

“十二五”国家重点图书出版规划项目

Ecological Environments and
Biological Resources of Daya Bay

· 生态学研究 ·

大亚湾生态环境
与生物资源

王友绍 著
By Youshao Wang



科学出版社

“十二五”国家重点图书出版规划项目

大亚湾生态环境与生物资源

Ecological Environments and Biological
Resources of Daya Bay

王友绍 著

By Youshao Wang

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书依据大亚湾长期生态监测资料与研究,结合国内外海湾生态系统的长期监测与研究进展,系统地开展了大亚湾生态环境与生物资源研究,阐明了大亚湾长期生态与环境变化特征,大亚湾海域物理-化学-生物(浮游植物、浮游动物和底栖生物)耦合机制,大亚湾海域氮的化学与生态过程,以及大亚湾海域有机污染物、无机碳与有机碳等分布特征;揭示了重金属胁迫下红树植物逆境生理生态特征及其分子生态学机制;同时,还探讨了大亚湾湿地植物中国露兜树和厚藤的生物活性成分及其药理,大亚湾海域生物资源种类、分布特征及其维持机制等,提出了大亚湾资源保护、利用和发展策略。全书图文并茂,内容深入浅出,丰富新颖,是一本全面了解大亚湾海域生态与环境变化特征及生物资源保护、利用的教科书和参考书。

本书可供从事生态学、环境科学、海洋科学、生物学等诸多领域科学工作者、高年级大学生和研究生学习或参考。

图书在版编目(CIP)数据

大亚湾生态环境与生物资源/王友绍著. —北京:科学出版社,2014.3
(“十二五”国家重点图书出版规划项目)

ISBN 978-7-03-039968-7

I. ①大… II. ①王… III. ①海湾-生态环境-研究-惠州市②海洋生物资源-研究-惠州市 IV. ①X321.265.3②P745

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第010405号

责任编辑:王海光 韩书云 / 责任校对:邹慧卿

责任印制:赵德静 / 封面设计:北京铭轩堂广告设计有限公司

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京通州皇家印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2014年3月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2014年3月第一次印刷 印张:25 1/2

字数:578 000

定价:210.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

《生态学研究》丛书专家委员会

主 任：李文华

委 员：（按姓氏拼音排序）

包维楷	陈亚宁	程积民	戈 峰	梁士楚
林光辉	刘世荣	吕永龙	闵庆文	欧阳志云
彭少麟	孙 松	王友绍	吴文良	解 焱
薛达元	于贵瑞	张金屯	张润志	

作者简介



王友绍 博士,1963年生,二级教授、博士生导师,主要从事海洋生态环境与生物资源研究。1997年中国科学院上海原子核研究所无机化学专业毕业,获理学博士学位,同年破格晋升教授,2008年晋升二级教授;1998年于中国农业大学生物学院从事博士后研究,研究方向涉及微生物生理与生物化学、分子生物学等方面;2006年和2009年两次作为高级访问学者于美国斯克里普斯海洋研究所学习;2000年至今于中国科学院南海海洋研究所工作,先后任责任研究员、博士生导师、海洋环境与生态研究室主任、大亚湾海洋生态系统国家科学野外观测研究站(即中国科学院大亚湾海洋生物综合实验站)站长、热带海洋环境国家重点实验室副主任、国家自然科学基金委员会评审专家及广东省学位委员会和自然科学高级职称评委等职。为中国海洋与湖沼学会生态学分会理事、中国生态学会红树林学组执委会副主席;美国生态学会、美国科学促进会、美国纽约科学院等会员。近年来,先后主持或参加国家自然科学基金项目、国家“908”专项等多项研究课题。在国内外重要学术刊物上发表研究论文150余篇,其中SCI和EI收录论文100余篇,出版和参编专著8部,获国家授权发明专利12项;为 *Journal of Environmental Management*、*Chemosphere*、*Hydrobiologia*、*Journal of Pharmacy and Pharmacology*、*Marine Biotechnology*、*Environmental Monitoring and Assessment* 等20多种杂志审稿人。1997年获“中国科学院院长奖学金”优秀奖和“山东省高校中青年学术骨干和学科带头人培养对象”等荣誉称号;2007年、2002年和2001年分别获国家科学技术进步奖二等奖、山东省科学技术进步奖三等奖和山东高校优秀科研成果奖三等奖各一项;2011年、2012年两次获得国际埃尼奖(Eni Award)提名。提出了大亚湾生态环境动态变化模式、“大亚湾海域主要为受人类活动驱动的复合生态系统”的观点,以及“人类活动的增加打破了中国沿岸

