

甲壳动物学

(上册)

堵南山 编著

科学出版社

内 容 简 介

本书为我国第一部全面而系统地论述甲壳动物的专著，根据作者多年来从事科研与教学积累的大量资料编写而成。全书分上、下两册。上册首先介绍甲壳动物的一般形态与分类系统，并阐述甲壳动物在国民经济中的重要性；书中着重阐述切甲类各类群的形态、生物学、地理分布与分类等，并附有大量插图。

可供动物学、水生生物学、水产、环境保护、博物馆的科研工作者以及有关大专院校师生参考，也可作研究生专业课程教材用。

甲 壳 动 物 学

(上册)

堵南山 编著

责任编辑 蒋伯宁

科学出版社出版

北京朝阳门内大街147号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1987年3月第一版 开本：787×1092 1/16

1987年3月第一次印刷 印张：21 5/4

印数：0001—1,600 字数：505,000

统一书号：13031·3459

本社书号：4677·13—7

定价：5.10元

序

独立自主、自力更生应是我国科学家考虑与处理一切工作的立足点,我们要着眼于发展自己的科学,提高全民族的科学文化水平。自然,也不该闭关自守,外国先进的东西值得学习,外国的科技书刊应该参考,但是我国各门学科都需有自己一套程度从浅到深的专业书刊。有了这些专业书刊,尤其便于中青年科技工作者学习,以提高业务水平,开展科学研究。

从1971年开始,结合教学与科学研究,我就动手写作本书。但在那动乱的年代里,干扰很大,借阅图书资料又十分困难,因此工作进展得不快。1978年以后,由于编写《中国动物志·节肢动物门甲壳纲淡水枝角类》,本书的工作又暂时停顿了一段时间。近三、四年来,尽管较忙,但我还是想方设法,挤出一些时间,继续编写。现在终于完成了;实现了我多年来的宿愿。

这本书可以说是我近几年来的心血所萃,书中的插图全部由我亲笔绘制。虽然自己尽了最大的努力,企图提高质量,反映最新的科研成果,但限于水平,不妥与错误在所难免,希望读者批评指正。

堵南山

华东师范大学生物学系

1986年6月

目 录

序

第一章 绪论.....	1
一、经济意义(1) 二、有机结构及其机能(21) 三、发育(44) 四、分类系统与演化(51)	
第二章 头虾亚纲.....	57
第三章 鳃足亚纲.....	61
一、形态(61) 二、生殖(82) 三、发育(88) 四、生长(93) 五、栖居(94) 六、运动(96) 七、摄食(97) 八、季节变异(100) 九、地理分布(102) 十、演化(103) 十一、分类(104)	
第四章 介形亚纲.....	137
一、形态(137) 二、生殖(144) 三、发育(144) 四、栖居(146) 五、摄食(147) 六、分类(148)	
第五章 须虾亚纲.....	159
第六章 桡足亚纲.....	163
一、形态(163) 二、生殖(177) 三、发育(178) 四、栖居(182) 五、摄食(186) 六、寄生(187) 七、地理分布(189) 八、分类(191)	
第七章 鳃尾亚纲.....	267
一、形态(267) 二、生殖与发育(273) 三、寄生(274) 四、分类(275)	
第八章 蔓足亚纲.....	277
一、形态(277) 二、生殖(295) 三、发育(296) 四、生长(302) 五、栖居(304) 六、着生与寄生(306) 七、摄食(309) 八、演化(310) 九、分类(312)	

第一章 绪 论

一、经济意义

甲壳动物学 (Carcinology) 是近半个世纪来在动物学中发展较为迅速的一个分支学科,它以节肢动物门的甲壳纲为研究对象。这类动物与人类关系十分密切,在国民经济中占有相当重要的地位。不仅一部分种类可供人类食用,同时发展渔业、保护环境、开发能源以及卫生保健等都与甲壳动物有关,现在分项阐述于下。

食用甲壳类

可供食用的甲壳动物种类不少。大型的蔓足类虽然体外被有坚厚的壳板,但内部柔软的身体却是鲜美可口的食物。在欧洲,早在史前时期地中海沿岸居民就已采食 龟足 (*Pollicipes mitella*),至今英国沿海居民因袭相传,依然食用。在美洲,加拿大的不列颠哥伦比亚省沿海居民采食个体很大的朵云藤壶 (*Balanus nubilis*),美国人民则用藤壶烧汤,智利甚至将个体大的鸚鵡藤壶 (*B. psittacus*) 制成罐头食品。在亚洲,日本沿海居民经常采取藤壶属 (*Balanus*)、巨藤壶属 (*Megabalanus*)、笠藤壶属 (*Tetraclita*) 以及龟足属 (*Pollicipes*) 等大型种类为食。达尔文曾经报道我国沿海居民食用龟足,实则除龟足外,也采食铃形巨藤壶 (*Megabalanus tintinnabulum*)。这两种蔓足类每年夏季在长江口嵎泗列岛的集市上买卖相当兴旺。

螳螂虾蛄 (*Squilla mantis*) 与标准相手虾蛄 (*Oratosquilla oratoria*) 等口足类 (*Stomatopoda*) 体型大,虽可食用,但可食部分却不多,经济价值不高。

东方人自古就有食用糠虾的传统习惯。我国江苏北部沿海居民捕捞糠虾,制成虾酱。在印度加尔各答市场上常可见到泥虾 (mud shrimps), 售价不贵,购买者多为贫民。所谓泥虾,实系东方中糠虾 (*Mesopodopsis orientalis*), 并杂有少数同形恒河糠虾 (*Gangemysis assimilis*), 这两种糠虾都从奇卡湖 (Chilka lake) 捕捞而来。日本沿海,特别是太平洋沿岸,日本新糠虾 (*Neomysis japonica*)、中型新糠虾 (*N. intermedia*) 以及吉氏不等糠虾 (*Anisomysis ijimai*) 三种产量不小,在日本渔业中占有一定地位。此外,日本还捕捞普通囊糠虾 (*Gastrosaccus vulgaris*), 常混杂在日本毛虾 (*Acetes japonicus*) 中出售。

磷虾是多种经济鱼类以及鲸类、海豹等动物的天然饵料,但华丽磷虾 (*Euphausia superba*) 也可作为人类的食物。这种磷虾分布在南极大陆和南辐聚带(位于南纬 50°—60° 间)之间的整个海区,特别在西经 60°至东经 90°间;虾群主要密集于南奥克尼群岛向北到南桑德韦奇群岛与南乔治亚群岛间。据 Marr (1962) 测计,每立方米水中多达 6 万个个体。虾群白天使海面呈现一片铁锈色,夜晚虾群受到惊扰,又会使海面发出蓝绿色磷光。南极海区的磷虾资源十分丰富,估计蕴藏量有 50 亿吨,是目前世界上尚未利用而巨大的蛋白质资源。据联合国粮农组织 (FAO) 估计,在不破坏南极生态平衡的前提下,持续年产量约 1.5 亿吨,相当于全世界总渔获量 7 千多万吨的一倍。目前已有苏联、日本、联邦德

国、波兰、挪威、美国、法国等十多个国家和地区从事南极磷虾资源的调查与开发，其中苏联与日本已进行试捕，年产量达到2—3万吨。南极海区的磷虾资源虽然丰富，但如果不加保护，任意滥捕，不仅会使以磷虾作为天然饵料的鲸类等动物减少，同时也会引起磷虾本身种群不可逆的变化。

