

孙军, 蔡立哲, 陈建芳, 等. 中国海洋生物研究 70 年[J]. 海洋学报, 2019, 41(10): 81–98, doi:10.3969/j.issn.0253-4193.2019.10.005
Sun Jun, Cai Lizhe, Chen Jianfang, et al. Progress on marine biological studies in China over the past 70 years[J]. Haiyang Xuebao, 2019, 41(10): 81–98, doi:10.3969/j.issn.0253-4193.2019.10.005

中国海洋生物研究 70 年

孙军^{1*}, 蔡立哲², 陈建芳³, 单秀娟⁴, 丁兰平⁵, 黄凌风², 金显仕⁴, 林茂⁶,
刘洋⁷, 邵宗泽^{6*}, 徐奎栋⁸, 王雨⁶, 张晓华⁹

(1. 天津科技大学 印度洋生态系统研究中心, 天津 300457; 2. 厦门大学 环境与生态学院 滨海湿地生态系统教育部重点实验室, 福建 厦门 361102; 3. 自然资源部第二海洋研究所 海洋生态系统与生物地球化学实验室, 浙江 杭州 310012; 4. 中国水产科学研究院黄海水产研究所 农业农村部海洋渔业可持续发展重点实验室, 山东 青岛 266071; 5. 天津师范大学 生命科学学院 天津市动植物抗性重点实验室, 天津 300387; 6. 自然资源部第三海洋研究所, 福建 厦门 361005; 7. 山东大学 海洋研究院, 山东 青岛 266237; 8. 中国科学院海洋研究所 海洋生物分类与系统演化实验室, 山东 青岛 266071; 9. 中国海洋大学 海洋生命学院, 山东 青岛 266003)

摘要: 随着中国“海洋强国”战略的提出, 加快建设海洋类学科的发展成为历史必然, 海洋生物是海洋不可分割的一部分, 海洋环境和生物相互依存, 相互作用, 海洋生物研究重要性日益凸显。为纪念中国科学家在海洋生物领域的突出贡献, 本文回顾了建国以来中国海洋生物相关的重要研究进展, 梳理了中国科学家在海洋生物领域的突出贡献, 系统总结并讨论了未来研究方向, 抛砖引玉, 希望藉此助推中国海洋生物研究的新高潮。

关键词: 海洋生物研究; 生物海洋学; 海洋微生物; 海洋浮游植物; 海藻; 海洋浮游动物; 海洋微型底栖生物; 海洋小型底栖生物; 海洋大型底栖生物; 海洋渔业; 海洋哺乳动物

中图分类号: Q178.53

文献标志码: A

文章编号: 0253-4193(2019)10-0081-18

1 引言

中国海洋生物的研究起步较晚, 建国前是以科学家的个人兴趣为主的启蒙阶段, 建国早期的研究多是在苏联科学家指导下的国家对生物和工业资源需求的应用研究阶段。1980 年以后, 以追赶国际海洋学研究主流为主线, 这个时期是中国海洋生物研究爆发式增长的阶段。2010 年以后, 随着国家科技体制改革的推进, 国家对海洋科考装置和科技攻关的巨额投入, 中国海洋生物开始进入国际并跑甚至领跑的阶段。本文按照时间主线, 对建国 70 年以来海洋生物

研究的发展进行简要回顾, 抛砖引玉, 希望藉此助推中国海洋生物研究的新发展。

2 中国生物海洋学研究的历史阶段

回顾建国 70 年来中国海洋生物相关研究可以归纳总结为以下几个阶段: 建国前的零星基础研究阶段、建国后学科的全面填补基础研究阶段、20 世纪 80 年代起的追踪国际主流和热点研究的跟跑阶段、以及 2010 年后快速发展阶段。

2.1 建国前零星兴趣研究的启蒙阶段(1920–1950 年)

中国早期的海洋生物学研究零星起源于各地的

收稿日期: 2019-09-07; 修订日期: 2019-09-14。

基金项目: 国家自然科学基金项目(41876134, 41876171); 中国大洋矿产资源研究开发协会专项项目(DY135-E2-5-03); 教育部长江学者特聘教授项目(T2014253)。

* 通信作者: 孙军(1972—), 男, 甘肃省华亭市人, 主要从事浮游植物生态学研究。E-mail: phytoplankton@163.com; 邵宗泽(1964—), 男, 主要从事海洋微生物研究。E-mail: shaozongze@tio.org.cn

注: 所有作者排名不分先后。

海洋生物学家的兴趣研究,研究以生物分类和地理分布为主,多为近岸或近海的工作。例如,1927年,中山大学生物系主任费鸿年组织海南岛沿海生物考察。1934年,中国科学社生物研究所(中国第一个生物研究机构)等6个单位组织海南生物科学采集团。从20世纪30年代初开始,国立北平研究院动物研究所先后对山东沿海的海洋动物进行多次调查^[1]。中国最早的海洋生物研究团体是1935年成立的太平洋科学协会海洋学组中国分会,该分会由中央研究院组织成立,在太平洋科学协会海洋学组的组织设置与工作安排下,1937年筹建成立了中国最早的海洋生物研究所——青岛海滨生物研究所,其后又分别成立了厦门大学海洋生物研究室、渤海海洋生物研究室、定海海洋生物实验室。开展了部分海洋生物特别是鱼类、原生生物、珊瑚和水产方面的基础生物学零星研究,后期由于抗日战争和内战爆发而中止^[2]。

2.2 建国后全面建设学科的填补阶段(1950–1990年)

建国后,在苏联科学家的帮助下,开启了中国生物海洋学研究的新篇章。1950年8月,中国科学院在青岛成立水生生物研究所海洋生物研究室,于1959年1月扩建为中国科学院海洋研究所。1952年,成立山东大学海洋系。1959年3月,建立山东海洋学院。随后,陆续建立了一批海洋科学研究机构。1964年建立了国家海洋局。到1983年,中国科学院、国家海洋局、教育部、地质矿产部、石油部、农牧渔业部、交通部和沿海省、市、自治区,建立各种海洋科研调查机构100多个。随着这些海洋机构的建立,开展了一系列的海洋调查。其中比较大的包括:渤海、北黄海西部海洋综合调查(1957–1958年),全国海洋综合调查(1958–1960年),南海中部、东北部综合调查(1974–1985年),全国海岸带和海涂资源综合调查(1980–1985年),全国海岛资源综合调查(1989–1993年),南沙群岛及其邻近海区综合科学调查(1988年至“九五”)。

以上一系列的海洋科学考察工作取得了3个方面的主要成绩:(1)海洋生物分类、区系的研究基本理清了中国近海各类动植物的种类、形态、生态、分布及资源情况,初步划分了中国海动植物区系。(2)海洋生态学研究方面,对中国各海域的浮游生物、底栖生物和游泳生物均开展了系统的研究,包括种群组成、生活习性、季节变化、分布和移动,以及与海洋环境的关系等。对生态系的概念也进行了探讨。(3)海洋实验生态学研究方面,经过30多年的努力,在主要经济海洋动植物的实验生态学研究方面有了显著的

进展,其中海带、紫菜和对虾,以及贝类、梭鱼、牙鲆等20多种鱼的实验生态学研究较有成效,成功地解决了苗种培育、育珠技术和人工养殖技术,获得了经济效益^[3]。

2.3 追踪国际主流和热点研究的跟跑阶段(1990–2010年)

1990年后到2010年是改革开放后中国经济快速发展的时期,海洋科学也借机蓬勃发展,这个时期中国海洋生物研究的主流就是紧跟国际潮流,围绕着海洋生态系统各种过程展开的。联合全球海洋通量研究(Joint Global Ocean Flux Study, JGOFS)是以美国为首、面向全球的,以海洋中碳作为链接物理海洋和生物海洋的“通用货币”,以生态系统模型和生态系统过程研究为具体途径,第一次在科学上将整个地球海洋和海洋学科作为一个综合性系统性学科联系起来。该计划制定了一系列围绕CO₂观测为主的研究方法,这些方法一直作为经典海洋学研究的基本方法和范例被广泛引用。同期青岛海洋大学在文圣常、冯士箬的带领下,率先开展了“九五”国家重大项目预研究“胶州湾生态动力学”,是中国最早的以海洋生态系统为核心研究项目。从20世纪90年代王荣、宁修仁、李永琪等,也纷纷将这些方法和相关的科学概念引入中国,中国的生物海洋学由此逐渐起步^[4–7]。

随后国际上于1995年启动了国际地圈生物圈计划(International Geosphere-Biosphere Programme, IGBP)的子计划——全球海洋生态系统动力学(Global Ocean Ecosystem Dynamics, GLOBEC),研究核心是物理化学过程和生物过程相互作用和耦合,涉及物理海洋、化学海洋、生物海洋和渔业海洋等多学科交叉与整合。中国科学家较早认识到海洋生态系统动力学的重要性,并成为首届国际GLOBEC科学指导委员会成员,直接参与了GLOBEC科学计划和实施计划发展与制定。中国国家自然科学基金委启动了苏纪兰、唐启升领衔的“九五”重大项目“渤海生态系统动力学与生物资源持续利用”^[8]。国家重点基础研究发展计划(“973”计划)启动为中国GLOBEC的发展提供了新的机遇和更加广阔的研究天地。1998年,中国GLOBEC被列为“973”计划培植项目进行了探索和研究,1999年获得正式立项,由唐启升、苏纪兰领衔,“973”计划项目“东、黄海生态系统动力学与生物资源可持续利用(1999–2004年)”和其后的“中国近海生态系统食物产出的关键过程及其可持续机理(2006–2010)”推动了中国海以海洋生态系统为主线的生物海洋学研究^[9–10]。“973”计划持续支持海洋生态系统动力学研究,先后有8个项目得到实施,不仅使中国

在国际海洋科学前沿新领域占居了显要的一席之地,同时,也面向国家重大需求取得了一系列重大创新成果。在“973”计划的持续支持下,在较短的时间里使海洋生态系统动力学研究在中国实现了跨越式发展。迄今,GLOBEC仍是海洋-全球变化国际前沿领域之一,是国际科学理事会(International Council for Science, ICSU)等多个国际科学组织新组建的“未来地球计划”的内容。中国GLOBEC研究正在从近海走向深远海,其中极地海洋生态系统动力学与全球变化成为新的关注点。

生物及有机碳的生产、转化和沉积过程是海洋学的中心问题。其中的浮游植物初级生产力的测定,更是核心问题。中国的海洋初级生产力研究思想是启萌于20世纪50年代末^[11],彭作圣等开始进行初级生产力研究,标志着中国初级生产力研究的开始^[12],但由于各种原因,此项研究被迫中断。1981年的“西太平洋海洋生物学方法研讨会”和1982年的“中国生态学海洋生态专业委员会”的召开推动了中国海洋初级生产力的研究^[13]。此后,中国各海区的海洋初级生产力研究迅速发展起来。费尊乐等关于SeaWiFS计划和遥感海洋初级生产力的介绍为今后开展海洋初级生产力遥感的提供了依据^[14]。20世纪90年代初,焦念志等划分了初级生产力结构,同时利用¹⁵N示踪-离子质谱法监测海洋新生产力,为中国海洋初级生产力的研究提供了新的思路与方向^[15-17]。其后,关于浮游植物比生长率测定和初级生产力估算的数学模型也建立起来^[18],同时,微型和超微型浮游植物对光合生产的重要贡献得到了肯定^[19]。海洋生物有机碳的赋存形式同样是较为重要生物海洋学研究命题,为适应欧洲北海生态学模型(Euroean Regional Sea Ecosystem Model, ERSEM)中浮游植物功能群的研究,孙军等对胶州湾浮游植物进行了细胞体积转换生物量的初步研究^[20],并进一步推出基于世界常见860多个属几乎所有浮游植物在内的细胞体积计算模型^[21],这些为深入研究海洋生态系统碳库之间的转换过程提供了计量参考。有机碳的摄食转化及次级生产力的测算也是生物海洋学中非常重要的部分,国内关于中型浮游动物^[22, 23]和微型浮游动物^[24]对浮游植物的摄食行为和对初级生产力摄食压力,以及浮游动物的级联摄食效应工作仍显不够,而对于海洋生物的垂直迁移和死亡沉降过程^[25, 26]的研究就更为稀少。

2.4 热点研究的快速发展阶段(2010年至今)

