

厚植海洋生物学基础，创新海洋生物技术， 赋能蓝色生物产业*

相建海

(中国科学院海洋研究所 青岛 266071)

摘要 著名生物学家童第周、曾呈奎、张玺奠基的中国科学院海洋研究所建所 70 年来，面向国际学科前沿、国家重大需求和国民经济主战场；刘瑞玉、吴尚勳、张福绥、郑守义为代表的科学家和一批批优秀学科带头人努力攀登，攻坚克难，前仆后继，薪火相传，为我国海洋生物学学科的系统、全面发展做出了重要建树和奠基性贡献，夯实了海洋科学技术发展的根基。近 30 多年，可为海洋生产力及其可持续性提供解决方案的海洋生物技术受到国内外普遍重视，海洋研究所为国家海洋生物高技术发展战略出谋划策，并在关键技术突破上发力，引领了海洋生物技术的创新发展。在实现产业化，推动蓝色生物产业的征途上，海洋研究所为世界最大的海洋增养殖产业发展壮大做出突出贡献，直接催生了海藻、贝类和对虾三次养殖浪潮的兴起，带动了基础性、战略性海水增养殖种业发展；此外，海洋研究所在海洋药物、海洋生物制品的研究与开发以及着力挖掘和提升海洋生态系统服务功能和价值上，成果斐然，有力支撑了蓝色生物新型产业的发展。新近，海洋研究所牵头筹建的中国科学院海洋大科学研究中心必将为建设海洋强国，铸造蓝色辉煌注入强劲活力。

关键词 中国科学院海洋研究所；70 周年回顾展望；海洋生物学发展与贡献；海洋生物技术创新和突破；支撑和赋能海洋生物产业

中图分类号 Q178 doi: 10.11693/hyhz20200200043

回顾 70 年发展历程，作为新中国第一个专门从事海洋科学研究的国立机构，中国科学院海洋研究所紧随着共和国的成立、壮大和兴旺，而始建、成长并不断发展。1950 年 8 月 1 日，中国科学院水生生物研究所青岛海洋生物研究室成立；尔后，先后更名为中国科学院海洋生物研究室，又扩建为中国科学院海洋生物研究所。1959 年 1 月 1 日，扩大建制为中国科学院海洋研究所(海洋研究所, 2010)。

1 厚植海洋生物学基础

1.1 海洋所重点支柱学科之一——海洋生物学

强大的基础科学研究是建设世界科技强国的基石，更是科学研究所安身立命、兴旺发达的根基。作为奠基学科，海洋生物学一直是研究所发展的重点

支柱学科之一。70 年来，海洋研究所始终面向世界科技前沿、面向国家重大需求、面向国民经济主战场，不忘初心，与时俱进，坚持适时凝练和调整学科方向。海洋生物学与物理海洋学、海洋地质学、海洋化学四个二级学科和其他一级学科如水产学科、环境学科以及海洋工程技术领域学科交叉融合、协同发展，不断提升。海洋生物学主要包括海洋有机体的结构与功能、海洋生物多样性和生态三个方面的内容。它主要研究海洋中生命有机体的起源、分布、形态和结构、进化与演替的特征以及生物生命过程的活动规律；探索海洋生物之间和生物与其所处的海洋环境之间的相互作用和相互影响。70 年来，海洋生物学学科下的各分支学科如动物学、藻类学、微生物学、遗传学、发育胚胎学、生殖生理学、生物化学等均全面发展；

* 相建海，博士生导师，研究员，E-mail: jhxiang@qdio.ac.cn

收稿日期: 2020-02-18, 收修改稿日期: 2020-03-29

应用型海洋水产学和海洋生态学自 20 世纪 50 年代和 60 年代起开始迅速发展,成为优先和重点发展方向,取得长足进步。

总体而言,海洋研究所海洋生物学科始终位于国内外同一领域发展的前沿。童第周、曾呈奎、张玺是建国以来第一代海洋生物学的大师和奠基者。他们在海洋动物学、植物学、实验生物学上取得了国内外瞩目的学术成果;刘瑞玉、张福绥、郑守义、吴尚懋等也在海洋生物学研究中做出了卓越贡献。在大师们的带领下,一代代科技精英薪火相承、不畏艰难、勇攀高峰、创新跨越,取得了颇为丰富、具有重要科学价值的新发现和知识积累。建所 70 年来,海洋研究所在我国海洋科技主要领域的研究和发展中,取得 1900 余项科研成果,共发表论文 14000 余篇(其中 SCI/EI 收录论文 6400 余篇),出版专著近 300 部;授权发明专利 1100 余件。上述成果中涉及海洋生物学的占 2/3 以上,为我国国民经济建设、国家安全和海洋科学技术的发展做出了重大贡献。

1.2 海洋生物学随调查的开展和手段的改进而不断发展

1956 年,中国科学院海洋生物研究室改装成中国第一艘海洋综合调查船“金星”号。20 世纪 80 年代,第一艘专门为海洋科考而设计建造的 3000 吨级“科学一号”问世,在当时的“海洋圈”引起了不小的轰动,成为最先进的科考船之一。作为我国海洋科学考察的主力船,其航行轨迹遍及渤海、黄海、东海、南海及太平洋等海域,曾多次穿越赤道,总航程 60 余万海里。2012 年 9 月 29 日,完全由我国自主设计建造的国家重大科技基础设施建设项目——海洋科学综合考察船“科学”号在青岛正式交付使用,标志着我国向深海大洋全面进军的海洋科学考察能力获得了新突破,迈入国际先进行列。

1.3 国家是基础研究的强大后盾

国家自然科学基金委自 1986 年成立以来,坚持支持基础研究的主线,聚焦基础、前沿、人才,注重创新团队和学科交叉,为全面培育我国源头创新能力做出了重要贡献。海洋研究所自始至终得到基金委厚重的支持,通过竞争联合,获得源源不断的资助,一直保持在海洋生物领域和生物海洋学领域先头部队的地位。自 1997—2019 年,国家基金委生命科学部和地球科学部资助海洋所与生物学、生态学相关项目共 430 多项,含杰青项目 5 项(先后有郭希明、宋金明、俞志明、宋林生、孙黎成为杰出青年基金获得者),

创新研究群体 2 项(均由俞志明领衔),重大项目 2 项(王荣、邹景忠),重点项目 12 项。孙黎、王广策、宋林生在 2014—2018 年度连续五年入选 Elsevier 出版集团公布的中国高被引学者。

