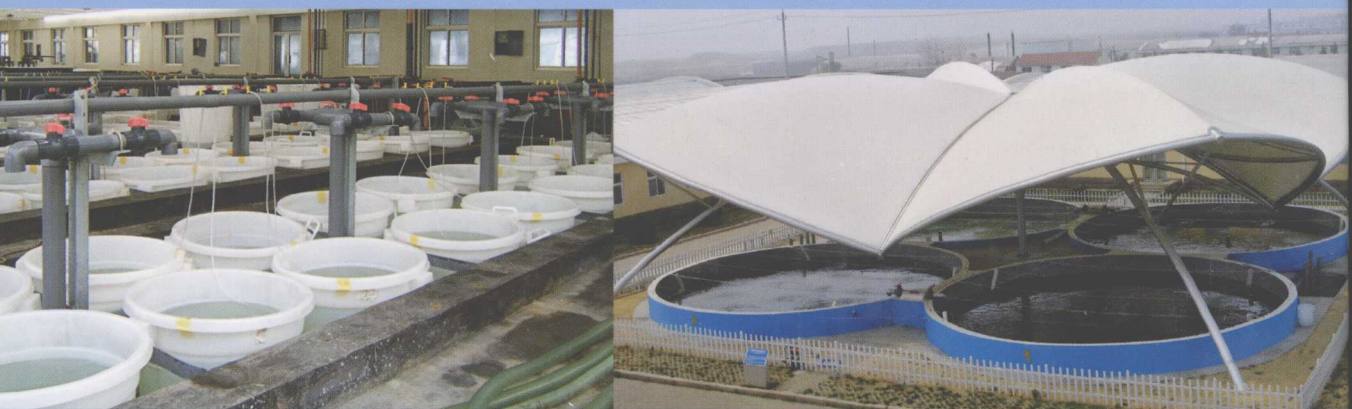


水产生物育种 理论与实践

Principles and Practices of Breeding in Aquatic Organisms



王清印 等 编著



科学出版社

水产生物育种理论与实践

王清印 等 编著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书是总结我国水产生物育种理论研究与技术创新最新成果的学术专著。全书共分 19 章,分别评述了我国水产种业发展现状,介绍了水产生物多性状复合育种技术,并以一批已通过全国水产原种和良种审定委员会审定的新品种的培育为例,分章系统阐述了虾蟹类、鱼类、贝类、藻类、海参海胆类等新品种培育的理论与实践,并对我国水产原种和良种体系的建设与发展,以及水产养殖动物育种管理系统计算机软件做了介绍。

本书可供高等院校、科研院所从事水产生物育种教学、科研、技术开发以及管理工作的人员阅读,也可作为相关学科的本科生和研究生参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

水产生物育种理论与实践/王清印等编著. —北京:科学出版社,2013
ISBN 978-7-03-035828-8

I. ①水… II. ①王… III. ①水产生物-育种 IV. ①S917

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 249205 号

责任编辑:王海光 刘 晶 / 责任校对:刘小梅

责任印制:钱玉芬 / 封面设计:北京美光制版有限公司

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京通州皇家印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

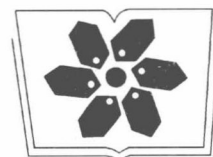
2013 年 1 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2013 年 1 月第一次印刷 印张:33 1/2 插页:6

字数:775 000

定价:138.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)



中国科学院科学出版基金资助出版

作者简介



王清印 现任中国水产科学研究院黄海水产研究所所长、研究员、博士生导师，中国水产科学研究院遗传育种学科首席科学家。一直从事海水养殖生物的遗传育种、健康养殖以及海洋生物技术等研究工作。获全国优秀科技工作者、农业部有突出贡献中青年专家、山东省先进工作者、青岛市劳动模范等荣誉称号，享受国务院政府特殊津贴。主持的“中国对虾‘黄海1号’新品种及其健康养殖技术体系”研究成果获2007年度国家技术发明二等奖，多项研究成果分别获省部级科技奖励。兼任中国水产学会海水养殖分会主任委员，全国水产原种和良种审定委员会副主任委员，全国水产技术标准化委员会海水养殖分技术委员会主任委员，山东省渔业科技专家咨询委员会主任委员，山东水产学会副理事长等。

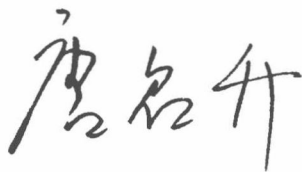
已出版主编或专著包括：《海水养殖生物的细胞工程育种》（海洋出版社，2007）、《中国水产生物种质资源与利用》[海洋出版社，第一卷（2005），第二卷（2010）]、《汉英渔业词典》（中国农业出版社，2008）、《中国海水养殖科技进展丛书》[海洋出版社，2003~2012（卷/年）]。