2010年前后,中国科学家在海洋分子生物学领域做出了一些令人瞩目的成果。例如,焦念志研究团队

在十几年系统研究基础上提出了基于微型生物生态过程的“微型生物碳泵”(Microbial Carbon Pump, MCP)理论^[27-28],指出海洋中的微型生物是惰性溶解有机碳(Inertia Dissolved Organic Carbon, RDOC)的主要贡献者,使得RDOC进入水体长期积累,构成了海洋水柱储碳。张锐等人通过分析病毒释放到海洋环境后面临的各种生物(如原生动物、胞外酶)、化学(如紫外线辐射)和物理(如水团运动)因素,明确了影响病毒颗粒的主要过程和机制,这些过程在时间尺度和空间尺度上的差异,决定了病毒元素对特定海区生物地球化学循环的贡献^[29]。董云伟团队在气候变化的背景下探究潮间带生物的行为、生理以及进化适应,系统探究了海洋软体动物蛋白质温度适应机制,人工海堤对中国沿岸潮间带生物群落的影响,评估了人类活动在中国沿岸潮间带生物群落的生态效应^[30-32]。林强团队首次完成海马全基因组分析的基础上,揭示了海马在海洋近岸和岛礁栖息过程中的长期适应性进化特征^[33]。王风平团队揭示了一类新的深海古菌,这是深部生物圈最重要的发现之一,多年来的研究表明,深海古菌产生甲烷、厌氧,并能在高盐、高温的极端条件下生长,这些古菌有可能是地球上最古老的生命,将丰富我们对生命极限和起源的认识和理解^[28]。以前普遍认为只有浮游微藻、大型藻类等真核生物才能合成二甲基磺基丙酯(Dimethylsulfoniopropionate, DMSP),而Todd博士和张晓华教授的合作研究发现分离自中国东海水体的团聚拉布伦茨氏菌(*Labrenzia aggregata*)及其他多种海洋细菌也可以合成DMSP,这是首次发现海洋异养细菌可以合成DMSP^[34]。对海洋石油降解菌代谢机制认识获得突破性进展,相关研究成果获评2014年中国十大海洋科技进展之一。

3 中国生物海洋学各分支学科研究概况

由于生物海洋学具有明显的海洋生物多样性特色,因此,我们以下就各个重要海洋生物类群的国内生物海洋学进展进行简要介绍。

3.1 海洋微生物

海洋中的微生物一般以单细胞形式存在,包括病毒、古菌、细菌、真菌、单细胞藻类及原生动物等,但通常为研究方便又将海洋中自养生物微藻和原生动物分别列入浮游植物和微型浮游动物,将剩下的类群加上病毒和真菌都归入海洋微生物,它们广泛而大量存在,种类和数量繁多,具有独特的生态功能。由于

微生物个体微小,不易观察,因此,海洋微生物的研究要远远晚于其他海洋生物类群的研究。

中国海洋微生物学的研究开创于 20 世纪 60 年代前后,薛廷耀教授是中国海洋微生物学的最早开拓者,他 1956 年先在中国科学院海洋生物研究室(中国科学院海洋研究所前身)建立起海洋微生物研究室并兼任室主任,最早研究的是硫杆菌及海洋小球菌^[35-36],其中的研究人员有孙国玉^[37-38]、丁美丽及陈騫,他们后来在拓展中国的海洋微生物学研究和人才培养方面都做了大量工作。其后 1958 年薛廷耀又在山东海洋学院(中国海洋大学前身)建立了微生物实验室并主持教学和科研工作,最先研究的是海洋发光细菌和铁细菌^[39],当时的助教人员为纪伟尚和徐怀恕。薛廷耀于 1962 年编译出版的《海洋细菌学》,是中国最早的一本系统阐述海洋微生物基础知识的论著^[40],他还在“东方红”号调查船上建立了海洋微生物调查实验室,为微生物的资源开发创造了条件。

文革期间海洋微生物学研究工作基本停滞。1970 年代中期后 10 年左右的时间,国内微生物学家着重开展了环保及与养殖病害有关的研究工作。1979 年起,陈騫开展了海带栽培区在异养菌特别是褐藻酸降解菌的一系列研究^[41]。1979 年丁美丽等在国内首次报道有关石油烃降解菌生态研究结果,从胶州湾分离出 300 余株具有分解石油烃能力的微生物^[42]。1983 年,沈世泽等在青岛近海发现有还原菌存在^[43]。1983 年,王文兴等从青岛太平角及即墨沿海养殖场水样及泥样中分离出弧菌属、假单胞杆菌属、不动杆菌属、棒状杆菌属、微球菌等属的细菌,还从对虾体内分离出一批菌株^[44]。值得一提的是,此间孙国玉等积极倡议海洋微生物的相关基础研究及各种标准方法的推广和建立,这些是此后开展中国微生物海洋学工作的基础^[37-38, 45-46]。徐怀恕和美国马里兰大学的著名海洋微生物学家 R. R. Colwell 教授一起在世界上首次提出了“细菌的活的非可培养状态(Viable But Nonculturable State, VBNC)”理论,在国际上引起了很大的反响并负有盛名^[47]。归国后,徐怀恕教授对开拓、发展中国海洋微生物学的研究作出了重要贡献,对海洋细菌腐蚀与附着的机理^[48]、VBNC 状态细菌的检测、海水养殖动物细菌性病害的诊断与免疫、有益菌的开发与利用等方面进行了大量开拓性研究^[49-54]。

进入 2000 年以后,中国海洋微生物学科呈现井喷式的发展,这期间有大量的关于海洋微生物多样性^[55-59]、资源^[60-63]、环境^[64-67]以及新技术方法^[68-73]的

研究。徐洵于 1991 年创立了我国第一个海洋分子生物学实验室,在国内率先开展了海洋病毒的研究。1997 年第一个海洋病毒(对虾白斑杆状病毒)的分离与基因组测序分析获得中国十大科技进展之一。在此基础上,建立我国第一个深海微生物实验室,标志着我国海洋微生物研究由近海扩展到深海。2005 年,建立了国内第一个海洋微生物菌种保藏中心,目前保藏海洋、极地来源的各类微生物菌种 23 000 余株,是世界菌种保藏联盟(World Federation for Culture Collections, WFCC)内海洋微生物菌种保藏量最多的菌种保藏机构(www.mccc.org.cn)。我国已经成为海洋微生物分类鉴定与系统进化的主要贡献国之一。海洋微生物菌种库建设成果入选 2017 年中国十大重大工程进展(《科技导报》)。

3.2 浮游植物

海洋浮游植物是营浮游生活的自养型海洋生物统称,这类生物绝大多数是单细胞藻类和少数的大型海藻,作为海洋生态系统中最主要的初级生产者,通过光合作用转化为有机物,是绝大多数海洋生态系统食物链和能量流动的基础。他们是海洋中生物量最大的类群,数量巨大,直接或间接地影响着局部或全球的生物地球化学过程。

中国最早的海洋浮游植物研究是以分类学为核心的,20 世纪 30 年代王家楫和倪达书^[74]进行的厦门海域浮游甲藻研究开始。此后金德祥也在青岛开展了硅藻的分类工作^[75],这些工作是零星和个人兴趣使然。

建国后百废待兴,1950-1959 年,中国多个海洋研究机构逐步建立,此间中国还只有少数的浮游植物工作者,他们中代表性的人物是朱树屏、郭玉洁、金德祥、李冠国等,工作多集中于分类和生态学方面。李冠国于 1951 年在山东青岛胶州湾口进行了 2 d 的与水文环境一起开展的浮游植物分类和定量分析工作,这是中国有记录最早的浮游植物生物海洋学工作^[76]。金德祥于 1951 年在厦门附近对福建省近海的海洋浮游植物分类做了较早的工作^[77],并于 1954 年对厦门海洋浮游生物进行了定量调查,特别是浮游硅藻方面^[78]。同时中国的海洋学研究在建国初期受到苏联科学家的影响较大,相关的研究方法多从苏联引进^[79-81]。1957 年,中国科研机构开始了渤海及北黄海的浮游植物调查^[82-83]。1958 年起,随着全国海洋综合调查的开展,比较全面的海洋浮游植物分类开始进行,浮游植物调查的范围扩大到南黄海和东海。1959 年扩大至南海。截止到 1960 年,各个海域已经

鉴定出浮游硅藻分别为:渤海81种、黄海104种、东海127种和南海91种^[11]。随着全国海洋普查(1958–1962年)开始有大批的浮游植物分类学工作出现,其后又进行了海岸带、滩涂调查(1981–1986年)、海岛资源调查(1990–1992年)、“908”专项(2004–2009年)^[84],系统地采集了大量的浮游植物标本,为中国海洋浮游植物分类学和海洋学研究奠定了基础。

3.3 浮游动物

海洋浮游动物的研究对象为营浮游生活的海洋多细胞动物^[85],其科学记录始于达尔文时代,林奈的《自然系统》第十版(1758)就有浮游动物的记述。中国海洋浮游动物的科学记录始于19世纪下半叶,主要是外国的科研调查船经中国时,对中国海的浮游动物做了分类描述。

中国学者对海洋浮游动物的分类研究始于20世纪30年代,至50年代末,厦门和山东的高校和研究所已在中国沿海开展了浮游生物的调查和分类研究。20世纪50年代末以来,随着全国海洋综合调查(1958–1960年),中国海岸带和海涂资源综合调查(1980–1986年),全国海岛资源综合调查(1990–1994年),中国大陆架及邻近海域综合调查(1997–2000年),中国近海海洋综合调查与评价(2004–2012年)等全国性海洋综合调查和相关区域海洋调查的实施,中国海洋浮游动物的分类和种类多样性研究得以迅速发展。《中国海洋浮游桡足类(上卷)》^[86]、《中国海洋浮游桡足类(中卷)》^[87]、《中国海洋浮游介形类》^[88]、《中国动物志.无脊椎动物.第二十七卷.刺胞动物门,水螅虫纲,管水母亚纲,钵水母纲》^[89]、《中国动物志.无脊椎动物,毛颚动物门,箭虫纲》^[90]、《中国海洋浮游管水母类》^[91]、《中国刺胞动物门水螅虫总纲(上、下册)》^[92]、《中国海洋浮游浮桡足类多样性(上、下册)》^[93]等分类学门类专著陆续出版。《海洋浮游生物学》^[94]、《海洋枝角类生物学》^[95]、《海洋桡足类生物学》^[96]、《中国动物志.无脊椎动物.第二十一卷.软甲纲,糠虾目》^[97]、《中国动物志.无脊椎动物.第二十八卷.节肢动物门,甲壳动物亚门,端足目(虫戎)亚目》^[98]、《海洋磷虾类生物学》^[99]等也论述了海洋浮游动物的分类和多样性。中科院海洋所的《海洋科学集刊》和中科院南海所的《南沙群岛及邻近海区海洋生物研究论文集》也发表许多海洋浮游动物分类系列论文。近年来出版的《中国海洋物种多样性(上、下册)》^[100]将中国以往已记录和新发现及新记录的海洋浮游动物种类编目于书中。

70多年来,经中国几代海洋浮游动物研究学者(其中许多专家终其一生从事海洋浮游动物的分类和多样性研究)共同努力,中国海洋浮游动物的分类和种类多样性研究已构建了几乎包括所有浮游动物类别(水母类、栉板动物类(栉水母类)、异足类、翼足类、枝角类、介形类、桡足类、糠虾类、端足类、磷虾类、十足类、毛颚类和被囊类)的研究体系,步入了世界前列。至2011年,中国已记录浮游动物1852种^[101],尔后,在水母类、介形类和桡足类又记述61种浮游动物(新种和新记种)^[92, 93, 102–106],使得我们可以回答目前中国有多少海洋浮游动物物种的科学问题:迄今中国已知海洋浮游动物物种约1911种,约占全球已知海洋浮游动物物种(约7000种)^[85]的27%。以上研究为认识和了解中国海洋浮游动物的分布、生态类群和区系特点奠定了坚实的基础,也为相关学科的发展提供了不可或缺的支持。

3.4 微型底栖生物

海洋微型底栖生物是指生活于海洋沉积物中及表面的所有单细胞原核和真核微生物,包括底栖原核微生物、真核微藻及原生动物等光合自养和异养的类群。与水体相比,海洋底栖生境孕育了形态和功能多样性更高、数量更多的微生物,在海洋底栖生态系统的结构和功能中起着重要作用。而深海则孕育着特殊进化环境下新奇多样且数量庞大的微型底栖生物。

中国海洋微型底栖生物研究始于1958–1960年的海洋综合调查,但早期基本限于单个类群种类组成和数量分布研究。自1980–2010年,开启了海洋底栖微藻、底栖有孔虫的物种多样性研究。金德祥等发表的《中国海洋底栖硅藻类》(上、下卷)涉及中国海洋以潮间带为主的底栖硅藻分类学研究^[107–108]。进入21世纪,随着对赤潮的关注,沉积物甲藻包囊的研究也逐步在黄海、东海、长江口及南海近岸海域开展。在现生有孔虫方面,胶结有孔虫动物志记述了中国海域底栖有孔虫的物种多样性^[109]。对于纤毛虫则主要涉及固–液界面的周丛生类群^[110]。