攀登计划是科技部首次部署的围绕基础研究的国家目标,解决国民经济和社会发展中的重大关键问题,突出重点,着重支持首创性的研究计划。1994 年该计划启动了 15 个工程与技术科学重大基础研究项目,“海水增殖生物优良种质和抗病力的基础研究”项目通过激烈竞争,遴选入列。曾呈奎作为首席科学家,率领海洋研究所、中国海洋大学、黄海水产研究所和国家第一海洋研究所的优势力量,开展了 6 年刻苦研究,勇攀科学高峰,取得大量创新性成果,开创了我国水产动物免疫研究的先河,更凝聚和练就了一支年富力强、敢打能拼的新锐团队,为而后连续 3 个纵深拓展的 973 项目立项和完成打下坚实的学科和队伍建设基础。

1997 年,中国政府采纳科学家的建议,制定了国家重点基础研究发展计划(973 计划)。作为海洋农业首个 973 项目“海水重要养殖生物病害发生和抗病力的基础研究”(1999—2004)获得批准,而后“重要海水养殖动物病害发生和免疫防治的基础研究”(2006—2011)和“海水养殖动物主要病毒性疫病暴发机理与免疫防治的基础研究”(2012—2016)相继立项。海洋研究所相建海(两次)、宋林生分别担任了三个 973 项目的首席科学家。在海洋资源环境领域,周名江也先后担任了“我国近海有害赤潮发生的生态学、海洋学机制与预测防治”(2001—2006)和“我国近海藻华灾害演变机制与生态安全”(2010—2014)两个 973 项目首席科学家;几乎同时,作为首席科学家,张国范承担完成了“养殖贝类重要经济性状分子解析与设计育种基础研究”(2010—2014),孙松承担完成“中国近海水母暴发的关键过程、机理及生态环境效应研究”(2011—2015)。

1.4 海洋生物基础科学研究成果亮点纷呈

建所 70 年来,海洋研究所面向国家战略和社会需求,面向国际海洋科学前沿,从开展我国沿海重要经济海产生物种类及资源环境调查研究着手,特别是在组织实施全国海洋综合调查的基础上,对我国近海的水文物理、海洋化学、地质地貌、海洋生物分类区系、生态与资源等领域进行了系统研究,积累了大量基础资料与标本,发现了诸多新的海洋现象,提出了一些新的见解和研究分析方法。在海洋生物分类

区系、实验海洋生物学、海洋水产养殖生物学、海洋生物技术、海洋生态学, 赤潮与海洋环境科学等方面的研究中, 取得了一大批基础性、开创性的科学成果, 为我国海洋科学的发展奠定了基础, 也为海洋军事、航运、渔业、工程等部门提供了科学资料。

《中国动物志》和《中国海藻志》的编研是我国首次摸清全国动物及海藻资源家底的一项系统工程, 是进一步研究物种多样性、探讨物种演化和系统发育的奠基石。海洋研究所承担了我国主要海洋动物和藻类相关“志”的编研工作, 历经 20 多年, 已完成出版了近 30 卷, 为正确处理人和海洋生物的关系、制定海洋生物资源开发利用保护决策提供不可或缺的科学依据。郑守仪长期从事有孔虫研究, 荣获中国科学院自然科学一等奖, 个人获美国库什曼“有孔虫”研究杰出人才奖。刘瑞玉是著名海洋生物学家、甲壳动物学家、中国海洋底栖生物生态学奠基人和甲壳动物学开拓者, 2007 年获世界甲壳动物学会杰出研究贡献奖。他联合了全国 40 多位专家编著并于 2008 年完成的《中国海洋生物名录》记载了 46 门 22629 种海洋生物, 为全人类提供了可靠的中国海洋物种最新的“户口簿”(刘瑞玉, 2008)。2011 年, 89 岁的刘瑞玉先生还主持了该《名录》的修订工作。

1.5 学科建设中科研队伍和体制建设是必不可少的组织保障

为加强原始科学创新和关键技术创新与集成, 1998 年中国科学院知识创新工程实施以来, 研究所进行了结构性调整, 强化了实验海洋生物学、海洋生态与环境科学, 组建了胶州湾生态系统研究站和海洋生物标本馆。

中国科学院实验海洋生物学重点实验室, 成立于 1987 年, 是我国海洋科学研究领域首个部级重点实验室, 首届主任由曾呈奎担任。围绕我国海洋生物资源可持续利用的重大科技问题, 深入揭示海洋生物繁殖发育、生长代谢、生理生化、免疫防御和遗传变异等生命活动规律, 发展海洋生物高新技术, 为我国海洋生物资源的高效持续利用提供科学依据、技术保障和人才支撑。确定的三大研究方向: 海洋生物的遗传发育基础与种子创新; 海洋生物免疫防御机制与生物安保; 海洋生物关键代谢过程与生物基材料炼制(中国科学院实验海洋生物学重点实验室, 2015)。

中国科学院海洋生态与环境科学重点实验室, 以海洋生态系统关键过程与环境、资源效应为主线,

围绕海洋生态系统关键生物生产过程、海洋生态系统关键生物地球化学过程、海洋生态环境演变机理及其效应三个重点方向开展研究, 为我国海洋生态与环境科学的发展做出了许多开创性和奠基性的贡献。

中国科学院海洋生物标本馆, 始建于 1950 年, 收藏了自 1889 年以来各类海洋生物标本 80 余万号, 尤为珍贵的是模式标本 1600 余种 1900 余号。2004 年在科学院知识创新工程项目支持下建设成为中国科学院海洋生物标本馆。目前是我国规模最大、亚洲馆藏量最丰富的, 集海洋生物标本收藏、海洋生物分类系统学与生物多样性研究、海洋生物科普知识宣传于一体的大型多功能现代化标本馆。标本采集范围包括整个中国海域以及南、北极在内的 57 个国家和地区的标本。自 2014 年以来, 依托中国科学院海洋先导科技专项建立了目前国内最大的深海生物标本库。先后在西太平洋马里亚纳、雅浦、麦哲伦海山区和南海冷泉区、冲绳海槽热液区等采集了 5000 余号、超过 600 种大型深海生物标本, 先后发表 50 余个深海生物新物种(李超伦等, 2016)。

胶州湾海洋生态系统国家野外研究站, 始建于 1981 年, 是中国生态系统研究网络(CERN)成员及其定位站之一, 也是目前我国温带海域唯一的集监测、研究与示范为一体的综合性生态系统研究站。建站以来, 为国家和区域一系列的科研和应用项目提供了野外试验和研究平台, 在生态、资源、环境和海洋农牧化等研究方面做出了重要贡献。

海洋生物分类与系统演化实验室, 其分类学研究是建所以来孕育形成的特色学科。目前实验室面向国家需求和学科发展前沿, 重点开展中国海和西太平洋海洋生物的区域分类、系统发育、生物地理学以及海洋生物多样性的形成和演变等重要理论问题的研究。研究室以海洋生物标本馆为依托, 结合分子生物学及生物信息学的理论和技术, 着力构建海洋生物多样性信息完整、准确的电子信息平台(张均龙等, 2013)。

