

海水污染物对对虾毒性研究的进展

I. 对虾的重金属毒性研究

蓝伟光 吴永沛

杨孙楷

(厦门水产学院食品工程系) (厦门大学环境科学研究所)

摘 要

本文从重金属对对虾的毒性效应;重金属在对虾体内的积累、分布和排出规律;重金属在对虾体内的致毒和解毒机理等三个方面的研究展开述评。认为重金属对对虾的毒性研究须区分其存在形态及其形式,进行毒性实验的同时亦须重视重金属在对虾体内的生长效应的研究。有关重金属在对虾体内的积累、分布和排出规律的研究较多,但食物链的迁移和生物学放大作用尚未引起足够的注意;重金属在对虾体内的致毒和解毒机制也少见文献报道,尚待深入探讨,并需加强对对虾体内不同重金属之间的协同和拮抗机理研究。

八十年代以来,在世界范围内掀起的养虾热,有力地促进了对虾养殖业的迅速发展。由于对虾养殖场所一般都选择在湾港及河口沿岸处,极易受工业排放物的污染。在排放的工业污染物中,重金属占有相当的比重,因此,开展对虾的重金属毒性研究,对海洋环境保护工作和水产养殖事业,均具有重要的意义。

本文综合国内外有关文献报道,就对虾的重金属毒性研究作了评述。

1. 重金属对对虾的毒性效应

重金属对海洋生物的毒性效应取决于金属的化学本质(电负性、离子电位等);金属的不同形态及存在形式;环境的理化因素;生物的生长条件以及它们对金属的适应过程。各种金属元素在生物体内都有一定的限量,在生理浓度范围内的金属离子可加速生物体的新陈代谢,促进其生殖、生长。但稍微过量时则会对生物产生毒性效应。

重金属对对虾的毒性效应研究,目前以报道Hg、Cu、Cd、Zn、Pb等对对虾生殖生长不同时期的急性毒性试验及亚致死效应为多。以金属的总投放量为依据,根据其剂量大小和暴露时间长短,划分不同重金属对对虾的半致死时间(LT50),半致死浓度(LC50)、不同时间的平均忍受限(TLm)以及安全浓度等等。而在生理浓度范围内的重金属对对虾生殖生长促进作用的研究尚缺乏资料。

重金属对对虾的毒害作用,当浓度较高时,即引起鳃部溃烂而使气体交换功能停

止, 导致对虾在极短的时间内死亡, 当浓度较低时, 重金属则与对虾体内的蛋白质及表皮粘液结合而抑制酶的活性, 影响神经系统及其它各种正常的生理功能, 导致对虾出现无食欲, 游泳异常, 体表粗涩, 生长缓慢等现象。

Chen等报道不致引起对虾生理变化或成长抑制等不良影响的虾池水质标准中所能容许的重金属浓度是Hg0.0025ppm、Cu0.1ppm、Cd0.15ppm、Zn0.25ppm。吴彰宽等试验了4种重金属对中国对虾的急性毒性, 报道其毒性大小以Hg、Cu、Zn、Pb为序。Liao等在研究Cu、Cd、Zn对日本对虾的毒性后发现, Cd比Cu的毒性略小, Zn的毒性相对较弱。但Cd的毒性作用较为缓慢。对于蚤状期的虾幼体, 重金属的毒性影响极为敏感, 由于Cd的影响缓慢, 它的毒性比Cu和Zn低。但对1.5cm长的后期幼体, 由于重金属的毒性作用显著趋缓, 因此其毒性Cd却比Zn强, 但略低于Cu。

一般来说, 对虾的发育越往后期, 它对每种重金属的忍受限越大。但受精卵相对无节幼体和蚤状幼体, 具有更强的忍受能力。对虾不同发育生长阶段对重金属的忍受顺序大致为: 无节幼体<蚤状幼体<糠虾<仔虾<幼虾<成虾。

对虾对Hg、Cu均有不同的回避反应, 其回避率随毒物浓度增加而递增。对虾对Cu的反应比对Hg的反应更为敏感。对Hg的50%回避的浓度与96TLm值接近, 而Cu的50%回避率则低于96TLm值。

