

中氟的含量没有明显增高。对那些在自然状态下其食谱中就包括南极磷虾的动物,例如鱼类、企鹅和海豹等,它们都能很好地处理氟的能力。首先在市场上出售的南极磷虾产品是虾糜(Past),这种食品自70年代末开始在前苏联市场上出现,其后人们开始生产虾酱、虾蛋白、虾球、虾肉香肠等,以及用作食品添加剂。尽管存在氟含量的问题,但在远东整虾的销售仍有很大的市场。这些磷虾一般是用速冻或先蒸后冻进行保鲜的。在日本,已经怀卵的雌磷虾具有很大的市场,被认为是味道最为鲜美的甲壳动物。整虾也被用作动物饲料和钓鱼用的鱼饵,但在日本一半以上的产品直接被人类食用。

去壳后的磷虾虾仁是最易被人们接受和最有价值的磷虾产品。磷虾脱壳技术由其他甲壳动物脱壳技术演变而来,目前已经能够生产出可被人们接受的虾仁,这些虾仁可用作食品添加剂或直接食用。滚桶脱壳法是由波兰和日本技术人员发展起来的一种磷虾脱壳方法,目前在船上每小时可加工500kg磷虾,成品率为10~25%。盐水虾肉被认为是一种最易被人们接受、并可取代其它虾肉的新型成品。如果磷虾虾肉能够作为其它虾肉的替代品并低价出售,那么它的市场占有率将会迅速提高。

南极磷虾也被用来加工成用于动物饲料的虾粉,而且目前已经能够生产出含氟量很低的虾粉,但从经济角度来看仍不合算,因为虾粉属低档次的原料产品,而生产成本却很高。目前只是作为其他高档磷虾食品生产过程中的一项副产品,有时是为了处理低档虾和过剩的磷虾。

在日本,南极磷虾在作为养殖饵料方面强烈地受到太平洋磷虾(*Euphausia pacific*)的竞争,后者在1991/1992的捕获量为108 000 t,几乎所有这些捕获物全被用作养殖饵料,以致于使南极磷虾难以插足饵料市场。

有人认为南极磷虾具有医药上的价值,波兰和前苏

联有文献称磷虾为健康食品,因其富含不饱和脂肪酸,可降低血液中胆固醇的含量,治疗动脉硬化。在磷虾体内发现了各种各样的有用化学物质,有几种经研究被认为具有商业开发的价。磷虾渔业将来的发展趋势是对捕获的磷虾进行最大限度的综合利用,否则难以取得经济效益。日本渔船目前已经开始磷虾的综合加工。他们在生产高品质的虾仁的同时,利用剩下的废料生产养殖饵料,并从加工过程中所产生的废水中回收蛋白质。开发新产品、发展高效率的加工方法和资源的全面综合利用,将是提高效益的有效途径。

7 我国发展磷虾渔业的前景

我国近海渔业资源由于过度捕捞已呈现衰退现象,海洋渔业的出路在于向远洋发展。使我们高兴的是我国远洋渔业近年来有了较大的发展,在南半球已有几支船队在作业。结合其他渔业同时考虑利用南极磷虾的开发利用将不存在太多的技术困难。渔业公司考虑更多的是效益问题,即是否有利可图。这里举一个实际例子。5艘日本渔船1992/1993一个夏季在48.1, 48.2和48.3三个小区内共捕磷虾59 271t。单船产量为12 000t,以每吨价格为200美元计(相当于每公斤1.68元人民币),产值为240×10⁴美元。效益应当是可观的。作者认为,在效益不能保证的开创阶段,国家给予适当的补贴是必要的。前苏联和日本就是这样做的。

我国人力资源丰富,劳动力成本相对较低,对发达国家讲磷虾渔业成本高、效益低,对发展中国家则是另一会事。由于人民生活水平提高,目前我国海产食品奇缺,连作为饲料的鱼粉也要大量进口。在近海渔业资源衰退,某些传统资源已经破坏的情况下,我国应该考虑南极磷虾的利用了。至少作为一项开发研究或技术储备也应当有所行动了。

