



中国水产学会海水养殖分会

中国海水养殖科技进展

Progress of mariculture science and technology in China

(2014)

王清印 主编

 海洋出版社

中国水产学会海水养殖分会

中国海水养殖科技进展

Progress of mariculture science and
technology in China

(2014)

王清印 主编

海洋出版社

2015年·北京

内 容 简 介

本书是中国水产学会海水养殖分会编辑的《中国海水养殖科技进展》丛书之2014年卷。该卷收录的论文、报告是在中国水产学会海水养殖分会和广西水产学会、农业部海洋渔业可持续发展重点实验室学科群主办,广西水产遗传育种与健康养殖重点实验室协办,于2014年11月11—13日在广西南宁市召开的“2014年全国海水养殖学术研讨会”上发表的140多篇论文报告的基础上,经过筛选编辑而成。

全书共分历史与回顾,遗传、育种与生物技术,苗种培育与健康养殖,营养、生理与饲料,疾病防控,养殖生态与环境以及其他共七部分。

本书可供高等院校、科研院所以及从事水产养殖工作的科技人员和管理工作者参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

中国海水养殖科技进展. 2014/王清印主编. —北京:海洋出版社,2015. 10
ISBN 978-7-5027-9244-2

I. ①中… II. ①王… III. ①海水养殖-文集 IV. ①S967-53

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第225925号

责任编辑:方 菁

责任印制:赵麟苏

海洋出版社 出版发行

<http://www.oceanpress.com.cn>

北京市海淀区大慧寺路8号 邮编:100081

北京朝阳印刷厂有限责任公司印刷 新华书店北京发行所经销

2015年10月第1版 2015年10月第1次印刷

开本:787mm×1092mm 1/16 印张:36.5

字数:840千字 定价:90.00元

发行部:62132549 邮购部:68038093 总编室:62114335

海洋版图书印、装错误可随时退换

编辑委员会名单

主 编:王清印

副主编:陈晓汉 吴灶和 吴常文 常亚青 方建光 李 健
刘世禄

编 委:(以姓氏笔画为序)

丁兆坤	丁晓明	马 甡	王 波	王文琪	王印庚
王志勇	王春生	王勇强	王爱民	王清印	方建光
邓 伟	包振民	邢克智	庄 平	刘世禄	刘克奉
刘海金	刘雅丹	刘富林	江世贵	孙 忠	李 波
李 琪	李 健	李长青	李文姬	李向民	李色东
李秉钧	杨红生	杨建敏	吴灶和	吴常文	吴凡修
张 勤	张志勇	陈 刚	陈晓汉	陈秀荔	林志华
赵玉山	赵振良	赵聪明	赵永贞	胡超群	徐 皓
曹杰英	常亚青	阎斌伦	梁 骏	童万平	曾志南
彭金霞	蔡生力	樊菲菲			

前 言

中国水产学会海水养殖分会成立于2002年,其前身是中国水产学会海水养殖专业委员会。自成立至今,在中国水产学会的正确领导和全体会员的大力支持下,中国水产学会海水养殖分会围绕全国海洋与渔业中心工作,针对我国海洋与渔业科技发展的重点、热点和难点,先后在广东湛江(2002年)、北京(2003年)、浙江宁波(2004年)、福建漳州(2005年)、辽宁大连(2006年)、海南海口(2007年)、浙江舟山(2008年)、江苏连云港(2009年)、山东烟台(2010年)、上海(2011年)、天津(2012年)、浙江绍兴(2013年)和广西南宁(2014年)等地,已连续举办了13届“全国海水养殖学术研讨会”。

在理事会全体理事和广大会员的共同努力下,在学术研讨会交流报告的基础上,中国水产学会海水养殖分会先后编辑并由海洋出版社出版了《海水健康养殖的理论与实践》(2003),《海水设施养殖》(2004),《海水生态养殖的理论与实践》(2005),《海水健康养殖与水产品质量安全》(2006),《海水生态养殖业的可持续发展—挑战与对策》(2007),《海水养殖新进展》(2008),《从产量到质量——海水养殖业的必然趋势》(2009),《生态系统水平的海水养殖业》(2010),《多营养层次的海水综合养殖》(2011),《海水养殖与碳汇渔业》(2012),《海水养殖科技创新与发展》(2013)和《科技创新与健康养殖》(2014)等13卷文集,统一命名为《中国海水养殖科技进展》丛书。实践证明,该丛书的出版,受到了广大会员和业界人士的普遍欢迎和好评。每年一卷的出版速度和每年一届研讨会的召开密切结合,展示了我国海水养殖科技发展的现状和趋势,已经成为中国水产学会海水养殖分会学术活动的品牌之一。