水体的营养盐平衡”的观点(*Nature China* 评述);揭示了珠江口酸性多糖(TEP)时空分布特征与形成机制,建立了珠江口 TEP 分布的概念模式图;提出了物理过程与生物地球化学过程的相互作用是影响不同季风期 TEP 分布的新观点;首次利用硅指示南海北部上升流和中尺度涡存在,证实了吕宋海峡东侧细菌群落组成变化与温度显著相关和吕宋海峡西侧细菌群落组成变化与盐度和硝酸盐显著相关;从分子水平上揭示了重金属离子和有机污染物对红树植物的作用途径与调控机制等,在国际上率先开展了红树植物逆境分子生态学机制研究。

丛书序

生态学是当代发展最快的学科之一,其研究理论不断深入、研究领域不断扩大、研究技术手段不断更新,在推动学科研究进程的同时也在改善人类生产生活和保护环境等方面发挥着越来越重要的作用。生态学在其发展历程中,日益体现出系统性、综合性、多层次性和定量化的特点,形成了以多学科交叉为基础,以系统整合和分析并重、微观与宏观相结合的研究体系,为揭露包括人类在内的生物与生物、生物与环境之间的相互关系提供了广阔空间和必要条件。

目前,生态系统的可持续发展、生态系统管理、全球生态变化、生物多样性和生物入侵等领域的研究成为生态学研究的热点和前沿。在生态系统的理论和技术中,受损生态系统的恢复、重建和补偿机制已成为生态系统可持续发展的重要研究内容;在全球生态变化日益明显的现状下,其驱动因素和作用方式的研究备受关注;生物多样性的研究则更加重视生物多样性的功能,重视遗传、物种和生境多样性格局的自然变化和对人为干扰的反应;在生物入侵对生态系统的影响方面,注重稀有和濒危物种的保护、恢复、发展和全球变化对生物多样性影响的机制和过程。《国家中长期科学和技术发展规划纲要(2006—2020年)》将生态脆弱区域生态系统功能的恢复重建、海洋生态与环境保护、全球环境变化监测与对策、农林生物质综合开发利用等列为生态学的重点发展方向。而生态文明、绿色生态、生态经济等成为我国当前生态学发展的重要主题。党的十八大报告把生态文明建设放在了突出的地位。如何发展环境友好型产业,降低能耗和物耗,保护和修复生态环境;如何发展循环经济和低碳技术,使经济社会发展与自然相协调,将成为未来很长时间内生态学研究的重要课题。

当前,生态学进入历史上最好的发展时期。2011年,生态学提升为一级学科,其在国家科研战略和资源的布局中正在发生重大改变。在生态学领域中涌现出越来越多的重要科研成果。为了及时总结这些成果,科学出版社决定陆续出版一批学术质量高、创新性强的学术著作,以更好地为广大生态学领域的从业者服务,为我国的生态建设服务,《生态学研究》丛书应运而生。丛书成立了专家委员会,以协助出版社对丛书的质量进行咨询和把关。担任委员会成员的同行都是各自研究领域的领军专家或知名学者。专家委员会与出版社共同遴选出版物,主导丛书发展方向,以保证出版物的学术质量和出版质量。

我荣幸地受邀担任丛书专家委员会主任,将和委员会的同事们共同努力,与出版社紧密合作,并广泛征求生态学界朋友们的意见,争取把丛书办好。希望国内同行向丛书踊跃投稿或提出建议,共同推动生态学研究的蓬勃发展!



