

汞在海洋生物体内的代谢

刘发义

(中国科学院海洋研究所)

自从日本水俣湾悲剧发生以来,汞作为一种重要的海洋污染物受到人们广泛的重视。从那以后,国外对于汞对海洋生物的毒性、毒理做了大量的研究;国内近几年来也开始做了一些工作。

研究毒物在海洋生物体内的吸收、累积、排出、分布和转化等代谢规律,不仅可以为评价环境质量、制定水质标准等提供基础资料,而且对于阐明毒物在机体内的致毒作用规律,影响中毒发生、发展的条件,搞清中毒的机理,为防止中毒或降低毒性采取必需的措施而提供理论依据。

研究毒物在海洋生物体内的代谢规律,不外乎通过两种途径。一种是从野外采样进行分析,另一种是在室内进行实验研究。本文就所看到的一些资料以及我们自己所做的工作,对近年来国内外关于汞在海洋生物(主要是鱼、贝类)体内代谢规律的成果和动态作一综述。

一、海洋生物对汞的吸收、累积和排出

海洋生物生活在水中,对汞的吸收主要是通过消化道、鳃和表皮三种途径。汞进入生物体后,就在体内不断积累起来,对此人们曾进行了大量的研究。无论是野外调查还是室内实验都发现,海洋动物对汞的累积能力特别强,累积速度非常快。

Cross 等人通过野外调查估算了大西洋兰鱼 (*Pomatomus saltatrix*) 肌肉中Fe、Zn、Cu、Mn和Hg的浓缩系数,发现Hg的浓缩系数比Fe和Zn几乎大一倍,比Cu和Mn高好几个数量级。我所崔可铎和吴玉霖等人在室内测得非洲鲫鱼和毛蚶对汞的浓缩系数都高达好几千倍。我们在研究紫贻贝 (*Mytilus edulis*) 对²⁰³Hg的累积时发现,经过16小时,软体组织单位重量(湿重)的放射性浓度即为海水放射性浓度的200多倍。而紫贻贝对⁶⁰Co的累积经过24小时仅有几倍,对¹³⁷Cs的累积则更

慢。可见紫贻贝对汞的累积速度之快。

汞进入海洋生物体后,能否排出,排出的速度如何,这也是人们普遍关心的一个问题。

衡量生物排出体内污染物的快慢,通常用生物半排出期(略为 $B_{\frac{1}{2}}$ 或 $bt_{\frac{1}{2}}$)作为指标,其含义是生物排出其体内一半量的污染物所需要的时间。

汞从生物体向外排出的过程,有的可用两个不同的指数曲线来描述,即排出的汞可分为两种成分——“快成分(fast component)”和“慢成分(slow component)”。两种成分具有不同的半排出期,快成分的半排出期一般只有几天甚至几小时,而慢成分则为几十天、几百天甚至上千天,两种成分的排出规律符合两个不同的指数曲线;也有的只有一种成分,即排出规律可用单一的指数曲线来描述。

影响生物对汞的累积和排出的因素很多。因生物种类的不同而异。但其中存在着什么规律性,尚未能总结出来。

此外,汞的不同化学形式对汞的累积和排出影响也很大。牡蛎(*Crassostrea virginica*)对有机汞(包括甲基汞和苯基汞)的浓缩系数比无机汞高好几倍;鳎(*Pleuronectes plaessa* L.)的卵、仔鱼和成鱼对无机汞的累积能力也都比对甲基汞低得多;还有很多资料都给出同样的结果。即使同是甲基汞,但处于不同的介质之中,被累积程度也不同。海水中的甲基汞较饵料中的甲基汞易被真鲷累积,底质中的甲基汞则基本不被累积。向体外排出时情况则正好相反,甲基汞排出的速度比无机汞要慢得多,在同样的条件下,可能相差几倍甚至几十倍。甲基汞在生物体内累积程度高,而排出速度又慢,这可能是甲基汞毒性强的原因之一。