海水中适量 Fe^{3+} 的存在是对虾孵苗的有益因子, 在对虾室内育苗实验中, 发现 Fe^{3+} 最适宜的浓度是0.404—1.015ppm。在此浓度的海水溶液中, 能使虾卵孵化率较未加 Fe^{3+} 的海水提高15—20%, 幼虫成活率达100%。当 Fe^{3+} 的浓度低至0.101ppm时, 幼虫发育不正常, 甚至死亡。张正斌等认为在海水正常的pH值条件下, Fe^{3+} 形成 $Fe(OH)_3$ 胶体溶液, 此胶体能吸附海水中的有害金属及杂质, 从而有效地减弱它们对对虾幼体的毒害作用。

Zn^{2+} 、 Cu^{2+} 对鱼虾的毒性极大, 较天然水本底高5—10倍的 Zn^{2+} 、 Cu^{2+} 即有致死作用。但在某些混浊的河口及沿岸, 如杭州湾, Zn、Cu等测定值较高, 但生态系却正常。顾宏堪等认为这是由于测定水中 Zn^{2+} 、 Cu^{2+} 时水样酸化, 使部分悬浮态Zn、Cu溶出为 Zn^{2+} 、 Cu^{2+} 自由离子, 使测定值增大。对生物有毒性的是 Zn^{2+} 、 Cu^{2+} 自由离子, 而不是悬浮态Zn、Cu。因此, 人们对重金属对生物的毒性, 若仅以金属的总量作为依据指标(如半致死量等)是不准确的。此外, 由于试验时的水体来源不同, 组分差异, 并且只以金属总投放量为依据而极少考虑水体中有机络合态、无机络合态、悬浮态、溶解态、吸附、聚沉等作用, 所以报道毒害的数值众说纷纭, 莫衷一是。近年来国内外学者普遍开展了元素的化学形态及存在形式研究, 合理地区分重金属的有毒性形态及非毒性形态, 对生物体起着营养盐作用或具有对生理变异起拮抗效应等形态, 这样才能客观地评价重金属对对虾的毒性效应。

2. 重金属在对虾体内的积累、分布和排出规律

重金属在对虾体内的积累, 通常认为经过下列途径: 一是对虾经过鳃不断吸收溶解在水中的重金属离子, 然后通过血液输送到体内的各个部位, 或积累在表面细胞之中; 二是对虾摄食时, 水体或残留在饵料中的重金属通过消化道进入对虾体内; 此外, 对虾体表与水体的渗透交换作用也可能是重金属进入对虾体内的一个途径。

对虾体内的重金属积累,除了出现急性中毒,使对虾死亡外,大都会在一一定的时间内达到积累的上限,此后就处于动态平衡状态。其达到平衡所需要的时间,虽然受到多种因素的影响,但首先取决于环境中重金属的浓度。

重金属在生物体内的积累程度通常用平衡或稳定状态下的浓缩因子(Concentration factor)表示。

$$\text{浓缩因子(CF)} = \frac{\text{水生生物体中重金属的浓度}}{\text{该生物所处环境水体中重金属的浓度}}$$

Liao研究了Cu、Cd、Zn三种重金属在日本对虾体内不同组织中的积累和分布规律发现:环境水体中重金属浓度越高,其浓缩系数越低。不同的重金属有不同的浓缩系数,同一种重金属在对虾体内不同组织中的积累以头胸部的积累量最高,外壳次之,腹部最低。积累速度亦随对虾的不同组织部位,重金属的种类和浓度而异。大部分在暴露于含有重金属的海水中8—16天时达到积累的最高峰,以后便趋于稳定或逐渐降低。实验结果还表明,在每一组织中Cu和Zn的积累量均比Cd高得多。这可能是因为Cu是血蓝蛋白、而Zn是血清蛋白的组成部分的缘故。

吴玉霖等试验了0.1ppmCu在中国对虾体内的积累,发现在6天后达到动态平衡状态,第10天可达到累积的最高峰,随后便略有下降。

刘发义等研究了Cu、Zn在对虾体内的积累和分布,发现肝胰脏对重金属的积累能力最强,是对虾体内Cu的主要储存器官。随后以胃、肠、鳃、壳、肌肉顺序递减。

蔡福龙等报道了 ^{54}Mn 、 ^{60}Co 、 ^{137}Cs 等3种核素在对虾体内的分布。 ^{54}Mn 以附肢、外壳、头胸、肌肉、内脏的顺序逐渐减少。 ^{60}Co 主要分布在头胸部,其次是附肢,最少的是肌肉。而 ^{137}Cs 在各器官中的分布不如 ^{60}Co 那样悬殊,趋向于全身性分布,仅以肌肉和头胸较少。