丛书专家委员会主任

2014年春

前 言

我国海岸线曲折绵长,沿岸海湾众多,形态各异。据初步统计,我国的海湾面积在 10km^2 以上者约有 160 个,面积在 5km^2 以上者有 200 个左右。由于海湾是处于陆地和海洋之间的纽带,在整个社会经济发展中占有非常突出的地位,随着我国经济发展,海湾已成为各种海洋资源的复合区,进行了多种形式的综合开发。目前,世界上 40%以上的人口居住在海岸带,它已成为全球生态系统中最有价值和最易受人类影响的地区之一。

海湾作为海岸带地区重要的组成部分,一方面,人类活动诸如近海油气的开发,港口建设,捕渔业和水产养殖业,沿海城市的工业废水和生活污水的排放,以及大面积滩涂围垦等已构成对海湾的生态环境和生物栖息地的严重威胁;另一方面,自然变化,如厄尔尼诺现象、拉尼娜现象、风暴潮等对我国海湾生态环境和生物资源也产生重大影响。海湾生态环境变化受人类活动与自然因素的双重影响,与人类生存环境与国民经济的发展息息相关。

我国沿岸海洋生态环境已遭到严重破坏,对于生态环境状况的分析、问题的识别、过程的演变及人为活动影响的评估和生态系统变化对人类影响的认识等,迫切需要针对具体的生态系统类型和区域的生态环境特点开展深入研究。因此,通过对海湾生态系统结构与功能的长期调查、观测与分析,探讨其演变规律,以期用生态学原理管理海湾,达到环境与资源的健康、协调发展和可持续利用,已成为当前我国海洋经济建设和沿海地区可持续发展的重要课题。

中国科学院大亚湾海洋生物综合实验站建于 1984 年,隶属于中国科学院南海海洋研究所,1989 年进入中国生态系统研究网络(CERN),1990 年成为中国科学院开放站,1991 年成为中国科学院生物多样性信息采集点,1993 年成为 CERN 重点站,2003 年正式加入全球海洋观测系统(GOOS),成为其网络成员,2005 年进入国家野外科学观测研究站。作为中国科学院开放站、中国生态系统研究网络重点站和国家野外科学观测研究站,中国科学院大亚湾海洋生物综合实验站是我国亚热带海洋科学研究唯一的综合研究与技术支撑平台,具有近 30 年亚热带海湾研究的历史,在国内外海湾生态学及其生物资源可持续利用等方面研究享有较高的声誉与知名度,与温带的胶州湾国家野外科学观测研究站、热带的三亚湾国家野外科学观测研究站组成较为系统的中国海洋生态网络站,同时它们也是我国滨海湿地研究仅有的 3 个国家野外科学观测研究站。

在中国科学院知识创新工程重要方向性项目“人类活动影响下的我国典型海湾生态系统变化研究”、“热带亚热带海湾特殊类型生态系统动力过程及其可持续发展机制”,以及广东省自然科学基金“大亚湾水体-沉积物中的脱氮作用”等多项课题的支持下,我们团队对大亚湾生态环境变化及其生物资源进行了比较系统的研究,并取得一些重要进展。①提出了“大亚湾生态环境动态变化模式”:大亚湾海域由贫营养状态发展到中营养且局部已发现有富营养化的趋势,N/P 平均值由 20 世纪 80 年代的 1/1.5 上升为近年的超过 16/1,大亚湾营养盐限制因子已由 80 年代的 N 限制过渡到 90 年代后期的 P 限制,到近