为了进一步规范《中国海水养殖科技进展》丛书的编辑和出版,2014年11月10日在广西南宁召开的中国水产学会海水养殖分会理事会会议上,经过认真讨论,决定从2015年开始,《中国海水养殖科技进展》丛书采用相对固定的封面设计,封面左上角标出中国水产学会海水养殖分会徽标,保持每年出版一卷。

本文集是于2014年11月11—13日在广西南宁市召开的“2014年全国海水

养殖学术研讨会”中的文章。主要围绕海水养殖环境与生态保护,浅海、池塘、滩涂、陆基工厂化及深水网箱等养殖技术、养殖模式,遗传育种,病害防控,营养与饲料,海水养殖设施与养殖工程,水产品质量安全与标准化以及海水养殖发展战略等领域进行研讨与交流。本届年会由中国水产学会海水养殖分会和广西水产学会、农业部海洋渔业可持续发展重点实验室学科群主办,广西水产遗传育种与健康养殖重点实验室协办。参加本次研讨会的 340 多位代表,分别来自全国有关大专院校、科研院所以及水产企业等单位。有 10 位专家、教授在大会上作了特邀报告,40 多位代表在分会场作了交流发言。

《中国海水养殖科技进展》丛书之 2014 年卷,是在“2014 年全国海水养殖学术研讨会”上发表的 140 多篇论文报告的基础上,经过筛选编辑而成。全书共分历史与回顾,遗传、育种与生物技术,苗种培育与健康养殖,营养、生理与饲料,疾病防控,养殖生态与环境以及其他共七个部分。

希望《中国海水养殖科技进展》丛书的出版,对保持和维护中国水产学会海水养殖分会的学术权威性,探索现代学术交流的方式和方法,提高学术交流的水平和质量,增强学术活动的吸引力和凝聚力,特别是在鼓励青年学生积极参与学术交流,加快青年人才培养以及建立水产学术活动品牌等方面,进一步发挥积极作用,为推进我国海洋强国战略和“一带一路”建设,实现“海水养殖向质量效益型转变,养殖方式向循环利用型转变,养殖科技向创新引领型转变”发挥重要作用,做出积极贡献。

编者 谨识

2015 年 5 月

目次

历史与回顾

从野生到家养——中国对虾养殖发展述评·····	王清印(3)
-------------------------	--------

遗传、育种与生物技术

4 种鲈鱼钾离子通道基因在各组织的时空表达特征分析·····	丛柏林等(45)
星斑川鲷神经激肽 B 基因 cDNA 克隆及饥饿对其表达的影响·····	郭湘云等(54)
大黄鱼清道夫受体 A 家族基因的鉴定及其抗溶藻弧菌感染的分子机制研究·····	何建瑜等(61)
大黄鱼补体 C3 和 C4 分子特点及表达分析·····	王海玲等(76)
星突江鲷胰岛素样生长因子 I 的原核表达及活性分析·····	徐永江等(86)
中华绒螯蟹肠道上皮细胞类型的鉴别·····	杨筱珍等(96)
海南岛糙海参卵巢发育的组织学特征·····	杨学明等(105)
获取赤点石斑鱼、棕点石斑鱼(♀)×鞍带石斑鱼(♂)F ₁ 染色体的两种 不同方法及其核型分析·····	刘莉等(110)
云纹石斑鱼(♀)×鞍带石斑鱼(♂)子一代形态发育的研究·····	张梦淇等(123)
马氏珠母贝育珠时间和育珠贝性状与珍珠质量的关系·····	高桦楠等(131)
半滑舌鳎体表色素细胞观察及 POMC 表达特性分析·····	史学营等(137)
嵎泗列岛海域 3 种贻贝贝体框架性状对壳重的影响效应·····	郑晓静等(150)
嵎泗列岛海域 3 种贻贝贝体框架特征的差异·····	白晓倩等(161)
野生黄鳍金枪鱼幼鱼形态特征及其对体重的影响·····	陈超等(170)
不同时期插核的育珠贝与珍珠质量的性状相关性·····	肖雁冰等(178)
吉富罗非鱼 HL 基因的克隆及饲料胆碱和脂肪水平、投饲频率和投喂水平 对其在肝脏中表达的影响·····	黄秀芸等(185)