32-37

中国对虾,矿物质,营养微量元素

中国对虾矿物质营养的研究

STUDIES ON MINERAL NUTRITION OF SHRIMP *Penaeus chinensis*

刘发义 李荷芳

Q959.223.5

(中国科学院海洋研究所 青岛 266071)

人类和陆生生物对矿物质的营养需求,以及不同矿物质对其生理和生化功能的影响,已经研究了很多,有大量的文章发表。到目前为止,已经有20多种矿物

质被证明对人和陆生生物是必需的,其中包括钾、钠、钙、镁、磷、硫和氯等七种常量元素,铁、铜、锌、锰、钴、硒、钼、钒、铝、氟、硅、碘、铬、镍、锡和砷等16种微量元素

素。水生生物对矿物质营养需求的研究要少得多,其原因一是由于人们对水生生物营养学的研究远远落后于对人类和陆生生物的研究,二是由于水生生物对矿物质的营养需求比较难以测定,它们不仅从食物中获得矿物质,而且能在水中获得部分无机元素^[7]。尽管如此,关于水生生物对矿物质的营养需求已有不少报道。上述的20多种矿物质中,有13种可能是水生生物所必需的。不过关于水生生物矿物质营养方面的文章大部分是有关鱼类的。关于对虾的矿物质营养需求,包括中国对虾(*Penaeus chinensis*)、日本对虾(*P. japonicus*)、南美洲白对虾(*P. vannamei*)等几种营养生理研究得比较多的对虾在内,到目前也仅有可数的几篇文章发表^[8]。Kitabayashi 等人^[9]于1971年最早报道了日本对虾对Ca和P的需求,在此之后, Deshimaru and Yone(1978)^[10]以及 Kanazawa *et al.* (1984)^[11]先后报道了日本对虾对Ca, P, K, Mg, Cu, Fe, Mn 等的营养需求。80年代末和90年代初,美国的 Davis(1992)^[12]在南美白对虾的矿物质营养方面做了不少工作,他首先逐一从营养比较全面的饵料中除去某一种元素,分别饲喂对虾,评价该对虾对13种矿物质的需求与否,然后在此基础上分别研究了其对Ca, P, Cu, Fe, Zn 和 Se 等矿物质的需要量。中国对虾的矿物质营养研究则有个由浅入深、从粗到细的过程。开始只是研究饵料中灰分的适宜含量,后来才逐一研究其对各别元素的营养需求。

1 中国对虾对几种主要矿物质的营养需求

与其他生物一样,在对虾的矿物质营养中,研究得最早的是其对Ca和P的需求。青岛海洋大学的李爱杰教授^[13]最先研究了我国对虾对Ca和P需求,以及饵料中合适的Ca:P比,得出仔虾饵料中Ca和P的总量应大于1%,Ca:P为1:7.3时,其成活率和增重率最好,而幼虾饵料中Ca和P总量为2%,Ca:P为1:1.7或大于此值时,其增重率和饵料转化率最高。日本科学家在70年代末和80年代初研究了日本对虾对Ca和P的营养需求。Kitabayashi *et al.* (1978)^[9]报告,日本对虾对Ca和P的需要量分别为1.2%和1%,Ca:P以1.24:1.04为好; Kanazawa *et al.* (1984)^[11]也报道该对虾对Ca的需要量为1.2%,对P为1~2%,Ca:P以1:1为好,应该说他们的试验结果基本一致。而 Deshimaru *et al.* (1978)^[10]报告,日本对虾饵料中不需要添加Ca,而P的添加量应为2%,这与上面两位研究者所得的结果有较大差异。关于南美洲白对虾对Ca和P的需求, Davis (1990)^[12]报告,其饵料中不需添加Ca,而P的添加量与