深海极端环境与生命过程研究中心, 作为学科新的生长点, 由海洋生物学、海洋生态学、海洋地质学、地球化学和海洋技术等多个学科的一线中青年科研人员组成。中心聚焦典型深海系统, 以深海生态系统为突破口, 理解生命起源、物种进化等重大科学问题。从海洋系统的角度, 强调地学与生物学的耦合研究, 强调极端环境对生物的制约以及特殊生命过程对极端环境的适应, 强调科学目标引领下的技术研发。

在科研团队建设中, “我国典型海域生态系统演

变过程与机制”研究团队获国家自然科学基金委员会创新研究群体科学基金资助,“海洋生物功能基因组学研究”项目入选中国科学院创新团队国际合作伙伴计划,“蓝色农业生物技术创新团队”获得山东省优秀创新团队称号。

1.6 研究水平与成果获得国际赞誉

海洋研究所与美国、加拿大、法国、德国、意大利、俄罗斯、西班牙、英国、澳大利亚、挪威、日本、韩国、越南、新加坡等 20 多个国家的海洋研究机构、大学、组织和政府建立了国际合作与交流项目。60 多位科学家代表中国,在若干主要国际科学组织中担任不同的职务。以海洋研究所为主,举办了不少国际科学会议,与海洋生物相关的有第十一届国际海藻学术讨论会(1983)、第五届国际藻类学大会(1994 年)、第五届亚太地区藻类生物技术会议(2003)、第六届亚太地区海洋生物技术大会等(2004 年)、第八届全球海洋观测合作组织 POGO 会议(2007)、第十三届国际有害藻类会议(ICHA, 2008)、第七届国际甲壳动物学大会(2010 年)、第九届国际海洋生物技术大会(2010 年)和首届健康海洋创新与发展会议(2017)等。自 2001 年起,海洋研究所还被中国科技部选定为第三世界国家海洋养殖和海洋药物研究研讨会和培训的主办机构。

2015 年 1 月年底,来自美国、加拿大、澳大利亚、中国香港和大陆的 11 位专家对研究所“一三五”规划进展进行了国际专家诊断评估。专家组听取了研究所发展状态报告,三个突破和五个培育方向报告,进行了实地考察与座谈。专家组认为研究所“战略定位准确,三个突破和五个培育方向进展良好”,特别指出“中国科学院海洋研究所在海水养殖和海水养殖相关生物研究方面处于世界领先地位”,“在海洋生物学基础研究等领域同样具有明显优势,无论在生物学、免疫学、遗传学,还是在海水养殖物种基因组学方面都取得了显著性进展”(中国科学院实验海洋生物学重点实验室,2015)。

2 创新海洋生物技术

2.1 开发利用海洋生物资源,充分发挥海洋科学技术发展的智库作用

海洋是生命的摇篮,资源的宝库,是地球生命系统可持续发展的基石。海洋生物资源的开发和利用已成为世界各海洋大国竞争的焦点之一(NSTC, 1995)。合理开发利用和科学保护海洋生物资源,必须依靠

科学技术。从全局、长远的观点出发,研判海洋科学技术发展的战略方向、战略目标、战略重点和战略规划是国家科技部的重要职责和任务(国家海洋局办公室等, 2005)。长期以来,海洋研究所作为国家科技部、自然科学基金委员会和科学院有关海洋科学技术发展的智库,起到了不可替代的重要作用。曾呈奎是把科学研究与国家的经济建设紧密结合起来的一个倡导者、组织者和实施者,他善于根据国家战略需求和国际上学科发展的方向,前瞻性地提出新的战略主张和思路(曾呈奎, 1998)。曾呈奎等 1965 年提出“必须大力研究重要种类的生物学特性和它们在人工控制条件下的生长、发育、繁殖,以解决人工养殖的一系列问题,培育新的优良品种,使海洋成为种养殖藻类和贝类的‘农场’,养鱼、虾的‘牧场’,达到耕海目的”。1978 年,曾呈奎提出在我国海洋专属经济区实现水产生产农牧化,并将海洋农牧化(Farming and Ranching of the Sea)定义为“通过人为的干涉改造海洋环境,以创造经济生物生长发育所需要的良好环境条件,同时,也对生物本身进行必要的改造,以提高它们的质量和产量”,提出力争在二十世纪把我国海域改造成为高产稳产的海洋农牧场。20 世纪 80 年代后期,他将理论进一步发展成为“蓝色农业”的系统思想(张福绥, 2000)。此后,我国沿海各省纷纷提出了“科技兴海”和“建设海上强省”的规划。到 2000 年中国已经发展成为世界首屈一指的海水养殖大国,是第一个也是唯一水产养殖产量超过水产捕捞产量的国家(FAO, 2018)。

2.2 海洋生物技术的发展进入新阶段

海洋生物技术是 20 世纪 80 代末国际出现的前沿技术,海洋生物技术可为海洋生产力及其可持续性提供解决方案,世界各国支持通过发展海洋生物技术来响应人类面临的全球性挑战,解决诸如食品、燃料安全,人口健康和工业绿色加工等问题。经多次讨论,2017 年国际经合组织 OECD 给出了海洋生物技术的定义:“将科学和技术应用于海洋资源中的有机体及其组分、产物和模型,以变革生物或非生物材料用以产生知识、商品和服务”(OECD, 2013, 2016, 2017)。

中国与世界海洋生物技术几乎同步,从 20 世纪 80 年代开始酝酿。第一届国际海洋生物技术大会于 1989 年在日本召开,曾呈奎作为大会组织者之一,应邀参加并作大会报告,介绍了我国海藻生物技术的现状与发展。在以曾老为代表的一批具有先见卓识的战略科学家的提倡与推动下,我国海洋生物技术研

究发展经过多年的酝酿和努力, 作为海洋高技术领域的一个重要主题, 于 1996 年正式进入国家高技术研究发展计划。自此, 我国开始整体推进海洋生物技术的发展, 当时发展重点是水产养殖应用的生物技术, 同时国家也部署了海洋生物活性物质的利用以及极端条件下海洋微生物的开发和海洋药物的创制等方向(周百成等, 1996)。1997 年主题研究发展计划的可行性论证顺利通过, 并发布了 1997—2000 年项目申请指南。海洋研究所周百成、相建海相继担任了第一、二届 863 海洋生物技术主题专家组组长。