序

水产生物育种研究作为水产养殖科学的重要分支之一，近年来获得了长足发展。这得益于国家政策导向及科技和行业主管部门的重视和支持，更反映了产业发展的需求使然。我国作为世界第一水产养殖大国，海、淡水养殖生物种类多达 200 种以上，涵盖了鱼类、虾蟹类、贝类、藻类、海参、海胆等经济生物的主要门类，充分显示了我国人民在水生生物资源开发利用方面的聪明和智慧。但多年来，我国对水产养殖生物资源的开发利用基本上是以野生资源为主，水产养殖业还没有充分受益于现代科学技术在新品种培育或遗传改良中产生的巨大效益。与作物种植业和畜牧养殖业相比，水产养殖业的良种覆盖率还比较低。缺乏优良品种仍然是制约我国水产养殖业调整经济结构、转变增长方式的瓶颈问题之一。从这个意义上讲，《水产生物育种理论与实践》一书的出版很值得祝贺。

进入 21 世纪以来，国家“863”计划“海水养殖种子工程研究”重大项目、国家科技支撑计划“农林动植物育种工程”项目等，都把水产养殖生物育种研究列为支持重点。在此期间，一支专门从水产育种研究的科技队伍迅速发展壮大；培育出的一批新品种通过全国水产原种和良种审定委员会的审定，并由农业部发布公告在全国适宜地区推广养殖；适用于不同生物类型、各具特色的育种技术通过实践逐步形成并日臻完善；获得了一批具有自主知识产权的理论和科技成果。该书是近年来我国水产生物育种理论和技术成果的总结，作者都是在第一线承担水产育种研究的科技人员，总结的都是基于自身实践的第一手资料，可读性和实用性强。相信该书的出版，可为水产育种工作者提供一本有实用价值的参考用书，可为将来进入这一研究领域的本科生、研究生提供学习资料，也可供相关学科的教学、科研以及管理人员阅读和借鉴，从而推动水产育种研究不断攀登新的高峰。

我对此寄予厚望。是为序。



中国科协副主席 中国工程院院士

2012 年 10 月

前 言

作为多年从事水产生物育种研究的科技工作者，我亲身经历了改革开放以来我国水产育种事业的发展历程，亲眼所见我国水产种业从萌芽、破土到茁壮成长，心里真是感到由衷地高兴。1985年杨丛海研究员组建黄海水产研究所对虾遗传育种组的时候，我作为“文化大革命”以后毕业的第一届研究生，因为具有海洋藻类遗传育种的专业背景而有幸被调到这个课题组。从那时至今，我一直在从事对虾育种的研究工作。但毋庸讳言，早期的工作相当不易。且不说研究设施设备条件的制约，在育种技术手段上也是边干边摸索。当时国内外有关对虾育种的参考文献可说是寥若晨星，可资借鉴的主要是一些淡水鱼类育种以及畜牧乃至作物育种的经验和技術。令人高兴的是，2002年中国水产科学研究院进行科技体制改革，水产遗传育种被列为重点发展的十大学科之一。迄今为止的10年间，可说是水产生物育种研究快速发展的10年。国家的支持力度不断加大，研究队伍在迅速成长，设施条件日益配套完善，具有自主知识产权的理论和技術成果开始批量显现，水产生物育种开始走上健康发展的快车道。

在“十五”和“十一五”期间，国家高技术研究发展计划（“863”计划）和科技（攻关）支撑计划都对水产生物育种研究给予了重点支持。进入“十二五”以来，国家对作物种植业和畜牧、水产养殖业的种业建设更是给予了前所未有的重视。种业建设迎来了多年不遇的发展良机。在这一大背景下，努力促进水产生物育种研究、加快水产种业的发展，是我们水产育种工作者义不容辞的责任。组织编撰本书的目的，是对近年来我国水产生物育种研究的理论成果和技術创新进行总结，试图从理论与实践相结合的角度，分别阐述在虾蟹类、鱼类、贝类、藻类、海参海胆等重要水产养殖生物新品种培育中建立的理论和技術，以期为从事水产生物育种研究的专业人员提供參考，也可为将来进入这一领域的本科生、研究生提供学习资料，并供有关教学、科研、管理方面的人士阅读。应邀参加本书撰稿的都是在第一线承担水产生物育种研究的专业人员，总结的是基于各自研究生物育种的第一手资料，尽管有一定的局限性，但也从一个侧面反映了近年来我国水产生物育种研究的进展情况。