饵料中Ca的含量有关,当Ca含量<0.34%时,不需添加P,而Ca为0.5~1.0%时,应添加1%的P, Ca为1~2%时,应添加2%的P,他认为Ca和P之间没有固定的最佳比例,但Ca:P比不应大于2。上述结果看出,对不同种对虾所得的研究结果有较大差别,即使是同一种对虾,不同的研究者所得出的结果也不尽相同,这可

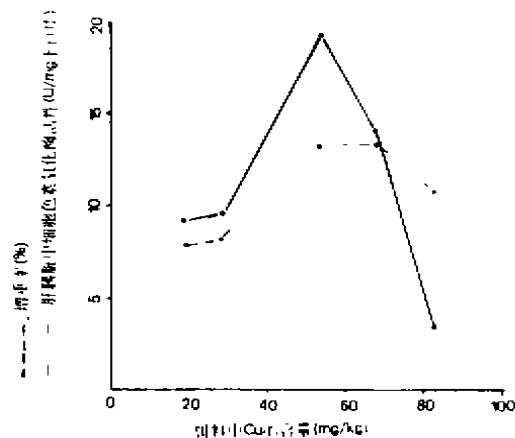


图1 饵料中的Cu对中国对虾的影响

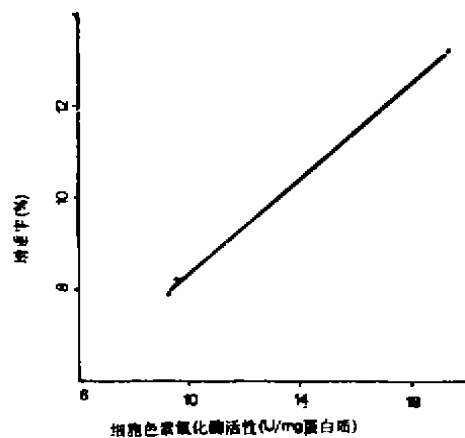


图2 肝胰脏中细胞色素氧化酶活性与对虾增重的相互关系

能与所用的实验材料、实验方法、实验条件不同所造成的。

在李爱杰先生之后,我们实验室就中国对虾对Cu, Zn, Co, Mn 和 Se 的营养需求,逐一进行了研究^[2~3]。我们使用的大都是实用饵料,即以秘鲁鱼粉、花生饼、玉米面、地瓜面、小麦麸皮、自制的矿物质预混料和维生素预混料等为实验饵料的基本组分,以CMC为粘合剂,

在其中加入不同浓度待研究的矿物质,加工成实验饵料饲喂对虾,以实验虾的体长和体重的增长率、存活率、虾体中有关元素的含量、以及某些相关的金属酶活性的变化为指标,确定其需求与否及其需要量。此外我们就中国对虾对 K、Na、Mg 和 I 的需求,也进行了探讨,采用正交设计的方法,测定了对这几种元素的营养需求。

Cu 对虾类来说,是一种非常重要的元素,它不仅在许多与 Cu 有关的酶,如赖氨酸氧化酶、细胞色素氧化酶、酪氨酸酶、过氧化物歧化酶等生物酶中有重要作用^[14],更重要的是,Cu 是虾类血液中血蓝蛋白的重要组分,对氧分在虾体内的输送起着重要的作用,Depledge (1989)^[15]估计,虾体中 40% 的 Cu 存在于血蓝蛋白中。因此我们首先就中国对虾对 Cu 的需求进行了研究^[2]。结果证明 Cu 对中国对虾的生长确实有重要的作用,随着饵料中 Cu 浓度的增加,对虾的增重率呈上升的趋势,但 Cu 浓度过量,会影响对虾生长;这种生长的变化趋势,与对虾肝脏中细胞色素氧化酶活性的变化趋势一致,即酶活性大的,对虾增重率高,两者有非常好的线性相关关系(见图 2)。细胞色素氧化酶是细胞呼吸链末端的特征酶,在氧化磷酸化过程中起传递电子的作用,当饵料中 Cu 的含量比较低时,其中的 Cu 对细胞色素氧化酶起到激活作用,Cu 浓度增加,激活作用增强,但过量的 Cu 会抑制该酶的活性,使对虾生长受到影响(见图 1)。根据实验结果,我们得出中国对虾对 Cu 的需要量为 53×10^{-6} 左右,并提出以细胞色素氧化酶作为评价对虾 Cu 的营养状况的生化指标。Davis (1990)^[16]在对南美洲白对虾的研究中发现,当饵料中 Cu 的含量低于 32×10^{-6} 时,该虾就会出现 Cu 缺乏症状,表现为生长缓慢、头胸甲、肝脏和血淋巴中 Cu 含量低,心脏增大。其结果与我们在中国对虾上所得到的结果接近。但是 Kanazawa 等人(1984)^[17]通过从饵料中除去 Cu 的办法,发现缺乏 Cu 对日本对虾的生长和存活没有明显的影响。