如上所述，甲壳动物有不少种类可供人类食用，但主要的食用甲壳动物都属于十足类(Decapoda)。食用十足类不仅滋味鲜美，同时营养价值又高。表1揭示三种十足类的营养分析，表中所列数字系指100克可食部分所含物质的重量以及能够散发的热量。

表1 三种食用甲壳动物的营养分析

种 类 成 分	对 虾	青 虾	河 蟹
水分(克)	77.0	81.0	71.0
蛋白质(克)	20.6	16.4	14.0
脂肪(克)	0.7	1.3	5.9
碳水化合物(克)	0.2	0.1	7.0
灰分(克)	1.5	1.2	1.8
钙(毫克)	35.00	99.00	129.00
磷(毫克)	150.00	205.00	145.00
铁(毫克)	0.10	1.30	13.00
硫胺素(毫克)	0.01	0.01	0.03
核黄素(毫克)	0.11	0.07	0.71
尼克酸(毫克)	1.70	1.90	2.70
维生素A(国际单位)	360	260	5960
热量(千卡) ¹⁾	90	78	139

1) 1卡=4.1868焦耳

近年来世界各地传统的经济鱼类产量每况愈下，十足类资源因此受到人们的重视，特别是虾类资源，通过不断的开发与利用，产量逐年上升。五十年代全世界虾类年产不到50万吨、六十年代为67万吨、七十年代就突破100万吨大关。据统计1977年144.6万吨、1978年169.8万吨、1977年156.8万吨、1980年168.0万吨。我国近几年的年产量也达到20万吨以上。

食用十足类甲壳动物世界各地都有出产。主要分布在热带与亚热带浅海的对虾科(Penaeidae)有不少重要食用种类，例如日本的日本对虾(*Penaeus japonicus*)、印度的龙头对虾(*P. carinatus*)、法国的三沟对虾(*P. trisulcatus*)以及美国的多毛对虾(*P. setiferus*)与巴西对虾(*P. brasiliensis*)等。在我国产量最大、分布最广的要算中国对虾(*P. orientalis*)，也称明虾。此外，长毛对虾(*P. penicillatus*)与墨吉对虾(*P. merguensis*)在我国南方沿海产量也不小。毛虾属(*Acetes*)是体长只有3—4厘米的小型虾类，常大量成群的栖息在近岸泥底浅海以及河口，世界各地均产，印度、日本与我国都是主要出产毛虾的国家。中国毛虾(*A. chinensis*)为我国产量特别大的一种经济虾类，除鲜食外，还可加工制成小虾米、虾皮、虾酱与虾油等。长额虾科(Pandalidae)是欧洲有较大经济价值的深海嗜寒性虾类，其中蒙氏长额虾(*Pandalus montagui*)英国人经常食用，在伦敦市场上称为北海红虾(pink shrimp)。北方长额虾(*P. borealis*)挪威渔民大量捕捞，以供应欧洲各国。褐虾科(Crangonidae)也是欧洲较为重要的经济虾类，其中普通褐虾(*Crangon*

crangon) 在我国北方沿海虽也常见,但产量不大,在欧洲北海产量却很可观,仅联邦德国年产就达到 12 万吨。长臂虾科 (*Palaemonidae*) 的不少食用种类在世界各地渔业中都占有相当重要的地位,特别是长臂虾属 (*Palaemon*)。在我国,安氏白虾 [*Palaemon (Exopalaemon) annandalei*] 栖息在河口附近的浅海,过去长江口产量最大。脊尾白虾 [*P. (Exop.) carinicauda*] 栖息在北方沿海较浅的湾澳与河口附近,每年可捕获数百万斤,也是我国的一种重要经济虾类。渤海沿岸所产的虾米,大部分就由这种虾制成。秀丽白虾 [*P. (Exop.) modestus*] 是纯淡水种,栖息在湖泊与河流中,我国南北各地都产,产量也不小。线足虾 [*P. (Nematopalaemon) tenuipes*] 我国虽不产,但印度恒河口以及吕宋岛北部浅海产量特大。葛氏长臂虾 [*Palaemon (Palaemon) gravieri*] 分布在我国浙江以北沿海以及朝鲜西岸,产量不大。但分布在地中海、黑海以及挪威、英国、法国、荷兰、联邦德国及民主德国等大西洋沿岸的欧洲长臂虾 [*P. (Pm.) squilla*] 渔获量却很大,是重要的经济虾类,除鲜食外,还加工制成罐头。长臂虾属还有不少种在美国路易斯安那州、西印度群岛、非洲、菲律宾与日本也都食用。与长臂虾属十分近似的沼虾属 (*Macrobrachium*) 种类很多,分布又很广,除欧洲外,世界各地都产。日本沼虾 (*Macrobrachium nipponense*) 又称青虾,为我国最重要的淡水食用虾,河北白洋淀、山东微山湖以及江苏太湖等都是青虾的著名产地。罗氏沼虾 (*M. rosenbergii*) 又称马来西亚大虾,分布在亚洲大陆南部及其所属各岛屿上;此外,澳大利亚北部与日本也有分布。幼体栖息于半咸水中,而成体则在淡水湖泊与河流中生活。体型大,长可达 32 厘米,是很有价值的养殖对象,近年来不少国家正在试养。

淡水十足目中分布北半球的螯蛄科 (*Astacidae*) 与分布南半球的副螯蛄科 (*Parastacidae*) 都有一定的经济价值。前一科的螯蛄 [*Astacus (Astacus) astacus*] 产于欧洲各国,居民经常食用。十九世纪欧洲螯蛄发生虾瘟,大量死亡,有人在 1890 年从美国东部将美洲螯虾 (*Cambarus affinis*) 引入德国,几十年来大量繁殖,现在柏林市场上美洲螯虾几乎完全代替了螯蛄。然而,细螯黑海螯蛄 [*A. (Pontastacus) leptodactylus*] 由于适应性强,生长又快,在法国作为颇有前途的养殖对象。美国除美洲螯虾外,还食用克氏原螯虾 (*Procambarus clarkii*)。克氏原螯虾通称红色螯虾 (red swamp crafish), 是美国一种主要的养殖甲壳类,大多在路易斯安那州养殖,年产 6—7 千吨。近年来日本也引进这种螯虾,进行养殖,并在抗日战争期间放养到我国,目前江苏、安徽等地也经常可见。拟螯虾属 (*Cambaroides*) 分布亚洲东部,包括我国东北、朝鲜、日本北部与萨哈林岛(库页岛),虽然也可食用,但肉味不及其他虾类,且常含有肺吸虫囊蚴,切忌生食。副螯蛄科中的澳洲真螯蛄 (*Astacopsis serratus*) 通称墨累河螯蛄 (Murray crafish), 分布在澳大利亚墨累河,体长达到 50 厘米,在墨尔本与悉尼市场上经常可见。拟螯蛄 (*Astacoides madagascariensis*) 是非洲马达加斯加的一种食用虾,不仅在当地市场上可以见到,甚至在火车站上还可买到煮熟的全虾。此外,新西兰北岛的平额新西兰螯蛄 (*Paranephrops planifrons*)、南美洲的毛螯副螯蛄 (*Parastacus pilimanus*) 与巴西副螯蛄 (*P. brasiliensis*) 以及新几内亚与澳大利亚的有害粗螯螯蛄 (*Cherax destructor*) 等都是当地居民爱食的淡水虾类,最后一种在澳大利亚并已进行人工试养。美人虾科 (*Callinassidae*) 栖息在浅海,但旋转美人虾 (*Callinassa turnerana*) 却生活于淡水,在非洲喀麦隆雌体作为珍贵的食品,而雄体则可从其腹部榨取油脂。