本书共分19章。各章的题目和作者是：第一章 我国水产种业发展述评，王清印、刘慧；第二章 水产生物的多性状复合育种，王清印、张天时、孔杰；第三章 中国对虾抗病品种培育，孔杰、罗坤、王清印、孟宪红；第四章 斑节对虾良种培育，黄建华、周发林、杨其彬、江世贵；第五章 凡纳滨对虾良种培育，叶富良；第六章 罗氏沼虾新品种培育，杨国梁、罗坤、王军毅、栾生、孔杰；第七章 三疣梭子蟹新品种培育，刘萍、高保全、李健、陈萍；第八章 康乐蚌新品种培育，李家乐、汪桂玲、白志毅；第九章 大菱鲆育种研究，马爱军、张天时、王新安；第十章 松江鲈鱼新品种培育，石连玉、李池陶、贾智英；第十一章 大口黑鲈良种培育，白俊杰、李胜杰；第十二章 龙须菜育种理论与‘981’新品种培育，臧晓南、张学成；第十三章 坛紫菜育种理论与‘申

福1号’新品种培育,严兴洪;第十四章 海带育种理论与‘荣福’新品种培育,刘涛、刘岩;第十五章 海带杂交育种,赵玉山、李晓捷;第十六章 海参、海胆育种理论与实践,常亚青、丁君、田焱;第十七章 珍珠贝遗传改良,余祥勇;第十八章 我国水产原种和良种体系建设、发展及展望,胡红浪;第十九章 水产养殖动物育种管理系统,孔杰、栾生、王清印。书末附有参考文献和彩图。

唐启升院士为本书作序;杨丛海研究员审阅了本书文稿并提出宝贵修改意见;李健、孔杰、胡红浪、杨红生等专家对文稿修改提出宝贵建议;责任编辑王海光、特约助理孟宪红博士为本书的出版付出了辛勤劳动,在此一并深表谢意。我本人负责组织撰稿并统稿。需要特别指出的是,尽管本书各章的作者在撰稿时都力图把各类水产生物育种研究的最新理论成果和技术创新全面地反映出来,但限于种种原因,疏漏和错讹之处仍在所难免。诚挚地欢迎各位读者,特别是各位同行给予批评指正,共同推动水产生物育种的理论创新和技术进步不断迈向新的高度。

王清印

2012年10月

目 录

序

前言

第一章 我国水产种业发展述评	1
第一节 我国水产种业发展现状	1
第二节 水产育种的核心技术	8
第三节 问题与展望	12
第二章 水产生物的多性状复合育种	19
第一节 育种技术概述	20
第二节 多性状复合育种技术的理论基础	28
第三节 多性状复合育种技术的研究进展	34
第四节 问题与展望	40
第三章 中国对虾抗病品种培育	42
第一节 中国对虾的生物学特征	43
第二节 对虾抗病育种研究现状与进展	46
第三节 中国对虾‘黄海2号’的培育	47
第四节 中国对虾分子辅助育种技术研究	59
第五节 问题与展望	77
第四章 斑节对虾良种培育	78
第一节 斑节对虾种质资源及开发应用现状	79
第二节 斑节对虾育种技术方案	84
第三节 斑节对虾育种研究进展	90
第四节 问题与展望	106
第五章 凡纳滨对虾良种培育	108
第一节 凡纳滨对虾的生物学特征	108
第二节 凡纳滨对虾遗传学研究现状与进展	112
第三节 凡纳滨对虾育种学研究现状与进展	121
第四节 问题与展望	125
第六章 罗氏沼虾新品种培育	131
第一节 罗氏沼虾育种技术及育种程序	133
第二节 ‘南太湖2号’的培育	143
第三节 罗氏沼虾育种相关保障技术研究	146
第四节 经济和社会效益分析	154
第五节 养殖示范和推广	154