Se 是另一种重要的微量元素。由于 Se 的缺乏与人类的大骨节病、克山病、心血管病以及一些癌症有关,近 20 多年来受到了特别重视,对其进行了很多研究。水生动物对 Se 需求的研究,也有少量报告,但无论是数量和研究深度都有限,虾类对 Se 的营养需求的研究就更少。我们在研究中国对虾对 Se 的营养需求中,使用酪蛋白、糊精、淀粉等组成的半纯化饵料,在其中添加不同浓度的亚硒酸钠,用自制的尼龙网,每个网中放一条虾进行养殖试验。共设置了 13 个平行组,以对虾的存活率、增重率、蜕皮频率和对虾组织中谷胱甘肽过氧化物

酶活性为指标,来确定中国对虾对 Se 的营养需求。结果表明,饵料中添加 Se 可以促进中国对虾生长以及肝脏和肌肉中谷胱甘肽过氧化物酶活性的提高(图 3),且该酶活性与组织中的 Se 浓度以及与对虾的增重率存在着线性相关关系(图 4)。根据本实验结果,我们得出中国对虾对 Se 的需要量为 20×10^{-6} 左右,认为对虾组织中谷胱甘肽过氧化物酶的活性可以作为中国对虾 Se 的营养状况的重要生物化学指标^[17]。Davis (1990)就南美白对虾对 Se 的营养需求也作过初步研究,认为该对虾饵料中需要添加 Se,当 Se 含量为 $0.2 \sim 0.4 \times 10^{-6}$ 时生长最好。这与我们的结果相差较大,其原因不清楚,但是他在实验中没有设置平行组,得到的还只是初步的研究结果(结果未发表)。除此之外,我们尚未见到其它有关虾类对 Se 的营养需求方面的研究报告。

Co 也是一种重要的必需微量元素,它是维生素 B₁₂ 的构成成分,还能以辅酶的形式影响某些酶的活性,在生物体内参与许多生化反应。我们研究了饵料中 Co 的含量对中国对虾生长以及肝脏中羧肽酶 A 活性的影响,发现 Co 含量增加,可促进对虾的生长,但 Co 含量大于 75×10^{-6} 时,增长率和增重率都开始下降(图 5)。羧肽酶 A 的作用是水解某些蛋白质羧基末端的肽键,使蛋白质或多肽水解为氨基酸而被生物吸收利用。羧肽酶 A 是一种含锌酶,有资料表明,Co(II) 能代替其中的 Zn(II),并使其活性大约增加一倍^[18]。我们的研究发现,饵料中 Co 含量增加,对虾肝脏中羧肽酶 A 的活性增加,而 Co 含量大于 75×10^{-6} 时,活性开始下降,其变化趋势与对虾的生长变化趋势完全一致,两者之间有非常显著的线性相关关系(见图 5 和 6)。根据本实验结果,我们得出中国对虾对 Co 的需要量为 $50 \sim 75 \times 10^{-6}$ ^[19]。除上述结果以外,我们尚未见到其它有关虾类对 Co 的需求方面的报告。