世纪之交, 海洋生物技术发展进入新阶段(曾呈奎等, 1998)。世界各国综合国力的竞争, 其核心和关键在于知识创新和技术创新, 以及高新技术产业化(European Science Foundation, 2010)。跨世纪第一个十年, 是我国实现“十一”—“十二五”计划的时期, 国家海洋高技术扩大整合为资源环境领域, 作为创新海洋生物技术的先行军, 海洋研究所继续发挥了重要作用, 在此期间担任了两届国家 863 资源环境领域专家委员会主任和若干科技研发计划编写组组长、专项专家组组长等重任, 在科技部和其他有关部委的领导下, 领衔编写和起草了不少重大、重要的与海洋生物技术相关的战略研讨项目可行性报告。如“十五”期间 863 计划海洋领域 819 主题建议书, “十一五”国家 863 计划资源环境领域战略目标论证报告, 国家基金委水产学科“十二五”发展规划(初稿), “十五—十二五”连续三个五年计划 863 重大项目“海水养殖种子工程”建议书、论证报告, 海洋农业科技发展“十二五”专项规划和实施方案, “海水养殖与滩涂高效开发技术研究与示范”重大专题论证报告和执行方案等。

2007 年 7 月, 中国科学院院务会议决定, 开展面向 2050 年的科技发展路线图战略研究。海洋所领衔“至 2050 年海洋科技领域发展”战略研讨组, 编写出版了《中国至 2050 年海洋领域科技发展路线图战略研究》报告(中英文)(中国科学院海洋领域战略研究组, 2009)。

“十八大”以后, 国家科技规划和立项实行重大改革, 国务院《深化科技体制改革实施方案》把科技计划管理改革作为科技体制改革的突破口, 把“长期演进的重大社会公益性研究, 以及事关产业核心竞争力、整体自主创新能力和国家安全的战略性、基础性、前瞻性重大科学问题、重大共性关键技术和产品、重大国际科技合作, 按照重点专项组织实施”, 整合了

原有 973、863 和支撑计划包含的优先发展的内容。科技部联合农业部、国家海洋局和中国科学院, 授命海洋所杨红生为组长的专家组, 编写了十三五国家重点研发计划重点专项实施方案专项“海洋蓝色粮仓科技创新”的论证报告和可行性研究报告。

2.3 领衔承担国家海洋生物技术 863 重大项目

在 863 海洋生物技术主题中, 重大专项“海水养殖种子工程”, 包括海水养殖名特优新品种的种苗繁育、海水养殖生物的遗传改良、重要养殖生物核心种质库的建立和利用、海水养殖动物特殊功能基因的研究与开发、种子工程的示范基地建设等开展研究。此外还设置了海水养殖动物病害控制、海水设施养殖与工程化、海洋药物的研究与开发、海洋生物制品的研究与开发、海洋生物重要功能基因的研究与开发和滩涂耐盐植物的研究与开发 6 个专题。海洋研究所许多分支学科带头人承担了其中不少重点课题, 并取得重要进展。

1997—2000 年期间, 海洋研究所和中国海洋大学、大连海洋大学的科研人员担任我国首个 863 海洋生物技术重大项目“海水养殖动物的多倍体育种育苗和性控技术”责任专家组组长、副组长, 其中多倍体重大项目由海洋研究所抓总, 联合中国海洋大学、黄海水产研究所、中科院南海海洋研究所、大连海洋大学承担。项目支持完成海水养殖动物育种的核心关键技术, 创新了牙鲆、对虾、牡蛎、鲍和扇贝三、四倍体细胞工程育种, 突破了牙鲆、对虾性控前沿技术, 开国内海洋动物生物育种先河, 获得一批具自主知识产权的重大成果, 取得了良好的经济社会效益, 国内外产生深远影响。该成果获得 2005 年国家技术发明二等奖(相建海, 2013)。

2.4 基因组学等相关领域成为生命科学发展的新生长点

近年来, 海洋研究所的海洋水产生物基因组研究在 863 计划支持下, 及时起步, 迅速发展, 很快走到国际同行前列。2012 年 9 月, 国际学术刊物《自然》(Nature) 杂志在线发表了研究所张国范团队基于多组学方法揭示的牡蛎对潮间带逆境适应分子机制及贝壳形成复杂性的研究成果(Zhang *et al.*, 2012)。这是我国水产养殖研究成果首次以长篇文章形式登上该刊物。2017 年 10 月, 杨红生、李富花两个团队协力率先完成了仿刺参(俗称海参)的全基因组精细参考图谱的绘制, 发表在 PloS Biology 上, 研究成果揭示了海参的特殊形态进化与强大再生潜能的分子基础

(Zhang *et al.*, 2017)。2019 年 1 月, 张晓军所在课题组通过国内外合作, 历时十年成功破译了水产界公认难度极高的凡纳滨对虾基因组, 获得了世界上首个高质量的对虾基因组参考图谱, 研究成果发表在《自然·通讯》(Nature Communications)上, 揭示了对虾底栖适应和重复蜕皮-生长的分子机制, 为甲壳动物研究及对虾基因组育种和分子改良提供了重要理论支撑 (Zhang *et al.*, 2019)。上述代表性的组学技术和理论的重要成果为我国乃至世界产量或产值最高的牡蛎、海参和对虾的分子育种进入基因组育种时代奠定了基础。

海洋研究所聚集了一批优秀的前沿科学家。其中, 张培军率先开展了分离海洋生物特异基因和利用转基因技术培育快速生长、抗病、抗寒经济海鱼新品种的鱼类基因工程研究工作。秦松建立了海带和裙带菜遗传转化模式, 发明了一种抗肿瘤海洋生物药物, 进入临床前开发; 2012 年他主持的“重要藻类关键功能基因发掘与利用的方法学原理”获海洋局海洋科学技术一等奖; 2013 年入选国家科技部“中青年科技创新领军人才”。孙黎主持微生物病害的分子机理及免疫防治研究, 获中国和美国授权发明专利 30 余项, 1 个鱼类疫苗获国家安全证书。王广策团队在海藻生理活性蛋白和多肽的规模制备及其药源生物的快繁技术取得可喜突破。

2.5 研发海洋药物、海洋生物制品是海洋生物技术的重点目标

曾呈奎和纪明侯于 20 世纪 50 年代中期开展了琼胶、褐藻胶的提取加工方法的研究, 组织完成了从马尾藻中提取褐藻胶的开发, 进一步推动了海藻综合利用的研究, 为大规模生产甘露醇、褐藻胶、碘提供了经验, 奠定了建厂的坚实基础。1997 年, 纪明侯总结完成了 110 万字的巨著《海藻化学》, 影响深远(纪明侯, 1997)。

范晓等承担的 863“海藻多糖植物空心胶囊的研制及产业化”课题突破了以海藻多糖和膳食纤维作为主要材料制备植物空心胶囊的配方优化、成膜条件控制等关键技术, 开发了海藻多糖植物空心胶囊生产工艺, 改进了生产设备, 验证了其临床有效性, 获得国家食品药品监督管理局颁发的生产批文(国药准字 F20050001)。在此基础上, 与企业合作建立了年产 20 亿粒规模的生产线, 产品在国内外市场上销售。