第七章 三疣梭子蟹新品种培育	156
第一节 三疣梭子蟹的生物学特征.....	158
第二节 研究现状与进展.....	162
第三节 新品种培育的理论与实践.....	167
第四节 问题与展望.....	176
第八章 康乐蚌新品种培育	179
第一节 康乐蚌的生物学特征.....	179
第二节 珍珠贝杂交育种研究现状与进展.....	187
第三节 康乐蚌培育的理论与实践.....	188
第四节 问题与展望.....	208
第九章 大菱鲆育种研究	209
第一节 大菱鲆的生物学特征.....	209
第二节 育种研究现状与进展.....	213
第三节 种质资源与遗传参数评估.....	215
第四节 大菱鲆的家系选育.....	223
第五节 问题与展望.....	243
第十章 松浦镜鲤新品种培育	245
第一节 材料与方法.....	245
第二节 选育结果.....	247
第三节 讨论.....	259
第十一章 大口黑鲈良种培育	262
第一节 大口黑鲈的特征与分类.....	262
第二节 大口黑鲈的遗传多样性分析.....	267
第三节 大口黑鲈的早期生长规律.....	272
第四节 生长性状的遗传参数和育种值估计.....	280
第五节 大口黑鲈的选择育种.....	285
第六节 大口黑鲈的分子标记辅助育种.....	292
第十二章 龙须菜育种理论与‘981’新品种培育	306
第一节 龙须菜的生物学特征.....	307
第二节 江蓠属海藻育种理论研究.....	309
第三节 ‘981’龙须菜良种培育.....	328
第四节 ‘981’龙须菜栽培现状和展望.....	334
第十三章 坛紫菜育种理论与‘申福1号’新品种培育	337
第一节 坛紫菜育种理论研究进展.....	338
第二节 坛紫菜的优良品系选育.....	353
第三节 坛紫菜新品种‘申福1号’的培育.....	356
第十四章 海带育种理论与‘荣福’新品种培育	366
第一节 海带的生物学特征.....	367

第二节 海带遗传育种研究进展·····	371
第三节 ‘荣福’海带新品种培育·····	381
第四节 问题与展望·····	397
第十五章 海带杂交育种·····	400
第一节 海带形态和生活史·····	401
第二节 海带育苗技术发展·····	403
第三节 海带的遗传改良·····	405
第四节 海带杂交育种的理论与实践·····	410
第五节 问题与展望·····	431
第十六章 海参、海胆育种理论与实践·····	434
第一节 海参、海胆的分布与生物学特性·····	434
第二节 海参、海胆遗传育种应用基础及技术研究进展·····	443
第三节 问题与展望·····	450
第十七章 珍珠贝遗传改良·····	452
第一节 珍珠贝生物学简介·····	452
第二节 国内外研究现状与进展·····	455
第三节 问题与展望·····	462
第十八章 我国水产原种和良种体系建设、发展及展望·····	468
第一节 建设历程及主要特点·····	468
第二节 法律法规及技术规范·····	472
第三节 问题与分析·····	473
第四节 现代育种技术的引进及示范·····	475
第五节 展望·····	476
第十九章 水产养殖动物育种管理系统·····	478
第一节 国内外研究现状与进展·····	478
第二节 软件各部分基本原理与功能·····	479
第三节 问题与展望·····	491
附录一 通过审定的水产新品种名录（1996~2011年）·····	492
附录二 国家级水产原种场和良种场名录·····	493
参考文献·····	495
图版	

第一章 我国水产种业发展述评

“国以农为本，粮以种为先”，优良品种对作物种植业、畜牧养殖业以及水产养殖业的生产力提升至关重要。2009年国务院9号文件和2010年中央1号文件将农业生物育种作为重要发展方向。2011年中国种业知识产权联盟发布的《中国种业知识产权调查报告》指出，良种对粮食增产的贡献率达40%。《国家中长期科学和技术发展规划纲要（2006—2020）》明确要求发展畜牧水产育种，提高农产品质量。2012年2月1日发布的中央1号文件《关于加快推进农业科技创新，持续增强农产品供给保障能力的若干意见》，明确提出“着力抓好种业科技创新”，要求“加强种质资源收集、保护、鉴定，创新育种理论方法和技术，创制改良育种材料，加快培育一批突破性新品种”。种业是发展现代农业的核心产业，强化种业科技创新和技术集成，培育强势种业企业，将为确保我国粮食安全和农产品的有效供给提供有力支撑。

我国是世界上最早开展水产养殖生物定向选择的国家之一，已经培育出一大批鱼、虾、贝、藻等各类水产养殖良种并推广养殖，有力地促进了产业发展。“十五”以来，尤其是“十一五”期间，我国水产遗传育种研究领域学术气氛空前活跃，新思维、新技术和新方法不断涌现，育种成果开始批量显现。水产育种技术正在从选择育种、杂交育种、倍性操控等传统的育种技术，向现代分子育种技术迅速发展。生物基因组学研究领域的飞速进展，为了解生物性状遗传基础的调控机理提供了帮助。国家“863”计划、科技支撑（攻关）计划、现代农业产业技术体系、行业专项等项目的重点资助，极大地带动和促进了我国水产遗传育种研究的进展。在继续完善和丰富选择育种理论的同时，建立了多性状复合育种、鱼类性别控制育种、水产生物 BLUP（best linear unbiased prediction，最佳线性无偏预测）育种、分子标记辅助育种等技术体系。“十一五”期间，培育出优良水产新品种39个，完成了5个水产养殖品种的基因组序列图谱绘制。结合我国水产原种、良种体系建设，正在形成“水产遗传育种中心→良种场→苗种场”的三级水产良种体系，培育出的新品种得到了广泛的推广，为水产科技发展以及国家水产良种体系建设作出了重要贡献。这期间建立的水产育种新理论、新技术和新方法以及相关的技术体系，将对我国今后一个时期的水产遗传育种研究乃至整个水产行业的发展产生深远影响。

