

中国的海洋科学及其展望*

PRESENT STATUS OF CHINA'S OCEANOLOGY AND ITS PROSPECT

曾呈奎 (ZENG Cheng-kui, C. K. Tseng)

(中国科学院海洋研究所 青岛 266071)

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

1998年是国际海洋年纪念年,特著本文以资纪念。

1 中国海洋科学研究的发展

1.1 初始阶段的奠基工作

1949年中华人民共和国成立前夕,负责筹备成立中国科学院的竺可桢与童第周、曾呈奎等专家讨论了成立中国海洋研究所的问题,当时大陆上的海洋科学研究力量只有二十几人,其中除有两位从事物理海洋学研究以外,余都是研究海洋生物学的。1950年8月,在成立不久的中国科学院筹划下,由山东大学动物系和植物系抽调部分人员,同时也将原北平研究院动物研究所的主要人员和中央研究院两位研究人员调来,组织成立了中国科学院水生生物研究所青岛海洋生物研究室。这标志着新中国第一个海洋科学研究机构的诞生。该室人员系统地开展了海洋动植物分类以及资源和环境调查,经济动植物生活史以及人工养殖和利用研究,实验胚胎学研究等。1953年又开展了船舰钻孔和附着生物的防除研究,并开始与中央水产研究所和山东大学等单位联合进行黄海烟台-威海鲈鱼渔场调查研究。1954年该室改为直属中国科学院的研究室,并开始组建物理海洋学和海洋化学研究队伍。

1956年全国科学技术发展纲要中《中国海洋科学发展规划》的制订,为中国科学院和全国海洋科学的发展勾出一幅蓝图。根据科学家的建议,国家调动了一大批包括物理学、化学、地质学和生物专业的大学毕业生充实到海洋生物研究室。这些专业人才充实了海洋科学研究的有关领域,加上新改装的一条海洋调查船,使该室面貌起了很大变化,由单一的海洋生物学研究迅速向多学科综合性发展。1957年8月,海洋生物研究室扩大成为海洋生物研究所,利用新改装的调查船——金星轮首次进行了渤海及北黄海西部的综合调查,为1958年开始的全国海洋综合调查奠定了基础。

1959年1月,在建立中国科学院海洋研究所的同时,中国科学院在竺可桢副院长主持下召开了全国首届海洋工作会议,他号召陆地科学家“下海”,从而大大推动了我国海洋科学的发展。全国海洋综合调查(普查)工作于1958—1960年在全国近海全面开展,取得多

* 曾呈奎,男,出生于1909年6月,博士,博士生导师,教授,中国科学院院士

收稿日期:1997-10-05,收修改稿日期:1997-10-15

学科资料。研究工作得以全面展开,培养了各领域的人才,奠定了海洋学发展的基础。继而,沿海各省市也各自成立了一批海洋研究单位,海洋研究事业蓬勃发展。1962年,贯彻“调整、巩固、充实、提高”八字方针。除了中科院海洋研究所和国家科委海洋组领导下的调查队外,其他海洋机构作了调整,保留了广东的南海海洋所,厦门的华东海洋所,杭州的工作站和大连工作站四个单位,并归属中国科学院领导。因此,到1963年,有关海洋的研究基本都在中国科学院系统。

1963年夏,国家科委海洋组召开会议,在总结讨论了1956年制订的计划执行情况之后,还研讨了我国海洋工作的进一步发展问题,与会者均认为,有必要成立一个国家海洋管理机构,并推选曾呈奎、赫崇本、毛汉礼等7人讨论这个建议并起草报告书给国家。报告得到科委聂荣臻主任的批准,转送到国务院。国家批准报告后,国家海洋局在1964年底正式成立。从此中国的海洋研究和管理进入了一个新的阶段。

国家海洋局成立的初期隶属海军领导。1965年,中科院将属下散在全国的5个研究机构划分为两半,保留在青岛的海洋研究所和在广州的南海海洋研究所,而将杭州、厦门和大连的三个单位划归海洋局领导,在过去科委海洋组领导下的调查队的基础上成立了国家海洋局第一海洋研究所,并扩大成立了国家海洋局第二及第三海洋研究所和海洋环保中心;此外,在天津成立海洋仪器研究所、海水淡化研究所等等。新中国的海洋科学事业得到全面发展。