李鹏程课题组以优质甲壳质、壳聚糖为原料, 经

系列深加工技术生产新型生态农药“农乐一号”, 开辟了海洋科技为农业服务的新途径。“农乐一号”可显著促进植物的根系生长发育和光合速率, 还具有抗菌(尤对真菌)和保湿功能, 提高出苗率, 对作物具有明显增产抗病作用。“农乐一号”发明专利在 2001 年第十三届全国发明展览会获金奖。该团队的“水母毒素及蜇伤防治研究”也获得 2017 海洋科学技术一等奖。

“新世纪百千万人才工程”人员——王斌贵承担了“海洋生物活性先导化合物的发现”项目, 在海洋资源植物化学、海洋天然产物化学的基础与应用基础研究上取得重要进展, 丰富了海洋天然产物发现的方法与策略, 分离鉴定单体化学成分 600 余种, 其中 100 余种为国际上首次发现, 涵盖了天然产物的主要结构类型, 特别是发现了一系列结构新颖的多卤素取代化合物, 在抗糖尿病、抗肿瘤药物等领域的前景看好(Wang *et al.*, 2013a)。

2.6 失衡生态系统的重构和价值提升成为新热点

着力挖掘和提升海洋生态系统的服务功能和服务价值, 是新近海洋生物技术迅速发展的另一个分支。生态系统健康状态的检测预警, 生态环境的修复与减灾, 失衡生态系统的重构和价值提升成为重点发展方向。

中科院烟台海岸带研究所陈令新针对海岸环境典型污染物(无机离子、持久性有机污染物和病原体等), 利用纳米材料、生物材料以及光电磁等分析探测技术, 构建微纳分析传感界面, 探索分析监测新原理、新方法和新仪器技术; 注重研究典型污染物(纳米材料、新型污染物和各类环境胁迫等)生命体系(微生物、生物大分子、活性物种等)相互作用, 揭示其与人类健康相关性, 发展基于微生物在环境分析监测与生态修复中的新技术取得国际同行瞩目成果(Wang *et al.*, 2013b)。

赤潮, 又称有害藻华, 是一种由于海水中微生物爆发性增殖或聚集而产生的生态灾害, 对人类健康、生态环境产生巨大危害, 被联合国环境组织列为当今三大近海环境问题之一。我国每年赤潮发生 70 多次, 经济损失达 300 亿元(周名江等, 2001)。海洋研究所俞志明领衔研制的“一种提高 PAC 改性粘土消除海洋褐潮效率的方法”首创了改性粘土治理赤潮的技术与方法, 解决了国际上赤潮治理长期存在二次污染、效率低、用量大、不能大规模应用的技术难题, 获 2018 年中国专利优秀奖。其技术成果在我国近海从南到北 20 多个水域被大规模应用, 成功保障了滨海核电冷源、重大外事活动、国内外重要赛事及旅游和养殖等相关水

域的水环境安全, 产生了显著的社会经济效益。“近海赤潮灾害应急处置关键技术与方法”在 2019 年获得国家技术发明二等奖。课题组研发的改性粘土, 是国际赤潮治理领域的重大突破, 不仅在国内被广泛应用, 而且被智利、美国和秘鲁等国家引入, 为全球近海的赤潮治理提供了“绿色方案”。

“绿潮”的海洋灾害, 主要由一种叫“浒苔”的藻类暴发造成。自 2007 年以来, 浒苔灾害连续 13 年侵入青岛, “打浒”也成为了青岛每年夏天都无法绕开的一项工作。直到 2017 年 6 月份, 海洋研究所等机构科研人员对连续多年出现的黄海浒苔绿潮的成因、预测预警和 2017 年发展态势等方面形成了系统的科学认识, 得出一致结论: 确认大量漂浮浒苔主要来自苏北浅滩海域, 探明与其独特的环境特征和当地大量养殖筏架有关。

孙松牵头的“黄东海大型致灾水母生活史及其灾害发生机制”经过十余年的研究积累, 建立了大型致灾水母培养系统平台, 详细刻画了海月水母、沙海蜇及白色霞水母的自然生活史模式, 系统阐明了影响 3 种致灾水母生活史的关键控制过程与生态适应策略, 揭示了影响 3 种致灾水母自然种群数量增长的关键控制因素, 查明了黄东海大型致灾水母暴发的驱动内因(孙松, 2012), 成果获 2018 年海洋科学技术一等奖。

2.7 “十三五”科技专项再展身手

“十三五”实施的科技专项“蓝色粮仓”项目是以优质蛋白高效供给和拓展我国粮食安全的战略空间为目标, 利用海洋和内陆水域环境与资源, 通过创新驱动产业转型升级, 培育农业发展新动能, 构建生态优先、陆海统筹、三产融合的具有国际竞争力的新型渔业生产体系。专项围绕水产生物种质创制、健康养殖、资源养护、友好捕捞、绿色加工等产业面临的重大科学问题和重大技术瓶颈, 贯通基础研究、重大共性关键技术、应用示范科技创新全链条, 进行一体化组织设计。在业已立项的课题中, 一大批海洋所中青年骨干已投身其中, 立志把最好的论文书写在祖国蔚蓝的大海上。

3 赋能蓝色生物产业

3.1 创新增养殖技术, 推动水产业高潮迭起

“营渔盐之利”是人类利用海洋的传统途径, 我国海洋捕捞历史悠久, 开创和发展了大量行之有效、影响久远的海洋渔业技术。但随着捕捞强度的快速扩张, 近海渔业资源渐近衰竭, 而人类社会对于食物的要

求在不断攀升, 仅仅从自然界捕捞的水产品量已经不足以满足需求, 因而催生了水产增养殖技术的发展和产业的进步(相建海, 2012)。海水增养殖业很快成为国民经济的重要增长点。海洋研究所在我国海洋水产增养殖技术的开发和应用上也始终走在前列。三次海水养殖浪潮的兴起和发展中, 海洋研究所的贡献功不可没。

20 世纪 50 年代, 曾呈奎率领团队创新了一系列海带增养殖技术, 完成了商品海带南移栽培实验, 使海带在长江以南大面积海域栽培成功; 提出了紫菜壳斑藻阶段大规模培养方法, 成功地组织领导了中国紫菜的半人工和全人工栽培实验。这些研究成果, 赋能我国海带栽培业不断发展, 成为世界上最大的海带生产国。海带、紫菜等大型海藻人工栽培取得的成功, 直接推动了中国海水养殖第一次“浪潮”的兴起。“海带养殖原理研究”荣获 1978 年全国科学大会奖。海带大规模栽培业的巨大成功, 是科技转化为生产力的典型事例, 也为人类开发利用海洋, 造福社会开启了新篇章(中国广播网, 2005)。