第一节 我国水产种业发展现状

一、科技投入逐年加强，育种成效开始凸显

从“六五”、“七五”期间的淡水鱼类种质资源考察开始，我国的水产种质和选育种研究稳步展开。“八五”国家科技攻关项目先后开展了水产养殖生物的种质标准和种质

鉴定工作,并开始支持良种选育研究。“九五”期间国家“863”计划海洋生物技术领域重点支持了“海水养殖动物的多倍体育种育苗与性控技术”研究。“十五”期间,“863”计划设立了“海水养殖种子工程”重点项目,淡水方面的国家项目主要支持了罗非鱼、团头鲂等主要养殖鱼类的选育、制种和推广。“十一五”期间,国家在水产生物育种研究领域的支持力度显著加强。国家“863”计划现代农业技术领域继续设立“海水养殖种子工程”重大项目,重点支持了16个课题。国家科技支撑计划“农林动植物育种工程”项目设立了水产方面的“高产优质虾、贝、藻新品种选育”和“罗非鱼等主要养殖鱼类新品种选育”两个课题19个专题。同一时期,农业部设立的国家鲆鲽类产业技术体系、虾产业技术体系、罗非鱼产业技术体系、大宗淡水鱼类产业技术体系和贝类产业技术体系,以及农业行业专项“鲆鲽类全雌苗种大规模培育技术研究”;各省(自治区、直辖市)的良种工程项目等也都在水产生物育种方面设立了课题。这些项目或课题以培植源头创新能力、创制新品种为目标,围绕主导养殖种类,重点支持开展现代生物育种技术研究,建立并完善现代水产良种培育体系,着力提高水产养殖产业的良种覆盖率。

水产育种研究成果有力地推进了水产养殖业的进步。以“十一五”国家“863”计划现代农业技术领域“海水养殖种子工程”重大项目为例,经过5年的实施,海水养殖生物细胞工程和分子育种前沿技术实现跨越式发展,有效提升了我国海洋生物种质创新的能力;建立了水产养殖生物现代育种技术体系,有效提高了良种培育效率,培育出14种水产新品种,占同时期我国全部海水新品种数量的70%,养殖良种覆盖率提高5%以上。海水养殖新品种的育成和示范养殖有效支撑了我国鱼、虾、贝、藻、参等养殖业的健康发展,为保持我国世界第一水产养殖大国的地位作出了积极贡献;突破了多种名贵鱼、贝、藻类苗种繁育技术,十多个品种已达到产业化应用水平;通过技术示范、应用转化与产业基地建设,形成了“产、学、研”紧密结合的海水种业技术创新模式,淬炼了一支高水平研发团队,有效提升了我国海水养殖行业技术创新能力,基本建成现代海水养殖种子工程技术创新体系;建立了62个“863”计划成果示范与产业化基地;91家大中型海洋水产企业参与项目实施,累计创造产值达340亿元,经济效益、社会效益和生态效益显著。

二、育种新技术发展迅速,创新体系基本形成

生物高新技术的发展加快了种质创新的步伐。随着一批水产生物功能基因的开发、重要生产性状的分子标记和遗传解析、细胞遗传技术的突破,水产养殖生物育种研究正由传统育种技术向细胞工程育种和分子育种方向发展。各种组学技术包括基因组学、转录组学、蛋白质组学和代谢组学技术等在水产养殖生物遗传育种研究中得到越来越广泛和深入的应用。

“十五”期间,对重要虾类、贝类染色体操作原理的认识得到深化,并实现了方法学创新;发展并运用了动物染色体操作方法和染色体倍性的快速、活体检测技术;运用多倍体诱导工艺和配套技术,成功实现了牡蛎、鲍、扇贝、珠母贝和虾蟹三倍体人工诱导和养成;突破了海水鱼、虾性控关键技术,运用牙鲆精子遗传灭活技术成功诱导雌核