龙虾科 (*Palinuridae*) 多数种类体型大,世界各国都视为珍品。我国广东与福建等东

南沿海出产多种龙虾,其中以中国龙虾 (*Panulirus stimpsoni*) 产量为最大,其次锦绣龙虾 (*P. ornatus*) 与波纹龙虾 (*P. homarus*) 也是常见种类。至于脊龙虾 (*Linuparus trigonus*) 在我国南海与东海都可经常捕到,但经济价值不大。在国外,日本产的日本龙虾 (*P. japonicus*) 以及澳大利亚产的澳洲龙虾 (*P. cygnus*) 都是名贵的水产品,特别是后一种,产量较大,输入美国,通称冰冻龙虾 (frozen rocklobster tail)。欧洲各国通称普通龙虾 (common lobster) 或刺龙虾 (spiny lobster) 的为与上述各种近似的普通真龙虾 (*Palinurus vulgaris*), 分布地中海以及欧洲与非洲的大西洋沿岸,也是十分名贵的食用甲壳类,体长 45 厘米,特别大的个体重达 8 公斤。作为南非重要经济虾类之一的赖氏岩龙虾 (*Jasus lalandi*) 个体尤其大,体长可达 51 厘米,重 10 公斤,是开普敦市场上经常供应的水产品,其干制品在非洲南部、澳大利亚、塔斯马尼亚以及新西兰也很常见。

海螯虾科 (Nephropsidae) 中有不少经济种类,如普通海螯蛄 (*Homarus vulgaris*) 是欧洲各国重要的食用虾,在英国称为 lobster,在法国称为 homard,在意大利称为 astice,体长超过 1 米,重达 7.5 公斤。黑海、地中海以及大西洋北部均产,过去产量不小,1935 年在德国赫尔果兰湾就捕获 7 万只,但现在渔获量已下降。美洲海螯蛄 (*H. americanus*) 也是重要的食用虾,产于北美洲大西洋沿岸,主要渔场在加拿大沿海与美国缅因湾。与海螯蛄属 (*Homarus*) 近缘的海螯虾属 (*Nephros*) 也供食用,尤其挪威海螯虾 (*N. norvegicus*) 是欧洲各国人民十分爱食的水产品,在德国称为 norwegischer Hummer, Kaiserhummer, Kaisergrant 或 Buchstabenkrebs 在英国称为 Norway lobster、在法国称为 langoustine、在意大利称为 scampo、在挪威称为 Trollhummeren。这种虾体长平均只 12—14 厘米,雄虾最长达 24 厘米,分布于赤道以北大西洋东部,主要渔场在英国东岸的北海。

除虾类外,十足目中还有许多蟹类也可食用,但产量高的种类不及虾类那样多。石蟹科 (Lithodidae) 中经济价值很高的堪察加拟石蟹 (*Paralithodes camtschatica*) 体型大,雄蟹头胸甲宽达 27 厘米,足长 50 厘米,体重约 8 公斤。雌蟹大小只有雄蟹的五分之一,通常不捕捞。产于太平洋北部,日本产量最高,美国次之。除鲜食与冰冻外,还可制成罐头,称为大王蟹 (king crab) 或蜘蛛蟹 (spider crab)。同科的南极石蟹 (*Lithodes antarcticus*) 与南极刺石蟹 (*Paralomis antarcticus*) 产于南美洲近海,捕捞后制成罐头。人面蟹科 (Homolidae) 只有少数种类可供食用,居氏拟人面蟹 (*Pathomola cuvieri*) 分布地中海,产量虽不大,却是一种珍贵的水产品。馒头蟹科 (Calappidae) 中有些种类地中海沿岸居民经常捕食,尤其颗粒馒头蟹 (*Calappa granulata*) 是意大利亚得里亚海沿岸居民的一种普通食用蟹。蜘蛛蟹科 (Majidae) 中长螯蟹 (*Macrocheira kaempferi*) 通称日本巨蟹 (Japanese giant crab) 或巨型蜘蛛蟹 (giant spider crab), 是世界上最大的蟹类,也是世界上最大的节肢动物,雄蟹头胸甲长 33.5 厘米、宽 30.5 厘米,螯足长 150 厘米,第一对步足长 110 厘米,为日本特产,分布东京湾以南直到九州的太平洋沿岸。澳大利亚西部与北部近海产的二王蟹 (*Paranaxia serpulifera*) 体型也大,头胸甲长 10.9 厘米、宽 8.3 厘米。这两种大型蜘蛛蟹都是著名的食用种类,但产量不大。牧人魁蟹 (*Chionoecetes opilio*) 产于日本和太平洋北部,也供食用。合团蜘蛛蟹 (*Maja squinado*) 产于地中海与欧洲大西洋沿岸,是意大利、法国以及英国南部居民十分欢迎的一种食用蟹。黄道蟹科 (Cancridae) 有不少种类可供食用,例如北美洲太平洋沿岸产的首长黄道蟹 (*Cancer magister*) 与大西洋沿岸产的斑纹黄道蟹 (*C. irroratus*) 以及日本特产的日本黄道蟹 (*C. japonicus*), 特别著名的要算欧洲

沿海产的普通黄道蟹 (*C. pagurus*), 头胸甲长达20厘米, 宽 28 厘米, 重 330 克, 在德国称为皮莱蟹 (Taschenkrabs), 在英国称为普通食用蟹 (common edible crab) 或拳击蟹 (puncher)。

扇蟹科 (Xanthidae) 种类虽多, 但大部分无经济价值。其中刺额酋妇蟹 (*Eriphia spinifrons*) 体型小, 肉味却十分鲜嫩, 产于地中海, 意大利沿海产量尤其大。此外, 重达 15 公斤, 产于澳大利亚南部海区的巨大拟滨蟹 (*Pseudocarcinus gigas*) 以及美国南部产的雇工哲蟹 (*Menippe mercenaria*)、印度太平洋产的有益滑面蟹 (*Etisus utilis*) 与红斑瓢蟹 (*Carpilius maculatus*) 等都是本科较大的食用种类。

梭子蟹科 (Portunidae) 是十分重要的经济蟹类。其中普通滨蟹 (*Carcinus maenas*) 分布很广, 欧洲大西洋沿岸尤其普遍, 英国与意大利贫民经常捕食。眼斑圆趾蟹 (*Ovalipes ocellatus*) 在英国通称女士蟹 (lady crab), 产于北美洲大西洋沿岸, 在美国新奥尔良市场上尤其经常可见。锯缘青蟹 (*Scylla serrata*) 雄体头胸甲长 9.8 厘米、宽 20 厘米、重达 1.5 公斤, 分布印度太平洋, 日本、印度与我国产量最大; 在我国只产于广东、福建、台湾与浙江。除鲜食外, 在日本还加工制成罐头。日本蜷 (*Charybdis japonica*) 产于我国、朝鲜以及日本沿海, 也是一种食用蟹。美味优游蟹 (*Callinectes sapidus*) 产于北美洲大西洋沿岸, 主要渔场在切萨皮克湾, 是纽约市场上主要的食用蟹, 其经济上的重要性几乎与美洲海蜘蛛相同, 除鲜食外, 还制成罐头。梭子蟹属 (*Portunus*) 中有不少食用种类, 如远洋梭子蟹 (*P. pelagicus*)、红星梭子蟹 (*P. sanguinolentus*) 与三疣梭子蟹 (*P. trituberculatus*) 都是印度太平洋的重要食用蟹, 后一种通称梭子蟹、抢蟹或蓝蟹, 只分布我国、朝鲜与日本; 在我国北起辽东半岛, 南至广东, 均有出产, 特别在北部沿海产量颇大, 在黄渤海渔业中占有相当重要的地位。除鲜食外, 还加工盐渍。