年来 Si 和 P 交替限制,生物资源趋于小型化,生物资源衰退。大亚湾海域主要是受人类活动驱动的复合生态系统。②揭示了“人类活动的增加打破了中国沿岸水体的营养盐平衡”(由“Nature China”专题评述)。由于人类活动的影响,自 20 世纪 90 年以来,大亚湾水体营养盐状况发生了很大变化。与外海相比,大亚湾水体无机氮浓度相对较高,其原因主要是大亚湾沿岸居民和工业废水向该湾排放所致。③借助多重统计分析,研究了大亚湾海域浮游生物、动物的生长与主要物理和水化学因子的关系,揭示了溶解的无机氮是决定大亚湾浮游动物、植物生长的最主要的驱动因子,为计量海洋生态学的理论与方法探索奠定了基础;大亚湾核电站温排水虽然对其周围的生态环境存在一定影响(尤其对底栖生物影响严重),但不会影响大亚湾整个海域生态系统的变化趋势,大亚湾海域主要是受人类活动驱动的复合生态系统。④大亚湾海域是氧化亚氮释放的弱源,大亚湾核电站区域是大亚湾重要的反硝化区域,大亚湾核电站附近氧化亚氮浓度显著高于其他海区,同时,还获得了在丰水期大亚湾局部区域(湾南部)生态环境受珠江冲淡水影响的重要证据。⑤通过生物化学、分子生物学等手段,研究了在重金属离子 Cd、Cu 等胁迫下红树植物金属硫蛋白的表达与调控,从分子水平揭示了重金属离子对红树植物的作用途径与调控机制。⑥开展了滨海耐盐植物——露兜树和厚藤化学成分分离和结构鉴定等研究,对露兜树的化学成分进行了较系统的研究,并通过体外细胞肿瘤实验,希望能够阐明其有效部位及活性成分,以揭示其作为民间药物的物质基础。

大亚湾海域有浮游植物 300 多种、浮游动物 260 多种、底栖生物 700 多种、鱼类 328 种、石珊瑚 18 种和红树植物 13 种,大亚湾生物资源十分丰富。深圳作为我国改革开放的“试验田”及展示改革开放成果的窗口,特别是 20 世纪八九十年代由于近岸地区的开发与沿岸社会经济的迅速发展,致使大亚湾海域红树林资源和珊瑚礁遭到严重破坏,虽然近年来这种情况随着环境保护意识加强和政府保护力度的加大,在一定程度上得到缓解,但这仍给大亚湾生态环境与生物资源的保护带来了相当大的压力。

作为我国改革开放以来典型海湾区域经济发展和生态环境变迁的缩影,大亚湾是世界上目前有两座核电站同时运行的典型海湾,受沿岸大型工程(如壳牌石化、核电站等)的影响;同时,大亚湾周边人口的增加、经济的迅速发展等,导致了大亚湾海域生态环境状况的不断退化(1984~2004 年),大亚湾海域主要为受人类活动影响驱动的复合生态系统。该书出版对揭示区域典型海湾及其临近海域生态环境演化的主要过程、探讨造成我国沿海生态环境退化的主要原因和机制、生物资源保护和发展,以及区域生态环境变化趋势等提供重要的基础研究资料。

本书是我们研究团队在对大亚湾生态环境与生物资源进行了 10 多年研究的基础上完成的,同时,本书的部分工作也是徐继荣、张凤琴、何磊、王青吉、娄治平、殷建平、姜重臣等多位同学在攻读博士研究生、硕士研究生学位期间的辛勤结晶,本书绝大部分工作已经以论文的形式在国内外公开发表。

该书大部分工作主要是 2006~2009 年作者两次去美国斯克里普斯海洋研究所(Scripps Institution of Oceanography)做访问学者时完成的。本书有关内容,如生物地球化学循环、红树林抗污染分子生态学、天然产物化学等,作者还与 Ray F. Weiss 教授、B. Greg Mitchell 教授、Farooq Azam 教授和 William H. Gerwick 教授等进行了富有建设性的探讨,他们的建议为本书出版增添了许多亮丽色彩。

本书自筹划到撰写完成之时,先后得到了中国科学院野外观测研究台站网络专项(KZCX2-EW-Y052)国家自然科学基金(No. 41176101 和 No. 41076070)、广东省自然科学基金(No. 032622)、国家基础研究重大项目前期研究(No. 2001CCA04700)和中国科学院知识创新工程重要方向性项目(No. KZSX2-SW-132、KSCX2-EW-G-12C、No. KZCX3-SW-214、No. KZCX2- YW-Q07-02)和热带海洋环境国家重点实验室自主研究项目等资助。

特此,向上述的单位和个人表示最诚挚的谢意!

由于编者撰写时间和水平有限,书中难免存在不足之处,敬请指正!