20 世纪 60 年代, 在刘瑞玉开展中国对虾的生活史、幼虫发育过程和生殖生物学研究基础上, 吴尚勳等攻克了中国对虾人工育苗技术, 首次成功在实验室培育出对虾虾苗。80 年代, 农业部组织黄海水产研究所、中科院海洋研究所和山东海洋学院等科研人员协同攻关, 赵法箴、曹登宫、王克行带领团队突破了中国对虾大规模人工育苗与养成关键技术, 催生了全球规模最大的对虾养殖产业, 推动了第二次海水养殖浪潮的兴起, 成果获 1985 年国家科技进步一等奖。但到 1992—1993 年, 对虾白斑综合征病毒病暴发, 导致对虾养殖产量锐减, 严重威胁到产业可持续发展。由于刘瑞玉前瞻性的倡导和部署, 及到 20 世纪 90 年代中末期, 张伟权首先从国外引进凡纳滨对虾, 采用人工植精技术繁殖出虾苗, 而后再由张伟权、张乃禹主持, 联合中科院南海所、海南水产研究所等国内七家单位协同作战, 成功突破亲虾强化培育和规模化全人工繁育技术, 解决了种苗规模化生产技术难题, 创建了集约化防病养殖和淡化养殖新型养殖模式及技术体系, 确保了世界第一的我国对虾养殖产业的持续发展。

20 世纪 70 年代, 张福绥带领团队从事贻贝增养殖生物学和幼体生态学研究, 创建了自然苗场构建技术, 促使育苗工程化, 推动我国贻贝养殖业发展, 也为其他贝类人工繁育和增养殖奠定了基础。80 年

代,更成功引进美国海湾扇贝,创建了一整套工程化育苗与养成技术,强有力支撑了贝类养殖业的发展,直接引领了我国海水养殖业第三次“浪潮”的兴起。成果推广以来,海湾扇贝累计产量超过 1000 多万吨,产品不但满足了国内市场需求,还进入美国及西欧市场,形成稳定的产、销两旺的海水养殖产业。1990 年,该项目成果获国家科学技术进步一等奖。

3.2 海洋生物技术创新是催生蓝色生物产业的核心源头

“发展高技术,实现产业化”(中共中央等,1999),是高技术通过研究、开发、应用、扩散而不断形成商品和产业的过程。在以经济实力、国防实力和民族凝聚力为主要内容的日趋激烈的综合国力竞争中,能否在高新技术及其产业领域占据一席之地已经成为竞争的焦点,成为维护国家主权和经济安全的命脉所在。高技术是技术创新也是产业化的核心源头,产业化是发展高技术的目标和归宿,两者相互依存,相得益彰。海洋生物技术是为海洋生产力及其可持续性提供解决方案的赋能技术,30 年来有了长足发展,其产业化速度和业态也日新月异。国内外生物技术产业化三个方向的最新趋势,一是大力发展海洋生物物质和食品生产,二是发展海洋生物炼制、创新生物制品、提高附加值,三是着力挖掘和提升海洋生态系统服务功能和价值(相建海等,2020)。海洋研究所科研人员始终坚持理论联系实际、科研服务产业,活跃在创新一线,奋战在国民经济主战场,在三个发展方向上,都走在时代前列。

3.3 为世界第一的海洋生物生产持续发展建功立业

中国是世界水产养殖大国。2018 年,全国水产养殖面积 7189.52 千公顷,养殖产量 4991.06 万吨,出口量 432.2 万吨、出口额 223.26 亿美元,渔业从业人员 1325.72 万人,渔民人均纯收入 19885.00 元(农业农村部渔业渔政管理局等,2019)。水产种业作为水产养殖业产业链的源头,是水产养殖业战略性、基础性核心产业,也是决定现代养殖业发展的关键要素。加快水产种业体系建设与发展,对于提高水产原良种覆盖率、推进渔业现代化进程、转变渔业发展方式、实现渔业增效、渔民增收均具有重要作用。

海水养殖种子工程专项实施以来,年轻但充满活力的海洋水产种业科技创新蓬勃兴起。业经人工驯化形成产业的鱼虾贝参藻不同种类的生物育种全面铺开,短短 20 年来,海洋研究所科研人员已获得国家审定通过的高产优质抗逆的新品种 10 多个,如凡

纳滨对虾“科海一号”、“广泰一号”,脊尾白虾“科苏红 1 号”,三疣梭子蟹“科甬 1 号”,皱纹盘鲍“大连 1 号”,扇贝“青农金贝”,“中科红”扇贝,文蛤“科浙 1 号”,刺参“东科 1 号”和“981”龙须菜等不断推出,精彩纷呈。

海洋研究所海藻种质库团队,在国家藻类产业技术体系首席科学家逢少军的带领下,从全球收集海带种质资源,开展多层次、大范围的杂交育种测试;建立和优化了杂交海带品种培育、分子标记辅助育种、克隆杂交种苗培育等多项技术;针对辽宁和山东不同海带栽培区的环境特点,量身定做培育了多个优质海带新品种(系),解决了引进种所普遍存在的“奠基者”效应。

费修缙开展的“紫菜种苗工程”研究,针对紫菜栽培没有良种和育苗不稳定的瓶颈,自 1987 年起,带领课题组找出了分离、纯化、长期保存和迅速扩增子一代紫菜纯系丝状体细胞的途径和方法,成功选育出多个优良品系并成功地导入生产。1994—2001 年紫菜种苗工程项目累计创利税 3 亿多元,创经济效益 10 余亿元,创外汇近 1 亿美元;催生了近十个千万元紫菜户和几十个百万元户,创造了大量的就业机会,在我国沿海地区社会经济生活中起到了重要作用,2002 年获得了国家科技进步二等奖。

海洋研究所张国范与大连市水产研究所等单位共同协作作战,发展了皱纹盘鲍杂交育种的理论和方法体系,采用远距离地理群体间杂交技术培育出我国第一个海水养殖贝类新品种“大连 1 号”杂交鲍,构建了系统的杂交鲍苗种繁育技术工艺和适合于不同环境的养殖新模式,养殖区由黄海北部扩展到东海中南部,1997—2006 年我国累计推广养殖产值 121.15 亿元。其成果在 2007 年获国家科技进步二等奖。1999—2008 年,海洋研究所、大连海洋大学和福建省莆田市海源实业有限公司产学研紧密结合,联合攻关,突破了 4 项重大关键技术,创建了菲律宾蛤仔三段法养殖模式和基于良好环境养成的蛤仔食用安全保障技术等,构建了菲律宾蛤仔现代养殖产业技术体系,使我国蛤仔生产实现由天然资源依赖型到高产稳产人工养殖型的转变,年产苗种 6000 亿粒,苗种繁育和养殖产生直接或间接经济效益 276.2 亿元,取得了显著的经济效益。2009 年获国家科技进步二等奖。

2008 年,“凡纳滨对虾引种、育苗、养殖技术研究与应用”技术成果被授予国家科技进步二等奖。技术成

果的应用带动了相关饲料、加工、出口等产业的大规模发展, 产生了巨大经济、社会效益。成果自推广应用以来, 该虾种的养殖产量占全国对虾总产量中的 80%, 我国已累计生产凡纳滨对虾近千万吨, 创造经济效益数千亿元, 增加养虾就业岗位 100 万个以上。