对于海洋微型底栖生物多样性和生态学研究则基本始于本世纪初,针对制约海洋底栖原生动物等微型底栖生物研究的技术障碍,探索了定量与定性研究新方法。解决了将此类个体微小且脆弱的生物从泥沙中提取出来进行定量和定性分析的难题,提出了海洋纤毛虫微型底栖生物的定量提取与定性分析方法^[111],据此制定了中国《海洋微型底栖生物调查规范》(HY/T 140-2011)海洋行业标准^[112]。2017年,在中国

多家主要涉海单位参与下,中华人民共和国国家标准《海洋沉积物间隙生物调查规范》(GB/T 34656-2017)发布实施^[113]。标准的制定和实施,推动了中国从潮间带到深海的微型底栖生物多样性和生态学研究。近年来,随着分子生态学技术手段的应用,极大地推动了对微型底栖生物群落结构和多样性的认识。通过高通量测序,发现近海底栖真核微生物群落相似性随水深递减的特点^[114]。研究范围从近海拓展到深远海,揭示了从近海到深海热液、海山、深海平原的底栖纤毛虫群落的分布模式及驱动因子^[115],研究的广度和深度上不断拓展和深入。

整体来看,中国海洋微型底栖生物的研究侧重于物种多样性及群落结构,而有关生境多样性的研究相对较少,较为显著的进展体现在原核微生物的分子多样性及底栖真核微藻的物种多样性研究,对于海洋底栖原生动物的多样性研究则因采样、提取及分类鉴定等诸多限制相较滞后。分类研究欠缺和采样不足是当前微型生物多样性和地理分布研究争议的主要问题。随着不依赖于培养的分子技术的广泛应用,有望进一步廓清海洋微型底栖生物的多样性与地理分布、相互作用关系及其在不同生态系统微生物组中的贡献。

3.5 小型底栖生物

小型底栖生物又称小型底栖动物,是指分选时能通过 500 μm (早期为 1 mm) 孔径网筛而被 42 μm 或 31 μm 孔径网筛所阻留的后生动物^[116-117]。小型底栖生物至少包含了 22 个门的动物,其中线虫和底栖桡足类是两大主要类群。近海的小型底栖生物生物量一般不超过大型底栖生物的 20%,但其生产量超过或与大型动物相当,并随着水深的增大其相对生物量和生态重要性加大,在底栖生态系统物质循环和能流中起着重要作用。

小型底栖生物研究可追溯到 19 世纪中叶,但是较系统的研究始于 20 世纪初^[118]。小型底栖生物研究历史可以分为发现和鉴定的早期研究阶段、系统分类快速发展和群落定性描述阶段、实验生态学和生物海洋学研究阶段,以及全球变化和深远海研究新阶段^[116-117, 119]。中国海洋小型底栖生物的研究始于自 20 世纪 80 年代中美“长江口及邻近水域海洋沉积作用”和“黄河口海域沉积动力学”联合研究^[120-121],在张志南教授的带领下,海洋小型底栖生物研究取得了快速的发展^[119]。随着中国走向深海的战略发展,小型底栖生物研究已经逐步从中国近海扩展到深海,主要涉及小型底栖生物群落结构和线虫多样性。

中国海域具有十分丰富的小型底栖生物多样性,但分类学研究主要涉及线虫、底栖桡足类和海螵,迄今建立线虫新属 7 个,发表新种 120 余种,且每年都有海洋线虫新种发现和描述^[122-123]。对海洋底栖桡足类分类研究较少;对海螵的分类研究主要源自国外学者的报道。中国海域的小型底栖生物丰度和生物量高,在分布上总体表现为“北高南低,近岸高外海低”的特点,在一些水文条件独特的局部海域(如黄海冷水团和长江口邻近海域),小型底栖生物的分布具有某些特性^[124]。总体上,中国小型底栖生物生态学研究已有相当的基础,取得了潮间带和近海陆架海域的生态学基础数据,涉及小型底栖生物类群组成、丰度、生物量、空间分布及其与环境因子的关系等,并关注小型底栖生物与海洋环境间的相互作用关系。

3.6 大型底栖海藻

大型底栖海藻是生活在底栖环境或固着基质上的丝状体、膜状体、管状体或叶状体且无真正根、茎、叶分化的孢子植物。中国大型底栖海藻研究可分为如下 3 个阶段:国外学者的启萌研究阶段(1809-1916 年)、国内外学者的早期研究阶段(1920-1949 年)和国内学者的赶超研究阶段(1949 年-至今)。

中国底栖海藻的分类研究最早是由国外学者兴起的,英国藻类学家 Dawson Turner 于 1806 年最早报道了中国福建和浙江生长的鹿角海萝 *Gloiopeltis tenax* (Turn.) Decaisne(原报道名 *Fucus tenax*)^[125],这距离林奈 1753 年创立动植物“双名命名法”仅隔 53 年。此后,他还于 1808 年报道了在中国与朝鲜之间水域中采到的海蒿子 *Sargassum confusum* C. Agardh(原报道名 *Fucus microceratium* Mert.)。其后,外国还有一些学者如 C. Agardh (1820 年), C. Montagne (1842 年), J. Agardh (1848 年, 1889 年), R. K. Greville (1849 年), G. V. Martens (1866 年), T. Debeaux (1875 年), B. S. Gepp (1904 年), A. D. Cotton (1915 年), A. Grunow (1915 年, 1916 年)先后报道了中国的大型海藻。

中国最早采集海藻标本的学者是厦门大学钟心焯教授,20 世纪 20 年代初期他在福建各地开始采集海藻标本,但他未做相关的研究,仅限于采集标本和赠送标本给国外专家研究。

在国内学者中,最早开展中国底栖海藻分类研究的是曾呈奎。他于 1933 年初发表了第一篇大型海藻的论文^[126]。同年,南京金陵大学焦启源也发表了一篇厦门底栖海藻研究的论文。第 3 个采集和研究中国底栖海藻的中国人是李良庆教授,他与曾呈奎于 1935 年共同发表了“青岛和烟台海藻之研究”^[127]。

后面两位学者此后相继改行做了其他领域的研究工作。到了20世纪40年代后期,曾呈奎回国在青岛的国立山东大学与张峻甫和郑柏林等助手继续共同从事中国底栖海藻分类研究,而周贞英也回国在华南女子文理学院从事海藻研究。

在此期间,国外也有一些学者根据早期的标本材料,相继报道了中国的大型海藻,如M. A. Howe (1924年,1934年)、W. A. Setchell (1931年,1933年,1935年,1936年)、V. M. Grubb (1932年)和有贺宽三 (1919年)、山田幸男 (1925年,1942年,1950年)、冈村金太郎 (1931年,1936年)等。

解放后,是中国大型海藻分类研究蓬勃发展与壮大的时期,除了曾呈奎和周贞英先生外,先后有三代年轻学者投入到中国大型海藻的分类学研究中。第1代主要为张峻甫、郑柏林和张德瑞等,第2代为陆保仁、夏邦美、董美龄、郑宝福、周锦华、华茂生、栾日孝、刘剑华、陈灼华、李伟新等,第3代为丁兰平、王宏伟、黄冰心、郑怡和孙忠民等。

主要研究成果包括:(1)系统性地开展了中国大型海藻野外资源调查与分类研究,发表学术论文100余篇,发现新物种200余个,著作10余部^[128-129],基本厘清了大型海藻物种多样性的基线数据,共计4门48目119科407属1660余种^[130-133];(2)完成了中国“三志”(《中国动物志》、《中国植物志》、《中国孢子植物志》)中《中国孢子植物志》的《中国海藻志》大型海藻的11个卷册^[134-137]以及《中国黄渤海海藻》^[138]等编研任务并陆续出版,标志着中国大型海藻分类研究整体达到了世界水平;(3)划分了中国海藻为2区系组2区3亚区4小区的区系结构^[139],开创了大型海藻区系研究先河,取得了具有国际影响的成绩。

3.7 大型底栖动物

海洋大型底栖动物是指栖息于海洋或内陆水域底内或底表的形体大于500 μm动物,大型底栖动物通常是指能被0.5 mm孔径网筛截留的底栖动物,其主要类群包括刺胞动物、多毛类环节动物、软体动物、甲壳动物及棘皮动物,此外还包括常见的海绵、苔藓虫、星虫、蠕虫、纽虫和底栖鱼类等。

中国底栖生物研究起步与国外相比较晚,经过数十年的发展,已取得许多研究进展和成果^[140-142]。中国的大型底栖生物研究从1935-1936年首次“胶州湾海产动物采集团”的海洋生物调查开始,先后发表4期采集报告及食用软体动物报告^[143-146]。中国海洋底栖生态学的研究起步较晚,是以1956年中苏黄海、

东海和海南岛潮间带生态学开始的,俄罗斯学者和中国底栖生态学奠基人刘瑞玉等对黄海潮间带的大型底栖生物进行了研究^[147-148]。1957年,中国第一艘海洋综合调查船“金星号”开始服役,展开了全国海洋多学科的综合调查,即全国近海海洋综合调查(1958-1960年)^[149]。

此后,中国开展了以调查底栖生物多样性和分类的本底资料性工作,这其中比较重要的有中越北部湾海洋综合调查研究(1959-1960年,1962年)、东海大陆架调查(1978-1979年)、中国海岸带和海涂资源综合调查(1980-1986年)、中国海岛资源综合调查(1990-1994年)、中韩黄海及其附近水域的调查、“126大陆架”专项调查(1997-2000年)、东海和黄海生态系统动力学与生物资源可持续利用(1999-2004年)、中国近海海洋综合调查与评价专项(即“908”专项调查,2004-2009年)等。中国在这一阶段的研究主要是对各海区大型底栖动物区系的特点有了基本了解。这期间比较代表性的成果包括:对渤海^[150-155]、黄海^[156-159]、长江口^[160-161]、福建和浙江沿海^[162]、南海^[163-165]等地的底栖生物资源的调查,并研究了影响海洋底栖生物分布的生态因子,为进一步研究底栖生态系统的结构和功能提供了重要参考。

3.8 渔业海洋学

渔业资源是一种可再生资源,包括群体资源、遗传资源、产物资源三类资源。渔业资源通常指水生生物资源中的群体资源,是发展渔业的物质基础,也是人类食物的重要来源之一,因此以渔业资源为核心研究内容的渔业海洋学是生物海洋学最悠久也最重要的一个分支学科。

早在中国明代,屠本峻的《闽中海错疏》记录了福建省200余种海产生物情况。20世纪50年代起,一系列的渔业资源调查相继展开,奠定了渔业学科发展的基础,同时取得了一系列重要科研成果。中国渔业的发展历程可大致归纳为原始渔业、古代渔业、近代渔业和现代渔业^[166-168]。远至上百万年的原始社会,原始人类利用各种自制工具捕鱼自食;近至几百年的唐宋元明清时期,人类对于渔业资源的认识逐步有了改观,改良捕鱼工具与技术等,不仅渔业经济繁荣昌盛,还形成了以“渔”为题材的各种文化形式。1905年,张謇集资购买中国渔业史上第一艘蒸汽机动力渔轮“福海”,标志着中国渔业迈入了新的发展阶段。1910-1912年,分别在天津和上海成立水产讲习所和江苏省水产学校。此后,各地的水产职业学校相继建立^[169]。

1950—1952年渔业产量创历史新高。产量从91.1万t增至166.7万t。此后,人口快速增长与市场需要不断增加,使中国渔业资源受到了重大挑战。1995年起,中国渔业部门相继制定各项管理制度,局势有所缓和,但不足以解决渔业资源所面临的重大问题。为此,2006年国务院颁布《中国水生生物资源养护行动纲要》、2013年国务院印发《关于促进海洋渔业持续健康发展的若干意见》、2017年农业部发布《全国渔业发展第十三个五年规划》要求人类必须“尊重自然、顺应自然、保护自然”。

20世纪80年代以前,鲐、大黄鱼、小黄鱼、带鱼、鲷类等重要渔业种群作为中国渔业海洋学研究的主要对象。“七五”时期,相继开展渔业生物学、渔业资源与生态环境关系的研究^[170-171]。“八五”时期,中国各大近海研究项目逐步开展^[172-173]。此后,中国科技部组织的一系列“973”项目开始实施。推动了中国海洋生态系统动力学研究进程^[174]。21世纪前后,中国在渔业科学研究领域也取得了一系列重要成果^[170, 172, 175-176]。另外仍有一些关于近海渔业种群结构与环境因子关系的相关研究^[177-180]。

从新中国成立至今,中国渔业资源正在逐步形成具有中国特色的海洋资源,绿色低碳、环境友好和可持续发展是中国渔业资源未来关注的重点。多学科交叉与综合性研究将成为未来研究渔业资源的手段^[181]。