方蟹科 (Grapsidae) 中的中华绒螯蟹 (*Eriocheir sinensis*) 通称毛蟹、河蟹、清水蟹或大闸蟹, 原产亚洲东部, 现已传布到欧洲, 甚至北美洲。肉味鲜美, 是我国重要的食用蟹。近年来采苗放养, 也开展了人工育苗养殖。纯淡水产的各种溪蟹, 意大利、哥伦比亚、玻利维亚、古巴、非洲、缅甸、日本以及我国居民也常捕食, 但体内多含肺吸虫囊蚴, 不宜生食。

陆栖蟹类食用种类不多。陆寄居蟹科 (*Coenobiidae*) 中著名的椰子蟹 (*Birgus latro*) 在东南亚以及我国可供食用。神祇陆寄居蟹 (*Coenobita diogenes*) 在甘比尔群岛 (Gambier Is.) 与土阿莫土群岛 (Tuamotu Arch.) 上也经常被居民捕食。此外, 地蟹科 (Gecarcinidae) 中产于中美洲的中美地蟹 (*Gecarcinus ruricola*)、聪明毛红树蟹 (*Ucides cordatus*) 以及西方毛红树蟹 (*U. occidentalis*) 等鲜美可口, 居民十分爱食。还有非洲西部产的戎装圆轴蟹 (*Cardisoma armatum*) 不仅当地居民, 就是外来的欧洲人也都喜欢吃。西印度群岛与巴西产的加氏圆轴蟹 (*C. guanhumi*) 也是一种食用蟹, 可在笼内人工饲养。饲养时喂以玉蜀黍、香蕉、椰仁等, 并在笼内放一小盆淡水, 供蟹饮用。

饵料甲壳类

甲壳动物在渔业上的意义不仅由于其一部分种类为渔捞对象, 可供人类食用, 而更重要的由于多数甲壳动物乃是经济鱼类的饵料。枝角类 (*Cladocera*) 我国渔民自古以来就称为鱼虫, 是金鱼等观赏鱼类以及鳙 (*Aristichthys nobilis*)、鲢 (*Hypophthalmichthys molitris*)、蒙古红鲌 (*Erythroculter mongolicus*)、翘嘴红鲌 (*E. ilishaeformis*)、青梢红鲌 (*E. dabryi*)、鲤

(*Cyprinus carpio*)、鲫 (*Carassius auratus*)、长春鳊 (*Parabramis pekinensis*)、红鳍鲌 (*Culter erythropterus*)、白鲢 (*Hemiculter leucisculus*) 和鳙 (*Ochetobius elongatus*) 等多种淡水经济鱼类的天然饵料;其他如青鱼 (*Mylopharyngodon piceus*) 草鱼 (*Ctenopharyngodon idellus*)、团头鲂 (*Megalobrama amblycephala*) 和黄颡鱼 (*Pseudobagrus fulvidraco*) 等所有淡水鱼的幼鱼也都以枝角类为食。在一尾赤鲈 (*Perca fluviatilis*) 幼鱼的肠内曾发现过共有800只象鼻溞 (*Bosmina*) 与70只透明薄皮溞 (*Leptodora kindtii*)。

在池塘、湖泊与水库中,通常每立方米水含有枝角类10,000只,有时可达100,000只。在富营养型湖泊中,枝角类数量最多,每立方米水含有150,000—200,000只。尤其鱼池、养鸭塘与污水塘,每立方米水中多时甚至可达365,000只,少时也有10,000只。枝角类在水域中这样大量出现,是迅速进行孤雌生殖的结果。在温暖的季节里,多数种类经过5天,数量就可增加5—10倍。枝角类由于数量大,同时活动又缓慢,也就成了上述各种鱼类易于捕食的对象。

枝角类是营养价值很高的鱼类天然饵料。众所周知,一般蛋白质饵料仅能增加鱼类代谢强度20—30%,而鲤鱼若完全喂以枝角类,代谢强度就可提高100%,这是由于枝角类体内存在含量高达其本身干重40%以上的大量蛋白质的缘故(表2)。

表2 两种枝角类的化学组成(干重百分数)

种 类	化 学 组 成				
	蛋白质	脂肪	碳水化合物	灰分	其他
大型溞	44.61	5.15	16.75	33.49	0
蚤状溞	46.56	3.90	9.02	25.85	14.67

饵料中蛋白质营养价值的大小不仅取决于其含量的多少,还与组成蛋白质的氨基酸有关。饵料蛋白质中如果缺乏个别几种氨基酸,鱼类摄食以后,就会引起种种不正常的生理现象,例如蛋白质消耗的增加以及甲状腺素、肾上腺素等多种激素合成的停滞等。但枝角类体内的蛋白质却含有鱼类营养所必需的一切氨基酸,同时其含量之高也远非其他饵料无脊椎动物所能比拟(表3)。

表3 100克干蚤状溞所含各种氨基酸

种 类	酪氨酸	色氨酸	精氨酸	组氨酸	胱氨酸	蛋氨酸
重 量	4.27	3.62	10.92	2.69	1.17	3.45

此外,枝角类在饵料无脊椎动物中,最富于脂肪;鱼类吞食了枝角类,会增加肥满度,从而提高食用价值。枝角类体内碳水化合物的含量也不小;一部分研究者并认为可能还存在丰富的动物淀粉。枝角类象其他小型甲壳动物一样,由于其灰分中含有与磷或铁相结合的大量钙质,因而饵料价值也就更大。

愈来愈多的生产实践与科学研究都证明鱼类患维生素缺乏症时,代谢减弱,生长停滞,对疾病与外界不良条件的抗耐力下降,有时甚至于引起鱼鳍溢渗水液,鳃盖发育不全

以及鱼体浮肿等症象。尤其当维生素 B₁ 缺乏时, 症象特别严重。此外, 缺乏维生素 A 时, 除上述症象外, 还会引起鱼体色素的消失以及鱼鳍的断裂。从化学分析的结果来看, 枝角类不仅含有多种维生素, 并且含量又高, 每百克新鲜的蚤状溞(*Daphnia pulex*) 中维生素 A 竟达 2.077 毫克、维生素 B₁ 0.255 毫克、维生素 B₂ 0.569 毫克。鱼类吞食了这种饵料, 就能防治上述疾病。许多研究者指出: 饲养幼鱼, 如果只喂一种活饵料, 幼鱼往往生长不良, 易患各种疾病; 但枝角类却是例外。饲养鲟属 (*Acipenser*) 与白鲟属 (*Psephurus*) 等幼鱼时, 只用枝角类作为活饵料, 结果幼鱼生长好, 死亡少; 对高温、缺氧以及污染等外界不良条件的抗耐力增强。通过幼鱼血相的检查, 发现血红素含量高达 30—50%, 在白血球比式中, 成熟的嗜曙红白血球百分数很大, 达到 13.0—19.5%, 这显然都与幼鱼吞食富含维生素的枝角类有关(表 4)。