3.4 奋力助推国家蓝色生物新型产业兴起

2010 年, 国务院公布了加快培育战略性新兴产业的决定, 明确将海洋生物列入 7 大重点发展领域; 2012 年“十二五”规划提出要培育壮大海洋生物医药等新兴产业; 2012 年 12 月, 国务院《生物产业发展规划》对如何加强海洋生物资源开发利用进行了专门论述。在海洋生物产业方面, 重点引导企业发展海洋药物、海洋生物材料、海洋功能保健食品、新型蛋白源等海洋生物制品, 推进国内一流、国际先进的海洋生物产业基地。培育集生态养殖、精深加工、远洋渔业、休闲渔业于一体的现代渔业产业链。

海洋研究所于 20 世纪 50 年代中期开展了大型海藻深加工研究, 1956 年在青岛建立了我国第一个褐藻胶生产示范车间, 开创了我国化工产业新领域——海藻化工工业。在此基础上, 团队进一步开展了海藻资源的综合利用研究, 不仅用海藻生产褐藻胶、琼胶、卡拉胶、甘露醇和碘, 还将这些产品用于药品、食品和饲料生产, 使我国很快成为仅次于美国的褐藻胶生产大国, 并发展成为世界最大的褐藻胶生产国。

海洋研究所负责制定了我国碘、胶、醇三大产品的质量标准, 率先开发出准字号海洋药物——甘露醇烟酸酯; 徐祖洪等研发的褐藻多糖硫酸酯和海昆肾喜胶囊等 4 个海洋药物获国家新药证书, 在海洋药物和海洋生物化学制品研究方面取得重要突破, 提高了我国海藻资源高值化利用水平, 推动了海洋产业高效持续发展, 取得了显著的经济社会效益。“海藻碘精”、“农乐一号”等产品先后产业化, 获得国家级火炬计划项目证书和国家科技成果证书。刘建国在微藻资源多样性和开发利用上取得了系列成果, 构建了藻类应用与开发的规模化技术孵化和成果展示平台基地。

3.5 开拓蓝色生物产业发展新局面

2007 年, 为加快现代农业产业技术体系建设步伐, 提升国家、区域创新能力和农业科技自主创新能力, 为现代农业和社会主义新农村建设提供强大的科技支撑, 由农业部、财政部依托现有中央和地方科研优势力量和资源, 启动建设了以 50 个主要农产品为单元、产业链为主线, 从产地到餐桌、从生产到消

费、从研发到市场各个环节紧密衔接, 以服务国家为目标的现代农业产业技术体系。国家贝类产业技术体系和国家藻类产业技术体系研发中心建设依托单位均为中国科学院海洋研究所, 首席科学家是张国范和逢少军。

海洋增养殖业的大规模和高速发展, 凸显了海洋资源与环境问题的制约瓶颈。海洋农牧场的综合研究、开发和应用已成为主要海洋国家的战略选择, 也是世界发达国家渔业发展的主攻方向之一。海洋牧场是基于海洋生态学原理, 利用现代工程技术, 充分利用自然生产力, 在一定海域内营造健康的生态系统, 科学养护和管理生物资源而形成的人工渔场(杨红生, 2016)。2015 年 10 月, 时任国务院副总理汪洋在山东调研海洋渔业发展情况, 现场视察了海洋所科研成果。他强调, 深耕海洋, 建设海洋生态牧场, 发展现代海洋渔业, 是我国农业现代化建设的重要战略。

海洋研究所现代海洋牧场构建技术创新与集成应用团队, 创新了生境构建关键设施与技术, 实现了海洋牧场生境从局部修复到系统构建的跨越; 针对牧场自然种群补充不足亟需人工修复等关键问题, 突破了关键物种扩繁和资源修复技术; 突破了牧场生境监测、评价技术, 实现了综合预警预报。示范结果表明, 海洋牧场生境显著改善, 生态系统更趋稳定, 核心区多保持在一类水质, 经济生物种类增加 29%—46%, 资源量增加 2 倍以上; 渔户平均年收入由 5 万元提高到 11 万元, 促使海域生态与产出效益同步改善。示范推广面积 45.6 万亩, 经济效益 55.75 亿元, 实现了山东半岛受损生境的有效改善和经济生物资源的持续利用, 引领了我国海洋牧场的建设和发展。该成果荣获 2017 年度中科院科技促进发展奖。

4 前景与展望

新时代, 新征程, 新使命。全球经济正在向以海洋经济为中心的区域经济集聚发展, 世界各沿海国家纷纷加大了对海洋的投入, 采取各种措施, 调整本国的海洋发展战略。新一轮科技革命和产业变革蓬勃兴起, 科学探索加速演进, 学科交叉融合更加紧密, 一些基本科学问题孕育重大突破。海洋生态系统处于若干全球性挑战的核心: 粮食、药物、清洁能源、气候监管、创造就业和包容性增长。人类需要保护和改善海洋生态系统的健康, 以支持我们日益增长的海洋资源利用。海洋和沿海旅游业以及其他活动的发展势头越来越大, 海洋空间面临着越来越拥挤的

危险。微塑料、垃圾、污染、富营养化、酸化已是海洋面临的共同问题。生物资源过度开发、海岸工程无序建设,导致海洋自然系统功能严重衰退,有些海区“荒漠化”严重。海洋科研人员面对挑战,任重道远(European Commission, 2017)。

2018年1月,中科院决定依托海洋研究所,联合烟台海岸带研究所、南海海洋研究所等其他12家院内单位,共同筹建海洋大科学研究中心。海洋大科学中心立足青岛,推动中科院涉海优势科研力量有效集聚,用实质举措助推山东新旧动能转换综合试验区建设,得到山东省、青岛市的大力支持,院省市三方共建,支持中心先进科研平台和创新创业共同体的建设。

海洋大科学中心以开拓前沿交叉领域、建设美丽健康海洋、保障国家海洋安全、服务“一带一路”倡议为使命,实施重大科技基础设施集群融合运行、中国科学院大学海洋学院科教融合建设,将实现中科院先进科技创新设施、优势科技创新团队、重大科技创新成果向古镇口军民融合示范区集聚,打造以山东为总部、辐射全国乃至全球的海洋科技创新平台、人才高地和新兴产业培育基地。