苗种培育与健康养殖

葡萄牙牡蛎工厂化人工育苗技术·····	巫旗生等(205)
循环水系统中5种常用滤材氨氮转化为硝酸盐的处理效果比较·····	唐 棣等(213)
循环水养殖系统中5种常用生物滤材对氨氮的处理效果·····	崔云亮等(216)
室内循环水系统中5种常见生物滤材对亚硝酸盐处理效果的分析比较·····	姚 瑶等(222)
褐牙鲆海水池塘网箱养殖技术·····	于燕光等(227)
三疣梭子蟹耐低盐新品系“宁象1号”养殖实验·····	徐军超等(232)
盐碱地池塘半滑舌鳎驯化养殖技术初步研究·····	李忠红等(235)
金乌贼早期发育阶段相关酶活性的变化·····	刘长琳等(241)
两种培育方法对泥东风螺稚螺生长与存活的影响·····	郑雅友等(248)
多氯联苯对水生动物繁育的影响及机理·····	许友卿等(254)
海月水母精巢发育及排精过程的观察·····	陈昭廷等(262)
斑点鲟消化道组织学初步观察·····	于晓清等(271)
温度对云纹石斑鱼胚胎发育和仔鱼活力的影响·····	张廷廷等(276)
池塘养殖条件下牙鲆生长轴和甲状腺轴关键激素的变化规律·····	李晓妮等(282)

营养、代谢与饲料

铁素对舟形藻生长及理化成分的影响·····	曲青梅等(297)
光照强度和温度对智利江蓠生长及生化组分的影响·····	陈伟洲等(324)
不同起始密度对海水小球藻和牟氏角毛藻种间生长的影响·····	刘 涛等(333)
海、淡水养殖日本鳗鲡肌肉和鱼皮营养分析比较·····	胡 园等(339)
盐度对脊尾白虾生长和肌肉营养成分的影响·····	姜巨峰(350)
水母作为饵料在银鲳幼鱼养殖中的应用研究·····	Chun-sheng Liu, et al(358)
鱼礁与池塘养殖刺参体壁营养成分分析及评价·····	万玉美等(372)
野生与养殖银鲳消化道菌群结构中产酶菌的对比分析·····	王建建等(380)
养殖和野生缢蛏不同组织数量性状、蛋白、糖原、脂肪和脂肪酸组成的 比较研究·····	王 圣等(393)
可口革囊星虫富集 Cd^{2+} 、 Hg^{2+} 及其对自身生长和主要营养成分的影响 ·····	吴洪喜等(405)
云纹石斑鱼幼鱼血清生化指标和代谢酶活力对低温胁迫的响应·····	谢明媚等(415)

营养素对水生动物生长发育相关基因表达的影响及机理研究	许友卿等(424)
饲料维生素 E 水平对云纹石斑鱼幼鱼生长、营养性能及免疫功能的影响	张艳亮等(431)

疾 病 防 控

微囊藻毒素 ELISA 检测方法的建立与评估	胡乐琴等(445)
党参免疫增强剂对仿刺参肠道菌群的影响分析	樊 英等(452)
浒苔对幼刺参生长、消化和非特异性免疫的影响	秦 搏等(462)
病原鳃弧菌毒力基因检测及双重 PCR 与 LAMP 检测方法的建立	孙晶晶等(473)
星斑川鲷免疫相关组织抗菌活性的研究	郑风荣等(483)
氨氮急性胁迫对日本沼虾死亡率、耗氧率及窒息点的影响	邹李昶等(492)

养殖生态与环境

环境条件对长紫菜壳孢子放散、附着与萌发的影响	陈 佩等(503)
密植浒苔对冬季露天池塘池底水温、酸碱度和溶解氧的影响效应	富 裕等(513)
盐碱地不同氯化物水型对虾养殖池塘浮游植物的生态特征研究	高鹏程等(521)
基于鱼类完整性指数的红水河梯级电站水库生态系统健康状况评价	娄方瑞等(529)
延迟排水及泼洒生物制剂对凡纳滨对虾池塘养殖排污削减效果研究	王大鹏等(537)
微生态制剂对海水鱼池塘微生物现存量的影响	杨秀兰等(545)
海南陵水黎安港海水表层温度变化	郑 兴等(553)

其 他

关于加快发展我国海水养殖工程科技的建议	刘世禄(563)
---------------------------	----------

历史与回顾

从野生到家养——中国对虾养殖发展述评

王清印

(中国水产科学研究院黄海水产研究所, 青岛 266071)