3.9 海洋哺乳动物

海洋哺乳动物是哺乳类中适于海栖环境的特殊类群,通常被人们称为海兽,中国现有各种海兽39种。都是从陆上返回海洋的,属于次水生生物,游泳生物。

中国对海洋哺乳动物的记载很早,明代李时珍《本草纲目》和清代蒋廷锡《古今图书集成》中就有描述。中国学者正式发表海兽研究的论文见于1925年秉志对江豚骨骼系统的研究^[182],寿振黄等编写的《中国经济动物志·兽类》(1962)列出了中国海洋哺乳动物的系统纲目^[183]。60年代以来又有不少新发现,到1978年止,中国已知有30余种鲸类(包括海豚)、4种鳍脚类和1种海牛类动物。研究内容也由分类描述发展到形态解剖、生态、生理和保护等方面^[184-186]。

4 现状与展望

目前总体来说中国的海洋生物研究经过建国70年以来的发展已经呈现百花齐放的繁景,经过几代人的不懈努力,我们充分认识了中国近海主要生物

的分布、重要的生态过程和相关的资源开发与环境保护,也为相关学科的发展提供了重要支撑,但是总体来说与国际主流科研群体还有一定的差距,部分领域应该说甚至还存在代差。主要体现在如下方面:

4.1 海洋生物多样性研究薄弱

海洋生物多样性是生物海洋学的特色,中国海洋生物多样性学科还与世界整体水平存在差距。中国近海面积占世界总体面积的1/10,在海洋生物分类和多样性方面的研究重视和科研投入程度不够,在海洋生物标本、数据库和标准方面的工作还亟待提高。由于学术考评体制及相关原因,目前中国在第一线从事海洋生物分类和种类多样性基础研究的人材缺乏,如何持续保持学科优势是我们正遇到的最大挑战。

4.2 生物海洋学基础调查和技术规程建设不足

尽管中国建国后组织过几次大的海洋调查专项,如1958年全国海洋普查、海岛调查、“908”专项调查,但是与国外140多年的调查历史相比,在海域范围、频度和精度方面还远远不够。另外一个现在在中国生物海洋学发展的主要因素就是调查规范的通用性不足,关键原因是基础学科和方法的落后,没有国际话语权,没有采纳国际通用或标准方法。对方法、标准、规范、规程的建立,没有经过严格的同行评议、实践检验和同行互校。

4.3 海洋生物的应用开发不足

建国以来,中国的海洋生物研究多以基础理论研究为主,尽管在论文发表的数量和质量上有了长足进步,但是在相关的环境和资源应用方面还存在不小差距。在自然渔业资源和海水养殖及相关海洋牧场及渔业资源养护方面,中国在世界上处于举足轻重的地位,但对高值资源生物的开发还很欠缺;在深远海开发方兴未艾的同时,中国在近海环境和极地与公海经济区资源评估和保护方面还存在巨大差距,特别是对中国社会政治经济更为重要的近海资源与环境存在很多空缺和巨大问题。以上问题的解决,需要中国海洋生物研究的加倍努力。

4.4 海洋生物交叉学科亟待发展

基于海洋生物在海洋系统中的重要性,海洋生物与许多相关学科存在交叉甚至新的学科增长点,例如:渔业海洋学(资源生物)、生物地球化学(生源要素循环)、环境海洋学(水华和生态灾害)、全球变化海洋学(升温及酸化相关环境生物学)、古海洋学(古生物沉积生物)、进化生物学(生命起源于海洋和深海)、地球系统科学(海洋生物参与多圈层)等等,这些学科需要海洋生物的深度参与。

相对于海洋生物个体,海洋作为一个巨大的背景提供了物理、基质和化学的环境场,主要的各种环境过程,圈层互作-海流-波浪潮-扰动-海水化学组成,时时刻刻在控制和影响着海洋生物的个体生理、生态过程,也在生物的种群、群落、区系、生态系统、景观等各个不同层面影响着海洋生物的种类、分布、生态过程及环境资源应用。反过来,海洋生物尽管个体

微小,通过对这些环境感知、适应、改造的一系列互作过程中,成为海洋中不可或缺的组成,穿插于海洋的各个圈层,以滴水石穿的方式极大地改变着海洋。挑战和机遇并存,以上问题的提出也为中国海洋生物研究今后发展指明了方向。继往开来,发展海洋生物研究是未来中国海洋科学的重要任务。

参考文献:

- [1] 薛攀皋. 中国科学社生物研究所——中国最早的生物学研究机构[J]. 中国科技史料, 1992, 13(2): 47-57.
Xue Pangao. The first biological research institute in China[J]. China Historical Materials of Science and Technology, 1992, 13(2): 47-57.
- [2] 郭金海. 1935年太平洋科学协会海洋学组中国分会的成立与影响[J]. 中国科技史杂志, 2017, 38(3): 266-293.
Guo Jinhai. The establishment of the China branch of the international committee on oceanography of the Pacific science association in 1935 and its influence[J]. The Chinese Journal for the History of Science and Technology, 2017, 38(3): 266-293.
- [3] 司徒尚纪. 中国南海海洋文化[M]. 广州: 中山大学出版社, 2009.
Situ Shangji. Marine Culture in the South China Sea[M]. Guangzhou: Sun Yat-sen University Press, 2009.
- [4] 李永祺, 吴宝铃. 生物海洋学的研究状况[J]. 黄渤海海洋, 1991, 9(4): 45-50.
Li Yongqi, Wu Baoling. The state of research in biological oceanography[J]. Journal of Oceanography of Huanghai & Bohai Seas, 1991, 9(4): 45-50.
- [5] 王荣. 发展生物海洋学研究[J]. 海洋科学, 1991, (5): 17-21.
Wang Rong. Developing research in biological oceanography[J]. Marine Sciences, 1991, (5): 17-21.
- [6] 王荣. 生物海洋学[J]. 地球科学进展, 1993, 8(4): 70-71.
Wang Rong. Biological oceanography[J]. Advances in Earth Science, 1993, 8(4): 70-71.
- [7] 宁修仁. 微型生物食物环[J]. 东海海洋, 1997(1): 67-69.
Ning Xiuren. Microbial loop[J]. Donghai Marine Science, 1997(1): 67-69.
- [8] 唐启升, 范元炳, 林海. 中国海洋生态系统动力学研究发展战略初探[J]. 地球科学进展, 1996, 11(2): 160-168.
Tang Qisheng, Fan Yuanbing, Lin Hai. Initial inquiring into the developmental strategy of Chinese ocean ecosystem dynamics research[J]. Advances in Earth Science, 1996, 11(2): 160-168.
- [9] 唐启升, 苏纪兰, 孙松, 等. 中国近海生态系统动力学研究进展[J]. 地球科学进展, 2005, 20(12): 1288-1299.
Tang Qisheng, Su Jilan, Sun Song, et al. A study of marine ecosystem dynamics in the coastal ocean of China[J]. Advances in Earth Science, 2005, 20(12): 1288-1299.
- [10] 唐启升, 苏纪兰, 张经. 我国近海生态系统食物产出的关键过程及其可持续机理[J]. 地球科学进展, 2005, 20(12): 1280-1287.
Tang Qisheng, Su Jilan, Zhang Jing. Key processes and sustainable mechanisms of ecosystem food production in the coastal ocean of China[J]. Advances in Earth Science, 2005, 20(12): 1280-1287.
- [11] 朱樹屏, 郭玉洁. 十年来我国海洋浮游植物的研究[J]. 海洋与湖沼, 1959, 2(4): 223-229.
Chu S P, Kuo Y C. A decade of marine phytoplankton research in China[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 1959, 2(4): 223-229.
- [12] 彭作圣, 李丕廉, 费修媛. C¹⁴安瓿的封装技术[J]. 海洋与湖沼, 1964, 6(4): 433, 436.
Peng Zuosheng, Li Pilian, Fei Xiugeng. C¹⁴ ampoule packaging technology[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 1964, 6(4): 433, 436.
- [13] 宁修仁. 西太平洋初级生产力和对国内研究工作的几点建议[J]. 东海海洋, 1984, 2(3): 78-83, 72.
Ning Xiuren. Density segment method and uses of Landsat digital images[J]. Donghai Marine Science, 1984, 2(3): 78-83, 72.
- [14] 费尊乐, Trees C C, 李武. 西威佛斯海洋水色研究计划概述[J]. 黄渤海海洋, 1994, 12(4): 51-60.
Fei Zunle, Trees C C, Li Wu. An outline of the seaWiFS project[J]. Journal of Oceanography of Huanghai & Bohai Seas, 1994, 12(4): 51-60.
- [15] 焦念志, 王荣. 新生产力——一个新的海洋学研究领域[J]. 海洋与湖沼, 1993, 24(2): 205-211.
Jiao Nianzhi, Wang Rong. New production——a new research area of oceanography[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 1993, 24(2): 205-211.
- [16] 焦念志, 王荣. 海洋初级生产力的结构[J]. 海洋与湖沼, 1993, 24(4): 340-344.
Jiao Nianzhi, Wang Rong. The structure of marine primary productivity[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 1993, 24(4): 340-344.
- [17] 焦念志, 王荣, 黄庆文. ¹⁵N示踪-离子质谱法测定新生产力的研究[J]. 海洋与湖沼, 1993, 24(1): 65-71.
Jiao Nianzhi, Wang Rong, Huang Qingwen. Measurement of new production by ¹⁵N traceion mass spectrometry method[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 1993, 24(1): 65-71.
- [18] 孙军, 宁修仁. 海洋浮游植物群落的比生长率[J]. 地球科学进展, 2005, 20(9): 939-945.

- Sun Jun, Ning Xiuren. Marine phytoplankton specific growth rate[J]. *Advances in Earth Science*, 2005, 20(9): 939–945.
- [19] 刘诚刚, 宁修仁, 郝镛, 等. 海洋浮游植物溶解有机碳释放研究进展[J]. *地球科学进展*, 2010, 25(2): 123–132.
Liu Chenggang, Ning Xiuren, Hao Qiang, et al. Advances in the study of photosynthetically produced dissolved organic carbon released of marine phytoplankton[J]. *Advances in Earth Science*, 2010, 25(2): 123–132.
- [20] 孙军, 刘东艳, 钱树本. 浮游植物生物量研究 I. 浮游植物生物量细胞体积转化法[J]. *海洋学报*, 1999, 21(2): 75–85.
Sun Jun, Liu Dongyan, Qian Shuben. Study on phytoplankton biomass I. Phytoplankton measurement biomass from cell volume or plasma volume[J]. *Haiyang Xuebao*, 1999, 21(2): 75–85.
- [21] Sun Jun, Liu Dongyan. Geometric models for calculating cell biovolume and surface area for phytoplankton[J]. *Journal of Plankton Research*, 2003, 25(11): 1331–1346.
- [22] 孙军, 刘东艳, 王宗灵, 等. 浮游动物摄食在赤潮生消过程中的作用[J]. *生态学报*, 2004, 24(7): 1514–1522.
Sun Jun, Liu Dongyan, Wang Zongling, et al. The effects of zooplankton grazing on the development of red tides[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(7): 1514–1522.
- [23] 韩希福, 王荣. 海洋浮游动物对浮游植物水华的摄食与调控作用[J]. *海洋科学*, 2001, 25(10): 31–33.
Han Xifu, Wang Rong. The grazing impact and regulation effects of zooplankton on phytoplankton bloom[J]. *Marine Sciences*, 2001, 25(10): 31–33.
- [24] 张武昌, 王荣. 海洋微型浮游动物对浮游植物和初级生产力的摄食压力[J]. *生态学报*, 2001, 21(8): 1360–1368.
Zhang Wuchang, Wang Rong. Grazing pressure of microzooplankton on phytoplankton and primary production in marine ecosystem[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2001, 21(8): 1360–1368.
- [25] 孙军. 海洋浮游植物与生物碳汇[J]. *生态学报*, 2011, 31(18): 5372–5378.
Sun Jun. Marine phytoplankton and biological carbon sink[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31(18): 5372–5378.
- [26] 陈建芳, 郑建福, Wiesner M G, et al. 基于沉积物捕获器的南海表层初级生产力及输出生产力估算[J]. *科学通报*, 1998, 43(7): 583–576.
Chen Jianfang, Zheng Lianfu, Wiesner M G, et al. Estimations of primary production and export production in the South China Sea based on sediment trap experiments[J]. *Chinese Science Bulletin*, 1998, 43(7): 583–576.
- [27] Jiao Nianzhi, Herndl G J, Hansell D A, et al. Microbial production of recalcitrant dissolved organic matter: long-term carbon storage in the global ocean[J]. *Nature Reviews Microbiology*, 2010, 8(8): 593–599.
- [28] He Y, Li M, Perumal V, et al. Genomic and enzymatic evidence for acetogenesis among multiple lineages of the archaeal phylum bathyarchaeota widespread in marine sediments[J]. *Nature Microbiology*, 2016, 1(6): 16035.
- [29] Zhang Rui, Wei Wei, Cai Lanlan. The fate and biogeochemical cycling of viral elements[J]. *Nature Reviews Microbiology*, 2014, 12(12): 850–851.
- [30] Huang Xiongwei, Wang Wei, Dong Yunwei. Complex ecology of China's seawall[J]. *Science*, 2015, 347(6226): 1079.
- [31] Dong Yunwei, Li Mingling, Meng Xianliang, et al. Structural flexibility and protein adaptation to temperature: molecular dynamics analysis of malate dehydrogenases of marine molluscs[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2018, 115(6): 1274–1279.
- [32] Dong Yunwei, Li Xiaoxu, Chio F M P, et al. Untangling the roles of microclimate, behaviour and physiological polymorphism in governing vulnerability of intertidal snails to heat stress[J]. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 2017, 284(1854): 20162367.
- [33] Lin Qiang, Fan Shaohua, Zhang Yanhong, et al. The seahorse genome and the evolution of its specialized morphology[J]. *Nature*, 2016, 540(7633): 395–399.
- [34] Curson A R J, Liu Ji, Martínez B A, et al. Dimethylsulfoniopropionate biosynthesis in marine bacteria and identification of the key gene in this process[J]. *Nature Microbiology*, 2017, 2: 17009.
- [35] 薛廷耀, 孙国玉. 海泥中硫桿菌的分离培养研究[J]. *海洋与湖沼*, 1959, 2(2): 75–81.
Hsueh T Y, Sun K Y. Studies on the isolation and cultivation of Thiobacilli from marine mud[J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 1959, 2(2): 75–81.
- [36] 薛廷耀, 孙国玉, 丁美丽. 胶州湾小球菌的研究[J]. *海洋与湖沼*, 1960, 3(1): 1–12.
Hsueh T Y, Sun K Y, Ding Meili. Studies on marine micrococci from Kiaochow Bay[J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 1960, 3(1): 1–12.
- [37] 孙国玉, 陈世阳. 海洋微生物种类调查的若干问题[J]. *海洋湖沼通报*, 1982(2): 67–73.
Sun K Y, Chen Shiyang. Some problems on the investigation of marine microbial kinds[J]. *Transactions of Oceanology and Limnology*, 1982(2): 67–73.
- [38] 孙国玉, 陈世阳, 王文兴. 当前海洋微生物学研究中的几个重要方面[J]. *海洋科学*, 1985, 9(1): 57–62.
Sun Guoyu, Chen Shiyang, Wang Wenxing. Several important aspects in current marine microbiology research[J]. *Marine Sciences*, 1985, 9(1): 57–62.
- [39] 薛廷耀. 海洋生物发光的比较生化[J]. *海洋与湖沼*, 1964, 6(4): 423–432.
Hsueh T Y. Advances in comparative biochemistry of marine bioluminescence[J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 1964, 6(4):