表 4 100 克鲜蚤状溞所含各种维生素

种 类	维生素 A	胡萝卜素	维 生 素 B ₁		维生素 B ₂
			游离态	结合态	
重量(毫克)	2.077	微量	0.236	0.255	0.569

总之, 枝角类营养价值大, 繁殖快, 数量多, 是鱼类的上好饵料。贫瘠的水域通过枝角类的移殖与驯化, 可以富化饵料基础, 从而提高鱼类产量。在养殖鱼类时, 还可人工方法培养枝角类, 作为活饵料, 投喂幼鱼, 以达到渔业增产的目的。

在鳃足亚纲 (Branchiopoda) 中, 除枝角类外, 卤虫 (*Artemia salina*) 也可作为活饵料。这种动物在我国沿海各省的盐场中均有分布, 但以辽宁、河北与山东三省为最多。卤虫产出的冬卵采集以后, 经过处理, 可随时放在盐水中孵出无节幼体, 以供培养鱼类与虾、蟹等动物的幼体之用。我国出产的卤虫卵质量比丹麦、联邦德国和美国的好, 孵化率达到 75—90%。估计辽宁、河北与山东三省, 年产卤虫卵 40 吨以上。

桡足类 (Copepoda) 不论在淡水或海洋中, 都是浮游动物的一个重要组成部分, 种类丰富, 数量也很大。在太平洋, 特别是哲水蚤类 (Calanoida) 以及剑水蚤目 (Cyclopoida) 中的长腹剑水蚤属 (*Oithona*) 二者的种类在浮游动物中平均占 85%, 有些海区甚至达到 90% 以上。至于数量则所占百分比更大, 这些种类不仅在浮游动物中, 就在浮游生物中也占绝对优势。哲水蚤类有些种在海洋中数量大到每立方米水竟含有 10 万到 100 万只。

水域食物链基本上从浮游植物开始, 而到鱼类或哺乳动物结束, 桡足类乃是一个重要的中间环节。虽然桡足类的食性因种类而异, 如白色大剑水蚤 (*Macrocylops albidus*) 等以其他动物为食, 又如北洋哲水蚤 (*Calanus finmarchicus*)、纺锤哲水蚤 (*C. tonsus*) 等则以浮游植物与小型桡足类为食, 但大部分种类, 特别是栖息在水域上层的种类基本上以浮游植物为食。例如孤独伪哲水蚤 (*Pseudocalanus elongatus*)、小型拟哲水蚤 (*Paracalanus parvus*)、克氏纺锤水蚤 (*Acartia clausi*) 等多数海洋上层种类, 主要以骨条藻属 (*Skletonema*) 与海链藻属 (*Thalassiosira*) 等浮游植物为食, 同时也吞食细菌等。桡足类在水域中正象牛、羊等草食动物在牧场上一样, 将植物性食物变成了被鱼类等动物能利用的动物性食物。

鲱鱼主要以桡足类为食,一条鲱鱼的胃里曾经发现过 60,000 只哲水蚤。摩尔曼海鲱鱼一年的总食物量中北洋哲水蚤平均占 34%;在 6—7 月份内,鲱鱼几乎完全摄食占这时巴伦支海浮游动物生物量 9/10 的北洋哲水蚤的三龄与四龄桡足幼体。堪察加半岛东北岸阿瓦钦斯湾(Авачинского 3.)与克罗诺基湾(Кроноцкого 3.)两海区的太平洋鲱鱼也主要摄食桡足类,其食物组成如下:邦氏真哲水蚤(*Eucalanus bungii*) 61.2 与 22.87%、脊额哲水蚤(*C. cristatus*) 31.63 与 64.60%、纺锤哲水蚤 1.75 与 1.27%。就一般而言,北洋哲水蚤对大西洋北部及其所属各海的鲱鱼最重要,但对太平洋北部以及远东海洋的鲱鱼有重要饵料意义的却为纺锤哲水蚤与脊额哲水蚤,对美洲沿岸的鲱鱼则只是纺锤哲水蚤一种。

自古以来,渔民早已发现上述这些桡足类大量密集的海区,呈现出一片红色,并且往往出现鲱鱼鱼群,因此把这些桡足类称为“红饵”或“鲱饵”。近年来,捕鲱渔轮装备浮游生物指示器与浮游生物网,测定桡足类的数量与分布,借此追索渔群,寻找渔场。

在太平洋渔业中重要性占第二位的沙丁鱼,据(К.А.Бродский, 1935; 1936)等的研究,也以桡足类中的哲水蚤属(*Calanus*)为基本饵料,此外也摄食海洋上层的一些小型种类如小型拟哲水蚤、孤独伪哲水蚤以及姆氏胸刺水蚤(*Centropages mcmurrichi*)等。凤尾鱼(鲱鱼)的饵料中桡足类也占第一位,约为饵料生物总数的 76%。此外还有鲭鱼、鲱鱼等一些远洋鱼类以及鳊等淡水鱼类也都摄食桡足类。最后应该提到:无论淡水还是海洋,所有鱼类的幼鱼都以桡足类为食。

桡足类不仅被鱼类吞食,在海洋里也是栉水母与箭虫等动物大量歼灭的对象;这些动物与鱼类严重争食。

早在 1834 年,鲁塞尔代沃冈(Roussel de Vauzeme)已经肯定了哲水蚤属是鲸鱼的食料。近年来对白令海奥柳托尔湾长须鲸(*Balaenoptera physalus*)胃含物的研究结果指出:304 头鲸鱼中有 62.5% 的胃内全是脊额哲水蚤。同时又通过对北半球北部海洋以及南极海鲸类的大量研究,目前公认所有须鲸几乎都摄食相当多的桡足类;尤其是北洋哲水蚤,许多海区鲸类的胃含物中都存在这一种哲水蚤。在远东海洋,鲸类摄食的桡足类是脊额哲水蚤,在南极海区则为巨型鼻哲水蚤(*Rhincalanus gigas*)。上述这些桡足类大量出现的海区,也往往就是鲸类集中的场所。

如上所述,鱼类等多种动物都以桡足类为食,而桡足类根据化学分析,确是营养价值颇高的良好天然饵料,内含丰富的蛋白质(表 5)。

表 5 哲水蚤属的化学组成

化学组成	蛋白质	脂肪	碳水化合物	其他
干重百分数	59	7	20	14

海洋里,附着生活的藤壶、龟足与茗荷等蔓足类(Cirripedia)成体往往密集成群,数量很大;由其产生的幼体,包括无节幼体与腺介幼体,也多得惊人,是近海浮游动物的一个重要组成部分。在黑海,蔓足类的无节幼体平均占浮游动物总数的 34.5%,冬春两季较少,七月最多,占浮游动物总数的 63.6%。在爱尔兰海,藤壶的无节幼体多到使沿岸带海

水混浊不清,好象带有泥砂一样。据 В.В.Кузнецова(1954)的研究,龟头藤壶 (*Balanus balanoides*) 的无节幼体在白海每升水中平均含有 3,000 个,在巴伦支海则多达 4,000 个以上。这些幼体是食浮游生物鱼类广泛利用的优良饵料。在白海、太平洋鲱鱼胃含物中蔓足类幼体的出现率为 41%,幼体重占胃含物总量的 10%。在巴伦支海,鲱科中有 3/4 的种类就都以蔓足类幼体为食;这些鱼类在四月几乎就只摄食无节幼体,到五月,也吞食腺介幼体。在挪威近海,蔓足类幼体也是绿鳕 (*Gadus virens*) 春季的重要饵料。