1 引言

在我的心目中,中国对虾养殖业的发展一直是一个传奇故事。我本人从20世纪80年代中期开始涉足中国对虾养殖的研究工作,经历并目睹了对虾产业的兴盛、繁荣、衰退以及为振兴这一产业付出的不懈努力,亲身感受了因她而起的高兴、激动、沮丧以及付出的艰辛和收获的喜悦。讲起中国对虾养殖产业的发展,实在是太多的故事。2013年5月中旬,我随张显良院长率领的中国水产科学研究院代表团去台湾访问,从台湾海洋大学陈瑶湖(Yew-Hu Chien)教授那里得知,廖一久(I Chiu Liao)院士正在组织一本有关世界对虾养殖发展方面的专著,计划以“虾说”讲故事的方式,介绍“对虾”科学家在这一领域的贡献和养虾业的发展历程,为后来者提供一个可读性强的、集知识性和趣味性为一体的对虾研究专著。我当即表示,愿意承担有关“中国对虾”一章的撰稿工作。回青岛之后,收集资料,特别是收集20世纪50—60年代的资料并撰写文稿,就成了我的重点工作和主要心思之一。我一直很钦佩老一辈科技工作者在20世纪中期那么困难的条件下,经过艰苦不懈的开创性研究,为建立当年号称世界第一的中国对虾养殖业奠定了坚实的理论和技術基础。另一方面,由于历史的原因,那一时期公开发表的有关中国对虾研究的资料犹如凤毛麟角,这更激起了我的好奇心以及探究那一时期研究足迹的想法。但动笔之后才发现,撰稿的难度实在是超出了我的预期。如前所述,这主要是因为那一时期公开发表的文献太少,收集的一些手稿或油印材料需要经过相互印证才能确保资料的准确性;加之一些早期从事相关工作的老先生已经辞世,在世的前辈也由于年代久远而对当时的情况难免记忆不够完全,这些都为资料的收集和文稿的撰写造成了一定难度。另外,从20世纪70年代以来发表的浩如烟海的文献资料中把对虾养殖业发展的足迹厘清的确也是一项费时费力的工作。尽管如此,我还是希望竭尽全力完成这一任务,即是一个学习过程,也是我这样一个从事中国对虾研究30年的科技工作者为传承对虾研究的光荣传统做出的一点贡献。

本文是为廖一久先生主编的英文专著撰写的“中国对虾”一章的中文扩展板,是在原稿基础上增补、完善、重新整理而成的,在《中国海水养殖科技进展》丛书之2014年卷的“历史与回顾”栏目中刊出,以飨业内同行和对此感兴趣的朋友们。

2 关于中国对虾

中国对虾 *Fenneropenaeus chinensis* (Osbeck, 1765) 又称东方对虾、中国明对虾、明虾、对

虾,是一种冷水性虾类。对虾的得名缘于过去在市场上,对虾通常是以“对”为计价单位来销售的,所以称之为“对虾”。但也有“以雌雄为对”的说法。因为在性成熟时雌虾的生殖腺呈翡翠青色,而雄虾的生殖腺呈玛瑙黄色,故而民间常称雌虾为青虾,而称雄虾为黄虾。现在,人们习惯上把对虾科的各种虾都统称为对虾,而在其前面加上不同的种名以示区别,如中国对虾、斑节对虾、日本对虾等。在分类地位上,中国对虾属节肢动物门,甲壳总纲,软甲纲,真软甲亚纲,十足目,游泳亚目,对虾科,明对虾属。由于它适应能力强、生长快、耐低温、品质好,成为亚热带和温带沿海的优良养殖对象,也是我国重要的渔业资源之一(邓景耀等,1990)。

中国对虾的命名经历了一个发展过程。1765年,瑞典博物学家 Osbeck 将其命名为 *Cancer chinensis*。1918年,日本学者岸上镰吉(Kishinouye)误认为这是一个新种,命名为 *Penaeus orientalis*,中文名为东方对虾。我国学者在20世纪80年代发现这一命名有误,重命名为 *Penaeus chinensis*,中文名为中国对虾,东方对虾名随之弃用。联合国粮食及农业组织(FAO)核定的英文名称为 Chinese shrimp。在20世纪90年代,对虾的分类地位又有修订,原来的属调整为科,原来的6个亚属上升为属。中国对虾隶属于明对虾属,命名为 *Fenneropenaeus chinensis*,中文名为中国明对虾(刘瑞玉,2003;杨德渐等,2012,2013)。但近年来,基于分子系统发育的研究结果(Ma et al, 2011),有专家建议对虾属 *Penaeus* 的名称应恢复并用于所有的对虾类。鉴于此,本文仍沿用中国对虾的名称。拉丁文名称则以 *Penaeus* (*Fenneropenaeus*) *chinensis*(缩写 *P. chinensis*)标示。