王友绍

2013年5月10日于广州

目 录

前言

第 1 章 国内外海湾生态系统的长期监测与研究进展	1
引言	1
1.1 海湾生态系统野外监测的目的和意义	3
1.1.1 海湾生态系统野外监测的目的	3
1.1.2 海湾生态系统野外监测的规范化	4
1.1.3 海湾生态系统野外监测的意义	5
1.2 海湾生态系统野外监测的历史和发展趋势	9
1.2.1 国外海湾生态系统野外监测的历史	9
1.2.2 国内海湾生态系统野外监测的历史	16
1.2.3 海湾生态系统野外监测的发展趋势	18
1.3 监测与研究的指标体系	19
1.3.1 国内外海湾生态监测试验站监测指标体系	19
1.3.2 海湾生态系统野外试验站观测指标体系	25
1.4 SAS 统计分析系统简介及其在生态学研究中的应用	30
1.4.1 SAS 概况	30
1.4.2 SAS 在生态学研究中的应用	33
参考文献	33
第 2 章 大亚湾生态与环境长期变化特征	37
引言	37
2.1 大亚湾的地理位置及其周边地区社会经济环境	38
2.1.1 自然地理概况	38
2.1.2 社会、经济环境的变化与趋势分析	39
2.1.3 自然、社会和经济环境变化对海域环境的影响	43
2.2 大亚湾生态环境变化特征与趋势	44
2.2.1 大亚湾环境化学因子	44
2.2.2 大亚湾底栖生物	50
2.2.3 大亚湾浮游植物	50
2.2.4 大亚湾浮游动物	51
2.2.5 大亚湾游泳动物	53
2.2.6 其他生物资源	53
参考文献	58

第3章 统计分析在大亚湾生态学研究中的应用	61
引言	61
3.1 SAS 统计分析方法在大亚湾水环境与浮游植物研究中的应用	61
3.1.1 实验海区与研究方法	62
3.1.2 大亚湾水环境与浮游植物关系	63
3.2 SAS 统计分析方法在大亚湾水环境与浮游动物研究中的应用	77
3.2.1 实验海区与研究方法	78
3.2.2 大亚湾水环境与浮游动物的关系	78
3.3 SAS 统计分析方法在大亚湾水环境与底栖动物研究中的应用	93
3.3.1 实验海区与研究方法	93
3.3.2 大亚湾水环境与底栖动物	94
参考文献	108
第4章 大亚湾海域氮的化学与生态过程	113
引言	113
4.1 河口、海岸带地区氮的生物地球化学循环研究进展	114
4.1.1 河口、海湾氮的富营养化趋势及其对生态系统的影响	115
4.1.2 海岸带地区的硝化与反硝化过程	117
4.2 氮输入增加对大亚湾营养盐结构及生态环境的影响	122
4.2.1 研究区域	122
4.2.2 大亚湾总溶解无机氮浓度与营养盐结构的长期变化	122
4.2.3 大亚湾温跃层形成及其对有关环境要素的影响	131
4.3 大亚湾海域的氧化亚氮浓度与分布特征	139
4.3.1 海水中溶存 N_2O 的测定	140
4.3.2 大亚湾大气样品中氧化亚氮含量	144
4.3.3 大亚湾海水样品中溶解氧化亚氮含量与分布特征	144
4.4 大亚湾海域沉积物的硝化与反硝化作用	149
4.4.1 海水、沉积物相关要素的季节变化	149
4.4.2 沉积物的硝化与反硝化速率	154
参考文献	158
第5章 大亚湾海域无机碳和有机碳分布特征	162
引言	162
5.1 海洋中碳的生物地球化学循环研究进展	163
5.1.1 海洋 CO_2 通量研究	163
5.1.2 海水中碳的迁移转化研究	165
5.1.3 海水-沉积物通量及河口通量研究	168
5.1.4 海洋碳循环的模式研究	169
5.1.5 海洋与“碳失汇”	170
5.1.6 各种形式碳的分析技术发展	171
5.1.7 展望	171