蔓足类成体也可被少数鱼类利用,例如在巴伦支海,鳕科中至少黑线鳕 (*Gadus aeglefinus*)。还有狼鲛科 (*Anarrhichadidae*) 中的狼鲛属 (*Anarrhichas*),确实吞食缺刻藤壶 (*Balanus crenatus*) 与藤壶 (*B. balanus*) 等。杰尔热文 (А.Н.Державин, 1956) 认为具备坚硬牙齿的大型鱼类,如分布在黑海南部与中部的库图斜齿鲷 (*Rutilus frisii kutum*) 就能摄食致密藤壶 (*B. improvisus*)。此外,分布在大西洋美国沿岸近海的特氏鹦嘴鱼 (*Sparisoma tracheli*) (鹦嘴鱼科) 与羊头原鲷 (*Archosargus probatocephalus*) (鲷科) 也以藤壶为食,并且在这些鱼类的天然饵料中,藤壶占有相当大的百分比。1945 年 9 月 Н. И. Тарасов 曾在黄海与对马海峡观察到鲷属 (*Seriola*) 等一些远洋鱼类追随漂浮在海面的木块与木箱等,并吃尽这些物体上以藤壶与茗荷为主的附着生物。然而,Воробьев (1949) 曾经指出,东亚速海尽管藤壶长得十分繁盛,占了海底相当大的面积,密度在春季每平方里 607 个,秋季达到 2,200 个,但所有鱼类几乎都不吃藤壶。总之,蔓足类成体即使可供少数鱼类食用,但在饵料意义上却远远不及幼体那样大。

对石蟹科的拟石蟹属而言,以紫花藤壶 (*B. hesperius*) 为主的各种藤壶具有不小的食物意义,特别是分布在太平洋北部的大型经济种——堪察加拟石蟹,其食物中藤壶几乎占了一半。В.А.Куличкова (1955) 还指出这种蟹的雄个体刚脱壳不久,摄食藤壶更多,约占食物总量的 84%。她认为这对于增补钙质,促使甲壳变硬有关。

各种糠虾可作为经济鱼类的饵料,其意义要比直接作为人类的食物大得多。残遗糠虾 (*Mysis relicta*) 栖息在海水与淡水中,是北美洲大湖 (Great Lakes) 鲤科鱼类十分重要的天然饵料,在其饵料总量中占 80—100%。加拿大库特拿湖 (Lake Kootenay) 已有效地移殖驯化了这种糠虾,作为红大马哈鱼 (*Oncorhynchus nerka*) 的饵料。瑞典湖泊鱼类的重要饵料也是残遗糠虾,并且在 1964 年引入这种糠虾 165 万只到瑞典北部的布拉斯扬湖 (Lake Blasjon),现已驯化繁殖,成了该湖红点鲑属 (*Salvelinus*) 的饵料。此外,普通新糠虾 (*Neomysis vulgaris*) 是英国蒙特罗斯 (Montrose) 埃斯克河 (Esk R.) 河口以及刘伊斯岛 (Lewis I.) 淡水湖泊所产鲑鱼的重要饵料。

糠虾不仅是淡水鱼类,也是海洋鱼类的重要天然饵料。塔特沙尔 (W. M. Tattersall) 经过多年的研究,发现英国的角鲨属 (*Squalus*)、鳐属 (*Raja*)、鲱属 (*Clupea*)、鲑属 (*Salmo*)、白鲑属 (*Coregonus*)、胡瓜鱼属 (*Osmerus*)、髯鳕属 (*Coryphaenoides*)、鳕属 (*Gadus*)、鲷属 (*Perca*)、竹荚鱼属 (*Trachurus*)、鲈鱼属 (*Scomber*)、虎鱼属 (*Gobius*)、鲂鲱属 (*Trigla*)、八角鱼属 (*Agonus*)、鲆属 (*Scophthalmus*)、赤鲷属 (*Hippoglossoides*)、黄盖鲷属 (*Limanda*)、鲷属 (*Pleuronectes*)、雕首鲷属 (*Glyptocephalus*) 以及石鲷属 (*Platichthys*) 等多种海洋鱼类的胃含物中都存在糠虾,如有刺囊糠虾 (*Gastrosaccus spinifer*)、北糠虾属 (*Boreomysis*)、糠虾属 (*Mysis*)、大糠虾属 (*Praunus*)、裂糠虾属 (*Schistomysis*)、细小窄糠虾 (*Leptomysis gracilis*)、红眼红糠虾 (*Erythrops erythrophthalma*) 以及普通新

糠虾等。在易北河河口及其邻近浅海中出现的大量普通新糠虾、斯氏中糠虾 (*Mesopodopsis slabberi*) 以及弯曲大糠虾 (*Praunus flexuosus*) 等也都是这一水域鱼类的重要饵料。

涟虫是多种经济鱼类与经济蟹类的天然饵料。在北冰洋,尤其在巴伦支海,鳕科与比目鱼类等都以涟虫为食,黑线鳕的胃中常可发现大量的涟虫。在太平洋远东海区,双齿针涟虫 (*Diastylis bidentata*) 代氏拟针涟虫 (*Diastylopsis dawsoni*)、四褶美涟虫 (*Lamprops quadriplicata*) 与比氏美涟虫 (*L. beringi*) 等常大群出现,成为鳕科、比目鱼类以及经济蟹类的重要饵料。东亚速海、里海与黑海,涟虫构成了鲱科、鳕科、鰕虎鱼科、比目鱼类、鲤科以及赫氏斜齿鲷等鱼类的饵料基础,其中以栉齿脊突涟虫 (*Pterocuma pectinata*) 近似裂吻涟虫 (*Schizorhynchus eudorelloides*)、小型狭涟虫 (*Stenocuma gracilis*) 以及近似狭涟虫 (*S. diastylloides*) 等为最重要。

根据近年来对涟虫在鱼类饵料中所起作用的研究,苏联等国已开始移殖驯化试验,将有尾伪涟虫 (*Pseudocuma cercaroides*) 引入第聂伯河水库,使其驯化繁殖,以增强鱼类饵料基础。

在等足类 (Isopoda) 中,只日本利用异乡海蟑螂 (*Ligia exotica*) 饲养鱼类,至于可作为鱼类天然饵料的种类却寥寥无几。而端足类 (Amphipoda) 正好相反,不少种类乃是经济鱼、蟹与鲸类的重要饵料。在萨哈林岛(库页岛)与千岛群岛一带海区,以底栖生物为食的各种比目鱼与经济蟹类都吞食大量的端足类,其胃含物中有无钳钩虾属 (*Anonyx*)、原殖钩虾属 (*Protomeia*)、多眼钩虾属 (*Ampelisca*) 与舟形钩虾属 (*Lembos*) 等。据统计,比目鱼吞食的端足类约有 20 种。一尾比目鱼的胃中端足类可多达 960 只。在底栖生物大量繁殖的海底,比目鱼和堪察加拟石蟹二者密度的大小往往与端足类数量的多少相应。在西伯利亚诸河流的河口,鲑、鲑等鱼类也以拟膜钩虾属 (*Pseudalibrotus*)、合眼钩虾属 (*Oedicerus*)、刺吻钩虾属 (*Acanthostepheia*) 以及海钩虾属 (*Pontoporeia*) 等多种端足类为食。此外,端足类也是多种淡水鱼类的重要饵料。