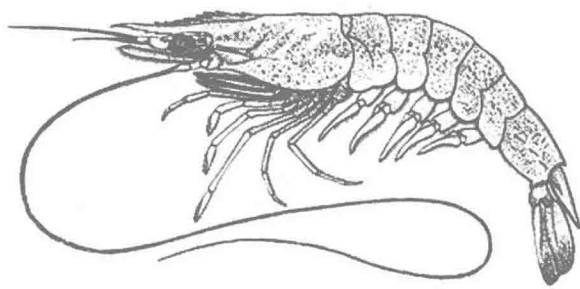


图1 中国对虾(*Fenneropenaeus chinensis*)形态图

中国对虾是世界上约30种对虾中自然分布纬度最高的种类,可达40°00'N以北。主要分布于太平洋西北海岸的黄海和渤海海区的山东、河北、辽宁、天津及江苏近海,在朝鲜半岛西海岸和南海岸也有批量生产。近年来,由于对虾放流,浙江沿海也有一定产量。据史料记载,长江口、珠江口等河口海区也能捕到中国对虾,但近年来捕获的报道很少。特别是珠江口海区,已多年没有捕获野生中国对虾的记录。

邓景耀等(1990)的研究表明,依据多年人工标志放流的回捕资料,黄渤海区的中国对虾可分为两个独立的种群,一个是分布于黄海东岸的朝鲜西海岸种群;另一个是渤海和黄海西岸海域出生的中国黄渤海沿岸种群。孟宪红等(Meng et al, 2009)依据微卫星DNA的研究结果,认为中国对虾的自然种群除朝鲜西海岸种群和中国黄渤海沿岸种群外,还包括朝鲜半

岛南海群体,同时中国黄渤海沿岸种群内部也发生了一定程度的遗传分化,但是否达到种群水平还有待于进一步验证。

中国对虾为1年生虾类,仅极少数个体生命周期可达2年。其生活史包括受精卵、胚胎发育、无节幼体、蚤状幼体、糠虾幼体、仔虾、幼虾和成虾等阶段。性成熟的亲虾在近岸水域产卵,产出的卵子和精子在水中受精,胚胎发育阶段在卵膜内度过,孵化后为无节幼体,在水中营浮游生活。经蚤状幼体、糠虾幼体发育至仔虾,此时结束浮游生活而转营底栖生活并向河口、浅水区移动。幼虾在近岸水域、河口地区生活,随生长而渐移向外海深水区,待成熟后又移回近岸产卵(图2)。生殖活动分为交配和产卵两个阶段进行。一般地,在自然条件下生长的雄虾出生后6个月左右即达到性成熟。交配发生在秋末冬初雌虾最后一次蜕皮之后,雄虾将含有精子的精荚囊授予雌虾的纳精囊内。交配后的雄虾完成了其使命即自然死亡。在春季洄游的野生群体中,有时也可见到越冬后的雄虾,但数量较少。精荚可在纳精囊中保存达半年之久,直到翌年4—5月雌虾性成熟时,精子和卵子同时排入水中受精。受精卵在海水中发育孵化,经无节幼体、蚤状幼体、糠虾幼体进入仔虾期,开始长成生长。

3 早期的开创性研究工作

我国学者对中国对虾养殖的研究工作始于20世纪50年代初。据朱树屏工作手记(《朱树屏传记》293页。朱谨等,2007)记载,1952年3月30日下午,就任农林部水产实验所(以下简称“中水所”,中国水产科学研究院黄海水产研究所前身)所长不久的朱树屏应中国科学院水生生物研究所青岛海洋生物研究室(中国科学院海洋研究所前身)主任童第周之邀,就共同开展海洋养殖课题研究进行商洽。决定海洋生物研究室与中水所合作开展对虾人工养殖工作,主要研究对虾生活史、性腺成熟度、水性环境及食料等,并决定童第周领导刘瑞玉、林庆礼负责对虾生活史及生长和性腺成熟度的研究,朱树屏领导林庆礼、白雪娥负责环境和食性的研究。随后,朱树屏拟定了对虾生活史等研究的具体工作计划,包括出海调查,卵拖网,采水样,建池塘,实验养殖等。朱树屏工作手记还记录了1952年5月31日,朱树屏与白雪娥、林庆礼、刘瑞玉、吴尚勳谈对虾研究进展的情况,包括分析室内养殖幼虾的死亡原因,雌虾的培育以及幼体培养等。这是笔者所能查到的有关中国对虾研究的最早记录。