Zn 和 Mn 是两种公认的必需微量元素。Zn 为生物正常的生长发育所必需,是很多金属酶的组成成分,也可作为某些酶的辅酶参与生物体内的代谢。Mn 也可作为某些酶的辅酶在生物体内起作用。在中国对虾对 Zn 和 Mn 的营养需求的研究中,我们在实验饵料中分别添加 $0 \sim 800$ 和 $0 \sim 160 \times 10^{-6}$ 的 Zn 和 Mn,它们对中国对虾生长均未产生明显的促进作用,但也无有害影响。由于我们用的不是纯化饵料,这可能由于饵料原料中 Zn 和 Mn 的量和从海水中获得的这两种元素已可以满足对虾的需求。Zn 虽然是羧肽酶 A 的组成成分,但饵料中 Zn 浓度的变化对羧肽酶 A 的活性并没有影响。但饵料中 Mn 浓度的变化会影响羧肽酶 A 的活性,当在其中添加 80×10^{-6} 的 Mn(总量 92.4×10^{-6}) 时,酶活性最高。

海洋科学

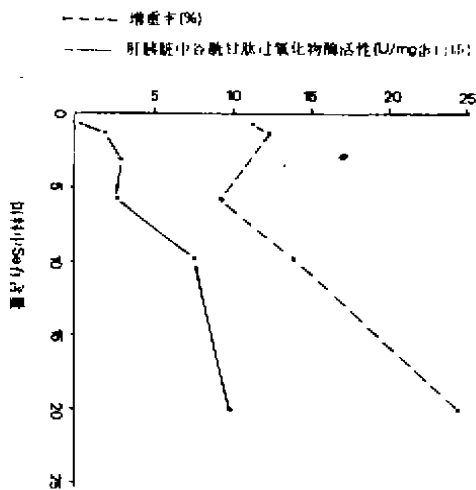


图3 饲料中的Se对中国对虾的影响

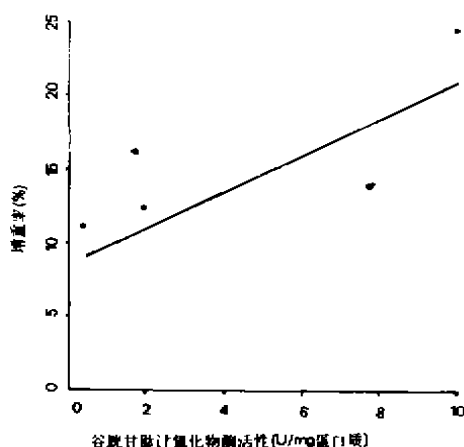


图4 肝胰脏中谷胱甘肽过氧化物酶活性与对虾增重的相互关系

Mn含量进一步增加,酶活性开始下降。根据上述结果,尽管添加Zn和Mn对中国对虾没有明显的促生长作用,但笔者认为在对虾饲料中还是添加适量的Zn和Mn较好,其添加量分别为 $100\sim 200$ 和 $60\sim 80 \times 10^{-6}$ 为宜。Davis(1990)^[19]对南美洲白对虾的研究也证明,为了维持虾体内Zn的正常含量,饲料中Zn的含量应在 32×10^{-6} 以上,而他推荐饲料中Zn的添加量为 200×10^{-6} 。这与我们的结果比较一致。在中国对虾对I需求的研究中,我们发现,饲料中添加I对中国对虾有明显的促生长效果,添加 30×10^{-6} 的I,对虾的成活率和增重率显著高于其它各组^[20]。目前我们还未看到虾类对I的需求的其它研究报告。关于对虾对K和Mg的需求,我们用正交设计的研究发现,在实用饲料中添加 $0\sim 0.4\%$ 的K(总量为 $1.1\%\sim 1.5\%$)和 $0\sim 0.2\%$ 的Mg(总量为 $0.17\%\sim 0.40\%$)对中国对虾有一定的促生长作用,但效果不很显著。据此我们主张在中国对虾的饲料中可添加适量的K和Mg,添加量都是 0.2% ,也就是说饲料中K和Mg的合适含量分别为 1.2% 和 0.39% 。这一结果与日本对虾接近。Deshimaru and Yone(1978)^[21]和Kanazawa *et al.*(1984)^[22]先后报告了日本对虾对K的需要量分别为 1.0% 和 0.9% ;关于对Mg的需求,前者在半纯化饲料中添加 0.3% 的Mg未能提高饲料的营养价值,但后者对其研究认为,饲料中添加 $0.1\%\sim 0.5\%$ 的Mg会提高其营养价值,并推荐Mg的添加量为 0.3% 。