5.2 大亚湾海水中无机碳分布	172
5.2.1 大亚湾海水中总二氧化碳体系各组分的比例及变化	173
5.2.2 大亚湾海水二氧化碳体系的含量、变化及分布	174
5.2.3 大亚湾海水中二氧化碳分压 $[p(\text{CO}_2)]$ 和无机碳库	178
5.3 大亚湾海水中总有机碳的含量与分布	179
5.3.1 大亚湾海水中总有机碳的含量与分布	179
5.3.2 大亚湾海水中总有机碳的含量的增长及储量	185
5.4 大亚湾海水中的油含量	185
5.4.1 样品采集	186
5.4.2 大亚湾海水中油含量及分布	186
5.4.3 大亚湾海水中油含量对碳循环的影响	189
参考文献	190
第 6 章 大亚湾海域有机污染物分布特征	193
引言	193
6.1 国内外 POPs 的研究状况	194
6.1.1 POPs 的判别与筛选	194
6.1.2 POPs 污染现状环境调查	195
6.1.3 POPs 环境行为研究	195
6.1.4 POPs 控制策略与消除方法	195
6.2 大亚湾水体中各污染物的含量分布状况	197
6.2.1 样品的采集和测试分析	197
6.2.2 大亚湾水体中各污染物的测试结果	200
6.3 沉积物中各污染物的含量分布状况	204
6.3.1 HCHs	204
6.3.2 DDT	209
6.3.3 狄氏剂	213
6.3.4 PCBs	216
6.4 大亚湾海域各有机污染物的来源分析	219
6.4.1 HCHs	221
6.4.2 DDT	222
6.4.3 狄氏剂和 PCBs	222
参考文献	224
第 7 章 红树植物逆境生理生态特征及其分子生态学机制	226
引言	226
7.1 国内外研究现状	226
7.1.1 红树植物抗重金属的研究进展	226
7.1.2 植物金属硫蛋白研究进展	231
7.2 人工复合重金属污水对两种红树植物幼苗的影响	236
7.2.1 人工复合重金属污水对木榄红树幼苗的影响	237

7.2.2	人工复合重金属污水对秋茄红树幼苗的影响	242
7.2.3	两种红树植物对人工复合重金属污水抗性比较	246
7.3	两种红树植物类金属硫蛋白全长 cDNA 的克隆	248
7.3.1	材料	249
7.3.2	主要试剂及试剂盒	250
7.3.3	主要溶液	250
7.3.4	主要仪器设备	251
7.3.5	方法	251
7.3.6	数据分析	255
7.3.7	结果与分析	255
7.3.8	讨论	260
7.4	<i>kMT</i> 和 <i>bMT</i> 基因组的克隆与分析	264
7.4.1	材料	264
7.4.2	主要试剂	265
7.4.3	主要溶液、主要仪器	265
7.4.4	方法	265
7.4.5	数据分析	266
7.4.6	结果与分析	267
7.4.7	讨论	268
7.5	<i>kMT</i> 和 <i>bMT</i> 在大肠杆菌中的表达	269
7.5.1	材料	269
7.5.2	主要试剂及试剂盒	270
7.5.3	主要溶液、主要仪器与设备	270
7.5.4	方法	270
7.5.5	结果与分析	272
7.5.6	讨论	277
7.5.7	小结	279
	参考文献	280
第 8 章	两种滨海植物化学成分及其药理研究	290
	引言	290
8.1	露兜树化学成分分离和结构鉴定	290
8.1.1	实验部分	294
8.1.2	各化合物物理常数和波谱数据	297
8.1.3	结果与讨论	299
8.2	厚藤化学成分分离和结构鉴定	300
8.2.1	实验部分	301
8.2.2	部分化合物的结构解析	304
8.2.3	化合物的波谱数据	306
8.3	露兜树提取物生物活性的初步研究	313