端足类体内含有大量的蛋白质与脂肪,营养价值很高(表 6)。

表 6 蚤状钩虾的化学组成

有机物含量百分比			含水量(%)	每克干重 含卡量 ¹⁾	氧化热值 系数
蛋白质	脂 肪	碳水化合物			
76.48	8.61	14.91	78.24	5.535	3.342

¹⁾ 1 卡 = 4.1868 焦耳。

作为鱼类饵料生物,不仅需含丰富的养料,还要在水域中有足够大的密度,而端足类正具备这些特点。嘲弄无钳钩虾 (*Anonyx nugax*) 在白海海底每平方米多达 32,000 只,卷曲螺赢蜚 (*Corophium volutator*) 在亚德湾 (Jadebusen) 浅滩淤泥上每平方米一般 5,000—20,000 只,最多可达 40,000 只。大头多眼钩虾 (*Ampelisca macrocephala*)、伊氏多眼钩虾 (*A. eschrichti*)、背节海钩虾 (*Pontoporeia femorata*)、大螯原殖钩虾 (*Protomeia grandimana*)、北极舟形钩虾 (*Lembos arcticus*) 等在萨哈林岛(库页岛)与千岛群岛以南海区密度为 3,000—7,000 只/平方米,但在科奇海密度要大 3—4 倍,如背节海钩虾为 24,000 只/平

平方米,北极舟形钩虾为 14,000/平方米。一些沿岸种类在一般海区密度通常每平方米数千只,如霍氏小钩虾 (*Gammarellus homari*) 在多管藻 (*Polysiphonia*) 上密度为 2,000 只/平方米以上,但蟋蟀钩虾 (*Gammarus locusta*) 落潮后在石块下可达 25,000 只/平方米。

端足类身体虽然不大,体长通常从几毫米到 40 毫米,但由于密度大,生物量也就高,每平方米一般可达 1,000 克。[自然,不同的种生物量也就不同,例如蟋蟀钩虾为 1,348.4 克/平方米,多眼钩虾属为 253 克/平方米,原殖钩虾属与螺赢蜚属为 168—184 克/平方米,霍氏小钩虾为 74 克/平方米。

许多经济鱼类,尤其是鲱科,以大量出现在海洋里的各种磷虾作为饵料。在巴伦支海,鲱科胃含物中磷虾属常占 28%。英国普利茅斯 (Plymouth) 海区的科氏夜明磷虾 (*Nyctiphanes couchi*) 以及爱尔兰海区的挪威大夜明磷虾 (*Meganyciphanes norvegica*) 都是产卵期鲱科鱼类的饵料。同时鲱科还常吞食无刺小纓足磷虾 (*Thysanoëssa inermis*)。除鲱科外,鲑属、鳕属、海豹鱼属 (*Merluccius*) 以及地中海的金枪鱼科在一定季节里也都主要以磷虾为食。在我国海区,宽额假磷虾 (*Pseudeuphausia latifrons*) 是大黄鱼与带鱼饵料的一个重要组成部分。

在北半球北部海洋中,磷虾是须鲸类一定季节里的食料。挪威莫吕一带海区每年先是无刺小纓足磷虾,随后是挪威大夜明磷虾相继成为长须鲸的食料。在巴伦支海、挪威瓦兰格尔海峡 (Varangerfjord) 一带,蓝鲸 (*Balaenoptera musculus*) 也吞食无刺小纓足磷虾。

在南极海区南乔治亚岛一带,共出现五种须鲸,即长须鲸、蓝鲸、北方髯鲸 (*Balaenoptera borealis*)、驼背鲸 (*Megaptera nodosa*) 以及南方鲸 (*Balaena australis*)。前二种产量共占总产量的 9/10,后三种产量很低,尤其是南方鲸。这五种须鲸在上述海区专门吞食华丽磷虾,但当其准备生殖而向北移动到非洲南部沿海时,就停止摄食或只稍稍吃点食物,因此胃经常是空的。长须鲸与蓝鲸这时吞食的是后弯磷虾 (*Euphausia recurva*)、发光磷虾 (*E. lucens*) 以及开普敦夜明磷虾 (*Nyctiphanes capensis*),而其余三种须鲸这时则以桡足类为食,完全不吃磷虾。

除上述各类重要的饵料甲壳类外,各种虾蛄也常是底栖鱼类,尤其是鳕类的饵料。体长 200 毫米以上的大黄鱼胃中常可发现小型蟹类,10—11 月间的海鳗胃含物中蟹类最多,可见小型蟹类也是经济鱼类的饵料。此外,秋季的梭子蟹也多以沙蟹属 (*Ocypode*) 等为食。

甲壳类与环境保护

池塘、湖泊、水库、江河与海洋等各种不同类型的水域都具有一定的自动调节能力,如果污染不超过生态系统的负载能力,进入水域的污染物可以通过物理的、化学的和生物学的作用而得到净化。在水域自然净化的生物学过程中,一类小型甲壳动物——枝角类起着十分重要的作用,这在污水处理厂的氧化塘内特别明显。夏季氧化塘里枝角类大量繁殖,无异提供了多套活的过滤与充气设备。通过枝角类强大的滤食作用,可除去水中细菌、微型藻类以及有机腐屑等悬浮物 99% 以上。枝角类高度的食物需求决定了其高度的氧气需求,这类动物不停的浮游活动与滤食活动,大触角与胸肢频繁拨击,促进水域的充气作用,借以补偿大量氧气。据 Uhlmann (1967) 研究,每升水里含有枝角类 50 只,水中

就能净增氧气几乎达到 100%。因此水域中枝角类的大量出现,可以消除浮悬物,增加氧气,从而促进水域自净。但到了秋季,氧化塘等小型水域中的枝角类大量死亡,尸体腐烂,往往会导致严重的次生性污染。如果事先逐渐捞除一部分枝角类,作为鱼类的活饵料,使水域中枝角类种群密度保持一定水平,那就可防止次生性污染的发生。

水域虽然具备自净能力,但近代工业的发展、人口的增加、城市的兴起与扩大以及农药的广泛应用,使得大量污染物排放到各种水域中去,超过生态系统的负载能力,自净作用遭受抑制与破坏,从而引起了水域的严重污染。水域的污染是一个十分复杂和重大的问题。

水生动物接触到进入水域内的污染物后,必然会产生各种不同的反应。当污染物浓度较高时,就会引起个体急性中毒而死亡;浓度较低时,虽不引起死亡,但也会导致动物慢性中毒,使其生化、生理、行为等失常,从而存活率、生长率、产卵率和孵化率等都显得不同于正常个体。不仅仅这样,动物即使处在低浓度污染物中,如果时间延长,分子、细胞、组织、器官、个体、种群、群落等生态系统的各个不同水平层次都会产生一定的中毒效应。布朗(Brown, 1978)研究河口与海洋污染时指出,美国新泽西州盐沼地喷洒了 0.25 磅/公亩 DDT 后,美味优游蟹就死去 20%,好斗招潮蟹(*Uca pugnax*)与短刀小长臂虾(*Palaeomonetes pugio*)死亡更多,蟋蟀跳钩虾(*Orchestia gryllus*)与一种阴潮虫(*Philoscia*)则全部被消灭。Hurlbert 等(1972)报道在三个通连的氧化塘中,为了控制蚊子,喷洒 0.5 公斤/公顷毒死蜱,在两周内,以裸腹蚤与剑水蚤为主的浮游甲壳动物减少,而以鱼腥藻为主的浮游植物却大量增加。