在50年代初期,中央水产部(农业部水产局的前身)将1946年建立的中央水产试验所从上海迁来青岛,以后调整成立为黄海水产研究所,并相继在上海建立了东海水产研究所,在广州建立了南海水产研究所。高等院校则有以原山东大学部分院系为基础而成立的山东海洋学院(大学)和上海水产学院(大学)。后来,厦门大学、复旦大学、南京大学等相继成立了海洋研究的系、院或专业;最近又在湛江成立了湛江海洋大学,在宁波建立了宁波大学。中科院地球物理研究所及声学研究所等其他(一些)单位也积极参加海洋的有关研究。这样,全国海洋研究力量由50年代初期的几十人发展为现在的几千人到上万人的水平。大小海洋调查船有几十艘。研究领域扩大到海洋学的各个分支,队伍迅速扩大,科研成果丰硕。我国的海洋科学及其主要分支领域,包括物理海洋学、海洋化学、海洋地质学和海洋生物学得到全面发展,对近海的水团、环流、波浪、潮汐、海水化学要素,海底构造、地貌、沉积,各种海洋生物(底栖、浮游、游泳生物)的组成和数量分布及资源状况都有了基本了解。这时期的发展为海洋科学研究和资源开发打下了坚实的基础。直到70年代以后,又有了新的发展。与国际相比可以说我国投入海洋研究的人力和调查船在当时是具有世界一流水平的,但由于仪器设备的不先进和质量较差等原因,海洋科学事业的发展也受到一定影响。

2 80年代以来的新进展

自80年代以来,海洋科学的各个领域和开发事业均取得了重要进展。

2.1 物理海洋学方面

近20年来,我国物理海洋学的调查研究,尤其是海洋环流的调查研究,已逐渐向着国际上物理海洋学研究前沿领域前进,开展了许多国际合作研究项目。如1980—1983的“中美东海陆架环流和沉积动力学的研究”;1984—1988的“中日黑潮联合调查”;1985—1990

的“中美赤道西太平洋海气相互作用联合调查”; 1992—1993年3条考察船参与国际海洋—大气耦合响应实验(TOGA-COARE)等。

在这一期间,我国物理海洋学研究取得了若干重要进展。在海洋环流方面,主要成果有:(1)论证了黄海冷水团的时空变化及其形成机制;(2)提出了长江冲淡水离开河口后向左转向的若干理论模式;(3)发现了东海和南海的若干强上升流区;(4)论证了对马暖流和黄海暖流的起源和性质;(5)深入研究了我国东海黑潮的时空变化,包括它的“逆流”和“潜流”等及其分支;(6)发现了逆风东北向的“南海暖流”;(7)提出了“黑潮南海分支”的复杂的时空变化;(8)发现了在东海和南海存在许多中尺度涡旋,等等。

在海浪和海洋波动研究方面,主要成果有:(1)提出了普遍风浪谱理论,解决了海浪预报、海浪要素计算等一系列重要问题;(2)发展了海浪方向谱的解析表达式;(3)提出了海浪能量的外观分布;(4)导出了三维海浪要素的统计分布及波高与周期的联合分布等;(5)发展了海浪数值预报的各种模式。

在潮汐和风暴潮的研究中,主要成果有:(1)发展了各种潮汐分析和预报方法(如准调和分析和响应法等);(2)编制了中国近海潮流永久预报图集;(3)发展了台风风暴潮与天文潮相互作用的各种耦合模式等。

2.2 海洋化学方面

在海洋化学方面,科技工作者系统地进行了渤海、东海和南海海洋的化学研究。除一般要素如溶解氧、pH、营养盐外,还研究了我国近海痕量金属及非金属离子、放射性同位素、有机物的分布,以及物质的界面转移过程、机制与通量。研究工作从中国近海延伸到西太平洋。在河水—海水及海水—大气界面转移研究方面,发现了天然水循环中痕量金属离子的均匀分布及定值转移规律,并创立了“水汽化学”。在河口营养盐与浮游植物数量研究方面,发现长江口氮化物含量不是浮游植物生长的限制因素;活性硅无明显的化学及生物转移;江口半碱水域混浊度高,不利于光合作用。“南海海洋化学”研究,探索了碳、氮、磷、硅的循环,提出了南海碳等循环模式。在测定了碳循环中碳的主要形态形式在南海各碳储库(大气、海水、底质、生物体)中的储量后,据水交换率及更新时间,决定了碳储库变化的时标,提出了大亚湾、珠江口及南海的碳通量模式。对珠江口及南沙的水化学特征,重点地进行了系统调查研究。“中国近海沉积物—海水界面”化学研究,在沉积物—海水界面附近元素的早期成岩模式、物质的垂直海洋通量、海洋沉积物氧化还原特性的系统表征等方面,作了开创性研究。提出了“相对平衡度”、“氧化还原度”、“粒度标”等新概念。在南沙群岛珊瑚礁生态系中,沉积物向海水提供大量营养盐,维持了高生产力。此外,海洋化学的方法学是揭示海洋化学规律的根本手段,采样及分析方法的研究,受到了特别的重视。