8.3.1	实验材料与仪器	313
8.3.2	药物处理与活性检测	314
8.3.3	结果与讨论	315
8.3.4	结论	316
	参考文献	316
第9章	大亚湾海域生物资源的保护与发展	318
	引言	318
9.1	大亚湾鱼类资源	333
9.1.1	大亚湾鱼类的种类组成与分布	333
9.1.2	大亚湾鱼类资源生物量的变化	346
9.2	大亚湾游泳甲壳类、头足类资源	349
9.2.1	大亚湾游泳甲壳类、头足类的种类组成	349
9.2.2	资源生物量变动趋势	351
9.2.3	大亚湾游泳甲壳类、头足类现存资源的特点	352
9.2.4	对造成大亚湾渔业资源现状的原因分析和合理利用的建议	356
9.3	大亚湾人工增养殖现状及发展方向	357
9.3.1	大亚湾人工增养殖的主要产业	357
9.3.2	大亚湾的主要养殖场	359
9.3.3	大亚湾养殖场的环境特点	360
9.3.4	大亚湾人工增养殖的生产概况	360
9.3.5	大亚湾水产增养殖的生物资源特征	361
9.3.6	大亚湾水产增养殖发展的方向	363
9.3.7	大亚湾人工鱼礁	365
9.4	大亚湾资源保护、利用与发展	366
9.4.1	大亚湾核电站循环冷却水的余热利用	366
9.4.2	大亚湾海洋资源环境现状及可持续利用对策	373
9.4.3	大亚湾海洋资源利用与海洋环境保护取得的成效	383
9.4.4	大亚湾海洋资源与海洋环境可持续开发利用的原则及对策	384
	参考文献	389

第 1 章 国内外海湾生态系统的长期监测与研究进展

引 言

20 世纪 60 年代以来,国际海洋生态学处于迅速和全面发展的阶段,有关海洋研究领域的国际重大计划相继开展,如 JGOFS(The Joint Global Ocean Flux Study)、GLOBEC(Global Ocean Ecosystem Dynamics)、全球海洋观测系统(Global Ocean Observing System,GOOS)、GOEZO(The Global Ocean Euphotic Zone Study)、SOLAS(The International Surface Ocean-Lower Atmosphere Study)等(Botsford et al.,1997;Evelia & Guillermo,2001;Huang et al.,2003;Wang et al.,2008),直接涉及海洋生态的主要研究内容和议题包括:①海洋对大气 CO₂ 的缓冲和调节能力,海洋生态过程在其中的作用和机制;②海洋中生源要素(特别是 C、N)的生物地球化学循环过程及各种界面的通量;③海洋中颗粒物质的沉降、痕量气体[CH₄、N₂O、DMS(二甲基硫)等]的排放与生物活动和生产过程的关系;④生物群落的结构(如组成、多样性)如何与生态系统的功能特征(如生产力、养分循环、污染物的降解与释放、富集与传递)相联系;⑤生态过程与生物多样性(包括物种多样性、遗传多样性、生态多样性)对环境变化(气候、海陆相互作用、人类干扰)的适应与响应;⑥确定对胁迫产生的生态学响应的类型和指标、发展预测、监控技术;⑦生物生产过程与调控机制,可持续发展的生态系统的维护等(焦念志,1994;王友绍等,2004;孙松等,2005;Shen,2001;Botsford et al.,1997;Evelia & Guillermo,2001;Malakoff,2003;Jenkins,2003;Jackson & Johnson,2001;Adrianov,2004;Giller et al.,2004;Wu & Wang,2007;Wang et al.,2006;2008;2011;2012;Wu et al.,2009;2010;2011;2012a)。

与国际上的发展相比,我国海洋生态系统的研究尚处在认识和发展阶段。有关生物的生命活动、生产过程、生物与环境的相互作用及其动态机制等基础研究还相当薄弱。20 世纪 80 年代后期,受国际有关研究计划的影响,我国的海洋生态学研究开始发生质的变化,除了直接参与有关的国际研究计划[如 JGOFS、GLOBEC、LOICZ(Land-Ocean Interactions in the Coastal Zone)等]与国际研究接轨之外,我国还开展了沿海调查(如海岸带调查和海岛调查)、主要渔场调查(如闽南—台湾浅滩渔场上升流区生态学研究)、实验生态学和养殖生态学及污染生态学(赤潮)的研究等。此外,对新生产力、生物颗粒谱、碳循环、红树林生态系统和珊瑚礁生态系统等做了探索性研究(苏纪兰,2006;苏纪兰等,2001)。