个体或年龄大小对汞的积累也有影响。很多实验结果都发现,个体小的生物比个体大的累积汞的能力强。

关于不同的发育阶段对汞的累积的差异，Pentreath的实验发现，鱼卵对无机汞和甲基汞的累积比仔鱼要慢，后者对汞的浓缩系数随时间延长而直线增加。幼鱼对汞的累积与时间之间有如下指数函数关系：

$$C_t = C_{s,s}(1 - e^{-kt})$$

式中 C_t 为时间 t 时的浓缩系数， $C_{s,s}$ 为极限浓缩系数 (asymptotic concentration factor)， k 为常数。

此外，关于致毒方式、水温、盐度及其他环境条件对于海洋生物对汞的累积和排出的影响也有报道。特别值得一提的是，养殖在天然环境中的动物排出体内的汞比养殖在实验室中的排得快，因此，引用数据必须予以注意。

二、汞在海洋生物体内的分布

早期对汞在海洋生物体内行为的研究，主要局限在测定生物对汞的累积和排出，后来逐步深入到了解汞在体内各组织器官中的分布。这种研究对于了解汞在生物体内的运动，区别特别易受汞影响的组织器官等都是很重要的，对于人类正确地利用生物资源也有意义。

Umlü 等人最早研究了汞在荔枝螺 (*Tapes*) 的几种组织中的分布，发现不同的染毒方式使得汞在体内的分布和变化不同，直接从海水和经汞污染的海藻中累积的汞，在脏中含量最高，在鳃中则前者比后者高；而注射到体内的汞，肌肉中的汞含量比前两者都高得多。Cunningham 等报道了不同的汞化合物在牡蛎体内的分布和运动。直接从海水中累积的无机汞，在排出期间，鳃和消化腺中的汞很快消失，而外套膜、生殖腺和肌肉中的汞则消失很慢；直接从海水中累积的甲基汞，排出时鳃和消化腺中的汞也很快消失，但生殖腺和肌肉中的汞含量却很快增加；从受汞污染的海藻中累积的汞在体内的运动和分布与甲基汞类似。

关于海洋哺乳动物，有人报道了在英国周围海域的海豹组织中汞的分布，肝、肾、脾、肌肉，特别是爪子中浓度较高，胎儿体内也有

汞存在。还有人发现海豹的毛中汞含量很高，认为可以用毛来作监测指标。这些结果与汞在人体内的分布很相似。

近几年来，毒物在生物体内分布的研究已经深入到了细胞以内，研究毒物在细胞内的分布以及与生物高分子的结合情况，探索毒物毒性、毒理的细胞生物学和分子生物学基础。这方面的研究目前正越来越受到重视。

Wrench (1978) 通过测定蛋白质含量和毒物分布，发现牡蛎的鳃和消化腺对汞的浓缩能力的差异与蛋白质含量的不同有关，即蛋白质含量高的消化腺，其浓缩系数比蛋白质含量低的鳃高，但蛋白质含量与浓缩系数并非呈简单的比例关系。还有人测定了汞在鱼类肌肉蛋白中的分布，发现不同蛋白质中汞的含量差别很大。Olson 等人比较详细地研究了甲基汞在虹鳟各组织的细胞核、线粒体、溶酶体和核糖体等亚细胞成分中的分布，并分析了细胞质中的甲基汞与不同分子量的生物分子结合的情况，发现各亚细胞成分中都有甲基汞存在。细胞质中的汞，除了与高分子量的蛋白质结合外，在有些组织中还有相当一部分汞与一种低分子量的蛋白质结合，这种蛋白质的分子量为6,000—10,000左右。据认为这是金属硫蛋白 (metallothionein)。该蛋白最早是由 Margoshes 和 Vallee 从马肾皮质中发现的，其中含有大量的硫和金属，主要是 Zn、Cd、Cu 和 Hg，后来在包括人在内的其他许多动物体内都发现了这种蛋白质。人们认为这种蛋白可能对于重金属的解毒和贮存起到一定的作用。我们对养殖在含 $^{203}\text{HgCl}_2$ 的海水中的贻贝进行匀浆、离心分离，并对可溶部分作凝胶层析，发现体内的 ^{203}Hg 有40—50%存在于可溶部分。这可溶部分中的 ^{203}Hg 又绝大部分与分子量大于50,000的分子结合。

研究毒物在体内的结合情况，对于不同毒物在生物体内积累程度和排出速度的差异似乎能作一定的解释。我们曾研究过 ^{60}Co 和 ^{137}Cs 在贻贝体内的结合情况，发现 ^{137}Cs 很少与生物大分子结合， ^{60}Co 有相当一部分结合在