基于海洋化学调查研究的海洋开发,其前沿为,海洋资源化学中的贵重和稀有元素,地下浓缩海水,药用天然产物,海藻糖硫酸酯(海藻化工);海洋环境化学中的污染物转移及治理,海洋环境控制;海洋腐蚀化学中的海洋薄层腐蚀化学(海上石油平台腐蚀),浪溅区腐蚀化学(码头、平台腐蚀),沉积物—海水界面腐蚀化学(海底油气管道腐蚀),生物腐蚀,防锈油;生态环境与养殖水化学中的营养、毒性及其物质形式,鱼、虾病害与水质;化学水文学中的天然核素化学示踪剂(^{210}Pb , $^{239-240}\text{Pu}$, ^{241}Am 等),过境示踪剂(CCl_3F)等。以

上研究领域和成果均表明了海洋化学的理论与应用紧密结合,发展迅速。

2.3 海洋地质学方面

多年来对中国海及其邻近大洋广泛进行的地质学调查研究,特别近年来对陆架地质进行的系统深入的工作,取得了许多开创性的重要成果,丰富和发展了海洋地质科学,同时为海洋开发利用提供了大量宝贵的资料。已经查明中国海陆架沉积物的分布、格局及形成机制;系统研究了矿物组合,并发现了海底新矿物——钓鱼岛石;首次建立了中国浅海沉积物化学元素丰度表,提出了浅海沉积物地球化学模式;在海平面变化及古气候古海洋研究中,对晚更新世以来的古环境演化有了进一步的认识;开拓了滨海地下卤水成因及其分布规律的研究,促进了卤水资源的开发利用;河口港湾泥沙运动的研究直接为河口港湾的开发作出了显著的贡献。近年来,多次进行中太平洋铁锰结核的调查,为我国在该领域争得一席之地。除中德国际合作外,我国已独自组织了现代海底热水沉积成矿作用的调查,推动了该国际前沿领域的发展。

在地球物理研究中进行了大陆边缘岩石圈结构与构造演化研究,证明了冲绳海槽火山岩是壳染地幔源物质。通过黄东海地球物理调查研究,确立了黄海为一隆两坳、东海为三隆二坳、东西分带的构造特征,指出在东海坳隔带中存在三个沉陷中心,具有含油气远景。在东海至菲律宾海间,开展了岩石圈地震、地热与海底电磁(与日本合作)的调查,提出东海大陆边缘经历了板块聚敛-增生-地幔上拱-地壳裂陷拉张的构造发展模式,冲绳海槽是一个典型的正在发育的弧后拉张盆地。

海洋地质学在 21 世纪必将获得更加迅猛的发展,这主要表现在:(1)采用高精度、高技术世界一流的手段全面完成中国海地形、沉积、地质构造与资源分布的研究,为进一步的海洋开发及与邻国详细划界提供科学依据;(2)积极参与全球性、跨学科、综合性的国际合作计划,为全球古环境变化研究做出应有的贡献;(3)随着近海油气开发工程地质调查与评价的不断深入,工程灾害地质学将会得到新的发展;(4)海底热水多金属硫化物矿产是继大洋铁锰结核之后于 70 年代发现的一种新的具有明显应用前景的矿产资源,已普遍引起各国瞩目,先进国家已走在前列,我国也应急起直追,等等。

2.4 海洋生物学方面

中国海洋生物学发展的特点就是基础研究与资源开发紧密综合。自 50 年代后期开始,经 20 余年的调查研究,对近海海域的底栖生物、浮游生物、游泳生物的种类组成、数量分布变化、生物群落结构,以及主要种的生物学和生态学特点,已有了较全面的了解,为学科和海洋渔业生产(捕捞和海洋生物养殖)的发展提供了必要的资料和科学依据。