为了解中国对虾对Na的需求,我们在饲料中添加了 $0\sim 1.5\%$ 的Na,未看出其对对虾有任何促生长作用^[20]。我们也未看到虾类对Na的需求的其它研究报告。看来对虾饲料中不需要添加Na,对虾大概能从海水中吸收足够量的Na供身体需要。

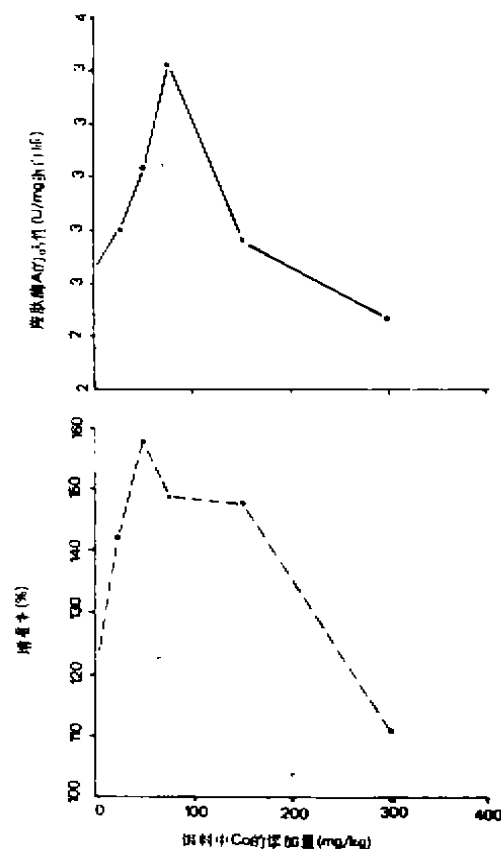


图5 饲料中的Co对中国对虾的影响

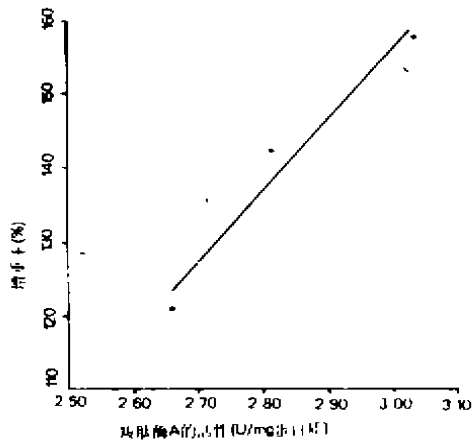


图6 肝胰脏中羧基转氨酶A活性与对虾增重的相互关系

2 关于对虾矿物质营养研究中几个值得讨论的问题

2.1 关于试验饵料

在对虾矿物质营养研究中,目前通常是采用纯化饵料或半纯化饵料作为试验饵料,这样得出的结果在学术上可能会更有意义,但是我们觉得,利用实用饵料进行试验,所得出的结果则更有实用价值。我们在研究中所用的饵料原料是我国对虾养殖生产中常用的,所用的饵料配方也与生产中所用的配方差不多,这样得出的结果,可以直接应用于生产实际,合适添加量加上原料中的含量,或制成的饵料中的测定值可大体看作是对该元素的需要量。我们得出的中国对虾对Cu的需要量,已直接应用于生产实际,取得了良好的效果,证实了它的可靠性和实用性。现在这一结果已为其他一些饵料研究人员设计饵料配方时所使用。