- 423-432.
- [40] 薛廷耀. 海洋细菌学[M]. 北京: 科学出版社, 1962.
Hsueh T Y. Marine Bacteriology[M]. Beijing: Science Press, 1962.
- [41] 陈騫, 林光恒, 沈世泽. 褐藻酸降解菌的研究—— I. 褐藻酸降解菌与褐藻酸酶对海带藻体的作用[J]. 海洋与湖沼, 1979, 10(4): 229-233.
Chen Dou, Lin Guangheng, Shen Shize. Studies on alginic acid decomposing bacteria—I. action of alginic acid decomposing bacteria and alginase on *Laminaria Japonica*[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 1979, 10(4): 229-233.
- [42] 丁美丽, 高月华, 岑作贵. 胶州湾石油降解菌的分布[J]. 微生物学通报, 1979, 6(6): 11-14, 25.
Ding Meili, Gao Yuehua, Cen Zuogui. Distribution of petroleum degrading bacteria in Jiaozhou Bay[J]. Microbiology China, 1979, 6(6): 11-14, 25.
- [43] 沈世泽, 孙国玉. 含铬废水的微生物净化实验[J]. 海洋科学, 1983, 7(2): 22-24.
Shen Shize, Sun Guoyu. Purification of industrial chromic wastes by chromate reducing bacteria[J]. Marine Sciences, 1983, 7(2): 22-24.
- [44] 王文兴, 叶孝经, 牟敦彩, 等. 青岛太平角和即墨丰城沿海对虾养殖场异养菌群和条件致病菌的研究[J]. 黄渤海海洋, 1983, 1(2): 68-79.
Wang Wenxing, Ye Xiaojing, Mou Duncai, et al. Studies on opportunistic pathogens and bacterial flora in the shrimp-rearing water environment[J]. Journal of Oceanography of Huanghai & Bohai Seas, 1983, 1(2): 68-79.
- [45] 孙国玉. 关于海洋微生物数量调查的若干问题[J]. 海洋科学, 1980, 4(4): 48-51.
Sun Guoyu. Some questions about the survey of marine microbial population[J]. Marine Sciences, 1980, 4(4): 48-51.
- [46] 孙国玉, 陈世阳, 王文兴. 海洋微生物学的任务[J]. 海洋环境科学, 1987, 6(4): 11-19.
Sun Guoyu, Chen Shiyang, Wang Wenxing. Marine microbiology task[J]. Marine Environmental Science, 1987, 6(4): 11-19.
- [47] Xu Huaishu, Roberts N, Singleton F L, et al. Survival and viability of nonculturable *Escherichia coli* and *Vibrio cholerae* in the estuarine and marine environment[J]. *Microbial Ecology*, 1982, 8(4): 313-323.
- [48] 徐怀恕, 纪伟尚, 胡锡钢, 等. 海洋细菌对钢的腐蚀作用[J]. 青岛海洋大学学报, 1989, 19(1): 104-111.
Xu Huaishu, Ji Weishang, Hu Xigang, et al. Steel corrosion by marine bacteria[J]. Journal of Ocean University of Qingdao, 1989, 19(1): 104-111.
- [49] 徐怀恕, 黄备, 祁自忠, 等. 霍乱弧菌(*Vibrio cholerae*)的细胞形态研究——活的非可培养状态细胞[J]. 青岛海洋大学学报, 1997, 27(2): 59-62.
Xu Huaishu, Huang Bei, Qi Zizhong, et al. Study on cell morphology of viable but nonculturable *Vibrio cholerae*[J]. Journal of Ocean University of Qingdao, 1997, 27(2): 59-62.
- [50] 许兵, 徐怀恕. 水生细菌几种计数方法的比较[J]. 青岛海洋大学学报, 1992, 22(3): 43-48.
Xu Bing, Xu Huaishu. Comparison of some count methods for bacteria in aquatic environments[J]. Journal of Ocean University of Qingdao, 1992, 22(3): 43-48.
- [51] 叶军, 孔杰, 刘萍, 等. 一种用PUC质粒高效克隆PCR产物的方法[J]. 渔业科学进展, 1995, 16(1): 72-75.
Ye Jun, Kong Jie, Liu Ping, et al. A method of efficiently cloning of PCR products using PUC plasmid[J]. Marine Fisheries Research, 1995, 16(1): 72-75.
- [52] 李军, 王铁辉, 陆仁后, 等. 逆转录聚合酶链式反应中dsRNA模板的快速制备[J]. 青岛海洋大学学报, 1996, 26(4): 495-499.
Li Jun, Wang Tiehui, Lu Renhou, et al. Rapid preparation of dsRNA template in reverse transcription (RT)-polymerase chain reaction (PCR)[J]. Journal of Ocean University of Qingdao, 1996, 26(4): 495-499.
- [53] 张晓华, Robertson P, Austin B, et al. 检测海洋弧菌的酶联免疫吸附试验研究[J]. 青岛海洋大学学报, 1997, 27(3): 326-332.
Zhang Xiaohua, Robertson P, Austin B, et al. An indirect enzyme-linked immunosorbent assay for rapid diagnosis of marine *Vibrio* sp[J]. Journal of Ocean University of Qingdao, 1997, 27(3): 326-332.
- [54] 李会荣, 付玉斌, 李筠, 等. 在不同基质表面微生物粘膜中海洋细菌的数量变化[J]. 青岛海洋大学学报, 2000, 30(2): 153-158.
Li Huirong, Fu Yubin, Li Yun, et al. Quantitation of marine bacteria in micro-biofilm formed on four kinds of artificial substrata[J]. Journal of Ocean University of Qingdao, 2000, 30(2): 153-158.
- [55] 张恩, 张长生, 田新朋, 等. 中国海洋微生物多样性研究[J]. 中国科学院院刊, 2010, 25(6): 651-658.
Zhang Si, Zhang Changsheng, Tian Xinpeng, et al. The study of diversities of marine microbes in China[J]. *Bulletin of the Chinese Academy of Sciences*, 2010, 25(6): 651-658.
- [56] 李祎, 郑伟, 郑天凌. 海洋微生物多样性及其分子生态学研究进展[J]. 微生物学通报, 2013, 40(4): 655-668.
Li Yi, Zheng Wei, Zheng Tianling. Advances in research of marine microbial diversity and molecular ecology[J]. Microbiology China, 2013, 40(4): 655-668.
- [57] 臧红梅, 樊景凤, 王斌, 等. 海洋微生物多样性的研究进展[J]. 海洋环境科学, 2006, 25(3): 96-100.
Zang Hongmei, Fan Jingfeng, Wang Bin, et al. Research progress on marine microbial diversity[J]. *Marine Environmental Science*, 2006, 25(3): 96-100.
- [58] 邵宗泽. 中国海洋微生物菌种目录[M]. 北京: 化学工业出版社, 2010.
Shao Zongze. Catalogue of China Marine Microbial Collections[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2010.

- [59] 马聪, 陈昌国, 蒋学兵, 等. 中国海域海洋细菌分布特征分析[J]. 解放军医学杂志, 2012, 37(9): 909–913.
Ma Cong, Chen Changguo, Jiang Xuebing, et al. Distribution characteristics of marine bacteria in the China seas[J]. Medical Journal of Chinese People's Liberation Army, 2012, 37(9): 909–913.
- [60] 刘全永, 胡江春, 薛德林, 等. 海洋微生物生物活性物质研究[J]. 应用生态学报, 2002, 13(7): 901–905.
Liu Quanyong, Hu Jiangchun, Xue Delin, et al. Bio-active substances derived from marine microorganisms[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2002, 13(7): 901–905.
- [61] 刘志鸿, 程力, 牟海津. 海洋微生物活性物质的研究概况[J]. 中国水产科学, 1999, 6(4): 99–103.
Liu Zhihong, Cheng Li, Mou Haijin. Progress of the studies on bioactive metabolites of marine microorganisms[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 1999, 6(4): 99–103.
- [62] 李越中, 陈琦. 海洋微生物资源多样性[J]. 生物工程进展, 1998, 18(4): 34–40, 33.
Li Yuezhong, Chen Qi. Biodiversity of marine microorganisms[J]. Progress in Biotechnology, 1998, 18(4): 34–40, 33.
- [63] 邵宗泽. 国家海洋微生物资源共享平台建设[J]. 中国科技成果, 2013, (2): 30–32.
Shao Zongze. Construction of national marine microbial resources sharing platform[J]. China Science and Technology Achievements, 2013, (2): 30–32.
- [64] 丁明宇, 黄健, 李永祺. 海洋微生物降解石油的研究[J]. 环境科学学报, 2001, 21(1): 84–88.
Ding Mingyu, Huang Jian, Li Yongqi. The degradation of crude oil by marine microorganisms[J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2001, 21(1): 84–88.
- [65] 郑天凌, 田蕴, 苏建强, 等. 海洋赤潮生物与厦门海域几种细菌的生态关系研究[J]. 生态学报, 2002, 22(12): 2063–2070.
Zheng Tianling, Tian Yun, Su Jianqiang, et al. Study on the ecological relationship between a red-tide causative alga and three strains of bacteria isolated from Xiamen harbor[J]. Acta Ecologica Sinica, 2002, 22(12): 2063–2070.
- [66] 崔志松, 邵宗泽. 一株海洋新鞘氨醇杆菌phe-8(*Novosphingobium* sp.)的PAHs降解基因和降解特性[J]. 厦门大学学报(自然科学版), 2006, 45(S1): 257–261.
Cui Zhisong, Shao Zongze. Characterization of a PAHs Degrading marine strain *Novosphingobium* sp. phe-8 and its degradative genes[J]. Journal of Xiamen University (Natural Science), 2006, 45(S1): 257–261.
- [67] 邵宗泽, 许晔, 马迎飞, 等. 2株海洋石油降解细菌的降解能力[J]. 环境科学, 2004, 25(5): 133–137.
Shao Zongze, Xu Ye, Ma Yingfei, et al. Isolation and identification of two marine bacteria with hydrocarbon-biodegradation activity[J]. Environmental Science, 2004, 25(5): 133–137.
- [68] 洪义国, 孙谧, 张云波, 等. 16S rRNA在海洋微生物系统分子分类鉴定及分子检测中的应用[J]. 海洋水产研究, 2002, 23(1): 58–63.
Hong Yiguo, Sun Mi, Zhang Yunbo, et al. The application of 16S rRNA in molecular classification, identification and molecular examination in marine microbial system[J]. Marine Fisheries Research, 2002, 23(1): 58–63.
- [69] 戴欣, 陈月琴, 周惠, 等. 海洋细菌的分子鉴定分类[J]. 中山大学学报(自然科学版), 2000, 39(1): 68–71.
Dai Xin, Chen Yueqin, Zhou Hui, et al. Molecular identification and classification of marine bacteria from South China Sea[J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni, 2000, 39(1): 68–71.
- [70] 徐怀恕, 张晓华. 海洋微生物技术[J]. 青岛海洋大学学报, 1998, 28(4): 573–581.
Xu Huaishu, Zhang Xiaohua. Marine microbial biotechnology: a review[J]. Journal of Ocean University of Qingdao, 1998, 28(4): 573–581.
- [71] 张振冬, 王淑芬, 曹宇峰. DGGE技术及其在海洋环境微生物多样性研究中的应用[J]. 海洋环境科学, 2008, 27(3): 297–300.
Zhang Zhendong, Wang Shufen, Cao Yufeng. DGGE technique and its application in study on microbial diversity in marine environment[J]. Marine Environmental Science, 2008, 27(3): 297–300.
- [72] 游志勇, 汤熙翔, 肖湘. 高压技术在深海沉积物兼性嗜压菌的筛选和鉴定中的应用[J]. 应用海洋学学报, 2007, 26(4): 555–561.
You Zhiyong, Tang Xixiang, Xiao Xiang. Application of hydrostatic technique in the isolation and characterization of piezophilic bacteria from deep-sea sediments[J]. Journal of Oceanography in Taiwan Strait, 2007, 26(4): 555–561.
- [73] 曾润颖, 产竹华. 深海微生物资源研究开发技术进展[J]. 生命科学, 2012, 24(9): 991–996.
Zeng Runying, Chan Zhuhua. Progress in research and development techniques on deep sea microorganism resource[J]. Chinese Bulletin of Life Sciences, 2012, 24(9): 991–996.
- [74] Wang C C, Nie D S. A Survey of the Marine Protozoa of Amoy[M]. Science Society of China, 1932.
- [75] Chin T G. Occurrence and seasonal distribution of marine planktonic diatoms from Tsingtao and its vicinity[J]. Philippine Journal of Science, 1939, 69(4): 437–454.
- [76] 李冠国. 胶州湾口浮游生物的变化[J]. 山东大学学报, 1952(2): 27–35.
Li Guanguo. Changes of plankton in Jiaozhou Bay Estuary[J]. Journal of Shandong University, 1952(2): 27–35.
- [77] 金德祥. 厦门的海产浮游硅藻[J]. 厦门水产学报, 1951, 1(6): 145–230.
Jin Dexiang. Marine planktonic algae in Xiamen[J]. Journal of Fisheries of Xiamen, 1951, 1(6): 145–230.
- [78] 金德祥. 厦门港1954年浮游生物的定量调查[J]. 厦门大学学报, 1954(5): 17–30.
Jin Dexiang. Quantitative survey of plankton in Xiamen Port in 1954[J]. Journal of Xiamen University, 1954(5): 17–30.
- [79] 波戈罗夫 B Г. 海洋浮游生物调查方法的标准化[J]. 李冠国, 译. 海洋与湖沼, 1957, 1(1): 1–10.