在中国科学院海洋研究所的档案室里,笔者查到了一份“虾类养殖原理的研究”课题计划书。这份1952年开始执行的研究课题负责人是童第周研究员,课题组成员有姜康后助理研究员、吴尚勳助理研究员、刘瑞玉助理研究员和郝斌助理研究员。这个计划书和上面提到的朱树屏工作手记相互印证,显示中国对虾养殖研究的起始时间是1952年。

1.1 早期的对虾育苗研究

中国对虾人工育苗的研究始于1959年(王增等,1961)。工作主要分为两个方面:一是室内对虾越冬、孵化和人工育苗技术的研究;二是室外土池对虾育苗技术的研究。据档案资料记载,在室外进行的土池育苗试验,1959年在天津北塘初获成功,1960年分别在日照试验场和青岛都培育出了一定数量的幼虾。室内人工育苗实验是1960年分别在日照和青岛获

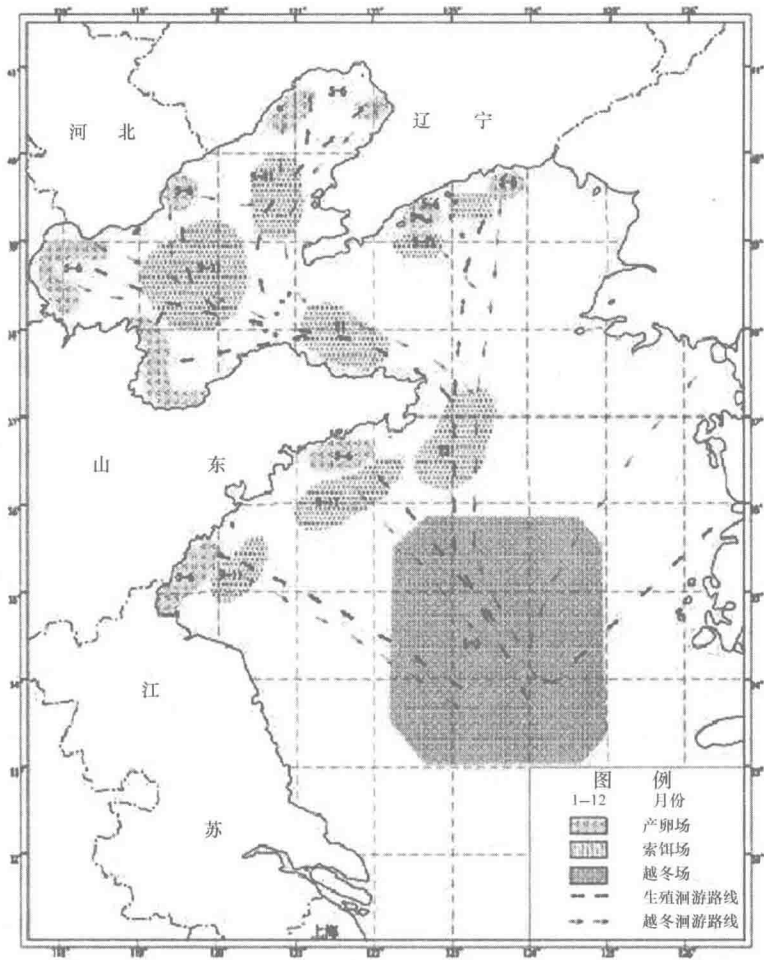


图2 中国对虾的生长与洄游

得成功的。现将有关情况分别简述如下。

1958—1959 年在青岛进行的对虾室内人工越冬和育苗实验。1958 年 10 月初,黄海水产研究所的科技人员在青岛竹岔岛海区用机轮拖网捕获一批对虾,用活水船运到青岛,放在海产博物馆的室内可以自动迴水的水族箱内蓄养,与中国科学院海洋研究所和山东省海水养殖试验场(山东省海水养殖研究所前身)协作,共同进行对虾越冬、产卵、孵化与幼体培育实验。观察发现所捕亲虾已经交配授精。蓄养用水是缓慢的流动海水,借室内的暖气设备提高水温,水温经常可保持在 13~15℃。越冬期间,每日投喂虾肉或鱼肉,经常观察摄食及生殖腺发育情况。观察发现,在这一蓄养条件下,对虾生殖腺比外海对虾发育的快,肯定了适宜的高温对于对虾生殖腺发育有明显促进作用。经过 4 个多月的越冬试验,到 1959 年 3 月初,还有 7 只对虾成活。把存活的越冬虾放到长方形水族箱中蓄养,定时喷水和打气来补充气体以防止缺氧。其中有 1 只对虾在水族箱中产卵。幼体培育是在培养水槽和小水族箱