衡量污染物对动物毒性的大小,通常用半数致死浓度(LC_{50})或半数效应浓度(EC_{50})这一主要指标来表示。所谓半数致死浓度或半数效应浓度也就是动物与污染物接触后,在一定时间内使半数个体死亡或产生某一效应的污染物浓度,例如 24 小时 LC_{50} 、48 小时 LC_{50} 、96 小时 LC_{50} 等。环境因素如水温、硬度等对污染物的毒性大小有着明显的影响。通常水温越高,污染物毒性越大。张烈士等(1979)研究六种农药对河蟹苗的影响,指出 25% 乳剂 DDT、50% 乳剂马拉松和 95% 晶体敌百虫对河蟹苗毒性最大,60% 粉剂乐果次之,40% 乳剂稻瘟净和 20% 粉剂稻脚青最小。水温升高,农药毒性增大。在 20℃ 时,乐果对河蟹苗的 24 小时半数致死浓度为 45 ppm、48 小时为 14.5 ppm,但水温上升到 23.5℃ 时,则相应的半数致死浓度 24 小时为 15.2 ppm,48 小时为 7.1 ppm。稻脚青在同样水温变化情况下,24 小时的半数致死浓度从 4,000 ppm 下降到 2,800 ppm、48 小时的半数致死浓度从 2,300 ppm 下降到 720 ppm。Biesinger 等(1974)用氰化醋酸钠盐对大型溞(*Daphnia magna*)进行试验,发现水的总硬度越大,氰化醋酸钠盐的毒性越小。Lewis 等(1981)指出大型溞的生产能力(总幼溞数、平均世代数、达到性成熟的平均天数、胚胎平均大小以及成体存活率)明显地随着水的总硬度 50—350 毫克/升(以 $CaCO_3$ 计)的升高而增大。

水生动物对污染物的敏感程度因种类而异,甲壳动物一般比较敏感。在镉的污染下,金鱼 96 小时 LC_{50} 为 2.16 毫克/升,而一种端足类却为 0.085 毫克/升。尹文英(1955)和史若兰(1956)都认为用低浓度的六六六,可以杀死鳃类(Arguloidea),医治鱼类鳃病,但对鱼类本身无不良影响。同时二人都指出:淡水虾类对六六六特别敏感,常在鳃类之前死亡,0.2 ppm 为其致死量。

近年来,通过不少的试验与研究,都证明在甲壳动物中枝角类对污染物特别敏感。中国科学院水生生物研究所(1978)研究农药污染对鸭儿湖浮游生物的影响时指出:污染对枝角类的影响较为明显,距废水排入口越近,枝角类数量越少。整个鸭儿湖,枝角类种类稀少,尤其蚤属(*Daphnia*) 在邻近的梁子湖中数量很多,而在鸭儿湖仅偶然出现。大连水产专科学校(1973)用敌百虫控制鱼池大型浮游动物的试验报告中也指出:浓度为 0.05 ppm 的敌百虫可完全消灭枝角类,但不能杀死桡足类与轮虫。Sanders (1970) 测试二氯苯醌、氯双乙噻等除草剂对六种甲壳动物的毒性,结果表明大型蚤最敏感,其敏感性由小而大,排列顺序为:寡栖肥壮介虫(*Cypridopsis vidua*)、卡达克小长臂虾(*Palaemonetes kadiakensis*)、短尾栉水虱(*Asellus brevicaudatus*)、宽纹钩虾(*Gammarus fasciatus*)、水栖鲸螯虾(*Orconectes nails*)、大型蚤。枝角类不仅对毒物敏感,同时分布广、数量大、容易采集、生活周期短、繁殖快、便于培养,因此成为生物测试十分理想的材料。据统计,全世界已有 1,000 种左右的化学药品用枝角类进行过毒性试验。在日本,已正式生产的农药都用枝角类进行过毒性试验,并根据毒性强度,将农药划分成各种等级。美国环境保护局(EPA) 也规定凡申请注册的农药都要提供对枝角类毒性试验的数据。美国公共卫生协会(APHA) 等编写的《水和废水标准检验法》(第十四版)已增加了枝角类毒性试验方法这一内容,并将大型蚤作为标准测试生物。

在环境科学中,利用枝角类进行毒性试验是愈来愈普遍了。在杀虫剂方面, Sanders 等(1966)较全面地研究了一些有机氯杀虫剂、有机磷杀虫剂以及除草剂等对蚤状蚤和锯顶低额蚤(*Simocephalus serrulatus*) 的毒性,他们认为这两种枝角类都是很好的测试生物,但蚤状蚤比较敏感。所研究的杀虫剂中以敌敌畏为最毒,而林丹毒性最小。就一般而言,对枝角类恰恰与对鱼类相反,有机磷杀虫剂比有机氯杀虫剂毒,对硫磷等 10 种有机磷杀虫剂平均 48 小时 EC_{50} 为 1.7 ppb,而艾氏剂等 12 种有机氯杀虫剂平均 48 小时 EC_{50} 为 148 ppb,二者相差 87 倍。长江水产研究所研究的结果表明:枝角类对有机磷农药极为敏感,水域中分别含敌百虫 0.02 毫克/升、敌敌畏 0.08 毫克/升、马拉硫磷 0.05 毫克/升,在 24 小时内枝角类全部死亡。枝角类对巴丹和除草醚耐受力也较小,24 小时内致死浓度分别不超过 0.025 和 0.125 毫克/升。据庄德辉(1975)用四种农药测试隆线蚤(*Daphnia carinata*) 的结果,表明隆线蚤比白鲢鱼种敏感,四种农药中对硫磷与马拉硫磷毒性较高,其 48 小时 LC_{50} 分别为 0.21 ppb 和 0.29 ppb,而六六六和乐果毒性较低,其 48 小时 LC_{50} 分别为 400 ppb 和 620 ppb。据马凯(Maki, 1975)研究,DDT 对大型蚤 14 天的 LC_{50} 为 0.67 ppb,对其繁殖抑制的浓度为 0.30 ppb。对金属离子枝角类也特别敏感,当水中三氧化砷含量只达到 0.25—2.50 毫克/升时,就会使枝角类死亡,但三氧化砷对鱼类的致死量是 10—20 毫克/升。修瑞琴等(1979)测定镉离子对大型蚤的 LC_{50} 在 24、48 和 96 小时分别为 5.0、0.115、0.0085 ppm,可见镉的毒性大小与中毒时间的长短关系很大。Bertram 等(1979)研究镉对蚤状蚤寿命和繁殖的影响,认为浓度在 1 微克/升时,不影响平均寿命,但在 50—30 微克/升之间,寿命随剂量增加而缩短。在镉浓度 1—30 微克/升下,蚤状蚤从出生至开始繁殖之间的时间以及前后两次繁殖的间隔时间都不受影响,但降低了幼体能发育为成体的百分数、成体产仔次数、每胎产仔数以及每个成体的总产仔数等。丁树荣(1979)测定钒对隆线蚤的 LC_{50} , 24 小时为 5.7 ppm、48 小时为 2.3 ppm。氯化镍对隆线蚤的 LC_{50} 24 小时为 3.2 ppm、48 小时为 1.15 ppm。钴对隆