其中,但比 ^{203}Hg 被结合的程度低得多。与之相对应,贻贝对三者的累积能力也是 $^{137}\text{Cs} < ^{60}\text{Co} < ^{203}\text{Hg}$ 。由此看出,与生物大分子结合能力强的毒物,其在生物体内的累积程度也高。我们设想,其它微量金属,特别是生物对其缺乏调节能力的那些微量金属,也可能有这种规律,若果真如此,也许可以预测它们在生物体内的累积和排出情况。

三、汞在海洋生物体内的转化

由于有机汞,特别是甲基汞的毒性比无机汞高得多,因此汞在生物体内是以何种形式存在,生物能否将无机汞转化为有机汞,或将有机汞转化为无机汞,都是十分重要的研究课题。

不少资料表明,鱼肌肉中的汞绝大部分是甲基汞,而内脏中甲基汞的比例要低得多。厌氧微生物能将无机汞甲基化,但鱼、贝类等动物能否有这种作用,不同的作者从有人将蛤子(*Venus japonica*)放在含 HgCl_2 的海水中养殖,体内未发现有机汞,认为这种动物不能使无机汞甲基化。也有人用金枪鱼做实验,发现其肝脏的匀浆中有一种类似于甲基钴氨素的物质有利于汞的甲基化。

关于海洋生物能否将甲基汞脱去甲基,Olson等人利用两种标记化合物 $^{14}\text{CH}_3\text{HgCl}$ 和 $\text{CH}_3^{203}\text{HgCl}$ 研究了 $\text{CH}_3\text{-Hg}$ 键在虹鳟体内的稳定性,发现甲基汞在该鱼体内能脱去甲基。他们认为鳃、肝、肾、消化腺是脱去甲基和排泄甲基的可能性最大的地方。有人在底鳃(*Fundulus heterochitus*)体内也得到去甲基的证据。但在Gappy体内则未能发现去甲基作用。

总之,汞在海洋生物体内的代谢得到了广泛的研究,但是还有很多问题,特别是有关的代谢机制问题还远没有弄清楚。近几年来,有关细胞生化机制问题的研究已经受到重视,不少研究者运用细胞生理、生物化学、组织化学等方法,使用放射性同位素示踪技术、电子显微镜、电子探针等先进技术做了一些工作,但还仅仅是开始,有待逐步深入。(参考文献略)



紫菜半浮动筏式栽培法

吴铁民

(福建晋江紫菜试验场)

紫菜半浮动筏式栽培法是晋江紫菜试验场的前身——福建晋江祥芝公社祥光大队于1958年创造出来的一种紫菜栽培方法。它有很多优点,本文对这一方法的发展历史、半浮动栽培筏架的结构和特点作一简要的介绍。

一、半浮动筏式栽培法的创造和发展

祥芝公社祥芝大队金星紫菜养殖场1958年首先设计了半浮动筏式栽培筏架,并于该年9月在祥芝海区进行了坛紫菜自然采苗栽培试验,同时还参考日本的支柱式栽培法,作了支柱式筏架的对比试验。

实验于1958年9月中旬下海,在9月下旬台风袭击中,半浮动式帘子全部未受损失,支柱式则损失75%,只留下19片帘子。同年10月上旬,半浮动筏式的竹帘上可用肉眼看到紫菜苗,每厘米竹帘上有1—2株,但支柱式的帘上没有紫菜附生。经过几个月的管理,300片帘子共收紫菜干品405斤,按 180m^2 帘子为一亩计算,折合亩产干品45斤,取得初步成功。

1958年,中国科学院海洋研究所在北方开展紫菜半人工采苗养殖取得了成功。在该所的启发推动下,我们也开展了培养坛紫菜丝状体和半人工采苗试验,把半人工采苗技术应用于半浮动筏式栽培。1962年,金星紫菜养殖场共养紫菜10亩,平均亩产达到了275市斤。

1964年,中央水产部在福建组成了由黄海水产所、中国科学院海洋所、福建省水产所和各县水产部门参加的紫菜试验小组,大力开展了紫菜人工栽培的推广和试验。在方法上,全部采用我们创造的半浮动筏架养殖紫菜并取得成功。自此之后,半浮动筏式栽培法被普遍采用和不断改进,逐步地在南方各省推广。1970年,经科学院海洋研究所的试验,将半浮动筏式养殖法进一步应用于北方条斑紫菜的人工养殖,推动了条斑紫菜的生产事业的发展。这一方法在全国应用,成为我国特有的紫菜栽培方法。