- Boropob B Г. Standardization of marine plankton survey methods[J]. Li Guanguo, trans. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 1957, 1(1): 1-10.
- [80] 波戈罗夫 B Г. 对亚洲东海岸水域海洋浮游生物调查方法的一些建议[J]. 李善助, 译. *海洋与湖沼*, 1959, 2(2): 72-74.
Boropob B Г. Some suggestions for survey methods of marine plankton in the east coast of Asia[J]. Li Shanxun, trans. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 1959, 2(2): 72-74.
- [81] 中国科学院海洋研究所浮游生物组. 统一浅海区浮游生物调查方法的建议[J]. *海洋与湖沼*, 1959, 2(2): 67-71.
Section of Planktology, Institute of Oceanology, Academia Sinica. Recommendations for the unification of shallow sea plankton investigation methods[J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 1959, 2(2): 67-71.
- [82] 朱树屏, 郭玉洁. 烟台、威海鲈鱼渔场及其附近海区角毛硅藻属的研究 I. 分类的研究[J]. *海洋与湖沼*, 1957, 1(1): 27-87.
Zhu Shuping, Gu Yujie. Studies on the genus *Chaetoceros* Ehrenberg from the fishing ground of the mackerel, *Pneumatophorus Japonicus* (Houttuyn), off the Shantung coast from Chefoo to Weihai. part I. A systematic study[J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 1957, 1(1): 27-87.
- [83] 朱树屏, 郭玉洁. 烟台、威海鲈鱼渔场及其附近海区角毛硅藻属的研究 II. 生态的研究[J]. *海洋与湖沼*, 1958, 1(2): 167-179.
Zhu Shuping, Guo Yujie. Study on Yantai, Weihai carp fishing grounds and the genus diatomium in the nearby sea area - II. Ecological research[J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 1958, 1(2): 167-179.
- [84] 周庆海. 为助推我国海洋事业健康发展提供科学依据——908专项阶段性工作总结[J]. *海洋开发与管理*, 2010, 27(6): 3-5.
Zhou Qinghai. Provide scientific basis to boost the healthy development of China's marine enterprises[J]. *Ocean Development and Management*, 2010, 27(6): 3-5.
- [85] Bucklin A, Nishida S, Schnack-Schiel S, et al. A census of zooplankton of the global ocean[M]//McIntyre A D. *Life in the World's Oceans: Diversity, Distribution, and Abundance*. Oxford: Wiley-Blackwell, 2010.
- [86] 郑重, 张松踪, 李松. 中国海洋浮游桡足类(上卷)[M]. 上海: 科学技术出版社, 1965.
Zheng Zhong, Zhang Songzong, Li Song. Pelagic Copepods in China Seas (Volume 1)[M]. Shanghai: Science and Technology Press, 1965.
- [87] 郑重, 李松, 李少菁, 等. 中国海洋浮游桡足类(中卷)[M]. 上海: 科学技术出版社, 1982.
Zheng Zhong, Li Song, Li Shaojing, et al. Pelagic Copepods in China Seas (Volume 2)[M]. Shanghai: Science and Technology Press, 1982.
- [88] 陈瑞祥, 林景宏. 中国海洋浮游介形类[M]. 北京: 海洋出版社, 1995.
Chen Ruixiang, Lin Jinghong. Pelagic Ostracoda in China Seas[M]. Beijing: China Ocean Press, 1995.
- [89] 高尚武, 洪惠馨, 张士美. 中国动物志. 无脊椎动物. 第二十七卷, 刺胞动物门, 水螅虫纲, 管水母亚纲, 钵水母纲[M]. 北京: 科学出版社, 2002.
Gao Shangwu, Hong Huixin, Zhang Shimei. Fauna Sinica: Invertebrates, Cnidaria, Hydrozoa, Siphonophorae, Scyphomedusae (Volume 27)[M]. Beijing: Science Press, 2002.
- [90] 萧贻昌. 中国动物志. 无脊椎动物, 毛颚动物门, 箭虫纲[M]. 北京: 科学出版社, 2004.
Xiao Yichang. Fauna Sinica: Invertebrates, Chaetognatha, Sagitta[M]. Beijing: Science Press, 2004.
- [91] 张金标. 中国海洋浮游管水母类[M]. 北京: 海洋出版社, 2005.
Zhang Jinbiao. Pelagic Siphonophora in China Seas[M]. Beijing: China Ocean Press, 2005.
- [92] 许振祖, 黄家祺, 林茂, 等. 中国刺胞动物门水螅虫总纲(上、下册)[M]. 北京: 海洋出版社, 2014.
Xu Zhenzu, Huang Jiaqi, Lin Mao, et al. The Superclass Hydrozoa of the Phylum Cnidaria in China (Vol. 1 and Vol. 2)[M]. Beijing: China Ocean Press, 2014.
- [93] 连光山, 王彦国, 孙柔鑫, 等. 中国海洋浮游桡足类多样性(上、下册)[M]. 北京: 海洋出版社, 2018.
Lian Guangshan, Wang Yanguo, Sun Rouxin, et al. Species Diversity of Marine Planktonic Copepods in China's Seas (Vol. 1 and Vol. 2)[M]. Beijing: China Ocean Press, 2018.
- [94] 郑重, 李少菁, 许振祖. 海洋浮游生物学[M]. 北京: 海洋出版社, 1984.
Zheng Zhong, Li Shaojing, Xu Zhenzu. Planktonic Biology in China's Seas[M]. Beijing: China Ocean Press, 1984.
- [95] 郑重, 曹文清. 海洋枝角类生物学[M]. 厦门: 厦门大学出版社, 1987.
Zheng Zhong, Cao Wenqing. The Biology of Marine Cladocera[M]. Xiamen: Xiamen University Press, 1987.
- [96] 郑重, 李少菁, 连光山. 海洋桡足类生物学[M]. 厦门: 厦门大学出版社, 1992.
Zheng Zhong, Li Shaojing, Lian Guangshan. Biology of Marine Copepod[M]. Xiamen: Xiamen University Press, 1992.
- [97] 刘瑞玉, 王绍武. 中国动物志. 无脊椎动物. 第二十一卷. 软甲纲, 糠虾目[M]. 北京: 科学出版社, 2000.
Liu Ruiyu, Wang Shaowu. Fauna Sinica: Invertebrates, Malacostraca, Mysidacea (Volume 21)[M]. Beijing: Science Press, 2000.
- [98] 陈清潮, 石长泰. 中国动物志. 无脊椎动物. 第二十八卷. 节肢动物门, 甲壳动物亚门, 端足目(虫戎)亚目[M]. 北京: 科学出版社, 2002.
Chen Qingchao, Shi Changtai. Fauna Sinica: Invertebrates, Arthropoda, Amphipoda (Volume 28)[M]. Beijing: Science Press, 2002.
- [99] 郑重, 李少菁, 郭东晖. 海洋磷虾类生物学[M]. 厦门: 厦门大学出版社, 2011.
Zheng Zhong, Li Shaojing, Guo Donghui. Biology of Marine Euphausiacea[M]. Xiamen: Xiamen University Press, 2011.