发育牙鲆,全雌牙鲆生长速度提高 20%,对虾雌化率稳定在 75%以上。

“十一五”期间,采用以多性状 BLUP 育种方法为核心的家系选育和分子标记辅助育种技术体系,建立了大菱鲆、鲢鱼、鲫鱼、中国对虾、凡纳滨对虾、斑节对虾、罗氏沼虾、青虾、淡水珍珠贝、扇贝等重要养殖生物的育种新技术;通过分析生长和抗病性状的遗传特性及性状之间的相关关系,研究了鱼、虾、贝、藻等主导养殖品种重要经济性状遗传参数的精确评估和持续育种技术;在现有的遗传图谱资源和数量性状位点(quantitative trait loci, QTL)定位的工作基础上进一步完善与强化,构建了大菱鲆、中国对虾、凡纳滨对虾、牡蛎、扇贝的高密度遗传连锁图谱,实现了部分重要经济性状的 QTL 定位;建立了多种良种规模制种技术并进行示范养殖和规模化推广,为我国鱼、虾、贝、藻类养殖的可持续健康发展奠定了基础。

(一) 建立了多性状复合育种技术体系

多性状动物模型 BLUP 法是当今世界上最先进的育种值估计方法。BLUP 技术能消除各种固定环境因素的影响,利用各种亲属资料,考虑选择近交及性状间遗传等相关因素,同时准确地估计出各性状育种值及综合育种值。BLUP 技术能比较场内、场间、地区间甚至国家间水产动物亲本的优劣,从而实现亲本的大范围选择和使用,实现优秀遗传资源的共享,加速优良亲本的推广利用。运用 BLUP 技术还能显著提高遗传进展,对高产、抗逆、品质等性状均能获得比指数选择法更为理想的效果。不过,鉴于水产养殖生物的特殊性,此前 BLUP 技术一直未能在水产育种研究领域得到应用。

“十一五”期间,黄海水产研究所开发出国内第一套水产动物育种分析、管理软件——水产动物育种分析与管理系统 Aquabreedings (著作权登记号:2007SR08004)。这个软件设计了基本信息、种质管理、性能管理、育种分析、销售管理和系统管理 6 个功能模块,实现了从良种选育、良种推广到系谱追溯等所有环节的标准化和电子化管理,已经应用于中国对虾 (*Fenneropenaeus chinensis*)、罗氏沼虾 (*Macrobrachium rosenbergii*)、大菱鲆 (*Scophthalmus maximus*)、日本对虾 (*Marsupenaeus japonicus*)、斑点叉尾鲷 (*Ictalurus punctatus*)、牙鲆 (*Paralichthys olivaceus*)、罗非鱼 (*Oreochromis Niloticus*)、卤虫 (*Artemia sinica*) 等的品种选育。

国家“863”计划现代农业技术领域的“海水养殖种子工程”重点项目通过攻关,在主要海水养殖生物的 BLUP 育种技术体系方面取得重要突破,虾类、鱼类、贝类水产动物多性状复合育种技术达到世界前沿水平,建立了以 BLUP 技术为核心的“水产动物多性状复合育种技术”。应用分子育种技术、细胞工程育种技术结合 BLUP 家系选育技术,大大加快了鲆鲷鱼类的育种进程,保障了海水鱼养殖业的健康和可持续发展。应用 BLUP 育种技术建立了鲆鲷鱼的现代育种体系,完成了鲆鲷鱼不同生长阶段的遗传参数测定工作,提出了 3 种育种模式,有效地指导了鲆鲷鱼良种的快速选育工作,选育品系的生长性状和抗逆性状显著改良,生长速度比对照提高 21%,成活率达到 60%。

贝类遗传育种技术在过去的 30 年中发展迅速,杂交和选育技术、染色体组操作技术、分子标记技术等都得到了广泛应用。但多性状选择育种工作仍处于起步阶段。针对这一现状,中国海洋大学的水产遗传育种研究者以 BLUP 育种评定为核心技术体系,

构建并开发了国际上首个针对贝类的遗传参数估计网络应用系统——贝类遗传育种分析评估系统。该软件的主要功能是记录贝类生长性状及遗传信息,并通过计算遗传力、重复力、表型相关、近交系数和育种值对其进行遗传评估,最终选择适当个体制订选种配种方案以指导选种。系统通过网站公告、综合查询、信息维护和网络育种四个模块来实现上述功能。该系统已经在栉孔扇贝等贝类的育种工作中开始应用,并已对2批不同年龄的扇贝进行了遗传评估,其结果对选种具有指导意义。随着数据资料的逐步积累,对育种值的估算将越来越准确。该技术将对我国贝类的育种工作产生重大的推动作用(李艳和包振民,2008)。

(二) 基因组研究异军突起

21世纪,生物学研究已经进入基因组时代。对具有重要经济价值的物种进行全基因组测序,发掘基因组内蕴含的海量遗传信息,破解决定产品品质、产量、生长速度、抗病害能力等生产性状的遗传奥秘,一直是水产科研工作者梦寐以求的理想。2008年5月,牡蛎基因组计划启动;2009年12月,鲤鱼基因组计划启动。这些计划标志着我国的水产遗传育种工作已经进入了基因组学的时代。