80 年代以来,先后进行了全国海岸带和海涂资源综合调查,以及胶州湾、大亚湾的海洋调查和各海域的专项调查研究,提出了海岸带主要海湾综合开发与全面发展的规划设想与具体方案,受到政府及生产部门的重视,大大促进了沿海地区经济、社会的发展。还进行了南大洋、南极海域以及大磷虾种类动态和资源为主的综合海洋调查研究。海洋生物学研究逐步深入到对各种变化规律及动态过程、各类生物间及其与环境间相互作用的了解,对生物生产过程的了解。目前的重点——海域和养殖区生态系统结构功能、动态过程(动力学)研究、生物生产过程及生产力持续发展的研究(包括在国际前沿领域,开展了新生产力研究、浮游生物颗粒谱研究、超微型浮游生物研究等,填补了一些空白和薄弱领

域), 都联系到渔业资源的保护和养殖生产的增产, 比过去的工作深入了一步, 并且研究工作中使生物学与物理海洋学、海洋化学、地质学、环境科学密切结合; 系统工程理论引入海洋生物学研究和电子计算机之应用于海洋生态学研究等等, 发展数学模式来阐明其中各种动态过程及因果关系。有关研究在积极地逐步地与国际前沿领域研究项目(如全球通量联合研究 JGOFS, 海岸带陆海相互作用 LOICZ, 全球生态系统动态研究的 GLOBEC, 等等)相衔接。

在实验海洋生物学方面, 对主要养殖种及有害种的繁殖、发育、生长过程及其与环境因子的关系, 有了更多的了解。除传统内容外, 还将新技术用于生物实验之中, 改进了育苗和养殖技术, 增强了对生物体和环境因子的控制能力及成功育苗的把握; 染色体操作、基因工程等新技术已在鱼(黑鲷)、虾(对虾)、贝(牡蛎、扇贝等)、藻种苗和新品种培育中取得了成绩。这些成果已经和将用于育苗生产。对虾病毒性暴发流行病的研究, 通过几年的努力, 基本上搞清了病原生物(病毒)结构和病理特征、发病条件和传播途径, 为防治提供了科学依据。当然, 1993 年对虾病流行, 也暴露了基础研究的薄弱环节, 取得了重要经验教训。另一方面, 养殖鱼虾营养生理和配合饲料研究也取得了显著进展, 这有助于养殖动物品质的改良和质量的提高, 从而促进养殖生产。与此同时, 藻类光合色素研究、核质关系的研究、配子发育成熟过程研究、重要种受精过程研究, 都取得了不同程度的进展。

目前, 鱼、虾、贝类种苗放流增殖, 是大幅度增加水域资源量发展生产的一项重要手段。中国对虾幼苗放流自 80 年代中开始, 取得了增产的效果, 使北黄海海洋岛附近海域、胶州湾、浙江象山湾等地对虾产量明显增加。刺参、皱纹盘鲍、海蜇等的种苗放流增殖也正在取得明显增产效果。这是人工干预海洋生物资源补充和生物生产过程的开始。1950 年, 贝类、藻类及鱼、虾增养殖年产量已超过 400 万吨。

3 21 世纪海洋科学的展望

人类即将进入 21 世纪。有人预言这个世纪将是海洋的世纪。这就是说, 海洋科学研究和海洋资源的开发利用(海洋产业)将成为下一世纪的主要任务和工作, 在地球上将占主要地位。很多人都同意这种看法, 因为海洋占地球总面积的 71%。虽然经过多年研究积累, 但对它的了解和认识仍然十分不够。下一个世纪的海洋科学, 基础研究和应用研究都要有很大发展, 一是要每个分支领域的进一步深入, 一是有关学科领域的进一步综合; 而海洋产业的扩大和持续发展则将是必然的结果。

3.1 基础研究

3.1.1 由于气候和环境是人类面临的重大问题, 因此目前国际上正在积极推行与这两大问题有密切联系的三大海洋计划, 即“海洋通量(JGOFS)”、“陆海相互作用(LOICZ)”和“海洋生态系统动力学(GLOBEC)”。可以预期, 在 21 世纪的前期, 与这些计划相联系的物理海洋学问题, 在国际上仍将会得到足够的重视。就中国而言, 不仅要积极参与这些大型计划, 而且更应结合物理海洋中的许多尚未解决的问题(如三大河口区的陆海洋相互作用问题、南海环流的时空变化及其机制问题、黄东海主要流系的起源和时空变化问题等)。