内进行的,但在蚤状幼体期死亡,幼体培育未获成功。实验取得了一些初步经验与教训,说明对虾能够在人工条件下越冬并能产卵孵化,产卵时间可以比外海对虾提前约1个月(水产部黄海水产研究所,1960)。

1959年在天津北塘进行的对虾产卵孵化及育苗实验。黄海水产研究所在天津塘沽区的北塘养虾场进行的中国对虾人工培育虾苗首获成功并养殖到成虾。据当年的实验总结记载,亲虾是用对虾拉网或被称为地撩网的一种定置网在渤海近岸水域捕捞的。育苗实验分为两部分:一是在室内水缸中进行的幼体培育。对虾产卵、孵化及早期发育变态都比较顺利,但在后期无节幼体(*metanauplius*)转变为前期蚤状幼体(*protozoa*)后即开始死亡,连续几次培养实验均未渡过此期发育阶段。在当时大跃进形势的推动下,1959年国内有许多单位都开展了对虾育苗研究,但多偏重于室内的孵化和培养,所得结果都未超出前述室内培养的范围。但由此认识到,从无节幼体到蚤状幼体是从自身营养到摄食外界营养的转换时期。在此期间环境条件不能满足要求,死亡率即会大增。饵料的种类和大小是决定幼体存活与否的主要因素之一。二是在室外土池采用亲虾池中产卵和投放虾卵的方法,培育出了虾苗。土池育苗实验在一专门设计的面积为 $5\text{ m} \times 8\text{ m} = 40\text{ m}^2$ 的沙底土池中进行,土质为黄色的重粉质壤土。池壁皆夯实打平,池底铺6 cm厚的粗粒沙。进出水皆采用粗竹筒相通,进水筒外口及出水筒内口皆用一层金属网(网目直径1 mm)和一层密眼夏布(布眼直径0.18~0.24 mm)包扎牢固,以保证将大型有害生物滤去和幼体培养的安全。土池水深1.0~1.2 m,水色呈黄绿色。检查看到有盐藻、扁藻、棍形硅藻、舟形硅藻及剑水蚤及镖水蚤等。水温变化在19~31℃。亲虾产卵(5月25日)后,由于水温较高,第9天即发现有糠虾幼体。第25天(6月18日)时,幼体大者体长已达2.5 cm,一般体长1.6~2.1 cm。在此期间,对产卵量、产卵次数、产卵时间以及主要的产卵条件,受精卵的孵化,胚胎发育以及幼体的形态变化进行了基本的观察,分析了主要环境因子特别是盐度、光照和温度与幼体发育的关系,认识到一些硅藻如骨条藻(*Skeletonema*)、菱形藻(*Nitzschia*)、舟形藻(*Navicula*)以及桡足类浮游动物等可以作为对虾幼体的饲料。虾苗培养40 d后,体长达到4.0~4.5 cm。到8月9日已过两个半月,一般体长为5.1~5.7 cm。在养殖后期,分别于8月上旬及中旬,向养殖池中施入少量无机肥料,用量按氮 1×10^{-6} ,磷 0.1×10^{-6} 计算。还经常投喂一些蛤、小鱼、小虾等饵料。到9月10日出池,共培养3个半月,一般体长为6.8~8.5 cm,个别大的个体长到9.5 cm(水产部黄海水产研究所,1960)。这次试验,由于试验场的抽水机械长期发生故障,除第一次用的是盐田水库中储存的海水外,培育阶段长期未再进水,只靠增加淡水(井水)来调节盐度,所以孵化后得到的幼体数量不多,也未能按照预期要求把池中育苗的主要因素完全弄清,但获得了基本的经验。

1959—1960年的越冬试验。使用的对虾是12月6日、11日及21日分别在烟台外海及石岛海区捕获的。由陆路或水路用帆布桶运到青岛,放在专门建造的带有火道增温设备的水泥池中越冬。借池子周围的火道设备增加池壁及室内温度来保持水温。当年的越冬实验使用的对虾还包括1959年在池中养殖捕捞虾苗长成的养殖虾和在天津北塘育苗并养殖成功的繁殖虾,这些虾都是在9月中旬先后移入越冬池并分别蓄养管理的。1959年9月中旬