2010年7月,半滑舌鳎(*Cynoglossus semilaevis*)全基因组测序和组装完成,绘制了全基因组序列图谱,这是世界上第一个测定了全基因组序列的鲽形目鱼类。半滑舌鳎全基因组测序的完成将为科学家提供大量的重要性状相关功能基因和分子标记,将有利于从功能基因组角度揭示其生长、发育、繁殖、性别决定、性别控制及其他重要生命现象的分子机制,建立品种改良的理论基础,为半滑舌鳎性别控制和基因组选择育种等工作奠定重要基础。

2010年7月,牡蛎基因组序列图谱绘制完成。这是世界上第一张水产养殖贝类的全基因组序列图谱,标志着基于短序列的高杂合度基因组拼接和组装技术取得了重大突破,达到国际领先的基因组图谱标准。初步分析表明,牡蛎基因组由8亿个碱基对组成,大约包含2万个基因,基因组数据支持了海洋低等生物具有高度遗传多样性的结论。对牡蛎基因组数据的深入研究,将帮助水产育种工作者批量发掘与生长、发育、生殖、抗逆性等性状相关的重要功能基因,为全面解析牡蛎高抗性、高繁殖力的遗传机制,开展分子育种、基因产品和生物新材料开发等应用研究,提升我国贝类和海洋基因组学研究水平,促进贝类养殖产业健康和可持续发展提供更广阔的技术思路与基础数据支持(廖洋和建高,2010)。

2011年5月,由中国水产科学研究院水产生物应用基因组研究中心、中国水产科学研究院黑龙江水产研究所和中国科学院北京基因组研究所共同实施的“鲤鱼基因组计划”成功完成了鲤鱼全基因组测序,并绘制了鲤鱼基因组框架图谱、基因组物理图谱和高密度连锁图谱。这项工作的完成标志着我国对高复杂度的大型基因组测序和拼接组装技术取得了新突破,在鱼类基因组图谱装配各项参数上达到了国际领先水平。开展鲤鱼全基因组研究不仅能够促进鲤鱼分子育种学等现代生物技术的快速发展,还能够为其他重要鲤科养殖鱼类的分子生物学和育种学的发展提供必要的技术支持。

此外,2011年1月和3月,大黄鱼、石斑鱼等基因组序列图谱也先后绘制完成。

上述工作的完成,标志着我国鱼类和贝类等养殖生物的遗传育种研究已经进入了基因组时代,并将对水产行业的技术发展和进步产生巨大而深远的影响。

(三) 分子遗传标记开发快速推进

分子遗传标记以物种突变造成 DNA 片段长度多态性为基础,标记数量丰富、多态性高,可以用于解释家系内某些个体的遗传变异。通过研究分子遗传标记,可以发现和利用 DNA 水平的多态性,把分子遗传标记应用于动植物育种。近年来,我国水产育种研究者在鱼类、虾类和贝类分子遗传标记筛选方面做了大量工作,取得了显著进展,为分子辅助育种工作奠定了基础。

鲤鱼基因标记的开发主要包括简单序列重复 (simple sequence repeat, SSR) 标记和单核苷酸多态性 (single nucleotide polymorphism, SNP) 标记、高密度遗传连锁图谱构建以及基因组序列测序和装配。“十一五”期间共开发多态性较高的鲤鱼微卫星标记 1000 多个、SNP 标记上万个,完成了鲤鱼全基因组测序,并绘制了鲤鱼基因组框架图谱、基因组物理图谱。另外,分子标记辅助育种已应用在网箱高密度养殖镜鲤的抗病性状选育方面。目前已筛选到与成活率相关的分子标记,据此标记筛选出具有较强抗病能力的亲鱼群体,并根据这两个标记进行家系构建。初步研究结果表明,标记构建家系的成活率有很大提高,并有望在“十二五”期间选育出适于高密度网箱养殖的抗病镜鲤品系。

运用二次杂交筛选构建微卫星片段富集文库,分离微卫星标记,再用设计合成的大黄鱼微卫星引物经聚合酶链反应 (polymerase chain reaction, PCR) 扩增筛选,获得 13 个多态性好的微卫星标记,多态性信息含量值 (polymorphism information content, PIC) 平均为 0.597。利用这些分子遗传标记对大黄鱼野生群体和养殖群体的遗传多样性进行了比较研究,并对杂交种的亲缘关系进行了鉴定 (王晓清, 2007)。

