(3):39-46
- 28 Hornung, H. Distribution of trace elements in the starfish *Astropecten bispinosus* from Haifa bay, Israel. *Mar. Pollut. Bull.* 1991, 22(6):307-311
- 29 EQS Environment Quality Standard by EC Directive 1982/176/EEC and 1984/156/EEC
- 30 王化泉, 贾晓平, 赖聪洪. 关于海洋生物污染评价若干标准的初步探讨. *珠江口海岸带和海涂资源调查研究报告文集(二)*. 广州: 广东科技出版社, 1984, 132-141
- 31 陈静生, 周家义. 中国水环境重金属研究. 北京: 中国环境科学出版社, 1992, 47-48