如果将已积累有重金属的对虾移到干净的海水中,一般来说,积累在对虾组织中的重金属有随时间而显著降低的趋势。重金属在对虾体内消除的速度,通常用生物学半减期(biological halflife简称 $B\frac{1}{2}$)表示,用Friberg.L所提出的计算公式计算

$$C_t = C_0 e^{-bt}$$

$$B\frac{1}{2} = \ln 2/b$$

式中 C_t 为时间 t 时体内重金属的含量; C_0 为开始时体内重金属的含量; b 为排出系数。

吴玉霖报道了Cu在中国对虾体内的半排出周期为3.13天,与罗非鱼相比,对虾对Cu的排出速度要快得多,生物学半排出期仅为罗非鱼的 $\frac{1}{8}$ 左右,所以,受Cu污染水域中养殖的对虾,只要在作为商品提供之前转入干净水域中暂养,其体内的Cu污染物就可迅速地被排出。但对Cd的污染情况则有所不同,Meleese等曾经把受Cd污染的大蟹转移到天然海水中,饲养了8个月,仍未见体内Cd浓度有任何降低。Liao等在试验中还发现,受Cd污染的日本对虾转移到洁净海水中养殖,体内组织中的Cd非但不减少,反而继续积累,这一现象目前尚难解释,Pringle等曾报道在软体动物中的Cd,趋于与

生物体内某一特定组织蛋白牢固结合在一起，所以难以消除。

对虾通过摄食受重金属污染的生物，使重金属从被食生物体中转移至对虾体内，导致体内重金属含量的增加，称为重金属的食物链迁移和生物学放大。生物学放大是生物圈中污染物迁移的重要途径，对动物和人类都有潜在的危险性，众所周知的日本水俣病就是汞的生物学放大所引起的严重后果。Rissgard等报道使用受Hg污染的贻贝软体组织喂褐虾，发现Hg会在褐虾体内大量积累，而且有机汞的积累量和积累速率均比无机汞大得多。这一结论提示人们在研究重金属在对虾体内的积累、分布时，必须注意食物链的迁移和放大作用。

3. 重金属在对虾体内的致毒和解毒机制

Cu是一种生命必需元素，是甲壳类动物血蓝蛋白的重要组成部分。据报道在正常情况下对虾体内Cu的含量就高达 $10.91\text{mg}/\text{kg}$ 湿重。比鱼类及其他许多生物要高，刘发义等将对照组(未受Cu污染)和实验组(受Cu污染)的肝胰脏取出匀浆离心分离，然后分别测定上清液(包括细胞液、溶酶体、微粒体等组分)和沉淀(包括细胞核、线粒体和细胞膜碎片等组分)中Cu的含量，结果表明，对照组和实验组中的Cu绝大部分(90%以上)集中在上清液中；其中又以分布在细胞液中为主。上清液经Sephadex G-75层析后发现，对照组上清液中的Cu全部分布在大分子库中，而实验组上清液中的Cu主要分布在小分子库中。也有少量出现在金属硫蛋白(MT)库中，而在大分子库中存在的Cu比MT库中还少。

大分子库中存在的Cu是与细胞液中的大分子物质结合在一起。这些与Cu结合的大分子物质可能就是血蓝蛋白，含铜酶蛋白等等。由于它们在对虾体内铁的代谢、氧的输送等过程中起着重要的作用，因此未受Cu污染的对虾其体内的Cu全部分布在大分子库中，可促进对虾的代谢和生长，是对虾生长所必需的营养元素。