3.1.2 中国的海洋化学研究, 已经赶上了国际前沿, 并有所发现。21 世纪将是赶超的世纪, 目标是创新与发现, 从跟踪接轨型转向创新超越型。

3.1.3 21 世纪的海洋地质学任务十分繁重, 对它的要求是研究工作将更加扩大和深入, 涉

及的学科领域将更多而广。中国海既是大陆地壳与海洋地壳的过渡带,又是大陆环境与海洋的过渡带。在这里发生十分活跃的物理、化学、生物和地质的相互作用,如全球海平面-气候变化、大洋环流变迁、海陆物质交换-能量传递转化、生物化学循环、岩石圈形变、矿产资源富集等等,它们都完整地、被巨厚的沉积物所记录,为研究全球环境演变,提供了极其丰富的信息。因此中国的海洋地质将在认识岩石圈、水圈、生物圈、大气圈之间相互作用中,深入研究它们的动力过程,开展连续与对比研究,更完善、更全面系统地探讨中国海新生代环境资源演变规律,在学科的深入提高、资源的勘探开发做出更大的贡献。

中国海蕴藏丰富的油气资源,就东海而言,初步估算拥有石油储量 50 亿吨,天然气储量 5.1 亿米³。为此海洋地质学研究将应维护中国的海洋权益提供科学依据。

3.1.4 21 世纪的海洋生物学研究将得到全面发展和进一步深入。(1)在宏观方面,中国将更加积极地参加当前国际联合研究项目,如“全球大洋通量联合研究”(JGOFS)、“海岸带陆海相互作用项目”(LOICZ)、“全球海洋生态系动力学研究”(GLOBEC)、“大海洋生态系研究”(LME)等等;并将进一步与物理、化学、地质海洋学相结合,进行多学科联合研究。其研究重点将在重要海域海洋生态系结构、功能动态变化,生原要素(C, N, P 等)生物地球化学循环过程研究;生物生产过程、营养动力学及其关键影响因子研究,阐明几个典型海域生态系结构功能特点、食物链结构及各营养层次间的转化规律,了解初级生产动态特点及变化规律,提出典型海域的动态模型,为探索生态系健康、持续发展的途径奠定科学基础。研究人类活动对海洋环境和生态系的影响、胁迫及海洋环境和生态系的反馈作用,以阐明典型生态系的退化机制,探索控制途径,并保护生物多样性。深入研究重要经济生物种种群的补充规律和机制,为预测资源变动趋势,采取合理开发与保护措施、保持资源持续发展提供科学依据。与此同时,21 世纪中海洋生物多样性及其保护研究将全面展开、逐步深入,并取得明显进展。海洋生物重要类群系统发育和进化规律以及区系形成的研究,也将受到重视而取得进展。分子生物学手段将更多地应用于其研究之中。(2)在微观方面,海洋生物繁殖发育规律(包括细胞和分子生物学水平的性腺和配子的成熟过程、受精机制等)及其关键影响因子的研究仍将是重要的内容。在此基础上将大大提高人工控制能力,为养殖生产的增产措施提供依据。同时,重要经济种营养动力学研究(营养生理、生化和细胞生物学研究)将更加深入发展。在此基础上,适于养殖种不同发育阶段的高效、优质人工饵料配制、生产,养殖生物病害(病理、病原生物学和流行病学)及防治研究将深入发展。从而为养殖生产的稳产高产奠定基础。遗传学研究在各层次(细胞操作、染色体操作、基因操作)上深入发展,培育出具抗逆性的、有增产潜力的品系,并将相继投入生产。这样,养殖生产的持续发展将得到更多的保障。