2.2 关于养殖试验的方法

在进行水生动物的营养研究中,大多是采取群养进行试验,这种方法对于鱼类的营养研究是合适的,但在虾类营养研究中,由于虾死亡率比较高,且对虾会相互残食,因而会使对虾摄入的营养成分发生变化,这给实验结果的准确性和可靠性带来问题,而且给实验结果的分析 and 数据处理带来困难。我们在研究中尝试用单虾养殖的办法,这样可以获得每条虾在养殖过程中确切的生长数据以及蜕皮和健康状况的确切资料,所得的结果比较可靠,而且在一个水族箱中可放置多个网,使得试验的平行组多,既能节约养殖设备,又便于对试验

结果进行数理统计。我们认为这是一种比较好的方法。1992年笔者在美国德克萨斯农工大学合作研究时,在我的建议下,Lawrence的虾类营养实验室也开始使用这种单虾养殖的方法,获得了满意的结果。

2.3 关于营养状况的评价指标

目前在虾类营养研究中,主要是使用试验动物的增重率、存活率、饵料系数、蛋白质效率等为指标,来评价其对某种营养物质需要与否及其需要量,笔者认为,这些常规指标中,饵料系数和蛋白质效率是不可靠的,因为对虾是把饵料抱起来,再经过嚼碎而摄食的,在这个过程中,营养成分损失比较大,而且对虾吃剩下的饵料也很难准确地收集起来进行测定,因此很难得出可靠的饵料系数和蛋白质效率。此外我们认为,除了这些常规的指标外,还应使用更为敏感的生理学、生物化学、组织学和细胞学等指标。我们在对虾微量元素的营养研究中,使用了一些相关的金属酶,如细胞色素氧化酶、谷胱甘肽过氧化物酶、羧基转氨酶A的活性作为判断试验结果的指标之一,证明是有益的,特别是在各组增重和存活差异不显著的情况下,可能更有价值;陈四清^①在研究对虾的维生素营养中则使用了电生理技术、组织切片技术作为判断指标。这些生理学、生物化学、组织学和细胞学指标不仅能增加实验结果的可靠性,而且可以使研究更加深入,今后应大力提倡。

参考文献

- [1] 李爱杰、黄宝潮、姜伟凤、徐家敏,1986。山东海洋学院学报 16(4):10~17。
- [2] 刘发义、梁德海、孙凤、李荷芳、兰信,1989,海洋与湖沼 21(5),404~410。
- [3] 梁德海、刘发义、孙凤、李荷芳、兰信,1991,海洋科学 3,12~13。
- [4] 梁德海、刘发义、孙凤、兰信,1989,海洋科学 5:49~52。
- [5] 李荷芳、郝斌、刘发义、王辉亮、孙凤、梁德海,1993,海洋科学 4:48~51。
- [6] Deshimaru, O., K. Kuroki, S. Sakamoto, and Y. Yone, 1978. *Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries* 44:975-977.
- [7] Davis, D. A. and D. M. Gatlin III, 1991. Dietary mineral requirements of fish and shrimp. In: *Proceedings of the aquaculture feed processing and nutrition workshop*, 49-67.