当对虾暴露于含Cu海水中时，Cu在对虾肝胰脏内继续积累，在一定的浓度范围内仍然可和大分子物质结合在一起，直至达到大分子库所能积累的上限，此范围内的浓度即为重金属在对虾体内的生理浓度。当超出此浓度范围时，重金属可能与游离氨基酸、小肽或其他小分子物质($\text{MW} < 2000$)结合在一起，存贮于小分子库中。随着Cu在对虾肝胰脏中积累量的增加，小分子库中的Cu在肝胰脏总Cu中所占的比例逐渐增加，从中分离出的一种小分子量含Cu络合物在总Cu中所占的比例也随之逐渐增加，无疑这种小分子量Cu络合物对于Cu在对虾肝胰脏中的积累和解毒具有重要作用。这种小分子量配位体是原来就存在于肝胰脏中，还是后来诱导产生的，尚待进一步研究。

正常情况下，金属硫蛋白(MT)在生物体内的含量很低，但当生物受到Hg、Cu、Cd、Zn等重金属污染时，会在其体内诱导合成这类蛋白质，这样，进入细胞内的重金属就会结合到这类新合成的蛋白质上，或者将原来结合在该蛋白质上的其他金属取代下来，如Cd能取代其中的Zn，从而起到积累和解毒作用。对虾的肝胰脏中贮存的Cu部分分布在MT库中，可能就是由于Cu在对虾体内诱导合成了金属硫蛋白或类金属硫蛋白的缘故。

无论是小分子库还是MT库，其贮存积累重金属的能力都不是无限的。当它们被重

金属饱和之后,继续合成又赶不上进入细胞的金属结合的需要,多余的重金属就会与对虾体内的其他生物分子,包括酶和核酸等生物大分子相互作用,引起中毒现象。

细胞色素氧化酶是呼吸链末端的特征酶,含有一个铜原子和铁-卟啉基因,这是唯一能被分子氧再氧化的细胞色素,它把电子传递给电子受体 O_2 ,此时发生了Cu(I)向Cu(II)的转变。对虾体内这种酶的活性与细胞内Cu的含量会有直接的关系。Cu含量少时,其活性随Cu含量的增加而增加;当含量达到一定程度时,过量的Cu又会起抑制作用,使活性下降,导致对虾中毒。这说明细胞色素氧化酶有可能作为Cu在对虾体内的致毒效应以及对虾体内Cu的营养状态的生化指标。

生物体内不同重金属之间的交互效应是个重要的研究课题,目前对于Hg、Cd、Cu、Se、As、Zn相互之间,尤其是Se与不同重金属之间的协同与拮抗效应研究报道不少。但至今对于不同金属之间交互效应的机理仍不很清楚,于是不同的实验往往得出迥异的结果。所以在进行重金属对对虾的致毒和解毒机制研究的同时,应加强不同重金属在对虾体内的相互作用的机理研究,这对揭示协同和拮抗效应的内在规律,及其对虾致病的内在关系都有很大的意义。

参 考 文 献 (略)

(上接第40页)

般3—5年收回成本),因此至少在目前由于成本问题妨碍了太阳能应用的发展。

但是随着历史的发展,科学技术的进步,太阳能、风能等可再生,无污染的新能源是必然发展的趋向,也是人类将来能源消耗的重要组成部分。

人们知道,常规能源(石油、煤等矿物燃料和植物燃料等)必竟是有限的,最终要用完,目前探明的世界石油储量仅能开采使用30多年时间,所以应当积极开拓核能在内的其他新能源。

我国常规能源供应紧张,也同样影响到渔业能源供应,因此在海岛、山区较缺乏电、油、煤等能源的地方,可以因地制宜就地应用太阳能作为补充常规能源的不足,应该视为是能源政策的措施之一。使它在水产养殖、水产品加工业的各个方面能够得到更多的应用。就是在捕捞的渔船上,也可以使用太阳能电池,供电照明,安装太阳能热水器供给热水,可供船员洗澡等生活用热水。

新技术的发展,新材料的出现,如热管、热泵的产生,把低温度输入变成高温度输出,使太阳能利用效率大大提高。从而也可以降低成本问题。因此太阳能应用的光明前景是存在的。

参 考 文 献

- 【1】方荣生等编《太阳能应用技术》,1985年,中国农业机械出版社。
- 【2】日本太阳工ネルヤ“一一学会编《太阳工ネルキ”基础上应用》。昭和53年オーム社。
- 【3】《新能源》1989年,科学技术出版社重庆分社。《农村能源》1989年,辽宁省能源研究所等。