海洋生物活性物质(代谢产物)特性、提取和开发利用的研究及工艺的提高具有广阔前景和巨大潜力,将有更明显的发展。

21 世纪海洋生物学研究将会是宏观水平与微观水平上的密切结合,使研究工作更加深入。

3.2 应用和开发研究

在资源持续开发方面,面临有四个主要问题,第一是食物增产问题,第二是淡水供应问题,第三是矿产开发问题,第四是能源扩大利用问题。这四个问题的妥善解决,应该依

靠海洋巨大潜力和海洋科技的进步。

3.2.1 关于食物问题。自 80 年代以来水产部门依据“以养为主,养捕并举和重视加工”的正确方针,已将发展重点放在依靠水产增养殖事业的发展上。特别自 80 年代后期以来已取得显著增产的结果。1995 年,渔业总产量达二千多万吨,其中水产增养殖产量略为超过水产总量的一半。下一世纪随着人口的增长及其对食品需求量的增加,水产增养殖也需要持续增长。为此主要任务是首先解决养鱼的问题。中国淡水养鱼有了二千年的经验,所以在解决鱼苗培育和养殖技术以后,淡水养鱼事业迅速发展起来,达到年增产一千万吨的辉煌成绩。但是海水养鱼没有经验而且存在问题较多,迄今年产量只有十几万吨,远不如贝类及藻类的生产。因此,如何能够像海藻类的海带、紫菜、贝类的扇贝、贻贝成为主要生产对象一样,抓住几种海洋鱼类,成功地进行人工养殖,这需要农业部水产局、中国科学院和国家教委等部门的共同努力,并积极组织实施。相信会取得重要进展。

21 世纪的海洋科学和海洋开发事业的特点是:基础研究要进一步深入提高,与有关生产密切结合,应用研究将会促进增养殖生产、捕捞业和海洋资源繁殖保护的发展,从而保证渔业产量的持续增加。

3.2.2 关于淡水问题。水是人类生存的另一重大因素。随着工农业生产的迅速发展,东部大中城市缺水情况日益严重,解决淡水的问题迫在眉睫。应从两方面考虑,节水和开辟新资源。海水占地球水体的 97%,是一重要的水资源。在沿海地区的一些工业用水应当考虑利用海水代替淡水做为冷却水源。要提高海水资源的利用率,重要的是海水淡化,但目前成本还太高,除少数地区如西沙群岛的永兴岛以外,似无其他地区利用。在研制经济实用的海水淡化的方法和器械设备的同时,综合利用其副产品,如此可大大降低成本。海水淡化和综合利用大有发展前景。

3.2.3 关于矿产问题。海底蕴藏有丰富的矿产资源,随着陆地资源的消耗减少和科学技术的高度发展,势必促使人类向海底取宝;众所周知海底蕴藏大量的石油和天然气,有关国家均争相开发;大洋的铁锰结核早已引起各国的重视,它将是未来许多金属的来源;尤其是近年大洋中脊多处发现的热液沉积硫化物矿产,具有良好的应用前景,它能为人类提供 Cu, Zn, Pb, Fe, Mn 等多种金属,是当代调查研究的热点。此外海底金刚石、独居石、锆石、锡石砂矿等,在有些国家已经开采,毫不夸张地说未来将是逐步向海底取宝的时代。

3.2.4 关于能源问题。海洋具有极大的能源潜力,如潮汐能源、海流能源、海水温差能源、海水中氢同位素进行受控热核聚变的能源;这些都是清洁能源。人类迄今只是利用少量的潮汐发电,预计下世纪中叶前后,通过科学家的研究和技术开发,海洋能源一定能够得到大力利用。但是这些方面的产业化,需要大量资金且影响面很广,难度大,其实用性还须通过深入研究去解决。

3.2.5 人类面临的另一大问题是环境问题。目前,地球的环境不断在恶化,但是由于海洋的巨大容量及其动力学特点,世界上多数地区海洋环境还是很好的。有些国家担心养殖海鱼会污染环境而禁止养殖活动。为了解决不断增长的人的食品供应问题,必须连续挖掘海洋生物生产力的巨大潜力。因此,提倡养殖鱼虾,应当是在人的良好控制下进行的。养殖鱼虾,必然要投饵,而大量养殖必然要引起水质环境污染。因此,在发展养殖业的同

时,必须提倡保护海洋环境。环境的破坏,表现在 CO_2 , CH_4 , N_2O , DMS 等有害气体和废杂物等的增加,引起了温室效应及有害金属、其它有毒物质的积累。办法之一就是提高植物的生产,因为海洋植物也能够吸收 CO_2 及部分废杂物。海洋植物大多数是浮游植物,但它们的存在远不足以起到净化环境的能力;大型植物净化能力强,但海洋中生长得少,为此可以在浅海里种植大型底栖多年生海藻,以达到改善环境的目的。在海水养殖业中,可以进行海水动物与海藻混养,这方面已有试行者,效果良好。

总之,21 世纪中国的海洋科学研究和海洋开发生产,随着基础和应用研究的深入发展,以及研究成果转化为生产力的加快和增多,必将更加蓬勃地持续发展下去。

致谢 承刘玉瑞、顾宏堪、赵一阳、喻普之、乐肯堂、崔玉珩等研究员提供重要资料和提出宝贵意见,大力支持,谨志谢忱。