^① 陈四清,1991,中国对虾脂溶性维生素营养的研究,青岛海洋大学硕士论文。

- [8] Kitabayashi, K., H. Kurata, K. Shudo, K. Nakamura, and S. Ishikawa, 1971. Studies on formula feed for kuruma prawn - 1. On the relationship among glucosamine, phosphorus and calcium. Bulletin of the Tokai Regional Fisheries Research Laboratory, Tokyo 65:91-108.
- [9] Deshimaru, O. and Y. Yone, 1978. *Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries* 44:907-910.
- [10] Kanazawa, A., S. Teshima, and M. Sasaki, 1984. *Memors of the Faculty of Fisheries, Kagoshima University* 33:63-71.
- [11] Davis, D. A. and A. L. Lawrence, 1992. *J. World Aquaculture Society* 23(1):8-14.
- [12] Davis, D. A. and A. L. Lawrence, 1990. *World Aquaculture* 90, Halifax, Canada 7: ss1. 4.
- [13] O'Dell, B. L., 1976. *Medical Clinics of North America* 60: 697-703.
- [14] Depledge, M. H., 1989. *Marine Environmental Research* 27: 115-126.
- [15] Davis, D. A., A. L. Lawrence, and D. M. Gatlin III, 1991. *J. World Aquaculture Society* 22:22A.
- [16] Tian Yuchuan and Liu Fayi, 1993. *Chin. J. Oceanol. Limnol.* 11(3):249-253.
- [17] Bertini, I. and Luchinat, C., 1984. High spin Cobalt (II) as a probe for the investigation of metalloproteins. In: *Advances in inorganic biochemistry* 6, ed. by G. L. Eichhorn and L. C. Marzilli, ELSEVIER, New York, P. 94.
- [18] Davis, D. A., D. M. Gatlin III, and A. L. Lawrence, 1993. *J. World Aquaculture Society* 24(1):40-47.
- [19] Liu Fayi, Li Hefang, Wang Huijian, Liang Dehai and Tian Yuchuan, 1994. *Chin. J. Oceanol. Limnol.* (in press)

37-40

中国对虾气泡病的初步研究

PRELIMINARY STUDY ON GAS-BUBBLE DISEASE OF *Penaeus chinensis*

S 945.15

张乃禹

(中国科学院海洋研究所 青岛 266071)

气泡病一般发生在幼鱼和仔虾消化道及鳃丝中,导致鱼虾部分死亡。自 Marsh 和 Gorham 于 1905 年报道了鱼的气泡病后已有许多报道,但对于虾的气泡病报道较少。Lightner, D. V. 等报道过褐对虾 (*Penaeus aztecus*) 蚤 II 期幼体及稚虾的气泡病^[6-9]。1979 年著者进行中国对虾 (*Penaeus chinensis*) 摄饵量实验^[4]过程中曾遇到仔虾消化道气泡病,致使仔虾漂在水面,死亡率较高 (>30%) 导致实验不能进行。为此笔者对中国对虾气泡病的成因及防治方法进行了初步研究并于 1991 年又进行了验证^①,现将结果报告如下。

1 材料与方 法

实验地点在青岛市中国科学院海洋研究所虾类生态实验室。实验材料是人工育出的虾苗,1979 年所用的仔虾体长 1~2cm。1991 年所用的是 P₅₋₆ 仔虾(即从第一期仔虾开始蜕皮次数)。实验容器为 1 000ml 烧杯及 10 000ml 玻璃缸。海水盐度为 30.06, pH8.0。饵料是卤虫 (*Artemia salina*) 无节幼体及日本虎斑水蚤 (*Tigrio japonicus*)。鉴于当时发现每次换水后如恰遇气温突然升高,烧杯内的仔虾定有部分患气泡病死亡,而未换水的

烧杯虽其水温也随气温升高但其杯内仔虾未患气泡病;换进的新鲜海水一般低于烧杯内的水温 1~2℃。为此,按排了两组实验,一组为对照组,使烧杯内海水突然升高,另一组为实验组,通过换新鲜海水或加海水冰块,使其烧杯内的水温突然降低,尔后又突然升高。观察这两种水温变化情况下仔虾患气泡病的情况。

鉴于鱼虾气泡病是由氧和氮过饱和而引起^[2],为此安排了对烧杯内的仔虾充气(压缩空气、液态氧、液态氮),观察仔虾患气泡病的情况。

2 实验结果

2.1 水温升高实验

实验结果表明,经历水温突然升高的对照组内的仔虾均未出现气泡病(表 1)。经历水温突然下降尔后又骤然升高的实验组内的仔虾有 30% 以上患消化道气泡病

① 中国科学院海洋研究所刘恒做“中国三种主要对虾(中国对虾、墨吉对虾、长毛对虾)幼体发育形态及其比较研究”博士学位论文时,对中国对虾气泡病的实验数据进行了补充和验证,特此致谢!