- [100] 黄宗国, 林茂. 中国海洋物种多样性[M]. 北京: 海洋出版社, 2012.
Huang Zongguo, Lin Mao. The Living Species in China's Seas[M]. Beijing: China Ocean Press, 2012.
- [101] 林茂, 王春光, 王彦国, 等. 西太平洋浮游动物种类多样性[J]. 生物多样性, 2011, 19(6): 646–654.
Lin Mao, Wang Chunguang, Wang Yanguo, et al. Zooplanktonic diversity in the western Pacific[J]. *Biodiversity Science*, 2011, 19(6): 646–654.
- [102] 黄加祺, 许振祖, 林茂, 等. 南海筒水母亚目二新种(花水母亚纲, 头水母目)[J]. 厦门大学学报: 自然科学版, 2015, 54(6): 825–828.
Huang Jiaqi, Xu Zhenzu, Lin Mao, et al. Two new species of suborder tubulariida from the South China Sea (Anthomedusae, Capitata)[J]. *Journal of Xiamen University: Natural Science*, 2015, 54(6): 825–828.
- [103] Lin Mao, Xu Zhenzu, Huang Jiaqi, et al. Taxonomic notes on hydroidomedusae (Cnidaria) from South China Sea I: family eucodoniidae (Anthomedusae)[J]. *Zoological Systematics*, 2016, 41(1): 48–53.
- [104] Xu Zhenzu, Huang Jiaqi, Lin Mao, et al. Taxonomic notes on hydroidomedusae (Cnidaria) from South China Sea II: family bythotiaridae (Anthomedusae)[J]. *Zoological Systematics*, 2016, 41(2): 149–157.
- [105] Wang Chunguang, Xu Zhenzu, Huang Jiaqi, et al. Taxonomic notes on hydroidomedusae (Cnidaria) from South China sea III: family rathkeidae and zancleopsidae[J]. *Zoological Systematics*, 2016, 41(4): 392–403.
- [106] Xiang Peng, Ye Youyin, Chen Xiaoyin, et al. *Euphilomedes biacutidens* (Ostracoda, Myodocopida, Philomedidae), a new species from China Sea[J]. *PeerJ*, 2017, 5(3): e3488.
- [107] 金德祥, 程兆第, 林钧民, 等. 中国海洋底栖硅藻类(上卷)[M]. 北京: 海洋出版社, 1982.
Jin Dexiang, Cheng Zhaodi, Lin Junmin, et al. Marine Benthic Diatoms in China (Volume 1)[M]. Beijing: China Ocean Press, 1982.
- [108] 金德祥, 程兆第, 刘师成, 等. 中国海洋底栖硅藻类(下卷)[M]. 北京: 海洋出版社, 1992.
Jin Dexiang, Cheng Zhaodi, Liu Shicheng, et al. Marine Benthic Diatoms in China[M]. Beijing: China Ocean Press, 1982.
- [109] 郑守仪, 傅钊先. 中国动物志. 粒网虫门, 有孔虫纲, 胶结有孔虫[M]. 北京: 科学出版社, 2001.
Zheng Shouyi, Fu Zhaoxian. Fauna Sinica: Phylum Grinifera, Foraminifera[M]. Beijing: Science Press, 2001.
- [110] 宋微波, 沃伦 A, 胡晓钟. 中国黄渤海自由生纤毛虫[M]. 北京: 科学出版社, 2009.
Song Weibo, Warren A, Hu Xiaozhong. Free-living Ciliates in the Bohai and Yellow Seas, China[M]. Beijing: Science Press, 2009.
- [111] Xu Kuidong, Du Yongfen, Lei Yanli, et al. A practical method of Ludox density gradient centrifugation combined with protargol staining for extracting and estimating ciliates in marine sediments[J]. *European Journal of Protistology*, 2010, 46(4): 263–270.
- [112] 类彦立, 徐奎栋. HY/T 140-2011. 海洋微型底栖生物调查规范[S]. 北京: 中国标准出版社, 2011.
Lei Yanli, Xu Kuidong. HY/T 140-2011, Specifications for the survey of marine microbenthos[S]. Beijing: China Standard Press, 2011.
- [113] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. GB/T 34656-2017, 海洋沉积物间隙生物调查规范[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. GB/T 34656-2017, Specifications for marine sediment interstitial biota survey[S]. Beijing: China Standard Press, 2017.
- [114] Gong Jun, Shi Fei, Ma Bin, et al. Depth shapes α - and β -diversities of microbial eukaryotes in surficial sediments of coastal ecosystems[J]. *Environmental Microbiology*, 2015, 17(10): 3722–3737.
- [115] Zhao Feng, Filker S, Xu Kuidong, et al. Patterns and drivers of vertical distribution of the ciliate community from the surface to the abyssopelagic zone in the Western Pacific Ocean[J]. *Frontiers in Microbiology*, 2017, 8: 2559.
- [116] Mare M F. A study of a marine benthic community with special reference to the micro-organisms[J]. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 1942, 25(3): 517–554.
- [117] Giere O. Meiobenthology: the Microscopic Motile Fauna of Aquatic Sediments[M]. 2nd ed. Berlin: Springer, 2009.
- [118] Higgins R P, Thiel H. Introduction to the Study of Meiofauna[M]. Washington, DC: Smithsonian Institution Press, 1988: 488.
- [119] 张志南, 周红. 国际小型底栖生物研究的某些进展[J]. 中国海洋大学学报, 2004, 34(5): 799–806.
Zhang Zhinan, Zhou Hong. Some progress on the study of meiofauna[J]. *Periodical of Ocean University of China*, 2004, 34(5): 799–806.
- [120] Zhang Z N, Platt H M. New species of marine nematodes from Qingdao, China[J]. *Bulletin of the British Museum Natural History (Zoology)*, 1983, 45(5): 253–261.
- [121] Fleeger J W, 唐质灿, Higgins P. 长江口及邻近海域小型底栖桡足类和动物类生态的初步研究[J]. 海洋科学集刊, 1986, 27: 199–208.
Fleeger J W, Tang Zhican, Higgins P. Preliminary study on the ecology of small benthic copepods and apes and Kinorhyncha in the Changjiang Estuary and adjacent waters[J]. *Studia Marina Sinica*, 1986, 27: 199–208.
- [122] 黄宗国. 中国海洋生物种类与分布[M]. 北京: 海洋出版社, 2008.
Huang Zongguo. Marine Species and their Distribution in China[M]. Beijing: China Ocean Press, 2008.
- [123] 刘瑞玉. 中国海洋生物名录[M]. 北京: 科学出版社, 2008.
Liu Ruiyu. Checklist of Marine Biota of China Seas[M]. Beijing: Science Press, 2008.

- [124] 张志南, 周红, 华尔, 等. 中国小型底栖生物研究的40年——进展与展望[J]. 海洋与湖沼, 2017, 48(4): 657–671.
Zhang Zhinan, Zhou Hong, Hua Er, et al. Meiofauna study for the forty years in China——Progress and prospect[J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2017, 48(4): 657–671.
- [125] Turner D. Account of a new interesting species of *Fucus*[J]. *Annals of Botany*, 1806, 2: 376–378.
- [126] Tseng C K. *Gloiopeltis* and the other economic seaweeds of Amoy, China[J]. *Lingnan Science Journal*, 1933, 12(1): 43–63.
- [127] Tseng C K, Li L C. Some marine algae from Tsingtao and Chefoo, Shantung[J]. *Bulletin of the Fan Memorial Institute of Biology (Botany)*, 1935, 6(4): 183–235.
- [128] 曾呈奎, 张峻甫, 张德瑞. 中国经济海藻志[M]. 北京: 科学出版社, 1962.
Tseng C K, Zhang Junfu, Zhang Derui. *Chinese Economic Seaweed*[M]. Beijing: Science Press, 1962.
- [129] Tseng C K. *Common Seaweeds of China*[M]. Beijing: Science Press, 1983.
- [130] 黄冰心, 丁兰平. 中国海洋蓝藻门新分类系统[J]. *广西科学*, 2014, 21(6): 580–586.
Huang Bingxin, Ding Lanping. The catalogue of marine cyanobacteria of China[J]. *Guangxi Sciences*, 2014, 21(6): 580–586.
- [131] 丁兰平, 黄冰心, 栾日孝. 中国海洋绿藻门新分类系统[J]. *广西科学*, 2015, 22(2): 201–210.
Ding Lanping, Huang Bingxin, Luan Rixiao. New classification system of marine green algae of China[J]. *Guangxi Sciences*, 2015, 22(2): 201–210.
- [132] 丁兰平, 黄冰心, 王宏伟. 中国海洋红藻门新分类系统[J]. *广西科学*, 2015, 22(2): 164–188.
Ding Lanping, Huang Bingxin, Wang Hongwei. New classification system of marine red algae of China[J]. *Guangxi Sciences*, 2015, 22(2): 164–188.
- [133] 黄冰心, 丁兰平, 栾日孝, 等. 中国海洋褐藻门新分类系统[J]. *广西科学*, 2015, 22(2): 189–200.
Huang Bingxin, Ding Lanping, Luan Rixiao, et al. New classification system of marine brown algae of China[J]. *Guangxi Sciences*, 2015, 22(2): 189–200.
- [134] 曾呈奎. 中国海藻志. 第三卷. 褐藻门. 第二册. 墨角藻目[M]. 北京: 科学出版社, 2000.
Tseng C K. *Flora Algarum Marinarum Sinicarum Tomus III. Phaeophyta No. II Fucales*[M]. Beijing: Science Press, 2000.
- [135] 曾呈奎. 中国海藻志. 第二卷. 红藻门. 第二册. 顶丝藻目、海素面目、柏梭藻目[M]. 北京: 科学出版社, 2005.
Tseng C K. *Flora Algarum Marinarum Sinicarum Tomus II. Rhodophyta No. II Acrochaetales Nemaliales Bonnemaisoniales*[M]. Beijing: Science Press, 2005.
- [136] 丁兰平. 中国海藻志. 第四卷. 绿藻门. 第一册. 丝藻目、胶毛藻目、褐友藻目、石莼目、溪菜目、刚毛藻目、顶管藻目[M]. 北京: 科学出版社, 2013.
Ding Lanping. *Flora Algarum Marinarum Tomus IV. Chlorophyta No. I Ulotrichales Chaetophorales Phaeophilales Ulvales Prasiolales Cladophorales Acrosiphoniales*[M]. Beijing: Science Press, 2013.
- [137] 夏邦美, 张峻甫. 中国海藻志. 第二卷. 红藻门. 第五册. 伊谷藻目、杉藻目、红皮藻目[M]. 北京: 科学出版社, 1999.
Xia Bangmei, Zhang Junfu. *Flora Algarum Marinarum Sinicarum Tomus II. Rhodophyta No. V Ahnfeltiales Gigartinales Rhodymeniales*[M]. Beijing: Science Press, 1999.
- [138] 曾呈奎. 中国黄渤海海藻[M]. 北京: 科学出版社, 2009.
Tseng C K. *Seaweeds in Yellow Sea and Bohai Sea of China*[M]. Beijing: Science Press, 2009.
- [139] 曾呈奎, 张峻甫. 北太平洋西部海藻区系的区划问题[J]. 海洋与湖沼, 1959, 2(4): 244–265.
Tseng C K, Zhang Junfu. On the regional division of the marine algal flora of the Western North Pacific[J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 1959, 2(4): 244–265.
- [140] 张均龙, 史本泽, 赵峰, 等. 中国海洋底栖生物学发展回顾与展望[J]. *海洋科学集刊*, 2016, (511): 194–204.
Zhang Junlong, Shi Benze, Zhao Feng, et al. Progress and prospect in marine benthology in China[J]. *Studia Marina Sinica*, 2016, (511): 194–204.
- [141] 崔玉珩, 唐质灿, 徐风山. 海洋底栖生物研究概况[J]. *海洋科学*, 1979, (S1): 30–33.
Cui Yuheng, Tang Zhican, Xu Fengshan. A survey of marine benthic biology research[J]. *Marine Sciences*, 1979, (S1): 30–33.
- [142] 李新正. 我国海洋大型底栖生物多样性研究及展望: 以黄海为例[J]. *生物多样性*, 2011, 19(6): 676–684.
Li Xinzheng. An overview of studies on marine macrobenthic biodiversity from Chinese waters: principally from the Yellow Sea[J]. *Biodiversity Science*, 2011, 19(6): 676–684.
- [143] 张玺. 胶州湾海产动物采集团第一期采集报告[J]. *北研动物所丛刊*, 1935, 11: 1–95.
Zhang Xi. Report on the first collection of marine animals in Jiaozhou Bay[J]. *Beiyuan Animal Research Institute Series*, 1935, 11: 1–95.
- [144] 张玺, 相里矩. 胶州湾及其附近海产食用软体动物之研究[M]. 北平: 国立北平研究院出版部, 1936.
Zhang Xi, Xiang Liju. *Study on Edible Mollusks and Nearby Seafood in Jiaozhou Bay*[M]. Peking: National Peking Research Institute, 1936.
- [145] 张玺, 马绣同. 胶州湾海产动物采集团第二期及第三期采集报告[M]. 北平: 国立北平研究院动物学研究所, 1936.
Zhang Xi, Ma Xiutong. Report on the Second and Third Phases of Marine Animal Production Group in Jiaozhou Bay[M]. Peking: National Peking Research Institute, 1936.
- [146] 张玺, 马绣同. 胶州湾海产动物采集团第四期采集报告[M]. 北平: 国立北平研究院出版部, 1949.