海湾是海洋伸入陆地的部分,是海洋生态系统的子系统。海湾又是陆地所环抱的水域,与陆地生态系统密切相关,因而海湾是陆地、海洋和大气相互联系的结点,是相互作用强烈的区域,而且也是受人类干扰最严重的区域。海湾由于人类活动而形成了复杂的社会-经济-自然复合生态系统,因而成为海洋生态学研究的前沿领域。特别是我国海湾生

态系统的长期监测与研究任重而道远(赵士洞,2001;2004;2005;宁修仁和孙松,2005;秦德润和王松霈,2000)。我国是一个具有约 32 000km 海岸线,管辖海域面积约 300 万 km² 的海洋大国,据统计大约有 350 处海湾,我国科技工作者也进行了大量的环境、生态和生物资源等方面研究,如我国热带的三亚湾、亚热带的大亚湾和温带的胶州湾等(董俊德等,2002;王友绍等,2004;董金海和焦念志,1995;Shen,2001;Wang et al.,2006;2008;2011;2012;Wu & Wang,2007;Wu et al.,2009;2010;2011;2012b;孙松等,2005;吴玉霖等,2004;Shen,2001)。

长期生态学研究(Long Term Ecological Research,LTER),是指在一个或若干个生态站对某些生态现象或过程进行较长时间的连续观测和研究。观测和研究时间的长短,理论上应当依据所研究的对象的特征来确定,通常是从十几年至数百年,如英国洛桑实验站(<http://www.rothamsted.bbsrc.ac.uk>)创建于 1843 年,至今已有 170 年的历史,是世界上最古老的农业研究站,被称为“现代农业科学发源地”(图 1.1)。美国长期生态学研究网络(U. S. Long Term Ecological Research network,简称 U. S. LTER network)由美国国家科学基金会(NSF)资助,于 1980 年正式启动。它是世界上第一个以长期生态学现象为主要对象的研究网络。现在它已经成为世界上规模最大、研究水平最高的国家级长期生态学研究网络。美国长期生态学研究网络重视数据集的可比性及方法和设备的标准化。数据集的可比性至少包括统计和实时记录。设备的标准化还包括测量方法及计算机的标准化,其有关通信、数据控制及分析用软件、硬件的标准化在 1988 年就已选定。目前由代表了森林、草地、农田、湖泊、海岸、荒漠、极地冻原和城市等生态系统的 26 个试验站组成。通过多年的发展,该网络在生态学研究及生态系统管理方面都取得了一系列重要成就。为了将 LTER 的工作推进到一个新的阶段,美国 NSF 曾提出了在不同地区建立 10 个国家生态观测站,并在此基础上建立国家生态观测站网络(National Ecological Observatory Network,NEON)的设想。NEON 的每一个观测站实际上是一个区域性生态系统综合研究中心,其核心任务是针对所在地区的重要生态问题,从细胞、器官、个体、种群和群落等生物学层次,以及生态系统和景观等生态学层次进行包括了自然科学、社会科学和技术科学在内的跨学科综合研究([http://baike.baidu.com/view/8373536.htm? fromTaglist](http://baike.baidu.com/view/8373536.htm?fromTaglist))。

世界各国均十分重视国家长期生态学研究,尤其海洋国家的海湾长期生态学研究(赵士洞,2001;2004;2005;宁修仁和孙松,2005;金恒镛,2003;<http://www.iltinternet.edu/>),如美国 Chesapeake 湾(Rasse et al.,2005;Walker et al.,2000;Hofmann et al.,2001)、英国的 Sevastopol 湾(Gordina et al.,2001)和 Tokyo 湾(Kodama et al.,2002)、俄罗斯 Lake Imandra 湾和 Kola Peninsula 湾(Boris,2003)、西班牙 Biscay 湾(Luis & Mercedes,1998),以及我国的胶州湾(孙松等,2005;Shen,2001)、大亚湾(王友绍等,2004;Wang et al.,2006;2008;2011;2012)、三亚湾(Huang et al.,2003;Dong et al.,2008)和台湾南湾(Jan et al.,2001)等。