在虾类分子标记和遗传连锁图谱的构建方面,利用目标性状差异较大的品系,按照 F_2 代 (或回交群体) 设计构建作图群体,同时建立等位基因特异性 PCR 技术和单链构象多态性技术 (single-strand conformation polymorphism, SSCP), 筛选 SNP 位点,发掘新的 SSR 位点,并辅以扩增片段长度多态性 (amplified fragment length polymorphism, AFLP) 等技术,构建了中国对虾和凡纳滨对虾高密度遗传连锁图谱;实现了重要生产性状 QTL 精细定位;结合连锁不平衡分析和基因亲源相同 (identity by descent, IBD) 等定位策略,在高密度遗传图谱上实现了中国对虾和凡纳滨对虾的生长、抗白斑综合征病毒 (white spot syndrome virus, WSSV) 等重要生产性状的 QTL 精细定位,并分析了生长速度与抗病性状的相关关系。

我国淡水虾类的分子育种研究也取得了显著进展。目前已构建了第一张青虾遗传连锁图谱,图谱观察总长度为 2270.5 cM,图谱的覆盖率达 51.83%;初步筛选出青虾雌雄性别相关的 SRAP (sequence-related amplified polymorphism, 相关序列扩增多态性) 标记和 SSR 标记,以及青虾体重、体长等性状相关的候选 SSR 标记;同时还分析了中华绒螯蟹、罗氏沼虾和克氏原螯虾的群体遗传多样性。

分子遗传标记在贝类遗传学和育种研究中也有广泛应用。同工酶、限制性片段长度

多态性 (restriction fragment length polymorphism, RFLP)、随机扩增多态性 DNA (random amplified polymorphism DNA, RAPD) 标记、AFLP、SSR、线粒体 DNA、SNP 及表达序列标签 (expressed sequence tag, EST) 等主要分子遗传标记都应用到了贝类遗传育种领域。贝类分子标记研究相对集中在太平洋牡蛎 (白洁, 2010)、虾夷扇贝 (徐科凤, 2009)、栉孔扇贝 (战爱斌, 2007)、珠母贝 (赵晓霞等, 2010)、海湾扇贝 (秦艳杰等, 2007) 等种类。基于分子标记在该领域的广泛应用, 近几年贝类遗传连锁图谱的构建发展迅速, 如栉孔扇贝 (王师, 2007)、合浦珠母贝 (喻达辉等, 2007) 等都进行了遗传图谱的构建工作。开发的栉孔扇贝微卫星标记占国际已发表总数的 90% 以上, 完成了栉孔扇贝第一代 SSR 遗传连锁图谱的构建, 是目前国际上两个完全以 SSR 为标记的贝类遗传图谱之一, 位点数目比美国最近发表的牡蛎 SSR 标记图谱的位点多 1 倍。

三、水产育种队伍和种业体系建设稳步发展

(一) 水产育种队伍初具规模

目前我国从事水产育种研究和技术开发的队伍主要来自中国水产科学研究院各研究所 (中心)、中国科学院有关研究所、高等院校、各省属研究所以及地方的有关企事业单位等。据不完全统计, 分布在各系统中建制的水产育种队伍有 20 多个, 共数百人, 分别承担着国家“863”计划、科技支撑计划、现代农业产业技术体系、农业行业专项以及省市下达的水产育种方面的课题。中国水产科学研究院作为我国水产科学研究的“国家队”, 一直十分重视水产育种的队伍建设和技术体系建设。2002 年, “水产养殖基础生物学与遗传育种”被列为院重点发展学科之一, 聘任了学科首席科学家, 制定了学科发展规划。2004 年组建成立中国水产科学研究院水产育种研究中心。经过“十五”、“十一五”期间的培养和锻炼, 目前已基本形成学科比较配套、结构比较合理、以高学历层次人员为主的、有较强创新和实践能力的水产育种队伍, 有力地保证了成果的持续产出。

经过“九五”、“十五”和“十一五”国家“863”计划和科技支撑计划的实施, 我国水产生物育种领域在成就了一大批研究成果的同时, 也培养了一批中青年科学家, 有的成为国家杰出青年科学基金获得者, 有的成为“973”项目的首席科学家, 有的成为国际合作计划的牵头人。这批中青年科技人才已经成为该学科领域的学术带头人和中坚力量, 也是水产遗传育种学科走向世界的希望所在。

(二) 水产种业体系基本形成

种业是国家战略性、基础性的核心产业, 水产种业体系建设是促进水产养殖业长期稳定发展的重要基础性工作。20 世纪 90 年代以来, 国家开始投资建设各类水产原种场和良种场。1998~2008 年, 各级财政先后投入 12.1 亿元, 其中, 中央财政 6.79 亿元, 地方财政配套 5.25 亿元; 安排建设项目共 351 个, 其中, 原种场 66 个, 良种场 217 个, 苗种繁育场 29 个, 引种保种中心 22 个, 水产种质检测中心 3 个及其他项目。经过