- Zhang Xi, Ma Xiutong. Report on the Fourth Phases of Marine Animal Production Group in Jiaozhou Bay[M]. Peking: National Peking Research Institute, 1949.
- [147] 古丽亚诺娃E Ф. 黄海潮间带生态学研究[M]. 北京: 科学出版社, 1958.
Guryanova. Ecology of Intertidal Zone in the Yellow Sea[M]. Beijing: Science Press, 1958.
- [148] 罗玛金娜H Б. 黄海沿岸带涟虫类(甲壳纲、软甲亚纲)区系研究[J]. 海洋与湖沼, 1960, 3(2): 94-105.
Romakina H Б. Study on the fauna of ladybugs (Crustacea, Mollusca) in the coastal zone of the Yellow Sea[J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 1960, 3(2): 94-105.
- [149] 刘瑞玉, 徐凤山. 黄、东海底栖动物区系的特点[J]. 海洋与湖沼, 1963, 5(4): 306-321.
Liu J Y, Hsu F S. Preliminary studies on the benthic fauna of the Yellow Sea and the East China Sea[J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 1963, 5(4): 306-321.
- [150] 程济生, 郭学武. 渤海底栖生物的种类、数量分布及其动态变化[J]. 海洋水产研究, 1998, 19(1): 31-42.
Cheng Jisheng, Guo Xuewu. Distribution and dynamic variations of species and quantity of benthos in the Bohai Sea[J]. *Marine Fisheries Research*, 1998, 19(1): 31-42.
- [151] 韩洁, 张志南, 于子山. 渤海大型底栖动物丰度和生物量的研究[J]. *青岛海洋大学学报*, 2001, 31(6): 889-896.
Han Jie, Zhang Zhinan, Yu Zishan. Study on the macrobenthic abundance and biomass in Bohai Sea[J]. *Journal of Ocean University of Qingdao*, 2001, 31(6): 889-896.
- [152] 孙道元, 刘银城. 渤海底栖动物种类组成和数量分布[J]. 黄渤海海洋, 1991, 9(1): 42-50.
Sun Daoyuan, Liu Yincheng. Species composition and quantitative distributions of biomass and density of the macrobenthic infauna in the Bohai Sea[J]. *Journal of Oceanography of Huanghai & Bohai Seas*, 1991, 9(1): 42-50.
- [153] 于子山, 张志南, 韩洁. 渤海大型底栖动物次级生产力的初步研究[J]. *青岛海洋大学学报*, 2001, 31(6): 867-871.
Yu Zishan, Zhang Zhinan, Han Jie. Primary study on secondary production of macrobenthos in Bohai Sea[J]. *Journal of Ocean University of Qingdao*, 2001, 31(6): 867-871.
- [154] 韩洁, 张志南, 于子山. 渤海中、南部大型底栖动物的群落结构[J]. *生态学报*, 2004, 24(3): 531-537.
Han Jie, Zhang Zhinan, Yu Zishan. Macrobenthic community structure in the southern and central Bohai Sea, China[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(3): 531-537.
- [155] 吴耀泉, 张宝琳. 渤海经济无脊椎动物生态特点的研究[J]. 海洋科学, 1990, (2): 48-52.
Wu Yaoquan, Zhang Baolin. Ecology of the economic invertebrates in the Bohai Sea[J]. *Marine Sciences*, 1990, (2): 48-52.
- [156] 刘瑞玉, 崔玉珩, 徐凤山, 等. 黄海、东海底栖生物的生态特点[J]. 海洋科学集刊, 1986, 27: 153-173.
Liu Ruiyu, Cui Yuheng, Xu Fengshan, et al. Ecological characteristics of macrobenthos of the Yellow Sea and the East China Sea[J]. *Studia Marina Sinica*, 1986, 27: 153-173.
- [157] 刘瑞玉. 胶州湾生态学和生物资源[M]. 北京: 科学出版社, 1992.
Liu Ruiyu. Ecology and Living Resources of Jiaozhou Bay[M]. Beijing: Science Press, 1992.
- [158] 刘录三. 黄东海大型底栖动物生物多样性现状及变化研究[D]. 青岛: 中国科学院海洋研究所, 2002.
Liu Lusan. Study on the biodiversity of macrobenthos in the Yellow Sea and the East China Sea[D]. Qingdao: Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, 2002.
- [159] 张均龙. 黄海大型底栖生物多样性与群落结构的研究[D]. 青岛: 中国科学院海洋研究所, 2012.
Zhang Junlong. Biodiversity and community structure of macrobenthos in the Yellow Sea[D]. Qingdao: Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, 2012.
- [160] 李宝泉, 李新正, 王洪法, 等. 长江口附近海域大型底栖动物群落特征[J]. *动物学报*, 2007, 53(1): 76-82.
Li Baoquan, Li Xinzheng, Wang Hongfa, et al. Characters of a macrobenthic community off the Changjiang River Estuary[J]. *Acta Zoologica Sinica*, 2007, 53(1): 76-82.
- [161] 刘录三, 孟伟, 田自强, 等. 长江口及毗邻海域大型底栖动物的空间分布与历史演变[J]. *生态学报*, 2008, 28(7): 3027-3034.
Liu Lusan, Meng Wei, Tian Ziqiang, et al. Distribution and variation of macrobenthos from the Changjiang Estuary and its adjacent waters[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(7): 3027-3034.
- [162] 李荣冠, 江锦祥. 厦门西部海域大型底栖生物群落变化[J]. 台湾海峡, 1989, 8(2): 144-149.
Li Rongguan, Jiang Jinxiang. Variation of macrobenthos community in the western waters, Xiamen[J]. *Journal of Oceanography in Taiwan Strait*, 1989, 8(2): 144-149.
- [163] 沈寿彭, 吴宝铃. 中沙群岛浮游多毛类的初步调查[J]. 海洋与湖沼, 1978, 9(1): 99-107.
Shen Shoupeng, Wu Baoling. Preliminary report on the pelagic polychaetes from Zhongsha Islands (Guangdong Province, China)[J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 1978, 9(1): 99-107.
- [164] 吴宝铃, 孙瑞平, 陈木. 西沙群岛及其附近海域多毛类动物地理学的研究[J]. 海洋学报, 1980, 2(1): 111-130.
Wu Baoling, Sun Ruiping, Chen Mu. Zoogeographical studies on polychaeta from the Xisha Islands and its adjacent waters[J]. *Haiyang Xuebao*, 1980, 2(1): 111-130.
- [165] 吴宝铃. 中国动物志. 环节动物门, 多毛纲, 叶须虫目[M]. 北京: 科学出版社, 1997.
Wu Baoling. Fauna Sinica: Annelida, Polychaeta, Phyllodocida[M]. Beijing: Science Press, 1997.

- [166] 吴有为,徐荣.我国近代水产品贸易概况[J].古今农业,1990(1):134-140.
Wu Youwei, Xu Yong. A survey of modern aquatic products trade in China[J]. Ancient and Modern Agriculture, 1990(1): 134-140.
- [167] 丛子明,李挺.中国渔业史[M].北京:中国科学技术出版社,1993:337.
Cong Ziming, Li Ting. History of Fishery in China[M]. Beijing: Science and Technology of China Press, 1993: 337.
- [168] 中国农业百科全书总编辑委员会水产业卷编辑委员会,中国农业百科全书编辑部.中国农业百科全书:水产业卷上[M].北京:农业出版社,1994.
China Agricultural Encyclopedia Editorial Committee Aquaculture Volume Editorial Committee, China Agricultural Encyclopedia Editorial Department. China Agricultural Encyclopedia: Aquatic Industry (Volume 1)[M]. Beijing: China Agriculture Press, 1994.
- [169] 行政院新闻局.台湾农业与渔业[M].台北,中国:行政院新闻局印行,1947.
Press Bureau of the Executive Yuan. Taiwan Agriculture and Fishery[M]. Taipei, China: Agriculture and Fisheries in Taiwan Press, 1947.
- [170] 邓景耀,赵传纲.海洋渔业生物学[M].北京:农业出版社,1991.
Deng Jingyao, Zhao Chuanyin. Marine Fishery Biology[M]. Beijing: China Agriculture Press, 1991.
- [171] 陈大刚.黄渤海渔业生态学[M].北京:海洋出版社,1991.
Chen Dagang. Fishery Ecology in the Yellow Sea and Bohai Sea[M]. Beijing: China Ocean Press, 1991.
- [172] 金显仕,赵宪勇,孟田湘,等.黄、渤海生物资源与栖息环境[M].北京:科学出版社,2005.
Jin Xianshi, Zhao Xianyong, Meng Tianxiang, et al. Yellow Sea and Bohai Sea Biological Resources and Habitats[M]. Beijing: Science Press, 2005.
- [173] 唐启升.中国专属经济区海洋生物资源与栖息环境[M].北京:科学出版社,2006.
Tang Qisheng. Marine Biological Resources and Habitats in China's Exclusive Economic Zone[M]. Beijing: Science Press, 2006.
- [174] 苏纪兰,唐启升.中国海洋生态系统动力学研究Ⅱ.渤海生态系统动力学过程[M].北京:科学出版社,2002.
Su Jilan, Tang Qisheng. Study on Ecosystem Dynamics in Coastal Ocean II. Processes of the Bohai Ecosystem Dynamics[M]. Beijing: Science Press, 2002.
- [175] Jin Xianshi, Shan Xiujian, Li Xiansen, et al. Long-term changes in the fishery ecosystem structure of Laizhou Bay, China[J]. *Science China: Earth Sciences*, 2013, 56(3): 366-374.
- [176] Tang Qisheng, Jin Xianshi, Wang Jun, et al. Decadal-scale variations of ecosystem productivity and control mechanisms in the Bohai Sea[J]. *Fisheries Oceanography*, 2003, 12(4/5): 223-233.
- [177] 王爱勇,万瑞景,金显仕.渤海莱州湾春季鱼卵、仔稚鱼生物多样性的年代际变化[J].*渔业科学进展*, 2010, 31(1): 19-24.
Wang Aiyong, Wan Ruijing, Jin Xianshi. Decadal variations of ichthyoplankton biodiversity in spring in Laizhou Bay of the Bohai Sea[J]. *Progress in Fishery Sciences*, 2010, 31(1): 19-24.
- [178] 万瑞景,赵宪勇,魏皓.山东半岛南部产卵场温跃层对鳀鱼鱼卵垂直分布的作用[J].*生态学报*, 2009, 29(12): 6818-6826.
Wan Ruijing, Zhao Xianyong, Wei Hao. Function of thermocline for vertical distribution of anchovy eggs in the spawning ground of the southern waters to Shandong Peninsula[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(12): 6818-6826.
- [179] Dou Shuozeng, Masuda R, Tanaka M, et al. Identification of factors affecting the growth and survival of the settling Japanese flounder larvae, *Paralichthys olivaceus*[J]. *Aquaculture*, 2003, 218(1/4): 309-327.
- [180] Shan Xiujian, Huang Wei, Cao Liang, et al. Ontogenetic development of digestive enzymes and effect of starvation in miiuy croaker *Miichthys miiuy* larvae[J]. *Fish Physiology and Biochemistry*, 2009, 35(3): 385-398.
- [181] 殷瑞钰,汪应洛,李伯聪.工程哲学[M].2版.北京:高等教育出版社,2007.
Yin Ruiyu, Wang Yingluo, Li Bocong. Philosophy of Engineering[M]. 2nd ed. Beijing: Higher Education Press, 2007.
- [182] Ping C. Preliminary observations on the osteology of *Neomeris phocaenoides*. Contributions from the Biological Laboratory of the Science Society of China[J]. Zoological Series, 1925, 1(4): 1-37.
- [183] 寿振黄.中国经济动物志·兽类[M].北京:科学出版社,1962.
Shou Zhenhuang. Economy Animal Record in China[M]. Beijing: Science Press, 1962.
- [184] 王丕烈.中国海洋哺乳动物区系[J].海洋学报,1991,13(3):387-392.
Wang Pilie. Marine mammal flora of China[J]. Haiyang Xuebao, 1991, 13(3): 387-392.
- [185] 祝茜,姜波,汤庭耀.中国海洋哺乳动物的种类、分布及其保护对策[J].*海洋科学*, 2000, 24(9): 35-39.
Zhu Qian, Jiang Bo, Tang Tingyao. Species, distribution, and production of marine mammals in the Chinese coastal waters[J]. *Marine Sciences*, 2000, 24(9): 35-39.
- [186] 郝玉江,王克雄,韩家波,等.中国海兽研究概述[J].兽类学报,2011,31(1):20-36.
Hao Yujiang, Wang Kexiong, Han Jiabo, et al. Marine mammal researches in China[J]. Acta Theriologica Sinica, 2011, 31(1): 20-36.

Progress on marine biological studies in China over the past 70 years

Sun Jun¹, Cai Lizhe², Chen Jianfang³, Shan Xiujuan⁴, Ding Lanping⁵, Huang Lingfeng², Jin Xianshi⁴,
Lin Mao⁶, Liu Yang⁷, Shao Zongze⁶, Xu Kuidong⁸, Wang Yu⁶, Zhang Xiaohua⁹

(1. Indian Ocean Ecosystem Research Center, Tianjin University of Science and Technology, Tianjin 300457, China; 2. Ministry of Education Key Laboratory of the Coastal and Wetland Ecosystems, College of the Environment Ecology, Xiamen University, Xiamen 361102, China; 3. Key Laboratory of Marine Ecosystem and Biogeochemistry, Second Institute of Oceanography, Ministry of Natural Resources, Hangzhou 310012, China; 4. Ministry of Agriculture Key Laboratory of Sustainable Development of Marine Fisheries, Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao 266071, China; 5. Key Laboratory of Animal and Plant Resistance in Tianjin, College of Life Science of Tianjin Normal University, Tianjin 300387, China; 6. Third Institute of Oceanography, Ministry of Natural Resources, Xiamen 361005, China; 7. Institute of Marine Science and Technology, Shandong University, Qingdao 266237, China; 8. Department of Marine Organism Taxonomy and Phylogeny, Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China; 9. College of Marine Life Sciences, Ocean University of China, Qingdao 266003, China)

Abstract: With the proposal of “China maritime power strategy”, it has become an urgent necessity to accelerate the development of marine studies in China. Marine organism is an inalienable parts of the ocean, furthermore, this marine organism together with its environments are interact on and influence each other. As a part of marine studies, marine biological studies are more and more important. To commemorate the Chinese scientists in the field of marine biological studies, this paper reviews the major progress of marine biological studies since the founding of the new country, P. R. China. It summarizes and discusses the future directions of marine biological studies, and hope this will lead to a new thriving in the study of marine biological studied in China in near future.

Key words: marine biological studies; biological oceanography; marine microbes; marine phytoplankton; seaweed; marine zooplankton; marine microbenthos; marine meiobenthos; marine macrobenthos; marine fishery; sea mammal