乘风破浪潮头立,扬帆起航正当时。70年的中科院海洋研究所,欣逢盛世,正值当年,为建设海洋强国,铸造蓝色辉煌的宏伟目标,不忘初心,奋勇向前。

参 考 文 献

- 中共中央,国务院,1999. 关于加强技术创新发展高科技实现产业化的决定. http://www.law-lib.com/law/law_view.asp?t_t_t=0.4279820986557752&id=70253
- 中国广播网,2005. 蓝色经济:“蓝色农业”的先驱——曾呈奎. <http://news.sina.com.cn/c/2005-03-24/17425455093s.shtml>
- 中国科学院实验海洋生物学重点实验室,2015. 中国科学院重点实验室评估申请书. 2015年5月8日,121
- 中国科学院海洋领域战略研究组,2009. 中国至2050年海洋科技发展路线图. 北京:科学出版社,180
- 刘瑞玉,2008. 中国海洋生物名录. 北京:科学出版社,1267
- 农业农村部渔业渔政管理局,全国水产技术推广总站,中国水产学会编制,2019. 2019中国渔业统计年鉴. 北京:中国农业出版社
- 孙松,2012. 水母暴发研究所面临的挑战. 地球科学进展,27(3): 257—261
- 纪明侯,1997. 海藻化学. 北京:科学出版社,777
- 李超伦,李富超,2016. 深海极端环境与生命过程研究现状与对策. 中国科学院院刊,31(12): 1302—1306
- 杨红生,2016. 我国海洋牧场建设回顾与展望. 水产学报,40(7): 1133—1140
- 张均龙,徐奎栋,2013. 海山生物多样性研究进展与展望. 地球科学进展,28(11): 1209—1216
- 张福绥,2000. 21世纪我国的蓝色农业. 中国工程科学,2(12): 21—28
- 国家海洋局办公室,国家海洋发展战略研究所,2005. 建设海洋强国,铸造蓝色辉煌. www.soa.gov.cn/zhanlue/hh/index.html
- 周百成,曾呈奎,1996. 藻类生物技术与海洋产业发展. 生物工程进展,16(6): 13—16
- 周名江,朱明远,张经,2001. 中国赤潮的发生趋势和研究进展. 生命科学,13(2): 54—59,53
- 相建海,2012. 海洋生物技术催生蓝色生物经济. 生命科学,24(9): 967—979
- 相建海,2013. 中国水产种业发展过程回顾、现状与展望. 中国农业科技导报,15(6): 1—7
- 相建海,秦松,2020. 海洋生物技术产业化新进展. 2019高技术发展报告,338—350
- 海洋研究所,2010. 创新十载谱壮丽篇章 风雨六秩树蓝色丰碑——中国科学院海洋研究所60周年发展纪实. www.qdio.cas.cn/xwzx/tpxw/201010/t20101012_2985440.html
- 曾呈奎,1998. 中国的海洋科学及其展望. 海洋与湖沼,29(1): 1—8
- 曾呈奎,相建海,1998. 海洋生物技术. 济南:山东科学技术出版社,661
- European Commission, 2017. Report on the Blue Growth Strategy: towards more sustainable growth and jobs in the blue economy, Brussels, 31.3.2017, SWD (2017) 128 final. https://ec.europa.eu/maritimeaffairs/policy/blue_growth_en
- European Science Foundation, 2010. Marine Biotechnology: A New Vision and Strategy for Europe. Position Paper 15, Marine Board, 91
- FAO, 2018. The State of World Fisheries and Aquaculture 2018 - Meeting the sustainable development goals. Rome: FAO. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO
- NSTC, 1995. Biotechnology for the 21st Century: New Horizons - Marine Biotechnology. Report from the Biotechnology Research Subcommittee on Fundamental Science National Science and Technology Council, 40
- OECD, 2013. Marine Biotechnology: Enabling Solutions for Ocean Productivity and Sustainability. <https://dx.doi.org/10.1787/9789264194243-en>
- OECD, 2016. The Ocean Economy in 2030. <http://www.oecd.org/environment/the-ocean-economy-in-2030-9789264251724-en.htm>
- OECD, 2017. Marine biotechnology: Definitions, infrastructures and directions for innovation. OECD Science, Technology and Industry Policy Papers, No. 43. <https://www.cbd.int/financial/2017docs/oecd-marinebiotech2017.pdf>
- Wang B G, Gloer J B, Ji N Y *et al*, 2013a. Halogenated organic molecules of rhodomelaceae origin: chemistry and biology. Chemical Reviews, 113(5): 3632—3685
- Wang Y Q, Yan B, Chen L X, 2013b. SERS tags: novel optical nanoprobes for bioanalysis. Chemical Reviews, 113(3): 1391—1428
- Zhang G F, Fang X D, Guo X M *et al*, 2012. The oyster genome reveals stress adaptation and complexity of shell formation. Nature, 490(7418): 49—54

Zhang X J, Sun L N, Yuan J B *et al*, 2017. The sea cucumber genome provides insights into morphological evolution and visceral regeneration. *PLoS Biology*, 15(10): e2003790

Zhang X J, Yuan J B, Sun Y M *et al*, 2019. Penaeid shrimp genome provides insights into benthic adaptation and frequent molting. *Nature Communications*, 10: 356

LAYING SOLID FOUNDATION OF MARINE BIOLOGY, INNOVATING MARINE BIOTECHNOLOGY, AND ENABLING BLUE BIOINDUSTRY

XIANG Jian-Hai

(*Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China*)

Abstract In the 70 years since the founding of the Institute of Oceanology, the Chinese Academy of Sciences (IOCAS) under the leadership of famous biologists TONG Di-Zhou, ZENG Cheng-Kui, and ZHANG Xi, the IOCAS has been oriented to the frontiers of international disciplines, the major demands of the state, and the main battlefield of national economy. The scientists represented by LIU Rui-Yu, WU Shang-Qin, ZHANG Fu-Sui, and ZHENG Shou-Yi, as well as a number of outstanding scientific leaders, have made important contributions to the systematic and comprehensive development of marine biology in China, and laid a solid foundation for the development of marine science and technology. In the past 30 years, marine biotechnology, which can provide solutions for ocean productivity and its sustainability, has received widespread attention at home and abroad. The IOCAS has provided strategic ideas for the national high-tech development strategy of marine biology, and has made efforts in key technological breakthroughs, leading the innovative development of marine biotechnology. In the process of realizing industrialization and promoting the blue bio-industry, the IOCAS has made outstanding contributions to the development and growth of the world's largest mariculture industry, which has directly resulted in the rise of three waves of seaweed, shellfish, and prawn cultivation, and led to the development of basic and strategic mariculture seed industry. In addition, the research and development of marine drugs and marine biological products, and the efforts to develop and enhance the service function and value of marine ecosystem, conducted by the IOCAS have yielded remarkable achievements, which have effectively supported the development of new blue biological industries. Recently, the National Oceanographic Research Center of the Chinese Academy of Sciences, led by the IOCAS, will certainly inject strong vitality into the building of a marine power and a blue glory in China.

Key words Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences; review and outlook of the 70th anniversary; development and contribution of marine biology; innovation and breakthrough in marine biotechnology; supporting and enabling marine bio-industry