至1960年1月下旬的越冬期间,每日的平均水温变化在 $13.0 \sim 18.7^{\circ}\text{C}$, pH为 $7.9 \sim 8.2$,溶解氧为 $3.38 \sim 7.35 \text{ mg/L}$,海水密度 $1.021 \sim 1.024$ 。在上述条件下越冬的养殖虾多次出现蜕皮,这些虾在9月中旬入池时个体很小,到翌年1月体长和体重的增长都很明显,大者体长 15 cm ,体重 27 g 。这一结果说明,对虾的生长期在其未长成之前并不受季节所限,而是受温度所左右。受环境条件的影响,交配后的中国对虾仍能蜕皮。蜕皮后受精囊中储存的精子绝大部分都随受精囊褪掉(原文如此)。蜕皮时间大多为夜晚。1959年10月的海上调查发现对虾已普遍交配授精,但到12月中旬所捕的雄虾仍带有精英并满储精液,推测在12月仍有交配可能。养殖对虾个体较小,11月检查尚未交配,但精子已部分成熟。到12月中旬检查发现雌虾受精囊中有精虫,但数量不及海中捕捞者多。至于交配的时间,由于白昼从未发现交配发生,结合对虾交配须在雌虾刚蜕皮时进行,推测是在夜间交配。这些实验和观察结果对认识对虾的生殖习性具有重要意义(水产部黄海水产研究所,山东省海水养殖实验场,1960)。

1960年的对虾育苗试验。这一年是沿海各地猛攻中国对虾人工育苗技术的一年。除专业研究所外,许多高等院校都集中了相当力量进行这项研究。河北省是组织力量投入最多的一个省。在以前工作的基础上,黄海水产研究所与山东省海水养殖试验场合作,在位于日照石臼所的试验场里,采用室内外水泥池、室外土池及孵化箱育苗,均成功培育出虾苗。在人工控制条件下越冬的对虾在2月中旬即开始产卵,比自然海区的对虾产卵提前两个多月。一只亲虾的怀卵量在 $70 \text{ 万} \sim 90 \text{ 万粒}$,个体大者达 100 万粒 以上。观察发现对虾大多在夜间产卵,以凌晨 $3:00 \sim 6:00$ 产卵最多。可多次产卵,一般以第一次产出量最多。中国对虾在 $15 \sim 23^{\circ}\text{C}$ 范围内均可产卵,但适宜水温为 $17 \sim 20^{\circ}\text{C}$ 。中国对虾卵子孵化的水温范围为 $11 \sim 25^{\circ}\text{C}$,在此范围内,温度较高时孵化较快。实验表明, $11 \sim 12.5^{\circ}\text{C}$ 时,孵化时间为 $80 \sim 90 \text{ h}$; $14 \sim 15^{\circ}\text{C}$ 时,为 $58 \sim 62 \text{ h}$; $16 \sim 18^{\circ}\text{C}$ 时为 $38 \sim 45 \text{ h}$; $18 \sim 20^{\circ}\text{C}$ 时为 $24 \sim 36 \text{ h}$; $22 \sim 25^{\circ}\text{C}$ 时为 24 h 。比较适宜的孵化水温为 $18 \sim 22^{\circ}\text{C}$ 。在室外水温 $15 \sim 23^{\circ}\text{C}$ 条件下,孵化所需时间为 $38 \sim 40 \text{ h}$ 。水温高于 30°C ,卵子一般不能孵化。卵子在盐度 $23.66 \sim 33.26$ 范围内都可孵化,但高到 41.06 或低于 16.47 则不能正常孵化。试验还表明,水质是否良好是影响孵化率的首要因素。

刚孵化出来的无节幼体靠卵黄生活,但一旦变态为蚤状幼体即需及时投饵。试验投喂包括摄氏小新月硅藻(*Nitzschia closterium forma minutissima*)、海水小球藻、扁藻等单细胞藻类。其中摄氏硅藻的投喂效果最好,小球藻则不易消化。饵料密度保持在每毫升 $30\,000 \sim 40\,000$ 个摄氏硅藻为宜。当饵料密度仅有每毫升 $4\,000 \sim 5\,000$ 个时,幼体发育缓慢;到只有 400 个时,幼体会因缺饵而死亡。中国对虾蚤状幼体后期即能捕食活的小动物,此时除投喂摄氏硅藻外,还应投喂动物性饵料。到糠虾前期必须投喂动物性饵料,否则幼体不能生存。曾实验性投喂过的动物性饵料包括桡足类(Copepoda)剑水蚤和镖水蚤,卤虫(*Artemia salina*)无节幼体、轮虫、贻贝及牡蛎的担轮幼虫、双壳类的面盘幼虫和沙蚕的刚毛幼虫等。证明在糠虾前、中期,投喂剑水蚤及卤虫无节幼体最为适宜;到糠虾后期,投喂镖水蚤及卤虫后期无节幼体效果较好。实验表明,饵料和水质是影响幼体培育效